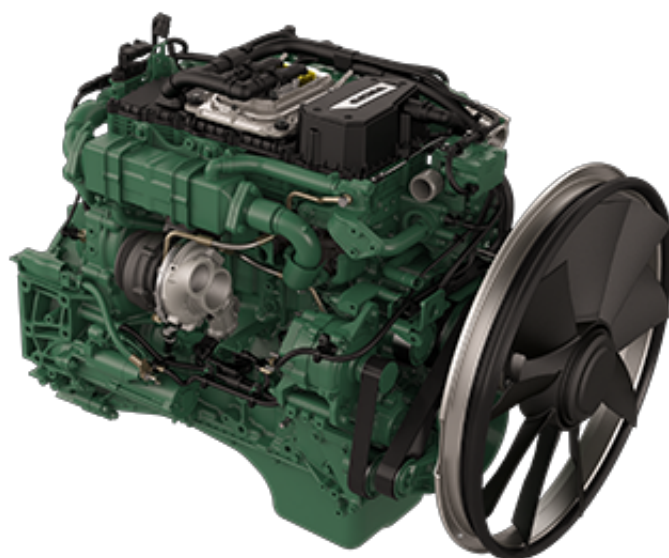




# CHALMERS



## Möjligheter inom additiv tillverkning på Volvo Penta

The potentials within additive manufacturing at Volvo Penta  
Examensarbete i Maskiningenjörsprogrammet

Filippa Rexed  
Linus Skogh



EXAMENSARBETE 2018

## **Möjligheter inom additiv tillverkning på Volvo Penta**

The potentials within additive manufacturing at Volvo Penta

FILIPPA REXED  
LINUS SKOGH



**CHALMERS**

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2018

# **Möjligheter inom additiv tillverkning på Volvo Penta**

Examensarbete i Maskiningenjörsprogrammet

FILIPPA REXED

LINUS SKOGH

© FILIPPA REXED, LINUS SKOGH, 2018

Handledare: Mats Alemyr och Sven Ekered, Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Handledare: Johan Svenningstorp från Volvo Group Trucks Technology och Volvo Penta

Examinator: Mats Alemyr, Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon +46 (0)31-772 1000

Omslag: D5-motor från Volvo Penta

Göteborg, Sverige 2018

## Förord

Detta examensarbete på 15 högskolepoäng har utförts på institutionen Industri- och materialvetenskap i samarbete med Volvo Group Trucks Technology och Volvo Penta. Detta är det sista vi gör som högskoleingenjörer inom maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola och det har varit tre mycket lärorika år.

Först och främst vill vi tacka Marcus Enered som satte oss i kontakt med rätt person på Volvo Group Trucks Technology. Vi skulle vilja tacka vår engagerade handledare Johan Svenningstorp från Volvo Group Trucks Technology och även Christian Nilsson från Volvo Penta som har svarat på svåra frågor och stöttat oss mycket under arbetet. Vi har tack vare er erfarit mycket kunskap inom material och tillverkningsmetoder. Ett stort tack till Mats Alemyr och Sven Ekered på Chalmers, ni har gett konstruktiv feedback och visat engagemang i vårt arbete. Vi vill även rikta ett stort tack till Fredrik Nettebladt som har hjälpt oss med konstruktionsrelaterade frågor. Vidare vill vi tacka de personer som ställt upp på intervjuer och bidragit med viktig information. Utan er hade detta examensarbete inte kunnat färdigställas.

## Abstract

This report has been completed as a part of the Bachelor's degree in Mechanical Engineering at Chalmers University of Technology in collaboration with Volvo Penta and Volvo Group Trucks Technology. The purpose has been to investigate whether it is possible to apply additive manufacturing methods in Volvo Penta's processes and identify criteria when it is suitable to consider additive manufacturing in the manufacture of low volume components. Furthermore, the purpose has been to study eight specific cases of components where conventional manufacturing methods have been compared with additive manufacturing methods.

Through interviews, eight different cases of components have been received in order to investigate the possibilities to manufacture them additive. Regarding to examine the opportunities and costs, CAD files to each component have been sent to Volvo Penta's suppliers within additive manufacturing in order to receive quotes. Together with the previously mentioned collection of information, literature studies and market analyses, results have been received in forms of diagrams and important parameters, which provided the basis due to the possibility of comparisons between conventional and additive manufacturing methods.

The survey resulted in volumes for two components where additive manufacturing would have been profitable. In another case, it was shown that the lead time could have been reduced to one third and that the cost had decreased with additive manufacturing. Suppliers in additive manufacturing could only offer the material used in conventional methods at one occasion. In other cases, materials were offered which exceeded the material requirements which led to an increased cost. Additive manufacturing is today a costly process but time-efficient, from idea to end product.

The report is limited due to the examination of eight components only. The materials that have been investigated within additive manufacturing are only plastic and metal. The purpose of the compiled information within additive manufacturing was to enable a comparison of important parameters with conventional methods, the information was based on the quotes from suppliers to Volvo Penta.

# Sammanfattning

Rapporten har genomförts inom examination för Maskinteknik vid Chalmers tekniska högskola i samarbete med Volvo Penta och Volvo Group Trucks Technology. Syftet har varit att undersöka huruvida det är möjligt att applicera additiva tillverkningsmetoder i Volvo Pentas processer, identifiera kriterier för när det är lämpligt att överväga additiv tillverkning vid framställning av komponenter av låga volymer. Vidare har syftet varit att studera åtta specifika fall av komponenter där konventionella tillverkningsmetoder har jämförts med additiva tillverkningsmetoder.

Genom intervjuer har åtta olika fall av komponenter erhållits i syfte att undersöka möjligheterna att tillverka dem additivt. Med avseende på att undersöka möjligheter och kostnader har CAD-filer till komponenterna skickats till Volvo Pentas erkända leverantörer inom additiv tillverkning i syfte att erhålla offerter. Tillsammans med den tidigare nämnda insamling av information, litteraturstudier och marknadsanalyser har resultat tagits fram i form av diagram och viktiga parametrar vilket gav underlag för möjliggörandet av jämförelser mellan konventionella och additiva tillverkningsmetoder.

Undersökningen resulterade i volymer för två komponenter där additiv tillverkning skulle ha varit lönsamt. I ett annat fall visades att ledtiden hade kunnat reduceras till en tredjedel samt att kostnaden hade minskat med additiv tillverkning. Leverantörer inom additiv tillverkning kunde endast vid ett tillfälle erbjuda det material som används vid konventionella metoder. I andra fall erbjöds material som överträffade materialkraven vilket ledde till en ökad kostnad. Additiv tillverkning är idag en kostsam process men tidseffektiv från idé till slutprodukt.

Rapporten är avgränsat då endast åtta komponenter undersöktes. De material som undersöktes med additiv tillverkning var endast plast och metall. Den information om additiv tillverkning som har framtagits, i syfte att möjliggöra en jämförelse av viktiga parametrar med konventionella metoder, utgick endast från leverantörer erkända av Volvo Penta.

## Figurer

Figur 1 - Generell AM-process .....	3
Figur 2 – Träddiagrammet visar en överblick av olika AM-teknologier .....	4
Figur 3 – Bilden visar hur tekniken bottom-up fungerar .....	6
Figur 4 – Bilden visar hur stödstruktur kan möjliggöras för att undvika sugande kraft ...	6
Figur 5 – Bilderna visar i tre steg hur processen ser ut vid användning av Binder Jetting .	7
Figur 6 – Bilden visar det printerhuvud som används vid Material Jetting. ....	8
Figur 7 – Bilden visar ett resultat av Material Jetting som i medicinindustrin kan användas i utbildningssyfte .....	8
Figur 8 – Bilderna visar i tre steg hur processen ser ut vid användning av Material Jetting.	9
Figur 9 – Bilden visar hur generellt hur processen ser ut vid PBF. ....	9
Figur 10 – Bilden visar munstycket som används vid LENS .....	11
Figur 11 – Den övre röda tillverkningsprocessen visar additiv tillverkning och den undre svarta visar tillverkning med konventionella metoder .....	12
Figur 12 – Komponent 1, Oljesump, visas i CAD-format .....	22
Figur 13 – Komponent 2 & 3, EGR-rör till D5 respektive D8, visas i CAD-format .....	22
Figur 14 – Komponent 4, Blandningskammare till D5, visas i CAD-format .....	23
Figur 15 – Komponent 5, Grenrör till D5, visas i CAD-format .....	24
Figur 16 – Komponent 6, Kylvattenrör, visas i CAD-format .....	25
Figur 17 – Komponent 7, Avgasfläns, visas i CAD-format .....	25
Figur 18 – Komponent 8, Rör från turbo med V-klämma, visas i CAD-format .....	26
Figur 19 – Resultatdiagram som visar nollpunkten för grenrör. X-axeln är antal och Y-axeln är kostnaden .....	28
Figur 20 – Resultatdiagram som visar nollpunkten för kylvattenrör. X-axeln är antal och Y-axeln är kostnaden .....	28



## Förkortningar

AM	Additive Manufacturing (Additiv Tillverkning)
CAD	Computer Aided Design
CLIP	Continuous Liquid Interface Production
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
FFF	Free Form Fabrication (Friformsframställning)
FDM	Fused Deposition Modeling
FOT	First-Off-Tool (Första tillverkade detaljen)
LOM	Laminated Object Manufacturing
PBF	Powder Bed Fusion
PPAP	Production Part Approval Process (Kontroll av detalj)
RM	Rapid Manufacturing
SLA	Stereolithography
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b>	1
1.2 Bakgrund	1
1.3 Syfte	1
1.4 Frågeställning	1
1.5 Avgränsningar	2
<b>2 Teoretisk referensram</b>	3
2.1 Syfte	3
2.2 Historia	3
2.3 Sju huvudkategorier inom additiv tillverkning	4
2.3.1 Material Extrusion	5
2.3.2 Photopolymerisation	5
2.3.3 Binder Jetting	7
2.3.4 Material Jetting	8
2.3.5 Powder Bed Fusion	9
2.3.6 Sheet lamination	11
2.3.7 Direct Energy Deposition	12
2.4 Fördelar med additiv tillverkning	12
2.4.1 Hastighet	12
2.4.2 Reduktion av steg och flexibilitet vid framställning av produkt	13
2.4.3 Komplexitet och design vid tillverkning	13
2.4.4 Ekonomiska fördelar	14
2.4.5 Påverkan av miljön	14
2.5 Begränsningar inom additiv tillverkning	14
<b>3 Metod</b>	16
3.1 Litteraturstudie	16
3.2 Intervjuer	16
3.3 Avvägning och tillverkning	17
<b>4 Resultat</b>	18
4.1 Problemdefinition	18
4.2 Intervjuer	18
4.3 Presentation av komponenter	22
4.3.1 Komponent 1 – Oljesump	23
4.3.2 Komponent 2 & 3 – EGR-rör till D5 och D8	23
4.3.3 Komponent 4 – Blandningskammare till D5	24
4.3.4 Komponent 5 – Grenrör till D5	25
4.3.5 Komponent 6 – Kylvattenrör	26
4.3.6 Komponent 7 – Avgasfläns	26

4.3.7 Komponent 8 – Rör från turbo med V-klämma.....	27
4.4 Utvärdering av tillverkningsmetoder för valda komponenter.....	28
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>31</b>
<b>6 Slutsats</b> .....	<b>32</b>
6.1 Riktlinjer och rekommendationer till Volvo Penta.....	32
6.2 Rekommendationer till fortsatt arbete .....	32
<b>7 Referenslista</b> .....	<b>33</b>

# 1. INLEDNING

I detta kapitel kommer bakgrund till rapporten presenteras. Vidare kommer även syfte, frågeställningar och avgränsningar presenteras.

## 1.2 Bakgrund

Volvo Penta är en global leverantör och tillverkare av motorer och kompletta drivsystem för marint och industriellt bruk. I dagsläget används bearbetning och formning vid tillverkning av komponenter. Man undersöker på Volvo Penta huruvida additiv tillverkning är en metod värd att investera i och hur man ska börja använda metoden i sina processer. Man vill också vidareutveckla kompetensen kring metoden inom företaget.

Projekt internt på Volvo Penta kan i dagsläget bli fördröjda om man exempelvis vill ändra design på den nuvarande komponenten. När man i ett sådant fall väntar på att ett nytt verktyg ska tillverkas som i sin tur ska skapa den nya konstruktionen, försöker man ofta modifiera komponenten själv genom alternativa metoder. Här ser man en möjlighet att använda sig av additiv tillverkning för att snabbt få fram prototyper i projekt.

När Volvo Penta får en förfrågan om att tillverka en komponent hamnar den hos en säljavdelning inom det område som komponenten tillhör. Därifrån utvärderas komponenten huruvida den kan bli ett nytt business case. Avvägningen handlar främst om det är lönsamt att tillverka komponenten, med avseende på kvalitet, konstruktion och leveranstid samt om resurser finns att tillhandahålla. När en förfrågan blir undersökt tar man i nuläget endast hänsyn till de konventionella metoderna. I och med det, finns det en risk att vissa förfrågningar avslås på grund av att bedömningar endast utgår från konventionella metoder. Enligt Volvo Penta finns en möjlighet att lyckas tillverka tidigare avslagna behov av komponenter med additiv tillverkning.

## 1.3 Syfte

Syftet är att identifiera kriterier för när det är lämpligt att överväga additiv tillverkning vid framställning av komponenter av låga volymer. Detta utförs genom att studera och kartlägga ett antal fall där affären bedömts som olönsam med konventionella tillverkningsmetoder.

Studien ska undersöka förutsättningarna att uppnå lönsamhet och kvalitet mellan konventionella tillverkningsmetoder och additiv tillverkning för de valda fallen.

Slutligen är målet med undersökningen att få fram förslag på hur ett antal specifika affärer kan/kunde förbättras utifrån lönsamhet och kundvärde. Målet skall ge rekommendationer och riktlinjer.

## 1.4 Frågeställning

- Vilka olika typer av additiva tillverkningsmetoder används och är möjliga idag samt vilka typiska för- och nackdelar är de behäftade med?

- Vilka fall bör väljas med tanke på tillgänglig data, intressanta aspekter och affärsmöjligheter?
- Vilka slutsatser kan vi dra för våra fall? Går dessa slutsatser att utnyttja som generella riktlinjer och rekommendationer för Volvo Penta?

## **1.5 Avgränsningar**

Rapporten är avgränsad till åtta komponenter. De material som undersöktes med additiv tillverkning var endast plast och metall. Den information om additiv tillverkning som har framtagits för att möjliggöra en jämförelse av viktiga parametrar med konventionella metoder utgick endast från leverantörer erkända av Volvo Penta.

## 2. TEORETISK REFERENS RAM

I detta kapitel kommer relevant fakta presenteras, för att läsaren ska få tillräckligt mycket kunskap för att förstå rapporten. Texten kommer innehålla additiv tillverkning och dess historia, erkända och befintliga metoder inklusive användningsområden samt kända för- och nackdelar generellt för additiv tillverkning.

### 2.1 Historia

Denna del i rapporten är till för att få en förståelse och bakgrund till dagens teknologi. Additiv tillverkning utvecklades under 1980-talet då Charles Hull kombinerade sin innovation med avancerad laserteknik. Han uppfann år 1984 SLA, Stereolithography som lade grunden för additiv tillverkning. Teknologin skapar en verklig modell från en CAD-fil vilket möjliggör tillverkning av komplexa delar med lager-på-lager metoden. (5) SLA kommer senare i rapporten förklaras i detalj. Charles Hull var först att starta ett företag som utvecklar och tillverkar 3D-skrivare som fick namnet 3D Systems. (20)

Medan 3D Systems utvecklade sin teknologi, dök andra innovatörer upp och försökte skapa nya typer av AM-skrivare som kunde tillverka detaljer med andra material. Under slutet av 80-talet hade de flesta teknologierna endast möjlighet att skapa modeller av plast för att få fram en snabb prototyp även kallad Rapid Prototyping (RP). Därför var det av stort intresse för företag och innovatörer att skapa en AM-skrivare som tillverkar prototyper av metall. Ett av de första företagen som lyckades var EOS och presenterade första prototypen av metall 1994 som tillverkades med metoden DMLS som senare i rapporten kommer att förklaras i detalj. (20)

Sedan första prototypen av metall presenterades har additiv tillverkning fortsatt att utvecklas och har varje år gjort framsteg inom olika industrier. (4) Utvecklingen av additiv tillverkning har lett till att faktorer som noggrannhet, material och kvalitet har förbättrats. Teknologin var initialt till för att skapa visualiserande modeller av produkter under tiden de utvecklades. Fysiska modeller ökar förståelsen av en design som en formgivare skapat gentemot vad en ritning gör. (47) På senare år har användningsområden för additiv tillverkning expanderats, numera används metoden också vid tillverkning i produktion i industrier som biomedicin och tandvård, bilindustrin, flygindustrin etc. (5) Detta förklarar varför terminologin har ändrats från Rapid Prototyping till Additiv tillverkning.

### 2.2 Additiv tillverkning

Additiv tillverkning är en metod som skapar en fysisk produkt utifrån en digital design. Det är en metod som växer och som är uppskattad av företag såväl som privatpersoner då det idag även finns 3D-skrivare för hemmabruk. Tillverkningsmetoden går under flera olika namn idag såsom 3D-printing, Rapid Prototyping (RP), Friformsframställning (FFF), Layer-Based manufacturing (LM) i denna rapport kommer additiv tillverkning att användas. (47)

En generell AM-process uppdelad i åtta steg, se figur 1. (47)

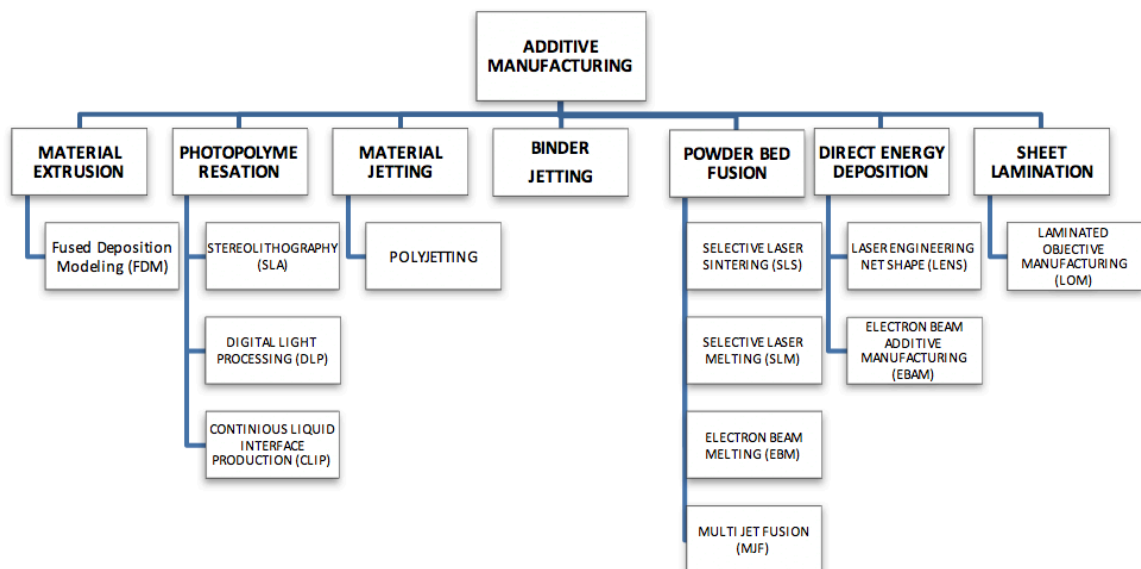


Figur 1 - Generell AM-process (47)

Dessa åtta steg går från en CAD-fil till en fysisk del. Initialt måste alla AM-delar vara i form av en CAD-fil - visualiserad solidmodell i 3D. De flesta AM-skrivare kan hantera STL som filformat, vilket har lett till att STL är standardiserat som filformat idag. Efter att CAD-filen har blivit konverterad till en STL-fil, överförs den till AM-skrivaren. I detta steg krävs ofta viss korrigering av storlek och position för att kunna skapa delen. Vidare krävs det att AM-skrivaren är rätt inställd för att kunna utföra processen korrekt. Därför krävs det i steg fyra kravsättning av parametrar, som temperatur, lagertjocklek, material, matningshastighet etc. Steg fem är fasen då detaljen tillverkas, vilket är en automatiserad process där övervakning knappt behövs. Då steg fem är slutfört är också detaljen färdigställd varpå den avlägsnas från byggplattan, vilket bör göras med viss försiktighet, då detaljen och skrivaren kan vara mycket varma. Steg sju handlar om manuell manipulation för att göra produkten redo för användning, ta bort stödfunktioner vid behov etc. Slutligen är delen redo för att användas. Här bör det belysas att ytterligare behandling kan komma att krävas efter steg åtta. Behandlingar som grundmålning för att uppnå accepterad yta är ett exempel. Dessutom är det vanligt att tillverkad del ska sättas samman med en annan del vilket kan kräva vissa modifikationer av tillverkad del. (47)

## 2.3 Sju huvudkategorier inom additiv tillverkning

Additiv tillverkning delas upp i sju huvudkategorier som visas nedan. Detta blev en standardiserad uppdelning 2012 av ASTM International Committee F43. (41) De sju huvudkategorierna har även underkategorier och kommer att beskrivas i detalj nedan.



Figur 2 – Träddiagrammet visar en överblick av olika AM-teknologier

### 2.3.1 Material Extrusion

Fused Deposition Modeling (FDM), även kallad Material Extrusion, är den enklaste och vanligaste additiva tillverkningsmetoden idag. Skillnaden mellan de olika skrivarna är stor. Idag finns det FDM-skrivare att köpa för mindre än 3000 kr (30) medan det finns skrivare som kostar flera miljoner. (31)

Tekniken bygger på att man smälter ett tillsatsmaterial av olika polymerer samtidigt som man matar ut det genom ett munstycke och bygger lager på lager. FDM-skrivare som använder metall som tillsatsmaterial existerar, men är inte vanligt. Mer avancerade FDM-skrivare tillåter en kombination av olika material och färger genom att ha fler än ett munstycke. Då en detalj tillverkas med olika material samtidigt kan man underlätta appliceringen av stödstrukturen genom att använda ett billigt material som sedan kan lösas upp i vatten.

Lagertjockleken för FDM ligger vanligtvis mellan 50 och 200 mikrometer vilket gör att metoden inte klarar att tillverka lika detaljerade produkter som man kan uppnå med Photopolymerisation, där lagertjockleken ligger mellan 25 och 150 mikrometer. (29) Dock kan man tillverka större och billigare produkter. (28)

### 2.3.2 Photopolymerisation

Photopolymerisation är en metod som bygger på att man härdar lager av polymervätska med ultraviolett ljus. Metoden kan delas upp i tre olika tekniker vilka beskrivs nedan. (27)

#### Stereolithography (SLA)

SLA är en process där produkten skapas genom att en polymervätska härdas i olika lager med hjälp av en ultraviolett ljusstråle. Appliceringen av det ultravioletta ljuset kan ske under- eller ovanifrån. Vilket är känt som bottom-up respektive top-down.

Top-down är en teknik där man skapar lager på lager genom att applicera ljusstrålen på polymervätskans ytskikt. Efter att ett helt lager har härdats sänks byggplattan med produkten ned i en behållare med polymervätskan och ett nytt ytskikt läggs ovanpå för att härdas och bilda nästa lager. I och med att produkten sänks ned i en behållare krävs mycket polymervätska för att tillverka en produkt. Vätskan som ej härdas kan dock hållas tillbaka i originalförpackningen och återanvändas.

Fördelen med top-down är att ytskiktet alltid är i kontakt med syre och att man kan applicera ljus på ytskiktet utan ett peel-steg vilket möjliggör snabbare tillverkning av produkter. Peel-steg kommer senare förklaras i detalj.

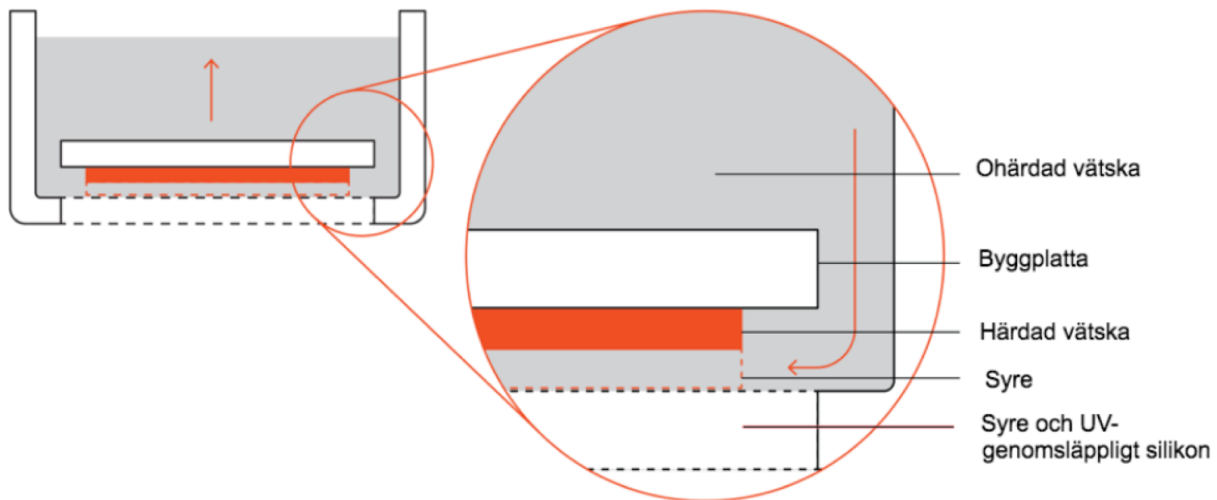
Om produkten man bygger har lager med ett överhäng på över 30 grader krävs att man lägger till stödmaterial. Med Photopolymeration kan man inte tillverka detaljen med olika material utan måste använda samma material för stödstrukturen som den faktiska produkten, vilket kan synas på slutprodukten då man måste bryta bort stödmaterial från produkten.

Lagertjockleken för denna metod ligger mellan 25 – 150 mikrometer med en noggrannhet på  $\pm 0.15\%$ . Detta gör att upplösning och ytjämnhet på slutprodukt blir väldigt bra. Innan en produkt är helt klar måste den med denna metod tvättas för att avlägsna ohärdad polymervätska för att sedan härdas helt med extra UV-ljus. Direkt efter att en produkt har blivit tillverkad additivt är den inte 100% härdad men den är tillräckligt härdad för att kunna genomgå dessa steg. (5) Om produkten sedan exponeras för mer UV-ljus eller solljus än vad materialet tål kommer den gå sönder.



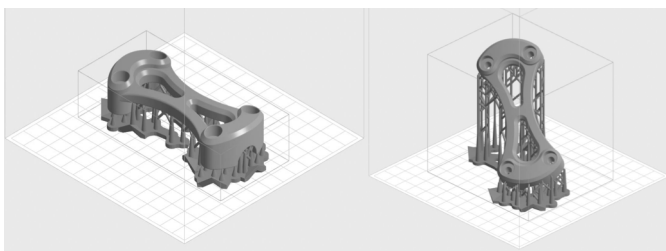
Fördelen med att istället härda varje lager med UV-ljus underifrån med tekniken bottom-up är att man inte behöver lika mycket vätska då produkten dras upp ur badet. Detta möjliggör tillverkning av billiga 3D-skrivare och som tar mindre plats.

Varje lager härdas i botten av en behållare. För att ett lager ska härda måste det vara i kontakt med syre. Detta möjliggörs genom att ha ett syregenomsläppligt silikonfönster i botten som också släpper igenom UV-ljus.



Figur 3 – Bilden visar hur tekniken bottom-up fungerar, bilden är kopierad med tillåtelse (33)

I denna process sker inte härdningsprocessen kontinuerligt utan efter att varje lager har härdats lyfts plattan med produkten upp innan ett nytt lager härdas. Detta kallas för ett peel-steg. Varje lager är vanligtvis 25 – 100 mikrometer med en noggrannhet på  $\pm 0.5\%$ . När plattan lyfts upp utsätts produkten för en sugande kraft som riskerar att produkten släpper från byggplattan. Därför måste man ofta placera geometrin på ett sätt som minimerar denna kraft. Detta kan med hjälp av extra stödstruktur möjliggöras, enligt bilden nedan. (33)



Figur 4 – Bilden visar hur stödstruktur kan möjliggöras för att undvika sugande kraft, bilden är kopierad med tillåtelse (33)

## Digital Light Processing (DLP)

DLP är en metod som liknar SLA men istället för att härda polymervätskan med laser projiceras en bild på lagret som gör att hela lagret härdas på en gång istället för bit för bit. Detta gör metoden mycket snabbare.

DLP kan som SLA utföras med teknikerna bottom-up eller top-down. För- och nackdelarna med de två olika teknikerna stämmer överens med SLA.

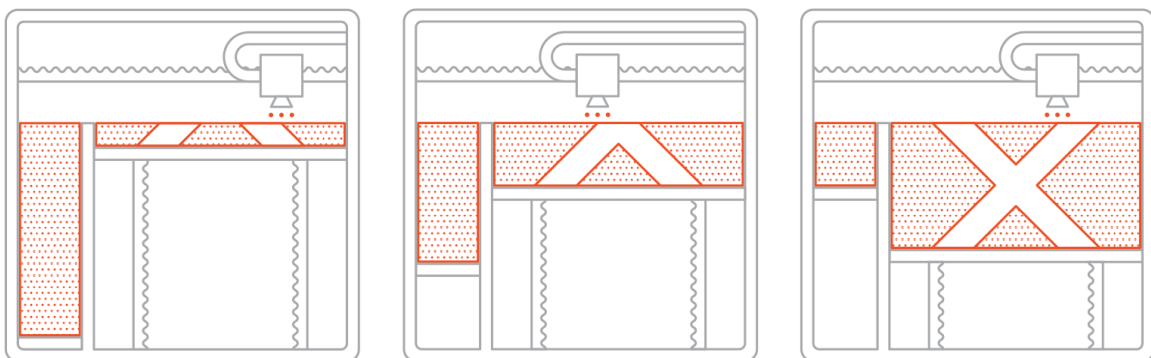
DLP har gentemot SLA fördelar i och med att ytfinheten blir bättre då man kan uppnå en lagertjocklek mellan 5 – 150 mikrometer. (34)

### Continuous Liquid Interface Production (CLIP)

CLIP är en kombination av DLP och SLA, vilket man ofta skiljer på då det inte är en lager på lager teknik. Metoden sker kontinuerligt med bottom-up teknik och med en projekterad bild såsom DLP. Då detaljen höjs upp ur polymervätskan används syre i luften som en sekundär härdare. Vid användning av CLIP kan man undvika tidskrävande processer som peel-steg och härdning med laser och istället projektera UV-ljuset kontinuerligt samtidigt som man höjer produkten får man en snabbare process. Den kontinuerliga härdningen gör också att man undviker lagerbyggnad. Nackdelen med CLIP är att det fortfarande är en kostsam process relativt till andra AM-teknologier. (35)

### 2.3.3 Binder Jetting

Binder Jetting är en metod där det ingår två material, dels ett pulver av det materialet som produkten ska bestå av samt ett bindemedel som skapar strukturen för varje lager. Processen initieras genom att ett pulver bredds ut på en bädd, därefter applicerar ett munstycke bindemedlet lager för lager i syfte att pulvret binds ihop lager för lager. Efter att ha applicerat bindemedel på varje lager sänks byggplattformen till den lagertjocklek man önskar och ett nytt lager skapas. Dropparna av bindemedlet som appliceras har en diameter på 80 mikrometer vilket ger en bra upplösning och möjliggör en hög noggrannhet. Lagertjockleken beror mycket på materialet som används men vanligtvis är tjockleken 100 mikrometer för polymerkomponenter, 50 mikrometer för metallkomponenter och 200-400 mikrometer för gjutformar avsedda för sandgjutning. (39)



Figur 5 – Bilderna visar i tre steg hur processen ser ut vid användning av Binder Jetting, bilden är kopierad med tillåtelse (39)

Efter att samtliga lager har skapats krävs ofta efterbehandling, vanligen värmebehandling beroende på vilket material som används. Binder Jetting används vid framställning av sandgjutningskärnor och formor. Metoden används också för att skapa visualiserande modeller då man kan tillverka detaljer genom användning av olika färgade bindemedel, vilket underlättar förståelsen för grundläggande mekaniker.

Binding Jetting-skrivare har kapabiliteten att tillverka stora detaljer upp till 2200x1200x600 (mm), vilket skiljer sig från många andra skrivare inom additiva tillverkningsmetoder. Detta möjliggör också parallell tillverkning av detaljer. Vanligen används skrivare med stor kapabilitet vid tillverkning av sandgjutningsformar. Dessutom krävs inga stödstrukturer, då det omgivande pulvret möjliggör det stöd som krävs. (39)

Begränsningar med metoden är dels att hela processtiden ökar då efterbehandling ofta krävs. Metoden lämpar sig inte till alla material då bindemedlet i vissa fall orsakar försämrade materialegenskaper. (36)

### 2.3.4 Material Jetting

Material Jetting är en metod där man applicerar droppar av tillsatsmaterialet för att kunna bygga lager. Dropparna pressas ut ur ett skrivarhuvud, detta förklaras senare i detalj, och steltnar när de läggs ut på ytan. Med denna metod är det endast vax som är tillgängligt som byggmaterial. Material Jettings främsta användningsområde är tillverkning av gjutformar. Mer känt och användbart är Poly Jetting vilket ofta ses som en del av Material Jetting. Denna metod fungerar likadant förutom att de droppar som läggs ut härdas av ett UV-ljus. Dropparna består av en polymervätska och värms upp till 30-60 grader innan applicering för att få rätt viskositet. (37)

Skrivarhuvudet har likheter med en bläckskrivares och består av flera munstycken för att kunna applicera dropparna effektivt och detta möjliggör även att flera olika material och färgkombinationer kan användas på samma produkt i samma process, se figur 6. (37)



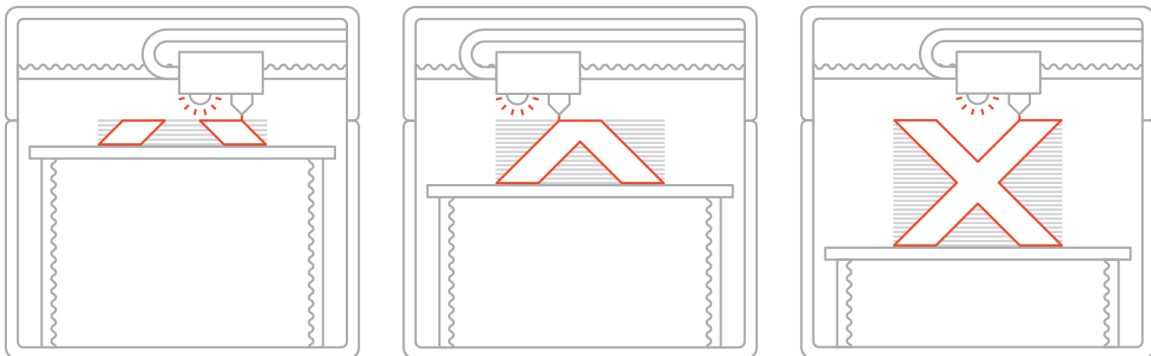
*Figur 6 – Bilden visar det printerhuvud som används vid Material Jetting, bilden är kopierad med tillåtelse (40)*

Figur 7 påvisar möjligheterna med Material Jetting.



Figur 7 – Bilden visar ett resultat av Material Jetting som i medicinindustrin kan användas i utbildningssyfte, bilden är kopierad med tillåtelse (37)

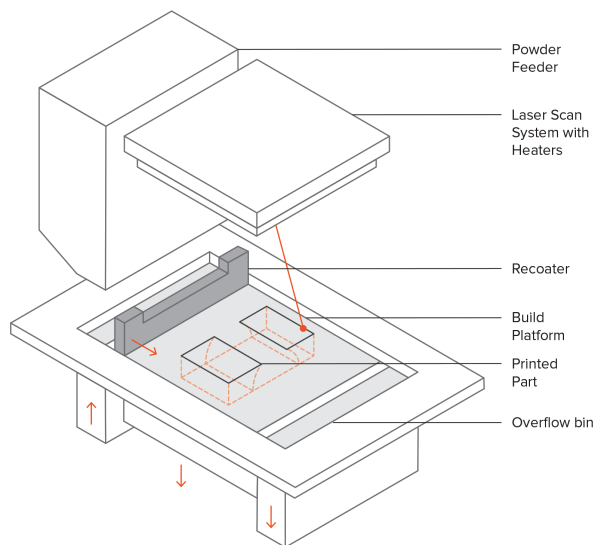
Vid användning av Material Jetting krävs alltid stödstruktur. Stödstrukturen består av ett vaxliknande material som löser sig i vatten. Den slutliga produkten får god ytfinitet, då lagertjockleken är mellan 16 och 31 mikrometer. Dessutom märks det sällan på ytan att en stödstruktur har använts. (37)



Figur 8 – Bilderna visar i tre steg hur processen ser ut vid användning av Material Jetting, bilden är kopierad med tillåtelse (37)

### 2.3.5 Powder Bed Fusion (PBF)

PBF är en metod som har utvecklats till flera olika tekniker. I grunden bygger samtliga tekniker på att ett pulver läggs ut över byggplattan där pulverkornen sammanfogas till ett solitt lager varpå byggplattan sänks ner till en lagertjocklek, vanligen ca 100 mikrometer och processen återupprepas tills man tillverkat en hel produkt. (38)



Figur 9 – Bilden visar hur generellt hur processen ser ut vid PBF, bilden är kopierad med tillåtelse (48)

Powder Bed Fusion kan delas upp i följande metoder:

- SLS (Selective Laser Sintering)
- SLM (Selective Laser Melting)
- DMLS (Direct Metal Laser Sintering)
- EBM (Electron Beam Melting)
- MJF (Multi Jet Fusion)

SLS är den första av tidigare nämnda tekniker inom PBF och utvecklades på University of Texas at Austin, USA. (23) Tekniken går ut på att pulverpartiklar av plast eller keramik sammanfogas med sintring så att partiklarna binder till varandra på en molekylär nivå. Sintringen sker kontrollerat med en laser som styr över området som ska sintras. Den färdiga produkten kan sedan efterbehandlas för att uppnå krävda materialegenskaper men en produkt kan också färdigställas direkt i processen.

DMLS är en metod som liknar SLS förutom att metoden används för metall. Fördelen med att sintra istället för att smälta ihop partiklarna är att man möjliggör en mer kontrollerad process och kan i fler fall undvika stödstrukturer eftersom materialet inte flyter ut. Metoden lämpar sig för legeringar då dessa vanligtvis har högre smältpunkt än grundmaterial.

SLM och EBM är metoder där pulverpartiklarna istället smälts ihop. Man har då ingen porositet som är nackdelen med sintring. Dessa två metoder skiljer sig åt, då de smälter partiklarna. EBM smälter partiklar med en elektronstråle istället för en laserstråle som SLM gör men processen ger inte samma kvalitet som en laser ger. Fördelen med elektronstrålen är att den inte skapar lika höga spänningar i lagren och blir därav mindre beroende av stödstrukturer.

MJF är en metod som kan beskrivas som en kombination av Binder Jetting och SLS. Tekniken går ut på att man applicerar en bindevätska i pulvret som man sedan härdar med IR-ljus. Runtom den applicerade bindevätskan läggs också en vätska vilket hämmar sintringsprocessen som IR-ljuset utgör. Detta ger mer detaljerade produkter. En ytterligare fördel är att 80 % av överskottspulvret kan återvinnas istället för de 50 % som återvinns vid SLS. (32)

### 2.3.6 Sheet Lamination

En av de första kommersialiserade additiva tillverkningsmetoder var Laminated Object Manufacturing. Laminering syftar till att binda tunna blad samman. Detta innebär att blad av papper utvalsas med CO<sup>2</sup> laser och sammanfogas sedan genom olika metoder beroende på vilket resultat man vill uppnå. Varje blad representerar ett tvärsnittslager av CAD-modellen. (47) Precisionen av resultatet beror främst på tjockleken av de blad som används som lager vilka vanligen ligger på 100-190 mikrometer. (42) Genom åren har användandet av olika material och strategier inom skärning utvecklats. På grund av konstruktionen, är det de yttre konturerna som avlägsnas med laser, bladen kan antingen skäras och sedan bli ihopsatta eller bli ihopsatta först och sedan skäras.

Sheet Lamination kan kategoriseras baserat på vilken sammanfogningsmetod av tunna blad som används. Här kommer enbart den mest populära metoden presenteras, vilket är bindning med lim eller klister. Vidare finns även termisk bindning, sammanfogning i form av klämmor och sammansvetsning med ultraljud. (47)

#### Bindning med lim eller klister

Den mest populära lamineringsmetoden inkluderar papper som material och ett polymerbaserat klister. Potentiellt kan vilket material som helst användas, om de uppfyller kraven, dels att konturerna ska kunna bli precist avlägsnade med laser och att de kan sammanfogas. Vidare delas denna metod upp beroende på vilken ordning som bladen binds eller skärs. I den process då sammanfogning sker först och skärning därefter, består av tre steg. Först placeras laminatet, sedan binds det till substratet och sist skärs det. En varm kavel rullar över arket efter varje gång ett nytt lager läggs, detta gör att limmet smälter och skapar en bindning mellan lagren. En laser skär mellan 100-190 mikrometer. (42) Det oanvända materialet är kvar i form av stöd. Detta upprepas tills delen är färdigställd. Ofta krävs efterbehandling vid denna metod då stödmaterial behöver tas bort. Fördelar med denna metod är att krympningen är liten, stora delar kan byggas relativt snabbt, stor variation av material kan användas, papper, plast, metall, keramer etc. Låg material-, maskin- och processkostnad gentemot andra AM-metoder. (42)

Gällande den andra processen då skärningen sker först och därefter sammanfogning, är fördelaktig då inre funktioner och kanaler krävs. Ett passande material i form av blad, placeras på en hållare och skärs i den bestämda formen. Därefter placeras den på tidigare blad. Denna metod förhindrar risken att skära i tidigare lager, till skillnad mot den förstnämnda processen då skärning sker efter att lagret placerats på tidigare lager. (47)

### 2.3.7 Direct Energy Deposition (DED)

DED delas upp i två undergrupper, Laser Engineered Net Shaping (LENS) och Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM). Metoderna har likheter med den konventionella metoden, svetsning och kan användas för polymerer, keramer och metaller. Med denna teknik fås en relativt tjock lagertjocklek på 250 mikrometer. (43) Vanligtvis är det metall man använder med denna metod och tillsatsmaterialet kan vara av formen tråd eller pulver. (47) För att få specifika materialegenskaper på önskade områden är det med denna metod möjligt att konstruera en detalj med olika tillsatsmaterial. (45)

LENS är en metod där inert gas används för att skydda smältan då man tillsätter tillsatsmaterialet. Smältan skapas i detta fall av en laser där tillsatsmaterialet placeras i smältan. (46) Metoden används mestadels för påbyggnad på redan existerande produkter. Påbyggnaden tillsätts från ett munstycke som är fixerat på en fyr- eller femaxlig arm. (47) Produkten som skapas är även den på en fleraxlig plattform som kan röra sig relativt munstycket för att undvika ett överhäng på det nyligen tillsatta materialet. (45)



*Figur 10 – Bilden visar munstycket som används vid LENS, bilden är kopierad med tillåtelse (46)*

EBAM är en metod initialt framtagen för användning i rymden och arbetar i vakuum. Smältan genereras av en elektronstråle som gör metoden mer effektiv. (46)

## 2.4 Fördelar med additiv tillverkning

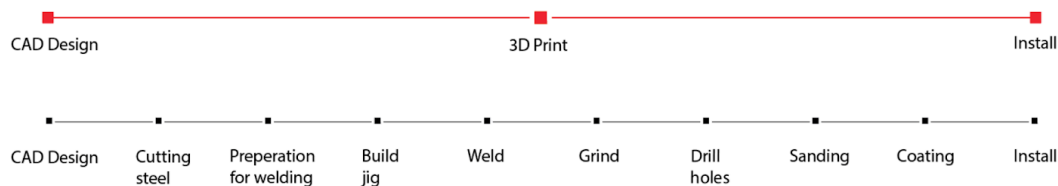
Additiv tillverkning beskrivs i dagens samhälle, många gånger som revolutionerande produktutveckling och tillverkning som har flertalet fördelar. (23) Genom att förstå de fördelar som är behäftade med additiv tillverkning ges möjligheten att ta ett säkrare beslut vid val av tillverkningsmetod. Då det finns många olika teknologier, tidigare beskrivna, vill man belysa att de fördelar som kommer presenteras är generella.

### 2.4.1 Hastighet

En av de främsta fördelarna inom additiv tillverkning är dess snabba hastighet, som ofta diskuteras i artiklar och liknande jämfört med konventionella tillverkningsmetoder. Denna fördel handlar inte bara om att en komponent snabbt tillverkas i en AM-skrivare, utan att hela produktutvecklingsprocessen - från idé till färdig produkt, blir snabbare. (23) Vilket innebär att ledtiden blir reducerad. En komplex design kan laddas upp från en CAD-fil och vara klar inom några få timmar. (24)

## 2.4.2 Reduktion av steg och flexibilitet vid framställning av produkt

Vid framställning av en produkt krävs det ofta flera tillverkningssteg med konventionella metoder. Figuren nedan visar ett exempel på antal steg vid framställning av ett specialbeställt metallfäste, för additiv tillverkning och tillverkning med konventionella metoder. Det framgår tydligt att AM-skrivaren färdigställer komponenten i ett steg, och kräver ingen interaktion med en operatör. (24) En CAD-fil behövs för båda tillverkningsmetoderna men därefter skiljer de sig mycket, framställning av en komponent vid användning av konventionella metoder kräver flera steg innan installation. (24)



Figur 11 – Den övre röda tillverkningsprocessen visar additiv tillverkning och den undre svarta visar tillverkning med konventionella metoder, bilden är kopierad med tillåtelse (23)

Att producera produkter i ett enda steg skapar inte bara frihet för formgivaren utan också stor flexibilitet. Då det enda som behöver ändras, när en justering krävs vid utveckling av en produkt med additiv tillverkning, är en CAD-fil eftersom den inte kräver något specifikt produktionsverktyg, som en form eller liknande. Vid användning av konventionella metoder som tidigare visats, kan borrar, fräsning och svetsning krävas, vilket ökar tiden och felrisken. Dessutom kan en eller flera verktyg behövas vid konventionell framställning, vilket är kostsamt och tar tid. (23)

Eftersom det är billigare att tillverka en prototyp med additiv tillverkning än vad det är att omdesigna eller förändra en existerande form sparar man inte bara tid och pengar utan minskar risken att investera i fel form. (23)

För att skapa en framgångsrik produkt behöver man lyssna på kunden och möta deras behov. Flexibiliteten i additiv tillverkning gör det enklare att kundanpassa produkter och liknande, då produktionsverktyg inte krävs. Med konventionella metoder används däremot produktionsverktyg som är mycket kostsamma att kundanpassa vilket kommer öka produktionskostnaden per produkt. (25)

## 2.4.3 Komplexitet och design vid tillverkning

De krav som ställs på en produkt vid tillverkning på grund av konventionella metoder förhindrar utvecklingen av produkten. Historiskt sett har geometri, som ex. hål som ändrar riktning eller inre kvadratiska hålrum, varit problematisk vid traditionell tillverkning. Designkrav som släppningsvinklar, verktygskrav etc. krävs generellt inte vid additiv tillverkning då komponenterna är konstruerade med ett lager i taget. (23) Vilket skapar en stor frihet för formgivaren som kan fokusera på att integrera fler funktioner i färre delar istället för att skapa delar som begränsas av flertalet designkrav. Genom att integrera funktioner i färre delar uppnås färre monteringssteg. (25)



En viktig parameter i fordonsindustrin är vikt då den står i direkt relation till bränsleförbrukning och batteritid. Då designkrav som gäller för konventionella metoder, inte behöver tas hänsyn till vid additiv tillverkning kan utseendet och designen på komponenten förändras. Genom att reducera vikten av materialet, skapas inte bara värde för kunden utan också för företaget då det ger kortare tillverknings tid och mindre användning av material beroende på mängd av stödmaterial. Till skillnad från konventionella metoder kan det ta längre tid då mer material i det fallet behöver tas bort som i sin tur leder till ökat slöseri av material. (25)

#### **2.4.4 Ekonomiska fördelar**

Kostnader kopplade till tillverkning kan enligt Redwood (23), delas upp i tre kategorier, vilka är följande:

*Maskinens operationskostnad:* Mindre 3D-skrivare (desktop) försörjs ungefär med lika mycket energi som en laptop. 3D-skrivare som är större och används i industriell tillverkning konsumerar mycket energi. Men förmågan att tillverka komplexa geometrier i ett steg bidrar till ökad effektivitet och högre avkastning. Då skrivaren är större, kan fler enheter tillverkas alternativt en större enhet. Vid additiv tillverkning har skrivarens operationskostnad generellt lägst inverkan på tillverkningskostnaden.

*Materialkostnad:* Materialkostnaden varierar mycket mellan de olika teknologierna inom additiv tillverkning. Vilket gör det svårt att göra en generell jämförelse med konventionella metoder. Vid additiv tillverkning är materialkostnaden den som utgör störst del av kostnader kopplade till tillverkningen. Däremot är additiv tillverkning fördelaktig gentemot konventionella metoder gällande framställning av artiklar i låga volymer.

*Arbetskostnad:* Denna kostnad är den största fördelen vid additiv tillverkning, då det som behövs vid additiv tillverkning är en operatör som trycker på en knapp, om inte komponenten kräver efterbehandling. Vid tillverkning med konventionella metoder, krävs kompetenta operatörer och maskinister anställda som kräver lön vilket till skillnad mot automatiserade 3D-skrivare där operatörer till viss del behövs, men inte alls i samma utsträckning.

#### **2.4.5 Miljöpåverkan**

Vid användning av traditionella metoder som svarvning och borring, resulterar det i bortfall av material. Utgångsläget är ett block, som sedan bearbetas ner till den avsedda konstruktionen. Medan vid additiv tillverkning används generellt det faktiska materialet som går åt till komponenten. Additiv tillverkning är inte bara mer miljövänlig än traditionell tillverkning utan man sparar även mer pengar i och med materialet.

### **2.5 Begränsningar inom additiv tillverkning**

De begränsningar som är behäftade med additiv tillverkning kommer att tas upp för att få ta del av båda sidorna av teknologin. Begränsningar finns både inom teknologiska och ekonomiska perspektiv. (24)

De användningsområden som lämpar sig bra till additiva tillverkningsmetoder idag är kundanpassade detaljer, lågvolymproduktion och detaljer med geometrisk komplexitet. Gällande storskalighets fördelar – minskning av produktionskostnaden på grund av ett stort antal producerade varor – är konventionella metoder mer fördelaktiga vilket beror på skillnaden i cykeltid. Givet att den långsammare cykeltiden för additiv tillverkning ofta har gentemot produktion med konventionella metoder, kan i vissa fall vara fördelaktiga då additiv tillverkning ger möjlighet att reducera slöseri av material, konsolidera detaljer etc. Dessutom kan skillnader mellan satsstorleken vara problematiskt ur ett kvalitetsperspektiv vilket kan skapa kostnader och påverka företagets varumärke negativt.

Vidare existerar även begränsningar gällande material och byggstorlek, dock är dessa i ständigt utveckling. Då konventionella metoder har använts under en längre tid gentemot additiv tillverkning, finns en större tillgång till data huruvida material ger olika beteenden och funktionaliteter vid tillverkning.

Dessutom producerar många AM-skrivare endast detaljer med ett material åt gången. Det finns AM-skrivare som möjliggör tillverkning i flera material samtidigt, men resultatet av sammansättningen kan variera.

### **3. METOD**

För att besvara frågeställningar och uppnå syftet har en litteraturstudie utförts i syfte att komplettera kunskaper som tidigare erhållits från kurser inom produktion och tillverkning. För att ta in ytterligare data, utöver litteraturstudien, har semistrukturerade intervjuer utförts med personer från flera olika avdelningar på Volvo Penta. Man ville också bilda en uppfattning om kunskapsnivån gällande additiv tillverkning hos de anställda. Genom intervjuer har åtta konkreta fall där additiv tillverkning bedömts kunna öka affärens lönsamhet eller höja kundvärdet framtagits. Utöver det har vi deltagit i ett projekt internt på Volvo Penta inom additiv tillverkning. Där diskuterades bland annat VOR, Vehicle Off Road med anställda från Volvo Penta som innebär att en produkt från Volvo Penta havererat och orsakar att kundens arbete blir stillastående.

Källorna till litteraturstudien har utgjorts av tidigare rapporter på såväl kandidatnivå som masternivå. Då additiv tillverkning befinner sig i ett tidigt stadie har forskningsrapporter och vetenskapliga texter behandlats. Utöver det har artiklar och texter från erkända organisationer och företag verksamma inom additiv tillverkning behandlats.

All data som har samlats in har analyserats för att dra slutsatser kopplade till frågeställningarna.

#### **3.1 Litteraturstudie**

För att få ökad förståelse och kunskap om bakgrunden till additiv tillverkning har akademiska texter som behandlar ämnet studerats. I Chalmers databaser och bibliotek har arbeten inom additiv tillverkning som tidigare utförts hämtats. För att finna ytterligare rapporter, vetenskapliga publikationer och artiklar har sökmotorer som Google Search och Google Scholar använts. Givet är att vara källkritisk.

#### **3.2 Intervjuer**

För att kunna besvara frågeställningarna då de har berört processer inom och mellan parter i branschen ansågs intervjumetoden som bäst lämpad för att erhålla en bred variation av data som i sin tur har analyserats för att sedan dra slutsatser. Innan varje intervju har en diskussion förts i projektgruppen om var fokus bör ligga, beroende på vem som har intervjuats. Ett antal frågor togs fram som utgångspunkt för alla intervjuer men generellt har intervjuerna varit semistrukturerade. Detta för att personen som blev intervjuad skulle ha möjlighet att prata fritt, fördjupa sina svar och inte känna sig begränsad. De generella frågorna som ställdes var "Vad vet du om additiv tillverkning?", "Vad är din tanke om vårt examensarbete?", "Har du några fall där du anser att additiv tillverkning kan vara lönsamt?". För att uppnå effektivitet har information om rapporten skickats till respondenten innan mötet.

Genom att titta på Volvo Pentas organisationskarta fann man ansvariga personer för varje avdelning i hela företagets led. Dessa personer har varit ett utgångsläge i urvalet att hitta relevanta personer att intervjuas. Med hjälp av handledare togs personer som är insatta och som täcker hela kedjan på Volvo Penta fram. Då många intervjuer har utförts spelades dessa in givet att personen som blev intervjuad tillät det.

Under intervjuerna förklarades detta arbete för att ge intervjupersonen förståelse om vad målet med intervjun var för att sedan diskutera additiv tillverkning allmänt, detta för att få en uppfattning om intervjupersonens kunskaper om additiv tillverkning. Slutligen ledde flera av intervjuerna till att den intervjuade kom med förslag på komponenter som man ansåg var möjliga att tillverka med additiv tillverkning. Då en intervjuad person föreslog en eller flera komponenter skickades en eller flera CAD-filer på komponenten/komponenterna vilket möjliggjorde vidare undersökning.

Detta utfördes för att förstå Volvo Pentas syn och behov av additiv tillverkning och diskutera möjligheterna utifrån flera olika perspektiv.

### **3.3 Avvägning och tillverkning**

Efter att de utvalda personerna intervjuades, mottogs åtta olika fall i syfte att arbeta vidare med dessa. Möjligheten att tillverka dessa komponenter med additiv tillverkning undersöktes. Additiv tillverkning som metod jämfördes sedan med konventionella metoder för att ha möjlighet att utvärdera lönsamheten samt andra värdefulla parametrar.

När intervjuerna var sammanställda mottogs åtta CAD-filer från de intervjuade som kommit med förslag på komponenter. Om någon CAD-fil skulle saknas, skickades en förfrågan per mail till ansvarig person för komponenten eller den som blivit intervjuad. Utöver CAD-filen, ställdes även frågor gällande komponentens material till de intervjuade, som hur mycket värme materialet tål, dess hållfasthet och andra viktiga parametrar man bör känna till för att kunna undersöka fallen närmare.

När alla CAD-filer var mottagna, skickades en offert med materialkrav inklusive filerna till en leverantör till Volvo Penta som är verksamma inom additiv tillverkning. Leverantören skickade sedan tillbaka ett anbud med viktiga parametrar som kostnad och tid för de valda komponenterna. I de fall Volvo Penta inte hade ett sekretessavtal med en leverantör inom additiv tillverkning skrevs ett avtal med respektive leverantör. Detta utfördes i syfte att ställa additiv tillverkning och konventionella metoder mot varandra och undersöka skillnader och likheter av de viktiga parametrarna. Syftet var även att undersöka huruvida den additivt tillverkade modellen uppfyller de materialkrav som tidigare har frågats efter för de olika fallen.

För att få detaljerad information med avseende på hur dessa åtta komponenter hade producerats utifrån konventionella metoder fördes en dialog med den ansvarige för affären berörande varje fall. Dessutom fördes en dialog med inköp på Volvo Penta gällande komponenternas verktygskostnader och dess styckpriser.

Resultatdiagram utfördes då det var möjligt till respektive komponent för att kunna utvärdera när det är värt att använda sig av additiv tillverkning. Utöver den kostnadsinformation som togs från inköp på Volvo Penta fördes ytterligare dialog med underleverantörer till Volvo Penta.

## 4. RESULTAT

I detta kapitel kommer resultat som metoden har resulterat i, presenteras i följande delkapitel, problemdefinition, intervjuer, presentation av valda komponenter och utvärdering av tillverkningsmetoder för valda komponenter.

### 4.1 Problemdefinition

På Volvo Penta undersöks idag huruvida additiv tillverkning är en metod värd att investera i och hur man ska börja använda metoden i sina processer. Dessutom vill man vidareutveckla kompetensen kring metoden inom företaget.

Den problematik som finns idag på Volvo Penta, vilket rapporten fokuserar på, handlar dels om projekt internt och detaljer som blir bortfiltrerade i ett tidigt skede. Gällande interna projekt kan de i vissa fall stå helt stilla i projekt exempelvis då en kund kräver en designförändring och ett nytt verktyg måste tas fram. De detaljer som blir bortfiltrerade i ett tidigt skede, kan handla om en kunds efterfråga av en viss detalj där endast de konventionella metoderna tas i hänsyn då man undersöker lönsamheten av kundens behov.

Därför har man genom intervjuer försökt att samla komponenter där man tror att additiv tillverkning hade kunnat förbättra förutsättningarna. Utöver den insamling av komponenter baserat på den tidigare nämnda problematiken har även fall, som anställda på Volvo Penta ansett vara intressanta att undersöka vidare, tagits i beaktning.

### 4.2 Intervjuer

Intervjuer som har utförts med anställda på Volvo Penta har information om organisationen, förståelse kring anställdas kunskapsnivån inom additiv tillverkning erhållits. Vidare har även intervjuerna gett konkreta fall som senare i rapporten kommer att utvärderas huruvida de är möjliga att bli additivt tillverkade. Vidare har även dialoger förts med privatpersoner och anställda från Volvo Penta på årets båtmässor i Göteborg och Stockholm.

#### Intervju 1

Den första intervjun som utfördes var med Sara Rodelius som är ansvarig för Sales Engineering Industrial på Volvo Penta som tillhör Product Management på industrisidan. På Product Management specificeras produkterna för produktutveckling med hjälp av behovet som finns på marknaden, vilket fås av regionala kollegor på Volvo Penta men även genom kunder på mässor etc. På Sales Engineering har de hand om de tekniska detaljfrågorna för produkterna. Om produktplaneringsfunktionen inom Product Management vill ta fram en produkt till att passa ett segment tittar Sales Engineering på huruvida det är möjligt ur den tekniska aspekten. Svårigheten på Volvo Penta är att de inte har inget fordon, därav vet man inte vart komponenten kommer hamna och passa i applikationen. Sales Engineering är i den tidigare fasen i projektet. När produkten är i applikationen och börjar användas är det eftermarknad som tar över. Vidare rekommenderar Sara att ta kontakt med dealers och reservdelar. Om exempelvis lagerhållning för en komponent sker i 20 år och man kan halvera det till 10 år för att tillverka additivt de resterande 10 åren, hade man enligt Sara kunnat vinna mycket.

Då en kund har ett behov av att förändra en design på en detalj, sker en dialog på Product Management och regionen för att förstå detaljerna och tillsammans med produktplanering se vad möjligheterna är att ta fram något, därur bygger man ett business case. Man tittar på vad möjligheten och vinsten är kontra vad det kommer att kosta och hur lång tid kommer det att ta. Sara anser att vid situationer då man kräver en snabb första prototyp i projekt finns en möjlighet för additiv tillverkning, då ledtider kan kortas ner. Annars behöver man ta fram ett verktyg vilket kostar samt ökar ledtiden och därefter kan man ta fram själva komponenten - genom att hoppa över processen med att ta fram ett verktyg och istället använda sig av additiv tillverkning hade det klart varit fördelaktigt.

Då Sara har kommit i kontakt med additiv tillverkning har det främst handlat om mindre avancerade saker som en modell för att kunna förstå designen. Av den anledningen är det svårt att veta vilka möjligheter som finns med additiv tillverkning.

Vidare rekommenderar Sara att ta kontakt med dealers som hanterar komponenter av låg volym, fältprovgruppen som utför första installationerna av produkter i en kundapplikation som körs en viss tid för att samla in data och verifiera produkten, och reservdelshantering.

Efter intervjun togs den information och input Sara gav i beaktning för att hitta fall som kan tillverkas additivt, som prototyper i projekt. Detta för att kunna få projekt, som står stilla då de inte har ett verktyg att tillverka komponenten med, att exempelvis effektiviseras - minska ledtiden genom additiv tillverkning.

## Intervju 2

Den andra intervjun utfördes med Andreas Nyman, som är chef över fältprov vilka är ansvariga för att verifiera, klarar komponenten kraven som är uppställda i projektet och validera, är kunden nöjd med de kraven som är uppställda. Detta möjliggör fältgruppen genom att testa komponenten i verkligheten.

Ett exempel är en pistmaskin där ett krav från kund är 45 graders lutning, oljesumpen kan bara hantera 32 graders lutning, då en uppsugningstratt som sitter i sumpen ska suga upp oljan och bygga tryck. Men om man lutar den för mycket kommer motorn att stanna. Man har i projektet försökt tillverka en prototyp genom att bygga ihop den med egna händer. Här har Andreas en idé att titta på huruvida det är möjligt att tillverka sumpen med additiv tillverkning.

Ett annat exempel Andreas tog upp handlade om ett EGR-rör som testades i verkligheten för att valideras och verifieras. Röret gick då sönder, i och med att man inte hade hunnit tillverka rör som reservdelar fick rören svetsas ihop. Här menar Andreas att det vore intressant att titta på huruvida det är möjligt att tillverka röret additivt istället för att kunna effektivisera processen.

Under intervjun erhöles kontaktuppgifter till Tomas Mäkk som är ansvarig för oljesumpen och till Johan Persson som är ansvarig för EGR-röret. Detta i avseende att förstå problematiken och för att ta emot CAD-filerna till de båda detaljerna i syfte att kunna utvärdera möjligheten att tillverka sumpen additivt.

### Intervju 3

Under intervjun med Tomas Mäkk diskuterades möjligheterna att tillverka oljesumpen additivt. Framförallt om det är möjligt att uppfylla kravet med additiv tillverkning på dess dimension: 1173.46 x 411.89 x 354.18 (mm). Då kunden ville erhålla sumpen snabbt, tillverkade man en oljesump av aluminium genom gjutning och bearbetning som även skulle gå att använda. Leveranstiden låg på nio arbetsveckor. Sumpen uppfyllde inte kundens önskemål men med modifikationer på prototypen blev oljesumpen godkänd men försenad. Under intervjun diskuterades en alternativ lösning till problemet, att man genom additiv tillverkning framställer en prototyp av PLA för att se om den uppfyller kundens krav och önskemål för att från början kunna tillverka en korrekt funktionell produkt. Vidare diskuterades även att kundvärdet ökar då en prototyp kan tas fram snabbt till kund.

### Intervju 4

Från intervjun med Robert Holmdahl som arbetar med strategi och affärsutveckling på eftermarknad diskuterades främst lagerhållning samt begränsningar. Enligt Robert vore det intressant att titta på möjligheten att tillverka det som lagerhålls med additiv tillverkning vid behov. I vissa fall utför man ett sista köp, ett uppköp som lagerhålls där tanken är att komponenten ska uppfylla kunders behov livet ut. I vissa fall behöver man köpa in en enorm mängd detaljer för att den ska kunna täcka behov livet ut, vilket i sin tur innebär en stor kapitalbindning. Hade man istället tillverkat detaljen additivt vid behov hade man sänkt kapitalbindningen. På Volvo Penta idag, ligger ett sista uppköp som ska räcka livet ut på 15 år. Därför hade man med additiv tillverkning kunnat lova oändlig tillgång.

Problemet man inser är att många produkter på Volvo Penta idag endast finns i form av 2D-ritningar. Därav har man inte underlaget att tillverka additivt, då en 3D-fil krävs. Dessutom har man i många fall inte testat att tillverka produkten additivt, därför finns det en osäkerhet huruvida nya materialegenskaper skulle uppträda som i sin tur leder till en risk gällande säkerheten. De detaljer som inte är säkerhetskritiska skulle enligt Robert kunna fungera att bli additivt tillverkade, men då kvalitetsproblem är saker som bland annat inte glöms bort av kunder bör man vara försiktigt. Vidare är de detaljer som finns i Volvo Pentas utbud idag, konstruerade och designade för att bli tillverkade med konventionella metoder. Robert menar att omdesigna i syfte att optimera för additiv tillverkning hade kostat pengar, likväl att omvandla en 2D-ritning till en 3D-fil, därför ställs frågan om det är värt det.

Volym och material är två parametrar som diskuterades och ansågs vara viktiga vid den jämförelse som kommer att utföras i slutet av resultatdelen, mellan konventionella metoder och additiv tillverkning. Vidare diskuterades hur mycket det kostar att tillverka en detalj additivt, hur många ingenjörstimmar det skulle ta att omvandla en 2D-ritning till en 3D-fil samt dess kostnad. Denna kostnaden kommer också tas i beaktning vid tidigare nämnd jämförelse.

Under intervjun bjöd Robert in Emil Karlsson, som arbetar på Volvo Penta som produktchef. Han föreslog en detalj som kommer undersökas vidare som ett fall, vilket är ett reglage till en segelbåt. Idag tillverkas den i polerat rostfritt stål, när denna togs fram för tre år sedan var ett av kraven att den skulle vara i rostfritt stål då det ansågs starkast, men problemet är att det blir dyrt. Därför hade Emil en idé att tillverka spaken additivt i ett plastmaterial som möjligt blir infärgat i den färgen kunden vill ha eventuellt bli lackat, men helst inte då repor kan uppkomma. Man skulle även kunna tillverka reglaget additivt kombinerat med olika material.

## Intervju 5

Johan Persson kunde inte delta på femte intervjun däremot bjöd han in och bad oss träffa Mikael Eriksson, Terese Lindmark, Fredrik Nettelblatt och Jonas Lundh. Vidare på intervjun diskuterades EGR-röret som Andreas Nyman föreslagit, ett EGR-rör för två motorer, D5 och D8 erhöles som två fall. Under samtalet mottogs ytterligare två fall vilka är en blandningskammare och ett grenrör båda för en D5-motor.

Utöver de fyra nya fallen fördes en diskussion huruvida det är möjligt att göra en omdesign som tillämpar sig för additiv tillverkning. Då de komponenter som finns tillgängliga idag är optimerade utifrån konventionella metoder. Med additiv tillverkning skapas nya förutsättningar då man inte behöver ta hänsyn till begränsningar som släppningsvinklar, radier och geometriska former.

## Intervju 6

Sjätte intervjun utfördes med Hannes Norrgren som är chef över marknad för industri i Europa. Vilka är närmast kund i kedjan på Volvo Penta. Under intervjun diskuterades additiv tillverkning generellt och möjligheterna att tillverka oljesumpen additivt. Vidare gav han input gällande hur viktigt det är att ta ledtiden i beaktning och försöka minska den, samt att det är svårt ur ett marknadsperspektiv att göra små förändringar då det tar lång tid och kostar mycket pengar. Hannes berättar om en lista kallad "Market Request" som innehåller runt 200 fall, där kundbehov som Volvo Penta inte kan uppfylla för tillfället ligger. Vid behov av fler fall kan Sara Rodelius kontaktas igen för att få tillgång till denna lista.

Vidare rekommenderade Hannes att ta kontakt med tre personer globalt då fler fall skulle behövas.

## Intervju 7

Under sjunde intervjun diskuterades möjligheter och begränsningar med additiv tillverkning generellt tillsammans med Patrik Årstrand. Gällande kostnaden säger Patrik att skrivaren givet kan vara väldigt dyr, men det vore intressant att veta när man bör tillverka additivt och när man bör ta fram ett verktyg. Utöver det anser Patrik att det även vore intressant att få fram en nollpunktsanalys för att ta reda på när resultatet varken går med förlust eller vinst. Utöver det är det också viktigt att detaljen blir lika stark med additiv tillverkning som den bli vid tillverkning med konventionella metoder.

Han berättar specifikt om ett fall med en kund då man inte fick ihop ett antal rör där en övergång krävdes, en övergång med v-klämma och en o-ring. För att lyckas med övergången krävs bearbetning, därför menar Patrik att det hade varit av intresse att jämföra tillverkningen av röret med konventionella metoder och additiv tillverkning.

Från intervjun tas tidigare nämnt rör vidare för att kunna möjliggöra en jämförelse. Utöver det tas även två andra komponenter vidare, en avgasfläns och ett kylvattenrör.



## Intervju 8

När intervjun med Bodil Hägg utfördes hade åtta fall erhållits från de tidigare intervjuade personerna. Under intervjun diskuterades möjligheter med additiv tillverkning, exempelvis huruvida det är möjligt att tillverka förpackningar, till produkter, med additiv tillverkning. Dessutom diskuterades även tidigare nämnd problematik, kring de komponenter som endast finns tillgängliga i 2D-ritningar.

Bodil rekommenderade att ta kontakt med två personer från inköp och en person på utveckling av packning. För att begränsa arbetet och arbeta vidare med de fall som tidigare erhållits togs ingen kontakt med de tre nämnda personerna från intervjun.

## Under båtmässan

Vid båtmässor i Stockholm och Göteborg erhöles inga fall men däremot diskuterades att den tiden det tar att få tag på en reservdel var enligt kunder något som kan förbättras. Detta är något som stärker tesen om additiv tillverkning som en framtida och uppkommande tillverkningsmetod.

### 4.3 Presentation av komponenter

Totalt sett har åtta komponenter erhållits utifrån de intervjuer som har genomförts. Komponenternas funktion, tillverkningskostnad, leveranstid och material kommer att presenteras nedan, dels vid användning av konventionella metoder men också hur det hade sett ut vid användning av additiv tillverkning. Detta för att möjliggöra en jämförelse mellan additiv tillverkning och tillverkning av konventionella metoder.

De material som väljs vid additiv tillverkning utgår från konventionella metoders designkrav. Därav kommer materialet vid additiv tillverkning antingen väljas att det är detsamma som det material som tillverkas med konventionella metoder. Annars kommer materialet väljas med liknande materialegenskaper.

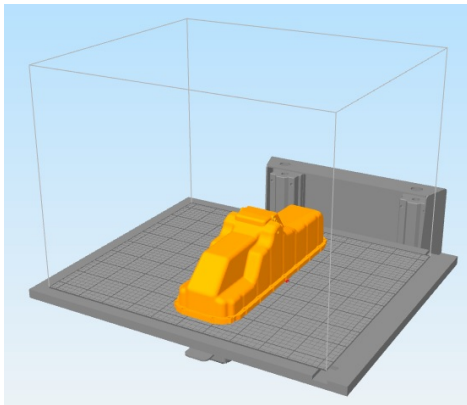
Den data gällande material, leveranstid, tillverkningsmetod och funktion av komponenter med avseende på konventionella metoder som utvärderingen baseras på, har erhållits från produktägare till vardera komponent. Den kostnad som tas i beaktning gällande konventionella metoder är styckpris och verktygskostnad. Dessa kostnader har erhållits från inköp på Volvo Penta.

Den data som erhållits gällande leveranstid och kostnad kopplade till avseende på additiv tillverkning har utgått ifrån rekommenderade leverantörer från Volvo Group inom additiv tillverkning.

För att kunna identifiera den volym då additiv tillverkning är mer lönsamt än befintlig tillverkningsmetod kommer ett resultatdiagram presenteras om möjligt under varje komponent. Diagrammet beskriver förhållandet mellan konventionella metoder och additiv tillverkning baserat på de kostnader som mottagits för respektive komponent.

I syfte att få en ytterligare dimension i jämförelsen mellan additiva och konventionella tillverkningsmetoder för EGR-rören och avgasflänsen, då all kostnadsinformation gällande komponenterna inte fanns att tillgå, kommer även prototypkostnad att presenteras.

### 4.3.1 Komponent 1 - Oljesump

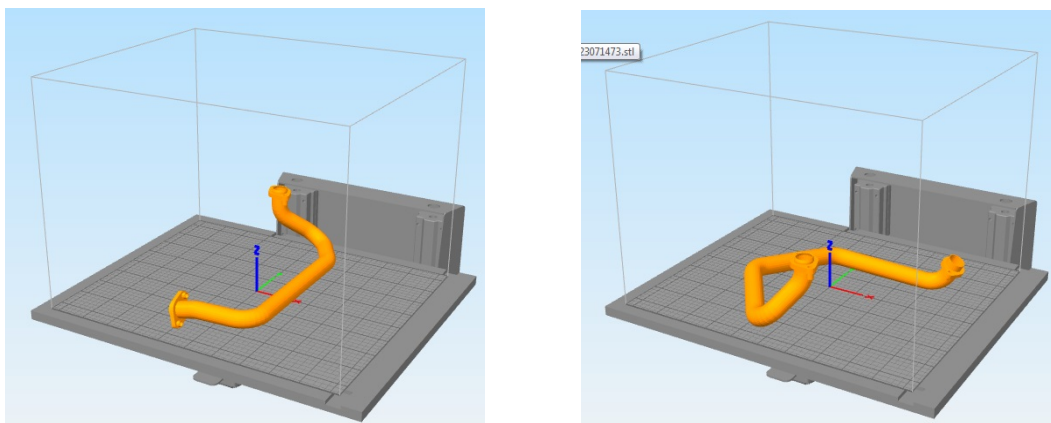


Figur 12 – Komponent 1, Oljesump, visas i CAD-format

Oljesumpen håller oljan under motorn som ska återanvändas för att smörja motorn. Då oljan ligger under motorn har oljesumpen en kylande effekt på oljan. I syfte att kunna presentera oljesumpen visuellt för kunden samt att möjliggöra provmontering på motorn för att testa funktionalitet och passform, är tanken att additivt tillverka en prototyp av sumpen i materialet PLA.

När projektet krävde att ta fram en prototyp av en sump i syfte att provmontera denna på motorn, användes tillverkningsmetoden gjutning och bearbetning i aluminium. Detta kostade totalt 170000 svenska kronor och leveranstiden låg på nio arbetsveckor. När CAD-filen av sumpen skickades till leverantör framkom att kostnaden låg på 30 000 svenska kronor med tillverkningsmetoden FDM med materialet PLA. Detta skulle ta ca 3-4 veckor.

### 4.3.2 Komponent 2 & 3 - EGR-rör till D5 och D8



Figur 13 – Komponent 2 & 3, EGR-rör till D5 respektive D8, visas i CAD-format

Funktionen för ett EGR-rör är att föra tillbaka avgaser till insuget för att uppnå högre temperatur i bränsleblandningen. Rören består av tre olika komponenter, alla bestående av olika material för att kunna reagera olika på värmen som rören utsätts för.

EGR-rören för D5 och D8 är ej i produktion ännu. Båda EGR-rören har framställts genom bockning av ett rakt rör i materialet VSST1,4509 STD311-0011 till önskad form. Därefter har

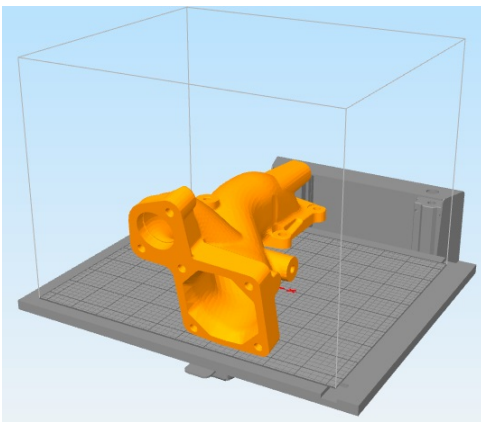
en fläns med två hål svetsats av materialet VSST1,4003 STD311-0011 på röret. I de två hålen tillkommer hylsor i respektive hål med materialet VSST1,4541 STD311-0011.

Styckpriset för EGR-röret i D5 och D8 är 305 respektive 358 svenska kronor. Verktögskostnaden för EGR-röret i D5 och D8 är 140 933 respektive 149 347 svenska kronor. Leveranstiden för båda rören är 16 veckor 12 veckor är från lagt order till FOT och 4 veckor är från PPAP till leverans. Minsta beställningsorder för respektive EGR-rör har inte kunnat tillgås. Av denna anledning kommer ett resultatdiagram inte presenteras. Däremot är prototypkostnaden 15 000 svenska kronor för respektive rör, detta presenteras i syfte att få en uppfattning av prisbilden i tidigt stadie.

Den tänkta additiva tillverkningsmetoden för EGR-rören är SLM. Men då komponenten består av tre olika material kommer tillverkningsmetoden SLM inte vara möjlig. Detta leder till att hela röret behöver tillverkas i samma material. Det material som leverantör kan erbjuda för att uppfylla EGR-rörens materialkrav är inconel 625. På grund av rören storlek sker tillverkning av röret i tre olika delar som sedan behöver svetsas samman.

Gällande additiv tillverkning hade tillverkningskostnaden legat på 18 883 svenska kronor för D5 respektive 20 224 svenska kronor för D8. Dessutom tillkommer en kostnad för vardera rör på 10 300 svenska kronor enligt leverantör gällande förberedelser av CAD-fil. Leveranstiden är 2 veckor för båda EGR-rören.

### 4.3.3 Komponent 4 - Blandningskammare till D5



*Figur 14 – Komponent 4, Blandningskammare till D5, visas i CAD-format*

Denna blandningskammare har ännu inte släppts. Tillverkningsmetoden är gjutning och materialet är aluminium. (VAC43100+KF STD 312-0001 alternativt EN1706 AC-4300+KF)

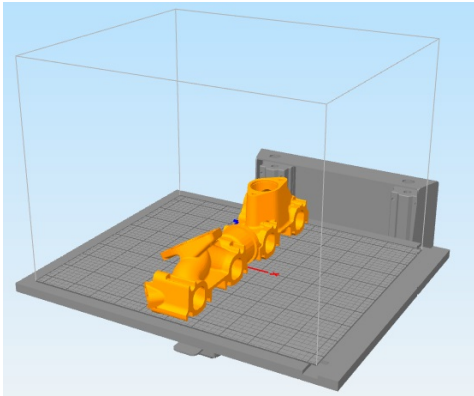
Då detaljen ännu inte är släppt finns inte data att tillgå gällande styckpris, verktögskostnad, leveranstid, minsta beställningsorder. Vilket omöjliggör jämförelsen mellan befintlig tillverkningsmetod och additiv tillverkning. Därav kommer inte ett resultatdiagram presenteras.

Den additiva tillverkningsmetoden SLM hade använts vid framställning av blandningskammaren. Enligt leverantör hade kammaren kostat ca 31 265 svenska kronor. Det material som tillverkas med konventionella metoder fanns inte tillgängligt hos leverantör,

därför valdes AlSi 10 Mg vilket är ett material med bättre materialegenskaper gentemot de material som tillverkas med konventionella metoder. Genom diskussion med leverantör framkom också att tillverkning i det rostfria stålet 316L hade kostat ca 50 000 svenska kronor.

En ytterligare leverantör erbjuder inconel 625 som material, vilket överträffar de materialkrav som ställs, tillverkningskostnaden ligger på 26 312 svenska kronor dessutom tillkommer en kostnad med avseende på förberedelser av CAD-filen på 4 953 svenska kronor.

#### 4.3.4 Komponent 5 - Grenrör till D5



Figur 15 – Komponent 5, Grenrör till D5, visas i CAD-format

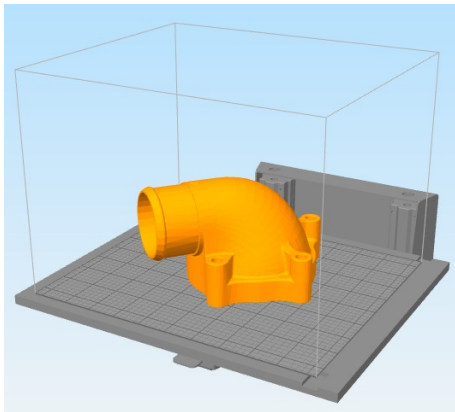
Funktionen för detta grenrör till en D5-motor, är att sammanföra avgaserna från alla cylindrar ut genom en öppning varpå avgassystemet ansluts.

Grenröret är ej i produktion ännu. Tillverkningsmetoden är gjutning och bearbetning, materialet är okänt.

Styckpriset för grenröret är 860 svenska kronor och verktygskostnaden ligger på 500 000 svenska kronor. Leveranstiden är 20 veckor varav 15 veckor från lagd order till FOT och 5 veckor är från PPAP till leverans. Minsta beställningsorder för grenröret är 100 stycken.

Den additiva tillverkningsmetoden för grenröret är SLM. Tillverkningskostnaden hade legat på 84 612 svenska kronor dessutom tillkommer en kostnad gällande förberedelser av CAD-fil på 12 382 svenska kronor. Leveranstiden är 2 veckor för grenröret. Materialet leverantören erbjuder är inconel 625.

### 4.3.5 Komponent 6 - Kylvattenrör



Figur 16 – Komponent 6, Kylvattenrör, visas i CAD-format

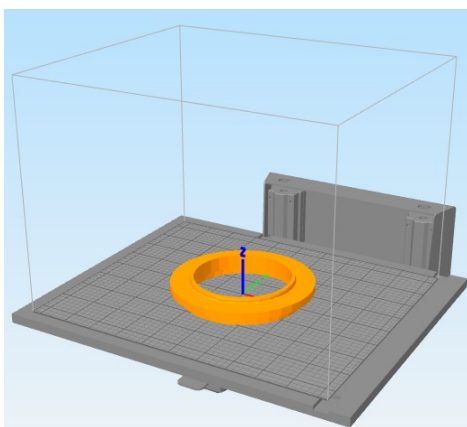
Kylvattenröret transporterar kylvatten från termostaten till motorns kylvattenkanaler.

Kylvattenröret är i produktion. Idag framställs kylvattenröret genom gjutning och bearbetning i materialet AlSi 10 Mg.

Styckpriset för detaljen är 32 svenska kronor, vidare ligger verktygskostnaden på 446 989 svenska kronor och minsta beställningsorder för denna detalj är 288 stycken. Leveranstiden är 2-3 veckor.

Den additiva tillverkningsmetoden för röret är SLM. Leverantören som CAD-filen skickades till hade möjlighet att tillverka röret additivt i samma material som används vid konventionella tillverkningsmetoder, AlSi 10 Mg. Den totala kostnaden för tillverkning är 22 221 svenska kronor. Leveranstiden är 4-19 dagar.

### 4.3.6 Komponent 7 – Avgasfläns



Figur 17 – Komponent 7, Avgasfläns, visas i CAD-format

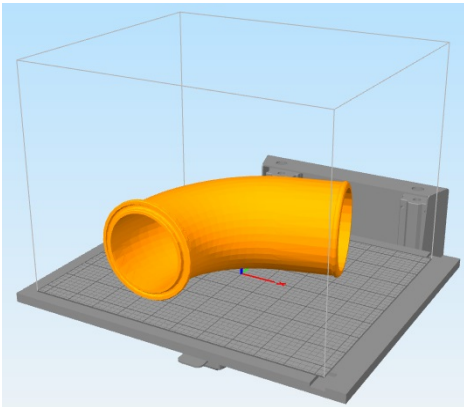
Avgasflänsen svetsas fast på avgasröret som en adapter för att möjliggöra montering av en turbo eller ljuddämpare med v-klämma.

Avgasflänsen tillverkas genom gjutning och senare svarvning i 1312 stål.

Styckpriset för detaljen är ca 84 svenska kronor med en verktygskostnad på 200 000 svenska kronor. Leveranstiden är 2-3 veckor då detaljen är i produktion för tillfället. Minsta beställningsorder för avgasflänsen har inte kunnat tillgås. Av denna anledning kommer ett resultatdiagram inte presenteras. Däremot är prototypkostnaden 3 500 svenska kronor vilket presenteras i syfte att få en uppfattning av prisbilden även i tidigt stadie.

Den additiva tillverkningsmetoden för grenröret är SLM. Materialet som används vid konventionella tillverkningsmetoder fanns inte tillgängligt hos leverantör, istället skulle komponenten tillverkas i "maraging steel AM". Den totala kostnaden för processen hade varit 17 142 svenska kronor är 3-16 dagar.

#### 4.3.7 Komponent 8 - Rör från turbo med V-klämma



Figur 18 – Komponent 8, Rör från turbo med V-klämma, visas i CAD-format

Används som en adapter mellan turbo och avgasrör för att dessa ska kunna monteras ihop med en V-klämma.

Röret är i produktion och tillverkas idag genom gjutning och senare bearbetning i aluminium (VAC43100+KF STD 312-0001).

Styckpriset för detaljen är 132 svenska kronor, däremot är verktygskostnad inte tillgänglig. Leveranstiden är 2-3 veckor. Minsta beställningsorder är 144 stycken. Då verktygskostnad för röret inte är tillgänglig begränsas jämförelsen mellan befintlig tillverkningsmetod och additiv tillverkning. Därmed kommer inte resultatdiagram presenteras.

Den additiva tillverkningsmetoden för grenröret är SLM. Däremot var inte det material som används vid konventionella tillverkningsmetoder tillgängligt hos leverantör. Istället skulle komponenten ha tillverkats i AlSi 10 Mg vilket uppfyller de materialegenskaper som krävs samt överträffar flera av dessa. Detta materialval innebär dyrare kostnad, totalt hade det kostat 20375 svenska kronor att tillverka komponenten. Leveranstiden är 4-19 dagar.

## 4.4 Utvärdering av tillverkningsmetoder för valda komponenter

Detta delkapitel presenteras i syfte att sammanställa och analysera resultatet av de komponenter som tidigare presenterades. För att kunna identifiera den volym då additiv tillverkning är mer lönsamt än befintlig tillverkningsmetod kommer ett resultatdiagram, om möjligt, presenteras under komponenterna. Diagrammet beskriver förhållandet mellan konventionella metoder och additiv tillverkning baserat på de kostnader som mottagits för respektive komponent.

### Oljesump

Gällande den första komponenten, oljesumpen, är skillnaden i kostnad stor. Däremot bör man ta hänsyn till att den konventionellt tillverkade sumpen bestod av aluminium och kunde efter mindre uppdateringar levereras till kund. Den additivt tillverkade prototypen i plast hade i detta fall inte kunnat uppdateras till en slutprodukt, däremot hade prototypen gett indikationer på huruvida den uppfyller kundens krav. Dessutom skapas kundvärde då ledtiden kan reduceras till en tredjedel med additiv tillverkning gentemot konventionella metoder.

### EGR-rör

Då diskussion fördes med konstruktörer, ville de undersöka möjligheterna att med additiv tillverkning omdesigna konstruktionen av rörkrökarna i syfte att förstärka dessa och undvika svetsning.

Vid undersökningen av EGR-rören, visade sig att rören behövde delas upp i tre olika delar respektive, på grund av dess storlek och därefter svetsas samman. Man vill undvika svetsning i den överhängande delen av röret, eftersom det skapar kritiska punkter. Därför hade en större skrivare i detta fall krävts för att överväga additiv tillverkning.

Hade enbart rören kunnat bli additivt tillverkade i ett stycke hade resterande delar med andra materialegenskaper kunnat tillverkas separat och därefter monteras samman på samma sätt som utförs vid konventionell framtagning av dessa EGR-rör för att förstärka rörkrökarna utan att svetsa.

### Blandningskammare

Det är möjligt att tillverka blandningskammaren additivt vilket i rostfritt stål hade kostat ca 31 265 svenska kronor. Eftersom data gällande konventionella metoder inte fanns tillgänglig kommer en jämförelse mellan konventionella och additiva tillverkningsmetoder inte utföras.

### Grenrör

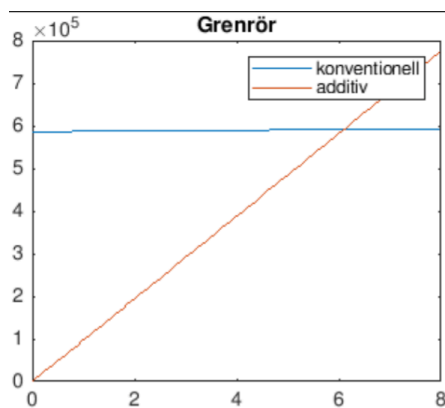
Gällande additiv tillverkning hade detaljen legat på 84 612 svenska kronor dessutom tillkommer en kostnad gällande förberedelser av CAD-fil på 12 382 svenska kronor, vilket tillsammans är startpunkten i kurvan för additiv tillverkning.

Gällande konventionell tillverkning är styckpriset för grenröret 860 svenska kronor och verktygskostnaden ligger på 500 000 svenska kronor. Minsta beställningsorder för grenröret

är 100 stycken. Genom att multiplicera minsta beställningsorder med styckpriset samt addera kostnaden för verktyget, fås den kostnad som motsvarar startpunkten på kurvan för konventionella metoder, se graf nedan.

Genom följande beräkning  $x=(500\,000+100*860)/(84612+12382)=6.04$  (x är skärningspunkten mellan graferna som representerar additiv tillverkning respektive konventionella metoder) fås resultatet att additiv tillverkning är lönsamt vid 6 stycken komponenter eller färre. Detta visar att additiv tillverkning är lämpligt vid låga volymer. Då årsvolymen ligger på 1850 stycken är additiv tillverkning i detta fall inte lämpligt.

## Resultatdiagram



Figur 19 – Resultatdiagram som visar nollpunkten för grenrör. X-axeln är antal och Y-axeln är kostnaden

## Kylvattenrör

Gällande additiv tillverkning hade detaljen kostat på 22 221 svenska kronor vilket är startpunkten i kurvan för additiv tillverkning.

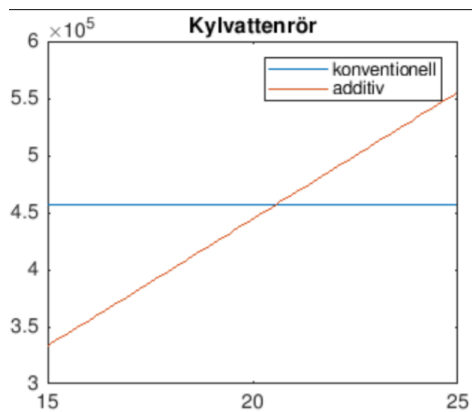
Gällande konventionell tillverkning är styckpriset för grenröret 32 svenska kronor, vidare ligger verktygskostnaden ligger på 446 989 svenska kronor och minsta beställningsorder för denna detalj är 288 stycken. Genom att multiplicera minsta beställningsorder med styckpriset samt addera kostnaden för verktyget, fås den kostnad som motsvarar startpunkten på kurvan för konventionella metoder, se graf nedan.

Genom följande beräkning  $x=(446\,989+32*288)/22\,221=20.5$  (x är skärningspunkten mellan graferna som representerar additiv tillverkning respektive konventionella metoder) fås resultatet att additiv tillverkning är lönsamt vid 20 st komponenter eller färre. Detta visar att additiv tillverkning är lämpligt vid låga volymer. Årsvolymen visade sig vara 103 722 stycken efter dialog med inköp på Volvo Penta. Detta medför då att additiv tillverkning inte är lämpligt i detta fall.

Leveranstiden är i detta fall relativt lika vid användning av konventionella och additiva tillverkningsmetoder. Detta beror på att komponenten går i produktion för tillfället vilket gör att leveranstiden blir kortare jämfört med om komponenten inte hade gått i produktion ännu.



## Resultatdiagram



Figur 20 – Resultatdiagram som visar nollpunkten för kylvattenrör. X-axeln är antal och Y-axeln är kostnaden

## Avgasflänsen

Komponenten är möjlig att tillverkas additivt vilket hade kostat 17 142 svenska kronor. Detta förutspås inte vara lönsamt med den data som finns att tillgå, med tanke på att prototypkostnad för avgasflänsen ligger på 3 500 svenska kronor. Dessutom är avgasflänsen inte en lågvolymsartikel vilket stärker påståenden att additiv tillverkning inte hade varit lönsamt vid detta fall.

## Rör från turbo med v-klämma

Det är möjligt att tillverka röret additivt, detta hade kostat 20 375 svenska kronor. Eftersom att verktygskostnaden vid konventionella metoder inte fanns tillgänglig kommer en jämförelse mellan konventionella och additiva tillverkningsmetoder inte utföras.

## 5. DISKUSSION

Diskussionen presenteras i syfte att diskutera resultaten, arbetsgången och parametrar som påverkar additiv tillverkning. Då Volvo Penta är en stor organisation kan information till viss del vara svårtillgänglig då man omdirigeras till person som är ansvarig för efterfrågat område. Idag är additiv tillverkning en tillverkningsprocess som inte används i stor utsträckning på Volvo Penta vilket gör att de finns ett visst antal sekretessavtal mellan Volvo Penta och leverantörer inom additiv tillverkning. Dessa faktorer bidrar tillsammans till ett fördröjt arbete.

Utbudet av leverantörer inom additiv tillverkning är begränsat. Dessutom existerar många företag som endast producerar skrivare men utför inte tjänster åt andra. Kapacitetsmässigt är det möjligt att tillverka stora detaljer (1000x1000x1000 mm) däremot är det ett fåtal företag som erbjuder detta.

Genom undersökning av komponenter framkom att utbudet av material hos leverantörer är begränsat. På grund av detta är material som leverantörer erbjuder generellt material med mycket goda egenskaper. Detta för att additiv tillverkning är mer etablerat inom rymdteknik och extrema områden. Vidare leder det till att kostnaden ökar och att materialkraven uppfylls mer än vad som krävs. Additiv tillverkning är i ständig utveckling, med tiden förutspås att teknologin kommer att anpassas till fler industrier och att kostnaden kommer att sjunka.

De konventionella tillverkningsmetoderna är för de undersökta komponenterna, förutom oljesumpen, anpassade för massproduktion. Vilket medför en orättvis jämförelse då additiv tillverkning är lämpat för tillverkning av lågvolymsartiklar och prototypframtagning. Utifrån detta skulle en jämförelse istället ha gjorts mellan fler lågvolymsartiklar alternativt en mer ingående undersökning gällande prototyp tillverkning. Gällande konventionell framställning av lågvolymsartiklar hade andra tillverkningsmetoder används, vilket hade reducerat verktygskostnaden kraftigt men ökat styckpriset vilket hade lett till en mer rättvis jämförelse.

Gällande leveranstiden skiljer sig additiva och konventionella tillverkningsmetoder. Vid additiv tillverkning är leveranstiden ofta betydligt kortare. Detta skapar kundvärde då man kan uppfylla kundens önskemål om snabb leverans.

Additiv tillverkning tillåter geometrier som ej kan uppnås med konventionella metoder då designkrav som släppningsvinklar, verktygskrav etc. kan undvikas. Att använda additiv tillverkning för komponenter som är designade för konventionella metoder begränsar komponenters fulla potential. Därav bör man se över omdesign av komponenter vid framställning med additiv tillverkning.

Kostnaden leverantörer tar gällande förberedning av CAD-filerna är ibland mer kostsam än själva tillverkningen. I och med att denna kostnad är en vital del i tillverkningen hade processen blivit mycket billigare om man hade kunde reducera denna kostnaden genom att själv förbereda filerna.

I framtiden förutspås additiv tillverkning att bli mer etablerad i produktion. De senaste åren har utvecklingen för teknologin tagit stora steg och anses fortsätta i samma riktning. Teknologin går framåt och allt fler företag använder additiv tillverkning i olika sammanhang. Detta gör det viktigt för Volvo Penta att ligga i framkant.

## 6. SLUTSATS

Additiv tillverkning är en teknologi med potential. Arbetet har påvisat att additiv tillverkning lämpar sig till lågvolymsartiklar och prototyp tillverkning då processen från idé till färdig produkt kan vara upp till tio gånger snabbare än vid konventionella metoder vilket visades i resultatet. Dessutom kan geometrier, vilka tidigare inte varit möjliga med konventionella metoder, framställas med additiv tillverkning. Vidare visade ett av fallen att enkla geometrier inte är lönsamt med additiv tillverkning.

Utifrån jämförelsen mellan additiva och konventionella tillverkningsmetoder för åtta valda komponenter framkom att additiv tillverkning är en kostsam tillverkningsprocess främst vid tillverkning av metall. Slutsats för fyra av de åtta komponenterna presenteras nedan. Med de resterande fyra komponenterna kan inte en slutsats med säkerhet dras, då data saknas.

### Oljesump

I detta fall hade prototypframtagning för att iscensätta funktionalitet och passform kunnat reducera ledtiden till en tredjedel. Även kostnaden hade kunnat reduceras givet att prototypen hade framställts i PLA.

### EGR-rör

En skrivare med större byggekapalet hade krävts för att additiv tillverkning i detta fall skulle vara aktuellt att undersöka vidare.

### Kylvattenröret/Grenrör

Den volym då additiv tillverkning är lönsamt för kylvattenrör är 20 stycken respektive sex stycken för grenröret. Dock rekommenderas ett framtida arbete där man undersöker konventionella metoden som använts vid tillverkning av den kritiska volymen eller färre för att uppnå en rättvis jämförelse med additiv tillverkning.

## 6.1 Riktlinjer och rekommendationer till Volvo Penta

Additiv tillverkning bör tas i beaktning då man utför en avvägning huruvida det är lönsamt att framställa lågvolymsartiklar. Vidare bör man vid specifika kundbehov ta additiv tillverkning i beaktning vid prototyp tillverkning.

Additiv tillverkning har som teknologi utvecklats mycket och snabbt under de senaste åren. Fortsätter utvecklingen i samma takt bör man titta på ett system eller tillvägagångssätt i syfte att omvandla 2D-ritningar till 3D-filer. Dessutom bör man se över möjligheten att själva förbereda CAD-filer för att reducera den totala kostnaden vid additiv tillverkning.

## 6.2 Rekommendationer för fortsatt arbete

Undersöka huruvida det hade varit lönsamt att reducera reservdelslagret genom att additivt tillverka efterfrågade detaljer. Framtida arbete kan också innefatta ett fortsatt arbete gällande de komponenter där ingen slutsats var möjlig att fastställa.

## 7. REFERENSLISTA

### Personreferenser

(2) Johan Svenningstorp, Volvo Group Trucks Technologies

### Webbsidor

(1) <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/> (Hämtad 2018-04-10)

(3) <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/> (Hämtad 2018-04-10)

(4) <http://www.avplastics.co.uk/3d-printing-history> (Hämtad 2018-04-10)

(5)

[https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D\\_Printing\\_Infographic\\_FINAL.pdf](https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf) (Hämtad 2018-04-10)

(8) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-3d-printing> (Hämtad 2018-04-10)

(10) <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing> (Hämtad 2018-04-10)

(11) <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ac403397r> (Hämtad 2018-04-10)

(13) <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/> (Hämtad 2018-04-10)

(14) <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/> (Hämtad 2018-04-10)

(15) <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/> (Hämtad 2018-04-10)

(16) <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/251245/251245.pdf> (Hämtad 2018-04-10)

(17) <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/251380/251380.pdf> (Hämtad 2018-04-10)

(18) <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-011-3878-1> (Hämtad 2018-04-10)

(19) <https://www.youtube.com/watch?v=ZbWSUPgKgTI> (Hämtad 2018-04-10)

(20) <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781482223606> (Hämtad 2018-04-10)

(21) <https://www.allthat3d.com/3d-printing-history/> (Hämtad 2018-04-10)

(23) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/advantages-3d-printing> (Hämtad 2018-04-16)

(26) <http://www.3dprinting.lighting/3d-printing-technologies/sheet-lamination/> (Hämtad 2018-04-24)

- (27) <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphoto-polymerisation/> (Hämtad 2018-04-24)
- (28) <http://apm-designs.com/fdm-vs-sla-3d-printer-tech-comparison> (Hämtad 2018-04-10)
- (29) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing> (Hämtad 2018-04-10)
- (30) <https://all3dp.com/1/biggest-large-3d-printer-world-most-expensive/#section-most-expensive-3d-printers> (Hämtad 2018-04-10)
- (31) [https://www.3dprima.com/se/3d-skrivare/xyzprinting-da-vinci-nano/a-22547/?ReferrerID=7&gclid=Cj0KCQjwh7zWBRCiARIsAId9b4pSrGS9GmHHUNluY6ZEr3OMg5q2wwUmdZ08uRdFme3ws0zJfximHYUaAqGfEALw\\_wcB](https://www.3dprima.com/se/3d-skrivare/xyzprinting-da-vinci-nano/a-22547/?ReferrerID=7&gclid=Cj0KCQjwh7zWBRCiARIsAId9b4pSrGS9GmHHUNluY6ZEr3OMg5q2wwUmdZ08uRdFme3ws0zJfximHYUaAqGfEALw_wcB) (Hämtad 2018-04-10)
- (32) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/hp-mjf-vs-sls-3d-printing-technology-comparison> (Hämtad 2018-04-10)
- (33) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing> (Hämtad 2018-04-10)
- (34) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/industrial-sladlp-vs-desktop-sladlp> (Hämtad 2018-04-10)
- (35) <http://theorthocosmos.com/bottom-vs-top-vs-clip-3d-printing/> (Hämtad 2018-04-10)
- (36) <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/> (Hämtad 2018-04-10)
- (37) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing> (Hämtad 2018-04-14)
- (38) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview> (Hämtad 2018-04-15)
- (39) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing> (Hämtad 2018-04-27)
- (40) <https://www.additively.com/en/learn-about/material-jetting> (Hämtad 2018-04-27)
- (42) <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/> (Hämtad 2018-05-03)

(44) <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directenergydeposition/> (Hämtad 2018-05-03)

(45) <https://www.youtube.com/watch?v=YIHI-Bo2Elc> (Hämtad 2018-05-03)

(46) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview#direct-energy-deposition> (Hämtad 2018-05-03)

(48) <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing> (Hämtad 2018-05-11)

### **Tidskriftsartikel**

(6) G. N. Levy, R. Schnidel and J.P. Kruth: Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives, CIRP Annals, vol.52, sid 589-609, 2003

(7) S. Mellor, L. Hao, D. Zhang: Additive manufacturing: A framework for implementation, International Journal of Production Economics, vol. 149, sid 194-201, 2014

(9) P. Kulkarni, A. Marsan, D. Dutta: A review of process planning techniques in layered manufacturing, Rapid Prototyping Journal, vol. 6, sid 18-35, 2000

(12) B. Berman: 3-D printing: The new industrial revolution, Business Horizons, Vol. 55, sid 155-162, 2012

(22) G. Sossou, F. Demoly, G. Montavon and S. Gomes: An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies, Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 5, sid 3-18, 2018

(24) C. Weller, R. Kleer, F. T. Piller: Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited, Int. J Production Economics 164, sid 43-56, 2015

(25) B. Leutenecker-Twelsiek, C. Klahn och M.Mebold: Considering Part Orientation in Design for Additive Manufacturing, Procedia CIRP, vol.50, sid 408-413, 2016

(41) M. Mani, K. W. Lyons och SK Gupta: Sustainability Characterization for Additive Manufacturing, Journal of research of the National Institute of Standards and Technology, vol. 119, no 6, sid 419-428, 2014

(43) D. J. Corbin, A. R. Nassar, E. W. Reutzel, N. A. Kistler, A. M. Beese och P. Michaleris: Energy deposition parameters on mechanical distortion of laser deposited Ti-6AL-4V, Solid Freeform Symposium, sid 670-679

### **Böcker**

(47) Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies*. New York: Springer Science+Business Media. (Hämtad 2018-04-12)