



CHALMERS



Konceptutveckling av en effektivare saneringsprocess för farligt elavfall

Med särskild hänsyn till litiumjonbatterier

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Design och produktutveckling

CEDRIK SJÖBLOM

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Design och produktutveckling

Konceptutveckling av en effektivare saneringsprocess för farligt elavfall

Med särskild hänsyn till litiumjonbatterier

CEDRIK SJÖBLOM

HANDLEDARE: ISABEL ORDÓÑEZ PIZARRO

EXAMINATOR: ANNA-LISA OSVALDER

Institutionen för Design och produktutveckling

Avdelningen för Design & Human Factors

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2017

Examensarbete PPUX01

Konceptutveckling av en effektivare saneringsprocess för farligt elavfall

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Design och produktutveckling

© CEDRIK SJÖBLOM, 2017

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

Omslagsbild: Cedrik Sjöblom
Tryck: Chalmers Reproservice

Förord

Detta projekt är ett resultat av ett examensarbete om 15 hp som genomfördes våren 2017. Det utgjorde det avslutande momentet efter tre års utbildning på högskoleingenjörsprogrammet Design och produktutveckling, 180 hp.

Jag vill tacka Ola Ekman på First to Know Scandinavia AB och Thomas Gell på Brandskyddsföreningen, för att ni tillsammans utlyste detta examensarbete som jag fått stor frihet att avgränsa och sätta min personliga prägel på.

Stort tack till Anna-Lisa Osvalder, examinerator och biträdande professor vid avdelningen för Design & Human Factors, som genom sin feedback stärkt mitt självförtroende till förmågan att självständigt skriva rapport.

Stort tack till handledare Isabel Ordóñez Pizarro, dåvarande forskare vid avdelningen för Design & Human Factors, som gett mig konkreta tips när vägen framåt varit otydlig och som trots en flytt till Berlin visat stort intresse för mitt examensarbete

Jag vill även rikta ett stort tack till alla intervjuade, vars medverkan möjliggjort detta examensarbete. Ett särskilt tack vill jag rikta till er från återvinningsföretaget, som under sekretess ställde upp på att vara det huvudsakliga underlaget för hela examensarbetet. Ni vet vilka ni är!

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cedrik Sjöblom', written over a horizontal line.

Cedrik Sjöblom, Göteborg, juni 2017

Sammanfattning

Litiumjonbatterier är en av dagens populäraste lagringsmetoder för energi. Med en förväntad exponentiell marknadsökning har den uppladdningsbara batterimodellen en säkrad plats inuti framtidens elektronik. Parallellt följer en ökad återvinningshantering, som dessvärre kan leda till bränder för anläggningar som hanterar elavfall.

Syftet med detta examensarbete har varit att utreda hur denna brandrisken kan minimeras samtidigt som processen för materialåtervinning effektiviseras, genom att studera försorteringsprocessen hos en påverkad återvinningsanläggning. Målet har varit att ta fram en kravspecifikation och utifrån den konceptutveckla en ny process.

Baserat på intervjuer och observationer hos anläggningen, iterativt genomförda med analysmetoder och idégenerering, är resultatet ett åtgärdsprogram med principlösningar. Programmet innehåller 12 åtgärder som tillsammans svarar mot hela kravspecifikationen. Den åtgärd som bedöms ge bäst utfall är en påverkans-kampanj mot bemannade återvinningscentraler, vilken bedöms öka hanterbarheten av det elavfall som senare ankommer till anläggningen. Andra åtgärder utgörs av rutiner, inköp och installationer som ihop underlättar framförallt identifiering och demontering av batteriprodukter. Programmet inkluderar även åtgärder för minskad hälsopåverkan av rök från litiumbränder.

Diskussion har förts kring huruvida vardera åtgärd är realiserbar, eftersom de är principlösningar. Vidare diskuteras därför huruvida projektet borde ha avgränsats till att vidareutveckla enbart den åtgärd som ger bäst utfall. Eftersom åtgärderna besvarar olika delar av processen, och därför tillsammans skapar en bättre process, bedömdes det kontraproduktivt. Däremot understryks det att ju tidigare i problemhierarkin som en åtgärd utfärdas, desto effektivare utfall kan erhållas.

Slutsats dras att åtgärderna bedöms ändamålsenliga för att effektivisera processen och minimera brand, vilket dock inte har verifierats. Vidare åskådliggör projektet att kretsloppet för lion-batterier är del av en större process varur den ej kan isoleras och enskilt effektiviseras. För att fortsättningsvis förbättra återvinningshanteringen hos anläggningar i allmänhet erfordras därför ett holistiskt perspektiv. Således förväntas processen kunna förbättras för alla de verksamheter som tillsammans utgör kretsloppet för elavfall och lion-batterier.

Nyckelord: *litiumjonbatteri, lion-batteri, återvinning, elavfall, elektronikavfall, brand*

Konceptutveckling av en effektivare saneringsprocess för farligt elavfall

– *Med särskild hänsyn till litiumjonbatterier*

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Design och produktutveckling

CEDRIK SJÖBLOM

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

Avdelningen för Design & Human Factors

Chalmers tekniska högskola

Abstract

Lithium-ion batteries are one of today's most popular storage methods for energy. With an expected exponential market increase, the rechargeable battery model has a secure place inside future electronics. In parallel, increased recycling management is required, which unfortunately can lead to recurring fires for recycling plants that deal with electronic waste.

The purpose of this thesis has been to investigate how the fire risk can be minimized while the process of recycling is being streamlined, by studying the pre-sorting process at an affected recycling plant. The goal has been to develop a specification of requirements for the plant and, based upon it, develop a new recommended process.

Based on interviews and observations at the plant, iteratively executed with analytical methods and idea generation, the result is an action program with in-principle solutions. The program contains 12 measures that together meet the entire specification of requirements. The measure deemed the best outcome is a campaign aimed at manned recycling centres, which would increase the manageability of the electronic waste arriving to the plant. Other measures include routines, purchases and installations that together facilitate the identification and disassembly of battery products. The program also includes measures to reduce the health impact of smoke from lithium fires.

It is discussed whether each measure is realizable, as they are in-principle solutions. Furthermore, it is discussed whether the project should have been delimited to further develop only the measure with the best outcome. However, given that the measures answer different parts of the process, and therefore together create a better process, it was deemed counter-productive. On the other hand, it is emphasized that the earlier in the problem hierarchy a measure is issued, the more efficient outcomes can be obtained.

It is concluded that all measures are deemed appropriate to streamline the process and minimize fire, although it has not been verified. Furthermore, the project illustrates that the cycle for lithium-ion batteries is part of a larger cycle of electronic waste from where it can not be isolated and individually streamlined. In order to continue to improve the recycling management of plants in general, a holistic perspective is required. Accordingly, the process is expected to be improved for all the activities that together form the cycle of electronic waste and lithium-ion batteries.

The remainder of this thesis is written in Swedish.

Keywords: *battery, lithium-ion, li-ion, LIB, recycling, e-waste, electronics, fire hazard*

Design of a more efficient disassembly process of electronic waste

– *With focus on lithium-ion batteries*

Bachelor of Science Thesis in Product Design Engineering

CEDRIK SJÖBLOM

Department of Product and Production Development

Chalmers University of Technology

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FIGURFÖRTECKNING	i
BETECKNINGAR	ii
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Frågeställning	2
1.5 Rapportens disposition	2
2 TEORETISK REFERENSRAM	4
2.1 Kemiteori kring lion-batteriet	4
2.1.1 Lion-batteriets konstruktion	4
2.1.2 Orsaken till en brandreaktion	4
2.2 Svårsläckta lion-bränder	5
2.2.1 Hälsoskadlig gasutveckling	5
3 SYSTEMBESKRIVNING AV ÅTERVINNING	6
3.1 Kretsloppet för lion-batterier i Sverige	6
3.2 Återvinningsanläggningens verksamhetsbeskrivning	8
3.2.1 Försortering och urdemontering av batterier	8
3.2.2 Storleksreducering	9
3.3 Uppkomst och hantering av lion-bränder	9
3.4 Konsekvenser av lion-bränder	10
4 METOD	11
4.1 Metoder under pilotstudien	11
4.1.1 Intressentanalys	11
4.1.2 Personlig intervju	11
4.2 Metoder under studien	12
4.2.1 Datainsamling	12
4.2.2 Analys av data	13
4.2.3 Funktionsanalys över process	15
4.2.4 Kravspecifikation	15
4.3 Metoder under konceptutveckling	15
4.3.1 Brainwriting kombinerad med PNI-metoden	15
4.3.2 Morfologisk matris	16
4.3.3 Beslutsmatris	16
5 PILOTSTUDIE FÖR IDENTIFIERING AV PROBLEMOMRÅDE	17
5.1 Proaktiva framför reaktiva brandåtgärder	17
6 STUDIE	18
6.1 Resultat från intervjuer med anställda	18
6.2 Resultat av trendanalysen	24
6.3 Felträdsanalys	25
6.4 Funktionsanalys över aktuell process	26
6.5 Kravspecifikation	27

7	KONCEPTUTVECKLING	28
7.1	Brainwriting.....	28
7.2	Morfologisk matris av principlösningar	29
7.3	Presentation och utvärdering av koncept.....	30
7.3.1	Koncept A – Rutiner och inköp.....	30
7.3.2	Koncept B – Inköp och installationer	31
7.3.3	Koncept C – Installationer och produktutveckling	32
7.3.4	Beslutsmatris för val av koncept.....	33
7.3.5	Enkel vidareutveckling av koncept	34
8	SLUTGILTIGT KONCEPT.....	35
8.1	Relativ kostnadsuppskattning.....	41
9	DISKUSSION OCH REKOMMENDATIONER	42
9.1	Diskussion om metoder och genomförande	42
9.2	Diskussion om resultat och slutkoncept	43
9.3	Avslutande reflektion	44
10	SLUTSATS.....	45
	REFERENSER.....	47
	Bilaga 1: Felträd över varför ett batteri, löst eller som del av en produkt, passerar	
	Bilaga 2: Felträd över svårigheten att demontera en batteriprodukt	
	Bilaga 3: Beslutsmatris	
	Bilaga 4: Matris över koncept A, B och C.....	

FIGURFÖRTECKNING

Fig. 1: Genomskärning av ett cylindriskt och ett rektangulärt lion-batteri (Batteriföreningen, 2017b).....	4
Fig. 2: Grafik över kretsloppet för lion-batterier, i 7 steg.....	6
Fig. 3: Övergripande processbild över Försortering och Storleksreducering i 5 steg.....	8
Fig. 4: Schematisk skiss över krossen, som består av tandade skivor och en perforerad metallplatta som materialet trycks igenom.....	9
Fig. 5: Fotografi av KJ-analysprocessen. Bilden visar hur tråd fästes för att visa samband mellan krav.	14
Fig. 6: Fotografi över hur alla citat med krav har monterats på en anslagstavla i temagrupper.....	14
Fig. 7: KUB-modellen för att identifiera risk vid arbete som kräver Repetition, Muskelkraft och Precision. Vardera faktor bedöms längs med en axel där så låg grad av vardera faktor innebär låg risk, och motsatsen innebär hög risk (Treaxlad graf som beskriver ergonomisk skaderisk, 2015).....	23
Fig. 8: FTA över vad som föranleder att ett batteri passerar försorteringen. Rött innebär konsekvensen, medan blått syftar på de tidigaste orsakerna. Streckade linjer förenklar att följa korsande linjer.....	25
Fig. 9: FTA över vad som föranleder svårigheter att demontera en batteriprodukt. Rött innebär konsekvensen, medan blått syftar på de tidigaste orsakerna. Streckade linjer förenklar att följa korsande linjer.	26
Fig. 10: Urval av skisser från brainwriting-sessioner. Skissernas sidledes placering motsvarar generellt hur tidigt (vänster) eller sent (höger) de är ämnade i processen.....	28
Fig. 11: Bild på hand som klipper en sladd.....	35
Fig. 12: Skiss över en optisk sorterare som skannar av föremålet och sedan sorterar denna i olika fack utifrån valda fraktioner.	36
Fig. 13: Skiss över en mynning som fördelar material på transportband.	36
Fig. 14: Skiss över hur en hand sorterar en högtalare i en av tre sektioner. I de andra sektionerna syns platt elektronik med skärm respektive elektriska hygienprodukter.....	37
Fig. 15: Skiss över en skärm som med hjälp av kamera visar transportband från ovan. På Skärmen syns händer som plockar material.....	37
Fig. 16: Skiss som visar hur en anställd riktar ett ventilationsrör mot en mobil som börjat ryka på grund av demonteringen.	38
Fig. 17: Skiss av en person som bär ett munskydd som täcker näsa och mun.	38
Fig. 18: Skiss av ett möjligt multiverktyg som möjliggör färre byten av verktyg. Exempelvis en skruvmejsel med flera utvikbara format från handtaget.	38
Fig. 19: Skiss av flertalet utdragbara verktygsfästen monterade bredvid transportbandet. ...	39
Fig. 20: Skiss av ett greppdon som formar sig och stabiliserar demonteringsgods oavsett form. I skissen formar sig greppet efter en rakapparat.	39
Fig. 21: Skiss av kärl för nedkylning av komplext demonterings-gods. I skissen flyttas en rakapparat mot kärlets mynning.	40
Fig. 22: Skiss som visar redan demonterade produkter utsorterade från det huvudsakliga materialflödet. En mobiltelefon, en fjärrkontroll, en surfplatta och en högtalare ligger på transportbandet.	40
Fig. 23: Bild där åtgärder i slutgiltigt koncept placeras relativt från billigare till dyrare, från vänster till höger.....	41

BETECKNINGAR

Litiumjonbatteri

en sammanfattande beteckning för många olika typer av uppladdningsbara batterier där litiumjoner rör sig från positiv till negativ elektrod vid urladdning, och i motsatt riktning vid laddning. Vidare i rapporten benämns dessa med förkortningen *lion-batteri*. Andra vanligt förekommande förkortningar är LIB, li-on och lion.

Småbatterier

konsumentbatterier för hemelektronik. Inkluderar lion-batterier. Underfraktionen ”övriga småbatterier” inkluderar inte lion-batterier.

Elavfall

alla produkter som har sladd eller drivs av batteri (Göteborgs Stad, 2017). Även ljuskällor och lagringsmedia såsom USB-minnen räknas som elavfall.

Material

i rapporten, beteckning på *elavfall* som inkommer till återvinningsanläggning.

Produkter

i rapporten, beteckning på enskilda produkter i *material*.

Demontering

att med verktyg demontera *produkter* för att komma åt *farligt avfall*.

Farligt avfall

inkluderar, förutom lion-batterier, bland annat flytande ämnen såsom färg, kemikalier och kvicksilver. Farligt avfall kan återfinnas i små mängder i *produkter*, och därför viktigt att saneras (Avfall Sverige, 2016).

Pre-sorting line (PSL)

försorteringslina hos återvinningsanläggning där *material* behandlas en första gång.

1 INLEDNING

Sony lanserade det första lion-batteriet år 1991 (Battery University, 2010). Idag är batterimodellen en av de populäraste tack vare sin höga energikapacitet i förhållande till vikt samt att den klarar hundratals av laddningscykler (Brain, 2006). Med en väntad trefaldig ökning i användning fram till 2025 (Goldman Sachs, 2016), återfinns de vanligen i mobiltelefoner, bärbara datorer och portabla transportmedel. De senaste åren har även marknaden utökats till elbilindustrin där användningen är projicerad att mångdubblas (Citibank, 2012).

På grund av incidenter där lion-batterier exploderat i portabel elektronik (Nilsson, 2017; Chamary, 2016), kretsar dagens samtal och pågående forskning kring hur säkerheten vid användningsfasen kan förbättras (Lahiri, Shah & Dales, 2017; Hachman, 2017). Ett område som däremot är mindre utforskat är säkerheten vid återvinning och demontering av lion-batterier ur den elektronik den monterats i.

1.1 Bakgrund

Idag sker en medelstor brand- och rökutveckling en gång i veckan hos en återvinningsanläggning på grund av lion-batterier. Hos anläggningen hanteras elavfall i stora volymer, men på grund av en manuell förbehandling där inte alla lion-batterier demonteras ur, följer att kvarblivna lion-batterier genomgår en maskinell storleksreducering med brand- och rökutveckling som möjlig påföljd. På grund av lion-batteriers energitäthet är dessutom dessa bränder en av de svåraste att släcka med traditionella släckningsmedel (Mikolajczak, Kahn, White & Long, 2011).

För att undersöka detta vidare genomfördes således detta projekt våren 2017, genom konsultbolaget *First to Know Scandinavia AB* i samarbete med *Brandskyddsföreningen*. Utefter en pilotstudie, beskriven i kapitel 5, kontaktades den studerade anläggningen.

1.2 Syfte och mål

Med lion-batteriers brandproblematik som grund, åsyftar projektet att studera anläggningens återvinningsprocess med ändamålet att utreda hur brandrisken kan minimeras samtidigt som återvinningsprocessen optimeras. Vidare skall specifikt förbehandlingen studeras.

Målet är att ta fram en för anläggningen aktuell kravspecifikation, vilken ligger som underlag för att vidare konceptutveckla en ny rekommenderad process. Denna process skall presenteras som en eller flera åtgärder, bestående av nya rutiner, inköp och produktutveckling.

1.3 Avgränsningar

Nedan redogörs för de avgränsningar som projektet utgår från.

- Företaget studeras under sekretess.
- Avancerade kemitekniska lösningar beaktas inte.
- Arbetet avslutas på konceptuell nivå.
- Kravspecifikationen ses som det viktigare resultatet medan slutkoncept skall anses vara en rimliga rekommendation som behöver studeras vidare.
- Slutkoncept genomgår enbart en relativ kostnadsuppskattning.

1.4 Frågeställning

Hur skulle en förbättrad saneringsprocess av elavfall kunna utformas för att underlätta identifiering och utvinning av lion-batterier?

- Hur kan sagd process utformas mer brandsäkert?
 - Av vilka anledningar uppstår brand?
 - Hur kan man förutse brand, alternativt identifiera riskprodukter?
 - Vilka motiv finns för proaktiva eller reaktiva åtgärder?
- Hur kan sagd process utformas för en effektivare materialåtervinning?
 - Hur påverkar brand materialåtervinningen?
 - Vilka motiv existerar att sortera ut fungerande lion-batterier för återanvändning?

1.5 Rapportens disposition

Rapporten är uppdelad i 10 kapitel. Denna inledning följs åt av kapitel 2, som innehåller övergripande teori om lion-batteriers kemiska komponenter och hur dessa kan föranleda en brandreaktion.

Vidare följer kapitel 3 med en beskrivning av nuvarande brandhantering och en beskrivning av den studerade demonteringsprocessen hos återvinningsanläggningen.

I kapitel 4 beskrivs metoder som används vid pilotstudie, studie och konceptutveckling. Pilotstudien omfattar utforskande telefonsamtal och studiebesök för att ringa in ett

problemområde att undersöka. Studien omfattar datainsamling och -analys kring området för att söka förstå problemrymden och identifiera behov och önskemål. Vid konceptutvecklingen nyttjas ett flertal idégenereringsmetoder för att skapa en idérymd av nya processaktiviteter.

I kapitel 5 beskrivs resultatet av pilotstudien, vilken ledde fram till att demonteringen blev den kritiska process hos anläggningen som ämnas förbättras.

Resultaten av studien redovisas i kapitel 6, och innehåller en uttömmande beskrivning av problemrymden samt en summerande felträdsanalys över svårigheten att demontera elavfall. En trendanalys för användningen av och riskerna med lion-batterier återfinns som komplement för att kunna sätta krav kring hur resurskrävande en ny processlösning borde vara att implementera. Verksamhetens process sammanfattas i en funktionsanalys, varefter kapitlet avslutas med en punktlistad kravspecifikation.

I kapitel 7 redogörs resultatet av konceptutvecklingen, vilken påbörjas med ett iterativt idégenereringsförlopp med flertalet handritade skisser. Därefter följer utvärdering och val av slutlig idé baserat på en beslutsmatris.

Det slutgiltiga processkonceptet presenteras i kapitel 8 med en processbeskrivning, visualiseringar av ingående aktiviteter och en relativ kostnadsuppskattning för respektive aktivitet.

Rapportens genomförande och resultat diskuteras i kapitel 9, för att slutligen återkopplas till frågeställningen och dras slutsatser av i kapitel 10

2 TEORETISK REFERENSRAM

2.1 Kemiteori kring lion-batteriet

Lion-batteri är ett samlingsbegrepp för flera olika energilagringskomponenter som använder grundämnet litium (Chagnes & Światowska, 2015). Nedan följer en sammanfattning av ett typiskt lion-batteris uppbyggnad och av vilken anledning som de kan utlösa en reaktion.

2.1.1 Lion-batteriets konstruktion

Ett lion-batteri består av fyra huvudsakliga komponenter: positiv elektrod (anod), negativ elektrod (katod), separator och en organisk elektrolyt (Chagnes & Światowska, 2015, s.41). Katoden består av litiumbaserade molekyler medan anoden brukligen består av grafit. De vanligaste litiumbaserade molekylerna är LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 (Chagnes & Światowska, 2015, s.128). Vid uppladdning vandrar elektroner genom elektrolyten från katod till anod, och vid urladdning i motsatt riktning.

Batteriet konstrueras olika beroende på geometrin för ämnad produkt, exempelvis platt och rektangulärt för mobiltelefoner eller cylindriskt för eltandborstar (se Fig.1). Oavsett konstruktion, gäller att en tunn film, med skikt av anod, separator, elektrolyt och katod, lindas i flera lager (se Fig 1). Ju mer film i batteriet, desto högre energikapacitet.

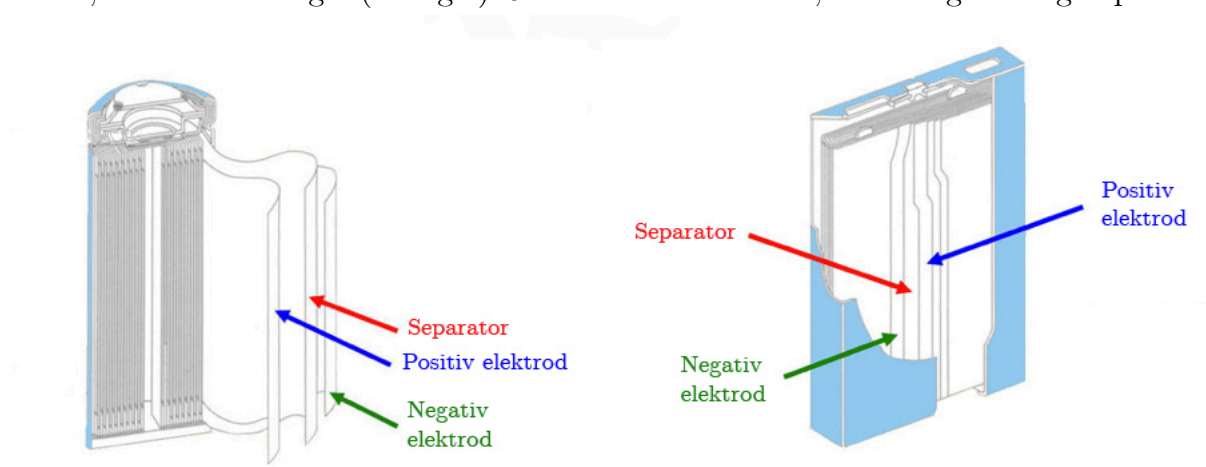


Fig. 1: Genomskärning av ett cylindriskt och ett rektangulärt lion-batteri (Batteriföreningen, 2017b).

2.1.2 Orsaken till en brandreaktion

Om den tunna filmen skadas, exempelvis vid perforering eller överhettning orsakad av ett fall, slag eller konstruktionsfel, kan det utlösa en brand- och rökutveckling (Ghose, 2015). Reaktionen som föranleder detta kallas en *termisk rusning* och innebär en okontrollerad temperaturökning som kan antända elektrolyten, vilket i värsta fall leder till brand i batteriets förvaringsmiljö (Karlsson-Ottosson, 2015). Vid mindre skador sker denna process långsamt, medan den sker omedelbart vid kritiska skador. Vad som även är avgörande för reaktionen är aktuell energinivå i batteriet (state-of-charge,

SOC). Ju mer energi som finns kvar i batteriet, desto större blir reaktionen (Sun et al., 2016). Nämnvärt är att andra batterityper också poserar en brandrisk eftersom de innehåller energi, men just lion-batterier poserar den största brandrisken. Detta beror dels av att litium är en av de metaller som lättast reagerar med andra ämnen (Chagnes & Światowska, 2015), och dels av att lion-batterier är så vanligt förekommande.

2.2 Svårsläckta lion-bränder

För att en brand skall uppstå krävs syre, värmeenergi och bränsle (MSB, 2013). För att släcka en brand erfordras därför att minst en av dessa faktorer motverkas. Det är på dessa premisser som släckutrustning fungerar. Brandsläckare med koldioxid tar bort syret, och skum- och vattensläckare leder bort värmeenergin genom kylning (MSB, 2009).

På grund av de höga energimängderna i ett lion-batteri uppmäter orsakade bränder en väldigt hög temperatur. Därför kvalificeras litiumbränder som en av de svåraste bränder att släcka (National Fire Protection Agency, 2016). Således skulle det krävas oerhörda energimängder för att kyla ned dessa, härafter kallade, *lion-bränder*.

Vad avser dokumentation av lion-bränder är den bristfällig på grund av begränsad teknisk kunskap hos räddningstjänstpersonal. I insatsrapporter från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) beskrivs sällan händelsen som en lion-brand (handläggare MSB, personlig kommunikation, 21 mars 2017), vilket skapar mörkertal och begränsar förståelse för framtida släckningsarbete.

2.2.1 Hälsoskadlig gasutveckling

Vilka gaser som utvecklas vid bränder beror av det som brinner. En majoritet lion-batterier idag innehåller flour (Anderson, 2013), varför lion-bränder efter mätning hos Brandforsk (Fredholm, 2014) påvisats utveckla gaser med minst tre olika flouridföreningar, framförallt väteflourid. En senare studie av toxicitet för lion-batterier (Sun et al., 2016) påvisade att fler än 100 olika gaser utvecklades vid lion-brand. Många av dessa är farliga för människans hälsa, exempelvis kolmonoxid (CO), men just väteflourid nämndes som kritisk för lion-batterier.

Väteflourid irriterar ögon och hud, och kan vid inandning leda till andnöd (AGA, 2007). Arbetsmiljöverket (2015) anger att ett hygieniskt gränsvärde för människor är 2 ppm (miljondelar) vid exponering under en referensperiod av 15 minuter. Detta värde är bindande och får inte överskridas, till skillnad mot vägledande gränser. Samtidigt anger forskningsledaren Lars Hoffmann vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut att hans forskningsteam uppmätt ännu högre värden (Åslund, 2015). Vid försök att skada olika lion-batterier fysiskt kunde de uppmäta värden så höga som 20 ppm trots stark luftgenomströmning. Detta påvisar att det vid lion-bränder hos återvinningsanläggningar finns en hög risk för anställdas hälsa om inte goda rutiner existerar och upprätthålls. Brandhanteringen hos studerad anläggning redovisas närmare i kapitel 3.3.

3 SYSTEMBESKRIVNING AV ÅTERVINNING

Från att ett lion-batteri kasseras till att det återvinns, löst eller som del av en produkt, sker åtskilliga steg. Nedan följer en sammanfattning av dessa, både övergripande för Sverige och specifikt för den observerade anläggningen.

3.1 Kretsloppet för lion-batterier i Sverige

I EU gäller sedan 2008 det så kallade *batteridirektivet*, som året därpå tolkats som en svensk förordning (Batteriföreningen, 2017a). Enligt denna så kallade *batteriförordning* erkänns ett producentansvar som innebär att den som sätter batterier på marknaden bland annat skall ta del i ett insamlingssystem, informera kunder om dessa insamlingssystem samt märka batterier med återvinningssymbol (Batteriföreningen, 2017a). Syftet med producentansvaret är att fler batterier skall inkomma till återvinning.

Insamlingen för batterier i allmänhet står enbart för mindre än 3% av Sveriges samlade elavfall. Däremot återfinns många batterier som en del av fraktionen *diverse elektronik* som uppgår till 53% av Sveriges insamlade elavfall (El-Kretsen, 2016). Denna fraktion innehåller platt-tv-apparater, rakapparater, batteridrivna sexleksaker, adventsljusstakar, lysrör, tv-spelskonsoller, av misstag lösa batterier, mobiltelefoner med mera. För att kunna återvinna lion-batterier är det därför av vikt att detta material bearbetas korrekt.

Vad avser insamlingen av lösa batterier sköts det i Sverige av *El-Kretsen*, ett branschägt servicebolag med uppdrag att tillhandahålla insamlingssystem för både batterier och elavfall (El-Kretsen, 2017; Naturvårdsverket, 2016). Det uppsamlade elavfallet, som kommer främst från återvinningscentraler (ÅVC) och återvinningsstationer, skickas sedan vidare till upphandlade återvinningsanläggningar (ÅVA). Kretsloppet mellan kassering till återvinning av lion-batterier ser följaktligen ut som nedan:

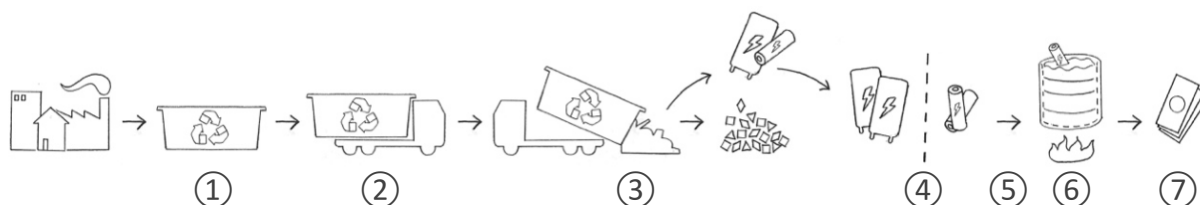


Fig. 2: Grafik över kretsloppet för lion-batterier, i 7 steg.

1. Privatperson eller företag kasserar elavfall på ÅVC.
2. Fraktionen *diverse elektronik*, köpt från El-Kretsen eller företag (B2B), transporteras till ÅVA (brandskyddskoordinator, personlig kommunikation, 6 april 2017).
3. ÅVA sanerar fraktionen från lion-batterier och övrigt farligt avfall, och storleksreducerar återstående material maskinellt (brandskyddskoordinator, personlig kommunikation, 6 april 2017).
4. Utsorterade batterier...
 - a. ...skickas vidare till ÅVA specialiserad på sortering efter batterityp
 - b. ...sorteras på plats efter batterityp (arbetsledare försortering, personlig kommunikation, 8 maj 2017).
5. De utsorterade lion-batterierna transporteras till ÅVA specialiserad på lion-återvinning.
6. Lion-batterierna smälts för att återvinna värdemetaller såsom stål, aluminium, koppar och kobolt (Anderson, 2013).
7. Det fraktionerade materialet säljs vidare till producenter.

För att återvinningen av lion-batterier skall fungera optimalt krävs därför en välfungerande process hos de återvinningsanläggningar som hanterar *diverse elektronik*, härfter även kallat *material*.

3.2 Återvinningsanläggningens verksamhetsbeskrivning

Den återvinningsprocess som sker idag hos den studerade anläggningen, en ÅVA enligt steg 3 i föregående delkapitel, består av två steg: *Försortering* och *Storleksreducering* av elavfall (se Fig. 4). Materialet inkommer från ÅVC eller B2B-kunder, och enligt uppgift från anläggningen återfinns många lion-batterier i detta material (brandskyddskoordinator, personlig kommunikation, 6 april 2017). De fraktioner som anläggningen använder för batterier är *småbatterier* (vikt max 3 kg), med underfraktioner *lion-batterier* och *övriga småbatterier*, samt *trasiga småbatterier*.

3.2.1 Försortering och urdemontering av batterier

När materialet inkommer till anläggningen tippas det över till ett transportband (se Fig. 3, steg 1) varefter flertalet anställda, härafter kallade *försorterare*, manuellt sorterar ut material i ett fåtal fraktioner såsom plast, brännbart och produkter som innehåller en större mängd värdemetaller (steg 2). Prioriterat framför detta gäller att samla in batterier och bearbeta elektronik som misstänks innehålla batterier.

Parallellt med att materialet förflyttas fram på transportbandet, använder försorterarna handverktyg för att med egen kraft demontera enskilda produkter (steg 2). Detta för att sanera materialet från farligt avfall, men framförallt för att komma åt lion-batterier som skulle kunna reagera vid den efterföljande storleksreduceringen. Utöver den risken, ställs det som ett krav från El-Kretsen i enlighet med batteriförordningen. Demontering sker alltid parallellt med materialflödet av produktionsmässiga skäl, och fordrar normalt ett par minuter per produkt. Mindre produkter, såsom mobiltelefoner och eltandborstar, kräver normalt en halv minut medan större produkter är svårare att förutse tidsåtgång för. När produkter är svår demonterad, eller att genomströmningen av material är alltför stor, placeras de temporärt i en behållare för demonteringsgod. När det inkommande materialet senare minskar till en hanterbar nivå, hämtas behållaren och parallell demontering återupptas.

De batterier som hittas placeras i en mindre behållare för att slutligen flyttas över till en större box som är godkänd för vidare batteritransport enligt steg 5 i kretsloppet. De batterier som däremot inte upptäcks, fortsätter till nästa process tillsammans med det material som återstår.

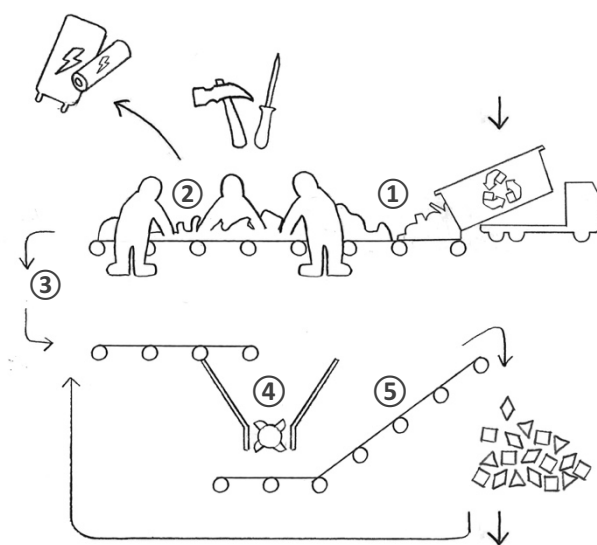


Fig. 3: Övergripande processbild över Försortering och Storleksreducering i 5 steg.

3.2.2 Storleksreducering

Återstående material efter försorteringen tippas av från transportbandet för att sedan förflyttas med skopa till ett nytt transportband (steg 3). Det som följer är en maskinell storleksreducering (steg 4). Maskinen kan liknas vid en kvarn som med flera tandade skivor långsamt skär och krossar materialet genom en perforerad metallplatta (se Fig. 4).

Efter storleksreduceringen leds materialet vidare på transportband genom ett antal maskinella delprocesser som sorterar ut metaller såsom järn, koppar och aluminium (steg 5). Även här plockar anställda batterier, men då som del av fraktionen trasiga småbatterier. Beroende på material och krav från smältverk, kan en andra storleksreducering vara aktuellt. Då används en metallplatta med mindre perforeringar.

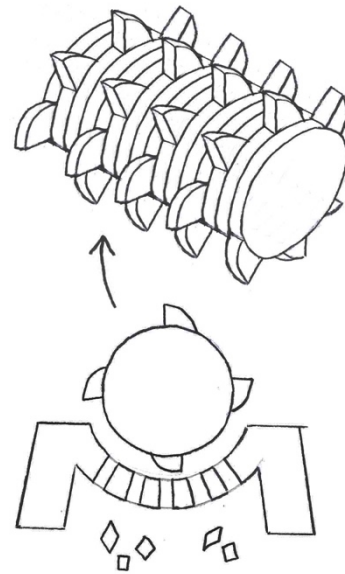


Fig. 4: Schematisk skiss över krossen, som består av tandade skivor och en perforerad metallplatta som materialet trycks igenom.

3.3 Uppkomst och hantering av lion-bränder

Det som anläggningen påpekat som synnerligen problematiskt i redogjord process är den rök- och brandutveckling som sker vid storleksreduceringen. Enligt brandskyddskoordinator (personlig kommunikation, 6 april 2017) sker nästintill alla incidenter i storleksreducering på grund av lion-batterier som finns kvar i det material som utkommer från försorteringen. Den maskinella bearbetningen förorsakar alltså termisk rusning för de batterier som strömmar igenom. Reaktionen uppstår oftast i krossen, men även längs med transportbandet om ett lion-batteri kommit igenom halvskadat. Enligt brandskyddskoordinator kan det i vissa fall förkomma att ett skadat lion-batteri utlöser en brand först när det kommit till slutförvar tillsammans med annat storleksreducerat material.

Uppstår branden i krossen finns det detektorer som automatiskt startar ett sprinklersystem med vatten om temperaturen överstiger 70° C. Detta kan mildra en lion-brand, men att släcka med befintligt sprinklersystem är i princip omöjligt (brandskyddskoordinator, personlig kommunikation, 6 april 2017). Att direkt stanna processen skulle innebära att branden blir svåråtkomlig i maskinen. Detta försvårar släckningsarbetet, varför branden skulle medföra mer skada. Därför finns rutin på att låta materialet gå igenom processen tills det befinner sig i slutförvaret. Väl där låter man lastmaskiner sprida ut materialet för att underlätta manuell släckning med skumsläckare.

Att anläggningen använder skumsläckare föregås av att de nyligen, i samarbete med ett lokalt brandskyddsföretag, gjort interna tester med släckmedel för att avgöra hur de bäst släcker en lion-brand. Resultatet innebar, utav olika släckare på marknaden, att skumsläckare fungerade bäst. Anledningen är att den effektivast kyler ned branden, och således tar bort en av de tre faktorer för en effektiv brand (brandskyddskoordinator, personlig kommunikation, 6 april 2017).

Beaktansvärt är att reaktioner även sker vid försorteringen. Detta på grund av att lion-batterier skadas vid hanteringen eller redan innan de placeras på transportbandet. Uppträder de där, är skadan på batteriet liten, med en långsam antändningsprocess som följd. Eftersom försorteringen alltid är bemannad, åtgärdas dessa incidenter snabbt. Åtgärden innebär att batteriet placeras ned i en låda med sand, vilket stoppar syretillförseln till reaktionen.

3.4 Konsekvenser av lion-bränder

Branden är problematisk för anläggningen eftersom det dels sätter stopp i produktion och dels utgör en outforskad hälsorisk för de anställda. Brandskyddskoordinatören har uttryckt att just riskerna avseende brandröken är viktiga att studera då det inte finns mycket tillgänglig information (brandskyddskoordinator, personlig kommunikation, 3 november 2016).

Vid brand skadas även material som är tänkt att gå vidare till smältverk. Värdet av materialet baseras på hur rent detta är från andra partiklar som inte går att återvinnas. Det material som skadas vid brand utgör däremot ingen ekonomisk förlust, eftersom mängden är så liten i förhållande till mängden material som går igenom verksamheten. Dessutom finns det alltid en viss andel orenheter, såsom organiskt material och sten (produktionschef, personlig kommunikation, 8 maj 2017).

4 METOD

Projektförfarandet består av tre huvuddelar: pilotstudie, studie och konceptutveckling. Metoderna för dessa baseras generellt på de för användarstudier, där intervjumaterial inhämtas för att sedan analyseras och utgöra grund för vidare idégenerering. Arbetsgången har varit iterativ för att det analytiska och kreativa förloppet skall överensstämma.

4.1 Metoder under pilotstudien

Innan projektstart var utgångspunkten 'brandproblematik på grund av lion-batterier vid återvinning', men det var först efter en pilotstudie som avgränsningar fastställdes. Nedan beskrivs de metoder som användes för att komma fram till aktuell avgränsning.

4.1.1 Intressentanalys

En *intressentanalys* avser kartläggning av aktörer som möjligen skulle ställa krav på en produkt eller process (Karlsson, 2007). En sådan analys genomfördes med olika återvinningsanläggningar i Sverige för att finna ett lämpligt undersökningsobjekt för projektet. Telefonsamtal genomfördes med tre anläggningar, vilket var tillräckligt för att hitta en anläggning med uttalade erfarenheter av lion-bränder. Två frågor användes för att identifiera intressenter: *Har ni intresse av en mer brandsäker process?* och *Har ni intresse av en mer materialoptimerad process?*

4.1.2 Personlig intervju

Intervjuer är ett medel att samla in kvalitativ data bestående av åsikter och behov för att erhålla en större problemförståelse (Karlsson, 2007). Intervjuerna kan vara ostrukturerade eller strukturerade. En strukturerad intervju baseras på förutbestämda frågor som ställs efter varandra, medan en ostrukturerad intervju innebär att respondenten får tala relativt fritt. Utöver struktur kan frågor vara antingen stängda eller öppna. Stängda frågor lämpar sig bättre då ett problem redan är identifierat och skall kvantifieras, medan öppna frågor lämpar sig bättre för ämnen som behöver kartläggas. Därtill tillkommer även en teknik kallad *probing* som innebär att intervjuaren ställer relevanta följdfrågor för att nyansera eller komplettera respondentens svar (Karlsson, 2007).

För att förstå problematiken hos den ÅV-anläggningen som visade sig ha störst problem med lion-bränder, genomfördes därför en semi-strukturerad intervju med öppna frågor och probing. Intervjun hölls med anläggningens brandskyddskoordinator och utfördes på plats hos ÅV-anläggningen. För att underlätta genomförande och efterföljande analys, spelades intervjun in.

4.2 Metoder under studien

Nedan beskrivs de metoder som användes under studien, vilka innefattar insamling och analys av data.

4.2.1 Datainsamling

Underlaget för projektet utgörs av primär- och sekundärdata. Det innebär material som genereras själv, såsom vid intervjuer, respektive material som inhämtas externt, såsom vid litteraturstudier. Eftersom återvinningsprocessen är specifik för observerad anläggning utgör primärdata huvudsaken av datainsamlingen, vilken utefter behov kompletteras med sekundärdata.

Personliga intervjuer

För att förstå nuvarande försorteringsprocess hos anläggningen har personliga intervjuer genomförts på liknande sätt som under pilotstudien. Eftersom projektet ämnar skapa en djup förståelse för problemsituationen har urvalet av intervjupersoner bestått av anställda på skilda operativa nivåer. Utefter diskussion med brandskyddskoordinatören från pilotstudien, har följande personer intervjuats:

- *Produktionschef* (6 månader i verksamheten)
med övergripande ekonomiskt och organisatoriskt perspektiv.
- *Arbetsledare vid Försortering* (10 år i verksamheten)
med god helhetsförståelse av försorteringen och samlade erfarenheter.
- *Försorterare* (2 år i verksamheten)
som kunde redogöra för mer detaljer i genomförande av försorteringen.
- *Arbetsledare vid Storleksreducering* (5 år i verksamheten)
som kunde redogöra för storleksreducering och sitt perspektiv av bränder.
- *Brandskyddskoordinator* (10 år i verksamheten)
med störst insikt i brandrutiner och -hantering.

Nämnvärt är att brandskyddskoordinator och arbetsledaren vid försortering började sin tid på företaget genom att arbeta i försorteringen, varför deras perspektiv kunnat komplettera den nuvarande försorteraren.

Intervjuerna genomfördes vid ett andra studiebesök hos anläggningen, och varade mellan 45-60 minuter. Eftersom projektet är undersökande, har intervjuerna varit semi-strukturerade med öppna frågor, för att sedan med probing ställa djupare följdfrågor och verifiera otydliga svar med slutna frågor.

Inför besöket strukturerades intervjuguider. Vid intervjuer fördes inga anteckningar, utan intervjuerna spelades med fördel in för att underlätta senare analys. Då många intervjuer skedde parallellt med rundvandring vid anläggningens processer, underlättade inspelning dessutom samtalsflödet.

Utöver intervjuer uppstod även spontana samtal med anställda vid rundvandringen, varav vissa varade uppemot 30 minuter. Dessa samtal, som närmare kan beskrivas som ostrukturerade intervjuer, baserades löst på frågor från intervjuguider och har likaså utgjort underlag för vidare analys.

Kompletterande litteraturstudier

För att underbygga projektet har litteraturstudier genomförts. Särskilt har faktaisamling av lion-batteriets konstruktion, dess brandtekniska aspekter och brandrökens hälsoaspekter utretts. Detta material är det som tillkommit under kapitel 2, Teoretisk referensram. För att upprätthålla hög aktualitet har material inhämtats ur vetenskapliga artiklar och specialiserade verksamheter inom batterier, brand och återvinning. Exempel på verksamheter är *El-Kretsen* och *Arbetsmiljöverket*. Refererade dagstidningsartiklar avser framhäva dagsaktuella händelser.

4.2.2 Analys av data

För att analysera intervjuerna, utfördes transkribering och kartläggning i en *KJ-analys* som avser rubricera anläggningens behov i specifika teman. Ur detta sammanfattas den nuvarande processen i en *felträdsanalys* för att identifiera problemhierarkin. En *trendanalys* genomfördes parallellt genom att intervjua batteriforskare.

4.2.2.1 KJ-analys

KJ-analys, även kallad släktskapsdiagram, namngiven efter skaparen Jiro Kawakitas initialer, innebär noggrann undersökning av en större mängd ostrukturerad data för att skapa sammanhängande temagrupper (Karlsson, 2000). Dessa teman kan i sin tur ha flerdimensionella samband med andra teman. I en designprocess används denna metod för att kartlägga krav och önskemål. Eftersom inspelat intervjumaterial utgör en stor mängd ostrukturerad data krävdes att denna bearbetades till ett mer överskådligt material. Den redan utförda intervjun från pilotstudien kunde även här användas som underlag, men analyserades mer ingående.

För att genomföra KJ-analysen transkriberades intervjuerna enligt *intelligent verbatim*. Det innebär att upprepningar och talspråksljud förbises för att skapa en mer följsam text, något som hade varit viktigare att ha kvar om en individs privata känslor, snarare än beskrivning av process, varit i fokus för vidare analys (Weloty, 2015). Intervjucitat som bedömdes innehålla krav och önskemål skrevs ut på papper. Dessa citat placerades på en anslagstavla en efter en, utefter hur de relaterade till varandra, för att allt

eftersom bilda större grupper (se Fig. 5 och 6). För att påvisa flerdimensionella samband fästes tråd mellan krav och önskemål som fanns i olika grupper.



Fig. 5: Fotografi av KJ-analysprocessen. Bilden visar hur tråd fästes för att visa samband mellan krav.

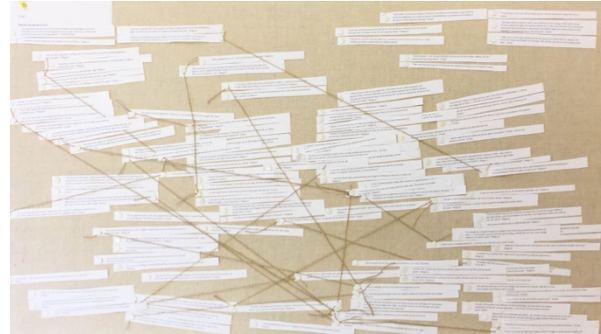


Fig. 6: Fotografi över hur alla citat med krav har monterats på en anslagstavla i temagrupper.

4.2.2.2 Felträdsanalys

En *felträdsanalys* (FTA) är ett diagram som visar samband mellan en händelse och orsakerna till denna (NE, 2017). Baserat på resultatet av KJ-analysen och observationer, skapades två sådana diagram för att erhålla en hanterlig översiktsbild av hur problemrymden hänger samman, och indikera en motsvarande lösningshierarki. ”Ett lion-batteri passerar försorteringen” samt ”Svårigheter att demontera batteriprodukter” sattes som händelser, varav orsaker systematiserades.

4.2.2.3 Trendanalys över lion-utveckling

En *trendanalys* avser att sammanfatta rådande samhällsförändringar (Österlin, 2011). Att beakta trender över lion-batteriers utveckling anses viktigt för att bedöma huruvida brandproblematiken kommer existera i framtiden. Att utveckla en ny process är alltid en kostnad för en verksamhet, och trendanalysen kan avgöra om en lösning med kort eller lång implementeringstid kan motiveras vid investering.

För att inhämta kvalitativa bedömningar genomfördes således en trendanalys genom att intervjua två batteriforskare på Chalmers tekniska högskola, för att reda ut huruvida dagens brandrisk med lion-batterier är ett övergående problem.

– *Forskarassistent* Martina Petranikova,
vid institutionen för *Kemi och Kemiteknik*, Industriell materialåtervinning, vid Chalmers tekniska högskola. Medförfattare till ”*Lithium process chemistry resources, extraction, batteries, and recycling*”.

– *Postdoktor* Duncan Kushnir,
vid Institutionen för *Energi och Miljö*, Miljösystemanalys, på Chalmers tekniska högskola. Författare till rapporten ”*Lithium Ion Battery Recycling Technology 2015*”

4.2.3 Funktionsanalys över process

För att strukturera hur en produkt uppfyller sitt ändamål är en *funktionsanalys* ett bra verktyg (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Den ämnar lista ingående funktioner efter huvud-, del- och stödfunktion, där huvudfunktionen utgör anledningen till att produkten eller processen existerar. Delfunktioner är sådana som är nödvändiga för att uppfylla huvudfunktionen, medan stödfunktioner är sådana som enbart ger ett mervärde.

Från processen redogjord i kapitel 3.2.1, Försortering och urdemontering av batterier, översattes varje delprocess till en funktion. Eftersom en process kräver att vardera delprocess fungerar, blir huvudfunktion "*att samla in batterier och batteriprodukter*", medan resterande funktioner blir delfunktioner. Funktionsanalysen underlättar att strukturera en senare kravspecifikation.

4.2.4 Kravspecifikation

För att sammanställa framkomna krav och önskemål som ställs på en produkt eller process, listas dessa i en *kravspecifikation* (Johannesson et al., 2013). Den kan ses både som det slutgiltiga resultatet av studien, och dessutom utgöra underlag för utvärdering av framtagna koncept. Kravspecifikationen kan vara mer eller mindre detaljerad.

Eftersom aktuellt projekt har en utforskande karaktär, och inte på förhand specialiserar sig på en särskild produkt, anses det lämpligast att kravlistan består av generella funktioner snarare än kvantifierade enheter. Utifrån KJ-analysen, Felträdet och Funktionsanalysen utformas kravspecifikationen.

4.3 Metoder under konceptutveckling

Nedan beskrivs de metoder som användes under konceptutvecklingen. De beskriver hur idégenerering av lösningar och urvalet av dessa genomfördes.

4.3.1 Brainwriting kombinerad med PNI-metoden

Brainwriting är en metod där en eller flera personer skriver ned eller skissar idéer för att generera en mängd av dessa (Österlin, 2011). Den ses som en variant av metoden *brainstorming*, vilken däremot sker muntligt. Viktigt är att idéer inte får kritiseras medan genereringen pågår, eftersom det kan föranleda att de inte delges.

För att generera dellösningar genomfördes åtskilliga solitära brainwriting-sessioner för respektive delfunktion som identifierades enligt kapitel 4.2.3. Idéer skissades på papper. Efter varje session utvärderades idéerna med PNI-metoden, en snabb och subjektiv metod för att lista *Positiva*, *Negativa* och *Intressanta* aspekter för en idé (Österlin, 2011). Denna metod genomfördes växelvis med brainwriting för att upptäcka

uppenbara brister, varpå nya dellösningar som inte hade dessa brister genererades i efterföljande session. Detta underlättade även identifiering av komplement till dellösningar som fungerar bättre i kombination med andra dellösningar. För att säkerställa att idéerna gemensamt svarade mot den studerade processen, ställdes vardera idé slutligen mot kravspecifikationen.

4.3.2 Morfologisk matris

För att kombinera en mängd dellösningar till en eller flera totallösningar kan en *morfologisk matris* nyttjas (Johannesson et al., 2013). Matrisens rader utgör funktioner medan kolumnerna utgörs av olika dellösningar. En totallösning bildas genom att välja en dellösning per funktion.

Utefter ett subjektivt urval sällades undermåliga idéer, från tidigare brainwriting, bort. De mer utmärkande idéerna utgjorde alternativen som kombinerades till totallösningar.

4.3.3 Beslutsmatris

För att jämföra olika koncept erfordras vanligen en beslutsmatris (Johannesson et al., 2013). I den värderas koncept mot varandra baserade på urvalskriterium, vanligen grundade på en kravspecifikation eller funktionsanalys. Matrisens rader utgör urvalskriterium, medan kolumner utgör olika koncept.

För att poängsätta hur väl vardera totallösning förbättrade varje delfunktion, summerades bidraget till kravspecifikationen för vardera dellösning. Eftersom varje dellösning representerade en principlösning, vilka erfordrar vidare utveckling, antogs att alla dellösningar gav lika poäng, 1, för varje krav de bemötte.

5 PILOTSTUDIE FÖR IDENTIFIERING AV PROBLEMOMRÅDE

Utav tre tillfrågade anläggningar framkom att en hade särskilt problematiska erfarenheter av lion-bränder, varför ett studiebesök genomfördes hos dem. Nedan redogörs för anledningen till avgränsningen av detta problem. Slutlig frågeställning är sedan tidigare känt från kapitel 1, Inledning.

5.1 Proaktiva framför reaktiva brandåtgärder

Utifrån redovisad uppkomst och hantering av lion-brand i kapitel 3.3, kan observeras att det finns två sätt att påverka; antingen att *reaktivt* släcka eller att *proaktivt* förebygga brand.

Avseende reaktiva åtgärder skulle det i stora drag kunna innebära förbättrade rutiner, nyinstallerade automatiska släcksystem och effektivare släckmedel. Avseende proaktiva åtgärder skulle det kunna innebära effektivare demontering av lion-batterier ur elavfall eller att minska lion-batteriers reaktion genom urladdning.

Vid studiebesöket framkom att anläggningen redan har samarbete med ett lokalt brandskyddsföretag, och för samtal kring nya släckningsåtgärder, varför en reaktiv lösning inte bedöms vara avlägsen. Enligt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap pågår det dessutom mycket forskning kring just släckning av lion-bränder (handläggare MSB, personlig kommunikation, 21 mars 2017). I kombination med att kemiteknisk kunskap ligger utanför projektets avgränsningar har därför rapporten inget syfte att besvara huruvida nya reaktiva lösningar skulle kunna utvecklas för anläggningen.

Detta motiverar istället vidare undersökning av hur försorteringen av det genomströmmande materialet proaktivt kan förbättras för att förhindra brand, vilket av arbetsledare på plats ansågs vara en grundorsak till bränderna.

*”Grundproblemet [till branden] är att vi har fått
ett batteri till pipen över huvud taget.”*

Arbetsledare vid Storleksreduceringen

6 STUDIE

Följande kapitel redovisar resultatet av studien som utfördes efter den inledande pilotstudien. De olika delarna presenteras i samma ordning som i kapitel 4, Metod.

6.1 Resultat från intervjuer med anställda

Nedan sammanfattas resultatet av KJ-analysen i en huvudsakligen narrativ text med tematiska rubriker. Innehållet baseras främst på citat som identifieras inneha åsikter och problembeskrivningar som kan översättas till krav. Vid tillfällen då observationer gett en annan bild än det som sagts under intervju, anges detta.

SVÅRIGHETER ATT ISOLERA DEMONTERING AV BATTERIPRODUKTER

Urdemontering av lion-batterier är del av en större process där elektronik saneras från farligt avfall. Det är således svårt att isolera lion-batterierna till en egen process eftersom urdemonteringen av dessa beror på huruvida väl materialet i övrigt kan hanteras. Urskiljningen av lion-batterier från övriga småbatterier sker dessutom först efter att batterierna är demonterade ur produkterna. Även om lion-batterier är prioriterat, på grund av den skada de kan åsamka senare i processen, är därför all batteridemontering lika viktig. Alla batterier oavsett visuellt skick anses också, eftersom det inte finns någon möjlighet att säkerställa dess funktionella kvalitet, som potentiella risker, varför det inte sker något urskiljning mellan fungerande och icke-fungerande batterier.

”Batterier är fokus just för att vi har bränder av dem”

Arbetsledare, PSL

SVÅRIGHETER ATT VÄRDESÄTTA ÅTGÄRDER

Enligt produktionschefen (personlig kommunikation, 8 maj 2017) har företaget inga metoder att beskriva det ekonomiska värdet av att bränder relaterade till lion-batterier förhindras. När en åtgärd skall motiveras genomförs istället en samlad bedömning kring huruvida effektiv åtgärden anses vara. Således kan sägas att ju effektivare en lösning kan uppskattas vara, desto större investering kan motiveras. Något som skildrar ett visst värde är däremot att investeringar med tydligt fokus på arbetsmiljö och säkerhet premieras inom företaget.

SVÅRIGHETER ATT KVANTIFIERA DEMONTERINGSMÅL

Eftersom materialet som inkommer till anläggningen varierar i innehåll, både inom och mellan olika B2B-kunder och ÅVC:er, går det inte att specificera ett absolut antal batterier som skall demonteras (arbetsledare försortering, personlig kommunikation, 8

maj 2017). Av densamma anledning existerar heller inga generella tumregler kring antal batterier, och i nuläget genomförs inga uppskattningar av hur många möjliga batterier som finns i materialet. Detta gör det inte möjligt att specificera en mätbar enhet som underlag för ett potentiellt krav. Utefter avtal med El-Kretsen existerar däremot ett krav att alla batterier skall demonteras ur och skickas tillbaka till dem för vidare bearbetning. Så många som möjligt är således ett generellt ställt krav.

Det som däremot går att ställas som jämförelsebar enhet är antalet batterier som demonteras i försorteringen, samt de som sorteras ut efter storleksreduceringen. I dagsläget uppskattas en siffra på ca 300 kg småbatterier per dag som demonteras vid försorteringen, samt en siffra på ca 20 kg trasiga småbatterier som återfinns efter storleksreduceringen. Ett förhållande mellan dessa skulle kunna vara ett tänkt mått på hur effektiv demonteringen är.

Därtill ställs ett internt produktionsmål att kunna gå igenom ca 700 kg material per timme och anställd (arbetsledare försortering, personlig kommunikation, 8 maj 2017). Detta mål följer att materialet kan bearbetas effektivt, vilket inkluderar urdemontering av batterier. Denna enheten förändras i första hand utefter antal arbetande anställda; Ju fler som arbetar med detsamma materialflöde, desto svårare att uppnå produktionsmålet även om det medför högre kvalitet på det utgående materialet. Ju färre som jobbar med detsamma materialflöde, desto lägre kvalitet på det material som går ut, men produktionsmålet överstigs.

SVÅRIGHETER ATT MÖTA PRODUKTIONSMÅL

Det är många faktorer som gör att hanteringen av det inkomna materialet tar tid att genomföra, varav mängden material, oöverskådligt material, demonteringstid, och en eskalerande mängd demonteringsgods utgör de fyra främsta anledningarna.

Mängden material (A)

Varje dag passerar ca 80-100 ton material försorteringen. Detta är en stor mängd material som skall ses över av ett tiotal anställda. Även om anläggningen har som uppdrag att sanera allt det inkomna materialet från farligt avfall, är det i realiteten en balansgång mellan att hantera materialet och att inte ta för mycket tid i anspråk. Anledningar är variationen i material och dess skick, vilka beskrivs i ett par stycken längre ned.

"Alla skall plocka så mycket som möjligt av det dem hinner för att det i slutänden skall vara så rent som möjligt när det lämnar processen"

Arbetsledare, PSL

"En produkt, javisst, det går att utveckla hur många tekniker som helst för att lösa det smidigt. Fyra miljoner olika produkter ser annorlunda ut."

Arbetsledare, PSL

Oöverskådligt material (B)

Att stanna bandet är en mycket oönskad åtgärd eftersom det stoppar flödet, men likväl är det en vanligt nödvändighet för att sprida ut och bearbeta högar av material som annars är svåröverskådliga. Ett typisk problem är att sladdar och vajrar virat sig kring materialet, varför dessa klipps av i mån av tid. Vid observation återstod det däremot fortfarande mängder av sladd.

"Ju mer utspritt det är, desto lättare är det att hitta saker som batterier"

Brandskyddskoordinator

Undermålig demonteringstid (C)

Olika produkter tar olika lång tid att demontera, men sagt är att 5 minuter inte är acceptabelt för någon typ enskild produkt (försorterare, personlig kommunikation, 8 maj 2017), även om det ofta förekommer. Detta gäller särskilt för en rad produkter som pekas ut som extra krävande. Exempelvis mobiler, musikspelare och surfplattor av högre kvalitet och gediget material. Bristen på lämpliga verktyg är också en faktor till tidsåtgången, vilket beskrivs utförligare ett par stycken längre ned.

"Allt farligt avfall skall vara sanerat när det lämnar [...]. Men sen är det ju människor som arbetar där, och felfria är vi aldrig" – *Arbetsledare, PSL*

Eskalerande mängder demonteringsgods (D)

Demonteringsgodset, som placeras åt sidan för att hanteras då materialflödet är mindre, bearbetas parallellt just eftersom mängden annars eskalerar väldigt snabbt. Detta är inte bra dels på grund av föreskrifter kring hur många ton material anläggningen får ha på området, men främst för att det innebär att demonteringsgodset behöver behandlas vid senare tillfälle. Det krävs idag, en gång i veckan, att en dedikerad demonteringsstation i en annan del av anläggningen används på grund av en för stor mängd ansamlat demonteringsgods.

"Ju mer vi lägger åt sidan, desto mer har vi att göra och ta ikapp hela tiden"

Arbetsledare, PSL

SVÅRIGHETER ATT UTVECKLA VERKTYG OCH METODER

Vid demonteringen används idag inga verktyg som är speciellt effektiva för det material som inkommer. Det som istället används är hammare och skruvmejslar som försorterarna nyttjar av egen kraft och fyndighet. Anledning till att de inte har mer specialiserade verktyg beror av flera anledningar, varav fyra utmärkande: Variationen av material, dess monteringsmetod, produktutveckling, och materialets skick.

"Vi har ju en miljon olika produkter som ser olika ut, vilket innebär att vi kan inte ha ett specialverktyg för varenda produkt."

Arbetsledare, PSL

Variationen av material (E)

Materialet som inkommer är idag komplext av flera anledningar. Den främsta anledningen är att det finns en stor variation både i produktrymd (*telefoner, lampor, högtalare o.s.v.*) och produktmodell (*varumärke, version*).

"Det kommer in så mycket olika grejer som man varken aldrig har sett eller hört talas om"

Brandskyddskoordinator

Materialets monteringsmetod (F)

Anställda vid försorteringen återberättar att produkter idag har mer inbyggda komponenter och dessutom monteras med lim eller pressning, till skillnad mot åtkomliga batteriluckor eller skruvar. En övergripande trend som återges är att produkterna blir mer och mer tåliga på grund av nya kundkrav, såsom vattentäthet. Vad avser just skruvar är det, i likhet med variationen material, många olika sorter och storlekar beroende på tillverkare.

"Vissa behöver du använda extremt mycket våld mot för att få upp den. [...] Har man inte den [korrekta] torxen då måste man slå för möda."

Försorterare, PSL

Materialets förändring över tid (G)

Förr hann anläggningen anpassa demonteringsmetoder bättre efter materialet, men idag är produktcyklerna kortare vilket innebär att nyare och nyare produkter återfinns bland materialet. Arbetsledare återger att det skett en betydande förändring bara de senaste 10 åren.

"Så fort vi har lyckats ta fram något verktyg, då kommer en ny modell och den ser inte likadan ut."

Arbetsledare, PSL

Materialets skick (H)

Det sker åtskilliga transportsteg innan materialet ankommer till anläggningen, och dessutom innan det väl inkommer på transportbandet. Detta har som följd att en väsentlig del av materialet deformeras och att det, även med korrekta verktyg, inte går att demontera normalt. I praktiken underlättar deformationen sporadiskt viss demontering, men över lag är det inte önskvärt då det farliga avfallet kan kontaminera eller reagera oförutsägbart.

*"Det är många steg som gör att produkterna
inte är hela i slutet när de kommer fram"*
Arbetsledare, PSL

Sammantaget för (E), (F), (G) och (H) gäller att det vore ohanterligt att indexera alla möjliga produkterna i skrift eller bilder med tillhörande demonteringsinstruktion. Istället återfinns mycket praktiskt kunskap kring demontering i huvudet på de anställda, vilken genereras och delas muntligt under arbetstid. Det finns vissa produkter som utmärker sig, men det hjälper inte den stora produktrymden att bara fokusera på vissa produkter. Detta beskrivs mer om i ett senare stycke.

"Learning and doing är A och O i den här verksamheten"
Arbetsledare, PSL

Vidare framkom att det inte är möjligt att förutse uppkomna lion-bränder eftersom materialets variation försvårar att identifiera just den batteriprodukt som skulle kunna utlösa brand. Anläggningen utför idag inget påverkansarbete mot El-Kretsens ÅVC:er för att materialet exempelvis skall skickas mer utsorterat efter produkttyp och således vara mer lätthanterligt. Om det förekommer produkter i materialet som definitivt inte är elektronikavfall, kan de däremot be om rättelse. Det framkom även att mycket av materialet vill dem hantera själva, eftersom anläggningen har mycket goda kunskaper om hur material skall fraktioneras. Hade materialet försorterats eller demonterats delvis från början, exempelvis att batterier plockas ut, existerade en farhåga att det skulle ge fler bränder i privatpersoners hem istället.

"Vi finns ju till för att göra det här. Det är vårt leverbröd."
Arbetsledare, PSL

Arbetsledaren nämnde att enklast vore en maskin som snabbt krossar valfri produkt, men då skulle det också innebära risk att batteriet krossas på liknande vis som vid storleksreduceringen. Följaktligen är det alltså hammare och skruvmejsel som fungerar tills vidare, med en rimlig balans mellan tidsåtgång och flexibilitet på bekostnad av försorterarnas handkraft.

SVÅRIGHETER ATT ERSÄTTA MANUELLT ARBETE

Säkerhet (I)

Anläggningen har strikta säkerhetsföreskrifter för att anställda inte skall komma till skada, vilket innebär att maskiner behöver rigorösa säkerhetsanordningar. Detta får som följd att just de lämpliga maskinerna är dyrare och erfordrar mer utrymme. Både kostnads- och skrymmandefrågan omöjliggör således inköp av fler än ett fåtal produktspecifika maskiner, vilket ändå inte hjälper mot den produktrymd som

anläggningen tar emot. Så som arbetsstationen för försortering är utformad vore det dessutom en stor kostnad att behöva bygga om den.

"Vi vill inte ha farliga verktyg över huvud taget.

Vi har inte ens mattknivar"

Arbetsledare, PSL

"Vi ligger ganska på gränsen optimerat för hur mycket vi får plats med och hur mycket folk vi kan ha"

Arbetsledare, PSL

Ergonomi (J)

Vid observation framkom att demonteringsarbetet med hammare och skruvmejsel kräver hög till medelmåttig precision, hög till medelmåttig muskelkraft och hög repetition. Enligt KUB-modellen (se Fig. 7) motsvarar detta en förhöjd risk för skador. I kombination med den stress som minst en anställd uppgett att de upplever då de behöver stanna bandet, kan risken för olyckor öka ytterligare.

"Är de [verktygen] för vassa finns risken för skador på händer om du slinter" – Arbetsledare, PSL

Under det monotona arbetet löper händer störst risk för kritiska smällar och förslitning, medan anställda hänvisar till axlar, skuldror och rygg för mer kvarvarande värk. Anställda har i dagsläget tillgång till massör två gånger i veckan, vilket är något som nyttjas flitigt. Eftersom materialet varierar i form och storlek, innebär det att olika handgrepp behöver tillämpas för att stadiggöra det aktuella demonteringsgodset. En typisk produkt, solcellslampor för trädgårdsbruk, pekas exempelvis ut som problematisk, då de ofta har en rundad form.

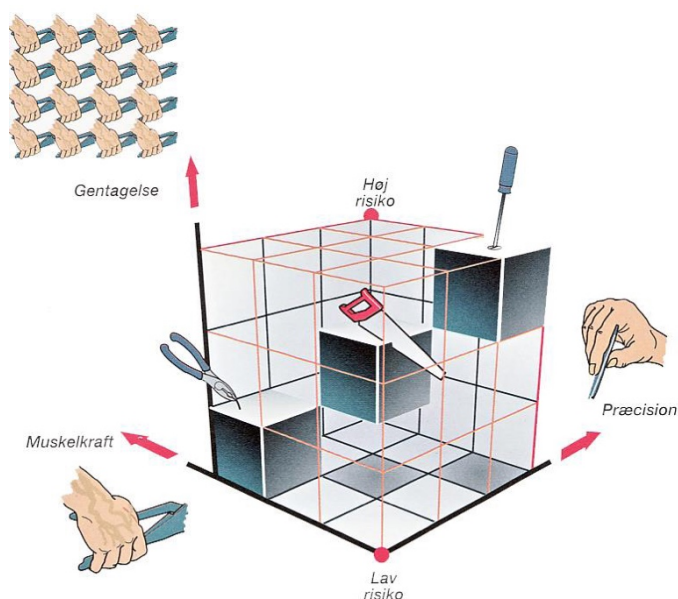


Fig. 7: KUB-modellen för att identifiera risk vid arbete som kräver Repetition, Muskelkraft och Precision. Vardera faktor bedöms längs med en axel där så låg grad av vardera faktor innebär låg risk, och motsatsen innebär hög risk (Treaxlad graf som beskriver ergonomisk skaderisk, 2015).

"Du vill inte behöva slå hårdare än nödvändigt för att slita ut kroppen"

Arbetsledare, PSL

Utöver fysisk ergonomi existerar även mentala ergonomiproblem. När en produkt väl har demonteras, placeras nämligen återstående material tillbaka på bandet. Detta medför ökat merarbete för nästkommande anställda som inte direkt kan avgöra om produkten redan är demonterad. Den kan likväl vara en av de många trasiga produkter som ankommer till transportbandet. Detta tillsammans med mängden varierat material att genomsöka bidrar till att arbetet, särskilt för nya anställda, upplevs visuellt utmattande.

Hälsa (K)

På grund av materialets monteringsmetod (F) existerar en risk för att batterier skadas vid demontering. Lion-batterier som är limmade i tunnare elektronik, såsom surfplattor, bemärks som extra problematiska då de är enklare att råka bryta eller perforera. En anställd redogör för att det *"kanske två gånger i veckan [händer] att jag råkar göra hål"* i ett lion-batteri, varpå det börjar ryka. Även om röken är skadlig och benämns som mycket illaluktande, framkom att anställda inte använder munskydd.

"Kan man veta var svagheterna sitter på dem så går det fortare."

Försorterare, PSL

6.2 Resultat av trendanalysen

Enligt en kvalitativ bedömning av Petranikova (personlig kommunikation, 4 maj 2017), forskarassistent med 5 års erfarenhet inom återvinningsindustrin för batterier, skulle det dröja cirka 10 år för lion-batterier att utvecklas mer brandsäkert genom att reagera mindre. Kushnir (personlig kommunikation, 5 maj 2017), postdoktor vid institutionen för Energi och Miljö vid Chalmers, vidareutvecklar att det fortfarande kommer ske en reaktion vid maskinell storleksreducering, men att reaktionen skulle komma ske både långsammare och mer kontrollerat så att risken för spridning till kringliggande material minskar. I lion-batterier existerar redan idag en mekanism som skall förhindra att termisk rusning uppstår, bestående av ett kretskort med spänning- och strömkontroll (Recharge, 2013), men Petranikova nämner att denna mekanism enbart fungerar under användningsfasen. När produkten genomgår storleksreducering förstörs mekanismen, vilken således inte har någon verkan.

Brandrisken kommer således minimeras naturligt av batteriernas utveckling, men inte upphöra att existera. Samtidigt föreligger den uppåtgående trenden för användning av lion-batterier; Enligt arbetsledare i försorteringen (personlig kommunikation, 8 maj 2017) blir det mer och mer batteridrivet och uppladdningsbart. Detta är mycket tydligt om det inkommande materialet från 2008 jämförs med det som inkommer idag. Sammantaget motiverar dessa två faktorer att effektivisera demonteringen av batterier, framför att låta de gå igenom, utöver de krav som ställs av El-Kretsen.

6.3 Felträdsanalys

Från KJ-analysen och observationer följer en felträdsanalys (FTA) som strukturerar vilka förutsättningar i försorteringen som medför att lion-batterier förbises av anställda och transporteras vidare till nästa process hos anläggningen (se Fig. 8; bilaga 1). Eftersom den parallella demonteringen är en del av detta, skapades ytterligare en FTA över vad som medför svårigheter att demontera produkter med batterier (se Fig. 9; bilaga 2). I båda diagram kan urskiljas samband mellan de svårigheter som redogjordes för i förgående kapitel 6.1, Resultat från intervjuer med anställda.

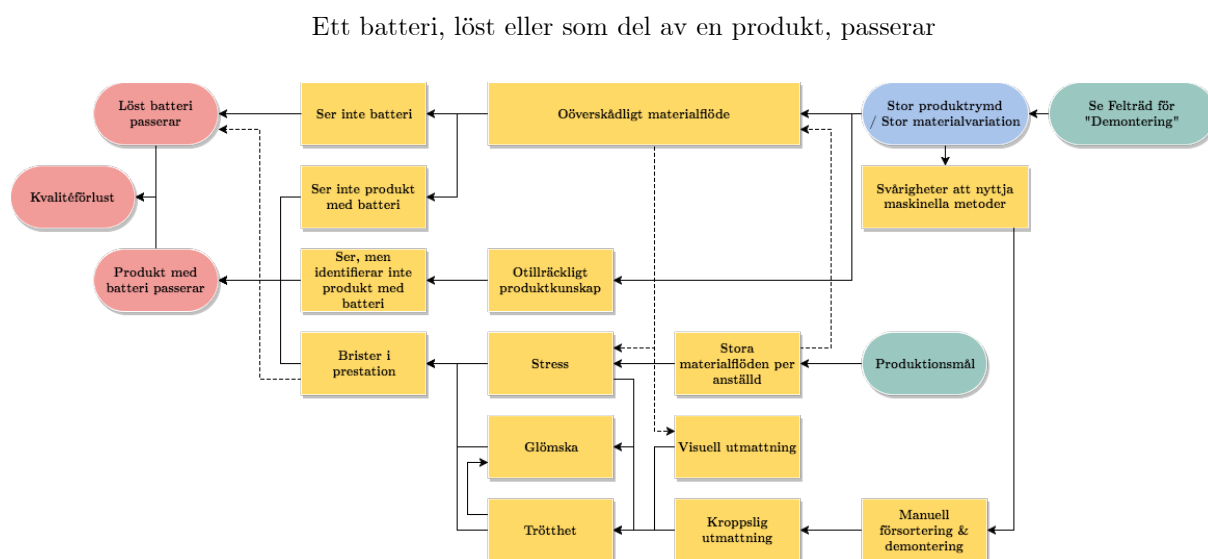


Fig. 8: FTA över vad som föranleder att ett batteri passerar försorteringen. Rött innebär konsekvensen, medan blått syftar på de tidigaste orsakerna. Streckade linjer förenklar att följa korsande linjer.

De grundorsaker som framgår för att ett batteri passerar försorteringen är den *stora produktrymden* och *produktionsmålet*. Eftersom produktionsmål är en förutsättning för företagets verksamhet, anses det motiverat att åtgärda den *stora produktrymden* samt orsaker lägre ned i orsakshierarkin. Orsakerna till denna produktrymd illustreras vidare i Fig. 9 där den också framgår som en grundorsak.

De grundorsaker som framträder för svårigheter att demontera är *den termiska rusningen*, *produktionsmålet*, en *ständig innovation* av produkter samt externa *sorterings- och transportrutiner*. Den stora produktrymden som benämndes tidigare syns här vara orsakad både av den ständiga innovationen och rutinerna. Eftersom innovation är omöjlig att stoppa, ses därför de externa rutinerna som en primär åtgärds punkt, och tillsammans med orsaker lägre ned i orsakshierarkin.

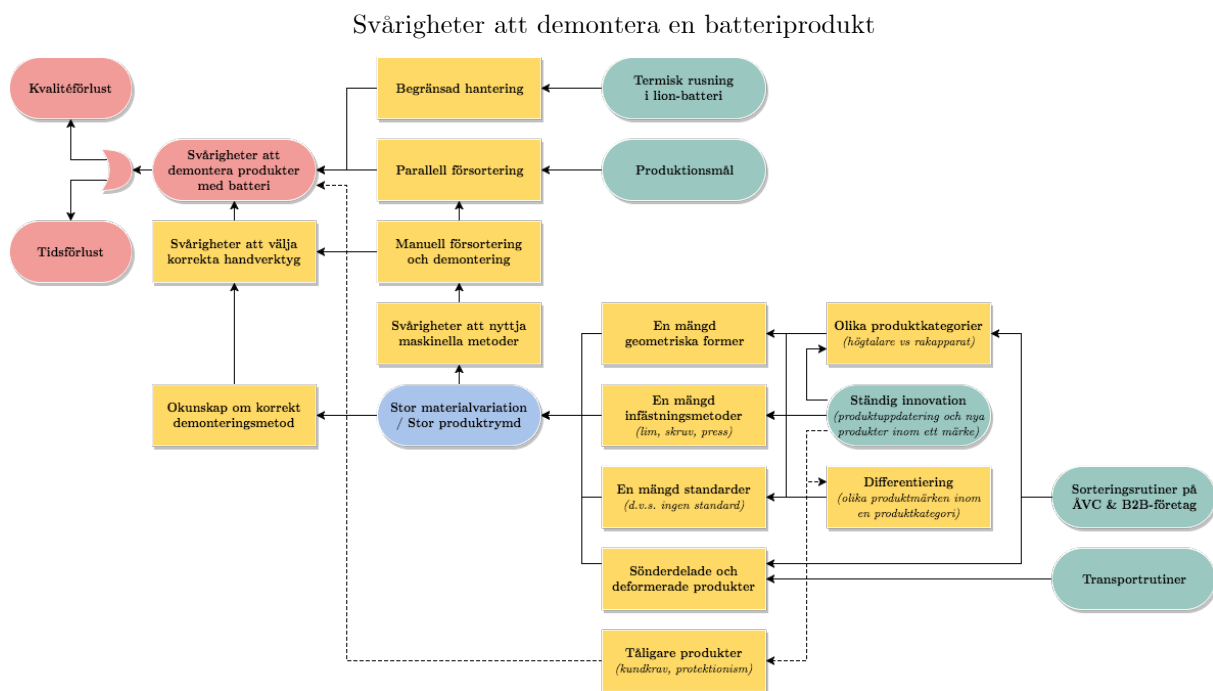


Fig. 9: FTA över vad som föranleder svårigheter att demontera en batteriprodukt. Rött innebär konsekvensen, medan blått syftar på de tidigaste orsakerna. Streckade linjer förenklar att följa korsande linjer.

Sammanfattningsvis är den stora produktrymden central för båda felträden. Det är de externa rutinerna och dess effekter som bidrar till den. Åtgärder högre upp i hierarkin, det vill även säga tidigare i processen, kan skapa en så kallad god dominoeffekt. Därför motiveras att även inkludera de externa rutinerna, även om de är utanför företagets egen verksamhet.

6.4 Funktionsanalys över aktuell process

Nedan presenteras en funktionsanalys som baseras på verksamhetens försorteringsprocess. Funktioner med suffixet '*' beskriver behandlingen av andra fraktioner än batterier och batteriprodukter, för att beakta att det är en parallell arbetsgång. Funktioner med affixet '0' beskriver betydelsefulla processer, enligt FTA, som sker innan materialet ankommer till anläggningen.

#	FUNKTION		UTFÖRS AV
01	Samla in material	DF	ÄVC eller B2B-kund
02	Transportera materialet	DF	Lastbil
1	Förflytta material till transportband	DF	Truck
2	Identifiera batteri / batteriprodukter	DF	Anställd (ögon)
2*	Identifiera material	DF	Anställd (ögon)
3	Samla in batteri / batteriprodukter	HF	Anställd (händer)
3*	Samla in material	DF	Anställd (händer)
4	Demontera batteriprodukter	DF	Anställd (handverktyg)
5	Bekräfta saneringsgrad	SF	Anställd (ögon, händer)
6	Utfall-att-åtgärd	DF	Anställd (brandsläckare)

6.5 Kravspecifikation

Med funktionsanalysen som underlag följer en specifikation, som innehåller önskvärda (Ö) och erfordrade krav (K). Uttalade krav från anläggningen (A) kompletteras med krav som kunnat identifieras ur FTA:n (P, Projekt). Underförstått är att alla krav understödjer en mer brandsäker hantering och en ökad materialåtergång genom att effektivisera både försortering och demonteringen.

Tabell 1: Kravspecifikation

#	KRAV	K/Ö	Kravställare
1	Förflytta material till transportbandet		
1.1	Öka fraktionsgrad* i material	K	Projekt
1.2	Öka kontrollen för ett jämnare materialflöde	K	Anläggning
1.3	Motverka deformation av material	Ö	A
2	Identifiera batterier / batteriprodukter		
2.1	Underlätta identifiering av batterier / -produkter	K	A
2.2	Underlätta urskiljning av innehåll i materialet	Ö	P
2.3	Öka överskådligheten över materialflödet	K	A
3	Samla in batterier / batteriprodukter		
3.1	Underlätta åtkomst till batterier / -produkter	Ö	A
3.2	Underlätta separation av material	K	P
4	Demontera batteriprodukter		
	<i>Verktyg</i>		
4.1	Minimera behov för antal verktyg**	Ö	A
4.2	Minimera behov att byta verktyg	K	A
4.3	Underlätta snabbt byte av verktyg	K	P
4.4	Underlätta val av demonteringsmetod***	Ö	A
4.5	Motverka förlust av verktyg	K	P
	<i>Utförande</i>		
4.6	Underlätta precision med verktyg	K	A
4.7	Minimera erfordrad kraft med verktyg	Ö	P
4.8	Minimera parallellt arbete	Ö	P
4.9	Underlätta kvick demontering	K	A
4.10	Erbjuda stabil placering av produkt	Ö	P
5	Bekräfta saneringsgrad		
5.1	Underlätta bedömning av sanering för utg. material	K	P
6	Utfall-att-åtgärd		
6.1	Minimera termisk rusning-reaktion i lion-batterier	Ö	A
A	Ergonomi, hälsa och säkerhet		
A.1	Motverka inandning av rök vid rökutveckling	K	P
A.2	Minimera ansträngning i rygg och axlar	Ö	P
A.3	Minimera skador på händer	Ö	P
A.4	Minimera visuell utmattning i ögon	Ö	P
	* Förfraktionerat i exempelvis storlek eller produktkategorier. ** Verktyg såsom handverktyg eller maskiner. *** En demonteringsmetod innebär här tillvägagångssättet som ett verktyg används.		

7 KONCEPTUTVECKLING

När studien avslutades påbörjades en iterativ idégenereringsprocess. Nedan presenteras resultatet i samma ordning som i kapitel 4, Metod.

7.1 Brainwriting

Eftersom projektet studerar en process och inte en produkt, genererade brainwriting-sessionerna idéer som representerar ett antal principlösningar, det vill säga exempelvis 'att utföra' snarare än 'hur utföra'. Därför har en begränsad mängd idéer skapats för vardera delfunktion (se Fig. 10). Sammantaget utgjordes idérymden av nya rutiner, enklare inköp, installationer samt produktutveckling. Även påverkanskampanjer genererades för sådant som ligger utanför verksamheten, men som ansetts ha stor betydelse för processen. En spontan iakttagelse är att de idéer som förbättrar delprocesserna i ett tidigare skede generellt även ger positiva utfall för de nästkommande delprocesserna.

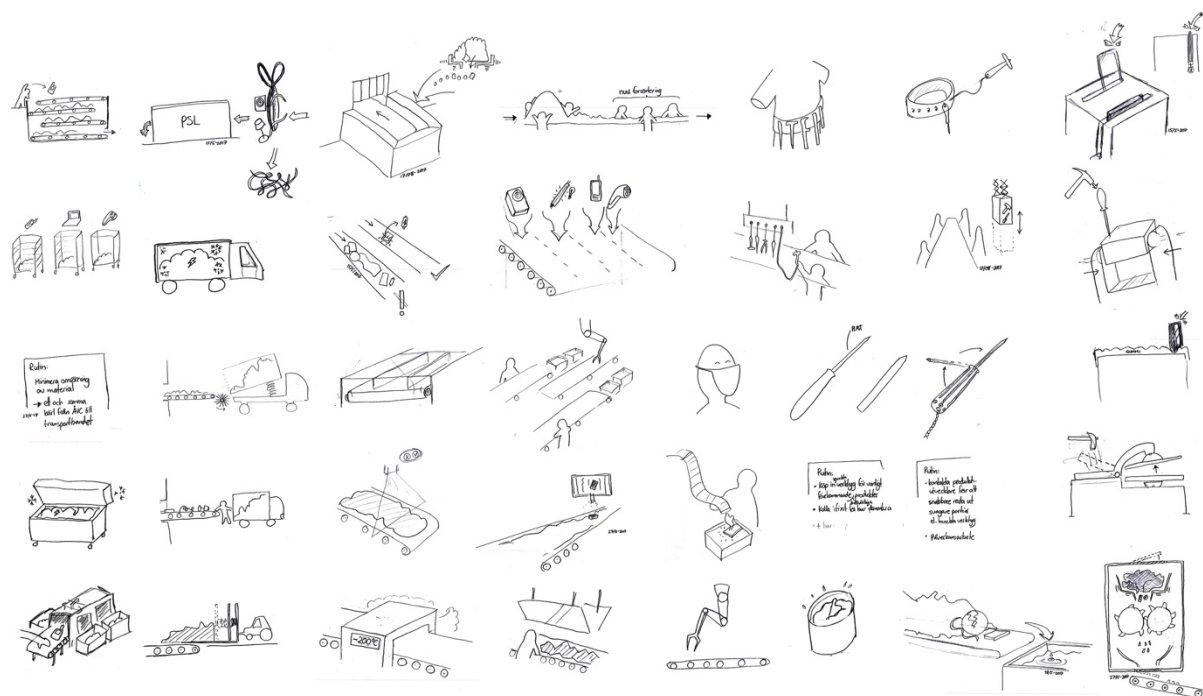


Fig. 10: Urval av skisser från brainwriting-sessioner. Skissernas sidledes placering motsvarar generellt hur tidigt (vänster) eller sent (höger) de är ämnade i processen.

7.2 Morfologisk matris av principlösningar

Den efterföljande matrisen resulterade i tre totallösningar, härafter kallade koncept (se Tabell 2). Koncept A motsvarar en miniminivå som främst utgörs av rutiner och enklare inköp. Koncept B utgörs av både rutiner, inköp och installationer, medan Koncept C utgörs av inköp, installationer och produktveckling. Då vissa dellösningar inte var logiska att kombinera, valdes inte alltid en dellösning från varje rad. För det mer avancerade konceptet visade det sig även vara logiskt att kombinera mer än en delfunktion per rad. För att kunna jämföra koncepten mer rättvist förfinades dem. Se efterföljande kapitel 7.3, Presentation och utvärdering av koncept.

Tabell 2: Morfologisk matris av principlösningar

● Koncept A ● Koncept B ● Koncept C

#	Delfunktion	Dellösningar				
01	Samla in	● Avlägsna kabel (4)				
	Samla in (sortering)	● Fler kärl för delfraktionering (3)	● Optisk sorterare (2)	● Kärll som inte skadar elavfall (1)		
1	Förflytta till transportband	● Manuell uppläggning (8)	● Skakande mynning (7)			
2	Identifiering (fraktionering..)	● Manuell fraktionering (9)	● Robotarm sorterar enklare fraktioner (17)	Robotarm sorterar alla fraktioner (16)		
	Identifiera (...i avdelningar..)	● Symbolisk (10a)	● Fysisk (12)			
	Identifiera (...för)	● Demonstrerade produkter (11)	● Produktkategori (10b)			
	Identifiera (visuellt)	Vinklade speglar (13)	Bildskärm och kamera (14)	● Molekylskanner (15)		
3	Samla in	Maskinellt grepp som styrs av anställda (18)				
4	Demontera (verktygs-placering)	● Mindre verktygsskåp vid demontering (22)	Verktygsbälten (19)	Verktygsbälten med utdragbara fästen (20)	● Verktg från utdragbara fästen (21)	
	Demontera (verktygsval)	● Regelbundna inköp efter trend (25)	● Arme kniv-verktyg (23)	● Regelbunden kontakt med produkt-utvecklare (24)		
	Demontera (stabilitet)	● Friktionsytor (26)	● Multigripdon (27)			
5	Bekräfta saneringsgrad	● Molekylskanner (15)				
6	Utfall-att-åtgärd (neutralisering...)	● Nedfrysningsskärll in. demontering (30)	Kylning på transportbandet (29)	● Transport i fryslastbilar (5)	Avfallsinsamling i kylboxar (6)	● Syrefattig krossprocess (31)
	Utfall-att-åtgärd (...av)	● Komplexa och riskfyllda produkter	Allt demonterings-gods	● Allt material		
A	Hälsa	● Munskydd (32)	● Styrbart ventilationsrör (33)			

7.3 Presentation och utvärdering av koncept

Nedan presenteras vardera av de tre koncepten steg för steg. Eftersom de består av principlösningar är beskrivningen central för att illustrera syftet för alla ingående lösningar. Konstruktionsmässiga detaljer har således utelämnats i beskrivningen. För att betona att två koncept innehåller samma delösning, skiljer sig inte formuleringen av den mellan koncepten. Se bilaga 4 för en alternativ översikt.

Som framgår av den morfologiska matrisen (se Tabell 2), är avlägsnande av kabel och sladd initialt i alla processkoncept. Detta är tänkt att genomföras redan hos ÅVC-stationer genom att klippa och sortera ut sladdar innan elavfallet slängs i insamlingskärlet. Detta ses som en väldigt viktigt åtgärd eftersom avlägsnande i ett senare skede, när alla produkter är samlade i en stor mängd, innebär omotiverat mycket merarbete för ÅV-anläggningen. Denna åtgärd ses även som en förutsättning för att många andra förbättringsåtgärder skall kunna vara lika effektiva, eller ens möjliga. Eftersom åtgärden ligger utanför ÅV-anläggningens verksamhet, är denna delösning således i form av en påverkanskampanj i samarbete med El-Kretsen, vilka har större påverkansmöjlighet mot ÅVC:er.

7.3.1 Koncept A – Rutiner och inköp

1. Hos ÅVC
 - a. Det finns rutin på att klippa av kablar innan elavfallet samlas in.
 - b. Det finns dessutom flera kärl för insamling, så att exempelvis större och mindre elektronik separeras.
2. Hos ÅV-anläggningen
 - a. Materialet läggs upp manuellt på transportbandet av flera nyanställda vid en nyinstiftad station. De anställda lägger upp produkterna så att det är överskådligt för nästkommande processer och sorterar utvalda produktkategorier symbolisk med tänkta avdelningar på transportbandet. Detta underlättar för nästkommande försorterare att snabbare identifiera produkter och dessutom inte behöver byta verktyg lika frekvent.
 - b. För demontering sker regelbundna inköp av korrekta verktyg efter trender i materialet, särskilt för mer komplexa produkter.
 - c. Verktygsutbudet finns i ett mindre skåp bredvid transportbandet för att det snabbt skall gå att byta eller ersätta borttappade verktyg.
 - d. Under demonteringen placeras produkten på en friktionsyta som håller produkten stadig och minskar behov att stabilisera med handgrepp.
 - e. Produkter med komplex form eller materialsammansättning, där risk existerar att punktera ett lion-batteri, placeras i en sluten behållare med kvävgas. Materialet blir skört och enklare att krossa, särskilt mjuka höljen. Kylan laddar ur lion-batteri och minimerar eventuell reaktion.
 - f. Skulle en reaktion uppstå så har anställda inköpta munskydd.
 - g. Demonterade produkter placeras symbolisk på en sida av transportbandet för att minimera dubbelarbete för nästkommande försorterare.

7.3.2 Koncept B – Inköp och installationer

1. Hos ÅVC
 - a. Det finns rutin på att klippa av kablar innan elavfallet samlas in.
 - b. En inköpt optisk sorterare underlättar för privatpersoner att inte själva sortera elavfallet i olika underfraktioner.
2. Vid Transport
 - a. Mellan ÅVC och anläggningen existerar nya rutiner att mer riskfyllt material som antas innehålla lion-batterier fraktas i frys-bilar. Kylan laddar ur lion-batteri och minimerar eventuell reaktion.
3. Hos Anläggningen
 - a. Vid transportbandets inflöde tippas materialet ned i en skakande mynning som ser till att materialet fördelas jämnare och är mer överskådligt för nästkommande processer.
 - b. Vid en nyinstiftat station sorterar de anställda utvalda produktkategorier i olika avdelningar på transportbandet. Detta underlättar för nästkommande försorterare att snabbare identifiera produkter och dessutom inte behöver byta verktyg lika frekvent.
 - c. Vid nästa station filmas det inkommande materialet och visas på bildskärmar så att det är enklare för försorterare att observera de olika produkterna från ovan.
 - d. För demontering används produktutvecklade multifunktionella verktyg för att minimera antalet verktyg som behöver användas.
 - e. Verktygsutbudet finns direkt vid transportbandet, fästa i utdragbara linor, för att det snabbt skall gå att byta och förhindra att verktyg tappas bort.
 - f. Under demonteringen placeras produkten i ett gripdon med multipla grepp som håller produkten stadig och eliminerar behov att stabilisera med handgrepp.
 - g. Skulle en reaktion uppstå så har anställda inköpta munskydd.
 - h. Demonterade produkter placeras sedan på andra sidan av en fysiska avdelare på transportbandet för att minimera dubbelarbete för nästkommande försorterare.

7.3.3 Koncept C – Installationer och produktutveckling

1. Hos ÅVC
 - a. Det finns rutin på att klippa av kablar innan elavfallet samlas in.
 - b. En inköpt optisk sorterare underlättar för privatpersoner att inte själva sortera elavfallet i olika underfraktioner.
 - c. Materialet samlas i produktutvecklade kärl medger att det inte utsätts för tryck från annat material såsom i existerande kärl som fylls från botten och upp.
2. Hos anläggning
 - a. Vid transportbandets inflöde tippas materialet ned i en skakande mynning som ser till att materialet fördelas jämnare och är mer överskådligt för nästkommande processer.
 - b. Programmerade robotarmar sorterar ut enklare såsom brännbart och lämnar det mer avancerade till nästkommande försorterare.
 - c. Vid nästa station röntgas materialet efter grundämnen som finns i lion-batteri (järn, magnesium, nickel, järn), och indikerar hur mycket demonteringsarbete som erfordras.
 - d. Försorterare använder ett maskinellt grepp för att plocka material och undvika kroppsbelastning.
 - e. För demontering används produktutvecklade multifunktionella verktyg för att minimera antalet verktyg som behöver användas.
 - f. För de produkter som erfordrar lång demonteringstid, sker regelbunden kontakt med fabrikör för att enklare kunna välja korrekta verktyg eller nyttja svagheter i konstruktionen.
 - g. Verktygsutbudet finns direkt vid transportbandet, fästa i utdragbara linor, för att det snabbt skall gå att byta och förhindra att verktyg tappas bort.
 - h. Under demonteringen placeras produkten i ett gripdon med multipla grepp som håller produkten stadig och eliminerar behov att stabilisera med handgrepp.
 - i. Skulle en lion-reaktion uppstå så har anställda inköpta munskydd.
 - j. Dessutom finns styrbara ventilationsrör som kan riktas mot reaktionen så att röken snabbare kan filtreras bort.
 - k. Demonterade produkter placeras sedan på andra sidan av en fysiska avdelare på transportbandet för att minimera dubbelarbete för nästkommande försorterare.
 - l. För att bekräfta saneringsgrad så röntgas materialet en gång till innan det går vidare till storeksreducering.
 - m. Som utifall-att-åtgärd är storeksreduceringen omgjord till en syrefattig process, där den primära krossen är inkapslad. Detta motverkar att eventuella lion-reaktioner kan utvecklas till bränder.

7.3.4 Beslutsmatris för val av koncept

Nedan presenteras och kommenteras resultatet av beslutsmatrisen. Se bilaga 3 för fullständig härledning av poängsättning. Kriterier för implementeringstid och kostnad har tillkommit för att kunna bedöma motiv för investering. Detta grundar sig på trendanalysen av lion-batteriutvecklingen och det nämnda faktum att antalet produkter med lion-batterier ökar.

Tabell 3: Pughs matris över tre totallösningar

#	DELFUNKTION	KONCEPT A	KONCEPT B	KONCEPT C
1	Förflytta material till transportband	6	6	8
2	Identifiera batteri / batteriprodukter	13	15	15
3	Samla in batteri / batteriprodukter	7	8	8
4	Demontera batteriprodukter	14	19	18
5	Bekräfta saneringsgrad	6	8	7
6	Utfall-att-åtgärd	1	1	2
A	Hälsa	8	9	13
	SUMMA KRAV	54	66	71
X	Implementeringstid	Lägst	Mellan	Högst
Y	Kostnad	Lägst	Mellan	Högst

Som framgår av Tabell 3 är koncept C den process som bemöter flest krav. Samtidigt kan alla tre koncept bedömas relativt jämlika eftersom alla mäter höga poäng. Sett till delprocesserna i koncept C har förslaget däremot väldigt lång implementeringstid mot hög kostnad. Dess delprocesser är också starkt beroende av andra delprocesser, exempelvis att materialet inkommer tillräckligt lätthanterligt för automatiserade robotarmar. Med dessa grunder drogs slutsatsen att koncept C var ett alltför riskfyllt val med dagens förutsättningar.

Istället stod valet mellan koncept A och B. De båda skiljer marginellt i antal bemöta krav, vilket skulle kunna motivera att koncept A är det bättre valet eftersom det också innebär lägst implementeringstid och kostnad. Koncept A består däremot av rutiner och enklare inköp, vilket enbart kan effektivisera verksamheten till en viss maxgräns. Med en växande mängd produkter med lion-batterier finns det nämligen risk att denna gräns nås inom en nära framtid. Därför antas det framöver finnas ett parallellt behov av att verksamheten förbereds och effektiviseras med maskinella snarare än manuella medel. Det som dessutom talar för koncept B är att den uppfyller fler krav för

demontering av batteriprodukter, vilket kan ses som den viktigaste delfunktionen. Således konkluderas att koncept B valdes för vidareutveckling.

7.3.5 Enkel vidareutveckling av koncept

För att analysera hur koncept B skulle kunna inkludera kostnadseffektiva fördelar från koncept A, studerades hur de ingående dellösningarna uppfyllde kraven i kravspecifikationen (se bilaga 3). De delprocesser som tillförde minst krav togs bort, förutsatt att det fanns en annan delprocess som bemötte detta krav. Delprocesser från koncept A som bemötte detsamma krav, men till en lägre antagen kostnad, ersatte existerande delprocesser i koncept B.

Utvärderingen innebar att delprocessen att transportera riskfyllda produkter i frys-bilar ersattes med att för riskfyllda produkter placera dessa i slutna kärl med kvävgas. De skadliga avgaserna vid eventuell rökutveckling ansågs även vara tillräckligt allvarliga att montering av riktad ventilation kunde motiveras. Dessa två förändringar medförde att konceptet differentierade sig mer från koncept A genom att bemöta fler krav för demonteringen (se Tabell 4). Eftersom demonteringen är central i verksamheten ses vidareutvecklingen, fastän enkel, som lyckad.

Tabell 4: Pughs matris över Koncept B och dess vidareutveckling Koncept B+.

#	DELFUNKTION	KONCEPT B	KONCEPT B+
1	Förflytta material till transportband	6	6
2	Identifiera batteri / batteriprodukter	15	15
3	Samla in batteri / batteriprodukter	8	8
4	Demontera batteriprodukter	19	22
5	Bekräfta saneringsgrad	8	8
6	Utfall-att-åtgärd	1	1
A	Hälsa	9	10
	SUMMA KRAV	66	70

8 SLUTGILTIGT KONCEPT

Det slutliga konceptet består av ett åtgärdsprogram med 12 åtgärder som förbättrar befintliga delprocesser eller möjliggör nya. För att understryka att vardera åtgärd utgör en principlösning, vilka erfordrar vidare marknadsundersökning, skall tillhörande bilder ses som inspiration för hur åtgärderna skulle kunna utformas. Varje stycke återkopplar till de specifika problem som åtgärden svarar mot. Kapitlet avslutas med en relativ kostnadsuppskattning för åtgärderna.

Påverkanskampanj för färre sladdar i materialet

Att kunna bearbeta det material som inkommer mer effektivt är en nyckelaktivitet oavsett hur verksamheten analyseras. Materialets skilda innehåll är sekundärt framför anledningen till att det i dagsläget är svårt att separera enskilda produkter från varandra: kablar, sladdar och vajrar och annat slingrande som vid nuvarande insamling knyter ihop materialet till svårutredda materialmassor. Därför ämnar en påverkanskampanj mot ÅVC:er öka avlägsnandet av sladd. Detta skulle kunna resultera i att klippverktyg tillgängliggörs för privatpersoner (se Fig. 11). Kampanjen rekommenderas att genomföras tillsammans med El-Kretsen som idag är kravställare mot ÅVC:er. Ett större motiv för dem är att det förutom för företaget även kommer hjälpa andra ÅV-anläggningar att utföra sina uppgifter.

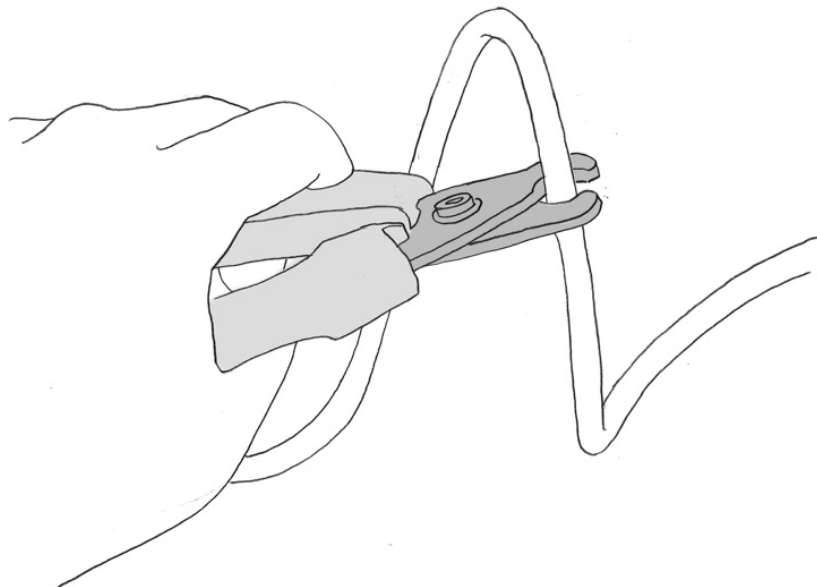


Fig. 11: Bild på hand som klipper en sladd.

Påverkanskampanj för maskinell sortering

Det finns idag optiska maskiner som kan sortera produkter som inkommer en och en (Refind Technologies, 2017) (se Fig. 12). En sådan maskinsortering kan anses vara möjlig hos ÅVC snarare än hos företaget, eftersom materialet inte ännu är blandat. För att få genomslag för detta, skulle det krävas att Sveriges alla ÅVC:er köper in en sådan maskin, vilket skulle innebära en större utgift. Det som talar för inköpet är att det skulle ge stor effekt genom att förenkla för privatpersoner att låta maskinen sortera. Maskinen kan dessutom uppdateras kontinuerligt med materialdata.

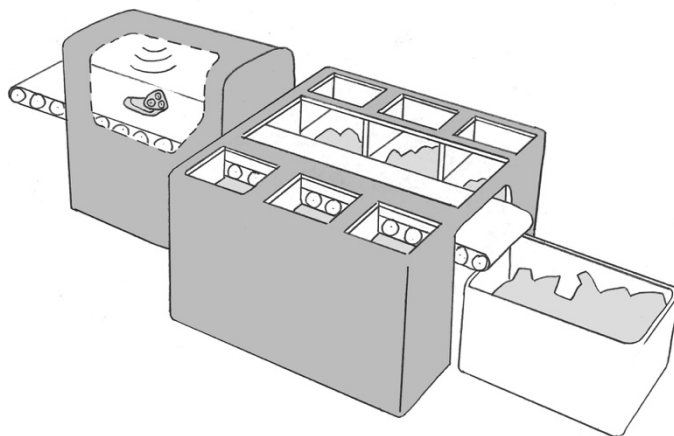


Fig. 12: Skiss över en optisk sorterare som skannar av föremålet och sedan sorterar denna i olika fack utifrån valda fraktioner.

Installera skakande mynning för jämnare materialflöde

Dagens tippning direkt på transportbandet medför att flödet av material är ojämnt och att det uppstår högar som de anställda behöver reda ut innan de kan greppa efter produkter att demontera. Med avlägsnande av kabel som förutsättning, ämnar en installation av en mynning till transportbandet fördela materialet med mindre skakningar (se Fig. 13). Materialet tippas ned med truck i mynningen som fördelar det i ett jämnare flöde med lägre siktnivå eftersom produkter ligger mer utspridda. Således nödgas de anställda inte till den oönskade åtgärden att stanna bandet för att separera materialet. De anställda erfordras istället en mindre kroppslig utmattning och kan istället fokusera på att sortera fraktioner och samla in demonteringsgods.

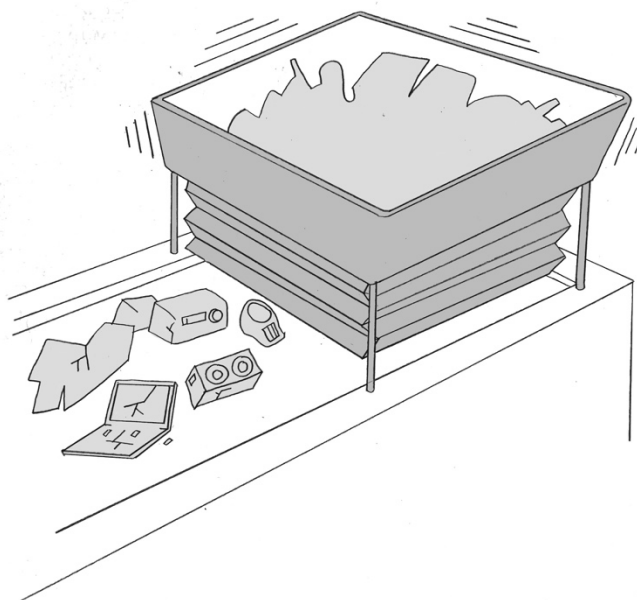


Fig. 13: Skiss över en mynning som fördelar material på transportband.

Nya rutiner för kategorisering innan demontering

Efter tippning sker en inledande fördelning av materialet utefter lämplig kategori, exempelvis storlek, produktgrupp, huruvida det är demonteringsgods, eller beroende på huruvida komplicerad produkten är att demontera (se Fig. 14). Inom vilka kategorier som det skulle vara relevant att urskilja produkter, behöver undersökas vidare.

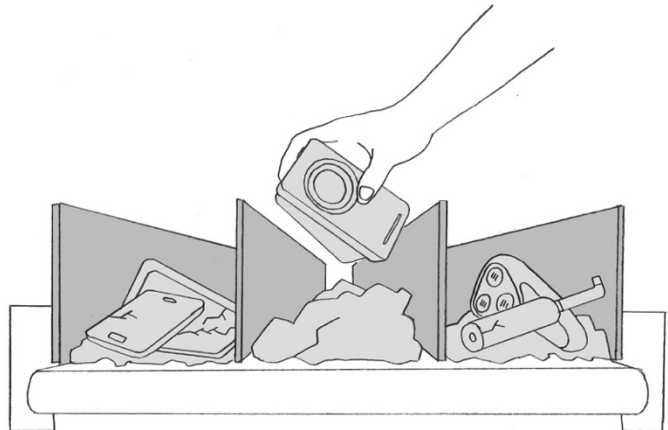


Fig. 14: Skiss över hur en hand sorterar en högtalare i en av tre sektioner. I de andra sektionerna syns platt elektronik med skärm respektive elektriska hygienprodukter.

Den tidigare optiska sorteringen och den skakande mynningen underlättar att denna process sker effektivare än om materialet inkommit obearbetat. Detta medger att nästkommande anställda enklare kan urskilja och vara förberedda på en viss typ av produkter. I sin tur minskar det tiden mellan att identifiera produkt och val av demonteringsmetod.

Installera kamera och bildskärm för bättre materialöversikt

Även om materialet har låg sikthöjd är det ibland svårt för anställda att få en god överblick från sin position vid sidan om bandet. Kameror filmar därför materialet från ovan, vilket visas på skärmar så att de anställda har en ytterligare vy att kunna analysera materialet ifrån (se Fig. 15).

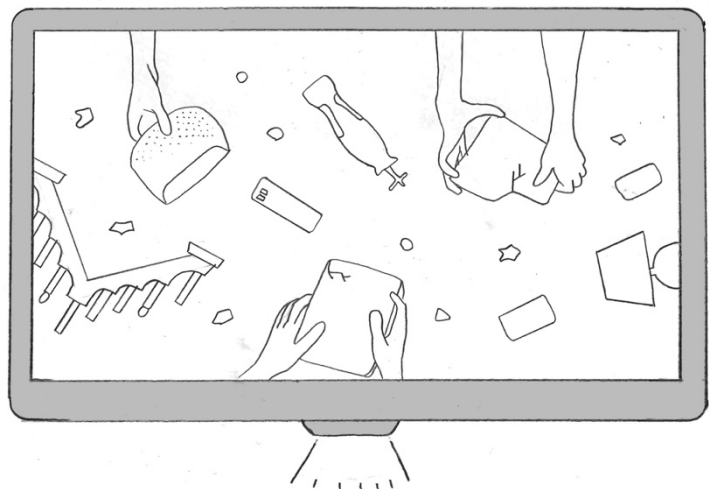


Fig. 15: Skiss över en skärm som med hjälp av kamera visar transportband från ovan. På Skärmen syns händer som plockar material.

Placeras en kamera även vid slutet av transportbandet kan film-materialet användas för att kvalitetssäkra det material som leds ut. Eftersom materialet är fördelat och överskådligt är det dessutom lättare att verifiera. I framtiden skulle även kamerans filmmaterial utgöra inlärningsdata för maskinsortering.

Inköp av munskydd och installation av riktad ventilation

I dagsläget inträffade det två gånger i veckan att en anställd råkade utlösa en rökutveckling i ett lion-batteri. Även om en sådan rökutveckling normalt hanteras direkt, och således inom det hygieniska gränsvärdet på 15 minuter, genom att demonteringsgodset eller batteriet hastigt placerades i syrefattigt sandbad, framgick det av kapitel 2, Teoretisk referensram, att även kort exponering uppmäter höga halter.

Därför motiveras inköp och användning av munskydd (se Fig. 16), och installation av riktad ventilation (se Fig. 17) som snabbare kan filtrera luften från giftiga partiklar. Ventilationen utgörs av styrbara ventilationsrör som riktas mot rökutvecklingen.



Fig. 17: Skiss av en person som bär ett munskydd som täcker näsa och mun.

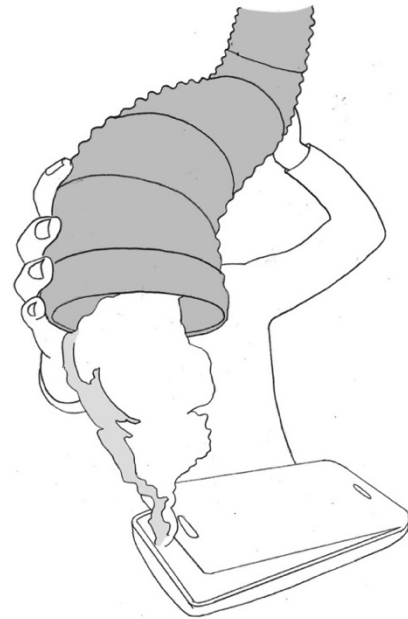


Fig. 16: Skiss som visar hur en anställd riktar ett ventilationsrör mot en mobil som börjat ryka på grund av demonteringen.

Utveckla multifunktionella verktyg

Genom att utveckla multifunktionella verktyg (se Fig. 18) minimeras antal erforderade verktyg samtidigt som det erbjuds fler metoder för demontering. Detta minimerar i sin tur byte mellan verktyg. Sammantaget förenklar det för anställda att demontera snabbare.

Denna åtgärd är den mest komplicerade eftersom den erfordrar vidare studier om vad som skulle utgöra ett effektivt multifunktionellt verktyg. Exempel på dessa verktyg skulle kunna vara sådana som är anpassade för mobiltelefoner oavsett tillverkare, eller tillhandahåller hög flexibilitet för att angripa flera olika standarder. Eftersom detta är något som i dagsläget genomförs i begränsad utsträckning hos företaget, anses det finnas potential i att identifiera verktyg med flera funktioner.

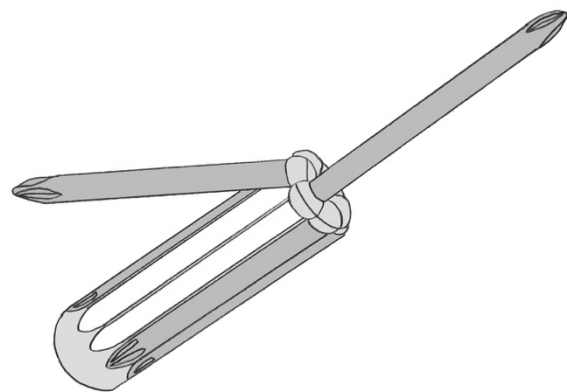


Fig. 18: Skiss av ett möjligt multiverktyg som möjliggör färre byten av verktyg. Exempelvis en skruvmejsel med flera utvikbara format från handtaget.

Installera säkringar för minskad verktygsförlust

Genom att fästa de handverktyg som används i utdragbara linor bredvid transportbandet (se Fig. 19), finns de nära tillgängliga och förhindras att tappas bort i materialet. Vidare utveckling behöver givetvis ske för att inte linorna fastnar, men detta ligger för en vidare undersökning.

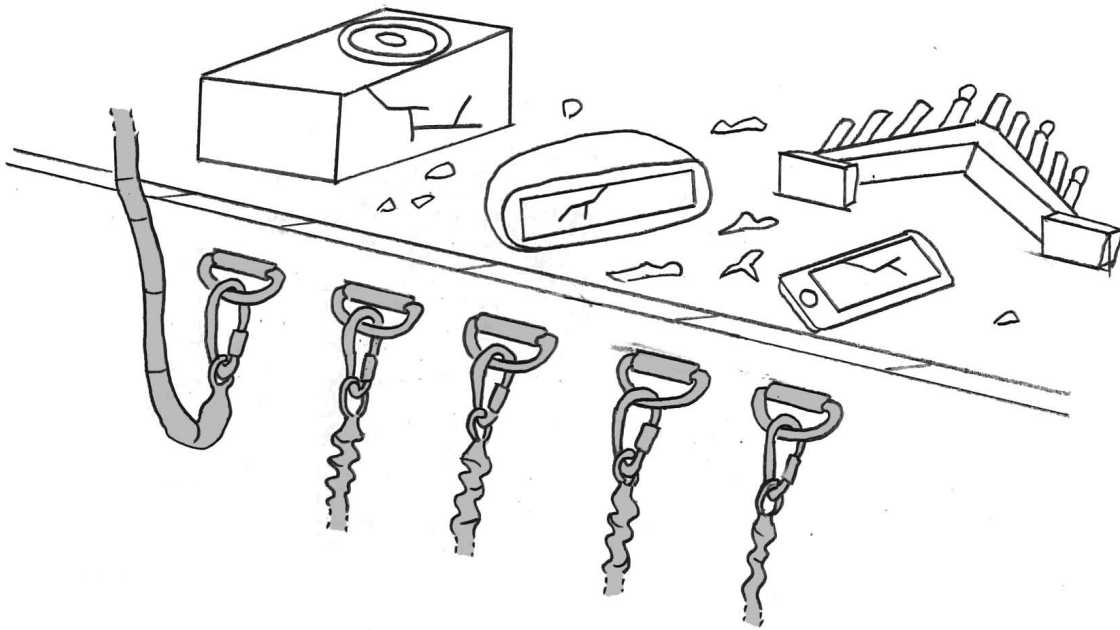


Fig. 19: Skiss av flertalet utdragbara verktygsfästen monterade bredvid transportbandet.

Installera gripdon med multipla grepp som eliminerar stabilisering med händer

För att minimera risken för anställda att skada händer, och dessutom minimera ansträngningen i axlar och rygg, installeras ett flexibelt gripdon som snabbt kan greppa en produkt oberoende av geometri (se Fig. 20). Detta fäste stabiliserar produkten så att det blir enklare att utföra precision med verktyg.

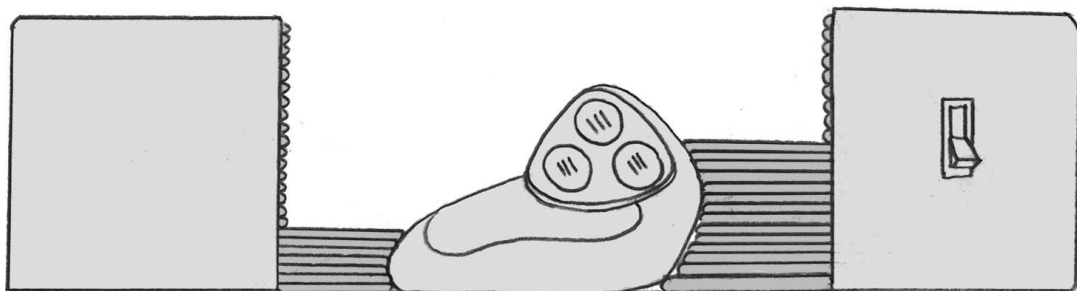


Fig. 20: Skiss av ett greppdon som formar sig och stabiliserar demonteringsgoods oavsett form. I skissen formar sig greppet efter en rakapparat.

Installera kärl för nedkylning av komplext demonteringsgods

När det existerar risk att punktera ett lion-batteri, på grund av komplex form eller materialsammansättning, placeras produkten i en sluten behållare med flytande kväve där den får kylas ned tillräckligt innan demontering (se Fig. 21). Kylan laddar ur möjliga lion-batterier och minimerar eventuell reaktion.

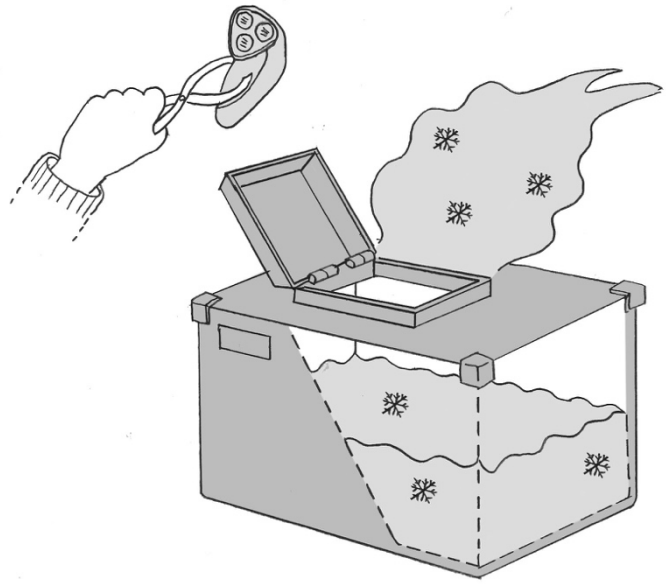


Fig. 21: Skiss av kärl för nedkylning av komplext demonteringsgods. I skissen flyttas en rakapparat mot kärlets mynning.

Nedkylningen medför dessutom att även mjuka material, såsom höljen för elektronik med handgrepp, blir sköra och således enklare att slå isär. Detta medger att anställda inte erfordras tillämpa lika mycket kraft för annars tidskrävande produkter, samtidigt som det enbart skulle krävas ett hammarverktyg oavsett komplicerad produkt.

Nya rutiner att sortera ut färdigdemonterade produkter

När demonteringsgods läggs tillbaka på bandet medför det dubbelarbete för nästkommande anställd som behöver avgöra om produkten redan är demonterad eller inte. Även om uppmärksamheten erfordrar relativt lite tid, bidrar det till distraktion. Därför motiveras att sortera ut dessa i ett eget flöde (se Fig. 22), för att uppmärksamheten istället skall kunna riktas åt att finna obearbetat demonteringsgods.

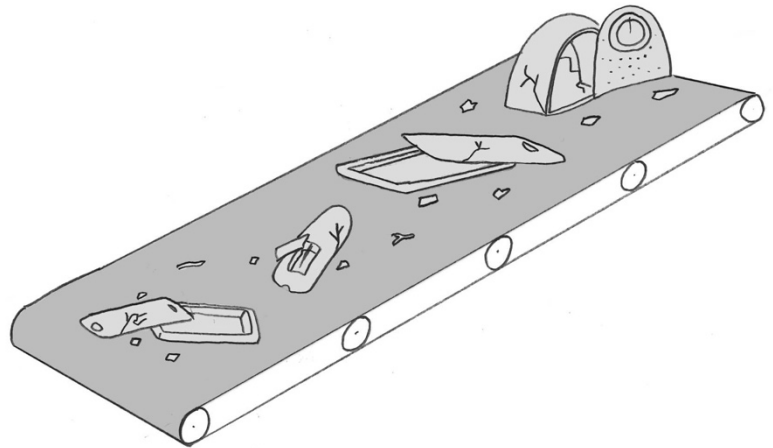


Fig. 22: Skiss som visar redan demonterade produkter utsorterade från det huvudsakliga materialflödet. En mobiltelefon, en fjärrkontroll, en surfplatta och en högtalare ligger på transportbandet.

8.1 Relativ kostnadsuppskattning

Respektive åtgärd kräver olika mycket investering. Då koncepten är principlösningar, som kan variera i utförande, finns det ingen skälig anledning att göra en absolut kostnadsuppskattning. Därför genomförs nedan en relativ kostnadsuppskattning för hur de olika åtgärderna förhåller sig till varandra (se Fig. 23).

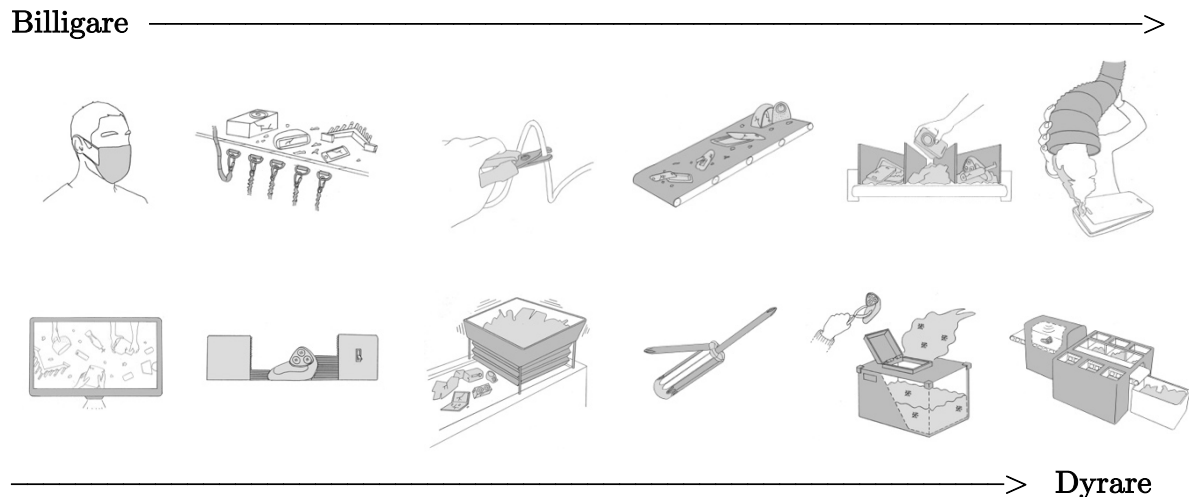


Fig. 23: Bild där åtgärder i slutgiltigt koncept placeras relativt från billigare till dyrare, från vänster till höger.

Som kan förväntas är rutiner och inköp de billigare åtgärderna, medan installation och produktutveckling är de dyrare. Eftersom all implementering av åtgärder erfordrar tid, rekommenderas därför att börja med de billigare åtgärderna för att ge resultat som motiverar för vidare implementering. Ur ekonomisynpunkt är det även viktigt att inse att åtgärder tidigare i processen får positiva utfall senare i processen. Särskilt en åtgärd som förenklar för andra åtgärder att få verklig effekt är påverkanskampanjen för färre sladdar. En positiv följd kan bli att anläggningens arbete blir enklare direkt utan att alla åtgärder behöver implementeras.

Den samlade bedömningen är därför att det är logiskt att börja med åtgärder som både är de billigare och de som bemöter de tidigare processerna.

9 DISKUSSION OCH REKOMMENDATIONER

Diskussioner kan föras om projektets metoder, genomförande, resultat och slutkoncept.

9.1 Diskussion om metoder och genomförande

Vad avser metoder, utfördes det under studien två studiebesök som alstrade en mängd observationer, utöver intervjuer. I rapporten finns det däremot inga fotografier av dessa. Detta är på grund av den sekretess som företaget bett om. Mot egen förmodan har det däremot visat sig inte vara några större problem att genomföra projektet under sekretess. Detta beror dels på att problemet hos anläggningen inte varit så specifik att den erfordrat en detaljerad beskrivning, samt att det som inte kunnat dokumenteras med bilder i rapporten istället ersatts med nyanserade beskrivningar. För vidare undersökning hos detta företag rekommenderas att finna utrymme för att kunna delge fotografier i en rapport, eftersom sådan dokumentation alltid ger en fördel för att kommunicera ett problem.

Som nämndes i avgränsningarna stannar projektet vid en konceptuell nivå. Konceptgenereringen genomfördes solitärt vilket inte kan anses normalt eller rekommenderat i en produktutvecklingsprocess. Anledningen är att projektgruppen enbart bestått av en person. Inledningsvis gjordes ett försök att ta till extern hjälp, men när idéer bollades framkom det svårt att få utomstående att inse den breda problembild som kartlagts under projektet. Nivån på dessa idéer var därför långt ifrån vad projektgruppen själv kom fram till. En extern part nämnde dessutom att även om färre idéer genereras solitärt, så har de en högre framgångsfaktor. Att däremot ha genomfört en brainstorming-session med företaget hade varit en klar förbättring, vilket både kunnat göra relevans, urval och förankring enklare. Eftersom företaget inte själva efterfrågat att vara studieobjekt har det dessvärre inte varit enkelt att utkräva anspråk på anställdas betalda arbetstid.

Tidigt i projektet framkom att demonteringen av produkter som innehåller lion-batterier är starkt beroende av hur väl hanteringen av material i övrigt kan hanteras. Därför har framtagna processer fokuserat på att förbättra hela processen, från insamling fram till storleksreducering. Då projektgruppen inte tidigare arbetat med att utveckla processer, framför produkter, var det svårt att hitta ett lämpligt tillvägagångssätt att bedöma de framtagna koncepten. Därför utgick bedömningen istället utifrån en godtycklig matrismetod som gav samlad bedömning av vardera ingående dellösning. Det kan diskuteras huruvida detta är ett optimalt tillvägagångssätt, varför det rekommenderas att för liknande projekt efterfråga och använda vedertagna utvärderingsmodeller för processer.

I övrigt har framförallt metoderna intervju, KJ-analys och felträdsanalys varit särskilt fördelaktiga verktyg för att skapa förståelse för den stora problemrymden som finns kring anläggningens hantering av lion-batterier.

9.2 Diskussion om resultat och slutkoncept

De tre koncept som kom utav konceptutvecklingen består av flera dellösningar. Som argumenterat har inte koncept C idag rätt förutsättningar, såsom att nästintill kräva avlägsnande av kablar. Valet att välja koncept B baserades på den framtida mängden produkter med lion-batterier, som antas medföra att koncept A inte kommer vara tillräckligt.

Däremot finns det inget som hindrar att ändå implementera utvalda delar från Koncept A. De tre koncepten kan alltså mer beskrivas som en trestegs-modell, snarare än tre unika koncept; Koncept A påbörjas med rutiner. När dessa är implementerade är nästa steg de bättre åtgärderna från koncept B och till slut de bättre åtgärderna från koncept C.

En diskussion kan föras gällande huruvida vardera åtgärd är realiserbar. Eftersom de är principlösningar och inte har ett definitivt utförande, går det inte direkt att kritisera dem. Den mest utmanande lösningen är däremot kvävgaskärlet. Det finns exempelvis inga stöd för att kvävgas skulle kunna användas på det sätt som beskrivs i det slutliga konceptet. Komplikationer som nedfrysning skulle kunna ha på produkter som inte enbart innehåller lion-batteri, utan annat farligt avfall, behöver bland annat utredas. Trots detta var principlösningen att frysa ned produkter på ett eller annat sätt en metod som löste två kärnproblem: att minimera risken för lion-brand och medge att produkter kan öppnas lättare med exempelvis ett slagverktyg. Därför valdes att behålla denna för att låta den finnas som inspiration för ett framtida projekt.

Det kan vidare diskuteras huruvida projektet borde ha avgränsats till att enbart välja den åtgärd som bäst bemöter flest krav, för att kunna djupdyka och utvärdera åtgärden närmare. Detta visade sig svårt eftersom problembilden framkom stor, med flertalet angreppssätt, varpå det skapades en stor bredd av olika dellösningar. Alla lösningar bemötte kravspecifikation på olika vis, varför det var få som var direkt jämförbara. På grund av den stora bredden var det heller inte rimligt tidsmässigt att genomföra en marknadsanalys för vardera lösning, vilket är brukligt i ett traditionellt produktutvecklingsprojekt.

Bredden av problem gjorde även att kravspecifikationen erhöll en generell karaktär. För vardera dellösning som framkom skulle det ha varit en fördel att skapa en mer specifik kravspecifikation, men detta ansågs vara utanför projektets ramar. Det kan anses motsägelsefullt att det existerade många uttryckta krav avseende verktyg och maskiner, samtidigt som de anställda uttryckligen säger att det är omöjligt att utveckla ett enskilt verktyg såsom materialet varierar idag. För vidare arbete rekommenderas därför att verktyg är sekundärt framför att göra materialflödet mer hanterbart och förutsägbart. Att utgå från en rimlig nivå av ”ju tidigare desto bättre” är därför en fördel så att arbetet inte överskuggas av svårigheter i tidigare processer.

9.3 Avslutande reflektion

En intressant aspekt som uppmärksammades tidigt i projektet är den att det är bättre att arbeta proaktivt genom hela processen; ju tidigare desto bättre. Den åtgärden som ensamt bemötte flest krav, var påverkanskampanjen mot återvinningscentraler för att minimera mängden kablar i det insamlade materialet. Eftersom åtgärden däremot riktas utanför företagets verksamhet, skulle företaget inte direkt kunna genomföra några åtgärder. Denna principlösning valdes däremot att bevaras eftersom den gav ett sådant positivt utslag genom hela försorteringsprocessen; materialet skulle bli mycket enklare att bearbeta.

Oavsett är det tydligt att ju tidigare i en process som en förbättringsåtgärd sker, desto bättre utfall ger det för hela processen. Som framkom i pilotstudien var företagets uttryckta behov reaktiva metoder för att hantera de bränder som uppkommer, medan projektet valde att gå in på orsaken till brändernas uppkomst för att minimera frekvensen av dessa; Grundproblemet är de lion-batterier som passerar från företagets försortering till storleksreducering. Å andra sidan kan det anses vara ett eget grundproblem att dessa batterier inte tas om hand redan vid kassering av elavfall. Innan lion-batterier når slutfasen i återvinningen finns dessvärre möjliga fel som medför att de inte återvinns och istället orsakar bränder på andra ställen. Exempelvis att de slängs bland vanliga hushållssopor. Utöver att väcka insikt hos allmänheter är såldes en generell rekommendation, till alla som utformar produkter med batterier i, att utveckla med enkel demontering i åtanke. Eftersom 100% demonteringsgrad är en ambition, snarare än en realitet, är den sista rekommendationen att vara medveten om att det alltid kommer finnas visst behov av reaktiv hantering.

Genom denna diskussion kan det anses väl motiverat att det med ett holistiskt synsätt, som sträcker sig utanför den egna verksamheten, går att skapa rätt förutsättningar för en effektivare demontering med högre brandsäkerhet och materialåtervinning som följd.

10 SLUTSATS

Syftet med projektet har varit att studera försorteringsprocessen hos en återvinningsanläggning för att utreda hur brandrisken på grund av lion-batterier kan minimeras samtidigt som processen optimeras. Målet har varit att ta fram en kravspecifikation för anläggningen och utifrån den konceptutveckla en ny rekommenderad process.

Hur skulle en förbättrad saneringsprocess av elavfall kunna utformas för att underlätta identifiering och utvinning av lion-batterier?

Genom ett åtgärdsprogram med tolv rekommenderade åtgärder, anses nuvarande process kunna effektiviseras inom en nära framtid. En påverkanskampanj mot återvinningscentraler, för att minimera materialvariation och öka separerbarhet av material, anses vara central för att merparten av de övriga åtgärderna skall ge verklig effekt. Utav åtgärderna kan nämnas en produktfördelade mynning till transportbandet, efterföljande manuell sortering i lämpliga produktgrupper, bildskärmar för att kunna identifiera demonteringsgoods ovanifrån, samt nedfrysning av komplicerade produkter för en mindre ansträngande demontering och minskad risk för lion-brand. Därtill tillkommer säkerhetsåtgärder för minskad biverkning av rök från lion-bränder genom ny rutin att använda munskydd och installation av riktade ventilationsrör.

Då åtgärdsprogrammet baseras på en kravspecifikation som i sin tur baseras på anställdas problembeskrivning av situationen, bedöms de påkomna åtgärderna ändamålsenliga för att effektivisera processen och minimera brand, vilket dock inte har verifierats. Med detta åtgärdsprogram anses anläggningen vara förberedd inför vidare verksamhetsutveckling med hänsyn till den ökade användning av lion-batterier i framtidens elektronik.

Vidare besvaras frågeställningens underfrågor.

Hur kan sagd process utformas mer brandsäkert?

- **Av vilka anledningar uppstår brand?**

Framförallt är det storleksreduceringens maskinella bearbetning som startar en termisk rusning i lion-batterier som passerat den föregående försorteringsprocessen i anläggningen. Det i sin tur beror på den undermåliga demonteringen vid försorteringen, vilken beror av flera faktorer som redovisats i kapitel 6.3, Felträdsanalys. Brand- och rökutveckling som uppträder redan vid försortering förorsakas av batterier som skadats under transport till anläggning eller som skadas av anställda vid demontering.

- **Hur kan man förutse brand, alternativt identifiera riskprodukter?**

Det finns idag igen möjlighet att identifiera just den produkt som kommer förorsaka brand på grund av materialets variation.

- **Vilka motiv finns för proaktiva eller reaktiva åtgärder?**

Företaget har i nuläget kontakt med ett lokalt brandskyddsföretag för att komma fram till hur de reaktivt kan åtgärda de uppkomna bränderna. Bränder kommer alltid att finnas, varför detta är logiskt att beakta. Proaktivt arbete talades lite om, även om det tydligt redogjordes att bränder vid storleksreduceringen berodde av arbetet vid försorteringen. Därför fanns alltså ett outtalat behov att undersöka huruvida den processen kunde förbättras för att färre lion-batterier skall inkomma till storleksreduceringen.

Hur kan sagd process utformas för en effektivare materialåtervinning?

- **Hur påverkar brand materialåtervinningen?**

Skadade material från brand utgör en minimal andel av de materialflöden som bearbetas hos företaget, och innebär således en försumbar återvinningsförlust. Oavsett brand existerar det alltid en liten andel orenheter som inte går att återvinna hos smältverken. Till exempel organiskt material och sten.

- **Vilka motiv existerar att sortera ut fungerande lion-batterier för återanvändning?**

Företaget har inga motiv att sortera ut fungerande lion-batterier eftersom det är rutin att anse alla batterier som inkommer till försorteringen, oavsett visuellt skick, som potentiella risker. Då brukbarhet inte kan garanteras går de således till återvinning framför återanvändning. För att kunna göra en sådan urskiljning och således öka återanvändning av lion-batterier, skulle det krävas åtgärder redan innan dessa anländer till företaget.

Avslutningsvis kan konstateras att kretsloppet för lion-batterier är del av en större process varur det ej kan isoleras och enskilt effektiviseras. Projektet har åskådliggjort att problembilden hos anläggningen är stor, men att ju tidigare i problemhierarkin som en åtgärd utfärdas, desto effektivare utfall kan erhållas. För att fortsättningsvis förbättra återvinningshanteringen hos anläggningar i allmänhet erfordras därför ett holistiskt perspektiv. Således förväntas processen kunna förbättras för alla de verksamheter som tillsammans utgör kretsloppet för elavfall och lion-batterier.

REFERENSER

- AGA. (2007). *Säkerhetsdatablad: Komprimerad gasblandning, hälsoskadlig, irriterande, lättare än luft, innehåller vätefluorid*. Hämtad från www.aga.se/internet.lg.lg.swe/sv/images/1382586_127000.pdf
- Anderson, M. (2013, 1 mars). Potential Hazards at Both Ends of the Lithium-Ion Life Cycle. *IEEE Spectrum*. Hämtad från <http://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/potential-hazards-at-both-ends-of-the-lithiumion-life-cycle>
- Arbetsmiljöverket. (2015). *Hygieniska gränsvärden (AFS 2015:7)*. Tillgänglig från www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/hygieniska-gransvarden-afs-20157-foreskrifter/
- Avfall Sverige. (2016). *Farligt avfall måste sorteras ut och lämnas rätt*. Hämtad från www.avfallsverige.se/avfallshantering/farligt-avfall/
- Batteriföreningen. (2017a). *Batterier*. Hämtad från www.batteriforeningen.se/batterier/
- Batteriföreningen. (2017b). *Uppbyggnad av Litiumjoncellen* [Elektronisk bild]. Hämtad från www.batteriforeningen.se/uppbyggnad-av-litiumjoncellen-litiumjonbatterier/
- Battery University (2010). *Lithium-ion Safety Concerns*. Hämtad från www.batteryuniversity.com/learn/archive/lithium_ion_safety_concerns
- Brain, M. (2006, 14 november). How Lithium-ion Batteries Work. *HowStuffWorks*. Hämtad från <http://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery.htm>
- Chagnes, A. & Światowska, J. (2015). *Lithium process chemistry resources, extraction, batteries, and recycling*. Amsterdam: Elsevier.
- Chamary, J.V. (2016, 4 september). Why Are Samsung's Galaxy Note 7 Phones Exploding? *Forbes*. Hämtad från www.forbes.com/sites/jvchamary/2016/09/04/samsung-note7-battery/
- Citibank. (2012, juli). Projected market for lithium-ion batteries used in electric vehicles from 2012 to 2020 (in million U.S. dollars). I *Statista - The Statistics Portal*. Hämtad från www.statista.com/statistics/309570/lithium-ion-battery-market-in-electric-vehicles
- El-Kretsen. (2017). *Om oss*. Hämtad från www.el-kretsen.se/om-oss

- El-Kretsen. (2016). *Verksamheten 2015*. Hämtad från www.el-kretsen.se/sites/el-kretsen_se/files/media/images/Artiklar/ELK_arsrapport_2015.pdf
- Fredholm, L. (2014, 16 maj). Släck batteribrand med vatten. *Brandsäkert*. Hämtad från www.brandsakert.se/2014/0516/sl%C3%A4ck-batteribrand-med-vatten
- Ghose, T. (2015, 28 april). Why some lithium-ion batteries explode. *Live Science*. Hämtad från www.livescience.com/50643-watch-lithium-battery-explode.html
- Goldman Sachs. (2016, juli). Projected market for lithium-ion batteries used in consumer electronics from 2015 to 2025, by key application (in gigawatt hours). I *Statista - The Statistics Portal*. Hämtad från www.statista.com/statistics/309562/lithium-ion-battery-use-in-consumer-electronics/
- Göteborgs Stad. (2017). *Elektronik och elavfall*. Hämtad från <http://goteborg.se/wps/portal/start/avfall-och-atervinning/sortera-avfall-hushallet/farligt-avfall/el-avfall/>
- Hachman, M. (2017, 3 mars). Beyond lithium-ion: Researchers reveal a safer, longer-lasting, solid-state battery alternative. *PCWorld*. Hämtad från www.pcworld.com/article/3176671/components/beyond-lithium-ion-researchers-reveal-a-safer-longer-lasting-solid-state-battery-alternative.html
- Johannesson, H., Persson, J. & Pettersson, D. (2013). *Produktutveckling - Effektiva metoder för konstruktion och design (andra upplagan)*. Stockholm: Liber AB.
- Karlsson, I. (2000). *Produktutvecklingens tidiga faser: Att identifiera kundens krav*. Göteborg: Department of Human Factors Engineering, Chalmers University of Technology.
- Karlsson, M. (2007). *Metodappendix till Kurskompendium – Lyssna till kundens röst: Att identifiera, analysera och kommunicera kunden och användarens krav*. Hämtad från <http://docplayer.se/2381861-Innehallsforteckning.html>
- Karlsson-Ottosson, U. (2015, 28 april). Här exploderar litiumjonbatteriet. *NyTeknik*. Hämtad från www.nyteknik.se/energi/har-exploderar-litiumjonbatteriet-6393843
- Lahiri, A., Shah, N., Dales, C. (2017, 10 maj). How to Build a Safer, More Energy-Dense Lithium-ion Battery. *IEEE Spectrum*. Hämtad från <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/design/how-to-build-a-safer-more-energydense-lithiumion-battery>
- Mikolajczak, C., Kahn, P.E.M., White, K., Long, R.T. (2011). Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. *Fire Protection Research Foundation*. Hämtad från www.prba.org/wp-content/uploads/Exponent_Report_for_NFPA_-_20111.pdf

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [MSB]. (2009). *Olika typer av brandsläckare*. Hämtad från www.msb.se/sv/Forebyggande/Brandskydd/Brandskyddsutrustning/Brandslackare/

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [MSB]. (2013). *Har du koll? Brandteori*. Hämtad från www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26315.pdf

Nationalencyklopedin [NE]. (2017). *Felträdsanalys*. Hämtad från [www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/felträdsanalys](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/feltraedsanalys)

National Fire Protection Agency. (2016). *All about fire - from "A Reporter's Guide to Fire and the NFPA"*. Hämtad från www.nfpa.org/news-and-research/news-and-media/press-room/reporters-guide-to-fire-and-nfpa/all-about-fire

Naturvårdsverket. (2016). *Vägledning om insamlingssystem*. Hämtad från www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Avfall/Producentansvar/Batterier/Samla-in/

Nilsson, K. (2017, 16 maj). Sweden bans a host of hoverboards amid safety risks. *The Local*. Hämtad från www.thelocal.se/20170516/sweden-bans-a-host-of-hoverboards-amid-safety-risks

Recharge. (2013, 9 juni). Safety of lithium-ion batteries. Hämtad från www.rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2013/07/Li-ion-safety-July-9-2013-Recharge-.pdf

Refind Technologies. (2017). *Hemsida*. Hämtad från www.refind.se

Sun, J., Li, J., Zhou, T., Yang, K., Wei, S., & Tang, N., ... Chen, L. (2016). Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery. *Nano Energy*, 27, 313-319. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.06.031>

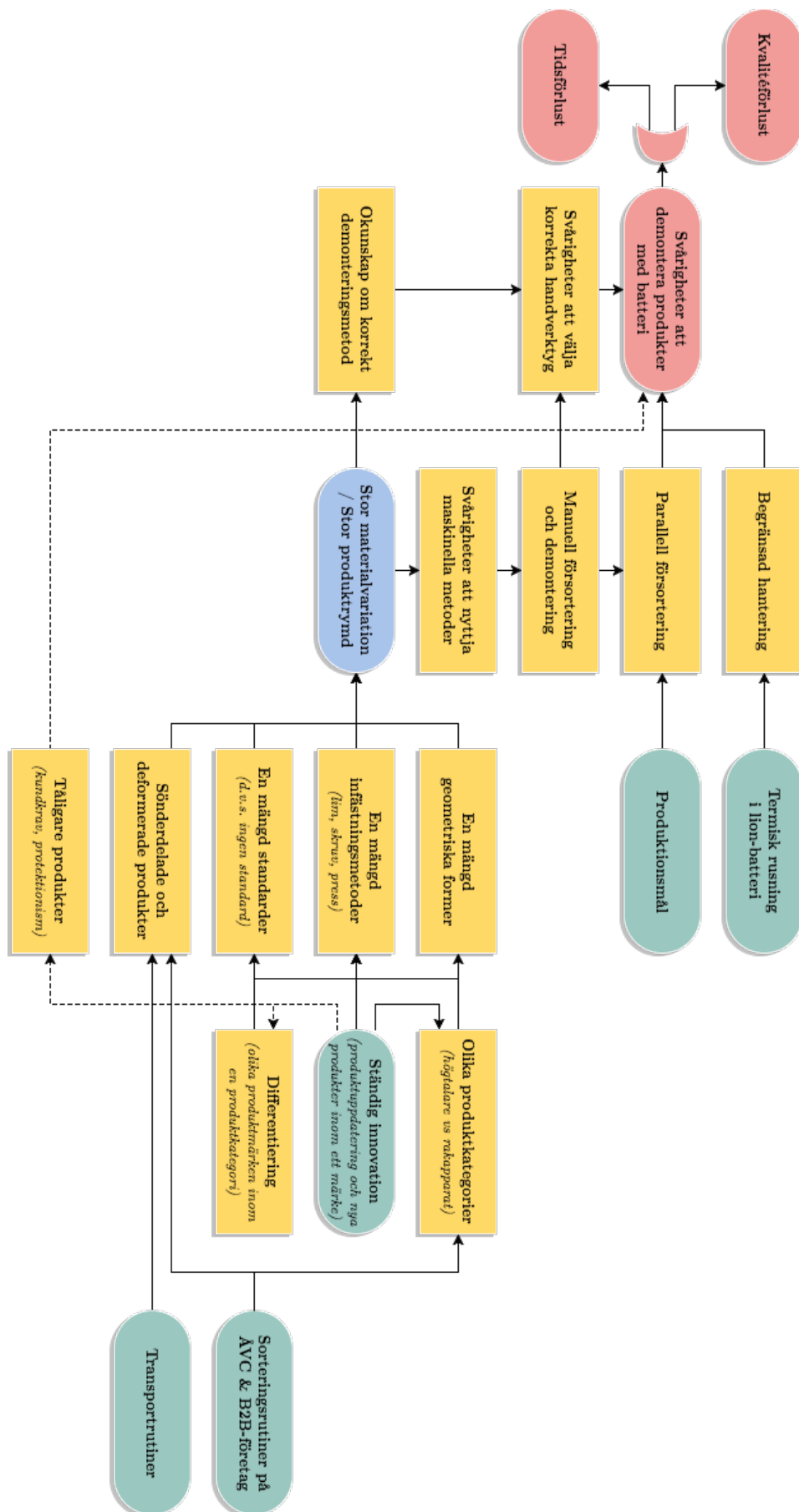
Weloty. (2015, 25 maj). *How To Transcribe an Interview for Dissertation – Part 2*. Hämtad från www.weloty.com/how-to-transcribe-an-interview-for-dissertation-part-2/#Intelligent_Verbatim_Approach

[Treaxlad graf som beskriver ergonomisk skaderisk]. (2015). [Elektronisk bild]. Tillgänglig från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/6050/node.do?id=2638871&ts=1446567025673&u=1684428938>

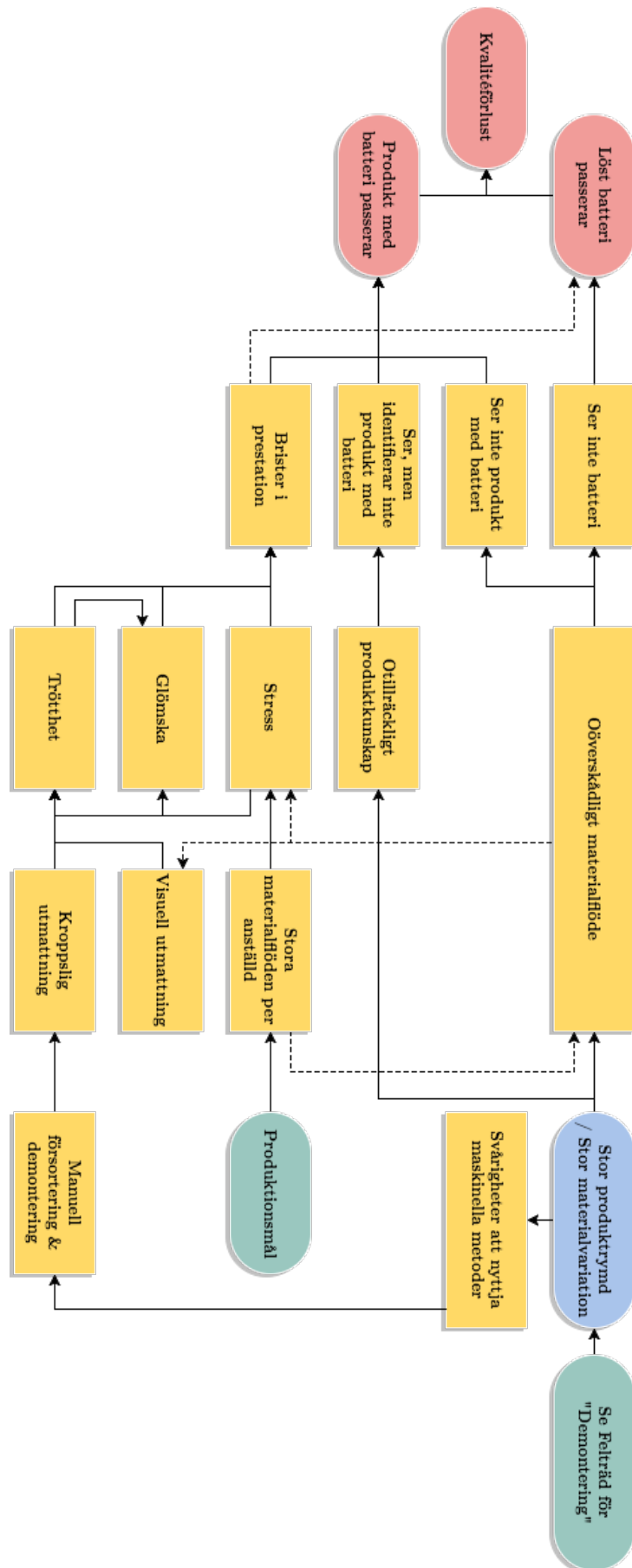
Åslund, B. (2015, 26 januari). Litiumjonbatterier kan skapa farliga gaser. *Brandsäkert*. Hämtad från www.brandsakert.se/2015/0126/litiumjonbatterier-kan-skapa-farliga-gaser

Österlin, K. (2011). *Design i fokus för produktutveckling*. 3:2 red. Stockholm: Liber AB.

Bilaga 1: Felträd över varför ett batteri, löst eller som del av en produkt, passerar



Bilaga 2: Felträd över svårigheten att demontera en batteriprodukt



Bilaga 3: Beslutsmatris

[illegible]

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
1	Det finns rutin på att klippa av kablar innan elavfallet samlas in.		
2a 2b	Det finns dessutom flera kärl för insamling, så att exempelvis större och mindre elektronik separeras.	En inköpt optisk sorterare underlättar för privatpersoner att inte själva sortera elavfallet i olika underfraktioner.	
3			Materialet samlas i produktutvecklade kärl där det inte utsätts för tryck från annat material.
4		Mellan ÅVC och anläggningen existerar nya rutiner att mer riskfyllt material som antas innehålla lion-batterier fraktas i frys-bilar. Kylan laddar ur lion-batteri och minimerar eventuell reaktion.	
5a 5b	Materialet läggs upp manuellt på transportbandet av flera nyanställda vid en nyinstiftad station.	Vid transportbandets inflöde tippas materialet ned i en skakande mynning som ser till att materialet fördelas jämnare och är mer överskådligt för nästkommande processer.	
6a 6b	De anställda lägger upp produkterna så att det är överskådligt för nästkommande processer och sorterar utvalda produktkategorier symbolisk med tänkta avdelningar på transportbandet. Detta underlättar för nästkommande försorterare att snabbare identifiera produkter och dessutom inte behöver byta verktyg lika frekvent.	Vid en nyinstiftad station sorterar de anställda utvalda produktkategorier i olika avdelningar på transportbandet. Detta underlättar för nästkommande försorterare att snabbare identifiera produkter och dessutom inte behöver byta verktyg lika frekvent.	Programmerade robotarmar sorterar ut enklare såsom brännbart och lämnar det mer avancerade till nästkommande försorterare.
7a 7b		Vid nästa station filmas det inkommande materialet och visas på bildskärmar så att det är enklare för försorterare att observera de olika produkterna från ovan.	Vid nästa station röntgas materialet efter grundämnen som finns i lion-batteri (järn, magnesium, nickel, järn), och indikerar hur mycket demonteringsarbete som erfordras.
8			Försorterare använder ett maskinellt grepp för att plocka material och undvika kroppsbelastning.

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
9a 9b	För demontering sker regelbundna inköp av korrekta verktyg efter trender i materialet, särskilt för mer komplexa produkter.	För demontering används produktutvecklade multifunktionella verktyg för att minimera antalet verktyg som behöver användas.	
10			För de produkter som erfordrar lång demonteringstid, sker regelbunden kontakt med fabrikör för att enklare kunna välja korrekta verktyg eller nyttja svagheter i konstruktionen.
11a 11b	Verktygsutbudet finns i ett mindre skåp bredvid transportbandet för att det snabbt skall gå att byta eller ersätta borttappade verktyg.	Verktygsutbudet finns direkt vid transportbandet, fästa i utdragbara linor, för att det snabbt skall gå att byta och förhindra att verktyg tappas bort.	
12a 12b	Under demonteringen placeras produkten på en friktionsyta som håller produkten stadig och minskar behov att stabilisera med handgrepp.	Under demonteringen placeras produkten i ett gripdon med multipla grepp som håller produkten stadig och eliminerar behov att stabilisera med handgrepp.	
13	Produkter med komplex form eller materialsammansättning, där risk existerar att punktera ett lion-batteri, placeras i en sluten behållare med kvävgas. Materialet blir skört och enklare att krossa, särskilt mjuka höljen. Kylan laddar ur lion-batteri och minimerar eventuell reaktion.		
14	Skulle en reaktion uppstå så har anställda inköpta munskydd.		
15			Dessutom finns styrbara ventilationsrör som kan riktas mot reaktionen så att röken snabbare kan filtreras bort.
16a 16b	Demonterade produkter placeras symbolisk på en sida av transportbandet för att minimera dubbelarbete för nästkommande försorterare.	Demonterade produkter placeras sedan på andra sidan av en fysiska avdelare på transportbandet för att minimera dubbelarbete för nästkommande försorterare.	
17			För att bekräfta saneringsgrad så röntgas materialet en gång till innan det går vidare till storeksreducering.
18			Som utifall-att-åtgärd är storleksreduceringen omgjord till en syrefattig process, där den primära krossen är inkapslad. Detta motverkar att eventuella lion-reaktioner kan utvecklas till bränder.