

CHALMERS



Konstruktion av matningssystem till automatiserad lampsorterare

För återvinning av lampor

Kandidatarbete i Teknisk Design

ERIK BERNÉRUS, JOSEPHINE ERIKSSON, JOHANNA TURESSON

Konstruktion av matningssystem till automatiserad lampsorterare

Kandidatarbete i Teknisk Design

ERIK BERNÉRUS, JOSEPHINE ERIKSSON, JOHANNA TURESSON

HANDLEDARE: PONTUS WALLGREN

EXAMINATOR: ÖRJAN SÖDERBERG

Förord

Den här rapporten behandlar ett kandidatarbete som genomfördes vid institutionen för Produkt- och produktionsutveckling på Chalmers Tekniska Högskola under våren 2014 på uppdrag av företaget Refind som sysslar med utveckling av automatisk materialåtervinning.

Vi vill tacka Refind och där framförallt Johanna Reimers, Hans Eric Melin, Farshid Jafari Harandi och Amir Sabbagh Pour för ett gott samarbete och den entusiasm och hängivenhet de visat för vårt arbete samt för de tekniska kunskaper de bistått med. Vi tackar också vår handledare Pontus Wallgren för den hjälp och de råd vi biståtts med samt oppositionsgruppen bestående av Ida Aasa, Elisabeth Bergman, Sofia Friberg, Victor Petersson, Linn Wahlgren och Sara Westerlund.

Tack till mentorsgruppen vid Industrial Design Engineering som stött vårt arbete.

Ett extra tack till Erik Stenvall, Göran Stigler, Jan Bragee, Reine Nohlberg och Hans Sjöberg vid institutionerna Material- och tillverkningsteknik respektive Produkt- och produktionsutveckling för de konsultationer de givit oss.

Slutligen vill vi även tacka industrimentor Alexandra Rånge och examinator Örjan Söderberg från institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, avdelning Design & human factors.

Sammanfattning

Rapporten beskriver ett produktframtagningsprojekt av ett matningssystem för en automatiserad lampsorterare för återvinning av lampor. Sortering sker med hjälp av en kamera med igenkänning som kan identifiera lampor som sedan sorteras till korrekta fraktioner. För att korrekt avläsning av lampor ska kunna ske behöver lamporna åka enskilda under kameran med ett visst avstånd mellan sig.

Projektet genomfördes på uppdrag av företaget Refind som tillsammans med andra företag i ett EU-projekt skulle utveckla ett automatiserat koncept för sortering och återvinning av lampavfall. Det nya konceptet var tänkt att öka materialåtervinningen, minska kvicksilverutsläppen, förbättra förhållandena för de som arbetar i återvinningsmiljön samt skapa statistik kring lampavfall.

Eftersom ingen liknande produkt fanns på marknaden och den lampåtervinningen som fanns tidigare inte sorterar lamporna innan återvinning gjordes en produktframtagningsprocess för att hitta den bästa lösningen som skulle vara kompatibel med kameran som skulle användas. Projektet inleddes med en bred informationsinsamling kring den dåvarande hanteringen av lampavfall i Sverige samt vilka lampgeometrier som fanns. Vidare gjordes tester som visade på lampors egenskaper med avseende på krossrisk och rörelsemönster. Med kunskapen från informationsinsamlingen kunde en idégenerering göras varvat med testning av enklare modeller och utvärderingar för att hitta ett koncept för vidareutveckling.

Projektet resulterade i en prototyp av ett matningssystem, ritningar på ingående komponenter samt en rekommendation för vidareutveckling av prototypen.

Abstract

This report describes the design and development of a product that functions as a feeding system to an automated lamp sorter for recycling of waste lamps. The sorting is done by using a camera with recognition technology that can identify lamps that are later on sorted into different fractions. For correct readings to be made, lamps need to pass individually under the camera with a certain distance inbetween.

The project was carried out on behalf of the company Refind who collaborated with other companies in an EU-project that was going to develop an automated concept for sorting and recycling lamp waste. The new concept aimed at increasing material recovery rate, reducing mercury emissions, improve the conditions for those working in the recycling environment aswell as create statistics for the lamp waste.

As there were no similar products on the market and previous recycling of lamps did not sort the lamps before recycling them, a process of creating a product that would fulfill the task and be compatible with the company's camera was initiated. The project was commenced with a wide collection of information concerning the preceding handling of lamp waste in Sweden as well as of the exsisting lamp sizes and geometries. Tests that showed the properties of lamps in reference to risk of breakage and movement patterns were conducted.

With the knowledge gained from the information collection, ideas were taken forward. Simple models were built and tested as well as evaluated to find a concept for further devolopment.

The project resulted in a prototype of a feeding system, drawings of non-standard components and recommendations for further development of the prototype.

Innehåll

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inledning | 11 |
| 1.1 | Bakgrund | 11 |
| 1.1.1 | Befintlig hantering av avfallslampor | 12 |
| 1.1.2 | Illuminate | 12 |
| 1.1.3 | Företaget | 12 |
| 1.2 | Uppgift | 14 |
| 1.3 | Frågeställning | 14 |
| 1.4 | Syfte och mål | 14 |
| 1.4.1 | Mål | 14 |
| 1.5 | Avgränsningar | 15 |
| 1.6 | Benämningar i rapporten | 15 |
| 1.7 | Rapportens upplägg | 16 |
| 2 | Teori - metoder och verktyg | 17 |
| 2.1 | Datainsamlingsmetoder | 17 |
| 2.1.1 | Benchmarking | 17 |
| 2.2 | Utvecklingsmetoder | 17 |
| 2.2.1 | Brainstorming | 17 |
| 2.2.2 | Morfologisk matris | 17 |
| 2.2.3 | CAD | 18 |
| 2.2.4 | Mood board | 18 |
| 2.3 | Analysmetoder | 18 |
| 2.3.1 | Black box | 18 |
| 2.3.2 | Funktionsstruktur | 18 |
| 2.3.3 | HTA | 19 |
| 2.3.4 | Elimineringsmatris | 19 |
| 2.3.5 | Pugh-matris | 19 |
| 2.3.6 | FMEA | 20 |
| 3 | Fas ett: Förarbete | 21 |
| 3.1 | Genomförande | 21 |
| 3.1.1 | Informationsinsamling | 21 |
| 3.1.2 | Kravspecifikation | 21 |
| 3.2 | Resultat | 23 |
| 3.2.1 | Lampor | 23 |
| 3.2.2 | Lamptillverkning samt sortering av andra produkter | 27 |
| 3.2.3 | Funktioner | 27 |
| 3.2.4 | Undersökning av arbetsmiljö vid återvinning | 29 |
| 3.2.5 | Mood board | 29 |
| 3.2.6 | Fysiska tester av lampor | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2.7 | Kravspecifikation | 31 |
| 3.3 | Analys | 31 |
| 3.3.1 | Arbetsmiljö och minskad manuell sortering | 32 |
| 3.3.2 | Konflikterande krav | 32 |
| 3.3.3 | Mood board | 33 |
| 3.3.4 | Funktioner | 33 |
| 4 | Fas två: Delkoncept | 34 |
| 4.1 | Genomförande | 34 |
| 4.1.1 | Konceptval | 35 |
| 4.1.2 | Modellbygge | 35 |
| 4.2 | Resultat | 35 |
| 4.2.1 | Huvudprinciper | 35 |
| 4.2.2 | Stödprinciper | 42 |
| 4.2.3 | Val av totallösningar | 43 |
| 4.2.4 | Totallösningar | 44 |
| 4.3 | Konceptval | 49 |
| 4.4 | Analys | 50 |
| 5 | Fas tre: Detaljerad konstruktion | 51 |
| 5.1 | Genomförande | 51 |
| 5.1.1 | Testprototyp | 51 |
| 5.2 | Resultat | 52 |
| 5.2.1 | FMEA | 53 |
| 5.2.2 | Uppradaren | 53 |
| 5.2.3 | Stödprinciper | 57 |
| 5.3 | Analys | 59 |
| 6 | Slutkoncept | 61 |
| 6.1 | Genomförande | 61 |
| 6.1.1 | Utvärdering | 61 |
| 6.2 | Beskrivning av slutkoncept | 62 |
| 6.2.1 | Uppradaren | 63 |
| 6.2.2 | Transportband för lampmottagning | 65 |
| 6.2.3 | Avfallsborttagaren | 65 |
| 6.2.4 | Avsmalnaren | 67 |
| 6.2.5 | Distanseraren | 69 |
| 6.2.6 | Stycklista | 69 |
| 6.3 | Utvärdering | 69 |
| 6.3.1 | Funktionalitet, prestanda och dimensioner | 69 |
| 6.3.2 | Systemegenskaper | 71 |
| 6.3.3 | Ekonomi | 72 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7 | Diskussion | 74 |
| 7.1 | Syfte och mål | 74 |
| 7.2 | Projektprocess | 74 |
| 7.2.1 | Utvecklingsprocess | 75 |
| 7.3 | Kravspecifikation | 75 |
| 7.3.1 | Hållbar utveckling | 76 |
| 7.3.2 | Mänsklig interaktion | 76 |
| 7.3.3 | Ekonomi | 77 |
| 7.4 | Brister i slutlig prototyp | 77 |
| 7.4.1 | Uppradaren | 77 |
| 7.4.2 | Avsmalnaren | 78 |
| 7.4.3 | Avfallsborttagaren | 79 |
| 7.5 | Genomförande av tester | 79 |
| 7.6 | Avgränsningar under projektets gång | 79 |
| 8 | Slutsats | 81 |
| 8.1 | Resultat | 81 |
| 8.2 | Trovärdighet | 82 |
| 9 | Rekommendationer för fortsatt arbete | 83 |
| 9.1 | Eliminering av driftsfel | 83 |
| 9.2 | Funktionalitet | 83 |
| 9.2.1 | Återmatning | 83 |
| 9.2.2 | Uppradaren | 84 |
| 9.2.3 | Avfallshantering | 85 |
| 9.2.4 | Avsmalnaren | 86 |
| 9.3 | Materialval | 86 |
| 9.3.1 | Metallkonstruktion | 86 |
| 9.3.2 | Transportband | 87 |
| 9.4 | Tillverkningsmetod och konstruktion för montering och demontering | 87 |
| | Referenser | 89 |
| | Tryckta källor | 89 |
| | Webbkällor | 90 |
| | Övriga källor | 91 |
| | Appendix | I |
| | Kravspecifikation | I |
| | Falltester | II |
| | Rulltester | IV |
| | Elimineringsmatris | V |
| | Morfologisk matris | VI |
| | Pugh-matriser | VII |
| | Kulram | VII |

| | |
|---|-------|
| Lampedukt | VIII |
| Pistolen | IX |
| V-drop | X |
| Sammanställning | XI |
| Slutkoncept | XII |
| FMEA | XIII |
| Materialval metall | XXI |
| Materialval polymer | XXIV |
| Stycklista | XXVII |
| Optimering | XXX |
| Ritningar | XXXI |
| Sidor, 200 mm transportband | XXXI |
| Vingar, huvudprincip | XXXII |
| Avkaningsyta | XXXIV |
| Väggar, huvudprincip | XXXV |
| Fästplattor och vinklar | XXXVI |
| Ställning, avfallsborttagning | XXXIX |
| Cylindrisk plåt, avsmalningsprincip | XL |
| Träställningar, avsmalningsprincip | XLI |
| Kostnadsberäkning | XLIV |

Kapitel 1

Inledning

Det inledande kapitlet ger en bakgrund till projektets uppkomst, vad projektet kommer behandla, samt presentera syfte, mål, frågeställning och även vilka avgränsningar som gjorts. Vidare ges en introduktion till hur rapporten är uppbyggd och tänkt att läsas.

1.1 Bakgrund

Hanteringen av avfall är väsentlig för alla. Mängden avfall som produceras i Sverige ökar och samtidigt pekar rapporter mot att jordens resurser är ändliga och att de flesta utsläppen är dåliga för miljön [18]. Med lagar kan avfallshanteringen regleras men till sist ligger ansvaret på varje individ att lämna in förbrukade produkter och komponenter till återvinning.

År 2013 lämnade Sveriges invånare in 2753 ton lampor till återvinning [5]. Majoriteten av lamporna var gasurladdningslampor som är den lampfamilj där lysrör och lågenergilampor ingår. Alla lampor innehåller flera olika metaller och andra material som går att återvinna. De vanligast förekommande lampsorterna i återvinningsssammanhang innehåller kvicksilver som är en flyktig metall som är skadlig för ekosystem och för människor. Det är viktigt att den inte sprids i miljön. [19]

I enlighet med 15 kap. 1 § i miljöbalken definieras avfall som föremål eller ämnen som innehavaren ämnar avyttra och § 5a föreskriver att den som innehar avfall ska avyttra det på ett hälso- och miljömässigt godtagbart sätt. I propositionen *Svenska miljömål - för ett effektivare miljöarbete* visar regeringen på vikten av ett utökat miljöansvar, där avfallsåtervinning är ett led i processen mot de uppsatta miljömålen [18]. Producenter ska ge information kring hur en förbrukad produkt återvinns och kommuner ska tillhandahålla återvinningscentraler. Med de stora mängderna lampavfall som uppkommer i Sverige varje år måste det finnas ett bra sätt att ta hand om avfallet när det lämnats till återvinning.

WEEE-direktivet, EU:s direktiv om insamling och återvinning av elektriska och elektroniska produkter, syftar till att skapa en mindre uppkomst av elavfall samt en ökad återvinning och återanvändning. I samråd med RoHS-direktivet som verkar för minskad användning av farliga ämnen för att minska risken för människors hälsa och för miljön har det EU-finansierade projektet *Illuminate* tagits fram. Projektet omfattar hanteringen av lampor som ska återvinnas.

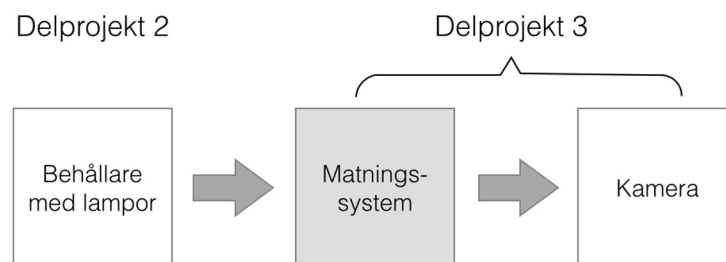
1.1.1 Befintlig hantering av avfallslampor

Idag finns ett system i Sverige där enbart kvicksilver utvinns ur lampor som lämnats för återvinning. Efter att lamporna lämnats på insamlingsplatser mellanlagras de lokalt och skickas därefter till Nordic Recycling AB i Hovmantorp. Idag sker ingen sortering av lampor i Sverige, utan samtliga lampor krossas och kvicksilvret utvinns i en kemisk process. [20]

1.1.2 Illuminate

Illuminate är ett EU-projekt som syftar till att skapa automatisk sortering och återvinning av lampavfall för att öka materialåtervinning, reducera kvicksilverutsläpp, förbättra arbetsmiljöförhållanden och skapa statistik över lampavfall. Projektet ska leda till att WEEE- och RoHS-direktiven i större utsträckning följs.

Projektet är indelat i åtta *Work Packages* (WP), eller delprojekt, vars gemensamma mål är att ta fram ett koncept på en lamphanteringskedja från att lamporna lämnats till återvinning till att lamporna återvunnits. För att åstadkomma detta ingår exempelvis utveckling av behållare för insamling och transport av lampor, en automatiserad lampsorterare och ett analysverktyg för att ta fram statistik över lamporna som återvinns. Kandidatprojektet är på uppdrag av Refind del i utvecklingen av den automatiserade lampsorteraren i WP 3. Det är ett flertal företag förutom Refind som är involverade i de olika *Work Packages*. Den automatiska lampsorteraren tar emot lampor från en behållare som ska utvecklas i WP 2 och ska föra lamporna enskilt under en kamera med bildigenkänningsteknologi som registrerar de olika typerna av lampor. Detta kan ses i figur ?? Vidare kommer lamporna delas upp i olika fraktioner beroende på lampsort och vad lamporna innehåller. Exempel på fraktioner är LED, lampor med kvicksilver, lampor utan kvicksilver. I ett senare steg kommer materialen i lamporna återvinnas, det är därför viktigt att lamporna delats upp. [11]



Figur 1.1: Projektets förhållande till delprojekten.

1.1.3 Företaget

Refind grundades 2014 och arbetar med att utveckla system för att identifiera och sortera förbrukade produkter. Under deras tidigare företagsnamn, Optisort, som grundades

2008, skapades deras första kommersiella produkt, batterisorteraren OBS 600. Produkten sorterar automatiskt mindre batterier av olika varianter av A, B, C och D typ genom att de en och en förs under en kamera som identifierar typen och som sedan sorterar dem i olika behållare. I ett föregående steg matas batterier från en behållare och efter att de åkt igenom olika steg i maskinen radas de upp med ett litet mellanrum mellan varje batteri.

Refind skapar system som automatiskt kan identifiera olika typer av elektroniska produkter som kasserats och samla in information om vad produkterna innehåller för att få en översikt över vad som kan återvinnas. Företaget har som vision att kunna följa produkter under hela deras livscykel för att tillvarata så mycket värde som möjligt och inte behöva acceptera något avfall. [21]

1.2 Uppgift

Uppgiften i projektet är att utveckla ett matningssystem till kameran i en automatiserad lampsorterare.

De lampor som hanteras kommer vara av varierande storlek och form och måste därmed hanteras helt individuellt. Det går därmed inte att ta fram en produkt som endast är anpassad efter en rotationssymmetrisk lampa av en viss storlek då det hade lett till att ett matningssystem per lampsort hade krävts.

I Illuminateprojektet beskrivs processen *“Lighting waste lying on a conveyor belt will be moved through the multisensor identification system developed by CIT and Optisort, which will decide the type and category of the product. (...) System should be able to handle the required throughput, to withstand negative effects of dirty and dust in waste products and to be robust enough to operate in rather harsh waste recycling plant environments.”*. [11]

Majoriteten av lamporna som brukas idag innehåller kvicksilver och bör därför inte gå sönder i sorteringsprocessen [5]. Det finns dock en risk att lampor gått sönder redan innan sortering samt att främmande föremål hamnat bland lamporna. Både glassplitter och främmande föremål av mindre storlek, bör sorteras bort, helst innan lamporna förs under kameran. Lamporna behöver därefter radas upp på ett ändamålsenligt sätt så att kameran kan identifiera dem.

1.3 Frågeställning

- Hur kan lampor hanteras i automatiska system?
- Vilka aspekter är viktiga att ta hänsyn till vid hantering av kasserade lampor?
- Hur kan utformningen av ett matningssystem se ut om dessa aspekter tas i beaktan?

1.4 Syfte och mål

Projektets syfte är att utveckla ett koncept för ett matningssystem för den automatiserade lampsorteraren. Systemet ska ta vid från det att lamporna tömts från en specifik behållare till det att de slutligen förs under en kamera för igenkänning. Målet vid projektets slut är att ha tagit fram och byggt en första prototyp som uppfyller de krav som ställs på matningssystemet samt ge rekommendationer till hur prototypen kan vidareutvecklas och vilka val som kan göras vid tillverkning i större skala. Prototypen ska gå i linje med de övriga produkter som Refind har samt vara kompatibel med de övriga delarna i den automatiska lampsorteraren.

1.4.1 Mål

- Effektivisera hanteringen av kasserade lampor vid återvinning.
- Bidra till en högre andel återvunnet material från kasserade lampor.

- Hantera kasserade lampor från behållare till kamera och vara kompatibel med dessa.
- Rimlig totalkostnad i förhållande till dyr teknik i kameran.

1.5 Avgränsningar

Projektet avser endast delen av hanteringskedjan från att lamporna anländer i en behållare tills dess att de förs under kameran och behandlar inga andra delar av hanteringskedjan.

Eventuellt kvicksilverspill som skulle kunna ske i produkten behöver inte beaktas vid utformningen av produkten. Därav behöver det inte finnas någon särskild funktion som hanterar detta, ej heller behöver material väljas med särskild hänsyn till detta. Produkten ska däremot i största mån utformas för att så få lampor som möjligt ska gå sönder då de befinner sig i produkten.

Den resulterande prototypen är endast tänkt som testexemplar och tillverkas med en mindre budget än den tänkta slutgiltiga produkten.

1.6 Benämningar i rapporten

Med produkten avses den del av sorteringsmaskinen som radar upp lampor från att de anländer i en behållare tills dess att de förs under kameran.

Företaget som är uppdragsgivare heter Refind (tidigare Optisort). I de texter som berör EU-projektet omnämns företaget Optisort varpå båda företagens namn kan nämnas i rapporten.

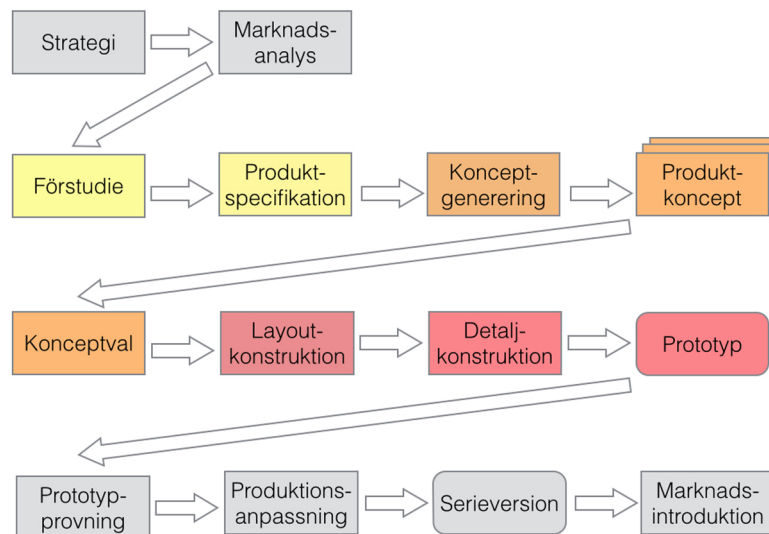
Med lampa avses “Alla artificiella strålningskällor avsedda att alstra ljus.” [14]

1.7 Rapportens upplägg

Rapporten delas in i tre huvudkapitel utifrån projektets arbetsfaser: förarbete, delkoncept och detaljerad konstruktion. Därefter följer kapitlet slutkoncept där det slutgiltiga resultatet presenteras. Varje kapitel innehåller separata genomförande-, resultat-, och analysavsnitt och är tänkta att kunna läsas separat eller i följd. Analysen av slutkonceptet förs i diskussionskapitlet.

Arbetsgången i projektet följer produktutvecklingsprocessen enligt [10, s. 88], se figur 1.2. Projektet omfattar förstudier till och med prototyp. Trots att detta är ett produktframtagningsprojekt, kan produktutvecklingsprocessen tillämpas. Projektet inleds med en kortare förstudie, som ska resultera i en produktspecifikation i form av en kravspecifikation. Detta utgör den första fasen som benämns förarbete. Efter detta sker den andra fasen, delkoncept, där koncept genereras med hjälp av olika metoder, vilket resulterar i ett antal *totallösningar* som sedan utvärderas i steget konceptval. En *totallösning* väljs därefter ut för vidareutveckling, detta sker i samråd med företaget.

Slutligen sker fasen detaljerad konstruktion där vald *totallösning* vidareutvecklas med layoutkonstruktion samt detaljkonstruktion, som sker i efterföljande steg. Slutresultatet förväntas vara en prototyp. Processen är iterativ och de olika stegen upprepas, framför allt i projektets första skede.



Figur 1.2: Produktutvecklingsprocessen

Kapitel 2

Teori - metoder och verktyg

I projektet har ett flertal metoder använts för att utvärdera, definiera och visualisera områden inom projektet. Flera av dessa metoder har återkommit i mer än ett av projektets faser och samtliga metoder presenteras därmed mer ingående i detta kapitel.

2.1 Datainsamlingsmetoder

För att få bredare kunskap som har varit till hjälp vid prototypframtagningen har datainsamling utförts vilket bistod med vital information för projektets framskridande.

2.1.1 Benchmarking

Benchmarking är en konkurrensanalys som kan användas för att ta reda på hur andra utvecklare (konkurrenter) löser de krav och önskemål som ställts på en produkt. Detta kan användas för att jämföra egna lösningar med konkurrenternas eller för att få inspiration till vad som är genomförbart inför en egen idégenerering. [10, s. 250]

2.2 Utvecklingsmetoder

För att ta fram koncept användes fyra metoder för konceptutveckling, vilka följer nedan.

2.2.1 Brainstorming

Brainstorming används för att generera idéer, oftast i grupp. Först bestäms området för idégenereringen, sedan görs en bred generering av alla idéer som uppkommer under en kortare tid, exempelvis en kvart. En regel vid idégenereringen är att ingen av de idéer som uppkommer får kritiseras. Efter att den avsatta tiden är över kan ett samtal hållas om de idéer som uppkommit. [3, s. 502]

2.2.2 Morfologisk matris

Morfologisk matris är en metod för att systematiskt kombinera dellösningarnas alternativ till totallösningar. En matris ställs upp med delfunktioner i kolonnen längst till vänster. För varje delfunktion listas olika lösningsförslag. Genom att kombinera en lösning per delkoncept skapas en totallösning. Målet med en morfologisk matris är att skapa ett antal totallösningar som är rimliga och kompatibla. [10, s. 127]

2.2.3 CAD

För att konstruera avancerade modeller av produkten används med fördel datorprogramvara. Med CAD, Computer Aided Design, skapas både ritningar och delar som i sin tur enkelt kan sättas samman till en och samma produkt. Det blir på detta sätt enkelt att bilda sig en uppfattning om hur produkter kommer att se ut och bete sig, då det även går att simulera levande produkter. Den programvara som använts i detta arbete är 3DS CATIA V5. [10, s. 440]

2.2.4 Mood board

En *Mood board* är en sammansättning bilder, föremål från naturen, tygbitar eller andra föremål som används för att uttrycka en viss känsla, sinnesstämning eller humör. Denna används för att undersöka och förmedla design. Den kan även användas för att hitta och lösa problem i designprocessen. [8]

2.3 Analysmetoder

Analysmetoderna består dels av metoder för att analysera produktens tänkta funktioner och flöden och dels för att analysera hur väl olika tänkta koncept fungerar.

2.3.1 Black box

En *black box* är en metod som används för att analysera vad en produkt ska producera och vilka resurser som krävs, utan att beskriva hur denna process går till. Analytikern ser sin produkt som en svart låda i vilken det är oklart vad som egentligen händer. Det enda som är givet är flödet in i produkten och flödet ur den, vilka dock kategoriseras som information, energi och material. Exempel på detta kan vara en kaffebryggare där vatten, elektricitet och malda kaffebönor kommer in i den svarta lådan och bryggkaffe, sump, spillvärme och spillvatten är vad som sedan kommer ur den. Denna metod är användbar för produktutvecklaren för att definiera vad produkten ska uppnå utan att begränsa sig till hur denna process ska gå till och tillåter därmed ett öppnare sinne. [3, s. 500]

2.3.2 Funktionsstruktur

Funktionsstruktur kan användas för att definiera funktioner och subfunktioner för ett system. Den yttre systemgränsen utgörs av den funktion som ska uppnås. Den visualiseras av en rektangel som en tänkt låda. Genom att göra pilar som går in och ut ur lådan fås systemets input och output. Lådan med input och output symboliserar den övergripande funktion som systemet ska åstadkomma. De input och output som går in och ut ur systemet består av kategorierna material, energi och information. Varje input som går in i lådan ska hanteras inne i lådan med hjälp av subfunktioner och komma ut som en output. Ett exempel på en funktion kan vara att skala ett äpple. Input är energin från muskelkraft, materialet är äpplet och något att skala med och informationen är

kunskapen som behövs för att skala äpplet. Som output kommer du ha materialet som är ett skalat äpple, äppelskal och det du använde för att skala med, informationen som fortfarande är kunskapen om hur ett äpple skalas och energin som nu har omvandlats från muskelkraft till värme. En funktionsanalys kan vara till hjälp för att på ett enkelt sätt visualisera vad produkten ska innehålla. Denna metod är i sitt utseende väldigt lik *black box* men nyttjas alltså till olika ändamål. [3, s. 500-502]

2.3.3 HTA

En uppgiftsanalys som kan användas för att ge en översikt av de delmoment som ingår i en viss uppgift, är *Hierarchical Task Analysis* (HTA). Genom att definiera den huvudsakliga uppgift som ska utföras och sedan dela upp den i flera delmoment, ges en överskådlig bild av vad som krävs för att lösa uppgiften. Varje delmoment kan delas upp i ytterligare delmoment, detta görs tills en rimlig detaljnivå uppnåtts. Uppgifterna som finns i den lägsta detaljnivån kallas för operationer. [3, s. 496]

2.3.4 Elimineringssmatris

För att utvärdera totallosningar och sortera bort de som inte håller måttet används *Elimineringssmatrisen*. Olika kriterier, såsom "Löser huvudproblemet" och "Realiserbar", listas i matrisen. Kriterierna är viktade så att det viktigaste kriteriet listas först. De totallosningar som uppfyller ett kriterium går vidare till nästa utvärderingsomgång, medan lösningar som inte uppfyller kriteriet elimineras. [10, s. 132]

2.3.5 Pugh-matris

Pugh-matrisen används för att välja ut en av flera totallosningar. Lösningarna utvärderas mot kriterier från kravspecifikationen och urvalet baseras på relativa jämförelser av de olika totallosningarna. En referenslösning väljs ut och alla totallosningar jämförs med denna genom att det tas ställning till huruvida varje totallosning uppfyller respektive kriterium bättre eller sämre än referenslösningen. Om kriterierna från kravspecifikationen är olika relevanta kan de viktas. Slutligen räknas resultatet samman för respektive totallosning och lösningarna rangordnas. [10, s. 133]

I vanliga fall sätts en tidigare produkt som referenslösning. I projektet har inte alltid en tidigare lösning kunnat användas, istället har en av de jämförda lösningarna använts som referens.

2.3.6 FMEA

Det är viktigt att i ett tidigt utvecklingsskede hitta kvalitetsbrister i en produkt som ska tillverkas. En metod som kan användas för att hitta fel är *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Den görs genom subjektiva bedömningar av produktutvecklingsteamet där produktens felhändelser bedöms samt vilka konsekvenser de skulle ge. Vidare görs en poängsatt uppskattning av hur sannolikt det är att felet skulle inträffa, hur allvarligt det vore om det inträffade samt hur sannolikt det är att felet skulle upptäckas om det inträffade. Ett poängresultat fås genom multiplikation och resultatet ska fungera som en indikation på huruvida en åtgärd bör göras; ju högre poäng desto allvarligare är det. Metoden är iterativ och efter att åtgärder gjorts görs analysen om för att se om önskade förbättringar ger ett bättre resultat. [10, s. 267]

Kapitel 3

Fas ett: Förarbete

I den första fasen genomfördes ett förarbete som ledde fram till ökad förståelse för vilka lampor som finns och hur de bör hanteras samt vilka krav och önskemål som fanns på systemet för att det skulle uppfylla sin huvudsakliga uppgift.

3.1 Genomförande

Förarbetet genomfördes delvis genom en informationsinsamling där bransch och tidigare produkter undersöktes och dels genom kravidentifiering för den aktuella produkten. Kraven härstammade från informationsinsamlingen, olika funktions- och systemanalyser men också från krav som företaget och EU-projektet ställt.

3.1.1 Informationsinsamling

Information om befintliga produkter för sortering och hur lampor återvinns idag samlades dels in genom litteraturstudier och dels via studiebesök på Renova AB i Göteborg.

Eftersom produkten ska hantera lampor av olika varianter undersöktes lampor av olika typer, storlekar och former. För att få en bredare infallsvinkel undersöktes även sortering av andra produkter och hantering av produkter i en produktionsmiljö med transportband. Även tillverkningen av lampor undersöktes för att få en inblick i hur lampor hanteras och för att studera olika lösningar för hantering av flöden med lampor.

3.1.2 Kravspecifikation

Först gjordes ett utkast till en kravspecifikation utifrån de krav som Refind presenterat, där även krav som ställts av EU-projektet ingick. Specifikationen fylldes på löpande och ändrades allt eftersom nya krav upptäcktes för att slutligen resultera i en färdig kravspecifikation, se kapitel 3.2.7.

För att identifiera ytterligare krav som kunde ställas på slutprodukten var det till hjälp att genom teoretiska metoder såsom *blackbox*, *funktionsstruktur* och *HTA* få en uppfattning om de funktioner som produkten skulle kunna ha. För att få en inriktning på produktens design gjordes en *Mood board*. Olika förslag på bilder som förmedlade den känsla lampsorteraren kunde ge togs fram och sammanställdes i ett kollage.

Utöver detta identifierades övriga krav som kunde ställas på produkten med avseende på lampors funktioner genom att lampor undersöktes fysiskt. Testerna av lamporna bestod dels av en ren kvantitativ datainsamling med undersökning av lampornas storlek, form och vikt för att få en bred uppfattning om olika fysiska förhållanden och dels genomfördes *falltester* från olika höjder och med olika lampsorter för att finna extremfall i tålighet hos lamporna. För att skapa en kontrollerad miljö vid testernas utförande

släpptes lamporna i rör. Markeytan i testerna bestod av dubbelvikt silvertejp för att likna ett transportband och lamporna positionerades på olika sätt för att simulationen skulle efterlikna verkligheten. I ett flertal tester låg lampor i rörets botten och andra lampor släpptes på dessa från olika höjder för att testa hur känsliga lamporna är vid kollision med en annan lampa.

Utöver *falltester* utfördes även *rulltester* där lampornas benägenhet att rulla på metallplåt undersöktes för olika vinklar. Lamporna placerades på en horisontell plåt och vinkeln ökades tills dess att lampan började glida eller rulla varpå vinkeln noterades. Testet utfördes på olika lamptyper för att undersöka hur och om vinklarna skiljde sig åt. I testet placerades kronljus- samt vanliga lågenergilampor i två olika riktningar för att notera vinkeln som krävdes dels för att lampan skulle glida och dels för att den skulle rulla.

Lampor av varierande form och storlek testades även på transportband. Lamporna kördes i ett inledande test på ett horisontellt transportband med en hastighet på cirka 0,15 m/s, något lägre än den tänkta hastigheten 0,24 m/s för slutprodukten. Lampornas eventuella rörelser observerades och identifierades för olika sammansättningar av lampor. När lamporna testats på transportbandet monterades olika typer av hinder dit för att lampornas rörelser och tendenser skulle kunna observeras.

3.2 Resultat

Förarbetet gav inblick i vilka lampor som är vanligast förekommande, hur lamphantingen ser ut idag samt gav underlag till en kravspecifikation. Nedan följer resultaten från några av de specifika moment som genomfördes i framtagningen av kravspecifikationen.

3.2.1 Lampor

Hittills har glödlampan (figur 3.1) varit den vanligaste förekommande lamptypen. Glödlampan alstrar ljus genom att elektrisk ström hettar upp en glödtråd av volfram. Lampans glasdel, kolven, är fylld med en gasblandning av argon och kväve för att förhindra att glödtråden förångas. Glödlampor har en ungefärlig livslängd på 1000 timmar, vilket anses kort. Sedan år 2012 har glödlamporna fasats ut ur försäljning, men de förekommer fortfarande i återvinnings sammanhang. [6]



Figur 3.1: Glödlampor

LED-lampor (figur 3.2), *light emitting diode*, eller ljusdioder är en lamptyp med ett halvledarmaterial som utsöndrar ljus när ström flyter genom det. Ersätts en glödlampa med en LED-lampa erhålls ungefär 80 procent energibesparing. Beroende på utförandet har LED-lampan en livslängd mellan 15 000 och 25 000 timmar. [6] [15]



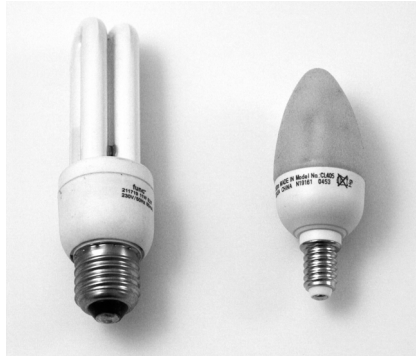
Figur 3.2: LED-lampor

Ett lysrör (figur 3.3), även kallad lågtrycksurladdningslampa, är ett glaströr med elektroder i ändarna. På insidan av glaset finns ett luminiserande material, så kallat lyspulver, vars syfte är att omvandla kortvågig strålning till långvågig strålning (synligt ljus). Ljuset alstras via kvicksilverånga. Processen startar med en elektrisk urladdning mellan elektroderna. Detta alstrar ultraviolett strålning vilken omvandlas till ljus vid kontakt med lyspulvret. [16]



Figur 3.3: Lysrör

Lågenergilampor (figur 3.4), eller lysrörslampor, är en grupp lampor som är kompaktare än lysrör men fungerar enligt samma princip och innehåller därmed kvicksilver. Lågenergilampor används till samma ändamål som glödlampor, men har en livslängd på 6000 till 10 000 timmar. Energibesparingen vid användning av en lågenergilampa istället för en glödlampa är upp till 80 procent. [6] [17]



Figur 3.4: Lågenergilampor

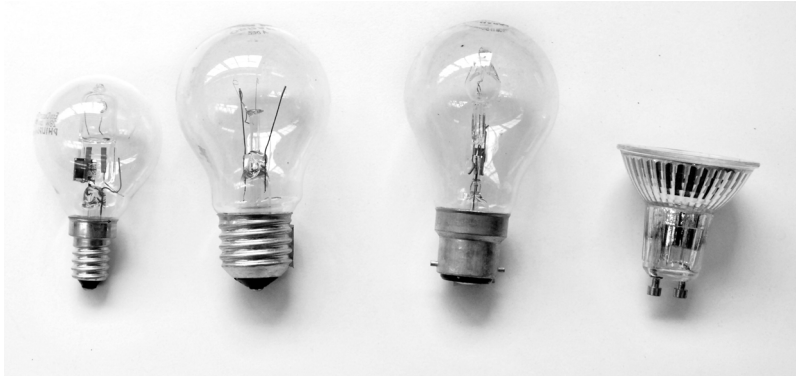
Halogenlampor (figur 3.5) är en lamptyp som i stort sett fungerar som glödlampan. Skillnaden är att halogenlampan har en kolv av hårdglas. Gasen består utöver argon och kväve av jod eller brom. Tillsatsen av jod eller brom medför att partiklar som lossnat från glödtråden förs tillbaka till tråden istället för att fastna på kolvens insida och svärta ned den. Halogenlampor håller högre temperatur än glödlampor, vilket leder till högre ljusstyrka och en livslängd på ungefär 2000-3000 timmar. Jämfört med glödlampan sparar en halogenlampa cirka 30 procent energi. [6] [13]



Figur 3.5: Halogenlampor

Lampsocklar

Sockeln är delen som fäster lampan i armatur. Varje lampsockel har en särskild beteckning med en bokstavs- och en sifferkombination. En vanlig glödlampa har oftast en sockel som heter E14 eller E27. Bokstaven står där för *Edisongänga* då det var Thomas Edison som utformade den här skruvbara sockeln. Sifferkombinationen står för sockelns diameter i millimeter. *Bajonettsockeln* har bokstavskombinationen Ba och är slät förutom två utstickande kontaktpunkter på varsin halva av sockeln. Kontaktpunkterna kan vara placerade långt ner på sockeln eller nära glaset. Den sockel som oftast används för halogenlampor är *G-sockeln*. Ibland sätts halogenlampan in i en kronljusformad lampa eller någon annan lampa. G-sockeln kan även användas för kompaktlysrören. Sockeln består av två stift som sätts in i armaturen och vrids cirka trettio grader. De olika typerna av sockel kan ses i figur 3.6. [12]



Figur 3.6: Två varinger av Edisongänga, en bajonettsockel samt en G-sockel.

Lampformer och storlekar

Lampor förekommer i en mängd olika former. Som exempel kan kronljus, klot, lysrör, glob och reflektor nämnas, vissa av dessa kan ses i figur 3.7. Många lampor är rotations-symmetriska med en symmetri kring rotationsaxeln, andra (vanligtvis lågenergilampor) kan ha en mer fyrkantig form.



Figur 3.7: Olika former och storlekar på lampor.

Det finns även många olika storlekar på lampor. Vissa lampor kan vara väldigt små, exempelvis i julbelysning, med de minsta måtten på 5 mm. Andra lysrör kan vara över 1 m långa.

Vilka lampstorlekar som förekommer mest skiljer sig mycket från privat- och industribruk. Det kan också skilja sig vilka lampor som når återvinning. I många hem finns lampor som inte överstiger 100 mm. Detta bekräftades vid en mindre, informell lampinsamling på Chalmers som projektgruppen genomförde där en av fyrtiosju lampor var större än 100 mm. Det finns givetvis väldigt varierande storlekar och många lampor som förekommer i återvinning är större.

För att sätta en gräns för vilka lampor som får finnas med i matningssystemet valdes den längsta lampan till 200 mm med en bredd och höjd på 150 mm. Den minsta lampan får vara minst 20 mm bred och hög och 40 mm lång. Dessa beslut togs i samråd med företaget som hade information från möten med representanter från de andra företagen i *Illuminateprojektet* att det skulle ske en viss försortering av lampor innan de fördes genom lampsorteraren. Inom dessa tillåtna storlekar ryms alla olika lampformer och sorter, vilket medför att lamporna som får förekomma även kommer ha en vikt som varierar.

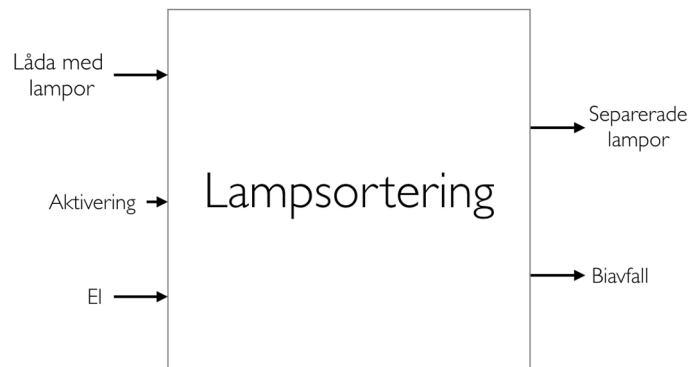
3.2.2 Lamptillverkning samt sortering av andra produkter

I tillverkningen av lampor hanterar produktionslinjerna enbart en lampstorlek och modell i taget. Lamporna transporteras ofta stående med hållare i sockeln och således är det svårt att hämta tekniska lösningar från tillverkningsprocessen då detta projekt hanterar många olika sorters lampor av varierande form och storlek.

Enligt projektgruppens generella bedömning verkar även befintliga sorteringslösningar av olika slag huvudsakligen hantera produkter av en och samma form och storlek. Inspiration hämtades från olika typer av transportbandslösningar men inga mer specifika lösningar kunde identifieras.

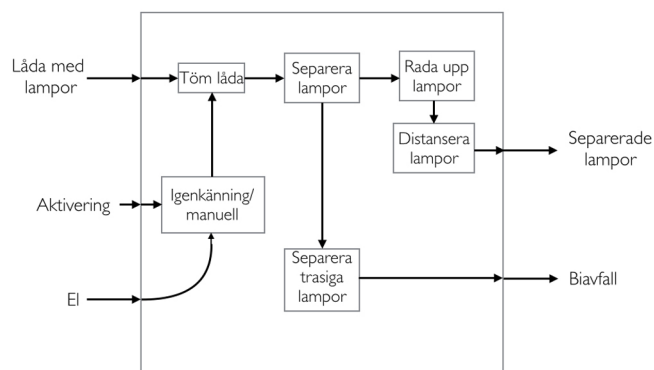
3.2.3 Funktioner

De teoretiska verktygen gav en inblick i vilka funktioner som produkten bör ha. Utifrån en *blackbox* (figur 3.8) togs sedan en *funktionsstruktur* (figur 3.9) och en enklare *HTA* (figur 3.10) fram.



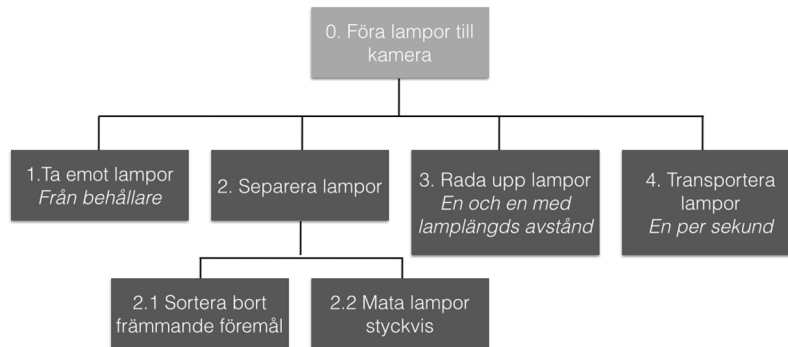
Figur 3.8: Blackbox

I funktionsstrukturen identifierades att det för produkten kommer krävas att lampor; hela såsom trasiga, separeras, att de radas upp och slutligen distanseras. Gemensamt för såväl *funktionsstrukturen* och *HTA:n* var att bland annat funktionen/steget “*rada upp lampor*” förekom. Denna funktion ansågs medföra störst problematik då systemet som tidigare nämnts måste hantera lampor av mycket varierande form och storlek.



Figur 3.9: Funktionsstruktur

I *HTA:n* kunde en specificering av matningssystemets funktioner göras, exempelvis att uppradningen ska göras med en lamplängs storlek. Det minsta måttet på en lampa är 20 mm och det är således även det minsta avståndet varje lampa ska ha till nästa lampa.



Figur 3.10: HTA

3.2.4 Undersökning av arbetsmiljö vid återvinning

Renhållningsbranschen är idag förknippad med en mängd arbetsmiljömässiga problem. Renhållningsarbetarna drabbas av såväl arbetssjukdomar som olyckor, där det framför allt rör sig om belastningsergonomiska skador. I arbetet ingår ofta tunga lyft och arbete i trånga, oergonomiska utrymmen. Eftersom det är just avfall som hanteras händer det att trasiga, vassa delar utgör risk för skär- och sticksår. Även om sortering av avfall sker i hemmen idag så krävs det oftast en manuell sortering på återvinningscentralerna. Detta på grund av att privatpersoner har olika goda kunskaper kring sortering, vilket leder till att felsortering sker. Den manuella sorteringen innebär repetitiva arbetsuppgifter med risk för olika typer av arbetsskador. [1]

För att få inblick i den miljön en sorteringsmaskin används i gjordes ett studiebesök till Renova AB där en batterisorterare från Refind finns. Miljön var väldigt smutsig över lag. Batterisorteraren som vid besöket inte var i bruk var smutsig på alla synliga delar. Vid demonstration av en manuell sortering av batterier där de förflyttades framåt på vibrerande transportband blev ljudnivån så hög att personalen var tvungna att bära hörselskydd.

3.2.5 Mood board

I figur 3.11 visas den *Mood board* som gjorts för att förmedla en känsla av vad matningssystemet till den automatiska lampsorteraren ska ge. En bild på ägg symboliserar hanteringen av ömtåliga saker med tanke på att en lampa liksom ett ägg inte kan hanteras ovarsamt. Två olika komplexa produkter med stort inslag av metall står för komplexitet och robusthet. Bilden med insamlingen av metallföremål står för återvinning av material

som lampor innehåller. Bilden på lampan innehållandes ett träd belyser en av de delarna projektet hoppas bidra till; att återvinningen av lampor kan ge en grönare framtid. Alla dessa bilder cirkulerar kring ett tecken för återvinning; det hela projektet kretsar kring.



Figur 3.11: Mood board

3.2.6 Fysiska tester av lampor

För att undersöka lampors egenskaper genomfördes fysiska tester. Testerna innefattade falltester, rulltester, samt tester där lamporna kördes på transportband.

Falltest

En slutsats som kunde dras från resultatet av falltesterna var att lampor av olika slag tål fall från relativt höga höjder i förhållandevis god utsträckning. Det noterades även att lampornas orientering inte påverkade utslaget nämnvärt, inte heller om lampan i fråga träffade mark eller en annan lampa. Den lamptyp som testades och upplevdes som mest ömtålig var halogenlampa som vid ett försök gick sönder vid en höjd av 250

mm. För falltesternas fullständiga resultat, se appendix s. II. Inga lampor innehållandes kvicksilver användes i falltestet då risken för kontakt med kvicksilver skulle minimeras.

Rulltest

Den största vinkeln som uppmättes var den för en kronljusformad lågenergilampa, där en vinkel på $23,6^\circ$ krävdes när lampan gled utan att tillåtas rulla. Lampan hade en ytbeläggning med högre friktion än glas. När lampan tilläts rulla krävdes en vinkel på $2,9^\circ$ vilket även var den minsta vinkeln som uppmättes. I de allra flesta fall kommer lampan ha möjlighet att rulla, men skulle den vara positionerad så att den endast kan glida krävs alltså den större vinkeln. Om samtliga lampor tilläts rulla var den högsta uppmätta vinkeln $15,7^\circ$, detta för en halogenlampa som låg ned. För fullständigt resultat av rulltestet se appendix s. IV.

Tester på transportband

Tester genomfördes även med lampor på ett transportband för att undersöka rörelsemönster. Tvärt emot vad projektgruppen trodde så låg lamporna stilla på transportbandet och visade endast små tendenser till att rulla. Detta gällde såväl med som utan hinder monterade. Dock kunde viss benägenhet till stopp och överfyllnad ses när hinder monterats, och enda gången som lamporna faktiskt rullade var när några fastnat mot hindret och då rullade på stället.

3.2.7 Kravspecifikation

De områden som identifierades som viktiga för matningssystemet var funktioner, systemprofil, mänsklig interaktion, prestanda, ekonomi, hållbar utveckling och dimensioner. De viktigaste funktionerna är att matningssystemet ska möjliggöra uppradning av lampor med åtminstone 20 mm mellan varje lampa, transportera minst en lampa per sekund under kameran och hantera lamporna utan krossrisk. Med hänsyn till systemprofilen ska matningssystemet vara kompatibelt med kameran och med behållaren som lamporna fraktas i samt fungera i en återvinningsmiljö. De viktigaste kraven och önskemålen vid mänsklig interaktion är att samtliga delar av matningssystemet ska vara enkla att överblicka med så få dolda delar som möjligt; det ska vara enkelt att se om ett föremål eller en lampa fastnat i flödet. Det ska även vara enkelt att utföra underhåll på den. Matningssystemet ska vara enkelt att demontera samt att de ingående materialen ska gå att återvinna för att uppfylla de viktigaste önskemålen för hållbarhet. Ett viktigt krav relaterat till dimensioner är vilka lampstorlekar som är tillåtna i systemet. Kravspecifikationen kan ses i sin helhet i appendix s. I.

3.3 Analys

Analysen av förarbetet är tänkt som underlag för nästa fas samt att även ge upphov till ökad insikt och förståelse för aspekter som ej tidigare reflekterats över. Genom den första

fasen togs en kravspecifikation fram och genom den uppkom några problem eftersom det exempelvis finns konflikerande krav.

3.3.1 Arbetsmiljö och minskad manuell sortering

Miljön som den kompletta lampsorteraren kommer befinna sig i är smutsig och lampsorteraren kommer utsättas för stora mängder avfall. Detta ställer krav på att produkten ska vara robust och tålig. Det finns även en stor risk för att lamporna som produkten ska hantera är smutsiga och antalet rörliga delar bör därför minimeras. Det tillkommer även krav på produkten ur ett hållbarhets- och arbetsmiljöperspektiv. Gällande social hållbarhet finns framför allt två krav; dels är det viktigt att så få lampor som möjligt krossas i processen för att minimera mängden kvicksilver som människor i produktens omgivning utsätts för, dels är det även viktigt att produkten är så tyst som möjligt vid drift för att inte bidra till en ohälsosam bullernivå i lokalen den befinner sig i. Idag sker en manuell sortering på Renova, där bland andra långa lysrör separeras för återvinning av kvicksilvret.

Med Illuminateprojektets implementering följer en ändring av systemet för avfallshandling. Istället för att samtliga lampor krossas så kan lampor sorteras till skilda fraktioner där de kan behandlas olika beroende på innehåll i form av till exempel kvicksilver. Fördelar ses i att det möjliggör sortering av lampor maskinellt.

Implementeringen har även fördelar med avseende på social hållbar utveckling. Att delvis automatisera handlingen av avfallslampor bidrar till att människor slipper ha lika mycket kontakt med hälsovådliga ämnen, såsom kvicksilver och utsätts alltså inte för onödiga hälsorisker i samma utsträckning. Även om en viss försortering kommer behövas så kan omfattningen av den manuella sorteringen alltså minska. En risk som finns är dock att anställda upplever att automatiseringen av sorteringen stjälar arbetsuppgifter.

3.3.2 Konflikerande krav

Handlingen av så små och så stora lampor i samma maskin kan vara väldigt svår varpå det för produkten behövdes begränsningar i måtten för vilka lampor som är tillåtna. De minsta lamporna kan annars hamna fel på grund av att de får plats på väldigt små ställen medan de största lamporna är otympliga och svårflyttbara. *Illuminateprojektet* innehöll inga tydliga restriktioner kring tillåtna storlekar varpå ett beslut om storlekar fick tas i samråd med företaget. En lampsorterare som skulle kunna hantera lysrör som är 1500 mm långa samtidigt som 5 mm långa lysdioder hade blivit för komplex. Den största lampan tillåts vara 200 x 150 mm och den minsta 40 x 20 mm.

Det finns inga restriktioner för vilka lampformer som kan hanteras så länge lampornas mått finns inom det tillåtna spannet. Detta kan bli problematiskt då exempelvis vissa lågenergilampor och lysrör har en platt ovansida. Risken finns att mindre lampor skulle kunna ligga ovanpå större och på så vis vålla problem för kameran vid identifieringen.

Vidare krav som konfliktas är kravet att produkten ska vara säker så att människor som vistas kring produkten inte ska kunna skada sig och kravet att den ska vara lättåtkomlig. Båda kraven är relevanta och lättåtkomligheten är viktig för att underlätta

underhåll och för att produkten ska kunna återgå till drift så fort som möjligt om det skulle uppstå stopp någonstans i processen.

3.3.3 Mood board

Den *Mood board* som togs fram skulle verka för att problematisera designaspekter för matningssystemet. Eftersom lampsorteraren kommer finnas i en återvinningsmiljö läggs liten betydelse vid design. Däremot ger detta en fingervisning om vilka funktioner och konstruktionsmässiga aspekter matningssystemet kan ta hänsyn till.

3.3.4 Funktioner

I och med att lampor av olika storlek ska hanteras i maskinen och att detta utgör konflikterande krav behöver fokus i utvecklingen av delkoncept ligga på att hantera detta problem. Antingen behöver koncepten kunna hantera de olika lampstorlekarna i en och samma fraktion, eller så kan lamporna delas upp i olika fraktioner baserat på storlek för att underlätta senare hantering. Att dela upp lampor i storleksfraktioner är i sig inget som krävs för att kameran ska identifiera dem, men kan bidra till att det enklare säkerställs att endast en lampa i taget förs under kameran.

Av förstudierna kunde lampors egenskaper tydligare fastställas. Det visade sig att lampor tål fallhöjder upp till 250 mm utan att gå sönder, även om det inte är att föredra. Således behöver inte senare lösningar begränsas till att utesluta fall helt.

En annan aspekt gällande funktionalitet är att produkten ska kunna hantera smutsiga lampor men samtidigt inte vara i behov av daglig tillsyn. Ju mer smuts som finns i maskinen, desto större risk finns det att behöva underhålla produkten.

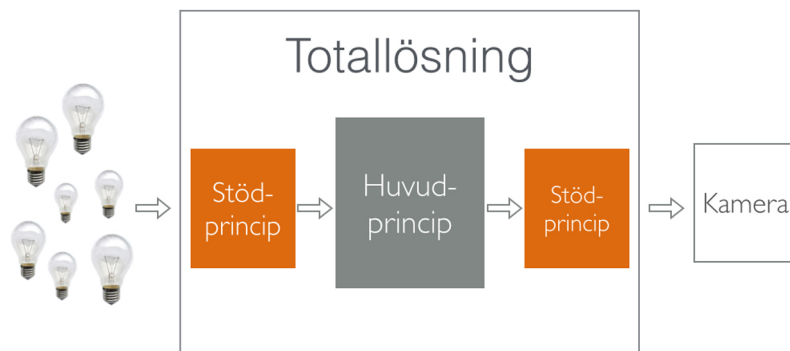
Kapitel 4

Fas två: Delkoncept

Efter den första fasen fanns en kravspecifikation som låg till grund för andra fasen där en bred konceptgenerering gjordes som resulterade i ett antal koncept i form av *totallösningar*. *Totallösningarna* ska hantera en mängd lampor tills de är uppradade med avstånd mellan sig och förda under en kamera.

4.1 Genomförande

I förarbetet identifierades uppradningen av lampor med varierande storlekar och former som en stor utmaning, varpå fokus lades på den vid idégenerering. Två alternativa kategorier av dellösningar med uppradning identifierades; dels lösningar som hanterar lampor av alla storlekar och former och dels lösningar som först sorterar lampor baserat på storlek för att underlätta senare uppradning av lampor. Dessa två kategorier av dellösningar benämns *huvudprinciper* och de dellösningarna som i flödet befinner sig både före och efter *huvudprincipen* benämns *stödprinciper*, hur dessa hänger ihop kan ses i figur 4.1. Lösningar för *stödprinciperna* idégenererades i ett senare skede när det identifierats vilka funktioner *stödprinciperna* behövde ha för att få *huvudprinciperna* att fungera.



Figur 4.1: Konceptframtagning

För att välja ut vilka *huvudprinciper* som skulle utvecklas vidare användes en *Eli-*

mineringsmatris med kriterierna *löser huvudproblemet*, *effektivitet*, *krossrisk*, och *realiserbarhet*. Dessa kriterier var en sammanfattning av de viktigaste kraven från kravspecifikationen. De specifika *stödprinciperna* som genererats fram kombinerades ihop med *huvudprinciperna* till *totallösningar* i en *Morfologisk matris*. För varje *huvudprincip* skapades tre *totallösningar*.

Totallösningarna för varje *huvudprincip* utvärderades var för sig i en *Pugh-matris* och en av kombinationerna sattes då som referens. Som urvalskriterier användes kravspecifikationen. När denna process var över fanns några *totallösningar* kvar med varje *huvudprincip* som gått vidare från *Elimineringsmatrisen* representerad. Dessa *totallösningar* diskuterades och utvärderades för att sedan presenteras för företaget.

4.1.1 Konceptval

När den andra fasen med konceptgenerering var färdig presenterades de koncept, *totallösningar* som gruppen valt ut för kurskamrater, examinator, mentorsgrupp och Refind. Presentationen avslutades med en diskussion där företagets fyra representanter fick diskutera samtliga *totallösningar*, deras styrkor och svagheter, deras potential och vilka som verkade mest genomförbara vid en konstruktion. Syftet med detta var dels att få relevanta frågor som skulle kunna vara till hjälp vid det fortsatta utvecklingsarbetet och dels att föra en diskussion med företaget om hur arbetets fortskridande skulle vara inriktat samt vilken *totallösning* som skulle utvecklas vidare.

4.1.2 Modellbygge

I och med att fasen innehöll ett flertal utvärderingsmoment byggdes enklare modeller av olika lösningar inför utvärderingen för att få en uppfattning om lösningen skulle utföra den förbestämde uppgiften. Bygget skedde framför allt i KAPA, ett material i skumplast täckt med papp. Några lösningar behövdes inte byggas utan kunde verifieras med hjälp av benchmarking.

4.2 Resultat

Fas två resulterade i ett antal *totallösningar* innehållandes *huvudprinciper* med tillhörande *stödprinciper*. Dessa presenterades för företaget och en av dem valdes ut för vidareutveckling.

4.2.1 Huvudprinciper

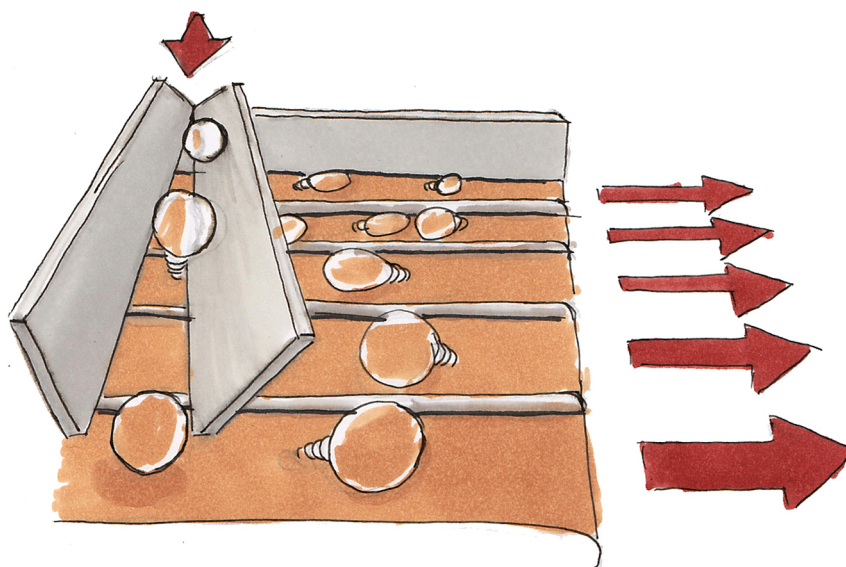
En första brainstorming med fokus på *huvudprincipen* där lamporna radades upp gav tio olika lösningsförslag. För att välja ut vilka av dem som skulle utvecklas vidare gjordes en *Elimineringsmatris*, se appendix s. V.

Huvudprinciperna som valdes ut var *V-drop*, *Lampedukten*, *Pistolen* samt *Kulramen*. Samtliga av dessa *huvudprinciper* utom *Kulramen* hade lösningar som fokuserade på att dela in lamporna efter storlek med avseende på lampornas bredd eller höjd. Genom att

dela in lamporna efter storlek blev det enklare att rada upp lamporna, eftersom den minsta lampan är 20 mm i bredd och den största är 150 mm och det var svårt att hitta en metod för uppgrädning som kunde hantera storleksskillnaderna.

V-drop

Denna *huvudprincip* skiljer lamporna åt baserat på storlek. Konstruktionen består av en V-formad ränna som öppnar upp nedtill och bildar en allt större öppning ju längre bort från mynningen lamporna rör sig, se figur 4.2. Längst bort ska den största lampan få plats. Öppningen nedtill på rännan gör att lamporna storlekssorteras när de ramlar ned genom öppningen. Där mynningen är som minst finns det möjlighet för glasskärvor och annat skräp att ramla ned och föras bort. V-rännan ska vara försedd med antingen en lagrad yta närmast öppningen kombinerat med en liten vinkel på rännan eller ett transportband närmast öppningen för att lamporna ska föras framåt. Under V-rännan finns en yta där lamporna ska transporteras vidare. För att lamporna med olika storlekar ska fortsätta vara storlekssorterade finns avskiljare som är vinkelräta mot V-rännan. För att transportera bort lamporna kan antingen en vinkling på avskiljningsytan användas i kombination med någon typ av lagrad yta eller transportband. När lamporna har fallit ned kommer de färdas bort och då kommer de att vara uppdelade i ett antal storleksfraktioner och uppgräddade.



Figur 4.2: Skiss av V-drop

Denna princip kan utformas på ett mekaniskt sätt där lampornas tyngder nyttjas för att föra dem framåt. När transportband inte används kan konstruktionen göras billigare. Däremot skulle båda varianterna medföra att lamporna faller åtminstone 200 mm. Detta ger en krossrisk, särskilt om lamporna redan är skadade på något sätt. Fallhöjden ökar för den helt mekaniska varianten då den lägsta delen ska vara placerad 200 mm över den ytan som för bort de största lamporna och eftersom rännan ska vara vinklad nedåt kommer det vara en högre fallhöjd i rännans mynning.

Principen verifierades med en modell byggd i KAPA som visas i figur 4.3. Det materialet medgav inte den robusthet som skulle behövas och lamporna behövde ibland en knuff på grund av materialets höga friktion och avsaknaden av lager eller transportband.



Figur 4.3: Enkel modell av V-drop

Lampedukten

Även denna *huvudprincip* storleksorterar lampor. Konstruktionen utnyttjar höjd och gravitation där lamporna åker in överst för att sedan falla genom konstruktionen tills en ränna med rätt bredd fångar upp dem. De största lamporna kommer stanna överst och ju smalare lampa som åker genom konstruktionen, desto längre ner kommer det finnas en ränna som fångar upp den. För att lamporna inte ska falla så långt är rännorna byggda omlott så att de glider mot varje ränna tills de fastnat i en av rätt bredd. På varje nivå kombineras lager och en vinkling som gör att lamporna smidigt transporteras vidare i systemet samtidigt som plats ges till nya lampor så att systemet får ett jämt flöde. Under Lampedukten kommer avfall som trillat igenom alla nivåer samlas.

Principen radar upp lamporna efter storlek men inkluderar fall för lamporna vil-

ket kan göra att lampor går sönder. Lamporna kommer dessutom befinna sig på olika höjdnivåer vilket ställer högre krav på sammanfogningen av de olika lampstorlekarna.

En enklare modell av *Lampedukten* byggdes i KAPA för att testa hur lamporna hanterar fallen samt om lamporna storlekssorteras ordentligt, se figur 4.4. Det konstaterades att rämnorna behövde ha ganska höga väggar för att lamporna inte skulle ramla utanför. Inga lager användes i rämnorna vilket tillsammans med materialets ytfriktion gjorde det svårt för lamporna att färdas vidare på tänkt sätt.



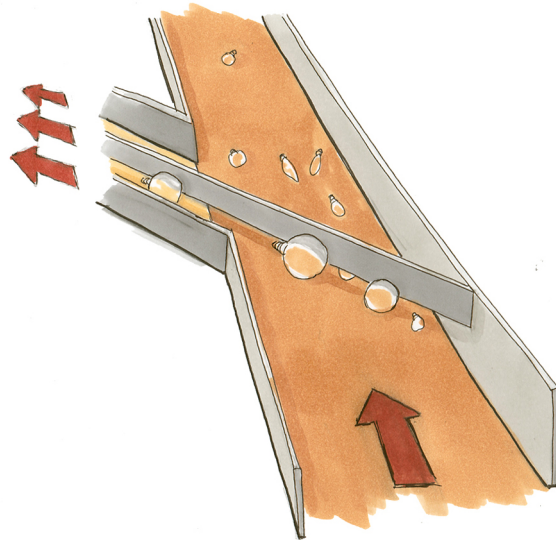
Figur 4.4: Modell av hur Lampedukten kan utformas

Pistolen

Denna *huvudprincip* separerar lampor baserat på storlek. Lamporna färdas på ett transportband och allt eftersom kommer avskiljare som gör att lampor av en viss storlek inte kan passera vidare utan istället förs åt sidan, se figur 4.5. Den sista avskiljaren för den minsta lampan åt sidan och släpper igenom otillåtna föremål och avfall, exempelvis lampskärvor, så att det kan samlas upp och omhändertas. På avskiljarens nedre kant kan ett lager eller ett transportband sitta för att hjälpa lamporna att föras åt sidan. Används en lagrad yta kommer lamporna som kommer bakifrån hjälpa de främre lamporna framåt.

Principen gör att lampor är nästintill uppradade i olika storleksfraktioner. Att lamporna verkligen ligger separat från varandra behöver säkerställas i en *stödprincip*. Det

finns en risk att storleksorteringen inte gjorts helt ordentligt, särskilt om en stor mängd lampor förs mot avskiljaren samtidigt. Om större lampor fångas upp av avskiljaren kan en mindre lampa följa med dem.



Figur 4.5: Skiss av Pistolen

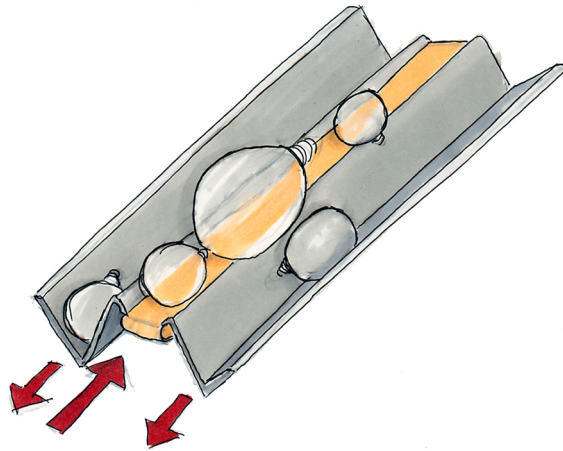
För att testa avskiljarens funktion byggdes en enklare modell i KAPA, se figur 4.6. Istället för att använda ett transportband som en riktigt prototyp hade nyttjat vinklades modellen nedåt så att lamporna kanade ner mot avskiljaren. Det konstaterades att lamporna storleksorterades korrekt men att modellen medgav för lite robusthet vilket ledde till att lampor kilade fast under skiljeväggarna och hade svårt att ta sig vidare.



Figur 4.6: Modell av hur Pistolen kan utformas

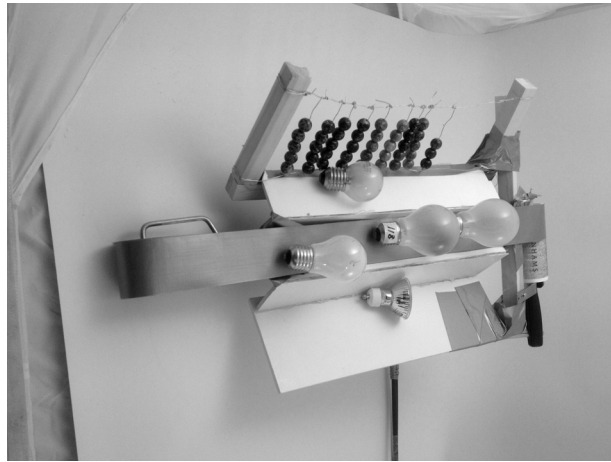
Kulramen

Kulramen är en *huvudprincip* som ska ta emot lampor och sedan fördela dem så att de förs enskilda oberoende av storlek och form på ett smalt transportband. Konstruktionen består av en upphöjning med en ränna på varje sida. Upphöjningen är fasad upptill och har en liten nedsänkning där ett smalt transportband löper. Transportbandet och nedsänkningen är optimerade i bredd så att endast en av de minsta eller största lamporna får plats där. För att det ska vara möjligt är det antaget att alla lampor som förs över transportbandet antingen är rotationssymmetriska eller har någon del som skulle få angreppspunkter mot bandet. Om två lampor landar på bandet samtidigt kommer den ena ramla ner i rännan och föras till en uppsamlingsplats. Det finns två olika lösningar för att föra lamporna som ramlat i rännan till uppsamlingsplatsen. Hela konstruktionen kan vara vinklad uppåt så att lamporna som ramlat av förs nedåt. Rännorna är då försedda med lager så att lamporna rullar med hjälp av tyngdkraft. För att lamporna som förs framåt på det smala bandet ska ligga kvar på transportbandet finns upphöjningar på bandet. Ett annat alternativ är att varje ränna är försedd med ett transportband som för tillbaka lamporna till en tidigare etapp. En skiss för hur *Kulramen* kan utformas finns i figur 4.7



Figur 4.7: Skiss av Kulramen

En enklare prototyp byggdes i KAPA och trä för att testa principen, se figur 4.8. Som transportband användes två långa bitar silvertejp som klistrades ihop och för att få transportbandet att röra sig användes en klädroller med ett vevhandtag. För att illustrera en teknisk princip med en lagrad yta i återföringsrännan användes pärlor. Transportbandet klarade inte så mycket tyngd utan började då slira.

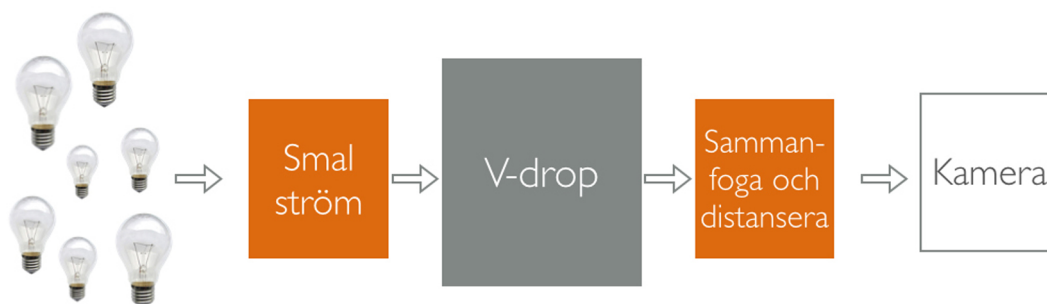


Figur 4.8: Modell av hur Kulramen kan utformas

4.2.2 Stödprinciper

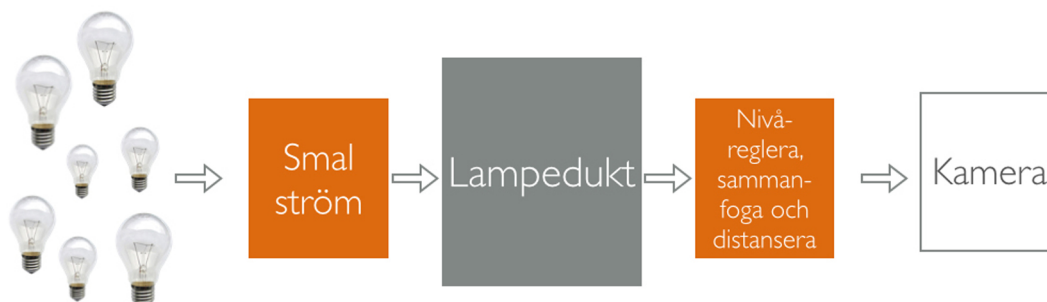
De *huvudprinciper* som valdes ut såg olika ut i sin utformning och behövde olika *stödprinciper* för att skapa en *totallösning* som kunde föra en stor mängd lampor genom ett system, rada upp dem och avståndsskilja dem från varandra utan att ha sönder dem.

V-dropan radar upp lampor storleks sorterat och tar även bort avfall. För att den ska fungera optimalt sågs ett behov av en *stödprincip* som ser till att dess inflöde inte är för stort. Eftersom endast en lampa kan passera in i rännan åt gången skulle ett stort antal lampor medföra en flaskhals. Efter *huvudprincipen* är lamporna indelade i flera fraktioner. Dessa ska sammanfogas till ett gemensamt transportband för att sedan distanseras från varandra innan lamporna förs under kameran. *Stödprinciperna* som behövs för *V-dropan* kan ses i figur 4.9 med en smal ström innan *huvudprincipen* och en sammanfogning av de storleks sorterade strömmarna samt en distansering efter *huvudprincipen*.



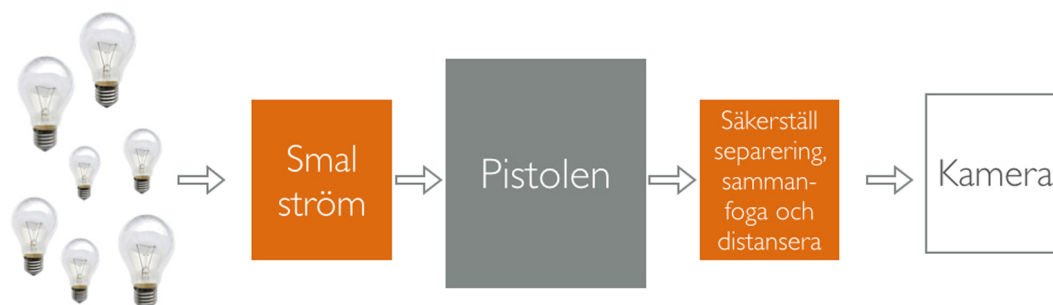
Figur 4.9: Stödprinciperna för V-dropan

Lampedukten radar upp lampor storleks sorterade på olika höjdnivåer. Mängden lampor som åker in i flödet får inte vara för stor eftersom det skulle leda till sämre funktionalitet. Det är större sannolikhet att lamporna som fastnat i rännorna hinner föras vidare innan nya lampor kommer med ett minskat inflöde. För att få de olika storleks sorterade lampströmmarna till samma höjdnivå behövs en *stödprincip*. Det behövs även en sammanfogning av de olika strömmarna samt en distansering av lamporna när de befinner sig på samma transportband. Samtliga *stödprinciper* före och efter *huvudprincipen* finns sammanfattade i figur 4.10.



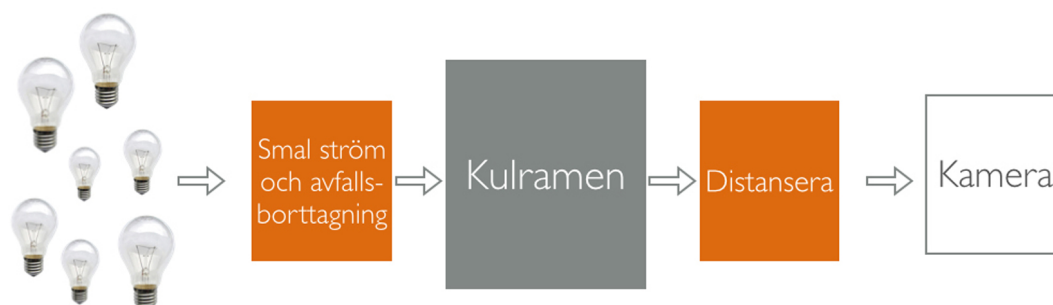
Figur 4.10: Stödprinciperna för Lampedukten

Huvudprincipen Pistolen riskerar att släppa igenom lampor av fel storlek till vissa storleksfraktioner och fungerar därmed bäst om den har en begränsad mängd lampor som inflöde. Den tar däremot hand om avfall och behöver ingen extra *stödprincip* för detta. I och med att den storlekssorterar lampor i olika fraktioner behöver de olika lampströmmarna sammanfogas vilket sker genom en *stödprincip*. Innan lamporna passerar under kameran behöver de distanseras. Sammansättningen av *Pistolens stödprinciper* och *huvudprincip* visas i figur 4.11



Figur 4.11: Stödprinciperna för Pistolen

Kulramen fungerar bäst när inflödet av lampor är begränsat. Med ett för stort inflöde ramlade många lampor av från det smala bandet, helt i onödan. *Huvudprincipen* har ingen hantering av avfall och för att inte få med onödigt med smuts och avfall genom hela systemet behövs en *stödprincip* för att hantera det. Efter *huvudprincipen* är lamporna separerade men inte med rätt avstånd mellan varje lampa. Ett sista steg i processen blir därmed att distansera lamporna. *Kulramens* kedja av *stödprinciper* och *huvudprincip* visas i figur 4.12.



Figur 4.12: Stödprinciperna för Kulramen

4.2.3 Val av totallösningar

En brainstorming med lösningar som skulle uppfylla *stödprincipernas* funktioner gjordes och dessa sammanfogades med *huvudprinciperna* till *totallösningar*. Detta kan ses i appendix s. VI, där en färgkodning visar på alla ingående delar i varje *totallösning*. Efter detta steg fanns det tolv *totallösningar* med tre varianter med varje *huvudprincip*

representerad. För att välja ut en *totallösning* med varje *huvudprincip* gjordes *Pugh-matriser*. Resultaten från dessa fyra utvärderingar finns i appendix ss. VII till XI och kommer presenteras närmare i 4.2.4.

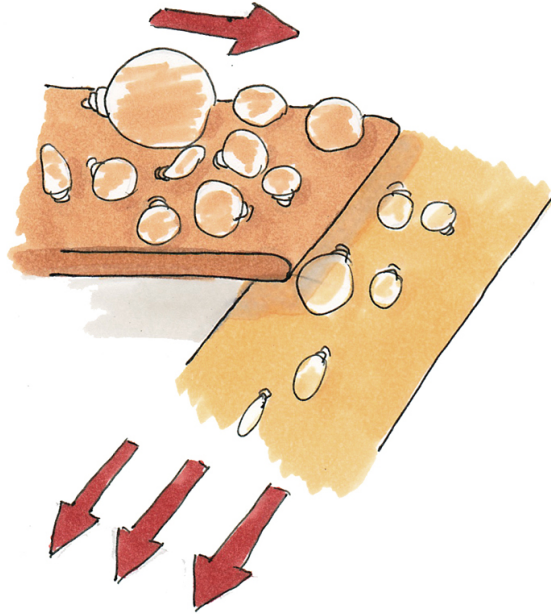
Efter detta återstod således fyra *totallösningar* som byggde på *huvudprincipen* för *V-dropan*, *Lampedukten*, *Pistolen* samt *Kulramen*. I det här skedet valdes *Lampedukten* bort. Projektgruppen gjorde bedömningen på grund av osäkerheten kring eventuell krossrisk samt att *huvudprincipen* till stor del liknade *V-dropan* fast att den sistnämnda hade möjlighet att utformas med lägre fallhöjder. Eftersom sista skedet i den här fasen dessutom bestod i en presentation där *totallösningar* skulle presenteras och diskuteras med företaget kändes det viktigt att inte visa upp för många varianter. Det hade funnits en risk att det hade blivit för mycket information och att någon viktig aspekt inte hade kommit fram.

4.2.4 Totallösningar

Efter att olika utvärderingar hade gjorts återstod tre *totallösningar* med varsin *huvudprincip* och olika *stödprinciper*. Dessa presenteras nedan samt fördelar och nackdelar för respektive *totallösning*

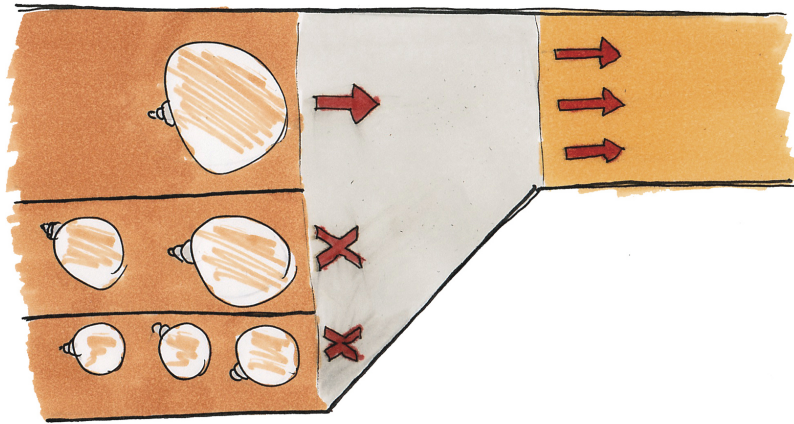
V-drop

I början av denna *totallösning* används en *stödprincip* för att smalna av flödet av lampor genom att lamporna faller från ett transportband med låg hastighet till ett snabbare band som går vinkelrätt mot det förestående enligt figur 4.13. Hastighetsskillnaden medför framför allt en utspridning av lamporna.



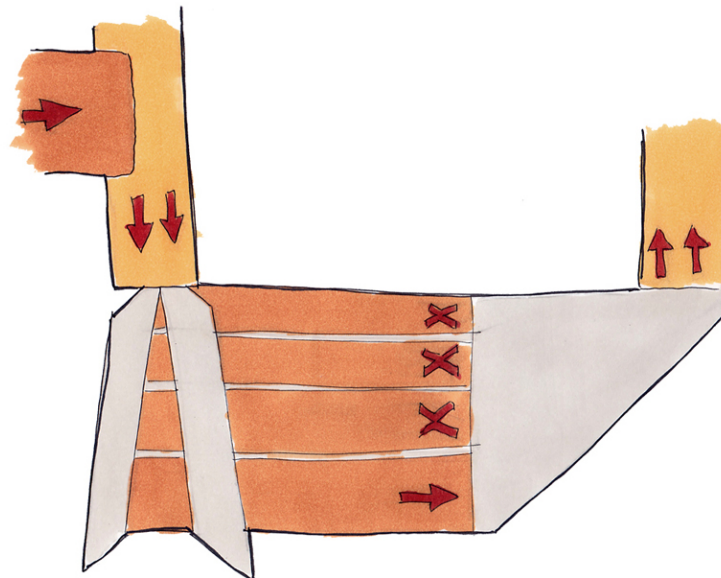
Figur 4.13: Stödprincip för att smalna av flödet av lampor

Efter det når strömmen av lampor *totallösningens huvudprincip* där lamporna åker genom en vidgande ränna som medför en storleksortering. Under rännan faller lamporna ned i olika storleksfraktioner, vilka separeras med avskiljare, se figur 4.2. Då lamporna delas upp storleksmässigt krävs att de olika fraktionerna sammanfogas till ett band. Detta realiseras genom att fraktionernas transportband möter vinklade hinder som tvingar lamporna mot ett och samma band. Endast en av fraktionernas transportband körs åt gången för att undvika att lampor åker in i varandra. Den här *stödprincipen* visas i figur 4.14.



Figur 4.14: Stödprincip för att sammanfoga flera transportband till ett

Slutligen distanseras lamporna genom att de möter ett transportband som håller högre hastighet än det föregående, se figur 4.17. En skiss av totallösningens alla delar finns i figur 4.15.



Figur 4.15: V-dropens huvudprincip samt stödprinciper

Fördelarna med *V-drop* är:

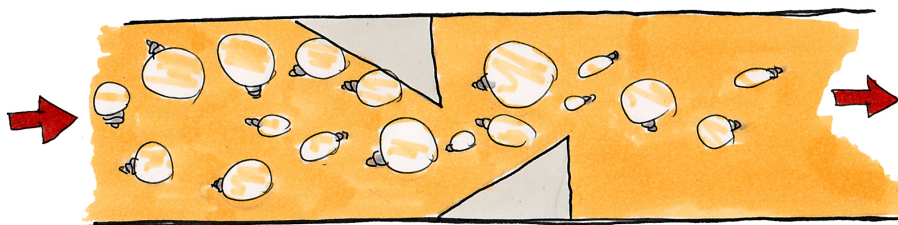
- Inkluderad avfallsborttagning i huvudprincipen
- Vidhåller ett bra flöde

Nackdelarna med *V-drop* är:

- Risk för lampkross
- Risk för flaskhals

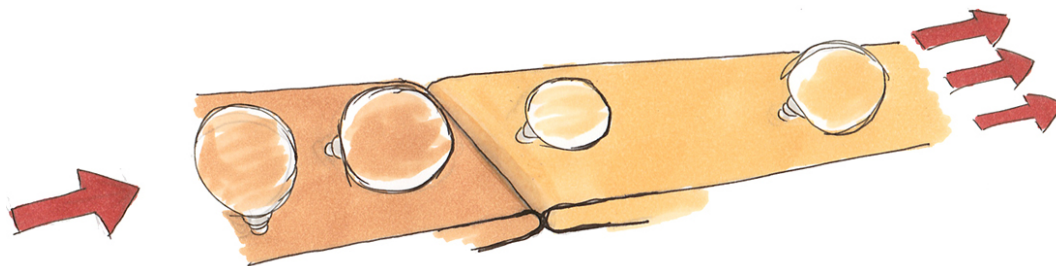
Pistolen

Pistolen uppnår bäst resultat om det inte är en för stor mängd lampor som åker in i den på en gång och därför finns det i början av *totallösningen* en *stödprincip* som minskar flödet av lampor. Principen löper på ett transportband med kanter som är försedda med hinder. På vissa ställen där det antas kunna bildas en flaskhals finns delar som kan flexa vid högt tryck för att lamporna ska föras åt sidan istället för att krossas. De lamporna som förs åt sidan tas till början av principen. *Stödprincipen* visas i figur 4.16.



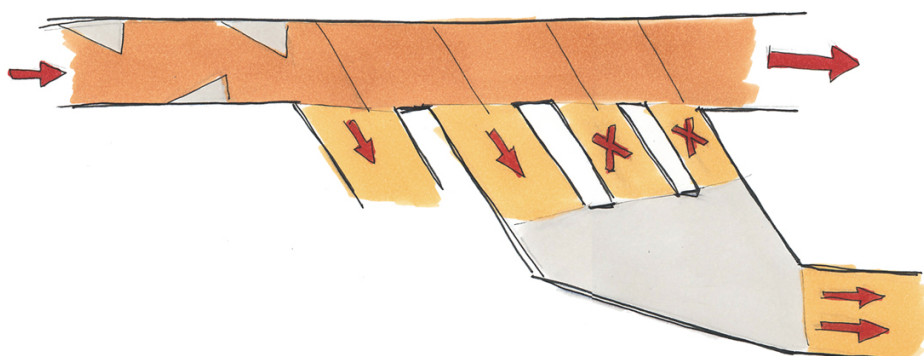
Figur 4.16: Stödprincip med hinder som ska minska lampflödet.

Vidare när lamporna åker in i *huvudprincipen* storlekssorteras de och hamnar på olika transportband, se figur 4.5. I *Pistolen* är det inte helt säkert att lamporna blir separerade från varandra; det kan ligga två lampor bredvid varandra. Därför åker de en kort sträcka på ett transportband med högre hastighet. Efter detta ligger lamporna fortfarande på olika transportband uppdelade efter storlek. För att sammanfoga dessa till ett transportband används samma metod som i *V-dropens totallösning*; storleksfraktionernas transportband möter vinklade hinder som tvingar lamporna mot samma band där endast ett transportband körs framåt åt gången, se figur 4.14. Distanseringen sker genom att ha ett transportband efter sammanfogningen som går i högre hastighet enligt figur 4.17.



Figur 4.17: Stödprincip för att få en distans mellan varje lampa.

En skiss av totallösningens alla delar finns i figur 4.18.



Figur 4.18: Totallösningen som Pistolen med stödprinciper ingår i.

Fördelarna med *Pistolen* är:

- Inkluderad avfallsborttagning i huvudprincipen
- Liten risk för lampkross

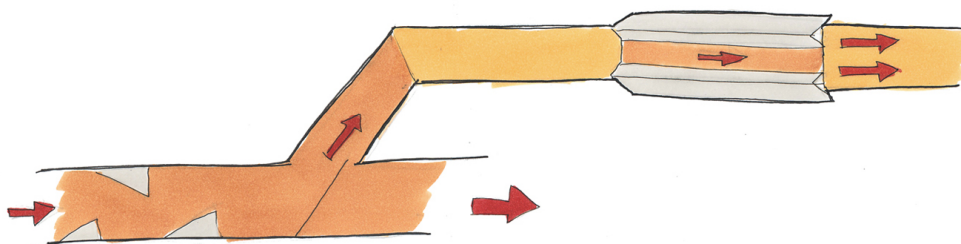
Nackdelarna med *Pistolen* är:

- Risk för osäker storlekssortering
- Risk för flaskhals

Kulramen

I början av den här *totallösningen* ska lampströmmen spridas ut så att inte en för stor mängd lampor åker in i *huvudprincipen*. Detta görs på samma sätt som i *totallösningen* för *Pistolen* där lamporna åker på ett transportband med olika hinder (se figur 4.16). Efter detta kommer en princip som tar bort avfall på samma sätt som *Pistolen* (se figur 4.5); lamporna kommer på ett transportband och åker mot en avskiljande vägg med ett glapp närmast bandet. Under detta glapp kan avfallet åka vidare och omhändertas medan

lamporna förs åt sidan in på ett annat transportband som för vidare lamporna mot *huvudprincipen*. *Huvudprincipen* radar upp lampor enskilt oberoende av storlekar genom att föra lamporna på ett smalt transportband där endast en lampa får plats, se figur 4.7. Det sista steget i den här *totallösningen* är att säkerställa rätt avstånd mellan lamporna vilket görs på samma sätt som i de tidigare lösningarna; genom att föra lamporna vidare till ett snabbare transportband enligt figur 4.17. En skiss av *totallösningen* finns i figur 4.19



Figur 4.19: Totallösningen som Kulramen med stödprinciper ingår i.

Fördelarna med *Kulramen* är:

- Ingen sammanfogning av fraktioner krävs
- Liten risk för lampkross

Nackdelarna med *Kulramen* är:

- Risk för dålig separering
- Risk för flaskhals

4.3 Konceptval

De koncept som utvaldes att presenteras för företaget ansågs av projektgruppen vara likvärdiga med varandra med avseende på deras kompatibilitet med övriga systemet, hur möjligt det vore att konstruera dem och hur robusta de är. Detta gjorde att det för gruppen inte hade spelat någon roll vilken av koncepten som valdes för vidareutveckling och att företagets åsikt och feedback skulle spela en avgörande roll. Detta särskilt med tanke på att företaget redan utvecklat en liknande produkt fast för batterier och därmed hade många viktiga kunskaper.

Vid samtal med företaget var det tydligt att det rådde en del skepticism mot att ha en stödprincip där flera transportband sammanfogades, vilket både *Pistol* och *V-drop* innehöll. Däremot verkade samtliga tycka om *Kulramen* som koncept och det blev det slutgiltiga valet. Trots valet av slutkoncept uttryckte de att det var spännande att tänka sig en uppdelning av lampor efter storlek och att det kanske kunde vara en idé

att utveckla vidare i framtiden. Företaget uttryckte ett önskemål att gruppen ganska omgående skulle bygga en prototyp som var mer avancerad än den som gjorts tidigare för att snabbt verifiera hur *huvudprincipen* i konceptet skulle fungera vid användning av ett motorstyrt transportband. Förslag gavs om att istället för att använda ett platt smalt transportband i *huvudprincipen* använda två smala transportband vinklade mot varandra.

I samband med konceptvalet diskuterades hur konceptet som valts skulle utvecklas vidare och om fokus skulle ligga på att i teori utveckla vidare konceptet eller praktiskt bygga konceptet. Företaget uttryckte att de hade ett stort intresse av att få en prototyp som skulle kunna användas och önskade således att fokus skulle ligga där.

4.4 Analys

I utvecklingsarbetet lades mycket tid på att utveckla *huvudprincipen* som skulle rada upp lamporna. Det visade sig vara väldigt svårt att hitta *huvudprinciper* som hanterade alla storlekar på lamporna. På den största lampan som får vara 150 mm bred får sju av de minsta lamporna plats i bredd. Det blev därför svårt att säkerställa att alla lampor verkligen låg ensamma. I slutändan fanns således endast en *huvudprincip* som kunde klara att rada upp alla lampor oavsett storlek. Principen byggde däremot på att lamporna var rotationssymmetriska eller hade en punkt som nuddade det smala transportbandet, vilket gjorde att det fanns en risk att några lampor skulle få problem att åka genom *huvudprincipen*. I de andra två *huvudprinciperna* som storlekssorterade lamporna efter lampornas bredd skulle det bli en utmaning att sammanfoga de olika transportbanden. Dels hade lamporna främst sorterats efter deras bredd utan att ta hänsyn till deras längd och dels hade ett antagande gjorts om att det alltid skulle finnas lampor i varje storleksfraktion. Principen för att sammanfoga band skulle ha krävt mycket programmering och många sensorer för att se till så att lampor hela tiden fördes ur principen. En sensor i varje fraktion skulle behöva avläsa huruvida det fanns lampor i respektive fraktion samt att en sensor i varje fraktion skulle behöva veta hur lång varje lampa var för att köra respektive transportband tillräckligt länge för att få med önskat antal lampor innan transportbandet skulle stannas. Det skulle föreligga en risk för att lampor transporterades in i varandra samt att principen skulle innehålla så pass mycket elektronik att miljöeffekten skulle bli större och fler delar kunde gå sönder.

Att *Kulramen* valdes med sådan samstämmighet gjorde det enkelt att lämna de koncepten som inte valts och helt fokusera på den. De tankar som företaget hade kring konceptet var tänkvärda och togs med till den tredje fasen. Konceptet innehöll inte lika mycket elektronik som de andra två vilket troligtvis var en av anledningarna till att företaget föredrog det då det skulle vara robust och okänsligt för störningar. I sin utformning liknar den dessutom företagets tidigare produkt, batterisorteren OBS 600, mer vilket kan göra det mer enhetligt med företagets tidigare linje.

Kapitel 5

Fas tre: Detaljerad konstruktion

I den här fasen fortsatte utvecklingsarbetet av den *totallösning* för *Kulramen*, som valts ut för fortsatt framtagning. I slutet av fasen fanns en fungerande prototyp som närmare presenteras i kapitel 6. Nedan följer en beskrivning av det teoretiska och praktiska arbetet.

5.1 Genomförande

Fokus lades i första hand i detta skede på att utveckla *huvudprincipen* som benämns *Uppradaren*. Den ansågs som den mest komplexa delen av *totallösningen*. Även *stödprinciperna* behövde utvecklas vidare. *Stödprinciperna* som består av en avfallsborttagande del, en del som avsmalnar lampflödet och en distanserande del benämns nu *Avfallsborttagaren*, *Avsmalnaren* och *Distanseraren*. Inledningsvis genomfördes en *FMEA*, för att identifiera potentiella fel i *totallösningen* som behövde åtgärdas innan eller under detaljkonstruktionen. Med de resultat som erhöles i *FMEA:n* samt den återkoppling som företaget hade gett vid presentationen i andra fasen, ifrågasattes det om det behövdes göras några förändringar. En iterativ process med brainstorming, bygge av enklare modeller och utvärderingsmatriser blev den inledande delen i slutfasen innan slutkoncept kunde tas fram.

I arbetet med att ta fram slutkoncept tillämpades tre huvudsakliga metoder. I inledande skeden skedde enklare tester av olika slag, främst med lättillgängliga material såsom kartong och trä, för att få en uppfattning gällande dimensionering av *Uppradaren*, *Avfallsborttagaren* och *Avsmalnaren*. De komponenter som ej är standardkomponenter och därför behövde specialtillverkas modellerades upp i programvaran CATIA V5, ett *CAD*-program. Utifrån datormodellerna gjordes ritningar, vilka blev underlag för tillverkningen av komponenterna. Efter att testprototypen av *Uppradaren* tillverkats genomfördes ytterligare tester för att utvärdera funktionaliteten och eventuellt genomföra förändringar.

5.1.1 Testprototyp

För att gå vidare från idé till prototyp tillverkades en snabbare och enklare testprototyp för att säkerställa att det konceptet fungerade. I testprototypen lades fokus på att undersöka *Uppradaren* och hur den skulle hantera olika lampstorlekar; två små lampor skulle inte få plats samtidigt som de stora lamporna inte skulle trilla av med allt för hög frekvens.

Inledningsvis dimensionerades testprototypen med hjälp av enklare tester med representationer av de största och minsta lamporna. Utifrån testresultaten gjordes en enklare *CAD*-modell med tillhörande ritning. Detta blev underlag för tillverkningen.

När testprototypen tillverkats genomfördes åtta tester med 16 lampor per test (se figur 5.1) för att testa den. Lamporna bestod av en variation av sorter och samma lampor användes för alla tester men ordningen de kom i var slumpad varje gång då de hölls från en låda inför varje försök.



Figur 5.1: Lampor som användes för att kontrollera testprototypen

Antal lampor som föll ned noterades, samtidigt som det antal av dessa som var önskade fall. Med önskat fall avsågs lampor som låg ensamma och ändå föll ned från *Uppradaren*. Med önskat avsågs att när flera lampor åkte i bredd så skulle endast en av dem ligga kvar på bandet. Lamporna hölls på samtidigt och transportbandet startades när alla lampor låg på plats.

5.2 Resultat

Den tredje fasen resulterade i en felanalys som gav nya insikter kring prioriteringen av åtgärder till olika problem. Utifrån dessa insikter vidareutvecklades den valda *totallösningen* genom att *Uppradaren*, *Avsmalnaren* och *Uppradaren* konstruerades och testades.

5.2.1 FMEA

Genomförd *FMEA* återfinns i appendix s. XIII. Analysen gav insikter om olika problem och fel som kan uppkomma i den valda *totallösningen* och hur allvarliga dessa är. Tidigare i projektet låg fokus mycket på att hantera de olika storlekarna på lampor så att inte flera små lampor ska föras under kameran samtidigt. *FMEA:n* visade dock på att detta inte var det mest relevanta att lägga fokus på. Konsekvensen av att flera små lampor förs under kameran samtidigt är att kameran har svårt att identifiera lamporna och då sorterar dem åt sidan tillsammans med annat som inte kan identifieras. Problemet påverkar inte systemet som helhet eller driften.

Ett större problem däremot är om stopp uppstår på grund av att för många lampor hamnar i någon sektion samtidigt. Detta påverkar driften och medför att underhåll av produkten krävs. I värsta fall skulle det kunna medföra att någon komponent går sönder. Fokus behöver därför flyttas till att optimera flödet så att stopp inte uppstår.

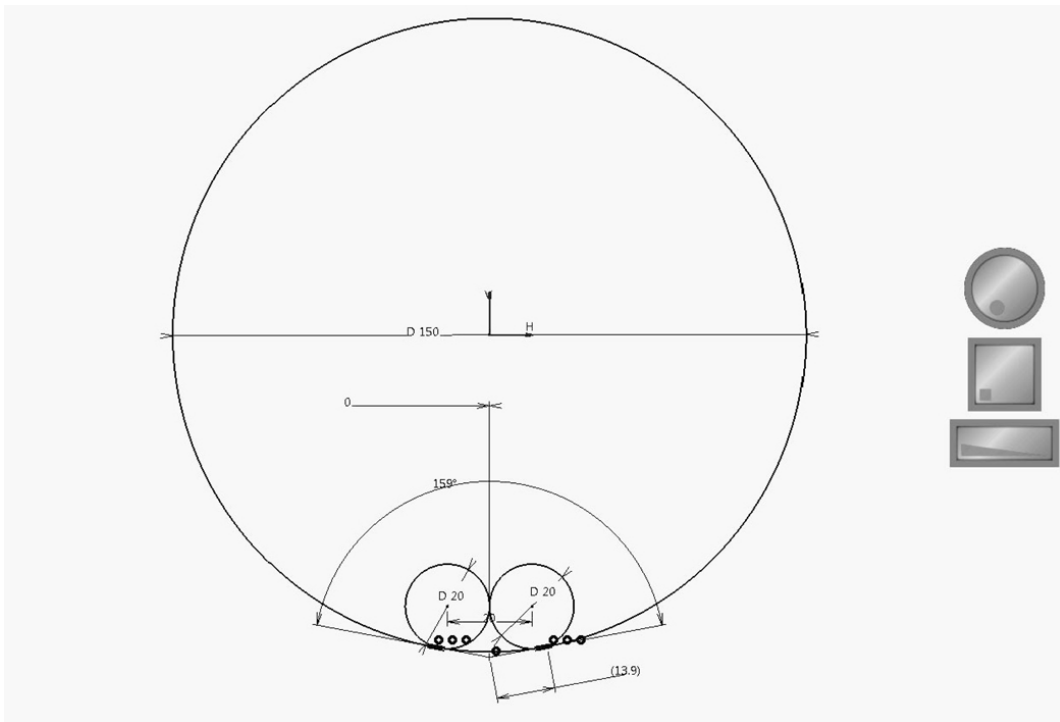
Det som fick högst risktal var om lampor som innehåller kvicksilver går sönder i ett fall. Att lampor inte ska gå sönder är högt prioriterat i projektet men en avgränsning gjordes gällande förebyggande av spridning av kvicksilver då detta är väldigt svårt att hantera.

5.2.2 Uppradaren

Efter att ha övervägt alternativ och gjort enklare tester på hur olika lampstorlekar får plats på *Uppradarens* rullband i *CAD*-programmet *CATIA* togs beslutet att ha två transportband formade som ett V, istället för ett plant transportband med låga kanter som konceptet ursprungligen hade. Tester i *CATIA* användes för att få en tidig uppfattning av mått och vinkel på de V-formade transportbanden, se 5.2.2. När de låga kanterna på sidorna om den ursprungliga *Uppradarens* smala transportband inte längre användes, var det endast vinkeln på V-formen av två transportband som fick lamporna att ligga kvar på banden. För att undersöka om lamporna behövde hela *Uppradarens* längd för att falla av tillverkades en testprototyp med varierande längd på vingformade kanter som fortsatte i samma riktning som respektive transportband och hade samma höjd.

Dimensionering

En teoretisk dimensionering av transportbandens bredd och vinkeln mellan banden i *Uppradaren* gjordes i *CATIA* för att få en uppfattning om måtten som skulle användas. Målsättningen var att hitta en kombination av en vinkel och en bredd som tillät en av de största lamporna att transporteras på banden men inte två av de minsta. Resultatet, som visas i figur 5.2, gav att varje band ska ha en bredd på minst 13.9 mm och att vinkeln mellan banden ska vara 159°.



Figur 5.2: Dimensionering i CATIA

För att göra en visulisering av dimensionen på de smala banden i *Uppradaren* användes representationer för stora och små lampor och för transportbanden. Vinkeln mellan banden och bredden på banden varierades. Med två av de minsta lamporna som är tillåtna, visade sig gränsvärdet för bandens bredd ligga kring 15 mm per sida, se bild 5.3. Vid större bredd på banden skulle två lampor inte falla av banden om de transporterades på dem samtidigt.



Figur 5.3: Dimensionering bredd

Längden på delen av bandet där lampor kan ramla ned om flera anländer samtidigt gjordes till 180 mm, då tillåten längd på den längsta lampan är 200 mm. Det är omöjligt att mer än en stor lampa transporteras i bredd på transportbanden. För att hjälpa de stora lamporna att ligga kvar hålls avfallningssträckan kortare än den största längden på lampa. Det är även relevant att hålla sträckan där lampor kan falla av kort för att minska risken för oönskade fall på grund av eventuella rörelser hos lamporna.

Transportband

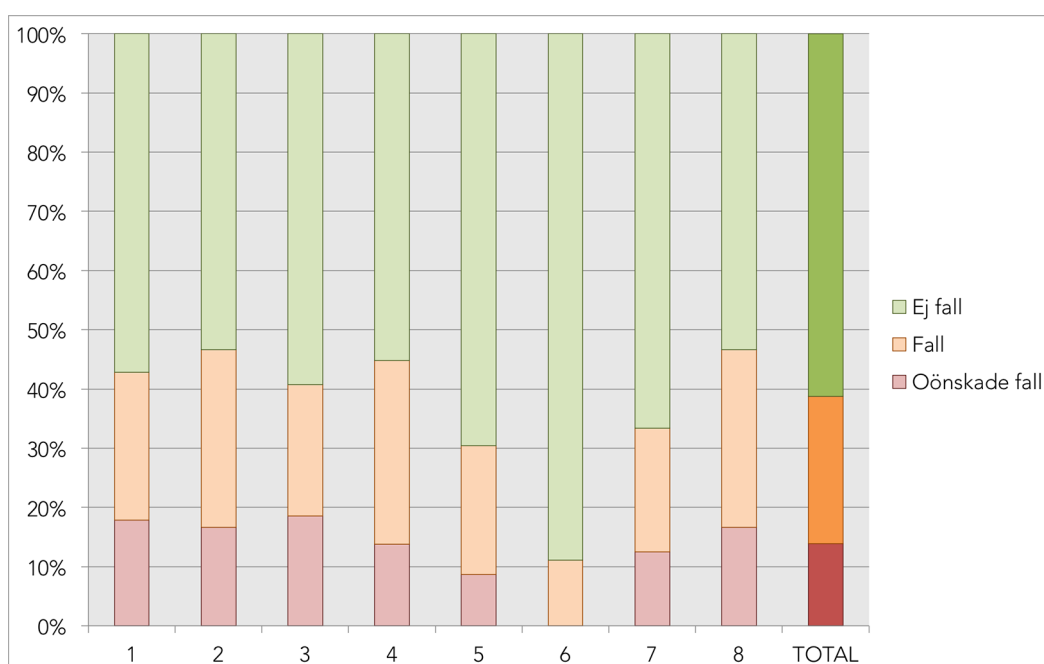
För att enkelt tillverka ett transportband användes nylonband drivna av en skruvdragare. Detta fungerade för att visa på principen men hade sina brister gällande tillförlitligheten i drift. Nylonbanden tenderade att glida i sidled och hade för låg friktion för att fungera optimalt. Lamporna hade svårt att få grepp på transportbandet och ett band med högre friktion krävdes till den slutgiltiga prototypen. Figur 5.4 visar testprototypen vid testningen.



Figur 5.4: Testprototyp Uppradaren

Testkörning

När testprototypen var färdig utfördes åtta testkörningar. Resultatet kan ses i figur 5.5. Totalt noterades att andelen oönskade fall var cirka 15 procent (se figur 5.5), vilket får ses som ett gott resultat med tanke på testprototypens brister. I beräkningen av antalet oönskade respektive totala fall fick hänsyn tas till att testprototypen inte fungerade optimalt. Lampor som föll ned på grund av att operatören av motorn behövde rätta till transportbanden räknades till exempel inte med. Större lampor kunde inte själva falla av transportbandet utan fastnade i konstruktionen, dessa plockades bort manuellt i slutet. De gånger som dessa lampor låg kvar lite för länge bildades stopp och lampor som föll av som en konsekvens av detta räknades inte heller med.



Figur 5.5: Testresultat Uppradaren

5.2.3 Stödprinciper

Totallösningen som valdes i slutet av andra fasen bestod av tre *stödprinciper*; *Avsmalnaren*, *Avfallsborttagaren* och *Distanseraren*. *Distanseraren* som bestod av ett transportband med högre hastighet behövde inte modifieras inför slutprototypen, däremot hade det framkommit nya tänkbara infallsvinklar för hur *Avsmalnaren* och *Avfallsborttagaren* behövde konstrueras, dels i diskussioner med företaget och dels genom den *FMEA* som utförts, se 5.2.1.

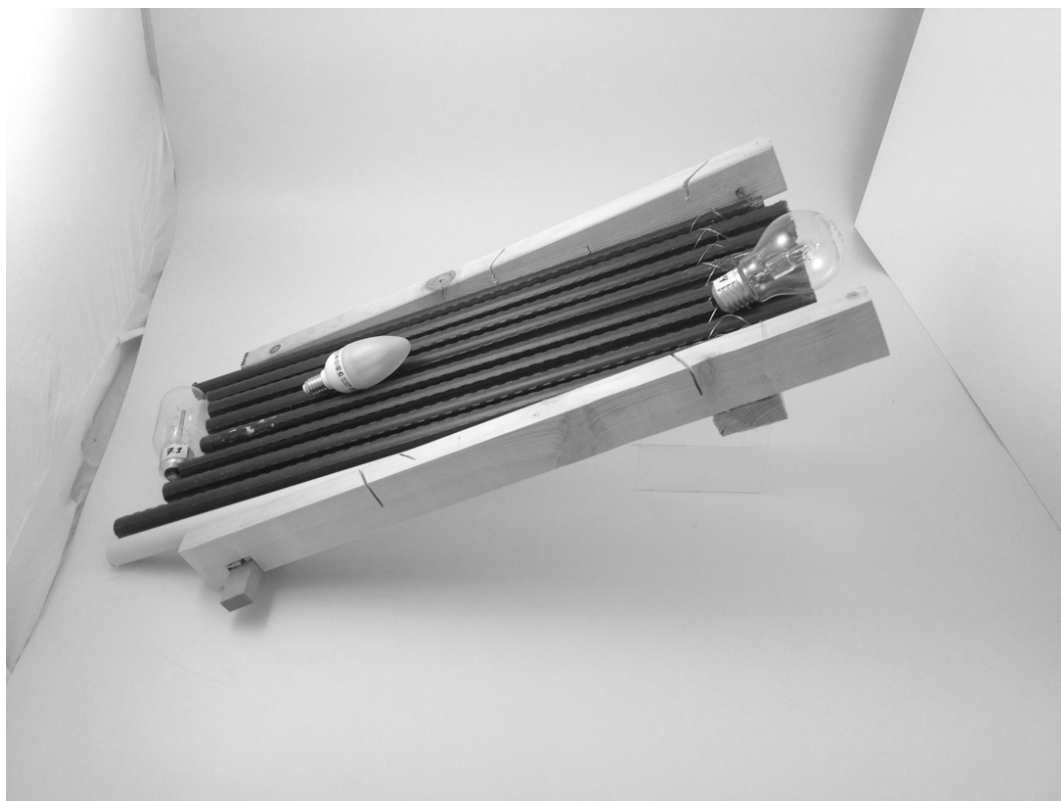
Avsmalnaren

Stödprincipen som tidigare valts för att ge lamporna ett minskat flöde var utformad med hinder som ett transportband löper under. I kravspecifikationen finns önskemål som säger att produkten inte ska kräva för mycket underhåll och att den vid drift ska ha minimalt koldioxidutsläpp. Utöver detta framkom ny information om att ett transportband inte kan ha några fasta delar monterade över bandet utan att föremål fastnar och har sönder bandet. Detta ledde till att en ny utvärdering behövde göras av *Avsmalnaren* så att den på ett säkrare och mer miljövänligt sätt kunde utföra minskningen av lampflödet.

En ny *brainstorming* där olika förslag på hur en smal ström kunde åstadkommas gav förslag såsom att låta lamporna åka ner för en sluttande yta med elastiska flärpar på sidan, använda en sluttande yta med olika friktionsområden och låta lamporna åka genom ett halvrör på olika sätt. Utvärderingen i en *Pugh-matris* en halvrörsformad del som tvingar lamporna att åka i en smalare ström på väg till *Uppradaren*, se appendix s. XII. Genom att hålla ett styvt papper bågformat kunde den förväntade effekten bekräftas när lampor hölls genom pappret.

Avfallsborttagaren

Stödprincipen som valts för att ta bort glasskärvor och annat avfall i andra fasen är en variant av *Pistolen*. Precis som i *Avsmalnaren* finns det en fast del monterad över ett transportband i den. För att minska risken att en lampa kilar fast och förstör bandet behövde en ny *brainstorming* göras för att hitta en säkrare lösning. Dessutom var det önskvärt att i större utsträckning uppfylla önskemålen om att ha en produkt som kräver så få oplanerade underhåll som möjligt samt ett begränsat ekologiskt avtryck vid drift. Flera lösningar som bygger på att lamporna kanade nedåt över lutande delar med glipor där avfallet skulle kunna ramla mellan brainstormades fram samt en horisontell lösning där rullar med avstånd är motoriserade och för lamporna framåt. I en *Pugh-matris* utvärderas de nya lösningarna med avseende på hur väl lösningarna uppfyller funktionen att ta bort avfall, hur stor krossrisk som finns, hur kompatibla de är med övriga delar, kostnaden, risken för smutsansamling och hur stort krav på underhåll de medför. I appendix s. XII finns en sammanställning av resultatet av utvärderingen som pekar mot valet att ha en lösning med stänger riktade åt samma håll som lamporna färdas och som är vinklade nedåt så att lamporna kanar ner på dem. För att verifiera lösningen byggdes en enklare modell, se figur 5.6. I modellen lades plastbelagda rör mot en träregel med skåror som rören passar i. Avståndet mellan rören är 15 mm och rörens diameter är 15 mm. De rör som valts för den här modellen har en yta som har mycket struktur; vid testning fastnade en del lampor när inga fler lampor sköt på bakifrån. Dessutom fastnade några av lampsocklarna mellan rören.



Figur 5.6: Modell av Avfallsborttagaren

Dimensionering

Både *Avfallsborttagaren* och *Avsmalnaren* använde höjdskillnad för att förflytta lamporna. Den vinkel som behövdes för att få lamporna att börja glida eller rulla erhöles från det *rulltest* som gjordes i förarbetet, se appendix s. IV. Då framför allt *Avfallsborttagaren* till viss del tvingar lamporna att glida längs rören användes den högst uppmätta vinkeln, $23,6^\circ$. Bredden på *Avfallsborttagaren* behövde anpassas till det transportband som lamporna transporteras på innan de når denna del.

5.3 Analys

Från den *totallösning* som valdes i andra fasen visade det sig att förändringar behövdes göras med de olika ingående delarna. Det berodde dels på ny information och dels på resultatet av den felanalys (*FMEA*) som gjorts. Genom den analysen ändrades gruppens syn på hur allvarligt det var om fler än en lampa skulle hamna under lampan, vilket exempelvis kan vara en risk om två små lampor kommer åkandes bredvid varandra. Då det inte får större konsekvenser än att de lamporna inte kan klassificeras av kameran, är det mer allvarligt med driftstopp eller behov av reparation. Högst risktal fick kvicksilverspridning om en lampa innehållandes det skulle gå sönder. Ett krav för projektet

är att minimera krossrisken av lampor. Trots att *falltestet* som gjordes i kapitel 3.2.6 visade på att lampor kunde tappas från en högre höjd än förväntat utan att krossas, var det fortfarande eftersträvansvärt att i flödet ha så få situationer där lamporna föll någon längre sträcka för att undvika kvicksilverspridning.

Testprototypen av *Uppradaren* fungerade över lag som tänkt. Ett område där funktionen var mindre bra var transportbanden som inte löpte helt rakt och som hade dåligt underlag som gjorde att när det var få lampor på bandet tyngdes det inte ner utan löpte i luften. Det var svårt att få en bra bild av hur väl konceptet fungerade med såpass mycket fel som berodde på transportbanden.

Vidare så behövde *Uppradaren* förses med kanter så att lampor inte kunde falla av där det inte var önskvärt, och plåtkonstruktionen behövde förbättras och tillverkas bättre då de maskiner som användes bidrog till en skev form med stora böjradier där det önskats skarpa hörn. Framför allt halogenlampor hade en tendens att fastna i konstruktionen så att de inte fick kontakt med transportbandet.

Avsmalnaren och *Avfallsborttagaren* förenklades i sin utformning och användandet av transportband valdes bort när det var möjligt. Detta för att förhoppningsvis ge enklare underhåll, ge minskat koldioxidutsläpp vid drift samt att det skulle bli en mindre kostnad att realisera prototypen. Båda av dem hade tidigare delar monterade över transportbandet vilket kan ge en risk för att ett föremål eller en lampa kilar fast och har sönder bandet eller stoppar flödet.

Kapitel 6

Slutkoncept

I detta kapitel presenteras prototypen som byggdes för slutkonceptet samt en styckelista på de ingående delarna i slutkonceptet. Dessutom återfinns en utvärdering av prototypen utifrån några av de viktigaste områdena från kravspecifikationen (appendix s. I), exempelvis funktionalitet, prestanda, dimensioner och ekonomi.

6.1 Genomförande

Efter att testprototyper byggts för att utgöra bevis för att konceptet fungerar byggdes en slutgiltig prototyp med samtliga ingående delar. För att bygga en slutgiltig prototyp behövdes ritningar göras och material och komponenter som skulle användas specificeras. När komponenterna och materialen specificerats togs beslut kring vilka komponenter som behövde köpas in, vilka som behövde specialtillverkas samt vilka delar som Refind kunde förse prototypen med. Unika detaljer som behöver tillverkas modellerades upp i *CAD* och tillverkades i Prototyplaboratoriet vid Chalmers.

Slutligen togs en enklare kostnadsuppskattning fram, där kostnaden för prototypen uppskattades utifrån de kostnader som uppstod för materialen som användes vid tillverkningen av ett exemplar.

6.1.1 Utvärdering

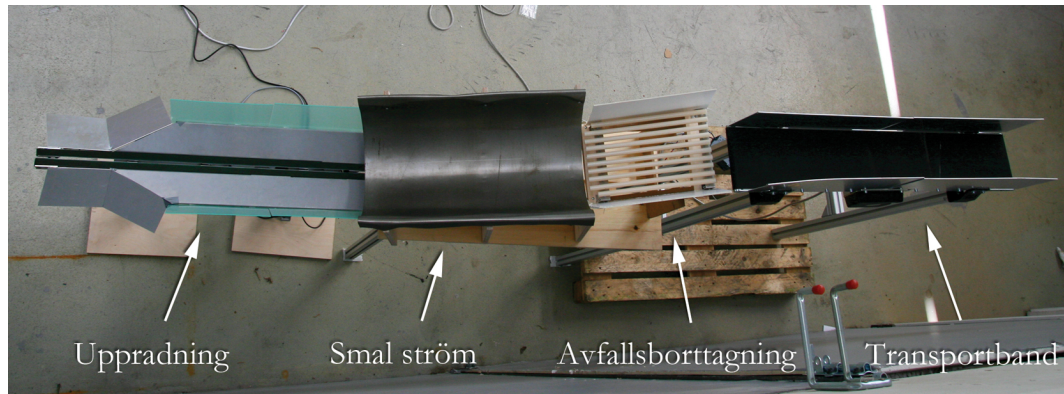
Slutkonceptet utvärderades mot kravspecifikationen och testkördes med varierande storlekar och former av lampor. De kategorier ur kravspecifikationen som utvärderades var funktionalitet, prestanda, dimensioner, systemegenskaper samt ekonomi. Kategorin mänsklig interaktion har tagits hänsyn till i mindre grad i projektet och de kriterierna utvärderades därför inte.

Prototypen testkördes genom att 24 lampor i taget hölls i början av prototypen och fick färdas genom den. Det noterades hur många lampor som tog sig igenom utan att falla av *Uppradaren*, hur många av de avramlade lamporna som utgjorde oönskade fall samt hur många lampor som fastnade eller inte tog sig till slutet av prototypen.

Totalt kördes 241 lampor genom slutprototypen i testet. *Uppradaren* anslöts inte till det sista transportbandet som skulle föra lamporna till kameran, utan lamporna fångades istället upp i en behållare. Testerna innehöll inga kvicksilverlampor då dessa riskerade att gå sönder i och med detta.

6.2 Beskrivning av slutkoncept

Som kunde ses i figur 4.12 behöver *Uppradaren stödprinciper* i början av kedjan som ger ett minskat lampflöde och som tar bort avfall. Efter att lamporna radats upp i *Uppradaren* behöver lamporna få rätt avstånd mellan sig. *Avsmalnaren*, *Avfallsborttagaren*, *Uppradaren* och *Distanseraren* som de ser ut i slutkonceptet kan ses i figur 6.1 och finns beskrivna i detalj nedan.



Figur 6.1: Slutkoncept

Fullständig stycklista med samtliga ingående komponenter i prototypen för produkten återfinns i appendix ss. XXVII till XXIX. Materialen till prototypen har valts dels utifrån tillgängliga material i Chalmers Prototyplaboratorium samt på Refind. Utgångspunkten var att projektgruppen själva skulle kunna tillverka de komponenter som behövde specialtillverkas. I en vidareutveckling av produkten skulle mer omfattande materialval kunna göras (se kapitel 9.3) samt mer avancerade tillverkningsmetoder som skulle medföra en mer robust konstruktion.

Den första delen i flödet är ett transportband som Refind tillhandahåller. Då det är odefinierat hur lamporna töms och vad som händer innan denna del tar vid i *Illuminate-projektet* töms lamporna i en hög i början av transportbandet vid testning av slutkonceptet.

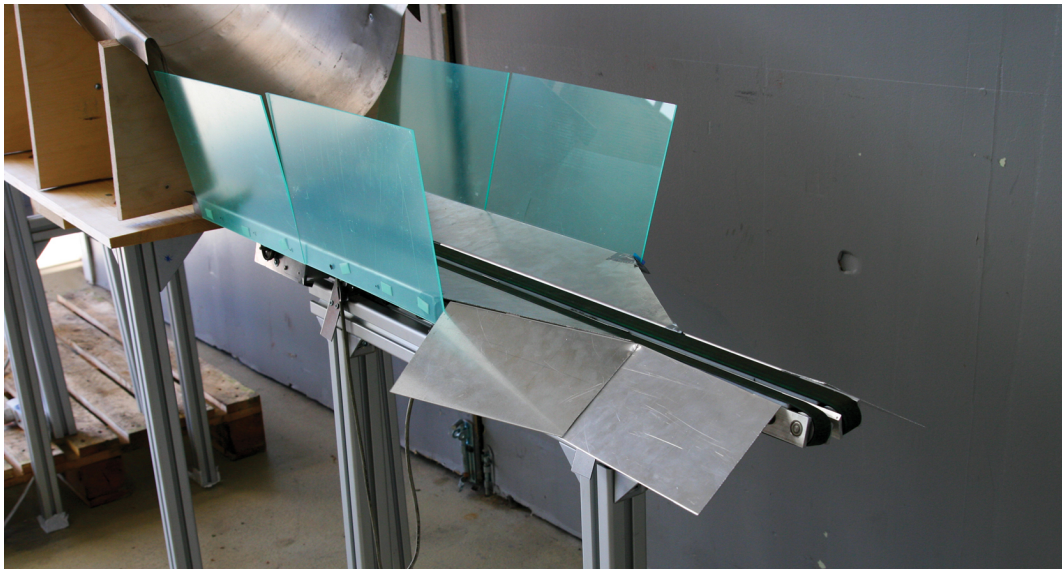
Efter det förs lamporna över *Avfallsborttagningen* för att i ett tidigt skede avskilja skräp och lampskärvor från systemet. *Avsmalnaren* är formad som ett halvrör som är lutat nedåt som tvingar lamporna att inte åka för många i bredd. Lamporna åker vidare in i *Uppradaren* där de separeras så att endast en lampa ligger i bredd, genom två smala transportband som endast tillåter att en lampa i taget förs vidare. De lampor som inte förs vidare ramlar av *Uppradaren* och hamnar i en behållare som manuellt får tömmas samt hållas tillbaka i början av flödet. Det sista som händer lamporna innan de förs under kameran är att de efter *Uppradaren* förs vidare på ett annat transportband med högre hastighet som åstadkommer en distansering av lamporna.

6.2.1 Uppradaren

Stommen i *Uppradaren*; de två smala transportbanden vilka utgör den slutliga garanten för att lamporna anländer till kameran en och en, är transportband med tillhörande motorer som återanvändes från en av Refinds tidigare produkter. Längden på dessa är 1 m. Längs med ytterkanterna finns vingar i stålplåt vars funktion är att medge en avlastningsyta om många lampor anländer till *Uppradaren* samtidigt. Vingarnas innerlängd är 807 mm och ytterlängd 610 mm, se appendix s. XXXII.

En kortare längd på den yttre kanten på vingarna medför att en avsmalning av *Uppradaren* skapas där transportbanden till slut löper helt ensamma på en kortare sträcka. På den delen av transportbanden där ingen vinge finns sitter nedåtvinklade plåtar som ska ge lampor en yta där de med lägre hastighet kan falla av *Uppradaren* om flera lampor förts framåt i bredd.

Denna delkonstruktion (se appendix s. XXXIV) är tillverkad i aluminiumplåt som sågades ur och förseddes med de hål som användes för att fästa den vid *Uppradaren*. Hålen har en håldiameter om 5 mm. Plåten är bockad till en innervinkel om 50° . Detta för att dels kompensera för vingarnas vinkling uppåt från horisontalplanet och dels för att skapa en yttrevinkel om 20° vilket är en lämplig vinkel enligt de *rulltester* som tidigare utförts, se appendix s. IV. Resultatet av den genomförda optimeringen i CATIA blev att en vinkel om 140° mellan banden valdes utifrån den bredd på banden som bestämdes i den detaljerade konstruktionen, se kapitel 5.2.2. I appendix s. XXX syns dimensioneringen av vinkeln mellan banden. Vidare är vingarna försedda med kanter i plexiglas, för att förhindra att lampor trillar ur systemet men samtidigt ge en uppsikt av det som händer i *Uppradaren*. Exakta mått för dessa återfinns i ritningarna i appendix s. XXXV. Det slutgiltiga resultatet kan ses i figur 6.2.



Figur 6.2: Uppradaren

Uppradaren har stöd för att bära upp hela produkten samt för att erhålla rätt höjdmått. Dessa är dimensionerade så att de skulle kunna fästas i det utrymme som bildas mellan de två transportbanden och består av tre uppsättningar om två fästplattor och två fästvinklar i olika storlek, se appendix s. XXXVI. Fästplattorna fästs på insidan av transportbanden och mellan dem fästs de vinklade bitarna för att hålla ihop fästplattorna. Dessa komponenter är tillverkade i 1,5 mm tjock stålplåt och försedda med borrade hål med en diameter på 5 mm. De vinklade komponenterna är bockade för att få innervinklar om 110° , se figur 6.3.



Figur 6.3: Fästen Uppradaren.

Fästanordningen konstruerades för att rätt vinkel ska skapas mellan transportbanden. En mer robust lösning hade varit att ha en enda plåtbit som transportbanden fäste i och som var bockad till rätt vinkel. Då hade problem uppstått i och med att vinkeln mellan banden är så liten att det inte skulle varit möjligt att skruva fast en sådan plåtbit. Det var därför nödvändigt med en isärtagbar fästanordning.

6.2.2 Transportband för lampmottagning

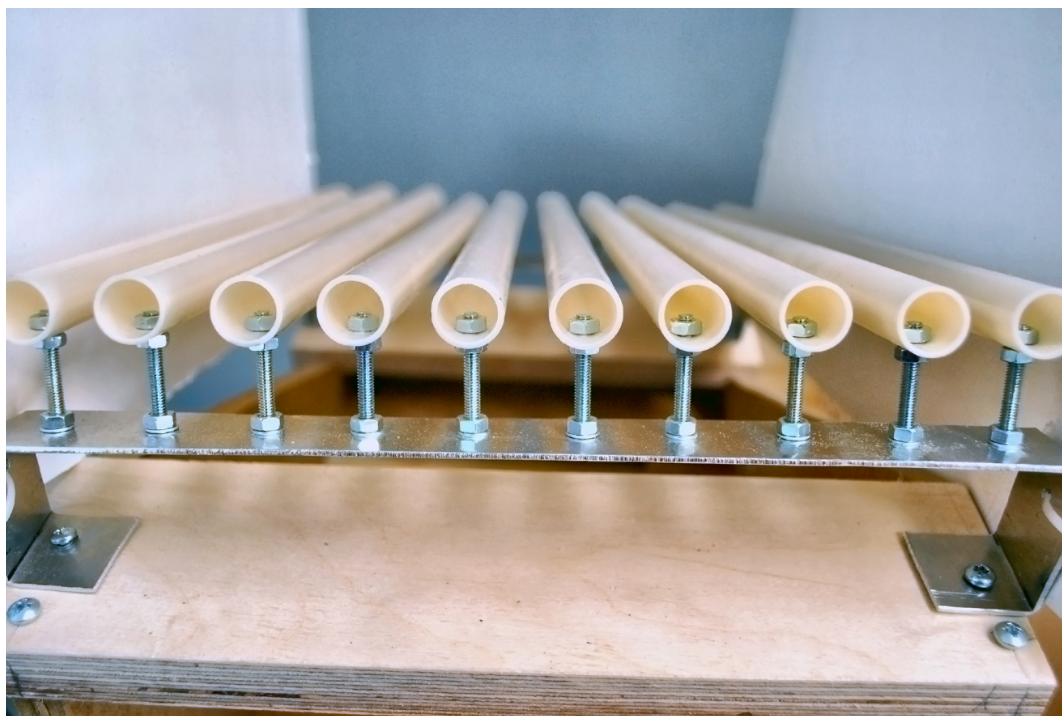
Ett 200 mm brett och 1205 mm långt transportband som lånas av Refind utgör den första delen i slutkonceptets flöde. Då lampor ska tömmas på transportbandets början krävs det att transportbandet förses med kanter. Ritningar som passar det transportband som används finns i bilaga s. XXXI. Transportbandets hastighet ska vara relativt låg för att inte ge för hög fart på lamporna när de fortsätter i *Avfallsborttagaren* och *Avsmalnaren*.

6.2.3 Avfallsborttagaren

För att åstadkomma en helt mekanisk lösning där lamporna förs framåt och avfall tas bort, används en konstruktion med rör med 16 mm i diameter samt ett avstånd på 10 mm mellan. Rören är riktade åt samma håll som lamporna rör sig för att lamporna ska kunna glida på rören. Avståndet mellan rören måste vara så litet så att det inte finns någon risk att de minsta socklarna, som är 14 mm i diameter, fastnar men avfall samtidigt kan ramla mellan. Den vinkel som konstruktionen behövde ha är den som resultatet av *rulltesten* gav, se appendix s. IV.

Vid tester med en enklare modell i tredje fasen där rören låg mot en träregel med försänkningar som rören passade i, observerades att lamporna stördes av reglarna som ibland höll kvar lamporna. Den slutgiltiga versionen saknar därmed regler och har mindre avstånd mellan rören. Materialet för rören är ett helt slätt plastmaterial för att minska friktionen, jämfört med den ojämna yta testprototypen hade.

Prototypen är byggd genom att rör i PVC-plast är fästa på en skruv som går genom en aluminiumställning. Se appendix s. XXXIX. I ställningen finns hål med rätt avstånd som behövs mellan varje rör. En skruv fästs underifrån mot ställningen och låses fast med en mutter. För att hålla fast plaströren på rätt höjd sitter en annan mutter på skruven för att röret ska kunna vila mot den. Där rören är fästa längst upp, där lamporna åker in i *Avfallsborttagaren*, sitter ännu en mutter i varje rör för att fixera skruven och ge större stabilitet, medan rören endast är trädde på skruvarna och vilar på muttrar längst ner. Monteringen av rören syns i figur 6.4. Aluminiumställningen är monterad på en träställning för att ge mer stabilitet i konstruktionen.



Figur 6.4: Infästning av rören i Avfallsborttagaren.

I ställningen ska en uppsamling av avfallet också kunna monteras. Den slutgiltiga prototypen av *Avfallsborttagaren* syns i figur 6.5.



Figur 6.5: Slutgiltig prototyp av Avfallsborttagaren.

6.2.4 Avsmalnaren

Uppradaren fungerar bäst när det inte är allt för många lampor som kommer in i den åt gången. Därför passerar lamporna efter *Avfallsborttagaren* in i en halvårsformad del som precis som *Avfallsborttagaren* är vinklad nedåt för att lamporna ska kunna glida eller rulla självmant. Vinkeln som används är den vinkel som togs fram som den vinkel då alla lampor kommer komma i rörelse utan någon hjälp, se appendix s. IV. Genom att använda ett halvror kan lamporna inte ligga i bredd utan kommer radas upp. Det kan fortfarande vara några lampor som ligger i bredd, särskilt om de är små, därför kommer de radas upp ordentligt i *Uppradaren*. Halvröret hade kunnat vara ett helt rör och fortfarande uppfylla funktionen men för att få bättre uppsikt över vad som händer när lamporna passerar genom *Avsmalnaren* valdes en öppen överdel. Resultatet för *Avsmalnaren* kan ses i figur 6.6.



Figur 6.6: Slutgiltig prototyp av Avsmalnaren.

För att övergången mellan *Avfallsborttagaren* och halvröret inte ska ha något avstånd där lampor kan fastna eller ramla mellan, överlappar de varandra med *Avfallsborttagarens* rör över halvröret. För att de längsta lamporna som är 200 mm ska få plats i halvröret måste halvrörets bredd (som bildar en korda) där *Avfallsborttagaren* överlappar vara minsta 200 mm. Med hjälp av en *CAD*-modell bestämdes att rörets diameter skulle vara 342 mm och att *Avfallsborttagaren* skulle ligga 50 mm över halvrörets ingång för att åstadkomma detta med marginal.

Halvröret består av en tunn aluminiumplåt (se appendix s. XL) som är böjd till en halvcirkel och fäst i tre trästöd (se appendix s. XLI). För att fästa stöden i plåten används skruv i förborrade hål

Stöden är tillverkade i 17,5 mm tjock plywood där halvcirklar med rätt diameter sågats ur. Höjden på stöden är varierad för att kunna skapa ett vinklat halvrör. För att stöden ska stå bra på en platt yta är deras kanter fasade i rätt vinkel. Aluminiumplåten som ska passa i stöden och utgöra själva halvröret är försedd med hål där den skruvats in i trästöden, och kanterna är bockade för att vara mindre vassa. I trästöden är hål förborrade. Plåtens tjocklek är endast 0,5 mm och är därför enkel att böja för hand för att passa stöden. Det stödet som placerats längst ner sitter med lite marginal till kanten på plåten för att kanten ska kunna överlappa *Uppradaren*.

6.2.5 Distanseraren

Efter *Uppradaren* ska lamporna distanseras. Det gör de genom att de åker vidare på ett snabbare transportband. Det är endast om två lampor landar exakt samtidigt på bandet som det inte sker någon distansiering, annars kommer varje lampa hinna röra sig framåt snabbare än den bakomliggande och därmed skapa avstånd mellan varje lampa. Denna metod ger inte ett bestämt och konsekvent avstånd mellan varje lampa men ska ge åtminstone 20 mm avstånd mellan varje lampa om bandets hastighet är tillräckligt hög.

6.2.6 Stycklista

Prototypens olika komponenter är först och främst tillverkade av stål och aluminium. Ett fåtal komponenter är skapade av olika sorters plaster samt olika trämaterial. I huvudsak används skruvar, brickor och muttrar för att sammanfoga olika komponenter, detta för att det ger ett stabilare resultat än lim samt för att underlätta vid nedmontering. I den stycklista som skapats fram i samband med prototypframställningen, se appendix ss. XXVII till XXIX, redovisas både konstruerade och beställda komponenter. Vikt är framtagen för de komponenter som projektgruppen konstruerat, och denna information nyttjas vid kostnadsberäkning av prototypen. För de beställda komponenter som använts hänvisas till respektive återförsäljares webbplats för detaljerad information. Detta gäller bl.a. transportband och motorer, se [9], [2] och [7].

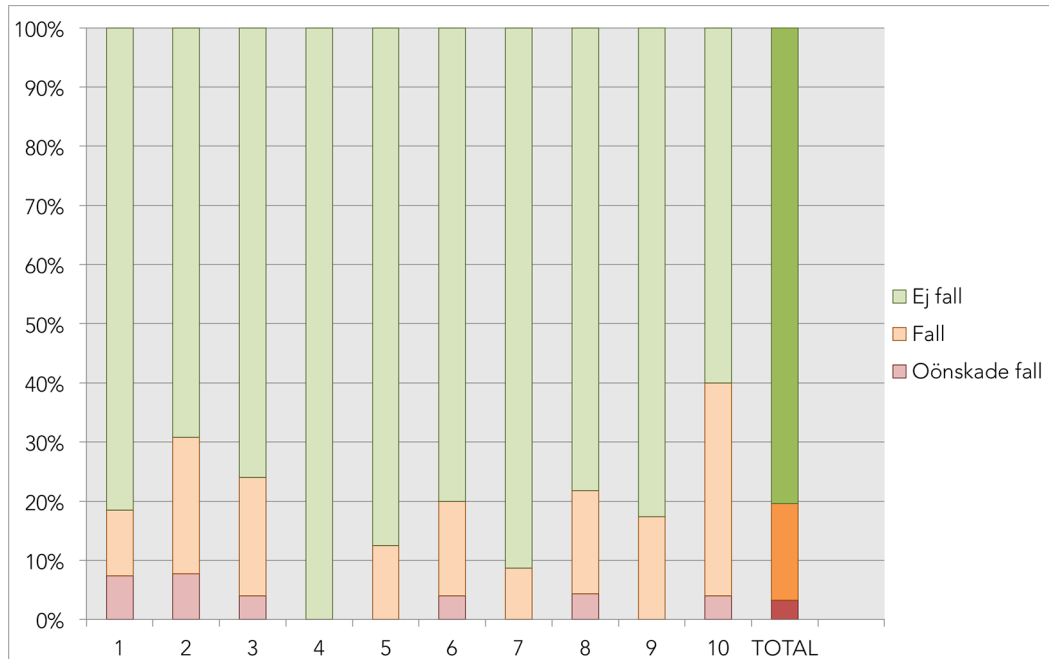
6.3 Utvärdering

Nedan återfinns resultaten från utvärderingarna av slutkonceptets prototyp. Prototypen fungerade ändamålsenligt men har vissa brister som behöver åtgärdas. Rekommendationer till företaget gällande dessa åtgärder återfinns i kapitlet 9.

6.3.1 Funktionalitet, prestanda och dimensioner

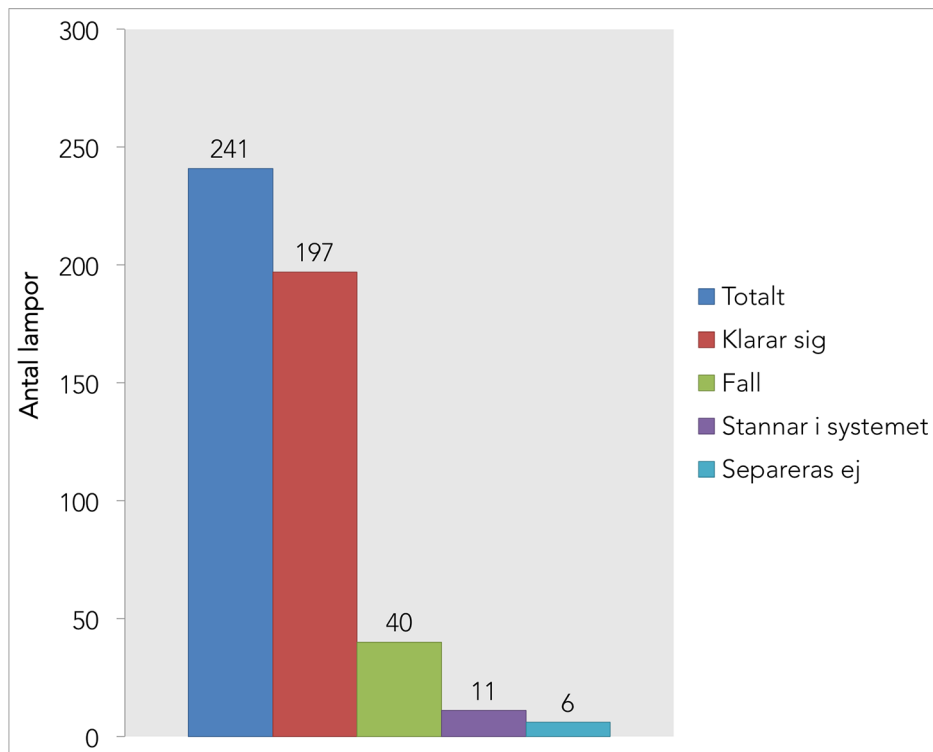
Det första transportbandet i prototypen kördes med hastigheten 9 m/min och de smala transportbanden i *Uppradaren* höll hastigheten 25 m/min. Detta medförde att 2,7 lampor/s kunde föras till kameran, ett resultat som överstiger kravet på 1 lampa/s.

Jämfört med testprototypen av *Uppradaren* hade en stor förbättring skett gällande andelen oönskade fall. Cirka 5 procent föll av vid testet, jämfört med dåvarande ca 15 procent, se figur 6.7 och tidigare figur 5.1.



Figur 6.7: Andel fall för respektive test samt totalt.

I och med att hela prototypen, och inte bara *Uppradaren* testades noterades även hur många lampor som ej separerats när de lämnat de smala transportbanden samt hur många lampor som låg kvar i systemet och inte fördes till sista steget. Sex av 197 lampor sorterades inte ut ordentligt i *Uppradaren*, se figur 6.8. Detta får ses som ett godkänt resultat då transportbanden var bredare än optimalt och detta innebar en risk att två små lampor inte separerades ordentligt.



Figur 6.8: Resultat sammanslaget.

Att vissa lampor fastnade och låg kvar i systemet berodde på *Avsmalnaren*, där vinkeln som användes i testet justerades från den ursprungliga. Det noterades vid en provkörning att lamporna fick för hög fart när de gled genom både *Avfallsborttagaren* och *Avsmalnaren* och vinkeln minskades således.

Prototypen klarade av att hantera de lampor som testades, vilka såg ut att ha en normal nedsmutsningsgrad. Utförligare tester hade behövt göras för att utvärdera om problem skulle uppstå om lamporna vore mycket smutsiga. Prototypen förebyggde däremot smutsansamling, då det inte fanns några hörn där smutsen kunde samlas. Transportbanden är placerade så att det är fritt under dem, vilket leder till att eventuell smuts skulle kunna falla av dem undertill. Överlag löper rörliga delar en risk för smutsansamling, men risken får ses förebyggd så gott som det gick.

6.3.2 Systemegenskaper

Prototypen uppfyllde kravet att den var kompatibel med Refinds kamera. Kameran var monterad på ett brett transportband och prototypens höjd är anpassad så att lampor kan falla ned på det breda transportbandet utan att ta för stor skada. Gällande lampbehållaren var det svårare att uttala sig om huruvida kravet var uppfyllt eller ej. Då lampbehållaren inte var dimensionerad och konstruerad vid testtillfället kunde matningssystemet inte testas med den. Det var inte heller möjligt att veta om lamporna skulle transporteras direkt från behållaren till matningssystemet eller om någon uppsamling

skulle ske däremellan. Transportbandet som utgjorde första steget i prototypen var 200 mm brett, tillräckligt för att de största lamporna skulle få plats. Skulle lampbehållaren vara väldigt bred skulle det uppstå problem att hålla lamporna på bandet, eftersom de höga kanterna skulle kunna försvåra.

6.3.3 Ekonomi

Den prototyp som tagits fram kommer vara en del i lampsorteraren som EU-projektet *Illuminate* utvecklar. Hur många exemplar av den kompletta lampsorteraren som kommer tas fram är inte fördefinierat. I Sverige slängdes det 2753 ton lampavfall år 2013 och om en lampa per sekund kan sorteras till rätt återvinningsfraktion och en lampa antas väga 100 gram, skulle Sveriges lampavfallssortering ta 7258 timmar eller motsvarande 302 dygn. För att slippa ha en maskin som användes dygnet om i så många dygn vore det lämpligt att i Sverige ha två lampsorterare. Hur stort behov det i Europa finns av att ha en lampsorterare i anslutning till lampåtervinning beror på hur stor mängd lampor som lämnas till återvinning, men ett antagande är att det troligtvis inte kommer ske en storskalig produktion av lampsorteraren. Om Sverige skulle ha behov av en till två maskiner då landet har en befolkning på nio och en halv miljoner invånare år 2014 kan det ge en vägledning om hur många lampsorterare länderna i EU skulle behöva om alla ville använda sig av en sådan produkt; produktionen skulle vara en begränsad upplaga.

Lampsorteraren i helhet kommer bli en komplex produkt som bland annat innehåller en kamera med igenkänningsteknik. Den prototyp som beskrivs i den här rapporten kan endast användas tillsammans med de andra delarna för att åstadkomma sorteringen av lampor i olika fraktioner. Den tillverkningskostnad som matningssystemet har kommer således utgöra en mindre del av den totala kostnaden. Matningssystemet innehåller några delar som helt avsaknar elektronik, vilket kan göra kostnaden lägre då det finns sannolikhet för mindre underhåll.

I prototypen ingår det både standardkomponenter och specialtillverkade komponenter. Standardkomponenterna har en viss kostnad som eventuellt kan förhandlas vid köp av en större mängd men för att göra en kostnadsestimering får styckpriset antas gälla. I deras kostnad ingår tillverkningskostnaden. De specialtillverkade komponenterna kommer ha en material- och en tillverkningskostnad. När en produkt ska tillverkas i tusentals exemplar är det möjligt för tillverkaren att investera i dyra specialmaskiner av olika slag för att effektivisera tillverkningen. I fallet med lampsorteraren kommer den totala produkten tillverkas i ett fåtal exemplar och då finns inte möjlighet till sådan specialtillverkning utan att kostnaden blir för stor.

Hela produkten kommer ha en monteringskostnad. En kostnad som ingår i detta är hur hög feltolerans de olika komponenterna får ha. Med små feltoleranser blir mått-sättningen av alla dimensioner mer exakta men tillverkningskostnaden blir större. Val av feltoleranser, monteringskostnaden och tillverkningskostnaden av specialtillverkade delar har inte tagits i beaktan.

En kostnadsuppskattning (se bilaga s. XLIV), gjordes på prototypen. De största utgifterna var i form av inköp av aluminiumprofiler samt 200 mm-transportbandet som Refind tillhandahöll. Totalkostnaden uppskattades till 14800 kr, vilket får ses som rimligt

för en del i en såpass avancerad totalprodukt.

Kapitel 7

Diskussion

Detta kapitel diskuterar slutkonceptet i förhållande till syfte och mål, hur projektprocessen gått till samt hur väl det stämmer överens med kravspecifikationen i projektet som helhet.

7.1 Syfte och mål

Syftet med projektet som lyder *“att ta fram en produkt för automatisk hantering av lampor i ett återvinningssystem, från det att lamporna tömts från en specifik behållare till det att de förs under en kamera för igenkänning”*, kan anses vara uppnått. Gruppen har konstruerat en prototyp för ett matningssystem för en automatiserad lampsorterare. I kapitel 9 i denna rapport finns rekommendationer för materialval ur ett tillverkningsperspektiv samt med hänsyn till ekonomi, slitage och återvinningsbarheten. Det innehåller även rekommendationer kring hur slutkonceptet kan utvecklas med hänsyn till funktioner, konstruktion och tillverkningsmetoder.

Prototypen går till viss del i linje med Refinds övriga produkter, men det syftet kan inte sägas helt uppfyllt. Det hade varit önskvärt att använda metall i konstruktionen rakt igenom. Vissa delar av prototypen har i nuläget trästativ, vilket bidrar till ett mindre robust och industriellt uttryck. Anledningen till att trä användes i många stativ var för att det är ett lättbearbetat material som har duglig hållfasthet för en prototyp. I en slutgiltig produkt hade metall varit ett bättre materialval än trä och samtidigt bidragit till ett mer önskvärt produktuttryck.

De effektmål som sattes upp i kapitel 1.4 kan anses vara uppnådda då matningssystemet har potential till att leverera lamporna en och en med 20 mm mellanrum. Även objektmålen kan anses vara uppfyllda eftersom systemet kan hantera kasserade lampor från systemets början till slut och totalkostnaden uppskattats till 14800 kr.

7.2 Projektprocess

Projektet delades tidigt in i tre utvecklingsfaser; *förarbete*, *delkoncept* och *detaljerad konstruktion*. Detta ansågs vara en naturlig indelning där den första fasen skulle öka förståelsen för hanteringen av lampor och för lampors egenskaper samt utveckla de krav som skulle behöva ställas på produkten. I den andra fasen skulle arbetet med framtagningen av en prototyp göras och i slutet av fasen skulle en *totallösning* för vidareutveckling ha valts. I sista fasen skulle den vidareutvecklas och testas utförligare, samt byggas som en prototyp. Det var bestämt att i projektets halvtid skulle andra fasen vara gjord. När projektplanen som satte alla tidsbestämmelser gjordes, hade projektgruppen uppfattningen att projektets mål skulle vara uppfyllt efter tredje fasen; ett slutkoncept som liknade en

slutgiltig produkt skulle vara färdigbyggd. Det visade sig däremot att den *totallösning* som valdes i andra fasen behövde omfattande modifiering och till viss del behövde delar av den helt bytas ut mot andra delar. Detta gjorde att hela den tredje fasen gick åt till att utvärdera och ta fram nya lösningsförslag samt testa dem, vilket tog mer tid i anspråk än vad som var beräknat. Att tredje fasen medförde så mycket utvärdering och förändringar berodde dels på att modeller byggdes och testades mer i den tredje fasen varpå det sågs ett behov av förändring och dels på att det vid ytterligare samtal med företaget framkom information som gav nya infallsvinklar kring utformningen av vissa delar. Då produkten som ska tas fram inte finns sedan tidigare har det varit viktigt med företagets åsikter; de besitter kunskap om andra typer av matningssystem i återvinningsmiljö. Om *Uppradaren* och de andra ingående delarna i ett tidigare skede än vid halvtid hade visats för företaget hade fler förändringar kanske kunnat göras tidigare och mer tid hade lämnats åt konstruktionsarbetet i slutskedet. Med erfarenheten att tredje fasen blev mer omfattande än vad som räknats med hade det varit önskvärt att ha kommit längre efter halva projekttiden då de första två faserna innehöll förhållandesvis mindre arbete än den tredje fasen, och att i ett tidigare skede ha byggt modeller och utfört tester av modellerna.

7.2.1 Utvecklingsprocess

Tidigt i projektet sågs uppradningen av lampor som den del som skulle behöva mest fokus då det skulle vara svårast att genomföra. Därför valdes *Uppradaren* som fokusområde och *Avfallsborttagaren*, *Avsmalnaren* och *Distanseraren* tillkom för att vara *Uppradaren* behjälplig. Det är möjligt att slutkonceptet hade sett annorlunda ut om en annan inriktning hade valts. Det valda fokusområdet ansågs däremot aldrig begränsande. Framtagningen av ett matningssystem ansågs som en bred uppgift varpå indelningen var till hjälp.

7.3 Kravspecifikation

Från företaget gavs ingen skriftlig kravspecifikation. Genom samtal och specifika frågor har det framkommit krav och önskemål från dem samt genom att få tillgång till det dokument som specificerade *Illuminateprojektet*. En del av den muntliga information som erhållits har framkommit under projektets gång för företaget under möten de har haft med andra företag som samverkar i projektet.

Några av de krav som varit tongivande för framtagningen av matningssystemet har varit storleken på lampor, att lamporna ska vara uppradade, antalet lampor som ska passera under kameran per tidsenhet samt det avstånd som måste finnas mellan varje lampa som passerar under kameran. Inom de gränser som sats som avgränsningar för den minsta och den största tillåtna lampan får lampor av alla olika former finnas. Hade samtliga lampor varit rotationssymmetriska och inom ett litet storleksspann hade slutprodukten kunnat bli mindre komplex. Om däremot ingen storleksavgränsning hade funnits och alla lampstorlekar hade varit tillåtna hade en betydligt mer komplex produkt

ha behövts tas fram.

När lampor av alla tillåtna storlekar väl var uppradade var distansering och hastighet inte lika problematiska. Vid testning av slutkonceptet visade det sig att de flesta kraven uppfylldes, men långt ifrån alla. Att lampor distanseras från varandra testades ej men detta krav kan ändå anses vara uppfyllt då det kan anses vetenskapligt vedertaget att objekt som ändrar hastighet vid en viss punkt kommer att distanseras från objekt som ännu inte nått sagda punkt. Att detta sker med ett avstånd på just 20 mm och att matningssystemet levererar en lampa per sekund är mer av ett kalibreringsproblem men den prototyp som framställts möjliggör en lösning på detta problem. Krossrisken kunde inte med säkerhet elimineras men i de observationer som gjordes i samband med slutlig testning av prototypen framkom det att de lampor som faktiskt krossades gjorde så på ställen som inte skulle existera i en faktisk produkt. Detta gällde speciellt de behållare som användes för att simulera uppsamlingsytan för återföringen samt transportbandet som tillåter distansering. Då företagets kamera monteras över ett transportband och matningssystemets sista del är just ett transportband kan kravet om kompatibilitet anses vara uppfyllt. Prototypen konstruerades på så vis att det saknas dolda utrymmen och systemet är således överskådligt vilket uppfyller krav om mänsklig interaktion. Önskemålet om att prototypen ska vara enkel att utföra underhåll på har försökts tas hänsyn till genom att göra konstruktionerna förhållandevis enkla att disassemblera då de nästan uteslutande utnyttjar skruvar och muttrar för sammanfogning. För att ytterligare förenkla underhållet kan de standardkomponenter som ingår finnas i dubletter för att snabbt kunnas bytas ut. När det gäller dyrare komponenter som transportband är det däremot svårare att ha en extra uppsättning då det är en stor outnyttjad kostnad. De specialtillverkade komponenterna kan vara enkla att tillverka om det finns tillgång till en verkstad med tillgång till material.

7.3.1 Hållbar utveckling

Några önskemål i kravspecifikationen var inriktade på att verka för en hållbar utveckling; att minimera ekologiskt fotavtryck vid tillverkning och vid drift, att medge enkel demontering för återvinning av produkt och använda material som är enkla att återvinna. Då produkten i sin helhet verkar för en återvinning av lampavfall och samtidigt kommer produceras i ytterst få exemplar blir inte det ekologiska fotavtrycket särskilt stort. Dessutom har antalet transportband minimerats vilket dessutom kommer ge ett mindre ekologiskt avtryck vid drift. En livscykelanalys för produkten från tillverkning tills den ska återvinnas har inte gjorts då det inte har funnits någon tidigare produkt att jämföra med. Resultatet skulle därmed sakna relevans. Istället har val av material som är återvinningsbara och som är resurssnåla vid tillverkning och återvinning rekommenderats.

7.3.2 Mänsklig interaktion

I kravspecifikationen finns bland andra kategorin mänsklig interaktion. Kategorin har relevans för ett senare skede vid en vidareutveckling av slutkonceptet, men har inte

tagits hänsyn till i ett såpass tidigt skede i utvecklingsprocessen.

I projektet har fokus legat på det tekniska utvecklingsarbetet snarare än på att uppfylla krav gällande mänsklig interaktion. Detta dels för att tanken med produkten är att den ska sortera lampor utan krav på större mängder interaktion och dels för att projektet inte varit ett utvecklingsprojekt där en tidigare produkt legat till grund. I en vidareutveckling av slutkonceptet skulle hänsyn dock behöva tas till den mänskliga interaktionen såsom säkerhetsaspekter och tillgänglighet.

7.3.3 Ekonomi

Matningssystemet kommer ingå i en lampsorterare med en avancerad kamera som har en hög kostnad. Efter att lamporna identifierats av kameran ska de sorteras till olika fraktioner. Den totala kostnaden för matningssystemet kommer utgöra en mindre del av den totala lampsorteraren. I prototypen var den största kostnaden det bredare transportbandet. Även aluminiumprofilerna som användes för att bygga ställning stod för en stor kostnad. I prototypen byggdes några delar av ställningen i trä. Detta berodde på att det inte fanns mer aluminiumprofil att använda. Trots att det kommer innebära en ökad kostnad att bygga alla ställningar i aluminiumprofil kan detta rekommenderas för att öka robustheten i konstruktionen eftersom det kommer vara ett stort flöde av lampor som passerar genom lampsorteraren. Alternativt skulle en stålställning kunna användas. I kostnaden som beräknats tas varken tillverkningskostnaden för specialkomponenter eller monteringskostnaden med. Dessa kostnader kommer öka den totala kostnaden men torde fortfarande ge matningssystemet en rimlig kostnad.

7.4 Brister i slutlig prototyp

Vissa problem med prototypen var kända redan innan prototypen testades. Olika avvägningar hade varit nödvändiga under arbetets gång, vilket fick konsekvenser för den slutgiltiga utformningen. Andra brister uppdagades i samband med utvärdering och testning av prototypen.

7.4.1 Uppradaren

I den slutliga prototypen användes transportband med större bredd än önskvärt. Detta medför att uppradningen inte fungerar helt eftersträvaisvärt och flera mindre lampor kan föras under kameran samtidigt. Anledningen till detta beslut var att de bredare transportbanden möjliggjorde användning av företagets befintliga transportband, vilket medförde en tids- och kostnadsbesparing. Prototypen tros trots den försämrade uppradningen kunna användas tillsammans med Refinds kamera och fungera ändamålsenligt. En positiv konsekvens av de bredare transportbanden är dock att större lampor löper mindre risk att falla av när de inte ska det.

När *Uppradaren* designades valdes det att placera respektive transportbands motor strax innan de bakre rullarna, precis i början av *Uppradaren*. Detta berodde på att det

var tänkt att det under *Uppradarens* avsmalning, precis innan *Distanseraren*, skulle sitta en återföringsdel. I efterhand insågs det att transmissionsremmarna; vilka går mellan motorerna och de drivande rullarna, inte kan leverera lika stor kraft vid denna placering, på grund av transportbandens riktning. De tvingas trycka drivningen framåt istället för att dra. I prototypen användes transportband som dock utan problem klarade av att utföra sin uppgift trots att drivningen var felmonterad, men de bör givetvis monteras på rätt sätt i en vidare utveckling av matningssystemet.

Vid tillverkningen av den slutgiltiga prototypen användes de maskiner som fanns tillgängliga i Chalmers Prototyplaboratorium. Detta resulterade i vissa brister i slutkonceptet, framför allt i detaljer av bockad plåt. Bockmaskinen saknade vinkelangivelser och de fick således uppmätas för hand. Resultatet gjorde att vinklarna varierade med ett par grader, vilket ledde till svårigheter i inpassningen vid monteringen. När transportbanden monterats uppstod ett mellanrum mellan dem trots förebyggande åtgärder i form av fasningar av kanter som skulle varit i vägen. Mellanrummet berodde på att vinkeln mellan transportbanden gjorde att skruvhuvuden på insidan av transportbanden vidrörde varandra. Mellanrummet i kombination med bredare transportband än önskvärt bidrar till att två mindre lampor kan få plats på banden samtidigt, men som visades i *FMEA:n*, se appendix s. XIII, ska detta inte ge avgörande konsekvenser. I en vidareutveckling hade transportbanden med rätt bredd kunnat användas och de hade kunnat anpassas bättre till den önskade vinkeln.

7.4.2 Avsmalnaren

Avsmalnaren var den del av prototypen där mest problem uppstod vid utvärderingen. Vinkeln behövde ändras provisoriskt då lamporna fick för hög fart genom halvörret. I de tidigare genomförda rulltesterna (se appendix s. IV) testades lamporna från stillastående, medan de i prototypen redan hade en hastighet från det första transportbandet. När vinkeln minskades hände det att lampor som kom sist i följd och inte fick fart av bakomvarande lampor blev liggande.

Detta problem uppkom på grund av att vinkeln dimensionerats utifrån den största vinkeln som krävs för att en viss sorts lampa ska glida. I dimensioneringen togs ingen hänsyn till att det råder stor variation på vilka vinklar som krävs beroende på lamptyp och således fick vissa lampor för hög fart genom halvörret. Tanken med detta var att inga lampor skulle bli kvar i systemet, utan att samtliga skulle ta sig igenom hela flödet. Det visade sig vara mycket mer problematiskt att somliga lampor fick för hög fart, än att andra lampor blev liggande i halvörret när inga bakomvarande lampor sköt på.

Ett annat problem med *Avsmalnaren* var att diametern på halvörret var för bred. Diametern valdes utifrån de största lamporna, men det skulle vara önskvärt att minska den så mycket som möjligt. När lamporna föll av *Avfallsborttagaren* och ned i halvörret fick lamporna som befann sig på sidorna fart och gled nedåt med en sicksackrörelse vilket ledde till att de hade fart i sidled när de nådde *Uppradaren*. Konsekvensen av detta blev ett sämre resultat än önskat, med fler lampor som föll av än de borde.

7.4.3 Avfallsborttagaren

Avfallsborttagaren fungerade över lag som tänkt. Den huvudsakliga bristen var området där lamporna faller ned från *Avfallsborttagaren* till halvörret. Här hade det behövt vara ett större överlapp. Den nuvarande utformningen ledde till att ett flertal mindre lampor fastnade mellan plaströren och halvörrets plåtstycke. Detta ledde, precis som i fallet med halvörrets vinkel, till att lampor inte tog sig igenom hela flödet fram till prototypens slut. I fallet med halvörrets vinkel var konsekvensen av detta inte stor, men lampor som kilar fast mellan transportbandet och plaströren kan orsaka skador på bandet eller i värsta fall stopp.

7.5 Genomförande av tester

En viktig aspekt med testerna är att inga lampor innehållande kvicksilver testades i testprototypen eller den slutgiltiga prototypen. Det ansågs medföra för stora risker och testsituationerna behövde konstrueras så att det fanns en risk för att lampor skulle gå sönder. Hade transportbanden till exempel körts på en mycket låg hastighet hade funktionaliteten inte kunnat utvärderas noggrant. Detta medför att vissa lampformer inte fanns representerade i testerna, och det är svårt att säga om prototypen skulle kunna hantera dessa. De olika storlekarna på lampor testades däremot med goda resultat. En konsekvens av att testa med lågenergilampor såväl som andra lampsorter är att det skulle ge en mer realistisk bild av krossrisken lamporna emellan. Lågenergilampor har generellt högre vikt än till exempel glödlampor, vilket kan utgöra en krossrisk som nu inte observerats.

Vid bygge av de modeller, testprototyper och den prototyp som skulle testas var det flera mått som bestämdes av tillgången på material och komponenter. Exempelvis fanns två smala transportband att använda som var nästan rätt bredd och därför anpassades *Uppradaren* efter deras mått. Vid måttsättning av de andra delarna var det många mindre test som avgjorde de dimensioner som valdes. Detta gjordes också med tanke på det önskemålet från kravspecifikationen om att minimera konstruktionens volym. Det går därför att optimera ett flertal dimensioner.

7.6 Avgränsningar under projektets gång

I sista fasen där slutkonceptet utvecklades gjordes avgränsningar gällande vilka delar av konceptet som utvecklades. Till en början skulle ett återmatningssystem ingå i konceptet där lampor som faller av *Uppradaren* transporteras tillbaka till ett tidigare skede av flödet. Detta togs bort då återmatningsdelen i sin ursprungliga lösning skulle innebära ett inköp av ett transportband vilket skulle kräva en noggrann planering för att integrera bandet med övriga delar i flödet. Dessutom skulle en konstruktion behövas som ledde lamporna som ramlat av till en uppsamlingsplats innan de fördes tillbaka till flödet på transportbandet; detta eftersom lamporna faller av på båda sidorna av *Uppradaren*. Konstruktionen hade behövts testas mycket utförligt för att säkerställa att lampornas

fall inte blev för höga och att återmatningsdelen skulle ge en ökad krossrisk. För att få ett jämnt flöde i *Uppradaren* hade det varit önskvärt att implementera den här återföringen, särskilt med tanke på att det är en del av *Uppradarens* funktion att lampor som transporteras i bredd ska ramla av. Trots det kommer produktens funktion bestå; lampor kommer fortfarande föras till kameran men de lampor som ramlar av får återföras till flödet manuellt.

I *Avfallsborttagaren* har en konstruktion för att avfall ska kunna skiljas från lamporna gjorts. Ett önsvärt komplement vore en behållare som samlade upp avfallet. Behållaren skulle vara lätt att plocka av för tömning. När en sådan behållare inte är integrerad i konstruktionen, kan en behållare ändå ställas där avfallet förväntas falla ner så att funktionen fortfarande kvarstår.

Kapitel 8

Slutsats

När lampor hanteras av ett automatiskt system bör fall undvikas i den mån det går. Om lampor innehållande kvicksilver går sönder utgör detta en risk för de personer som befinner sig i närheten. Trasiga lampor kan dessutom utgöra en risk för komponenter i ett system, då de kan vara små och vassa och kan skada transportband och andra känsliga delar.

Målsättningen för projektet var att konstruera och bygga en prototyp av ett automatiskt matningssystem för en lampsorteringsprocess. Prototypen skulle kunna hantera olika storlekar inom ett bestämt intervall utan att ha sönder dem samt rada upp lamporna med ett visst avstånd. Eftersom det inte finns någon liknande produkt skulle en produktframtagningsprocess genomgå för att hitta de optimala sätten för att bygga prototypen. Utformningen av matningssystemet ändrades mycket under projektets gång men blev en prototyp bestående av ett flöde där lampor förs på ett transportband, vidare till *Avfallsborttagningen*, genom *Avsmalnaren* som är formad som ett halvrör, genom *Uppradaren* som separerar och radar upp lamporna och till sist vidare på ett transportband med hög hastighet som separerar lamporna. Efter detta kommer lamporna föras under en kamera med igenkänning som klassificerar lamporna efter deras innehåll, exempelvis om det är en lågenergilampa som innehåller kvicksilver.

8.1 Resultat

Vid testning av slutprototypen uppfylldes det antal lampor som skulle föras under kameran med marginal. Samtliga lampor skulle vara uppradade och ligga enskilt vilket uppfylldes i de flesta fall. *Uppradaren* är inte byggd enligt rekommendation och därför fick två mindre lampor plats bredvid varandra vid ett antal tillfällen. De lampor som transporterades i bredd skulle troligtvis inte distanseras korrekt på grund av detta men allt tydde på att distansieringen i övrigt skulle ske på ett adekvat sätt. Prototypen innehåller få partier där lampor måste falla någon nämnvärd sträcka varpå krossrisken ska vara minimerad. Däremot bör det i ett vidareutvecklat matningssystem ingå en återföringsdel som kommer innehålla fall. Höga krav på att fallen sker på ett säkert sätt kommer ställas på den delen.

När lamporna transporteras genom *Avfallsborttagaren* och *Avsmalnaren* fick de hög fart vilket ledde till en något okontrollerad väg genom halvörret och vidare till *Uppradaren*. Detta störde inte resultatet nämnvärt; det var fortfarande tillräckligt många lampor som fördes till kameran. Däremot är det fördelaktigt om så få lampor som möjligt faller av eftersom lamporna riskerar att gå sönder i fallet.

8.2 Trovärdighet

Matningssystemet ska fungera helt automatiskt vilket det inte endast gör i den byggda prototypen. *Uppradarens* ursprungliga tanke var att det skulle ha ett integrerat återföringssystem som återförde lampor som fallit av till en tidigare del av flödet för att skapa en ständig cirkulation. Utan återmatningen krävs en manuell hantering av de lampor som faller av vilket kan komma att behöva göras ofta om många lampor faller av. Prototypen är inte byggd tillräckligt robust för att sättas i bruk i en återvinningsmiljö idag. Utöver detta skulle prototypen behöva kopplas ihop, i nuläget är varje del fristående. För att starta prototypen behöver de tre transportbanden startas manuellt och hastigheten justeras. En strömbrytare till hela systemet skulle behöva kopplas in för att systemet skulle bli mer automatiskt.

Utformningen av matningssystemet har till stor del gjorts utifrån de lampor som funnits tillgängliga; mindre lampor som förekommer i de flesta hushållen. Det finns däremot lampor som storleksmässigt rymms inom det bestämda storleksspannet men som däremot skulle bli problematiska att hantera, exempelvis lampan till en bilstrålkastare som väger avsevärt mycket mer än de vanligaste mindre lamporna. Hur andra lampor skulle påverkas av att den här tyngre lampan befann sig i flödet är inte undersökt.

Kapitel 9

Rekommendationer för fortsatt arbete

I projektet har avgränsningar gjorts allt eftersom arbetet fortskridit. Många aspekter har valts att inte tas i beaktning vid tillverkning och konstruktion av slutprototypen men behöver tas hänsyn till vid en vidareutveckling av produkten. Rekommendationer för fortsatt arbete gällande aspekterna feleliminering, funktionalitet, materialval samt tillverkningsmetod och konstruktion för montering och demontering presenteras nedan.

9.1 Eliminering av driftsfel

En viktig del för produkten om den sätts i drift kommer vara att ha få felmöjligheter. I den *FMEA* som gjordes i tredje fasen, se appendix s. XIII, framkom några förbättringsmöjligheter, exempelvis för hur man förkortar eventuella driftstopp. Om det har blivit ett fel någonstans i flödet så att lampor har fastnat eller av någon anledning inte rör sig vidare bör en operatör tillkallas så snart som möjligt. Det kan därmed vara lämpligt att på några utvalda ställen komplettera produkten med sensorer som larmar om ingen lampa har passerat på ett visst tidsintervall.

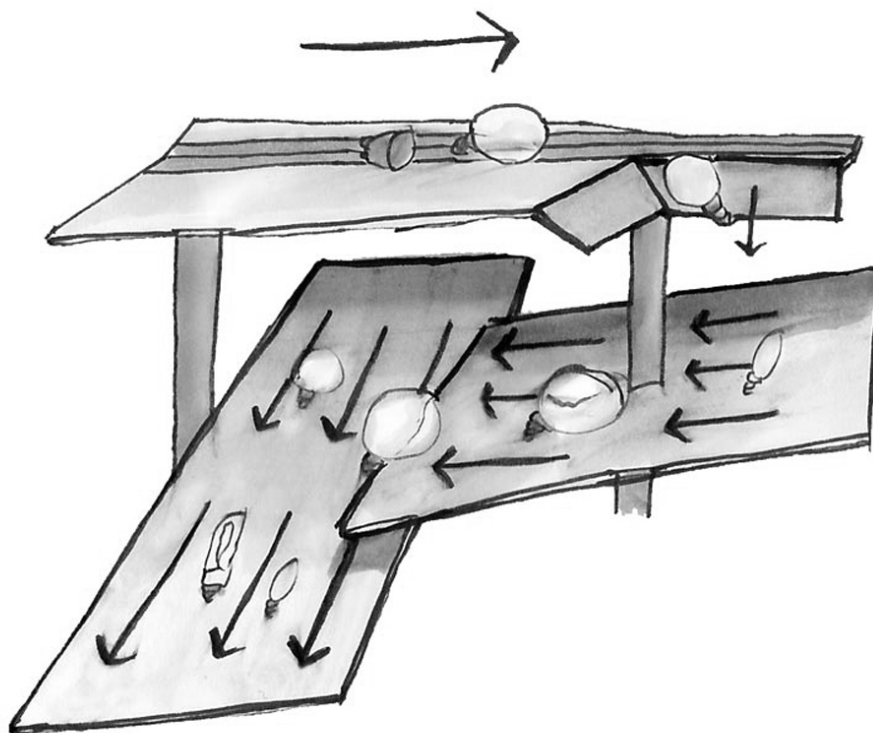
9.2 Funktionalitet

I den nuvarande utformningen fungerar prototypen tillfredsställande men det finns förbättringspotential. Ett antal åtgärder skulle behöva vidtas för att ytterligare optimera resultatet. Åtgärderna innefattar såväl förbättringar av nuvarande konstruktion som förslag på kompletterande delar.

9.2.1 Återmatning

Uppradaren är konstruerad för att lampor som åker i bredd på transportbanden ska ramla av när vingarna vid sidan om transportbanden smalnar av; endast en lampa ska kunna ligga kvar och föras vidare mot kameran. Det gör att om många lampor åker genom *Uppradaren* kan många lampor ramla av och måste då omhändertas. I den slutgiltiga prototypen har lutande kanter byggts omkring avsmalningen för att lamporna som ramlar av ska saktas ner innan fallet. Under denna del behöver ett återmatningssystem byggas som automatiskt för lamporna till en tidigare del i flödet. En rekommendation är att först föra lamporna till ena sidan av *Uppradaren* för att sedan transportera samtliga lampor till det allra första transportbandet i flödet. Under *Uppradaren* kan en vinklad plåt fästas med en nedåtlutning riktad bakåt mot *Uppradarens* början. Nedanför den

plåten kan en annan plåt fästas vinklad nedåt vinkelrätt mot den första plåten. Båda dessa plåtar ska vara så breda att den längsta lampnan får plats. Den här konstruktionen gör att lampor förs till ena sidan av *Uppradaren*; sidan bestäms av det håll den andra plåten vinklas nedåt mot, se figur 9.1.



Figur 9.1: Övre delar av tänkt återmatning

Nedanför den understa plåten skapas en uppsamlingsplats där alla lampor förts. Där kan ett transportband ta vid som leder lamporna parallellt upp mot flödets början. För att lamporna inte ska glida av bandet nedåt bör det förses med flänsar utsatta med jämna mellanrum som fångar upp lamporna. För att endast behöva använda ett transportband kan bandet sluta strax ovanför det allra första transportbandets kant så att en nedåtvinklad plåt vinkelrätt mot transportbandet för lamporna till flödets början, som en kana.

9.2.2 Uppradaren

De transportband som utnyttjats vid bygget av den slutliga prototypen är 22 mm breda men bör, i enlighet med de tester som utförts, dimensioneras till 15 mm för att *Uppradaren* ska fungera optimalt. Nyttjas den optimala bredden minimeras risken för att två av de minsta lamporna får plats på banden bredvid varandra.

Längden på *Uppradaren* är inte den optimerade längden utan anpassades efter längden på tillgängliga transportband. För att optimera *Uppradarens* funktion när många lampor kommer samtidigt hade den behövt göras längre. Hade den varit längre hade lamporna bättre kunnat radas upp redan innan vingarna smalnar av och ett ännu bättre resultat hade kunnat uppnås.

9.2.3 Avfallshantering

Avfallsborttagaren i den slutgiltiga prototypen har ingen uppsamlingsplats för avfallet. I konstruktionen finns det utrymme i det trästativ som håller upp rörkonstruktionen där en behållare kan fästas. Den bör vara lätt att avlägsna när den ska tömmas. Det kan realiseras genom att behållaren fästs på skenor. I figur 9.2 visas det utrymme som skulle användas för att fästa skenorna och behållaren. Ytterligare ett komplement vore en sensor som larmade när avfallet stigit över en viss nivå.



Figur 9.2: Utrymme för behållare

Rören i konstruktionen tillverkades i plast. I en vidareutveckling skulle metallrör behöva användas för att ge lägre friktion mot lamporna och samtidigt medföra ökad livslängd för rören. Rörens tjocklek skulle behöva vara större så att de kan gängas där

skruvarna ska sitta. I prototypen fästes en mutter inuti röret för att stabilisera konstruktionen men med mycket vibration orsakat av ett ständigt lampflöde skulle det inte vara hållbart långsiktigt. Ställningen som håller rören skulle behöva vara gjord i kraftigare plåt.

9.2.4 Avsmalnaren

För att minimera lampornas rörelser i sidled hade halvröret behövt utformas med en mindre diameter. Det vore lämpligt att undersöka andra former som skulle kunna minimera rörelsen, såsom ett stort V. Aspekter som är viktiga att ta hänsyn till i utformningen är att lampor ej får kunna hamna på varandra, så att små lampor faller till botten samtidigt som stora kan ligga ovanpå dem. Det är även viktigt att lampor som inte är runda kan ta sig genom *Avsmalnaren*. Eventuellt så kan en minskning av diametern i röret vara en tillräcklig åtgärd.

9.3 Materialval

Innan en produkt är färdig att gå i produktion behöver en mängd beslut tas, bland andra gällande materialval. I arbetet med att ta fram matningssystemet har fokus legat på att tillverka en prototyp. Materialen som använts i tillverkningen av prototypen är stål, aluminium, PVC, plexiglas samt trä av varierande slag.

För att gå vidare till en produkt som är redo för produktion skulle somliga materialval behöva ändras, då de tillverkningsmässiga och kostnadsmissiga begränsningarna är förändrade.

Över lag så är de största kraven på materialen i produkten att de ska vara robusta och tåliga, samt hålla i många år då lampsorteraren förväntas ha en livslängd på tio år. Utöver detta lades fokus i valet av material på att materialen ska vara möjliga att återvinna och inte förbruka så mycket resurser vid tillverkning och återvinning. För att titta närmare på framtida materialval undersöktes de material som är möjliga att påverka, nämligen metallen som utgör större delen av konstruktionen samt polymeren som utgör själva transportbandet. Komponenter såsom motorer köps mest troligt in från andra företag och var därför inte lika relevanta att undersöka.

9.3.1 Metallkonstruktion

I konstruktionen bör metall användas snarare än trä för att få en tillräckligt god hållfasthet. Urvalet av metaller för konstruktionen gjordes från CES EduPac 2013 Level 3 Eco Design. I första steget sällades metallerna ut baserat på koldioxidutsläpp vid tillverkningen mot pris. Där såväl lågt pris som låga koldioxidutsläpp var önskvärt. Därefter jämfördes vattenförbrukning vid tillverkning samt utmattningsgränsen. Sedan jämfördes sträckgränsen metallerna emellan och huruvida de var möjliga att återvinna.

De tre metaller som klarade urvalskriterierna var tre varianter av låglegerat stål. Fullständigt resultat återfinns i appendix s. XXI.

9.3.2 Transportband

Urvalet av material till transportband gjordes bland polymerer. Först undersöktes huruvida de olika polymererna var möjliga att återvinna eller inte. Sedan jämfördes sträckgräns och pris. Efter det gjordes sällningar baserat på utmattningsgräns mot koldioxidutsläpp vid återvinning. Slutligen sattes gränser för driftstemperatur, brandfarlighet, resistens mot oljor samt känslighet mot UV-strålning.

De polymerer som återstod efter urvalet var tre varianter av PVC. Fullständigt resultat återfinns i appendix s. XXIV.

9.4 Tillverkningsmetod och konstruktion för montering och demontering

I projektet har samtliga detaljer som behövt tillverkas konstruerats för att så enkla tillverkningsmetoder som möjligt ska krävas. Plåt detaljerna tillverkades med metoderna bockning, borrar i pelarbormaskin, klippning i gradsax samt sågning i bandsåg. Detaljer som är inköpta består huvudsakligen av standardkomponenter såsom motorer, extruderade aluminiumprofiler, själva banden samt lager och fästen för lagren. Detta för att underlätta småskalig tillverkning. Tillverkningsmetoderna valdes utifrån de maskiner som fanns tillgängliga i Chalmers Prototyplaboratorium. En vidareutvecklad produkt skulle förbättras om tillverkningen skedde av professionella hantverkare, samt med maskiner som tillåter större precision och annorlunda konstruktion av de olika delarna. Framför allt bockmaskinen gav oprecisa resultat och i det fallet skulle pressning av plåten vara ett bättre alternativ.

Att ta hänsyn till montering och demontering är viktigt ur ett ekonomiskt och miljömässigt hållbart perspektiv. Snabb, enkel och effektiv montering bidrar till ökad lönsamhet och lägre kostnader vid tillverkning samt att en produkt som enkelt går att ta isär underlättar vid återvinning av produkten. [22]

För att underlätta montering och demontering finns några generella riktlinjer. Produkten bör ha så få ingående delar som möjligt, utan att funktionen kompromissas. Även mängden infästningar samt antalet olika varianter bör minimeras. Snäpplösningar är att föredra istället för skruvar i de fall det är möjligt, dock inte där höga krav ställs på hållfasthet. Överlag bör infästningar som möjliggör icke-destruktiv isärtagning användas. Limmade, svetsade samt nitade infästningar är alltså inget som förordas. [22]

Gällande själva monteringen bör de olika komponenterna vara enkla att greppa med en hand utan verktyg och ha dimensioner som tillåter detta och det bör vara enkelt att se och komma åt under monteringen. Det är även eftersträvansvärt med symmetrier hos detaljerna, då detta reducerar monterings tiden markant. Om en detalj inte kan vara symmetrisk är det desto viktigare att detta är tydligt för att minimera risken för felmontering. [4]

I nuläget finns problem vid montering och demontering, främst gällande *Uppradaren*. Det är svårt att se och komma åt skruvarna som sitter i hållarna, vissa går i nuläget inte att skriva åt med annat än fingrarna (se figur 9.3). Detta problem uppkom dels som

en konsekvens av konstruktionen, men även som en konsekvens av tillverkningsmässiga begränsningar. Detta är något som kräver vidare arbete innan lampsorteraren sätts i produktion. Samtliga delar är fästa med skruvar av olika slag. Detta är ett sämre alternativ än snäpplås ur ett monterings- och demonteringsperspektiv, men är bättre än lim- eller svetsfogar. Valet att använda skruvar kom av kraven på att lampsorteraren ska vara robust och hålla i många år, och då vägde hållfasthetskraven över kraven på enkel demontering. Hade det varit en produkt med kort livslängd hade prioriteringen sett annorlunda ut.



Figur 9.3: Hållare till Uppradaren

Tryckta källor

- [1] Arbetarskyddsstyrelsen. *Arbetsmiljö i kretsloppsanpassad hantering av restprodukter och avfall*. 1998.
- [3] M. Bohgard m. fl. *Arbete och teknik på människans villkor*. Stockholm: Prevent, 2011.
- [4] G. Boothroyd, P. Dewhurst och W. Knight. *Product design for manufacture and assembly*. New York: Elsevier, 2002.
- [10] H. Johannesson, J-G. Persson och D. Pettersson. *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm: Liber AB, 2004.
- [22] G. Seliger (Ed.) *Sustainability in Manufacturing, Recovery of Resources in Product and Material Cycles*. Berlin: Springer, 2007.

Webbkällor

- [2] BeltingOnline. <http://www.beltingonline.co.uk/>. Hämtad: 2014-05-17.
- [5] El-Kretsen. <http://www.el-kretsen.se/press/>. Hämtad: 2014-03-12.
- [6] Belysningsbranschen i samarbete med El-Kretsen. <http://lampinfo.se>. Hämtad: 2014-04-26.
- [7] ELFA. https://www.elfa.se/elfa3~se_en/elfa/init.do?item=54-223-40&toc=0&q=stepper+motor. Hämtad: 2014-05-17.
- [8] S. Garner och D. McDonagh-Philp. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1468-5949.00250/pdf>. Hämtad: 2014-05-27.
- [9] Habasit. <http://www.habasit.com/en/general-conveying-belts.htm>. Hämtad: 2014-05-17.
- [12] Nationalencyklopedin. *glödlampa*. <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/glodlampa>. Hämtad: 2014-04-26.
- [13] Nationalencyklopedin. *halogenlampa*. <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/sve/halogenlampa>. Hämtad: 2014-04-26.
- [14] Nationalencyklopedin. *lampa*. <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/lampa>. Hämtad: 2014-04-26.
- [15] Nationalencyklopedin. *lysdiod*. <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/lysdiod>. Hämtad: 2014-04-26.
- [16] Nationalencyklopedin. *lysrör*. <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/lysrör>. Hämtad: 2014-04-26.
- [17] Nationalencyklopedin. *lågenergilampa*. <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/lang/lagenergilampa>. Hämtad: 2014-04-26.
- [18] Naturvårdsverket. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/.../978-91-620-1280-9.pdf>. Hämtad: 2014-03-14.
- [19] Nordic Recycling. <http://www.nordicrecycling.se/nr/>. Hämtad: 2014-03-14.
- [20] Nordic Recycling. <http://www.nordicrecycling.se/nr/14-process>. Hämtad: 2014-04-27.
- [21] Refind. <http://www.refind.se/what-we-do/>. Hämtad: 2014-05-18.

Övriga källor

- [11] E. Jones. “Automated Sorting and Recycling of Waste Lamps ILLUMINATE”. Projektbeskrivning, Illuminateprojektet. Juni 2013.

Appendix

Kravspecifikation

| Kravspecifikation | | | | | |
|----------------------|-------------------|--|-----------|--|------------------|
| Område | Intressent | Kriterium | Kommentar | Krav/önskemål | Verifikation |
| Systemegenskaper | | | | | |
| | Refind | Vara kompatibel med Refinds kamera | | | Test av prototyp |
| | Illuminate | Vara kompatibel med lampbehållare | | Ca 400x200x300 mm | Test av prototyp |
| | Illuminate | Fungera i en återvinningsmiljö | | Smutsig miljö | |
| Mänsklig interaktion | | | | | |
| | Illuminate | Medge underhåll | | Enkel att ta loss delar och byta ut | DFA |
| | Projektgruppen | Vara lättillgänglig vid mänsklig interaktion | | För den 5:te percentilen kvinnor och 95:te percentilen män | Mått |
| | Projektgruppen | Vara lättillgänglig, hela produkten | | För den 5:te percentilen kvinnor och 95:te percentilen män | Mått |
| | Projektgruppen | Medge god usability | | | Test av prototyp |
| | Projektgruppen | Vara enkel att stänga av | | Slutföra cykeln innan avstängning | Test av prototyp |
| | Projektgruppen | Vara enkel att stänga av i nödsituation | | Bryta hela processen ögonblickligen | Test av prototyp |
| | Projektgruppen | Minimera åtkomst till rörliga delar under drift | | | Test av prototyp |
| | Refind | Medge överblick över sorteringsprocessen | | Möjligt att se om lampor fastnat i processen | |
| | Arbetsmiljöverket | Vidhålla låg bullernivå | | Max 80 dB | Decibelmått |
| Funktioner | | | | | |
| | Refind | Hantera smutsiga lampor | | | |
| | Projektgruppen | Förebygga ansamling av smuts i produkten | | | Test av prototyp |
| | Projektgruppen | Förebygga behov av oplanerat underhåll | | Så få driftstopp som möjligt | |
| | Refind | Sortera ut smuts och lampskärvar | | Innan identifiering vid kameran | Test av prototyp |
| | Refind | Möjliggöra upprättning av lampor | | | Mått |
| | Refind | Säkerställa att systemet fungerar korrekt | | Kontrollera att flödet är jämnt | |
| | Refind | Transportera lampor till kamera | | Liggandes med 1 lampor per sekund | Tidsmått |
| | Illuminate | Hantera lampor utan att de krossas | | Maximal fallhöjd på 250 mm | Test av prototyp |
| | Refind | Möjliggöra sortering av såväl kontinuerligt som icke-kontinuerligt flöde | | | Test av prototyp |
| | Refind | Distansera lampor | | Minst 20 mm mellan varje lampor | |
| Prestanda | | | | | |
| | Refind | Medge sorteringshastighet | | | |
| | Refind | Förväntad driftslängd | | En lampor per sekund | Tidsmått |
| Ekonomi | | | | | |
| | Refind | Minimera kostnad | | Produkten bör hålla låg kostnad relativt kameran | |
| Hållbar utveckling | | | | | |
| | Projektgruppen | Minimera ekologiskt fotavtryck vid tillverkning | | Minsta möjliga mängd CO2-utsläpp. Följa Naturliga Stegets hållbarhetsprinciper | |
| | Projektgruppen | Minimera ekologiskt fotavtryck vid drift | | Minsta möjliga mängd CO2-utsläpp. Följa Naturliga Stegets hållbarhetsprinciper | |
| | Projektgruppen | Medge enkel demontering för återvinning | | Följa riktlinjer för design för disassembly | |
| | Projektgruppen | Medge återvinning av ingående material | | Materialen ska kunna återanvändas | |
| Dimensioner | | | | | |
| | Refind | Hantera lampor av olika storlek | | Mellan 40x20 mm och 150x200 mm | Mått |
| | Refind | Minimera volym av konstruktion | | Sträva efter en så lite skrymmande produkt som möjligt | Mått |

Falltester

| | Typ | Höjd | Position | Med bottenlampa | Utan bottenlampa |
|---------------------|-----------------|--------|------------|-----------------|------------------|
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob upp | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 640 mm | Glob upp | OK | OK |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob upp | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 640 mm | Glob ner | OK | OK |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob ner | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 640 mm | Glob upp | OK | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob ner | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 640 mm | Glob ner | OK | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob sidan | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 640 mm | Glob upp | OK | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob sidan | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 640 mm | Glob ner | Glob sprack | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob upp | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 460 mm | Glob upp | OK | OK |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob upp | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 460 mm | Glob ner | OK | OK |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob ner | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 460 mm | Glob upp | OK | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob ner | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 460 mm | Glob ner | OK | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob sidan | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 460 mm | Glob upp | OK | |
| Bottenlampa | Glödlampa, std. | 0 mm | Glob sidan | OK | |
| Tappad lampa | Glödlampa, std. | 460 mm | Glob ner | OK | |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat ner | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 250 mm | Flat ner | OK | OK |

| | Typ | Höjd | Position | Med bottenlampa | Utan bottenlampa |
|---------------------|---------------|--------|------------|-----------------|------------------|
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat ner | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 250 mm | Flat upp | OK | OK |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat ner | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 250 mm | Flat sidan | OK | |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat sidan | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 250 mm | Flat ner | Skärva uppstod | |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat sidan | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 250 mm | Flat upp | OK | |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat ner | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 370 mm | Flat ner | OK | OK |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat ner | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 370 mm | Flat upp | OK | OK |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat ner | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 370 mm | Flat sidan | OK | |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat sidan | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 370 mm | Flat ner | Spräckt | |
| Bottenlampa | Halogen, std. | 0 mm | Flat sidan | Spricka | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 370 mm | Flat upp | OK | |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 460 mm | Flat upp | | OK |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 460 mm | Flat ner | | OK |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 640 mm | Flat upp | | Diod loss |
| Tappad lampa | Halogen, std. | 640 mm | Flat ner | | OK |

Rulltester

| Lampa | Vikt [g] | Vinkel [grader] | Kommentar |
|----------------------------------|----------|-----------------|---------------|
| Glödlampa, glob | 30 | 14,7 | |
| Glödlampa, liten | 6,5 | 15,2 | |
| Lågenergilampa | 63 | 1,2 | Glider |
| Lågenergilampa | 63 | 4,8 | Rullar |
| Halogenlampa, spot | 48 | 10,6 | Platt yta ned |
| Halogenlampa, spot | 48 | 15,7 | Liggande |
| Lågenergilampa, kronljus | 45 | 23,6 | Gilder |
| Lågenergilampa, kronljus | 45 | 2,9 | Rullar |
| Glödlampa, kronljus | 14 | 10 | Glider |
| Glödlampa, kronljus | 14 | 7,7 | Rullar |
| Glödlampa, cylinder | 25 | 9,1 | |
| Lågenergilampa, fyrkantig sockel | 50 | 15 | Glider |

Morfologisk matris

| Huvudprincip | Lampedukt | Pistol | Kulram | V-drop | V-rämma | Uppåtriktat transportband | Separationsport | Fällor |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|------------|
| Smal ström F | Borstflex Lampedukt Borstflex | Skakfällor & la ägg Pistol | Bågformade hinder Kulram | Transportbands- dropp V-drop | V-rämma | Uppåtriktat transportband | Separationsport | Fällor |
| Sortera bort bös G | Transportband och hål Borstflex | Pistolbös Pistol | Luftsug ovanifrån Kulram | Luftsug från sida V-drop | Fullar | Inbyggd/Krävs ej | | |
| En & en (Pistolen) H | Mjuka borst Mjukborst | Sensorer & portar Pistolbös | Portar som flexar Kulram | Band uppåt V-drop | Hastighetskillnad Fullar | Inbyggd/Krävs ej | | |
| Sammanfoga band J | Bandstopp Borstflex | Hastighet Pistol | Portar Kulram | Trattslopp V-drop | Trathastighet Fullar | Inbyggd/Krävs ej | Lampeduktmerge | Borstmerge |
| Distansera lampor I | Bortputt med sensorer Lampedukt | Hastigheter Pistol | Dubbelport Kulram | Band uppåt V-drop | Väderkvarn Fullar | | | |

Morfologisk matris, huvudprinciper
 Samtliga cirklar i en och samma färg motsvarar en totallösning

Pugh-matriser

Kulram

| Chalmers | | Pughmatris (Relativ beslutsmatris): Kulram | | | | |
|--|----------|---|----|-----|--------------------|--------|
| Utfärdare: Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | | | | Skapad: 2014-03-05 | |
| Kriterier | Viktning | Alternativ | | | | |
| | | Ref K1 | K2 | K3 | Sum K2 | Sum K3 |
| Be compatible with Optisort camera | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Be compatible with lamp container | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Function in recycling environment | 5 | 0 | -1 | -1 | -5 | -5 |
| Be easy to maintain | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easily accessible when in need of human interaction | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easily accessible, whole machine | 3 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Maintain good usability | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down for emergency | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle dirty lamps | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Prevent accumulation of dirt | 4 | 0 | -1 | -2 | -4 | -8 |
| Sort out broken lamps. | 2 | 0 | -1 | 0 | -2 | 0 |
| Be able to line up lamps, flow | 5 | 0 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| Ensure system works correctly, lying down one per second | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Transport lamps to camera. | 5 | 0 | 1 | 1 | 5 | 5 |
| Handle lamps without them being crushed. | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be able to handle continous lamp streams as well as batchwise. | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Velocity | 5 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| Expected life span | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize cost | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize enviromental footprint | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps of different sizes | 5 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| Minimize volume of total construction | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Nettovärde | | 0 | 14 | -8 | | |
| Rangordning | | 2 | 1 | 3 | | |
| Vidareutveckling | | JA | JA | NEJ | | |

Lampedukt

| Chalmers | | Pughmatrix (Relativ beslutsmatrix): Lampedukt | | | | |
|--|----------|--|-----|----|--------------------|-------|
| Utfördare: Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | | | | Skapad: 2014-03-05 | |
| Kriterier | Viktning | Alternativ | | | | |
| | | Ref L1 | L2 | L3 | SumL2 | SumL2 |
| Be compatible with Optisort camera | 5 | 0 | -1 | 2 | -5 | 10 |
| Be compatible with lamp container | 5 | 0 | -1 | -1 | -5 | -5 |
| Function in recycling environment | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Be easy to maintain | 4 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 |
| Be easily accessible when in need of human interaction | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Be easily accessible, whole machine | 3 | 0 | 0 | -1 | 0 | -3 |
| Maintain good usability | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down for emergency | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle dirty lamps | 5 | 0 | -1 | 1 | -5 | 5 |
| Prevent accumulation of dirt | 4 | 0 | -2 | 0 | -8 | 0 |
| Sort out broken lamps. | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be able to line up lamps. | 5 | 0 | -1 | 1 | -5 | 5 |
| Ensure system works correctly | 5 | 0 | -2 | -1 | -10 | -5 |
| Transport lamps to camera. | 5 | 0 | -1 | 1 | -5 | 5 |
| Handle lamps without them being crushed. | 5 | 0 | -1 | -1 | -5 | -5 |
| Be able to handle continous lamp streams as well as batchwise. | 5 | 0 | -2 | 0 | -10 | 0 |
| Velocity | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Expected life span | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Minimize cost | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Minimize enviromental footprint | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps of different sizes | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Minimize volume of total construction | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nettovärde | | 0 | -52 | 9 | | |
| Rangordning | | 2 | 3 | 1 | | |
| Vidareutveckling | | JA | NEJ | JA | | |

Pistolen

| Chalmers | | Pughmatris (Relativ beslutsmatris): Pistol | | | | |
|--|---------|---|-----|--------------------|--------|--------|
| Utfördare: Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | | | Skapad: 2014-03-05 | | |
| Kriterier | Vikning | Alternativ | | | | |
| | | Ref P1 | P2 | P3 | Sum P2 | Sum P3 |
| Be compatible with Optisort camera | 5 | 0 | 1 | 1 | 5 | 5 |
| Be compatible with lamp container | 5 | 0 | -1 | 0 | -5 | 0 |
| Function in recycling environment | 5 | 0 | -2 | 0 | -10 | 0 |
| Be easy to maintain | 4 | 0 | -1 | 1 | -4 | 4 |
| Be easily accessible when in need of human interaction | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easily accessible, whole machine | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maintain good usability | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down for emergency | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle dirty lamps | 5 | 0 | -1 | 0 | -5 | 0 |
| Prevent accumulation of dirt | 4 | 0 | -1 | 1 | -4 | 4 |
| Sort out broken lamps. | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be able to line up lamps with distancing. | 5 | 0 | -1 | -1 | -5 | -5 |
| Ensure system works correctly | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Transport lamps to camera, lying down, 1/sec | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps without them being crushed. | 5 | 0 | -2 | 0 | -10 | 0 |
| Be able to handle continous lamp streams as well as batchwise. | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Velocity | 5 | 0 | -1 | 0 | -5 | 0 |
| Expected life span | 5 | 0 | -1 | 0 | -5 | 0 |
| Minimize cost | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize enviromental footprint | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps of different sizes | 5 | 0 | -1 | -1 | -5 | -5 |
| Minimize volume of total construction | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nettovärde | | 0 | -53 | -2 | | |
| Rangordning | | 1 | 2 | 2 | | |
| Vidareutveckling | | JA | NEJ | JA | | |

V-drop

| Chalmers | | Pughmatris (Relativ beslutsmatris): V-drop | | | | |
|--|----------|---|----|--------------------|--------|--------|
| Utfördare: Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | | | Skapad: 2014-03-05 | | |
| Kriterier | Viktring | Alternativ | | | | |
| | | Ref V1 | V2 | V3 | Sum V2 | Sum V3 |
| Be compatible with Optisort camera | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Be compatible with lamp container | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Function in recycling environment | 5 | 0 | 1 | -1 | 5 | -5 |
| Be easy to maintain | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easily accessible when in need of human interaction | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easily accessible, whole machine | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maintain good usability | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down for emergency | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle dirty lamps | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Prevent accumulation of dirt | 4 | 0 | 1 | -1 | 4 | -4 |
| Sort out broken lamps. | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be able to line up lamps, distance | 5 | 0 | -1 | -1 | -5 | -5 |
| Ensure system works correctly, flow | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Transport lamps to camera, 1 per second | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| Handle lamps without them being crushed. | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be able to handle continous lamp streams as well as batchwise. | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Velocity | 5 | 0 | 0 | -1 | 0 | -5 |
| Expected life span | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize cost | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize enviromental footprint | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps of different sizes | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Minimize volume of total construction | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nettovärde | | 0 | 4 | -19 | | |
| Rangordning | | 2 | 1 | 3 | | |
| Vidareutveckling | | JA | JA | NEJ | | |

Sammanställning

| | | | | | | |
|---------------|-------------------|------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | Smal ström | Bös | Huvudprincip | En och en | Sammanfoga | Distansera |
| Ref: L | Borstflex | - | Lampedukt | - | Bandstopp | Hastigheter |
| P | Borst/Båg | - | Pistol | Hastighet | Bandstopp | Hastigheter |
| K | Borstflex | Pistolbos | Kulram | - | - | Hastigheter |
| V | Rullbandsdropp | - | V-drop | - | Bandstopp | Hastigheter |

| Chalmers | | Pughmatris (Relativ beslutsmatris): | | | | | | |
|--|----------|-------------------------------------|----|----|--------------------|-------|-------|-------|
| Utfördare: Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | | | | Skapad: 2014-03-05 | | | |
| Kriterier | Viktning | Alternativ | | | | | | |
| | | Ref: L | P | K | V | Sum P | Sum K | Sum V |
| Be compatible with Optisort camera | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be compatible with lamp container | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Function in recycling environment | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to maintain | 4 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -4 | 0 |
| Be easily accessible when in need of human interaction | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easily accessible, whole machine | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Maintain good usability | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Be easy to shut down for emergency | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle dirty lamps | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Prevent accumulation of dirt | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sort out broken lamps. | 2 | 0 | -1 | -1 | 0 | -2 | -2 | 0 |
| Be able to line up lamps., distance | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ensure system works correctly, flow | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| Transport lamps to camera., 1 lamp/sec | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps without them being crushed. | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 5 | 0 |
| Be able to handle continous lamp streams as well as batchwise. | 5 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -5 |
| Velocity | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Expected life span | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize cost | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize enviromental footprint | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handle lamps of different sizes | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minimize volume of total construction | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Nettovärde | | 0 | 13 | 4 | 0 | | | |
| Rangordning | | 3 | 1 | 2 | 3 | | | |
| Vidareutveckling | | NEJ | JA | JA | JA | | | |

Slutkoncept

| Chalmers | | Pughmatris (Relativ beslutsmatris): | | | | |
|-----------------------------------|----------|---|-------------------|---------------------|--------------------|--------|
| | | Avfallsborttagning | | | | |
| Utfärdare: | | Josephine Eriksson och Johanna Turesson | | | Skapad: 2014-04-14 | |
| Kriterier | Viktning | Alternativ | | | | |
| | | Ref Avfallspistolen | Vertikala stänger | Horisontella rullar | L-brackets | Galler |
| Effektivitet (uppfyller funktion) | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| Krossrisk | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Risk för stopp | 5 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Kompatibilitet | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kostnad | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Smutsansamlingsrisk | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Krav på underhåll | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Nettovärde | | 0 | 28 | 11 | 23 | 11 |
| Rangordning | | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| Vidareutveckling | | | JA | NEJ | NEJ | NEJ |

Avfallsborttagning

| Chalmers | | Pughmatris (Relativ beslutsmatris): | | | | |
|-----------------------------------|----------|---|---------|--------------|--------------------|----------------------|
| | | Smal ström av lampor | | | | |
| Utfärdare: | | Josephine Eriksson och Johanna Turesson | | | Skapad: 2014-04-14 | |
| Kriterier | Viktning | Alternativ | | | | |
| | | Ref Hinder | Flärpar | Friktionsyta | Halvrör | Halvrör m olika ytor |
| Effektivitet (uppfyller funktion) | 5 | 0 | -1 | -2 | 0 | 0 |
| Krossrisk | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Risk för lampansamling | 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Kompatibilitet | 4 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| Kostnad | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Krav på underhåll | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| Nettovärde | | 0 | 9 | 11 | 21 | 7 |
| Rangordning | | 5 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| Vidareutveckling | | | NEJ | NEJ | JA | NEJ |

Smal ström av lampor

FMEA

| Kund | Refind AB | | Utförd av och deltagare | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | Detailnamn | AI-lampsorteraren | | | Rekommenderade åtgärder | |
|--------|--------------------------------|---|---|--|---|---|-------------------|---------------------|--------|-------------------------|---|
| | Projektleddare | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | Datum | 2014-04-09 | | | Uppföljningsdatum | Nuvarande tillstånd | | | |
| Ord-nr | Komponent/operation/huvudsyfte | Funktion | Felkarakteristik | | Felorsak | Kontroll | Fel-s | Aliv | Uppt-s | Risktal | |
| | | | Felmöjlighet | Feleffekt | | | | | | | |
| 1 | Huvudprincipen, smalt rullband | Föra lampor till sista steget uppräddade utan att ha sönder dem | Lampor har inte radats upp ordentligt | Två lampor hamnar under kameran och kan ej sorteras till rätt fraktion | Lampor som är mindre än den minsta tillåtna storleken har smitt med | Riktigt små lampor bör sorteras ut med "waste". Eventuell försörtering. | 5 | 5 | 1 | 25 | Försörtering |
| | | | | Mindre lampor ligger ovanpå en annan lampa, ex en CFL | Mindre lampor ligger ovanpå en annan lampa, ex en CFL | | 3 | 5 | 1 | 15 | Införa något slutande parti |
| | | | Lampor passerar ej genom huvudprincipen | Otillräckligt utflöde | Aterföringen av lampor som ramlat av fungerar ej och en hög har byggts upp som gör att lampor ej kan ramlas av och blockerar istället | | | | | | Införa kontroll att återföringen fungerar, annars lämna/bryta systemet. |
| | | | | | En lampa blockerar förbiart av lampor till kameran | För stora lampor bör sorteras ut i en försörtering. | 3 | 6 | 1 | 18 | Införa kontroll av utflödet från huvudprincipen. Lämna om flödet minskar. |

FMEA del 1

| Kund | Refind AB | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | A-lampsorteraren | | Rekommenderade åtgärder |
|--------|---|---|---|-------|--|-------------------|---------------------|---|-------------------------|
| | Projektleddare | Operativ/huvudsyfte | Funktion | Datum | Utförd av och deltagare | Uppföljningsdatum | Uppföljningsdatum | Uppföljningsdatum | |
| Ord-nr | Komponent/operation/huvudsyfte | | Funktions | | Felkarakteristik | | Nuvarande tillstånd | | Risktal |
| | Fejmöjlighet | Feleffekt | Felorsak | Fel-s | Aliv | Uppt-s | Risktal | | |
| | | Otillåtet föremål eller för stor lampor har åkt in i systemet | Otillåtet föremål eller för stor lampor har åkt in i systemet | 5 | 6 | 1 | 30 | Försörtering | |
| | För få lampor passerar genom huvudprincipen | Otillräckligt utflöde till kameran | För många lampor ramlar av | 10 | 5 | 1 | 50 | Dimensionera huvudprincip för att lampor inte ska falla av i oönskade fall. | |
| | | | Infloppet är för litet | ? | | | | Inför spridning av lampor innan huvudprincip. | |
| | Transportbandet går sönder | Flödet bryts | En trasig lampor har fastnat med den vassa delen mot bandet | 2 | 7 | 2 | 28 | Inför kontroll att återbringen fungerar, annars larma/byta systemet. | |

FMEA del 2

| Kund | Refind AB | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | AI-lampsorteraren | | Rekommenderade åtgärder | | | |
|--------|--------------------------------|---------------------|--|--|--|--|--|---|-------------------------|---------|---------|----|
| | Projektleddare | Operativ/huvudsyfte | Funktion | Utförd av och deltagare | Datum | Uppföljningsdatum | Detailjnamn | Uppföljningsdatum | | | | |
| Ord-nr | Komponent/operation/huvudsyfte | | Funktion | Uppförd av och deltagare | Datum | Uppföljningsdatum | Detailjnamn | Uppföljningsdatum | Rekommenderade åtgärder | | | |
| | Felkarakteristik | | Felkarakteristik | Felorsak | Felorsak | Kontroll | Nuvarande tillstånd | Fel-s | Aliv | Upppt-s | Risktal | |
| | | | | | | | Ollilåtet vasst föremål har äkt in i systemet | Ollilåtet vasst föremål bör sorteras ut i en försortering | 2 | 7 | 2 | 28 |
| | | | Lampor kan ej identifieras under kameran | Lampor som ramlar av huvudprincipen krossas i fallet | Många lampor ramlar så att återföringen går för långsamt och lampor ramlar på varandra | Lampor som ramlar av huvudprincipen krossas i fallet | | | 6 | 2 | 1 | 12 |
| | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | | | | | | Flaskhals bildas och trycket blir så stort att lampor går sönder | | 2 | 3 | 1 | 6 |

| Kund | Refind AB | | Utförd av och deltagare | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Detailjnamn | | Al-lampsorteraren | | Rekommenderade åtgärder | |
|--------|----------------|--------------------------------|-------------------------|--|--|--|--|---------------------|-------------------|------|-------------------------|---------|
| | Projektleddare | Komponent/operation/huvudsyfte | Datum | Funktion | Felkarakteristik | Felorsak | Kontroll | Uppföljningsdatum | Fel-s | Aliv | Uppt-s | Risktal |
| Ord-nr | | | Felmöjlighet | Fel | Felorsak | Felorsak | Kontroll | Nuvarande tillstånd | Fel-s | Aliv | Uppt-s | Risktal |
| | | | | Kvicksilver sprids | Lampor som ramlar av huvudprincipen krossas i fallet | Lampor som ramlar av huvudprincipen krossas i fallet | | | 10 | 9 | 7 | 630 |
| | | | | | Många lampor ramlar så att återföringen går för långsamt och lampor ramlar på varandra och de går sönder | Många lampor ramlar så att återföringen går för långsamt och lampor ramlar på varandra och de går sönder | | | 3 | 9 | 3 | 81 |
| | | | | | Flaskhals bildas och trycket blir så stort att lampor går sönder | Flaskhals bildas och trycket blir så stort att lampor går sönder | | | 2 | 9 | 1 | 18 |
| | | | | Skärvara förstör mekaniken eller ett transportband | En trasig lampa har fastnat med den vassa delen mot bandet eller skärvar har kllat fast någonstans | En trasig lampa har fastnat med den vassa delen mot bandet eller skärvar har kllat fast någonstans | Inbyggt "waste-removal" finns inman huvudprincipen | | 2 | 5 | 2 | 20 |

| Kund | Refind AB | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Uttörd av och deltagare | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Detailnamn | | Al-lampsorteraren | | |
|--------|---|---|---|---|---|------------------|---|----------|---------------------|------|-------------------|-------------------------|---|
| | Projektleddare | Komponent/operation/huvudsyfte | Datum | Funktion | Datum | Felkaraktäristik | Felorsak | Kontroll | Nuvarande tillstånd | | | Rekommenderade åtgärder | |
| Ord-nr | | | Felmöjlighet | Feleffekt | Felorsak | | | | Fel-s | Allv | Uppt-s | Risktal | |
| 2 | Snabbt transportband som för lampor under kameran | Ta emot lampor från huvudprincipen och med hjälp av högre hastighet distansiera dem, sedan föra dem under kameran | Distansering sker ej | Lampor förs under kameran med för små avstånd mellan sig, kan ej urskiljas av kameran | Transportbandet har samma hastighet som det i huvudprincipen | | | | 2 | 7 | 1 | 14 | Säkerställ hastighetsskillad. |
| | | | | | Ytan på bandet har nöts och fått lägre friktion vilket gör att lamporna rullar runt | | | | 1 | 7 | 2 | 14 | Säkerställ att underhåll sker i tid. |
| | | | Tillräckligt många lampor tas ej under kameran | Otillräckligt flöde | Transportbandet står still | | | | 2 | 8 | 1 | 16 | Sätt in sensorer som kollar att hastigheten är inom ett visst spann. Signalera om det blir för stora variationer. |

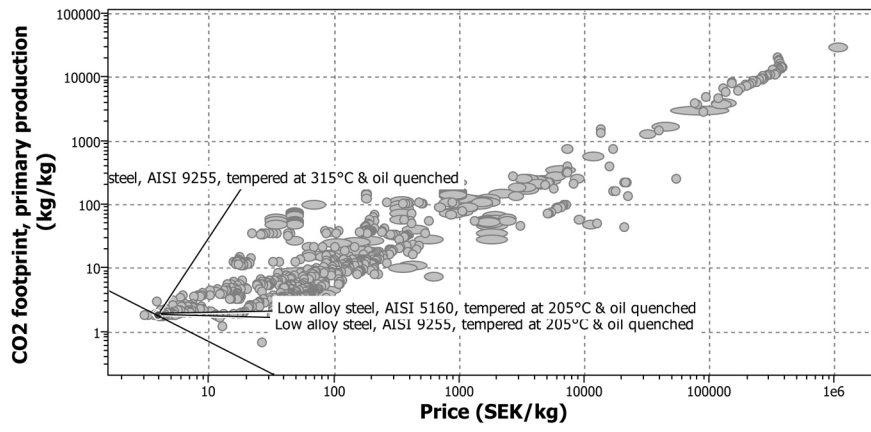
| Kund | Refind AB | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | A-lampsorteraren | | | | |
|--------|--|-------------------------|--|---|--|--|-------------------------|---------|---|----|---|
| | Projektleddare | Utförd av och deltagare | Datum | 2014-04-09 | Uppföljningsdatum | Detailjnamn | Nuvarande tillstånd | | | | |
| Ord-nr | Komponent/ operation/ huvudsyfte | Funktion | Felkaraktäristik | | Felorsak | | Rekommenderade åtgärder | | | | |
| | | | Felmöjlighet | Feleffekt | Fel-s | Aliv | Uppt-s | Risktal | | | |
| | | | | | Transportbandet har för låg hastighet | Transportbandet har för låg hastighet | 3 | 5 | 1 | 15 | Sätt in sensorer som kollar att hastigheten är inom ett visst spann. Signalera om det blir för stora variationer. |
| | | | | | | Inflödet är för litet | 5 | 6 | 1 | 30 | Sätt in sensorer som kontrollerar inflödet. Om det inte kommer några lampor på en viss tid, signalera. |
| | | | Transportbandet går sönder | Lampor kan ej föras under kameran | Något vasst har skurit sönder bandet/någon del av bandet | Något vasst har skurit sönder bandet/någon del av bandet | 2 | 7 | 1 | 14 | Välj material på transportband noggrant. |
| | | | | Lampor som kommer från huvudprincipen har ingenstans att ta vägen | Något vasst har skurit sönder bandet/någon del av bandet | Något vasst har skurit sönder bandet/någon del av bandet | 2 | 7 | 1 | 14 | Välj material på transportband noggrant. |

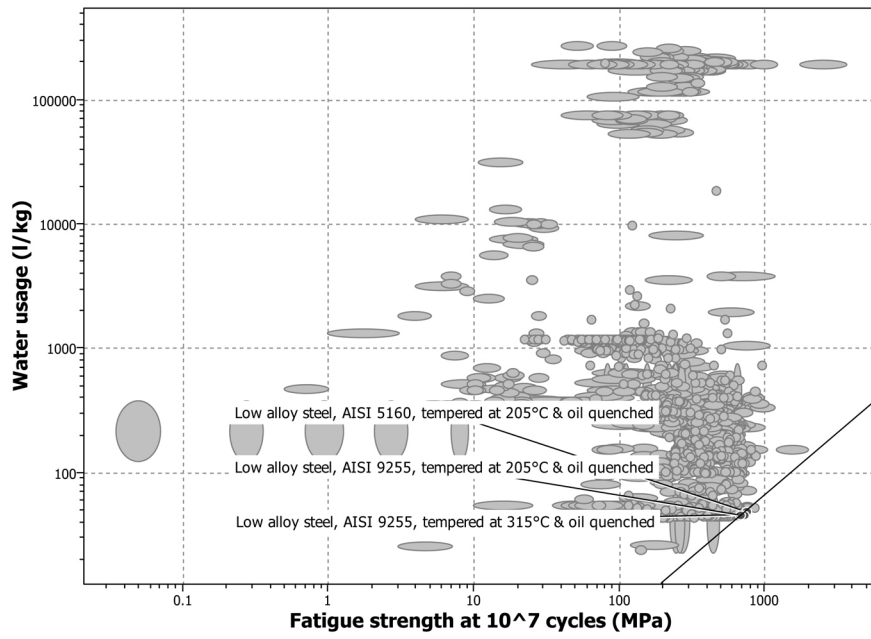
| Kund | Refind AB | | Utförd av och deltagare | | Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | Detailnamn | Al-lampsorteraren | Rekommenderade åtgärder | | | | |
|--------|---|---|--|---------------------|--|------------|---------------------|-------------------------|----------|-----------|---|-------|
| | Projektleddare | Komponent/operation/huvudsyfte | Datum | Funktion | | | | Felkaraktistik | Felorsak | Feleffekt | Felmöjlighet | Fel-s |
| Ord-nr | | | | | Felkaraktistik | | Nuvarande tillstånd | | | | | |
| | | | | | | | Kontroll | Fel-s | Aliv | Uppt-s | Risktal | |
| 3 | Hinder som ska ge ett minskat lampflöde | Den första principen i totallösningen som genom att låta lampor åka på ett rullband försett med hinder bidrar till en utspridning av lamporna | Tillräckligt många lampor tas ej under kameran | Otillräckligt flöde | Lampor fastnar på hinder | | 5 | 2 | 1 | 10 | Välj material och utformning av hinder väl. Testa utförligt. | |
| | | | | | Något kilar fast under ett hinder och blockerar lamporna | | 5 | 4 | 1 | 20 | Välj utformning av hinder väl. Testa utförligt. | |
| | | | | | Transportbandet rör sig ej i önskvärd hastighet | | 5 | 4 | 1 | 20 | Sätt in sensorer som kollar att hastigheten är inom ett visst spann. Signalera om det blir för stora variationer. | |

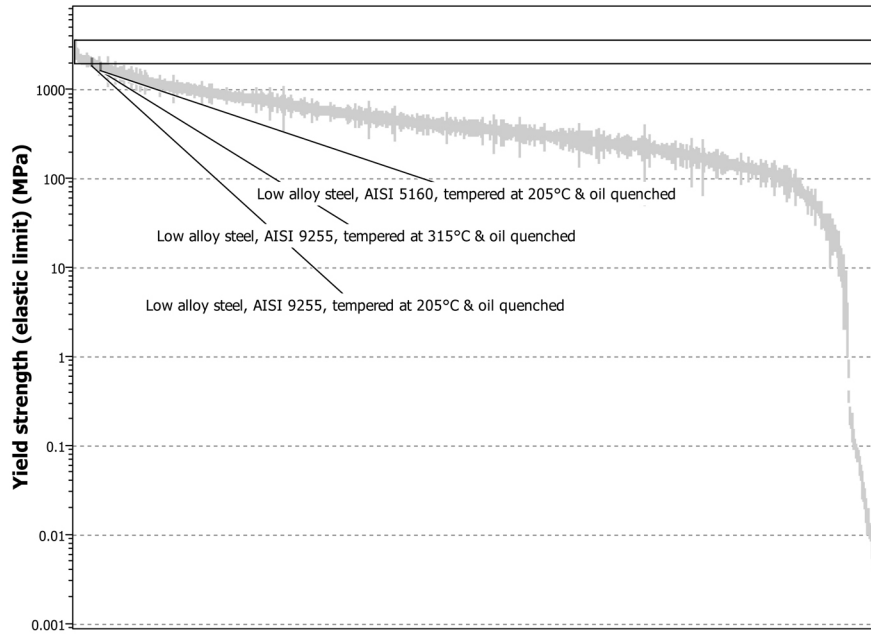
FMEA del 7

| Kund | Refind AB | | Erik Bemérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Erik Bemérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson | | Detailnamn | Al-lampsorteraren | | | | |
|--------|----------------------|--|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------|-------------------|--------|-------------------------|---------|---|
| | Projektleddare | Operativ/huvudsyfte | Funktion | Datum | Utförd av och deltagare | Uppföljningsdatum | | | | | | |
| Ord-nr | Komponent/huvudsyfte | | Funktions | | Felkarakteristik | | Nuvarande tillstånd | | | Rekommenderade åtgärder | | |
| | | | Felmöjlighet | Feleffekt | Felorsak | Kontroll | Fel-s | Aliv | Uppt-s | | Risktal | |
| | | | Transportbandet går sönder | Lampor kan ej föras under kameran | Något vasst har skurit sönder bandet/någon del av bandet | Lampor kan ej föras under kameran | | 2 | 7 | 1 | 14 | Väli material på transportband noggrant. |
| 4 | Avfallsborttagning | Ett hinder blockerar lampor och släpper förbi avfallet | Transportbandet går sönder | Lampor kan ej föras under kameran | Lampor eller något vasst föremål kllas fast under pistolens hålrum och skär sönder bandet | Lampor kan ej föras under kameran | | 2 | 7 | 1 | 14 | Testa dimensionen av hålrummet. |
| | | | Lampor förs inte åt sidan | Lampor kan ej föras under kameran | Felaktig utformning av hinder | Lampor kan ej föras under kameran | | 2 | 7 | 1 | 14 | Väli rätt vinklar och material. Testa utförigt. |

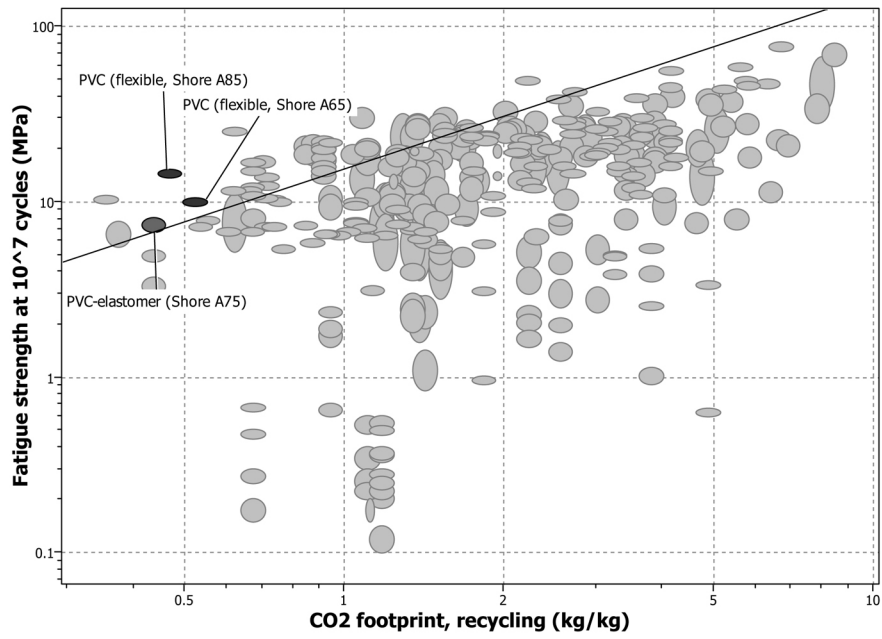
Materialval metall

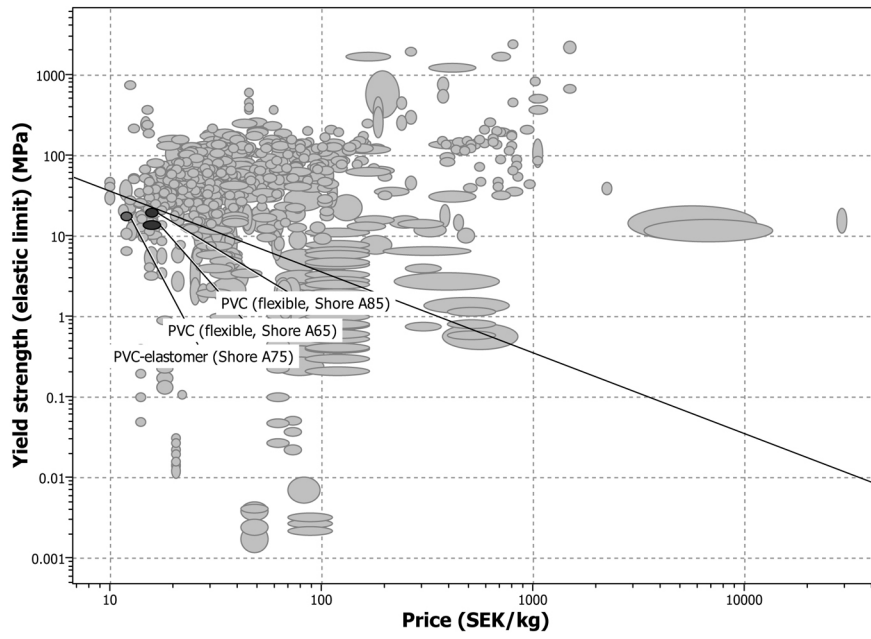






Materialval polymer





Click on the headings to show/hide selection criteria

- General properties**
- Composition overview**
- Composition detail (polymers and natural materials)**
- Bio-data**
- Foam & honeycomb properties**
- Mechanical properties**
- Impact properties**
- Thermal properties**

| | Minimum | Maximum | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|
| Melting point | <input type="text"/> | <input type="text"/> | °C |
| Glass temperature | <input type="text"/> | <input type="text"/> | °C |
| Heat deflection temperature 0.45MPa | <input type="text"/> | <input type="text"/> | °C |
| Heat deflection temperature 1.8MPa | <input type="text"/> | <input type="text"/> | °C |
| Maximum service temperature | <input type="text" value="50"/> | <input type="text"/> | °C |
| Minimum service temperature | <input type="text"/> | <input type="text" value="-10"/> | °C |
| Thermal conductivity | <input type="text"/> | <input type="text"/> | W/m.°C |
| Specific heat capacity | <input type="text"/> | <input type="text"/> | J/kg.°C |
| Thermal expansion coefficient | <input type="text"/> | <input type="text"/> | µstrain/°C |
| Vicat softening point | <input type="text"/> | <input type="text"/> | °C |

- Processing properties**
- Electrical properties**
- Optical properties**
- Absorption, permeability**
- Durability: flammability**

Flammability Slow-burning

- Durability: fluids and sunlight**

Water (fresh)
 Water (salt)
 Weak acids
 Strong acids
 Weak alkalis
 Strong alkalis
 Organic solvents
 Oils and fuels Limited use
 UV radiation (sunlight) Fair

- Geo-economic data for principal component**

Stycklista

| Komponent | Beskrivning | Ritning # | Antal | Material | Mått [mm] | Vikt [g] | Tillverkningsmetod | Standard- eller specialtillverkad komponent |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|----------------|------------|----------|---|---|
| Huvudprincip | | | | | | | | |
| Transportband | | - | 2,00 | Se [18] | | | Beställningsvara | Standard |
| Motor | | - | 2,00 | Se [7] | | | Beställningsvara | Standard |
| Kuggghjul | | - | 2,00 | | | | Beställningsvara | Standard |
| Kuggrem | | - | 2,00 | | | | Beställningsvara | Standard |
| Fästplatta | För motor | - | 2,00 | Stål | 150x91x4 | 848,88 | Beställningsvara | Special |
| "Vingar" | | 1 & 5 | 2,00 | Stål | | 1 834,39 | Gradsax, bandsåg, pelarborr, bockmaskin | Special |
| Avkaningsyta | | 10 | 2,00 | Aluminium | | 375,65 | Bandsåg, bockmaskin | Special |
| Infästning i transportbandet | Sitter i profil | - | 30,00 | | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Skruv | M4 | - | 30,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | |
| Fästplatta | För att få ihop banden | 3 | 6,00 | Stål | 150x30x1,5 | 106,49 | Gradsax, pelarborr, bockmaskin | Special |
| Fästvinkel, mindre | | 4 | 3,00 | Stål | 80x30x1,5 | 28,21 | Gradsax, pelarborr, bockmaskin | Special |
| Fästvinkel, större | | 2 | 3,00 | Stål | 110x30x1,5 | 39,14 | Gradsax, pelarborr, bockmaskin | Special |
| Skruv, M5 | Sammanfogar fästplatta och fästvinkel | - | 24,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |

Stycklista del 1

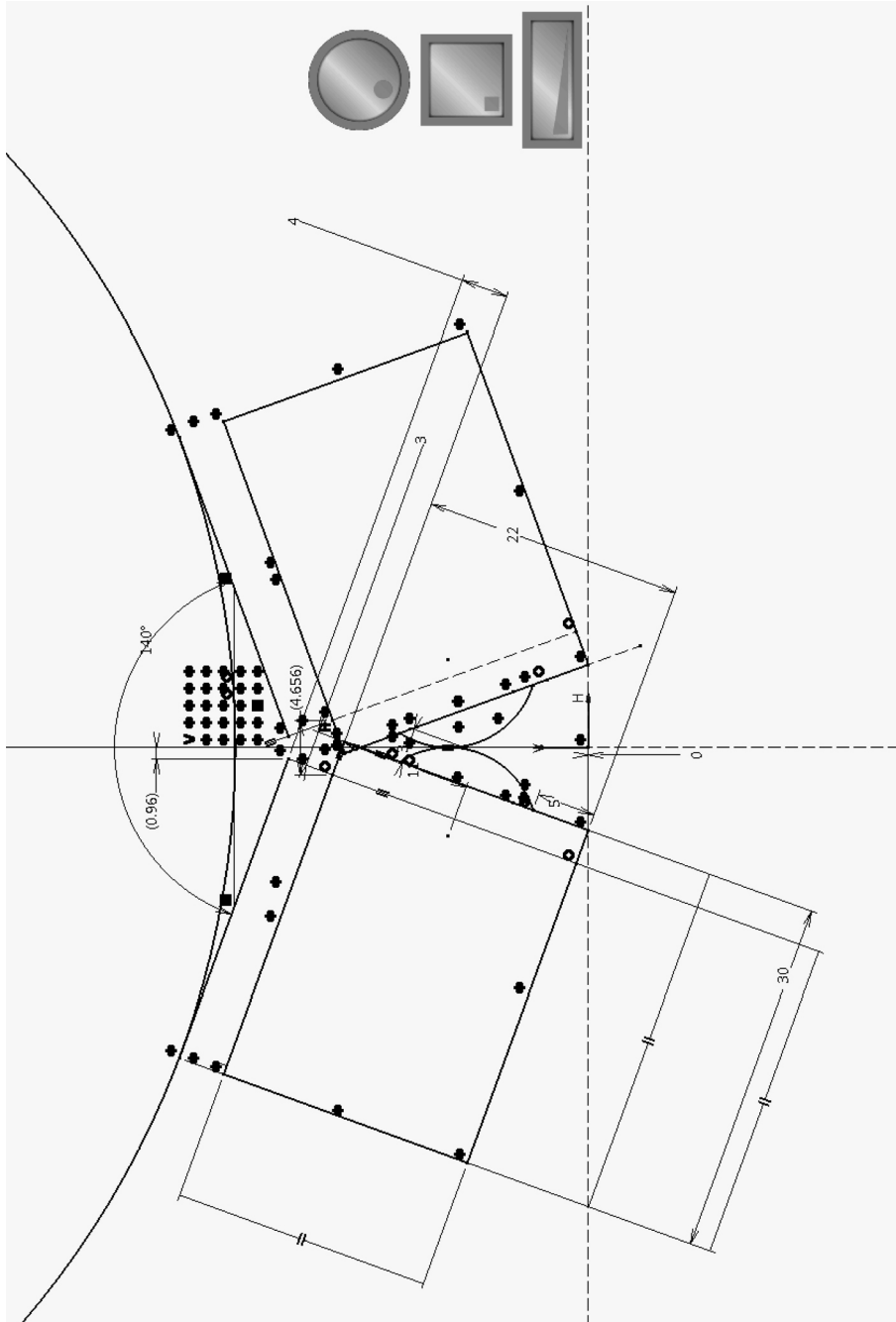
| Komponent | Beskrivning | Ritning # | Antal | Material | Mått [mm] | Vikt [g] | Tillverkningsmetod | Standard- eller specialtillverkad komponent |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|------------------|-------------|----------|---------------------------------|---|
| Mutter | Sammanfogar fästplatta och fästvinkel | - | 24,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Profil, horisontell | | - | 1,00 | Aluminium | 682x5x5 | 0,00 | Extrudering | Standard |
| Profil, stativ | | - | 2,00 | Aluminium | 74x5x5 | 0,00 | Extrudering | Standard |
| Infästning mellan profilhörn | | - | 8,00 | | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Infästning i profil | | - | 11,00 | | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Skruv | M6 | - | 11,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Sida | | 11 | 4,00 | Plexiglas (PMMA) | 300x200x2 | 576,00 | Pelarborr | Standard |
| Bottenplatta | Håller upp ben | - | 2,00 | Plywood | 400x400x17 | 0,00 | | |
| Avfallsborttagning | | | | | | 0,00 | | |
| Rör | | - | 8,00 | PVC | 400x16x16 | 284,25 | Beställningsvara | Standard |
| Rör | | - | 2,00 | PVC | 375x16x16 | 66,62 | Beställningsvara | Standard |
| Ställning | Pipeholder | 13 | 2,00 | Aluminium | | 92,54 | Bandsåg, pelarborr, bockmaskin. | Special |
| Skruv, M5 | | - | 20,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Mutter | | - | 50,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Regel | Håller fast ställning | - | 2,00 | Plywood | 265x72x17 | 324,36 | | Special |
| Bottenplatta | | - | 2,00 | Furu | 1000x200x20 | 8 160,00 | | |

Stycklista del 2

| Komponent | Beskrivning | Ritning # | Antal | Material | Mått [mm] | Vikt [g] | Tillverkningsmetod | Standard- eller specialtillverkad komponent |
|-----------------------------|--|-----------|-------|----------------|-------------|----------|----------------------------|---|
| Ställning | | - | 1,00 | MDF | | 0,00 | | Special |
| Skruv till ställning | | - | 8,00 | Rostfritt stål | | 0,00 | | Standard |
| Minskat flöde | | | | | | 0,00 | | |
| Platta | Halvcylinder | 17 | 1,00 | Aluminium | 700x695x0,5 | 656,62 | | Special |
| Stöd, lägst | "Stöd 2" | 16 | 1,00 | Plywood | | 582,64 | | Special |
| Stöd, mellerst | "Stöd 1" | 15 | 1,00 | Plywood | | 958,34 | | Special |
| Stöd, högst | "Stöd 3" | 14 | 1,00 | Plywood | | 1 322,77 | | Special |
| Skruv | | - | | Rostfritt stål | | 0,00 | Beställningsvara | |
| Ställning | Sammanfogar avfallsborttagning och minskat flöde | - | | | | 0,00 | | |
| Mottagning av lampor | | | | | | 0,00 | | |
| Transportband | ENP, Tillverkningsnr 15434 (2013) | - | 1,00 | Se [9] | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Kant | Plåtsida till transportband | 6 | 2,00 | Stål | | 6 395,27 | Bandsåg, borming, bockning | Special |
| Stativhållare | Tillverkare Easy Conveyors | - | 4,00 | PA | | 0,00 | Beställningsvara | Standard |
| Profil | | - | 4,00 | Aluminium | 113x5x5 | 0,00 | Extrudering | Standard |

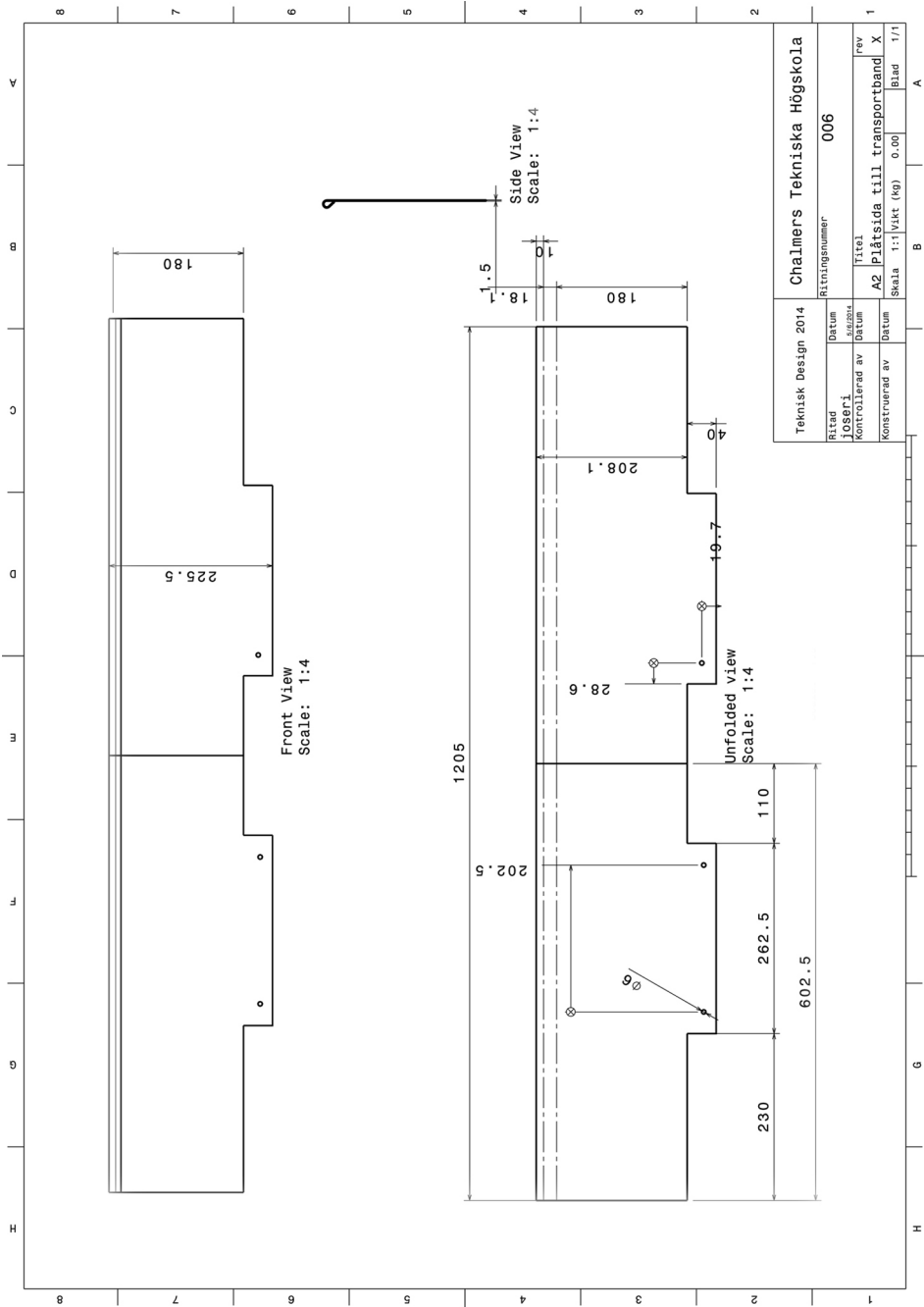
Stycklista del 3

Optimering

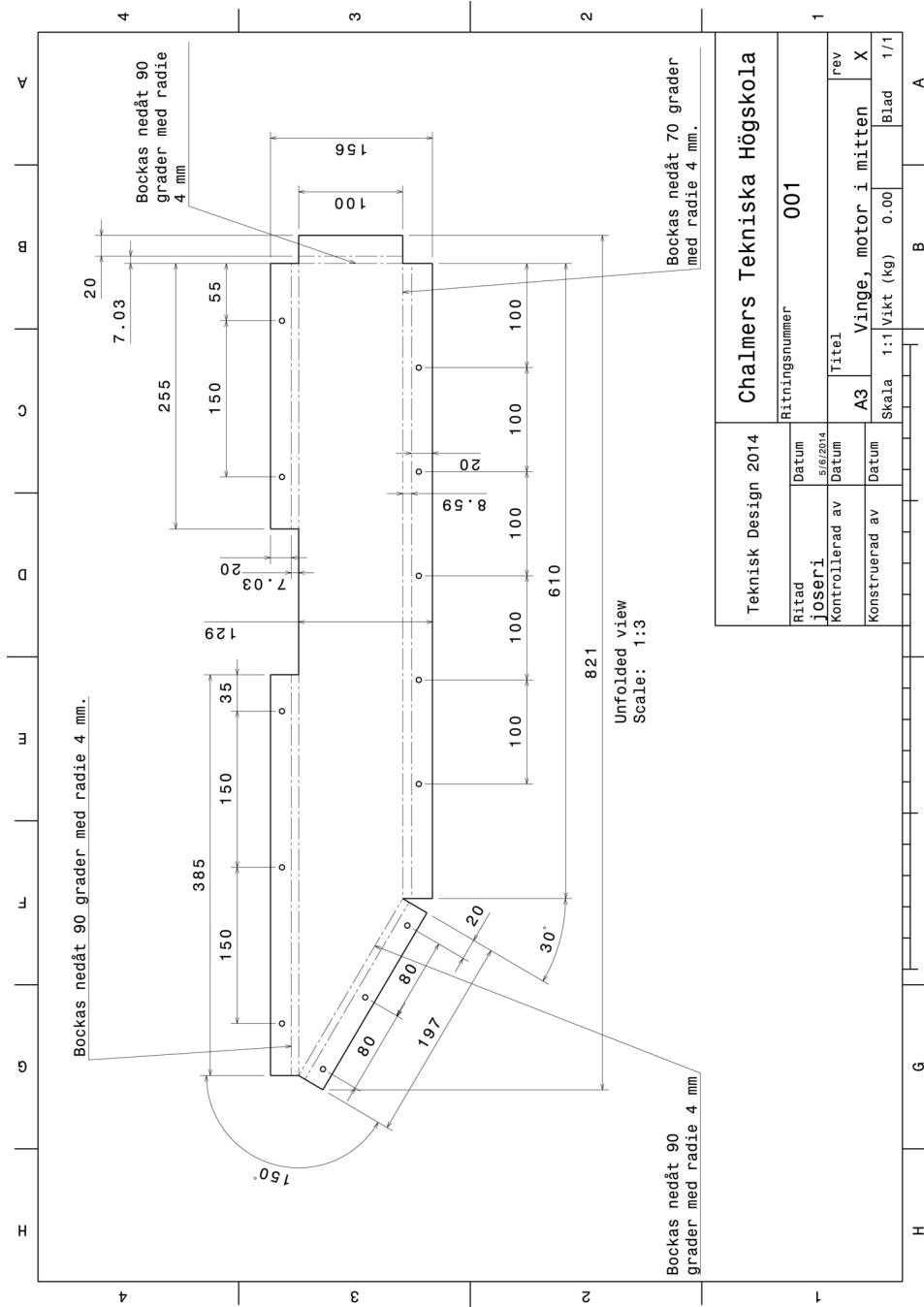


Ritningar

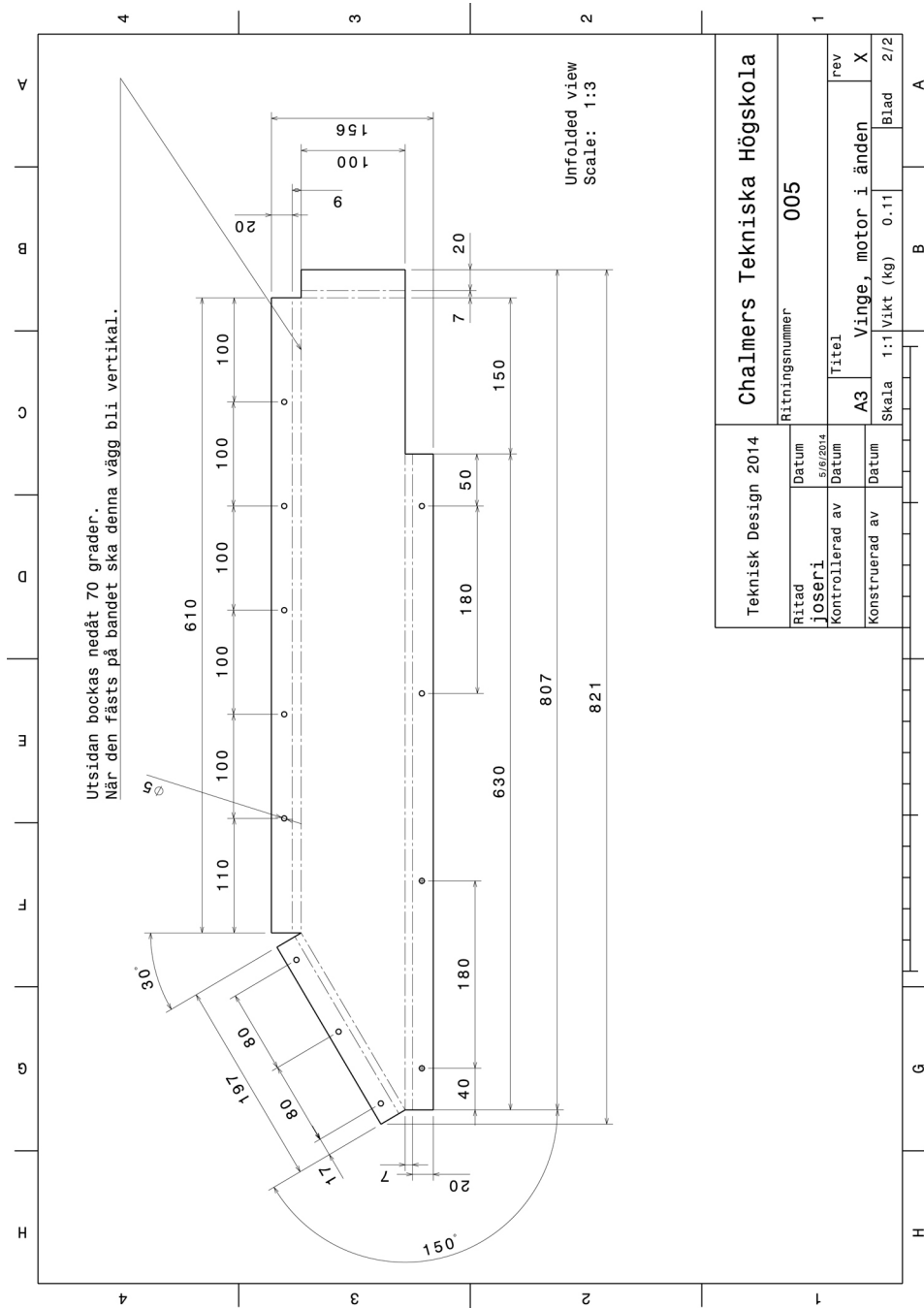
Sidor, 200 mm transportband



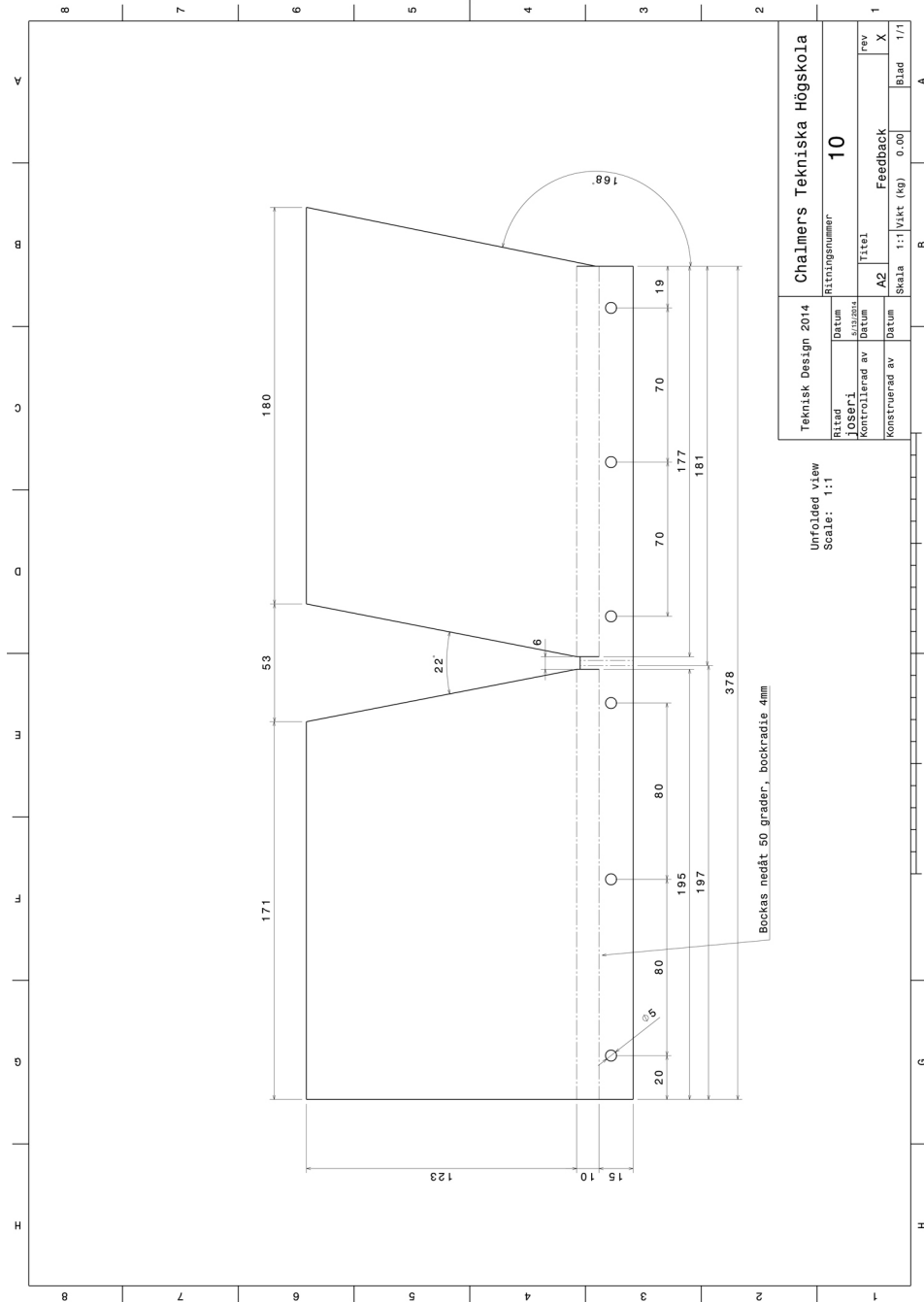
Vingar, huvudprincip



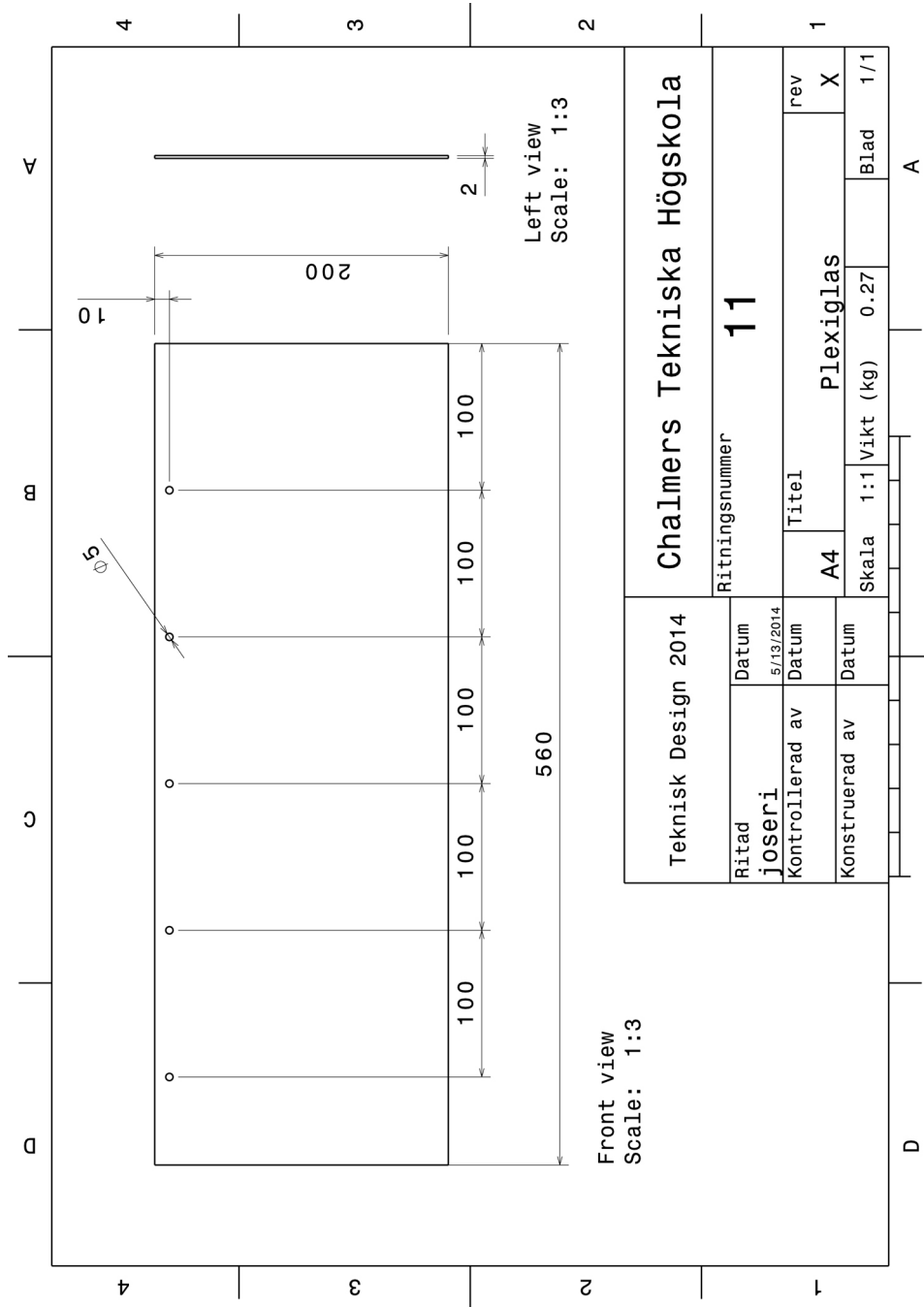
| | | | |
|---------------------|----------|----------------------------|------|
| Teknisk Design 2014 | | Chalmers Tekniska Högskola | |
| Ritad | Datum | Ritningsnummer | 001 |
| JOSEFI | 6/6/2014 | | |
| Kontrollerad av | Datum | Titel | rev |
| | | A3 Vinge, motor i mitten | X |
| Konstruerad av | Datum | Skala | Blad |
| | | 1:1 Vikt (kg) | 1/1 |
| | | 0.00 | |



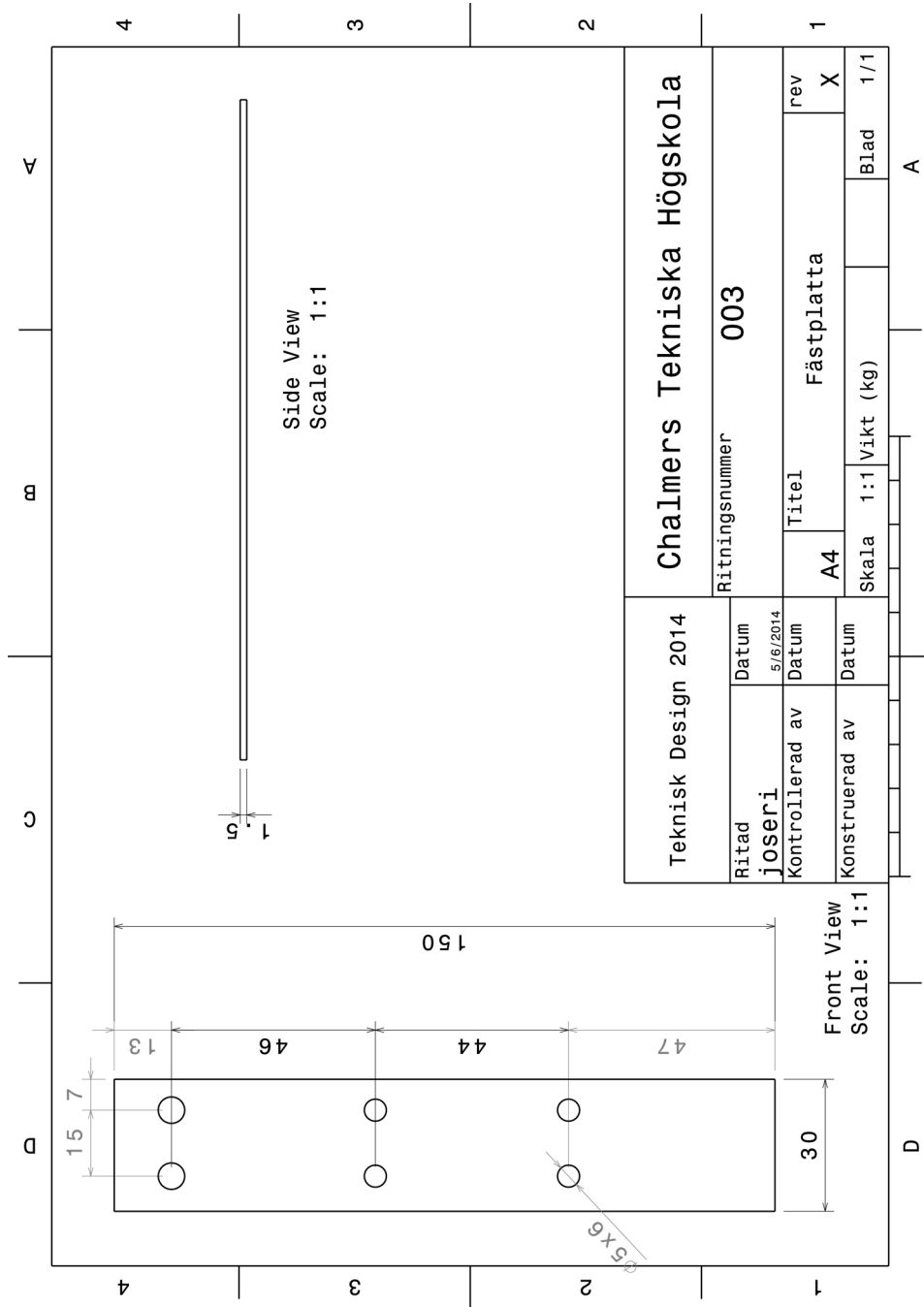
Avkaningsyta

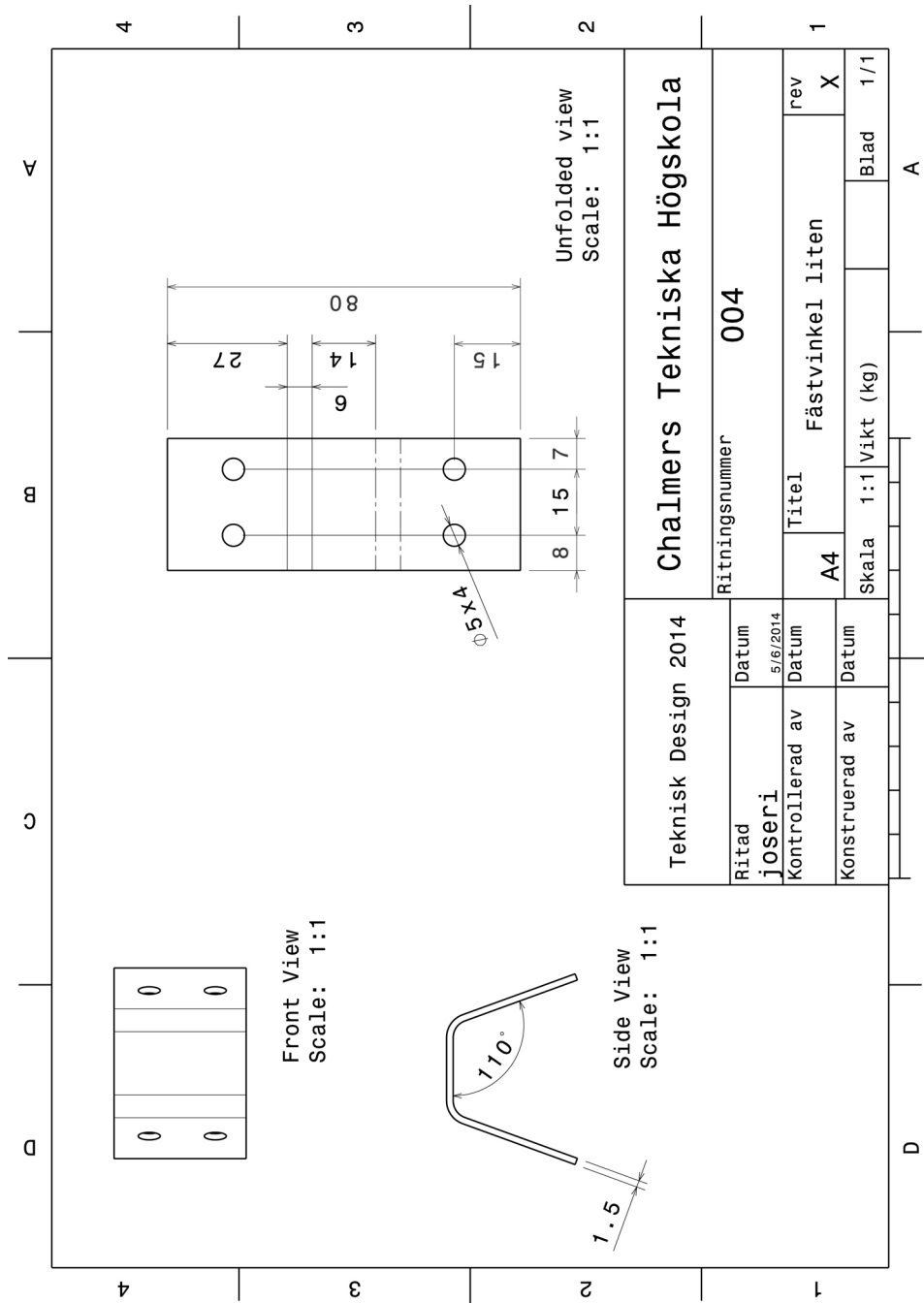


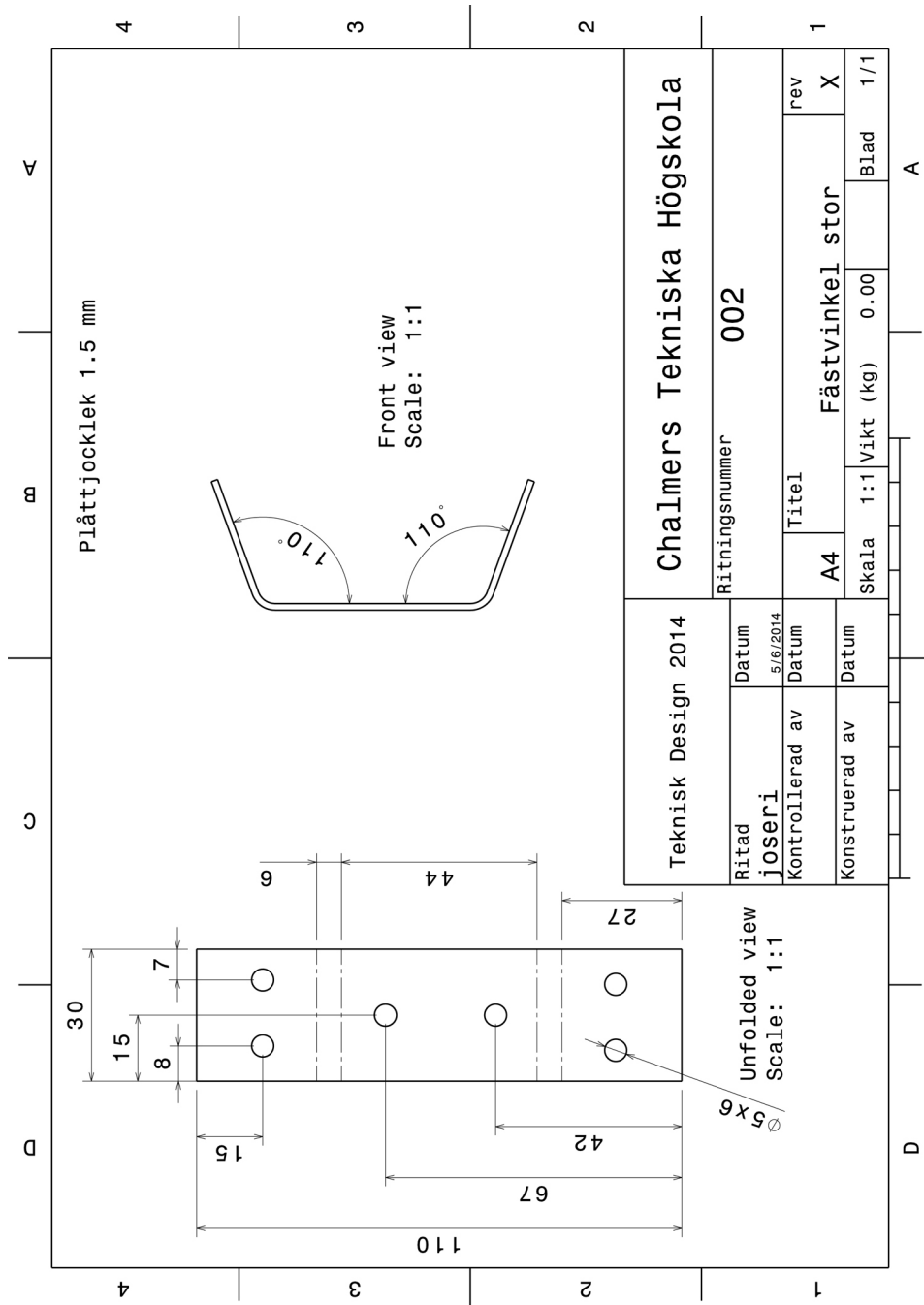
Väggar, huvudprincip



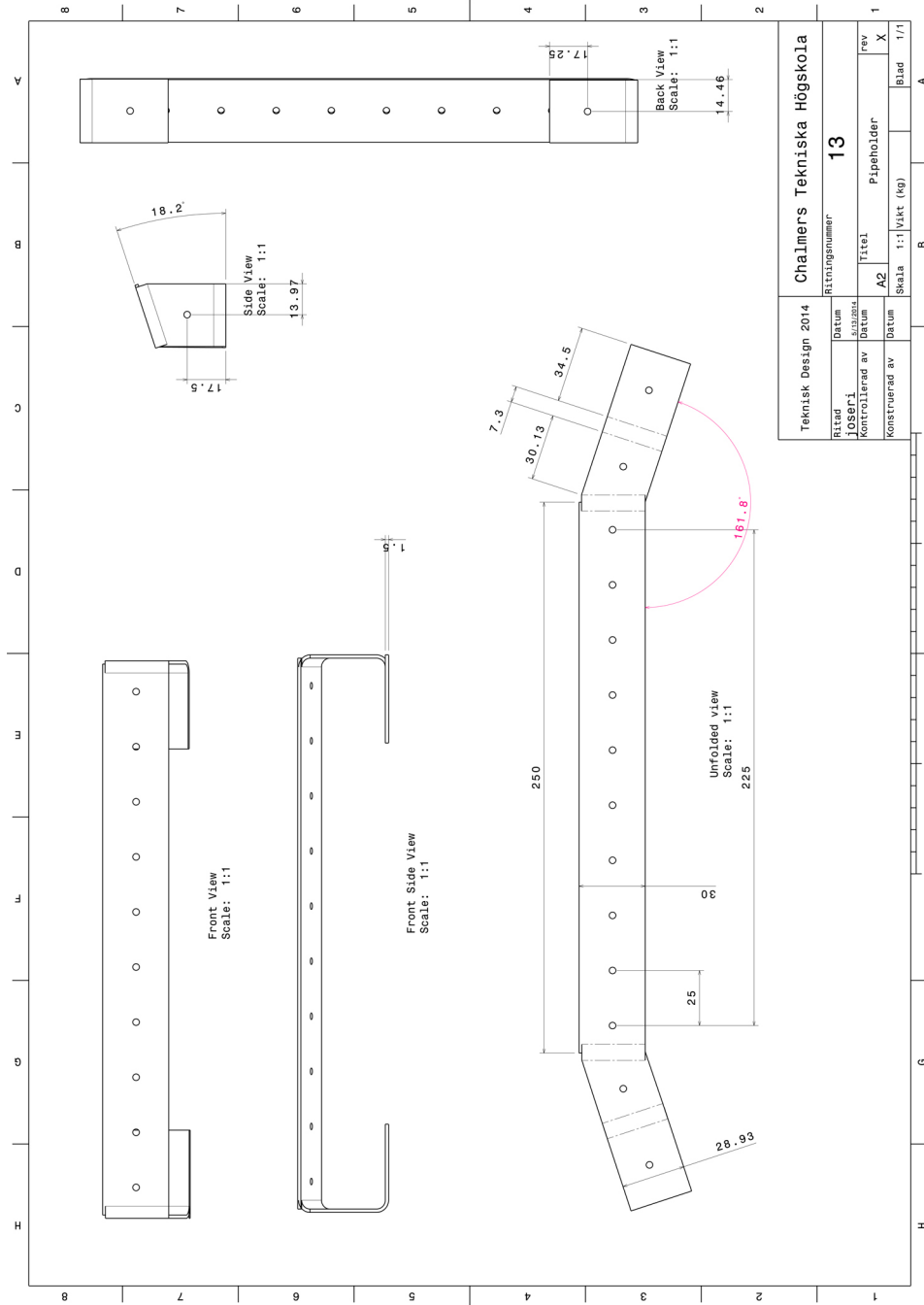
Fästplattor och vinklar



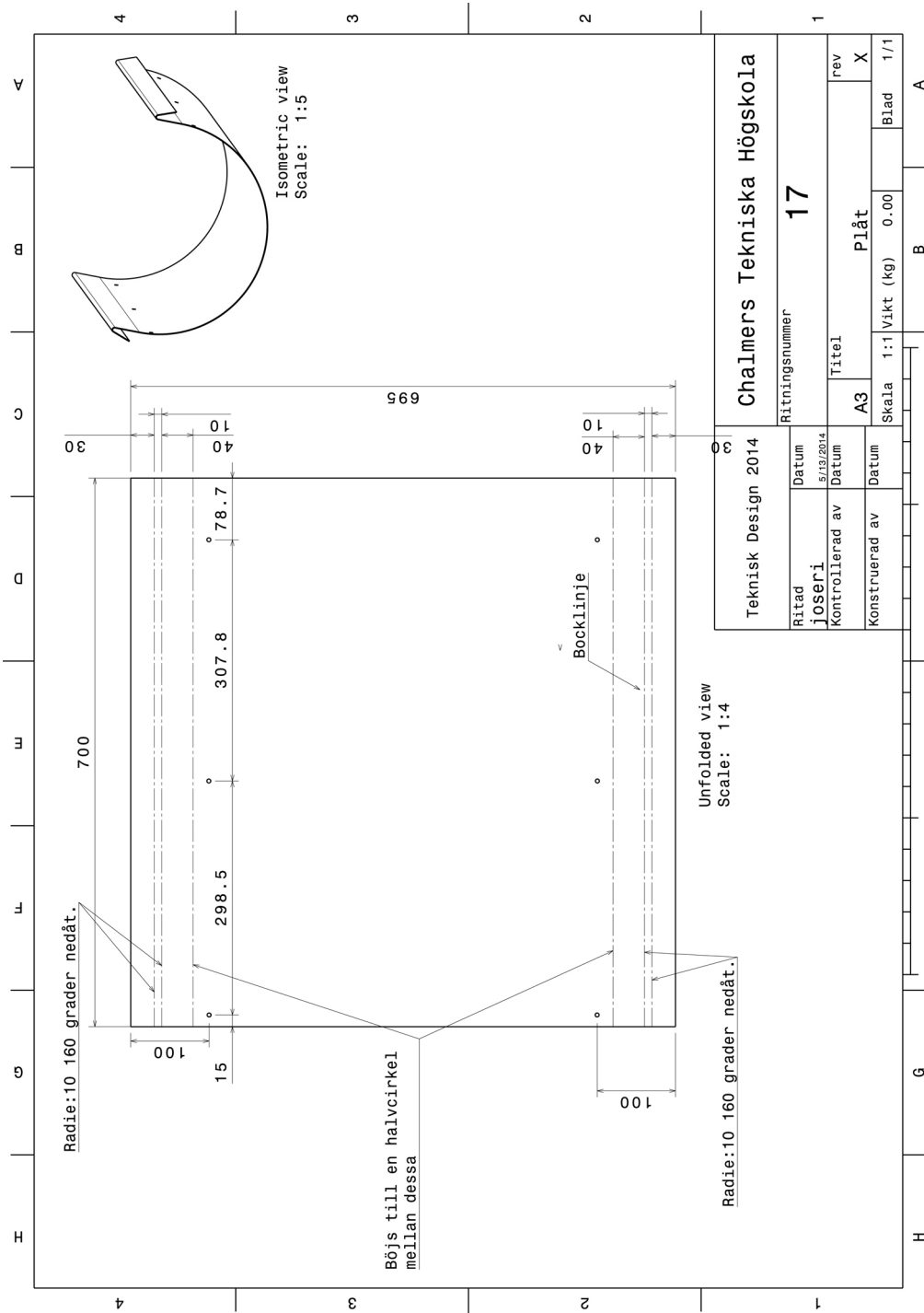




Ställning, avfallsborttagning

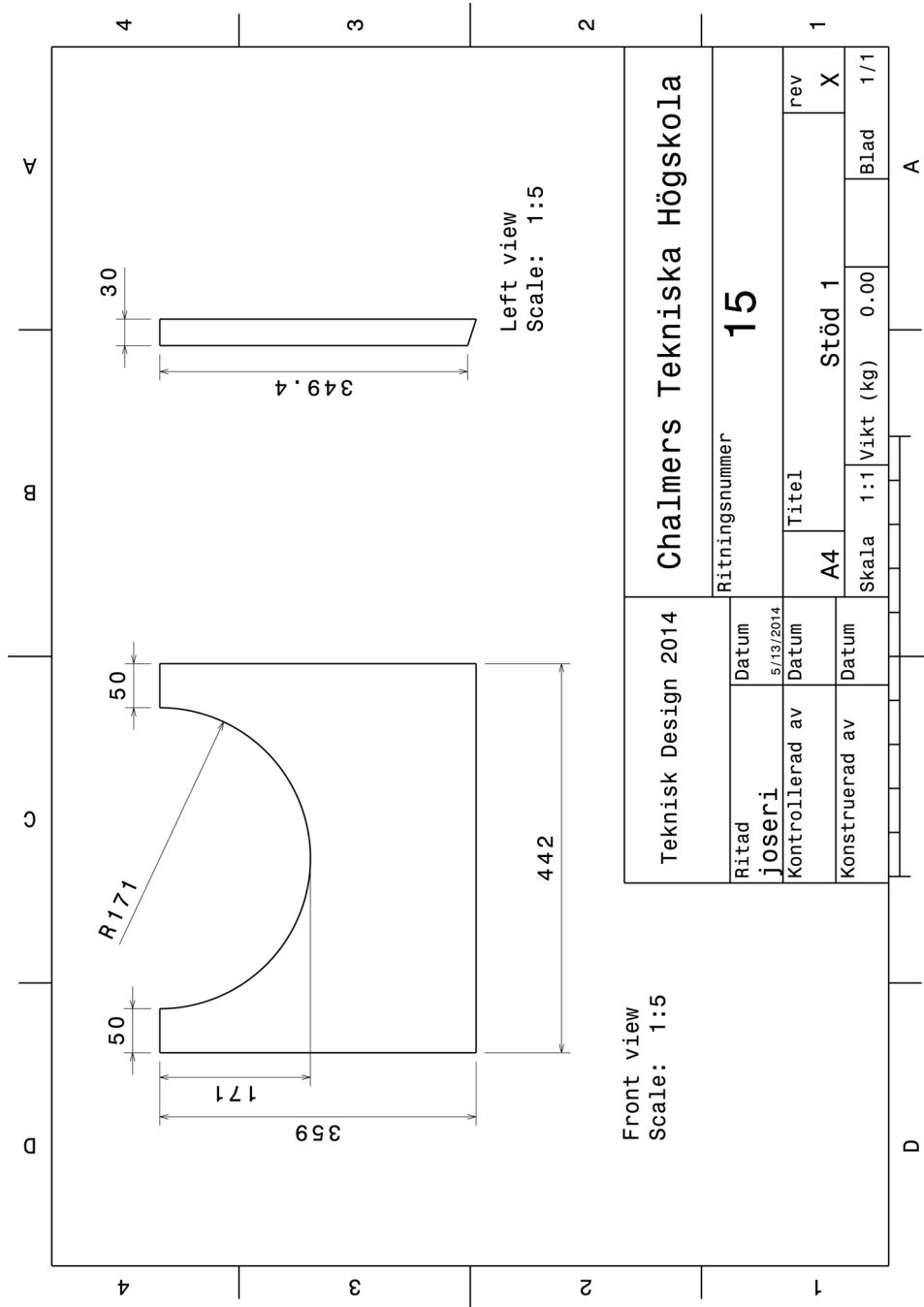


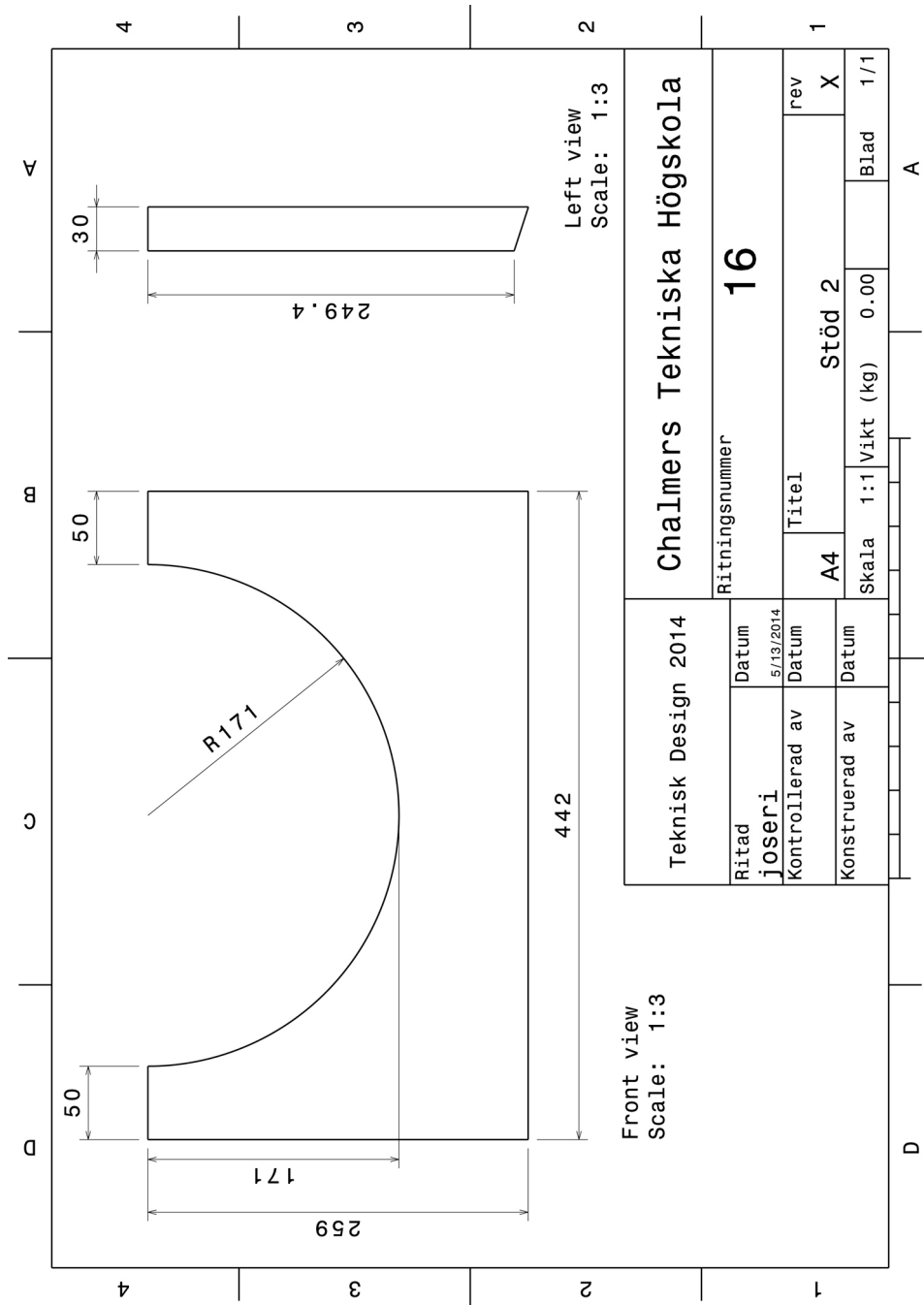
Cylindrisk plåt, avsmalningsprincip

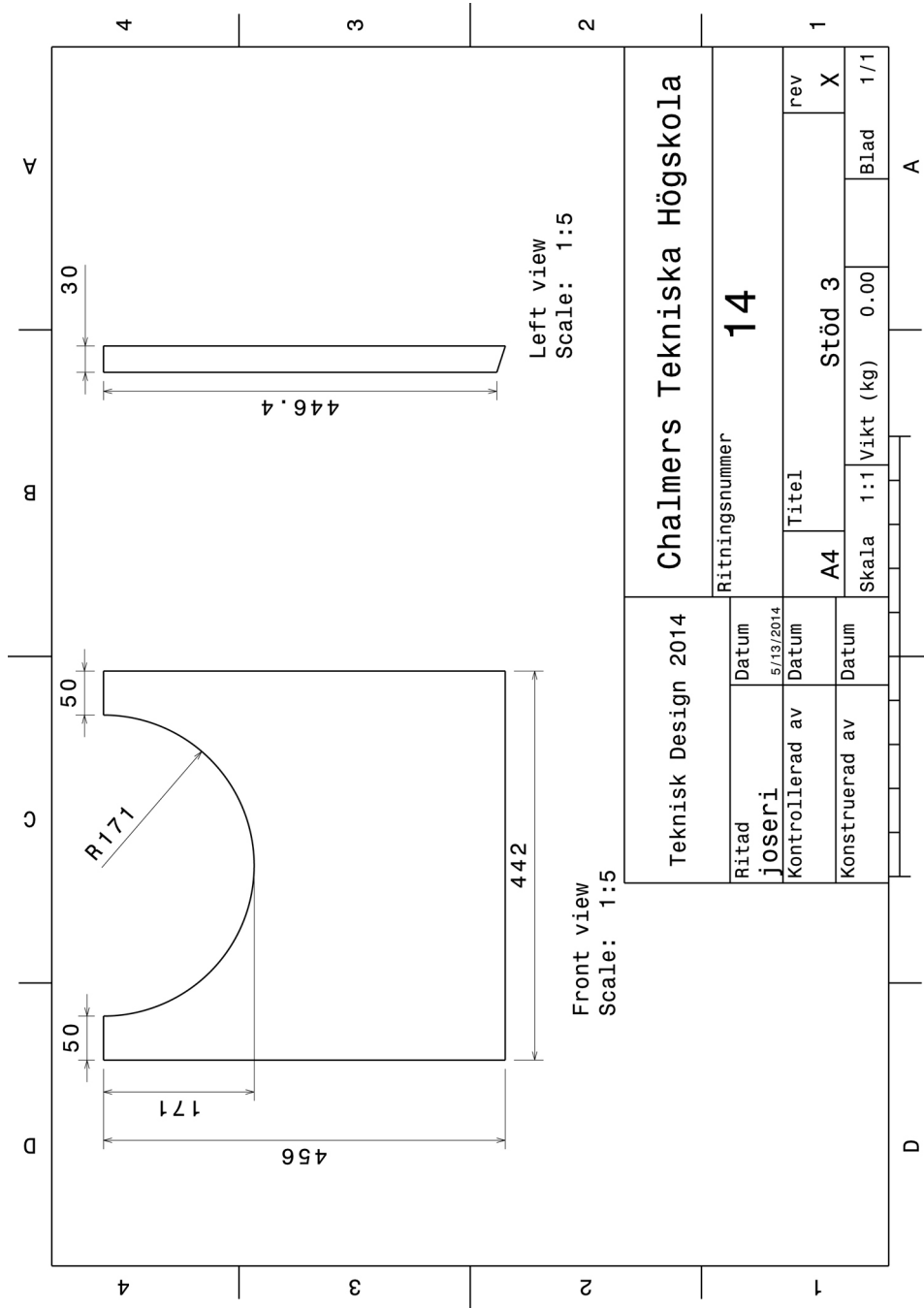


| | | | |
|---------------------|-----------|----------------------------|------|
| Teknisk Design 2014 | | Chalmers Tekniska Högskola | |
| Ritad | Datum | Ritningsnummer | 17 |
| JOSERI | 5/19/2014 | Titel | |
| Kontrollerad av | Datum | A3 | Plåt |
| Konstruerad av | Datum | Skala | 1:1 |
| | | Vikt (kg) | 0.00 |
| | | Blad | 1/1 |

Träställningar, avsmalningsprincip







Chalmers Tekniska Högskola

| | | | |
|----------------|--------|-----------|------|
| Ritningsnummer | | 14 | |
| Titel | Stöd 3 | | |
| rev | X | | |
| Skala | 1:1 | Vikt (kg) | 0.00 |
| Blad | 1/1 | | |

Teknisk Design 2014

| | |
|-----------------|-----------|
| Ritad | Datum |
| JOSERI | 5/13/2014 |
| Kontrollerad av | Datum |
| Konstruerad av | Datum |

Kostnadsberäkning

| | Pris [SEK] |
|-------------------------------|-----------------|
| Råmaterial | |
| Aluminiumplåt | 47,69 |
| Stålpåt | 224,79 |
| PMMA | 236,00 |
| PVC | 19,90 |
| MDF | 169,00 |
| Plywood | 771,00 |
| Furu | 220,00 |
| | |
| Inköpta delar | |
| Aluminiumprofil | 2840,74 |
| Brett transportband | 8000,00 |
| Motor, smalt transportband | 1070,00 |
| Band, smalt transportband | 130,00 |
| Kullager, smalt transportband | 116,00 |
| Kuggrem, smalt transportband | 300,00 |
| Kugghjul, smalt transportband | 28,10 |
| Spårmuttrar | 655,08 |
| Totalkostnad | 14828,31 |

Kandidatarbete PPUX03

Konstruktion av matningssystem till automatiserad lampsorterare
Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Teknisk Design

© Erik Bernérus, Josephine Eriksson, Johanna Turesson

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

Omslagsfoto: Josephine Eriksson
Tryck: Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling

