

2003:M019



HÖGSKOLAN
TROLLHÄTTAN · UDDEVALLA
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK

EXAMENSARBETE

**Alternativ framtagning av prototyp- och
produktionsverktyg
Saab Automobile AB**

Angelica Karlsson, Karin Björkeborn

2003-05-06

Högskolan Trollhättan/Uddevalla
institutionen för teknik
Box 957, 461 29 Trollhättan
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99
E-post: teknik@htu.se

EXAMENSARBETE

Alternativ framtagning av prototyp och produktionsverktyg

Sammanfattning

Avsikten med rapporten är att undersöka om DMLS (Direct Metal Laser Sintering) och EBM (Electron Beam Melting) kan vara lämpliga metoder för Saab att använda för att framställa formsprutningsverktyg. Rapporten ska kunna användas som ett hjälpmedel vid upphandling av leverantörer, för att styra dem mot DMLS och EBM, i de fall de visar sig vara lönsamma för Saab.

Det visade sig att det inte går att göra en rättvis jämförelse mellan DMLS och EBM. DMLS används för framställning av prototypverktyg och jämförs därför mot traditionellt framställda prototypverktyg i aluminium/stål. EBM ger verktyg jämförbara med produktionsverktyg och jämförs mot traditionellt framställda produktionsverktyg i stål.

För att få en inblick i metoderna gjordes studiebesök hos tre företag; Protototal, PDS och Formteknik. Företagen har även deltagit i en jämförelse genom att lämnat fiktiva offerter på tre verktyg. De givna uppgifterna angående kostnader och ledtider på verktygen har jämförts mot Saabs tidigare offerter på traditionell verktygsframställning. Övriga skillnader mellan metoderna m a p kvalitet, toleranser, volym, storleksbegränsning och övriga intressanta faktorer har sammanställts i en matris för att, på ett lättöverskådligt sätt, visa skillnader mellan företagen och metoderna.

En slutsats av arbetet är att DMLS är en mycket lämplig metod att använda för framställning av prototypverktyg. Kvaliteten på verktyg framställda med DMLS (med kornstorlek 0,02 mm på metallpulvret) är bättre än kvalitén på traditionellt framställda aluminiumverktyg. Metoden rekommenderas dock inte i de fall då det är mycket enkla eller stora detaljer. Både DMLS och EBM är mycket lämpliga metoder att använda för att ta fram insatser till verktyg med. EBM kan inom en snar framtid bli en mycket lämplig metod, för framställning av produktionsverktyg. Tekniken är ny och testas fortfarande av svenska verktygsmakare och används därför ännu inte i dagens produktion. Det rekommenderas att en uppföljning av metoden görs.

Nyckelord: DMLS, EBM, Saab, Prototypverktyg, Produktionsverktyg

Utgivare: Högskolan Trollhättan/Uddevalla, institutionen för teknik
Box 957, 461 29 Trollhättan
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99 E-post: teknik@htu.se

Författare: Angelica Karlsson & Karin Björkeborn

Examinator: Niklas Järvstråt

Handledare: Kjell Niklasson, HTU, Anders Johansson, Saab Automobile AB

Poäng: 10 **Nivå:** C

Huvudämne: Maskinteknik **Inriktning:** Konstruktion

Språk: Svenska **Nummer:** 2003:M019 **Datum:** 2003-05-06

DISSERTATION

Alternative production of prototype- and production tools

Summary

The purpose with this report is to examine if DMLS (Direct Metal Laser Sintering) and EBM (Electron Beam Melting) are appropriate methods for Saab to use for the production of injection moulding tools. The report can be used as a blue print when contracts are established towards suppliers, to guide them to use DMLS and EBM, in the cases when the methods have shown profitability when used by Saab.

It turned out that a true comparison could not be made between DMLS and EBM. DMLS is used for producing prototype tools and is therefore compared to traditional production of prototype tools in aluminium/steel. EBM produce tools comparable to production tools and are compared to traditional produced production tools made of steel.

To get an understanding of the methods, educational study visits were made at three companies; Prototal, PDS and Formteknik. The companies have also participated in the comparison by providing “fictitious” quotations of three injection moulding tools. These figures, regarding costs and lead times for the tools, have been compared to previously given quotations at Saab for traditional production of injection moulding tools. Differences between the methods regarding quality, tolerances, volume, limitation of size and other interesting aspects have been put together in a matrix to clearly show differences between the companies and the methods.

One conclusion of this work is that DMLS is a very suitable method to use for production of prototype tools. The quality of the tools produced by DMLS (with a granule size of 0,02 mm of the metal powder) is better than the quality of traditional produced aluminium tools. However, the method is not recommended if the component is very simple or big. Both DMLS and EBM are appropriate methods to use for producing insertions to injections moulding tools. EBM can become a very suitable method, for production of tools, in a near future. The technology is new and is in an evaluation period at Swedish toolmakers and therefore not yet used in today's production. It is recommended that a follow-up of this method is done.

Publisher: University of Trollhättan/Uddevalla, Department of Technology
Box 957, S-461 29 Trollhättan, SWEDEN
Phone: + 46 520 47 50 00 Fax: + 46 520 47 50 99 E-mail: teknik@htu.se

Author: Angelica Karlsson & Karin Björkeborn

Examiner: Niklas Järström

Advisor: Kjell Niklasson, HTU, Anders Johansson, Saab Automobile AB

Subject: Mechanical Engineering, Design

Language: Swedish **Number:** 2003:M019 **Date:** May 6, 2003

Förord

Inledningsvis vill vi tacka alla som varit inblandade i och gjort vårt examensarbete mycket lärorikt och roligt. Här inräknas hela TLF, produktionstekniker på Saab samt övriga instanser på Saab som ställt upp med kunskap och information.

Vi vill även tacka företagen Prototal, PDS och Formteknik som ställt upp och hjälpt oss genomföra vårt examensarbete, samt gett oss mycket lärorika och intressanta studiebesök.

Ett särskilt tack vill vi rikta till TLFK-gruppen och alla på vår avdelning, TLFM-gruppen, som visat en mycket positiv attityd till vårt arbete och ställt upp och svarat på alla våra frågor.

Till sist vill vi rikta ett alldeles speciellt tack till vår handledare Anders Johansson som har ställt upp och stöttat oss genom hela arbetet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	ii
Summary	iii
Förord	iv
Innehållsförteckning	v
Bilageförteckning	vi
Bildförteckning	vi
Symbolförteckning	vii
1 Inledning	1
1.1 <i>Bakgrund</i>	1
1.2 <i>Syfte</i>	1
1.3 <i>Mål</i>	1
1.4 <i>Avgränsningar</i>	2
2 Genomförande	3
2.1 <i>Informationssamling</i>	3
2.2 <i>Studiebesök</i>	3
2.3 <i>Komponenter till jämförelsen</i>	3
2.3.1 <i>Blindplugg</i>	4
2.3.2 <i>Rattspak</i>	4
2.3.3 <i>Kabelkanal</i>	5
2.4 <i>Fiktiva offerter</i>	5
3 Metodbeskrivning av verktygsframställning	5
3.1 <i>Traditionell verktygsframställning</i>	5
3.1.1 <i>Prototypverktyg</i>	6
3.1.2 <i>Produktionsverktyg</i>	6
4 Presentation av DMLS och EBM	7
4.1.1 <i>Presentation av DMLS</i>	7
4.1.2 <i>Presentation av EBM</i>	8
5 Fördelar respektive nackdelar med metoderna	10
5.1 <i>DMLS jämfört med traditionell tillverkning av prototypverktyg</i>	10
5.2 <i>EBM jämfört med traditionell tillverkning av produktionsverktyg</i>	10
6 Saabs tidigare erfarenheter av DMLS	11
7 Upphandling av kontrakt	11
8 Beskrivning av matriser	12
8.1 <i>Matris över kostnader och ledtider</i>	12
8.2 <i>Matris över skillnader mellan metoderna</i>	13
9 Resultat	14
9.1 <i>Jämförelse av metoderna med avseende på kostnader och ledtider</i>	14
9.2 <i>Jämförelse av metoderna med avseende på övriga aspekter</i>	15
9.2.1 <i>Prototal och DMLS med avseende på kvalitet</i>	15
9.2.2 <i>PDS och DMLS med avseende på kvalitet</i>	15
9.2.3 <i>Formteknik och EBM med avseende på kvalitet</i>	15

10 Analys av resultat.....	16
10.1 <i>Analys av jämförelse av metoderna med avseende på kostnader och ledtider.....</i>	<i>16</i>
10.1.1 Analys av kostnader och ledtider för blindplugg	16
10.1.2 Analys av kostnader och ledtider för rattspak	17
10.1.3 Analys av kostnader och ledtider för kabelkanal	18
10.2 <i>Analys av jämförelsen av metoderna med avseende på övriga aspekter.....</i>	<i>18</i>
10.2.1 Prototol och DMLS	18
10.2.2 PDS och DMLS	19
10.2.3 Formteknik och EBM	19
11 Rekommendationer till fortsatt arbete	20
12 Slutsatser.....	21
13 Referensförteckning.....	22
13.1 <i>Muntliga referenser</i>	<i>22</i>
13.2 <i>Skriftliga/Elektroniska referenser.....</i>	<i>22</i>

Bilageförteckning

Bilaga 1	Kostnader för Blindplugg, Rattspak och Kabelkanal
Bilaga 2	Ledtider för Blindplugg, Rattspak och Kabelkanal
Bilaga 3	Diagram för Kostnader och Ledtider
Bilaga 4	Matris "Prototypverktyg och produktionsverktyg med låga volymer
Bilaga 5	Matris "Produktionsverktyg"

Bildförteckning

Bild 2.1 Blindplugg framtagen i SLS	4
Bild 2.2 Utsida och insida av rattspak	4
Bild 2.3 Kompletta kabelkanal, samt delarna var för sig	5
Bild 3.1 Detalj framställd med EBM.....	9

Symbolförteckning

Förklaring av termer:

Blästring	Verkstadsteknisk metod som innebär att man med en stark luftström blåser kvartssand eller stålpartiklar mot vanligtvis en metallyta, varvid rost och valshud nöts bort.
Etsning	Ytbehandling med syfte att rengöra och/eller topografiskt förändra ytan med kemiska eller elektrokemiska metoder, alternativt med jonbestrålning.
FFF	”FriFormsFramställning”, datorbaserad process för att tillverka föremål direkt från datorn.
Gnistning	Materialavverknig med hjälp av elektriska urladdningar.
Kulbombning	Kulblästringsmetod där det bearbetande medlet utgörs av små stålkulor.
Sintring	Upphettnig av pulver till så hög temperatur att pulverpartiklarna börjar reagera med varandra och växa samman så att en fast kropp bildas.
SLA	”StereoLitogrAfi”. En FFF-metod för tillverkning. Material är fotopolymer eller härdplaster och tillverkningsprincipen går ut på att en laserstråle härdar platen.
SLS	”Selective Laser Sintring”. En FFF-metod för tillverkning. SLS bygger på tillverkningsprincipen att en laserstråle smälter pulvermaterial. De material man jobbar med är termoplaster, termoelaster, gjuterisand och metaller. Resultatet blir en pulverformad yta där kornstorleken bestämmer ytfinheten.
SOR	”Statement of Requirement” – Dokument hos Saab som beskriver krav vid upphandling av leverantör.

Följande företag omnämns i rapporten:

Arcam, Göteborg

EOS, Finland

Formteknik, Unnaryd

PDS, Lidköping

Prototal, Jönköping

1 Inledning

Det här examensarbetet görs som en avslutande del i maskiningenjörsprogrammet, med inriktning mot produktutveckling, som ges vid Högskolan i Trollhättan. Programmet omfattar 120 poäng varav examensarbetet utgör 10 poäng.

Arbetet har utförts på elmekanikavdelningen på Saab Automobile AB. Här arbetar man huvudsakligen med elektronikkomponenter och ledningsnät.

1.1 Bakgrund

Ingenjörer på elmekanikavdelningen har begränsad inblick i verktygsframställning på grund av att man ofta anlitar systemleverantörer som tar hand om hela utvecklingsarbetet. Detta leder till ringa möjligheter att påverka leverantören till att använda en viss metod för verktygsframställning.

Framställningen av formsprutningsverktyg för plastdetaljer är en dyr process där utvecklingen av nya metoder sker i snabb takt. Eftersom Saab jagar besparingar av kostnader och ledtider har frågan uppkommit hur formsprutningsverktyg kan tas fram på billigare och snabbare sätt.

Företaget EOS har utvecklat tekniken DMLS (Direct Metal Laser Sintering) för framställning av prototypverktyg. Arcam har utvecklat en ny teknik, EBM (Electron Beam Melting), där man kan framställa härdade metallföremål direkt från metallpulver. Teknikerna är jämförbara med den friformsframställning som idag finns för tillverkning av prototypartiklar i plast.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utvärdera om metoderna DMLS och EBM är fördelaktiga för Saab att använda vid framtagning av formsprutningsverktyg. Arbetet ska jämföra dessa metoder mot traditionella verktygsframställningar med avseende på kostnader, ledtider, volymer, kvalitet etc.

1.3 Mål

Arbetet ska resultera i en rapport med en slutsats angående om metoderna är fördelaktiga för Saab. Direkta jämförelser av kostnader och ledtider med befintliga komponenter ska kunna följas. En utförlig beskrivning av metoderna DMLS och EBM ska finnas i rapporten med avseende på verktygets kvalitet, toleranser, volym, storleksbegränsning och i övrigt intressanta faktorer angående metoderna. Rapporten ska kunna användas som ett hjälpmedel vid upphandling av leverantörer, där man bör styra dem mot dessa metoder, om de i jämförelsen visar sig vara lönsamma för Saab.

1.4 Avgränsningar

- Traditionell metod för verktygsframställning har enbart jämförts med lasersintring (DMLS) och elektronstråletekniken (EBM). Inga andra nya metoder för att ta fram prototypverktyg eller produktionsverktyg ingår i jämförelsen.
- Metoderna utvärderades enbart med avseende på verktygsframställning.
- fiktiva offertförfrågningar skickades till två företag som använder DMLS (Prototal och PDS) och ett företag med EBM (Formteknik).
- Reservation görs av de givna kostnaderna pga. valutakurser, förhandling av offerter och nedbrytning av systemleverantörernas offerter.
- Tre komponenter har tagits med i jämförelsen. Dessa har valts ur elmekanikavdelningens sortiment på Saab.
- Metoderna analyserades endast med avseende på verktyg avsedda för formsprutning av plastdetaljer.
- Ingen fördjupning har gjorts vad det gäller upphandling av leverantör.
- Ingen hänsyn har tagits till kostnader för formsprutning av artiklar i jämförelsen.
- Rapporten riktar sig till personer på Saab som innehar viss kunskap om formsprutningsverktyg och traditionell verktygsframställning.

2 Genomförande

2.1 Informationssamling

Första steget i arbetet var att förstå hur traditionell framtagningsprocess av formsprutningsverktyg fungerar. Samtal med personer på elmekanikavdelningen och produktionsteknik gav en allmän uppfattning om hur verktyg tas fram och vilka metoder som används mest idag. En mer teknisk genomgång av verktygstillverkning gavs av Fredrik Thorin, på elmekanikavdelningen, som är utbildad verktygsmakare. För att ytterligare få en inblick i tillverkningen av prototypverktyg kontaktades Saabs prototypverkstad.

Efter att ha fått en allmän förståelse för verktygsframställning samlades fakta in om metoderna DMLS och EBM. Detta skedde genom informationssökning på Internet samt kontakt med de företag som senare skulle ingå i en jämförelsestudie. Företagen hjälpte till med allmänna frågor kring metoderna vilket snabbade upp informationssökningen.

Inköpsavdelningen på Saab kontaktades för att få mer information om hur upphandling av kontrakt går till och för att undersöka möjligheterna att styra leverantörerna till att använda en viss metod.

2.2 Studiebesök

Två företag, som har specialiserat sig på prototyp tillverkning och använder sig av DMLS, har valts ut till en jämförelsestudie. Dessa företag är Protototal i Jönköping och PDS i Lidköping.

Även ett företag som använder sig av EBM togs med i jämförelsen. Formteknik som företaget heter, ligger i Unnaryd och är specialiserat på produktionsverktyg.

För att få en bättre inblick i metoderna och även möjlighet att ställa frågor ordnades ett studiebesök hos vart och ett av företagen. Eftersom metoderna är nya på marknaden var företagen mycket måna om att informera om teknikerna och dess fördelar. Att följa tillverkningsprocessen på plats gav en bättre förståelse av metoderna.

2.3 Komponenter till jämförelsen

Tre komponenter från elmekanikavdelningen valdes ut till jämförelsen; blindplugg, rattspak och kabelkanal. Dessa tre skiljer sig åt både till storlek och till komplexitet och används i produktionen idag. För var och en av de utvalda komponenterna togs uppgifter fram gällande verktygskostnad och ledtid. Blindpluggen tillverkas med *ett* verktyg till skillnad mot rattspak och kabelkanal som tillverkas med *två* verktyg, eftersom dessa komponenter består av två delar. Blindplugg och rattspak har synliga

ytor och därför måste dessa verktygsdelar mönstras. Kabelkanalen däremot är ingen synlig detalj och dess verktyg behöver inte mönstras.

2.3.1 Blindplugg

En blindplugg ska tas fram och ersätta centrallåsknappen på passagerarsidan i 9-3 Sedan för att göra en kostnadsbesparing. Blindpluggen är en relativt liten detalj och den minsta komponenten i jämförelsen. Dimensionerna är 42x25x33 mm (bxdxh), övrig ritningsinformation hänvisas till Saabs modellarkiv, GM/PDM, modellnummer AGK77786. Dess synliga del (svartmarkerad på bilden) är identisk med tidigare centrallåsknapp men i övrigt är det en mycket förenklad geometri. Blindpluggen kommer att vara helt ihålig med endast viss stödstruktur, eftersom den inte innehåller någon elektronik.



Bild 2.1 Blindplugg framtagen i SLS

2.3.2 Rattspak

Rattspaken består av två delar, en under- och en överdel. Utsidorna av rattspaken består av långa, svepande ytor. Insidorna är mer komplicerade med ribbor som stödstruktur för att stabilisera spaken. Delarna sätts ihop med hjälp av integrerade plastsnäppen. I jämförelsen är denna komponent den mest komplexa. Dess längd är ca 150 mm och den bygger ca 60 mm på höjden. Övrig ritningsinformation hänvisas till Saabs modellarkiv, GM/PDM, modellnummer ABG03566.

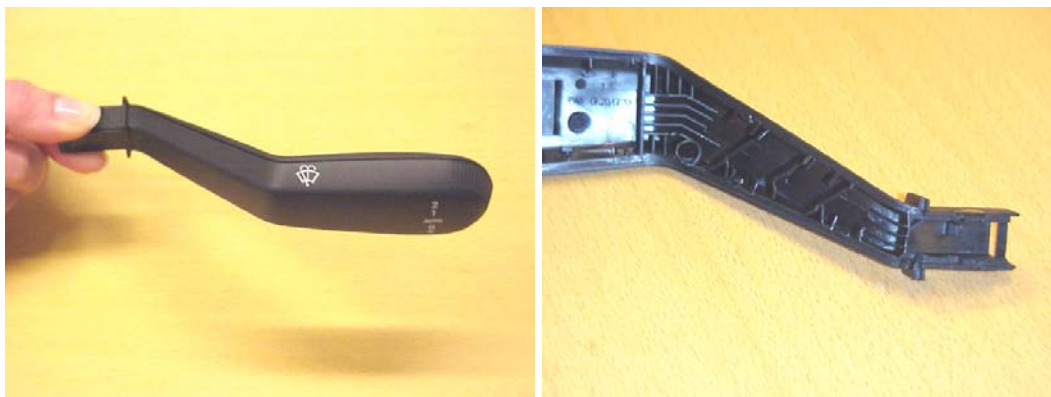


Bild 2.2 Utsida och insida av rattspak

2.3.3 Kabelkanal

Kabelkanalen består av två delar, en kanal och ett lock. Delarna sätts ihop med hjälp av integrerade plastsnäppen. Det är den största komponenten i jämförelsen med en längd på ca 360 mm och en bygghöjd på ca 100 mm, övrig ritningsinformation hänvisas till Saabs modellarkiv, GM/PDM, modellnummer ABG96893.



Bild 2.3 Kompletta kabelkanal, samt delarna var för sig.

2.4 Fiktiva offerter

Fiktiva offertförfrågningar på komponenterna lämnades till tre olika företag; Prototal, PDS och Formteknik. I dessa efterfrågades bland annat kostnader och ledtider för respektive komponent. För att företagen skulle ha möjlighet att lämna korrekta uppgifter inkluderades 3D cad-modeller samt ritningar på varje komponent i förfrågan. Krav ställdes på att ytstruktur och material skulle vara enligt ritning så att jämförelsen skulle bli rättvis.

3 Metodbeskrivning av verktygsframställning

3.1 Traditionell verktygsframställning

Ett verktyg, framställt enligt traditionell teknik, bearbetas fram ur ett stål- eller aluminiumblock med hjälp av fräsning, gnistning och borrar. Traditionell framställning av verktyg är en kostsam och lång process [1,2,3]. Utveckling sker dock kontinuerligt med bland annat höghastighetsfräsar och förbättrade gnistningsmetoder [4]. I de flesta fall tillverkas ett prototypverktyg innan ett produktionsverktyg tas fram. Detta på grund av att man har behov av att utföra utvecklingsprovning på ett färre antal detaljer innan man bygger in slutgiltig design i dyra produktionsverktyg. Dessutom försämrar kvalitén på ett verktyg om det krävs modifieringar i efterhand. Skillnader mellan prototyp- och produktionsverktyg är bland annat att ett prototypverktyg är

tillverkat i ett billigare och mer lättbearbetat material, samt att de ofta saknar kylkanaler och utstötare. Detta medför kortare ledtider för verktygsframställningen, men även försämrade hållfasthet på verktyget samt längre cykeltider vid formsprutningen och därigenom dyrare artikelpris.

Om artikeln har synliga ytor måste dess verktyg mönstras. När det gäller prototypverktyg är det tillräckligt att mönstring sker med gnistning, blåstring eller kulbombning. För produktionsverktyg ställs högre krav på ytstrukturen, som måste mönstras med hjälp av etsning. Etsning av Saabs produktionsverktyg utförs i de flesta fall av Standex i Norge och de övriga mönstringsmetoderna utförs oftast av verktygsmakarna själva [1,2,3].

3.1.1 Prototypverktyg

Det finns många olika metoder att framställa prototypartiklar i plast, t.ex. SLA, SLS och formsprutning i aluminium-, stål- eller silikonverktyg. Om prototypartiklar ska användas exempelvis till krocktester, klimattester eller tester för temperaturlåghet och kemikaliepåverkan ställs höga krav på artikeln och därigenom också på verktyget. Artiklarna måste vara av exakt samma material och ha samma dimensioner som produktionsartiklarna. Idag uppfyller enbart formsprutade prototypartiklar dessa krav.

För att slippa dyra omkonstruktioner i produktionsverktyget bör kunskapen från prototypverktyg föras över till produktionsverktyg. Anledningen till detta är att man då undviker att göra onödiga misstag flera gånger. För Saabs del är det vanligtvis inte samma företag som tillverkar prototyp- respektive produktionsverktyg och därmed överförs heller inte kunskapen mellan verktygen [1,2,3].

3.1.2 Produktionsverktyg

På ett produktionsverktyg ställs höga krav på hållfasthet, toleranser och ytor. Ett produktionsverktyg ska klara volymer på ca 1 miljon artiklar. Traditionell verktygsframställning uppfyller ovanstående krav, men det är en kostsam och tidskrävande process [1,2,3]. Verktygets kylning har stor betydelse då denna fas står för 70 % av den totala cykeltiden vid formsprutning [11]. Kylkanaler skapas genom att borra och bearbeta passager i verktyget. Det kan vara svårt att få optimal kylning av verktyg med komplex geometri, eftersom en borrhål eller en fräs har begränsningar på hur de kan vinklas [5].

4 Presentation av DMLS och EBM

En rättvis jämförelse mellan EOS metod, DMLS, och Arcams metod, EBM, går inte att göra. De är olika metoder som inte konkurrerar med varandra. Eftersom materialet i ett verktyg framställt med DMLS blir poröst används metoden främst till prototypverktyg. Verktyg framställda med EBM blir helt solida och därför jämförbara med produktionsverktyg [6].

4.1.1 Presentation av DMLS

Tekniken DMLS (Direct Metal Laser Sintering) används av tre företag i Sverige. Två av företagen finns i regionen och de har båda inriktat sig på framtagning av prototyper och prototypverktyg. Maskinerna tillverkas av företaget EOS som även vidareutvecklar och marknadsför metoden. DMLS används mestadels för framställning av prototypverktyg men kan även användas för produktionsverktyg med låga volymer.

Sintringen sker med 0,02-0,05 mm tunna skikt, beroende på vilken kornstorlek på pulvret man använder. Detaljen byggs upp på en startplatta. Ett tunt lager av pulvret fördelas över plattan. Laserstrålen sveper över ytan och sintrar materialet på de ställen som detaljen ska byggas upp. Ytan sänks ned 0,02-0,05 mm och processen upprepas tills dess att hela modellen är uppbyggd. Detaljen blir inte en helt solid kropp utan innehåller små porer. För att öka hållfastheten på detaljen så måste ytorna efterbehandlas med kulbombning.

De företag i regionen som har DMLS-maskiner är Prototal i Jönköping och PDS i Lidköping. Skillnad mellan företagen är att man kommit olika långt vad det gäller utvecklingen av tekniken. På PDS använder man ett metallpulver med en tjocklek på 0,02 mm till skillnad från Prototal som använder ett grövre pulver med en tjocklek på 0,05 mm. Det finare pulvret ger en finare yta på detaljerna. Med det grövre pulvret krävs mycket efterbearbetning, såsom slipning och polering, för att få acceptabla ytor på verktygen. Med metoden finns även möjlighet att göra anpassade kylkanaler, men eftersom den främst används för prototypframställning görs inte detta. På Prototal förekommer problem vid formsprutningen eftersom plastdetaljen lätt fastnar i verktyget och måste tas loss för hand. Detta är ett problem som skulle minska betydligt genom en uppgradering till det finare pulvret. Metallpulvret är antingen i brons eller i stål [7,8,12,13]. Skillnaden mellan dessa två material presenteras nedan [8].

4.1.1.1 Verktyg uppbyggt av 0,02 mm bronspulver:

- Hållfastheten är sämre än för stål. Har dock en bättre hållfasthet än traditionellt framställt verktyg i aluminium.
- Volym upp till 10 000 artiklar.
- Smidigare att bearbeta än stål.

4.1.1.2 Verktyg uppbyggt av 0,02 mm stålpulver:

- Hållfastheten motsvarar ett SS 1650 stål.
- Volym upp till 100 000 artiklar.
- Finare ytor än ett bronsverktyg.
- Tål mer bearbetning än ett bronsverktyg.
- Längre maskintid (50 % längre tid) än för brons.

4.1.2 Presentation av EBM

Utvecklingen av EBM (Electron Beam Melting) startades 1995 av Chalmers Tekniska Högskola. Två år efter projektet med EBM startade, bildades företaget Arcam AB med syfte att vidareutveckla och kommersialisera metoden EBM. Arcam säljer FFF-utrustning för direktframställning av komponenter i stål såsom funktionella prototyper, formverktyg och produkter i små serier. Arcams maskiner finns i dagsläget ute på två svenska företag. Ett av dessa företag är Formteknik i Unnaryd som tillverkar produktionsverktyg. Formteknik deltar i ett samarbete med Arcam men maskinen används än så länge inte i produktion. Enbart testverktyg tas fram med maskinen. Samarbetet ger Arcam viktig verktygsinformation samtidigt som det ger Formteknik en inblick i tekniken och ett försprång i teknikutvecklingen jämfört med andra företag. Det andra företaget i Sverige som använder Arcams maskin är Mekpart i Västra Frölunda. Mekpart använder maskinen för framställning av detaljer till den egna produktionen. Arcam har även sålt en maskin till en stor verktygsmakare i Italien samt till ett universitet i USA.

Elektronstråletekniken, EBM, är en FFF-metod där en elektronstråle bygger upp solida detaljer genom att smälta ett finkornigt metallpulver lager på lager. Kornstorleken på metallpulvret som används är 0,1 mm. Processen börjar med att en startplatta värms upp. Därpå stryks ett 0,1 millimeter tjockt metallpulverskikt ut över plattan och elektroner alstrade i maskinens elektronkanon sveper över pulvret och ”ritar” konturerna på detaljen. Elektronerna styrs med hjälp av ett magnetfält och accelereras till en hastighet motsvarande halva ljushastigheten. Elektronstrålen rör sig i ett rutmönster för att få en jämnare värmeutbredning, vilket i sin tur leder till att allt material stelnar samtidigt. Startplattan sänks sedan ned en tiondels millimeter och ett nytt lager pulver stryks ut. Processen upprepar sig på detta sätt, lager efter lager, tills detaljen är byggd i hela dess höjd. Omvandlingen av rörelseenergi till värmeenergi, som sker när elektronerna träffar pulvret, gör att metallpulvret smälter. Detaljen blir helt solid med EBM. Att den inte innehåller porer beror på att den värme som bildas då elektronerna träffar pulvret blir så stor att materialet blir genomhärdat. Temperaturen som uppstår när elektronstrålen träffar pulvret uppgår till cirka 2000 grader Celsius. Hela processen sker i vakuum. Denna miljö bidrar till att bibehålla metallens renhet och även till att kontrollera att temperaturen i maskinrummet. En svårighet med tekniken är att hålla hög

temperatur på detaljen, strax över 1000 grader Celsius, och samtidigt undvika att omgivande metallpulver inte smälter samman med det tillverkade föremålet.

Ytan på en detalj framställd med Arcams metod blir grov och måste därför efterbearbetas (se bild 3.1). Efterbearbetning utförs på traditionellt sätt med t.ex. gnistning, blästring och slipning.



Bild 3.1 Detalj framställd med EBM [15].

Efter slutbearbetning kan verktyget användas med samma prestanda som produktionsverktyg framställda på traditionellt vis. En fördel med dessa verktyg är att man kan anpassa kylkanalerna och placera dem där de fyller bäst funktion för att kylningen ska ske på ett optimalt sätt.

Ett produktionsverktyg kan med fördel bestå av delar framställda med traditionella metoder kombinerat med insatser framställda med EBM, för att få anpassade kylkanaler [4,6,14,15,16,17].

5 Fördelar respektive nackdelar med metoderna

5.1 DMLS jämfört med traditionell tillverkning av prototypverktyg

Informationen som ligger till grund för punkterna kommer från [7,8,12,13] i referenslistan.

Fördelar:

- Kort ledtid.
- Om detaljen är komplex, med t.ex. djupa spår som inte kan nå genom fräsning utan där man hade behövt gnista fram formen, är DMLS optimal.
- Kort beredningstid.

Nackdelar:

- Max konstruktionsmått är 250x250x185 mm.
- Höjden är kostnadsdrivande och metoden lönar sig oftast inte om detaljen är högre än 60-70 mm.
- Enkla detaljer är lättare och billigare att ta fram med traditionell metod.

5.2 EBM jämfört med traditionell tillverkning av produktionsverktyg

Informationen som ligger till grund för punkterna kommer från [4,6,14,15,16,17] i referenslistan.

Fördelar:

- Anpassade kylkanaler kan skapas.
- Går lätt att göra komplexa detaljer.
- Förenkla för konstruktion (utstötarna kan läggas vart som helst utan att man behöver ta hänsyn till kylkanaler).
- Kort beredningstid.
- Färdighärdat stål direkt från maskinen (vid traditionell verktygsframställning måste verktyget skickas iväg för härdning).

Nackdelar:

- Max konstruktionsmått är 150x150x150 mm. Tekniken klarar inte att göra större detaljer i dagsläget men utveckling pågår.
- Ger grova ytor på verktyget som kräver mycket efterbearbetning.

- Tekniken är ny och behöver därför testas innan den kan komma ut ordentligt på marknaden.

6 Saabs tidigare erfarenheter av DMLS

DMLS har tidigare använts av Saab för framställning av ett prototypverktyg till ett plastclips. Anledning till att denna metod användes var att priset som offererades på ett traditionellt verktyg, enligt Saabs expertis, var alltför högt och att man därför beslöt sig för att undersöka möjligheten med DMLS. Pris och ledtid som offererades av företaget PDS på ett DMLS-verktyg var betydligt lägre. Clipsets verktygstillverkning hos PDS, till skillnad gentemot Saabs offererade uppgifter, resulterade i följande skillnader:

- Priset på verktyget sänktes med 70 %.
- Ledtid för verktygstillverkningen sänktes med 50 %.

Kvalitén på clipsen bedömdes, av Jan Henriksson som var beställare av clipsen, motsvara 90 % av den kvalitet man får på ett clips framtagit med ett produktionsverktyg. En nackdel i offerten var själva artikelpriset. Priset per artikel låg 100 % högre än tidigare, men eftersom antalet artiklar som skulle tas fram var lågt kunde denna höjning accepteras [7]. En anledning till att PDS offererade en hög artikelkostnad är att företaget har manuell formsprutning som kräver fler mantimmar.

7 Upphandling av kontrakt

Möte med Anna-Lena Björkenstam på Saabs inköpsavdelning gav svar på frågeställningar gällande upphandling av kontrakt. Det som efterfrågades var om möjlighet fanns att från Teknisk utveckling styra en leverantör till att använda en viss verktygsframställningsmetod samt om konstruktörerna själva kan välja verktygsmakare.

Det visade sig att Saabs möjlighet att påverka val av leverantör skiljer sig åt mellan prototyp- och produktionsverktygstillverkning. Vad det gäller produktionsverktyg är detta en mycket styrd process inom GM. Däremot vid prototypverktygsframställning finns större möjlighet att påverka från konstruktörens sida. Från Teknisk utveckling kan den tekniska specifikationen användas för att rekommendera leverantören att använda en speciell typ av tillverkning. Inköp kan i sin tur använda sig av dokumentet SOR (Statement of requirement) för samma ändamål.

Det rekommenderas från inköps sida att Teknisk utveckling använder de nya metoderna på marknaden i pilotprojekt för att ta fram prototypverktyg. På så sätt skaffar sig Saab mer information om metoden och kan sedan använda denna vid framtida upphandlingar [8].

8 Beskrivning av matriser

En jämförelse av traditionell verktygsframställning, DMLS och EBM har ställts upp i matriser för att på ett lättöverskådligt sätt visa eventuella skillnader (se bilaga 1, 2, 4 och 5). Två företag som använder DMLS jämförs mot traditionell prototypframställning. Anledning till att två företag tagits med är att de använder olika kornstorlek på metallpulvret, vilket medför vissa skillnader. EBM visade sig inte vara lämplig för att ta fram prototypverktyg utan jämförs mot produktionsverktyg.

För de tre utvalda komponenterna presenteras jämförelsen av kostnader och ledtider, för de olika framställningsmetoderna, i två matriser.

Övriga jämförelser av de olika metoderna sattes upp i ytterligare två matriser (se bilaga 4 - 5). Matriserna besvarar följande frågeställningar, gällande metoderna, som ställts av elmekanikavdelningen:

- Hur fungerar tillverkningsprocessen av verktyget?
- Vilken volym kan formsprutas med verktygen?
- Ledtid för verktygsframställning?
- Finns det en storleksbegränsning?
- Vilken typ av efterbearbetning krävs?
- Hur blir kvalitén på verktygen/artiklarna?
- Vilka toleranser kan erhållas på verktygen?
- Kan alla plastmaterial att formsprutas?
- Hur är modifieringsmöjligheterna?
- Finns det speciella kostnadspåverkande faktorer?
- Fördelar jämfört med traditionell framställning?
- Nackdelar jämfört med traditionell framställning?
- Hur ser framtidsplanerna ut?

8.1 *Matris över kostnader och ledtider*

Två matriser jämför de utvalda komponenternas kostnader och ledtider (se bilaga 1 och 2). I matriserna har Saabs tidigare offerter på verktyg jämförts med det som offererats av Prototal, PDS och Formteknik.

Kostnad och ledtid för verktygsframställningen har brutits ned i mindre delar för att få en rättvis jämförelse. Skillnader visade sig finnas beroende på om det är prototypverktyg eller produktionsverktyg samt om det är en systemleverantör eller separata verktygsmakare.

I de priser som offererats till Saab från systemleverantörer ingår artikelkonstruktion, verktygskonstruktion, ytstruktur och dokumentation. I de priser som lämnats av Prototal, PDS och Formteknik ingår däremot enbart verktygskonstruktionen. För att uppgifterna skulle bli jämförbara lades övriga kostnader och ledtider till offerterna från Prototal, PDS och Formteknik på det sätt som beskrivs i matriserna. Dessa kostnader och ledtider är uppskattade värden framtagna med hjälp av erfarna konstruktörer och produktionstekniker.

Viktigt att kommentera är att företagen PDS och Prototal jämförs mot Saabs offerter på prototypverktyg och att Formteknik jämförs mot Saabs offerter på produktionsverktyg. Informationen som ligger till grund för matriserna kommer från [1, 2, 3, 4, 7, 8] i referenslistan.

8.2 Matris över skillnader mellan metoderna

För att få en rättvis jämförelse har metoderna för prototypverktyg respektive produktionsverktyg delats upp i två delar i matrisen (se bilaga 4 och 5). I den del som jämför prototypverktyg samt produktionsverktyg med låga volymer har både aluminium- och stålverktyg, framställt enligt traditionell metod, tagits med.

Uppdelningen av dessa två material beror på att de båda används vid tillverkning av prototypverktyg men att materialvalet ger en del skillnader på bl.a. verktygets kvalitet och kostnad. Traditionell tillverkning med aluminiumverktyg har satts som referensmetod i matrisen, eftersom det är den vanligaste framställningen för prototypverktyg.

I jämförelsen vad det gäller produktionsverktyg har stålverktyg satts som referens och jämförs mot EBM. DMLS från PDS har även satts in i denna jämförelse pga. att det inom en snar framtid väntas ske stora förändringar med tekniken som kan leda till att verktyg kan klara seriemässiga volymer. För att markera att det ej är aktuellt i dagsläget har metoden gråmarkerats i matrisen.

De uppställda frågeställningar som visas i kapitel 7 jämförs mellan metoderna i matrisen. Informationen som ligger till grund för dessa matriser kommer från [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8] i referenslistan.

9 Resultat

9.1 Jämförelse av metoderna med avseende på kostnader och ledtider

Resultatet av jämförelsen, med avseende på kostnader och ledtider, mellan de olika metoderna presenteras nedan i procentform. Det offererade priset på traditionell tillverkning av produktionsverktyg är satt som referens och utgör 100 procent.

Artikel	Företag	Pris	Ledtid
Blindplugg (produktion)	Saabs offert*	100 %	100 %
Blindplugg (produktion)	Formteknik/EBM	54 %	54 %
Blindplugg (prototyp)	Saabs offert*	77 %	77 %
Blindplugg (prototyp)	Prototal/DMLS	31 %	38 %
Blindplugg (prototyp)	PDS/DMLS	44 %	38-54 %
Rattspak (produktion)	Saabs offert*	100 %	100 %
Rattspak (produktion)	Formteknik/EBM	79 %	90-100 %
Rattspak (prototyp)	Saabs offert*	63 %	68 %
Rattspak (prototyp)	Prototal/DMLS	48 %	54 %
Rattspak (prototyp)	PDS/DMLS	62 %	46-57 %

Ingen jämförelse för kabelkanal visas här pga. att uppgifter ej lämnades från vare sig PDS, Prototal eller Formteknik. De ansåg att den inte var lämplig att framställa med metoderna eftersom det var en alltför stor detalj.

Verkliga kostnader och ledtider presenteras i detalj i bilaga 1 och 2. Uppgifterna resovisas även i tre diagram för att bättre visualisera jämförelsen (se bilaga 3).

*På verktyg framställt med traditionell metod.

9.2 Jämförelse av metoderna med avseende på övriga aspekter

Resultatet av jämförelsen mellan DMLS, EBM och traditionell verktygsframställning med avseende på bl.a. kvalitet, toleranser, volym, efterbearbetning, material- och storleksbegränsning presenteras i två matriser (se bilaga 4 och 5).

Kvalitén på verktygen framställda med DMLS och EBM visade sig variera stort och för att tydliggöra detta presenteras frågor angående kvalitén på verktygen även separat nedan:

9.2.1 Prototyp och DMLS med avseende på kvalitet

Prototyp använder ett bronspulver med en kornstorlek på 0,05 mm vilket ger en grov yta på verktyget som måste bearbetas mycket med slipning och polering. Problem finns med att detaljerna fastnar i verktyget vid formsprutningen pga. den grova ytan.

Verktygen får en sämre yta och toleranser än ett traditionellt framställt prototypverktyg. Feltoleranser ligger på $\pm 0,1$ mm.

9.2.2 PDS och DMLS med avseende på kvalitet

Uppgradering till ett finare metallpulver, från en kornstorlek på 0,05 mm till 0,02 mm, gör att verktyget får en finare yta som inte behöver efterbearbetas i samma utsträckning som tidigare. Toleranserna är jämförbara med dem som fås med traditionell verktygsframställning.

Hållfastheten på ett bronsverktyg är bättre än på ett traditionellt framställt aluminiumverktyg.

Hållfastheten på ett stålverktyg motsvarar den man får med ett SS 1650 stål.

(För övriga skillnader mellan stål- och bronspulver se stycke 3.2.1.1 och 3.2.1.2.)

9.2.3 Formteknik och EBM med avseende på kvalitet

Materialet motsvarar ett H13 verktygsstål.

Eftersom man får en helt solid detalj är metoden likvärdigt traditionell framställning av produktionsverktyg.

Verktygen får grova ytor som kräver mycket efterbearbetning med gnistning, slipning och polering. Toleranserna är dåliga, feltoleransen ligger på 0,3-0,4 millimeter.

De anpassade kylkanalerna ger högre detaljkvalitet på formsprutade artiklar.

10 Analys av resultat

10.1 Analys av jämförelse av metoderna med avseende på kostnader och ledtider

Nedan presenteras viktiga aspekter som sannolikt kan ha påverkat resultatet i jämförelsen.

- De offerter som lämnats till Saab av Prototal, PDS och Formteknik är inte förhandlade. Troligtvis skulle förhandlingar leda till att både kostnader och ledtider minskar. De uppgifterna på traditionell tillverkning som är med i jämförelsen är dock förhandlade av Saab.
- Prototal använder inte DMLS för att ta fram hela verktyg utan gör enbart insatser till aluminiumverktyg. På PDS tar de fram hela verktyget med DMLS. På grund av detta har PDS och Prototal har inte offererat på samma typ av verktyg.
- Prototal och PDS använder inte samma sorts metallpulver till sin DMLS framställning. Detta medför att Prototal får kortare maskintid men måste lägga fler timmar på efterbearbetning. För PDS del har man en längre maskintid pga. det finare pulvret men slipper dock efterbearbeta i lika stor utsträckning. Den totala ledtiden skiljer sig därför inte nämnvärt men däremot kan verktygskvalitén vara olika.

10.1.1 Analys av kostnader och ledtider för blindplugg

Framställning med DMLS:

Det visar sig att både Prototals och PDS offerter ger en kraftig reducerad kostnad och ledtid jämfört med traditionell tillverkning. Genom analys av resultatet har följande framkommit:

Blindpluggen har en lämplig storlek och geometri för framställning med DMLS. Detta eftersom formdjupet med stödstruktur tar lång tid att bearbeta fram på traditionellt vis med en fräs och eventuellt måste formdjupet gnistas fram.

Den kortare ledtiden med DMLS, jämfört med traditionell tillverkning, påverkar priset positivt.

Resultatet av jämförelsen visar att Prototal har den lägsta kostnaden. Dock är inte metoden den bästa ur kvalitetssynpunkt.

Framställning med EBM:

Formtekniks offerter ger en nästan halverad kostnad och ledtid jämfört med traditionell tillverkning för verktyget. Det mycket bättre resultatet beror på att blindpluggen har en lämplig storlek och geometri för att dess verktyg ska tillverkas med EBM. Detta eftersom formdjupet tar lång tid att bearbeta fram med traditionell metod.

Den kortare ledtiden med EBM, jämfört med traditionell tillverkning, påverkar priset positivt.

10.1.2 Analys av kostnader och ledtider för rattspak

Framställning med DMLS:

Prototals offerter ger en reducerad kostnad och ledtid jämfört med traditionell tillverkning. Prototals uppgifter gäller ett aluminiumverktyg där DMLS enbart används för att ta fram insatser till verktyget. Priset offererat från PDS skiljer sig däremot inte nämnvärt jämfört med traditionell tillverkning. PDS har offererat på ett verktyg framtaget helt med DMLS.

Anledningen till att PDS har offererat en högre kostnad, än Prototal på verktyget, är att detaljen inte visade sig vara lämplig att bygga helt med DMLS. Rattspakens framsida tas enklare och snabbare fram med hjälp av en höghastighetsfräs eftersom det är en lång, svepande yta som är lättåtkomlig för en fräs. Baksidan på rattspaken är däremot mer komplex och tas därför med fördel fram med DMLS. För övrigt är det en hög och smal detalj som kräver stödstruktur vid uppbyggnaden av verktyget med DMLS.

Stödstrukturen påverkar priset då det blir större materialåtgång och längre maskintid.

Ledtiden är något kortare med DMLS än för traditionell tillverkning. Om en kort ledtid krävs för att ta fram ett liknande verktyg är både ett verktyg helt i DMLS och ett verktyg med DMLS-insatser att rekommendera.

Resultatet av jämförelsen visar att Prototal har den lägsta kostnaden. Dock är inte metoden den bästa ur kvalitetssynpunkt.

Framställning med EBM:

Rattspaken är för stor för att dess verktyg ska kunna tas fram i en körning. På grund av detta tvingas man dela upp tillverkningen av varje verktygshalva i två delar och svetsa samman dessa efteråt. Priset för verktyget blev trots detta något lägre. Ledtiden är jämförbar med traditionell tillverkning.

Formteknik hävdar att verktygspriset inte skulle bli lägre om de använder EBM, jämfört med om de tar fram verktyget på traditionellt sätt. Priset med EBM blev trots detta lägre än det på Saab offererade priset på traditionell verktygsframställning.

Kvalitén och ledtiden på verktyget kan påverkas negativt genom att man tar fram verktygshalvorna i flera delar. Detta pga. att sammanfogningen kan ge sämre kvalitet

och kräver extra bearbetning av verktyget. Även om priset är bättre med EBM så bör verktygets kvalitet diskuteras innan ett beslut tas om att tillverka verktyget med denna metod.

10.1.3 Analys av kostnader och ledtider för kabelkanal

Framställning med DMLS och EBM:

Kabelkanalen är för stor för att verktygshalvorna ska kunna tas fram i någon av maskinerna. Varken Prototal, PDS eller Formteknik ansåg att det var intressant att tillverka verktyget i flera delar. Metoderna skulle inte vara konkurrenskraftiga jämfört med traditionell framtagning eftersom det skulle innebära mycket extra bearbetning på verktygen och därmed ge en högre slutkostnad.

10.2 Analys av jämförelsen av metoderna med avseende på övriga aspekter

Det visade sig att metoderna DMLS och EBM inte var jämförbara mot varandra och därför gjordes ingen jämförelse mellan metoderna. Verktygsframtagning med DMLS riktar sig än så länge mot prototypverktyg till skillnad mot EBM där verktygen blir jämförbara med traditionellt framställda produktionsverktyg. Kvalitén på ett verktyg framtaget med DMLS varierar beroende på vilken kornstorlek på metallpulvret som används. Prototal och PDS använder olika pulverstorlek och detta ger en del skillnader i jämförelsematrisen mellan företagen. Eftersom EBM bara finns hos en verktygsmakare i Sverige så kunde enbart ett företag tas med i jämförelsen mot traditionell verktygsframställning.

En analys av de uppgifter som presenteras i matrisen görs nedan för respektive företag och dess framställning med DMLS alternativt med EBM.

10.2.1 Prototal och DMLS

På Prototal användes inte DMLS i speciellt hög omfattning vid den tidpunkt jämförelsen gjordes. Istället satsade företaget mer på att utveckla den traditionella bearbetningen av verktyg med höghastighetsfräsar. DMLS användes bara vid enstaka tillfällen, då prototypverktyget innehöll komplicerade ytor som inte kunde tas fram med hjälp av fräsning, och då enbart som insatser i verktyget. Detta var alltså anledningen till att de valde att lämna offerter på aluminiumverktyg med DMLS-insatser.

En uppgradering av metoden ska ske inom en snar framtid vilket antagligen kommer att göra att DMLS används i större utsträckning av Prototal. Innan uppgraderingen sker finns en del brister med metoden, bl.a. att ytan på verktygen blir grov och därför kräver mycket efterbearbetning med slipning och polering samt att toleranserna blir sämre än för traditionell bearbetning.

På Prototal kan uppmätningar av artiklar göras i bilens koordinatsystem, vilket är en fördel för Saab eftersom en noggrann uppmätning av artiklarna krävs.

10.2.2 PDS och DMLS

Det är i många fall lika bra eller bättre att använda DMLS, jämfört med traditionell verktygsframställning. Det finare pulvret i både brons och stål gör att kvalitén på verktygen med DMLS är bättre än kvalitén på aluminiumverktyg. DMLS är inte fördelaktigt att använda när det är en enkel artikel utan komplexa ytor, när höjden överstiger 60-70 mm samt när artikeln inte ryms i maskinutrymmet.

Med stålpulvret går det att få fram verktyg med mycket fina ytor som klarar formsprutning med stora volymer. Eftersom PDS är ett företag som inriktat sig på prototypmarknaden tas mestadels bronsverktyg fram med DMLS. Framtidsplaner, som finns för metoden, visar dock att metoden kan komma att bli konkurrenskraftig vid tillverkning av produktionsverktyg.

Positivt med PDS är att de ligger långt fram vad det gäller utveckling av DMLS. De satsar mycket på att uppgradera maskinen med de nyheter som EOS erbjuder och vill vara först med det senaste inom tekniken.

En nackdel för Saab är att PDS i dagsläget inte utför mätningar i bilens koordinatsystem utan enbart gör enklare mätningar.

10.2.3 Formteknik och EBM

Eftersom EBM är en ny metod och ännu inte används av svenska verktygsmakare, som ett alternativ till traditionell framställning, var det svårt att få fram fakta om metoden. Vissa av uppgifterna såsom möjlig volym med verktygen har inte verifierats. Denna är uppskattad eftersom inget verktyg ännu har körts i produktion så pass länge att det kommit upp till de volymer som lovats med verktygen. Det är däremot bevisat att det skapas en solid detalj med metoden och att materialet motsvarar ett H13 verktygsstål. Dessa fakta gör att man drar slutsatsen att verktyg framtagna med EBM går att jämföra med ett traditionellt framställt verktyg.

Metoden kräver en del modifieringar innan den kommer bli verkligt intressant för den svenska verktygsmarknaden. Vad det gäller ytan på verktygen blir denna grov och det krävs mycket efterbearbetning för att få den fin. Detta är en process som ökar ledtiden och kostnaden för verktygsframställningen. En annan nackdel med metoden är att maskinen storleksmässigt idag bara klarar att ta fram relativt små detaljer. Det går att dela upp ett verktyg i flera delar och sätta samman dessa efteråt, men då riskerar man att kvalitén på verktygen försämras. Metoden är däremot intressant för att göra insatser till verktyg med och på så sätt få anpassande kylkanaler.

Det som gör att EBM konkurrerar med traditionellt framställning är framför allt möjligheten att få anpassade kylkanaler i verktygen. Genom att lägga kylkanaler där de

bäst fyller sin funktion kan man korta cykeltiderna för formsprutningen och samtidigt få en ökad detaljkvalitet.

Tidigare har konstaterats att metoderna inte är jämförbara, men för att få en uppfattning om varför ytorna på detaljerna framställda med EBM blir så grova bör det nämnas att kornstorleken på metallpulvret är grövre än för det som används med DMLS. DMLS finaste pulver har en kornstorlek på 0,02 mm och Arcams pulver har en kornstorlek på 0,1 mm. De parametrar som påverkar valet av pulvret är processhastighet, måttnoggrannhet, materialegenskaper och ytfinhet.

För att metoden ska bli aktuell för Saab krävs att den börjar användas av de svenska verktygsmakarna. I dagsläget finns inget direkt samarbete mellan verktygsmakare (Formteknik) och formsprutare, vilket medför att det är komplicerat för Saab att använda metoden. Ett alternativ är att ett testprojekt mellan Arcam och Saab genomförs, där ett verktyg eller insatser till ett verktyg tas fram med EBM, för att på så sätt utvärdera metoden.

11 Rekommendationer till fortsatt arbete

Det viktigt att fortsatt följa Prototals och PDS utveckling, eftersom båda företagen inom en snar framtid kommer att uppgradera sina maskiner. Prototal kommer att börja använda det finare pulvret och på PDS väntas en stor nyhet inom kort med DMLS. Förändringen hos PDS kommer eventuellt göra det möjligt att tillverka produktionsverktyg med metoden. Nyheten är för närvarande belagd med sekretess.

Både utländska och svenska företag har börjat visa stort intresse för EBM. I nuläget finns inget samarbete mellan verktygsmakare som använder EBM och formsprutningsföretag, vilket gör det komplicerat för Saab att använda metoden. Det är ändå viktigt för Saab att fortsätta följa utvecklingen av metoden och se om eventuella samarbeten uppstår.

Mycket tyder på att det är lägre verktygspriser i allmänhet på svenska marknaden än hos övriga europeiska verktygsmakare. Detta bör därför undersökas med avseende på traditionell framställning av verktyg.

Idag finns ett motstånd från PDS att utföra all den uppmätning som Saab kräver på verktygen. För att få ett bra samarbete med PDS i framtiden krävs att Saab går igenom rutinerna och visar att det inte är en så komplicerad process.

Eftersom ingen hänsyn har tagits till kostnader för formsprutning av artiklar i jämförelsen bör detta utforskas vidare. Prototypstillverkare har ofta ett dyrt artikelpris pga. av manuell formsprutning. I de fall då man vill ta fram produktionsverktyg med låg volym med hjälp av DMLS är det viktigt att undersöka att den lägre verktygskostnaden inte äts upp av det dyrare artikelpriset. Var går gränsen volymmässigt för att det inte längre ska vara lönsamt?

12 Slutsatser

En slutsats av vårt arbete är att DMLS är en mycket lämplig metod att använda för framställning av prototypverktyg. Metoden rekommenderas ej i de fall då det är mycket enkla detaljer samt om det är stora detaljer.

En möjlighet att testa DMLS är att använda sig av metoden i pilotprojekt för framtagning av prototypverktyg. På så sätt skaffar sig Saab mer information om tekniken, vilken kan används vid framtida upphandlingar.

Att ta fram produktionsverktyg med EBM kan bli en mycket lämplig metod inom en snar framtid. Tekniken är ny och håller fortfarande på att testas och utvärderas. En del uppgraderingar av metoden måste ske innan metoden blir aktuell att använda.

Det är inte lämpligt att framställa stora verktyg helt i DMLS eller EBM men däremot kan det vara mycket lämpligt att ta fram insatser till dessa verktyg. Särskilt om verktyget har vissa komplexa delar. På detta sätt kan man få anpassade kylkanaler i verktyget och därmed optimal kylning.

13 Referensförteckning

13.1 Muntliga referenser

1. Larsson, Claes-Göran, TVGPG, produktionstekniker Saab
2. Lind, Kenneth, TVGPH, produktionstekniker Saab
3. Kindberg, Arne, TVGPD, produktionstekniker Saab
4. Erlandsson, Daniel, Formteknik Verktygs AB, Unnaryd
5. Thorin, Fredrik, TLFMD, Saab
6. Rene, Magnus, Arcam AB, Göteborg
7. Viking, Maria, Prototal AB, Jönköping
8. Thorstensson, Börje, PDS, Vinninga
9. Henriksson, Jan, TFIN, Inredning Saab
10. Björkenstam, Anna Lena, KSA, Inköp Saab

13.2 Skriftliga/Elektroniska referenser

11. Becker Johan, Berggren Kenneth, Nilsson Lars-Åke & Strömvall Hans-Erik (2000). *Formsprutningsteknik*, Utg.1. Göteborg.
12. PDS: de metoder vi använder: DMLS-information. [Elektronisk] Tillgänglig: <www.pds.se> [2002-02-14].
13. Prototal: rapid tooling: DMLS. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.formteknik.se> [2002-02-14].
14. Arcam EBM *Technology* [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.arcam.com/technology/tech_ebm.asp> [2003-01-28].
15. Arcam *EBM: EBM* (informationshäfte angående EBM) (2002).
16. Formteknik: teknik [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.formteknik.se> [2002-02-15]
17. Carlsson T (2002), Konstruktörens dröm, Verkstäderna, nr 10, s. 44-48.

Bilaga 1

Kostnader för Blindplugg, Rattspak och Kabelkanal
(Bilaga arkiveras på Saab)

Bilaga 2

Ledtider för Blindplugg, Rattspak och Kabelkanal
(Bilaga arkiveras på Saab)

Bilaga 3

Diagram för Kostnader och Ledtider
(Bilaga arkiveras på Saab)

Prototyp- och produktionsverktyg med låga volymer

Egenskaper Verktyg	Tillverkningsprocess	Volym	Leditid*	Storleksbegränsning
Referens Aluminium	Verktyget bearbetas fram med bl.a. borning, fräsning och gnistning.	100-10 000 artiklar. Volymen beror mycket på vilket material som formsprutas. Eftersom aluminium är ett mjukt material går det lätt sönder och bildar grader om det består av flera lösa detaljer såsom backar mm.	Varierar mellan 8-12 veckor.	Ingen storleksbegränsning av verktyg.
Stål	Verktyget bearbetas fram med bl.a. borning, fräsning och gnistning.	Ca 100 000 detaljer.	Varierar mellan 12-18 veckor. Har aningen längre leddid än aluminium eftersom det är svårare att bearbeta.	Ingen storleksbegränsning av verktyg..
DMLS (Prototal)	Insatser till aluminiumverktyg görs i DMLS. Metoden är en FFF-metod och fungerar på samma sätt som vanligt lasersintring med skillnaden att det här är ett metallpulver som sintras. Pulver: Brons, kornstorlek 0,05 mm.	Bronsverktyg ca 10 000 st.	Ca 3 veckor.	Maskinutrymme 250x250x185 mm (bxdxh). Detaljen måste vara något mindre.
DMLS (PDS)	Hela verktygen tas fram med DMLS. Metoden är en FFF-metod och fungerar på samma sätt som vanlig lasersintring med skillnaden att det här är ett metallpulver som sintras. Pulver: Brons alt. stål, kornstorlek 0,02 mm.	Bronsverktyg ca 10 000 st. Stålverktyg ca 100 000 st.	Ca 3-5 veckor. (Ett verktyg i stål tar längre tid att ta fram i maskinen men kräver mindre efterbearbetning.)	Maskinutrymme 250x250x185 mm (bxdxh). Detaljen måste vara något mindre.

*I leddid ingår verktygskonstruktion och maskinbearbetning, ej modellering av artikel eller mönstring.

(Från det att cad-underlag erhålles av verktygstillverkaren tills det att man kan ta fram första skottet med verktyget.)

Prototyp- och produktionsverktyg med låga volymer

Egenskaper Verktyg	Efterbearbetning	Kvalité **	Toleranser
Referens Aluminium	Om formdjupet är stort kan man inte fräsa fram formen utan måste använda gnistning. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Eftersom aluminium är ett mjukt material kan det lätt gå sönder och bildas grader. För övrigt är det bra ytor och toleranser. Kan mönstras.	±0,05
Stål	Lite svårare att bearbeta än aluminium pga. att stål är ett hårdare material. Om formdjupet är stort kan man inte fräsa fram formen utan måste använda gnistning. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Bra kvalité vad gäller hållfasthet, ytor och toleranser. Kan mönstras.	±0,05
DMLS (Prototal)	Sintrade insatser måste ytbehandlas med kulbombning. 0,05 mm pulvret ger en grov yta som kräver mycket efterbearbetning såsom slipning och polering. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Använder ett 0,05 mm bronspulver som ger en grov yta som måste bearbetas ganska mycket. Man får sämre yta och sämre toleranser på ett verktyg i DMLS framställt hos Prototal än med ett traditionellt aluminiumverktyg. Kan mönstras.	± 0,1 mm
DMLS (PDS)	Sintrade insatser måste ytbehandlas med kulbombning. 0,02 mm pulvret ger finare ytor än 0,05 mm, alltså krävs mindre efterbearbetning. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Bronsverktyg (0,02 mm pulver) har bättre hållfasthet än ett aluminiumverktyg. Stålverktyg (0,02 mm pulver) ger en hållfasthet motsvarande ett SS 1650 stål. Stål tål mer bearbetning än brons och ger en finare yta. Kan mönstras.	± 0,05 mm

**Går det att uppnå en viss typ av mönstring? Hållfasthet? Ytor?

Prototyp- och produktionsverktyg med låga volymer

Egenskaper Verktyg	Materialbegränsning***	Modifieringsmöjligheter	Kostnadspåverkande faktorer
Referens Aluminium	Alla plaster kan formsprutas.	Kan modifieras på traditionellt vis.	Aluminium är ett dyrare material än stål (kr/kg) men eftersom densiteten på aluminium är lägre blir vikten lägre för samma verktyg.
Stål	Alla plaster kan formsprutas.	Kan modifieras på traditionellt vis.	Till prototypverktyg används ett billigare och något sämre stål än till serieverktyg.
DMLS (Prototal)	Alla plaster kan formsprutas.	Kan modifieras, dock ej direkt i DMLS-maskin, utan detta görs på traditionellt sätt (borring, fräsning etc.). Ofta görs en modifierad DMLS insats som sätts in i verktyget.	Sintringshöjden är kostnadsdrivande och påverkar prisbilden till stor del.
DMLS (PDS)	Alla plaster kan formsprutas.	Kan modifieras, dock ej direkt i DMLS-maskin, utan detta görs på traditionellt sätt (borring, fräsning etc.). Ofta görs en modifierad DMLS insats som sätts in i verktyget. Det är möjligt att svetsa i stålverktyg men det rekommenderas ej för bronsverktyg.	Sintringshöjden är kostnadsdrivande och påverkar prisbilden till stor del. Ej lönsamt om detaljen överstiger en höjd på 60-70 mm. Materialpris ~2000kr/kg.

*** Vilka plaster kan formsprutas i verktygen?

Prototyp- och produktionsverktyg med låga volymer

Egenskaper Verktyg	Fördelar	Nackdelar	Framtidsplaner
Referens Aluminium	Lätt att bearbeta. Bra ytor och toleranser.	Ökad risk för slitage och grader på verktyget om det består av många lösa detaljer såsom backar etc. Vissa material, såsom glasfiber, sliter mycket på verktyget.	Höghastighetsfräsar utvecklas och kortar ledtiderna.
Stål	Dyrare verktygsframställning pga. att stål är svårare att bearbeta än aluminium. Bra hållfasthet, ytor och toleranser.	Långa ledtider. Dyr verktygsframställning.	Höghastighetsfräsar utvecklas och kortar ledtiderna.
DMLS (Prototal)	Prototal använder i dagsläget enbart DMLS för att ta fram insatser till aluminiumverktyg. Används i de fall då det är komplicerade detaljer med djupa, smala spår som kan vara svåra att komma åt med en fräs samt om detaljen har lutande ytor.	Ej lämplig för stora detaljer. Ej lämplig för enkla detaljer eftersom fräsning då är ett snabbare och billigare alternativ. Höga och smala detaljer är kostnadsdrivande och höjden bör inte överstiga 60-70 mm. Dåliga ytor och toleranser ($\pm 0,1$) pga. grovt pulver (0,05 mm). Ojämheter i ytan kräver fler utstötare i verktyget.	Prototal använder ett pulver med kornstorleken 0.05 mm men kommer troligtvis att byta till mindre kornstorlek (0.02 mm). Med det nya pulvret får man mindre porer och finare ytor, men tillverkningstiden i maskin dubblas.
DMLS (PDS)	DMLS används med fördel då man hade behövt att gnista vid traditionell verktygsframtagning. Snabb verktygsframställning. Mer slitsstarkt material än aluminium. Anpassade kylkanaler.	Ej lämplig för stora detaljer. Ej lämplig för enkla detaljer eftersom fräsning då är ett snabbare och billigare alternativ. Höga och smala detaljer är kostnadsdrivande och höjden bör inte överstiga 60-70 mm.	En förbättring av metoden väntas i slutet av år 2003. Nyheten är för närvarande belagd med sekretess. Verktygen kommer att klara betydligt större volymer än vad man kan idag och kan då även användas som produktionsverktyg.

Produktionsverktyg

Egenskaper Verktyg	Tillverkningsprocess	Volym	Ledtid*	Storleksbegränsning
Referens Stål	Verktyget bearbetas fram med bl.a. borrar, fräsning och gnistning.	Ca 1 000000 detaljer	Varierar mellan 12-40 veckor för de flesta detaljer.	Ingen storleksbegränsning.
EBM (Formteknik)	EBM står för Electron Beam Melting (elektronstråle smältning) och den utvecklades av företaget Arcam i Göteborg. Det är en FFF-metod där detaljen byggs upp genom att elektroner, som styrs av magnetfält, smälter metallpulvret och bygger upp detaljen skikt för skikt. Värmeutväxlingen som inträffar när elektronerna träffar ytan (pulvret), blir så hög att materialet härdas direkt och man får en solid detalj.	Volymen ska enligt Arcam vara densamma som för ett stålverktyg framställt på traditionellt vis. (Finns ett verktyg igång hos Nolato Gota som man hittills, 2002-11-21, formsprutat ungefär 150 000 detaljer med).	10-12 veckor. Enligt Formteknik är ledtiderna ungefär samma som för traditionella metoder. Anledningen till detta är att ett verktyg framtaget med Arcams maskin får en grov yta som kräver mycket efterbearbetning. Tiden för formsprutningen kortas tack vare de anpassade kylkanalerna.	Maskinutrymme är 150x150x150mm (bxdxh). Detaljen måste vara något mindre.
DMLS (PDS) Inom snar framtid möjlig metod för serieverktyg	Metoden är en FFF-metod och fungerar på samma sätt som vanlig lasersintring med skillnaden att det här är ett metallpulver som sintras. Pulvret: Brons alt. Stål kornstorlek 0,02 mm.	Stålverktyg ca 100 000 st.	Ca 3-5 veckor.	Maskinutrymme 250x250x185 mm (bxdxh). Detaljen måste vara något mindre.

*I ledtid ingår verktygskonstruktion och maskinbearbetning, ej modellering av artikel eller mönstring.

(Från det att Cad-underlag erhålles av verktygstillverkaren tills det att man kan ta fram första skottet med verktyget.)

Produktionsverktyg

Egenskaper Verktyg	Efterbearbetning	Kvalité **	Toleranser
Stål	Använder fräs, höghastighetsfräs, gnistning, polering mm. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Bra kvalité vad det gäller hållfasthet och ytor.	± 0,05 mm
EBM (Arcam)	Ytan blir mycket grov och måste efterbearbetas med fräsning och gnistning. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Maskinen bygger upp en solid detalj. (Materialet i verktyget är ett H13 verktygsstål och är likvärdigt ett serieverktyg.) Detaljerna får grova ytor men efter bearbetning blir de likvärdiga serieverktyg. Anpassade kylkanaler gör att man får högre detaljkvalité.	Feltoleransen ligger på 0,3-0,4 mm.
DMLS (PDS) Inom snar framtid möjlig metod för serieverktyg	Sintrade insatser måste ytbehandlas med kulbombning. Slipning och polering. Saabs ytmönster etsas hos Standex.	Stålverktyg (0,02 mm pulver) ger en hållfasthet motsvarande ett 1650 stål. Stål tål mer bearbetning än brons och ger en finare yta.	± 0,05 mm

Produktionsverktyg

Egenskaper Verktyg	Materialbegränsning ***	Modifieringsmöjligheter	Kostnadspåverkande faktorer
Referens Stål	Alla plaster kan formsprutas.	Kan modifieras på traditionellt vis	Bra verktygsstål är dyra.
EBM (Arcam)	Alla plaster kan formsprutas.	Kan modifieras på samma sätt som ett traditionellt verktyg. Däremot går det inte att modifiera i Arcams maskin. (Materialet är ett vanligt verktygsstål som kan modifieras genom att man fräser, svetsar, gnistar etc. i verktyget.)	Höjden och vikten är kostnadsdrivande. Pulvret kostar 200kr/kg. Enligt Arcam ska priset på ett verktyg vara jämförbart med ett verktyg framställt på traditionellt sätt. Jämförelsen visar dock att priset ligger ungefär 40 % lägre för Arcams verktyg.
DMLS (PDS) Inom snar framtid möjlig metod för serieverktyg	Alla plaster kan formsprutas.	Går att modifiera. Dock ej direkt i DMLS-maskin utan detta görs på traditionellt sätt (borrning, fräsning etc.). Ofta gör man en modifierad DMLS-insats som sätts in i verktyget. Går att svetsa i stålverktygen men rekommenderas ej för bronsverktyg.	Priset ligger betydligt lägre än för framtagning av serieverktyg med traditionell metod, dock är metoden än så länge bara lämplig för serieverktyg med låga volymer, mindre än 100 000 artiklar. Sintringshöjden är kostnadsdrivande och påverkar prisbilden till stor del. Ej lönsamt om detaljen överstiger en höjd på 60-70 mm. Pulvret kostar ~2000kr/kg.

*** Vilka plaster kan formsprutas i verktygen?

Produktionsverktyg

Egenskaper Verktyg	Fördelar	Nackdelar	Framtidsplaner
Referens Stål	Bra hållfasthet. Bra toleranser. Fina ytor efter bearbetning.	Långa ledtider. Dyr framställning.	Utveckling sker med höghastighetsfräsar vilket kortar ledtiderna.
EBM (Arcam)	Anpassade kylkanaler som kortar cykeltiden. Kort beredningstid. Går lätt att göra komplexa detaljer. Förenklar för konstruktion (utstötarna kan placeras utan att man behöver ta hänsyn till kylkanaler). Färdighärdat stål fås direkt från maskinen (vid traditionell verktygsframställning måste verktyget skickas iväg för härdning).	Trög marknad. Ger grova ytor. (Efterbearbetning kostar mycket och tar tid.) Kan inte göra så stora detaljer. Max konstruktions mått är 150x150x150 mm.	Tekniken utvecklas hela tiden och det sker ständiga förbättringar. Den begränsande faktorn är elektronstrålen, där tekniken måste utvecklas för att få finare ytor på detaljen och för att kunna tillverka större detaljer i maskinen. Planer finns på att ta fram detaljer i annat material än i stål, exempelvis i titan.
DMLS (PDS) Inom snar framtid möjlig metod för serieverktyg	DMLS används med fördel då man hade behövt gnista vid traditionell verktygsframtagning. Snabb verktygsframställning. Mer slitsstarkt material än aluminium. Anpassade kylkanaler.	Ej lämplig för stora detaljer. Ej lämplig för enkla detaljer eftersom fräsning då är ett snabbare och billigare alternativ. Höga och smala detaljer är kostnadsdrivande och höjden bör inte överstiga 60-70 mm.	Nyhet är på gång med DMLS-tekniken i slutet året men är för närvarande belagd med sekretess. Livslängden kommer att öka drastiskt. Verktygen kommer att klara betydligt större volymer än vad man kan idag och kan då användas som produktionsverktyg.