

CHALMERS



Utveckling av pulveråtervinningsystem

Blästring och materialåtervinning i en additiv tillverkningsprocess

Kandidatarbete i Teknisk design

MORGAN BERGLUND, JONATAN BERGSTRÖM, SIMON FELLIN

LEO LI, ALVA MÅRDSJÖ OCH JON SANDSTRÖM

Utveckling av pulveråtervinningsystem

Kandidatarbete i Teknisk design

MORGAN BERGLUND, JONATAN BERGSTRÖM, SIMON FELLIN

LEO LI, ALVA MÅRDSTRÖM, OCH JON SANDSTRÖM

HANDLEDARE: OSKAR REXFELT

EXAMINATOR: ÖRJAN SÖDERBERG

FÖRORD

Vi vill inleda med att tacka Per Woxenius och Lars Löwgren på Arcam för all hjälp och vägledning vi har fått under projektet, utan er hade inte resultatet blivit hälften så bra.

På Chalmers vill vi passa på att tacka vår handledare Oskar Rexfelt, examinator Örjan Söderberg, planeringshandledare Alexandra Rånge, samt vår IDE-mentorsgrupp.

Vi vill också tacka Anders Klingborg på KMC, Stefan Jaarlheim på Swenema och sist men inte minst alla anställda på Arcam som delgivit mycket värdefull information.

Tack!

Göteborg den 18 maj 2011

Simon Fellin, Morgan Berglund, Alva Mårdsjö, Jon Sandström, Leo Li och Jonatan Bergström.

SAMMANFATTNING

Arcam grundades 1997 och tillhandahåller system för additiv tillverkning i metallpulver. Dessa system används idag av flertalet kunder runt om i världen, främst inom ortopedi- och flygplansindustrin.

En av de produkter Arcam tillhandahåller är en PRS (Powder Recycling System) som används för att återvinna det pulver som fastnat på den tillverkade detaljen. Detta sker genom att pulver blåstras bort från detaljen, siktas och återförs i systemet. PRS-maskinen behandlas i detta projekt med syfte att bättre uppfylla de krav Arcams kunder ställer på användarvänlig och kontamineringsfri pulverhantering.

Arbetet inleddes med ett utförligt informationssamlade och analysarbete för att kartlägga problemområden inom pulverhantering och ergonomi. Nuvarande lösning innehåller flera manuella belastande moment med hög risk för pulverkontaminering vilka inte är förenliga med Arcams högteknologiska, automatiserade och rena tillverkningsprocess.

Redesign av PRS:en skedde i tätt samarbete med Arcam för att kunna skapa en lösning som kan realiseras med rimliga investeringar. Resultatet blev ett system där både rengöring av detaljen, siktning av pulver och påfyllning av pulverbehållare är integrerade i samma ergonomiskt utformade maskin, vilket minskar både den fysiska och kognitiva belastningen på användaren och säkerställer en kontamineringsfri pulverhantering i ingående moment.

Vidare är den nya produkten utformad för att bättre passa in i Arcams produktlinje, förslaget innebär en tvåskåpsmodell med både som delar färger, uttryck och viss detaljutformning med Arcams huvudprodukt, EBM-maskinen. Slutkonceptet är realiserbart och uppfyller de krav som sattes upp i projektets inledning. Nästa steg som skall tas är konstruktion av en prototyp.

ABSTRACT

Arcam was founded in 1997, and is situated in Mölndal outside of Gothenburg. Arcam develops and manufactures systems for additive manufacturing in metal powders. These systems are currently used by a multitude of companies around the world, foremost by clients within the orthopedic and aeroplane industries.

The main product from Arcam is the EBM, a system for turning metal powder into details using additive manufacturing. The Powder Recovery System, or PRS, is one of the other products supplied by Arcam. It is used to recover the powder that has stuck to the product made in the EBM. The powder is recovered by powder blasting the produced detail. The powder is then sifted and reintroduced to the system. This project aims at improving the PRS in order to better comply with the demands of Arcam's customers in regards to improving functionality and decreasing the risk of powder contamination.

Initially, a large amount of information was gathered regarding all parts of the system and the materials involved. The material was analyzed in order to detect problematic areas within the powder handling, and ergonomics. The current solution has several manually taxing phases with a high risk of powder contamination. These areas are not compatible with the high-technological, automated and clean method of manufacturing produced by Arcam in the EBM machine.

Redesign of the PRS was done in close collaboration with Arcam in order to create a solution that can be further developed into a finished product with reasonable investments. The work resulted in a system where cleaning of the detail, sifting of powder and refilling of cartridges are integrated into the PRS. This dramatically reduces the manual and mental workload of workers as well as ensures a contamination free powder handling within the system.

Furthermore, the new product is designed to better fit into the Arcam product family. The proposed product is composed of two cabinets which share the colours, expressions and details with Arcam's flagship product, the EBM machine. The final concept is feasible and meets the requirements set in the start of the project. The next step to be taken is the construction of a prototype for testing.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	15
1.1. Bakgrund	15
1.1.1. Titan	16
1.2. Syfte och mål	17
1.2.1. Frågeställningar	18
1.3. Ramar och avgränsningar	18
1.4. Delar i systemet och definitioner	19
1.4.1. EBM (A1/A2)	19
1.4.2. PRS	19
1.4.3. Pulverkassetter (minst 2st)	20
1.4.4. Trolley	20
1.4.5. Interiör i PRS	20
1.5. Nulägesbeskrivning	22
1.5.1. Processbeskrivning	22
1.5.2. Användarbeskrivning	24
2. Teori	25
2.1. Projektplanering	25
2.1.1. Uppdragsbeskrivning	25
2.1.2. GANTT-schema	26
2.2. Datainsamling	26
2.2.1. Litteraturstudie	26
2.2.2. Observationsstudie	26
2.2.3. Intervju	27
2.2.4. Enkät	27
2.2.5. Urval	28
2.3. Analysmetoder	28
2.3.1. Processanalys	28
2.3.2. Livscykelanalyser	28
2.3.3. Ergonomi	29
2.4. Kravspecifikation	30
2.5. Idégenereringsmetoder	30
2.5.1. Expressionboard	30
2.5.2. Brainstorming	30
2.6. Visualiseringsmetoder	31
2.6.1. Skiss	31
2.6.2. “Quick ‘n’ Dirty”	31
2.6.3. CAD-modeller	31
2.6.4. Persona	32
2.6.5. Scenario	32
2.7. Utvärdering av koncept	32
2.7.1. Pugh-matris	32
2.7.2. Kesselringsmatris	32
3. Genomförande	33
3.1. Projektplanering	34
3.2. Datainsamling	34
3.2.1. Litteraturstudie	34

3.2.2. Produktanalys.....	35
3.2.3. Observationsstudier.....	35
3.2.4. Intervjuer.....	36
3.2.5. Enkät.....	37
3.2.6. Urval.....	37
3.2.7. Veckomöten.....	37
3.2.8. Livscykelanalyser.....	37
3.3. Analysmetoder.....	38
3.3.1. REBA.....	38
3.3.2. Processanalys.....	38
3.3.3. Problembeskrivning.....	39
3.4. Konceptframtagning och idégenerering.....	39
3.4.1. Expressionboard.....	40
3.5. Visualisering.....	40
3.6. Utvärdering och konceptval.....	41
4. Delresultat.....	43
4.1. Information.....	43
4.1.1. ATEX-klassning.....	43
4.1.2. Konkurrentstudie.....	44
4.1.3. Enkät.....	45
4.1.4. Ergonomi.....	46
4.1.5. Markätgång.....	49
4.1.6. LCA.....	50
4.2. Kravspecifikation.....	51
4.2.1. Expressionboard.....	51
4.3. Koncept.....	52
4.3.1. Koncept: Elektromagnet.....	52
4.3.2. Koncept: anti-pulverstockning.....	53
4.3.3. Koncept: Olika automationsgrader.....	53
4.3.4. Koncept: Ergonomisk blästerlucka.....	54
4.3.5. Koncept: Interiör i blästringsutrymmet.....	55
4.3.6. Koncept: volymmodellerna.....	56
4.3.7. Koncept: Lyft från EBM-maskin till PRS:en.....	58
4.3.8. Koncept: kassetter och deras påfyllning.....	60
4.4. Konceptutvärdering.....	62
4.4.1. Val av automationsgrad.....	63
4.4.2. Val av volymmodell.....	65
4.4.3. Val av koncept för lyft från EBM-maskin till PRS:en.....	66
4.4.4. Val av koncept för kassetter och deras påfyllning.....	68
4.5. Designriktlinjer innan delredovisningen.....	70
4.5.1. EBM – analys av utmärkande designdrag.....	70
4.5.2. Kravlista för PRS:en som direkt påverkar utformningen.....	70
4.6. Intervjuer och kommentar efter delredovisningen.....	72
5. Slutresultat.....	73
5.1. Slutgiltig produkt.....	73
5.2. Processbeskrivning.....	74
5.3. Uttryck.....	77
5.4. Öppning av blästerskåpet.....	78
5.5. Markyta jämfört med den nuvarande PRS:en.....	79
5.6. Ergonomi.....	81
5.6.1. Arbetsställning.....	82

5.6.2. Visuell ergonomi	82
5.6.3. Audiell ergonomi	82
5.6.4.Kognitiv ergonomi	83
5.7. Färgval	83
5.8.Anpassningar	83
5.8.1. ATEX-klassning	83
5.8.2. Tillverkning	84
5.8.3. Service.....	85
5.8.4. Transport och montering	86
5.8.5. Pulver från dammsugaren	86
5.9. Material och tillverkningsmetoder.....	86
5.10.Kostnadsuppskattning	87
6. Diskussion	89
6.1. Syfte och mål	89
6.2. Avgränsningar	90
6.3. Projektet i sig	90
6.4. Brister i projektet	91
6.5. Metoder och genomförande	92
6.6. Kravspecifikationen	93
6.7. Ergonomi	93
6.8. Hållbarhet	94
6.9. Hantering av pulver från dammsugaren	94
6.10. Slutresultat	94
6.11. Lösningen ur ekonomisk synvinkel	96
7. Slutsats	97
8.Referenslista.....	99
8.1.Böcker.....	99
8.2.Kompendier	99
8.3.Hemsidor	100
8.4.Tidsskrifter och artiklar	100
8.5.Illustrationer.....	100
9.Bilaga A: Planeringsrapport.....	101
10.Bilaga B: Uppdragsbeskrivning 1	105
11.Bilaga C: Uppdragsbeskrivning 2	107
12.Bilaga D: Enkät och dess resultat	111
13.Bilaga E: Protokoll från Observation.....	115
14.Bilaga G: LCA	119
15.Bilaga H: Processanalys.....	127
16.Bilaga I: Kravspecifikation	129

1. INLEDNING

1.1. BAKGRUND

Arcam grundades 1997. Deras vision har varit densamma sedan starten: att revolutionera möjligheterna till att bygga delar med hög geometrisk komplexitet i unika material. Arcam tillhandahåller en unik metod för 'Additive Manufacturing' (AM) med hjälp av 'Electron Beam Melting' (EBM). De tillhandahåller också tillhörande system med bläster, dammsugare och trolley som behövs för tillverkning. Företaget är starkt inriktat på forskning och utveckling; dels för att finslipa den relativt nya tekniken och dels för att hitta nya användningsområden och marknader.

Processen för additiv tillverkning går ut på att först stryka ut ett tunt lager av finkornigt pulver över en basplatta, därefter fokuseras en kraftig elektronstråle i en punkt i pulvret vilket skapar en lokal smälta. Elektronstrålens fokuspunkt rör sig över pulverbädden enligt instruktioner från en datorenhet enligt en CAD-modell, vilket resulterar i att pulvret sintras och skapar ett solitt snitt ur den färdiga detaljen. Basplattan sänks ned och ett nytt lager med pulver stryks ut, varefter processen upprepas tills dess att hela detaljen är färdig. Processen sker i vakuum och kräver en förhöjd pulverbäddstemperatur på ca 700 grader Celsius, vilket resulterar i att även det pulver som inte ingår i den färdiga produkten sintras ihop något och skapar en "kaka" av överflödigt pulver runt den färdiga detaljen.



Fig. 1: Detaljer tillverkade med EBM.

Tack vare denna teknik kan processen skapa geometrier som med traditionella metoder är omöjliga och ingenjörer ges stor frihet utan de normala begränsningar andra verktyg och tillverkningsmetoder medför. Objekt kan optimeras för låg vikt, materialstruktur och minimerad efterbearbetning. Att kunna bygga en detalj som gradvis övergår mellan en porös och en solid struktur är en användbar egenskap som är svår att uppnå med andra tillverkningsmetoder. Denna egenskap är speciellt användbar i bland annat acetabularkoppar, (höftleder) och andra typer av proteser och implantat. Ben och vävnad kan växa fast i strukturen samtidigt som den i andra änden kan få en solid yta. Tekniken att sintra metallpulver kan också utnyttjas inom flera andra områden, men används i dagsläget främst för tillverkning inom flyg- och rymdindustrin samt inom material- och strukturforskning utöver ortopediindustrin. Arcam har i dagsläget levererat cirka 60 system till kunder runt om i världen, framför allt inom flygindustrin och implantatindustrin.

Eftersom mycket lite efterbearbetning krävs minskas arbetstiden, även om detaljen i sig tar lång tid att bygga. Ledtider minskas från prototyp till färdig produkt då inga verktyg behöver tillverkas och testas; det enda som behövs är en CAD-fil. Beroende på kraven på den färdiga detaljen kan viss skärande bearbetning vara nödvändig, dock då i betydligt mindre grad än om hela detaljen framställts med t.ex. gjutning.

Detaljer som byggs är dock inte helt befriade från efterbearbetning. Det krävs att de rengörs i ett så kallat "Powder Recovery System" (PRS) som dels rengör detaljen genom blästring och dels tar till vara på det överblivna pulvret. Det överblivna och bortblästrade materialet återförs till EBM-systemet för att användas i en ny friformsframställning; allt pulver tas till vara och återanvänds. Arcam levererar det fullständiga systemet med EBM och kringprodukter såsom PRS, mjukvara, metallpulver, service och kunskap till kunderna. De pulver som framförallt används är titan och titanlegeringar, varför de har en central roll i systemet.

1.1.1. TITAN

Titan är det fjärde vanligast förekommande grundämnet i jordskorpan, men det återfinns sällan i höga koncentrationer och aldrig i ren form, vilket bidrar till att göra materialet dyrt att framställa. Titan klassas som en lättmetall med en densitet på 4,5 kg/dm³. Titan och dess legeringar har två eftertraktade egenskaper: bra motståndskraft mot korrosion kombinerat med hög specifik styrka. Motståndskraften mot korrosion orsakas av den omedelbara oxidation som sker vid luftkontakt, vilket skapar ett tunt och stabilt oxidlager. Den höga specifika styrkan, det vill säga kraften material tål per yta dividerat med dess densitet, är mycket attraktivt för flygindustrin. Speciellt vid högre temperaturer är titanlegeringar tåliga vilket är önskvärt i till exempel flygmotorer. (Leyer et al 2003) Samtidigt innehar materialet de egenskaper som krävs för biomaterial: korrosionstålighet, biokompatibilitet, tillgänglighet, mekaniska egenskaper och tillverkningsmöjligheter för önskad struktur. (Smith et al, 2006) Titan reagerar inte med kroppen, det är alltså inte aktivt toxiskt. Inandning av luftburna partiklar kan däremot ge stenlunga, ett kollektivt begrepp för ansamling i lungorna av partiklar. Det är därför inte hälsosamt att i större mängder inandas titanpulver eller motsvarande fint pulver som kan tänkas användas i samband med blästringsprocessen. (Zhengqi et al, 2006)

Att tillverka produkter i titan

Titan och dess legeringar har specifika kemiska och fysiska egenskaper vilket gör att de lämpar sig dåligt för maskinbearbetning både på grund av dåliga toleranser och snabb verktygsförslitning.

- Titan leder värme långsamt vilket ger en ökad temperatur vid bearbetningsområdet, vilket innebär att verktygen snabbare slits ut. (Smith et al, 2006)
- Titan har en låg elasticitetsmodul, det fjädrar bort vid bearbetning vilket ger sämre toleranser samtidigt som återfjädringen kan skada verktyg.
- Titan är mjukt vilket gör att det smetar på verktygen och orsakar en snabbare förslitning, samtidigt som uppbyggnaden av metall på verktygen ger sämre toleranser. (Leyer et al, 2003)

Däremot kan materialet med fördel antingen gjutas eller framställas via friformstillverkning.

Produkter i dessa material är med andra ord svåra eller omöjliga att tillverka på andra sätt, samtidigt som de har unika materialegenskaper. Pulvret är mycket dyrt, ca 2500kr/kg eller 250.000kr per batch och därför bör systemet slutas för att undvika kontaminering. Förutom att materialen i sig har speciella egenskaper, så ställer även det faktum att tillverkningen är pulverbaserad särskilda krav på omgivningen. Pulver i tillräckligt hög koncentration i luften har en tendens att explodera varför tillräckligt låg koncentration måste uppnås samtidigt som gnistbildning måste undvikas. Dessa faktorer är beskrivna och reglerade i ATEX-klassningen.

1.2. SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet är att förbättra Arcams förutsättningar till att leverera produktionssystem till kunder inom industrin för ortopediska implantat och flygindustrin genom att tillgodose de behov och krav som finns på mer användarvänlig pulverhantering. Samtidigt måste pulverhanteringen förbättras så att pulvret löper mindre risk för kontaminering.

Målet är att skapa ett underlag i form av en CAD-fil, visualiseringar och rekommendationer kring produktens utformning i en rapport. Underlaget skall underlätta för Arcam att framställa konstruktionsritningar och slutligen ta fram en verklig produkt baserat på koncepten.

1.2.1. FRÅGESTÄLLNINGAR

- Hur kan ergonomin i hela systemet förbättras?
- Hur kan andelen manuella arbetsmoment minskas samt pulverhanteringen förbättras.?
- Hur står sig framför allt PRS:en ur hållbarhetsperspektiv och vad kan göras för att förbättra produktens hållbarhetsaspekter?
- Hur kan en PRS skapas som håller sig inom ramarna och avgränsningarna, men som inte förhindrar de krav som kommer att ställas på framtida produkter gällande byggandet, objekts storlek och vikter. Hur kan framtida önskemål såsom hantering av stora objekt och automatisering möjliggöras?

1.3. RAMAR OCH AVGRÄNSNINGAR

Kandidatgruppen har i samråd med Arcam avgränsat sig till att titta på PRS-systemet och de områden inom pulverhantering som är direkt knutna till denna. Det finns områden som inte behandlas i rapporten, men de har diskuterats under projektets gång.

Exempel på områden som inte kommer att behandlas är:

- Hantering av detaljer som producerats med EBM-processen. Med detta avses att med lyfthjälpmiddel plocka ut ett färdigt bygge och på ett säkert sätt transportera denna till positionen i PRS:en där pulveråtervinning sker.
- Rengöring av kammare med pulverdammsugare. Dammsugaren skall enbart kunna användas för rengöring i vakuumkammaren.
- Automatiserad blästring.
- ATEX-klassning (certifiering).

1.4. DELAR I SYSTEMET OCH DEFINITIONER

1.4.1. EBM (A1/A2)

EBM (Electron Beam Melting): Maskin för additiv tillverkning av produkter i t.ex. Ti6Al4 eller TiAl. Det finns två modeller: A1 som används till implantatindustrin och A2 som används till flygindustrin. De innehåller samma teknik men har olika dimensioner på byggkammaren.

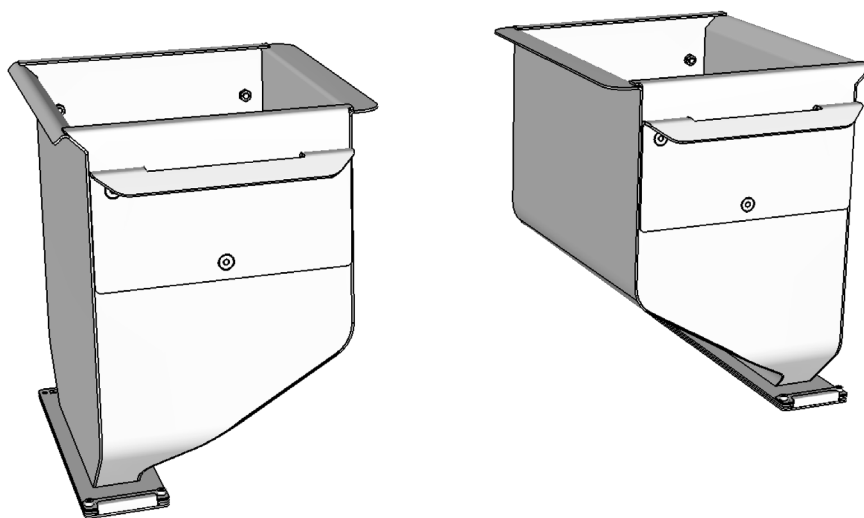


Fig. 2: EBM-maskiner A1 och A2.

1.4.2. PRS

Powder Recovery System, ett ombyggt blästerskåp för rengöring av byggda detaljer. Det återvinner det sintrade pulver som finns omkring objektet efter tillverkningen men är ursprungligen en för processen anpassad redan existerande produkt.

1.4.3. PULVERKASSETTER (MINST 2ST)



Kärl som lagrar och dispenserar pulver i EBM-maskin. Ibland även benämnda "hoppers".

1.4.4. TROLLEY

Höj och sänkbar vagn med elektrisk vinsch. Trolleyen kan transportera kassetter mellan EBM och PRS:en.

1.4.5. INTERIÖR I PRS

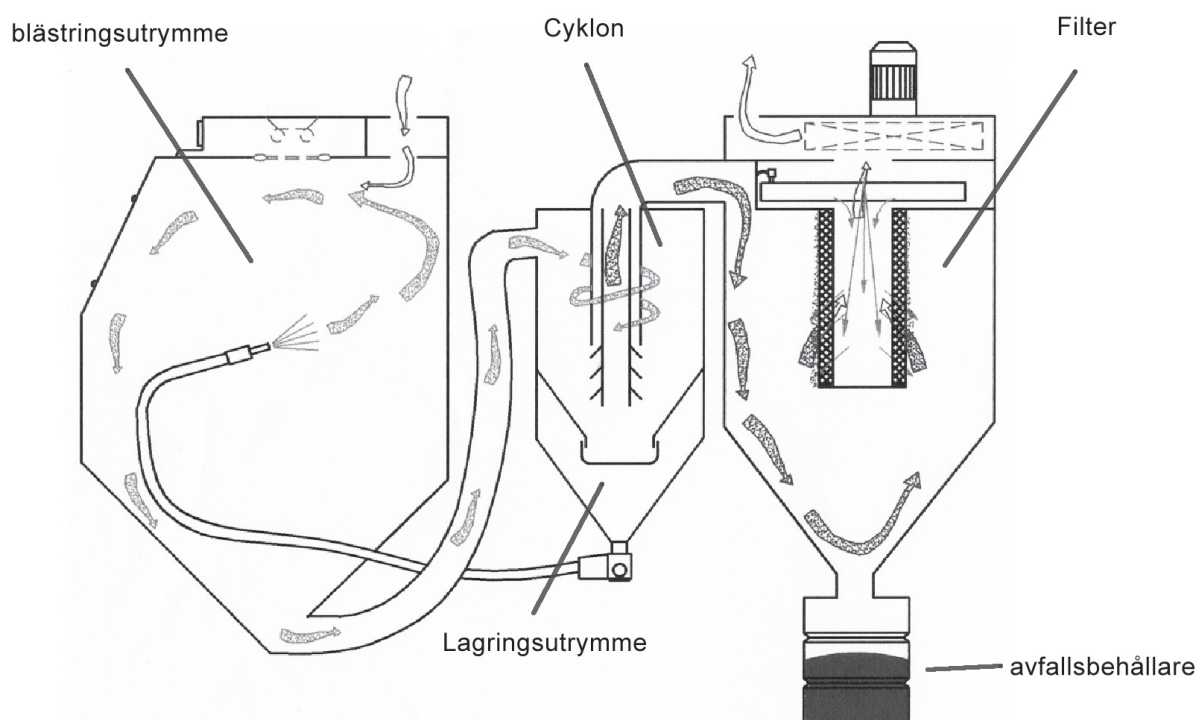


Fig. 4: Översikt av ingående delar i PRS-maskinen.

Cyklon

Partiklar som i processen blivit för små för säker användning separeras från övrigt pulver och avleds till filtertanken.

Lagringsutrymme

Utrymme i PRS:en som samlar upp pulver i väntan på siktning eller fortsatt blästring.

Filtertank med tillhörande filter

Separerar det finkorniga pulvret från luftflödet, och samlar pulvret i avfallsbehållaren.

Avfallsbehållare

Tank som samlar upp bortsorterat pulver från cyklonen som är alltför finkornigt, samt andra lätta partiklar som kontaminerat utrymmet.

Motor i PRS:en

Intern motor i PRS:en som driver luftströmmen från botten av blästerskåpet genom sikten till filtertanken.

Sikt

Maskin som siktar pulver. Partiklar som är för stora fastnar i sikten kan separeras.

Siktningshink

Sikten placeras på en hink som samlar upp det siktade pulvret.

**KRINGUTRUSTNING OCH ÖVRIGA DEFINITIONER****Dammsugare**

Dammsugare som används för att dammsuga upp pulver i EBM-maskinen efter ett bygge.

Hink till dammsugaren

När pulvret sugits upp med dammsugaren hamnar det i en hink i botten på denna.

Transportbleck för detaljer

För att flytta detaljer från EBM-maskinen till PRS:en används ett transportbleck.

Skopa

Skopa som används vid överföring av pulver från hink till sikt och från siktningshink till kassetter.

Blästerskåp

Ett skåp innehållande en lufttrycksdriven pistol som skjuter ett pulver som har en slipande effekt.

ATEX

Direktiv som reglerar arbetsmiljö och utrustning i omgivningar med en atmosfär som har explosionsrisk.

Additiv Tillverkning (AM)

Vid additiv tillverkning byggs produkter upp lager för lager. CAD-underlag skapas i datorn och förs över till den maskin som ska utföra den additiva tillverkningen. I maskinen byggs produkten upp lagervis genom att material tillförs. Slutresultatet är en 3D-produkt uppbyggt av ett flera 2D-lager.

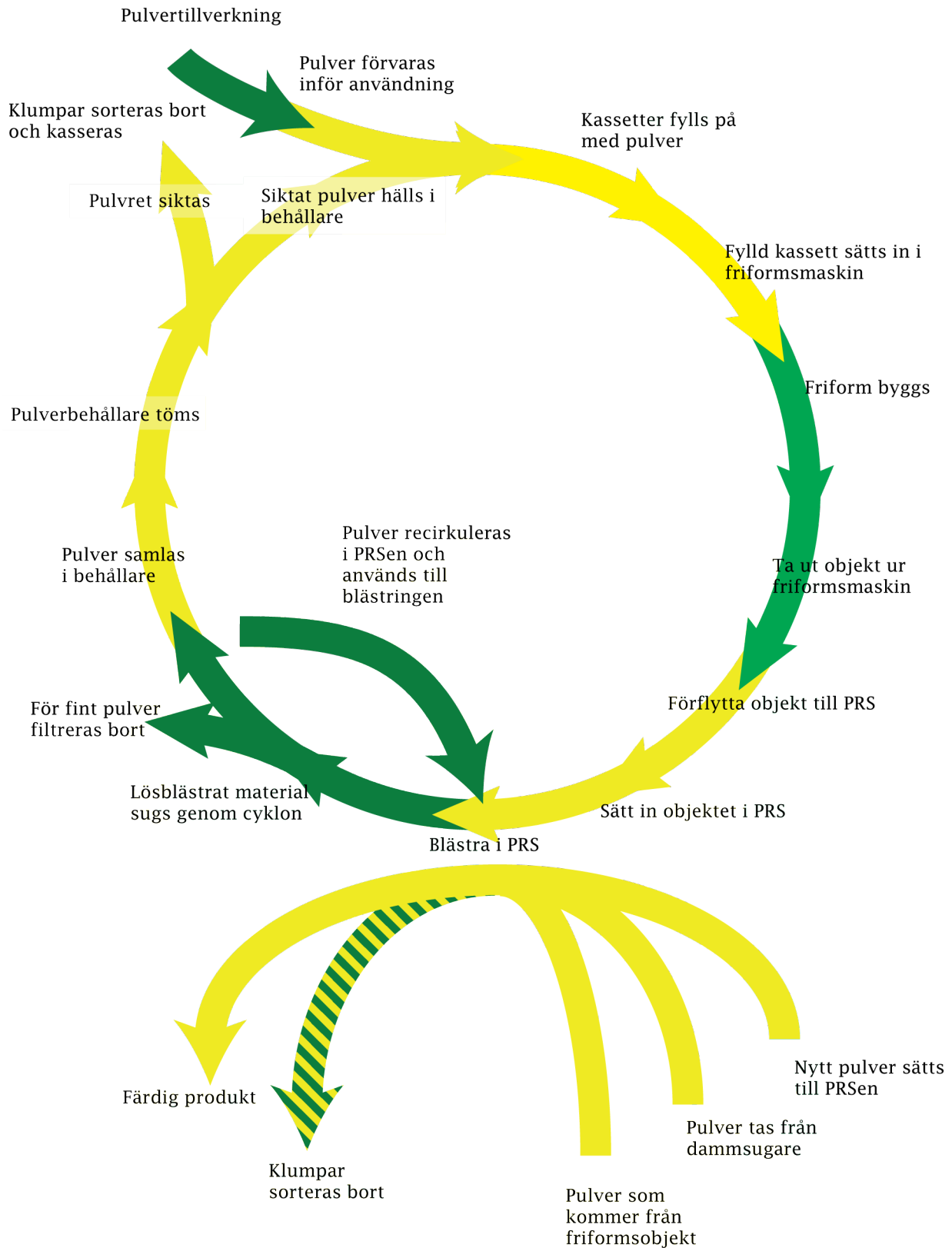
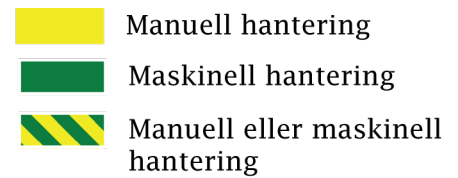
Sintring

Vid sintring sammanfogas partiklar, samtidigt fylls porerna mellan partiklarna ut. Materialet hettas upp till smältpunkten eller till strax över smältpunkten. Efter avsvälning är den sintrade produkten solid.

1.5. NULÄGESBESKRIVNING

1.5.1. PROCESSBESKRIVNING

Innan EBM-processen kan påbörjas måste kassetterna fyllas med pulver. Detta kan ske antingen med nytt pulver från tillverkaren, eller från PRS:en, dvs. pulver som blivit över från tidigare körningar. De fyllda kassetterna sätts in i EBM:en. Produkten byggs och tillåts svalna av. Överblivet pulver som finns inne i EBM:en dammsuges upp. Detaljen och fastsintrat pulver tas ut ur EMB:en och förflyttas till PRS:en med hjälp av en trolley. EBM:en dammsuges en gång till för att säkerställa att inget pulver är kvar eller riskerar att tappas ut. Väl i PRS:en används samma metallpulver till blästringen, som använts till själva bygget. Detta sker för att så stor andel som möjligt av pulvret ska kunna återanvändas. Genom att använda samma legering minskas föroreningen i pulvret. Vid traditionell blästring används andra blästermedel. Pulvret till blästringen kan komma från detaljen från dammsugaren, eller från PRS:en. I PRS:en faller material bort från kretsloppet i form av den färdiga produkten och som klumpar som sorteras bort. Det lösa pulvret suges ut i PRS:en ut genom en cyklon. Här sorteras det alltför fina pulvret bort till en avfallshink och pulvret av rätt storlek transporteras vidare till en behållare. Pulvret från behållaren kan återanvändas direkt till blästring, eller tömmas ut. Det tömda pulvret siktas och det siktade pulvret hålls i en förvaringsbehållare eller i kassetterna. Utsiktade klumpar sorteras bort och kasseras. Så har pulvrets kretslopp slutits.



1.5.2. ANVÄNDARBESKRIVNING

Idag har Arcam kunder över hela världen, vilket medför en mycket varierad brukargrupp. Det saknas data om åldersgrupp men den etniska variationen och medföljande antropometriska skillnader i en global befolkning medför att användarna har starkt skilda kroppslängder. Förutom en stor variation på kroppsstorlek förväntas maskinen användas av brukare med vitt skilda sociala och utbildningsmässiga bakgrunder då systemen används i såväl fabriks- som forskningsmiljö på universitet.

2. TEORI

I kapitlet beskrivs de metoder och verktyg som använts i projektet; den planering som gjordes innan projektets genomförande, metoder för insamling av data, de kreativa metoderna samt utvärderingsmetoder.

2.1. PROJEKTPLANERING

I inledningsfasen av ett projekt bör ansvarsområden delas ut och projektgruppen bör komma överens om vilket arbetssätt som skall användas. Projektgruppen bör ha utdelade ansvarsområden och en gemensam tidsplan. En av de vanligaste anledningarna till att projekt spricker är att tidsplanen inte hålls. (Johannesson H, 2004, Produktutveckling)

I större projekt bör delprojekt formas i vilka det egentliga arbetet utförs. Varje delprojekt har en delprojektledare som rapporterar tillbaka till huvudprojektet. Fördelarna med detta är att innehållet specificeras tydligare och ansvaret blir tydligare även på detaljnivå. (Johannesson H, 2004, Produktutveckling)

Ett projekt består av olika faser där arbetsuppgifterna och syfte för varje delmoment skiljer sig åt. Att specificera vilka faser som finns samt vilka uppgifter och metoder som ska användas i en projektplanering är en god idé. Här är tidigare projekterfarenhet gynnsamt då delmoment och tidsåtgång blir lättare att uppskatta.

2.1.1. UPPDRAGSBESKRIVNING

Innan arbetet med ett projekt börjar är det viktigt för både projektgruppen och beställaren att klara gemensamma mål ställs upp. Detta regleras lämpligen i en uppdragsbeskrivning som är en skriftlig överenskommelse mellan projektgruppen och beställaren. Ett exempel på disposition i en uppdragsbeskrivning kan vara:

- Personer och befattningar som ingår i projektet
- Bakgrund till projektet
- Syfte (Vad projektet syftar till, inte nödvändigtvis samma som resultatet)
- Projektets omfattning (Vad som ingår/inte ingår i projektet)
- Leverans (Vad projektet förväntas leverera rent fysiskt leverera och när)
- Åtaganden (Här definieras krav på rapportering och vilket material som behöver tillhandahållas för att projektet ska vara möjligt att genomföra)

Uppdragsbeskrivningen skall skrivas under av båda parter. Det är projektledarens ansvar att under projektet säkerställa att uppdragsbeskrivningen uppfylls.
(Källa: Alexandra Rånge 2011)

2.1.2. GANTT-SCHEMA

Ett GANTT-schema är en schematisk uppställning av olika aktiviteter eller faser under ett projekt. Det kan beskrivas som ett horisontellt stolpdiagram med en liggande tidsaxel.

GANTT-scheman används i ett projekts inledningsfas för att uppskatta tidsåtgången i projektets olika faser och disponera tiden för att nå utsatt deadline.

2.2. DATAINSAMLING

I ett projekts tidiga stadier står datainsamling i fokus. När en ny produkt ska utvecklas är det nödvändigt att samla in information för att på så sätt kunna ta väl underbyggda beslut som leder till en bra lösning. Vad som eftersträvas är en produkt som uppfyller alla krav som ställs och tillgodose alla aktörers behov. För att finna dessa genomförs olika typer av studier. Två vanliga typer av metoder är de observationsbaserade och de frågebaserade studierna. Dessa metoder kan användas iterativt för att bygga på resultat från föregående studier och på så vis öka kvaliteten av resultaten successivt.

2.2.1. LITTERATURSTUDIE

Att genomföra litteraturstudier kan uppnå ett antal olika mål. Litteraturstudier kan användas både till att hitta ny information kring tidigare helt obehandlade områden och i syftet att läsa in sig inom en specifik fråga för att besvara frågeställningar som uppkommer under projektet. Misstankar och aningar om ett ämne kan också bekräftas med litteratur. För att ge extra validitet i slutresultatet är det viktigt att beslut och uttalanden grundar sig i väl underbyggda argument med trovärdiga källor. Litteraturstudier kan även omfatta konkurrentundersökningar och hållbarhetsanalyser såsom LCA.

2.2.2. OBSERVATIONSSTUDIE

För att utreda hur en produkt används och finna problem i interaktionen mellan produkt och användare är observationer speciellt intressanta som metoder. Observationsstudie är ett generellt namn på en studie som utförs på en produkt i användning och kan utföras ostrukturerat eller strukturerat. För att studera produkten i normal användning genomförs studien utan observatörens inblandning i studien. Detta kallas för en ostrukturerad studie och observatören påverkar inte resultatet. En användare får helt enkelt använda produkten i fråga och observatören dokumenterar användningen. Denna metod leder ofta till att användaren själv får bestämma vad som ska visas vilket kan innebära likvärl fördelar som nackdelar. På grund av möjligheten att själv bestämma över observationen kan användaren lägga fokus på det som han/hon tycker är viktigt. På grund av detta är metoden passande för studier i tidig fas där fokus ännu inte har valts. (Karlsson, 2008)

I senare faser är det mer passande att använda strukturerade observationsstudier där observatören aktivt medverkar i studien och medvetet styr denna mot fokuspunkter som är intressanta för utvecklingsarbetet. Denna metod har två fördelar i en senare fas.

I en situation där utvecklarna har valt fokus i arbetet kan denna metod effektivt samla

in relevant information kring det som är viktigast för utvecklingsarbetet. Vid brist på kunskap eller information kring specifika områden kan denna metod utnyttjas för att snabbt täcka dessa glapp i kunskapsbasen. (Karlsson, 2008)

Inför observations- och användarstudier brukar en pilotstudie utföras för att försäkra att användbart resultat erhålls vid de riktiga studierna. Eftersom studierna oftast utförs under en tidig fas innebär det att kunskap och information kring testmiljön fortfarande saknas. Detta kan leda till att oförutsedda faktorer ej tas hänsyn till då studierna utförs varför en teststudie kan vara bra då den kan upptäcka dessa fel innan de begås. I en pilotstudie kan observatören försäkra sig om att studierna som har förberetts faktiskt är rimliga och att resultatet blir relevant.

2.2.3. INTERVJU

Intervjuer går från strukturerade till ostrukturerade. I den strukturerade intervjuformen har intervjuledaren förberett ett noggrant manus med frågor som ska besvaras av intervjuobjektet. Denna typ av intervju närmar sig enkätformens hårt styrda format. Intervjuer kan också vara ostrukturerade där intervjuobjektet tillåts tala helt fritt kring ett givet ämne och där intervjuledaren endast ställer undersökande frågor för att uppmuntra objektet att utveckla tankarna. Ett mellanting är den semistrukturerade intervjun där objektet tillåts tala relativt fritt kring ett flertal frågor och där intervjuledaren styr samtalet för att få frågor besvarade. Utvikningar från ämnet tillåts till en viss grad. Under alla intervjuformer förekommer en risk att intervjuaren medvetet eller omedvetet påverkar intervjuobjektet. Detta påverkar resultatets validitet. (Karlsson, 2008)

2.2.4. ENKÄT

Enkäter kan användas både i syftet att samla in data och för att validera den data som samlats in från andra källor och metoder. En enkät ställer ett antal frågor till respondenten. Svartalternativen kan ges i olika form, från valbara alternativ till frisvarsfrågor, kvantitativt eller kvalitativt. Det är en icke flexibel insamlingsmetod. Frågeställaren är ofta inte närvarande då enkäten besvaras och är enkäten anonym blir det extra svårt att ställa följdfrågor, även om det är möjligt med modern teknik. Nya behov och krav upptäcks till mindre grad än med andra insamlingsmetoder. Funna behov och krav kan bekräftas och vägas mot varandra då en enkät kan förse statistik över problemen. De stora fördelarna är att den enkla analysen, att svar möjliggörs och att enkäter kan upprepas över tid. (Karlsson, 2008)

2.2.5. URVAL

De ovanstående metoderna har alla gemensamt att de kräver deltagare. Dessa deltagare väljs ut i en urvalsprocess som kan ha stor påverkan på resultatet av studien. I urvalet skall tas hänsyn till två aspekter: vilka deltagare ska delta (kvalitativt urval), och hur många (kvantitativt urval). Det finns för varje aspekt ett flertal metoder för att välja ut vilka användare som ska inkluderas i studierna. En sådan metod för det kvalitativa urvalet är att välja teoretiskt representativa deltagare. Dessa representerar teoretiskt hela målgruppen gällande till exempel demografi, attityder, fysiska och psykiska karaktärsdrag och bakgrund. Urvalskriterierna baseras på den eftersökta informationen. Det kvantitativa urvalet kan ses som att ju fler personer som ingår, desto bättre. Samtidigt måste resurserna som läggs på intervjuer, observationer och deras tillhörande analystimmar vägas mot hur mycket ny data som tillkommer. Ett oändligt antal timmar är inte optimalt då en väldigt stor del av studien då inte kommer att ge några nya resultat. Griffin och Hauser har visat att 90-95% av all data framkommer efter 20-30 undersökningstimmar. (Hauser och Griffin, 1993)

2.3. ANALYMETODER

För att kunna ta väl avvägda designbeslut som också kan underbyggas och motiveras har flertalet teoretiska metoder använts i analysfasen. De beskrivs kortfattat i nedanstående stycke.

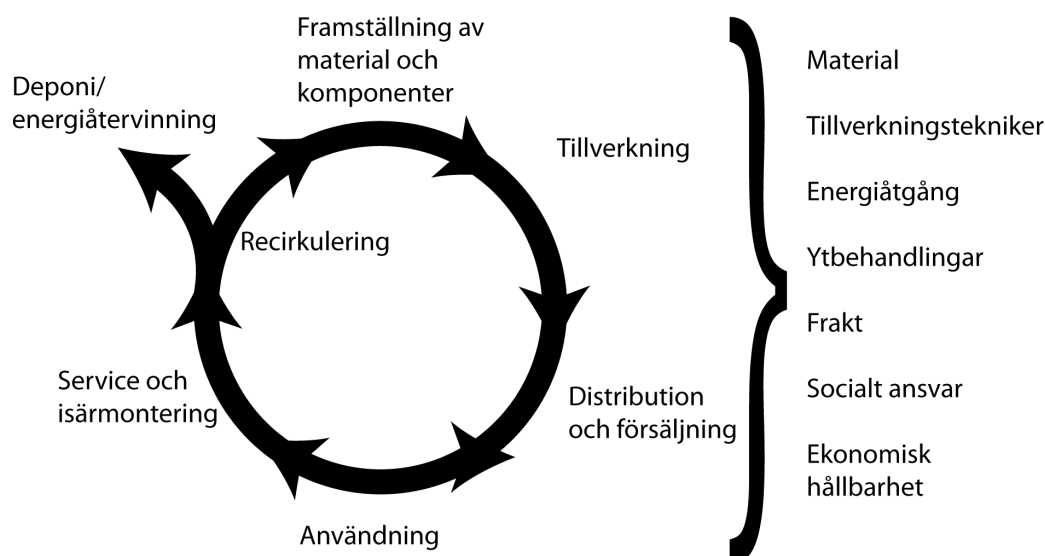
2.3.1. PROCESSANALYS

En HTA, eller 'Hierarchical Task Analysis', används för att studera hur en användare utför uppgifter med en specifik produkt. Användarens mål delas upp i delmål och de handlingar som användaren måste utföra för att uppnå målen beskrivs. Handlingarna och målen ordnas hierarkiskt i den ordning de måste utföras för att uppnå slutmålet. Detta ger en helhetssyn över hur användningsprocessen går till och hur problem i specifika moment påverkar hela processen. Den analys som använts i projektet är i strikt mening inte en HTA, men är ändå en hierarkisk uppdelning av de olika stegen i processen.

2.3.2. LIVSCYKELANALYSER

Varje produkt har en livscykel, från framtagningen av råmaterial, transport av komponenterna, tillverkning, distribution och försäljning till användning och den slutgiltiga resthanteringen. Samlingsbegreppet livscykelanalys, LCA (life cycle assessment), innefattar olika metoder för att bedöma en produkts totala miljöpåverkan under sin livscykel. I LCA har varje steg i livscykeln analyserats. För varje del av cykeln kan ett antal aspekter tas in i utvärderingen såsom material, tillverkningstekniker, energiåtgång, ytbehandlingar, frakt, socialt ansvar och ekonomisk hållbarhet. (Almegren et al, 2009)

LCA kan användas för att utvärdera en produkt för att hitta problemområden, för att jämföra olika koncept med varandra och för att jämföra en existerande produkt med en teoretisk. (Johannesson, 2004)



2.3.3. ERGONOMI

En vanlig metod för att analysera hela kroppens arbetsställning är REBA. REBA, eller Rapid Entire Body Analysis, är en metod som fokuserar på belastningen i hela kroppen. Den tar hänsyn till ledvinklar, vikter och belastningar, samt tyngdkraftens påverkan på olika delar av kroppen. Analysen leder till en score som visar hur akut en situation behöver förändras för att ge en bra arbetsmiljö. (Bohgard et al, 2008)

För att testa nya produkter kan funktionsmodeller användas. Här tas de relevanta måtten för produkt och arbetsställning fram och byggs upp i skala eller fullskala. Funktionsmodellerna kan vara gjorda i dator och testas då med manikiner som t.ex. Jack. Funktionsmodellerna kan också testas i verkligheten genom att antingen mäta vinklar och mått för att bekräfta att de antropometriska kraven uppnås tillsammans med önskad funktionalitet, eller genom att verkliga testpersoner får interagera med den uppbyggda modellen och på så sätt verifiera modellen gentemot krav och antropometriska mått för den valda populationen.

Markåtgång

Den krävda markåtgången beräknas genom användandet av antropometriska mått och de tilltänkta måtten för redskap och maskiner i en given arbetssituation. Markåtgången baseras på en avvägning mellan hur stor plats en person och dess utrustning behöver mot att arbetsplatser har en begränsad markyta. (Hasselgrave och Pheasant, 2003)

Visuell ergonomi

Ljushållanden kan undersökas med mätinstrument såsom en luxmeter. För att avgöra krävd ljusnivå i ett givet arbetsområde analyseras ljuskällornas placering, materialens reflektiva förmåga, färger i omgivning och på arbetsstycken, ljuskällans våglängder samt typ av arbete som ska utföras. (Bohgard et al, 2008)

Audiell ergonomi

Ljudnivåer kan mätas med en decibelmätare. De uppmätta ljudnivåerna jämförs med riktvärden för en bra arbetsmiljö. Faktorer som påverkar ljudet är material i omgivningen och hur de dämpar eller förstärker ljuden och hur miljön är utformad. (Bohgard et al, 2008)

2.4. KRAVSPECIFIKATION

En Kravspecifikation, ibland förkortat 'kravspec', eller produktspecifikation är ett styrande dokument där alla krav på produkten ska specificeras. Förutom krav ingår ofta även önskemål, då i en viktad kravspecifikation. Dessa kan även behandlas separat i ett annat dokument. Kravspecifikationen används som en checklista i designarbetet och även som beslutsunderlag när olika vägval och sällning av koncept skall göras. Kravspecifikationen resulterar i en lista med kriterier där målet är att uppnå så många av dem som möjligt till så hög grad som möjligt. Dessa kriterier bedöms med olika mått beroende på kravtyp, ibland enkelt mätbar i form av ett numeriskt värde, ibland mer subjektivt till vilken grad kravet uppfyllts. Att ta fram en kravspecifikation är idag ofta något som utförs av beställaren av en produkt. Om denna inte har gjort ordentliga förstudier finns det en risk för att det finns stora luckor i kravspecifikationen vilket kan leda till att den färdiga produkten inte överensstämmer med beställarens egentliga mål då vissa uttalade krav kan ha förbisetts. (Johannesson H, 2004, Produktutveckling)

2.5. IDÉGENERERINGSMETODER

För att stimulera kreativitet och nytänkande i projektet har ett antal metoder och verktyg använts. Dessa är syftade att hjälpa både individuellt samt för hela projektgruppen, men i vissa fall även för att kunna förmedla tankar och beslut till en större publik. I samband med idégenereringsmetoder kan visualiseringsmetoder användas för att utveckla kreativiteten.

2.5.1. EXPRESSIONBOARD

Under utvecklingen av en ny produkt kan det vara svårt att bibehålla en konsekvent design och ett uttryck som överensstämmer med det som först bestämdes. För att underlätta i utformningsprocessen kan en expressionboard användas. En expressionboard består av ett collage av bilder som överensstämmer med det uttryck som önskas av produkten. I den ingår även de värderingar och känslor som också funktionerna ska uttrycka, inte enbart utformningen. (Li Wikström)

2.5.2. BRAINSTORMING

Brainstorming är en metod med syfte att snabbt skapa och utveckla idéer. Deltagarna i en Brainstorming delges ett problem som ska lösas och försöker därefter komma på lösningar på problemet. För att uppmuntra kreativiteten och undvika konservativa idéer får ingen kritik ges i detta stadie. Idéflödet kan spurras av till exempel slumpordlistor. Deltagarna kan byta idéer med varandra och spinna vidare på varandras förslag. Några vanliga metoder som används för att registrera alla idéer är skissning, snabbmodellering och stödord. Metoden är väl beprövad och gynnar ofta kreativitet samt ger möjlighet att frambringa nya tankar och lösningar. (Karlsson, 2008)

2.6. VISUALISERINGSMETODER

Visualiseringar kan spela en viktig roll i produktutvecklingsprocessen och kan utnyttjas i flera syften så som förmedling av idéer, konceptvalidering och för presentationsmaterial. Visuellt material minskar risken för misstolkningar och ger inblandade parter en tydlig och gemensam bild av resultaten.

2.6.1. SKISS

Skissning som idégenereringsmetod används för att snabbt få ner många idéer på ett papper, för att därefter förfina dem. Skisserna kan utföras antingen enskilt eller i grupp. Ofta kan fler idéer genereras genom att gruppledmedlemmar byter papper och arbetar vidare på varandras förslag då de andra kan bidra med nya infallsvinklar i idéerna. Genom att tankarna illustreras istället för att bara diskuteras kan fel och brister lättare identifieras. Skissning kan ske i ett flertal medier, bland annat:

- Papper
- Modellskissning, t.ex. Quick 'n' dirty
- CAD

2.6.2. "QUICK 'N' DIRTY"

En skissmodell består av de grundläggande elementen i en design och byggs upp av enkla material och former. Genom att interagera med en tänkt lösning, antingen i fullstorlek eller skalat format, kan både problem och lösningar upptäckas. Det är ett snabbt, enkelt och billigt sätt att testa idéer och funktioner.

2.6.3. CAD-MODELLER

Computer Aided Design, eller CAD, är design med datorns hjälp. Modellen kan göras från enkla skisser till fullt fungerande modeller i datorn. Det är ett hjälpmedel som möjliggör interaktion med en produkt innan den faktiskt tagits fram som fysisk prototyp vilket tillåter utvärdering på ett tidigt stadium. I en datormodell kan dimensioner snabbt förändras och formspråk bytas ut. Relativt snabbt kan komplexa geometrier, vilka kan vara mycket svåra att korrekt skissa upp, illustreras och testas. När en produkt har ingående element med fasta dimensioner och orienteringar kan dessa element lyftas in i ett CAD-program för att modellera resten av produkten kring dem. Viss programvara tillåter utvärdering av produktens ergonomi och hållfasthet. CAD-modeller är billiga att ändra till skillnad från prototyper och koncept, som blir dyra senare i utvecklingsprocessen.

2.6.4. PERSONA

En persona är en eller flera fiktiva personer som skapas efter datainsamlingen, men så tidigt som möjligt i en produktutvecklingsprocess. Personan används för att beskriva en typisk användare med specifika detaljer för att ge såväl produktutvecklare som åhörare en relation till annars okända användare. Den används för att både projektgrupp under utveckling och åhörare under presentation ska veta vilken den tilltänkta målgruppen är. (Cooper, 2003) Personan användes i detta projekt främst som ett kommunikationsmedel för att förmedla användningssituationen under klassredovisningen för att på så vis erhålla bättre feedback.

2.6.5. SCENARIO

Personan kan användas för att ta fram ett scenario i relation till produkten, användningssituationen och till möjliga problem som uppstår i interaktionen till produkten eller situation. En persona kan även till viss del användas under utvärderingen av en lösning. Detta scenario används även för att produktutvecklare och åhörare ska få en förståelse för användningssituationen. I utvecklingsprocessen har personan i kombination med scenariot syftat att ge ett ansikte till användaren för att underlätta för projektmedlemmarna att sätta sig in i arbetssituationen (Cooper, 2003)

2.7. UTVÄRDERING AV KONCEPT

Urvalsprocessen av olika koncept sker genom metoder som presenteras nedan. Under processen kategoriseras de lösningarna. Varje kategori jämförs först med den ursprungliga lösningen för att bekräfta förbättringen, varefter koncepten ställs mot varandra för att fastställa vilken som är den bästa lösningen. Kriterier som används kommer från identifierade krav och värderingar.

2.7.1. PUGH-MATRIS

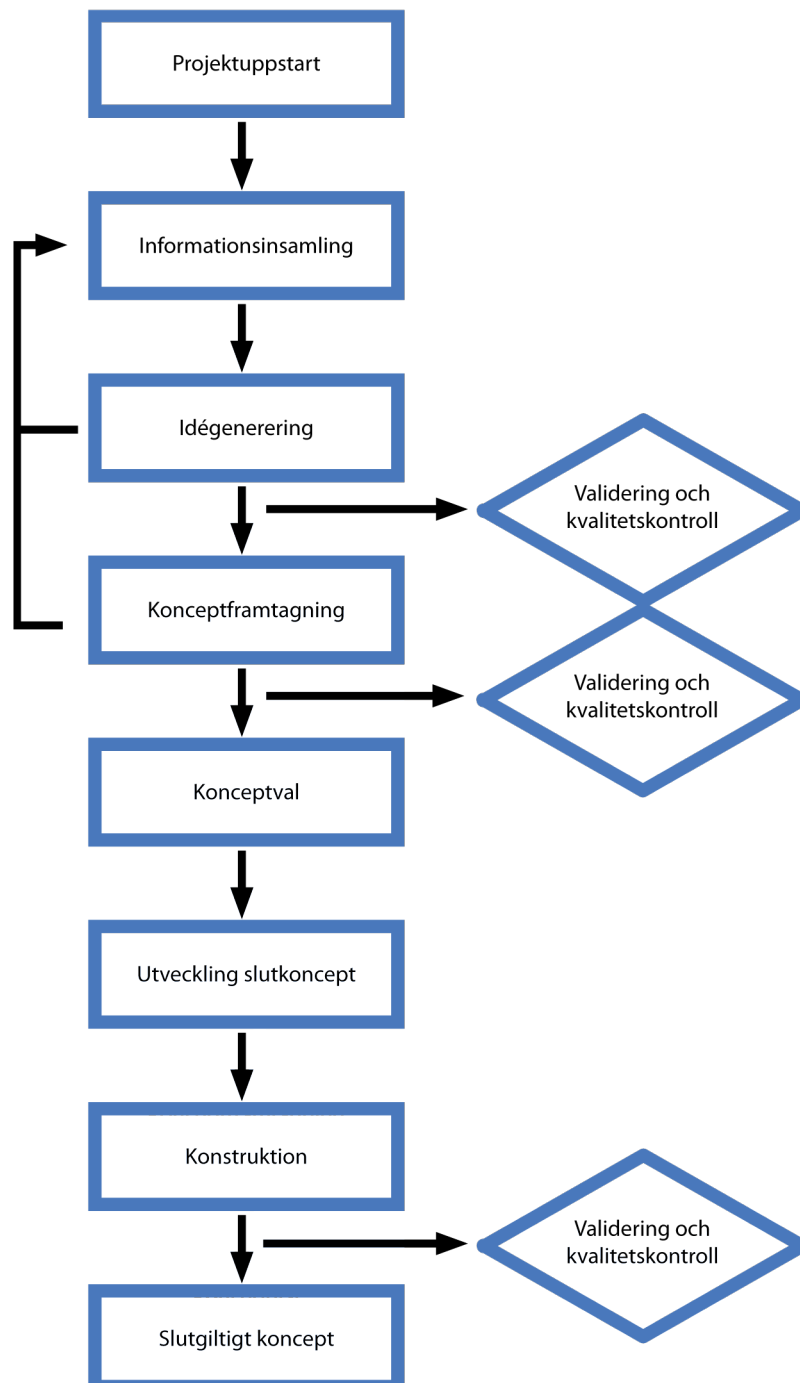
I en pugh-matris ställs samtliga nya lösningar mot den ursprungliga för att fastställa hur många krav som har uppfyllts. Kriterier som används i denna metod är oviktade och syftet är att identifiera antalet förbättringar relativt referensen. Lösningar som har för få eller inga förbättringar övervägs för eliminering medan lösningar som har klara förbättringar tas vidare till nästa metod. (Johannesson, 2004)

2.7.2. KESSELRINGSMATRIS

Koncept som har konstaterats som rimliga kandidater för vidareutveckling ställs upp mot varandra i en matris. Syftet är att genom viktade kriterier fastställa vilken lösning som är bäst. Viktade matriser ger en mer rättvis bild över vilken lösning som är den bästa. Viktade metoder används efter oviktade metoder för att skapa ett beslutsunderlag för val av koncept och vidareutveckling. Samtidigt kan alternativ och de lösningar kombineras efter utvärderingar för att ge en bättre slutprodukt. (Johannesson, 2004)

3. GENOMFÖRANDE

Arbetets genomförande beskrivs nedan. I de fall teoretiska metoder tillämpats återfinns beskrivningar av dessa i metodkapitlet.



Översiktlig arbetsprocess.

3.1. PROJEKTPLANERING

I projektets inledning gjordes en Belbinprofilering (ett gruppdynamiktest) där det framkom att tre personer främst var idégivare, två personer pådrivare och en person var utvärderare. Vissa profiler saknades enligt Belbinprofileringen för att bilda en allsidig projektgrupp. Testet har dock gjort gruppen uppmärksam på dessa potentiella problem vilket gör att och nödvändiga åtgärder kan vidtas för att kompensera de saknade profilerna.

En planeringsrapport (Bilaga A) skrevs baserad på tidsuppskattningar gjorda av projektgruppen. Lämpliga metoder att använda i de olika faserna bestämdes. Utifrån denna gjordes sedan ett GANTT-schema där det olika fasernas längd och omfattning åskådliggjordes grafiskt tillsammans med viktiga datum för möten och redovisningar.

För att tydligare definiera projektmålet togs en uppdragsbeskrivning fram i samråd med företaget. Här bestämdes det att projektet skulle begränsa sig till att behandla PRS:en, pulverskydd samt de ergonomiska aspekterna. En överenskommelse om vilka arbetsinsatser som krävdes av de båda parterna samt vad som skulle levereras nåddes även. Det fanns två versioner av uppdragsbeskrivningen vid granskningstillfället, men då det konstaterades att dessa inte ligger i konflikt med varandra vidtogs ingen åtgärd för att sammanfoga dem. (Bilaga B, Bilaga C)

3.2. DATAINSAMLING

Under projektets inledande fas insåg gruppen att utvecklingsarbetet kräver mycket information och kunskap kring användning av produkten i fråga, vilket saknades inom projektgruppen. Detta faktum motiverade till en omfattande datainsamling, vilken framförallt utfördes med hjälp av litteraturstudier, produktanalys, observationsstudier och intervjuer.

3.2.1. LITTERATURSTUDIE

På grund av produktens tekniska komplexitet var det viktigt att ha god förståelse för tekniken bakom produkten samt olika komplikationer som tekniken orsakar. Många av dessa komplikationer kan anses vara fällor för ett oförberett utvecklingsarbete. Med avsikten att undvika dessa komplikationer vid senare faser utfördes först en omfattande litteraturstudie.

Eftersom processen behandlar explosiva ämnen var det viktigt att studera relevanta säkerhetsföreskrifter. Dessa föreskrifter har hög prioritet och måste alltid tas hänsyn till vid utveckling. En viktig del av denna studie av reglementen bestod av studier av den så kallade ATEX-klassningen som produkten måste uppfylla.

Under utvecklingsarbetet har det dykt upp flera intressanta aspekter som varit intressanta att utforska. Vid flera tillfällen har det kommit upp till diskussion hur olika tekniska lösningar kan appliceras på samma område.

Dessa tekniska möjligheter har utforskats i korta teknikstudier och lett till beslut om vilka tekniker som är bäst lämpade för utvecklingen. Dessa har presenterats för Arcam för validering av besluten. Bland annat har teknikstudier utförts kring olika typer av blästrar och siktningstekniker.

Det var dock inte endast tekniska studier som var relevanta under datainsamlingen. Eftersom en del av teknikstudierna utfördes genom att utforska existerande lösningar blev det även aktuellt att göra en översiktlig konkurrentstudie. Målet var att ta reda på vad som särskiljer företagets produkt från konkurrenterna och vad som kan läras från konkurrenterna.

Vidare utfördes en handledd biblioteksstudie på Chalmers som utökade det redan funna materialet. Denna breda kunskapsbas stod sedan som grund för flertalet av de beslut och utvärderingar som gjordes under projektets gång. Dock framkom brister i litteraturstudien när det vid vissa tillfällen inte fanns tillräckligt med information i källorna för att kunna grunda beslut på. Detta löstes vid genom vidare datainsamling inom just det område som saknade tillräckligt material tills dess att ett väl motiverat beslut kunde tas.

3.2.2. PRODUKTANALYS

Innan observationsstudierna påbörjades genomfördes en produktanalys på PRS:en och dess användningsmiljö, där funktioner och användningssätt var i fokus. Denna analys utfördes i samband med att en processanalys togs fram för att erhålla en såväl överskådlig förståelse för produkten som kunskap på mer detaljerad nivå. Analysen utfördes genom att två personer fördjupade sig i första utkastet av processanalysen samt identifierade svagheter i systemet och gruppens förståelse för användningen. Ytterligare två personer kontrollerade denna och tillförde mer information allt eftersom den fylldes i. Produktanalysen var viktig eftersom det saknades mycket kunskaper om produkten och användningen vid det stadiet. Analysen utmynnade i förståelse för produkten. Gruppen kunde genom denna studie få ett grepp om vad produktens syfte och funktion är och hur den används. Inför första observationsstudien var det viktigt att identifiera dessa tomrum i gruppens förståelse.

3.2.3. OBSERVATIONSSTUDIER

Halva gruppen fortsatte med att sammanställa en förtydligad processanalys. Anledningen var att den andra halvan av gruppen skulle kunna utföra en observationsstudie utan att fokusera på specifika områden och på så sätt kunna identifiera okända problem. Användaren fick gå igenom hela processen del för del och visa detaljer som han tyckte var intressant att visa, men studien styrdes ändå av observatörerna från kandidatgruppen som fördelade fokus efter intressanta aspekter som dök upp under studien.

En strukturerad observationsstudie utfördes därefter när tillräckligt med information för att kunna utföra dessa hade samlats. Studien behandlade samtliga fördefinierade frågeställningar som upptäckts i de tidigare momenten. Strukturerade observationsstudier och användarstudier användes senare vid ett flertal tillfällen för att klargöra nya frågeställningar, under följande tillfällen var de mer strukturerade och oftast väl inriktade på specifika områden för att fylla kandidatgruppens kunskapsförråd. Dokumentation genomfördes i samband med observationen, se bilaga E.

Eftersom samtliga observationsstudier skulle utföras hos Arcam insågs det redan vid tidigt stadium att det fanns risk för att missa information från verkliga användare. För att kompensera detta har en enkät tagits fram och skickats ut till Arcams kunder. Se bilaga D. Enkäten baserades på information som samlats från de första observationsstudierna. Målet med enkäten var att dels undersöka en del problem som hade identifierats, dels bekräfta vissa spekulationer gruppen haft kring användningen.

Efter den initiala observationsstudien skedde ytterligare fyra observationsstudier. Dessa var av semistrukturerad karaktär och ämnade till kvalitativa observationer snarare än kvantitativa. Då en initial observationsstudie utförts hade projektgruppen redan en bild av processförloppet. Denna jämfördes med det faktiska utförandet i de fortsatta observationsstudierna. Under observationsstudierna användes probing för att försökspersonerna skulle berätta vad de gjorde, varför, och hur detta upplevdes. Vid avvikelser från den förväntade arbetsprocessen ställdes frågor för att utöka kunskapsbasen kring den faktiska arbetsprocessen och problem som kan uppstå vid användandet av systemet.

De fyra observationsstudierna utfördes på användare som använt systemet tidigare:

- En person som tidigare arbetat med blästring och som nu arbetar på Arcam.
- En extern användare som arbetar internationellt med systemet.
- Två personer som arbetar på Arcam och testanläggningen i Mölndal.

Som komplement till observationsstudier av de vana användarna utfördes också observationsstudier på ovana användare för att hitta de problem som uppkommer från någon som varken är van vid blästring eller systemet i stort.

Visuella och Audiella mätningar

Mätning av visuella och audiella miljöer utfördes i samband med de första observationsstudierna. Med hjälp av en mulimeter mättes ljus- och ljudnivån i arbetsmiljön för att fastställa dagens ergonomiska mått ur dessa två aspekter. Dock kunde inte en fullständig mätning på ljud utföras eftersom lämpligt mätinstrument saknades för att mäta en transient som uppkommer regelbundet under användningen.

3.2.4. INTERVJUER

De personer som valdes för Intervju har alla erfarenhet av systemet och har expertkunskap inom olika områden av detta. De olika typerna av intervjuer som genomfördes var:

- En semistrukturerad djupare intervju utfördes tidigt med en representant från Arcam som hanterar klagomål från kunder. Denna utfördes för att hitta möjliga problemområden. Resultatet från intervju användes vid utformande av bekräftande enkät samt vidare intervjuer och observationsstudier. Två ostrukturerade intervjuer utfördes med underleverantörer av PRS:en.
- En intervju utfördes precis i början av projektet för att se vilka förändrings- och tillverkningsmöjligheter som finns samt kompetenser hos underleverantörerna att leverera önskade lösningar. Den andra intervjun skedde efter första delredovisningen för att vägleda vid konceptval. Återigen validerades att underleverantör har kompetens och möjlighet att tillverka valda koncept och lösningsvägar. Intervjun ämnade också undersöka vilken kostnadseffekt olika lösningsförslag ger.

- En strukturerad telefonintervju utfördes med leverantör av trolley vid delredovisning för att undersöka vilket eller vilka av de valda lyftkoncepten som är realiserbara och vilken kostnadseffekt detta skulle ge.
- Tre semistrukturerade intervjuer utfördes med representanter från Arcam gällande pulvrets förlopp i systemet, problem vid användning och konceptutveckling.

Resultaten från intervjuerna införlivades i de framtagna koncepten och ligger till stor del som grund till produktutvecklingen.

3.2.5. ENKÄT

En elektronisk enkät (Bilaga D) skickades ut till fabriksarbetare för att få information kring den faktiska användningssituationen och för att få kvantitativa data. Felkommunikation med fabriker ledde till att säljkontakter istället besvarade enkäterna, vilket också gjorde att färre personer svarade. Av de utskickade enkäterna återkom 4 svar.

3.2.6. URVAL

Urvalet till observationsstudier och intervjuer skedde på kvalitativ basis snarare än kvantitativ. Personerna i urvalet var alla välbekanta med systemet för att säkerställa att återkommande och vanliga fel kunde detekteras. Även om personerna som observerades inte arbetar i produktionsmiljö med framställning av friformsprodukter har de använt systemet ett stort antal gånger i testanläggningen på Arcam där produktion sker tre gånger per vecka. Personerna är alltså inte bara teoretiskt bekanta med problemområden utan har själva använt systemet. Genom att observera personer som har arbetat länge med systemet kan relevanta frågor ställas kring tillverkning av produkter i systemet och de problemområden som uppkommer.

3.2.7. VECKOMÖTEN

Under hela projektets förlopp hade kandidatgruppen veckomöten med representanter från Arcam. Dessa möten skedde för rapportering av arbetets förlopp, för datainsamling och för validering av det utförda och kommande arbetet. Inför varje veckomöte fick såväl kandidatgrupp som representanter uppgifter att utföra. Representanterna fick framför allt hämta in information kring systemet och användandet från kollegor och underleverantörer. Även om dessa veckomöten inte var regelrätta intervjuer var ändå resultatet samma typ av information som från intervjuer.

3.2.8. LIVSCYKELANALYSER

En 'Life Cycle Analysis', LCA, utfördes på systemet, med fokus på PRS:en. Litteraturstudier utfördes för att beskriva de olika delarna inom LCA. Dessa antaganden baseras på information från föreläsningarna till 'Miljöteknik och hållbar utveckling' (PPU065) och kursen 'Tillverkningsteknik' (MTT030) Se bilaga G.

3.3. ANALYSMETODER

Parallellt med datainsamlingen utfördes ständigt bearbetning av datan. En helhetssyn bildades successivt och ledde till detaljbearbetning av data. Under bearbetningen hittades ständigt nya områden som behövde kompletteras vilket orsakade denna iterativa process.

3.3.1. REBA

Många av dessa strukturerade metoder behandlade ergonomiska aspekter. En utförlig ergonomistudie av dagens produkt kunde utföras efter att tillräcklig data hade insamlats. En metod som utnyttjades här var REBA. Med hjälp av REBA, 'Rapid Entire Body Assessment', rankades dagens produkt objektivt ur ergonomisk synpunkt samtidigt som en referens för utvecklingsarbetet kunde skapas. Resultaten sammanställdes för att ge en bild av hur den nuvarande ergonomiska arbetsmiljön var. Dessa resultat gav också en bedömning av vad som behövde förändras och hur. Denna referens kunde sedan framtida koncept jämföras mot för att validera förbättringen av ergonomin.

Praktiska ergonomistudier genomfördes för att bearbeta den information som insamlats kring ergonomi. Försök gjordes på existerande PRS och omdömen från testpersoner med olika antropometriska mått. Som stöd för utvecklingen togs en funktionsmodell fram som visade på de vinklar och höjder som räknats ut för att bättre passa synvinkel och höjder hos den valda populationen. Denna 'Quick n' Dirty' funktionsmodell genomgick ett antal förändringar innan en slutgiltig version togs fram och verifierades mot försökspersoner och kravspecifikation.

3.3.2. PROCESSANALYS

Genom observationsstudier och intervjuer kunde en processanalys skapas över användandet av systemet (se bilaga H). Från denna processanalys kunde slutsatser dras angående fokusområdena för projektet. Först vid konstruerandet av processanalysen kunde slutsatsen dras att det krävdes orimligt många manuella moment vid pulverhanteringen och att projektet bör fokusera just på detta, snarare än exempelvis blästringen.

Genom de olika intervjuerna, enkäterna och observationsstudierna kunde en bild över processen skapas. Tidigt under förundersökningen framkom det att pulvret genomgick ett kretslopp där pulver kom in och ut ur kretsloppet vid olika tidpunkter. Först efter en utförligare processbeskrivning med tillhörande illustration kunde en fullständig bild skapas över systemet.

3.3.3. PROBLEMBESKRIVNING

Datainsamlingsfasen resulterade i en kravspecifikation som sedan uppdaterades flera gånger, allt eftersom nya krav uppdagades. Det som bör anmärkas är att mjuka värden har lagts till som krav, samt att flera funktionella krav har lagts till eller omprioriterats jämfört med kravspecifikationen som ursprungligen tillhandahölls av Arcam.

En kravlista med antydning till viktning tillhandahölls av Arcam. Denna var en förkortad version av den de tagit fram i samråd med existerande och potentiella kunder. För att inga krav eller områden skulle gå förbi obetänkta genomfördes dock en ny utförlig studie för att sammanställa en kravspecifikation. Genom att ta fram en ny kravspec. erhöles ett mer neutralt synsätt, givetvis jämfördes sedan denna med den av Arcam erhållna listan. Vissa kompletteringar relaterade till lagstiftning och regler, samt ett par som företag ställt lades till och den slutgiltiga listan stod sedan som grund för det fortsatta utvecklingsarbetet. Under arbetets gång upptäcktes också ett par ytterligare krav som lades till i listan. Kravspecifikationen kontrollerades vid de regelbundna mötena med Arcam för att tillse att den uppfyllde deras krav och förväntningar. Se bilaga I.

Ett av de största områden som Arcam förbisett hos PRS:en är ergonomin. Därför genomfördes fördjupade studier inom detta område då ingen kravspecifikation fanns att jämföra mot. Då en helt ny produkt ska tas fram fanns möjligheter att formge koncepten med ergonomi i huvudtanke. Ergonomikraven redovisades delvis separat med viktiga mått och riktlinjer för produktens utformning. Se kapitel 4.1.4.

3.4. KONCEPTFRAMTAGNING OCH IDÉGENERERING

Efter det inledande arbetet med datainsamling påbörjades konceptframtagningen och idégenereringen. Detta arbete skedde iterativt och parallellt med den fortsatta datainsamlingen. Då hela systemet är relativt komplext samlades mer information in efter hand för att besvara de frågor som framkom under konceptframtagningen. Konceptframtagningen skedde främst under två perioder; före första redovisningen då tillräcklig mängd information insamlats och efter första redovisningen då feedback och kommentarer sporrade vidare utveckling. Före första redovisningen togs ett stort antal koncept fram och en grov eliminering utfördes varefter de resterande lösningsförslagen presenterades.

Den huvudsakliga metoden för idégenerering var brainstorming i kombination med skisser. Skissningen användes för att generera fler idéer och för att gruppmedlemmarna tydligare skulle kunna förstå hur en enskild gruppmedlem tänkt kring ett visst koncept. På så vis hittades lättare logiska glapp samtidigt som nya idéer kunde födas ur diskussionerna. Dessa skisser skickades sedan runt i gruppen så att alla fick chansen att hitta nya synvinklar och idéer kring skisserna. Under brainstormingsessionerna delades lösningarna in i olika kategorier (volym-, kassett-, lyftkoncept samt pulverhantering m.fl.) där varje session fokuserade på en av dessa kategorier. I de senare delarna av produktframtagningen togs större hänseende till hur kompatibla de olika delarna var och hur systemet i helhet kunde förfinas.

Efter en omgång brainstorming sorterades de helt orealistiska förslagen bort och ytterligare en omgång brainstorming tog vid. De olika koncepten vidareutvecklades

på detta iterativa sätt där de hela tiden kombinerades och förfinades. När koncepten gått igenom ett antal brainstormingomgångar delades dessa koncept ut inom gruppen, varefter de utvecklades oberoende av resten av gruppen. Se Delresultat för de framtagna delkoncepten.

Riktlinjer skapades för tillverkningsanpassning som framför allt ämnade till att hålla tillverkningskostnader nere, säkerställa att den färdiga produkten kommer att fungera samt för att den färdiga produkten snabbt ska kunna komma ut på marknaden.

3.4.1. EXPRESSIONBOARD

Som hjälp vid utvecklingsarbetet användes en expressionboard som sammanfattade det uttryck som önskades av den slutgiltiga produkten. Expressionboarden baseras dels på den nuvarande produktfamiljen i form av A1 och A2, och dels på de industrier i vilka produkten kommer att användas. Utseende, färger, teknologiskt uttryck visas i ett collage som ger en visuell sinnesstämning som eftersträvas i produkten, både rent visuellt men även användningsmässigt. Dagens PRS användes inte som inspirationskälla vad gäller uttryck då den inte reflekterar företaget och det resultat som önskades.

3.5. VISUALISERING

Vid idégenereringen av volymkoncepten gjordes först enkla skisser som beskrev PRS:ens form. Utifrån dessa skisser gjordes enkla skissartade CAD-modeller för att kontrollera att PRS:ens ingående delar fick plats i det tilltänkta höljet. Det valda volymkonceptet tillsammans med mått från ergonomistudien utgjorde sedan en grund för en ny CAD-modell som därefter användes för underlag för vidare skissning. Detta tillsåg att skisserna som gjordes var rimliga och använde realistiska mått.

PRS:ens utseende bestämdes sedan med hjälp av iterativ skissning där expressionboard, CAD-underlag, samt information och önskemål från Arcam stod i fokus. Då PRS:ens grundläggande utseende bestämts kunde mer detaljerade renderingar göras för att bestämma formen mer noggrant. Parallellt med detta gjordes en mer detaljerad CAD-modell av PRS:en och EBM:en för att studera hur de relaterar storleksmässigt till varandra, samt för att kontrollera att den nyutvecklade PRS:ens uttryck överensstämmer med Arcams image. Då hela grunddesignen var klar gjordes en sista CAD-modell, för att illustrera det färdiga slutkonceptet och måtten, vilket också var den CAD-modell som levererades till Arcam. Modellen syftade även ge ett högkvalitativt underlag till visualiseringar och presentationsmaterial. Ritningarna avses inte användas i konstruktionsavseende vilket medför att många tidsödande detaljer och toleranskrav kunde förbises. Vad som däremot ansågs vara av hög prioritet var överensstämmelse med de ergonomiskt framtagna måtten, korrekta volymer samt en visuell detaljrikedom som tillåter realistiska renderingar av produkten.

Arbetet delades upp i de ingående komponenter som maskinen består av vilket även tillät effektiv uppdelning av arbetsbördan. Utöver kassetterna, som tillhandahölls av Arcam, producerades allt CAD-material internt inom projektgruppen i programvaran "CATIA V5". För rendering användes "Blender" och "LuxRender".

3.6. UTVÄRDERING OCH KONCEPTVAL

Vid en delredovisning framkommer ofta nya tankegångar från publiken som dels måste undersökas vidare och måste införlivas i produkten. Under den första redovisningen för klass och företag togs kommentarer tillvara, vilka sedan användes för att utvärdera och besluta angående koncept, samt ta fram nya koncept och dellösningar. Dessa utvärderas tillsammans med de första koncepten för att ta hänsyn till så många behov och krav som möjligt i det slutgiltiga konceptet.

För att utvärdera koncept och ta fram underlag till beslut gällande konceptval har olika beslutsmatriser använts. Först har en pughmatris använts för att validera att de koncept som utvecklats är bättre än det ursprungliga. Därefter användes en kesselringsmatris för att jämföra koncepten mot varandra. Jämförelsevillkoren i matrisen togs ur kravspecifikationen. Inför ett beslut har åsikter vägts in från utomstående personer i projektet, exempelvis underleverantörer, i de fall sådana åsikter funnits tillgängliga. Efter framtagande av slutkoncept har en LCA gjorts på det färdiga resultatet och jämförts med den ursprungliga produkten. Se bilaga G.

4. DELRESULTAT

Efter inledande arbete sammanställdes resultaten för redovisning. En stor mängd information och kunskap resulterade i ett antal tekniska konceptlösningar och designriktlinjer som i samråd med Arcam behövde sällas för fortsatt arbete med utvalda koncept.

4.1. INFORMATION

Litteraturstudierna resulterade i en stor mängd information som är del i det underlag som detta projekt ska leverera. Denna information är också nödvändig för att motivera lösningarna som presenteras därefter.

4.1.1. ATEX-KLASSNING

De flesta material brinner i luft, förutsatt att de har tillräckligt stor kontaktyta med syre. Ju mer finfördelat det är, desto lättare, snabbare och kraftfullare kommer förbränningen ske, eftersom kontaktytan till syre ökar. Vid tillräcklig koncentration kommer materialet övertända och en explosion sker. Det som krävs för en dammexplosion är med andra ord ett fint damm vilket är finfördelat i luft i en hög koncentration samt en gnistkälla. Gnistkällor kan t.ex. vara; friktion, varma ytor, eld och elektrostatiska urladdningar. (Eckhoff, 2003)

Hur väl en produkt undviker och klarar av att hantera denna explosionsrisk regleras av en ATEX-klassning. Att ATEX-certifiera produkten är utanför gruppens kompetens och är en avgränsning som bestämdes i början av projektet. PRS:en ska dock utformas så att inga uppenbara anledningar finns till varför den inte skulle kunna klara ett sådant certifikat.

Riktlinjer för att uppnå ATEX-certifikat

Resultatet från föregående avsnitt om titan, dess egenskaper och risken för dammexplosioner kan sammanfattas i ett antal riktlinjer och principer som måste användas vid utvecklingen av PRS:en och dess omkringliggande system. Dessa riktlinjer går ut på att göra produkten säker och för att säkerställa att den kan uppnå en ATEX-klassning.

- Blästringsutrymmet måste ha en tillräckligt stor luftvolym för att kunna hantera det kontinuerliga pulverutsläpp som blästringen orsakar. Detaljen och därmed klumpens volym påverkar ej detta tal då det enbart innebär att processen tar längre tid, ej att mer pulver bearbetas per sekund. Pulverflödet går så pass snabbt och volymen fylls med pulver på så pass kort tid att en bufferteffekt ej är relevant i detta sammanhang.

- Utsuget av pulver måste vara så pass effektivt att luften i volymen byts ut i tillräckligt hög takt. Är luftomsättningen inte tillräckligt hög överstiger koncentrationen av pulver i blästringsutrymmet det tillåtna och dammexplosioner kan uppstå. Detta är något som den nuvarande PRS:en klarar och är enbart ett problem om de vill påskynda processen och kunna blästra detaljer på kortare tid. Tiden det tar att blästra är dock redan med dagens maskin betydligt kortare än tiden det tar att producera en detalj i EBM-maskinen.
- Det ställs också krav på utformningen av utrymmet i vilket blästringen sker och alla de ytor som pulverdamm kommer i kontakt med. Det får inte finnas några horisontella ytor där pulver kan ansamlas och där koncentrationen därmed kan bli för hög. Alltför konkava ytor, hörn och vrår bör också de undvikas då en högre pulverkonzentration kan ansamlas vid dessa områden.
- Pulver som är för fint måste särskiljas från det övriga pulvret. Detta då det innehar en ökad explosionsrisk och måste omhändertas innan det kan återanvändas. Detta hanteras genom att det separeras och kasseras i en explosionsklassad behållare som sedan fraktas till en anläggning för sluthantering.

4.1.2. KONKURRENTSTUDIE

Konkurrentstudien och marknadsundersökningen gav resultat i form av inspirationskällor. 'Concept Laser' är ett tyskt företag som precis som Arcam jobbar med additiv tillverkning i främst metall, dock med en laser som värmekälla istället för en elektronstråle. Concept Laser har en intressant trolley för pulverhantering. I stort sett är det en dammsugare på ett stativ som används för att göra rent detaljen med. Detta görs möjligt genom att det omkringliggande pulvret inte sintras ihop till samma grad som i Arcams process, då den teknik som de använder inte behöver förvärma pulvret till en hög temperatur. (Per Woxenius 2011)

EOSINT och MTT är två företag som tillverkar system för lasersintring. De presenterar inget om pulverhantering på sina hemsidor. Båda företagen använder laser, till skillnad från Arcam. Då pulvret också här inte är sintrat på samma sätt blir pulverhanteringen och efterbehandlingen lättare, endast en dammsugare behövs.

Undersökning av andra typer av blästerkammare visar att blästrar har många gemensamma drag som alla kommer ifrån grundläggande funktioner och att det finns mycket få blästerkammare som går utanför de gemensamma dragen. Dagens PRS stämmer väl in på denna standardutformning. En typisk bläster består av:

- En fyrkantig konstruktion med fyra ben och en kon undertill.
- Handskar fastsatta i bläster för att minska kontakt mellan användare och blästerpulver för ökad arbetsmiljösäkerhet.
- En ruta för insyn till arbetsområdet och detaljen som bearbetas.
- Lucka på framsida eller sida för placering av objekt för blästring. Dessa kan öppnas utåt eller uppåt beroende på blästertyp.
- Blästerens kåpa, eller hölje, täcker bara de nödvändigaste delarna och verkar inte ha givits någon särskild tanke eller uttryck. Hela höljets poäng är endast funktionen att täcka in det som ligger innanför för att omöjliggöra åtkomst, inte att ge den ett särskilt uttryck.

4.1.3. ENKÄT

Svaren från enkäten och informationen som framkom är som tidigare nämnt inte fullt statistiskt försvarbar på grund av det låga deltagandet. Totalt har det inkommit svar från fyra kunder på enkäten och enkäten besvarades av inköpare som hade direktkontakt med Arcam, inte av maskinoperatörer vilket var den ursprungliga tanken. Detta har funnits i åtanke när svaren analyserats.

Nedan analyseras samtliga kvalitativa frågor (Se bilaga D för ett fullständigt utdrag av enkäten):

- Antal EBM maskiner, PRS:er och hoppers:
 - Svaren divergerande här till hög grad. Eftersom endast fyra företag har svarat är det svårt att dra en statistisk slutsats. Det finns dock indikationer på att optimering av arbetsflödet kan vara en hög prioritet för kunderna. Denna slutsats kan dras från att flera av kunderna äger mer än ett par hoppers. Framför allt används extra hoppers till att förkorta den tid som EBM:en är inaktiv, eftersom kunderna jobbar konsekvent med samma pulver och inte har något stort behov för att förvara flera olika sorters pulver.
- Hur ofta sker olyckor som leder till spill av pulver:
 - Enligt svaren som erhöles sker sådana olyckor väldigt sällan. Det kan argumenteras att fyra svar är för få för att dra en statistisk slutsats men eftersom svaren är så pass eniga kan detta problem prioriteras lite lägre än förväntat, dock finns det givetvis en osäkerhet på grund av antalet enkätsvar.
- Rengöring av magneten:
 - Under en intervju med Arcams serviceansvarige uppenbarades en misstanke om skillnad mellan det avsedda arbetssättet och det faktiska. Misstanken beprövades i enkäten genom att ställa en fråga med ett brett svarsintervall där endast ett alternativ var korrekt. Istället för den avsedda rutinen, rengöring var tredje användning, svarade flera respondenter annorlunda. Detta bekräftade misstanken eftersom endast en av fyra följde den rekommenderade rutinen. Bekräftelsen har lett till en omprioritering av problemet och gjort kravet till en av de högre prioriterade problemen i utvecklingen.
- Användarupplevelse av maskinerna och arbetsgången:
 - Här formulerades frågorna på ett kvantitativt sätt vilket har lett till att svaren är svåra att tolka. Dels fanns det osäkerhet inom tolkning av frågorna eftersom en fråga om upplevelse kan tolkas olika av olika människor, dels finns det ingen universal tolkning av var, i en skala från ett till fem, olika personer sätter samma upplevelse. Eftersom denna fråga präglades av både kulturell och statistisk osäkerhet i form av få svar har svaren från denna fråga till stor del bortsetts från under utvecklingsarbetet.

4.1.4. ERGONOMI

Litteraturstudier kombinerat med observationer och intervjuer har till största del resulterat i ergonomiska riktlinjer för utformningen. Detta underlag har varit en stor del av det som levereras till Arcam och det är också den stora motiveringen bakom den i slutänden föreslagna utformningen.

Fysisk ergonomi

Försökspersonerna uttryckte under observationer frustration över att detaljer lätt hamnade långt bak i blästerutrymmet där de inte var naturligt åtkomliga utan avsevärd ansträngning och förvrängning av arbetspositionen. Försökspersonernas storlek varierade men de hade alla gemensamt att de hade en dålig arbetsställning. De kortare personerna hade svårt att se arbetsstycket och att nå objekt längre in i arbetsområdet. Personen i mitten av intervallet hade också svårt att nå arbetsstycken längre in på arbetsbordet, samtidigt som denne slog i övre delen av armarna i de högre delarna av armhålen. För att nå och se arbetsstycket tvingades personen trycka sig mot glasrutan vid blästring. Den längsta personen fick böja sig ner för att få in armarna i armhålen samtidigt som denne behövde trycka sig nära rutan för att se.

Vid undersökningar med REBA visades också konsekvenserna av utformningen av PRS:en. Undersökningar av den existerande PRS:en visar att blästring ger en score på 6 poäng. Det innebär att en förändring bör ske snart och att det inte är en hållbar arbetsmiljö för användaren. Resultatet orsakas framför allt av en kombination av böjd nacke, böjda ben och en arbetsställning långt från kroppen. (Bohgard et al, 2008)

Neck	2
Trunk	2
Legs	3
Table A	5
Upper arms	2
Lower arms	2
Wrists	1
Table B	2
Table C	4
Activity	2
REBA score	6
Risk level	Medium



Vid siktning krävs i den nuvarande lösningen en dålig arbetsställning. Kraftigt böjd rygg, böjd nacke och böjda ben för att nå ner till marknivån där sikten står, har gett en score på 5 poäng. Detta innebär att en förändring bör ske inom en kort tidsperiod och att det inte är en hållbar arbetsställning. (Bohgard et al, 2008)

Neck	1
Trunk	3
Legs	2
Table A	4
Upper arms	2
Lower arms	1
Wrists	1
Table B	1
Table C	3
Activity	2
REBA score	5
Risk level	Medium



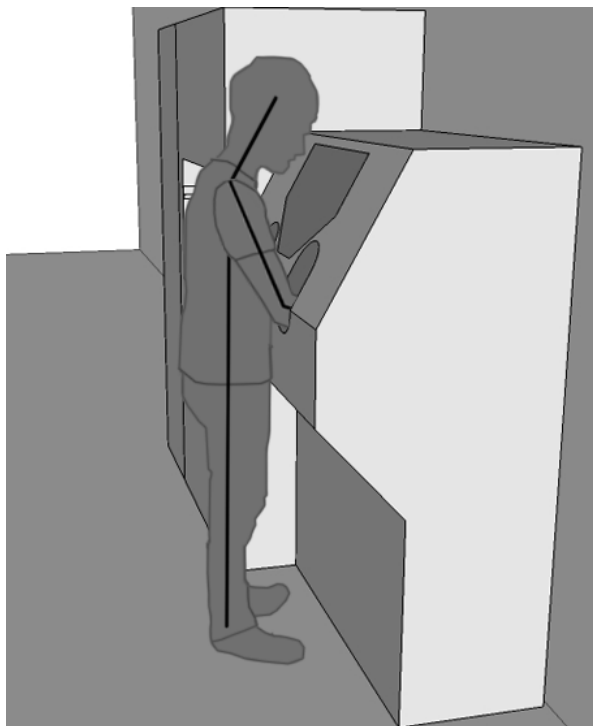
De antropometriska mått som valdes för att utgå ifrån till riktlinjerna är anpassade för den 95:e percentilen av den västeuropeiska befolkningen. I tabellen nedan visas även de antropometriska måtten för den 95:e percentilen av den japanska befolkningen. Nedan syns en tabell med relevanta antropometriska mått för en västeuropeisk och en kortväxt befolkning (Pheasant & Hasselgraave 2009). I tabellen åskådliggörs det varför det är orimligt att anpassa lösningen för en världsbefolkning när till exempel armbågshöjden på japanska kvinnor och holländska män jämförs. Vissa rationaliseringar gjordes därför då kostnaden för en justerbar lösning skulle bli hög och fasta mått var nödvändiga.

Mått [mm]	Percentil	Holland	Japan
Längd	5 % Kvinnor	1545	1450
Längd	95 % Män	1900	1750
Skulderbredd	5 % Kvinnor	330	315
Skulderbredd	95 % Män	445	410
Armbågshöjd	5 % Kvinnor	980	895
Armbågshöjd	95 % Män	1215	1105
Ögonhöjd	5 % Kvinnor	1435	1350
Ögonhöjd	95 % Män	1785	1635

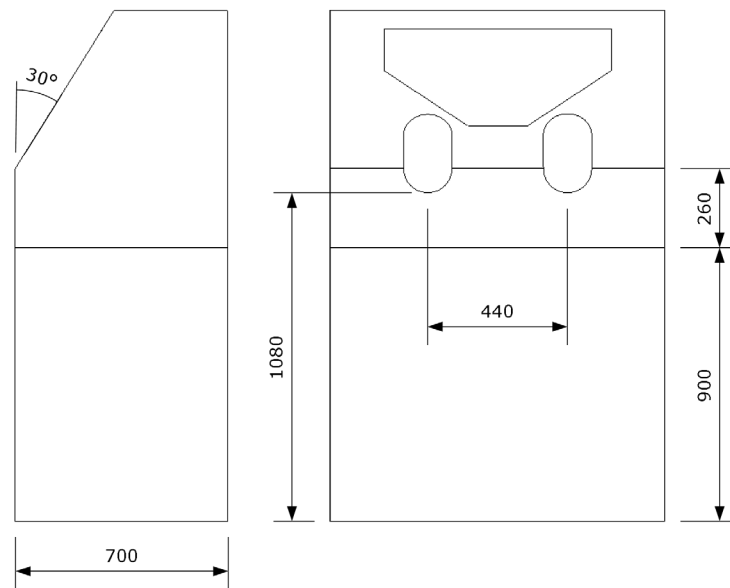
Med dessa mått i åtanke togs en funktionsmodell fram. Måtten på denna utgick från tabellen ovan, till exempel blev avstånden mellan centrum på armhålen 44 cm eftersom detta är strax under den axelbredd de bredaste männen har. Hålens radie valdes till 8 cm för att dessa män ska kunna få in armarna utan problem och det minsta avståndet mellan hålen blir då 28 cm för att göra det bekvämt för människor med en skulderbredd på 33 cm att arbeta. Det är fördelaktigt att arbeta med axlarna över armarna i en lodrät position för att inte spänningar i axlarna ska uppkomma. (Bohgard et al, 2008)

Höjden på hålen och formen på glasrutan bestämdes efter att det experimentellt hade testats med mycket korta och mycket långa personer med hjälp av funktionsmodellen. 118 cm blev lämpligt eftersom de flesta ändå behövde stå med lite utsträckta armar när de jobbade och lutade sig gärna mot kanten på hålet. Mycket korta personer hade problem att se arbetsytan varför glasfönstret förlängdes ner mellan hålen för armarna.

Det noterades också att en vinkel över hålen (knäck på luckan) innebar, förutom bättre överblick över arbetsytan, större möjlighet att räta på armarna utan att de tog i överdelen av hålen. Detta åstadkoms genom att bocka ytan på framsidan mitt över öppningarna för armarna, se illustration.



Följande mått anses vara viktiga för ergonomin. En mindre avvikelse kan tolereras men dessa är de rekommendationer och riktlinjer som studien resulterade i:



När dessa mått verifierats framkom att REBA-graderingen på arbetsställningen hade halverats från 6 till 3 med dessa ändringar och att flera andra belastande arbetsmoment helt hade eliminerats i och med ökad automation. (se bilaga F)

Visuell ergonomi

Den kringliggande miljön kommer troligen hålla en ljusnivå på 500 lux då det följer arbetsmiljöverkets rekommendationer för arbete inomhus (Arbetsmiljöverket, rapport SS-EN12464-1) Arbetsområdet för finmekanik bör ha en ljusnivå på 1000lux. Materialen inuti PRS:en bör vara matta. Den diffusa ljusspridningen gör att bländning undviks vid arbete. Insidan av PRS:en bör ha en färg som ger en hög kontrast mot de valda arbetsmaterialen för att underlätta arbetet vid blästring. Ljuskällan bör placeras så att vinkeln mellan synriktning och ljuskällan överstiger 45 grader. (Bohgard et al, 2008)

Audiell ergonomi

Vid blästring uppmättes en ljudnivå som varierande mellan 78, 80 och 85+ dBA. Den lägre nivån uppnås när maskinen är påslagen och den på 80 dBA under blästring. Den högre nivån uppnås då filter i maskinen rengörs, vilket sker under maskinens drift genom att luftflödets vänds väldigt snabbt. Denna knall är svår att uppmäta då det är en så kort impuls och inga verktyg för mätning av transienter var tillgängliga. Dessa värden överskrider den rekommenderade nivån för arbete enligt arbetsmiljöverkets regler. Även om nivån inte är direkt skadlig uttröttar den användaren (Bohgard et al, 2008)

4.1.5. MARKÅTGÅNG

Ergonomiska och antropometriska litteraturstudier visade att de lösningar där PRS:en krävde tillträde från färre sidor också radikalt minskade den krävda markytan, även om maskinen i sig behövde mer markyta. För studierna har antagandet gjorts att trolleyn behöver en meter frigång från PRS:en och att personer kräver minst 0.5 meter. Detta är inte de optimala måtten för användning, utan de minimala som krävs för användandet. Att ge en större yta runt maskinerna ökar bekvämligheten men är inte ett krav. Detta ger en rättvis jämförelse mellan de olika lösningarna och koncepten.

4.1.6. LCA

Livscykelanalysen av den befintliga produkten (se bilaga G) visade att de flesta ingående materialen och tillverkningsmetoderna är rationella, även om det självklart finns möjligheter till förbättringar. De ingående delarna är till stor del standardkomponenter som tillverkats i stor skala och som används i flertalet andra applikationer. Att tillverka i större skala medför att metoder kan användas som har en större initialkostnad men som över längre tid blir billigare och som medför en mindre miljöpåverkan. Den största volymen och vikten i PRS:en består av stålplåt som bockats till önskad form. I trolleyn består den största volymen och vikten av extruderad fyrkantsprofil i stål som svetsats samman. De utbytbara detaljerna består av PVC och SBR-gummi eller NBR-gummi.

Av de ingående materialen är framför allt PVC ett dåligt alternativ då det vid användning och förbränning frigör dioxiner vilka är kraftigt miljöförstörande (Chemical Week, 1994). Även den färg som används på ytan kan vara problematisk, men det går inte att utröna vad den består av.

De olika delarna i systemet tillverkas i olika delar i världen och sätts ihop i Holland, för att sedan transporteras till Sverige för vidare distribution. Det färdiga systemet är relativt tungt och skrymmande. Däremot är livstiden för systemet lång, samtidigt som endast en liten förslitning sker.

Under användandet av produkten åtgår av naturliga skäl mycket energi - tryckluft tillförs för att driva PRS:en, likaså behövs elektricitet. Förbrukningsmaterial såsom handskar och slangar är av standardmodell och byts ut i regelbundna intervall allt eftersom de slits. Framför allt slangar har en större miljöpåverkan då de innehåller PVC. Jämfört med andra tillverkningsmetoder för titan är denna metod dock mer miljöeffektiv då en större andel av titanet kan användas, speciellt eftersom PRS:en medger användning av det överblivna pulvret och denna miljömässiga fördel är stor.

De ingående metalldelarna kan materialåtervinnas efter användning, men de andra ingående delarna kan troligen bara energiåtervinnas. Då produkten har en lång livstid på grund av teknisk livslängd och inköpskostnad kommer resthanteringen vara ett mindre problem. Konstruktionen är dock sådan att den antingen kan skruvas eller kapas isär. Brist på märkning kan dock göra återvinningen problematisk.

4.2. KRAVSPECIFIKATION

Enkäten påvisade vissa brister i Arcams information och det framkom att vissa regler som Arcam gett till sina kunder och deras operatörer inte följdes. Detta fick som följd att vissa viktiga moment, som kan ge upphov till olyckor om de inte följs, bör automatiseras och ansvarsbefria användaren. Den slutgiltiga kravspecifikationen kan läsas i Bilaga I.

4.2.1. EXPRESSIONBOARD

Arcam har redan tydliga riktlinjer vad gäller utseende av deras EBM-maskin som bör efterföljas och uttrycket är ett krav som lättast beskrivs i bilder. Den expressionboard som skapades gjordes för att kunna överföra de grundläggande värdena på en ny PRS. Andra material och produkter hittades för att designprocessen skulle frigöra sig från EBM-maskinen men ändå bibehålla samma uttryck. Denna expressionboard kan ses som en del av kravspecifikationen då samhörighet uttrycksmässigt var ett av kraven.



Fig. 13

4.3. KONCEPT

Då systemet är stort har ett antal konceptområden tagits fram för att åtgärda de problem som hittats. Även om förslag framkom under idégenereringsprocessen som inte följde kravspecifikationen följer de slutgiltiga koncepten den. Många av lösningsförslagen kan implementeras oberoende av varandra, dvs. oberoende av vilken kombination av lösningar som väljs för den slutgiltiga designen. Till dessa koncept hör elektromagnet, pulverstockningslösning, blästerlucka, interiör i blästringsutrymmet, volymkoncept, val av automationsgrad, lyft av färdig produkt och kassetval. Ett stort antal koncept har tagits fram, sorterats, jämförts och vägts mot varandra innan ett slutgiltigt beslut har tagits.

4.3.1. KONCEPT: ELEKTROMAGNET

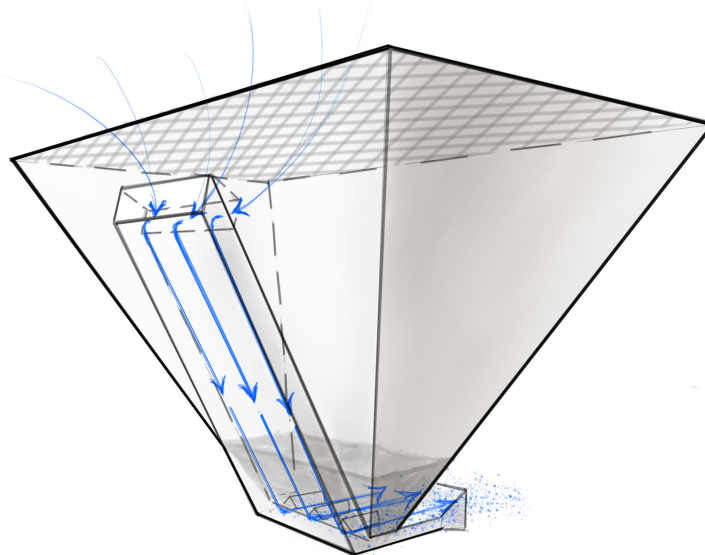
Det är nödvändigt att separera så mycket av det obehöriga pulvret som möjligt för att titanpulvret ska förbli okontaminerat. Då titanpulvret är omagnetiskt medger detta möjligheter att sortera bort annat pulver som är magnetiskt med hjälp av magnetism. I dagens PRS består detta magnetiska filter av en dyr och mycket stark jordartsmagnet.

Ett koncept som snabbt framkom som en möjlighet var att, istället för den dyra permanentmagneten, använda en elektromagnet. Den framträdde sedan vid närmare undersökning som ett utmärkt alternativ då den innehar flera fördelar i jämförelse med den lösning som används i dagsläget. En elektromagnet kan i kontrast till permanentmagneten stängas av vid behov, till exempel när den tas ut för rengöring. På detta sätt kan klämskador och olyckor orsakade av permanentmagneten undvikas. (Krav 5.4) Automatisk rengöring skulle också kunna vara möjligt genom att helt enkelt stänga av den och då låta det magnetiska pulvret som fastnat falla ner i en separat behållare. Det manuella momentet med att ta ut, rengöra och sätta tillbaka magneten undviks då helt. När det dessutom visade sig att en elektromagnet skulle vara betydligt billigare stod valet klart. Det finns dock en nackdel och det är den strömförbrukning den orsakar. Fördelarna anses dock överväga nackdelarna med god marginal då den minskade skaderisken och bortfallet av manuella moment inte ska underskattas.



4.3.2. KONCEPT: ANTI-PULVERSTOCKNING

För att göra processen med pulverhantering så enkel och intuitiv som möjligt gjordes valet att hantera all påfyllnad av pulver via blästerutrymmet för att uppfylla krav 1.2, 1.4 och 1.5. Detta innebär att både tömning av dammsugare, påfyllning av nytt pulver samt det pulver som lossnar vid blästring alla delar samma lösning. Pulvermängden som måste omhändertas kan dock vara mycket större då en behållare töms i blästerutrymmet. Detta skapar ett problem då röret som transporterar pulvret vidare från blästerutrymmet kan blockeras och därmed stoppa flödet. För att angripa detta problem har ett nytt koncept tagits fram där en extra luftväg leder till undertrycksröret. Denna alternativa luftväg har en mynning i övre delen av uppsamlingstratten för att på så sätt omöjliggöra stockning då stora pulvervolymer kommer samlas i botten av tratten. I mynningen sitter spalter som pulvret kan rinna igenom för att därefter lägga sig på en platta som ligger precis under dessa spalter. Detta bildar högar med pulver där luft kan passera mellan och det är även här som den alternativa luftvägen ansluter till huvudflödet. I sin helhet kan detta leda till att pulverstockning förhindras då de högar som bildas snabbt kommer försvinna på grund av det alternativa luftflöde som passerar.



Detta koncept är helautomatiskt men även mekaniskt och utan rörliga delar vilket medger en billig tillverkning samt låga krav på service och underhåll. Teorin är än så länge obeprövad, men enkelheten i konceptet gör att verifiering via tester bör kunna genomföras till ett mycket lågt pris.

4.3.3. KONCEPT: OLIKA AUTOMATIONSGRADER

För att förbättra processen kan moment såsom siktning och påfyllning av kassetter automatiseras. Att automatisera delar av processen minskar antalet delmoment användaren måste utföra, minskar risken för pulverbortfall och innebär i överlag en effektivare process. Detta avlastar även användaren mentalt och fysiskt. Att införa olika grader av automation uppfyller främst funktionalitetskravet 1.8, 'Möjliggöra automation i PRS:en' men förbereder också för en enklare lösning av krav 2.7, 4.2, 4.3, 5.6 och 6.8. Se vidare Bilaga I för fullständig kravspecifikation.

Automationskonceptet delades in i tre mindre koncept med olika grad av automation. De tre koncepten skiljer sig i hur tekniskt komplicerade de är och hur stora fördelar en implementering skulle innebära. Deras olika komplexitetsnivåer innebär varierande utvecklings- och tillverkningskostnader samt olika behov av underhåll. Dessa är de tre koncepten från minst till mest tekniskt avancerat.

Mekanisk automatisk påfyllning

Ett sätt att styra påfyllning av kassetterna är med en helt mekanisk lösning. Påfyllningen påbörjas genom att användaren interagerar med en kran som låter pulvret flöda ner genom sikten till kassetterna. Stoppat flöde vid fulla kassetter och balansering av påfyllning mellan kassetterna för att hålla jämn nivå går att lösa rent mekaniskt med fjädrar och spjäll. Det blir dock troligen både dyrare och mer komplicerat än en elektronisk lösning, ett antagande som även fått understöd av Arcam.

Elektroniska givare

Detta koncept använder sig av minsta möjliga mängd elektroniska komponenter för att styra påfyllning av kassetterna. En knapptryckning startar fyllningen av kassetterna. Kassetterna är fjäderupphängda över kontaktströmbrytare. Då kassetterna är fulla tynger de ned fjädern och vidrör strömbrytarna undertill som då avbryter påfyllningen. Lösningen torde vara förhållandevis billig att utveckla och tillverka men mekanismen måste kalibreras för att påfyllningen ska stängas av vid rätt nivå. Systemet skulle med en enkel givare kunna indikera kassetternas fyllnadsgrad. Trots att detta koncept är mer avancerat än det rent mekaniska konceptet är det troligen mindre kostsamt att både utveckla och tillverka.

Datorstyrning

I detta koncept implementeras en datorenhet för styrning av alla automatiska processer. Styrning och utvärdering av processer sker via en display på PRS:ens framsida. Datorenheten kan avläsa och indikera mätvärden från sensorer vid olika delar i PRS:en, t.ex. mäta kassetternas vikt och därmed fyllnadsgrad med hjälp av lastceller. Andra värdefulla värden som kan mätas är cyklonens fyllnadsgrad, drifttid och därmed behov av tömning av avfallstank, samt tryckskillnaden över luftfiltret, vilket kan indikera behov av byte av detta. Datorenheten kan även underlätta styrning av elektromagneten och styra eventuell halvautomatisk blästring. Då elektronik och mätinstrument utgörs uteslutande av standardkomponenter driver detta ned tillverkningskostnaderna, men mjukvaruutveckling och testning av systemet i kombination med små upplagor gör att konceptet i sin helhet kan bli relativt dyrt ur investeringssynpunkt. Systemet kan dock implementeras delvis initiiellt varefter det enkelt kan expanderas med fler komponenter.

4.3.4. KONCEPT: ERGONOMISK BLÄSTERLUCKA

För luckan till blästerutrymmet togs endast ett koncept fram eftersom utformningen till stor del var geometriskt låst av de tidigare ergonomistudierna. Det diskuterades om luckan skulle placeras på sidan eller på fronten av maskinen. Valet föll på att sätta den på fronten eftersom det dels ger bättre åtkomst till hela blästerutrymmet och dels gör maskinen mindre platskrävande och mer lättmöblerad.

Detta kan dock medföra att mindre mängder pulver hamnar på golvet framför maskinen, vilket kan göra golvet halt (krav 6.6). Detta kan dock till viss del avhjälpas genom att det dels sitter en avrinningslist på insidan av luckan och dels genom att luckan öppnas rakt

upp för att inte skapa undertryck när luckan öppnas.

Gummihandskarna är på den nuvarande PRS:en för stora för att medge smidig hantering av detalj och blästerpistol. Anledningen till att de är såpass stora sägs vara att de skall kunna användas även med arbetshandskar. Förslag på lagom storlek är ca 26 cm/10.5 tum omkrets kring knogarna vilket motsvarar handskstorlek XL för män i de flesta sortiment. Detta ger de flesta möjlighet till att hantera produkten även med handskar, utan att de bli överdrivet otympliga. Längden på handskarna (inklusive skaft) bör vara cirka 80 cm för att ge åtkomst till hela arbetsytan (krav 4.9).

4.3.5. KONCEPT: INTERIÖR I BLÄSTRINGSUTRYMMET

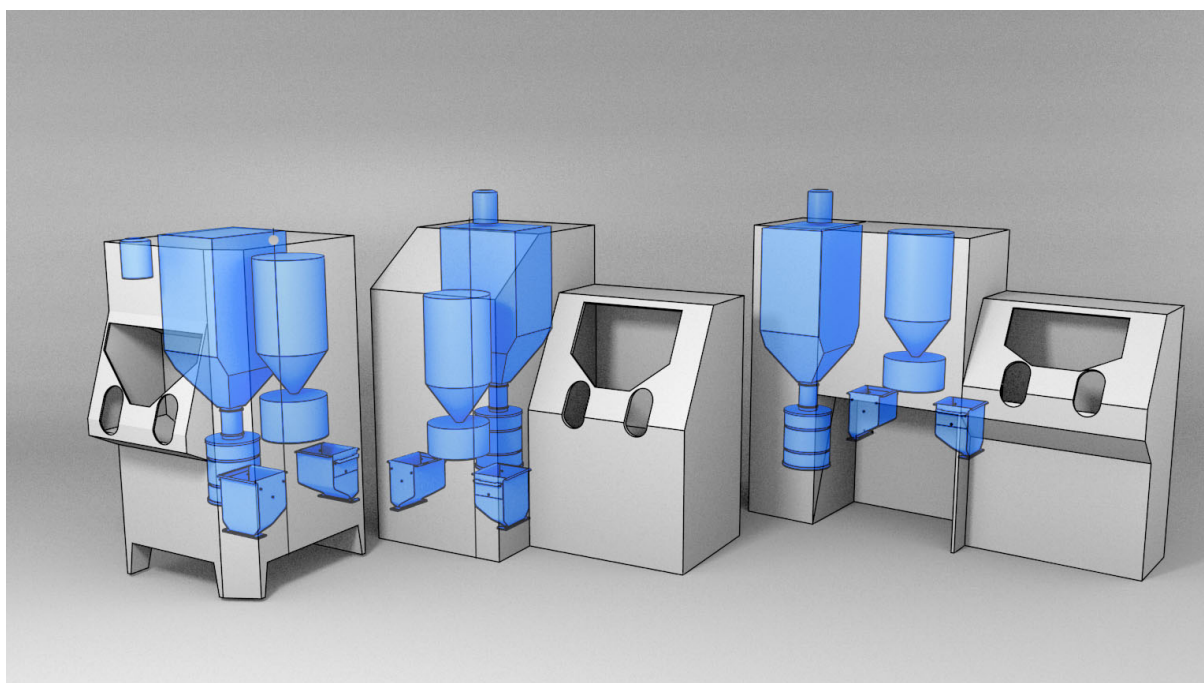
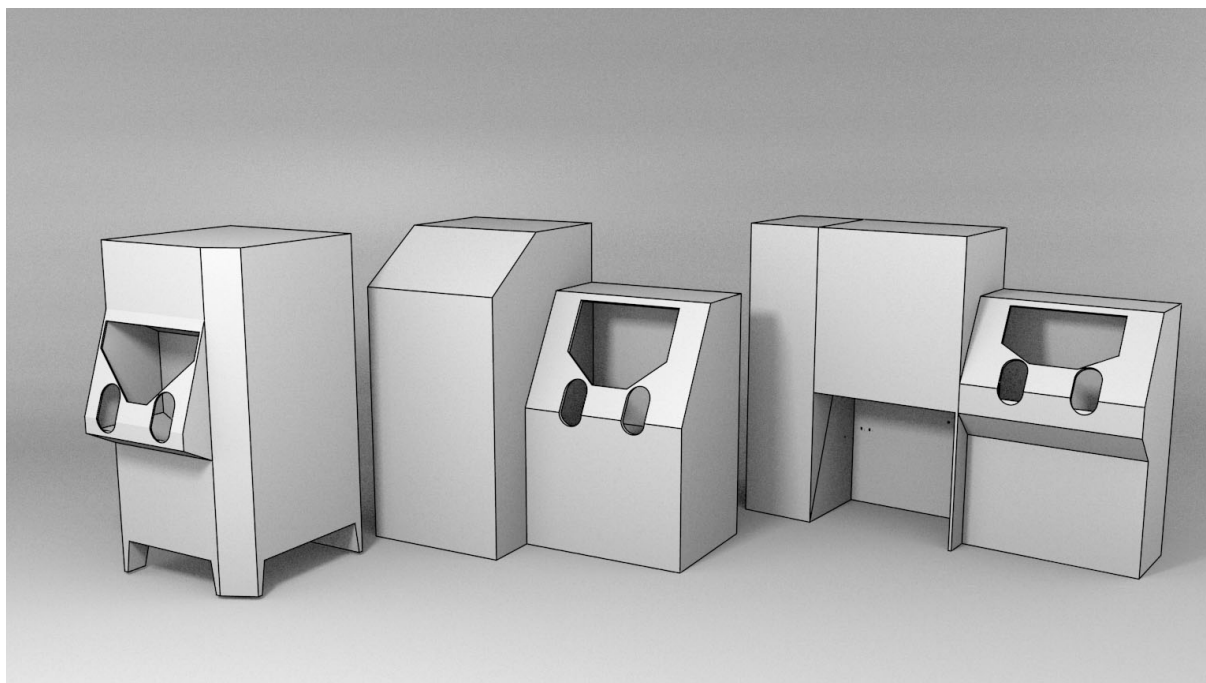
Interiören i blästerskåpet fungerar relativt väl i det nuvarande PRS-systemet, men behöver likväl ses över efter de ändringar som gjorts på produkten som helhet. Grunden är densamma som i dagens PRS, dvs. ett galler som fungerar som arbetsytan och täcker ett tvärsnitt i interiören. I dagens PRS placeras en platta av samma material som detaljen tillverkas i på detta galler. Denna har som syfte att minska förslitning på gallret vilket leder till kontamination av pulvret. Förslagsvis kan detta galler tillhandahållas separat i det material som kunden avser arbeta med. Eventuellt kan även möjligheter att tillåta slitage, men utnyttja magnetavskiljaren för att undvika kontamination undersökas.

Arcam har även uttryckt ett önskemål om att tillhandahålla en lagerupphängd roterbar platta till systemet för att underlätta manövrering av objekt inuti PRS:en. Denna bör dock vara ett separat tillbehör då den endast fyller en funktion för större detaljer. En sådan platta kan enkelt placeras separat och har förslagsvis en "fot" som passar in i gallrets hål och därmed undviker sidledsflyttning.

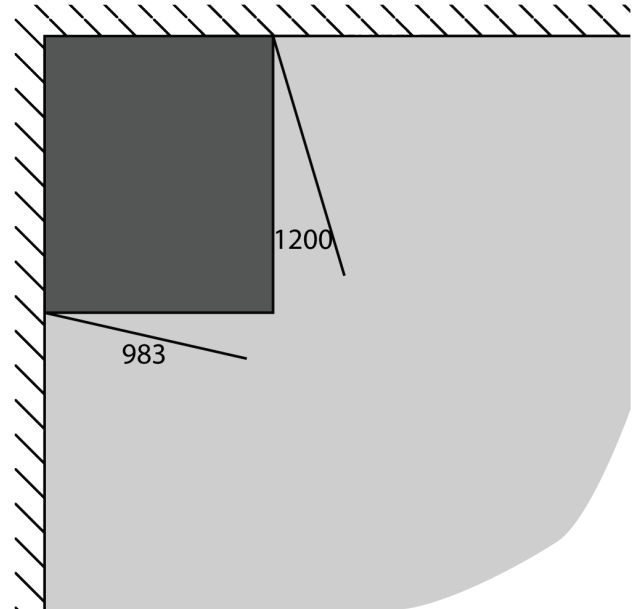
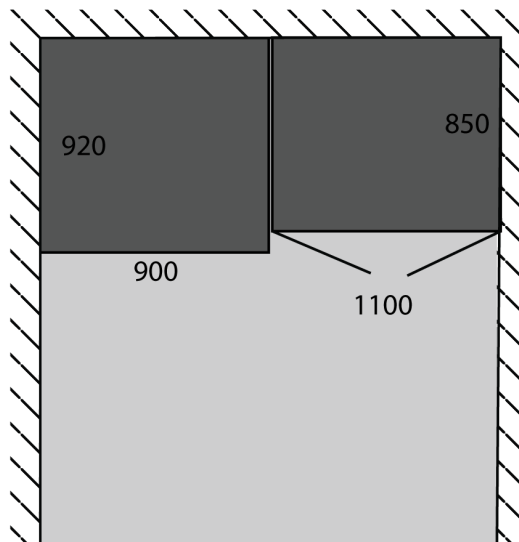
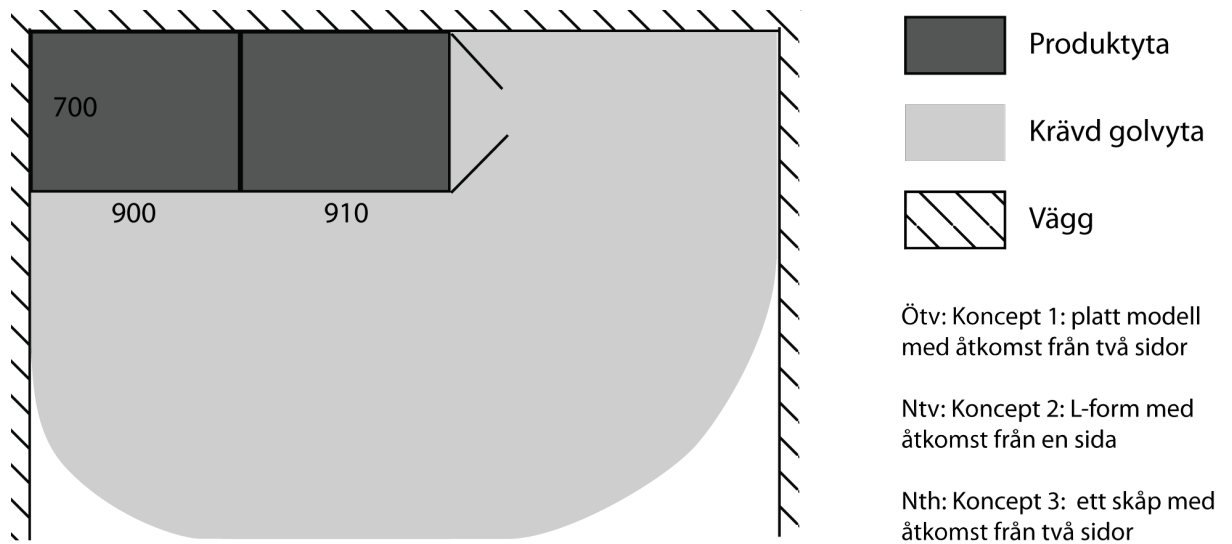
Då luckan till skåpet öppnas framåt är det viktigt att inget pulver samlas på kanten till luckan. Den yttersta kanten har därför ett kort parti som sluttar in i PRS:en. I och med detta minskar risken att pulver spills vid hantering med öppen lucka avsevärt. Spillt pulver är inte bara en ekonomisk fråga utan även en arbetsmiljöfaktor då det smutsar ner, samt kan göra golvytan hal (krav 6.6).

4.3.6. KONCEPT: VOLYMMODELLERNA

För att kunna gå vidare med utformningen av skåpets yttre krävdes det att produktens interna uppbyggnad och hur de ingående komponenterna placerats i förhållande till varandra bestämts. För att åstadkomma detta designades flera primitiva volymmodeller vari de interna komponenterna placerats för att på så vis testa olika volymer och hur mycket plats som krävdes.



Hänsyn togs till såväl den golvyta som krävs på grund av åtkomst från olika sidor som hur produkten ska fraktas och kunna transporteras. Fördel gavs därför till de som tog upp en mindre volym, golvyta (krav 3.5, 3.7) samt de som gick att dela under transport och som kan flyttas med gaffeltruck. Tre koncept framträdde över de andra och en överskådlig bild över dem kan skådas nedan. Markåtgången av de tre koncepten kan också ses nedan.



Den krävda golvytan är den absolut minsta ytan som är möjlig och acceptabel. För optimal hantering och förbättrad arbetsmiljö krävs en större golvyta. Den krävda golvytan har tagits fram med antagandet att trolleyn behöver 1 meter fritt utrymme bara för själva öppnandet av luckan. I övrigt behöver en vuxen person minst 500mm fritt utrymme för att kunna röra sig. Vagn och person behöver därmed 1500mm för manövrering och hantering. Även om den nya modellens bottenarea är större kommer det krävda utrymmet kring produkten att minska drastiskt jämfört med befintlig modell, även när ena luckan på den befintliga modellen är stängd.

Det första konceptet består av två separerade skåp där det ena innesluter blästringskammaren och det andra skåpet innehåller de resterande komponenterna. Det andra konceptet har samma uppbyggnad med ett skåp med blästringskammare och ett annat med resterande komponenter. Den största skillnaden består i hur kassetterna orienteras och därmed hur många sidor som används för skåpsöppning. En fördel med den platta modellen är att dess djup är litet, därmed blir den lätt att placera i rummet. Åtkomsten från två sidor gör den krävda markytan större. En fördel med det L-formade konceptet är dess effektiva användande av markytan. Däremot kommer den ge intrycket av att vara större än det platta konceptet då det är djupare.

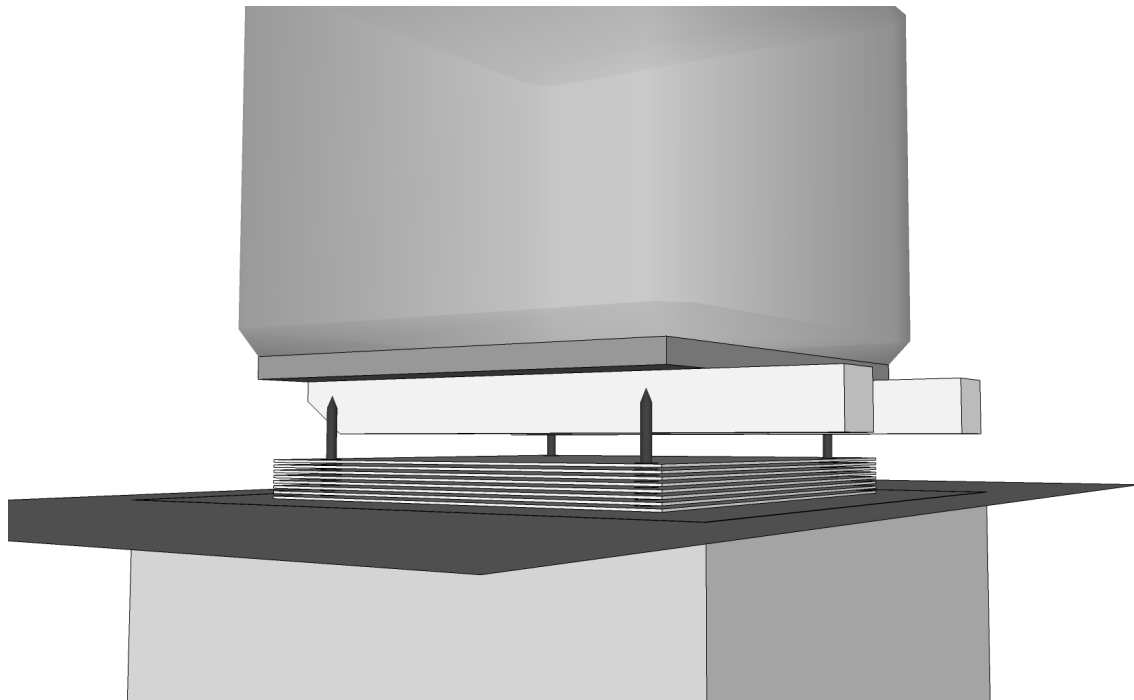
Det tredje konceptet skiljer sig från de två föregående då det består av bara ett skåp. Det är mindre till volymen då de interna delarna passats in runt blästringskammaren till en mer kompakt design. Nackdelen med denna som den delar med det första konceptet är att åtkomst från två sidor krävs. Detta gör att den trots sin mindre volym tar upp mer plats vid möblering för att kunna ta sig runt den. Alla tre koncept har försökt efterlikna Arcams resterande produkter som är utformade som höga kylskåpsliknande kabinetter med rena och raka linjer.

4.3.7. KONCEPT: LYFT FRÅN EBM-MASKIN TILL PRS:EN

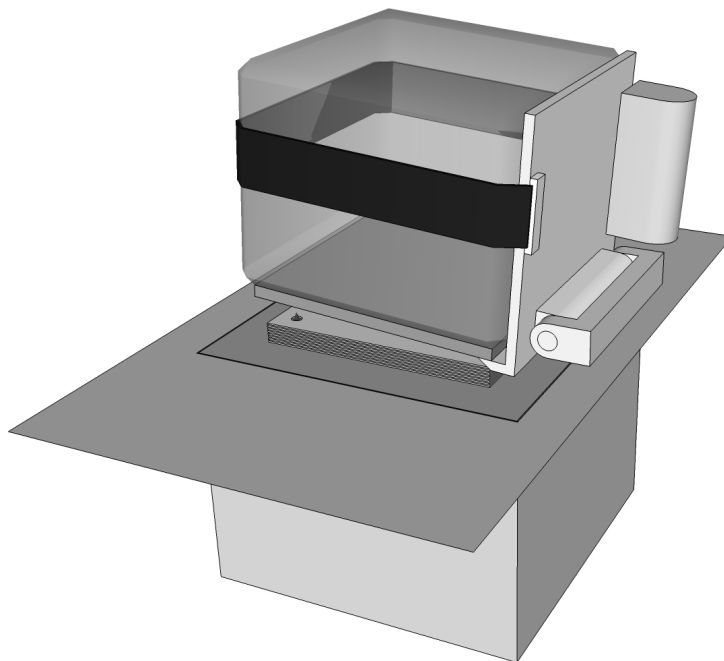
Den klump av sintrat pulver som innesluter den skapade detaljen skapar flertalet problem. Dess vikt gör att den är svår att förflytta för hand, speciellt vid större byggen. Den porösa strukturen resulterar i att klumpen kan falla sönder vilket gör den svår att enbart ta tag i och förflytta (krav 3.6). I dagsläget välts klumpen ut för hand på ett transportbleck varefter det fraktas för hand till PRS:en (konflikt med krav 4.3 och 2.4). I arbetet med att underlätta denna transport och minska belastningen på operatören togs flera olika koncept fram. De som inneslöt hela detaljen genom att till exempel fälla över ett skydd visade sig efter samtal med Arcam vara onödigt beskyddande. De tre förslag som kvarstod och som presenterades i konceptform till Arcam var ett koncept med en underliggande gaffel, ett annat koncept med ett åtstramande band och ett sista koncept med lister som griper tag från sidorna.

På grund av klumpens tendens att släppa fragment och mindre klumpar inkluderar alla koncept transportblecket. Det kan samla upp pulver och klumpar som faller sönder och förhindrar på så vis spill på golv och föroreningar i arbetsmiljön. Att inkludera det existerande transportblecket medför även andra fördelar. Genom att låta det vara avtagbart från resten av förflyttningsanordningen medges även möjligheten att transportera mindre detaljer med enbart transportblecket. Vid tillverkning av mindre detaljer kan en större anordning anpassad för att klara stora och tunga detaljer te sig otymplig och onödig. Att enbart plocka över dem till transportblecket och bära dem kan i de fall små detaljer tillverkas vara enklare och smidigare.

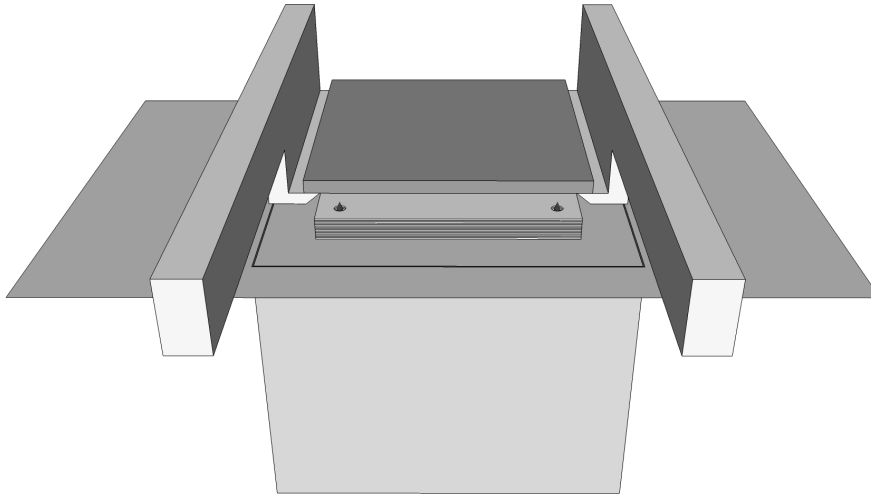
Efter att detta klargjorts återstod problemet med hur stora objekt ska flyttas över till transportblecket. Den mest rudimentära lösningen är att lyfta klumpen genom att skjuta in något undertill för att lyfta och skjuta ut klumpen. Detta medför enbart små risker för sönderfall av klumpen då lyftkraften fördelas på undersidan. Att lyfta underifrån medför dock naturligtvis problem i form av hur något kommer in under till att börja med. Då en kolv redan finns på plats undertill skulle denna kanske gå att utnyttja. Genom att låta den trycka upp klumpen och använda ett par piggar som trycks upp genom de isolerande plattorna skapas en luftspalt där en gaffel kan tryckas in,



För att undvika modifikationer i EBM-maskinen togs också andra förslag fram som baseras på att ta tag i klumpen från sidorna. Den första av dessa går ut på att höja upp klumpen i ett band som sedan dras åt som en snara. Detta band är av bredare typ för att fördela kraften på en större yta. Därefter dras klumpen ut och, om möjligt, lutas också klumpen så att en större del av vikten kan läggas mot en fast yta enligt följande bild.



Den sista lösningen lyfter klumpen genom att skjuta in två lister längs de nedre kanterna på klumpen. Detta koncept antar att de går att skjuta in en bit då klumpen inte är ett perfekt block och att klumpen håller ihop trots den förhållandevis lilla kontaktytan. Möjligtvis kan listerna gripa i startplattan under klumpen. Därefter lyfts klumpen ut med dessa lister som stöd.

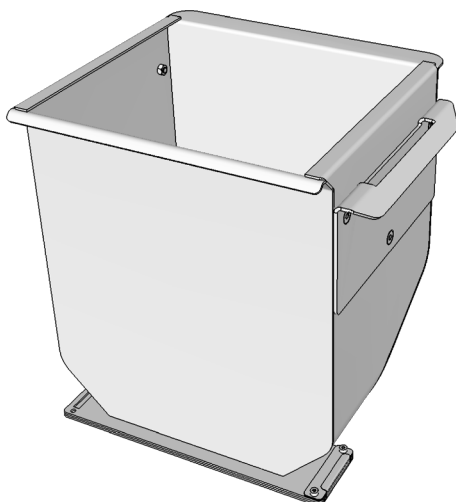


4.3.8. KONCEPT: KASSETTER OCH DERAS PÅFYLNING

Skillnaderna mellan koncepten och den ursprungliga kassetten består i hur pulvret fylls på och hur pulvret skyddas. Den övriga utformningen av kassetten kvarstår med samma typ av spalt längst ner och samma utformning på kassetten volym. När kassetterna ska fyllas på är spalten förtäckt med ett spjäll. Detta spjäll dras bort vid körning i EBM-maskinen. Gemensamt för de tre koncepten är att denna list har förlängts så att EBM-maskinens dörr inte går att stänga utan att spjällen tas bort. Detta motverkar att EBM-maskinen körs utan att pulver dispenserar. De tre koncepten har gemensamt att de medger manuell påfyllning, men grundtanken är att siktning och påfyllning ska vara integrerad i PRS:en och att dessa funktioner ska ske automatiskt.

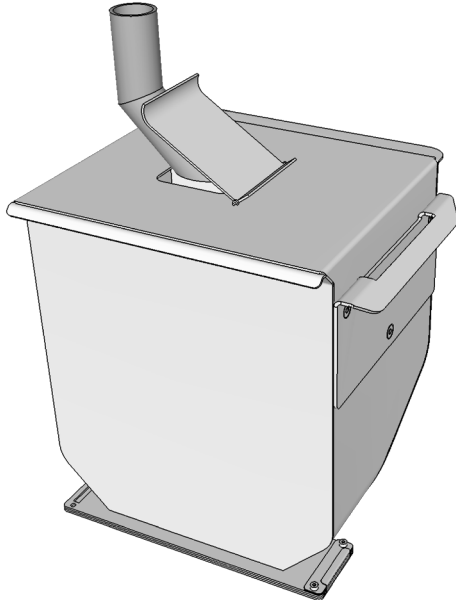
Ursprunglig kassett:

Kassetterna påfylls ovanifrån och har inget skydd för pulvret. Påfyllningen är manuell och sker antingen med nytt pulver eller siktat pulver från PRS:en.

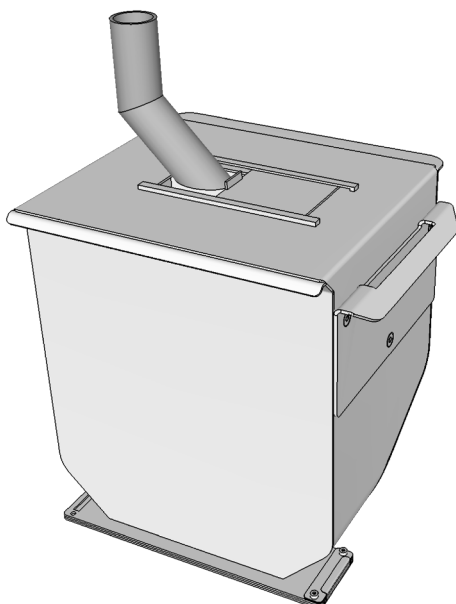


Koncept 1: topplucka

Kassetten har ett lock. I locket finns ett hål, som är förtäckt med en lucka. Luckan har en bockning i vardera ände vilket medger påfyllning via ett rör som puttar upp locket. Röret är integrerat i PRS:en och fyller på siktat pulver. Den andra bockningen säkerställer att lucka inte faller över. Luckan stänges med hjälp av tyngdkraft när röret dras bort. Luckan medger även påfyllning med nytt pulver.

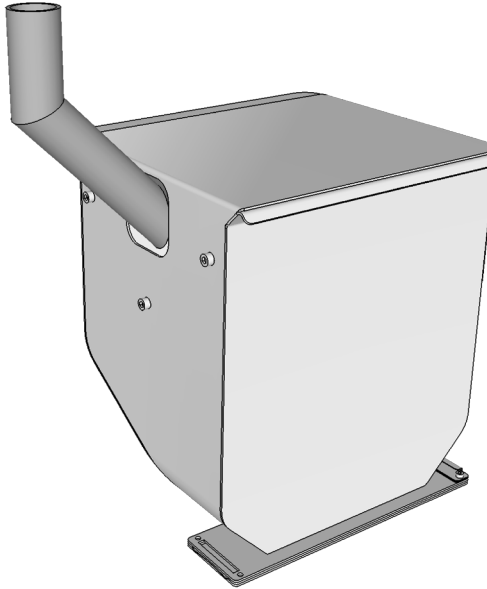
**Koncept 2: skjutlucka**

Kassetten har ett lock. I locket finns ett hål som är förtäckt med en skjutlucka. Inuti kassetten finns en fjäder som trycker locket på plats. När kassetten skjuts in i PRS:en skjuter det integrerade röret bort locket och siktat pulver kan fyllas på. När kassetten dras ut ur PRS:en skjuts luckan igen p.g.a. fjädern.



Koncept 3: sidlucka

Kassetten är helt tillstängd på ovansidan. Det finns ett lock på baksidan som öppnas inåt. När kassetten skjutes in i EBM:en skjuts ett rör in i kassetten, genom vilket pulver fylls på. När kassetten dras ut kommer locket falla ner igen med hjälp av tyngdkraften. Luckans utformning måste medge maximalt utnyttjande av kassetterns volym samtidigt som påfyllnadsröret helst ska vara sluttande för att inte pulver ska fastna i detta. Det finns alltså en konflikt mellan dessa krav.



4.4. KONCEPTUTVÄRDERING

Det fanns fyra områden där fler än ett koncept var valbart och ett konceptval med hjälp av matriser var nödvändigt. Först användes en pughmatris för att säkerställa att de utvecklade koncepten var bättre än den ursprungliga lösningen. Detta gjordes genom att gå igenom de olika rubrikerna från kravspecifikationen och se om konceptet var bättre eller sämre.

De koncept som sedan gick vidare till kesselingsmatrisen jämfördes utifrån specifika krav i kravspecifikationen som berörde de områden koncepten presenterade en lösning i. Interna diskussioner, diskussioner med Arcam och underleverantörer av den befintliga PRS:en samt avstämning mot matriser och kravspecifikation ledde till valet av varje delkoncept. Valet behöver inte nödvändigtvis följa resultatet om klara fördelar kan uttydas med en av de delkoncept som fått sämre resultat. Arcam fick genom diskussioner i samband med redovisning och presentation.

4.4.1. VAL AV AUTOMATIONSGRAD

Chalmers		Pughmatris (Relativ beslutsmatris):		
		Automatisering		
Utfärdare:		Skapad: 040515 Modifierad: 040830		
Kriterier	Alternativ			
	Ref	A		
funktionalitet	0	+		
prestanda	0	+		
ergonomi	0	+		
service/underhåll	0	+		
säkerhet	0	+		
produktion/tillverkning	0	-		
mjuka värden	0	+		
Antal +		6		
Antal 0		0		
Antal -		1		
Nettovärde		5		
Rangordning	2	1		
Vidareutveckling		JA		
Beslut				

Koncepten för automationsgrad skiljer sig endast i tekniken men har i grunden samma funktion. Som matrisen ovan visar är en automatisering av produkten att föredra i aspekter som funktionalitet, prestanda och ergonomi. Nackdelen är ökningen av produktionskostnaden. I denna aspekt skiljer sig de tre olika koncept åt eftersom utvecklings- och tillverkningskostnad för dessa koncept är olika.

Chalmers		Kesselringmatris: Automatisering										
Utfärdare:				Skapad: 040516				Modifierad: 040830				
Kriterier		Alternativ										
		Ideal			A		B		C		D	
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	
kostnad	4	5	20	2	8	4	16	2	8	5	20	
möjliggöra automation av pistol	1	5	5	2	2	3	3	4	4	1	1	
kognitiv ergonomi	3	5	15	2	6	3	9	4	12	1	3	
underhåll	2	5	10	3	6	2	4	4	8	4	8	
säkerhet	4	5	20	2	8	4	16	5	20	2	8	
mjuka värden	1	5	5	2	2	4	4	5	5	1	1	
Total		30	75	13	32	20	52	24	57	14	41	
Rel total		1,00	1,00	0,43	0,43	0,67	0,69	0,80	0,76	0,47	0,55	
Medel		5,00		2,17	5,33	3,33	8,67	4,00	9,50	2,33	6,83	
Avvikelse		0,00	5,83	0,28	2,22	0,67	5,00	0,67	4,33	1,44	5,17	
Median		5,00		2,00	6,00	3,50	6,50	4,00	8,00	1,50	5,50	
Antal svaga punkter		0		0		1		1		2		
Rangordning					4		2		1		3	
Beslut	C väljs då den har högst resultat och är i andra avseenden lämplig.											

A: Mekanisk, B: Elektronisk, C: Digital, D: Manuell.

I Kesselringmatrisen har de tre koncepten, mekanisk, elektronisk och digital automatisering jämförts med varandra, med ett fiktivt ideal och med den nuvarande lösningen vilken är manuell hantering. Kriterierna har rankats enligt följande ordning:

- Säkerhet och kostnad har högst värde i urvalsprocessen på grund av deras betydelse för implementeringen av systemet. Lösningen måste vara inom en rimlig kostnadsram och samtidigt uppfylla samtliga säkerhetskrav som ställs. Uppfylls inte dessa kan produkten aldrig bli verklighet så därför rankas de högt.
- Implementeringen av automatisering ska helst bidra till förbättrad kognitiv ergonomi i produkten och själva lösningen ska vara enkel och förståelig för optimering av användningstiden. Förbättras inte ergonomin eller produktens effektivitet finns det inte längre någon anledning att automatisera produkten.
- Underhåll måste kunna ske enkelt för att Arcam ska vilja utveckla en ny produkt då detta påverkar dem mycket. Implementeringen av dessa koncept ska inte leda till ökning av svårighetsgraden och tiden det tar att utföra underhåll och service på produkten. Denna rankades lägre då det är ett sekundärt önskemål som inte påverkar operatören och som ytterst sällan påverkar då service utförs ca en gång per år.
- Sist jämförs konceptens påverkan på produktens mjuka värden och möjligheten för vidareutveckling av automation för blästringen.

Utifrån tidigare nämnda kriterier har det digitala konceptet valts eftersom det uppfyller, enligt kriterierna, 76% av idealet. De andra koncepten har uppfyllt 43% respektive 69%. Den är något svag ur kostnadssynpunkt, men dess påverkan i övriga aspekter väger upp mot kostnaden. Detta presenterades för Arcam och de förstod fördelarna som denna lösning innefattade. De var dock något kritiska till kostnaden och ser också möjligheter med de andra lösningarna beroende på den exakta slutkostnaden för lösningarna.

4.4.2. VAL AV VOLYMSMODELL

Flera dellösningar och idéer sammanställdes vilket gav upphov till olika kombinationssystem. Dessa reducerades till ett par olika koncept genom att passa in delarna i olika utformningar på kabinettet, själva skåpets ytterskal. En faktor som påverkades mycket beroende på hur de interna delarna placerades var storleken, både i form av mått som produkten tar upp i höjd/bredd/djup men också den storlek den uttrycker. Åtkomst från flera sidor beaktades också då storleken på vissa koncept kan tillåtas vara lite större om de då kompenserar genom att kräva mindre golvyta. Detta gör de genom att all åtkomst sker från en sida och produkten därför inte kräver något fritt utrymme på de andra sidorna. Mer om detta finns att läsa under markåtgång.

Chalmers		Pughmatris (Relativ beslutsmatris):				
		Volymkoncept				
Utfärdare:		Skapad: 040515 Modifierad: 040830			Sid 1	
Kriterier	Alternativ					
	Ref	KMC	A	L	M	
Funktionalitet	0	+	+	+	+	
Prestanda	0	+	+	+	+	
Kompabilitet	0	0	+	+	+	
Ergonomi	0	0	+	+	+	
Service, underhåll & installation	0	0	0	0	0	
Säkerhet	0	0	+	+	+	
Produktion, tillverkning	0	-	-	-	-	
Mjuka värden	0	0	+	+	+	
Antal +	0	2	6	6	6	
Antal 0	8	5	1	1	1	
Antal -	0	1	1			
Nettovärde	0	1	5	5	5	
Rangordning	3	2	1	1	1	
Vidareutveckling			JA	JA	JA	
Beslut						

A: Platt modell med två skåp. L: L-formad, två skåp. M: ett skåp, liknande Arcams nuvarande EBM-skåp.

Efter den första jämförelsen av koncepten var ställningen jämn mellan dem. Inget av förslagen framstod som utmärkande bra eller dåligt och därför gjordes jämförelsen om i en viktad matris.

Chalmers		Kesselringmatris: Volymskoncept												
Utfärdare:					Skapad: 040516					Modifierad: 040830				
Kriterier		Alternativ												
		Ideal			A		L		M					
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t			
Åtkomst kassetter	3	5	15	4	12	4	12	3	9					
Åtkomst sikt	2	5	10	5	10	5	10	4	8					
Åtkomst avfallstank, filter	1	5	5	5	5	4	4	4	4					
Transport	1	5	5	4	4	4	4	3	3					
Installation	1	5	5	3	3	3	3	5	5					
Möblering	2	5	10	3	6	4	8	3	6					
			0		0		0		0					
Total		30	50	24	40	24	41	22	35					
Rel total		1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,82	0,73	0,70					
Medel		5,00	4,55	4,00	3,64	4,00	3,73	3,67	3,18					
Avvikelse		0,00	4,13	0,67	3,42	0,33	3,52	0,67	2,93					
Median		5,00	5,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,50	3,00					
Antal svaga punkter		0		0		0		0						
Rangordning				2		1		3						
Beslut	koncept L tas till vidareutveckling													

En stor fördel är den tydliga kopplingen till Arcams EBM och därmed till produktfamiljen som den kommande PRS:en ska ingå i. Skåpens djup och bredd kan förändras för att passa nya tekniska lösningar och för att göra lösningen mer estetiskt tilltalande. Detta skiljde sig dock inte mellan de tre koncepten.

I slutänden kvarstod de tre olika volymskoncepten på hur de interna delarna ska placeras. Dessa koncept skiljde sig marginellt i storlek volymmässigt men då en av dem till skillnad från de andra krävde åtkomst från två sidor tog den upp en större golvarea och på grund av detta valdes den bort. Kvar återstod då två liknande koncept där den ena var lite mindre och gav lite lättare åtkomst till vissa interna delar utan att vara sämre på någon annan punkt. Denna valdes därför till det slutgiltiga volymskonceptet då både kandidatgruppen och Arcam var eniga i frågan. Då alla koncepten jämfördes och vägdes med varandra utifrån kravspecifikationen erhöles också en bekräftelse på att alla koncepten uppfyllde densamma.

4.4.3. VAL AV KONCEPT FÖR LYFT FRÅN EBM-MASKIN TILL PRS:EN

Efter att ha jämfört koncepten mot kravlistan kvalificerades alla för vidare utvärdering. Denna utfördes med hjälp av pugh-matriser som inte visade några stora skillnader. Därför utfördes därefter också en kesselringmatris för att förtydliga fördelarna de olika koncepten hade jämte varandra.

Chalmers		Pughmatris (Relativ beslutsmatris):					
		Detaljhantering					
Utfärdare:						Skapad: 040515 Modifierad: 040830	
Kriterier	Alternativ						
	Ref	Klo	Band	Gafflar			
Funktionalitet	0	+	+	+			
Prestanda	0	+	+	+			
Kompabilitet	0	-	-	-			
Ergonomi	0	+	+	+			
Service, underhåll & installation	0	0	0	0			
Säkerhet	0	+	+	+			
Produktion, tillverkning	0	-	-	-			
Mjuka värden	0	+	+	+			
Antal +	0	5	5	5			
Antal 0	8	1	1	1			
Antal -	0	2	2	2			
Nettovärde	0	3	3	3			
Rangordning	3	1	1	1			
Vidareutveckling		JA	JA	JA			
Beslut							

Chalmers		Kesselringmatris: Volymskoncept							
Utfärdare:		Skapad: 040516				Modifierad: 040830			
Kriterier	Alternativ								
		Ideal		A		L		M	
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Åtkomst kassetter	3	5	15	4	12	4	12	3	9
Åtkomst sikt	2	5	10	5	10	5	10	4	8
Åtkomst avfallstank, filter	1	5	5	5	5	4	4	4	4
Transport	1	5	5	4	4	4	4	3	3
Installation	1	5	5	3	3	3	3	5	5
Möblering	2	5	10	3	6	4	8	3	6
			0		0		0		0
Total		30	50	24	40	24	41	22	35
Rel total		1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,82	0,73	0,70
Medel		5,00	4,55	4,00	3,64	4,00	3,73	3,67	3,18
Avvikelse		0,00	4,13	0,67	3,42	0,33	3,52	0,67	2,93
Median		5,00	5,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,50	3,00
Antal svaga punkter		0		0		0		0	
Rangordning				2		1		3	
Beslut	koncept L tas till vidareutveckling								

Feedback och kommentarer som gavs i samband med redovisning inför klassen och handledare antecknades för att inkluderas som underlag till beslutsprocessen. De kommentarer Arcam givit stod naturligtvis högst på prioritetlistan då det är de som har det slutgiltiga ordet i alla beslut som tas. Kommentarer gavs också kring de områden som det behövdes jobba mer på, förklara tydligare och jobba vidare på att förfinas. En del idéer gillades skarp och andra tyckte de var överflödiga. Allt detta material gjorde att konceptet med piggarna valdes för att jobba vidare på och presentera som slutkoncept. I samråd med Arcam beslutades det att fortsatt utveckling inom denna kategori var onödig då detta berör förändringar i EBM-maskinen och inte PRS:en. Lösningen med uppskjutbara piggar är den bästa men också den som är svårast att genomföra och som kräver att Arcam gör smärre modifikationer på EBM-maskinerna, något som verkade möjligt att genomföra.

4.4.4. VAL AV KONCEPT FÖR KASSETTER OCH DERAS PÅFyllNING

Chalmers		Pughmatris (Relativ beslutsmatris):			
		Kassetter			
Utfärdare:		Skapad: 040515		Sid 1	
		Modifierad: 040830			
Kriterier	Alternativ				
	Ref	Topplucka	Skjutlucka	Sidlucka	
funktionalitet	0	-	-	-	
prestanda	0	+	+	+	
ergonomi	0	+	+	+	
service/underhåll	0	-	-	-	
säkerhet	0	+	+	+	
produktion/tillverkning	0	-	-	-	
mjuka värden	0	+	+	+	
Antal +		4	4	4	
Antal 0		0	0	0	
Antal -		3	3	3	
Nettovärde	0	1	1	1	
Rangordning	0	1	1	1	
Vidareutveckling	NEJ	JA	JA	JA	
Beslut	Undersök med kesselingsmatris och tydligare krav				

Chalmers		Kesselringmatris:						Kassettkoncept				
Utfärdare:		Skapad: 040516						Modifierad: 040830				
Kriterier		Alternativ										
		Ide- al		Ur- sprung		Topp- lucka		Skjut- lucka		Sid- lucka		
Namn		v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	
Påfyllning med ny- tillv. Pulver		3	5	15	5	15	3	9	3	9	2	6
Kompatibel med bredare kassetter		4	5	20	5	20	5	20	5	20	4	16
Omöjliggöra EBM- start utan dispen- sion		1	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3
Omöjliggöra uttag- ning utan dispen- sionsstopp		1	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Kontaminerings- skydd		5	5	25	1	5	4	20	4	20	4	20
Minska pulverk- ontakt med människa		4	5	20	1	4	4	16	4	16	4	16
Maximalt volymsut- nyttjande		3	5	15	4	12	4	12	4	12	2	6
Robusthet		3	5	15	5	15	4	12	2	6	4	12
Indikera fyllnads- nivå		2	5	10	5	10	2	4	4	8	2	4
Total			45	130	29	84	29	96	29	94	25	83
Rel total				1,00	0,64	0,65	0,64	0,74	0,64	0,72	0,56	0,64
Medel					3,22	9,33	3,22		3,22		2,78	9,22
Avvikelse				5,19	1,75	5,63	1,09	5,93	1,09	5,83	1,14	6,02
Median					4,00		4,00		4,00	9,00	3,00	6,00
Antal svaga punkter			0		3		1		1		1	
Rangordning						3		1		2		4
Beslut		Vi väljer toppluckan då den bäst tillgodoser kraven.										

I matriserna ovan var toppluckan det alternativ som fick bäst resultat i jämförelsen. Det är också det resultat som känns mest förtroendeingivande då luckan kommer att falla ner på kassetten och skydda pulvret automatiskt. Det är även enkelt att titta ner genom luckan för att uppskatta tillgänglig mängd pulver. Samtidigt möjliggör den konstruktioner där hela locket skulle kunna skruvas loss för noggrann rengöring av hela kassetten, vilket inte är lika smidigt på den sidomatade kassetten då den i så fall kommer att kräva två separata lock och modifikationer på kassetterna. Att ha en konstruktion som undviker fjädrar och interna gångjärn ger en längre livstid på produkten och minskar risken för t.ex. klämskador. Pulver har en tendens att fastna i gängor och rör vilket skulle få konstruktionen att bli trög och fungera bristfälligt. Toppluckan har också fördelen i PRS:en vid påfyllning att pulver kan fyllas hela vägen upp i kassetten vilket effektiviserar användandet av EBM:en då pulver inte behöver fyllas på lika ofta. Att utnyttja EBM-maskinens fulla kapacitet är ett önskemål som framkommit vid intervjuer med säljare och användare av produkten.

4.5. DESIGNRIKTLINJER INNAN DELREDOVISNINGEN

Inledande intervjuer angående den nuvarande PRS:en visade att den uppfattades som gammal, omodern, verkar smutsig, känns klumpig och skiljer sig inte från en vanlig bläster vilket gör att kunder inte förstår varför de ska investera i en PRS istället för att köpa en bläster. Dessa uttalanden skiljer sig från vad Arcam önskar att produkten ska uttrycka, sett i den kravspecifikation som skapats. (krav 8.2)

4.5.1. EBM – ANALYS AV UTMÄRKANDE DESIGNDRAG

Analyser av EBM-maskinen har visat några speciella designdrag. Dessa kan användas i arbetet med att ta fram en ny PRS för att öka överensstämmelsen mellan, och igenkänningen av de olika produkterna inom familjen.

- Två skåp ståendes bredvid varandra.
- Bockade och färgsatta plåtar som hölje.
- Hörnen på skåpen är rundade.
- Skåpet med display står till vänster, skåpet där produkten byggs står till höger.
- Målade vita alternativt svarta med få inslag av röda detaljer, med Arcams logotyp placerad på det vänstra skåpet.
- Ett antal fokusord togs fram kring EBM-maskinen: avskalad, funktionsfokuserad, professionell, högteknologisk, stram, ren, klinisk.

4.5.2. KRAVLISTA FÖR PRS:EN SOM DIREKT PÅVERKAR UTFORMNINGEN

Direkt ur kravlistan kan ett antal krav plockas som redogör för designkriterier:

- Kravet ”PRS:en måste kunna placeras mot vägg” begränsar hur luckor kan placeras, samtidigt som ”PRS:en skall kunna hanteras från en sida”, gör det önskvärt att optimera utformningen så att endast en sida kräver användarinteraktion vilket ytterligare begränsar luckornas placering.
- ”Detaljer som ska bearbetas skall inte kunna placeras utanför operatörens räckvidd.” Detta krav begränsar hur djup PRS:ens arbetsyta får vara.
- ”Färger på ljus och material skall bidra till en god arbetsmiljö i PRS:en” reglerar vilka material och färger som är önskvärda invändigt i PRS:en. Möjligheter att uppfylla detta begränsas dock kraftigt av konflikterande funktionskrav på material i blästerutrymmet.
- ”Allt arbete skall kunna utföras med skyddshandskar och arbetsmask.” sammantaget med ”Minska pulverkontakt med människa” och ”Handskar skall vara anpassade för normala händer och armar” gör att arbetshandskar måste vara integrerade i PRS:en och att dessa handskar ska passa användarmålgruppen som är väldigt bred. Detta påverkar bland annat placering av hål och storlek för handskar.
- I kravlistan ingår ett antal ergonomikrav:
 - Ljudkravet ”Ljudnivån på blästern skall understiga nivån för personskador, <100 dB” tillsammans med ”Ljudnivån på blästern skall understiga arbetsmiljöverkets rekommenderade nivåer” påverkar utformning av höljet samt montering av sikt och motor.

- Ljuskravet "Ljusstyrkan i arbetsområdet skall vara tillräckligt stark för att medge fullgod sikt" tillsammans med ergonomiska riktlinjer för att undvika bländning reglerar lampors placering och styrka.
- "Minska risk för att operatörens arbetsställning kan orsaka arbetsskador" reglerar de höjder och räckvidder som är lämpliga för den valda populationen.
- "Minska risk för att operatörens arbetsställning kan orsaka arbetsskador" påverkar de ingående höjderna, luckornas placering, vinklar på avfasningar samt höjd och utformningen för fönstret för att undvika nackskador.
- "Filter, sil, sikt och avfallstank ska vara tillgängliga för underhåll" reglerar hur dessa komponenter kan placeras inom höljet och därmed höljets placering samt placering av serviceluckor.
- Kravet "PRS:en skall kunna transporteras med pallyft" avgör hur höga PRS:ens ben måste vara för transport. Det avgör också hur bred och djup PRS:en kan vara och ändå transporteras med en pallyft.
- Servicekomponenter ska vara svåråtkomliga för obehöriga användare.
- Oavsiktlig ansamling av pulver ska undvikas, detta genom att undvika alltför horisontella ytor, konkava hörn och dylikt som kan bilda ansamlingar.
- "Förhindra fyllning av kassetter med osiktat pulver eller annan oönskad pulvertyp" visar att kassetters och PRS:ens utformning bör motverka att kontaminerande pulver blandas in, samt att systemet bör vara så slutet som möjligt.
- Det finns ett antal krav angående de mjuka värden Arcam önskar att PRS:en utstrålar
 - Produkten ska "Utstråla: exklusivitet, professionalitet, renhet, teknologi"
 - "PRS:en skall vara tydligt identifierbar som en del av Arcams produktfamilj"
 - "Systemet ska ge en tillfredställande känsla vid användning" påverkar både skalets estetiska utformning, men även krav på ergonomi och semantik hos produkten.
 - "Systemet skall ge kvalitetskänsla vid användning" påverkar valet av material då det inte bör flexa vid kontakt och ska kännas stabilt och hårt. Det ställer också krav vid själva tillverkningen vad gäller glapp och toleranser.
 - "Det ska tydligt framgå att PRS:en är en premiumprodukt." visar att produkten måste förändras från dagsläget, då PRS:en för nuvarande är nästan identisk, utseendemässigt, med majoriteten blåstrar på marknaden, enligt marknadsundersökningen och konkurrentstudien.

4.6. INTERVJUER OCH KOMMENTAR EFTER DELREDOVISNINGEN

Efter att gruppen delgivit ytterligare information efter delredovisningen och fler punkter framkom under påföljande diskussioner kunde följande också fastställas.

- Både försäljare och servicepersonal vittnar om att köpare anser det vara viktigt att produkten ska ta minimal markyta för att minska lokalkostnader samt optimera produktionen.
- Det fanns önskemål om att pulver måste kunna förvaras i PRS:en, vilket påverkar storleken hos de interna komponenterna i PRS:en och därmed de möjliga volymerna och dimensionerna.
- Vid intervjuer och observationer uttryckte testdeltagare att de var obekväma med antalet manuella moment, dels eftersom det var tidsödande men också för att det inte verkade professionellt, vilket stämmer överens med kravet att "systemet ska ge en tillfredställande känsla vid användning". Vidare diskussioner visade att allting gärna skulle vara inneslutet på samma ställe och att maskinen själv skulle sköta allt jobb. Detta ledde till önskemål om utformningen av en maskin som hade alla de önskade funktionerna och löste en större del av pulvrets kretslopp utan manuell inblandning.
- Efter delredovisning för företaget framkom ett antal kommentarer om det nya förslaget på PRS:en, dess funktionalitet och utseende:
 - "Snygg, passar tillsammans med EBM, Professionell, Utstrålar verkligen att det är ett Powder Recovery System snarare än en ommålad bläster"
 - "Ser ren ut, kan stå i rena rum"
 - "Det är verkligen bra att det är två skåp, då ser man att den hör ihop med EBM:en."

5. SLUTRESULTAT

Nedan kommer det slutgiltiga resultatet som uppnåddes och senare levererades till Arcam att presenteras. Efter utvärderingarna av koncepten togs ett slutgiltigt koncept fram. Detta baseras på utvärderingarna. I denna utvecklingsprocess tas de åsikter med som framkommit från klassredovisning och företagsredovisning samt kontakter med producenter och underleverantörer. De valda koncepten modellerades och sammanfogades till en slutgiltig produkt utefter Arcams beslut och val av lösningar.

5.1. SLUTGILTIG PRODUKT



En renderad version av det slutgiltiga konceptet

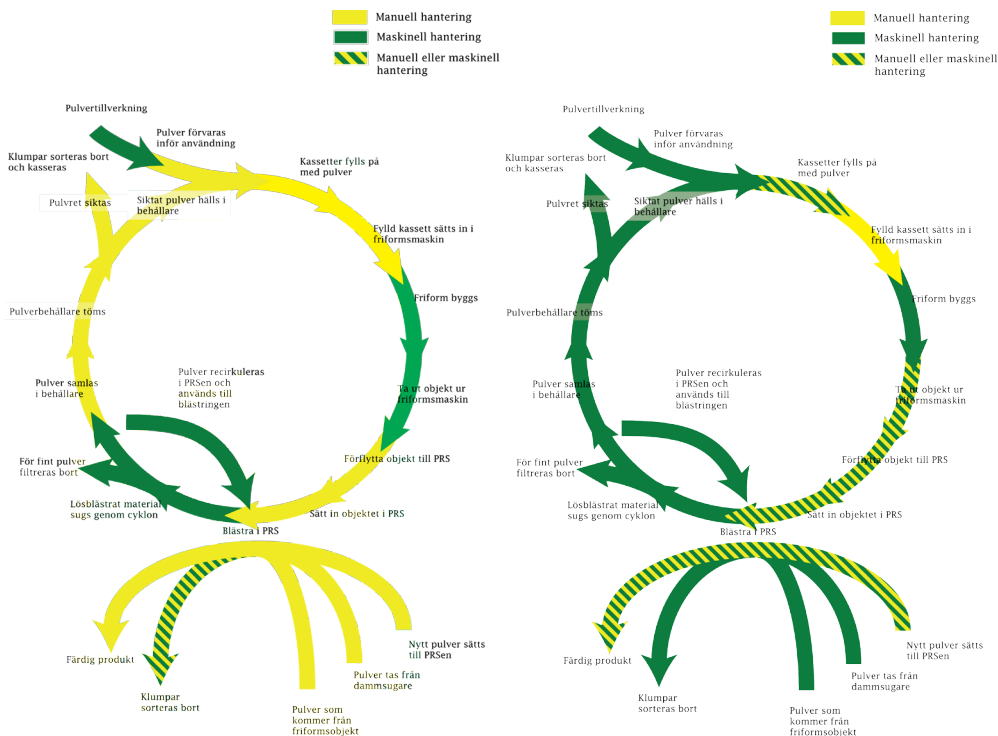
I det slutgiltiga konceptet har de utvalda delkoncepten kombinerats i ett nytt pulveråtervinningssystem. De valda koncepten från delresultaten är:

- Elektromagnet - för att sortera ut föroreningar.
- Antipulverstockning - alternativ luftflödeskanal.
- Datorstyrning - processorenhet styr de automatiska processerna.
- Ergonomisk blästerlucka - öppning framifrån.
- Interiör i blästerutrymmet - ergonomiskt anpassat.
- Volymskoncept L - två skåp med blästring till höger och processorstyrning samt pulverhantering till vänster.

5.2. PROCESSBESKRIVNING

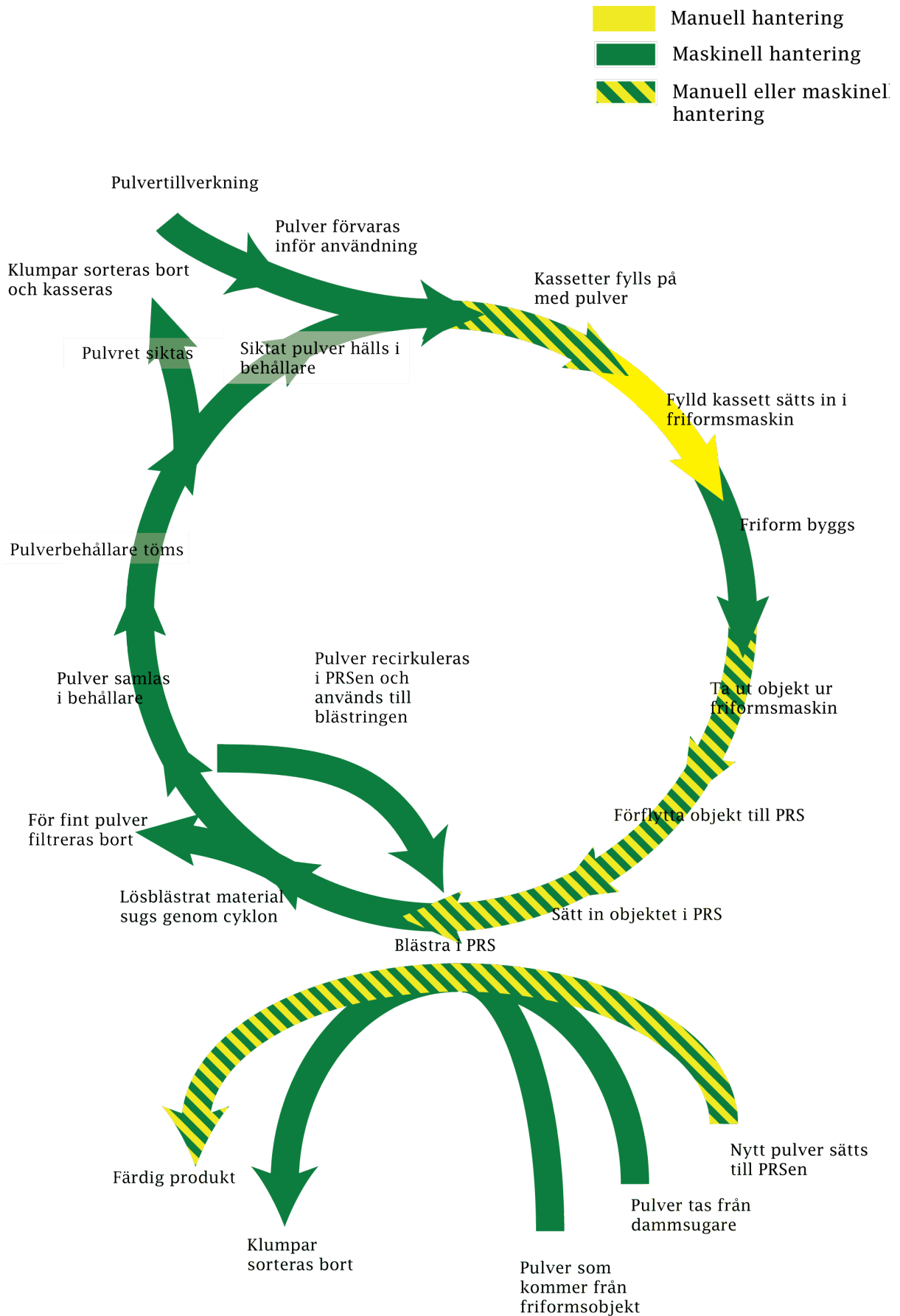
De utvalda koncepten från delresultaten sätts samman till slutprodukten. Processbeskrivningen nedan visas hur pulverhanteringen sker i systemet, och vilka delar som sker manuellt respektive maskinellt.

Processbeskrivningen baseras på de utvalda lösningarna och delkoncepten. Strävan med produkten är att i så stor utsträckning som möjligt uppfylla kravspecifikationen (krav 2.2) och uppdragsbeskrivningen. Pulvrets kretslopp har i grova drag behållits men manuellt arbete har i stor utsträckning ersatts med maskinellt arbete. Resultatet blir en effektivisering av arbetsflödet överensstämmande med kravspecifikationen samtidigt som krav om pulverskydd uppfylls. I jämförelsebilden nedan kan den stora förändringen i fördelning mellan manuellt och maskinellt arbete ses.



Processcykeln innan utveckling respektive efter utveckling.

Innan EBM:en körs måste kassetterna vara fyllda med pulver. Antingen fylls de täckta kassetterna på med helt nytt pulver, eller så tas de påfyllda kassetterna ut från PRS:en och sätts in i EBM:en. Produkten byggs och tillåts svalna. Överblivet pulver som finns inne i EBM:en dammsuges upp. Friformen och fastsintrat pulver tas ut ur EBM:en och förflyttas till PRS:en med hjälp av en trolley. EBM:en dammsuges en gång till för att säkerställa att inget pulver finns kvar. Väl i PRS:en används samma metallpulver till blästringen, som använts till själva bygget. Detta sker för att så stor andel som möjligt av pulvret ska kunna återanvändas. Genom att använda samma legering minskas föroreningen i pulvret. Pulvret från blästringen kan komma från friformsobjektet, från dammsugaren, eller från PRS:ens lagringstank. I PRS:en faller pulver bort från kretsloppet i form av den färdiga produkten, alltför fint pulver och klumpar som siktas bort. Det lösa pulvret sugas ut ur PRS:ens blästerutrymme. Den extra luftflödeskanalen förhindrar pulverstockning i botten av uppsamlingstratten. Pulvret flödar förbi den elektromagnet som separerar ut föroreningar såsom järn. I cyklonen sorteras det alltför fina pulvret ut till en avfallshink. Tunga partiklar faller ned i lagringsutrymme, varifrån det återigen används till blästringsprocessen, alternativt går vidare till siktning. I sikten sorteras alltför stora partiklar ut och leds per automatik till avfallstanken. Det resterande pulvret distribueras jämnt till de båda kassetterna. Vid behov flyttas kassetterna över till EBM-maskinen för en ny produktionscykel.



5.3. UTTRYCK

Slutresultatet har införlivat de tidigare framkomna resultaten i en produkt som utstrålar de önskade värdena från kravspecifikationen: ”exklusivitet, professionalitet, renhet högteknologi”, den är ”tydligt identifierbar som en del av Arcams produktfamilj” samtidigt som kravet ”det ska tydligt framgå att PRS:en är en premiumprodukt” uppfylls. Detta har åstadkommit genom att använda samma linjer och utformning som EBM-maskinen och PRS:en kommer tydligt att tillhöra Arcams familj. Detta förstärks också av att även PRS:en har två skåp i likhet med EBM:en.

Rena och långa linjer samt ett hölje som sträcker sig ända ner till fötterna gör att produkten känns enhetlig och professionell. Inkaplandet av hela arbetsprocessen gör att pulverhanteringen inte bara kommer att vara mindre utsatt för kontaminering, den kommer dessutom ge intrycket av att detta, i enlighet med riktlinjerna.

Den framtagna produkten skiljer sig från övriga produkter på marknaden i utformning. Dess heltäckande skal och bearbetade former ger ett exklusivt, professionellt och säkert intryck utan att för den skull avskräcka ovana användare.

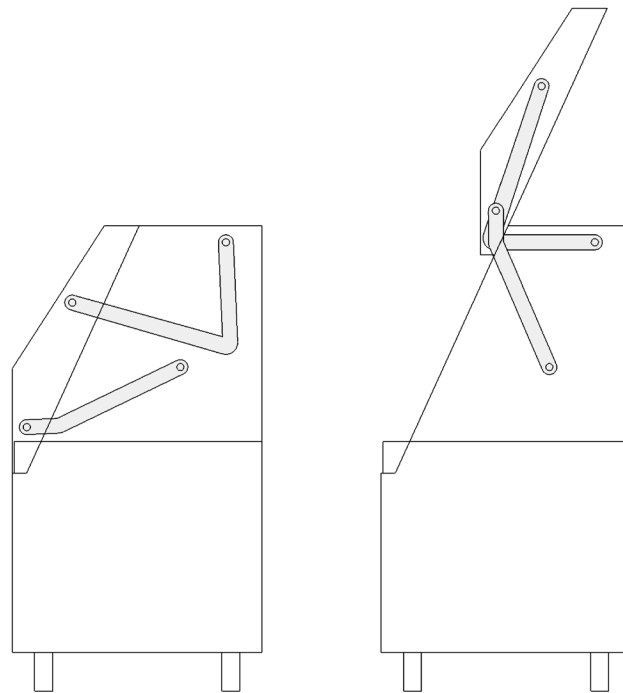
Avfasningen under arbetsytan gör att användaren kan få något mer benutrymme vid arbete, lättar upp produktens uttryck samt gör att produkten känns mindre tung och skrymmande. De vertikala ”benen” på framsidan förhindrar att produkten ska kännas instabil och ta bort intrycket av att PRS:en ska kunna tippa över användaren.

5.4. ÖPPNING AV BLÄSTERSKÅPET

Dagens PRS-system har två luckor på vardera sida av blästerskåpet, något som gör systemet svårt att möblera då det tar onödig plats. I designprocessen eftersträvades att all typ av manuellt arbete skulle utföras från en och samma sida av produkten och på så sätt få en överskådlig och lättmöblerad produkt vilket även medfört att luckan till blästerskåpet öppnas framifrån för att överensstämma med EBM-maskinerna. I den nya produkten sitter en lucka på två L-formade stänger, enligt illustration på följande sida.



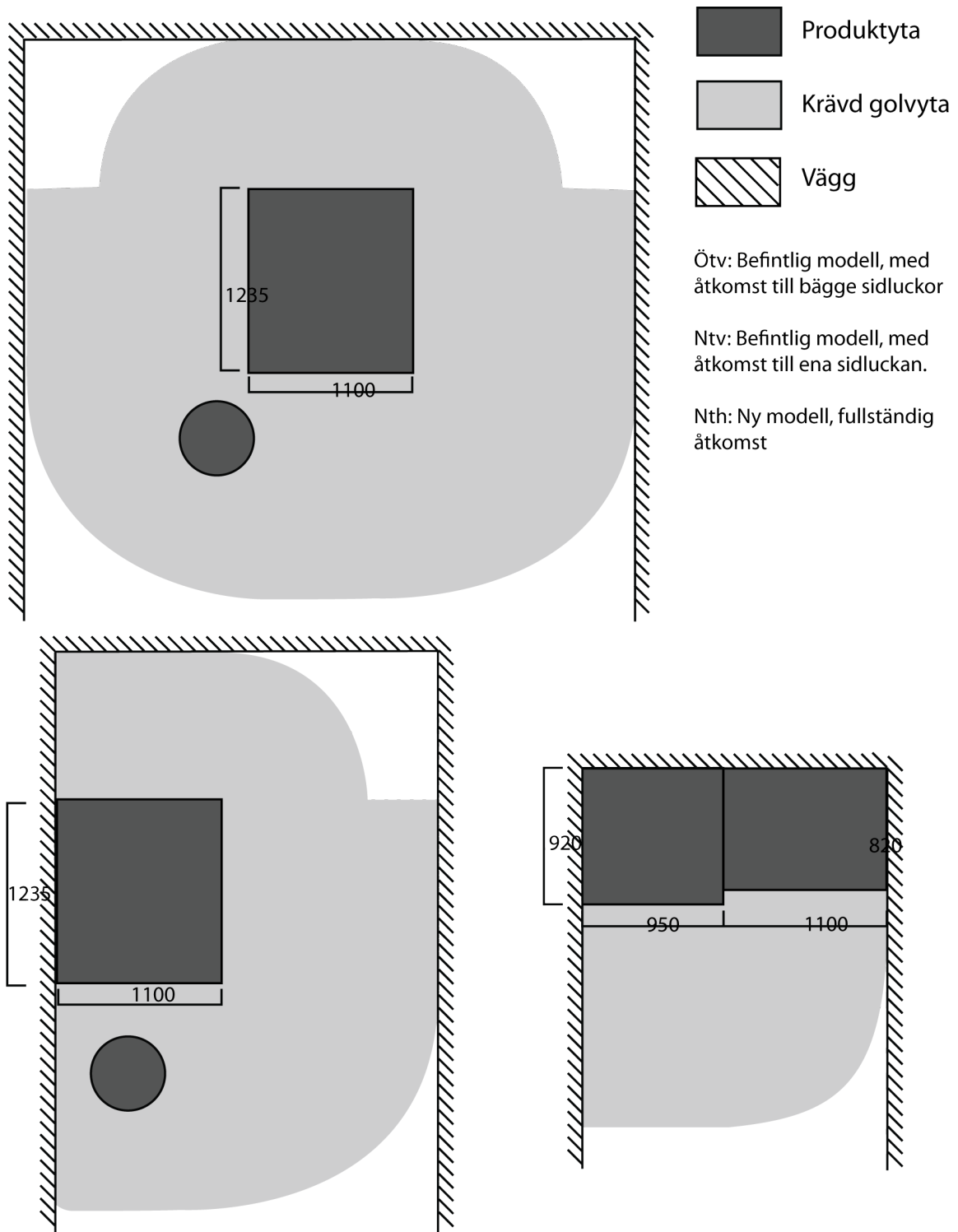
Luckan kan då öppnas genom att den skjuts parallellt uppåt och kommer därmed inte slå i den bakomliggande väggen vilket hade varit fallet om den endast varit fäst längs en axel och öppnats genom en rotation. Konceptet är även optimerat för att ge mycket hög åtkomlighet utan att på något sätt vara i vägen för operatören då hela sidan öppnas och försvinner ur operatörens väg. Vid ett konsultationstillfälle med KMC påpekades en konsekvens av att öppna framsidan, det fanns en misstanke om att pulver skulle falla ut från arbetsutrymmet och kompromissa arbetsmiljön genom att orsaka halka på golvet. Detta var en annan faktor som ledde till att dörren öppnas vertikalt snett inåt och en extra bred kant har tillsatts för att förhindra bortfall av pulver vid kanten. För att förbättra det visuella uttrycket placerades stängerna på insidan av blästerskåpet, vilket eventuellt kan bli ett problem på grund av den påfrestande miljö som uppstår vid blästring. Konsultation av KMC har dock visat att det går att lösa och skulle det bli en ekonomisk fråga kvarstår alltid möjligheten att montera stängerna på utsidan. En annan lösning på detta problem som föreslogs av Arcam var att använda dubbel plåt och placera stängerna mellan dessa plåtar. Då skyddas operatören från klämrisk, stängerna förstör inte produktens uttryck och de orsakar inte heller några problem för den strikta miljön på insidan.



Gummihandskarna som sitter fast i luckan kommer hänga från denna vid öppning. De förs därmed ur vägen och kommer då luckan stängs igen läggas på arbetsytan utan risk för att komma i kläm.

5.5. MARKYTA JÄMFÖRT MED DEN NUVARANDE PRS:EN

Den krävda markytan är för den nya produkten markant mindre än för den existerande PRS:en. Även om ytan under själva maskinen har ökat så har arean som krävs runt omkring minskat vilket gör att den totala arean som krävs av maskin under användande är mindre än för den existerande PRS:en. Detta beror på att luckor och serviceluckor har flyttats till framsidan. Detta skedde främst av ergonomiska och användarmässiga skäl, men det gjorde också att den upptagna ytan minskade. Vid intervjuer med säljare framkom just önskemålet att ytan skulle bli mindre. Se illustration där den existerande PRS:en jämförs med vårt slutgiltiga koncept på följande sida. I den första bilden ses den upptagna ytan vid optimal användning av den existerande PRS:en. I den andra bilden syns ytan som krävs vid användning då den ena luckan är täckt av en vägg, även här är den åtgångna ytan stor. I den tredje bilden syns upptagen markyta vid användande av det nya PRS-systemet. I alla de tre fallen sker hantering av tunga material och pulver med en trolley som kräver ett manöverutrymme på en meter. Operatören beräknas behöva ytterligare en halv meter vinkelrät ut från maskinen. Dessa mått är på intet sätt optimala för användandet, utan optimerade för att ta så liten plats som möjligt, även om de medger hantering. Arbetsplatsmässigt kan optimeringarna antas vara likvärdiga, det som skiljer är markytan.



Den krävda golvytan är den absolut minsta ytan som är möjlig och acceptabel. För optimal hantering och förbättrad arbetsmiljö krävs en större golvyta. Den krävda golvytan har tagits fram med antagandet att trolleyn behöver 1 meter för transport och manövrering. På den ursprungliga modellen kräver serviceluckan 600mm fritt utrymme bara för själva öppnandet av luckan. I övrigt behöver en vuxen person minst 500mm fritt utrymme för att kunna röra sig. Vagn och person behöver därmed 1500mm för manövrering och hantering. Även om den nya modellens bottenarea är större kommer det krävda utrymmet kring produkten att minska drastiskt jämfört med befintlig modell, även när ena luckan på den befintliga modellen är stängd.

5.6. ERGONOMI

Den slutgiltiga produkten är bättre än den ursprungliga i flera olika avseenden inom ergonomi. Ergonomin behandlades inte som ett enda koncept, utan behandlades i flera olika dellösningar. Huvudfokus inom ergonomiarbetet och den största konkreta förbättringen har dock varit arbetsställningen vid blästring (krav 4.2). Den är främst relaterad till luckan på arbetsutrymmet och de mått som är relaterade till denna. Alla dessa mått har uppdaterats efter en grundlig genomgång av mänsklig antropometri i den valda brukargruppen. Mer om detta hittas under delresultat -ergonomi.

De flesta förändringar kan på ett eller annat sätt härledas till en ergonomisk förbättring beroende på hur begreppet definieras. De största förändringarna som inte täcks in av något annat område annat än tidseffektivisering är att en högre automationsgrad lett till en ergonomisk förbättring genom att manuell siktning och påfyllning av kassetter tagits bort. Således har processen förenklats vilket gjort användandet av produkten mindre fysiskt och kognitivt belastande. För att ytterligare minska den kognitiva belastningen bör varningar och påminnelser specificeras för implementering i det datorstyrda systemet.

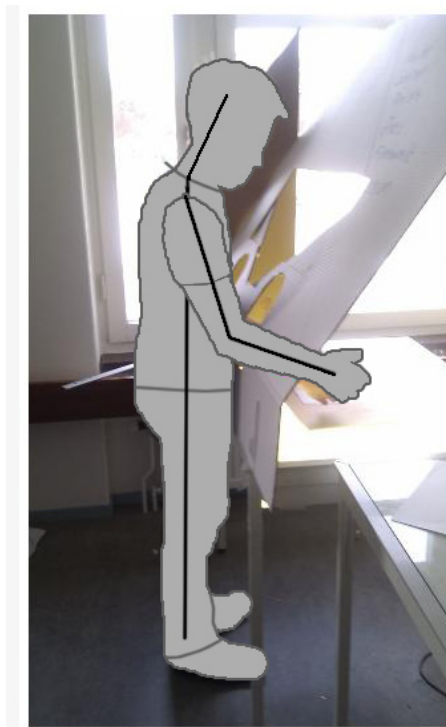
Andra områden som förbättrat produktens ergonomi är:

- Elektromagneten.
- Maskinens form som medger hantering från en sida.
- Styrskenor för trolley.
- Interiören i blästerskåpet.
- Ljud och ljus.

5.6.1. ARBETSSTÄLLNING

Förändringarna i arbetsställning anpassades till de teoretiska värdena från de antropometriska måtten och rekommendationerna. Dessa resultat bekräftades från observationer från funktionsmodellen. Vid de observationerna användes försökspersoner från hela det antropometriska spannet. Förändringarna gav en kraftigt förbättrad arbetsituation med ett REBA score på 3, vilket är en helt acceptabel score (Bohgard et al, 2008) Sikten är nu integrerad i PRS:en vilket helt eliminerar problemet med arbetsställning vid siktning.

Neck	2
Trunk	1
Legs	1
Table A	1
Upper arms	0
Lower arms	2
Wrists	1
Table B	1
Table C	1
Activity	2
REBA score	3
Risk level	Low



5.6.2. VISUELL ERGONOMI

Ljuskällan har placerats på samma sätt som i den föregående PRS:en vilket ger en bra belysning av hela objektet som ska blåstras samtidigt som en vinkel på mer än 45 grader uppnås mellan användare och ljuskällan. Detta gör att bländning undviks. Materialen och färgerna i omgivningen är plåt utan ytbehandling. Ytan kommer slitas ned med tiden vilket förbättrar arbetsmiljön. En ljuskälla som innehåller hela ljusspektrumet och är tillräckligt stark för att uppnå 700 lux i arbetsområdet bör användas för optimal arbetsplatsutformning (krav 4.4).

5.6.3. AUDIELL ERGONOMI

Ljudnivån kan sänkas på ett antal sätt, där de huvudsakliga metoderna är att dels minska bullret i källan, det vill säga PRS:en, dels att hindra utbredningen av ljud. Bullret kan minskas genom att byta ut tryckluftens munstycken mot dubbelströmmunstycken, att sätta stålull i utloppet och genom att fästa dämpmaterial som tynger ner plåtarna. Ljudets utbredning kan hindras genom ljudtäta höljen, till exempel genom att sluta in hela systemet i plåt. I det slutgiltiga förslaget har sikt och andra delar inneslutits i ett skal vilket kommer att sänka ljudnivån (krav 4.1, 4.5). (Bohgard et al, 2008)

5.6.4.KOGNITIV ERGONOMI

Alla PRS:ens automatiska processer styrs och övervakas via en pekskärm placerad på det vänstra skåpet. Skärmen har placerats på en höjd som tillåter komfortabel avläsning och manövrering samt stämmer överens med EBM-maskinens skärm. Att använda en pekskärm istället för en skärm med taktila knappar medför att användaren inte kan använda pekskärmens knappar med handskar på. Eftersom dessa knappar sällan kommer behöva användas döms detta mindre viktigt än det högteknologiska och stilrena uttrycket som en pekskärm tillför. Att använda en pekskärm möjliggör framförallt friare och flexiblare utformning av gränssnittet, vilket medför enkel anpassning till olika system.

5.7. FÄRGVAL

Arcam har sista ordet i valet av färg och hur de vill presentera sin nya produkt. Deras andra produkter är färgade i vitt eller svart (krav 8.2). Den svarta uttrycker mer professionalitet och passar väl in i en högteknologisk industri. Den vita modellen riktar sig mer mot ortopediindustrin och läkemedelsbranschen där de ska passa in i en ren och klinisk miljö (krav 8.1). Då märks tydligare smuts och produkter ger ett mer hygiensikt uttryck, något som i dessa applikationer är viktigt då föroreningar kan ge stora påföljder. Arcam har gett antydning att två modeller kan vara aktuellt, en för respektive EBM-maskin. Insidan kan inte färgas då det i så fall kan förorena pulvret i och med förslitning. Där förblir istället plåten obehandlad. Arcams logga på utsidan kvarstår i form och färger då det inte stör utan snarare blir en accentfärg med sina inslag av rött. Det slutgiltiga färgvalet beror på Arcams beslut om att eventuellt sälja två olikfärgade modeller. De två färgerna blir då de som används på A1 respektive A2:

Den vita färgen: Annapurna SW213F

Den svarta färgen: RAL 9005 Gloss 80

En helfärgad PRS med endast en färg är att önska då det bättre överensstämmer med A1 och A2 samt också det bidrar till ett renare och mer precist uttryck.

5.8. ANPASSNINGAR

Utöver huvudfunktionaliteten har PRS:en anpassats med vissa områden i extra åtanke. Nedan redovisas de specifika områden som extra hänsyn tagits till.

5.8.1. ATEX-KLASSNING

Även om den faktiska uträkningen och utvärderingen för ATEX-klassning går utanför projektets ramar har anpassningar gjorts för att möjliggöra ATEX-klassning. Alla ytor som kan ansamla damm, det vill säga alla pulverutsatta ytor har givits en vinkel i största möjliga utsträckning. Ansamlingar av fint damm kan lätt explodera då de blir luftburna. De lutande ytorna gör att löst damm istället faller ner i systemet och suggs upp i cyklonen och vidare till kassetterna.

Volymen i PRS:en har bibehållits från den ursprungliga för att säkerställa att volymen kan klara en ATEX-klassning. Även om större objekt sätts in i PRS:en kommer samma

volym att blåstras bort per tidsenhet då blåstringen i sig förblir oförändrad. Luftvolymen i blåstringsutrymmet kan därför bibehållas då den bara behöver kunna hantera samma mängd av bortfört material. Dimensionerna för höjd, bredd och djup har anpassats för de delar som placeras i respektive skåp men luftvolymen har bibehållits. När pulvret sugits genom cyklonen filtreras det fina pulvret bort i filtertanken. Den ursprungliga volymen för filtertanken har bibehållits för att filtret ska fungera tillfredsställande och för att luften ska ha tillräckligt låg dammkoncentration.

Den ingående elektroniken som kommer i direkt kontakt med pulver måste vara ATEX-klassad vilket bland annat innebär att den har högre krav på sig gällande gnistbildning och statisk elektricitet. Den elektronik som skiljs från pulvret behöver inte vara ATEX-klassad. Elektriska komponenter i direktkontakt med pulver har helt undvikits.

För att uppnå god luftcirkulation måste systemet ha ett ständigt flöde av ny luft. I det nya konceptet tas denna luft in via botten på skåpet. Luften strömmar därefter till det filter som leder in till den inre blästerkammaren. Denna lösning medför att lufttillförseln aldrig kan strypas av misstag, till exempel genom att placera papper på luftintaget, eller ställa luftintaget för nära en vägg och därmed begränsa flödet.

5.8.2. TILLVERKNING

Ansvaret för framtagning av en konstruktionsritning som är möjlig att tillverka ligger hos Arcam. Det var dock en tanke som löpte parallellt med projektet, att koncepten ska vara rimliga och utan lösningar eller design som är svårtillverkade eller till och med omöjliga att tillverka. Ett av dessa kriterier gällde dubbelkrökta ytor. Dessa är speciellt dyra i mindre upplagor och Arcams framtida tillverkningsvolymerna förväntas bli liten i detta sammanhang. Bockad plåt är ett rimligare val.

För att anpassa produkten för tillverkning har vissa riktlinjer följts i allt designarbete. Dessa riktlinjer har utformats för att driva ned kostnader vid tillverkning. Standardkomponenter bör utnyttjats i så hög grad som möjligt. Många av de ingående delar som finns i systemet kan enkelt återfinnas hos tredjepartstillverkare. Till dessa komponenter hör sikt, filter, elektronik, "dammsugare", blästerpistol, samt diverse ventiler med mer. vilka modeller på varje komponent som ska användas står utanför projektet och är upp till Arcam samt underleverantörer att ta beslut om.

Vissa delar av systemet måste dock specialtillverkas. Till detta hör till exempel anordningen för motverkande av pulverstopp, magnetavskiljare, samt eventuellt pulverfördelaren. Dessa har utformats för att innehålla så få delar som möjligt och ska enkelt kunna tillverkas i en metallverkstad. All detaljkonstruktion lämnas dock till framtida tillverkare.

5.8.3. SERVICE

Framkomlighet och åtkomst var skälet bakom varför kassetterna placerades i framkant av skåpet. Därifrån har delarna placerats längre in baserat på vilken frekvens åtkomst skall medges till dem (krav 5.1). Filtertanken har exempelvis placerats längre in då den behöver rengöras ytterst sällan och då av auktoriserad personal från Arcam. Detta finns även omnämnt som ett av önskemålen, att de delar som inte berör fabriksarbetarna inte oavsiktligt eller av olyckshändelse ska kunna komma åt dem. Avfallstanken har placerats strax under denna filtertank, i framkant, precis bakom kassetternas placering. När kassetterna är uttagna blir därför denna volym lättillgänglig och den har placerats vid sidan av cyklonen så att hela höjden framtill kan utnyttjas för att böja sig in och lättare medge åtkomst.



Det vänstra skåpet öppnat respektive utan panel

Cyklonen och sikten har placerats i framkant till höger i skåpet. Cyklonen kräver ingen tillsyn, så tillvida inga olyckor eller händelser utöver det normala sker. Under den har dock sikten placerats som kräver regelbunden rengöring av siktduken. Detta kan till viss del undvikas med en självrengörande siktduk. De har dock problemet att gummifragment kan skapas och som då kan vara en föroreningskälla i sig. Oavsett val av siktduk har den placerats lättåtkomligt för personal och operatör.

Elektroniken som föreslagits medger möjlighet för Arcam att övervaka flertalet nivåer. Genom att veta slitage, fyllnadsgrad och därmed hur ofta de behöver utföra service effektiviseras hela det området och onödigt servicearbete undviks. Detta är en tydlig förbättring för service då mindre resurser går åt till detta vilket kan återspeglas i driftskostnaden. Elektroniken kan därför i detta fall komma att betala sig själv och resultera i ett billigare pris för att implementera dessa förbättringar.

5.8.4. TRANSPORT OCH MONTERING

För att underlätta transport är skåpet uppdelat i två stycken mindre skåp som kopplas ihop på plats vid installation. Då det högsta skåpet är lika stort som dagens EBM-skåp skall det inte innebära något nytt problem att få in det i samma rum som EBM-maskinerna. Båda skåpen är anpassade för att transporteras med pallyft/gaffeltruck. De har utformats med ett utrymme undertill för att gafflarna ska kunna få plats samt saknar ömtåliga eller utstickande delar undertill (förutom skåpens ben) för att de enkelt ska kunna lyftas utan att ta skada.

5.8.5. PULVER FRÅN DAMMSUGAREN

Dammsugaren har ansetts ligga utanför projektets ramar, även om tömning av den skall stödjas. Det finns däremot utrymme för att integrera en dammsugare i det vänstra skåpet, när eller om den föreslagna metoden att tömma dammsugaren är otillräcklig.

För att tömma dammsugaren kan pulvret i alla koncept hållas direkt i PRS:en. Luftflödet säkerställs av den extra luftväg som tillsatts i form av lösningsförslaget mot pulverstockning. Genom att alltid hålla allt pulver i PRS:en passerar allt pulver sikt och filtreringssystem och blandas ut med återvunnet pulver. Önskemål framkom om att integrera en annan dammsugare för att istället suga upp detta pulver direkt till behållaren under cyklonen som leder vidare till sikten. Detta önskemål tillkom sent från Arcam. Möjlighet har getts till att integrera en dammsugare som använder PRS:ens integrerade pump. Det finns i det nya konceptet utrymme för en dammsugare mellan cyklonen och findammsfiltret. Det finns flera nackdelar med detta förslag. En nackdel är dels kontamineringsrisken. Hela filtreringsprocessen är gjord för att sortera bort en liten mängd obehörigt pulver men om operatören bestämmer sig för att dammsuga upp rent skräp kan detta massiva flöde bli för mycket för sikt och filtren att hantera. En annan nackdel är att service av systemet kan försvåras med fler komponenter inbyggda i samma skåp. Om pulvervolymer och dammsugarens kapacitet ökar kan det finnas ett liknande behov då dammsugarens hink blir alltför tung för att hantera på annat vis.

5.9. MATERIAL OCH TILLVERKNINGSMETODER

Efter en LCA på den ursprungliga produkten framkom att de ingående materialerna och tillverkningsmetoderna var rationella och i många fall inte skadliga för miljön (se bilaga G) Då de ingående materialerna inte var problematiska kommer de att behållas av några olika skäl. De tillgängliga underleverantörerna kan hantera vissa typer av material samt tillverkningsmetoder och att behålla dessa underleverantörer är önskvärt från företagets håll av ekonomiska och arbetsflödesmässiga skäl. De ingående materialerna är slitstarka vilket krävs i en abrasiv miljö (utsatt för slitage). Att använda standardmaterial och standardkomponenter är önskvärt för att hålla priset nere och snabbt kunna introducera produkten på marknaden. Arcam är ett forskningsdrivet företag men forskningsfokus ligger på EBM och mjukvara snarare än framtagning av helt nya material och komponenter till PRS:en och andra omkringprodukter.

Plåtar och standardkomponenter är i hög grad återvinningsbara och slitstarka vilket är önskvärt. Då är materialerna i förslitningsdetaljerna mer nödvändiga att fasa ut och byta.

Gummit i handskar och slangar i PRS:en kan behållas tills andra alternativ görs tillgängliga på marknaden, dock kräver blästring mycket slitstarka material då metoden av naturliga skäl sliter även på interiören av blästerutrymmet. Material i handskar och slangar är inte magnetiskt och kan därför inte skiljas ut från de andra fina partiklarna i blästringspulvret vilket skulle ge en förorening av pulvret, om det slits med. Ett material som måste bytas ut är det PVC som ingår i tryckluftsslangar. PVC avger klor vid förbränning och dioxiner vid användning och förbränning. Det finns alternativ till tryckluftsslangar på marknaden i dagsläget, till exempel slangar i olika typer av gummi. (se bilaga G, LCA) för mer information kring material och detaljer om tillverkningsmetoder)

Den ytbehandling och de ingående material som väljs måste följa lagkrav för att säkerställa att produkten följer någon sorts minimigräns för acceptabel hållbarhet. Eftersom produkten, om den tillverkas och går till försäljning, har en lång teknisk och estetisk livslängd måste de ingående materialen vara möjliga att återvinna även i framtiden, samtidigt som de inte får släppa ifrån sig skadliga ämnen under de olika faserna i livscykeln.

5.10. KOSTNADSUPPSKATTNING

Kostnaderna för den nya produkten uppskattas till cirka 200 000 kronor per exemplar. (Anders Klingborg 2011) Denna kostnad innefattar dock även de initiala investeringarna för vidare forskning och utveckling. Vad prissumman blir i slutändan är svårt att förutspå och beror mycket på vilka koncept som tas vidare i utvecklingen.

Dessa initiala kostnader skulle innebära att kostnads målet (krav 7.1) överskrids, men med den funktionalitet som är kravsatt är det svårt att få ett lägre pris på den europeiska marknaden för en nyutvecklad produkt. Kostnaden för att ta fram en tillverkningsritning är så stor att när den fördelas på varje exemplar i en så liten upplaga blir de individuella exemplarens materialkostnad liten i jämförelse. Denna kostnad tillkommer oavsett val av lösningsförslag, varför en något dyrare lösning kan vara värd att implementera då produkten på grund av sitt relativt höga pris kan uppfattas som en premiumprodukt.

De finansiella analyserna överläts dock i slutändan helt till Arcam.

6. DISKUSSION

Nedan diskuteras det slutliga resultatet som uppnåddes såväl som projektet i sig, hur väl processen förflutit och andra lärdomar som gruppen fått.

6.1. SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet kan anses vara uppnått. Syftet lyder: “Att förbättra Arcams förutsättningar till att leverera produktionssystem till kunder inom industrin för ortopediska implantat och flygindustrin genom att tillgodose de behov och krav som finns på mer användarvänlig pulverhantering. Samtidigt måste pulverhanteringen förbättras så att pulvret löper mindre risk för kontaminering.”

Genom att göra intervjuer, observationer och litteraturstudier kunde förutsättningarna för det aktuella systemet hittas, tillsammans med förändringar som kan införas för att förbättra förutsättningarna. Behoven och kraven gällande användning och pulverhantering av framför allt PRS:en hittades och införlivades i den utökade och itererade kravspecifikationen. Vissa av dessa krav gällde just hur kontamineringsrisken kunde minskas. Minskad manuell hantering i kombination med förändrade kassetter tillgodoser dessa krav, vilket också framkommit i diskussioner med de berörda parterna.

Projektets mål, “att skapa ett underlag i form av en CAD-fil, visualiseringar och rekommendationer kring produktens utformning i en rapport. Underlaget skall underlätta för Arcam att framställa konstruktionsritningar och slutligen realisera koncepten.” kan också det sägas vara uppfyllt då CAD-filer har gjorts på den färdiga produkten. Förutom CAD-filerna har också visualiseringar framställts, varav många kan ses här i rapporten. Även om den framtagna produkten tas vidare till produktion kan samma riktlinjer användas för utvecklande av andra produkter då de funna behoven och kraven i situationen tagits fram. Förutom användbarhet av systemet har bland annat data kring ergonomi och markanvändande tagits fram och framför allt metoder för att hitta dessa data. Framtagen information kan alltså överföras på andra liknande system eller utvecklingssituationer för företaget.

6.2. AVGRÄNSNINGAR

I projektet avgränsades tidigt rengöring av byggkammare med hjälp av dammsugare och automatiserad blästring. Senare avgränsades även hantering av tunga detaljer med hjälp av en trolleylösning.

Även om dessa delprojekt till stor del är avhängiga huvudprojektet är de likväl en del av pulverhanteringen. För att ett slutet automatiserat pulverhanteringssystem skall vara riktigt meningsfullt krävs det att det inte finns några ingående delar där förorenat pulver kan komma in i kretsloppet. Därför är det viktigt att Arcam arbetar vidare med att få pulverhanteringen mindre utsatt för kontaminering även i dessa moment.

Avgränsningen av tunga lyft och automatiserad blästring har även inneburit en liten osäkerhet i utformningen av blästerkammarens interiör. Eftersom blästerkammaren måste vara kompatibel med den lyftlösning som kommer att utvecklas av Arcam och även med de verktyg som väljs för hel/halvautomatisk blästring så kommer den att behöva modifieras i efterhand för att kunna hantera gränssnitten mellan produkterna. Vidare har den inneburit att ett stort ergonomiskt moment kvarstår för maskinoperatörerna.

6.3. PROJEKTET I SIG

Arcam är nöjda och det ser i nuläget ut som att koncepten kommer att realiseras i form av en produkt, vilket validerar det arbete som utförts. Att eventuellt kunna få se en färdig produkt i framtiden med vetskapen att gruppen varit delaktig i dess utveckling är något som så klart är kul och som gör arbetet värt mödan. Detta är något som nog inte alltid är givet, speciellt när det gäller utbildning. I de flesta fall under utbildning brukar projekt vara fiktiva i den mening att de inte resulterar i en faktisk produkt utan bara är menat att simulera utvecklingen av en produkt för lärdomens skull.

Gruppen fann de metoder som är menade att förutspå problem sämre och lade mer vikt på observationer och problem som faktiskt observerats och som operatörerna har problem med. De metoder som förutspår problem bygger mycket på att gruppen har god förståelse för produktens användning och personlig erfarenhet för att bättre kunna förutspå problemen.

Under idégenereringen fungerade brainstorming bäst som metod och detta tyder återigen på att det är en beprövad och väl genomarbetad metod. Skissning och snabbmodellering var två metoder som kombinerades med denna vilket visade sig fungera mycket bra och som bör noteras för framtida tillfällen då idégenerering med grupp är på agendan.

Innan projektet var gruppen överens om att det denna gång inte skulle bli stressigt i slutfasen och att vi skulle vara färdiga i god tid. Detta mål uppnåddes inte som önskat vilket gruppen har haft gemensamt med andra kandidatgrupper. Förseningen innebar dock endast att slutfasen av arbetet inte var så lugnt som det från början önskats.

Projektet i sig är väl anpassat till vad ett kandidatarbete på Teknisk Design bör innehålla, då det kräver att kompetenser och kunskaper från olika delar av utbildningen används. Att använda hela den kunskapsbas som lärts ut var utvecklande och det har varit givande att

genomföra ett projekt där produkten har genomgått få utvecklingsiterationer samtidigt som sannolikheten att produkten kan komma i produktion kan anses vara god. Det är med andra ord en situation med stor utvecklingsfrihet för en produktmarknad som är utforskad. Detta balanserades med stränga ekonomiska och hållbarhetsmässiga krav där den slutgiltiga produkten ska vara realistisk snarare än visionär.

6.4. BRISTER I PROJEKTET

I projektets inledande faser gavs av Arcam antydning om att en studie på plats i fabriksmiljö skulle vara möjlig. Detta eftersträvades men försöken till att anordna detta resulterade tyvärr inte i en fältstudie. Framförhållningen var för dålig och när ett par av företagen meddelade att de kunde ta emot kandidatgruppen hade redan ersättande studier för att täcka in den nödgade informationen gjorts. Vidare hade datainsamlingsfasen redan passerats och det skulle ha inneburit en förskjutning i projektplaneringen att göra dessa studiebesök, som var lokaliserade i utlandet.

Att göra en ordentlig fältstudie hade försett kandidatgruppen med en betydligt större mängd information att analysera och basera framtida beslut på, information som säkerligen hade medfört ett effektivare och bättre utvecklingsarbete. För att kompensera detta gjordes studier internt på Arcam på deras testmaskiner. Dessa studier visade sig ge betydligt mer information än förväntat, eftersom det var enkelt att få kontakt och med och ställa frågor till maskinoperatörerna som i de flesta fall var betydligt mer kunniga om maskinernas funktion än vad de personer som arbetar med maskinerna ute hos Arcams kunder kan förväntas vara. Dock hade det varit på sin plats att studera maskinerna i sin rätta användningsmiljö och med mindre erfarna maskinoperatörer, då detta kanske hade givit upphov till krav som i dagsläget förbisetts.

En annan brist är den begränsade mängden kvantitativ data, då endast fyra av enkäterna besvarades, trots att de skickades ut till samtliga kunder hos Arcam. Kvalitativa data kompenserade troligen för denna brist. Det är ett vanligt problem i enkätsammanhang att enkäter skickas ut men endast en liten del återvänder.

6.5. METODER OCH GENOMFÖRANDE

Att använda ett GANTT-schema var som förmodat ett bra hjälpmedel för att se när kritiska deadlines måste vara uppnådda och vilka delar av projektet som var avhängiga av varandra då det var flera parallella genomföranden. Planeringen grundade sig i givna deadlines och vad som måste vara gjort innan dessa deadlines samt i erfarenhet från tidigare projekt. Oförutsägbara faktorer påverkade det uppsatta schemat över tid men insatta tidsbuffertar kompenserade.

Projektet har tydligt visat behovet av mycket grundläggande förundersökningar och bakgrundsstudier för att tydligt hitta behov och krav i en användarsituation. Det givna systemet är stort och komplext vilket gjorde att behovet av observationsstudier var tydligt. För varje delobservation uppkom hela tiden nya frågeställningar och behov av fler undersökningar. Även efter grundliga och metodiska undersökningar hittades informationsglapp i senare delar av projektet. Eftersom en så stadig grund uppnått kunde gruppen då söka upp relevant information för att täcka de glapp som hittades. Om färre studier gjorts hade antagligen dessa informationsglapp inte insetts och slutresultatet hade varit mindre relevant för företag och kandidatgrupp. Att förundersökningarna varit mycket viktiga för resultatet visades också på delredovisningen där företaget bekräftade antaganden gjorda om systemet. Att värdet av metodiska bakgrundsstudier inte bör underskattas står klart. En annan slutsats från projektet är värdet av att göra många skisser och koncept dels som diskussionsunderlag och dels som metod för att hitta informationsglapp. Där kan inte detta arbete vänta för länge. En avvägning måste alltså göras för att inse när konceptutveckling och skissande bör ta vid. Vid sådant arbete uppkommer av naturliga skäl frågor kring systemet som vidare måste undersökas.

Den stora mängden CAD och att använda CAD för utveckling och undersökningar var mycket givande. Först då komponenter måste föras in i ett tänkt skal kan en uppskattning göras om huruvida den tänkta lösningen kommer att fungera. Att arbeta med CAD-program möjliggör ett stort antal realistiska varianter och prövningar av tänkta lösningar. Att direkt kunna se förändringarna sparar tid - ett större antal iterationer och varianter kan göras. Genom att tid och arbete sparas uppmuntras utvecklaren till att testa fler varianter, vilket i slutänden ger en bättre produkt.

Att genomföra en LCA var mer tidskrävande än givande eftersom liknande komponenter och material skulle komma att användas i både den befintliga och den skapade produkten. Dessa typer av analyser är troligen mer värdefulla då koncepten skiljer sig mycket från varandra och från det ursprungliga konceptet. Då våra koncept liknade varandra i mycket stor grad ur hållbarhetsmässig synvinkel var analysen inte avgörande för att välja koncept, på samma sätt som den kunde ha varit vid mer skilda koncept. Samtidigt visade LCA på de delar av systemet som faktiskt kan förändras, troligen utan att pris förändras nämnvärt, såsom PVC-slangar.

De tillgängliga utvärderingsmetoderna, Pugh och Kesselring, användes för att hitta de bästa koncepten då flera stod att välja emellan. Då förslag sorterades bort efter brainstormingen som inte uppfyllde kravspecifikationen blev resultaten i utvärderingsmatriserna liknande för de olika koncepten. Återigen är de utvärderingsmetoderna troligen mer användbara då koncepten skiljer sig mycket åt i grundfunktion. Dock gav matriserna upphov till värdefulla diskussioner vilka åter manade till att koncepten tydligt behövde utformas. Genom att jämföra koncepten måste också dess likheter och olikheter tydligt definieras.

6.6. KRAVSPECIFIKATIONEN

Kravspecifikationen som från Arcam var utförlig och överensstämde till stor del med gruppens undersökningar, även utdraget ur en kravspecifikation som Arcam fick av en kund var väldigt informativ. Det som kan noteras är att vissa krav fått förändrade prioriteringar i kravspecifikationen som gruppen tog fram. Inga funktionella krav från Arcam har nedprioriterats men det finns däremot flertalet nya krav som har blivit upptäckta under gruppens undersökningar och en del befintliga krav har fått högre prioritering än angivits. Anledningen är att en hel del av undersökningar kretsade kring användningen medan Arcams kravspecifikation kretsade kring funktioner. Slutresultatet har uppfyllt båda specifikationerna väldigt bra och tyder på en god förbättring i användning samtidigt som efterbeträktade funktioner har uppfyllts.

6.7. ERGONOMI

Resultatet från analysen av de antropometriska måtten var att produkten anpassades för den 95e percentilen av den västeuropeiska (svenska) befolkningen. Detta är fördelaktigt eftersom det även finns goda möjligheter att testa praktiskt på denna befolkningsgrupp. Den 95e percentilen västeuropéer täcker också in de flesta män i alla populationer, så endast kortväxta kvinnor i kortväxta populationer tas mindre hänsyn till i projektet. Tester visade ändå att den största skillnaden består i personernas längd och inte deras mått på armar och ben. Kortare personer bör alltså kunna använda samma system utan problem, men detta har inte verifierats. Ljudnivån i det slutgiltiga konceptet bör vara lägre än dagens system, eftersom högljudda komponenter som sikt har inkapslats i ett hölje. Ljusnivån kvarstår från tidigare system, men bedöms som rimlig enligt litteraturstudier om rekommenderade ljusnivåer. Den kognitiva ergonomi bör ha förbättrats då antalet manuella moment i processen har minskat och därmed belastningen på användaren.

6.8. HÅLLBARHET

De använda materialen och tillverkningsmetoderna är hållbara, vilket påvisats tidigare. För att öka hållbarheten i systemet måste hela systemet förändras från grunden. En möjlighet att göra detta är att integrera blästring och sikt inne i EBM:en, så att allt sker på samma ställe. Då skulle inte en separat PRS behövas, likaså skulle behov av trolley förminska eller försvinna, vilket ger en minskad materialåtgång. Även om detta är teoretiskt möjligt skulle förändringarna ge en stor merkostnad, samtidigt som systemet antagligen inte skulle förbättras radikalt, förutom möjligen ur rent hållbarhetsmässig synvinkel, förutsatt att specialkomponenter fortfarande kan undvikas. Vid andra former av pulversintring, till exempel vid användandet av laser, faller pulvret av istället för att behöva blåstras av. Vid användande av sådana metoder skulle också behovet av trolley och PRS:en försvinna eftersom en dammsugare skulle kunna kopplas direkt till EBM:en. Återigen följer problematiken att specialkomponenter skulle behövas samtidigt som den befintliga sintringstekniken radikalt skulle behöva förändras. I relation till den begränsade hållbarhetsvinsten är det inte rimligt att genomföra en sådan förändring i dagsläget. Slutsatsen om hållbarheten är att om några större vinster ska göras måste en dramatisk förändring ske, vilken inte säkert leder till någon reell förbättring.

6.9. HANTERING AV PULVER FRÅN DAMMSUGAREN

Att pulver från dammsugaren hanteras genom att dammsugarhinken töms direkt i blästerkammaren är inte optimalt ur varken ergonomisynpunkt, då ett lyft av dammsugarhinken måste göras, eller ur pulverskyddssynpunkt eftersom det innebär en manuell hantering av pulvret. Å andra sidan gör det processen mycket enkel genom att allt pulver tas in i maskinen på ett enda ställe vilket minskar risken för felhantering. PRS:en har i och med denna inte på något sett anpassas till en viss dammsugarlösning, utan denna lösning medför att alla tänkbara framtida lösningar fortfarande ligger öppna.

6.10. SLUTRESULTAT

Projektet resulterade i ett komplext koncept där många dellösningar ingår, en del av dessa lösningar är i tidig konceptfas och behöver vidareutvecklas eller valideras. Eftersom kravspecifikationen har varit centrum för hela utvecklingsarbetet har kraven uppfyllts med hjälp av föreslagna koncept. Nedan diskuteras rekommendationer för dellösningar.

Elektromagenten är en av de mest lovande konceptlösningarna då den har potential att göra produkten säkrare, mer effektiv och billigare. Vissa frågetecken återstår dock angående reliabiliteten i konceptet, vilket måste verifieras.

Lösningen för förebyggande åtgärd för pulverstockning behöver testas så att dimensioner på lösningen kan fastställas för optimal effektivitet.

I projektet har även olika automationsgrader föreslagits. Det bör noteras att denna del förmodligen kommer ta längst tid att utveckla och optimera, men det är samtidigt

en av dem större faktorerna som bidrar till produktens nya förändrade image och funktionalitet. Om automationsgraden kan optimeras försvinner många arbetsfaror, kontamineringsrisker och manuella arbetsmoment vilket leder till snabbare ledtid samt säkrare och renare användning. Detta kommer att resultera i en helt ny känsla för användaren vid användning samt potentiellt spara pengar åt kunden.

Slutkonceptets utformning, både användning och interiör i blästringsutrymmet, har anpassats efter ergonomiska mått och är en klar förbättring från dagens produkt. Här behövs inte lika mycket utveckling men det bör noteras som en betydande faktor under vidareutveckling av andra delar av maskinen. Ett utförligt användartest ur ergonomisynvinkel måste utföras när andra delar har utvecklats för att fastställa att de ergonomiska aspekterna har behållit genom vidareutvecklingen. Den fysiska ergonomianpassningen är viktigt för användarens upplevelse och säkerhet.

Att luckan öppnas framifrån kan ha både positiva och negativa effekter. Där pulver faller på marken blir marken hal vilket innebär en säkerhetsrisk på arbetsytan. Att vi ändå valde att ha luckan framtill istället för på sidan beror på att vi ansåg att alla sidor som har luckor är arbetsyta. Även om arean där blästringen sker är mest frekvent använt kommer användaren behöva använda alla de sidor som har luckor. Inlastningen av föremål sker lika frekvent som blästringen, även inlastningsmomentet tar mindre tid. Istället för att förflytta luckan till sidan, vilket initialt föreslogs av en underleverantör, minskade vi risken för spill från luckan, genom dess konstruktion och öppningsmekanism.

Vad gäller kassetter och dess nya utförande i slutresultatet bör en del beräkningar göras för att optimera exempelvis alla öppningar och skenor som kassetterna kommer i kontakt med. En noggrann optimering här kan bidra till ännu lägre kontamineringsrisk och gnistbildningsrisk, eventuellt även tillverkningskostnad.

Slutresultatets utseende är i hög grad beroende av maskindelarnas placering, EBM-maskinens utseende och de ergonomiska kraven. Det finns därför en relativt låg grad av flexibilitet under vidareutveckling av uttryck, om förändringar måste göras bör dessa faktorer tas i beaktande.

Anpassning för miljö, tillverkningsmetod och kostnad har hela tiden varit styrande i utvecklingsarbetet, dock är dagens produkt ganska enkel och är redan välanpassad för dessa aspekter. Det bör däremot noteras att en del svagheter i dagens system, ur miljösynpunkt, har hittats och åtgärder har rekommenderats. Bland annat materialbyte av slangarna, PVC materialet som används idag kan ersättas med ett mer miljövänligt material.

6.11. LÖSNINGEN UR EKONOMISK SYNVINKEL

I kravspecifikationen (krav 7.1 prio 2) står det att kostnad för lösningen ej skall överstiga dagens kostnad för dagens PRS och sikt. Ett riktvärde för kostnaden för dagens blästerlösning är satt till 100 000 SEK. Den nyframtagna lösningen uppskattas av leverantör till 200 000 SEK. (Källa: Anders Klingborg 2011) Det innebär att kravet inte uppnås. Anledningen till detta är dels att funktionalitet såsom automatisk påfyllning av kassetter och PLC har lagts till, vilket medför en extra kostnad, dels så tillkommer ytterligare kostnader för utveckling och produktionsberedning innan PRS:en kan realiseras. Det är därför inte möjligt att komma ner i samma kostnadsnivå som dagens lösning, varför krav 7.1 ej kan anses vara rimligt. Det kan dock inte uteslutas att en ökad försäljning på grund av denna nya produkt kan öka intäkterna och på så sätt kompensera för det ökade kostnaderna eller till och med bidra till att höja bolagets vinst.

7. SLUTSATS

Slutkonceptet skulle innebära en förbättring av Arcams produktfamilj och således kunna bidra till att ökade leveranser av system till deras kunder inom olika industrier. Lösningen adresserar de behov som hittades i början av projektet och kandidatgruppen valde att behandla och motsvarar de i kravspecifikationen uppställda och framtagna kraven. Vidare ger den framtagna rapporten en bred kunskapsbas att grunda det fortsatta utvecklingsarbetet på.

Slutkonceptet är mycket realiserbart och för Arcam kvarstår nu att ta fram en prototyp för praktiska tester för att utvärdera lösningen och tillföra eventuella modifikationer. Efter detta behöver konstruktionsarbete utföras av ett tillverkningsföretag för att kunna realisera konceptet. En produktkalkyl för att analysera de ekonomiska konsekvenserna av lösningen bör också göras innan ytterligare arbete utförs.

8. REFERENSLISTA

8.1. BÖCKER

Smith W.F., Hashemi J (2006) *Foundations of materials science and engineering* 4th Ed, Singapore: McGraw Hill

Widman Joakim (2001), *Stålet och miljön*, Stockholm: Jernkontoret

Almegren Richard, Brorson Torbjörn, Enell Magnus (2009). *Miljöarbetet stärker affärerna*. Stockholm: Liber

Cooper, A. (2003), *The inmates are running the asylum: why high-tech products drive us crazy and how to restore the sanity*. Indianapolis, Indiana, USA: Sams.

Donachie, Jr. MJ. *Titanium, a Technical Guide* 1988: 31. ASM International, Metals Park, Ohio, USA.

Leyens C, Peters M (2003) *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*, DLR - German Aerospace Center Institute of Materials Research, Köln, Tyskland

Eckhoff, R. K. (2003) *Dust explosions in the process industries*. Amsterdam: Gulf Professional Pub.

Johannesson H, Persson J-G, Pettersson D (2004), *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*, Stockholm: Liber.

Bohgard Mats, Osvalder Anna-Lisa, Karlsson Stig, Loven Eva, Mikaelsson Lars-Åke, Mårtensson Lena, Rose Linda, Ulfvengren Pernilla (2008). *Arbete och teknik på människans villkor*. Stockholm: Prevent

8.2. KOMPENDIER

Karlsson, MariAnne (2008) *Lyssna till kundens Röst- Kurskompendium*. Chalmers Tekniska Högskola, inst. för Produkt- och produktionsutveckling

8.3. HEMSIDOR

Birkin Graham (2001) Powder Coating. SEFA FAR Laboratory Faucets Ltd. <http://www.sefalabs.com/i4a/pages/index.cfm?pageID=3395> (Hämtad 2011-05-22)

http://www.esska-teknik.se/esska_se_s/blaesterslang-12-bar-typ-sm1-metervara.html (Hämtad 2001-05-22)

8.4. TIDSSKRIFTER OCH ARTIKLAR

Griffin, Abbie and John R. Hauser (1993). The Voice of the Customer. *Marketing Science*, vol. 12, No. 1,

Zhengqi Xu, Xianguo Tuo, Chengjiang Zhang, Keliang Mu. (2006) Environmental geology problems caused by mining activities in Panzhihua iron mine. *Chinese Journal of Geochemistry*. Dordrecht: Vol. 25; p. 3

(1994) Dioxin report hits PVC. *Chemical Week*, Vol. 155, No 5, startsida 59

Dahl E Jon, Karlsson Stig, Syverud Morten (2010). *Titan för odontologiska applikationer - Biologiska aspekter, version 2*. Socialstyrelsen. Haslum: Nordiska Institutet för Odontologisk Materialprövning

Hedlund Ulf, Jonsson Håkan, Eriksson Kåre, Järvalho Bengt (2008) Exposure-response of silicosis mortality in Swedish iron ore miners. *Annals of Occupational Hygiene*. Vol. 52, No 1, sidan 3-7

8.5. ILLUSTRATIONER

Fig 1. Färdiga detaljer, <http://arcam.com/industry-segments/index.aspx> (Hämtade 2011-05-22)

Fig 2. EBM A1/A2, <http://arcam.com/products/index.aspx> (Hämtad 2011-02-18)

Fig 4. Översikt interiör, Driftsinstruktion för Blästerskåp Normfinish® DI-12, Leering Hengelo B.V.

Fig 13. Expressionboard, <http://www.trendir.com/archives/004625.html>
http://www.123rf.com/photo_6157917_metal-mesh.html
<http://www.busmanagement.com/news/cloud-storage/>
http://www.520machinery.com/HP4000_side_close.JPG
<http://jeffreydblockpe.com/> <http://arcam.com/products/index.aspx>
(Hämtade 2011-02-18)

Övriga illustrationer och bildmaterial är producerade av projektgruppen.

9. BILAGA A: PLANERINGSRAPPORT

ETAPP 1 - PROJEKT /PROBLEMBESKRIVNING

BESKRIVNING

Informationssamling:

Biblioteksuppgift 1, läsvecka 1, ”informationssökning i databaser” görs av två personer tillsammans, och tar ca 3-5 timmar. Meningen är att ni ska ha en direkt nytta av inlämningsuppgift 1 för att hitta litteratur till ert arbete. I läsvecka 3 får ni 30 min återkoppling på det ni gjorde och uppgift 2 lämnas ut, i slutet av läsperiod 3 är det inlämning av uppgiften via bibliotekets webbportal.

Projekt och problembeskrivning:

Grunden ges genom genomförande av intervjuer och besök på företaget, samling av relevant material, konfrontation med det beskrivna problemet och dess bakgrund. Informationen samlas ihop till en projektbeskrivning där grundläggande kriterielista, mål, produkttyp, brukare, ramvillkor etc. beskrivs. Utifrån en inledande hållbarhetsanalys skall ni sedan prioritera förbättringsområden. Vart är ni, vart vill ni komma, hur ska ni ta er dit? Som hjälp till detta kan ni tex använda miljöeffektanalys EEA eller andra guidelines. Kom ihåg att hållbarhetsanalysen skall bifogas i rapporten som en eget avsnitt och det skall även finnas med miljö-hållbarhetskrav som tydliga delar del i er kriteriespecifikation (se utdelat material från MTHU-kursen). Analysdelens innehåll och omfattning kan se väldigt olika ut beroende på hur er projektuppgift ser ut så här måste ni i er projektgrupp och tillsammans med handledare/resurspersoner diskutera kring lämpliga metoder och omfattning.

METODER, BLAND ANDRA

- sökning i databas enligt instruktion.
- Litteraturstudie
- “Industrispionage”
- Bakgrundbeskrivning av företaget
- Bakgrundsbeskrivning av processen (inkluderar HTA och Heuristisk analys)
- REBA
- Mäta ljud och ljusnivåer
- Observationsstudier (Customer visit)

ETAPP 2 - FUNKTIONSANALYS

BESKRIVNING

Nu handlar det om att analysera för att sedan generera idéer och välja teknisk princip/er. Definiera produktens huvudfunktioner och titta på alternativa verkningssätt. Spalta upp del och stödfunktioner. Ställ existerande funktioner mot kravlista och komplettera genom att ställa krav och önskemål mot tekniska principer. Testa genom funktionsmodeller, attrapper och enkla skisser er fram till en grundprincip som passar. Testa om ni inom grupp och mot företaget har samma uppfattning av produkten genom att sammanställa en Imageboard där både produkten och dess omgivningsplacering tas i akt. Ni kan använda A-verkstaden, våra egna modellverkstäder eller ta tillfället i akt att lära känna prototypverkstaden i M-huset (kräver körkort). Det viktiga är att avgöra vad som behövs för att kommunicera och analysera – arbeta i alla fall då och då i fullskala och prova olika material.

METODER, BLAND ANDRA

- Imageboard (eventuellt expressionboard)
- KJ-analys
- Kravlista

ETAPP 3 - KONCEPTUTVECKLING

BESKRIVNING

Här ska ni ta fram ett gestaltningskoncept som bygger på de två föregående faserna. Hur hanteras och förstår man produkten, vad ger det för konsekvenser för utseendet, placering av delar etc. Är upplevelsen den som eftersträvas? Stämmer det ni har nu mot den framtagna imageboarden? Skissa både på papper och i modell, gör många förslag så att ni har bra underlag för era beslut. Olika tekniska koncept kan utvecklas beroende på projektets art, er grundprincip ger båda möjligheter och svårigheter. Ni ska utvärdera resultaten ur flera aspekter och utveckla de som är realiseringsbara. Studera de olika koncept ni kommer fram till här och se till att gestaltning och teknik samverkar till en helhet. Titta på packning och ergonomi, handhavande, säkerhet...

Ungefär nu borde ni vara klara för delredovisningen där öppna problem och möjliga val redovisas för handledare samt en i klassen utsedd opponentgrupp. Några dagar efter, och med stöd av kommentarerna från denna presentation, kan ni efter ev justering redovisa för företaget separat.

METODER, BLAND ANDRA

- Skisser
- Funktionsmodeller i skala

ETAPP 4 - KONCEPTUTVÄRDERING

BESKRIVNING

Nu ska ni, i samverkan med företaget och med hänsyn till er opponentgrupps åsikter, kritiskt granska koncepten och dess för och nackdelar, hitta ev. svaga punkter och göra upp en planering på hur ni skall angripa problemen. Vilka samverkansfördelar kan ni ha med andra grupper med samma produkt? Omfattning mm beskrivs i en tidsplan.

METODER, BLAND ANDRA

- Pughmatris

ETAPP 5 - SLUTKONCEPTUTVECKLING

BESKRIVNING, BLAND ANDRA

I konceptet finns ett antal obesvarade frågor, konstruktion, risker etc Hur väl uppfyller helhetskonceptet de krav som ställdes i början av kursen? Vad har konceptet framför er medfört för förändringar etc? Utvärdering av produktens packning, tekniska lösningar och förbättrad hållbarhetsprestanda. I denna etapp skall ni generera ideér på lösningar för de frågeställningar eller svagheter ni hittar.

METODER, BLAND ANDRA

- Skisser
- Funktionsmodeller i skala

ETAPP 6 - PRIMÄRKONSTRUKTION

BESKRIVNING

Nu ska produkten hitta sin slutgiltiga form och uppbyggnad. Ni ska genom konstruktions och packningsritningar visa att produkten är möjlig att tillverka inom ramen för ert målpris (ta reda på faktorer som påverkar) samt göra det sannolikt att produkten klarar av det arbete som den är avsedd för.

METODER, BLAND ANDRA

- CATIA
- Kostnadskalkyl - Excel

ETAPP 7 - PRESENTATIONSMATERIAL

BESKRIVNING, BLAND ANDRA

Ta fram ritningar, modeller, 3D-utskrifter etc. Målet är att tydligt visa vad ni kommit fram till och att materialet på ett pedagogiskt sätt skall förklara ert utvecklingsarbete från koncept till klart produktunderlag för en icke insatt utan att ni behöver stå bredvid och förklara. För företaget kan även visuellt material ha ett värde för intern eller extern marknadsföring, ta reda på vad företaget förväntar sig för leverans.

METODER

- Power point
- Blender
- Photoshop

10. BILAGA B: UPPDRAGSBESKRIVNING 1

INLEDNING

Detta dokument reglerar Simon Fellins, Alva Mårdsjös, Jonathan Bergströms, Leo Lis, Jon Sandströms och Morgan Berglunds (hädanefter kallade kandidatgruppen) åtaganden gentemot Arcam AB och Vice President Per Woxenius och dess anställda (hädanefter kallade företaget).

OMFATTNING

Arbetet kommer att omfatta analys av nuvarande lösning och problembild, samt utveckling av ett antal lösningsförslag. Efter utvärdering av och sällning bland lösningsförslagen kommer ett komplett slutkoncept att tas fram och presenteras.

Kandidatgruppen kommer att avgränsa sig till att titta på PRS-maskinen och de områden inom pulverhantering som är direkt knutna till denna. Andra områden inom pulverhantering kommer att behandlas i mån av tid.

LEVERANS

Kandidatgruppen avser leverera en CAD-modell av slutkonceptet på PRS. Denna modell kommer inte att vara en färdig konstruktionsmodell utan ytterligare konstruktionsarbete måste till för att den ska kunna förberedas för tillverkning.

Kandidatgruppen avser leverera renderingar på PRS. Både detaljbilder och översiktsbilder.

En rapport som kommer att redovisa arbetsgången, konceptbeskrivningar och de data som ligger till grund för designbesluten kommer av kandidatgruppen att levereras i samband med avlämning.

KANDIDATGRUPPENS ÅTAGANDEN

Kandidatgruppen åtar sig att varje arbetsvecka* redovisa den gångna veckans arbete och den kommande veckans planering.

Kandidatgruppen åtar sig att uppfylla den överenskommna leveransen.

*För vilka veckor som är arbetsveckor se GANTT-schema.

FÖRETAGETS ÅTAGANDEN

Företaget åtar sig att ge kandidatgruppen tillgång till de maskiner som skall redesignas minst 4 timmar varje vecka.

Företaget åtar sig att tillhandahålla material i form av ritningar och CAD-modeller på nuvarande maskiner.

Företaget åtar sig att varje vecka ge respons på veckans arbete samt planeringen.

Företaget åtar sig att efter konceptredovisning skriftligen ge respons på de föreslagna koncepten.

11. BILAGA C: UPPDRAGSBESKRIVNING 2

ALLMÄNT

SYFTE

Syftet är att öka förutsättningarna att leverera produktionssystem till kunder inom industrin för ortopediska implantat genom att uppfylla de krav som finns på mer användarvänlig pulverhantering.

BAKGRUND

I takt med att EBM-tekniken blir allt mer produktiv och stabil ökar kraven på användarvänlighet.

Det finns flera starka drivkrafter till detta. Framför allt beroende på mycket hårda valideringskrav inom industrin för ortopediska implantat. Dessa krav kan vara både interna och reglerade av myndigheter. En annan tydlig drivkraft är att minska arbetstiden för omladdning av maskin eftersom de framför allt finns i högkostnadsländer.

FÖRUTSÄTTNINGAR

Projektet skall drivas som kandidatarbete på teknisk design

DEFINITIONER

PRS

Powder recovery system, ombyggt blästerskåp för rengöring med pulver från processen

ATEX

Explosionsklassning enligt EU-direktiv

Maskin

EBM A1, A2 eller A2X

PROJEKTNUMMER

9203

FÖRVÄNTAT RESULTAT

PRIMÄRT

Hantering av det pulver som används i processen skall göras väsentligt mindre hantverksmässigt och upplevas som mer industriellt. Arbetet inbegriper hela arbetsflödet från det att pulvret tas ut efter ett bygge till dess att maskinen åter är fylld med siktat pulver.

Specifikt innebär detta att:

- Minimera antalet arbetsmoment, exempelvis genom att integrera siktning.
- Minimera operatörens kontakt med pulver.
- Minimera risken för att pulver kontamineras, bland annat genom slutna pulverkassetter som enbart kan fyllas med siktat pulver.
- Utforma PRS så att det får ett modernare utseende samtidigt som det skall vara mer ergonomiskt.

SEKUNDÄRT

- Hantering av detaljer som producerats med EBM-processen. Med detta avses att med lyfthjälpmiddel plocka ut ett färdigt bygge och på ett säkert sätt transportera denna till positionen i PRS där pulveråtervinning sker.
- Rengöring av kammare med pulverdammsugare. Dammsugaren skall enbart kunna användas för rengöring i vakuumkanmaren.

TIDPLAN

Enligt kursplan.

RAPPORTERING

- Rapportering skall ske enligt kraven i kursplanen.
- Veckovisa möten hålls med Arcam.

INTELLEKTUELLA RÄTTIGHETER

Rättigheter till intellektuella rättigheter framgår av avtal med Chalmers.

INFORMATIONSSÄKERHET

Informationssäkerheten hanteras mha NDA-avtal samt avtal med Chalmers.

ÖVRIGT

Handledare

Per Woxenius, Arcam - per.woxenius@arcam.com

Lars Löwgren, Arcam - lars.lowgren@arcam.com

Oscar Rexfelt, Chalmers - rex@chalmers.se

PROJEKTMEDLEMMAR

Morgan Berglund - bmorgan@student.chalmers.se

Jonatan Bergström - jonaber@student.chalmers.se

Leo Li - leoli@student.chalmers.se

Alva Mårdsjö - mardsjo@student.chalmers.se

Simon Fellin - fellin@student.chalmers.se

Jon Sandström - sjon@student.chalmers.se

REFERENSGRUPPER

Referensgrupp, Arcam-KMC

Anders Klingborg, KMC - anders@kmc.se

Mikael Wassmur, Service manager, Arcam, Mikael.wassmur@arcam.com

KUNDER

Kund Contact person

TBD N/A

REFERENSER

740047, kravspecifikation

12. BILAGA D: ENKÄT OCH DESS RESULTAT

Arcam user research form

This is a research form for experienced PRS/EBM users.
For the purpose of further development of said systems, any opinion experienced user may have regarding the following questions are highly valued.

* Required

How many EBM machines does your company operate? *

How many PRS machines does your company operate? *

When changing/refilling the powder containers in the EBM machine, how often do accidents related to the seal at the bottom happen? *

example: accidentally releasing some powder into the EBM machine during the change/refill

- once a day
- once a week
- once a month
- rarely/never

When changing/refilling the powder containers in the EBM, do you use any of the following alternatives to speed up the process?

- we use more than one pair of containers
- we use more than one transportation unit(trolley)

Maintenance of the PRS: How often do you clean the magnet inside the PRS? *

- after each processed detail
- after every third detail
- after every fifth detail
- more seldom

How hard/troublesome do you find the process of reusing powder from the PRS for production in EBM machine? *

1 2 3 4 5

not hard/troublesome at all extremely hard/troublesome

How hard/troublesome do you find the process of extracting the produced detail from EBM machine and putting it into the PRS? *

1 2 3 4 5

not hard/troublesome at all extremely hard/troublesome

How hard/troublesome do you find the process of cleaning the EBM using a vacuum cleaner? *

1 2 3 4 5

not hard/troublesome at all extremely hard/troublesome

How hard/troublesome do you find it to be operating the PRS machine? *

1 2 3 4 5

not hard/troublesome at all extremely hard/troublesome

How problematic do you find the entire process of producing a detail? *

By the entire process we mean from using the EBM machine to finishing the post production processing of the detail in the PRS.

1 2 3 4 5

very easy very problematic

Other Comments

Powered by [Google Docs](#)

User research form				
Timestamp	2-22-2011 14:07:39	2-22-2011 14:10:26	2-22-2011 17:35:34	2-25-2011 21:26:19
How many EBM machines does your company operate?	1	1	2	5
How many PRS machines does your company operate?	1	1	1	2
How problematic do you find the entire process of producing a detail?	3	3	5	3
When changing/refilling the powder containers in the EBM, do you use any of the following alternatives to speed up the process?	we use more than one pair of containers	we use more than one pair of containers	we use more than one pair of containers	we use more than one pair of containers
Maintenance of the PRS: How often do you clean the magnet inside the PRS?	after every fifth detail	after every third detail	more seldom	after every fifth detail
How hard/troublesome do you find the process of reusing powder from the PRS for production in EBM machine?	1	2	3	4
How hard/troublesome do you find the process of extracting the produced detail from EBM machine and putting it into the PRS?	1	5	2	3
How hard/troublesome do you find the process of cleaning the EBM using a vacuum cleaner?	1	1	2	1
How hard/troublesome do you find it to be operating the PRS machine?	1	2	2	1
Other Comments	<p>There is a problem with this question: "When changing/refilling the powder containers in the EBM, do you use any of the following alternatives to speed up the process? *" I had to choose one option otherwise it gave me back an error but i don't use more than one pair of containers.</p>			<p>alignment of the beam is not a "so precise" method. For example the center back point of alignment is impossible to fix exactly cause of "alignment" of operator to the Y movement of the beam. better to explain directly but in my opinion is better to change it or think to another "much precis" method.</p>

13. BILAGA E: PROTOKOLL FRÅN OBSERVATION

OBSERVATIONSSTUDIE

Objekt: Person A, tekniker på Arcam
Start: Bygge avslutat och svalnat
Slut: Detaljer färdigblästrade
Datum: 7/2-2011

På skärmen uppfattar Person A att skåpet fortfarande är trycksatt. Han trycker på några knappar på displayen som tar bort trycket.

Person A sätter på sig ansiktsmask och säger att det kan yra lite pulver när han öppnar dörren, men att det inte är någon fara för oss som står lite längre bort. Om man jobbar med pulvret varje dag är det ändå bäst att ha mask tycker han. Det yr ingenting synligt med ögonen när han öppnar skåpet.

Person A visar på ett lager pulver på kammarens golv: "här brukar det bli ett litet lager pulver, men absolut inte så här mycket. Det kanske har blivit något fel."

Person A tar bort kåpan/hatten som sitter över bygget och ställer den åt sidan,

Person A tar fram dammsugaren och suger upp en hel del pulver som ligger lättillgängligt i kammaren.

Person A hissar upp detaljen steg för steg genom att trycka på en knapp på displayen som hissar upp detaljen från byggkammaren till nollnivån. Simon frågar varför man måste hålla in knappen hela tiden och Person A svarar att det är för att om det skulle vara automatiskt och man hade glömt ta bort hatten skulle maskinen förstöras. Dessutom vill man "ha koll" när detaljen kommer upp så att det inte blir något fel. Då vill man stanna direkt. Men han säger också att han förstår att det kanske verkar lite onödigt.

"Nu ska vi ta bort jordnings-tråden och startplattan" säger Person A samtidigt som han visar på den sintrade klumpen. Han dammsuger bort lite pulver för att han vill veta? var detaljen börjar. Det ligger en startplatta någonstans i den sintrade klumpen som bygget börjar på.

Person A hämtar en mejsel och en hammare och slår isär klumpen i två delar och får ut startplattan. Han lägger detaljen och stora klumpdelar i en hink.

Person A tar en gummiklubba och försöker slå sönder underdelen av klumpen för att få

ut jordningstråden. Det lyckas inte särskilt bra så han springer iväg för att hämta en riktig hammare. Det går bättre.

Person A lägger undan jordningstråden och lägger ner stora klumpar i hinken. Han tömmer även de två uppsamlingstråg som står i EBM i hinken (helt ny info, finns inte med ngnstans i hta eller processbeskrivning och bör tas med). Det dammar knappt någonting. Vi frågar om Person A ska göra något, damsuga ur något mer eller fylla kassetterna med pulver igen, men han säger att han gör det senare eftersom en annan ändå ska använda maskinen efter honom.

Person A säger att det inte är så jobbigt att ta ut detaljen. Efter ett tag blir det "second nature" och man bara gör det. Det som är jobbigt är det har blivit fel i bygget och man måste fixa med det. Då kan det ta väldigt lång tid. Som tur är händer inte det så ofta längre.

Vi går ner till PRSen. Person A drar hinken (som är på hjul) in i hissen och åker ner. Hissen är jättelångsam.

Person A lyfter upp hinken (som är rätt så tung) och välter ut den i PRSen. Han säger att det är kanske inte såhär man gör alltid utan att man egentligen borde ta mindre bitar.

Person A sätter igång PRSen och blåstrar bort lite pulver. Han låter oss testa. Detaljen är en massa cylindrar med en fyrkantig ram runt. Ingen använder jordningsskyddet. Det är lite svårt att få ort det sista pulvret längst in, men det är ingen fara enligt Person A.

Medan vi blåstrar så säger Person A att det är roligt, eller i alla fall "det roligaste man gör"

Vi plockar ut detaljen, men vi siktat inte pulvret eller återför något till kassetterna. Det är dags för lunch.

OBSERVATIONSSTUDIE

Objekt: Person B

Start: Bygge avslutat och svalnat

Slut: pulver återfyllt i EBM

Datum: 15/2-2011

Person B börjar med att kolla så att temperaturen är under 100 grader, den är 32, sedan sänker han heliumkoncentrationen i kammaren tills den är låg nog för att öppna lucka.

Luckan kärvar lite när Person B ska öppna den, det är tydligen vanligt att den är så trög/tung.

Person B använder inget andningsskydd, men vad vi kan se så dammar det knappt när luckan öppnas. Det är inte alls särskilt mycket pulver på golv och väggar heller om man jämför med tidigare observation.

Person B börjar dammsuga upp det mesta av pulvret som ligger på och under byggbordet. Han skakar inte på filtret på dammsugaren någon gång. (Vi vet sedan tidigare att det är rekommenderat att ska filtret i dammsugaren för att undvika dammexplosioner)

Person B lägger ifrån sig dammsugarröret utan att stänga av dammsugaren för att sluta till kassetterna. Sedan dammsuger han upp lite mer pulver, innan han stänger av dammsugaren.

När jag frågar vad han tycker om processen att dammsuga säger han att han tycker att det är väldigt "Manual" eller "labour intensive" får intrycket av han tycker att det är lite onödigt när processen i övrigt är så high-tech. Person B säger att det är mindre pulverspill i de nya maskinerna eftersom de har ett kar som byggbord.

Person B tar på sig plasthandskar när han ska krossa kakan, vilket han gör med en mejsel. Han lägger delarna och de största klumparna i ett av uppsamlingstråggentrågen. Han gräver med händerna för att få tag i klumparna och krossar med mejseln när det behövs. Handskarna är för att pulvret inte ska smutsas ner, inte för att han själv ska undvika att få pulvret på sig.

Person B dammsuger upp de sista pulverresterna, och kopplar loss dammsugarhinken.

Vi ska gå ner med detaljerna till PRS:en. Person B bär hinken som uppenbarligen är tung och leo tar tråget.

Person B tömmer in tråget i PRS:en och sätter på den. Hinken får stå brevid. Blästringen går ganska fort, men detaljerna är små och svåra att hålla i vilket resulterar att handskarna blir ganska mycket blästrade på. Person B trycker sig mot PRS:en och har näsan mot glaset för att se ordentligt. Det ser ytterst obekvämt ut, men när vi frågar verkar inte Person B ha tänkt på det. Han säger att det är svårt att nå om den del åker iväg långt bort. Han står med knäna lätt böjda eftersom han annars inte får in armarna tillräckligt långt (överdelen av armarna slår i arm-hålet när han står upprätt) för att nå bitarna allra längst in vrider han på kroppen för att få in kroppen längre in.

När blästringen är klar öppnar Person B luckan och plockar upp småbitar som ligger runt om i maskinen och lägger i en liten krage. Han blästrar dem till pulver.

När nu det mesta av pulvret är återvunnet vill Person B hälla i det återvunna pulvret i dammsugarhinken. Han ställer den under ventilen som han öppnar med en skiftnyckel. Det kommer inte så mycket pulver om man jämför med vad som redan finns i hinken. Det är ganska små detaljer som byggts.

Pulvret ska nu siktats, det är gamla pulverklumpar i sikten. Person B säger att det ser ut så om folk jobbar natt. Person B tömmer dem i ett kärl som råkar stå brevid, för att inte råka blanda olika typer av pulver/legeringar.

Person B pluggar in tryckluften i sikten och ställer den på en hög hink. Sikten startas.

Vi går ut eftersom att det dammar och Person B sätter på sig ett ansiktsskydd. Det surrar

rätt högt, även genom den stängda dörren. Person B skopar upp pulver i sikten som inte verkar arbeta på högvarav. När Person B sedan håller från hinken får den det lite tyngre.

När pulvret är siktat ska vi få upp dammsugarhinken, siktihiinken och detaljerna igen till EBMen.

Person B hämtar trolleyn och lyfter ut kassetterna. Det läcker puölver när glöen tar ut kassetterna och han får köra in dem i maskinen lite halvt. Person B säger att det är på grund av att det är gamla grejer (maskin 13 av 56).

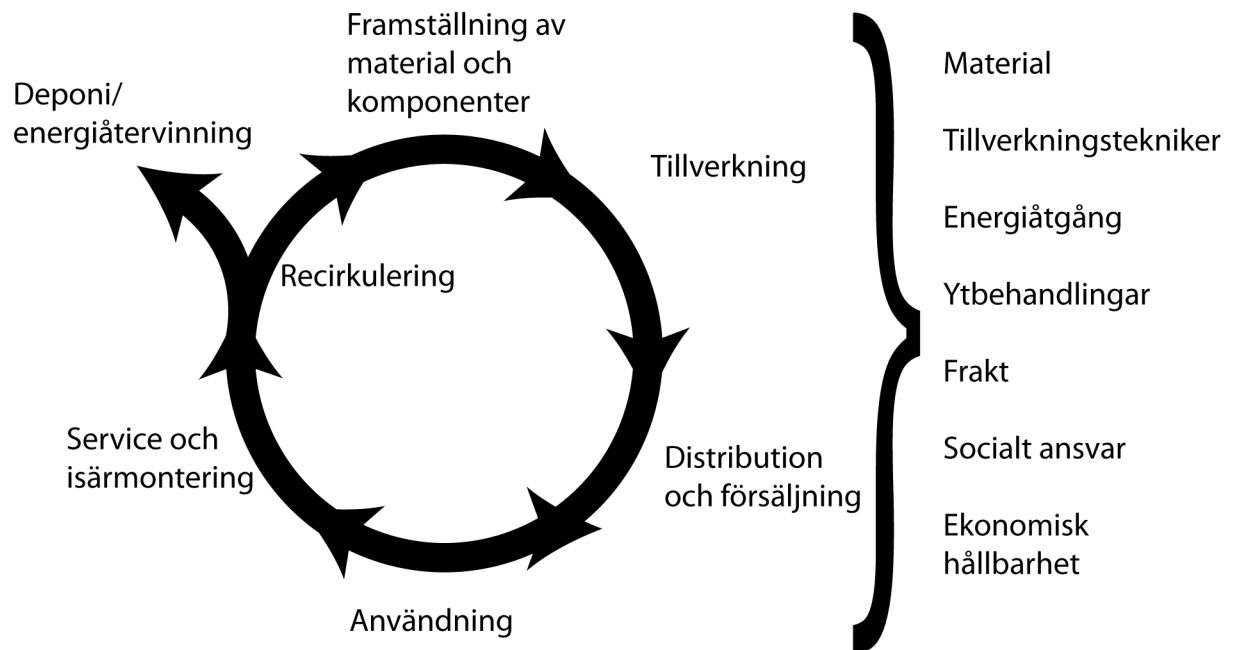
Person B hittar en jättestor skopa som han gör rent och skopar i pulver i kassetterna. I slutet försöker han hålla i pulver i ett litermått och spiller en del på golvet. Kassetterna lyfts in, trolleyn ställs tillbaka och maskinen är redo för ett nytt bygge.

Person B visar också att i alla fall de gamla trolleyn har förmågan att sänkas och lyfta ut hela byggsatsen om ett tungt bygge gjorts, men att man oftast bär för hand, oavsett tyngd.

Sammanfattat har pulvret hållts fram och tillbaka. Trots att lokalerna tvättats samma dag ser man pulver här och var på golvet pga läckage och spill. Person B upprepar flera gånger att vissa arbetsmoment/osäkerhetsmoment beror på att det är gamla maskiner/system. Eftersom det inte finns något färdigbyggt system är det svårt att jämföra.

14. BILAGA G: LCA

Samlingsbegreppet livscykelanalys, LCA (life cycle assessment), innefattar olika metoder för att bedöma en produkts totala miljöpåverkan under sin livscykel. LCA kan användas för att utvärdera en produkt för att hitta problemområden, för att jämföra olika koncept med varandra, eller för att jämföra en existerande produkt med en teoretisk. (Johannesson, 2004)



LCA INNAN UTVECKLING AV SYSTEMET

Den absolut största andelen material i det ursprungliga systemet består såväl viktmässigt som volymsmässigt av målad och bokad eller valsad plåt. Dessutom tillkommer slangar i armerad PVC, slangar bestående av SBR-gummi och NBR-gummi.

FRAMSTÄLLNING AV MATERIAL OCH KOMPONENTER

I slangarna för blästerpistol, och handskarna, används konstgjort gummi. Invändigt är handskarna bomullsbeklädda. Av hela PRS:ens vikt är en försvinnande liten del av detta gummislangar och gummihandskar. Standardytmaterial för blästringsslangar för abrassiv förslitning (sand-eller metallblästring) är ett ytlager av antistatiskt SBR-gummi. SBR är styren-butadiene-gummi och har många användningsområden, det är en av de vanligare gummisorterna. Det är en mycket förslitningstålig typ av gummi (källa: Materialboken) Även om kemikalieanvändning vid plasttillverkning är betydande är alternativet dåligt också. Naturgummi slits snabbare än de här valda alternativen, och har en stor miljöpåverkan.

Slitning av materialen medför förorening av titanpulvret vilket antingen ger sämre egenskaper hos de färdiga titanprodukterna, eller så måste pulvret slängas. Standardinnermaterial för blästringsslangar är antistatiskt NBR-gummi. NBR är nitrilgummi, en mjukare typ av gummi som är mycket motståndskraftigt mot kemikalier och metaller, vilket gör det till ett bra material på insidan av slangar. (källa: Esska-Teknik, 2011)

Tryckluftsslangarna består av armerad PVC. PVC, eller polyvinylklorid, är den näst vanligaste plasten sett till antal ton i världsförsäljning. Det är ett tåligt material med god motståndskraft mot kemikalier. I de allra flesta användningsområdena blandas PVC vid tillverkning med olika additiv för att få önskade egenskaper. Dessa additiv kan vara mjukgörare, pigment och smörjmedel. (källa: materialboken) Vid förbränning av PVC kan dioxiner bildas, en grupp miljöfarliga ämnen bestående av klor och bensen. (Källa: Chemical Week, 1994) Frisläpp av dioxiner gör PVC till ett mindre hållbart ämne sett ur ett miljömässigt och socialt perspektiv.

Hela produktens hölje och inre är uppbyggd av stålplåtar. De mekaniska delarna kan också antas vara i stål, då detta är det billigaste och mest rationella sättet att tillverka. Utsidan av konstruktionen är målad. De olika mekaniska delarna är standardkomponenter. Den absolut största vikten och volymen består av stål i olika former. Den största miljöpåverkan vid framtagningen är dels malmbrytning och efterföljande behandling för att få fram metallen. Dessutom åtgår mycket energi vid omformning till de plåtar och ämnen som ska smältas vid gjutningen. Förutom miljöpåverkan som sker vid malmbrytning kommer ämnen släppas ut vid omformning till råämnen. De huvudsakliga ämnena som släpps ut vid ståltillverkning är koldioxid, kväveoxid, kolväteföreningar och metalloxyder till luften. Till vatten släpps huvudsakligen oljor, fetter och smörjmedel från de olika processerna ut. Även om endast en liten mängd miljöfarliga ämnen släpps ut kommer energiåtgången att ge en miljöpåverkan, speciellt om fossila bränslen används. (källa: Widman, 2001) Samtidigt kan gruvdrift leda till långt värre konsekvenser för miljön. Ämnen som svavel och kvicksilver kan läcka ut, om hantering av slagg och spillvatten inte sker korrekt. Förutom stora konsekvenser för miljön kommer detta även leda till sämre levnadsförhållanden för människorna och är alltså varken socialt eller ekonomiskt hållbart. (Zhengqi et al, 2006)

TILLVERKNING

Tillverkningen av själva skåpet sker genom bockning av plåtar. Tillverkning av mekaniska detaljer sker främst genom gjutning och efterföljande mekanisk bearbetning. När plåtar tillverkas åtgår mycket energi till upphettning av materialet och valsning.

Vid gjutning kan bland annat svaveloxid, koldioxid och kväveoxid frigöras. Samma ämnen frigörs vid kallbearbetning såsom valsning till plåtämnen, dock i mindre utsträckning än under värmeförsel. (Widman, 2001)

Gummihandskar tillverkas direkt på handformade mallar. Tillsats av svavel vulkaniserar gummit direkt på mallarna. Processen ger en mycket liten mängd avfall då produkten gjutes i slutgiltig form utan spill.

Plåt detaljer är dels gjutna, dels bockade. Energiåtgång vid tillverkning av råmaterial till plåtar är stor, precis som för plåttillverkningen, då höga temperaturer krävs.

Även vid effektiv urklippning ur plåtar kommer spill bildas. Efter både klippning och gjutning krävs viss mekanisk efterbearbetning vilket kräver energi och kommer att resultera i spill. Energiåtgång vid bockning är liten. Även om spill bildas kan detta material återanvändas direkt eftersom det inte har blivit ytbehandlat. Den totala materialåtgången och materialsillet är alltså mindre då den största mängden material kan återanvändas, även om energi åtgår vid recirkuleringen. (Widman, 2001)

Ytbehandlingen är troligen pulverlackerad färg. Pulverlackering är en miljömässigt och arbetsmiljömässigt försvarbar metod då den varken är giftig eller lättantändlig. Samtidigt släpps ingen eller endast en liten mängd lättflyktiga organiska föreningar ut. Pulverlack kan vara vattenbaserat vilket ger en mindre miljöbelastning än kembaserat pulverlack (SEFA, 2001). Vilken typ som används i den befintliga produkten går inte att utröna.

DISTRIBUTION OCH FÖRSÄLJNING

Komponenterna till EBM, PRS och dammsugare tillverkas troligen i olika delar i världen för att sedan sättas ihop på en given plats. EBMen sätts ihop i Sverige. PRSen sätts ihop i Holland. Trolleyn byggs i Sverige av framför allt fyrkantsprofiler. Motordelarna importeras troligen. Då det är mycket få transporter, det finns bara ca 60 system i hela världen, kommer inte själva transporterna vara effektivt organiserade. Skalan är helt enkelt för liten för det. Däremot kommer säkerligen effektiva transporter koordineras då det minskar transportkostnaden.

Konstruktionen som sådan är relativt tung och skrymmande, då det i princip är ett stort plåtskåp som ska transporteras, och som har mycket luft i sig. Däremot sker sådana transporter mycket sällan, och då troligen med båt, vilket ger en relativt liten miljöpåverkan. Förflyttningen sker högst troligt bara två gånger: från tillverkning till produktionslokal, och från produktionslokal till återvinning.

Gummi- och plastdetaljer samt slangar är standardkomponenter som används inom många industrier. Dessa distribueras och försäljs av grossister. Transporterna bör vara rationella då produkterna masstillverkas och sprids.

ANVÄNDNING

Vid användandet av produkten förekommer en viss miljöpåverkan. Dels behövs tryckluftstillförsel för att driva systemet, dels krävs elektricitet. Över tid kommer produkter såsom gummihandskar att bytas ut. Förbrukningsmaterialen, handskar och slangar, är av standardmodell och kan köpas från ett flertal tillverkare. Då dessa är miljöbelastande finns en förhoppning om att de kommer bytas ut mot mer hållbara alternativ när dessa kommer ut på marknaden. Å andra sidan medger användandet av PRSen att en större del av metallpulvret kan återanvändas vilket ger en betydande positiv effekt för miljön och energiåtgången. Genom att samma pulver används till tillverkning och blästring kommer allt titanpulver att användas förutom det som försvinner som svinn.

Den tekniska livslängden kan anses vara lång; samma teknik har använts länge. Samtidigt gör andelen manuellt arbete att produkten snabbt känns förlegad. Den estetiska livslängden är visserligen tidlös, alla blästrar har samma grunduttryck, å andra sidan måste det estetiska uttrycket förändras för att bättre passa in i det övriga produktutbudet på Arcam för att öka värdet hos produktfamiljen.

Underhåll på systemet sker troligen i stor grad av personal på plats, såsom tömmande av cyklon, rensande av permanentmagnet, etc, det vill säga de delar som görs oftast. Tömmande av avfallshinken sker av servicepersonal då det ansamlade pulvret har en hög explosionsrisk. Mer omfattande reparation på systemet bör inte ske av kunden då det, som sagt, förekommer en viss explosionsrisk.

Vid användning av systemet kommer användare i dagsläget utsättas för en större mängd titanpulver då det hanteras manuellt. Inandning av titan är sannolikt ohälsosamt. Även om det inte ännu påvisats att inandning av titanpulver är skadligt, så kan inandning av andra inerta partiklar ge silikos. (Hedlund et al, 2008)

Vid användning av systemet måste permanentmagneten rengöras var tredje körning. Vid rengöring av magneten tages denna från maskinen och lägges på till exempel en arbetsbänk. Om operatören är oförsiktig och lägger magneten i närheten av magnetiskt material kan klämrisk föreligga.

SERVICE OCH ISÄRMONTERING

Blästern består dels av permanenta delar och förslitningsdelar. De ingående delarna är åtkomliga antingen direkt eller bakom luckor som kan skruvas av. Förslitningsdelar som plaströr och gummihandskar är fastskruvade med muttrar och klämmor och är därför lätta att byta och montera bort. Permanentmagneten bör rengöras var tredje körning. Isärmontering av PRS sker genom isärskruvning och troligen vinkelslip för att ta isär de större plåtstyckena i höljet. De olika materialen är skilda ifrån varandra, förutom den ytbehandling som har gjorts.

Trolleyen är helt ihopsvetsad. Vid isärmontering kan hjul, motor och drivremmar tas bort och resterande del smältas ner då produkten saknar ytbehandling som omöjliggör detta. Materialet kan därefter gå på resthantering tillsammans med ingående delar.

RESTHANTERING

De ingående produkterna som sådana återvinns mycket sällan. Deras natur är sådan att dels slits de lite, dels är de såpass dyra vid inköp att en kund kommer vilja behålla den under lång tid, dels är den tekniska livslängden betydande. Metalldelar kan återvinnas. Vid recirkulering åtgår mindre energi för att få fram ren råvara jämfört med framtagning från malm. Även om de individuella delarna inte återanvändas, kan de återvinnas eller energiåtervinnas.

Gummi- och polymerdetaljer kommer troligen gå till energiåtervinning, det vill säga förbränning. Vid denna hantering används filter som tar upp de annars farliga ämnena som bindemedel och klor.

Materialen i de olika delarna har ingen tydlig märkning. Däremot är det standarkomponenter så personer kunna inom branschen bör kunna särskilja dem. Samtidigt är materialen ofta skilda från varandra, med undantag från gummislangar som är gjorda av kompositmaterial.

SLUTSATS

Polymerer är tillverkade från olja, ett fossilt ämne, vilket är ohållbart dels med tanke på miljöpåverkan och dels med tanke på att oljan håller på att ta slut. Samtidigt är det bara utbytbara delar som består av polymerer vilket gör att den största delen av det ingående systemet kan hålla över lång tid även om några mindre delar byts ut. Ståldelarna som ingår kommer ha en mindre miljöpåverkan, och de utgör också den största delen av systemet. De individuella komponenterna kan monteras ned.

Miljö- och hållbarhetsmässigt är det en godkänd produkt. Däremot kan förbättringar göras utifrån ett ergonomi- och uttrycksperspektiv. Detta ger en produkt som bättre ingår i produktfamiljen vilket skulle ge ett försprång till Arcam gentemot andra PRS:er.

LCA EFTER UTVECKLING

I mångt och mycket kommer samma material och tillverkningsmetoder bibehållas i den nya produkten. Den abstrakta miljön innebär krav på de ingående materialen vilket gör att endast ett fåtal material är lämpliga. Av dessa material är de redan valda rationella sett ur ett ekonomiskt, miljömässigt och socialt perspektiv. Det finns ändå punkter att belysa för den kommande produkten.

FRAMSTÄLLNING AV MATERIAL OCH KOMPONENTER

Vid tillverkning av NBR- och SBR-gummi bör metoder användas som ger minimal miljöpåverkan. Tillverkning av PVC kan göra att dioxiner och klor släpps i naturen, vilket har en negativ miljöpåverkan. Detta material bör därför bytas ut mot till exempel gummi som i den givna applikationen, tryckluftsslang, har tillräckligt goda egenskaper men mindre miljöbelastning.

Vid gruvdrift måste driften vara reglerad för att minimera påverkan på människa och miljö. Det har tidigare visats att gruvdrift kan ha mycket negativa effekter vid de fall då slagghantering brustit. Ett pågående arbete bör föras för att hitta bästa möjliga leverantör av de plåtar som behövs till hölje och det råmaterial som behövs till gjutna detaljer.

Vid tillverkning av polymerer och metaller åtgår energi. Denna energi bör vara förnybar för en hållbar tillverkning.

TILLVERKNING

Bockning är en rationell tillverkningsmetod i den valda produkten. Gjutning är energikrävande och kan leda till frisläppande av material såsom svaveloxid, koldioxid och kväveoxid. Vid gjutningen måste tillverkningsplats tillgodose god ventilation och skyddskläder för de arbetande. Ventilation måste vara filtrerad för att skydda omgivningen, och filtren deponeras eller energiåtervinnas utan att de givna partiklarna släpps ut.

Plåttillverkning har en stor energiåtgång varför maximal del av varje plåt bör användas. Även om metallen kan återanvändas är det mer ekonomiskt och ekologiskt hållbart att direkt använda plåten.

Ytbehandlingen bör vara vattenlöslig pulverlackerad färg. Detta är en miljömässigt och arbetsmiljömässigt försvarbar metod att ytbehandla, och ger dessutom en mycket bra hållbarhet för färgen.

DISTRIBUTION OCH FÖRSÄLJNING

I största möjliga mån bör komponenter sättas ihop där de tillverkas för att minimera antal transporter. Konstruktionen är skrymmande och tung, vilket är svårt att undvika. Transporterna bör ske med båt i största möjliga mån då detta kräver minst energi per sträcka.

ANVÄNDNING

Vid användandet av produkten bör tryckluftssystemet kontrolleras med jämna mellanrum för att förminska energiåtgången. Förbrukningsmaterial bör bytas ut mot mer hållbara alternativ då dessa blir tillgängliga.

Användandet av PRS och EBM är i sig miljömässigt försvarbara då en större del av metallpulvret kan användas, vilket gör att mindre material behöver tas från jordskorpan.

Med den minskade mängden manuellt arbete kommer produktens tekniska livslängd öka. Produktens nya uttryck är tidlöst, och passar med Arcams övriga utbud.

Underhållet på systemet kvarstår från tidigare produkt där delar på sikten måste bytas ut och avfallshink bytas ut. Däremot förbättras arbetsmiljön då användaren i långt mindre utsträckning utsätts för titanpulvret. Titanpulvret är skyddat under hela processcykeln. Tömning av förvaringstank, siktning av pulver, utsortering av större klumpar, rengöring av magnet och påfyllning av kassetter sker istället automatiskt. Samtidigt är kassetterna slutna mot den yttre miljön. Detta medför att risken för inandning av titanpulver drastiskt har minskats. Också den fysiska belastningen har minskat. Eftersom rengöring av permanentmagnet byts ut mot automatisk rengöring av elektromagnet har klämrisk eliminerats.

SERVICE OCH ISÄRMONTERING

Fastsättning av förslitningsdelar som plaströr och gummihandskar kvarstår från föregående produkt. För att förhindra obehörigt intrång sitter delar som bör skyddas, såsom filter, bakom luckor. De ingående materialen är särskilda från varandra, förutom förslitningsdelar där kompositmaterial förekommer.

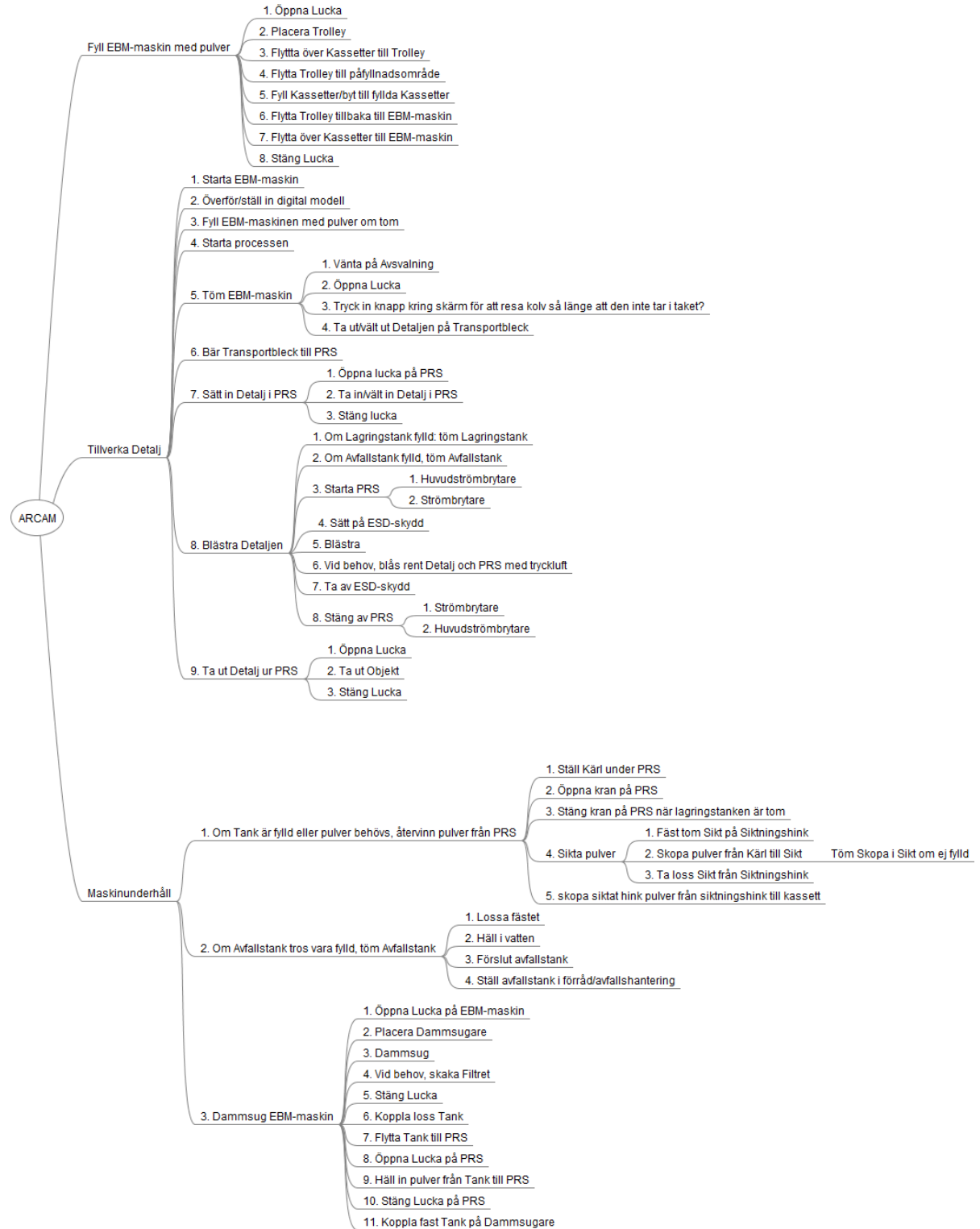
RESHANTERING

Vid resthantering kommer samma metoder förekomma som i ursprunglig PRS och trolley. Däremot kommer elektromagneten behöva en annorlunda resthantering, då den innehåller elektronik. Dess placering bör göra att resthantering inte försvåras.

SLUTSATS

Förändringar i PRS har lett till att systemet är mer hållbart. Med små medel, som utbyte av detaljer såsom rör, kan en förbättring ske utan att systemet i stort förändras. Andra förändringar, såsom elektromagnet, innebär en förbättring i såväl pulverhantering, arbetsmiljö, och förhindrande av pulverkontaminering.

15. BILAGA H: PROCESSANALYS



16. BILAGA I: KRAVSPECIFIKATION

REVISIONER

Action	Date	By
Skapad	11-01-28	PW
Uppdaterad	11-02-03	PW
Uppdaterad efter kandidatgruppens förundersökningar	11-02-18	SF
Rättad och uppdaterad inför genomgång	11-02-24	SF
Uppdaterad efter fredagsmöte	11-02-28	SF
Uppdaterad efter delredovisning	11-03-22	SF

DEFINITIONER

	Beskrivning
PRS	Powder recovery system, ombyggt blästerskåp för rengöring med pulver från processen
EBM-maskin	Maskin för additiv tillverkning produkter i t.ex. Ti6Al4 eller TiAl. EBM A1, A2 eller A2X
Trolley	Höj och sänkbär trolley med elektrisk motor
Pulverkas- setter	Kärl som sprider ut lagrar och dispenserar pulver i EBM-maskin
Lagring- stank	Tank i PRS som samlar upp pulver i väntan på att det ska återanvändas.
Avfallstank	Tank som samlar upp bortsorterat pulver som är för finkorningt samt andra lätta partiklar som kontaminerat utrymme.
Uppsamlings- stråg i EBM- maskin	Tråg i EBM-maskin där pulver som faller ner från byggbordet mestadels hamnar.
Sikt	Maskin som siktar pulver. Pulver som är för stort fastnar i sikten.
Siktning- shink	Hink som sikten står på. Pulver som går igenom sikten hamnar här.
Dammsug- are	Cyklondammsugare som används för att damsuga upp det pulver som ligger löst i EBM-maskinen efter ett bygge.
Hink till Dammsug- aren	När man damsugit upp pulver med dammsugaren hamnar det i en hink i botten.
Transport- bleck/hink för detaljer	För att flytta detaljer från EBM-maskin till PRS används antingen ett transportbleck eller i vissa fall en hink
1	Krav, avvikelser godkänns av Arcam
2	Primärt önskemål

- 3 Sekundärt önskemål
 e Exkluderat, kravet ingår inte. Används för att förtydliga avgränsningar.

KRAV

ID	Krav	Kriterier	Anmärkning
1	Funktionalitet		
1.1	PRS skall effektivt rengöra detaljen från överblivet pulver		1
1.2	PRS ska möjliggöra uppsamling av pulver		1
1.3	Siktning ska vara integrerad i PRS		1
1.4	Medge påfyllning av nytt pulver till PRS		1
1.5	Dammsugare: medge tömning av pulver		1
1.6	Hela systemet: medge sortering av damm och klumpar från pulvret	Sortera ut 25-45 mikrometer	1
1.7	Medge påfyllning av kassetter med nytillverkat pulver		1
1.8	Möjliggöra automation i PRS		3 System för automation finns tillgängliga
1.9	PRS ska strypa flödet till kassetterna och informera operatören när dessa är fyllda		3
2	Prestanda		
2.2	Momenteffektivitet - färre arbetsmoment än idag	mindre än 5 pulverhanteringstillfällen	1
2.3	Processen ska kunna skötas av en ensam operatör		1
2.4	Tunga byggen skall kunna hanteras på ett säkert sätt i hela systemet	upp till 200 kg förflyttning	1 Byggena behöver inte kunna lyftas i PRS:en
2.5	Byggen med en viss volym skall kunna hanteras	400*400*400 mm	1

2.6	Tidseffektivitet - snabbare än idag	<25 min	2
2.7	PRS ska förhindra ojämn fyllning av kassetter		2
2.8	Oavsiktlig blåstring på gummihandskar och slang ska minimeras.		3
2.9	Hantering av mycket små detaljer ska underlättas.	>10 mm	3

3 Kompabilitet

3.3	Ska kunna hantera bredare kassetter	+100 mm	1
3.4	Ska kunna hantera större byggekammare	+200 mm	1
3.5	PRS måste kunna placeras mot vägg	Åtkomst nödvändigt från högst 3 sidor.	2
3.6	Den sintrade klumpen skall inte behöva brytas sönder för att transporteras från EBM till PRS	obehindrad av thermalcouple-/jordningstråd	3
3.7	PRS skall kunna hanteras från en sida	Åtkomst nödvändig från 1 sida	3

4 Ergonomi

4.1	Ljudnivån på blästern skall understiga nivån för personskador	<100 dB	1	
4.2	Minska risk för att operatörens arbetsställning kan orsaka arbetsskador	<REBA5, 95:e percentilen	1	
4.3	Operatören skall inte utsättas för tunga lyft	20kg	1	
4.4	Ljusstyrkan i arbetsområde skall vara tillräckligt stark för fint mekaniskt arbete	>700 lux	2	
4.5	Ljudnivån på blästern skall understiga arbetsmiljöverkets rekommenderade nivåer	<80 dB	2	
4.6	Detaljer som ska bearbetas skall inte kunna placeras utanför operatörens räckvidd.		2	
4.7	Handskar skall vara anpassade för normala händer och armar	95:e percentilen	3	
4.8	Färger på ljus och material skall bidra till en god arbetsmiljö i PRS		3	
4.9	Allt arbete skall kunna utföras med skyddshandskar och arbetsmask.		1	Vilken typ av handskar?

5 Service/underhåll/Installation			
5.1	Filter, sil, sikt och avfallstank ska vara tillgängliga för underhåll	1	
5.2	PRS skall kunna transporteras med pallyft	2	
5.3	Maskinen ska indikera när den är helt pulverfri vid rengöring	2	
5.4	Det ska vara lätt och säkert att rengöra magneten	2	Magneten är mycket stark, klämrisk föreligger
5.5	Man ska behöva verktyg för att komma åt och serva känsliga maskindelar	2	Avfallstank, filter
5.6	PRS ska ge indikation när förbrukningsvaror är uttjänta	3	Handskar, gummirör
5.7	Möjliggör rengöring av kassetter	3	t.ex. vid byte av pulver
6 Säkerhet			
6.1	Omöjliggöra start av EBM-maskinen utan att kassetterna kan dispensera pulver	3	
6.2	Omöjliggöra uttagning av kassetterna utan dispensation av pulver är stoppad	3	
6.3	Pulvret ska ej kunna kontamineras	2	
6.4	Kassetterna skall ej vara gastäta	1	
6.5	Förhindra oavsiktlig tilltäppning av ventilation i PRS	2	
6.6	Minska risk för personskada vid hantering	3	Undvik t.ex. vassa kanter Det ska inte vara halt kring PRS.
6.7 Explosionsrisker			
	Ej använda vågräta ytor inuti pulverexponerade utrymmen i PRS	2	
	Tillräcklig luftvolym i PRS	1	Kan kompenseras genom ökat luftgenomflöde
	PRS och användare ska vara jordade och skyddade mot statiskt elektricitet	1	

	Minska pulverkontakt med människa		1	
	Förhindra fyllning av kassetter med osiktat pulver eller annan pulvertyp		1	
6.8	PRS skall informera användaren om något avviker från det normala.			
	Lagringstank är fylld		3	
	Avfallstank är fylld		3	
	Filtret är igensatt		3	
	Filtret rensas inte		3	
	Motorn till pumpen fallerar		3	
	Lufftrycket är utanför acceptabelt område		3	
7	Produktion/tillverkning			
7.1	Produktionskostnad får ej överstiga angivet värde	100 000:-	2	Exklusive siktnings och halvautomatik Inga dubbelkrökta ytor, Inga specialtillverkade plastdetaljer. Motsvarar dagens kostnad för PRS+sikt

8 Mjuka värden

- | | | |
|-----|---|---|
| 8.1 | Utstråla: exklusivitet, professionalism, renhet högteknologi | 3 |
| 8.2 | PRS skall vara tydligt identifierbar som en del av Arcams produktfamilj | 3 |
| 8.3 | Systemet ska ge en tillfredställande känsla vid användning | 3 |
| 8.3 | Systemet skall ge kvalitetskänsla vid användning | 3 |
| 8.4 | Det ska tydligt framgå att PRS är en premiumprodukt. | 3 |

9 Dokumentation

- | | | | |
|-----|--|---|--|
| 9.1 | Skisser och förslag skall dokumenteras i kandidatrapporten | 1 | Rapportering skall ske i enlighet med krav från examinatorn för kandidatarbetet. |
|-----|--|---|--|

Kandidatarbete PPUX03

Utveckling av pulveråtervinningsystem

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Teknisk Design

© Morgan Berglund, Jonatan Bergström, Simon Fellin
Leo Li, Alva Mårdsjö och Jon Sandström

Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg, Sverige
Telefon +46(0) 31-772 1000

Tryck: Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling

