

CHALMERS



Utveckling av servicemanual och utbildningsmaterial för Electron Beam Melting-maskin

I syfte att främja god vakuumhygien

Designingenjörsprogrammet

JULIA HELLSTRÖM

MARIA ÖSTMAN

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

Avdelningen för Design and Human factors

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2014

Examensarbete 2014:05

EXAMENSARBETE 2014:05

Utveckling av servicemanual och utbildningsmaterial för Electron Beam Melting-maskin

I syfte att främja god vakuumhygien

Designingenjörsprogrammet

JULIA HELLSTRÖM

MARIA ÖSTMAN

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för Design and Human factors
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2014

Utveckling av servicemanual och utbildningsmaterial för
Electron Beam Melting-maskin
I syfte att främja god vakuumhygien
Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet designingenjör

JULIA HELLSTRÖM

MARIA ÖSTMAN

© JULIA HELLSTRÖM & MARIA ÖSTMAN, Sverige 2014

Examensarbete 2014:05
Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling
Avdelningen för Design and Human factors
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Bild: Q10 maskin (Arcam, 2014)

Tryckeri /Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling
Göteborg, Sverige 2014

Förord

Denna rapport beskriver utvecklandet av den del av en servicemanual som behandlar vakuumsystemet i en Electron Beam Melting-maskin samt en PowerPoint om vakuumhygien som framtagits i utbildningssyfte för Arcam AB. Manualen och PowerPointen är utarbetad med syftet att passa användaren, som är en servicetekniker anställd på Arcam.

Arbetet genomfördes under den sjätte terminen på Designingenjörsprogrammet vid Chalmers Tekniska Högskola som examensarbete under vårterminen 2014 i kursen Examensarbete vid Produkt- och produktionsutveckling PPUX01.

Författarna vill tacka Olof Wranne, programansvarig för Designingenjörsprogrammet för stöd och råd som handledare och examinator för examensarbetet. Ett varmt tack ges även till Daniel Wexell, för den kunskap inom EBM-teknik och vakuumsystem han bidragit med som handledare på Arcam.

Vidare vill författarna tacka Ulf Ackelid, Senior Scientist, och Erik Ocholla, applikationsingenjör, för värdefull information kring vakuumhygien på Arcam.

Ett stort tack riktas också till Håkan Sjölander samt Pernilla Lundahl på teknisk support-avdelningen på Arcam för deras information och tips. Ett särskilt tack skall även framföras till servicetekniker Fredrik Mohlin som praktiskt testade och utvärderade manualen.

Göteborg 2014-05-16,
Julia Hellström och Maria Östman

Sammanfattning

Arcam AB är ett företag i Mölndal, som utvecklar och tillverkar Electron Beam Melting-maskiner (ofta förkortat EBM-maskin) som används för additiv tillverkning i metall. Maskinerna är i behov av service och förebyggande underhåll för att bibehålla sin fulla prestanda. På grund av det har ett behov uppkommit att utveckla en servicemanual till en av deras senast (2013) lanserade maskiner, Q10. Servicemanualen ska underlätta Arcams serviceteknikers arbete. I dagsläget (2014) utförs service och förebyggande underhåll av EBM-maskinen Q10 endast med hjälp av en checklista med en kort instruktion till varje servicepunkt.

Arbetet som presenteras i denna rapport har avgränsats till att utveckla den del av servicemanualen för Q10 maskinen som behandlar underhållet av vakuumsystemet. Vid arbete med vakuumsystem är goda renlighetsrutiner, även kallat vakuumhygien, en viktig faktor. Ett mål med arbetet var även att fram utbildningsunderlag för riktlinjer kring vakuumhygien i form av en PowerPoint presentation anpassad till servicetekniker och kunder på Arcam AB.

Arbetet inleddes med en introduktion till additiv tillverkning och EBM-teknik i form av en intern utbildning på Arcam. För att få praktisk erfarenhet hur servicearbetet utförs gjordes en deltagande observationsstudie vid service av vakuumsystemet i en EBM-maskin. Manualen och presentationen utvecklades därefter med hjälp av teorier kring interaktion mellan människa-tekniksystem, manualskrivande och informativa illustrationer. I arbetet gjordes även en teoretisk miljöanalys kring additiv tillverkning och dess miljöaspekter, EBM-teknik ur ett miljöperspektiv samt Arcams syn på hållbar utveckling.

Manualen utvecklades specifikt till Arcams servicetekniker och följde standardmallen för Arcams servicemanualer. För att diskutera och korrigera utkastet av manualen genomfördes två delredovisningar med teknisk support-avdelningen på Arcam. Avslutningsvis testades manualen praktiskt med hjälp av en servicetekniker och utvärderades med en enkät, för att sedan färdigställas.

Genom intervjuer med anställda på Arcam kartlades viktiga rutiner kring vakuumhygien i vakuumsystem i EBM-maskin. Den information som erhöles resulterade i en PowerPoint presentation med avsikt att användas som utbildningsmaterial.

Resultatet av manualdelen som ingick i arbetet består av text och illustrationer för varje arbetsmoment för service av vakuumsystemet hos EBM-maskinen Q10. Serviceteknikern som utvärderade manualen bedömde att den var informativ och uppfyllde sitt syfte.

Abstract

Arcam AB is a company in Mölndal, which develops and manufactures Electron Beam Melting machines (often abbreviated EBM machine) used for additive manufacturing of metal. These machines need service and preventive maintenance in order to maintain their full performance. Therefore a need has arisen to develop a service manual for one of their most recently launched machines, the Q10. The service manual will facilitate the work of Arcam service technicians. In the current situation (2014) maintenance of the EBM-machine Q10 is only performed by the aid of a checklist with short instructions for every service task.

The work presented in this report has been limited to the development of the chapters in the service manual which includes maintenance of the vacuum system for the Q10 machine. When working with a vacuum system good cleaning routines, also known as vacuum hygiene, is an important factor. One goal of this work was also to develop educative material for guidelines on vacuum hygiene in the form of a PowerPoint presentation developed for service technicians and customers at Arcam AB.

The work began with an introduction to additive manufacturing and EBM technology in the form of an in-house training course at Arcam. To gain practical experience in how the service work, a participative observation study was performed during a service of the vacuum system in a Q10 machine. The manual and the presentation were developed with the help of theories of interaction between human-technology system, manual writing and informative illustrations. The project also includes a theoretical environmental analysis regarding additive manufacturing and its environmental aspects, the EBM technology from an environmental perspective and Arcam's approach to sustainable development.

The manual was developed specifically for Arcam's service technicians and followed the standard template of Arcam's service manuals. Two separate presentations were held with the technical support department at Arcam to discuss and correct drafts of the manual. Finally the manual was practically tested with the help of a service technician and was evaluated with a questionnaire, and then finalized.

Key procedures regarding vacuum hygiene in vacuum systems in the EBM machine were acquired through interviews with employees at Arcam. The obtained information resulted in a PowerPoint presentation with the intent to be used as education material.

The development of the manual section resulted in text and illustrations for each service instruction regarding the vacuum system of the EBM machine Q10. The service technician who evaluated the manual concluded that the manual was informative and fulfilled its purpose.

Innehållsförteckning

Förord

Sammanfattning

Abstract

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och frågeställning	2
1.3	Mål	2
1.4	Avgränsningar	3
1.5	Rapportens disposition	3
1.6	Ordförklaring	4
2	Teoretisk referensram	6
2.1	Additiv tillverkning	6
2.1.1	EBM-teknik - en del av additiv tillverkning	6
2.1.2	Tillverkningsprocess för EBM-teknik	7
2.1.3	Metallpulver i Arcams produktion	8
2.1.4	Syreupptagning hos metallpulver under en EBM-byggprocess	9
2.2	Vakuüm och vakuümsystem	9
2.2.1	Vad är vakuüm?	9
2.2.2	Principer för högt vakuüm och molekylärluümp	9
2.2.3	Faktorer som påverkar vakuümsystemets effektivitet negativt	9
2.2.4	Vakuümsystem i EBM-maskinen Q10	10
2.3	Interaktionen mellan människa och teknik	11
2.3.1	Människa-tekniksystem	11
2.3.2	Användbarhet	12
2.3.2.1	Mätning och målsättning	12
2.3.2.2	Problem med användbarhet	13
2.3.3	Standardiserat arbetssätt	13
2.4	Att skriva manual	14
2.4.1	Skrivsätt	14
2.4.2	Arbetsgång för att utveckla en manual i ett team	15
2.5	Visuell information	15
2.5.1	Tolkning av bilder	17
2.5.2	Presentation av visuell information	17

2.5.3	Rendering i 3D-program	18
3	Metod.....	20
3.1	Projekt- och process metoder.....	20
3.1.1	Gantt-schema.....	20
3.1.2	Projektdagbok.....	20
3.1.3	Flödesschema för processer.....	20
3.2	Datainsamlings metoder.....	20
3.2.1	Intervjuteknik	21
3.2.2	Observationsstudie.....	21
3.3	Utvärderingsmetoder	22
3.3.1	Enkät	23
4	Miljöanalys av additiv tillverkning.....	24
4.1	Additiv tillverkning och dess miljöaspekter	24
4.2	EBM-teknik och miljö	24
4.3	Återanvändning av metallpulver	25
4.4	Arcams syn på hållbar utveckling.....	25
4.5	Miljöaspekter i kunders produktion.....	26
5	Planering och förstudie	27
5.1	Planering.....	27
5.2	Flödesschema för utvecklingsprocess av manual och PowerPoint presentation	27
6	Genomförande och resultat av manual	29
6.1	Presentation av kapitel som ingår i vakuumsystemet i servicemanualen	29
6.1.1	Nulägesanalys.....	30
6.2	Förutsättningar och användarprofil till manualen.....	31
6.2.1	En rollbeskrivning av servicetekniker.....	31
6.2.2	Arcams mall för servicemanualer	31
6.3	Insamling av teknisk kunskap.....	32
6.3.1	Utbildning: Level 1	32
6.3.2	Observationsstudie: Service av EBM-maskinen Q10	33
6.4	Första utkast av manualen	34
6.4.1	Flödesschema för arbetet med varje servicepunkt	34
6.4.2	Utveckling av text till manualen	35
6.4.3	Användbarhet från teori till praktik	35
6.4.4	Utveckling av illustrationer	35
6.4.4.1	PTC Creo View Express 3.0.....	35

6.4.4.2	Adobe Photoshop CS6	36
6.5	Återkoppling och korrigeringsarbete	37
6.5.1	Delredovisningar	37
6.6	Färdigställning och praktiskt test av manual	38
6.6.1	Praktiskt test av manual	38
6.6.2	Utvärdering: Enkät från det praktiska testet	39
6.7	Resultat av manual	39
7	Genomförande och resultat av PowerPoint presentation	40
7.1	Intervju med Ulf Ackelid.....	40
7.2	Intervju med Erik Ocholla	42
7.3	Resultat: PowerPoint presentation	43
8	Diskussion och slutsats	45
8.1	Miljöanalys	46
8.2	Rekommendationer för fortsatt arbete	47
	Referenslista	48

Bilagor

1 Inledning

I kapitlet ges en bakgrund till arbetet och syfte och mål med avgränsningar presenteras. Rapportens disposition redovisas och en kort ordlista med förklaringar ges.

1.1 Bakgrund

Arcam AB är ett svenskt företag som grundades 1997 och tillverkar maskiner som används för additiv tillverkning med hjälp av metallpulver och elektronstråleteknik. Företaget är ensamt i Sverige inom additiv tillverkning med att använda elektronstråleteknologi, ofta förkortat EBM vilket står för Electron Beam Melting (Arcam, 2013). Förutom Electron Beam Melting- maskiner (vidare betecknat EBM-maskin) erbjuder Arcam ett stort utbud av kringutrustning, programvaror, metallpulver, service och utbildning för deras kunder.

Maskinernas 3D-teknik erbjuder stor frihet i design och används främst vid framställning av ortopediska implantat och komponenter inom flygindustrin. Arcams kunder är i majoritet internationella och maskinerna används både för produktion och forskning. Under 2013 lanserade Arcam en ny serie EBM-maskiner, kallad Q-serien, som har högre produktivitet och precision än i de äldre maskinerna. I Q-serien finns EBM-maskinen Q10 som är framtagen för produktion av ortopediska implantat och är den maskin som var i fokus i projektet.

För att maskinerna ska hålla en hög produktivitet och effektivitet krävs det väl utvecklade processer för rengöring och underhåll av maskinerna. Slarv, ignorans och okunskap om arbetsrutinerna leder till försämrade vakuumhygien i maskinerna och det leder i sin tur till bland annat förlorade produktivitet, försämrade kvalitet i tillverkade komponenter och förstörda maskindelar. (Ackelid, 2014) Med vakuumhygien menas den standard av renlighetsrutiner som bör beaktas och följas vid hantering av vakuumsystem då de är känsliga för smuts och andra föroreningar. Vakuumsystemet i Q10 består av tre pumpar med tillhörande pumpsystem och är kopplade till vakuumkammaren och elektronstrålekanonen i maskinen. Bristande vakuumhygien i en EBM-maskin orsakar problem vid nedpumpning till det vakuumtryck som krävs för att produktion (Wexell, 2014).

Både Arcam själva och deras kunder har höga krav på certifierade processer för att underhållet av maskinerna ska hålla en hög standard (Wexell, 2014). Servicearbetet utförs på Arcams huvudkontor i Mölndal eller av Arcams servicetekniker på plats hos kund. Arcam har servicekontor i USA, Italien, Storbritannien och Kina (Arcam, 2013).

Underhållet av Q10 maskinen utgår i dagsläget (2014) från en checklista på de delar som kräver underhåll eller bör bytas ut. För äldre serier av EBM-maskiner finns servicemanualer, även kallad Preventive Maintenance Reports (PM Reports), utvecklade för att ge en mer ingående förklaring till checklistan och hur arbetet skall utföras. Manualerna är utvecklade i syfte att standardisera serviceteknikerns sätt att utföra service och för att arbetet ska utföras likadant oberoende på serviceteknikerns bakgrund och erfarenhet. För att säkerställa bra arbetsrutiner med hög kvalitet för underhållet på Q10 maskiner finns därför ett behov att utveckla en servicemanual även för denna maskin.

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med examensarbetet var att undersöka och identifiera de faktorer som har inverkan på nivån av vakuumhygien i en EBM-maskin och kartlägga vilka delar i maskinen som är känsliga för bristande vakuumhygien. Detta för att utveckla den del av servicemanualen för EBM-maskinen Q10 som behandlar vakuumsystemet med tillhörande text och illustrationer.

Syftet var även att ta fram riktlinjer, råd och utbildningsmaterial som kan användas för att belysa vikten av god vakuumhygien och verka som stöd för serviceteknikernas arbete.

Frågeställningar som undersöktes i projektet var:

- Vilka delar i en EBM-maskin är viktiga att underhålla för att uppnå och bibehålla ett välfungerande vakuumsystem?
- Hur kan rätt balans mellan bild och skrift utvecklas för att ge lättförståeliga och användarvänliga instruktioner anpassade till en servicetekniker på Arcam?

1.3 Mål

Målet var att utarbeta den del av servicemanualen för EBM-maskinen Q10 som behandlar underhållet av vakuumsystemet (se fig.1.1).

Vidare var ett mål att ta fram utbildningsunderlag i form av en PowerPoint presentation med riktlinjer för arbete med vakuum och vakuumhygien hos Arcam AB anpassat för servicetekniker och kunder.

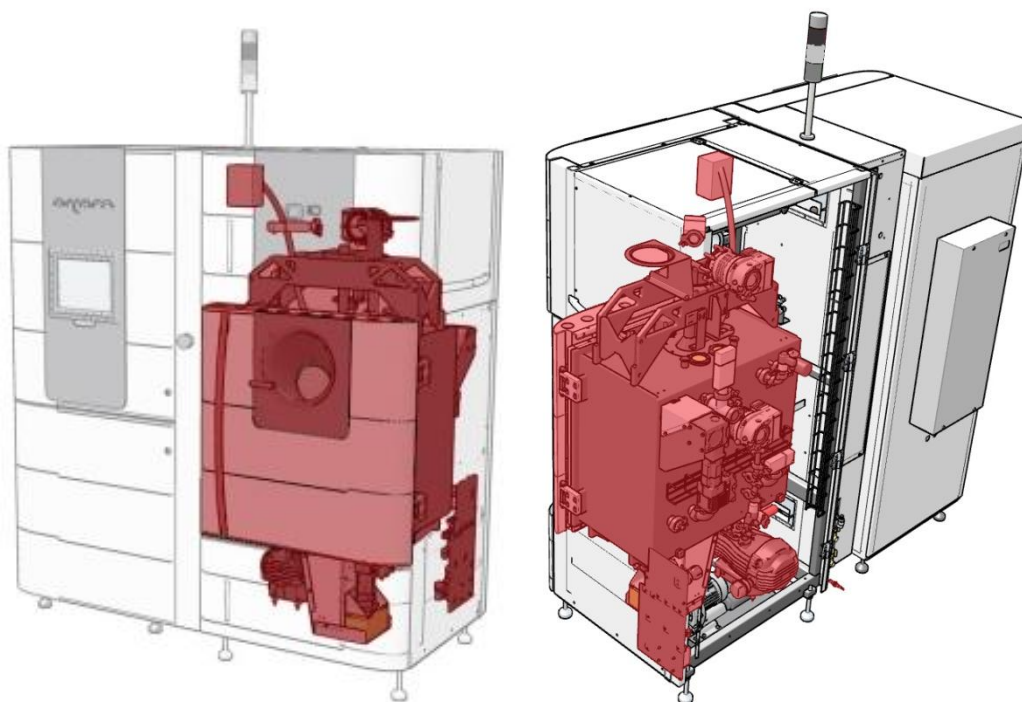


Fig. 1.1. Bilden ovan visar vakuumsystemet som manualen utvecklats för.

1.4 Avgränsningar

Nedan beskrivs avgränsningarna för examensarbetet:

- Manualen följer de förutbestämda punkter i checklistan för service av vakuumsystemet (se bilaga 3).
- Utifrån checklistan för Q10 behandlades endast följande kapitel för att utveckla servicemanualen:
 - 020 - Vacuum chamber
 - 021 - Chamber door
 - 026 - Door closing actuators
 - 027 - Chamber light
 - 030 - Vacuum system
 - 031 - Backing system
 - 032 - Chamber system
 - 033 - Column system
 - 034 - Rough pump
 - Bilagorna Pfeiffer EVC 110M och HiPace 300. Bilagorna ligger i kapitel 2 *General instructions* och är referensmaterial från externa källor som behövs för att utföra fyra punkter i manualen.

Benämningen vakuumsystem i rapporten refererar till systemet i helhet och skall inte förväxlas med kapitlet 030 - Vacuum System.

- Layouten på manualen följde Arcams egna mall med avseende på typsnitt, radavstånd, kapitelindelning och att manualen skrevs på engelska.
- Arbetet med 3D-ritningar avgränsades till visualiseringsprogramvaran PTC Creo View Express 3.0 då Arcams ritningar är anpassade till programmet.
- Illustrationerna följde samma färgkodning som Arcams tidigare manualer.
- Texterna och bilderna i manualen skapades för att underlätta serviceteknikers arbete och följa de teorier om användarvänlighet som nämns i kapitel 2.
- Produktionskostnader och andra ekonomiska faktorer har ej tagits med vid utvecklandet av manualen.
- Manualen utvecklades för Arcams servicetekniker som har genomgått rekommenderad utbildning och därmed anses ha mycket goda kunskaper om alla ingående delar i EBM-maskinen.

1.5 Rapportens disposition

Rapporten är indelad i åtta kapitel och nedan följer en förklaring till respektive kapitelns struktur och innehåll.

Kapitel 1 Inledning - En introduktion till rapportens bakgrund, syfte, mål och avgränsningar följt av en ordförklaring där komplicerade uttryck och ord förklaras.

Kapitel 2 Teoretisk referensram - Ger en inblick i studier, information och fakta om områden som belysts under arbetet och använts som referens i rapporten.

Kapitel 3 Metod – Kapitlet förklarar metoder som användes under projektet. De är indelade efter projektplanerings- och processmetoder, datainsamlingsmetoder och utvärderingsmetoder.

Kapitel 4 Miljöanalys - I miljöanalysen ligger fokus på additiv tillverkning jämfört med traditionella tillverkningsmetoder ur hållbarhetssynpunkt samt företaget Arcams miljöpolicy.

Kapitel 5 Planering och förstudie - I kapitlet presenteras hur planeringen av arbetet gick till samt ett flödeschema över utvecklingsprocessen för manual och PowerPoint.

Kapitel 6 Genomförande och resultat av manual – Presenterar utvecklingen av manualen. Inleds med de kapitel som utvecklats i arbetet, nulägesanalys, presentation av Arcams mall för manualer och en rollbeskrivning av servicetekniker. Följs av information om insamlad teknisk kunskap, genomgång och korrigerings av utkast samt ett praktiskt test med utvärdering som tillsammans ledde till det slutliga resultatet av manualen.

Kapitel 7 Genomförande och resultat av PowerPoint – Intervju med Ulf Ackelid och Erik Ocholla på Arcam som användes som informationskällor för utvecklingen av Powerpointen om vakuumhygien. Kapitlet presenterar även den färdiga Powerpointen.

Kapitel 8 Diskussion och slutsats - I kapitlet ges reflekterande diskussion och slutsats kring arbetet.

1.6 Ordförklaring

3D-(ritning, teknik, program) – 3-D syftar till den tredimensionella rymden, alltså ett koordinatsystem med x-, y- och z-axel.

3D-mus – En rund datormus som används för att navigera i ett 3D-program för att underlätta vridning och navigering av den byggda modellen i programmet.

3D-utskrift – benämning för den produkt som byggs upp med hjälp av additiv tillverkning.

Additiv tillverkning – tillverkning där material smälts i lager på lager för att bygga upp en produkt enligt en CAD-fil. Kallas även 3D-skrivarteknik i industriella sammanhang.

Arctrips - elektriska överslag i en EBM-maskin under en byggprocess orsakat av kontaminering runt katod. Vid återkommande arctrips stoppas byggprocessen för att skydda maskinen.

Backing pump – En grovpump som används för att sänka trycket lägre än atmosfärstryck så att de andra pumparna kan fungera.

Bakning – uppvärmning för att minska kontaminering i exempelvis en vakuumkammare.

CAD (Computer Aided Design) – Virtuellt design av ritningar och modeller i en datormjukvara avsedd för visualisering och konstruktion.

Elektronstråleteknologi (EBM) – På engelska kallat Electron Beam Manufacturing vilket leder till den allmänna förkortningen EBM-teknik. Innebär att en elektronstråle används för att alstra en mycket precis elektronstråle med hög temperatur för att smälta metallegeringar.

Elektronstrålekanon – Den del av EBM-maskinen som skapar elektronstrålen som smälter metallpulvret under byggprocessen. Kan kallas enbart ”kanon” i fackspråk.

Filament – syftar på den del i elektronstrålekanonen som alstrar elektronstrålen.

Katod – emitterar elektroner för att skapa elektronstrålen.

Kontaminering – smuts, damm, fukt eller andra föroreningar.

Magics-support – Stödpelare som konstrueras för att ge stöd för komplexa volymer under en byggprocess i en EBM-maskin. Knäcks bort efter tillverkningen är klar.

mbar (millibar) – måttenhet för tryck.

Q10 – Serienamnet på EBM-maskinen som ligger i fokus i examensarbetet.

Raka – Rakan är den maskindel som breder ut metallpulvret i maskinen.

Sintring – Upphettningsprocess av pulverpartiklar tills de smälter samman och bildar en större kropp.

STL-fil – ett filformat på CAD-ritningar som kan exporteras till utskrift i 3D-skrivare.

Turbomolekylärpump – En pump som slungar ut molekyler och på detta sätt sänker tryck till vakuumnivå. Vakuum uppstår när kollisionsavståndet mellan partiklarna ökar.

Ultrahögt vakuum – Tryck mellan 100 nPa och 100 pPa.

Vakuumhygien – de renlighetsrutiner som rekommenderas i hantering av vakuumkanter.

Vakuumkanmare – Det utrymme i maskinen där byggprocessen sker, under vakuum.

2 Teoretisk referensram

I kapitlet ingår den teoretiska bakgrund som ansågs relevant för arbetet. I den teoretiska referensramen ingår en teknisk bakgrund till EBM-teknik, hur vakuum fungerar och varför det är viktigt med rätt vakuumnivå vid additiv tillverkning med betoning på Arcams produktion. Därefter följer teori kring människa-maskinsystem, användbarhet och standardiserade arbetsprocesser. Avslutningsvis följer teori och råd kring hur man skriver en lättförståelig manual och hur informativa illustrationer kan konstrueras med hjälp av perceptionslära, färgkoder och rendering i 3D-program.

2.1 Additiv tillverkning

Additiv tillverkning går under flera namn och kallas även populärt för 3D-utskrift eller friformsframställning. Benämningen 3D-utskrift används dock främst som ett uttryck för prototypframtagning, eller hobbytillverkning i plast och blandmaterial medan additiv tillverkning avser mer avancerad industriell produktion (Arcam, 2013). Det är en tillverkningsmetod som kan appliceras på att bygga i olika material, där plast och metall är de vanligast förekommande (Gibson, 2010). Tekniken har fått mycket uppmärksamhet då den tillåter en fri design som kan framställa komponenter i ett stycke som med tidigare tillverkningsmetoder varit svåra att framställa och ofta bestått av flera delar, bland annat implantat (se fig. 2.1). Tillverkningsmetoden går ut på att finfördelat pulver smälts i tunna lager på varandra för att stegvis bygga upp komplicerade former och volymer från 3D-ritningar. Tillverkning av en komponent på detta sätt benämns ofta som ett bygge (eng. *build*) eller byggprocess.



Fig. 2.1. Additiv har blivit uppmärksammas för dess möjligheter att tillverka exempelvis individuellt anpassade implantat (Arcam, 2014).

2.1.1 EBM-teknik - en del av additiv tillverkning

Det vanligaste inom additiv tillverkning idag är att använda laserteknologi för att smälta och bygga upp komponenter. Arcam är ett utav ett fåtal företag i världen som istället använder elektronstråleteknik, som på engelska heter Electron Beam Melting och förkortas EBM. I fig 2.2 nedan förklaras kortfattat hur en byggprocess går till i en EBM-maskin. Denna teknik utvecklades vid Chalmers Tekniska Högskola och började användas kommersiellt av Arcam AB år 2001 (Gibson, 2010). Skillnaden jämfört med laser är elektronstråleteknologins något högre effektivitet och att en jämnare temperatur på underlaget i kammaren gör att det går snabbare att nå och hålla

en hög och jämn temperatur vid tillverkning. (Gibson, 2010) Enligt Arcam är fördelarna med EBM-teknologin möjligheten att kunna tillverka komponenter med komplex geometri, i korta eller medellånga serier av hög och jämn kvalitet (Arcam, 2013).

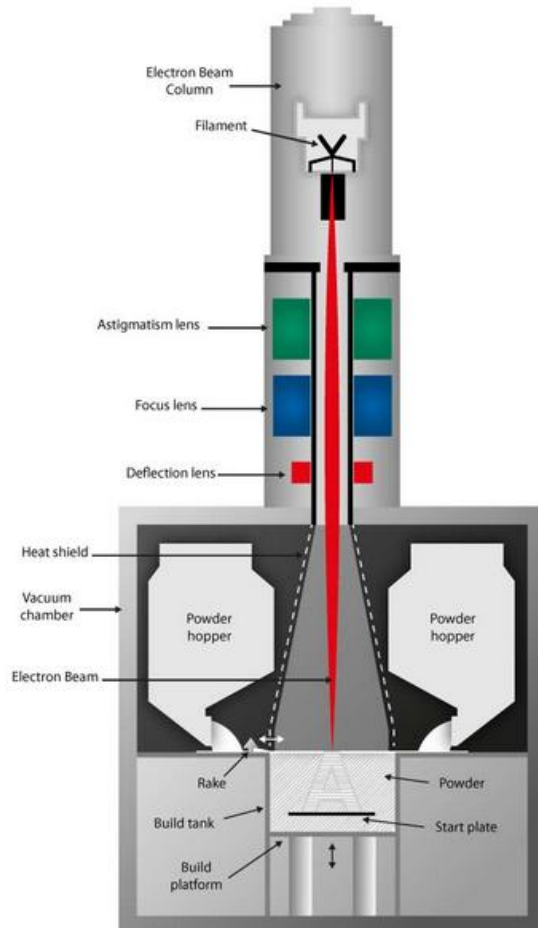


Fig. 2.2. Bilden visar en snittbild av en EBM-maskin. Längst upp är kanonen (column) som tillverkar elektronstrålen (electron beam). Fyrkanten längst ned har två pulverbhållare (powder hopper) på var sida. Rakan (rake) fördelar pulver över byggbordet (build platform) för att elektronstrålen ska kunna smälta metallpulver efter en ritning (Arcam, 2014)

Det finns en växande marknad men det är fortfarande en kostsam tillverkningsmetod, då både materialpulver och maskiner är dyra att tillverka. Metoden ställer även höga krav på utbildad personal (Gibson, 2010). Marknaden för additiv tillverkningen är därmed inte helt utvecklad ännu utan styrs av resursbegränsningar både kunskapsmässigt och ekonomiskt. Utbildning och forskning kring ämnet krävs för att komma fram till kostnadseffektiva lösningar som kan leda till massproduktion av produkter tillverkade med hjälp av additiv tillverkning (Bäckström, 2014).

2.1.2 Tillverkningsprocess för EBM-teknik

Vid produktion har detaljen först konstruerats i en CAD-ritning med STL-filformat som sedan överförs till EBM-maskinens styrdator. Komplicerade volymer kräver stödpelare som konstrueras i programvaran Magics och kallas för Magics-support, som försiktigt kan knäckas bort efter tillverkning. Därefter laddas två behållare i

kammaren med metallpulver och maskinen försätts i vakuum för att få renast möjliga smälta. Att snabbt och effektivt kunna uppnå vakuum i kammaren är essentiellt för att undvika oxidation av titanpulvret vid smältning och ge optimala materialegenskaper, vilket förklaras mer detaljerat i kapitel 2.2.3 och 2.2.4. I maskinen smälter elektronstrålekanonen pulvret utefter STL-filens form i lager på lager, tills komponenten är färdigbyggd. Denna process kallas sintring. Arbetstemperaturen i kammaren måste ligga på cirka 600-700 grader Celsius för att kunna smälta metallen (Arcam, 2014). När temperaturen sjunkit till en nivå där risken för oxidation minskat kan komponenten lyftas ur maskinen i form av ett block med löst, hårt pressat pulver som fastnat på komponenten på grund av värmen. Därefter placeras komponenten i en PRS-maskin. PRS står för Powder Recovery System och är en förseglad maskin där man med tryckluft blåstrar bort det kvarvarande pulvret och samlar upp det för återanvändning (se fig. 2.3). Efter blästringen kan den färdiga komponenten lyftas ur PRS-maskinen och eventuellt ytbehandlas (Arcam, 2014).



Fig. 2.3. PRS-maskinen används för blästring av bygghetaljer (Arcam, 2014).

2.1.3 Metallpulver i Arcams produktion

Kapitlet ger en kort presentation av de vanligaste metallpulvren som används i EBM-maskinen. Metallpulvren som används för additiv tillverkning i Arcams EBM-maskiner är oftast förlegerade och består av sfäriska korn utan tillsatta bindningsämnen. Kornens storlek väljs ut för att ge optimal säkerhet och produktionsekonomi, med hänsyn till EBM-maskinens parametrar (Arcam, 2014). Nedan följer några exempel på olika metallpulver som används för att bygga komponenter i Arcams EBM-maskiner:

- Arcam Grade 5 (Ti6Al4V) är en titanlegering som väger hälften så mycket som stål samtidigt som det har samma styrka. Det är ett material med högt korrosionsmotstånd jämförligt med rostfritt stål. Det är den vanligaste titanlegeringen och har användningsområden inom bland annat rymdteknik, fordonindustri och marin utrustning eftersom det är ett relativt lätt material. Dess biokompatibilitet gör legeringen väl anpassad för proteser i direkt kontakt med ben och vävnad.
- Titanium Grade 2 är det olegerade, rena materialet som Arcam använder i sin produktion. Det har god formbarhet och används för höftimplantat. För att bygga med Titan Grad 2-pulver krävs en lägre arbetstemperatur, dock kan bygghastigheten vara lika hög som vanligt.

- Koboltkrom (CoCr) är en legering med hög styvhet och slitagetålighet som ofta används till medicinska protesimplantat, som knäimplantat, höftleder och dentala proteser.

2.1.4 Syreupptagning hos metallpulver under en EBM-byggprocess

Samtliga pulver är känsliga för fukt och oxidation, och därmed är rutiner kring vakuumhygien mycket viktiga för att bibehålla den goda kvaliteten hos metallpulvren vid en byggprocess. Under en byggprocess i EBM-maskinen är en av de större riskerna vid en 3D-utskrift att det sker syreupptagning i metallen. Syreupptagningen är en av de stora anledningarna till att maskinen arbetar i vakuum. När EBM-maskinens elektronkanon smälter det varma titanet har det lätt för att reagera med syre i vattenånga och det finns en risk att materialegenskaperna försämras hos komponenten som byggs (Arcam, 2014).

2.2 Vakuum och vakuumsystem

I kapitlet presenteras vad vakuum innebär och vilka faktorer som måste beaktas för att bibehålla ett väl fungerande vakuumsystem.

2.2.1 Vad är vakuum?

Vakuum är definierat som förtunnad gas med ett tryck lägre än den omgivande atmosfären. Atmosfärstrycket definieras ofta med mätvärdet 1013 mbar. (Pfeiffer Vacuum, 2009). Vakuumnivån fastställs efter hur lågt tryck som nås vid nedpumpning och kan benämnas som högt vakuum när det är ett tryck kring $1 \cdot 10^{-5}$ mbar och som ultra-högt vakuum när trycket är lägre än $1 \cdot 10^{-7}$ mbar. Ju högre vakuum, ju lägre tryck har nåtts. För att en EBM-process skall kunna startas är ett vakuum på $1.5 \cdot 10^{-4}$ mbar i kammaren nödvändig (Wexell, 2014). Vakuum ger en mycket låg halt av syre vilket skyddar aktiva, upphettade metaller från oxidation vid sintring. Ett högt vakuum uppnås genom att molekyler pumpas ut ur den tät förseglade vakuumkanalen. När molekyler pumpas ut ökar medelavståndet som de färdas innan de kolliderar med varandra. På så sätt minskar risken för oönskade kemiska reaktioner när molekylerna krockar mer sällan (Roth, 1990).

2.2.2 Principer för högt vakuum och molekyllärpump

För att lyckas pumpa ner en behållare från atmosfärstryck till högt vakuum eller ultra-högt vakuum finns det olika typer av pumpkonstruktioner. Valet av pumpkonstruktion beror på krav på systemet där de vanligaste är: lägsta möjliga tryck, tryckintervall, pumphastighet och drifttryck. (Roth, 1990).

Turbomolekylära pumpar (Roth, 1990) består av roterande och stationära diskar som har skåror i sig. Skårorens vinkel gör att gasmolekyler fångas upp på den rörliga disken och styrs mot skåran i den stationära för att sedan slussas ut. Hur stor del av molekylerna som slungas ut avgörs av hur hög rotationshastighet pumpen har. Den mycket höga rotationshastighet som krävs för att nå ett högt vakuum kräver avancerad balansteknik med komponenter som exempelvis magnetiska lager.

2.2.3 Faktorer som påverkar vakuumsystemets effektivitet negativt

Vakuumsystemet i en EBM-maskin skall kunna hantera höga driftstemperaturer som 600-700 grader i kammaren och därför ställs höga krav på systemets funktion i

extrema förhållanden. För att bibehålla så mycket effektivitet som möjligt är det därmed också viktigt att uppmärksamma de faktorer som kan påverka negativt, såsom:

- **Smuts och föroreningar:** För att nå önskat tryck så fort som möjligt bör vakuumpumpkammaren med alla komponenter, som exempelvis skruvar och förseglingar, vara ren från smuts, fett och olja. För att kunna nå högt och ultrahögt vakuum är kraven på renlighet mycket höga. Exempelvis bör handskar alltid användas för att minska risken att smuts och fett från fingrar hamnar i maskinen.
- **Avdunstning och kondensation:** Avdunstning i ett vakuum kallas utgasning och har liknande verkan som en läcka i ett vakuumsystem. Den vanligaste utgasningsprodukten i ett vakuumsystem är vatten som absorberats av materialet i kammaren. Detta kan motverkas genom upphettning, så kallad bakning av systemet. När flytande eller fast ämnen separeras från dess gastillstånd benämns fenomenet som kondensation.
- **Läckage:** En läcka definieras som mängden gas per tidsenhet som flödar in i ett system och orsaken till detta är ofta tätningar som inte håller tätt. Ett vakuumsystem består alltid av flera komponenter. Tätningar mellan komponenterna är därför mycket viktigt för att förhindra att läckor uppstår. Det är särskilt viktigt att ha goda tätningar för rörliga delar, till exempel en kammardörr, då de utsätts för mycket slitage (Roth, 1990).

2.2.4 Vakuumsystem i EBM-maskinen Q10

Vakuumsystemet i Q10 består av tre pumpar, två turbomolekylärpumpar och en grovpump, som sänker trycket från atmosfärstryck till sub-atmosfäriskt tryck (se fig. 2.5). Grovpumpen måste finnas då turbomolekylärpumparna endast kan arbeta i tryck lägre än atmosfärstryck. En av turbomolekylärpumparna är kopplad till kammaren och den andra är kopplad till elektronstrålekanonen. I EBM-maskinen Q10 är det ultrahögt vakuum i elektronstrålekanonen ($1 \cdot 10^{-7}$ mbar) och högt vakuum i kammaren ($1 \cdot 10^{-5}$ mbar). Ett läckage har stor påverkan på effektiviteten för att snabbt uppnå vakuum, det är därmed viktigt att regelbundet underhålla bland annat o-ringarnas skick för att säkerställa att maskinen är tät (Arcam, 2014). Metallpulver som samlas på olika ställen i maskinen kan även påverka vakuumsystemets effektivitet då det gör att maskinen inte håller tätt och försämrar nedpumpningsprocessen (se fig.2.4).

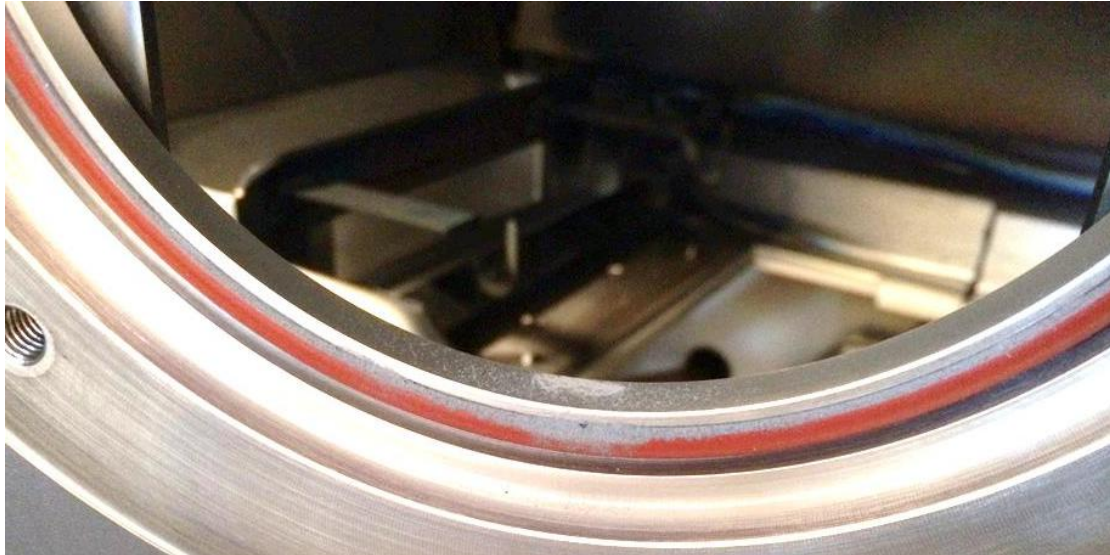


Fig. 2.4. Bilden visar pulver som samlats innanför observationsglaset i kammardörren.

Under byggprocesser i EBM-maskiner sker oönskad metallisering då metallpulver fastnar och smälts på närliggande delar i vakuumkammaren. Metallisering binder fukt och bör avlägsnas. Detta görs främst med skrapor och slipar. Inom vakuumteknologi innebär rengöring inte enbart borttagning utav synlig smuts från ytor, utan även borttagning av mindre synliga ämnen som rester av olja, damm och kemikalier. Vanliga verktyg för att göra rent ytor från fett och smuts är 99 % alkohol som används tillsammans med ludd-fria trasor och tops. Graden av renlighet ska vara högre ju högre vakuum som eftersträvas (Wexell, 2014).

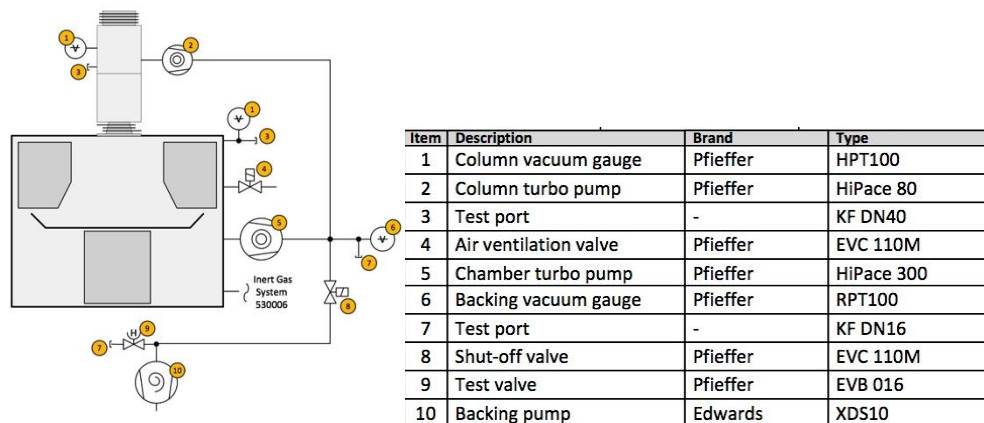


Fig. 2.5. Bilden visar pumpsystemet i en Q10 maskin (Arcam, 2014).

2.3 Interaktionen mellan människa och teknik

Kapitlet tar upp hur ett välfungerande system mellan människa och teknik kan uppnås, med hänsyn till användbarhet och standardiserade arbetssätt.

2.3.1 Människa-tekniksystem

Ett människa-tekniksystem är ett system där människor interagerar med teknik som till exempel produkter, verktyg och elektronik (se fig.2.6). Mängden interaktion kan vara mellan hög och låg, ofta beroende på om det är enkel teknik som en brödrost eller mer avancerade system som ett flygplan. Genom att sätta användaren i fokus vid

utformningen av produkter och tjänster kan samspelet mellan människa och teknisksystem effektiviseras. Genom detta kan även säkerhet, användbarhet och arbetstillfredsställelse belysas och optimeras (Osvalder & Ulfengren, 2010). Väl utvecklade och fungerande människa-teknisksystem ger ökad konkurrenskraft marknaden och det medför även att risken för felanvändning och olyckor minskar. Idén med väl fungerande människa-teknisksystem är inte bara att en människa ska kunna hantera systemet men också att felhantering av systemen motverkas. För att kunna åstadkomma fungerande system måste alla delar; människan, tekniken, miljön och uppgiften tas hänsyn till. Det som skiljer människa-teknisksystem riktlinjer från klassisk arbetsvetenskap är enligt Osvalder & Ulfengren (2010) främst att den innefattar ”människans kognitiva förutsättningar, förmågor och begränsningar vad gäller informationsbearbetning och beslutsfattande.”

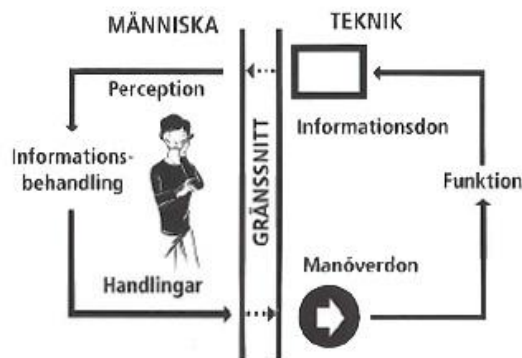


Fig. 2.6. Bilden visar hur människa-teknisksystem kan se ut, där kopplingen mellan teknisk funktion och människans perception och förståelse illustreras (Osvalder & Ulfengren, 2010).

2.3.2 Användbarhet

För att ett människa-teknisksystem ska fungera väl krävs det att systemet är användbart (Osvalder & Ulfengren, 2010). Användbarhet (eng. *usability*) är ett arbetssätt som utgår från att sätta användaren i fokus och definieras enligt ISO-standarden 9241-11 :

”Den grad i vilken användare i ett givet sammanhang kan bruka en produkt för att uppnå specifika mål på ett ändamålsenligt, effektivt och för användaren tillfredsställande sätt.” (Usabilitypartners, 2014)

Enligt Jordan (1998) beskrivs målen för ISO-standarden som följande:

- Ändamålsenlighet (eng. *effectiveness*) syftar till i vilken utsträckning ett mål eller en uppgift kan uppnås
- Effektivitet (eng. *efficiency*) syftar till hur stor ansträngning som krävs för att uppnå ett mål
- Tillfredsställelse (eng. *satisfaction*) är den nivå av komfort som användaren känner vid användandet av en produkt och hur acceptabel produkten är att använda som ett medel för att nå sina mål

2.3.2.1 Mätning och målsättning

För att kunna mäta ett systems användbarhet rekommenderas att genomföra användartester med fokusgrupper där potentiella användare eller slumpmässigt utvalda människor får testa produkten eller tjänsten (Nielsen, 1993). Användbarhet är ett medelvärde som uppstår från användartester där användarna själva har fått

betygsätta de olika kvalitetsfaktorerna som tas upp nedan. Dock är det viktigt att inte bara utgå helt från medelvärdet, då det kan vara missvisande, utan även notera användarnas helhetsintryck. Det är viktigt att ha i åtanke att användbarhet mäts i förhållande till vem som utför uppgiften och vad det är för sorts uppgift som skall utföras. Nielsen ger ett exempel i sin bok *An introduction to Usability* att en person som ska skriva ett maskinskrivet brev kan ha vissa förväntningar och önskemål på en skrivmaskin och en person som ska skriva en uppsats på flera hundra sidor kan ha helt andra.

Användbarheten kan definieras enligt Nielsen (1993) med hjälp av fem kvalitetsfaktorer:

- **Lärbarhet:** hur lätt det är att lära sig systemet
- **Effektivitet:** systemet ska vara effektivt att använda för att kunna uppnå hög produktivitet
- **Minnesförmåga:** systemet ska vara lätt att komma ihåg för att underlätta vid användning efter längre tidsperioder
- **Fel:** systemet ska minimera felanvändning och om fel uppstår ska felet lätt gå att åtgärda
- **Tillfredsställelse:** systemet ska vara användarvänligt till den grad att användaren blir tillfredsställd vid användning

Vad som är användbarhet kan uppfattas olika av användare och bero på yttre och inre faktorer som exempelvis kön, ålder, kulturella, handikapp, utbildning och erfarenhet (Jordan, 1998). För att uppnå så hög användbarhet som möjligt är det, vid utformandet av systemet, väldigt viktigt att veta vem den tänkta användaren kommer att vara och typiska karaktärsdrag de användarna har.

2.3.2.2 Problem med användbarhet

Problem med användbarhet är snarare bristen på det vilket kan leda till allt från missnöje hos användarna till livsfarliga konsekvenser. Användbarhet är inte bara viktigt vid konsumentprodukter utan även i tillverkningsmiljöer som exempelvis industrier. Om en operatör upplever problem med en maskin kommer inte bara produktivitet försämrats utan det som tillverkas kommer troligen också vara av sämre kvalitet (Jordan, 1998).

2.3.3 Standardiserat arbetssätt

Syftet med att arbeta med standardisering inom en organisation är främst för att skapa effektiva arbetssätt som säkerhetsställer hög kvalitet och minimerar variation i utförandet av arbetet (Östholm, 2014). Om ett arbete utförs på olika sätt varje gång finns det ingen möjlighet att utvärdera eftersom det inte finns något uttalad referens att jämföra med. Om en arbetare förbättrar sättet att utföra sitt jobb hjälper det bara den personen och inte de andra arbetarna att förbättra sitt jobb (Liker & Meier, 2006). Genom att införa standardiserade arbetsrutiner skapar företag stabilitet varifrån arbetarna kan utföra sitt jobb med samma kvalitet och effektivitet för att säkerhetsställa att samma resultat erhålls oberoende av vilken person som utför arbetet. Enligt Liker och Meier (2006) finns en missuppfattning att standardisering förhindrar kreativitet och personliga initiativ och de hävdar istället motsatsen; att arbeta med standardisering som ett förbättringsverktyg medför att företag kan jobba med att kontinuerligt förbättra sina arbetsprocesser.

2.4 Att skriva manual

I kapitlet beskrivs teorier kring att skriva en teknisk manual med avseende på skrivsätt och grammatiska råd. I kapitlet presenteras även ett förslag till arbetsgång för att skriva en manual i ett team.

2.4.1 Skrivsätt

Enligt boken *Practical Playscript: Writing Procedure Manuals that People Can Use* (Barnett, 2008) finns det vissa råd som kan följas för att konstruera lättförståeliga instruktioner i en manual. Det är viktigt att tänka på att varje steg i instruktionen leder till nästa steg. Det ska finnas en koppling emellan stegen och alla handlingar som krävs för att utföra den kompletta instruktionen bör noteras. Det är bra att utgå från läsarens perspektiv och fundera över vilken kunskap läsaren besitter i ämnet. Är det något specifikt som bör uppmärksammas, kan det skrivas som en notering till instruktionen.

Vid skrivande av en manual betonar Barnett (2008) att det är viktigt att ta med aspekten hur läsaren tolkar texten. Texten är en kanal som sändaren (författaren) sänder ut och som läsaren sedan tolkar. En instruktionsmanual bör ej betraktas som en envägs-kommunikation då läsaren behöver svara på instruktionen genom att utföra en handling. En god start är att författaren får en klar och tydlig bild över vad användaren skall utföra. Därefter bör språket anpassas med hänsyn till att olika personer kan tolka instruktioner på olika sätt. Målet är att formulera instruktionerna så tydligt att läsaren kan utföra uppgiften så effektivt som förväntat. Enligt Barnett (2008) ges följande råd för att skriva en lättförståelig manual:

- **Struktur:** Många instruktioner har ingen tydligt struktur vilket innebär att läsaren inte vet var proceduren startar eller vad som ska uppnås. Detta kan motverkas med en tydlig start och ett tydligt avslut, med logisk tidsföljd i texten.
- **Undvik förvirring:** Använd det typ av språk som är anpassat till läsaren. Är det teknisk personal som läser texten, använd tekniskt språk. Sikta mot att motverka otydlighet.
- **Undvik tvetydighet:** Tänk på att ord kan ha flera betydelser.
- **Fokusera på rätt syftning i texten:** Syfta inte fel; placera inte adjektiv eller adverb kopplade till ord de inte avser att syfta till. Det vanligaste problemet är att använda flera verb och substantiv i en mening så att syftningen blir förvirrande.
- **Empati med läsaren:** Att ha empati med läsaren är viktigt för att skriva en förståelig text. För att kommunicera effektivt med läsaren av instruktionen kan texten skrivas enligt läsarens jargong och nivå av förståelse, med fokus på att de ska förstå vilken handling de skall genomföra.
- **Kategorisera:** Det är viktigt att kategorisera, vilket kan göras med kapitel och underkapitel med punkter som följer logiskt i ett tidsschema.
- **Skriv för läsarens arbetsmiljö:** Skriva i presens med enkla, korta och logiska instruktioner som understryker vad som ska genomföras och vilket verb som är viktigt. Ha endast en instruktion i varje mening. Undersök vilken arbetsmiljö manualen kommer användas i och anpassa texten efter denna.

2.4.2 Arbetsgång för att utveckla en manual i ett team

Arbetsgången för att utveckla manualer är oftast flera personers uppgift. Genom att kombinera kompetenser och kunskaper inom arbetsområdet för manualen tillsammans med personer som är insatta i tekniskt skrivande kan effektivare resultat nås. I boken *Practical Playscript : Writing Procedure Manuals that People Can Use* (Barnett, 2008) presenteras en arbetsgång som kan användas vid utveckling av en manual i ett team. Arbetsgången är grundad i skrivsättet Playscript som baseras på att skriva exempelvis användarmanualer likt ett skådespel, med direkta steg-för-steg instruktioner som har en logisk tidsföljd. Skrivsättet betonar att de som kommer utföra instruktionerna är viktigast att få återkoppling ifrån för att se att manualen uppfyller sitt syfte. Ofta ska manualen också anpassas till företagets policy och rutiner kring hur innehåll, format, språk och stil ska efterföljas. Barnett (2008) ger fem rådgivande kronologiska steg för hur en arbetsgång kan struktureras för att skriva en manual enligt Playscript:

- **Steg 1:** Klargör ansvar och position hos de berörda personerna: utgå från position i företaget, företagets policy, personlighet hos de anställda och deras kunnsighet.
- **Steg 2:** Utbyt information: Samla in teknisk kunskap från de som är insatta i maskiner och tekniska frågor. Sträva efter att förstå vad som eftersträvas och vad som ska uppnås. Skapa en grundstruktur.
- **Steg 3:** Förbered utkast: Syftet med att göra utkast är att ge de tekniska specialisterna möjligheten att bekräfta att manualen uppfyller sitt syfte innan den färdigställs.
- **Steg 4:** Gå igenom utkast: Det är oftast nödvändigt att ha möten där man går igenom utkastet, en punkt i taget. Revidera och korrigerera de delar som behöver ändras.
- **Steg 5:** Förbered färdigställning: I det här steget ska inga större förändringar behöva ske, utan enbart mindre korrigeringar kring det tekniska språket, sättet att skriva, formatet och den logiska följderna i manualen bör förekomma.

2.5 Visuell information

Enligt Osvalder och Ulfengren (2010) tas 80 procent av alla sinnesintryck in via ögonen och synen är det sinne människor förlitas sig mest på. En människa kan, på ett mycket effektivt sätt, snabbt ta in information via synsinnen och sedan tolka det. När en person först blir presenterad för en bild sker en övergripande och omedveten bedömning av helhetsintrycket och sedan börjar hjärnan uppfatta detaljer, avvikelser och mönster (Johannesson, Person, Pettersson, 2004). Vid designprocesser eller framtagning av bilder är det viktigt att ta hänsyn till hur sinnena tolkar exempelvis symboler, form och färg för att kunna utstråla rätt signaler till användarna. Designprinciper och gestaltningslagar som ingår är bland annat symmetrifaktorn, närhetsfaktorn och erfarenhetsfaktorn (se fig. 2.7 - fig. 2.9) (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

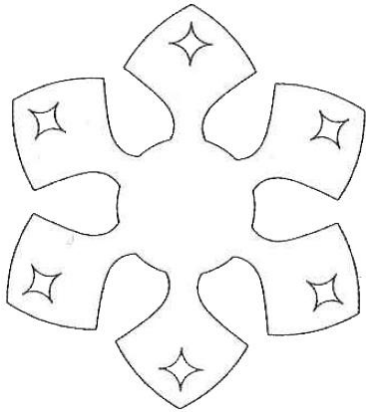


Fig. 2.7. Symmetrifaktor innebär förmågan att utskilja symmetri i en bild eller ett mönster (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

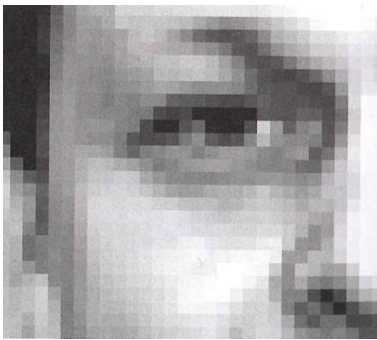


Fig. 2.8. Närhetsfaktor beskriver människans förmåga att med hjälp av punkter åskådliggöra och skapa mönster som underlättar tolkningsförmågan (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

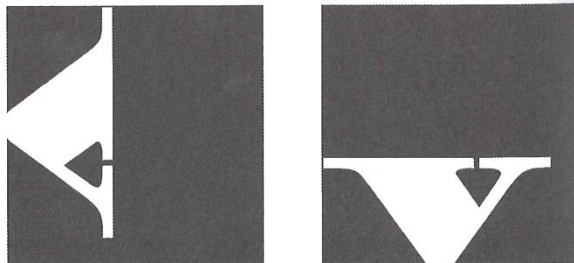


Fig. 2. 9. Erfarenhetsfaktor innebär att en människa lättare tar in en form om den stämmer överens med erfarenheten av den (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

Andra viktiga parametrar är kontrastkänslighet och färg- och mörkerseende som varierar från person till person. Vid framställning av bilder är det viktigt att ha parametrarna i åtanke då till exempel 7-8 procent av männen och 05,-1 procent av kvinnorna är färgblinda för rött kontra grönt, se fig. 2.10 (Osvalder & Ulfengren, 2010). Även kontrastkänslighet, skillnad mellan ljusa och mörka ytor, är nödvändig för att urskilja former och linjer på objekt. Det är viktigt att tänka på att äldre människor har svårare att tolka bilder med låg kontrast.

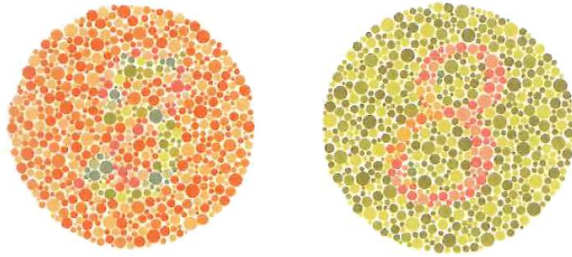


Fig. 2. 10. *Kontrastkänslighet mellan rött och grönt (Osvalder & Ulfengren, 2010).*

2.5.1 Tolkning av bilder

Perception är ett psykologiskt begrepp för hur människor tolkar sin omgivning och information. Varje människa uppfattar och tolkar sin omvärld på olika sätt vilket beror på inre faktorer så som behov, erfarenhet, förväntningar och känslor samt yttre faktorer som till exempel frekvens, storlek och kontrast (se fig. 2.11). Vid framställningen av bilder på produkter är det viktigt att tänka på vad den tänkta användaren har för erfarenhet, vilken miljö den kommer att befinna sig i vid användandet och hur lätt det är att relatera till vad som framställs på bilden (Osvalder & Ulfengren, 2010).

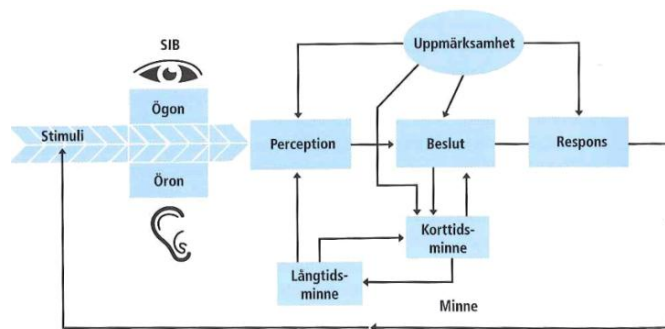


Fig. 2.11. *Modell för människans informationsprocess (Osvalder & Ulfengren, 2010).*

2.5.2 Presentation av visuell information

Designfaktorer som intensitet, färgval, belysningsstyrka, kontrast och betraktningvinkel är väldigt viktiga vid presentation av visuell information (Osvalder & Ulfengren, 2010). Informativa bilder bör vara i gråskala och färg bör endast användas för att ge stöd för viktig information. En människa kan i bra ljus exempelvis högst utskilja 7-12 nivåer av färg men för mycket färg i en bild kan uppfattas som rörigt och svårtolkat (Osvalder & Ulfengren, 2010). Även vilken sorts färg som används kan ha betydelse för hur den tolkas. Följande färger har i västvärlden en stereotypisk betydelse:

- Rött symboliserar fara, stopp, varmt.
- Gult symboliserar varning, sakta, testning.
- Grönt symboliserar kör, fortsatt, på.
- Blått symboliserar kallt, vatten, lugn.

För att en betraktare ska kunna tolka en produktbild rätt är det viktigt att sätta in produkten i en så kallad miljöbild som representerar den miljö produkten normalt

används i (Johannesson, Person, Pettersson, 2004). En miljöbild kan också förmedla kunskap om hur produkten används och känslan av hur det är att använda den. Sådana bilder kan enkelt framställas i renderingsprogram i datorn.

Ett annat sätt att presentera en produkt är med hjälp av sprängskisser, snittbilder eller röntgenbilder, se fig. 2.12 - 2.14.

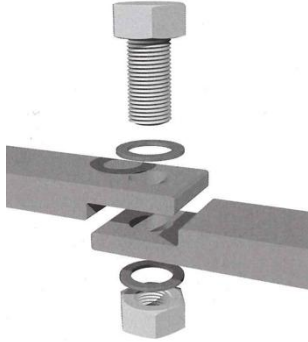


Fig. 2.12. En sprängskiss visar en produkts delar i ordningen de sitter och används ofta för att visa hur en produkt ska monteras eller demonteras (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

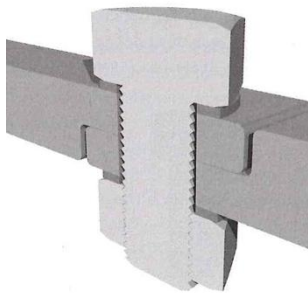


Fig.2.13. En snittbild redovisar hur en produkts är ihopsatt genom att skära bort en del av materialet (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

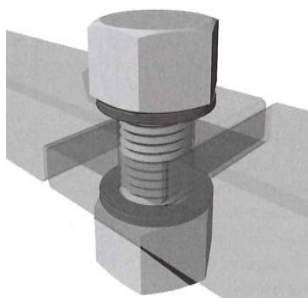


Fig. 2.14. En röntgenbild förklarar en produkts delar och placering utan att förändra formen. Dock kan en produkt med många ingående delar vara svårtolkad i en sådan bild då det blir många lager av transparens (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

2.5.3 Rendering i 3D-program

De senaste åren har datorn blivit det huvudsakliga verktyget för designers och konstruktörer (Johannesson, Person, Pettersson, 2004). För att skapa en bild på en produkt i ett 3D-modelleringsprogram, så kallad rendering, kan verklighetstroga bilder skapas på kort tid. För att göra bilden så verklig som möjligt kan en miljöbild

placeras som bakgrundsbild och perspektiv och ljussättning kan ändras följt av att lägga shaders (ytegenskaper som färg och struktur) på produkten. Det går även att göra sprängskisser genom att flytta komponenter i x-, y-, och z-led. Röntgenbilder skapas genom att ge olika komponenter olika ytegenskaper och öka transparens (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

3 Metod

Metodkapitlet är strukturerat efter projekt- och processmetoder, datainsamlingsmetoder samt utvärderingsmetoder.

3.1 Projekt- och processmetoder

I projektarbeten som har en bestämd tidsram är det viktigt att kartlägga allt som behövs göras för att säkerställa kvalitet och för att alla delar ska få den tid de behöver. För att skapa insikt och överblick på hur arbetsflöden ser ut kan de beskrivas systematiskt och sedan presenteras grafiskt i flödesscheman (Bergman & Klefsjö, 2007). Det finns olika metoder för hur de kan genomföras och metoderna som användes i arbetet presenteras nedan.

3.1.1 Gantt-schema

Gantt-schema är en effektiv tidsplaneringsmetod som fastställs i början av projekt för att visualisera hur flödet av aktiviteter ska utföras under en projektperiod. Schemat ritas upp likt ett koordinatsystem där y-axeln representerar aktiviteter och x-axeln representerar tiden. För varje aktivitet ritas en horisontell stapel upp och längden på stapeln motsvarar varaktigheten (Johannesson, Person, Pettersson, 2004).

3.1.2 Projektdagbok

Ett effektivt medel för att ge överblick och styra ett projekts framsteg, är att skriva en projektdagbok. Genom att efter varje sammankomst identifiera vilka som var närvarande, vad som gjorts och vad som bör göras till nästa sammankomst kan det säkerställas att projektet fortlöper som tänkt, till exempel enligt ett Gantt-schema (Chalmers, 2010).

3.1.3 Flödesschema för processer

Ett flödesschema är en schematisk metod där processer eller förlopp visualiseras grafiskt med hjälp av symboler. Relationer mellan de olika aktiviteterna inom en process visas med linjer eller pilar. Flödesscheman kan med fördel göras inom förbättringsarbete för att grafiskt visualisera hur ett företags processer och aktiviteter ser ut idag (Bergman & Klefsjö, 2007).

3.2 Datainsamlings metoder

Vid användning av datainsamlingsmetoder är det viktigt att veta vad som eftersöks, hur informationen ska bearbetas och presenteras (Bergman & Klefsjö, 2007). Datainsamlingsmetoder kan karaktäriseras på olika sätt beroende på tillvägagångssätt och utfallet av resultatet.

Enligt Osvalder, Rose och Karlsson kan de karaktäriseras genom följande egenskaper:

- Empiriska eller analytiska, beror på ursprunget av insamlad data. I en empirisk studie studeras det hur människor utför uppgifter eller hanterar produkter och system i verkligheten. En analytisk studie utför en analytisk utvärdering av personer som är teoretiskt insatta i ämnet och den verkliga användaren ingår inte i studien.

- Objektiva eller subjektiva, beroende på typen av insamlad data. Objektiv data är data som erhållits från mätningar och subjektiv data är data där användarna i systemet själva bedömer utifrån sina egna erfarenheter.
- Kvantitativa eller kvalitativa, beroende på typen av resultat. Kvantitativt resultat presenteras oftast i siffror från mätningar eller observationer. Kvalitativa resultat beskrivs i text och bild och svarar på frågor som vad, vem, hur, när och var.
- Expert eller grad av deltagande, beroende på hur mycket användaren är involverad. Hög grad av deltagande innebär att användaren själv är delaktig i genomförandet av metoden. Metoder där utföraren av metoden själv styr vad som ska studeras och själv genomför datainsamling, har låg grad av deltagande och kallas för expertmetod.

Exempelvis kan ett resultat vara objektiv eller subjektiv men ett resultat kan vara både objektivt och kvantitativt.

3.2.1 Intervjuteknik

Intervju är en av de vanligaste och mest grundläggande metoderna för datainsamling och kan användas i många olika situationer. Intervjuer kan både användas för kvalitativ och kvantitativ datainsamling och används främst för att samla in kunskap om människors erfarenheter, värderingar, åsikter, resonemang och upplevelser (Osvalder, Rose, Karlsson, 2010). Vid utförande av en intervju bör personen som ska bli intervjuad bli informerad om hur intervjun kommer gå till väga, hur den kommer dokumenteras och hur resultatet kommer att användas. I slutet av en intervju bör intervjuaren ge en sammanfattning för att ge möjlighet för rättelse eller ändring.

Intervjuer kan delas upp i tre kategorier; ostrukturerade, strukturerad och halvstrukturerade.

- Strukturerade intervjuer är vanligast för kvantitativ datainsamling och utgår från förutbestämda frågor.
- Ostrukturerade intervjuer används vanligtvis för kvalitativ datainsamling med exempelvis experter där den intervjuade får prata fritt kring frågorna. Vid en ostrukturerad intervju är det lätt att den intervjuade personen pratar om saker som den anser vara mest intressant eller viktigt.
- Halvstrukturerad intervju är ett mellanting mellan de två. Intervjun utgår från en struktur men den intervjuade får även prata fritt och anses vara mindre formell än en strukturerad intervju (Osvalder, Rose, Karlsson, 2010).

Vid intervjuer med experter kan en djupintervju tillämpas vilket är en kvalitativ datainsamlingsmetod som kan vara både ostrukturerad och strukturerad. Djupintervjuer är till för att få en djupare förståelse för ett ämne och erhålla svårtillgänglig information. Djupintervjuer tillämpas oftast vid intervjuer av experter eller vid personliga intervjuer (Stelacon, 2014).

3.2.2 Observationsstudie

Observationer är en objektiv metod som används för att studera hur människor agerar, antingen i sin naturliga omgivning eller i en fiktiv miljö exempelvis ett laboratorium. Observationsstudier används för att iaktta hur människor agerar till exempel när de hanterar produkter och maskiner. Då kan det studeras på vilket sätt uppgifter utförs

och var och hur problem kan uppstå (Osvalder, Rose, Karlsson, 2010). På så sätt kan observatören erhålla information om människors beteenden som de själva inte alltid är medvetna om och därför kan vara svårt att uppmärksamma under exempelvis en intervju. Vid utförandet av observationen är det viktigt att på förhand veta vad som ska studeras, vilka uttryck och beteenden som eftersöks och hur de ska observeras.

I det här arbetet kategoriseras observationsstudier som direkta eller indirekta observationer, genom struktureringsgrad (strukturerad, semistrukturerad och ostrukturerad) och om det var en deltagande observation (Osvalder, Rose, Karlsson, 2010).

- Vid direkt observation är observatören själv närvarande vid studien och kan iaktta och registrera händelseförloppet, det är viktigt att vara så diskret som möjligt för att studien inte ska påverkas av observatörens närvaro. En icke deltagande observation sker oftast genom videoinspelning eller i ett laboratorium med spegel.
- Strukturerade observationer utför efter en fast mall och observatören vet vilka beteenden som ska kollas efter. Vid en ostrukturerad observation är det inget specifikt som efterfrågas utan all relevant data registreras. En semistrukturerad är som en blandning mellan strukturerad och ostrukturerad observation.
- I en deltagande observation är observatören själv en del av gruppen som observeras. En deltagande observation är fördelaktig för att se hur vardagliga situationer handskas med internt exempelvis inom företag.

3.3 Utvärderingsmetoder

I projekts utvecklingsprocess, där interaktionen mellan människa och teknik ligger i fokus, finns det två grundläggande egenskaper som bör arbetas utifrån. Dels ska processen vara iterativ och dels ska användarna av den färdiga produkten vara med i utvecklingsfasen (Osvalder, Rose, Karlsson, 2010). I boken ”Arbete och teknik på människans villkor” beskrivs kontinuerlig utvärdering som ett av de huvudsakliga stegen i utvecklingsprocessen. Att arbeta med utvärdering som en iterativ process görs både för att säkerställa kvalitén och att belysa brister och svagheter. Enligt Osvalder m.fl. bör utvärderingen bedömas utefter fyra aspekter: användbarhet, funktionalitet, användarvänlighet och risker.

- Användbarhet (usability) fokuserar på hur samspelet mellan användare och teknik fungerar som helhet och om användaren kan utföra sitt arbete på ett effektivt sätt.
- Funktionalitet belyser frågan om tekniken fungerar som den ska.
- Användarvänlighet menas, som namnet antyder, hur användarvänligt systemet är och om användaren kan förstå och hantera det på rätt sätt.
- Risker belyser kritiska situationer som kan uppkomma vid användandet av både tekniken i sig och samspelet mellan människa och teknik.

Observationsstudie har också använts som utvärderingsmetod (se 3.2.2 ovan för observationsstudie).

3.3.1 Enkät

Enkät är en subjektiv metod för att för att samla information och kan antingen utformas till enskilda individer eller till en grupp (Andersson, 1995). I utformningen av en enkät är det viktigt att formulera enkla och tydliga frågor för att frågorna bara ska kunna tolkas på ett sätt av respondenten. En av fördelarna med enkäter är att respondenten kan svara ärligare utan pressen som kan uppstå vid en intervju då det kan vara lätt att svara på frågan för att göra frågeställaren nöjd. En nackdel är dock att frågorna kan misstolkas och vid gruppenkäter är en av riskerna att det blir ett stort bortfall.

4 Miljöanalys av additiv tillverkning

I miljöanalysen ingår en översikt över additiv tillverknings miljöpåverkan, hur Arcam förhåller sig till hållbar utveckling, hur EBM-tekniken påverkar miljön och hur additiv tillverkning skiljer sig från traditionella tillverkningsmetoder.

4.1 Additiv tillverkning och dess miljöaspekter

En miljömässig fördel som kan ses med additiv tillverkning är den minskade förbrukning av material som används vid tillverkning. Istället för att slipa eller fräsa bort material, för att forma en produkt, kan produkten byggas upp efter en ritning i lager på lager och på så sätt minskar materialspillet betydligt (Miljönytta.se, 2011). Genom att material som inte använts för att bygga ett lager kan återanvändas till nästa lager sparas byggmaterial. Även möjligheten att konstruera individuellt anpassade komponenter, med noggrann detaljnivå, medför att överflödigt material sparas och således minskas vikten på den tillverkade komponenten (Arcam, 2014). Dock kan det fortfarande krävas efterbearbetning av detaljerna som exempelvis slipning och fräsning (Wexell, 2014).

Det har visats att hållbarheten hos komponenter utskrivna med hjälp av additiv tillverkning har hög nivå i jämförelse med traditionellt tillverkade komponenter (Johansson, 2013). Exempelvis testade Volvo CE i Eskilstuna en kugghjulsfräs som tillverkats genom additiv tillverkning. Resultatet visade att förslitningen på kugghjulsfräsen var betydligt långsammare när kugghjulsfräsen var tillverkad med additiv tillverkning jämfört med Volvos äldre fräsar. Om användningstiden förlängs och slitaget på exempelvis kugghjulsfräsar minskar leder det till mindre produktionsavbrott och ökad produktivitet (Johansson, 2013).

4.2 EBM-teknik och miljö

EBM-teknik lämpar sig för tillverkning med material som exempelvis titanlegeringar, som i traditionella metoder är dyra att tillverka och svårbearbetade (Johansson, 2013). Det har också visats att de tillverkade komponenterna har en mycket lång livslängd och slits långsamt, då titanlegeringarna ger högpresterande materialegenskaper (Arcam, 2013). En annan fördel med EBM-teknik är att det anses vara en emissionsfri process då den sker i vakuum utan utsläpp vid produktion (Wexell, 2014). Genom att kunna packa komponenterna tätt ihop vid tillverkning är det möjligt att öppna upp för volymproduktion som minskar energiåtgången då flera komponenter kan tillverkas samtidigt, se fig. 4.1 (Wexell, 2014).



Fig. 4.1. Illustration av volymproduktion i en EBM-maskin (Arcam, 2014).

4.3 Återanvändning av metallpulver

Som nämnts i kapitel 2.1.2 används ett Powder Recovery System för att blåsa bort osintrat pulver från byggdetaljen. Under blästringen i PRS maskinen separeras fint, dammliknande pulver från större pulverkorn. Det fina pulvret går inte till återvinning eftersom det är brandfarligt utan hanteras av ett externt företag. Allt annat pulver passerar efter den första filtreringen ännu ett filter för att sedan kunna återgå direkt till produktion. Figur 4.2 nedan visar PRS-processen. Återvinningsgraden är upp till 98 % och max ett par procent går bort till Magics-stöden (se kapitel 2.1.2) som också resthanteras utan återvinning (Wexell, 2014). Denna höga grad av återvinning är förutsatt att ingen luft har nått kammaren och oxiderat pulvret eftersom det då blir oanvändbart. Därför är god vakuumphygien viktigt, även ur miljösynpunkt, för att minska risken för förstörda byggprocesser och försämrade materialegenskaper hos pulvret (Wexell, 2014).

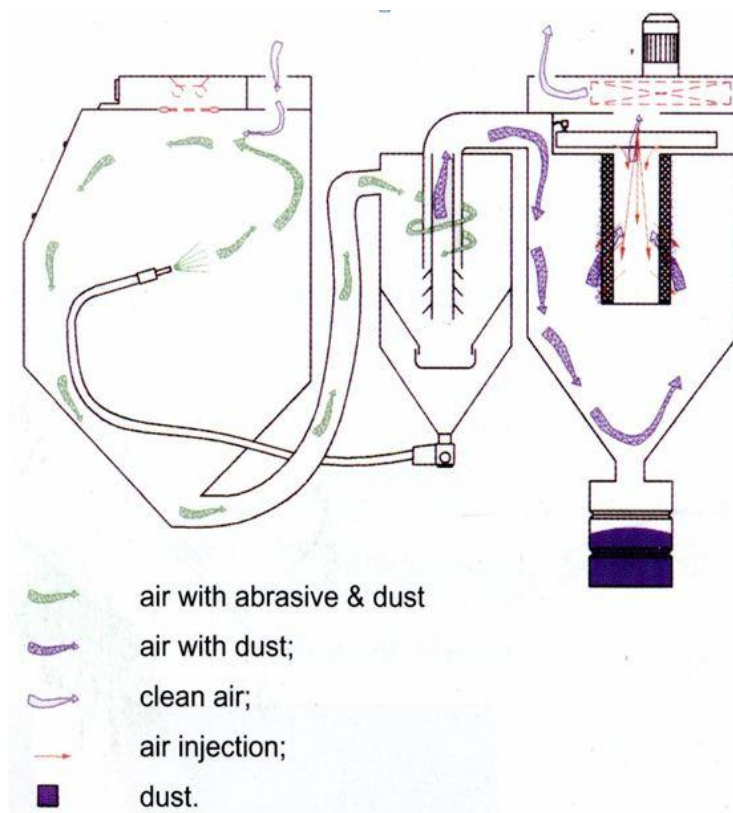


Fig. 4.2. Illustration över PRS-processen (Arcam, 2014).

4.4 Arcams syn på hållbar utveckling

Som företag arbetar Arcam utifrån en miljövision som strävar efter att både ur ekonomiskt, socialt och miljömässigt perspektiv bidra till en hållbar utveckling (Arcam, 2013). Inom företaget består det interna miljöarbetet i att enligt Miljöbalken inte bedriva anmälnings- eller tillståndspliktig verksamhet. Företagets egen miljöpåverkan består främst av energianvändning och indirekt råvaruförbrukning (Arcam, 2013). Det finns även fördelar med goda servicerutiner hos Arcam, sett ur hållbarhetssynpunkt. De är exempelvis att serviceunderhåll av EBM-maskiner bidrar till att ge färre oönskade stopp när maskinen arbetar och minskar risken för att en byggprocess avbryts. Färre avbrutna byggprocesser leder till en effektivare produktion med mindre energiåtgång (Wexell, 2014). Regelbunden service förlänger även EBM-maskinens livslängd vilket är en fördel ur en ekonomisk och miljömässig synvinkel.

4.5 Miljöaspekter i kunders produktion

Miljöaspekter kan även lyftas in i den produktion där Arcams kunder använder EBM-maskinerna. Vid tillverkning av flygplansdelar lämpar sig EBM-teknologin väl för konstruktioner som tidigare inte var möjliga att tillverka (se fig.4.3). Titankomponenter gör planen lättare och därmed bränslesnålare. Komponenter som tidigare bestått av flera olika ihopsatta delar kan tillverkas i ett stycke direkt i EBM-maskinen, vilket ger färre arbetsmoment vid tillverkning. Då komponenter i titanlegeringar kan ersätta andra tyngre metaller kan man bespara resurser både i volym och massa (Arcam, 2013).



Fig. 4.3. Turbinblad som tillverkats i en EBM-maskin (Arcam, 2014).

5 Planering och förstudie

Kapitlet inleds med presentation av planering av arbete följt av en nulägesanalys. Därefter presenteras ett flödeschema som ger en översikt av hur utvecklingsprocessen för examensarbetet sett ut.

5.1 Planering

I arbetets start gjordes ett Gantt-schema (se fig. 5.1) som visualiserar de olika aktiviteterna i arbetet i tidsintervaller. Tidsintervallen för aktiviteterna som skedde på plats hos Arcam bestämdes efter diskussion med handledaren Daniel Wexell.

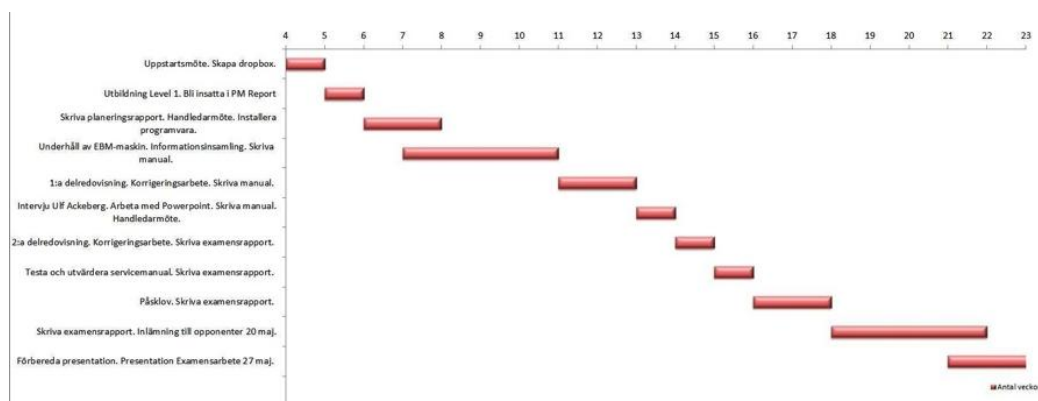


Fig. 5.1. Gantt-schemat för examensarbetet (se även bilaga 1).

Arbetet inleddes med datainsamling till med hjälp av intervjuer och observationsstudier samt insamling av teoretisk kunskap kring vakuumsystem och vakuumhygien. Efter det fokuserades arbetet på att utforma manualen med tillhörande texter och illustrationer. När manualen ansågs var klar utfördes en observationsstudie i form av praktisk test tillsammans med en servicetekniker för att utvärdera manualen.

Under arbetet med manualen och PowerPoint presentationen skrevs en projektdagbok (se bilaga 2) för att dokumentera arbetets gång samt redogöra för vad som skulle vara gjort till nästa sammankomst.

5.2 Flödesschema för utvecklingsprocess av manual och PowerPoint presentation

För att strukturera upp en övergripande arbetsprocess för arbetet gjordes ett flödesschema, se fig. 5.2. Det gjordes som ett komplement till Gantt-schemat för att kartlägga de iterativa processerna i arbetet.

Arbetsprocessen för manualen inleddes med informationsinsamling utifrån teorier och erfarenhet, främst från Level 1 utbildningen på Arcam (se 6.3.1). Arbetet fördjupades sedan med en observationsstudie vid en praktisk service av en EBM-maskin. Därefter tog arbetet med att skriva manualen vid, där manualen gick igenom punkt för punkt enligt flödesschemat som presenteras i bilaga 6.

Att skriva manualen var en iterativ process där utvecklingsarbetet gick igenom kontinuerligt i form av två delredovisningar (se 6.5.1) med handledare och anställda på teknisk support-avdelningen på Arcam. Varje redovisning gavs feedback och förslag på korrigeringar. Under arbetets gång diskuterades att ett behov av generell utbildning kring vakuumhygien fanns på Arcam. Behovet ledde till intervjuer med personal på Arcam kring vakuumhygien som resulterade i en PowerPoint presentation som presenteras i kapitel 7 och bilaga 11. Arbetet med PowerPoint presentationen

utvecklades separat från arbetet med manualen. När manualen ansågs vara färdigställd genomfördes en utvärdering i form av ett praktiskt test. En servicetekniker på Arcam fick använda manualen för att se om den uppfyllde sitt syfte. Detta ledde slutligen till resultatet av manualen som presenteras i kapitel 6 och i bilaga 7.



Fig. 5.2. Flödesschema som visualiserar arbetsprocessen för examensarbetet (se även bilaga 5).

6 Genomförande och resultat av manual

I kapitlet presenteras hur arbetet med manualen gått till väga och avslutas med det slutliga resultatet.

6.1 Presentation av kapitel som ingår i vakuumsystemet i servicemanualen

De kapitel som ingår i den del i servicemanualen som behandlar vakuumsystemet och är en del av arbetet listas nedan, se även fig. 6.1 och även checklistan i bilaga 3.

- **020 - Vacuum chamber:** Behandlar service av vakuumkanmaren i EBM-maskinen. De moment som ingår är att säkerhetsställa att maskinens kamera med glas och tätningar är i gott skick. Att se till att kammaren är ren från metallisering samt att kammardörrens list är oskadd ingår även i kapitlet. Punkterna 020 F, G och H förklaras kortfattat då de behandlar finjustering av rakan i maskinen vilket inte berör vakuumsystemet.
- **021 - Chamber door:** Rengöring och byte av o-ringar i kammardörren samt demontering och underhåll av glas, styrkabel och o-ringar som hör till observationsfönstret i kammardörren.
- **026 - Door closing actuators:** Se till att låsmekanismerna i kammardörren fungerar korrekt och är i gott skick.
- **027- Chamber light:** Service av lampan som hör till vakuumkanmaren. Momenten som tas upp är undersökning av glasets kondition samt demontering av lampan som hör till kammaren för att byta dess inre och yttre o-ringar.
- **030 - Vacuum system:** 030 A, B och C är avsedda för testning av mjukvaran som kontrollerar vakuumsystemet. Då mjukvaran inte är en del av vakuumsystemet har punkterna endast beskrivits kortfattat.
- **031 - Backing system:** Backingsystem avser pumpsystemet som kopplar ihop de olika pumparna. I kapitlet ingår en visuell inspektion av hela pumpsystemet, kontroll av trycksensorernas status och rengöring av ventilen kopplad till systemet. Hänvisning till bilagor som *General instructions for details hpt100 och hpt200* förekommer, men har inte varit en del av arbetet.
- **032 - Chamber system:** Avser service av den turbomolekylärpump som är placerad i mitten av maskinen, med tillhörande delar. Det ingår moment som att kontrollera status hos trycksensorerna, byte av oljekassett i pumpen, ta loss och byta pump samt undersöka kammarfiltrets kondition. Punkten 032 D, som avser byte av magnetiskt lager i pumpen, kräver en instruktionskurs hos Pfeiffer Vacuum innan utförande. Detta gäller även för det magnetiska lagret i punkt 033 D och de punkterna har därför inte utvecklats mer.
- **033 - Column system:** Service av den övre turbomolekylärpumpen i systemet. I kapitlet ingår liknande moment som i kapitel 032, då de är samma typ av pump. Det vill säga det ingår en översikt av pumpen, byte av oljekassett och kontroll av trycksensor.
- **034 - Rough pump:** Service av grovpumpen (eng. *rough pump*). Ett moment som ingår är byte av fogband för tätning i grovpumpen, vilket hänvisar till bilagan *General instruction for Edwards nXDS-10, A735-02-840* som inte är

med i denna del av manualen. De två andra moment som ingår är byte av pump och utblåsfiler (eng. *tip seal*).

- **Bilagor:** Två bilagor ingick i denna del av servicemanualen, Pfeiffer EVC 110M och HiPace 300. Bilagan för ventilen Pfeiffer EVC 110M beskriver byte av o-ring i ventilen och bilagan för HiPace 300 beskriver byte av oljekasett i turbopumparna (eng. *oil casset* (benämning i checklista och manual)/*operating fluid reservoir* (benämning i bilagan HiPace 300)). Bilagorna hämtades från externa källor som kan hittas i referenslistan.

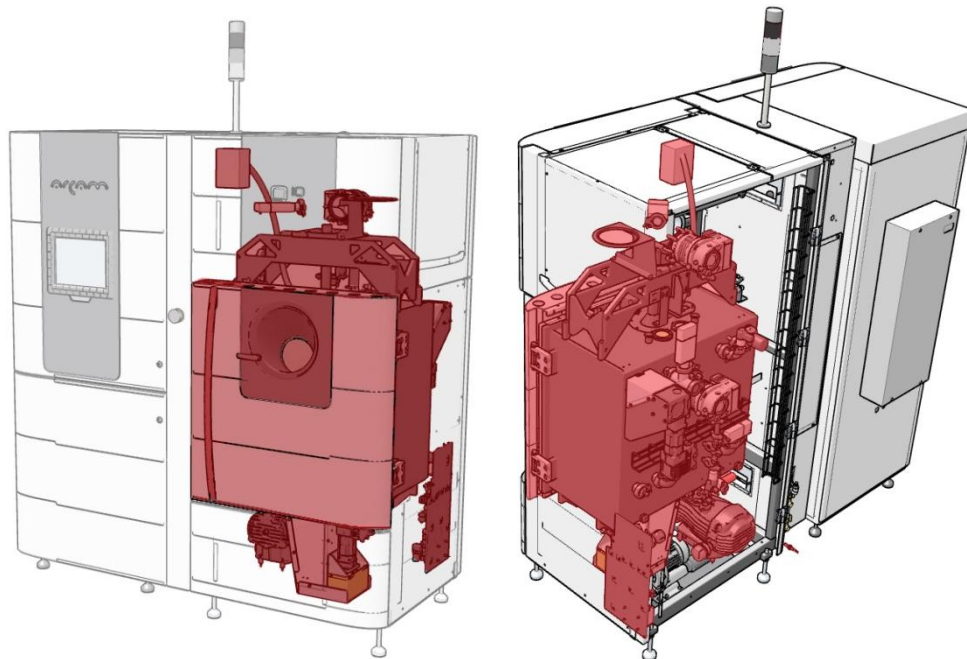


Fig. 6.1. Bilden ovan visar vakuumsystemet som manualen utvecklats för.

6.1.1 Nulägesanalys

Det här kapitlet presenterar hur servicen av Q10 utfördes innan manualen var färdigställd. Service av Q10 maskinen utförs av serviceteknikerna enligt en checklista, se bilaga 3. Checklistan är utformad i olika underkapitel. Varje underkapitel avser en specifik sektion av maskinen exempelvis vakuumkanalen eller grovpumpen. Varje underkapitel har en lista på komponenter och delar som ingår i maskinsektionen. Respektive komponent i checklistan är markerad med en vit ruta för att servas med ett visst tidsintervall, PM-R (varje halvår), A1 (varje år), A2 (vart annat år), B (vart tredje år), C (vart fjärde år), D (vart sjätte år), E (vart åttonde år). Tidsintervallet beror på hur känsligt för slitage och hur exponerad komponenten eller delen är för smuts och andra orenheter. Halvårskontrollerna sker endast för maskiner som används för produktion och vid de tillfällena byts inget.

Eftersom det inte finns någon servicemanual för Q10 maskinen och checklistans instruktioner ofta ges med enbart ett eller två ord är risken för feltolkning och missförstånd stor. Mer erfarna servicetekniker är vana att utföra arbetet på ett visst sätt och har egna utarbetade rutiner för hur de utför arbetet. Det kan därför skilja sig

mycket hur arbetet utförs, från servicetekniker till servicetekniker och även kvalitén på det utförda arbetet kan variera (Wexell, 2014). Som nämnt i kapitel 2.3.3 krävs det standardiserade arbetsrutiner för att säkerhetsställa effektivitet och kvalitet i en arbetsprocess. Genom att förse serviceteknikerna med en servicemanual de kan referera till kan variationen i arbetet minska. Det finns därför ett behov hos Arcam att utveckla en servicemanual för att ge stöd till checklistan.

Service på en Q10 maskin ute hos kund är avsedd att vara upp till två dagar (Wexell, 2014). Det innebär ett pressat tidsschema för underhåll och utrymme för fel eller frågor är liten. Utvecklandet av en servicemanual för Q10 maskinen kan underlätta för nyanställda servicetekniker men även säkerhetsställa att erfarna servicetekniker utför arbetet på ett korrekt sätt (Wexell, 2014).

6.2 Förutsättningar och användarprofil till manualen

För att arbeta med instruktionerna i manualen följdes de råd kring systematiskt skrivande med hjälp av Practical Playscript i fem steg som återfinns i kapitel 2.4.2. Det första rådet var att klargöra ansvar och position av berörda parter med utgångspunkt från deras erfarenhet och kunskap. Arbetet inleddes med att kartlägga serviceteknikerns roll. I samband med detta gick manualer till tidigare modeller av EBM-maskiner igenom för att få en inblick i hur gränssnittet för manualen var utformad.

6.2.1 En rollbeskrivning av servicetekniker

För att utveckla en manual är det viktigt att veta vem användaren är och anpassa utformningen till den person och i det sammanhang manualen kommer användas. Manualen har utvecklats för servicetekniker på Arcam. För att samla in kunskap om vad en servicetekniker har för roll och förkunskaper gjordes en ostrukturerad intervju (se kapitel 3.2.1) med Daniel Wexell, manager för teknisk support på Arcam. En servicetekniker anställd på Arcam har enligt rollbeskrivning krav på att ha kunskap om att utföra förebyggande underhåll på EBM-maskiner vilket inkluderar hantering av installationer, hårdvarufrågor och kundförfrågningar kring teknisk support. Underhållet av maskiner sker till största del på plats hos kunderna, under ett pressat tidsschema. Som servicetekniker skall man följa tidschemat för teknisk support ut mot kund och avrapportera till den person som är Service Manager på Arcam (Wexell, 2014). Inskolningen är cirka 6 månader och under den perioden utbildas servicetekniker på plats på Arcams huvudkontor och går parallellt med erfaren personal på serviceuppdrag ute hos kund. Personen ska sedan tidigare ha en bakgrund med teknisk utbildning kombinerat med praktisk erfarenhet av service på tekniska system. Personen skall kunna uttrycka sig på engelska obehindrat i tal och skrift. Servicetekniker på Arcam ansvarar för att underhålla EBM-maskinerna både ute hos kunderna och hos Arcams R & D – avdelning. När servicemanualen utvecklats är anpassningen till serviceteknikerns bakgrund viktig för att effektivisera arbetet och optimera användbarheten (se kapitel 2.3.2.1). Förutom att anpassa mot användaren (serviceteknikern) måste Arcams mall för servicemanualer följas, vilket presenteras i nästa kapitel.

6.2.2 Arcams mall för servicemanualer

För varje serie av EBM-maskiner som lanseras av Arcam skall en servicemanual utvecklas för att vara anpassad till just den specifika typen av EBM-maskiner. Alla servicemanualer för Arcams EBM-maskiner följer samma utformning av text och disposition med tillhörande illustrationer. Arcam har sedan tidigare en utarbetad

layout för sina servicemanualer med bestämda marginalavstånd, tabelluppdelning med bild och text, typsnitt för kapitel och Arcams logotyp i övre, högra hörnet på varje sida (se bilaga 4). Instruktioner utförs i punktform och eventuella noteringar skrivs efter instruktionen som en "NOTE:". För att illustrera varningar för exempelvis tunga lyft, risk för brännskador eller dylikt användes en gul triangel och för hänvisningar till andra informationskällor användes en illustration av en bok, se fig. 6.2 - 6.5.



Fig. 6.2. Symbol för "NOTE" markeras med en informationslogo (Arcam, 2014)



Fig. 6.3. Symbol för hänvisning till bilagor (Arcam, 2014).



Fig. 6.4. Varningar markeras med en gul triangel (Arcam, 2014).



Fig. 6.5. Vikten av att ha handskar för att följa renlighetsrutinerna illustrerades med denna bild (Arcam, 2014).

Riktlinjerna kring layout, extra noteringar och varningar följdes även vid arbetet med att ta fram manualdelen i examensarbetet, detta för att följa råden kring standardisering och användbarhet i kapitel 2.3.3.

6.3 Insamling av teknisk kunskap

För att samla in teknisk kunskap i enlighet med steg 2 i Practical playscript (se kapitel 2.4.2) genomfördes en Level 1 utbildning där EBM-teknik och maskinhantering introducerades. I steg 2 genomfördes även en service av vakuumsystemet tillsammans med servicetekniker för att samla in information om hur de olika momenten utförs rent praktiskt och få en grundstruktur till vad som eftersträvas. Tillsammans med anteckningar från denna observationsstudie användes videofilmning och fotografering för att dokumentera servicepunkterna.

6.3.1 Utbildning: Level 1

Arcam erbjuder alla sina kunder utbildning i både teoretisk och praktisk kunskap kring EBM-maskiner och tillhörande programvaror. Utbildningen sker på plats i Arcams lokaler i Mölndal. Det finns tre steg av utbildningar med olika inriktningar och alla är avsedda för en grupp kunder på maximalt 10 personer. Oftast är kunderna från olika företag och utbildningen ges på engelska. Det första steget, den så kallade Level 1, är den mest grundläggande utbildningen och fokuserar på att lära kunden om programvarorna som används samt att lära dem hantera och underhålla EBM-maskinerna på ett säkert och effektivt sätt (Krebs, M. & Trinh, D, 2012). Efter en

genomförd Level 1 utbildning kan kunden ta ett certifikat i Level 2 som erbjuder en djupare förståelse för parametrarna inom olika processteman. Med processteman menas de inställningarna som styr energin, hastigheten och storleken på strålen. Inställningarna varierar beroende på exempelvis tjockleken och strukturen på det som ska byggas (Krebs, M. & Trinh, D, 2012). Efter en avslutad Level 1 och Level 2 träning erbjuder Arcam utbildning på plats hos kunden där kunden lär sig optimera maskinen för sitt eget tillverkningsyfte.

Level 1 utbildning genomfördes i tre syften:

- Att erhålla grundläggande teori om EBM-maskiner, EBM-teknik och säkerhet kring maskinerna.
- Erhålla praktisk erfarenhet i att hantera en EBM-maskin och enklare underhåll av maskinen
- Iaktta hur användarna underhåller EBM-maskiner

Undervisningen baserades till stor del på föreläsningar hållna av anställda på Arcam med visuell media som Powerpoints. Föreläsningarna tog bland annat upp ämnen som EBM-teknik, metallurgi, Arcams mjukvaruprogram och skötsel av maskinen. Utbildningen hade praktiska övningar med moment som att förbereda starten av en byggprocess och fininställning av rakan, som breder ut metallpulvret över byggbordet i maskinen. Det ingick även moment som byte av filamentet, den del som alstrar elektronstrålen i maskinen och att blåstra av rester av metallpulver från ett färdigt bygge i PRS-maskinen. Alla delar av Level 1 utbildningen var inte relevant för examensarbetet men gav en generell överblick av Arcams produkter och hur de används.

Kunderna, som var till största del oerfarna EBM-maskinanvändare, och utbildningspersonalen studerades under tre dagar i en deltagande observation (se kapitel 3.2.2). Observatörerna ingick själva i gruppen som studerades och utförde samma uppgifter. Denna typ av observationsstudie valdes för att få en inblick i de rutiner som används i den dagliga verksamheten med EBM-maskinerna. Informationen från Level 1 utbildningen användes sedan som ett underlag kring det fortsatta arbetet med manualen.

6.3.2 Observationsstudie: Service av EBM-maskinen Q10

Som en del av att samla in teknisk kunskap genomfördes en service av vakuumsystemet till en Q10 EBM-maskin på Arcams R & D-avdelning. Med utgångspunkt från checklistan utfördes varje moment av tre servicetekniker. Det var samma sorts service som sker ute på fält av servicetekniker hos kunderna. Till största del var det bara en servicetekniker åt gången som opererade i maskinen.

Service av Q10 maskinen var en direkt observation (se kapitel 3.2.2) som innebär att observatören själv närvarar och iakttog situationen med egna ögon. Även fast servicen baserades till stor del från punkterna i checklistan var det en ostrukturerad observation eftersom så mycket information som möjligt registrerades oberoende av vad som stod på checklistan. Varje moment noterades med video eller fotografering samt anteckningar över hur serviceteknikern utförde uppgiften. Anteckningar, film och bilder användes sedan som referens till manualskrivandet och framtagningen av illustrationer i visualiseringsprogrammet PTC Creo View Express 3.0. Under servicen benämndes alla delar vid sitt engelska namn för att förenkla arbetet med den engelska texten i manualen.

6.4 Första utkast av manualen

Det första utkastet av manualen togs fram i enlighet med steg 3 i kapitel 2.4.2. med avsikt att förbereda för återkoppling med teknisk support-avdelningen på Arcam. I kapitlet presenteras ett flödesschema för hur utvecklingen av varje separat servicepunkt gick till. Därefter följer tre kapitel som förklarar hur den teoretiska referensramen användes vid arbetet med text och illustrationer.

6.4.1 Flödesschema för arbetet med varje servicepunkt

I arbetet gjordes ett flödesschema för att systematiskt arbeta med varje servicepunkt i manualen på samma sätt se fig.6.6. Syftet med flödesschemat var att standardisera arbetssättet för att skriva och ta fram bilder så att arbetet med manualen kunde förenklas och bli mer effektivt i enlighet med teori kring användbarhet och standardisering i kapitel 2.3.2.

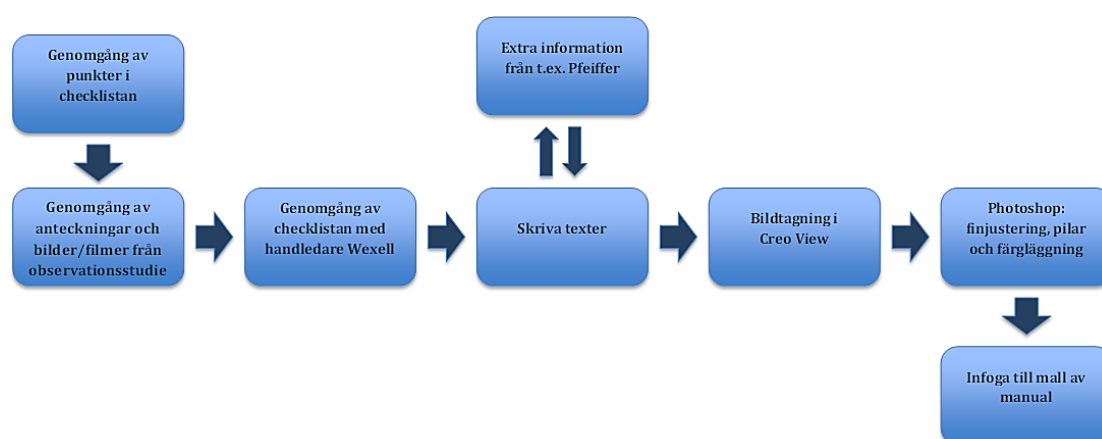


Fig. 6.6. Flödesschema för arbetet med varje servicepunkt (se även bilaga 6).

Det först steget var att gå igenom punkten, exempelvis 020 B: Camera viewport seal och läsa checklistans korta instruktion, i det här fallet “Clean O-ring groove” (se bilaga 3). Därefter gicks anteckningar och bild- och filmmaterial från observationsstudien av den praktiska servicen av EBM-maskinen igenom (se kapitel 6.3.2). Utifrån hur instruktionen rent praktiskt utfördes under servicepunkten listades momenten upp i kronologisk ordning. När utförandet strukturerats upp hölls en genomgång med handledare Wexell. Genomgången gav en återkoppling att instruktionstexten stämde. Då noterades också faktorer som bör ges särskilt uppmärksamhet, exempelvis att tänka på att inte skruva åt för hårt för att det riskerar knäcka ett glas eller att det är viktigt att dra åt skruvar korsvis.

Därefter renskrevs texterna och om information från andra källor än Arcam krävdes för att utföra instruktionen inhämtades det. Oftast var Pfeiffer Vacuum den källa till extra information som användes. Pfeiffer Vacuum är det företag som bland annat tillverkar vakuumpumparna till EBM-maskinen. Då texterna skrivits klart tog det visuella arbetet vid.

Bilderna togs först som stillbilder från CAD-visualiseringsprogrammet Creo View Express 3.0. och lyftes sedan in i programvaran Adobe Photoshop CS6 för att färgläggas och finjusteras. Därefter infogades text och bild till mallen för manualen.

6.4.2 Utveckling av text till manualen

Instruktionerna i servicemanualen sammanställdes utifrån det gränssnitt som Arcam använder för sin service och utifrån de råd kring att skriva lättförståeliga texter som återfinns i den teoretiska referensramen kapitel 2.4. Rent språkmässigt följdes råd som att skriva i presens med en tydlig struktur, med korta och logiska punktinstruktioner utan felsyftningar. Med inspiration från skrivsättet Playscript som återges i kapitel 2.4.1. inleds ofta instruktionen med verbet som illustrerar handlingen som ska utföras, exempelvis ”remove screws” eller ”check condition”.

6.4.3 Användbarhet från teori till praktik

Fokus låg på att anpassa det tekniska språket till användaren, i det här fallet en servicetekniker på Arcam. Det tekniska språket är därför något mer avancerat än det skulle ha varit för att vara lättförståeligt för en person som inte är insatt i EBM-maskinerna. Till exempel uteslöts för det mesta vilka verktyg man skall använda för att utföra instruktionen, då det anses vara en förkunskap hos läsaren. Det lades också in hänvisningar till bilagor kring bland annat demontering av turbopumparna som kommer externt från företaget Pfeiffer i ett kapitel kallat ”General instructions” i manualen. Under vissa punkter lades varningar ”Caution” (se fig. 6.4) för att bland annat varna för tunga lyft vid hanteringen av delarna i det momentet.

Utifrån de fem kvalitetsfaktorer som återges av Nielsen i kapitel 2.3.2.1 är det viktigt att veta vem användaren är och anpassa efter denna för att erhålla ett användarvänligt resultat. I arbetet genomfördes ett användartest med servicetekniker som fokusgrupp. Fokusgruppen representerades dock utav endast en individ vid testet, Fredrik Mohlin.

Lärbarheten hos manualen, det vill säga hur lätt det är att lära sig systemet för instruktionerna, baserades i arbetet på delredovisningar och det slutliga praktiska testet med en servicetekniker som beskrivs i kapitel 6.6. Under det praktiska testet noterades också om någon instruktion tolkades felaktigt, dock var antalet utförda fel minimal då serviceteknikern sedan tidigare var väl bekant med maskinen. Med hjälp av enkäten (se bilaga 8) som serviceteknikern fyllde i kunde graden av tillfredsställelse bedömas. Effektiviteten hos systemet bedömdes som svår att mäta då det praktiska testet endast hann genomföras en gång. Det medförde även att minnesförmågan hos personen att utföra instruktionerna var svår att bedöma, då inget mer test gjordes.

6.4.4 Utveckling av illustrationer

Under hela arbetets gång gjordes avvägningar när text respektive bilder bäst lämpade sig för instruktionerna i programvarorna Creo View och Photoshop. Illustrationerna utvecklades med inspiration från observationsstudien då film och foton tagits, se fig. 6.7.

6.4.4.1 PTC Creo View Express 3.0

Som hjälpmedel för framtagning av bilder till manualen användes Creo View Express 3.0 från företaget PTC, vilket är ett 3D-visualiseringsprogram för datorer. I programmet användes en mycket detaljerad 3D-modell av Q10 maskinen och orientering i programmet skedde med hjälp av en 3D-mus för att enkelt kunna zooma, vända och vrida modellen till önskat läge. Programmet erbjöd också funktioner som att släcka delar för att dölja dem och flytta valda delar i x-, y-, eller z-led i maskinen exempelvis för att bilda en sprängskiss. Det finns en inbyggd ljussättning i programmet vilket gjorde att, beroende på hur modellen var vriden, föll ljuset på olika sätt. Ljussättningen utnyttjades för att uppnå önskad ljus på komponenterna och

kontrast på bilderna. Från observationsstudien av den service som skedde på R & D avdelningen refererades många av de valda vinklarna på maskinen.

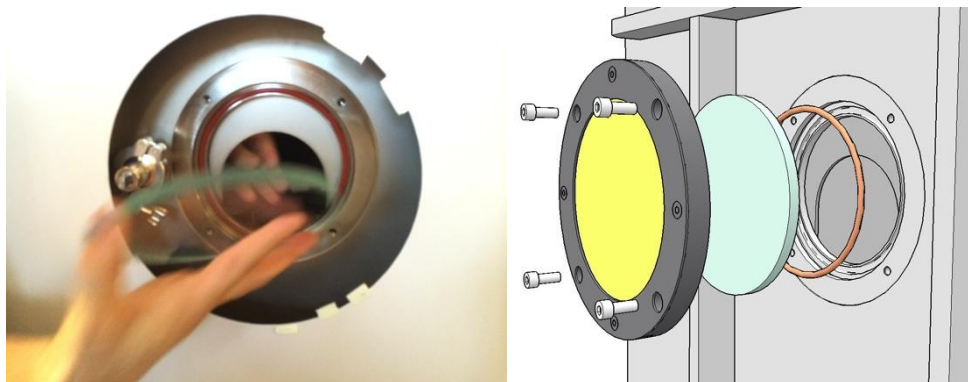


Fig. 6.7. Flera bilder till manualen inspirerades från observationsstudien: Praktisk service av en EBM-maskin. Bilden t.v. illustrerar även hur lätt det är att slarva med handskar.

En designprincip som tillämpades vid framtagning av bilder i Creo View var erfarenhetsfaktorn (se kapitel 2.5). Den hade stort inflytande på den slutgiltiga bilden. På grund av att manualen är utvecklad för utbildade servicetekniker kunde slutsats tas att onödiga förklaringar i textform om vad som var i maskinen bilden visade kunde uteslutas. För mycket texter och bilder skulle ha gjort manualen rörig och svårorienterad. Avvägningar om vad som var essentiellt och vad som var onödigt gjordes tillsammans med handlare Wexell.

6.4.4.2 Adobe Photoshop CS6

Efter att bild tagits i Creo View med hjälp av skärmdumpning importerades bilden till bildredigeringsprogrammet Adobe Photoshop för redigering och färgläggning. I äldre manualer har färgerna rött och gult används för att illustrera de komponenter som berörs av instruktionen. Rött har används för att visa den komponent som ligger i fokus i första hand för funktionen och gult för att indikera stödkomponenter, komponenter som nämns i andra hand. Numrering och pilar som illustrerat exempelvis vridmoment och rörelser har också skett i gult. Färgerna rött och gult styrks även från teorier om färgval i kapitel 2.5.2. För att matcha kontrasten av ljussättningen i bilden tagen i Creo View användes en ljusare röd- och gulnyans. För exempel se fig. 6.8.

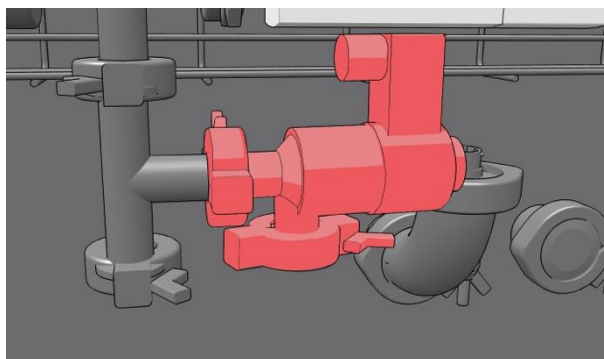


Fig. 6.8. Exempel på hur en bild matchades till den inbyggda ljussättningen i Creo View när röd färg lades till.

När bilden ansågs vara färdig beskärdes bilden och lades sedan in i dokumentet för manualen. I verkligheten är i princip alla komponenter i rostfritt stål med undantag för

o-ringar som i första hand är i svart gummi med undantag för någon enstaka o-ring som är röd. När ritningarna hämtades från externa källor, som i bilagorna Pfeiffer EVC 110M och HiPace 300 lyftes de endast in i Photoshop för att ges samma färgkod som resten av manualen.

Några bilder krävde frihandsritning på grund av att alla komponenter inte fanns med i CAD-modellen i Creo View bland annat vissa skruvar och kablar. En av dem var *032 G - Chamber filter*, se fig. 6.9. Som nämnt tidigare är servicetekniker ensam ute hos kund. För att kunna lossa och lyfta ut den tunga pumpen på ett säkert sätt, både för serviceteknikerna och maskinen, behövs ett lyftband fästas kring pumpen och runt den övre balken i maskinen för att sedan kunna lossa pumpen från maskinen och byta kammarfiltret innanför. I punkten i *021 G - Observation window hatch* ritades en kabel in.

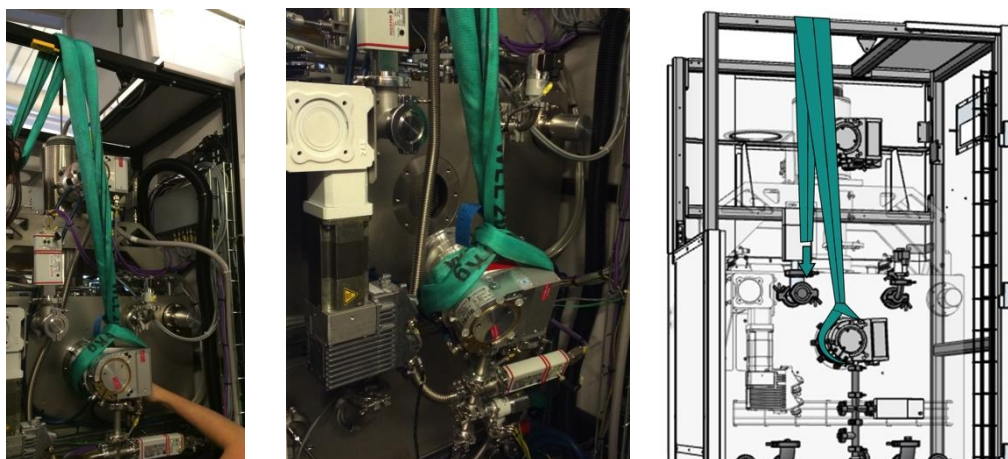


Fig. 6.9. Bilder på hur servicepunkten 032 visualiserades med hjälp av frihandsritning.

6.5 Återkoppling och korrigeringsarbete

I steg 4 enligt Barnett (2008) rekommenderas att utkast skall ses över och korrigeras som en del av utvecklingsarbetet för att skriva en manual. När den större delen av manualen därför sammanställts till ett första utkast, bokades en första delredovisning in tillsammans med servicetekniker där hela manualdelen om vakuumsystemet gick igenom. Eventuella kommentarer och förslag på förbättringar från serviceteknikerna resulterade därefter i korrigeringar av både text och bild. Därefter bokades ett nytt möte in för att gå igenom manualen ytterligare en gång.

6.5.1 Delredovisningar

Vid två tillfällen genomfördes delredovisningar där författarna tillsammans med handledaren Daniel Wexell och teknisk informatör Håkan Sjölander successivt gick igenom manualen och diskuterade både text och bilder. En delredovisning varade i cirka två timmar. Manualen visades via en projektor och varje punkt gick igenom steg för steg. Eventuella kommentarer från handledare Wexell och Sjölander noterades och korrigerades efter genomgången. Korrigeringarna kunde vara dels kring de skriftliga instruktionerna, dels föreslå förändringar i bilder och eventuella tillägg av nya bilder där det fanns ett behov. Den första delredovisningen skedde efter att cirka halva manualen var gjord och den andra delredovisningen skedde då manualen ansågs vara klar.

Exempel på ändringar var i punkt 020 B - *Camera viewport seal* där en roterande pil ersattes av två pilar. En rak pil med ett tredimensionellt uttryck för att illustrera hur skaftet vrids bort, samt en mindre roterande pil för att visa att skruven skall lossas se fig. 6.10. I 020 B ändrades den sista bilden från att enbart visa sprängskissen, av ett utav glaset som skall lossas, till att istället visa en sprängskiss på båda för att bespara bildutrymme och påminna om att båda glasens o-ringar ska undersökas. I punkt 021 D - *Observation window* lades den gula färgläggningen av axelnyckeln (eng. *shaft key*) till (se bilaga 7). Axelnyckeln underlättar friktionen för vridmomentet mellan axel och fönsterskydd. Ändringen gjordes efter den andra delredovisningen då servicetekniker Sjölander påpekade att den sitter lös och är lätt att tappa bort. En notering (eng. *note*) om det lades till längst ned i punktens instruktion (se bilaga 7). Efter de sista korrigeringarna ansågs manualen vara färdig för utvärdering i form av ett praktiskt test.

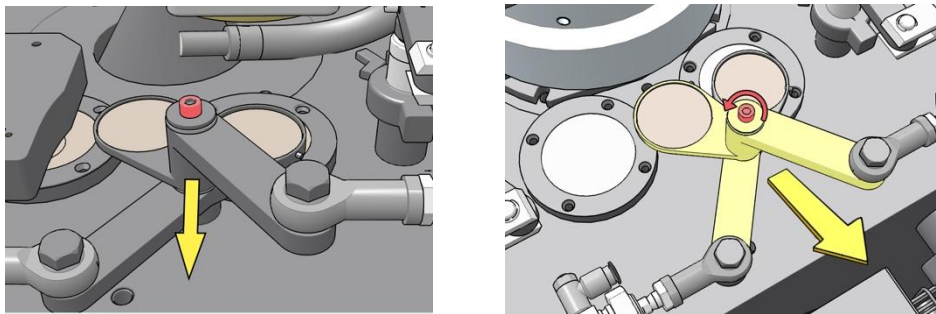


Fig. 6.10. Till höger visas bild som korrigerats efter delredovisning.

6.6 Färdigställning och praktiskt test av manual

För att testa att manualen nu uppfyllt kraven på att vara på rätt nivå och med korrekta instruktioner gjordes ett praktiskt test där en servicetekniker som inte deltagit i delredovisningarna utförde momenten i manualen. Det praktiska testet är en följd utav råden kring att anpassa till användaren som återges i kapitel 2.3.2. I det här stadiet bedömdes arbetet med manualen vara framme i det femte, slutliga steget enligt skrivråden i kapitel 2.4.2 och endast några mindre korrigeringar gjordes efter det.

6.6.1 Praktiskt test av manual

För att aktivt studera hur en servicetekniker använder manualen och utvärdera hur den fungerar i praktiken gjordes en sista observationsstudie i slutet av arbetet där en servicetekniker testade manualen. Studien utgick ifrån att servicetekniker Fredrik Mohlin gick igenom manualen och utförde den service som ingick, på en av EBM-maskinerna på Arcam (se fig. 6.11). Observationen anses vara semi-strukturerad (se kapitel 3.2.2) eftersom den till största del utgick från manualen men alla beteenden som ansågs vara relevanta antecknades. Exempelvis noterades egna initiativ och handlingar som inte stod med i manualen, för att efter studien kunna ändra och komplettera det som ansågs vara viktigt. De faktorer som studerades under observationsstudien var bland annat:

- Följde serviceteknikern punktlistan eller inte
- Förstod serviceteknikern instruktionerna
- Behövde serviceteknikern fråga om hjälp
- Behövde serviceteknikern bläddra till andra delar av manualen för att förstå instruktionen.

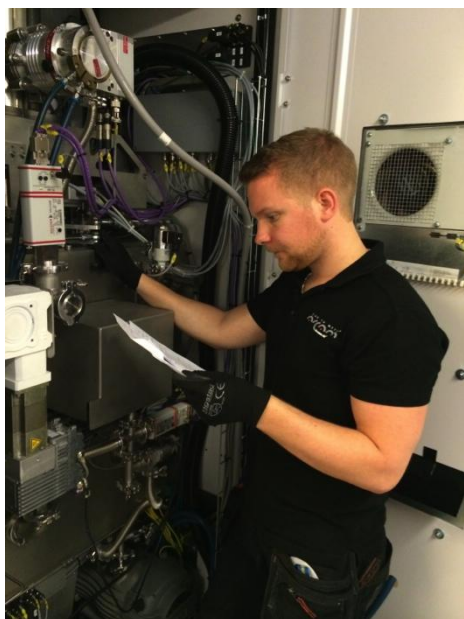


Fig. 6.11. Servicetekniker Fredrik Mohlin utför praktiskt test av manual.

6.6.2 Utvärdering: Enkät från det praktiska testet

För att utvärdera vad serviceteknikern ansåg om manualen utformades en enkät som besvarades efter användartestet (se bilaga 8 och 9). Enkäten inleddes med 10 påståenden där serviceteknikern fick svara på en 5-gradig skala, där 1 = stämde inte alls överens och 5 = stämde helt. Frågorna tog först upp en utvärdering av texten i manualen och sedan en utvärdering av illustrationerna. Enkät som utvärderingsmetod valdes för att serviceteknikern skulle kunna svara fritt utan yttre påverkan. Serviceteknikern fick även möjlighet att kommentera påståendena för att förtydliga, vilket dock var frivilligt. Efter de 10 påståendena följde tre öppna frågor där serviceteknikern fick svara i mer utvecklande text. Resultatet från enkäten var i överlag positiv, där förslag på korrigeringar främst bestod av varningar som Mohlin ansåg kunde vara bra att ha med i instruktionstexten.

Ändringarna var främst tillägg av varningskommentarer för varma delar där risk för att bränna sig finns (se bilaga 7), och andra moment där försiktighet uppmanas för att inte skada någon del i maskinen. En annan notering från det praktiska testet var när skyddet till observationsglaset i dörren lossades, men metallisering gjorde att skyddet kärvade och satt fast på axeln. Därför lades en extra punkt till i 021 D: *clean axle from metallization if necessary* för att motverka att det sker igen.

6.7 Resultat av manual

Resultatet av manualen återges i bilaga 7.

7 Genomförande och resultat av PowerPoint presentation

Under arbetets gång blev vikten av bra rutiner kring vakuumhygien ett tydligt inslag vid service av EBM-maskinen. För att understryka vikten av rutinerna beslöts därför i samråd med handledare Wexell att en del av de generella råden kring hantering av vakuumsystemet skulle sammanställas i en PowerPoint presentation på engelska som ska kunna användas i utbildningssyfte för personal och kunder. Information om vakuumhygien erhöles från två intervjuer samt diskussion med Wexell. En intervju med Ulf Ackelid (PhD) som arbetar med R & D avdelningen för material och processer på Arcam och en med applikationsingenjören Erik Ocholla (MSc).

7.1 Intervju med Ulf Ackelid

För att få en djupare förståelse om vikten av en bra vakuumhygien i EBM-maskiner gjordes en djupintervju med Ulf Ackelid (PhD) anställd på R & D avdelningen som Senior Scientist, Materials and Processes på Arcam. För hela intervjun se bilaga 10. Enligt Ackelid är upprätthållning av en god vakuumhygien vid arbete med maskinerna essentiellt för att byggnadsprocessen ska kunna genomföras. En av de viktigaste rutinerna för att hålla en bra vakuumhygien i EBM-maskiner är att använda handskar, speciellt vid arbete i kammaren som kräver ultra-högt vakuum och därmed är svårare att uppnå. Luftfuktigheten har stor inverkan på nedpumpningsprocessen. Det är viktigt att ha en låg luftfuktighet i alla rum där pulver hanteras och byggprocesser sker säger Ackelid. Den vanligaste orsaken till att maskinen inte går att pumpa ner till önskat tryck är att fukt har kommit in i kammaren. Ackelid förklarar att all smuts och föroreningar, som exempelvis metallisering, binder fukt. Fukten reagerar sedan med titanpulvret som oxideras och pulvret kan på sikt förstöras så pass mycket att det inte uppfyller kvalitetskraven för att använda i produktion. För att förebygga att fukt kommer in i maskinen ska maskinen inte lämnas öppen under längre perioder. Optimalt skulle vara om det tog mindre än en timme att ladda om maskinen med pulver säger Ackelid.

Vanliga fel som har observerats ute hos kunderna är att värmeskölden (eng. *heat shield*) inte byts efter varje byggprocess, vilket är en rekommendation av Arcam. Värmeskölden är den plåtkåpa som placeras över byggnadsdetaljen för att hålla en hög och stadig värme runt byggnadsdetaljen, något som är nödvändigt för att byggprocessen ska kunna genomföras (se fig. 7.1). Värmeskölden används även för att skydda resten av kammaren från metallisering som sker under en byggprocess. Plåtarna blir belagda med metallisering som är mycket porös och därför binder mycket fukt, enligt Ackelid. Om plåtarna inte byts försämrar det både nedpumpningstiden för vakuum och flagor av metalliseringen riskerar att falla ner i pulvret och smälta samman i byggprocessen vilket kan försämra kvalitén på byggdetaljen.

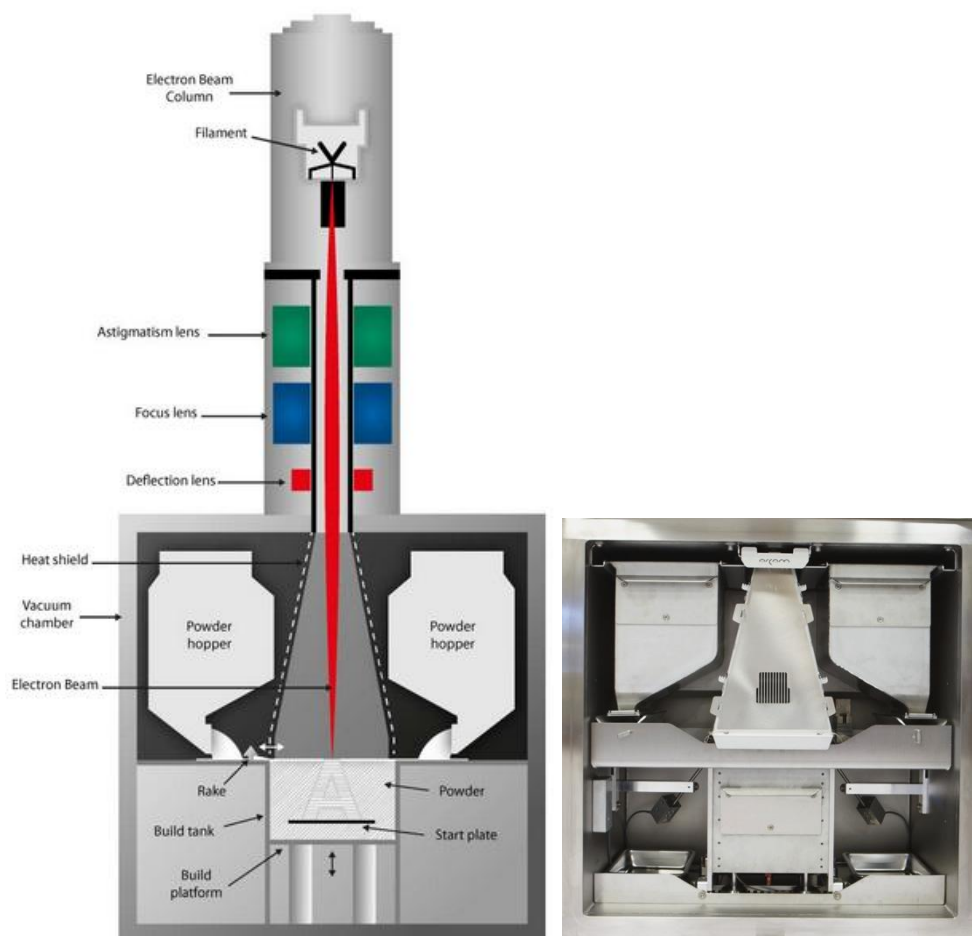


Fig. 7.1. Bild t.v. är en snittbild på EBM-system med vakuumkammare och elektronstrålekanon. Bild t.h. visar vakuumkammare med värmesköld (Arcam, 2014).

Dåligt vakuum påverkar även driftsäkerheten. Dels blir filamentet i kanonen (se fig. 7.1) snabbare sliten och dels blir risken för fler driftstopp i byggprocessen, så kallade arc trips, större. Smuts, fukt eller andra föroreningar gör att det börjar ryka i maskinen vilket syns som ”toppar” i graferna i Log Studio, mjukvaran som styr EBM-systemet, och brukar kallas för arc trips. Vid arc trips stängs maskinen av och på igen och byggprocessen kan fortsätta. Blir det flera arc trips under en kortare tid eller om maskinen blir avstängd i mer än cirka en minut hinner temperaturen i kammaren sjunka under 630 grader och byggprocessen kraschar. Ackelid poängterar att bra vakuumhygien ger en stabil maskin och bättre förutsättningar för stabilare byggprocesser.

Kunderna ska sköta en del av rengöringen av maskinerna själva, exempelvis skrapa bort metallisering från kammaren och kammardörren men ofta har kunderna mycket smutsiga maskiner (se fig. 7.2). Som nämnt innan är värmeskölden en av de delar som det slarvas mycket med enligt Ackelid. Kunderna kanske tycker det är för dyrt att byta värmeskölden för ofta men långsiktigt blir det mycket dyrare om pulvret förstörs säger Ackelid. Under tidspress prioriteras det kortsiktiga, att exempelvis starta upp en ny byggprocess är viktigare än att rengöra. Ackelid tror att det är lätt att slarva med rengöringen både för serviceteknikerna och kunderna. Kunderna lär sig av vad serviceteknikerna gör, använder serviceteknikerna inte andningsskydd vid hantering

av pulvret kommer kunden inte heller att göra det. Men det är svårt att säga vad som behöver ändras för att serviceteknikerna ska ta vakuumhygienet på större allvar.



Fig. 7.2. Metallisering på dörren till vakuumkammaren.

7.2 Intervju med Erik Ocholla

Efter djupintervjun med Ulf Ackelid gjordes ett första utkast på PowerPoint presentationen. Efter det genomfördes en ostrukturerad intervju med Erik Ocholla (MSc) som arbetar som applikationsingenjör och tidigare har arbetat som servicetekniker på Arcam. Frågorna ställdes angående innehållet av presentationen och Ochollas kom med kommentarer och synpunkter.

En av de sakerna Ocholla påpekade var vikten av bra vakuumhygien i kanonen. Vid underhåll, service eller rengöring av en EBM-maskin ska ett separat set av verktyg användas för kanonen. För att minska spridning av smuts till kanonen är det bra att alltid börja rengöringen där och sedan gå vidare med resten av maskinen. Enligt Ocholla är det bästa att minimera hantering av kanonen och bara öppna upp den när det är absolut nödvändigt. Ocholla nämnde även risken att kontaminering hamnar på katoden i kanonen. Då krävs mer energi för att värma upp katoden och få emission av elektroner till elektronstrålen. Det leder till att maskinen sänker Grid-spänningen för att kunna producera strömmen som behövs. Spänningsnivån riskerar då att hamna under error-nivån och maskinen kraschar, vilket kallas "Grid too low-errors".

En annan viktig synpunkt Ocholla kom med var vikten av att inte bara använda handskar utan även långärmade tröjor, helst av syntetiskt material som inte luddar. All hud har ett lager med fett som kan smutsa ner maskinen och speciellt vid arbete längst in i kammaren kan det vara lätt att vidröra kammarväggen med armen.


Efter intervjun med Ocholla lades information om "Grid too low-errors" och rekommendationen för hantering av kanonen (eng. *column handling*) in i presentationen. Därefter det gjordes en sista revision med Wexell. Bland annat kom Wexell med rekommendationen att kammardörren inte ska vara öppen mer än 15 minuter för att minimera fukt.

Powerpointen sammanställdes till åtta bilder. Först introducerar vikten av att ha bra vakuumhygien, vilka misstag som vanligast begås och rekommendationer vid hantering av vakuumkammaren och kanonen. Därefter förklarar hur EBM-tekniken påverkas av bristande vakuumhygien. Sedan ges en checklista över saker att tänka på vid hantering av vakuumsystem i EBM-maskiner och avslutningsvis presenteras fördelarna med bättre vakuumhygienrutiner. Den färdiga PowerPoint presentationen presenteras i kapitel 7.3 och bilaga 11.

7.3 Resultat: PowerPoint presentation

Nedan visas resultatet av PowerPoint presentationen. Se bilaga 11 för större bilder.

Vacuum hygiene



Introduction to vacuum hygiene

- Vacuum chamber and column is highly sensitive to all kinds of contaminations
- Keep vacuum system free from fingerprints, hair, moisture, oil and other impurities
- Ignorance leads to losses in efficiency and costs



2

Ovan visas PowerPoint bild 1 och 2.

Common mistakes

- No gloves (and no long sleeves)
- High humidity in machine environment
- Placing parts from chamber and column on dirty surfaces
- Using dirty tools

Chamber handling

- Do not reuse dirty heat shield
- Clean parts in the vacuum chamber from metallization
- Do not keep the vacuum chamber door open for long periods
 - Maximize open door to 15 min









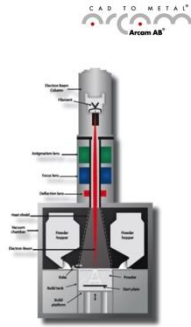
3

4

Ovan visas PowerPoint bild 3 och 4

Column handling

- Minimize handling and cleaning of the column
- When cleaning:
 - Use as little cleaning solvent as possible
 - Always start with column and continue to chamber, to not bring contamination into column
- Keep a separate set of tools for column



5

How is the EBM-technique affected?

Contaminations will:

- Slow down the vacuum pumping process
- Grid too low errors
- Long term oxygen pick-up that might lead to material specification out of ASTM standards, smaller process window against smoke due to oxygen pick-up
- Increase the risk for arc trips and interrupted builds



Ovan visas PowerPoint bild 5 och 6.

How can we improve?

Checklist

- Wear gloves and long sleeves
- Change lint-free cleaning cloth regularly
- Use only Arcam recommended cleaning solvents
- Keep dedicated EBM Machine tools separated and clean
 - Be aware of the risk for cross-contamination between different EBM Machines and materials
- Have a routine of cleaning tools and vacuum chamber after each use



7

The benefits

By having a professional vacuum hygiene you will obtain:

- More stable and reliable EBM Machine functionality
- Reduced risk of crashes and interrupted builds
- Longer cathode life time
- Secure material properties



Ovan visas PowerPoint bild 7 och 8.

8 Diskussion och slutsats

Målet med examensrapporten var att utarbeta den del av servicemanualen för Q10 som arbetet avgränsats till samt att ta fram utbildningsunderlag för vakuumhygiensrutiner anpassat till servicetekniker och kunder på Arcam. Då manualen och PowerPoint presentationen för utbildning båda färdigställdes bedöms målet vara uppnått

De flesta informationskällor som användes i examensarbetet var muntliga källor, baserade på beprövad erfarenhet hos anställda på Arcam. Deras kunskapsnivå kring vakuumsystem och vakuumhygien har antagits vara god då de har flera års erfarenhet av EBM-teknik och dess vakuumsystem samt att de har erfarenhet som servicetekniker. Inga mätdata har analyserats eller behandlats i examensarbetet men informationen som erhållits anses vara tillförlitlig på grund av att den validerats via intervjuer av olika personer. Då EBM-tekniken på Arcam är sekretessbelagd och de enligt dem själva är ensamma om den specifika tillverkningsmetoden, har information från utomstående källor varit svårtillgängliga för att bekräfta påståenden från intervjuer. Som nämnt tidigare har intervjuerna med olika personer återgett liknande påståenden angående vakuumhygien i vakuumsystem.

De metoder som användes i planeringsarbetet har ansetts varit väl anpassade för ett korrekt genomförande. Planeringsmetoderna som GANTT-schemat, projektdagboken och de två flödesscheman var redan från början till stor hjälp vid strukturering av examensarbetet. Men en kommentar till framtida arbete kan vara att lägga in mer tid för informationssökning i uppstartsfasen på arbetet.

Den checklista som varit grund för manualen är ett dokument som kan förändras. EBM-maskinerna är i konstant utveckling, exempelvis kan komponenter byta plats i maskinen, underleverantörer byts ut eller tidsintervallet för service av komponenter eller delar ändras. Det kan innebära att checklistan som manualen refererar till snabbt kan bli omodern. Om checklistan ändras leder det till att manualen kräver en uppdatering.

De avgränsningar i layout och checklistan som gällde för manualen begränsade möjligheten att ge innovativa förslag till utformning av den. Manualens layout ändrades inte då det ansågs kunna störa serviceteknikernas arbete eftersom de äldre manualerna har följt samma mall. En standardiserad manual som liknade de andra ansågs vara det bästa alternativet. Flera servicepunkter refererar till bilagor, externa källor och andra servicepunkter i manualen. Det kan också diskuteras om Arcams mall för manual är den som är bäst anpassad till användaren. Det kan leda till svårigheter för nya användare, att läsaren måste bläddra onödigt mycket och därmed störas i sitt arbete.

Manualen innehåller en del internt språk och kräver förkunskap inom ämnet. Benämningar på komponenter kan skilja sig från det namn underleverantören har och det namnet komponenten har på Arcam. Arcam benämner till exempel en oljekassett i molekylärpumparna som *oil casset* medan Pfeiffer Vacuum hänvisar till den som *operating fluid reservoir*. Det kan leda till missförstånd i den engelska servicemanualen och om den i framtiden översätts till andra språk.

Vid avseende på användbarhet och användarvänlighet anses manualen uppfylla sitt syfte eftersom det påståendet validerades av det praktiska testet och enkäten. Dock ska hänsyn tas till att manualen har utformats till en existerande maskin. Förslag till

ändring av konstruktion av maskinen, för att uppnå ännu högre nivå av användbarhet eller användarvänlighet, har ej varit en del av examensarbetet.

Bildframtagningen försvårades ibland av att CAD-modellen av EBM-maskinen i Creo View inte innehöll alla komponenter. Eftersom Creo View används för visualisering istället för modellering saknades exempelvis en del skruvar och kablar då programmet inte var den fullständiga versionen av Creo. Anledningen till varför modelleringsversionen av Creo inte användes var att licenserna var dyra att köpa in för företaget och att Creo View ansågs vara tillräcklig.

De tillfällen då delar saknades och bedömdes viktiga ritades de in för hand. De frihandsritningar som presenteras i manualen (021 G och 032 G) togs väl emot av handledare vid delredovisningar. Antalet frihandsritningar limiterades dock till det som ansågs vara nödvändigt för att bilden skulle kunna uppnå sitt syfte, på grund av att för många frihandsritningar bedömdes påverka trovärdigheten för manualen. Frihandsritningar bedömdes också skapa förvirring för serviceteknikerna om de skilde sig för mycket från CAD-ritningarna.

Utvärderingen av manualen genomfördes av endast en servicetekniker på grund av att fler inte kunde avlägga tid för att testa manualen under arbetstid. Enligt rekommendationer som tas upp i kapitel 2.3.2.1. är en grupp av testare bättre vid en utvärdering. För att ha en bättre utvärdering av manualen hade intervjuer eller enkäter från fler servicetekniker varit att föredra.

För att undersöka PowerPoint presentationens nytta som utbildningsunderlag hade en föreläsning med presentationen följt av en utvärdering varit en fördel. Detta för att undersöka om serviceteknikerna ansåg att relevanta saker togs upp i PowerPoint presentationen. Dock var en utvärdering av PowerPoint presentationen inte med i tidsplaneringen för arbetet och utfördes inte.

Det kan diskuteras om elektronstrålekanonen skall vara en del av vakuumsystemet i EBM-kanonen eller inte. Elektronstrålekanonen togs inte med i manualarbetet då den är patentbelagd och kräver mer komplicerade moment för att underhållas än andra delar av systemet. Elektronstrålekanonen var inte med i arbetet med manualen men bedömdes vara en så pass viktig del av vakuumhygien att den behandlades i PowerPoint presentationen.

8.1 Miljöanalys

Vid framtagning av miljöanalysen var det svårt att finna opartisk information eftersom Arcam är ensamt som företag att tillverka EBM-maskiner med sin teknologi. Miljöanalysen är därför grundad på data som Arcam själva har gjort publikt. Det har bidragit till att informationen som behandlats är till hög grad subjektiv. Endast artiklar, och ingen djupare studie eller forskning kring miljöaspekter har hittats från andra informationskällor än Arcam. Hade en större del av arbetet varit fokuserad kring miljöanalysen hade en mer nyanserad bild av miljöpåverkan getts.

EBM-teknik är också en relativt ny tillverknings teknik och maskinerna har inte funnits på marknaden så länge. Vilken miljöpåverkan EBM-teknik och EBM-maskiner kommer att ha på miljön i framtiden är därför svår att förutse.

I miljöanalysen påpekades det att EBM-teknik är en emissionsfri process. Uttalandet är dock bara syftat till additiv tillverkning som tillverkningsmetod. Miljöanalysen har ej undersökt tillverkningsfasen för metallpulvret eller annan råvaruframställning. EBM-teknik har väldigt hög återvinningsgrad, uppskattad till ca 98 %. Denna siffra

kommer från en muntlig källa och är inte analyserad från mätdata. Hade en djupare analys gjorts borde hela livscykeln för en EBM-tillverkad produkt undersökts.

8.2 Rekommendationer för fortsatt arbete

- En rekommendation för fortsatt arbete med manual är att använda samma ord i manualen som används i bilagorna från externa källor.
- För att arbeta vidare med vakuumhygien på Arcam kan arbetskläder diskuteras. Istället för de kortärmade pikétröjor som är standard på Arcam i nuläget hade långärmade tröjor varit bra vid arbetet med vakuumkammaren. Långärmade tröjor minskar risken för kontaminering från armarna i kammaren.
- En slutlig rekommendation är att införa en utvärdering av manualer i form av praktiskt test som en rutin vid manuallskrivande. Att återkoppla med användaren på det sättet är värdefullt för att utveckla en användarvänlig manual.

Referenslista

Referenserna presenteras i bokstavsordning och är uppdelade i böcker (fysiska och elektroniska), internetkällor, interna källor, personreferenser, bildkällor och källor till bilagor.

Bokreferenser:

- Andersson, B-E. (1995) *Som man frågar får man svar 2:1*. Göteborg: Prisma ePan
- Barnett, R. (2008) *Practical Playscript : Writing Procedure Manuals that People Can Use (3rd Edition)*. [Elektronisk] Ngunnawal: Robert Barnett and Associates
- Bergman, B., Klefsjö, B. (2007) *Kvalitet - från behov till användning 4:7*. Lund: Student litteratur
- Gibson, I., Rosen D.W. och Stucker, B.(2010) *Rapid prototyping to Direct Digital Manufacturing*. [Elektronisk] New York: Springer Science + Business Media
- Johannesson, H. Person, J-G. Pettersson, D. (2004) *Produktutveckling*. Stockholm: Liber AB.
- Jordan, P.W. (1998) *An Introduction to Usability*. [Elektronisk] London: Taylor & Francis Ltd
- Liker, J.K, Meier, D. (2006) *The Toyota Way Fieldbook*. [Elektronisk] New York: McGraw-Hill
- Nielsen, J. (1993) *Usability Engineering*. San Diego: Academic Press.
- Osvelder, A-L. Rose, L. Karlsson, S. (2010) Metoder. I *Arbete och teknik på människans villkor*, red. Bohgard et al., ss 477-580. Stockholm: Prevent.
- Osvelder, A-L. Ulfengren, P. (2010) Människa – teknisksystem. I *Arbete och teknik på människans villkor*, red. Bohgard et al., ss 353-436. Stockholm: Prevent.
- Pfeiffer Vacuum. (2009) *Vacuum Technology*. Volume 1. Lich: Pfeiffer Vacuum GmbH
- Roth, A. (1990) *Vacuum Technology* [Elektronisk] Amsterdam: Elsevier Science B.V

Internetkällor:

- Användbarhet & UX, *Om användbarhet*. <http://www.usabilitypartners.se/om-anvandbarhet/index.php> (2014-04-15)
- Chalmers (2010) Anvisningar för projektdagbok. *Chalmers.se*. 13 maj. <https://student.portal.chalmers.se/sv/chalmersstudier/kandidat-och-examensarbete/kandidatarbete/> (2014-05-13)
- Djupintervju. *Djupintervju*. <http://www.stelacon.se/erbjudande/metoder/djupintervju/> (2014-03-26)
- Johansson, R. (2013) 2-3 ggr längre livslängd på kugghjulsfräs tillverkad med 3D-skrivare. *Netcommunity Scandinavia AB*. 15 november. <http://www.netcommunity.se> (2014-04-28)
- Miljönytta (2011) Det lilla är det stora inom produktion. *Miljönytta.se*. Juni. <http://miljonytta.se/framtid/det-lilla-ar-det-stora-inom-produktion>. (2014-04-28)
- Östholm, T. Lean-production och TPM. *Lean standardiserad process*. http://www.htindustrial.se/index_files/leanstandardiseradprocess (2014-02-19)

Interna källor:

Arcam (2013) Additive Manufacturing Banbrytande teknologi. *Arcam årsredovisning 2013*, [Elektronisk] Mölndal: Stakeholder communication och Carlund & Co
<http://ir.arcam.se/bolagsstyrning/arsstamman/arsstamma-2014/> (2014-02-15)

Krebs, M. & Trinh, D. (2012) *EBM Operator Training Levels*, Arcam AB (2014-02-15)

Personreferenser

Daniel Wexell, Arcam AB, Mölndal, tel. +46 (0)31 710 32 00

Erik Ocholla, Arcam AB, Mölndal, tel. +46 (0)31 710 32 00

Ulf Ackelid, Arcam AB, Mölndal, tel. +46 (0)31 710 32 00

Bildkällor:

www.arcam.com (2014-05-16)

Källor till bilagor i manualen:

Pfeiffer EVC 110M (2010): *Pfeiffer EVC 110M*. Asslar: Pfeiffer Vacuum

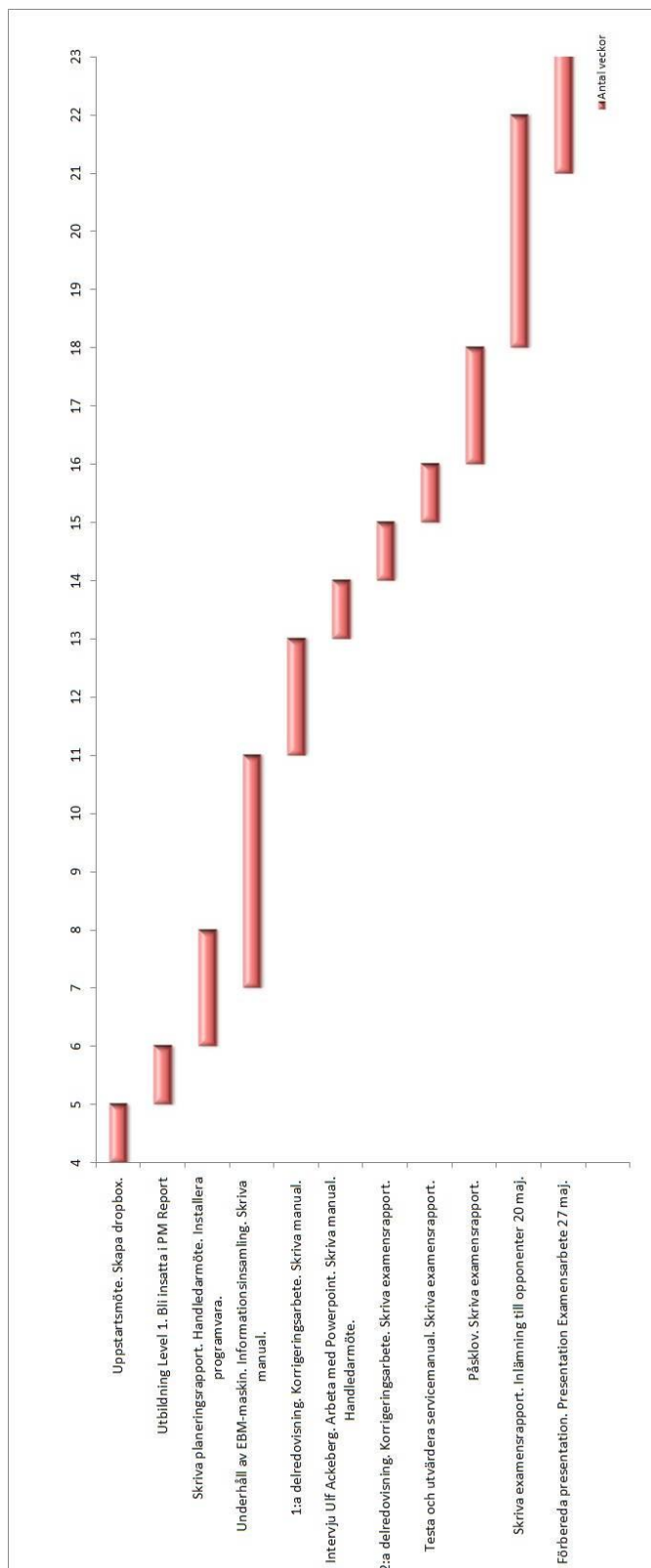
<http://www.pfeiffer-vacuum.com/> (2014-02-17)

HiPace 300 (2010) *HiPace300_Op_Instructions*. Pfeiffer Vacuum

<http://www.pfeiffer-vacuum.com/products/turbopumps/hybrid-bearing/hipace-300/onlinecatalog.action/>(2014-02-22)

Bilagor

Bilaga 1. Gantt-schema



Bilaga 2. Projektdagbok

PROJEKTDAGBOK, ARCAM		
DATUM & TID	UPPGIFT	TILL NÄSTA GÅNG
22 januari, 4 h	Uppstartsmöte på Arcam.	Skapa dropbox, skriva planeringsrapport, registrera examensarbete på studentcentrum.
28, 29, 30 (8x3) h	Utbildning Level 1. Handledarmöte på onsdag med Daniel Wexell för att gå igenom mer i detalj vad som ska göras. Han ska även förklara vakuumsystem.	
v. 7	Skriva planeringsrapport.	Installera programvaror på datorer.
Mån 10 feb, 9 h	Skrivit på planeringsrapport. Möte om vad som ska vara med i PMR. Läst och skrivit om vakuumsystem.	
Ons 12 feb, 9 h	Genomgång och observationsstudie vid service av EBM-maskin. Knäppt bilder, observerat, tagit anteckningar, frågat frågor.	Koppla bilder till rätt punkt i checklisten.
Mån 17/2 9h	Skrivit bakgrund, och om vakuumsystem och Level 1. Tog fram material om lean production, nanoteknik och usability. Gick igenom översiktsbild av vakuumsystem i EBM-maskin med Wexell.	Förbereda handledarmöte.
Ons 19/2	Skrivit detaljerad tidsplan för utförandet av manual med matchande bilder. Läst och skrivit om standardisering och om usability. Tagit fram mer material, eböcker, beställt usability bok från skolan. Mailat lärare i usability. Brandutbildning och introduktion av intranätet och quality management på Arcam.	Skriva klart om standardisering.
Mån 24/2	Skrivit om kapitel 030, 031. Fixat bilder till dem. Börjat på inledning till kapitlet. Fått vakuumbok.	
Ons 26/2	Skrivit om kapitel 032 chamber system. Gjort en frihandsritning av upphängning. Arbetat i Creo View. Skrivit i examensrapport. Sammanställt kapitel 030,031,032. Sökt manualer på Pfiffer Vacuum.	
Mån 3/3	033 Column system och 034 Rough pump system. Arbetat med illustrationer i Creo view och Photoshop. Korrigerat tidigare kapitel, sammanställt i rätt format och i samma dokument.	
10/3	Skrivit kapitel 020, 021 samt tagit ut bilder. Strukturerat ex-jobsrapport.	Möte med Wexell tisdag 11/3.
11/3	Installerade 3D-navigatör till Creo View. Hade delredovisning för Håkan Sjölander och Daniel Wexell där vi gick igenom alla kapitel och noterade ändringar och vilka bilder som ska göras. Gick igenom hur man genomför punkterna i kapitel 026 och 027. Började ta bilder från Creo och editera i Photoshop till 026 och 027.	
12/3	Arbetade vidare med att ta snapshots ur Creo för de bilder som ska föras in i manualen, och	

Bilaga 2. Projektdagbok

	editerade dem i Photoshop. Skrivit texterna till punkterna för 26 och 27.	
17/3	Finslipade bilder i photoshop.	
19/3	Gjort klar resterande bilder och sammanställt manualen.	Träffas på tisdag för att sammanställa frågor till Ace och Daniel. Två möten bokade 26/3; manualgenomgång och intervju om hygien i vakuulkammare.
24/3	Skrivit i examensrapport om Arcam,EBM-teknik och Vakuum. Även redigerat en del bilder i manualen.	
25/3	Gick igenom frågor inför möte med Ulf Aceberg för att intervjua om vakuumhygien. Gick även igenom rapporten och mailade om möte med Olof Wranne.	
26/3	Gick igenom manualen, ändrade några bilder och satte in siffror i vissa instruktionsbilder. Möte med Ulf Aceberg där vi intervjuade om vakuumhygien och hur man kan se till att servicetekniker följer bra rutiner för att upprätthålla detta. Spelade in och antecknade. Gick igenom intervjun i efterhand.	Ev möte med Olof Wranne på tisdag nästa vecka. Kommer även gå igenom manualen med Wexell på måndag.
30/3	Skrivit rapport.	
Mån 31/3	Hade delredovisning nr 2, ändrade bilder och text	
Tis ¼	Skrivit rapport. Handledarmöte med Olof Wranne.	Mål till onsdag: Göra klart manualen. Börja med PP. Boka in möte med Håkan Sjölander.
Ons 2/4	Gjort klar manualen så gott det går, börjat med PP. Daniel ska kolla maskin att testa manual på nästa vecka.	Göra frågor till enkät och förbereda observationsstudie.
Mån 7/4	Skrivit på rapporten. Arbetade med Powerpointen.	
Ons 9/4	Skrivit rapport. Testat manualen. Klar med powerpoint. Ändrat manualen.	
Mån 14/4	Arbetat med manual.	
Tis 15/5	Färdigställt manual.	

Bilaga 4. Mall för manual



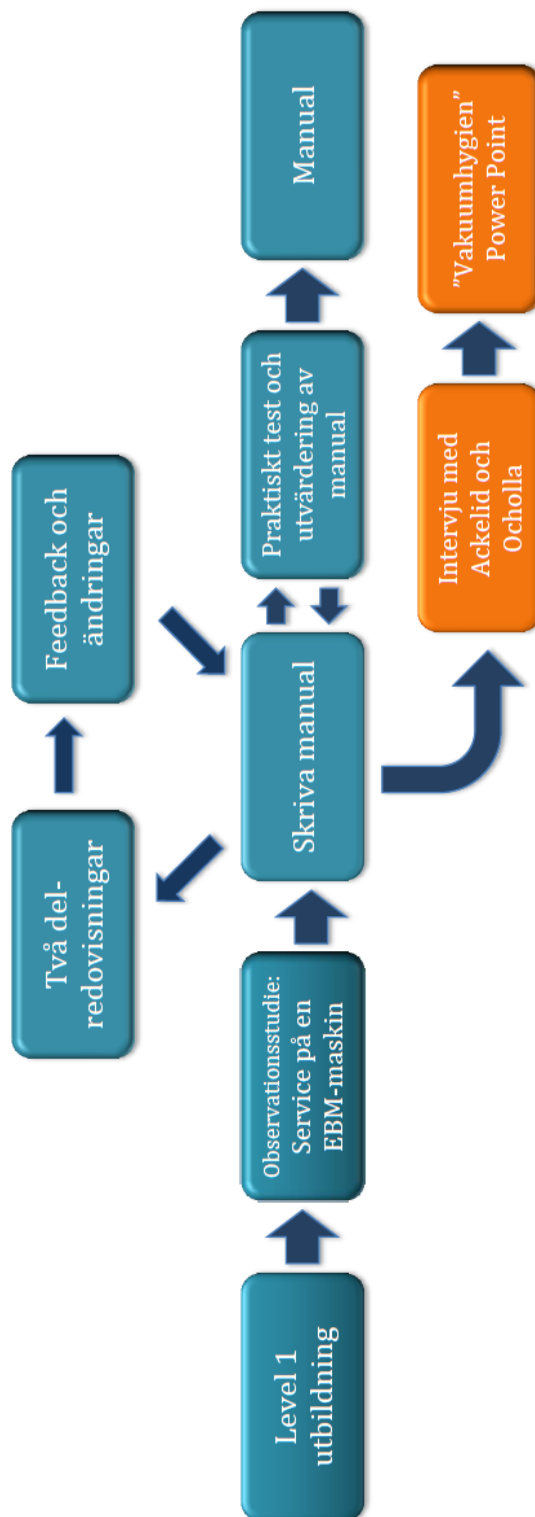
1 Manual template

1.1 Header

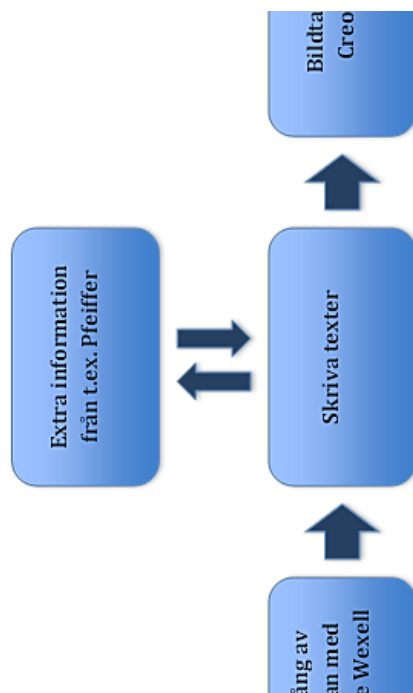
Picture area 5 cm	Text area 12,5 cm
	➤ Point list ➤ Point list ➤ Point list

Top margin	30
Inside margin	25
Outside margin	12
Bottom margin	20

Bilaga 5. Flödeschema för utvecklingsprocessen med manual och Powerpoint



Bilaga 6. Flödesschema för varje servicepunkt



Bilaga 7. Manual



Service manual Vakuumsystem Q10

Examensarbete
Maria Östman och Julia Hellström
(2014-05-13)

Innehåll:

- 020 – Vacuum chamber
- 021 - Chamber door
- 026 - Door closing actuators
- 027 - Chamber light
- 030 - Vacuum system
- 031- Backing system
- 032 – Chamber system
- 033 – Column system
- 034 – Rough pump

Bilagor: 2 General instructions
2.1 Pfeiffer EVC 110M
2.2 HiPace 300

Bilaga 7. Manual



1.1 020 – Vacuum chamber

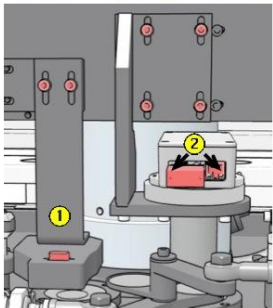
1.1.1 020 A – Camera viewport



Glass condition.

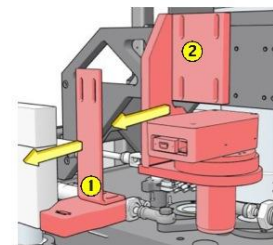
- Open shutter blades inside the chamber to gain access to camera viewport.
- Visually check glass for metallization and possible damages.

1.1.2 020 B – Camera viewport seal

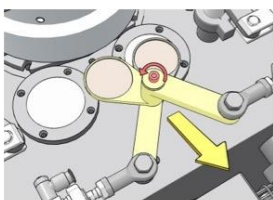


Clean O-ring groove.

- Ensure camera position and alignment before disassembly.
- Loosen the cable to the light source (1) and the two cables connected to the camera (2).

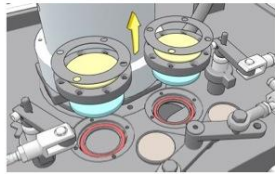


- Carefully remove light source bracket (1) and camera bracket (2).



- Loosen screw and carefully slide away the filter selector shaft to access viewport glass.

Bilaga 7. Manual



- Remove the first steel cover ring by loosening screws (4 pcs).
- Carefully remove the second steel cover ring together with lead glass by loosening screws (4 pcs).
- Remove security glass.
- Lift up and wipe of O-ring with a lint-free cloth and check for cracks or other damages.
- Vacuum groove and clean with cotton sticks.
- Reassemble in reverse order. Be careful when tightening the steel covers to not damage or crush lead glass.

Repeat procedure to check condition of the O-ring in the other glass.

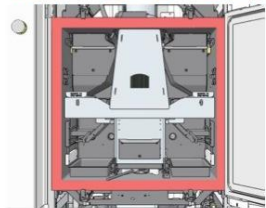
1.1.3 020 C – Camera viewport seal

Exchange O-ring.

See 020 B for instructions to access camera viewport seal.

- Exchange O-ring.

1.1.4 020 D – Door sealing surface



Condition.

- Visual inspect surface where chamber door seals with chamber, look for scratches and dents.

1.1.5 020 E – Metallization within chamber

Check appearance on all parts and notify customer.

- Check inside of chamber and look for metallization.
- Notify customer on importance of cleaning as instructed in User Manual chapter 9.

1.1.6 020 F – Alignment: Rake v/s Build Table

Check and adjust to 50 μ m tolerance.

1.1.7 020 G – Alignment: Rake v/s Powder Table

Nominal distance 12mm.

1.1.8 020 H – Rake positions

Check and adjust fixed positions.

Bilaga 7. Manual



1.2 021 – Chamber door

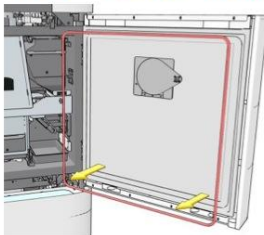
1.2.1 021 A - Hinge



Operation.

- Check that door moves smoothly, does not stick during travel and stay in open position.
- Loosen or fasten hinges if needed.

1.2.2 021 B – Door seal



Condition, clean groove.

- Remove and inspect O-ring, replace if needed.
- Vacuum the groove and wipe with alcohol. Check the groove for scratches and dents.

1.2.3 021 C – Door seal

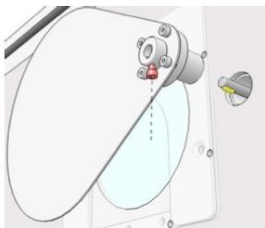
Exchange.

See 021 B.

- Exchange O-ring.

1.2.4 021 D – Observation window

Cleaning of glasses and O-ring.



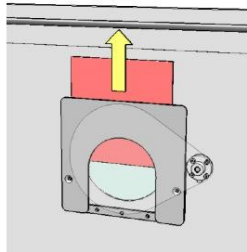
Step 1, from inside of the door:

- Remove the observation window hatch from axle by removing the screw (1 pcs).
- Gently pull the unit off from the axle.
- Clean axle from metallization if necessary.
- Remove the shaft key from the axle.

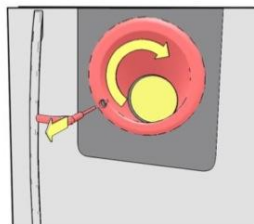
Note:

The shaft key might fall out during disassembling.

Bilaga 7. Manual

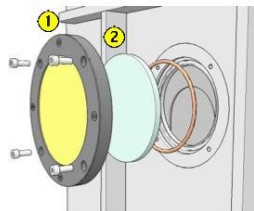


- Remove observation window glass.



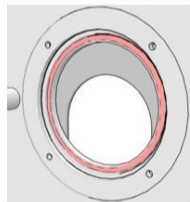
Step 2, from outside of the door:

- Pull out door handle and axis.
- Remove window frame by turning it clockwise until it come loose.



- Remove x-ray protection unit (1) by loosening screws (4 pcs). When removing the last screw be careful that the safety glass (2) does not fall out.
- Carefully remove safety glass (2). If needed gently push/knock from inside of door.
- Remove the O-ring and check for damages.
- Clean and inspect O-ring groove.
- Clean glasses.
- Reassemble in reverse order, fastening the screws cross-wise.

1.2.5 021 E – Observation window seal

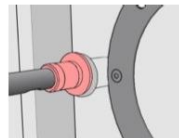


Exchange.

See 021 D.

- Exchange O-ring.

1.2.6 021 F – Observation window hatch



Exchange feed through.

To gain access: see step 1 and 2 from 021 D.

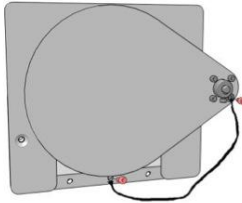
- Remove clamp.
- Exchange feed through.
- Reassemble.

Bilaga 7. Manual



1.2.7 021 G – Observation window hatch

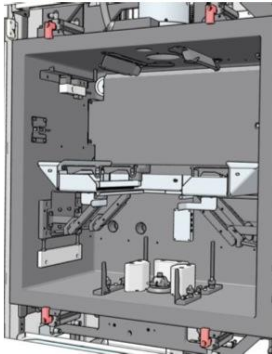
Exchange ground cable.



- Remove the screws (2 pcs) holding the ground cable in the chamber door.
- Dispose old ground cable and mount new cable.

1.3 026 – Door closing actuators

1.3.1 026 A – Door lock

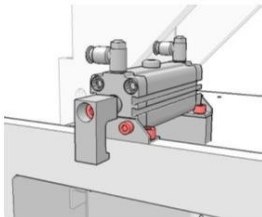


Function.

- Close door and turn on vacuum.
- Check that claws are activated and securing the door by pulling the door handle.
- Visually check, from back of the chamber, that the claws are in contact with door blade using flashlight and inspection mirror.

1.3.2 026 B – Door lock

Fastening.



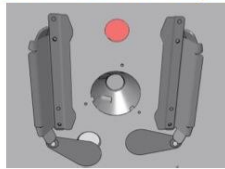
- Check fastening of screws, claws and pneumatic connectors, make sure they are tightly attached.

Bilaga 7. Manual



1.4 027 – Chamber light

1.4.1 027 A – Light

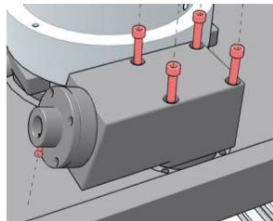


Function.

From inside of the chamber:

- Visually check if light works.

1.4.2 027 B – Light “mirror”

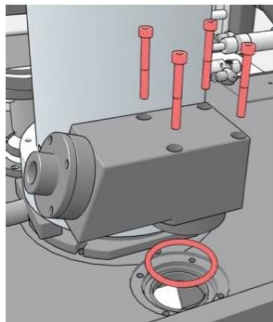


Clean.

From the front:

- Remove light cable by loosening screw.
- Remove screws (4 pcs) from mirror unit.
- Remove Mirror unit and clean mirror surface.

1.4.3 027 C – Seal

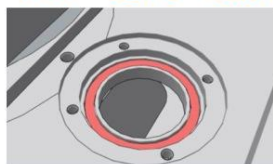


Clean O-ring groove.

See 027 B to remove mirror unit.

- Remove and inspect O-ring.
- Clean groove and exchange O-ring if needed.

1.4.4 027 D – Seal



Exchange O-ring.

See 027 B to remove mirror unit.

- Exchange O-ring.

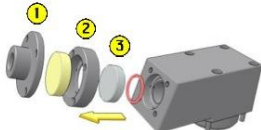
Bilaga 7. Manual



1.4.5 027 E – Internal seal

Exchange O-ring.

See 027 B to remove mirror unit.



- Remove screws (4 pcs) and steel cover rings (1).
- Remove second steel cover ring (2) together with lead glass by loosening screws (4 pcs).
- Remove security glass (3).
- Exchange O-ring.
- Clean groove.
- Reassemble in reverse order, fastening the screws crosswise.

1.5 030 - Vacuum system

1.5.1 030 A – EB-Unit Level

- Start vacuum and let system run for 1 h.
- Verify pressure to be lower than $1,0 \cdot 10^{-6}$ mBar.

1.5.2 030 B – Chamber Level

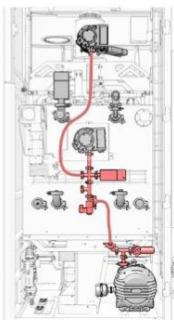
- Start vacuum and let system run for 1 h.
- Verify pressure to be lower than $1,5 \cdot 10^{-4}$ mBar.

1.5.3 030 C – Backing Level

- Start vacuum and let system run for 1 h.
- Verify pressure to be lower than $3,0 \cdot 10^{-1}$ mBar.

1.6 031 – Backing system

1.6.1 031 A – Pipes, hoses



Visual inspection.

- Check condition of pipes and hoses and make sure all parts are tightly attached.
- If any part is found loose, open completely and clean seal before tightening.

Bilaga 7. Manual



NOTE:
Do not use any tools when tightening clamps.

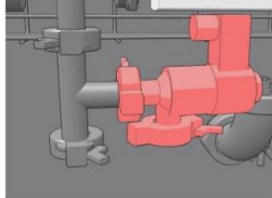
1.6.2 031 B - Backing pressure sensor

Function.

- Check the diodes status. (See general instructions for details, hpt100 and hpt200)
- Check all cables are well attached.

1.6.3 031 C – Shut-off valve

Valve internal seal cleaning.



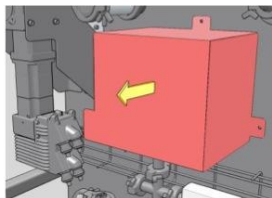
- Remove valve from backing system.
- Disassemble air ventilation valve, see General instruction, Pfeiffer EVC 110M.
- Clean sealing surfaces.
- Reassemble.



NOTE:
Shut off valve might be hot.

1.7 032 – Chamber system

1.7.1 032 A – General condition turbo pump



Visual inspection, function.

- Remove x-ray protection, screws (3 pcs).
- Check condition of pipes and hoses and other details. Make sure all parts are tightly attached.

1.7.2 032 B – Pressure sensor

General condition



- Check the diodes status. (See general instructions for details, hpt100 and hpt200)
- Check all cables are well attached.

Bilaga 7. Manual



1.7.3 032 C – Oil cassette



Exchange.

See general instructions for HiPace 300.

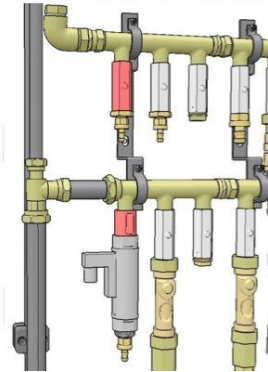
1.7.4 032 D – Magnetic Bearing

Exchange

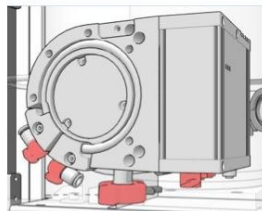
- Contact Pfeiffer Vacuum Service for information about exchange of magnetic bearing. Training course is needed.

1.7.5 032 E – Pump Exchange

Exchange for overhaul.

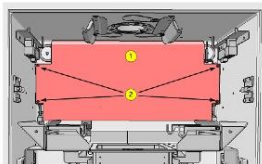


- Remove rear middle panel (4 pcs) to access water valves.
- Turn off water valves in cooling system manually by turning the shut off valves for the turbo circuit.



- Carefully remove the two water hoses, use a container to drain/collect remaining water in the hoses.
- Remove the two electric cables and backing connection cable.
- Remove the 8 clamps to detach the pump.
- Exchange pump.
- Reassemble in reversed order, fastening the clamps cross-wise.

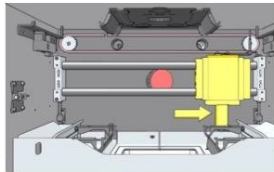
1.7.6 032 F – Chamber filter



Condition

- Gain access to the chamber filter by removing the back cover plate (1) by loosening the screws (4 pcs) (2). Be careful to not damage cables on the sides.

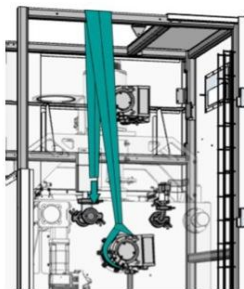
Bilaga 7. Manual



- Enable the rake control and send the rake shuttle to any of the rest position to view chamber filter.
- Inspect chamber filter with flashlight and check it is free from damages and have no blockage.

1.7.7 032 G – Chamber filter

Exchange



- Remove x-ray protection unit by loosening screws (3 pcs). See 032 A.
- Hold or tie up turbo pump to the upper beam before detaching it, see illustration.
- Detach turbo pump by unscrewing its 8 attachment screws.
- Remove electrical cables from pump.
- Turbo pump hoses can still be connected.
- Exchange chamber filter.
- Reattach turbo pump.

1.7.8 032 H – Air ventilation

Function.

- Pump down pressure to at least 400 mbar, relive to atmosphere pressure.
- Check if air ventilation valve works correctly.

1.7.9 032 I – Air ventilation

Valve internal seal cleaning.

- Disassemble air ventilation valve, see General instructions for Pfeiffer EVC 110M.
- Clean sealing surfaces.

1.8 033 – Column system

1.8.1 033 A – General condition turbo pump

Visual inspection, function.

- Check condition of parts and make sure they are tightly attached.

1.8.2 033 B – Pressure sensor

General condition

- Check the diodes status. (See general instructions for

Bilaga 7. Manual



- details hpt100 hpt200)
 ➤ Check all cables are well attached.

1.8.3 033 C – Oil cassette

Exchange.

See General instructions for HiPace 300.

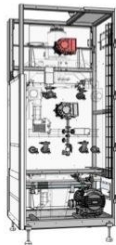
1.8.4 033 D – Magnetic Bearing

Exchange

- Contact Pfeiffer Vacuum Service for information about exchange of magnetic bearing. Training course is needed.

1.8.5 033 E – Pump Exchange

Exchange for overhaul



See 032 E for details.

1.9 034 – Rough pump

1.9.1 034 A – Rough pump

Visual inspection, function.

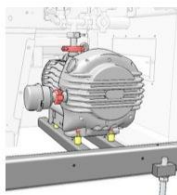
- Check condition of pipes and hoses and other details. Make sure all parts are tightly attached.

1.9.2 034 B – Tip seal



Caution.

Pump is heavy. Lift assistance might be needed.



Exchange tip seal.

- Remove electric cord, clamp and nuts (4 pcs).
- Remove pump from EBM Machine.
- Exchange seal according to General instruction for Edwards nXDS-10, A735-02-840.
- Reinstall pump.

Bilaga 7. Manual

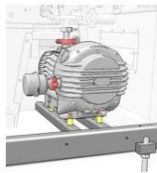


1.9.3 034 C – Pump exchange



Caution.

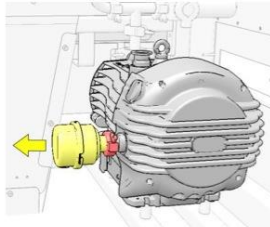
Pump is heavy. Lift assistance might be needed.



Pump overhaul.

- Remove electric cord, clamp and screws (4 pcs).
- Exchange and replace with new pump.

1.9.4 034 D – Exhaust filter

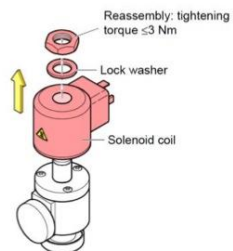


Exchange.

- Remove clamp.
- Exchange exhaust filter.
- Reassembly in reverse order.

2 General instructions

2.1 Pfeiffer EVC 110M



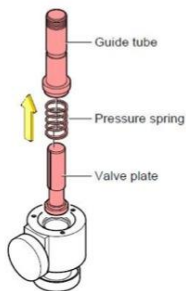
- Remove electric cable, make sure the electricity is off.
- Remove horizontal and vertical clamps.
- Unscrew nut and remove washer and solenoid coil.

Bilaga 7. Manual

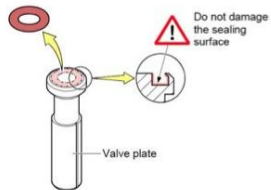


- Unscrew the three screws, lift of flange and clean O-ring. Exchange if needed.

NOTE:
The flange is spring loaded.

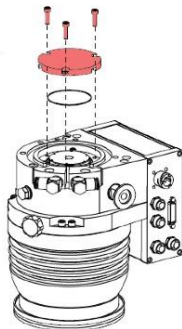


- Remove the guide tube, pressure spring and valve plate from the housing.



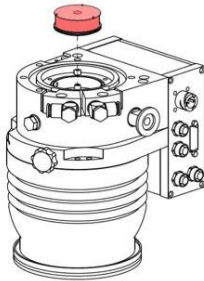
- Remove O-ring from the valve plate with plastic O-ring tool and clean or exchange.
- Reassemble the valve.

2.2 HiPace 300

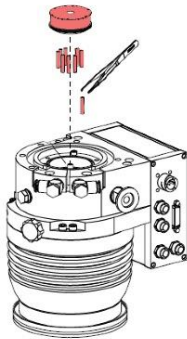


- Screw out the allen head screws (3 pcs) from the end cover at the bottom of the turbo pump.
- Remove the end cover. Pay attention to O-ring.

Bilaga 7. Manual



- Pull the operating fluid reservoir out of the bearing mounting.



- Using tweezers, pull out Porex rods (9 pcs).
- Remove impurities from the turbo pump and the end cover with a clean, lint-free cloth. Do not use any cleaning fluids!
- Using tweezers, insert new Porex rods (9 pcs).
- Insert the new operating fluid reservoir with its felt side towards the Porex rods.
- Screw in the end cover with the new O-ring. Tightening torque 2.5 Nm.

Bilaga 8. Enkät

Utvärdering manual

1. Text

	Instämmer inte alls	Instämmer delvis	Neutral	Instämmer till stor del	Instämmer helt
Instruktionerna var lätta att förstå	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instruktionerna följde en logisk ordning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Illustrationerna och textinstruktionerna stämde överens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>				

2. Illustration

	Instämmer inte alls	Instämmer delvis	Neutral	Instämmer till stor del	Instämmer helt
Det var lätt att förstå vad illustrationerna föreställde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Det var lätt att förstå var i maskinen illustrationerna visade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Det var lätt att förstå hur man skulle stå för att operera i maskinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Färgkoderna var lättförståeliga	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pilarna illustrerade rörelser på ett korrekt sätt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bilderna var tillräckligt detaljrika	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Det borde varit fler bilder	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kommentar	<input type="text"/>				

3. Var det någon instruktion/illustration som skulle behöva utvecklas mer?

4. Var det någon instruktion/illustration som kändes onödig?

5. Vad skulle du ändra på i manualen?

Bilaga 9. Svar Enkät

Svar från enkät

Praktiskt test av manual

Test genomfört av:

Fredrik Mohlin

Servicetekniker, Arcam AB

[9 april 2014]

F1: Text

- | | |
|---|----------------|
| • Instruktionerna var lätta att förstå | Instämmer helt |
| • Instruktionerna följde en logisk ordning | Instämmer helt |
| • Illustrationerna och textinstruktionerna stämde överens | Instämmer helt |

F2: Illustration

- | | |
|---|-------------------------|
| • Det var lätt att förstå vad illustrationerna föreställde | Instämmer helt |
| • Det var lätt att förstå var i maskinen illustrationerna visade | Instämmer helt |
| • Det var lätt att förstå hur man skulle stå för att operera i maskinen | Instämmer till stor del |
| • Färgkoderna var lättförståeliga | Instämmer helt |
| • Pilarna illustrerade rörelser på ett korrekt sätt | Instämmer helt |
| • Bilderna var tillräckligt detaljrika | Instämmer helt |
| • Det borde varit fler bilder | Instämmer delvis |

F3: Var det någon instruktion/illustration som skulle behöva utvecklas mer?

Skriva lite mer vad och när man skall vara försiktigt.

F4: Var det någon instruktion/illustration som kändes onödig?

Nej.

F5: Vad skulle du ändra på i manualen?

Inget.

Bilaga 10. Intervju Ulf Ackelid, PhD

Möte med Acek onsdag 26/3 13.00

Ulf Ackelid, PhD. R & D, Materials and processes

Verktyg & Rutiner

Vad lär ni ut på Arcam när det gäller vakuumhygien?

Allt som man ska stoppa in i maskinen ska vara rengjort, alla komponenter och verktyg. T.ex. komponenter till maskinen kan ha oljor på sig från verkstaden eller leverantören och måste tvättas innan de används till maskinen. Det har slarvats med detta från produktion. Man måste vara uppmärksam på att det till exempel kan vara smuts och fett i gängorna på skruvar. Får man det minsta lilla smuts, fett eller föroreningar in i maskinen ligger det och gasar och förstöra vakuum under en längre tid. Det är en kille på en annan avdelning som håller på att utreda detta. Använda handskar är också väldigt viktigt för att inte smutsa ner i maskinen. Man ska heller aldrig stoppa in någonting i maskinen som har

Vilka verktyg ska man ha?

Handskar, tops, alkohol, skrapor och slipar är de verktyg som används mest. För att undvika att smuts och föroreningar sprids ska man ha en speciell uppsättning verktyg som bara används inuti maskinen. Någon gång ibland kan de tvättas med alkohol men de borde inte vara smutsiga om de bara används i maskinen där det ska vara rent.

Vilka rengöringsrutiner finns det i nuläget? Och hur gör man om man har smutsig kammare?

Metallisering skrapas och slipas bort sen tvättas det med alkohol och torkas av. Det finns även dammsugare för att suga upp pulver i kammaren. Om man inte är helt säkert på att något är rent ska man aldrig chansa utan rengöra det först innan man använder det i maskinen.

Vart börjar man att felsöka om det inte går att pumpa ned vakuumet?

När man ska söka efter en läcka kopplas först en läcksökare som mäter helium på. Sen börjar man pumpa ner maskinen och sprutar helium på utsidan av maskinen. På så sätt kan man med hjälp av läcksökaren se var i maskinen som det dras in helium och kan på så sätt avgränsa var i maskinen läckan finns. Kan vara att man behöver byta en o-ring eller så.

Men om man har jättedåligt vakuum men inte hittar någon läcka är det troligtvis luft som ligger inestängt i exempelvis ett skruvhål. När skruven skruvas in i ett hål pressas luften ihop och ligger inestängt i hålet bakom skruven. Luften ligger sedan och sipprar ut under körning väldigt långsamt, vilket förstör körningen. För att undvika detta måste man i designstadiet designa bort konstruktionsfelen, exempelvis med skruvar med genomborrat lufthål i centrum eller får man på något annat sätt se till att luften pumpas bort ur fickan. Det är väldigt viktigt att man inte stänger in luft någonstans där man ska ha vakuum.

Förkunskaper & Utbildning på Arcam

Vad kan ett fingeravtryck göra för skillnad?

Fettet från fingeravtrycket förgasas och förlänger nedpumpningstiden, försämra kvalitén på bygget och avbryta bygget.

Om man har dåligt vakuüm eller det går dåligt att pumpa ner, vad det den vanligaste orsaken?

De vanligaste felen som begås är att man låter fukt komma in i kammaren. Fukten reagerar med titanpulvret och oxiderar, på sikt förstörs då pulvret. För att undvika att det händer ska man inte låta maskinen stå öppen. Om man är snabb kan man byta pulvret på en timme. Direkt efter ett bygge är maskinen som renast eftersom den har då redan pumpat ur all fukt och då vill man behålla det tillståndet. Man måste också se till att maskinen inte blir för smutsig inuti. Alla orenheter som finns i maskinen binder också fukt. Desto finare och blankare maskinen är inuti desto mindre fukt kommer den suga åt sig när man öppnar kammardörren. Värmesköldens plåtar ska bytas efter varje körning för de blir belagda med Metallisering, som är väldigt porös och suger åt sig mycket fukt. Om de inte byts kan rest-metallisering åka ner i pulvret. Görs tyvärr inte i praktiken lika ofta som det ska, slarvas väldigt mycket. Kunderna kanske tycker att det är för dyrt, men det blir mycket dyrare om pulvret förstörs.

Vilka är de vanligaste misstagen och felen som begås?

Slarv med att hålla maskinen och värmeskölden ren och att man inte använder handskar. Ett annat problem att man prioriterar det kortsiktiga att man till exempel inte hinner rengöra maskinen för att man måste starta upp ett nytt bygge. Men det är viktigt att vara noggrann och göra rätt, det tjänar man på i längden.

Hur bygger man en maskin? Hur stor risk är det att man får in smuts i kammaren?

Byggs med flera komponenter, viktigt att alla är rengjorda innan de sätts dit.

Vad har servicetekniker som underhåller maskinerna för utbildning i vakuümhygien för en EBM-maskin idag?
Lär sig allmänt om vakuümhygien i utbildningen på Arcam.

Vilka punkter tycker du är bra att ha med för att få en bra rutin på vakuümhygien?

Handskar, verktyg endast till en maskin för att hålla de rena, se till att hålla dörrarna till kammaren stängd för att undvika fuktig luft i kammaren.

Hur kopplas vakuümhygien till EBM-tekniken

Hur påverkas det man tillverkar om man inte har ett bra vakuüm eller bra hygien? T.ex. kvalitén, effektivitet.

Mycket högre syrehalt i materialet än vad man vill på grund av fukt i maskinen. Syrehalten i materialet kan ju försämra materialet och göra att komponenterna blir sämre, sämre hållfasthet osv. Men annars är det mest att man har föroreningar i maskinen som leder till att maskinen inte kan bygga klart och bygget kraschar. Maskinerna vill jobba ostört med så få avbrott som möjligt, varje avbrott medför en stor risk. Oftast kan maskinen återhämta sig och fortsätta men blir det för många avbrott inom en kort tid kan det krascha. Våra processer bygger på att åter

upprätthålla en jämn temperatur hela tiden. Blir det för många avbrott under en kortare tid hinner temperaturen sjunka för mycket och processen kan inte återhämta sig och den kraschar. När man bygger är det viktigt att ha så jämn temperatur som möjligt.

Hur svårt är det att pumpa ner till vakuum?

Nedpumpning till $1.5e^{-4}$ ska ta 45 minuter, men allt under en timme är godkänt. Tar det mer än en timme brukar man säga att det är något fel. Är det fukt i maskinen går det långsammare. Om man håller maskinen ren från beläggningar och inte håller den öppen för lång tid går det mycket fortare att pumpa ner efteråt också. Jättestor skillnad om man har haft maskinen öppen i bara en halvtimme - timme kanske det bara tar en halvtimme men står den öppen i en helg kanske det tar två timmar att pumpa ner den.

Hur mycket påverkar luftfuktighet?

Luftfuktigheten påverkar väldigt mycket, pulvret i sig kan binda mycket fukt. I alla rum där man hanterar pulver ska man hålla låg fuktighet och även rummet där man kör maskinen. En viktig sak att tänka på är att aldrig ha maskinen öppen när någon städar lokalen, våttorkar golven till exempel. Då kan luftfuktigheten stiga och det märks direkt på nedpumpningstiden, det har setts flera gånger på Arcam. När städpersonalen är här så pumpar maskinerna ner mycket långsammare. Man kan även se på pulvret om det har bundit mycket fukt för det rinner annorlunda.

Vad ser ni för problem med hur kunderna servar maskinerna, vilka misstag och fel gör de? Är det mycket slarv?

Kunderna har ofta väldigt smutsiga maskiner och de bryr sig inte om att rengöra. En del kör maskinen tills det är tjocka beläggningar av metallisering på värmeskölden och sen vänder de bara på den och kör på andra sidan. Det drar in jättemycket fukt i maskinen. Plus att man riskerar att metalliseringen flagnar och att man då smälter in flagorna i det man bygger vilket försämrar kvalitén. Vissa kunder är också kanske inte så noga med handskar och använder förorenade verktyg.

Hur ska man få servicetekniker att ta vakuumhygien på allvar?

Tyvärr har jag inget bra svar på det men det är väldigt viktigt att de tar det på allvar.

Om en servicetekniker slarvar ute hos kund är det lätt att kunden också gör så. Om exempelvis en servicetekniker inte använder andningsskydd gör kunder inte det heller. Viktigt att de förgår med gott exempel för att dem är Arcams ansikte utåt och en professionell approach är väldigt viktigt.

Kan vara viktigt att trycka på att det påverkar mycket hur noga serviceteknikerna är med rutiner och sitt jobb för att kunderna ska få ett bra intryck av företaget och en lyckad produktion från EBM-maskinerna.

Vart är det farligast att få in smuts i maskinen eller får störst konsekvenser?

Det går inte att säga var i maskinen det är farligast att få in smuts eller fukt, det är inte bra att få in det någonstans, vare sig i kammaren eller i kanonen. Dåligt vakuum påverkar hela maskinen och sänker driftsäkerheten jättemycket. Kanonen har vi ännu bättre vakuum och är extra viktigt med handskar.

Dåligvakuum påverkar även driftsäkerheten. Man dels få ett slitage på filamentet uppe i kanonen och dels fler driftstopp, så kallade arc trips, vilket betyder att det blir överslag i kanonen. Maskinen stängs då ner och startas upp igen. Om då maskinen har hunnit kallnat kan det inte gå igång ordentligt och det leder till andra problem. I värsta

fall kan processen krascha om det är dåligt vakuum. Ett rent och bra vakuum ger en stabilare maskin och bättre chanser att man får en stabil körning. Men om maskinen stängs ner och är avstängd i över ca en minut kan bygget vara förstört för det har hunnit kallna för mycket. Får aldrig bli lägre än 630 grader i kammaren.

Note: Arc trips: Smuts eller annat gör att det börjar ryka i maskinen, det syns som toppar i grafer på Log Studio. Om temperaturen sjunker för fort, blir mindre än 630 grader.

Bilaga 11. PowerPoint presentation, bild 1-2 av 8



Vacuum hygiene



Introduction to vacuum hygiene



- Vacuum chamber and column is highly sensitive to all kinds of contaminations
- Keep vacuum system free from fingerprints, hair, moisture, oil and other impurities
- Ignorance leads to losses in efficiency and costs



Bilaga 10. PowerPoint presentation, bild 2-4 av 8

Common mistakes



- No gloves (and no long sleeves)
- High humidity in machine environment
- Placing parts from chamber and column on dirty surfaces
- Using dirty tools



3

Chamber handling



- Do not reuse dirty heat shield
- Clean parts in the vacuum chamber from metallization
- Do not keep the vacuum chamber door open for long periods
 - Maximize open door to 15 min

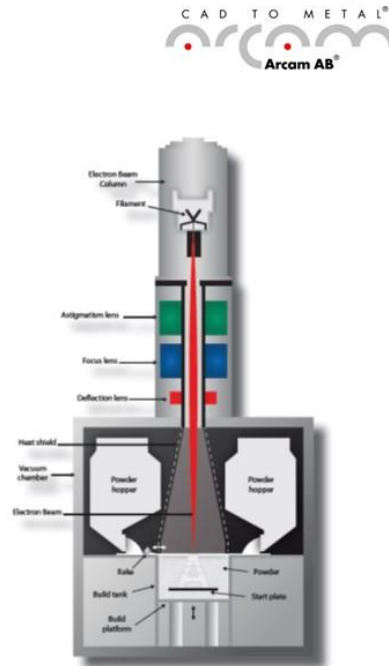


4

Bilaga 10. PowerPoint presentation, bild 5-6 av 8

Column handling

- Minimize handling and cleaning of the column
- When cleaning:
 - Use as little cleaning solvent as possible
 - Always start with column and continue to chamber, to not bring contamination into column
- Keep a separate set of tools for column



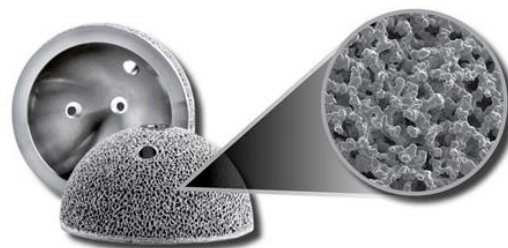
5

How is the EBM-technique affected?



Contaminations will:

- Slow down the vacuum pumping process
- Grid too low errors
- Long term oxygen pick-up that might lead to material specification out of ASTM standards, smaller process window against smoke due to oxygen pick-up
- Increase the risk for arc trips and interrupted builds



6

Bilaga 10. PowerPoint presentation, bild 7-8 av 8

How can we improve?



Checklist

- Wear gloves and long sleeves
- Change lint-free cleaning cloth regularly
- Use only Arcam recommended cleaning solvents
- Keep dedicated EBM Machine tools separated and clean
 - Be aware of the risk for cross-contamination between different EBM Machines and materials
- Have a routine of cleaning tools and vacuumchamber after each use



7

The benefits



By having a professional vacuum hygiene you will obtain:

- More stable and reliable EBM Machine functionality
- Reduced risk of crashes and interrupted builds
- Longer cathode life time
- Secure material properties



8