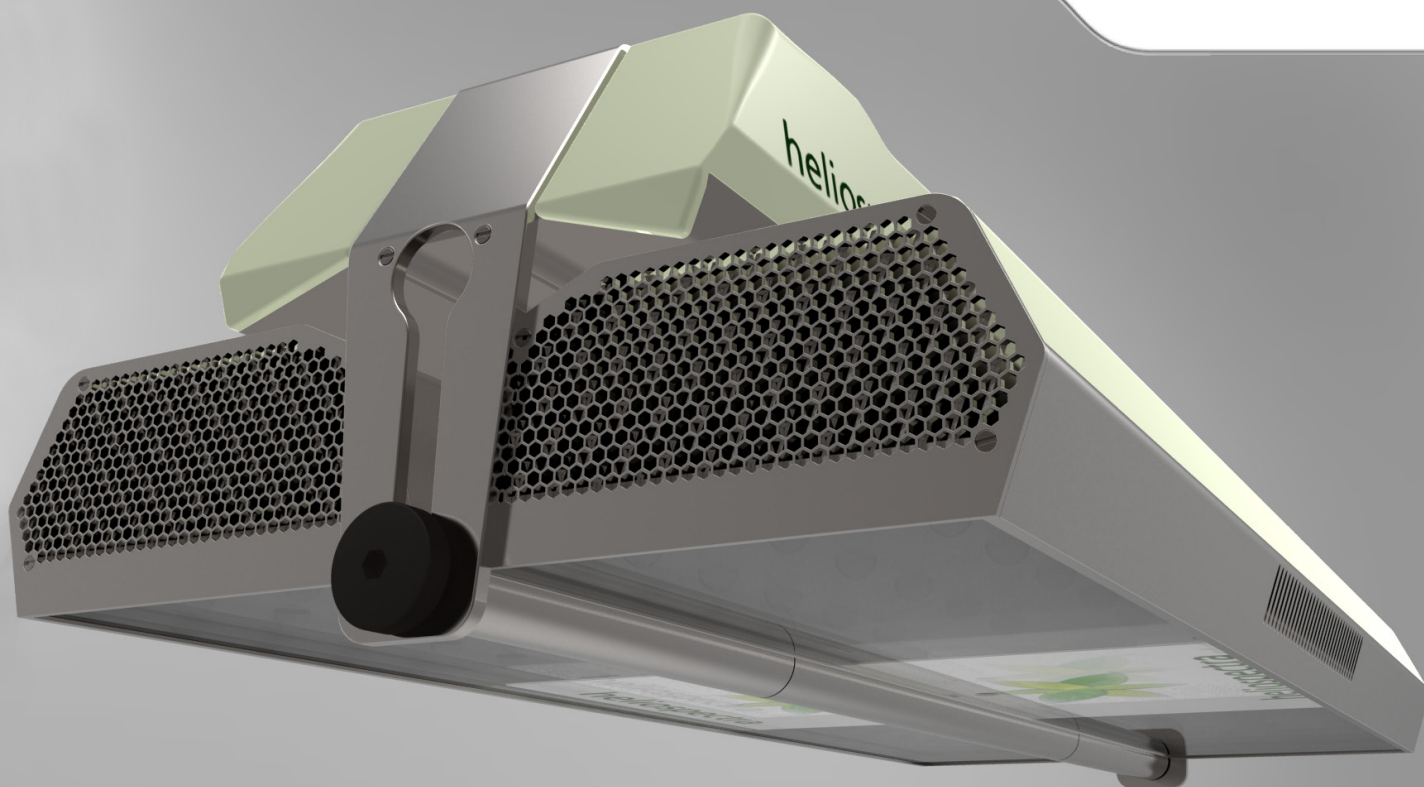




Utveckling av LED-baserad odlingsbelysning för kommersiella växthus

Kandidatarbete i Teknisk Design

**CAROLINE FALL, SAMUEL NILSSON, MAKSIM HANSÉN GOOBAR
RICHARD BODÉN, VICTOR LUNDGREN**

Utveckling av LED-baserad odlingsbelysning för kommersiella växthus

Kandidatarbete i Teknisk Design

CAROLINE FALL, SAMUEL NILSSON, MAKSIM HANSÉN GOOBAR
RICHARD BODÉN, VICTOR LUNDGREN

HANDLEDARE: JOHAN HEINERUD
EXAMINATOR: ÖRJAN SÖDERBERG

CHALMERS



Kandidatarbete PPUX03

Utveckling av LED-baserad odlingsbelysning för kommersiella växthus

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Teknisk Design

© Caroline Fall, Samuel Nilsson, Maksim Hansén Goobar., Richard Bodén, Victor Lundgren
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg, Sverige
Telefon +46(0) 31-772 1000

Omslagsfoto: Samuel Nilsson & Richard Bodén

Tryck: Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling

Förord

Detta kandidatprojekt utfördes under vårterminen 2013 som ett samarbete mellan Chalmers Tekniska Högskola och företaget Heliospectra. Projektet ingick i kursen Kandidatarbete vid institutionen för Produkt- och produktionsutveckling PPUX03 och omfattar 15 högskolepoäng. Projektgruppen bestod av fem studenter från civilingenjörsprogrammet Teknisk Design.

Gruppmedlemmarna vill tacka uppdragsgivaren Heliospectra och i synnerhet företagets VD Staffan Hillberg, produktansvarige Anthony Gilley samt säljansvarige Chris Steele för deras engagemang i projektet.

Vi vill även tacka de många odlare vi varit i kontakt vilka har bidragit med ovärderlig information genom deras erfarenhet om växthusverksamheten. Dessutom vill vi tacka Göran Brännare, universitetslektor i maskinelement, och Antal Boldizar, professor vid institutionen för Material- och tillverkningsteknik för deras bidrag till projektet.

Till sist vill vi tacka vår handledare Johan Heinerud, examinator Örjan Söderberg, industrimentor Alexandra Rånge och mentorgrupp från årskurs 1 på masterprogrammet Industrial Design Engineering för deras stöd under projektet.

Sammanfattning

Heliospectra grundades 2006 och är ett mindre företag som inriktar sig på att utveckla odlingsbelysning. Företaget erbjuder en av marknadens mest avancerade produkter vad det gäller att stimulera tillväxt och kvalitet hos plantor. Detta görs med hjälp av LED-teknik (light-emitting diode) vilket möjliggör justering av våglängder och intensitet utifrån ljusrecept, som utvecklats från företagets forskning kring odlingsljus.

Som grund till projektet låg Heliospectras önskan att inrikta sin produkt mer mot storskalig odling. Dessa kommersiella aktörer använder sig allt mer av kompletterande belysning i deras massproducerande verksamhet där odling sker av både grönsaker, färska örter och prydnadsplantor. Detta görs oftast med så kallade högtrycksnatrium- eller HPS-ljuskällor (efter engelskans high pressure sodium), vilka är av samma typ som gatubelysning. Först på senare år har produkter med LED-ljuskällor utvecklats till ett möjligt alternativ sett till ljusintensitet och, till viss mån, pris.

Genom en omfattande studie bestående av informationsinsamling, hållbarhetsanalys, studiebesök, intervjuer och enkäter kartlades de behov och krav på en odlingslampa som var essentiella för odlarna och växthusmiljön. Det framkom att kostnadseffektivitet är av högsta vikt och alla typer av energibesparing var önskvärda. Det är därför viktigt att ta till vara på så mycket ljus som möjligt genom att till exempel minimera skuggor och ljusspill. Kontexten förutsatte också en tålig produkt som klarar förutsättningar så som hög luftfuktighet och intensivt solljus.

Kravbilden utgjorde sedan underlag vid utveckling av ett antal delkoncept som representerade olika vägar för fortsatt utveckling. I samråd med Heliospectra beslutades att behålla fokus på en produkt med stora justeringsmöjligheter och detta kombinerades med en tidigare utforskad idé om en vikbar lamparmatur, där även spridningen av ljuset kan komma att styras.

Det slutgiltiga resultatet tog därför formen av en konceptuell odlingsbelysning med fokus på att förena företagets avancerade teknik med växthuskontexten och dess odlare, både vad det gäller form och funktion. Produkten bygger på en långsmal tredelad konstruktion med LED-paneler som vinklas manuellt. Kylning sker med membranfläktar för ökad driftsäkerhet och övrig elektronik har placerats så att de skapar en praktisk produkt vad gäller till hantering, installation och transport.

Slutligen kan det konstateras att en god förståelse för den kommersiella växthuskontexten och dess brukare har skapats, vilket har omsatts till ett realiserbart produktkonceptet. Den vidareutvecklade odlingslampan tar avstånd från den forskningskontext företaget tidigare jobbat med, till förmån för en utformning anpassad till de krav växthusmiljön ställer. Dessutom tillför den ett nytänkande som förstärker bilden av Heliospectras produkter som de mest mångsidiga på marknaden. Nästa steg blir att verifiera och utveckla vissa aspekter av produktkonceptet samt producera en funktionell prototyp.

Abstract

Heliospectra was formed in 2006 and is a small company that focuses on developing lighting systems for cultivation. The company offers one of the markets most advanced products with the purpose of stimulating the growth and quality of plants. This is done by the use of LEDs (light-emitting diodes) which create the possibility to adjust wavelengths and intensity from light recipes developed from the company's research on horticultural lighting.

The background to the project was Heliospectra's desire to broaden their product base towards large scale horticulture. These commercial growers use more and more additional lighting in their mass production of both vegetables, fresh herbs and decorative plants. This is mostly done by using so called a High Pressure Sodium light (HPS light), which is the type of light used in streetlights. Only recently have products using LEDs become a viable alternative in terms of light intensity and, to some extent, pricing.

Through an extensive study, consisting of data collection, a sustainability study, field studies, interviews and surveys, have the essential needs and requirements for developing a product for greenhouse environment been mapped. This showed that cost effectiveness is of great importance and that all type of energy savings are desirable. It is therefore important to make use of as much light as possible by, for example minimizing shadows and light spill. The context also requested a durable product that can withstand conditions such as high humidity and intense sunlight.

The identified needs and requirements were then used as foundation for the creation of product concepts that represented different paths for a continued development. The feedback from Heliospectra led to a decision to keep working on an advanced and highly adjustable cultivation light combined with a previously unexplored idea of a foldable armature where the angle of the light also could be adjusted.

The final result took the form of a conceptual cultivation light with aim at combining the company's advanced technology with the greenhouse context, when it comes to both design and function. The product is based on a long and narrow three-piece construction with two LED-panels that can be adjusted manually. Cooling is achieved with membrane fans for increased reliability and other the electronic components have been placed in such a way that it creates a practical product when it comes to handling, installation and transportation.

It can be concluded that a good understanding of the commercial greenhouse context has been gained, which was translated into a credible concept. The refined cultivation lamp takes several steps away from the research context that the company has worked with this far, in the favor of a design adapted to the requirements of greenhouses. In addition, it adds innovation that reinforce the image of Heliospectra's products as the most versatile on the market. The next step is to verify and develop some aspects of the concept as well as producing a functional prototype.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	3
1.3 Mål	3
1.4 Fokusområden och avgränsningar	3
2. Förstudie	4
2.1 Metoder	4
2.2 Genomförande	5
2.3 Resultat	5
2.3.1 Artiklar och tidigare studier	5
2.3.2 Befintlig produkt	6
2.3.3 Konkurrentanalys	7
2.3.4 Hållbarhetsanalys	8
2.3.5 Tekniska antaganden	9
3. Brukarstudie	10
3.1 Metoder	10
3.2 Genomförande	12
3.3 Resultat	13
3.3.1 Växthusmiljö och belysning	19
3.3.2 Brukare och marknad	19
3.3.3 Brukarstudie i Holland	22
3.3.4 Sammanfattning av brukarstudien	25
4. Kravsättning	27
4.1 Metoder	27
4.2 Genomförande	27
4.3 Resultat	27
4.3.1 Preliminär kravlista	27
4.3.2 Fullständig kravlista	28
5. Konceptgenerering	29
5.1 Metoder	29
5.2 Genomförande	30
5.3 Resultat	32
5.3.1 Dellösningar	32
5.3.2 Koncept	39
6. Utveckling av koncept	42
6.1 Metoder	42
6.2 Genomförande	43
6.3 Resultat	44
6.3.1 Konceptval för fortsatt produktutveckling	44
6.3.2 Beslut om vikbarhet	45
6.3.3 Beslut om kylmetod	46
6.3.4 Utformning av kylsystem	46
7. Detaljerad utformning	51
7.1 Metoder	51
7.2 Genomförande	51
7.3 Resultat	52
7.3.1 Utgångspunkter för detaljutformning	52
7.3.2 Vikbarhet	52
7.3.3 Fixering av vingar	54
7.3.4 Fixering i ihopfällt läge	56
7.3.7 Kylsystem	57

7.3.8 Elektronikbox	58
7.3.10 Upphängning	59
7.3.11 Färgsättning	60
8 Slutprodukt	63
8.2 Material	66
8.3 Tillverkning	66
8.4 Montering	67
8.5 Transporter	67
8.7 Ej verifierade krav	68
8.8 Utgångspunkter för vidareutveckling	69
9. Diskussion	70
9.1 Projektets utveckling	70
9.2 Resultat	70
9.2.1 Prisbild	70
9.2.2 Vikt	71
9.2.4 Vikbarhet	71
9.2.5 Konstruktion	72
9.2.6 Upphängning	72
9.2.7 Uttryck	72
9.2.8 Värmeclimate i växthus	72
9.3 Metoder och genomförande	73
9.3.1 Datainsamling	73
9.3.2 Urval	73
9.3.3 Konceptpresentation	73
9.3.4 Hållbarhetsanalys	73
10. Slutsats	74
11. Referenser	75
12. Bilagor	77

1. Introduktion

Detta kapitel förklarar bakgrunden till arbetet och ger en redogörelse av den förkunskap som behövs för att kunna tillgodogöra sig projektet i sin helhet.

1.1 Bakgrund

Det är idag viktigt att kunna producera livsmedel på ett snabbt och effektivt sätt. Här har växthusodling en central roll då växthusen skapar en optimerad odlingsmiljö som möjliggör odling året runt i stora delar av världen.

För att uppnå en produktion som möter dagens efterfrågan använder växthusodlingar kompletterande ljus under stora delar av året. Detta då tillväxten hos plantorna är beroende ljus för att stimulera deras fotosyntes. I nordliga länder handlar det främst om att kompensera för bristen av solljus, men även på sydligare breddgrader finns det behov av att öka antalet ljustimmar.

Idag använder växthus nästan uteslutande högtrycks-Natriumlampor (HPS-lampor), vilka motsvarar traditionell gatubelysning. Produkten används på grund av dess relativt höga verkningsgrad i jämförelse med andra alternativ, ca 30%. Alltså går majoriteten av energin till spillo i form av värme (Pacific Energy Center, 1997). Dessutom är HPS-lampans sammansättning snarlik glödlampans med spår av tungmetaller, och ineffektivare varianter håller därför på att fasas ut av miljöskäl. (Energimyndigheten, 2011). Då dessa lampor förekommer i tusental i varje enskilt växthus leder detta följaktligen till en stor energiförbrukning och mängder av miljöfarliga restprodukter.

Företaget som initierat detta projekt är Göteborgsbaserade Heliospectra som bedriver forskning inom odling med LED (light-emitting diodes), samt utvecklar odlingsbelysning. Genom att ge växter ljus bestående av våglängder optimerade för den specifika grödan kan tillväxten styras och effektiviseras. På så sätt går det att undvika det energislöseri som uppkommer då man belyser plantor med ljus som växterna inte kan tillgodgöra sig, vilket är fallet med stora delar av spektrumet i dagens HPS-ljus. Detta, i kombination med att LED som ljuskälla har en verkningsgrad på upp emot 60%, skapar förutsättningar för enorma energibesparingar. Dessutom visar företagets forskning att det går att uppnå specifika egenskaper hos plantorna genom att exponera dem för speciella våglängdskombinationer. Exempel på sådana egenskaper är förbättrad smak, rakare plantor och större blad. Således skulle införandet av LED-ljus i växthus utöver energibesparingar dessutom medge en effektivare och mer optimerad odlingprocess, vilket skapar nytta och mervärde på många olika plan.

Heliospectra har i dagsläget ännu inte omsatt denna teknik i en produkt som är anpassad eller lönsam att applicera inom den kommersiella växthusodlingen. För tillfället finns en LED-lampa som produceras och säljs, men denna är mycket dyr och används snarare som en forskningsplattform av både företaget och dess befintliga kunder. Att lyckas etablera en produkt på marknaden för LED-baserad kompletterande belysning, vilken antagligen kommer växa drastiskt under kommande år, skulle vara ett avgörande steg i Heliospectras utveckling som företag.

1.2 Syfte

Att genom en användarcentrerad produktutveckling ge Heliospectra bättre möjligheter att på ett effektivt och framgångsrikt sätt utveckla en produkt som är attraktiv för den kommersiella växthusodlingen.

1.3 Mål

Att svara till syftet genom att:

- Skapa en ökad förståelse av de brukare och den marknad som är kopplade till kommersiella växthus.
- Skapa en ökad förståelse av miljön och användningskontexten för växthusbelysning.
- Utveckla ett trovärdigt produktkoncept som uppfyller de krav som ställs av brukare, kontext och företag.

1.4 Fokusområden och avgränsningar

Det slutgiltiga produktkonceptet skall baseras på Heliospectras affärsidé och teknik. Med detta menas en belysningslösning med LED-ljus där ljusrecept baserade på företagets forskning skall kunna optimera det ljus som når plantorna.

- Det geografiska området som ligger till grund för utvärdering av brukare och marknad avgränsas till främst Norden och vissa delar av Europa.
- Begreppet kommersiell växthusodling innefattar i detta projekt marknaderna för färska örter, grönsaker, krukväxter, blommor och dylikt.
- Vid införandet av LED-belysning i växthus finns både möjligheten att byta ut den befintliga belysningen, samt att införa LED-belysning vid konstruktion av nya växthus. Kriteriet för produktkonceptet är att det först och främst skall vara möjligt att applicera i befintliga växthus genom utbyte av existerande belysning.
- Vad det gäller Heliospectras teknik anses projektet inte innefatta arbete med optimering av tekniskt avancerade områden så som optik, programmering, eller kretsar eftersom det ligger utanför projektgruppens huvudsakliga kompetens.

2. Förstudie

Detta kapitel återger den insamlade informationen rörande Heliospectra, deras teknologi och marknaderna de arbetar mot samt en primär hållbarhetsanalys. Kapitlet kommer följa en struktur där metoder, genomförande och resultat för motsvarande projektfas kommer presenteras i följd.

2.1 Metoder

2.1.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie bygger på att ta del av och analysera litterärt material från tidigare forskning och andra publikationer inom de aktuella områdena.

2.1.2 Konkurrentanalys

Konkurrentanalys är en typ av *benchmarking* där en sammanställning och analys av konkurrerande företag och/eller produkter genomförs. De aspekter som tas i beaktning är exempelvis företagets affärsidé, strategi och marknadsinriktningar samt produkters prissättning, specifikationer och funktionalitet.

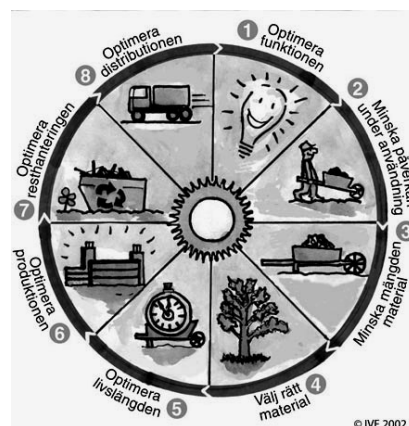
2.1.3 Screening LCA

En Livscykelanalys eller LCA är ett verktyg för att utvärdera hållbarhetsaspekterna för en produkt under hela dess livstid. I detta inkluderas allt från råvaruutvinning och tillverkning till kassering och återvinning av produkter. Att sammanställa en kvalitativ och heltäckande LCA är en tidskrävande uppgift som förutsätter tillgång till exakta databaser över material och tillverkning. Ett första steg är ofta en Screening LCA där slutsatser görs utifrån analys av en redan genomförd LCA av en liknande produkt. På så sätt kan kritiska miljöeffekter i olika livscyklfaser tidigt identifieras för vidare utvärdering (Hochschorner, 2002).

2.1.4 Ekostrategihjulet

Ekostrategihjulet (se figur 1.) visar på en rad olika aspekter som är centrala när det kommer till att optimera hållbarhetsaspekter hos en produkt. Härrörande från livscyklfaserna finns åtta olika huvudområden:

1. Optimera funktionen
2. Minska miljöpåverkan under användning
3. Minska mängden material
4. Välj rätt material
5. Optimera livslängden
6. Optimera produktionen
7. Optimera resthanteringen
8. Optimera distributionen



(Swerea IVF, 2002)

Figur 1. Ekostrategihjulet

2.2 Genomförande

2.2.1 Bakgrund

Inledningsvis genomfördes en förstudie som bestod av ett antal moment. Genom möten med Heliospectras VD, produktutvecklingsansvarige samt säljchef skapades en uppfattning om företagets affärsidé, strategi, kompetens och mål. En grundläggande förståelse för företagets befintliga produkt och dess uppbyggnad erhöles även genom dessa möten.

Från Heliospectra tilldelades även en mängd material i form av tekniska ritningar, artiklar, seminariematerial samt rapporter. Rapporterna bestod bland annat av tidigare Chalmers-projekt, externa marknadsundersökningar, konferenspresentationer, konkurrentanalyser samt marknadsanalyser från Exportrådet.

2.2.2 Konkurrentanalys

En konkurrentanalys sammanställdes i syfte att få en överblick av övriga aktörer på marknaden samt deras produkter. Genom en matris var det möjligt att jämföra tekniska specifikationer mellan konkurrenters produkter samt mot Heliospectras befintliga produkt. Exempelvis jämfördes produkters effekt, ljusstyrka, antal färger, dimensioner, vikt, kylmetod och pris. Denna sammanställning återfinns i bilaga 1.

2.2.3 Hållbarhetsanalys

För att skapa förutsättningar för att utveckla en produkt som ska vara godtagbar ur hållbarhetssynpunkt genomfördes även en hållbarhetsanalys av typen Screening LCA (se bilaga 2). Detta för att identifiera kritiska områden i LED-belysningens livscykel och jämföra hållbarhetsaspekterna hos LED-belysning med de hos konventionella växthusbelysningar. Som jämförelsematerial till screeningen användes en LCA utförd av University of Philadelphia där olika tekniker för gatubelysning, däribland LED och HPS, jämförs (Hartley, 2009). Utifrån utvärdering av de kritiska områdena där förbättringspotential fanns formulerades krav och riktlinjer med hjälp av Ekostrategihjulet.

2.3 Resultat

2.3.1 Artiklar och tidigare studier

I det material som tillhandahölls av Heliospectra fanns stora mängder artiklar och seminariematerial om LED applicerad som odlingsbelysning med inriktning på energibesparing. Det fanns också mycket information om hur våglängder specifikt berör plantors tillväxt och egenskaper. Utöver detta bestod materialet även av ett antal marknadsundersökningar och andra rapporter beställda av företaget.

Inledningsvis kunde det konstateras att Heliospectras kompetens huvudsakligen ligger inom forskningsområdet. Det gäller främst ljuspåverkan på växter och programmering för styrning av LED-ljus (Afzal et al., 2011). Mycket forskning och utveckling sker även globalt inom området kring LED som odlingsbelysning. Större delen av materialet berör dock forskning inom enklare varianter av LED-belysning med enstaka våglängder. Dioder med färger som benämns red och far red samt blått ljus är ständigt återkommande i forskningsartiklar (Mitchell et al., 2011). Heliospectras forskning och produkt tar steget längre genom att jobba med dynamiska ljusrecept med fler våglängder och intensitetsnivåer, så kallat intelligent ljus. Detta konfirmerar således uppfattningen om att företagets forskning och produkt kan betraktas som de mest avancerade på marknaden (Afzal et al., 2011).

Marknadsundersökningar gjorda på den svenska marknaden inom kommersiell växthusodling tyder dock på att denna teknik är alltför avancerad och dyr för att vara gångbar idag (Hansson et al., 2011). Utöver den stora investeringskostnaden anses odlarna i dagsläget inte vara ute efter så detaljerad kontroll över plantors tillväxt som Heliospectras produkt medför. Rapporterna menar att odlarnas behov inte i nuläget verkar matcha det som Heliospectra erbjuder. Marknaden behöver mogna och utvecklas inom området för att en storskalig spridning av denna teknik ska vara möjlig (Burr, 2012).

Det finns dock aspekter som tyder på en positiv utveckling gällande LED-belysningens intåg på växthusmarknaden. Priset på dioder har sjunkit kraftigt de senaste åren och den utvecklingen spås fortsätta (Afzal et al., 2011). Det finns även indikationer och konkreta exempel på att nya typer av växthusodling är på framfart. Vertikal odling är under utveckling, vilket innebär att man odlar i våningar på höjden istället för i ett plan över en stor area (The Economist Newspaper, 2010). Även så kallade plant factories har börjat dyka upp, vilket innebär en helt sluten odling utan solljus. De nya typerna av växthusodling kommer bidra till ett utökat behov av funktionella och anpassningsbara odlingslampor (Ono et al., 2006).

2.3.2 Befintlig produkt

Heliospectra erbjuder för nuvarande en produkt, LED-lampan L4A. Mindre förändringar och uppdateringar har genomförts de senaste åren och ytterligare modifikationer är planerade i framtiden. I dagsläget består produkten av följande komponenter:

- 4 st LED-kort i aluminium med dioder i sju olika färger/våglängder.
- 4 st drivkort; kretskort som kopplas direkt till LED-korten via skärmade kablar.
- 4 st konventionella fläktar som ventilerar kylflänsen ovanpå LED-korten.
- 1 st styrkort; kretskort som förser drivkorten och fläktar med styrning och ström.
- 1 st transformator som förser kretskort med rätt ström och spänning.
- 1 st kommunikationsenhet som medger trådlös kommunikation med kontrollator.
- Kontakter för ström- respektive nätverksanslutning.

Lampan har en effekt 600 W, vilket är en hög siffra för LED-belysning. Den höga effekten tillåter hög intensitet hos samtliga dioder vilket är en förutsättning för ett stort våglängdsomfång. Dessutom gör det lampan till en fullgod ersättare till högeffekts-HPS-lampor.

Vad gäller konstruktion utgör kylflänsen som monteras på LED-korten den större delen av volym och vikt. Övriga komponenter är monterade ovanpå samt vid sidan av kylflänsen. Dessa hålls ihop av ett chassi bestående av ett flertal bockade plåtar. På undersidan av lampan finns även en plastlist runt LED-korten samt täckande plexiglas. En plastkåpa täcker produktens ovansida och två fästpunkter finns för upphängning.

Tillverkningskostnaden för denna produkt uppgår till ca 20 000 kr.. Av denna kostnad står de ca 240 LED-dioderna för ungefär 50 %. Det beror delvis på att Heliospectra använder sig av fler olika färger på dioder samt endast sådana dioder, där våglängden bestämts med största möjliga noggrannhet.

Vid utvärdering av konstruktionen kan det konstateras att många olika delar används för en produkt bestående av relativt få huvudkomponenter. Det finns även viss outnyttjad volym, vilket leder till en

skrymmande produkt. Kylsystemet, bestående av fläktar och kylflänsar, är enligt Heliospectra generöst dimensionerat och ger potentiellt mer kylning än vad som är nödvändigt. Detta medför att produkten har en total vikt på ca 13 kg, vilket kan jämföras med de befintliga HPS-armaturerna som väger omkring 5 kg (se bilaga 3).

Sammanfattningsvis kan det konstateras att den befintliga produkten är framtagen för att passa företagets nuvarande situation. Mycket av verksamheten kretsar fortfarande kring forskning och produkten blir en naturlig plattform för optimering och uppgradering av tekniken. I dagsläget faller också kunderna till stor del in under forskningskategorin, varför det nuvarande priset är gångbart. L4A är dock inte utvecklad för att massproduceras eller användas inom kommersiell odling i stor skala, med den omgivande miljön tagen i beaktning.

2.3.3 Konkurrentanalys

Utifrån den data som sammanställts av konkurrerande företag och produkter kan ett antal slutsatser dras. Sett till marknaden som helhet har olika företag valt att gå lite olika vägar. Somliga satsar på enklare LED-lösningar som ska komplettera HPS-ljuset. Dessa blir relativt billiga men således också väldigt begränsade i sin funktionalitet. Andra, likt Heliospectra, satsar på produkter i avseende att helt ersätta HPS-lampan. Där finns en större spridning vad gäller teknisk nivå och funktionalitet hos produkterna, vilket medför något högre priser. De enklaste produkterna har ett statiskt ljusspektrum i av- eller på-läge, medan de mest avancerade medger dimning av de olika våglängderna för att kunna styra ljusblandningen helt. Det kan fastställas att ingen aktör på marknaden erbjuder LED-belysning som motsvarar Heliospectras produkt med avseende på styrning och antal våglängder, det medför dock att Heliospectra befinner sig i en betydligt högre prisklass.

Sammanfattningsvis ger konkurrentanalysen en bild av att marknaden för växthus-LED är bred vad gäller olika typer av företag och varianter av produkter. Det har ännu inte framträtt någon definitiv inriktning bland aktörerna vilket ger utrymme för många möjliga vägar att gå i den fortsatta produktutvecklingen.



Figur 2. HPS-lampa



Figur 3. Heliospectras L4A

2.3.4 Hållbarhetsanalys

Den fullständiga screening LCA:n återfinns i bilaga 2.

Slutsatser av Screening LCA

Den största miljöpåverkan sker i användningsfasen genom energiförbrukning varvid en låg effekt är eftersträfvansvärt. Detta är en stark fördel med LED-teknologin. Miljöpåverkan beror dock på vilken källa för elektricitet som används och kan därför minska drastiskt om förnyelsebar el nyttjas i belysningen.

Tillverkningsfasen bär den näst största miljöpåverkan, dock motsvarar det endast en tiondel av användningsfasen. En stor problematik finns runt tillverkningen av LED som kräver hälsovådliga kemikalier och som dessutom kan vara mycket energikrävande. Dessutom kräver LED-teknik kretskort vilka har hög ekotoxicitet och vars framställning, tillsammans med aluminium i armaturerna, har störst klimatpåverkan.

I fråga om bortskaffning är LED-lamporna en mindre problematisk komponent jämfört med HPS-lampor och deras mer än dubbla livslängd bidrar till att ytterligare förenkla detta, förutsatt att livslängden för produkten som helhet kan upprätthållas. Kretskorten orsakar dock även inom denna fas problem på grund av ekotoxicitet och återvinningsproblematik.

Analys med hjälp av ekostrategihjulet

Optimera funktion/ Minska påverkan från användning: Eftersom energiförbrukningen står för den största delen av miljöpåverkan bör effekten hållas låg och verkningsgraden hög, något som LED i sig medför. Fokus bör därmed ligga på att minimera energispill i användandet.

Optimera livslängd: En viktig aspekt i lampornas miljöpåverkan är deras livslängd. Det är därför av vikt att minimera risken för att armaturer kasseras i ett för tidigt skede. En förutsättning för detta är god driftsäkerhet och möjlighet till underhåll och reparationer. LED har en längre livslängd än HPS-lampor, men för att detta ska komma till nytta måste samtliga komponenters upprätthålla driften för att inte skapa flaskhalsar.

Optimera resthantering: Antalet komponenter bör hållas ned för att underlätta resthantering. Detta gäller framförallt antalet komponenter som inte går att återvinna/återanvända. När komponenter ska kasseras bör dessa vara lätta att separera från övriga.

Optimera distribution: För att minska miljöbelastningen från transporter bör vikten hållas ned och produkten göras kompakt, robust och enkel att förpacka.

Minska mängden material/ Välj rätt material: Aluminium står för en stor del av materialet och vikten hos armaturerna och bidrar därmed till en stor miljöpåverkan. Om möjligt bör mängden aluminium minskas om inte mängden av andra miljöbelastande material då måste ökas. Generellt bör återvinningsbara ämnen prioriteras.

2.3.5 Tekniska antaganden

Genom samtal med produktutvecklingsansvariga på Heliospectra samt genom beslut beroende på andra faktorer, har vissa antaganden gjorts gällande de tekniska förutsättningarna för produktutvecklingen. Dessa antaganden har gjorts då det ej funnits möjlighet att verifiera vissa tekniska lösningar samt då företaget angett att man i framtiden avser implementera vissa förändringar eller nya tekniska lösningar. Då lösningar inte kunnat verifieras har beslut fattats utifrån rimlighetsbedömningar baserade på bästa möjliga tillgängliga information inom det berörda området.

Tekniska antaganden för produktutvecklingen:

- *Användning av multichip.* I ett multichip finns 4 till 24 stycken dioder under varje lins och det kan på så sätt placeras fler dioder på en mindre yta. LED-kortens area antas uppgå till 75 % av de befintliga korten vid användning av multichip enligt uppskattningar från Heliospectra. Således dimensioneras LED-plattorna i projektet genom att minska de befintliga LED-plattornas area med 25%.
- *Integrering av drivkretsar på LED-kortet.* Heliospectra väntas integrera drivkretsarna på aluminiumplattan som utgör LED-kortet. Detta i syfte att eliminera drivkorten som separat komponent och på så sätt minska mängden kablage. Detta medför en ökning av LED-kortens area på ca 20-30 % för att göra plats för drivkretsar bred vid dioderna. I och med fördelarna som denna teknik medför utgår projektet utifrån denna tekniska lösning.
- *Dimensionering av kylfläns.* Som nämnt i avsnitt. 2.3.2. anses kylflänsen vara överdimensionerad då man ej optimerat denna utformning. Vid design av komponenten är utgångspunkten att den kan förminskas något och ändå erbjuda tillräcklig kylning.

3. Brukarstudie

Detta kapitel presenterar observationer och reflektioner från brukarstudierna, vilket utgör grunden till användarcentrerad produktutveckling. Informationen som presenteras är baserad på slutsatser och reflektioner utifrån kunskap som förvärvats genom besök, intervjuer och enkäter. Referenser till specifika källor, enligt vedertagna standarder, kommer därför inte anges i detta kapitel. Mer exakta redogörelser för insamlad data från brukarstudien återfinns i bilaga 4-9. Kapitlet kommer följa en struktur där metoder, genomförande och resultat för motsvarande projektfas kommer presenteras i följd.

3.1 Metoder

3.1.1 Datainsamling

Datainsamlingsmetoder är teoretiskt uppdelade i olika kategorier, där de två grundläggande indelningarna görs i frågebaserade och observationsbaserade metoder. Gemensamt för båda metoderna är att de antingen kan ha en strukturerad eller ostrukturerad uppbyggnad. En ostrukturerad insamlingsmetod bygger på ett oplanerat upplägg, medan en strukturerad insamlingsmetod är noga planerad och har vissa förbestämda riktlinjer som står i fokus.

Observationsbaserade metoder för datainsamling

Det finns flera typer av observationsmetoder och de kategoriseras enligt öppen/sluten observation, direkt/indirekt observation, eller naturlig/onaturlig observation. En öppen observation innebär att den eller de personer som observeras är medvetna om det, och kan således i viss utsträckning påverka brukarens naturliga beteende i situationen. Direkt observation avser en observation av något som sker direkt framför ögonen på den observerande. Observatören kan välja att själv delta i situationen eller vara självobserverande. En naturlig observation syftar på att studien sker i den verkliga miljön för den specifika företeelsen, snarare än en konstruerad.

Aspekter som kan observeras är bland annat brukarens handlingar, arbetsställningar, interaktionsmönster, arbetssekvenser, tiden för utförd handling, kompenserande beteende eller om brukaren gjort anpassade modifieringar av produkten.

Det finns många fördelar med observation som datainsamlingsmetod då det kan vara svårt för brukaren att kommunicera behov, krav och problem muntligt (Rexfelt, 2011).

Frågebaserade metoder för datainsamling

Frågebaserade metoder innefattar intervjuer eller enkäter, och dessa tillämpas i olika utföranden beroende på undersökningens syfte. Intervjuer kan exempelvis vara personliga eller utföras gruppvis. Vid utförandet kan tekniken *probing*, dvs. användandet av följdfrågor som t.ex. "*varför?*" och "*hur?*", utnyttjas för att få djupare förklaringar till respondentens svar. Intervjuns upplägg bör i regel gå från allmänna, lättbesvarade frågor till mer specifika frågor. Det kan också vara fördelaktigt att inte ställa ledande eller alltför laddade frågor för att lämna så mycket utrymme som möjligt för respondentens egna ställningstaganden och beskrivningar. Öppna frågor kräver förklaringar och hjälper till att utveckla en dialog medan slutna frågor ger konfirmation eller negation. Beroende på intervjuns eller enkätens syfte bör alltså frågor utformas utifrån dessa aspekter.

Enkäter kan ses som en strikt strukturerad version av intervjuer och kan utföras på telefon eller distribueras via webb eller post. Oavsett metod som används är samtliga frågor identiska för att lättare kunna jämföras. Svaren kan sedan användas för att göra statistiska analyser.

Precis som observationsbaserade metoder kan frågebaserade metoder bidra med både kvantitativ och kvalitativ data. Dock används intervjuer med fördel i explorativt syfte medan enkäter kommer i ett senare skede för bekräftande och kvantitativ information (Engelbrektsson, 2011).

3.1.2 Metoder för analys av insamlad data

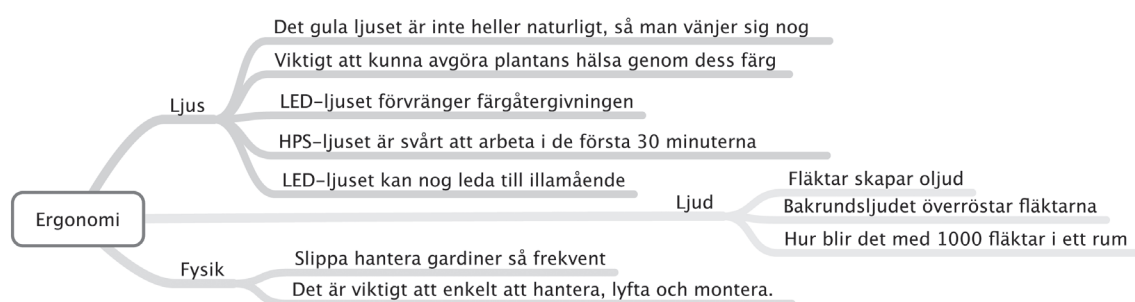
KJ-analys

En KJ-analys (döpt efter utvecklaren av metoden, Jiro Kawakita) kan användas i syfte att strukturera stora mängder data med avsikten att få en helhetsbild. Den kan innefatta både generell information såväl som att tydliggöra en problembild (Karlsson, 2008).

Metoden kan varieras i sitt utförande men grundprincipen bygger på att sortera ut valda meningar eller stycken ur en textmassa, exempelvis en transkriberad intervju, och placera dessa i olika samlingsgrupper. Efterhand växer informationskategorier fram, vilket bidrar till en tydligare överblick av faktamängden.

Träddiagram

Liksom KJ-analysen kan ett träddiagram användas som stöd för att ordna stora informationsmängder på ett överblickande sätt. Beståndsdelarna grupperas och placeras i grenar som utgår från den huvudsakliga företeelsen och som blir mer specifika för varje förgreningsnivå (Karlsson, 2008).



Figur 4. Utdrag ur träddiagram

3.2 Genomförande

3.2.1 Pilotstudie

Inledningsvis genomfördes en pilotstudie hos en örtodlare för att få en grundläggande förståelse för odlingsverksamheten i växthus och de faktorer som påverkar produktion och plantor. Observationer och öppna frågor ställdes på ett relativt ostrukturerat sätt i syfte att få övergripande information som ett första steg i datainsamlingen. Utöver allmänna aspekter i växthus ställdes frågor med inriktning på ljus och befintlig belysning.

3.2.2 Studiebesök

Ytterligare fem svenska växthus med ört-, gurk- och krukväxtodling besöktes. Vid dessa besök skedde fortsättningsvis observationer med mycket öppna frågor även om dessa var mer fokuserade på ljus, belysning, befintliga HPS-armaturer och framtida LED-lösningar samt hur krav kan kopplas till dessa aspekter. Samtliga besök dokumenterades i form av foto, video och anteckningar.

3.2.3 Inledande analys

När samtligt material sammanställts utfördes en första grov gruppering av informationen enligt KJ-metodik för att kategorisera och kartlägga system- och behovsbilden. Information och kommentarer från olika brukare sorterades in i flera kategorier som senare sammanfattades till övergripande punkter.

3.2.4 Telefonintervjuer

För att styrka och komplettera den data som förvärvats under besöken fortsatte studien med strukturerade telefonintervjuer. Här ställdes strukturerade, öppna till halvöppna frågor för att undvika att utesluta nya problem eller aspekter relaterade till växthusverksamheten. Intervjuerna spelades in och transkriberades. Intervjuformuläret återfinns i bilaga 4.

3.2.5 Enkät

I syfte att ytterligare bekräfta samt ge mer kvantifierbar data skickades en enkät ut till de redan besökta eller intervjuade odlarna, men även till nya respondenter. Denna innehöll något öppnare frågor för att ge utrymme för kvalitativa svar. Även slutna frågor användes för att få bekräftande data. Enkätformulär och sammanställning av svar finns i bilaga 5 och 6.

3.2.6 Holland

En breddning av brukarstudien uppnåddes genom studiebesök till växthus i Holland. Här besöktes två kommersiella odlingar; en rosodlare och en tomatodlare. Den förstnämnde hade genomfört tester med LED och den andra hade implementerat kompletterande LED-belysning i stor skala. Ett tredje växthus besöktes där det bedrevs forskning, utbildning samt rådgivningsverksamhet. Vid dessa tre besök genomfördes semistrukturerade intervjuer med fokus på LED-belysning samtidigt som verksamhet och utrustning observerades. Intervjuerna utgick från utvalda enkätfrågor.

3.2.7 Urval

Urvalet bestod av odlare från både stor- och småskaliga växthusanläggningar som bedriver exempelvis krukväxt- eller kryddodlingar runt om i Sverige. Huvudkriteriet för att ingå i studien var att odlaren måste använda sig av kompletterande belysning i sin produktion, samt bedriva kommersiell odling. Detta kan ses som ett representativt urval då dessa tillhör produktens framtida målgrupp. De flesta av deltagarna använder sig endast av traditionella HPS-lampor, men ett fåtal har även varierande erfarenhet av LED-baserad belysning. För en full redogörelse över urvalet för studiebesök, telefonintervjuer och enkätrespondenter se bilaga 7.

3.2.8 Vidare analys av insamlad data

För att komplettera befintlig data fortsatte arbetet med att utöka KJ-analysen med transkriberingar från telefonintervjuer och material från besöken i Holland. Denna gång kategoriserades snarare de behov, krav och problem som uttryckts istället för allmän information, vilket gav en mer utförlig systembild. I nästa steg av analysen gjordes även flera trädigram, varav ett större för att beskriva den svenska kommersiella växthusodlingen (bilaga 8), samt två mindre över tomat- och rosodling i Holland (bilaga 9). Tillsammans gav dessa metoder en god bild över den kunskap som förvärvats under utlandsvistelsen.

3.3 Resultat

3.3.1 Växthusmiljö och belysning

Kommersiell växthusodling

I många delar av världen är kommersiella växthus en förutsättning för storskalig produktion av örter, blommor och grönsaker. Odlingsprocessen har liknande struktur i alla typer av växthus, men skiljer sig på några punkter beroende på vilka grödor som odlas. Nedan beskrivs processen för odling av färska örter, krukväxter samt tomat- och gurkodling.

Örtodling

Örter sås i plastkrukor som placeras i odlingsbanor där de automatiskt vattnas och ges näring tills att de skördas och paketeras efter ungefär 6-8 veckor. Kriterierna för skörd är främst höjd och vikt. Denna "löpande band"-produktion sker kontinuerligt under hela året och ett växthus huserar ofta flera olika typer av örter uppdelade på ett antal banor.

Krukväxtodling

Krukväxtodling sker på rörliga odlingsbord och tar ungefär 8-12 veckor. Växterna bevattnas genom att borden fylls med vatten. Ett antal gånger innan skörd omplaceras växterna för att skapa gynnsamma förhållanden för den aktuella tillväxtfasen, till exempel då de placeras mer glest.

Tomat- och gurkodling

Denna typ av grönsaksodling är horisontell utan förflyttning av plantorna och sker generellt hydrotropiskt, dvs i vatten istället för i jord. Plantering sker vid specifika tillfällen under året och efter att plantorna börjat bära frukt skördas de dagligen.

Växthusmiljön

Miljön i växthus är speciell jämfört med normala inomhusförhållanden. Den mest påtagliga skillnaden är den höga luftfuktighet som uppgår till ca 80 - 99 %. Genom kondens kan även droppar falla från taket som följd av denna fuktighet.

En storskalig odlingsverksamhet medför smutsiga förhållanden och detta gäller framför allt då man odlar i jord. Likt andra större industriliknande verksamheter, samlas även grövre damm och i de växthusmiljöer som besökts är också insekter och spindelväv ett naturligt inslag.

En annan betydande faktor är det starka ljuset som produkter i växthus utsätts för. Långa perioder av solljus kan framförallt få vissa plaster att åldras snabbare, vilket med tiden leder till söndervittring. Det stora ljusinsläppet orsakar även stora temperaturskillnader under året. Den föredragna odlingstemperaturen ligger runt ca 20°C, men kan vid vissa tillfällen under sommartid uppgå till närmare 35°C. Växthus som inte är i bruk under vintern kan ha temperaturer på flera minusgrader. Att stänga växthus är dock inte vidare utbrett, av de växthus som besöktes var det endast ett som stängde ned delar av anläggningen under vintern.

Klimat och plantor

För att uppnå önskvärd tillväxt och kvalitet på plantorna behöver odlarna ta hänsyn till ett flertal parametrar. Plantorna behöver dels vatten och näring, vilket tillförs genom ett automatiskt bevattningssystem. Dessutom är det alltid en fråga om att optimera ljusförhållandena för att tillgodose fotosyntes och tillväxt. I kombination med detta krävs ett gynnsamt klimat vilket uppnås genom ett känsligt samspel mellan främst temperatur och luftfuktighet, men även luftcirkulation, för att förhindra bildande av mögelsporer och liknande. På vilket sätt odlarna åstadkommer det, enligt dem själva, perfekta klimatet varierar en hel del mellan olika växthus. Det experimenteras med nya klimatsystem idag vilket visar att klimatet är en mycket viktig faktor för en framgångsrik plantodling.

“Det blir ett
helvetes
kladd”

- Bengt Olofsson, Swedeponic
Påarp, angående spindelväv på
fotoceller till dörrarna



Figur 5. Örtväxthus



Figur 6. Förflyttning av odlingsrännor

Sammanfattningsvis kan det sägas att odlare eftersträvar ett homogent klimat med en optimal vatten- och näringstillförsel. Det är dessutom önskvärt att maximera det för plantan tillväxtbildande ljuset samtidigt som dess behov av ljusvila måste tillgodoses genom ett visst antal timmar av mörker varje dygn.

Under en plantas liv genomgår dessutom flertalet växtfaser. Under dessa faser kan behovet av ovannämnda tillväxtfaktorer komma att variera. Ofta finns exempelvis en något avskild avdelning som kallas barnkammare där plantorna befinner sig under den tidiga tillväxten.

Vid framförallt krukväxt- och övrig blomsterodling sker en viktig fasövergång när plantorna blommar och på så sätt blir klara för leverans och försäljning.

Värme och cirkulation

En mycket viktig aspekt för odlarna är växthusklimatet. Att kontrollera temperatur, luftfuktighet och cirkulation utgör en stor del av det dagliga arbetet. Klimatet påverkas starkt av förhållandena utanför växthuset vilket försvårar det hela. För att uppnå önskvärd temperatur och kompensera för utvändiga förändringar används vattenburen värme som leds i rör genom växthuset. Temperaturen i dessa system styrs automatiskt av en klimatt dator vilken odlaren kontrollerar. Då behov finns att sänka temperaturen snabbt kan odlaren välja att öppna takfönster i växthuset och på så sätt vädra ut varm luft och fukt. Under väldigt varma perioder täcks fönster av s.k. skuggvävar eller en kalkblandning, vilket reflekterar den starka solen, och det förekommer även vattensprinklers i taket vilket ger en avkylande effekt på plantorna. I syfte att få en jämn temperaturfördelning och luftcirkulation är det vanligt med ett antal större takmonterade fläktar.

En ytterligare värmekälla som påverkar temperaturen markant är värmen från HPS-lamporna då de är tända. Denna värmekälla aktiveras vid behov av extra ljus och blir således helt fristående från den övriga värmeregleringen. Det blir alltså något som odlaren får kompensera för i största möjliga mån genom de övriga värmekällorna.

Vad gäller värme från odlingslamporna finns en osäkerhet bland odlare om exakt hur det påverkar växterna. Flera odlare har en bestämd åsikt att den värme som de befintliga lamporna producerar är nödvändig. Anledningen till detta är dock mer tvetydig, då det delvis finns svårighet att se en tillräckligt stor värmekälla som ersätter lampvärmerna.

Ljus

Som tidigare nämnt under rubriken Klimat och plantor, är ljus en av de viktigaste faktorerna för att uppnå en önskvärd tillväxt. Därför används kompletterande ljus då solens dagsljus inte är tillräckligt starkt, och det ger därmed också möjlighet att förlänga odlingssäsongen till mörkare delar av året. För många plantor eftersträvas ett tillräckligt starkt ljus under ett visst antal timmar av dygnet, medan vissa sorter har ett ljusbehov dygnet runt och tillväxten är näst intill proportionell mot ljusintensiteten. I det senare fallet blir de begränsande faktorerna den stora värmeutvecklingen från lamporna samt de dyra energikostnaderna.

Det är alltid viktigt med hög och jämn kvalitet på produkterna. Kunderna har höga krav

- Cecilia Lund, Swedeponic ang. viktiga egenskaper hos plantan kopplat till kundens krav

Oavsett de plantspecifika ljusbehoven finns en generell eftersträvan att maximera utnyttjandet av solljuset samt uppnå en så jämn ljusspridning över plantorna som möjligt, både med hjälp av sol- och lampljus. Då odlarna tillfrågats svarar 7 av 9 att deras odling påverkas av skuggor från taket. Ett tydligt önskemål från odlarna är således att minimera de konstruktioner som finns kring tak och väggar vilka kan ge upphov till skuggor och därmed sämre tillväxt.

Ju mindre skrot
vi kan hänga
upp i taket,
desto bättre

- Henrik Palmgren, Palmgrens
krukväxtproduktion ang. installation
av armaturer

Bristfällig ljusspridning är ett tämligen vanligt problem som uppkommer vid växthusodling. Det kan exempelvis yttra sig som skuggade partier av plantbädden till följd av lampor som slocknat, men framförallt är otillräckligt ljus vid kantrader på banor och bord ett problem. Det sistnämnda scenariot är vanligast, och ger ofta upphov till att plantorna på ytterkanterna behöver kasseras till följd av undermålig kvalitet eller sämre tillväxt. Odlaren kan kringgå problemet genom att montera en extra rad armaturer längs väggar och gångar. Nackdelen med en sådan lösning är att mycket energi går till spillo då endast en liten andel ljus når plantorna, medan resterande strålar på golv och väggar. Det blir därför relativt ineffektivt både ur ett ekonomiskt och hållbarhetsmässigt perspektiv.

Belysning

Den kompletterande belysning som finns i växthus idag består nästan uteslutande av så kallade HPS-lampor, vilka även är den lamptyp som används i traditionella gatlyktor. Anledningen till den utbredda användningen av denna lamptyp är dess relativt höga verkningsgrad på ca 28% (High Pressure Sodium Lamps. 1997). De stora produktionsvolymerna har bidragit till ett lågt inköpspris på både hela armaturer, reservdelar och lampor.

Det finns tyvärr en rad nackdelar med denna befintliga belysning. Trots att verkningsgraden anses relativt hög genererar energiomvandlingen ca 70% värme. Lampornas värmeutveckling blir en ineffektiv värmekälla där användbar elenergi omvandlas till lågkvalitativ värmeenergi.

Glödlampornas livslängd är dessutom begränsad till ca 15 000 timmar (ca 2-3 år) men då ljusstyrkan minskar med åldern byter odlarna ofta ut lamporna efter ca 10 000 timmars brinntid, i vissa fall tidigare. Då det händer att enstaka lampor går sönder i förtid är detta något som är svårt att ha kontroll över.

Ibland genererar
lamporna så
mycket värme så
att undervärmen
måste stängas av
och lokalen vädras

- Leif G Hultman, Vidal AB ang.
strålningsvärme från HPS-lampor

HPS-lampans ljusintensitet går inte att variera då armaturen antingen är av eller på. I ett växthus observerades dock ett system där hälften av lamporna var kopplade separat, varpå odlaren kunde skifta ljusintensiteten mellan 50% och 100%.

I likhet med den karakteristiska gatubelysningen har växthusbelysningen ett gulaktigt ljus. Odlare menar att det inte är optimalt för den visuella utvärderingen av plantan, men att den gula färgen går att vänja sig vid. De flesta odlare är dock överens om att dagsljus är mest idealt vid utvärdering av plantornas hälsa.

Utöver den energimässiga nackdelen finns även tvetydiga aspekter kring värmen som alstras. Då lamporna är på eller av ges antingen full värme eller ingen alls vilket försvårar styrningen av temperaturen och det homogena klimat som eftersträvas. Det kan dock konstateras att stora mängder strålningvärme på nära håll kan brännskada plantorna vilket givetvis inte är önskvärt.

HPS-armaturerna hänger från balkar i växthusens tak, ca 1,5-4 meter från banan. Deras fästen består ofta av bockad plåt, som monteras permanent i balken med några skruvar. I växthus med örtproduktion hänger armaturerna generellt högre än i växthus med krukväxtodling för att den travers som används för att transportera tomma rännor ska kunna passera. (se fig. 7) Där odlarna använder sig av odlingsbord hänger armaturerna lägre, här dimensioneras höjden så att plantorna inte tar skada av den starka strålningvärmen från HPS-lamporna.

Utöver lampbyten rengörs armaturerna regelbundet och servas vid behov. Rengöring sker oftast då armaturerna hänger i taken emedan service sker efter nedmontering. Intervallen mellan dessa tillfällen varierar, men 6 av 9 tillfrågade rengör armaturerna upp till en gång per år.

Förr hade vi plastarmaturer och dessa gav upp i själva kroppen p.g.a. bristande UV-kvalité. Mycket farligt p.g.a. brandrisk

- Bengt Olofsson, Swedeponic Påarp ang. bristfällig kvalitet på plastarmaturer

Då driftsäkerhet är otroligt viktigt för många odlare blir således materialet på växthusets utrustning en viktig aspekt att ta hänsyn till. Tillverkningsmaterialet för HPS-armaturer är vanligtvis någon form av plast eller metall. Många brukare har negativa erfarenheter av armaturer med plastkåpor eftersom den typ av plast som används har betydligt sämre hållbarhet än plåt. Solljuset får materialet att vittra sönder och missfärgas, samtidigt som brandrisken är större. På en växthusanläggning i Holland påpekades det att användandet av plastkåpor utesluter möjligheten till att försäkra växthusen.



Figur 7. Bild på travers.

LED-belysning

Idag finns ett antal LED-baserade odlingslampor med varierande teknik. Vissa armaturer har endast på- eller av-funktion, medan de mest avancerade har justerbart färgspektrum och intensitet. Dagens LED-lampor kan övergripande kategoriseras efter tre olika typer av applikationsområden.

- *Interlight* kallas den typ av armatur som placeras mellan höga plantor så som tomat och gurka. Detta ljus används som komplement till takbelysning. (se fig. 9)
- *Multilayer* kallas den typ av armatur som sitter i taket på växtkammare som byggs i flera lager. I dessa kammare odlas framförallt plantor i de tidiga faserna.
- *Top-light* är den typ av armaturer som direkt har till syfte att ersätta de traditionella HPS-armaturerna som huvudsaklig ljuskälla i stora växthus. (se fig. 8)

LED belysning i dagens växthus förekommer främst i experimentellt syfte. Några få odlare har till viss del implementerat LED i full skala och då rör det sig främst om interlight- och multilayerlösningar. Dessa LED-odlingar återfinns främst i Holland där växthusindustrin ligger i framkant.



Figur 8. Top-lighting



Figur 9. Inter-lighting

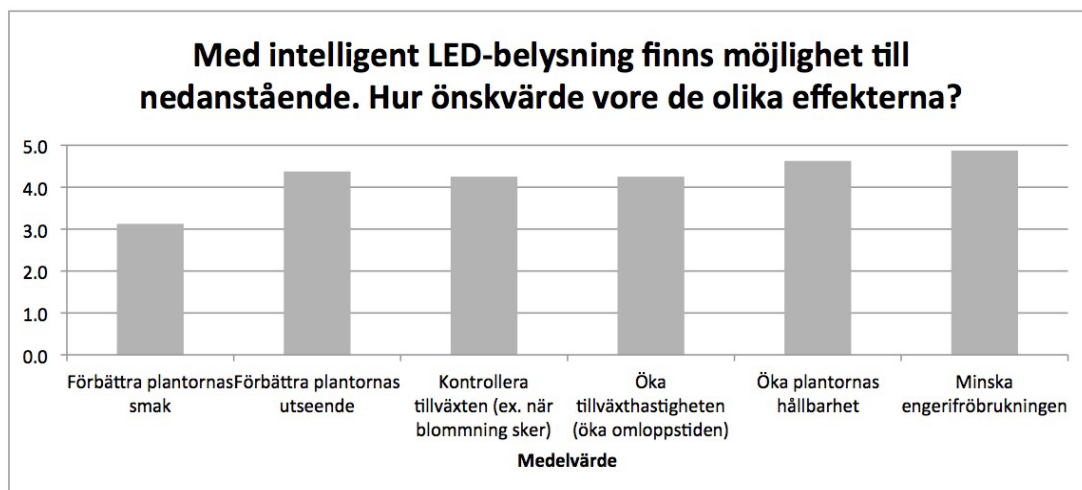
Begränsningar för LED-belysning

Det finns vissa faktorer som begränsar utbredningen av LED-lösningar inom växthusindustri. Till att börja med behövs det fortsatt tekniskt utvecklingsarbete kring att ta fram LED-ljus till ett konkurrenskraftigt pris och med tillräcklig intensitet. En ljusintensiv LED är dyrare och blir mer kostsam då armaturen kräver fler komponenter, exempelvis för kylning. Det kan även antas vara en av anledningarna till varför de vanligast förekommande LED-armaturerna idag främst är *inter-lighting* med betydligt lägre ljusintensitet än vad som krävs av *top-lighting*

Det är positivt att kunna arbeta med olika ljusspektrum, om försök visar att det är lönsamt. Men investeringen får heller inte vara för stor

- Leif G Hultman, Vidal AB

För mer intelligenta lampor finns indikationer som tyder på att förbättrade egenskaper som exempelvis smak, utseende och kvalité, är möjliga att uppnå i en storskalig kommersiell odling. Dessa aspekter är potentiella argument för framtida investeringar i odlingsbelysning. I dagsläget är dock utsikterna för ökad vinst till följd av förfinade plantegenskaper relativt dåliga. Efterfrågan behöver alltså mogna i takt med den tekniska utvecklingen för att detta ska bli aktuellt. Dessförinnan kommer troligtvis inte dessa fördelar att vara en tillräcklig motivering för odlare att investera i LED-baserade odlingslampor.



Figur 10. Diagram över enkätsvar.

3.3.2 Brukare och marknad

Marknad

Brukarstudien hade inte för avsikt att resultera i en fullvärdig marknadsanalys, men då vissa aspekter berör växthusmarknaden i stort ansågs de viktiga att beakta vid utvecklingen av ett LED-baserat odlingskoncept.

Det framgick att den svenska växthusmarknaden är en relativt svår bransch under nuvarande omständigheter. Efterfrågan på varorna varierar under året samtidigt som konkurrensen mellan olika aktörer pressar priserna, vilket medför små marginaler.

Egenskaper som kraftigare smak, ökad kvalitet och förbättrat utseende hos plantorna är självfallet önskvärt, men ger som tidigare nämnt inte möjligheten att ta mer betalt. Om den enskilde odlaren får möjlighet att uppnå dessa egenskaper genom användning av intelligent belysning, skulle det alltså i nuläget inte generera en större avkastning ur ett kortsiktigt perspektiv. Dock finns en antydning till att detta kan komma att ändras i framtiden. Några odlare har nämnt att vissa plantsorter tappat mycket smak under vinterhalvåret på grund av det bristfälliga solljuset. Skulle belysning kunna förbättra smaken så finns potential att nå nya spekulanter och, på längre sikt, möjligen kunna ta mer betalt för plantorna. Restaurangbranschen är exempel på en tänkbar kund, då den vanligen ställer höga krav på smak och kvalitet.

Utseendet på plantorna är extremt viktigt då växthusen säljer med ögat och grossisterna köper med ögat

- Bengt Olofsson, Swedeponic Påarp ang. säljkriterier för odlare

Andra faktorer som förbättrad hållbarhet skulle också kunna vara värdefulla ur grossisternas synvinkel, då det bland annat skulle minimera svinn vid transporter.

Brukare

I alla växthus finns någon form av platschef som har det övergripande ansvaret för växterna och produktionen. Denne har till uppgift att reglera bl.a. klimat, ljus, bevattning och näringstillförsel i syfte att optimera tillväxten. Hur dessa parametrar styrs baseras på odlarens erfarenhet och kunskap, där målet alltid är att maximera produktionen och säkerställa de kvalitativa kraven. En annan aspekt som rör verksamheten i stort är lönsamheten, som i de flesta fall utgör grunden för allt beslutstagande. Odlarnas prioriteringar utgår från effektivisering av verksamheten, minskade kostnader och större vinster.

Det dagliga arbetet som odlarna utför är rutinbaserat och bygger framför allt på tidigare erfarenheter. De tillhandahållna verktyg som finns för att påverka tillväxten är mycket standardiserade och mer eller mindre lika i alla växthus av samma typ. Kopplat till detta skapas en bild av att odlarna är relativt låsta i sina vanor och rutiner kring hur odlingverksamheten ska skötas. Många odlare ser inga direkta problem eller potentiella möjligheter att effektivisera befintliga verktyg, då de har lärt sig att arbeta utifrån de tekniska förutsättningar och begränsningar som funnits under lång tid.

Denna aspekt, i kombinationen med de små marginalerna, kan vara den bidragande orsaken till odlarnas försiktighet med att utforska nya tekniska lösningar. Vana, tradition och de förutsättningar som marknaden skapar tros alltså kunna begränsa odlarnas syn på ny teknik och de möjligheter att förbättra verksamheten som den kan medföra. Därför är större delen av tillfrågade odlare överens om att de föredrar metoder som är beprövade eftersom de vill vara säkra på att nya investeringar betalar sig.

Nackdelarna med LED-belysning är att den kräver mycket installation och många lampor, då blir de skrymmande och kan kasta skuggor över odlingarna

- Henrik Palmgren ang. LED-baserad belysning i växthus

Brukaren och LED-belysning

Vad gäller odlarnas syn på LED finns några intressanta aspekter värda att ta i beaktning. Som tidigare nämnt bygger mycket av odlarnas kunskap på erfarenhet. Inblicken inom områden som elektromagnetisk strålning och våglängder är begränsad vilket påverkar vetskapen om hur ljuset kan påverka plantor. Exempelvis verkar de flesta odlarna vara medvetna om att blåa och röda våglängder påverkar plantors tillväxt olika, men någon djupare förståelse eller kunskap finns oftast inte.

Dock genomsyras odlarnas attityd av en allmän nyfikenhet på det nya och utforskade, speciellt när potentiella fördelar med LED-belysning presenterades för dem. Så gott som samtliga tillfrågade ställde sig väldigt positivt till den tänkbara möjligheten att förkorta produktionens omloppstid, med andra ord öka plantornas tillväxthastighet, se fig. 10

“Det finns en poäng med att kunna anpassa ljuset från blåare till rödare. Inga extremer, men lite lätt

- Cecilia Lund, Swedeponic Ellös ang. tillämpningen av olika våglängder

Eftersom odlarens dagliga arbete till stor del bygger på att justera olika parametrar för att optimera tillväxten, kan ett varierbart ljus med sina möjligheter att skapa rätt förutsättningar verka intressant.

Det färgade ljuset från dioderna ter sig avskräckande för vissa odlare, eftersom det finns risk att utvärderingen av plantorna försvåras. En del odlare är skeptiska, medan andra förmodar att det är en vanesak då de tidigare fått anpassa sig till HPS-ljusets gulaktiga sken. För att bemöta denna skepsis är det således rimligt att en odlingslampa bör kunna lysa med vitt ljus.

När förslaget på att i praktiken införa LED som kompletterande ljuskälla i praktiken tas upp har odlarna dock återigen konservativa åsikter. Många anser att denna teknik ligger många år framåt i tiden och att det skulle innebära alltför stora investeringar i dagsläget. Sammantaget kan det konstateras att det inte enbart är det höga priset på LED som orsakar tveksamheten. Det saknas också kunskap och information om LED-tekniken och dess innebörd, samt produkter som tilltalar odlarna med avseende på övriga aspekter.



Figur 10. Bengt Olofsson, Swedeponic Påarp

Generellt sett är det svårt att övertyga en bred skara intressenter om forskningsresultat och fördelar med LED-belysning, då få odlare har en bakgrund inom forskningsområdet. De förbättrade produktionskvalitéerna som LED-belysning kan erbjuda är relativt svår att förmedla till brukarna, samtidigt som producenter för närvarande intresserar sig för ökad biomassa framför förädlad smak. Som tidigare nämnt kan det finnas intresse för förbättrade kvalitativa egenskaper hos grödor utöver energibesparingar. Det är ett potentiellt marknadsföringskoncept, och skulle i likhet med förhöjd produktion kunna bistå som säljande argument. För att möjliggöra detta krävs dock tydligt verifierande underlag.

3.3.3 Brukarstudie i Holland

Den holländska växthusmarknaden skiljer sig relativt mycket från den svenska. Skillnaderna verkar framförallt bero på ekonomiska förutsättningar och den allmänna utvecklingen inom växthusodling. I fråga om teknik och kunskap anser många svenska odlare att Holland är cirka 10-15 år före Sverige i utvecklingen. Några nämnvärda skillnader som framgick av brukarstudien kommer tas upp i detta delkapitel.

Förutsättningar

Odlingsindustrin har en lång tradition och utgör en stor del av Hollands ekonomi. Lagar, restriktioner och skattelättnader medför att kostnader för arbetskraft och energi blir betydligt mindre, vilket reducerar totalkostnaderna för producenter. Konsekvensen blir att produkterna kan säljas till lägre priser, vilket gör Holländska produkter till konkurrenskraftiga exportvaror i andra länder, exempelvis Sverige.

Förutom de ekonomiska aspekterna har även odlarna bättre förutsättningar att reglera klimatet i växthusen, då det Holländska klimatet i regel är förhållandevis stabilare än det nordiska. Det innebär även lägre kylnings- och uppvärmningskostnader för anläggningarna.

LED-belysning i Holland

Då Holland befinner sig i framkant inom växthusodlingsindustrin har användningen av LED-baserade belysningssystem större spridning. Begreppet LED är välkänt bland kommersiella växthusodlare och en del producenter har valt att tillfälligt eller permanent implementera LED-armaturer i sina växthusodlingar. Trots det tycks inte alla brukare vara helt övertygande än, och åsikterna om LED-belysning skiljer sig bland de odlare som besökts.

“The most positive aspect of LEDs is less loss of light”

- Sjoerd Nieboer, Greenq ang.
fördelar med LED-belysning

Den största trenden bland LED-baserade belysningssystem är utan tvekan *inter-lighting*. Tekniken medför ett flertal fördelar. Genom att delvis ersätta HPS-lampor med LED minskar energiåtgången, samtidigt som *inter-lighting* håller nedre regioner av plantan aktiv och därmed ökar den totala produktionseffektiviteten. Trots att konfigurationen inte helt utesluter nackdelar, verkar den vara mest betrodd och inkorporerad i den holländska odlingsindustrin jämfört med annan typ av LED-belysning. Tekniken är dock mer lämpad för ett begränsat antal planttyper, vilket inte innefattar lågväxande plantor såsom örter.

Bland de brukare som varit i kontakt med LED-lampor i praktiken har den specifika färgen på ljuset inneburit en del problematik. Komplikationer som berört 2 av 3 holländska respondenter har beskrivits i form av dåligt arbetsljus och medfört försvårad utvärdering av plantorna. Personal har i vissa fall fått besvär med huvudvärk och tvingats arbeta med keps samtidigt som placeringen av LED-armaturerna behövt justeras bort från ögonhöjd. Tillämpningen av LED-lampor som takbelysning i större skala tas emot med en viss skepsis av samtliga tre odlare. På Jami, en av de första kommersiella odlarna att installera LED-interlighting permanent, fanns en oro att det färgade ljuset skulle ha en negativ inverkan på odlingsarbetet. Dock visar nu erfarenhet att det inte medfört några besvär, såvida blicken inte riktats direkt mot dioderna



Figur 11. Byggnation av rosodling med inter-lighting.

HPS-lampan och strålningsvärme

Liksom svenska odlare har inte heller någon av de holländska brukarna kunnat svara på vad skillnaden mellan strålningsvärme och varmluft är, eller vad det innebär för plantor och klimatet i växthuset. Trots det ansågs det närmast otänkbart att eliminera den ovanflödande strålningsvärmen från HPS-lamporna. På GreenQ Improvement Centre har det hittills kunnat konstateras att användningen av inter-lighting förändrar mikroklimatet helt, och att inter-lighting med LED-lampor medfört 20 % högre vattenkonsumtion. Det sistnämnda leder till en förhöjd fukthalt i odlingslokalen, vilket i sin tur kräver mer resurser för att motverka utbrytning av svamp.

“You need radiation heat, it's like the sun”

- Besöksansvarig på Jami ang. att LED-belysning inte genererar någon värme

Plantor kräver idealt en jämn temperatur -och fuktfördelning, såväl vertikalt som horisontellt. Elimineras HPS-armaturen, tycks det behövas ett ersättande värmesystem som kan bibehålla en ideal temperaturspridning. Det har genomförts försök där infrarött ljus integrerats i LED-belysningen som kompensation för värmeförlusterna, dock har dessa experiment visat att metoden är ekonomiskt och energimässigt ineffektiv. Att ersätta HPS-lampans strålningsvärme kommer förmodligen därför bli en framtida utmaning, och kräva utvecklingen av en ny klimatstrategi.

Hantering av växthusbelysning

I Holland värderar producenterna ljuset högt då det anses vara den största tillgången vid produktion. Mycket resurser läggs därför på underhåll av HPS-armaturerna för att kunna säkra graden av intensitet på ljuset. På grund av det stora antalet armaturer krävs oftast en eller fler anställda som arbetar heltid med reparation, byte och service av armaturer, reflektorer och lampor. Den typen av resursfördelning ses mer eller mindre som en självklarhet. På tomatodlingen som besöktes spenderades dessutom extra tid på att montera ned samtliga armaturer inför sommaren för att minimera skuggbildning. Sammantaget innebär detta en högre interaktionsgrad med armaturerna, vilket ställer krav på produktens utformning av ergonomiska såväl som praktiska och säkerhetsmässiga skäl.

“Don't bother playing around with red or blue lights, just give me micromoles”

- Maurice de Ruijt, Van der Berg Roses ang. vikten av hög ljusintensitet (tillika micromol)

Förutom det mer omfattande underhållsarbetet drivs HPS-lamporna i regel med högre effekt än i Sverige. Odlingslampor med effekter på 1000 Watt är vanligast förekommande bland takbelysningen, jämfört med svenska armaturer som normalt ligger på 400 till 600 Watt. Odlarna förefaller även vara mer benägna att betala ett högre pris i utbyte mot högkvalitativa och välfungerande HPS-armaturer, de har också en högre tröskel gällande tidsramen för återbetalning av en investering. Skulle samma trend nå den svenska marknaden bör det gynna belysningstillverkare av LED.

Ljusintensiteten mäts nästan uteslutande i micromol/m²/s, som är ett mått på fotonintensiteten. I många fall tycks det vara den första aspekten att bli utvärderad hos såväl ny som äldre utrustning, samt vara den styrande faktorn vid inköp.

“0,0000000001 percent failure from LEDs. 50 out of 15 000 lamps”

- Besöksansvarig på Jami ang. att LED-lampor sällan krånglar eller går sönder

3.3.4 Sammanfattning av brukarstudien

Brukarstudien av svenska och holländska odlare resulterade efter analys i ett antal slutsatser. Följande punkter utgör en sammanfattad bild av brukare, kontext och miljö, med fokus på aspekter som är relevanta för utvecklingen av en LED-baserad odlingslampa.

Växthusmiljön

- Växthus utgör en hård miljö för elektronik. Det är alltid hög luftfuktighet och ibland bildas även droppar från kondens och fukt. I luften förekommer relativt mycket damm från odlingsjord, samt olika typer av insekter och spindelväv som täcker takkonstruktioner.
- Konstruktionerna är relativt varierande från växthus till växthus, det gäller framförallt olika takhöjder, balkar och odlingstyper.
- Temperaturen i växthuset varierar över dygn och säsong, men också dagligen mellan olika delar av lokalen. Temperaturskillnaderna motverkas genom olika verktyg, exempelvis skuggvävar, varmluftsledningar, strålningsvärme från HPS-lampor och sprinklersystem.

Ljus och växthusbelysning

- Ljus är en viktig odlingsaspekt. Det består dels av kompletterande belysning, och dels av solinsläpp som anses vara den viktigaste ljuskällan. Därför undviks helst onödig skuggbildning, och en jämn ljusspridning eftersträvas.
- Plantornas tillväxt påverkas framförallt av ljusintensiteten. Odlare talar ofta om micromol/m²/s, vilket är ett intensitetsmått för fotoner. Ju mer micromol per Watt en lampa kan bidra med, desto bättre.
- HPS-lampor har vissa nackdelar, exempelvis hög energiförbrukning och kort livslängd. För närvarande byts glödlampor ungefär vartannat år, vilket kräver mycket resurser. Ca 70 % av tillförd energi omvandlas direkt till strålningsvärme som kan skada växterna och påverkar klimatet i växthuset.
- För att utvärdera produktionens status inspekterar odlarna plantorna visuellt vid ett flertal tillfällen under dagen. Utvärderingen sker helst i dagsljus.

Brukare och marknad

- Odlarna har väldigt små marginaler, därför bör så liten del av produktionen som möjligt slängas på grund av undermålig kvalité. Industrin är dessutom en väldigt prispressad, med hög konkurrens mellan olika länder.
- Dagens säljkriterier utgår från grossistens krav och gäller framförallt biomassa, dvs. vikt och längd. Odlare kan alltså inte få mer betalt för vare sig bättre smak eller ökad hållbarhet. Det finns dock framtida indikationer på att smaken kan komma att bli viktigare, vilket medför möjligheter att utöka kundkretsen.
- Lönsamhet är extremt viktigt för odlare. De är en aning försiktiga och låsta i sina vanor kring domänen, därför sker sällan investeringar såvida det inte gäller en välbeprövad metod. Dock finns ett allmänt intresse för att experimentera med olika faktorer som påverkar odlingen, samt en viss nyfikenhet på utvecklingen av nya innovationer.
- Driftsäkerhet är en viktig aspekt ur flera perspektiv. Elektronikbaserad utrustning bör därför vara säker dels ur brandsynpunkt, men också ha ett minimerat servicebehov.

4. Kravsättning

Detta kapitel beskriver fastställandet av de attribut som krävs av och definierar produkten.

Kravsättningen agerar länk mellan studierna och de koncept som utvecklas. Kapitlet kommer följa en struktur där metoder, genomförande och resultat för motsvarande projektfas kommer presenteras i följd.

4.1 Metoder

4.1.1 Kravlistning

En kravlista beskriver vad produkten måste uppfylla för att tillgodose de behov som uppmärksammas i studierna inför produktutvecklingsarbetet. Arbetet med att ta fram en precis och kvantifierbar kravlista är iterativt och sker stegvis i samband med de olika faserna av produktutvecklingsprocessen. (Bligård. 2011. s.52)

4.2 Genomförande

4.2.1 Kravlistning

Utifrån trädigrammen identifierades grundläggande problem och behov ut och sammanställdes i en preliminär kravlista som kategoriserades efter kravens abstraktionsnivåer. För att göra kravbilden till ett mer lättolkat underlag inför den första konceptgenereringen kondenserades den preliminära kravlistan ned till ett par grupper av tydliga krav för en ideal belysning. När utvecklingsprocessen framskred och funktioner specificerades omarbetades och översattes denna lista till kvantifierbara krav i en kravspecifikation. I de fall då det var svårt att avgöra vikten av vissa krav sinsemellan användes parvis jämförelse.

4.3 Resultat

4.3.1 Preliminär kravlista

Den preliminära kravlistan är uppdelad i de fyra kategorierna Systemmål, Användningskrav, Övergripande utformning och Detaljerad utformning. I detta tidiga skede var det ej aktuellt att ytterligare specificera kraven eftersom det inte fanns en given konstruktion att applicera dem på. Nedan följer några exempel ur den preliminära kravlistan. Den preliminära kravlistan återfinns i bilaga 10.

Systemmål	- Belysa växter med LED
Användningskrav	- Tillhandahålla önskvärt ljusbild - Besitta upphängningsmöjlighet
Övergripande utformning	- Sprida ljus över aktuellt område - Upphängning som passar alla växthus
Detaljerad utformning	- Belysa hela odlingen inkl. kantrader - Anpassningsbar för olika takbalksutformningar

För att göra kravbilden till ett mer lättolkat underlag inför konceptgenereringen kondenserades den preliminära kravlistan ned till ett par grupper med tydliga krav på ideal belysning:

- **Ljusbild:** Sprida ljus över aktuellt område, minska skuggbild, höj och sänkbar.
- **Kostnadseffektivitet:** Minska behov av dyra komponenter, ta tillvara på ljus och energi.
- **Driftsäkerhet:** skydda teknik, kyla elektronik, underlätta servicehantering.
- **Hantering:** Enkel installering och nedtagning, enkel rengöring, smidig form.

4.3.2 Fullständig kravlista

Den fullständiga kravlistan preciserar kraven genom kategorisering, detaljerade beskrivningar, mätvärden och ursprung för kravet. På så sätt görs kraven kvantifierbara och enklare att härleda. Den kompletta fullständiga kravlistan återfinns i bilaga 11. Nedan finns ett exempel ur den fullständiga kravlistan.

Kravgrupp	Namn	Krav	Beskrivning	Mätvärde	Verifikation	Typ	Ursprung
Ergonomi	ER1	Minimera fläktljud	Hålla nere ljudnivå på fläktar för att minska oväsen i växthuset	40 dB (AFS 2005:16)		Önskemål	Förkunskap
Underhåll	UN1	Signalera säkringsfel	Ge möjlighet att kontrollera säkringsstatus på avstånd	Minst 3 meter		Krav	Brukarstudie

Figur 12. Utdrag ur kravlista

5. Konceptgenerering

Detta kapitel återger utforskandet av funktioner och tekniska principer och de konceptuella lösningar som härleddes ur detta. Kapitlet kommer följa en struktur där metoder, genomförande och resultat för motsvarande projektfas kommer presenteras i följd.

5.1 Metoder

5.1.1 PVOS - tekniska principer

PVOS är en förkortning för “På vilka olika sätt”, och är en metod för idégenerering som bygger på att formulera en fråga utgående från en problemställning.

Ex: På vilka olika sätt kan man kyla dioder?

5.1.2 Reversed brainstorming

Metoden fungerar som en omvänd PVOS, alltså utgående från en frågeställning formulerad utifrån en problembild. Istället för att svara på hur en lösning kan åstadkommas utforskas olika sätta att orsaka problemet.

Ex. Hur kan man försvåra reparation och service?

5.1.3 Starbursting

Utgående från frågeorden *Vem, Vad, Varför, När, Vart, Hur* komponeras olika frågeställningar. Metoden kan användas för att finna nya infallsvinklar på kravsättningen till en produkt.

Ex. Odlingslampa

“Hur transporteras den?”

“Vart förvaras den?”

5.1.4 Workshop

En workshop kan beskrivas som en tidsbegränsad arbetsform bestående av ett antal personer som samlas för att diskutera och idégenerera kring ett förutbestämt ämne och enligt en förutbestämd metod. Personerna kan med fördel väljas med varierande erfarenhet av ämnet för att resultera i en friare idégenerering. Oavsett deltagare är det väsentligt att efterstäva öppenhet och fantasirikedom i processen genom att begränsa sessionerna vad gäller tid.

5.1.5 Morfologisk matris

En morfologisk matris är ett underlag för att illustrera tänkta dellösningar som analyserats. I matrisen visas delfunktioner med tillhörande dellösningar och på så vis ges en överblick över alternativa konstruktionsalternativ. Samtidigt är det enkelt att para ihop olika dellösningar för att på så sätt komponera nya helhetskoncept.

5.2 Genomförande

5.2.1 Idégenerering

Utifrån de slutsatser som dragits efter analys av insamlad data fortskred arbetet med att ta fram lösningar och tekniska principer till olika problem och behov hos brukargruppen. För att främja idégenereringen användes diverse metoder som bygger på brainstorming, bland dessa utfördes PVOS , *reversed brainstorming*, *starbursting* samt upprepade skiss-sessioner för att kunna utveckla tekniska principer. Metoderna tillämpades på följande aspekter som utvecklades ur den kondenserade kravsättningen, se avsnitt 4.3.1.

Övergripande form.

Lösningar för minimerad skuggbildning, volymseffektivitet, staplingsmöjligheter, rengöring etc.

Ljusspridning.

Jämn ljusfördelning och sätt att optimera bortfall av ljus vid exempelvis kantrader.

Konstruktionslösningar.

Möjligheter att förenkla byte av komponenter, använda få komponenter, anpassa produkt till miljö etc.

Kylsystem.

Utblås och dess riktning, luftflöde, kylningsmetod, dammtålighet etcetera.

Installation.

Minimering av kablage, enkel montering och demontering, integrering med befintligt elsystem etcetera.

Upphängning.

Praktiska, robusta och enkla lösningar eftersöktes.

Processen var iterativ eftersom nya insikter ofta uppstod efterhand. Samtliga metoder utfördes under tidsbegränsade workshops och dessa varvades med personer utanför projektet för att få nya infallsvinklar.

5.2.2 Dellösningar till koncept

I det tidiga skedet blev framförallt fyra områden centrala för konceptframtagning. Följande aspekter utgjorde alltså inriktningar för den fortsatta utvecklingen:

- *Övergripande form*
- *Upphängning*
- *Kylning*
- *Intelligensgrad*

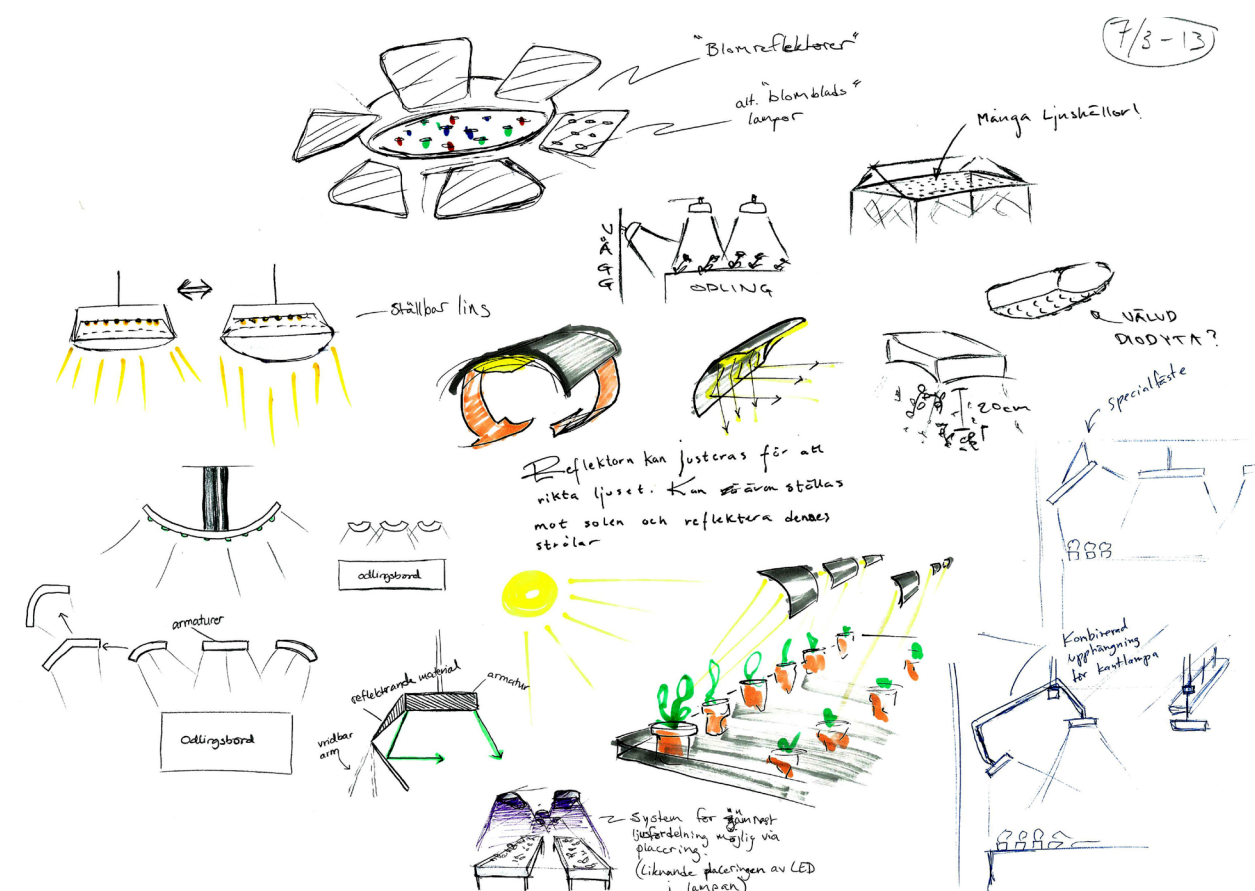
Eftersom företagets nuvarande produkt är marknadens mest avancerade gällande styrmöjligheter, kommunikation och våglängder ansågs den motsvara *full intelligensgrad*. Då det i brukarstudien framkommit att dagens kommersiella växthusmarknad inte nödvändigtvis efterfrågar den typen av framskriden teknik, undersöktes möjligheten att applicera andra grader av intelligens, som fortfarande baseras på Heliospectras kärnkompetens. För att utröna och illustrera vilka olika varianter som kunde appliceras utvecklades den modell som återfinns i resultatdelen (se avsnitt 6.3.1).

Urval av dellösningar

Vart och ett av de fyra områdena innehöll flera dellösningar förvärvade från tidigare idégenerering. För att förbättra befintliga dellösningar samt gallra ur de mindre fördelaktiga, undersöktes de vidare med konstruktionsskisser, enklare fysiska modeller samt diskussioner.

Morfologisk matris

Då ett antal potentiella dellösningar kvarstod bildades en *morfologisk matris* över de fyra områdena kylsystem, intelligensgrad, upphängning och övergripande form. Denna användes för att visa på olika kombinationsmöjligheter och som hjälpmedel till att komponera olika helhetskoncept av olika dellösningar. De preliminära koncepten kunde sedan utgöra diskussionsunderlag för utvärdering.



Figur 13. Idéskisser av tekniska principer.

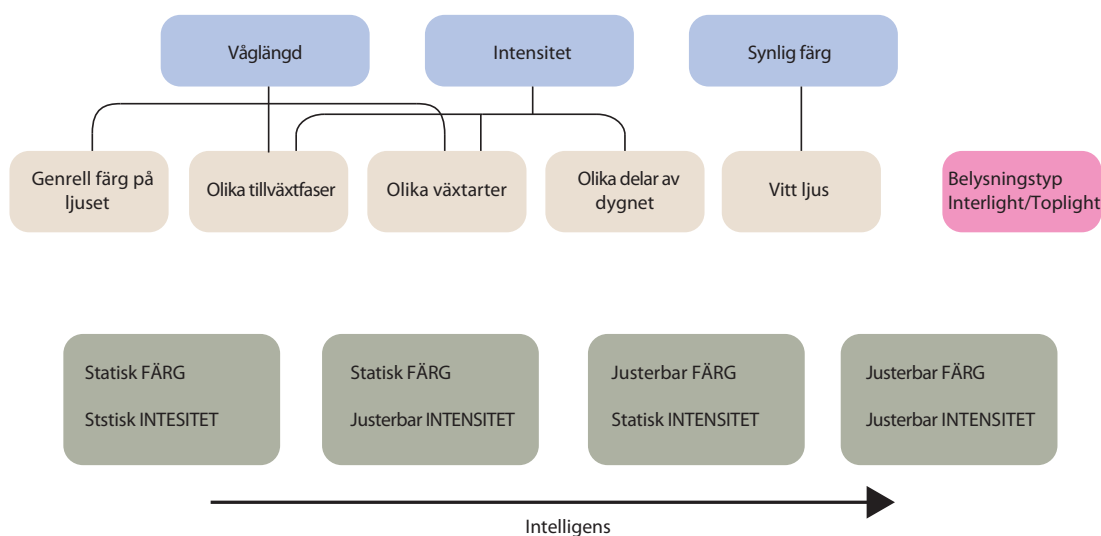
5.3 Resultat

5.3.1 Dellösningar

Vid konceptgenereringsfasen slut fastställdes ett antal lösningsförslag och tekniska principer inom de fyra dellösningsområdena.

Intelligensnivå

Intelligensen hos lampan avgör i vilken utsträckning justeringar av intensitet och färg kan göras. Detta påverkar antalet komponenter samt vilka typer av dioder som behövs. Intelligensnivån blir således starkt kopplat till kostnaden.



Figur 14. Intelligensmodell.

Följande olika konceptspår för intelligensnivån av produkten fastställdes:

Statiskt ljus

Med *Statiskt ljus* menas att armaturen inte medger justerbart ljus, utan enbart på och av-funktion med ett fåtal förvalda, fasta våglängder av ideal färgblandning för en specifik gröda.

Potentiellt sett skulle det kunna innebära en relativt prisvärd produkt som brukare kan beställa anpassad med specifika våglängder, där olika dioder kan bytas ut och varieras efter den avsedda odlingen. En modul-baserad konstruktion medför att tillverkaren tämligen enkelt kan växla mellan olika LED-plattor efter brukarens önskemål, utan att behöva konstruera flera olika armaturer.

Dimbar

Med *Dimbar* menas att armaturens ljusintensitet går att justera genom att anpassa strömmen till dioderna. Alla armaturens dioder dimmas tillsammans, samt att ett flertal armaturer även dimmas samtidigt. Detta tros kunna resultera i en relativt enkel och billig teknisk lösning. Utöver dimfunktionen är lösningskonceptet likt *Statiskt ljus* där lampan inhandlas med ett specifikt, förbestämt ljusrecept baserat på vilken typ av planta som ska belysas.

Tanken är att detta koncept ytterligare ska möjliggöra en minskad energiförbrukning då man kan anpassa ljusintensiteten från lamporna efter hur starkt solen lyser beroende på årstid, solstånd eller moln. Plantor kan dessutom behöva olika mängder ljus i olika tillväxtstadier vilket kan uppnås då belysningen kan dimmas i partier. Det skulle vara en klar fördel jämfört med dagens HPS-system som endast kan styras med strömbrytare utan att variera ljusintensiteten. För att kunna utvärdera plantor utan svårigheter undersöks även möjligheten att temporärt kunna skifta om till vitt ljus.

Uppgraderbar

Konceptet *Uppgraderbar* bygger på en möjlighet för odlaren att öka på justerbarhetsmöjligheterna utifrån hur behoven ändras utan att behöva byta ut lamparmaturerna. Lampans grundutförande skulle exempelvis kunna bygga på ett helt enkelt statiskt ljus där odlaren efterhand kan byta ut och lägga till komponenter vilket skulle leda till en mer och mer justerbar lampa.

Detta skulle kunna medföra en billig produkt i sitt grundutförande vilket anses vara mer gångbart i dagsläget med det befintliga marknadsläget. När marknaden mognar med avseende på LED och intelligent ljus skulle det vara naturligt för befintliga kunder att uppgradera sina armaturer utan att behöva nyinvestera.

Full intelligens

Konceptet *Full intelligens* är inte ett nytt koncept utan finns med i syfte att belysa möjligheten att behålla den justerbarheten som finns i Heliospectras befintliga produkt, där intensiteten av varje enskild färgkanal kan styras individuellt. Detta förutsätter att produkten har en hög effekt.

Övergripande form

Den övergripande formen avser produktens grundform och proportioner. Detta påverkar delvis skuggbildningen men även hur komponenterna kan placeras i produkten.

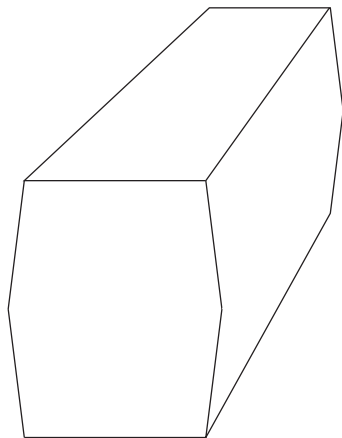
Följande konceptspår för den övergripande formen av produkten fastställdes:

Smal

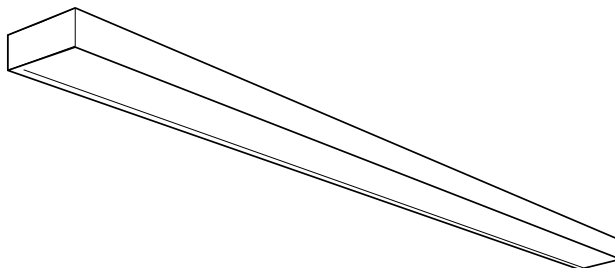
En mycket smal grundform där konstruktionen utgörs av en kylfläns med några få rader dioder och övriga komponenter monterade direkt på. Formen medför att armaturen kan användas till *inter-lighting* och som takbelysning. För att kunna verka som *inter-lighting* krävs en lägre intensitet på ljuset för att ej skada plantorna, vilket i sådant fall även förutsätter lägre effekt. Dock finns det möjlighet att montera flera armaturer i rad, vilket skapar förutsättningar för att öka den totala ljusintensiteten per area enhet. En av de främsta fördelarna med grundformen Smal är att den medför minimal skuggbildning på grund av den lilla toppytan, vars bredd skulle motsvara en balks. Dessutom skulle den enskilda produkten väga något mindre och därmed bli lättare att hantera.

Avlång

En enkel, rektangulär grundform med avlång design och liten toppyta. Genom större sidoytor än toppyta anses mer solljus reflekteras ner mot plantorna istället för tillbaka uppåt. Tanken är även att minimera skuggbildning från armaturen genom att placera så mycket volym som möjligt under den fasta balken som lampan fästs i, då denna balk redan genererar en skugga. Formen är även avsedd att rymma de komponenter som krävs för en mer avancerad justerbar teknik.



Figur 15. Avlång



Figur 16. Smal

Vikbar

En tvådelad armatur vars båda LED-ytor är ledade för att det ska vara möjligt att vika armaturen kring mitten. Det medför att armaturen i sina ytterlägen kan rikta ljus helt åt sidorna samt “stängas” så att dioderna innesluts.

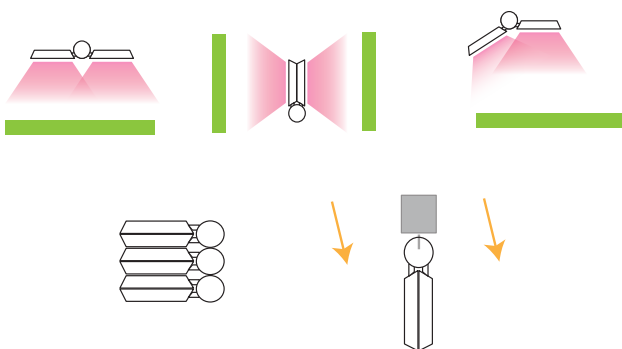
Den ihopfällbara konstruktionen möjliggör en smidig förvaring, då armaturen likt en laptop kan fällas ihop och på så sätt bli volymseffektiv och staplingsbar i nedmonterat läge. Eftersom LED-korten befinner sig på armaturens insida skyddas dioderna från stötar och slag som kan skada dem under hantering. Ännu en fördel med vikbarheten är att samtliga armaturer kan stängas på sommaren då de inte är i bruk och minimera skuggbildningen genom en reducerad topparea.

Andra tillämpningar på vikbarheten är armaturens utåtvända ihopfällda läge, som gör den användbar till *inter-lighting*. Den ger även möjlighet att rikta in ljusbilden från de lampor som hänger vid kantrader genom att yttervingen vinklas inåt.

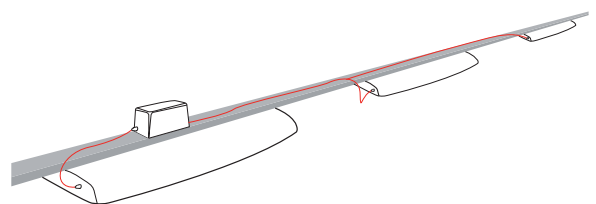
Uppdelad

Detta koncept representerar inte direkt en konkret form, men faller under denna kategori av dellösningar då det har en direkt påverkan på den övergripande formen. Konceptet bygger på att vissa utvalda komponenter är separerade från resten av armaturen. Dessa skulle exempelvis kunna vara transformator och andra elektriska komponenter.

Detta ger möjlighet till en volymseffektiv form av armaturen och öppnar upp för många möjligheter vid placering/upphängning av de uppdelade komponenterna. Genom att placera de ovan nämnda komponenterna separat skulle det eventuellt även vara möjligt att driva flera armaturer från en och samma “elektronikbox”, och på så sätt minska mängden dyr elektronik per enhet.



Figur 17. Vikbar



Figur 18. Uppdelad

Kylning

Kylning av LED-plattan är en förutsättning för att garantera diodernas livslängd och ljuskvalité. Viktiga aspekter är den vikt kylflänsen tillför och den energiåtgång en eventuell fläkt medför samt kylsystemets driftsäkerhet.

Följande konceptspår för kylning av dioderna fastställdes:

Passiv

Den passiva kylningslösningen avser framförallt att kombineras med de delösningar som ej medför en lampa med full effekt, motsvarande den befintliga produkten. Detta då det anses orimligt att genom passiv kylning leda bort den värme som en lampa på 600 W genererar. Den passiva kylningslösningen består således av en kylfläns dimensionerad för att klara att leda bort värmen från en lampa med lägre effekt utan aktiv luftgenomströmning.

Aktiv, konventionell fläkt

Ett av lösningsförslagen för aktiv kylning motsvarar den befintliga lösningen. Här används konventionella fläktar för att skapa ett luftflöde genom kylflänsen.(se fig. 19)

Aktiv, membranfläkt

Under idégenererande kring kylning upptäcktes en typ av aktiv kylning vilka benäms som *membranfläktar*. De genererar luftflöde genom att ett membran rör sig i en oscillerande rörelse. De är framtagna i syfte att uppnå hög driftsäkerhet, tack vare få rörliga delar, samt låg ljudnivå och energiförbrukning. (Schwickert, 2011)

Centralt

Genom att låta kylningen ske genom ett centralt system, där fläktarna inte sitter i armaturerna utan på lämplig plats i växthuset, skulle risken för individuella driftstopp och påföljande service minskas. Kylsystemet skulle då, via slangar och filter, kunna skyddas från smuts.(se fig. 21)



Figur 19. Konventionell fläkt



Figur 20. Membranfläkt

Upphängning

Upphängning avser hur lampan monteras i takkonstruktioner. Viktiga aspekter att beakta är handhavande vid upp- och nedmontering, en säker fixering i taket samt höjdjustering.

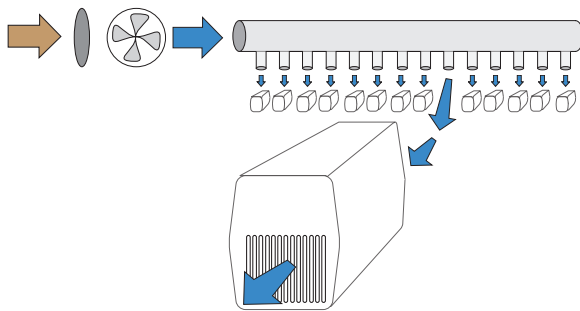
Följande konceptspår för upphängning av produkten fastställdes:

Vajer/ kedja

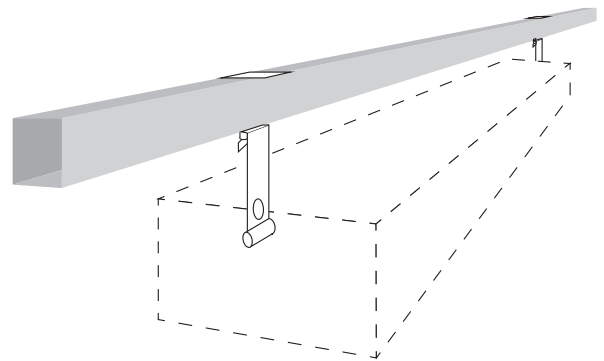
Detta koncept bygger på en enkel upphängning som består av en vajer eller kedjelösning. Fördelarna är att den blir mycket anpassningsbar till olika takkonstruktioner och balkprofiler samt innebär en låg tillverkningskostnad. Lösningen medför också enkel anpassning i höjddled.

Enkel krok

Detta koncept är snarlikt den kroklösning som den befintliga produkten har. Skillnad är att den ska vara anpassad för olika balkprofiler samt medge möjlighet att sammankopplas med en förlängning för att kunna anpassas i höjd. En ytterligare utveckling kan vara en skruvmekanism i kroken som fixerar upphängningen i balken.



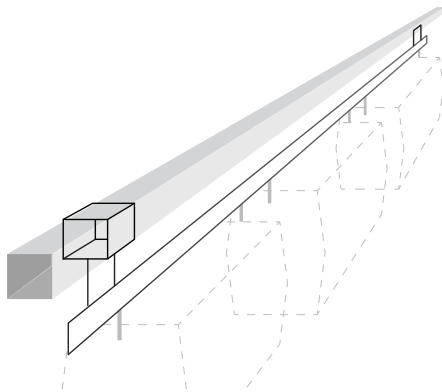
Figur 21. Centralt kylsystem



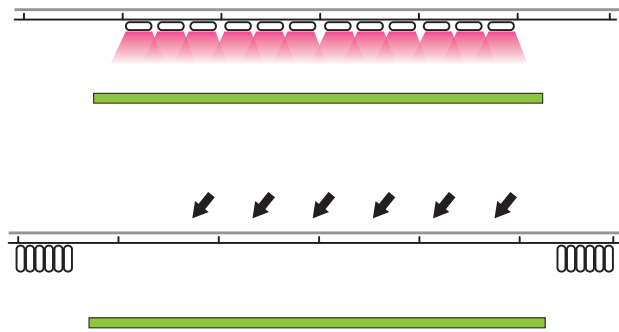
Figur 22. Enkel krok

Skena

Konceptet Skena innebär att extra skenor fästs permanent i takbalkarna. På denna skena hängs sedan ett flertal lampor genom en snabbkoppling i form av en krok. Denna lösningen medför större möjlighet att enkelt anpassa placeringen av lamporna i efterhand samt att smidigt ta ner enskilda lampor för service. Kablar kan även dras i den extra skenan ut till varje enskild lampa. Om skenorna monteras ihop i ändarna skulle det eventuellt vara möjligt att föra lamporna åt sidan under sommarhalvåret enligt fig. 24 och på så sätt släppa in mer solljus.



Figur 23. Skena

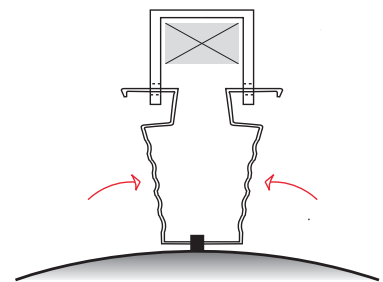
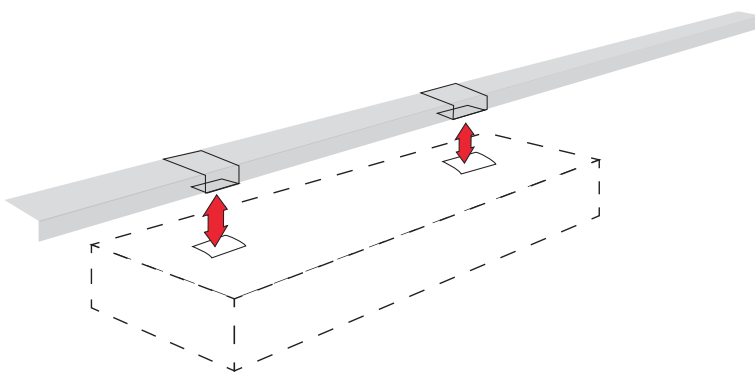


Figur 24. Skena som möjliggör ljusinsläpp

Permanent plus snabbkoppling

Konceptet bygger på en tvådelad lösning. Den ena delen fixeras “permanent” på balken med hjälp någon typ av skruvmekanism. Denna del erbjuder sedan en koppling till till den andra delen som återfinns på lampan. På så sätt kan denna snabbkoppling utformas för att vara optimal vad det gäller smidig hantering oberoende av formen på balken som den permanenta delen fästs på.

Nedan visas exempel på en snabbkoppling med kombinerat grepp.



Figur 25. Permanent plus snabbkoppling

5.3.2 Koncept

Matris

Nedan visas den morfologiska matris som användes vid konceptframtagningen. Kolumnerna beskriver de fyra områdena *grundform*, *intelligensgrad*, *kylsystem* och *upphängning* som utgjort olika inriktningar i produktutvecklingen. Kolumnerna består av de olika delösningarna för respektive område.

De delösningar som kombinerats till koncept kan följas via färgmarkeringarna i matrisen. Vid framtagningen visade sig vissa delösningar vara lämpliga kombinationer, medan andra kombinerades till helhetskoncept på ett mer godtyckligt sätt. Resultaten presenteras nedan.

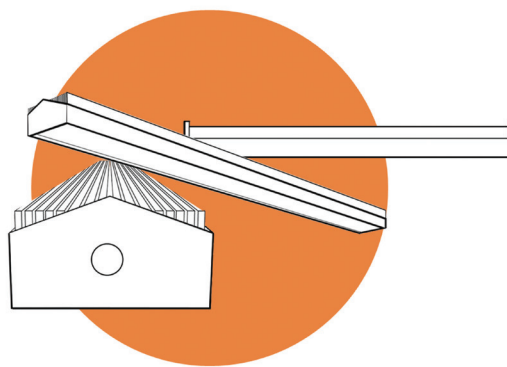
Intelligensnivå	Övergripande form	Kylning	Upphängning
Statiskt ljus	Lång	Passiv	Direkt på balk
	Vikbar		Skena
			Permanent + snabbkoppling
Dimbart ljus	Lång	Passiv	Direkt på balk
	Vikbar		Skena
			Permanent + snabbkoppling
Uppgraderbar intelligens	Avlång	Aktiv, fläkt	Direkt på balk
		Aktiv, SynJet	Skena
	Uppdelad	Aktiv, centraliserad	Permanent + snabbkoppling
Full intelligens	Avlång	Aktiv, fläkt	Direkt på balk
		Aktiv, SynJet	Skena
	Uppdelad	Aktiv, centraliserad	Permanent + snabbkoppling

Figur 26. Konceptmatris

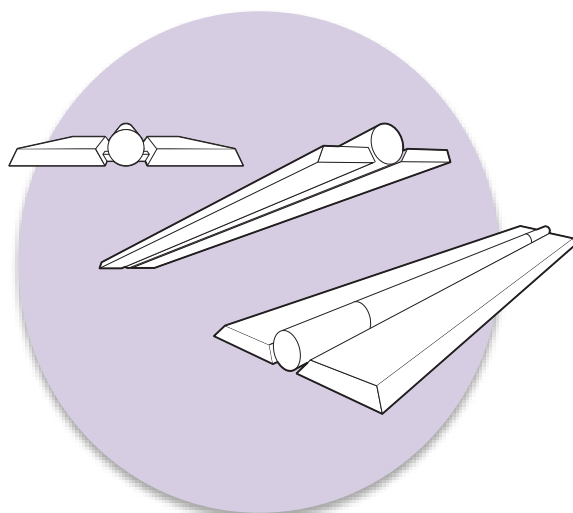
Koncept Smal

En kombination av dellösningarna: *Smal* grundform, intelligensgrad *Dimbar*, upphängning med *Vajer* och *Passiv* kylning.

Ledordet för detta koncept är enkelhet. Intelligensgraden och konstruktionen baseras på så få komponenter som möjligt för att skapa en kostnadseffektiv produkt som huvudsakligen är anpassad till dagens marknad med dess begränsade ekonomiska förutsättningar. Den ytterst smala formen gör produkten flexibel och passar därmed många brukare.



Figur 27. Koncept Smal

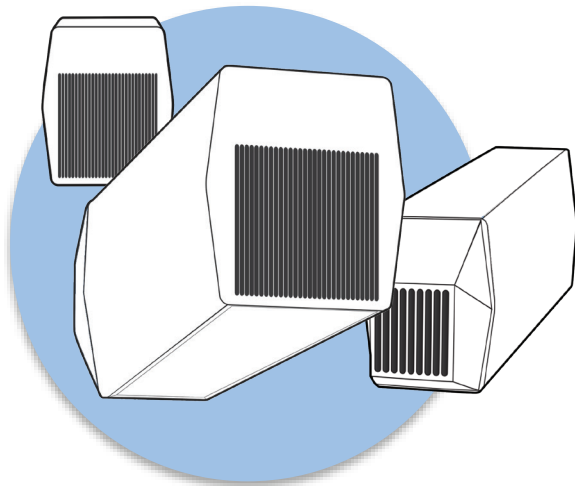


Figur 28. Koncept Vikbar

Koncept Vikbar

En kombination av dellösningar: *Vikbar* grundform, intelligensgrad *Dimbar*, upphängning med *Krok* och *Passiv* kylning.

Koncept *Vikbar* representerar nytänkande genom att kombinera enklare teknik med en innovativ utformning. Dess olika lägen tillsammans med dimningsfunktionen gör att den kan användas både som *inter-lighting* såväl som *top-lighting*.



Figur 29. Koncept Uppgraderbar

Koncept Uppgraderbar

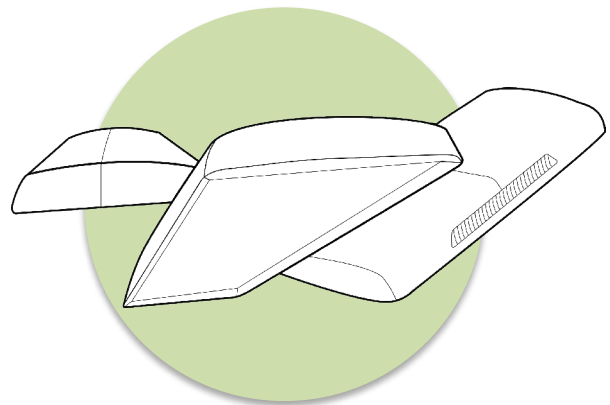
En kombination av dellösningarna: *Avlång* grundform, *Uppgraderbar* intelligensgrad, upphängning med *Skena* och *Aktiv*, konventionell kylning med fläkt.

Tanken med konceptet *Uppgraderbar* är en produkt som omgående kan införlivas hos alla typer av brukare oavsett behov och ekonomiska förutsättningar, för att sedan kunna uppgraderas och utvecklas med tiden tack vare utbytbara komponenter. Skötseln skulle underlättas av upphängningen på skena som även tillåter åtsidoskjutning och nedtagning av lamporna.

Koncept Uppdelad

En kombination av dellösningar: Grundform *Uppdelad*, intelligensgrad *Full intelligens*, upphängning *Permanent plus snabbkoppling* och *Aktiv* kylning med membranfläkt.

Koncept *Uppdelad* ämnar förena Heliospectras avancerade teknologi med praktiska lösningar för att representera en produkt i framkant utan överflödiga komponenter. Intelligensgraden är oförändrad men de dyra komponenterna placeras externt och styr ett flertal lampor. Kylsystem och upphängning uppgraderas till modernare lösningar som ska underlätta hanteringen.



Figur 30. Koncept Uppdelad

6. Utveckling av koncept

Detta kapitel förklarar konceptvalet och beskriver den övergripande utformningen som utarbetades gemensamt med grunden för produktens formspråk. Kapitlet kommer följa en struktur där metoder, genomförande och resultat för motsvarande projektfas kommer presenteras i följd.

6.1 Metoder

6.1.1 Pugh-matris

I en Pugh-matris bedöms lösningsförslag i syfte att avgöra vilket som är lämpligast utifrån kravsättningen. Förslagen jämförs mot ett referensobjekt som antingen är en befintlig lösning eller ett av de nya lösningsförslagen. Plus eller minus tilldelas beroende på hur väl kravet uppfylls jämfört med referensobjektet. Kraven viktas och resulterar i en slutsumma som indikerar på det bäst lämpade förslaget. (Bligård. 2011)

6.1.2 Subjektiv enkätundersökning

Som rubriken avslöjar handlar denna metod om att omsätta kvalitativa bedömningar till analyserbart material. I enkäten graderas frågor efter hur objektet upplevs och denna gradering kan antingen bestå av en numerisk skala eller av värdeord som båda motsvarar ett åsiktsspann.

6.1.3 Metoder för arbete med formspråk och semantik

Expression board och *Expression association web* är två verktyg som underlättar vid framtagning av diskussionsunderlag och som utvärderingsmetod vad gäller formspråk. Den förstnämnda metoden lämpar sig bra vid produktutveckling genom att ge en visuell inspiration och målbild runt produktens utseende. Slutresultatet blir ett collage innehållande bilder inom kategorierna material, form, färg, metafor, samt bilden av en befintlig produkt vars uttryck avser inspirera formgivningen av konceptprodukten.

Som komplement till kollaget passar en *expression association web* bra för att även ge ett ordbaserat semantikunderlag. Här väljs olika värdeord ut, som representerar objektets kontext, mål och användare, varav ett blir huvudord för det eftersökta uttrycket som produkten ämnar kommunicera. (Wikström. 2010)

6.1.4 Parvis jämförelse

I en parvis jämförelse ställs konkurrerande objekt mot varandra med avseende på vissa egenskaper. Utvärderingsgrunden kan bestå av tidigare fastställda krav eller andra aspekter som är relevanta vid tillfället för bedömning. Metoden lämpar sig bäst då det finns ett begränsat antal utvärderingsobjekt, detta för att undvika allt för många kombinationer att jämföra.

6.1.5 Viktning

Viktning innebär en relevansbedömning av olika attribut hos ett förslag. Processen görs ofta i samband med bedömning av identifierade krav och önskemål för att avspegla hur viktiga de anses vara för slutmålet med produkten eller tjänsten.

6.2 Genomförande

6.2.1 Inriktning för vidareutveckling av koncept

Som en inledning sammanfattades och analyserades åsikter som företaget bidragit med vilket sedan kunde förankras genom ytterligare avstämning med produktutvecklingsansvarige. Härigenom beslutades att huvudsakligen utgå från två av de fyra delkoncepten vid det fortsatta utvecklingsarbetet.

Genom att bryta ned helhetskoncepten till dellösningarna de bestod av, kunde de olika egenskaperna lättare evalueras. I samråd med företaget kunde det sedan avgöras vilka dellösningar som skulle behållas till nästa steg av produktutvecklingen. För att återfå en helhetsprodukt fortsatte arbetet med att granska och generera fler tekniska lösningar till områdena grundform, kylning och upphängning.

En utvärderingsfas genomfördes där konkurrerande komponenter och principer ställdes mot varandra. Dels jämfördes de kvarvarande konceptspåren för den övergripande formen men även olika utgångspunkter för tekniska komponenter. Detta gjordes främst med parvis jämförelse, enkla listor med för- och nackdelar samt viktade matriser vilket utgjorde ett komplement till de mer subjektiva åsikterna.

6.2.2 Fastställande av funktionsytor och styrande dimensioner

Konceptutvecklingen gick vidare med att ta fram enkla fysiska modeller med utgångspunkt i både tilldelade komponentdimensioner och kravbilden från brukarstudien. Dessa modulbaserade modeller kombinerades för att undersöka, och framför allt visualisera, vilka konceptvarianter som var möjliga. I nästa steg lades fokus på att nå ett grundkoncept för en mer detaljerad utformning och konstruktion. Här blev det tydligt att det behövdes ytterligare grunder för att komma vidare, och därför genomfördes en workshop i syfte att få fram idéer och åsikter runt koncepten.

Då valet stod mellan fyra besläktade varianter genomfördes en subjektiv enkätundersökning för att få beslutsunderlag kring deras upplevda skuggbildning. Konceptmodellerna monterades i takhöjd med avsikt att simulera produktens verkliga användning och till detta presenterades ett scenario för att ge testdeltagarna en bild av den mindre välkända odlingskontexten.

Resultaten användes som kompletterande underlag i en Pugh-matris för att ge en mer verklighetsanknyten, och därmed trovärdig, utvärdering. Pugh matrisen över de fyra modellerna återfinns i bilaga 16.



Figur 31. Subjektiv enkätundersökning av skuggbildning.

6.2.3 Semantik

Inom denna utvecklingsfas togs underlag fram för att arbeta vidare med produktens formgivning och slutgiltiga upplevelse mot användaren. Som en del i detta skapades en Expression board (se avsnitt 6.3.7) som utgick från ett antal värdeord vilka på olika sätt representerade det sökta formspråket. Värdeorden utgick från brukarstudiens resultat kring växthusmiljö och odlare samt från uppdragsgivaren Heliospectra med deras befintliga produkt. Dessa ordgrupper smältes samman i ett antal värdeord med element hämtade från det önskade uttryckets två mest styrande källor.

6.3 Resultat

6.3.1 Konceptval för fortsatt produktutveckling

Efter delredovisningen var företagets åsikt att arbetet borde fokusera på de två koncepten *Uppdelad* och *Vikbar*. Trots att koncepten var uppbyggda av olika delfunktioner (se avsnitt 5.3.1) uppmärksammades konceptens huvudspår som mest utforskade och spännande. Vikbarheten var framförallt en egenskap som ingen annan produkt på den befintliga marknaden har att erbjuda, och ansågs ha intressanta tillämpningar vad gäller ljusspridningen. Konceptet att dela upp olika komponenter bedömdes som positivt, bland annat för att kunna göra produkten lätthanterlig. Efter teknisk konsultation med produktutvecklingsansvarig på Heliospectra kunde det dock konstateras att komponenterna inte kunde separeras i den utsträckning som ursprungskonceptet strävade efter.

De kvarstående två delkoncepten lämnades på grund av att *Uppgraderbar* redan liknade företagets pågående produktutveckling, och *Smal* frångick produktstrategin i för stor utsträckning med sin lägre intelligensnivå. Återkopplingen från företaget gav slutgiltiga belägg att projektet skulle gå vidare med utveckling av en odlingslampa med hög effekt och stora justeringsmöjligheter, i släktskap med den befintliga produkten L4A. Detta då Heliospectra är ett nischat företag som skulle få det svårt att konkurrera med större aktörer på marknaden och där de snarare bör utmärka sig med en unik affärsidé och produkt som är mer avancerad. På så sätt kan företaget dra nytta av sin expertis inom plantforskning.

Valet av en odlingslampa med hög effekt uteslöt passiv kylning då produkten blir väldigt tung och otymplig. Aktiv kylning medför att kylflänsarnas storlek kan dimensioneras ned, vilket reducerar armaturens vikt betydligt. Från koncepten kvarstod de två fläktbaserade lösningarna med antingen en traditionell fläkt eller den nyare *membranfläkten* för kylning av elektronik och dioder. Då företaget tidigare varit i kontakt med *membranfläktar*, men aldrig integrerat dem i någon produkt, uttrycktes ett intresse att fortsätta utforska dem.

Frågan om upphängningstyp ansågs ej vara relevant att fatta konkreta konstruktionsbeslut kring i detta skede av produktutvecklingen. Detta då upphängningen är relativt fristående från den övriga produkten och dess utformningen blir mer lämplig att basera på den slutgiltiga formen på armaturen.

Sammanfattningsvis kan sägas att företaget önskade en fortsatt konceptinriktning som baserades på en lampa med en intelligensnivå motsvarande deras befintliga produkt. Då denna typ av produkt, enligt analysen av brukarstudien, fortfarande befinner sig relativt långt från ett storskaligt intåg på den kommersiella växthusmarknaden motiverade detta även valet av inriktning för utvecklingen av konceptet som helhet. Det ansågs mer intressant och givande att utveckla en mer konceptuell lösning med innovationshöjd och nytänkande snarare än att fokusera på optimering av den befintliga produkten.

6.3.2 Beslut om vikbarhet

En viktig del var att avgöra vilket mervärde det gav att utveckla en produkt med möjlighet att rikta ljuset via armaturen. I konceptet Vikbar åskådliggjordes detta med enkla skisser vars principer blev uppskattade hos företaget och det blev således nödvändigt att ta ställning till om funktionen skulle inkluderas.

Till att börja med innebär möjligheten att justera ljuset ett nytänkande som särskiljer produkten från konkurrenterna. Med en enkel led går det att ta fram en produkt som är unik samt tar tillvara, och bygger vidare på Heliospectras idé om en odlingslampa med stor justerbarhet. Möjligheten att reglera ljusbilden innebär eventuellt också att företaget sparar på resurser genom att undgå utvecklingen av en anpassad optik för produkten. Samtidigt kan odlaren få en ljusbild anpassad för det specifika växthuset där en så stor del som möjligt av tillfört ljus når plantorna. Heliospectra såg också potentialen i att kunna ställa in varje armatur individuellt och på så sätt skapa en jämnare ljusspridning där alla delar av odlingen nås av samma ljusintensitet. Det kunde konstateras att en viss uppvinkling hade potential att kompensera för ojämn ljusspridning men att *inter-lighting* inte var aktuellt på grund av lampans höga effekt. Förutom att förbättra ljusbilden ger konstruktionen även utrymme för en rad praktiska funktioner som minskad skuggbildning och effektivt skydd av ytor med dioder.

En potentiell nackdel med den vikbarheten är att slutprodukten riskerar att bli mer komplex än en konventionell armatur. Konstruktion kan bidra till att produkten förefaller svårhanterlig vilket ur brukarsynpunkt inte är önskvärt. Valet av en vikbar grundform är därför beroende av att skapa en enkel konstruktion utan markant negativ påverkan på pris eller driftsäkerhet.

I övrigt kan det vikbara konceptet potentiellt bidra till större skuggbildning än övriga, på grund av en förhållandevis större toppyta i utfällt läge. Då dessa aspekter är svåra säkerställa baseras beslut på att den faktiska skuggbildningen anses vara marginell, eftersom mycket beror på ljusets infallsvinkel gentemot armaturen. Då samtliga grundformer innesluter ungefär samma volym kan den egentliga skuggbildningen troligtvis bortses från. Fokus bör istället ligga på att ge armaturen en form där skuggbildningen upplevs vara liten.

Med ovanstående aspekter i åtanke, samt utifrån den konceptinriktning som ansågs lämplig, beslutades att gå vidare med utvecklingen av en vikbar produkt.

6.3.3 Beslut om kylmetod

Vid utvärdering av kylsystem användes en Pugh-matris (se bilaga 12). Utfallet av *matrisen* avgjorde tillslut valet, där membranfläkten från SynJet erhöill mest poäng i förhållande till en konventionell fläkt. För att kunna vikta relevanta krav att använda i matrisen gjordes först en parvis jämförelse (se bilaga 13), där poäng kunde summeras för varje krav.

De krav som vägde tyngst bestod framförallt av olika hållbarhetsaspekter, exempelvis livslängd och beständighet mot damm, fukt, växlande temperaturer etcetera. Utöver dessa egenskaper ansågs en rad fysiska aspekter vara av betydelse, till exempel vikt, ljudnivå och uppnådd kylningsförmåga.

Vissa krav var i detta skede inte möjliga att utvärdera då det krävdes ytterligare information och tester vilket ledde till att de utelämnades i viktningen. Slutligen konstateras att SynJet fläktarna var ett fördelaktigare alternativ jämfört med traditionella fläktar.

Membranfläkten utmärkte sig i synnerhet gällande:

- Enkel rengöring av komponenter
- Smuts -och fuktbeständighet
- Stöttålighet
- Robusta komponenter
- Låg elförbrukning
- Låg ljudnivå

(se figur 20 Membranfläkt 5.3.1)

6.3.4 Utformning av kylsystem

Utformningen av kylsystemet kunde bestämmas genom konsultation med tillverkaren av SynJet fläktarna, Nuventix (Booth. 2013). Då det inte genomförts prestandatester inom ramarna för detta projekt baserades dimensioneringen av kylsystemet på antaganden och kommer kräva verifiering för att säkerställas.

Informationen från Nuventix gav inledande riktvärden för beräkning av antalet fläktar som krävdes för att kyla LED-plattorna. 80% av den effekt som tillförs LED-plattorna antas omvandlas till värme. Då LED-plattorna har en effekt på 600W krävs nedkylning av ca 480W vilket skulle resultera i ca 5 stycken SynJet fläktar av modell XFlow42 Outdoor. Produktspecifikation för fläktarna återfinns i bilaga 14. Dock indikerar Nuventix på en rekommenderad kylflänsyta på ca 90 cm² per fläkt, vilket är betydligt mindre än vad som blir aktuellt för Heliospectras LED-yta vid användning av fyra fläktar (ca 168 cm²). Den extra kyleffekt som kommer av den jämförelsevis stora kylflänsarean anses således kompensera för den något undermåliga fläktkapaciteten vid fyra stycken fläktar. Detta antas därför vara en rimlig dimensionering.

Det har tidigare kunnat fastställas att drivkortet kommer vara integrerade med LED-plattan. Då dessa inte kräver kylning, utgör den utökade ytan en lämplig plats att placera fläktarna på, eftersom den inte behöver täckas av kylflänsar.

6.3.5 Utformning av funktionsytor

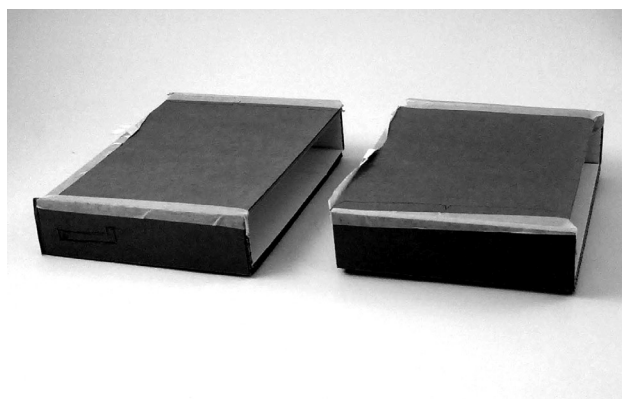
När beslut tagits om övergripande form och styrande komponenter fortsatte arbetet med experimenterande av placering och dimensionering av olika huvuddelar. Utgångspunkter blev ett antal modeller där följande komponenter utgjorde den betydande delen av produkten

- Kylflänsar
- LED-kort med integrerade drivkretsar
- Transformator
- SynJet fläktar
- Styrkort

För att armaturen skulle tillåta vikning och inställning av ljuset delades LED-ytan upp i två symmetriska delar. Proportionerna bestämdes utifrån fläktarnas dimensioner, då dessa behöver monteras på LED-plattan. Eftersom antalet fläktar fastställdes till fyra fanns två möjliga alternativ; att anpassa vingens mått till bredden av en eller två fläktar. Det första alternativet resulterade i en smalare vingprofil, medan det sistnämnda gav upphov till en mer kvadratisk. De två vingarna utformades dessutom allmänt identiskt för att underlätta vid tillverkning, det vill säga för att endast en typ av vinge skulle behöva framställas och således minska antalet verktyg vid produktion.

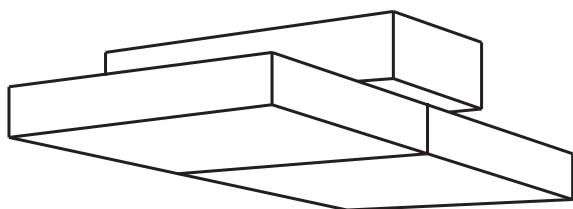


Figur 32. Långsmal vinge

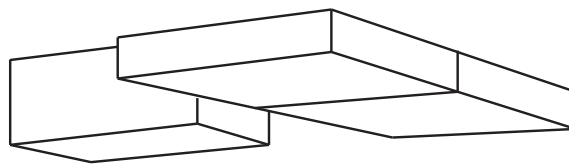


Figur 33. Bred vinge

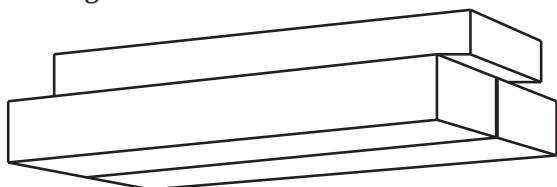
De enkla modeller som byggdes komponerades i varianter som var mest lämpliga ur form- och funktionssynpunkt vilket innebar att transformator och styrkort satt på sidan respektive ovanpå de två enheterna med LED-kort, fläktar och kylflänsar. Detta resulterade i fyra varianter för grundformen hos produkten.



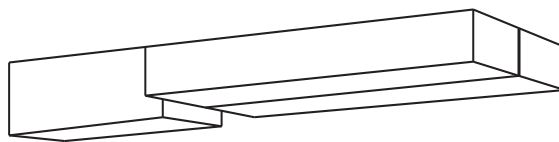
Figur 34. Kort-ovan



Figur 35. Kort-sida



Figur 36. Långsmal-ovan



Figur 37. Långsmal-sida

6.3.6 Beslut om slutkoncept

En Pugh-matris utgjorde utvärderingsgrund till de fyra varianterna. Här blev det nödvändigt med en kompletterande undersökning för att få underlag för kravet om produktens skuggbildning, där syftet var att undersöka den upplevda skuggeffekten av armaturen hängandes i taket. Resultat av enkäten återfinns i bilaga 15.

I Pugh-matrisen jämfördes de olika utformningarna med varianten bestående av de långa LED-enheterna och transformator på sidan som referensobjekt. Utvärderingen gjordes utifrån krav som ansågs relevanta för grundkonstruktionen, exempelvis "Effektiv tillverkning" eller "Liten konstruktionskomplexitet". Pugh matrisen återfinns i bilaga 16.

Med stöd av matrisens resultat beslutades att gå vidare med de långsmala LED-enheterna. Anledningarna var delvis att formen upplevdes ge minst skugga då den utnyttjar mer av ytan som redan skuggas av balken. Dessutom ger den smalare varianten ett lägre moment att bära upp och låsa då lampan är uppfälld. Detta blir betydande då kylsystemet, som utgör den betydande vikten i armaturen, måste integreras i de rörliga enheterna.

För att avgöra placering av transformator och styrkort genomfördes en fortsatt undersökning med grundläggande beräkningar, fysiska modeller och skisser. Konceptet Långsmal-ovan är i sitt infällda läge välanpassat till standarddimensionerna på en EUR-pall (mått 120x80cm), och har således möjlighet att packas mer volymseffektivt vid transporter än övriga tre modeller. Motsvarande modell fick även högst utfall i den genomförda *Pugh-matrisen* (se bilaga 16).

Utifrån dessa faktorer togs beslut att placera komponenterna ovanför LED-enheterna. Produkten blir därigenom samlad i sin form, upplevs ge mindre skugga och blir praktisk att hantera, både vid användning och distribution.

Den andra utvärderingsfasen kan således beskrivas som en intensiv process av idégenerering, modellering och utvärdering, ur vilken det mer avgränsade konceptspåret *Långsmal-ovan* fastställdes. Konceptet kan sammanfattas som en avlång vikbar armatur med stora inställningsmöjligheter, hög effekt och manuellt justerbara LED-paneler.

6.3.7 Semantik, uttryck och varumärke

Målet med denna analys var att utforska och skapa underlag för arbetet kring uttrycket av produkten. Detta sammanfattades med bild och ord genom en *Expression board* och *Expression association web*. Dessa fungerade sedan som målbild och inspiration under detaljutformningen då form, färg och material bestämdes.

För att ta fram dessa verktyg analyserades vilka värden som var önskvärda för produkten att kommunicera till användaren. Det ansågs viktigt att beakta både Heliospectras varumärke och företagsprofil samt växthuskontexten för att uppnå ett tillfredsställande produktuttryck.

Utöver detta utvecklades fler resonemang kring de, i produkten, inneboende värden som ansågs viktiga. Produkten är baserad på ny och avancerad teknik och framstår som den mest högteknologiska på marknaden. Detta blir följaktligen även unika egenskaper för produkten vilket självfallet bör framhävas genom dess uttryck. Det blir dock viktigt att det högteknologiska kommuniceras på rätt sätt. Från brukarstudien konstaterades att odlarna kan ses som relativt konservativa och analoga i sitt förhållningssätt till teknik.

Det anses då viktigt att produkten med dess teknik inte upplevs som komplex, svår eller skrämmande. Istället ska det högteknologiska uttrycket kommunicera intelligens och prestanda och göra att produkten känns funktionell, kvalitativ, pålitlig och driftsäker.

Då denna produkt skall användas i en växthusmiljö snarare än i laborationer bör detta också avspeglas i produktens uttryck. Den kliniska, sköra känslan av laboratorium bör undvikas till förmån för ett formspråk av industriell karaktär och ett mer robust intryck. Detta blir avvägning för att inte motarbeta det, ovan nämnda, högteknologiska och intelligenta värdena.

Genom kombinationen av att odlingslampan optimerar ljuset för plantorna och att dessa är beroende av ett väldigt delikat klimat blir det även naturligt att produkten ska uttrycka en känsla av omhändertagande och trygghet.

Då produkterna i sin kontext är avsedda att förekomma i stora antal, eftersträvas ett formspråk där flera enheter gemensamt kan ge ett intryck av en helhet och bilda en stor ljuskälla. Den enskilda produkten ges således inte ett allt för kraftigt uttryck, utan inriktningen blir snarare en form som medger att multipla produkter uttrycker en enhetlig känsla och smälter in i miljön.

Mer konkreta uttryck som eftersträvas är en hållbar och tålig känsla framförallt med avseende på den ledade konstruktionen mellan LED-plattorna. Denna del kan uppfattas som svag på grund av dess rörliga delar, varför det blir önskvärt att kompensera för detta genom ett formspråk.

Formspråk, material och konstruktion avser även kommunicera hur brukaren bör handskas med produkten. Framför allt är tanken att utsidan ska inbjuda hantering vid upphängning och nedtagning, rengöring och justering. Däremot bör det vara tydligt att produktens inre komponenter är utanför brukarens ansvarsområde och att produkten därför genom sin form har en tydlig avgränsning vilket inte uppmanar till att plocka isär armaturen.

Utifrån dessa resonemang sammanställdes ett antal ord som ansågs sammanfatta de primära produktuttrycken.



Figur 38. Expression Association Web

En Expression board sammanställdes även för att genom bilder representera det tilltänkta uttrycket:

Formen hämtar delvis inspiration från bin och deras honungskakor. I det spännande samspelet mellan kanter och radier finns både naturlighet och enhetlighet samtidigt som biets vingar ger inspiration till produktens vinklingsbara LED-paneler.

Materialet, aluminium, är viktig i produkten på grund av de dominerade kylflänsarna och det är dessutom ett material som uttrycker prestanda och tålighet. Även formen på metallstycket är talande för grundtanken med formspråket.

Färgen är tänkt att kännas ljus och lätt för att förstärka intrycket av smidig produkt som reflekterar mycket ljus och inte tar mycket plats i växthusets tak. Mindre detaljer ska förstärkas med starkare kulörer, förslagsvis i grön färgskala liknande de som Heliospectra har i sitt varumärke..

Metaforen beskrivs av ett antal prästkragar som sträcker sig mot solen. Förhållandet mellan plantor och ljus är själva kärnan i Heliospectras verksamhet och på samma sätt som blommor anpassar sig till ljusets riktning för att fånga en optimal mängd ljus ska produkten kunna anpassa sig efter plantorna.

Produkten representeras av en konceptuell bilmodell från Toyota. Produkten uttrycker modernitet utan extravagans och omsluter många av de värdeord som återfinns i tidigare nämnda *expression associassion web*, exempelvis nytänkande, pålitlighet.



Figur 39. Expression board

7. Detaljerad utformning

Detta kapitel presenterar preciseringen av konstruktion, komponenter och form och färdigställandet och visualiserandet av produktkonceptet. Kapitlet kommer följa en struktur där metoder, genomförande och resultat för motsvarande projektfas kommer presenteras i följd.

7.1 Metoder

7.1.1 Design for manufacturing and assembly

Design for manufacturing och Design for assembly är metoder som i tidigt skede implementeras i produktutvecklingsprocessen i syfte att produkten som utvecklas skall vara anpassad för tillverkning och effektiv montering. Målet med att applicera metoderna är att optimera produktionen utifrån ett tids- och kostnadsperspektiv och på så sätt kunna sänka priset på produkter. Resultatet vid tillämpning av DFMA blir ofta en mindre komplicerad konstruktion med färre komponenter avseende för de aktuella tillverknings- och monteringsmetoderna (Almström. 2012).

7.1.2 CAD

I senare skede av designprocessen är CAD-modellering ett viktigt redskap för att utvärdera och visualisera konceptuella produkter innan de skall tillverkas. CAD står för Computer Aided Design vilket innebär att tankar, idéer och skisser av produkter omsätts till digitala 3D-modeller.

7.2 Genomförande

I denna fas fortsatte arbetet med konceptet Långsmal-ovan med målet att framställa en komplett lösning som i största möjliga mån kunde tillgodose den identifierade kravbilden.

7.2.1 Preciserade tekniska lösningar

I konceptet Långsmal-ovan fanns tre grundläggande tekniska funktioner att utveckla: vikbarhet, fixering och upphänging. För att precisera dessa producerades stora mängder skisser och ett antal enklare modeller av olika lösningar. Lösningarna diskuterades och vägdes mot kraven som ställts inom de berörda områdena. I vissa situationer tillämpades sällning med hjälp av Pugh-matriser.

7.2.2 Materialval

Det gjordes en mindre studie av material lämpliga växthusmiljön som samtidigt tillåter enkel bearbetning och godtagbar miljöpåverkan. Antal Boldizar (Materials and Manufacturing Technology, Chalmers tekniska högskola) kontaktades för att ge bättre underlag för beslut gällande möjlighet att använda polymera material i produkten.

7.2.3 Konstruktion

För att utveckla konstruktionen till en skäligt detaljerad nivå framställdes enklare tekniska skisser och modeller som sedan utvärderades med konstruktionsberäkningar (se fig. 47) och diskussion med Göran Brännare (Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers tekniska högskola). Utifrån detta dimensionerades bärande konstruktioner.

Olika material och tillverkningslösningar viktades och jämfördes utifrån fördelar och nackdelar samt med utvärderingsmetoder så som Pugh-matriser.

7.2.4 Formspråk

Utifrån analysen som sammanställts runt produktens uttryck och besluten runt materialval utvecklades formen med hjälp av omfattande skissande där också enkla CAD-modeller användes som underlag. Kontinuerligt under arbetet vägdes funktionalitet och tillverkningsmetoder in utifrån ett DFMA-perspektiv.

7.2.5 Visualisering av konstruktion

Produkten och de interna detaljerna modellerades i CATIA utifrån konstruktionsresultatet för att möjliggöra detaljbilder och sprängskisser. Renderingarna placerades sedan i kontextuella bilder.

7.3 Resultat

7.3.1 Utgångspunkter för detaljutformning

Utgångspunkter för detaljerad utformning i detta skede av utvecklingsprocessen:

- Lampan ska vara vikbar kring en centrerad led. De delar, bestående av LED-plattor, fläkt och kylfläns, som kan vinklas kring leden benämns som vingar.
- Elektroniken, främst bestående av transformator, kretskort och kontakter, ska vara placerad ovanför vingarna. Denna del av armaturen benämns som elektronikbox
- LED-plattornas proportioner ska vara långsmala där bredden motsvaras av en SynJet-fläkt och längden bestäms utifrån den givna LED-ytan.

Vad gäller materialval fanns även vissa resonemang att utgå från vid den detaljerade utformningen:

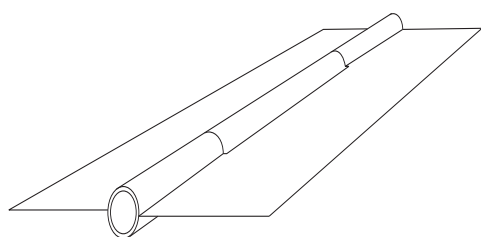
- Produkten som helhet bör vara robust och hållbar varpå material med hög hållfasthet är nödvändigt för utsatta delar.
- Produktens vikt bör minimeras varpå lätta material väljs i första hand.
- En viktig komponent i produkten är kylflänsen. Denna bör således tillverkas i material med god värmeledningförmåga
- Material bör väljas med avseende på klimatavtryck vid framtagning, tillverkning och resthantering.
- Materialvalen bör göras med hänsyn till möjligheterna att uppnå billig och enkel tillverkning och montering.
- Brukarestudien visade på en tydlig negativ inställning till plast som material i befintliga armaturer. Vid användning av plast i produkten bör dessa därför noga verifieras mot de, kring materialegenskaperna, ställda kraven. Dessa krav grundar sig framför allt i att uppnå god UV-beständighet under lång tid.

7.3.2 Vikbarhet

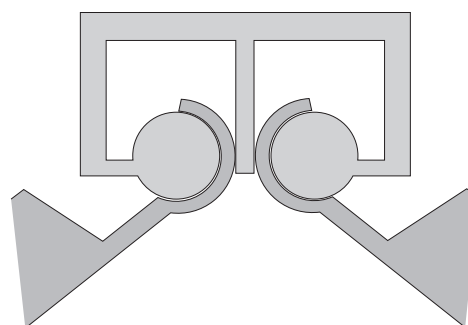
Första steget i arbetet med den detaljerade utformningen var att utveckla en konstruktion som medger justering av vingarna. Förutsättningen för att detta koncept skulle bli framgångsrikt var att vikfunktionen enkelt skulle integreras i armaturen och målet blev därför att addera vikfunktionen utan att göra konstruktionen mycket mer komplex. Viktigt var också att vingarna kunde vinklas separat då detta möjliggör att ställa in ljusriktningen för att på ett optimalt sätt kunna belysa till exempel kantrader (se även avsnitt 3.3.1). Att vinkla vingarna uppåt var också ett viktigt aspekt för att ge brukarna möjlighet att optimera lampans ljusbild mot plantorna utan att byta LED-optiken.

Under utvecklingsarbetet av vikkfunktionen växte två huvudsakliga konstruktionslösningar fram:

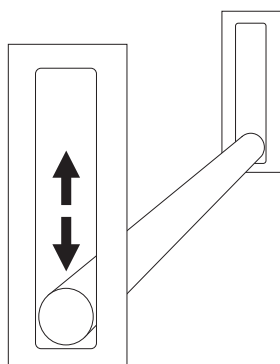
- Den första lösningen bygger på en gångjärnsprincip där en axel håller samman vingarna (se fig. 40). Den genomgående axeln möjliggör även upphängning i vertikala spår på varje sida vilket medför att vingarna kan skjutas upp och fixeras mot elektronikboxen (se fig 42). På så sätt uppnår man en volymseffektiv armatur både i utfällt och ihopfällt läge, vilket är önskvärt ur skuggningssynpunkt (se fig. 43).
- Den andra principen bygger på en extrudering där vingarna är ledade i en överliggande profil (se fig. 41). Denna lösning medför en robust konstruktion och enkel tillverkning. Även de fräsoperationer som är nödvändiga för att uppnå gångjärnsprincipen i den första lösningen kan undvikas.



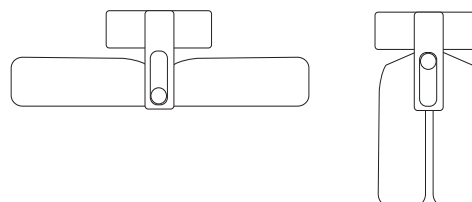
Figur 40. Gångjärnsprincip



Figur 41. Extrusionsled



Figur 42. Skjutfunktion

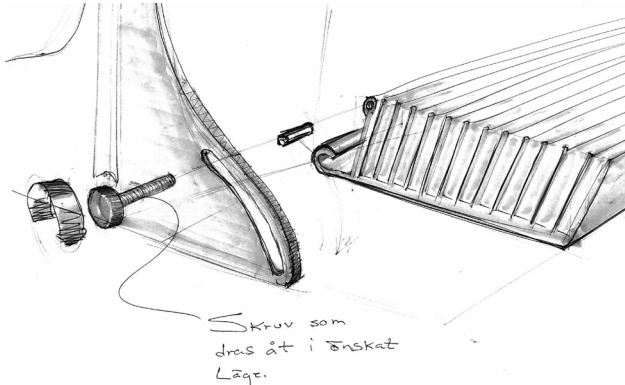


Figur 43. Skjutfunktion i olika lägen

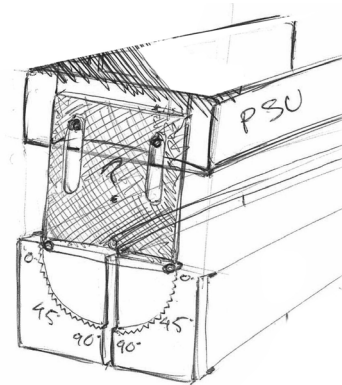
Utvärdering av de olika lösningarna gjordes med hjälp av en Pugh-matris (se bilaga 17) där extrusionslösningen slutligen valdes bort. Detta gjordes då extrusionsleden resulterade i en mer skrymmande konstruktion än gångjärnslösningen och gav upphov till outnyttjad volym samt mer skugga. Vidare blev även leden tyngre, svårare att rengöra samt bidrar till ökad aluminiumanvändning vilket påverkar miljön negativt.

7.3.3 Fixering av vingar

En stor utmaning med vikkfunktionen var fixeringen av vingarna. Svårigheten var att få konstruktion för fixeringslösningen okomplicerad, vilket var en övergripande förutsättning för att motivera integrering av vikkfunktionen över huvud taget. Komplexiteten kan framför allt kopplas till vingarnas möjlighet att skjutas upp vid ihopfällt läge. Det var svårt att utforma en fixeringsmekanism som var kompatibel med skjutspåret (se fig. 44-45).



Figur 44. Låsninglösning 1



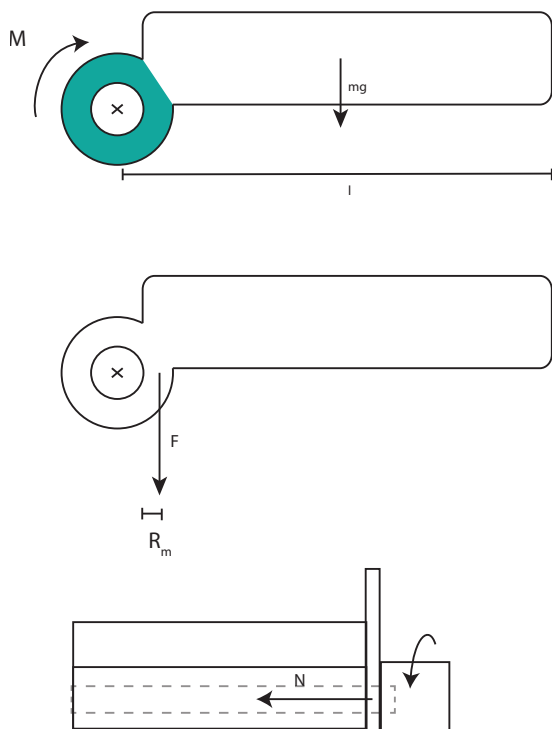
Figur 45. Låsninglösning 2

Inspirationen till den slutgiltiga lösningen hämtades från stora strålkastare (se fig. 46). Dessa armaturer är tunga samtidigt som de behöver ställas in i exakta vinklar, vilket är likt de krav som ställs på LED-vingarna. Strålkastare kan fixeras i olika vinklar genom friktion mot upphängningen vid den led som de sitter monterade på. Brukaren lossar helt enkelt på skruven i leden då denne vill ändra vinkeln. Friktionen minskar då i kontaktytan mellan strålkastaren och upphängningen och vinkeln kan justeras. Applicering av denna teknik ansågs lämplig då lösningen är beprövad, enkel att konstruera, kräver få lösa delar och är enkel att använda. Lösning bygger således på att vingarna, genom att dra åt en skruv, kläms mellan de två plattor de är upphängda i.



Figur 46. Strålkastare

Innan beslutet kunde fastställas undersöktes det om denna tekniska lösning var möjlig att applicera. Förutsättningen var att brukaren, med handkraft, ska kunna åstadkomma det erforderliga åtdragningsmomentet. Approximerade beräkningar gav att friktionskoefficienten i leden behöver uppgå till ca 0.51 då åtdragningsmomentet är kravsatt till maximalt 5 Nm (se fig. 47). Detta anses vara fullt möjligt med avseende på de aktuella materialen. Ökad friktion kan även uppnås genom användning av friktionsbrickor mellan vingar och bågen.



$m = 4 \text{ kg}$ (massa vinge)
 $g = 9.82$ (tyngdaccelerationen)
 $l = 0.12 \text{ m}$ (längd vinge)
 $\mu = 0.51$ (friktionskoefficient vinge-platta)
 = klämd area (yta som kläms av skruvkraft)

$$R_m = (20 + 10.5) / 4$$

Moment i axlen:
 $M = m \cdot g \cdot (l/2) = 2.3568 \text{ Nm}$

Normalkraft som motsvarar erforderlig förspänningskraft i skruvförbandet:
 $N = m / (R_m \cdot \mu) = 1.0286 \text{ N}$

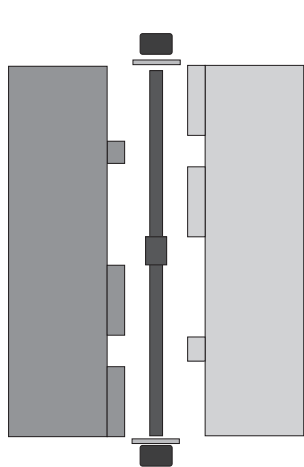
Erforderligt åtdragningsmoment ges av Bultens formel:
 (Mägi M. & Melkersson K, 2008)

$N = 1.0286 \text{ N}$ (förspänningskraften)
 $P = 1.5$ (Stigning)
 $\mu_b = 0.13$ (friktion i gängan)
 $d = 9.062$ (medeldiameter i gängan)

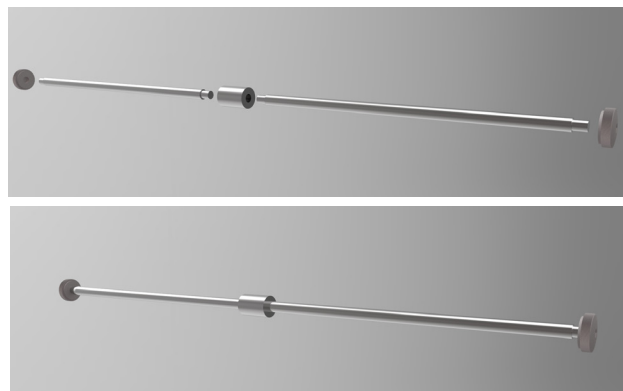
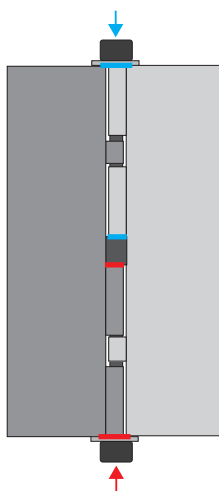
$$M = N \cdot (0.16 \cdot P + 0.58 \cdot \mu_b \cdot d + \mu \cdot R_m) = 4.996 \text{ Nm}$$

Figur 47. Konstruktionsberäkningar

En annan önskvärd funktion kopplat till vikbarhet var att möjliggöra justering och fixering av vingarna separat. Detta uppnås genom att vingarna, med var sin mutter, kläms mot olika delar av den genomgående axeln. Axeln blir således tvärdelad och skruvas fast från olika håll i en mitthylsa med större diameter än axeln. Utfräsning av gångjärnsleden på vingarna görs så att respektive vinge kläms mellan ena sida av metallbågen och motsvarande sida av mitthylsan (se fig 48-49).



Figur 48. Illustration av fixering, friktionytor vid färgmarkeringar



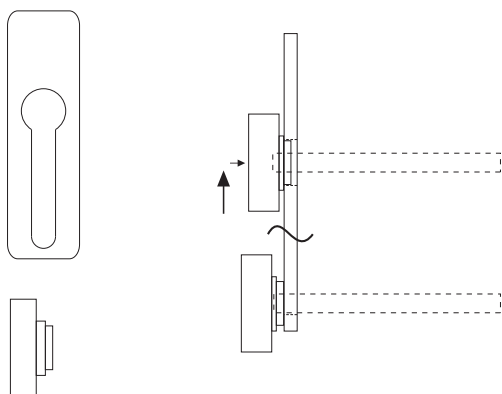
Figur 49. Axelkomponenter

7.3.4 Fixering i ihopfällt läge

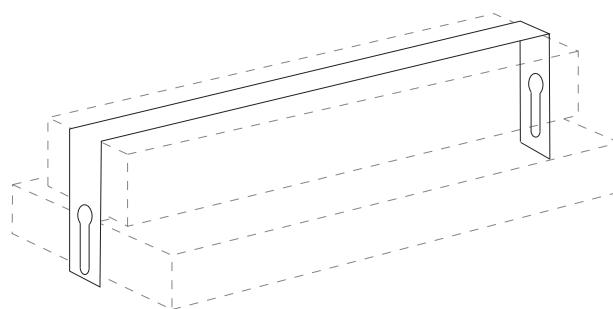
Anledningen till att skjuta upp vingarna vid ihopfällt läge är att minimera volymen och på så sätt även skuggbildningen då lampan ej används under perioder. För att denna funktion ska vara användbar för brukaren måste ihopfällning och uppskjutning ske med ett enkelt handgrepp. Ihopfällningen sker genom att lossa på muttrarna enligt föregående kapitel. Via spåret lyfts sedan axel och således även vingar upp i sitt övre läge och fixeras då muttrarna har ett steg med större diameter enligt figur 52. Spåret har även en cirkelformad perforering i toppen vars diameter motsvarar det yttre steget på muttern. Då axeln är i toppläge skruvas muttrarna åt varpå dessa får stöd från den bredare perforeringen och på så sätt håller vingarna kvar i det övre läget (se fig. 51). Skruvas muttrarna åt mer kommer vingarna att fixeras i detta läge tack vare friktion mot plattorna de är upphängda i

7.3.5 Bärande konstruktion

Uppdelningen av armaturen, som blev en följd av vikfunktionen, krävde en konstruktion som förenade de olika delarna. Detta löstes genom en bockad metallbåge i rostfritt stål som innefattar både skjutfunktionen av vingarna samt binder samman vingarna med den ovanpåliggande elektronikboxen (se fig. 52). Bågen löper på ovansidan av elektronikboxen vilket öppnar för en upphängningsmöjlighet där armaturen kan fixeras mot undersidan av balken. Dessutom ger bågen praktiska fästpunkter för upphängningen på armaturens ovansida.



Figur 51. Låsning i ihopfällt läge



Figur 52. Metallbåge

7.3.6 Vingkonstruktion

Vid utformningen av vingarnas konstruktion beaktades det faktum att kylflänsarna var den största och mest dominerande komponenten av denna del. Det föreföll således lämpligt att kylflänsarna även blev det bärande chassit för hela vingen genom en extruderad aluminiumprofil. Detta gav även möjlighet att utforma en extrusionsprofil som utöver kylmedium samtidigt kan agera hållare för LED-kort och skyddsglas. Lämpligt blev även att innefatta den led som omsluter den genomgående axeln i profilen. (se fig 53). Hela vingen tillverkas genom en enda aluminiumprofil där efterbearbetning består av fräsoperationer i syfte att ta ut håligheter för gångjärnsfunktionen. Denna konstruktionsprincip medför att vingarna består av minimalt antal delar, vilket ger en effektiv och billig tillverkning samtidigt som det underlättar montering. (se fig. 53)



Figur 53. Vingkonstruktion före och efter innan fräsoperation.

Vingarnas aluminiumkonstruktion täcks av en plastkåpa. Detta då det, ur kostnadssynpunkt, är fördelaktigt att stängpressa en öppen profil samt att det av estetik- och viktskäl anses lämpligt att integrera plast i vingen (se avsnitt 6.3.7). Plastkåpan medger även en enkel och billig tillverkning genom vakumformning. Genom tillverkning i PMMA (Polymetylmetakrylat) uppnås en god UV-beständighet. Denna egenskap anses mycket viktig då man ej vill att plasten ska vittra sönder eller gulna som följd mångårig exponering för solljus.

7.3.7 Kylsystem

Vad gäller kylsystem fastslogs tidigare att membranfläkar av modell XFlow42 skall användas (se avsnitt 6.3.4). Då dessa måste monteras vid sidan av kylfläsan och blåsa in mellan flänsarna fanns det begränsade alternativ till placeringen av dessa.

Möjligheten fanns att antingen montera en fläkt på vardera kant eller placera fläktarna centrerat på vingen. Att centrera fläktarna ansågs fördelaktigt då luften enkelt skulle kunna släppas rakt ut på sidorna. Alternativet var att specialkonstruera kylflänsarna så att dessa kunde vinkla ut lufta på långsidorna (se fig. 55). Vid centrering krävs efterbearbetning av kylflänsarna i form att fräsoperationer vilket är acceptabelt då detta redan genomförs för gångjärnsleden.

Då det även konstaterats vara lämpligt att placera fläktarna ovanför den delen av LED-plattan där drivkretsarna befinner sig uppkom ytterligare argument att centrera fläktarna i mitten. Att samla drivkretsytorna centralt medförde att kablarna från elektronikboxen kunde kombineras i två sladdar med kortast möjliga väg från elektronikboxen.

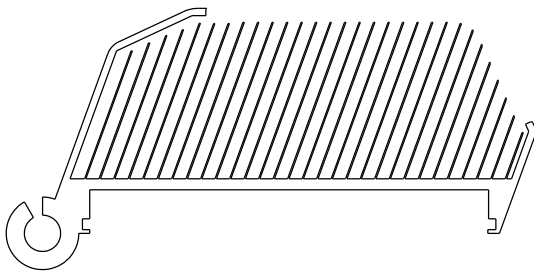
Vidare utvärderades huruvida utblåset vid kylflänsens ende sker rakt ut åt sidan eller riktas nedåt. Potentiellt sätt finns risk för att mer smuts kan tränga in bland kylflänsarna vid utblåset i horisontellt läge. De anses dock vara en marginell nackdel då det de facto är ett utblås och således inte bör dra till sig smuts på samma sätt som exempelvis insuget. Att rikta utblåset nedåt skulle däremot innebära viss komplexitet genom behov av mer avancerade kåpor och även distanser i ledmekanismen. Detta gjorde att det enklare, horisontella utblåset valdes.

Därefter fanns en möjlighet att lämna utblåset öppet in mot kylflänsen eller montera en sidoplatå med perforering för luftströmmen. Valet föll på att montera en sidoplatå då det vore en enkel och billig del som inte skulle medföra en avsevärd kostnadsökning. I avstängt läge ansågs det fördelaktigt att minimera öppningar in mot kylflänsen i syfte att minimera formering av spindelväv och smuts. Ett sidostycke ansågs också till produktens utseende vilket diskuteras ytterligare i kap 7.3.11.

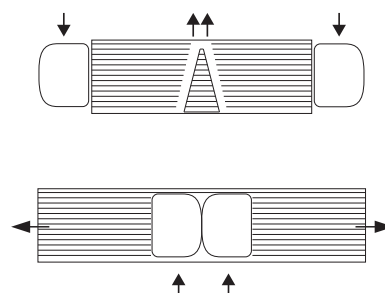
7.3.8 Elektronikbox

Elektronikboxen innehåller transformator, styrkort, kommunikationsenhet, strömkontakt och nätverkskontakt. Då dessa komponenter behöver fixeras på ett tillfredställande sätt fastslogs tidigt att någon typ av bottenplatta i metall var önskvärd. Då elektronikboxen även måste fixeras i metallbågen ansågs exempelvis plast inte ge den önskade kvalitetskänslan. Vad gäller konstruktionen av bottenplattan fanns inledningsvis två lösningsförslag; bockad plåt eller en extruderad profil. Kostnadesmässigt anses båda alternativen vara relativt billiga vid stora produktionsvolymerna. Två fördelar identifierades däremot hos den extruderade profilen vilket motiverade beslutet att välja denna.

- Den extruderade profilen möjliggör att fritt forma undersidan på bottenplattan i längsled. Detta är önskvärt då man på så sätt kan minska det mellanrum som uppstår mellan elektronikbox och vingar då de är ihopfällda och skjutna till sitt övre läge. Att uppnå detta ger ett mer kompakt och enhetligt uttryck då lampan är ihopfälld. (se fig. 56)



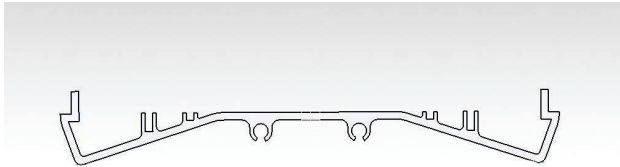
Figur 54. Vingprofil



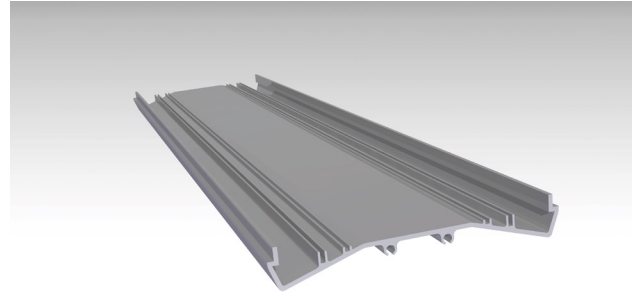
Figur 55. Fläktplacerings alt.

- En extruderad lösning gör det även möjligt att direkt i profilen skapa monteringsytor där, de i elektronikboxen, ingående komponenterna kan skruvas. (se fig 57).

På bottenplattan monteras en plastkåpa i syfte att kapsla in elektroniken. Även här valdes plast då det inte finns några direkta hållfasthets- och styvhetskrav i kombinationen med strävan efter en lätt och billig lösning. En plastkåpa ger dessutom större friheter vad gäller form i jämförelse med en metallkåpa givet en tillverkningsteknik i samma prisklass. Tillverkningen för denna plastkåpa, liksom



Figur 56. Profilbottenplatta



Figur 57. CAD-ritning över bottenplatta

för vingkåporna, sker genom vakumformning. En metallkåpa skulle dessutom innefatta en extra kostnad då den behöver lackas i efterhand.

7.3.9 LED-platta

LED-plattorna utformas utifrån den långsmala vingformen och beslutet om integrering av drivkort mitt på plattan. Vid drivkretsarna sitter säkringen och en diod som signalerar säkringens status för att göra eventuella driftstopp enklare att upptäcka. Då drivkretsarna av konstruktionsskäl måste placeras på samma sida som dioderna kommer dessa således vara synliga genom glaset underifrån. Även dioden som signalerar driftstatus syns då nedifrån vilket är fördelaktigt utifrån ett användarperspektiv.

7.3.10 Upphängning

Inriktingen för upphängningslösningen var att skapa en enkel lösningen som uppfyllde viktigaste kraven. Omsatta till upphängningslösningen handlade det främst om att:

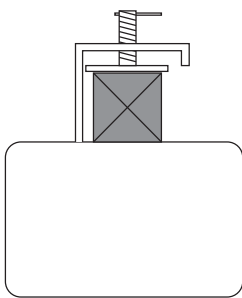
- Fixera lampan i syfte att kunna ställa in ljusspridning på ett exakt sätt
- Medge en effektiv upphängning
- Möjliggöra nedtagning för service
- Ej medföra extra volym i förpackning
- Möjliggöra effektiv förvaring av armaturer då de ej används.

Då den bärande metallbågen utformades så att den löper på ovensidan av elektronikboxen var detta delvis med upphängningen i åtanke. Denna medför en robust yta, både för upphängning, men även för fixering mot undersida på balk.

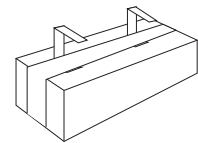
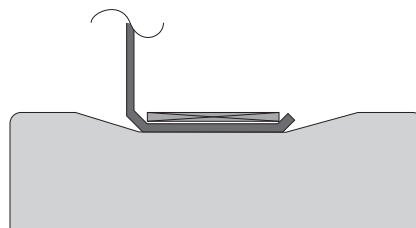
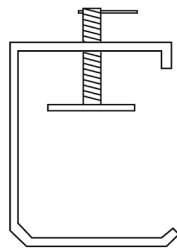
Det fastslogs att den enklast inriktningen var att jobba med två fästpunkter där konstruktionen utgörs av bockad plåt. För att fixera lampan appliceras en tving-liknande lösning som sedan skruvas ovanifrån för att klämma åt kring balken. (se fig. 58) I skruvens ende fästs en platta som ger god kontaktyta om balken.

Hela konstruktionen fungerar således som en krok, vilket medför att armaturen kan hänga från balken redan innan skruven är åtdragen och utgöra en enkel och ergonomisk upphängning. Brukaren kan hänga upp armaturen och därefter ha fria händer att spänna tvingfunktionen. Principen att klämma armaturen mot undersidan av balken ger en minimalt skrymmande konstruktion och fixerar armaturen på en exakt och säkert sätt. Genom denna princip blir upphängningen även kompatibel med varierande dimensioner på balkprofiler.

Plastkåpan på elektronikboxen utformas så att upphängningskrokarna kan skjutas in och fästas under metallbågen. (se fig. 59) Dessa kan då paketeras separat vid transport vilket minimerar volym. Krokarna kan även enkelt tas av för att tillåta stapling av armaturer då de ej används.



Figur 58. Tvingprincip

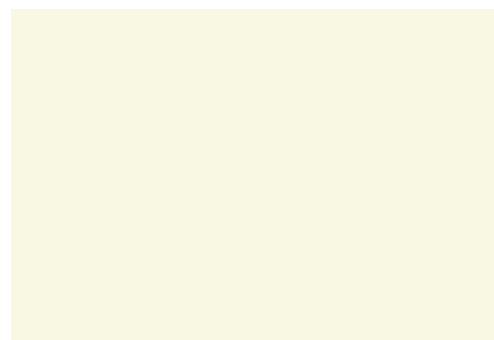


Figur 59. Fästning mot båge

7.3.11 Färgsättning

De delar av produkten som är tillverkade i aluminium eller rostfritt stål ansågs inte aktuella att färgsätta, då det varken bidrar till funktion eller önskat uttryck hos odlingslampan utan istället skulle innebära en extra kostnad. Vad gäller de olika plastdetaljerna fanns dock en möjlighet att färga de plastskivor som sedan vakumformas till kåpor. Här var det önskvärt med en kulör med mycket vithet vilket reflekterar solljus och motverkar att odlingslampan absorberar värme. Dessutom är Heliospectras nuvarande produkt vit vilket ansågs fördelaktigt att föra vidare. Den slutgiltiga färgen valdes till en gul-grönaktig kulör med mycet vithet. (se fig 60)

Då växthusmiljön innebär hög exponering för solljus efterfrågades en plast med god beständighet. Från detta framkom att plaster innehållande svart kolpigment hade bäst UV-beständighet vilket gick emot det önskade färgvalet. Istället uppmärksammades det vita pigmentet titaniumdioxid, vilket ger plasten andra önskade egenskaper. Titaniumdioxiden medför så kallade fotokatalytiska egenskaper som vid belysning av UV-strålning bryter ned microorganismer (Antal Boldizar, 2013). Metoden används till exempel i självrengörande betong (SBUF, 2009) och ger en potentiell möjlighet att minska behov av rengöring av odlingslampan. Vad gäller UV-beständigheten ansågs valet av plast, PMMA, inneha fullgoda UV-egenskaper även utan det svarta pigmentet.

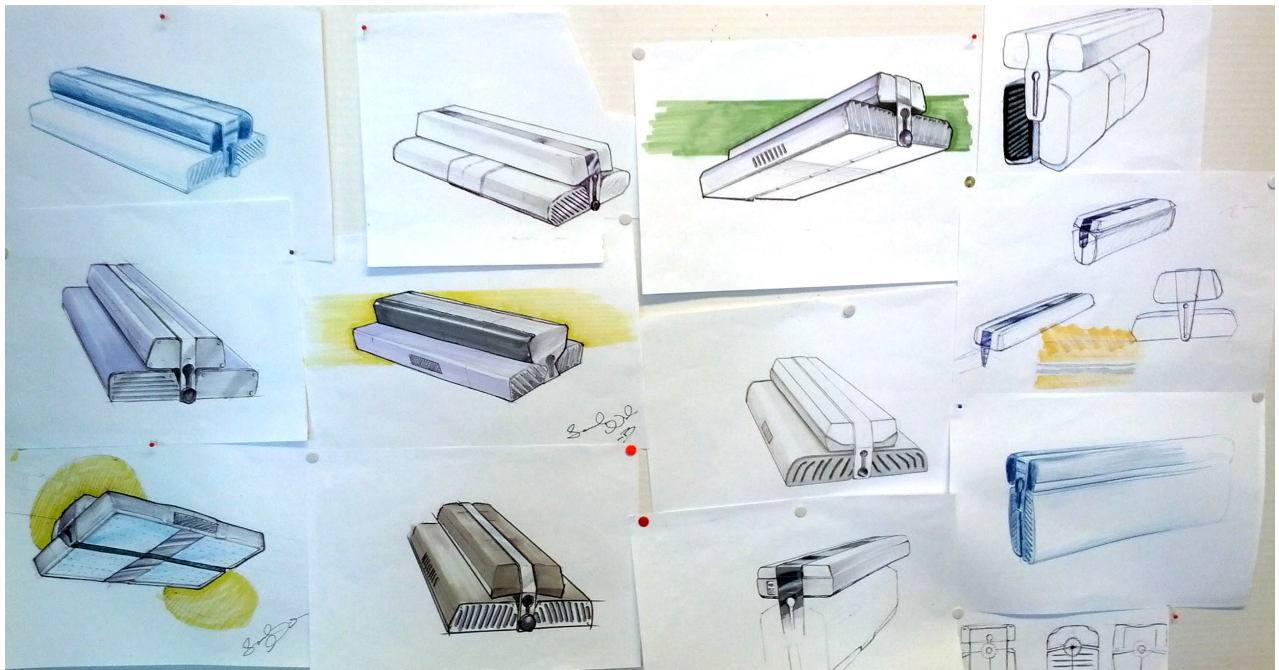


Figur 60. S 0510-G40Y

7.3.12 Form och uttryck

Då de grundläggande konstruktionsdetaljerna fastslagits fortsatte arbetet med form och uttryck parallellt med det vidare detaljutformningsarbetet. Flertalet skisser producerades i syfte att utforska möjliga former och materialval utifrån den givna förutsättningarna (se fig. 61).

Några av de viktiga konstruktions- och materialvalen påverkades i relativt stor utsträckning av det önskade semantiska uttrycket. Metallbågen, som går ovanför elektronikboxen, fyller inte bara de konstruktionsmässiga kraven utan ger även armaturen en helhetskänsla. Att välja plast som material för kåporna hade också vissa semantiska kopplingar då kombinationen plast och metall ger en modern och högteknologisk känsla till skillnad från en produkt enbart i metall som kan uppfattas som gammalmodig. Att låta plastkåpan på vingarna även omsluta kring kortsidorna valdes dock bort då detta upplevdes ta avstånd från det önskade uttrycket. Det strävades efter en avvägning i materialvalen där varje del av armaturen känns genomtänkt utifrån dess uppgift. Sidoplattorna på vingarna uttrycker en viss industriell känsla och en robusthet som anses önskvärd. Alternativt kunde denna typ av sidoplatte även appliceras på elektronikboxens sidor. Detta upplevdes däremot ge produkten ett allt för avhugget formspråk över sidorna, varpå en metallbåge med en riktningsändring längs sidan valdes. Som följd av detta, både utifrån form och konstruktion formades plastkåpan som ett lock över hela elektronikboxen. Då samma kombination av material önskades även i elektronikboxens uttryck fick bottenplattans aluminiumsidor sträcka sig upp längs boxens sidor där den möter plasten.



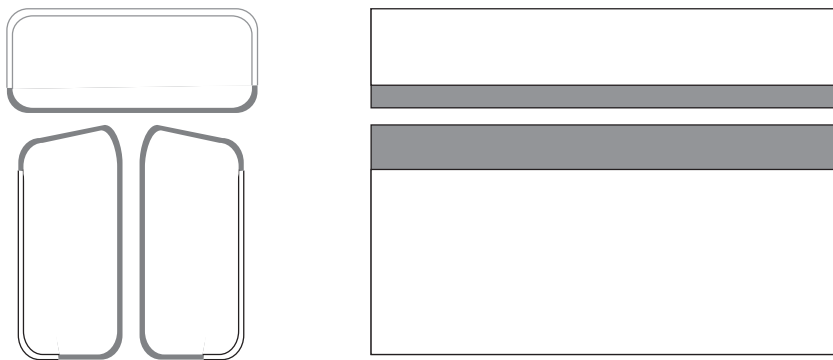
Figur 61. Skisser kring form

Produkten bör vara så kompakt och enhetlig som möjligt i det ihopfällda läget då den ska kännas diskret och smälta in i taket. Det, i konstruktionen, som motarbetar detta är glappet som uppstår mellan elektronikbox och vingar. (se fig. 62) Detta kompenseras delvis genom krökningen av undersidan på bottenplattan, men döljs ytterligare genom materialövergångarna på elektronikbox och vingar. På insidan av vingarna fortsätter aluminium upp längs sidan innan plastkåpan börjar. I det ihopfällda läget kommer denna metallyta möta metallytan längs elektronikboxens sida och på så sätt sammanföra de två delarna och minska glappet (se fig. 62).

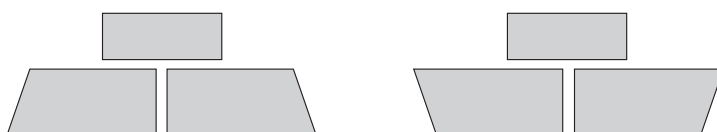
Vad gäller vingprofilens utformning utvärderades ett antal olika geometrier. En ytteryta med positiv vinkel upplevdes omfamnande och omhändertagande men samtidigt tung och en negativ vinkel framstod mer aggressiv (se fig. 64). Den slutgiltiga profilen skapades därför som en kombination av dessa vinklar, sammanbundna med radier (se fig 63).

I syfte att exponera Heliospectras namn och varumärke på produkten kommer plastkåporna förses med företagets logotyp, likt dagens produkt. Eftersom produkten kommer hänga i taket anses det fördelaktigt att exponera företagsnamnet även på undersidan. Genom att applicera en plastfilm på glasets insida kan varumärket exponeras samtidigt som det döljer insyn till drivkretsarna.

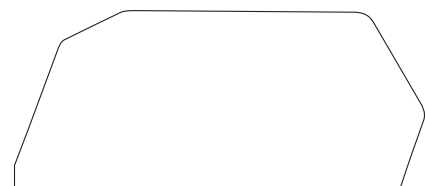
Plastkåpan över elektronikboxen gavs en sluttande form som förstärker intrycket av en slank produkt som utgår från balken. Kombinationen av vinklar och små rader stämmer överens med vingarnas utformning och uttrycker tålighet och modernitet. Två nedsänkta kanaler ger utrymme för upphängningsanordningen och skapar en mer varierad form. Nätet i sidoplattorna har ett litet hexagonmönster som inspirerats från honungskakan. I mönstret vävs det in diskreta gradanteckningar för att underlätta vinkling av vingarna.



Figur 62. Materialval i syfte att dölja glapp



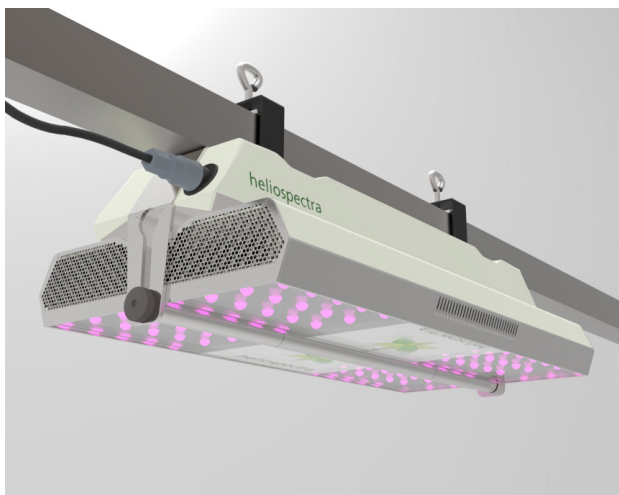
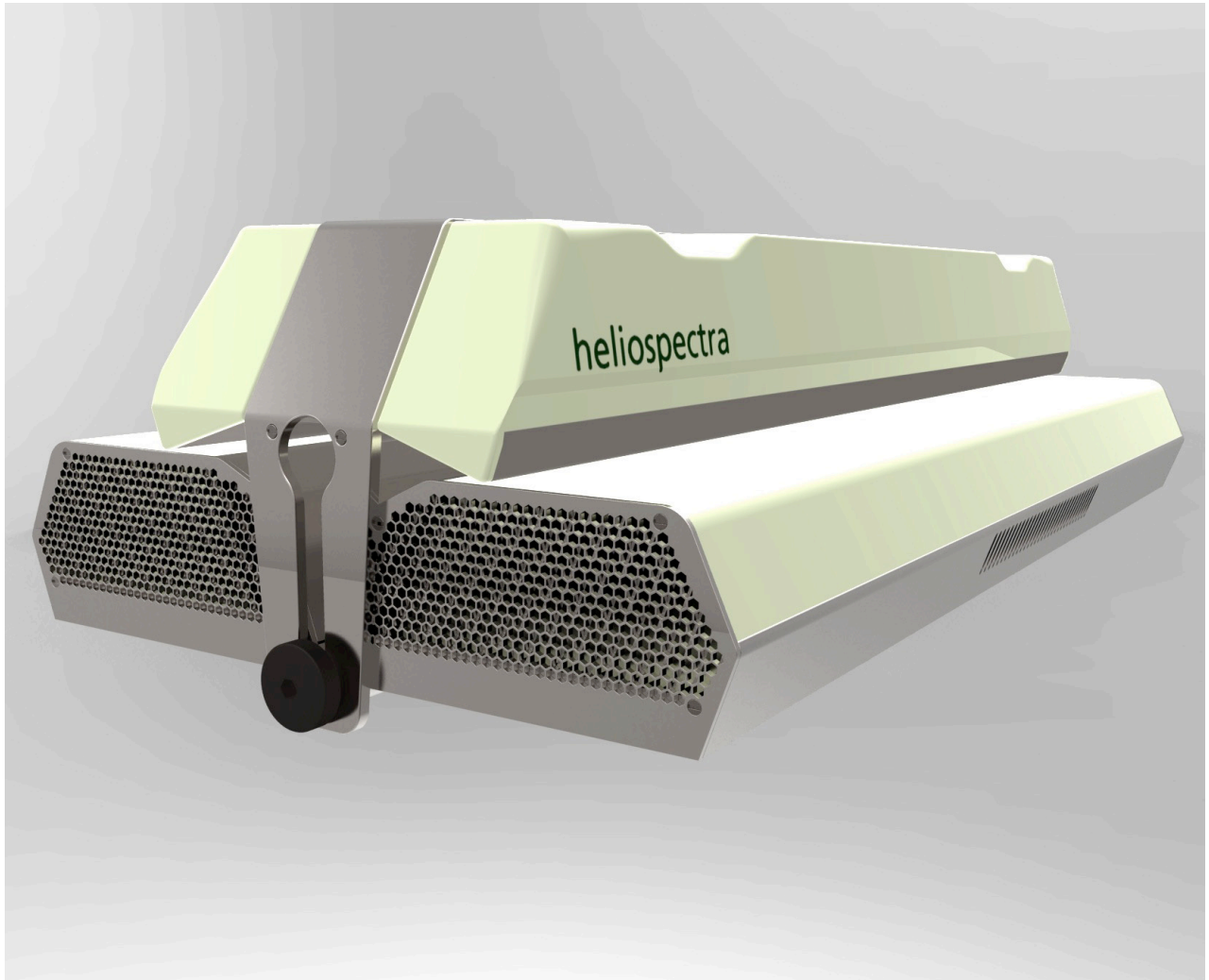
Figur 63. Vingvinklar



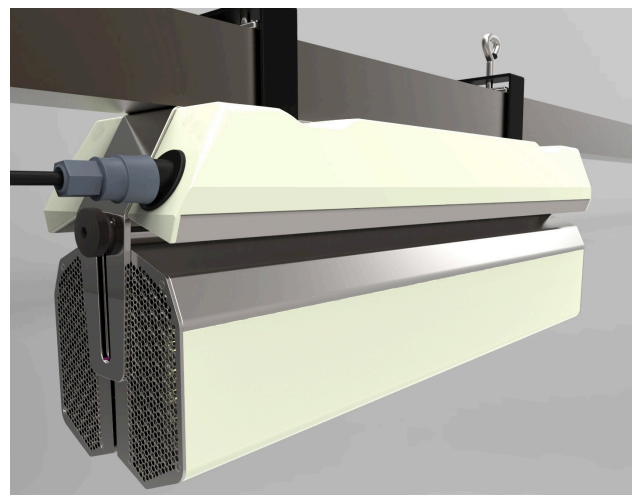
Figur 64. Slutgiltig profil

8 Slutprodukt

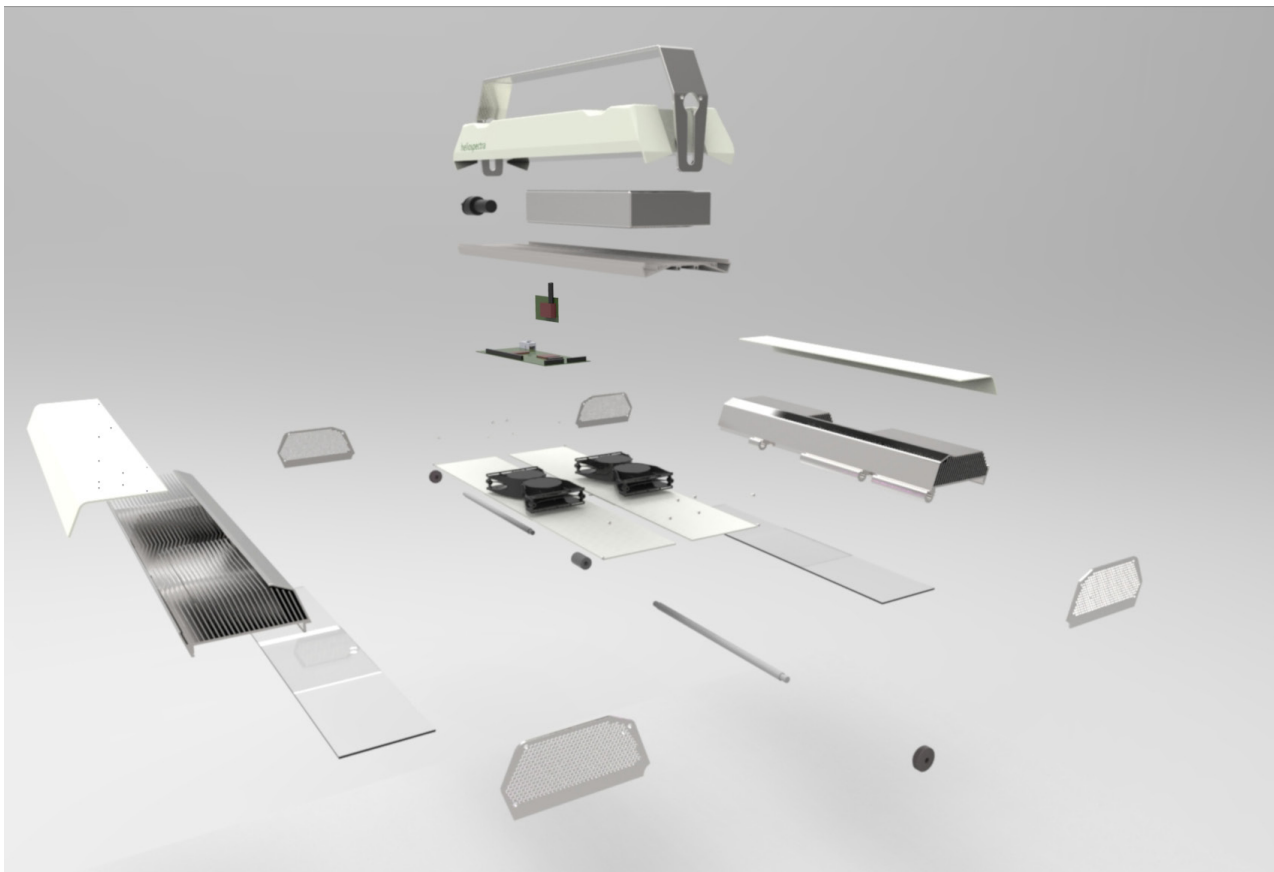
Detta kapitel beskriver det färdiga produktkonceptets definitiva utformning och attribut samt utvärderar det utifrån kravspecifikationen.



Figur 65. Slutkonceptet under balk



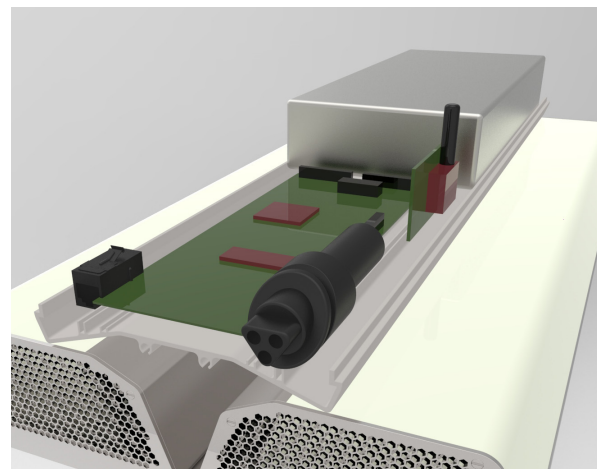
Figur 66. Slutkoncept ihopvikt



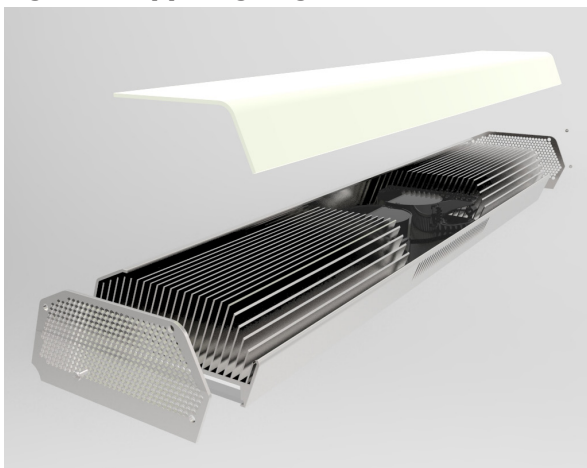
Figur 67. Sprängskiss över slutkonceptet



Figur 68. Upphängning



Figur 69. Elektronikbox



Figur 70. Vinge



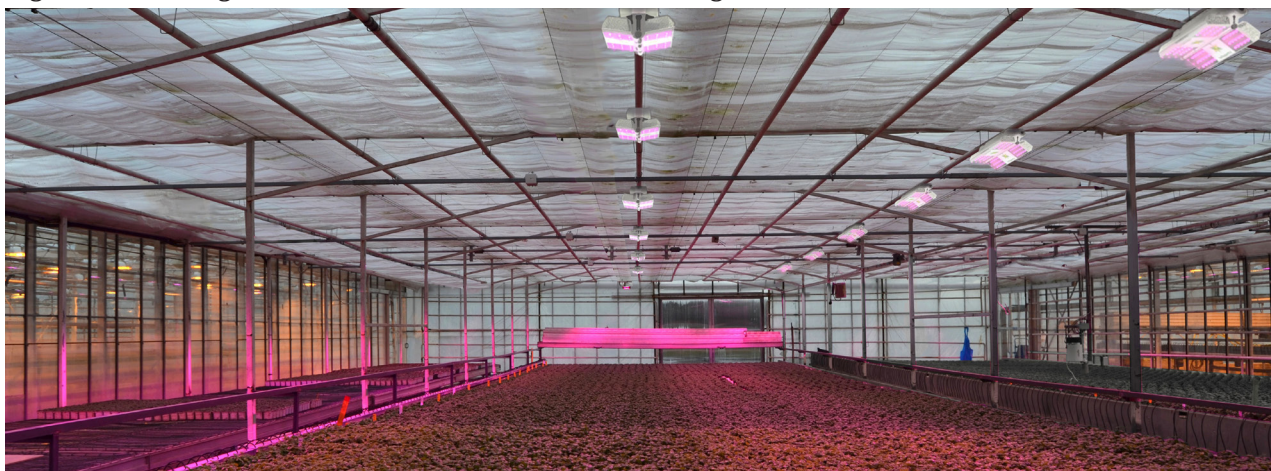
Figur 71. Hantering av moterad lampa



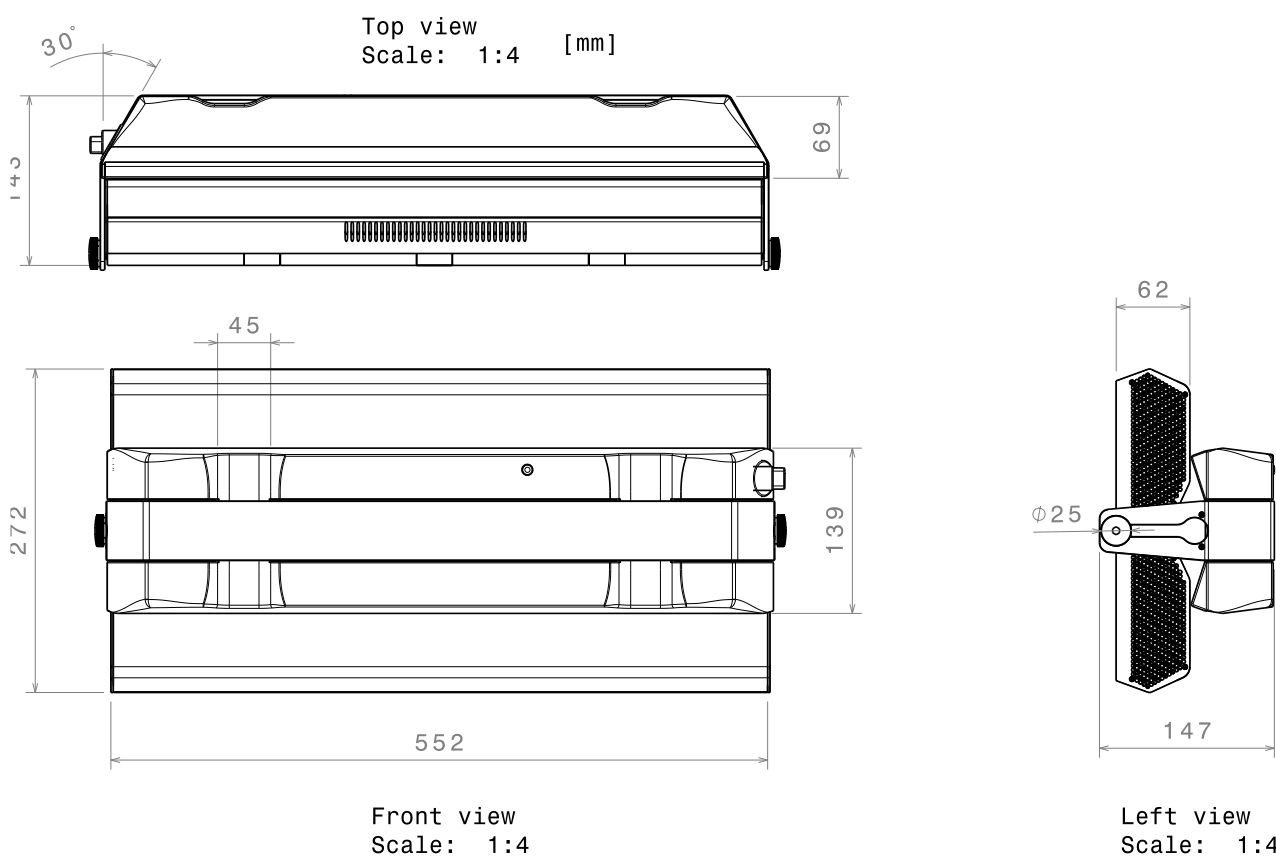
Figur 72. Säkring



Figur 73. Kontext



Figur 74. Kontext



Figur 75 Övergripande ritning

8.1 Funktionalitet och konstruktion

Slutkonceptet är en avancerad odlingslampa med dioder i ett flertal olika våglängder, vars intensitet kan justeras enskilt. Effekten uppgår till 600 W vilket är detsamma som Heliospectras befintliga produkt L4A.

Den övergripande formen bygger på vinklingsbara LED-paneler, vilka förbinds med en ovanpåliggande elektronikbox. Ljusspridningen från lampan kan justeras individuellt efter det aktuella behovet vilket medför möjligheten att rikta in allt ljus mot plantorna. Då lampan är inaktiv under en längre tid kan den fällas ihop vilket minskar dess skuggeffekt. Detta skulle rimligtvis ske två gånger per år, inför och efter sommaren, och skulle då kunna kombineras med rengöringen som brukarna utför någon eller några gånger om året. Vid inaktivitet eller förvaring skyddas optik och dioder genom ihopfällningen vilket även gör produkten kompakt och möjlig att stapla. Formen är anpassad för växthusmiljön i syfte att minimera ansamling av smuts och medge enkel rengöring av ytor.

God driftsäkerhet uppnås genom en robust konstruktion där utsatta komponenter är samlade i en avskild elektronikbox. Kylsystemet baseras på membranfläktar, vilka utvecklats specifikt för hårda miljöer. Genom införande av *multi-chip* och integrering av drivkretsar på LED-korten uppnås en volymseffektiv produkt.

Upphängningen är effektiv och säker. Odlingslampan kan hängas direkt i dess krokar och därefter fixeras till takbalken, vilket stoppar den från att kränga vid rengöring eller justering av LED-paneler. Upphångningslösningen är kompatibel med varierande balkdimensioner och kan enkelt demonteras vid transport och förvaring. Detta skulle rimligtvis ske två gånger per år, inför och efter sommaren, och skulle då kunna kombineras med rengöringen som brukarna utför någon eller några gånger om året.

8.2 Material

Materialen som används för armaturen är främst aluminium, rostfritt stål och PMMA. Samtliga har hög hållfasthet och god motståndskraft mot nedbrytning vilket är en nödvändighet i den krävande växthusmiljön. Dessutom har de goda återvinningsförutsättningar samtidigt som det begränsade antalet material underlättar resthantering. Den pigmenterade PMMA-plasten motverkar dessutom bildandet av biologiskt smuts, vilket minskar behovet av rengöring.

8.3 Tillverkning

De tillverkningstekniker som används vid produktion av produkten är extrusion av aluminium med fräsoperationer, vakuumformning av plast, bockning av rostfritt stål samt perforering av aluminiumplåt. Samtliga tillverkningstekniker anses vara kostnadseffektiva vid massproducering och därför lämpliga att använda för denna produkt.

8.4 Montering

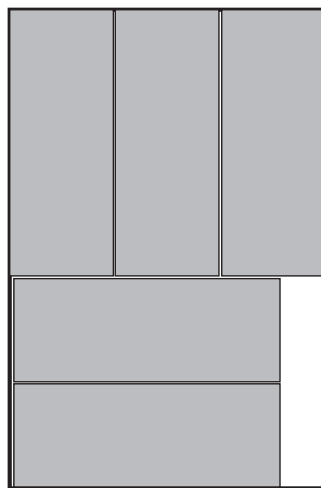
Monteringen av produkten effektiviseras tack vare få ingående komponenter och en konstruktion med målet att uppnå enkel produktion. Vingchassit kräver enbart montering av fläktar, LED-plattor, glas och sidoplattor. Då vingprofilen är utformad utifrån dessa komponenters placering krävs endast ett fåtal skruvar för att montera fläktar, LED-plattor och sidoplattor. Glaset skjuts in i ett spår placerat på bottenytan och fixeras sedan av sidoplattan.

Vad gäller elektronikboxen är även bottenplattans profil utformad för att husera de ingående komponenterna, varpå dessa enkelt kan skruvas direkt i plattan på sin specifika plats.

Sammantaget ger detta en robust och säker konstruktion som tillåter effektiv montering, där beståndsdelarna även enkelt kan separeras för resthantering.

8.5 Transporter

Produkten är framtagen för att effektivt kunna transporteras till kunden. I det ihopfällda läget är produkten kompakt och anpassad för att effektivt fylla volymen av en rektangulär kartong. Storleken på produkt och således kartong medger även en effektiv utfyllnad av en standard EUR-pall. (se fig. 67)



Figur 72. Pallpackning

8.6 Produktuttryck och formspråk

Produktens formspråk baseras på den semantiska analysen av företaget och användningskontexten. Kombination av material, färg och form uttrycker *nyttänkande* och *pålitlighet* vilket överensstämmer med det innovativa företaget och den krävande växthusmiljön.

8.7 Ej verifierade krav

De ovan nämnda produktaspekterna svarar alla till kravspecifikationens ställda krav. Det slutgiltiga konceptspåret har dock medfört att tvåa krav angående upphängning ej har uppfyllts. Det finns även ett antal krav vars uppfyllnad inte kan garanteras, dessa skulle behöva utvärderas i större utsträckning, samt tillämpas i praktiska tester för att kunna styrkas.

- Upphängningslösningen kommer ej vara lämpad för takbalkar med cirkulärt tvärsnitt, vilket kravet UP3, Passa befintlig balk, syftar till. Kravet kan dock enkelt uppfyllas genom att tillverka en till upphängningskrok med cirkulär profil. Då kroken är så pass enkel i sitt utförande kan lösningen antas vara kostnadseffektiv i samband med att produktens övriga komponenter kan behålla sitt utseende.
- Upphängningslösningen kommer ej vara anpassningsbar i höjddled vilket uppges i krav UP4, Justerbar i höjddled.
- Kravet om att minimera fläktljud har ej kunnat verifieras genom beräkningar eller tester. För att kunna fastställa att fläktarna fyller sin funktion krävs att beräkningar och mätningar på ljudnivå och akustik genomförs.
- Kravet om kompatibel mjukvara med befintliga klimatdatorsystem har ej kunnat utvärderas.
- Uppfyllnad av kravet om skyddad elektronik och kontakter kan ej fastställas. Detta då produktkonceptet ej är utvecklat till den grad där konstruktionsdetaljer kopplat till IP- klassning och liknande kan utvärderas. Detta kan verifieras med en produktprototyp.
- Kravet om tåligt kylsystem syftar till smuts och dammbeständighet. Även detta behöver testas med en prototyp i verkliga växthusmiljöer för att kunna verifieras.
- Krav om att kyla LED kan ej verifieras då approximationer har gjorts vid dimensionering av kylsystemet. Dimensioneringen kan fastställas genom laborationer och beräkningar.
- Det finns osäkerheter kring kravet om att minimera vikt och volym. Har felaktiga approximationer gjorts vad gäller kylförmågan kan detta medföra en ökad vikt och volym.
- Då olika varianter och konfigurationer av elsystem i växthus observerades behöver mer omfattande utvärderingar göras för att kunna verifiera kravet om kompatibilitet med befintliga elsystem.

8.8 Utgångspunkter för vidareutveckling

Utifrån detta produktkoncept några finns tydliga huvudaspekter att utveckla och utvärdera för att ta konceptet närmre en färdig produkt:

- Funktionaliteten med vikbarheten bör utvärderas på ett mer vetenskapligt sätt. Exempelvis bör ljusbilden då LED-plattorna vinklas och skuggminskningen i det ihopfällda läget utvärderas med mätningar.
- Konstruktionslösningar i kritiska delar så som leden, upphängningen och plastkåpan över elektronikboxen bör utvärderas ytterligare genom beräkningar och prototyper samt med samråd med aktörer inom respektive tillverkningsteknik.
- Tillverkningskostnader bör fastställas i syfte att ytterligare kunna optimera konstruktionen.
- Då IP66-klassning anses nödvändigt bör de krav detta medför fastställas och möjligheterna att applicera dessa i konstruktionen utvärderas.
- Eftersom en ny typ av fläkt har föreslagits bör laborationer genomföras i syfte att hitta en optimal dimensionering för kylsystemet.
- Då växthusmiljön bedöms påverka produkten efter viss tid bör detta verifieras genom att testa prototyper i riktiga växthus under en längre tid.

9. Diskussion

Kapitlet består av diskussion kring områden som på olika sätt uppmärksammats under projektets gång.

9.1 Projektets utveckling

Då projektets mål var att ta fram ett belyningskoncept för storskalig kommersiell växthusodling fanns en stor bredd över möjliga inriktningar för produktutvecklingen. En möjlighet hade varit att strikt utgå från företagets befintliga produkt, vilket hade medfört en betydligt mer begränsad brukarstudie. Inledningsvis valdes istället en bredare utgångspunkt där den befintliga produkten åsidosattes i förmån för användarnas nuvarande situation och behov. Då odlarnas önskemål på många sätt skiljde sig från Heliospectras produkt ledde detta till en stor variation bland de inledande koncept som utvecklades.

Valet av denna, mer resurskrävande, inriktning kan diskuteras. Resultatet av brukarstudien anses dock ha belyst aspekter och problem som kommer vara företaget till nytta även vid utveckling av den befintliga produkten. Framför allt då företagets inriktning hittills fokuserat på forskning och teknik. I den senare delen av produktutvecklingen upplevdes det dessutom värdefullt att ha en helhetsförståelse över växthuskontexten och alla de påverkande faktorerna.

Den breda inriktningen av projektet i dess inledande fas är även en anledning till att slutkonceptet befinner sig på en konceptuell nivå där exempelvis exakta dimensioneringar, konstruktionsritningar och tillverkningskostnader ej är specificerade. Det fanns således inte resurser att inom ramarna för projektet nå denna detaljgrad. Detta beror också till stor del på det konceptspår som valdes; det vill säga inriktningen att utveckla en mer konceptuell och innovativ produkt för framtiden. I projektet blev det således naturligt att behålla produkten på en mer övergripande nivå och istället skapa principiella lösningsförslag för produktens alla delar.

9.2 Resultat

9.2.1 Prisbild

Priset var ett av de tydligaste problemen med den produkt Heliospectra erbjuder idag, då den är upp till tio gånger dyrare än konkurrerande företags produkter. Den främsta kostnadsdrivaren är de många olika LED-dioderna, vilka är noggrant utvalda. Att dessa behövs kan motiveras med att Heliospectras produkt först och främst varit ett forskningsverktyg där reglerbarhet och hög exakthet är en förutsättning.

Även om brukarstudien pekade på ett, i dagsläget, begränsat behov av att kunna justera ljus på det sättet avser företaget ändå att behålla inriktningen då detta bygger på den kärnkompetens som finns. Den exakta sammansättningen av dioder och andra tekniska komponenter kommer alltså baseras på framtida forskning och prisutveckling. Den del av produktens totalkostnad som utgörs av de tekniska komponenterna kom således att ligga utanför den produktutveckling som genomfördes i det senare skedet av projektet. Kvar fanns då främst möjlighet att jobba med prisbilden genom att konstruera armaturen på ett kostnadseffektivt sätt.

Som nämnt ovan innefattar inte slutkonceptet de detaljer för konstruktion och tillverkning som krävs för att kunna utvärdera kostnadsbilden för produkten, vilket kan ses som en nackdel då kostnaden för den befintliga produkten är ett stort problem. Då projektets mål är att utveckla ett produktkoncept för den kommersiella växthusmarknaden gav detta däremot andra möjligheter vad gäller kostnadsbilden. Produkten är tänkt att tillverkas i stora serier varpå detta motiverade att undersöka konstruktionslösningar och tillverkningstekniker som i förlängningen kan skapa förutsättningar för en kostnadseffektiv produkt.

9.2.2 Vikt

Ytterligare en viktig aspekt var att reducera vikten, som huvudsakligen utgörs av kylflänsar. Även här blev beslutet av att behålla den befintliga tekniken med hög effekt en begränsande faktor eftersom kylningen behövde dimensioneras därefter. Införandet av vikbarheten motverkade även en viktreducering genom adderingen av komponenter men det ansågs tillföra såpass mycket funktionalitet att vikfunktionen berättigades. Formen på produkten gör den även mer greppbar och kompakt vilket bör medföra att vikten inte blir en lika kritisk faktor som vid en ohanterlig form.

9.2.3 Material

Plast inkluderades i produkten trots att flera brukare uttryckt att materialet ej är önskvärt. Det som motiverade valet var framförallt vikt-, kostnads- och formaspekterna. En möjlig strategi var att helt och hållet använda aluminium men detta skulle snarare innebära nackdelar gällande ovan nämnda aspekter. Det slutgiltiga beslutet togs med övertygelsen att det är fullt möjligt att uppnå de krav som växthusmiljön och odlarna ställer på produkten. Detta genom att använda en för ändamålen lämplig plast som skiljer sig från odlarnas erfarenhet av äldre varianter av plastarmaturer. Heliospectra måste dock lyckas övertyga kunderna att de köper en genomtänkt odlingslampa.

9.2.4 Vikbarhet

Armaturens vikfunktion är enligt Heliospectra unik och är därmed helt obeprövad. Det ansågs intressant att föra vidare i projektet för att se principen omsättas i en genomtänkt konstruktion. De fördelar som vikbarheten eventuellt medför har dock inte kunnat verifieras eller utvärderas vare sig genom tekniska tester eller utlåtanden från framtida brukare.

Den aspekt av vikfunktionen som potentiellt kan medföra en jämnare ljusspridning bör utvärderas med spectrometertester i syfte att fastställa om vinkling av LED-panelerna kan kompensera för variation i avstånd mellan raderna av armaturer. Det är också relevant att utvärdera om denna funktion gör lampan mindre beroende av vilken höjd den hänger på vilket också kopplas till optimering av ljusspridningen.

Användningen av vikfunktionen i syfte att minimera lampornas skuggbildning under sommarhalvåret bör även den utvärderas. Framförallt kan man ifrågasätta om den arbetsbörda som krävs för att fälla ihop samtliga armaturer är rimlig i förhållande till den minskade skuggning som uppnås. Detta bör verifieras genom subjektiva åsikter från odlare samt solljussimuleringar som påvisar hur skuggningen beror av produktens form.

9.2.5 Konstruktion

Utvecklingen av produkten innebar tillslut en avvägning mellan ett innovativt koncept och en trovärdig konstruktion. Det viktiga ansågs vara att förmedla idén med vikbarheten och leverera ett rimligt förslag på hur det skulle kunna lösas konstruktionsmässigt.

Vad gäller konstruktionen är fixering av vingarna det mest kritiska. Efter samtal med ämneskunniga på Chalmers kunde det konstateras att fixering med radiell friktion hade varit mer fördelaktigt än den axiella friktionen som appliceras i produktkonceptet. Detta hade medfört en bättre spridning av den last som uppkommer av vridmomentet kring axeln och tillåtit en fixering med större säkerhet genom mindre fixeringskraft. Att applicera radiell friktion hade dock inneburit stor påverkan på ledkonstruktionen och även påverkat designen av andra delar av produkten. Efter approximerade beräkningar (se fig 51) fastslogs att det var fullt rimligt att uppnå tillräcklig fixeringskraft genom lösningen med axiell friktion, varpå denna princip ändå applicerades i slutkonceptet. Vid en eventuell vidareutveckling av konstruktionen bör det dock undersökas om en fixeringslösning som bygger på radiell friktion är möjlig att implementera.

9.2.6 Upphängning

Vad gäller upphängningen gjordes inga stora förändringar från den befintliga. Syftet var att hålla nere kostnaden för konstruktionen samt att de, för upphängningen, ställda kraven inte prioriterats så högt då man sällan monterar ned och upp lampan. De två krav som ansågs viktigast; en säker fixering och en anpassningsbarhet till balkmått, uppfylldes trots den enkla lösningen.

Däremot medges inte anpassningsbarhet i höjdded då armaturen fixeras mot balkens undersida. Enligt avsnitt 7.3.2 finns dock en möjlighet att de vinklingsbara LED-plattorna medför att en god ljusspridning kan uppnås oberoende av vilken höjd lampan monteras på. Detta är en högst hypotetisk teori och kräver verifiering innan den kan fastställas.

Upphängningen medger ingen säker upphängning i en balk med cirkulärt tvärsnitt, vilka dock bara observerats vid ett enstaka tillfälle. Upphängningen får i detta fall lösas med någon form av tilläggskomponent.

9.2.7 Uttryck

Odlingslampornas estetik uttrycktes aldrig ha någon central roll i den brukarstudie som genomfördes. Odlarna efterfrågade användbara produkter där form följer funktion. Då Heliospectra är en ny aktör inom den kommersiella odlingsmarknaden är det dock viktigt att de lyckas framhäva sin teknik- och odlingsmässiga kunnighet i produkten. En framtida odlingslampa bör därför väva in ett kvalitetsmässigt och förtroendegivande formspråk som passar en allt mer effektiviserad växthusodling.

9.2.8 Värmeclimatet i växthuset

En hel del frågetecken uppstod vad gällde användandet av LED-teknik i växthus. Flera odlare såg värmeutvecklingen, och framför allt strålningsvärmens, som en förutsättning för lyckad odling. Belysningen användes i vissa fall som en direkt värmekälla då odlingen blivit för fuktig. Värmeaspekten måste ses som en enormt viktig del vid införandet av LED och odlingslamporna bör därför införas med hänsyn till det totala värmeclimatet och de eventuella förändringar som behövs av de befintliga systemen. I annat fall riskerar en förbättring av ljuseffektiviteten leda till försämring på andra områden som till exempel mögelbildning i odlingen. I likhet med frågan om inkludering av plast i produkten måste även odlarnas erfarenheter och åsikter tas i beaktning.

9.3 Metoder och genomförande

9.3.1 Datainsamling

De metoder som användes vid datainsamlingen anses ha givit en god bild av den miljö och kontext som undersöktes. Valet att genomföra mycket öppna och relativt ostrukturerad datainsamling bedöms ha passat det aktuella projektet då det handlade om att få en helhetsförståelse över brukarnas situation och behov, snarare än att definiera en strikt problembild. De mer strukturerade telefonintervjuerna fyllde de luckor som funnits efter den inledande datainsamlingen i syfte att uppnå ett mer akademiskt underlag.

9.3.2 Urval

Urvalet av odlare som innefattades i brukarstudien anses varit representativt sett till projektets omfattning och fokusområden. Studiebesöken och intervjuerna som genomfördes i Holland bidrog till en ytterligare bredd genom att marknadssituation var relativt skild från det som observerats i Sverige. I Holland upplevdes däremot vissa av brukarna ställa sig något partiska till belysningens fördel då de genomförde omfattande samarbete med tillverkare av dessa. Att besöka fler odlare på den Holländska marknaden hade givit en mer säker bild kring åsikterna om LED.

9.3.3 Konceptpresentation

I arbetsprocessen med koncept byggde resultaten mycket på dellösningar för de olika huvudområdena som var viktiga för produkten i ett tidigt skede. Det ansågs passande då huvudområdena skiljde sig relativt mycket från varandra. I syfte att framhäva dellösningarna i en helhetskontext kombinerades de ihop till olika produktkoncept. Vid redovisningen utgjorde de färdiga produktkoncepten grunden och de olika dellösningarna beskrevs utifrån dessa. Att dellösningarna presenterades som del av en produkt upplevdes positivt. Dock hade åhörarna svårt att se dellösningarna på ett oberoende sätt och åsikterna riktades gärna åt koncepten som helhet snarare än till specifika dellösningar. Troligtvis försvårade även detta för åhörarna att själva se nya kombinationsmöjligheter bland dellösningarna. Något som ytterligare kan ha förstärkt detta är den tydlighet vad gäller form och funktionalitet med vilka koncepten presenterades.

9.3.4 Hållbarhetsanalys

Hållbarhetsanalysen baserades på livscykelanalys och jämförelse mellan olika gatlamppor. Produkterna i källmaterialet fungerade som en god uppskattning av de HPS-lampor som används i växthus idag samt gav prestandadetaljer för den nyare LED-tekniken. I genomförd LCA-screening har vikt lagts på skillnader mellan de båda belysningsteknikerna, i vilka material och komponenter de innehåller samt tillverkning- och återvinningsaspekter. Källmaterialets karaktär, med inriktning på en annan produktkontext, har dock inneburit ett medvetet fokus på övergripande data och information om till exempel strömförbrukning istället för detaljerad information om utsläpp vid tillverkning av specifika komponenter. Då syftet var att i ett tidigt skede ta fram direktiv för produktutvecklingen var denna övergripande analys passande.

10. Slutsats

Grunden för att tillgodose målen med detta arbete lades i och med de omfattande studier som inledde projektet. Tack vare ett stort antal besök och intervjuer fick studien ett brett omfång både vad det gäller brukare och kontext. Ur detta framträdde som förväntat en hel del problematik rörande integreringen av Heliospectras teknik i kommersiella växthus.

Brukarna uttryckte bland annat att de har svårt att se användbara tillämpningar av justerbara våglängder i dagsläget. På grund av de små marginalerna efterfrågas effektiva lösningar som förser växterna med största möjliga mängd ljus till minsta möjliga kostnad och solljuset värderas därför högt. Samtidigt ställer miljön krav om tålighet på grund av faktorer som till exempel stora temperaturskillnader, hög luftfuktighet och intensivt solljus. Det finns flera positiva hållbarhetsaspekter men omhändertagande av till exempel uttjänta kretskort bör ses över.

I och med beslutet att behålla Heliospectras befintliga teknologi fick en del viktiga frågor, så som att markant reducera kostnaderna och att anpassa funktionalitet i teknologin nedprioriteras. Istället hamnade fokus på vilka mervärden som kunde genereras genom formgivning av omkringliggande produktattribut.

Genom implementeringen av vikbarhet och en uppdelad produkt utökas möjligheterna kring flexibel ljusbild, minskad skuggbildning och förenklad hantering. Dessutom förstärker det Heliospectras roll som ett företag i framkant som tillhandahåller mångsidiga och unika lösningar genom optimerad teknik.

Trots inriktningen mot ett konceptuellt slutresultat bygger den faktiska konstruktionen på beprövade lösningar som kan realiseras. Konstruktionen består av få delar som alla kan framställas genom tillverkningsmetoder såsom extrusion och vakumformning, vilka är kostnadseffektiva vid massproduktion.

Det slutgiltiga konceptet motsvarar därmed en syntes av den inhämtade informationen och representerar på så sätt förslag på riktlinjer inför utvecklingen av en framtida produkt anpassad för kommersiella växthus.

För att besvara vissa av frågorna som uppkommit under projektet återstår en del arbete. Det gäller delvis aspekter kring produkten såsom verifiering av vattentålighet, fläktarnas ljudnivå och hur vikbarheten mer exakt kan påverka ljusbilden. Sådana tester skulle vara nästa steg vid vidareutveckling av konceptet. Det återstår dessutom frågor kring hur etableringen av LED-ljus i växthuskontexten kommer utvecklas. Den uteblivna strålningsvärmens måste kompenseras för, priserna måste reduceras ytterligare och applikationerna för intelligent ljus måste etableras hos brukare och marknad.

11. Referenser

- Afzal B. et al. 2011. *Analysis of US Market for Greenhouse Supplementary Lighting & Entry Plan to the US Market for Heliospectra AB*. George Washington University - School of Business.
- Almström, P. 2013. *DFMA – Design for manufacturing and assembly, Föreläsningsmaterial i kursen Tillverkningsteknik MMT030*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola
- Bligård, L.O., 2011. *Utvecklingsprocess ur ett människa-maskinperspektiv*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola.
- Burr J. (2012) *LED Systems for Horticulture: Economics and Practice*. West Lafayette. Purdue University.
- Engelbrektsson, P. 2011. *Frågebaserade datainsamlingsmetoder. Föreläsningsmaterial i kursen MMT015 Produktutveckling: behov och krav*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola.
- Hansson, F. et al. 2011. *Nail the pain and the solution and get a light revolution*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola
- Hartley, D. Jurgens, C. Zatcoff, E. 2009. *Life Cycle Assessment of Streetlight Technologies*. Pittsburgh. University of Pittsburgh.
- Hochschorner, E. Finnveden, G. Johansson, J. 2002. *Utvärdering av två förenklade metoder för livscykelanalyser*. Stockholm. Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Karlsson, M. 2008. Kurskompendium appendix. *Produktutveckling: behov och krav MMT015*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola
- Mitchell, C.A. et al. 2011. *Developing LED Lighting Technologies and Practices for Greenhouse Crop Production*. Waikoloa, Hawaii: American Society for Horticultural Science.
- Mägi, M. & Melkersson, K. 2008. *Lärobok i maskinelement*. EcoDev International AB. Göteborg
- Ono et al. 2006. *Plant factories blossom: production in Japan steadily flowers*. Resource. Engineering & Technology for a Sustainable World. 1 mars.
- Pacific Energy Center. 1997. *High Pressure Sodium Lamps: a Pacific Energy Center factsheet*. http://www.lightingassociates.org/i/u/2127806/f/tech_sheets/High_Pressure_Sodium_Lamps.pdf (hämtad 2013-05-15)
- Rexfelt, O. 2011. *Datainsamling och kravidentifiering: Observationsbaserade metoder. Föreläsningsmaterial*. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola.

SBUF, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. 2009. *Fotokatalytisk betong*.
<http://www.sbuf.se/ProjectArea/Documents/ProjectDocuments/111962f0-f9b0-4c85-b54b-02e9eba3dfa9/FinalReport/SBUF%2011645%20Slutrapport%20Fotokatalytisk%20Betong.pdf>
(Hämtad: 2013-05-16)

Schwicker, M. 2011. *Improving system reliability with synjet cooling*.
http://www.imaps.org/chapters/centraltexas/Symposium_Presentations/Improving%20System%20Reliability%20with%20SynJet%20Cooling.pdf (Hämtad 2013-04-02).

Swerea IVF. 2002. *Verktyg för Miljöanpassad produktutveckling - Ekostrategihjulet*.
<http://extra.ivf.se/lcae/verktyg.htm> (hämtad 2013-02-05).

The Economist Newspaper. 2010. *Fields in the sky - Does vertical farming really stack up?*. 9 december.
<http://www.economist.com/node/17647627> (hämtad 2013-01-30).

Wikström, L. 2010. *Expression board som designverktyg i produktutvecklingsprocessen*, Produktsemiotik MPP071. Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola.

Muntliga källor:

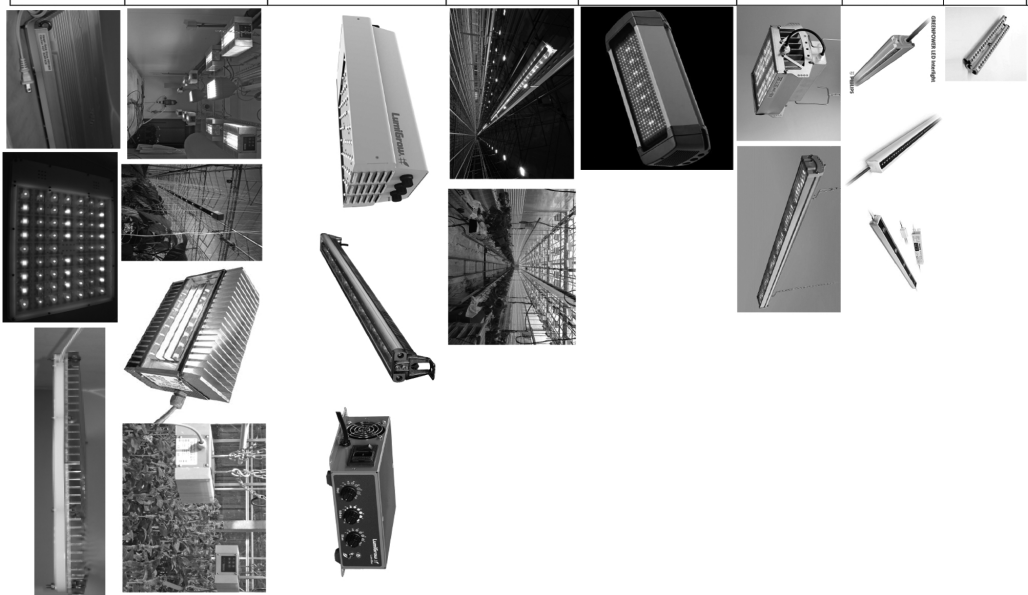
Boldizar, A. 2013. Intervju om material. (2013-05-15)

Brännare, G. 2013.Handledning av konstruktion. (2013-05-03)

Booth, S. 2013. Mgr, Nuventix Technical Marketing. Information om Kylning. (2013-03-08)

Bilaga 1 - Konkurrentanalys

Produktnamn	URL	Produkt	Technologie	Marknad	Effekt	Anal diode	Ljusstyrka [μmol s-1]	Färg	Vikt	Kylning	Pris	Kommentar
eliospectra eliosolutions	http://eliospectra.se http://eliosolutions.ru/	LA- Parus PFL-400-2	Intelligent P-av	Försking Vaxhus	600W 100 W	240	997	Bla - vit	7	13 Aktiv Passiv	50000 31500	Har både för vaxhus och hem, denna är den dyraste
hnpis		GreenPower LED interlighting Philips GreenPower LED production GreenPower LED research	P-av P-av P-av Dimbar	Vaxhus, interlighting Vaxhus, multilayer	115 W		220 Deep red, blue 50-400 μmol/s/m2					
alove	http://www.alove.com/	R-series	P-av	Vaxhus	370 W		510 Main viller bland olika spektra vid kop	14.5 kg		Passiv		
		B-series	P-av	Vaxhus	55-192 W		70 - 268 Main viller bland olika spektra vid kop	4 - 8 kg		Passiv		
elid	http://www.elidid.it	Horstline	P-av	Vaxhus (interlight, hydro)	205 W (nominal)	450 μmol/s (2.3 μmol/s per Watt)		9 kg		Passiv		
konis	http://www.konilighting.de/	FL 300	Med hydroponisk kan man styra ex intensitet och färg	Vaxhus	650 W		Justerbar man mest rot och blatt	10 kg		Flukt		Sågs både som aktiv och med hydroponisk
OptiGrowna		OptiGrowna	Elmerel (quality, intensity, timers)	Vaxhus (inter, multilayer, research)	1250 W	1250						
lumigrow	http://www.lumigrow.co.uk	Pro 325 Series	Dimbara larger (rot, blatt, vitt med rot, vitt blis)	Vaxhus	325 W		Bla, rot, vitt	4 kg		Flukt	1489	
		Pro 650 Series	Dimbara larger (rot, blatt, vitt med rot, vitt blis)	Vaxhus	650 W		Bla, rot, vitt	7.2 kg		Flukt	1899	
		Lumibar LED Strip med rot, vitt	Dimbara larger med rot, vitt	Vaxhus	200 W		Bla, rot, vitt	3.2 kg		Passiv	1899	
genns Lighting												
low Magic	http://www.lowmagic.nl	Client LED 160	Intelligent	Vaxhus						Aktiv?		
		Agro LED linna 32										
		Client LED 32	Manual dim	Vaxhus						Passiv		

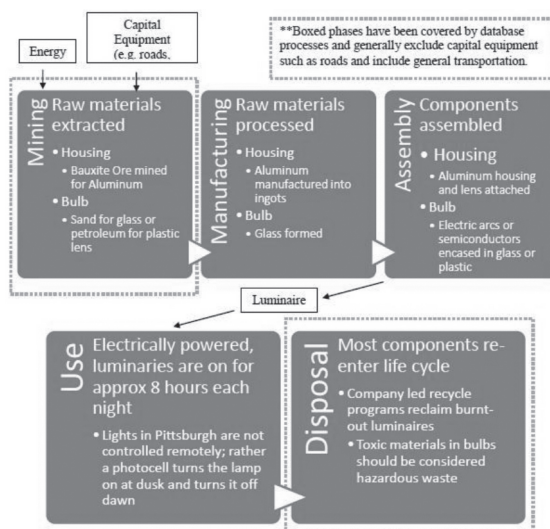
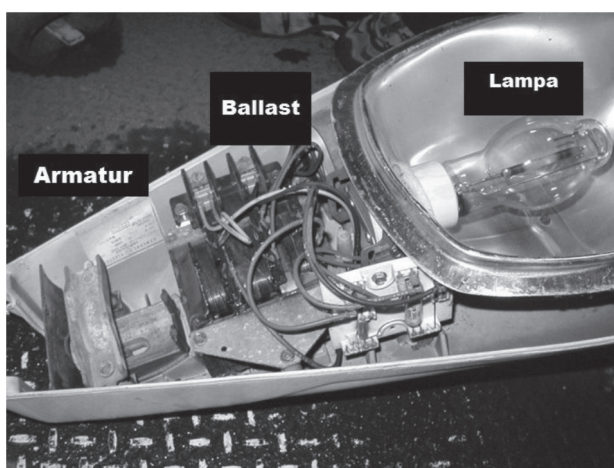


Bilaga 2 - Hållbarhetsanalys

Introduktion

HPS-lamporna som används som kompletterande belysning i växthus är till konstruktionen mycket lik den gatubelysning som är standard runt om i världen. (Shane, 2000). Som underlag till denna screening används rapporten *Life Cycle Assessment of Lighting Technologies* utförd av University of Philadelphia som jämför hållbarhetsaspekter hos olika typer av gatubelysning, där HPS- och LED-modeller ingår.

Gatubelysningssystem består generellt av ett fåtal delar vilka här förenklas till produktkomponenterna armatur, lampa samt ballast. Den senare anses "konstant" i de olika modellerna (s.18). Även LED-baserade odlingslampor innehåller nämnda delar med skillnaden att ljuskällan, istället för en högtrycksnatriumlampa, är ett stort antal lysdioder med tillhörande kretskort och kylningslösning (s.16). Miljöpåverkan från de olika perioderna av produkternas livscykel sammanfattas i nedanstående kategorier.



Mål och omfattning

Målet med denna screening är att jämföra hållbarhetsaspekter hos HPS-belysning med LED-belysning och identifiera kritiska områden i deras livscykler. Detta skapar i sin tur ett underlag för att formulera förbättringskriterier till produktutvecklingsarbetet, i form av krav och riktlinjer.

Analysen omfattar kortfattad information om framställning av råvarumaterial, tillverkning, användning och bortskaffning. Huvudsakligt fokus ligger på området användning.

Framställning: Råmaterial

För att uppnå en lättviktskonstruktion är det vanligt med en inneslutande armaturlösning i aluminium eller plast. Vid aluminiumframställning bryts bergarten bauxit, som sedan förädlas till aluminium i en mycket energikrävande process. Plastmaterial görs i regel från råolja men det går också att framställa från förnyelsebara råmaterial och benämns då som biobaserad plast.

Framställning: Tillverkning

De framtagna råmaterialen förädlas i nästa steg till material med önskade materialegenskaper. Det kan handla om att, genom tillsatser, få ett formbart plastmaterial eller en hög hållfasthet via legering av aluminium. Tillverkningsprocessen går vidare med produktion av lampornas olika komponenter vilka monteras till färdig produkt. LED kan ha upp till tre gånger så stor klimatpåverkan på grund av komplicerad tillverkning men uppgifterna är mycket inexakta (s).

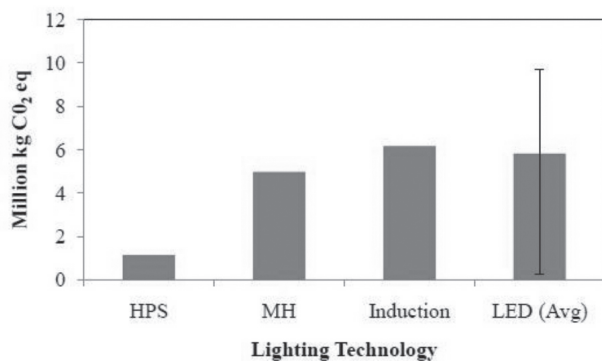


Figure 12. Global Warming Impacts of Bulb Manufacturing

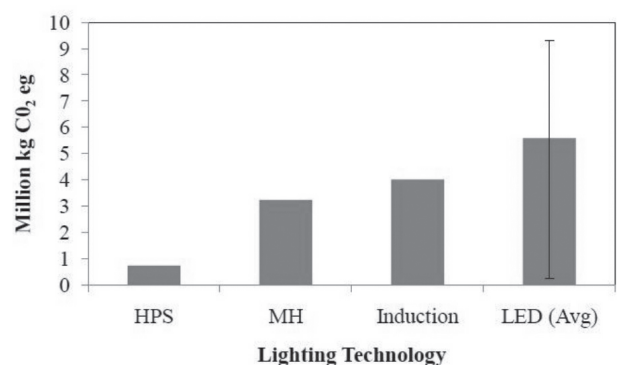


Figure 16. Ecotoxicity of Bulb Manufacture

I tillverkningen av halvledare, såsom LED-dioder, används ett antal kemikalier som är hälsovådliga. Trots att tillverkning ska ske under kliniska former har arbetarnas säkerhet ifrågasatts.

Det går att uppskatta klimatpåverkan från armaturerna som likvärdig då både HPS- och LED-armaturer görs från liknande material och har liknande utformning. Tillverkningen av elektronik och aluminium är de processer som har störst klimatavtryck (s.44), det ska dock noteras att aluminium då står för en majoritet av vikten (s.28). Tillverkningen av kretskort står i sin tur som den främsta faktorn för ekotoxicitet.

Table 8. Global Warming Impacts of Housings

HIGH	aluminum, printed circuit boards,
MEDIUM	glass, steel, galvanized steel,
	ceramics,
LOW	plastics and wire

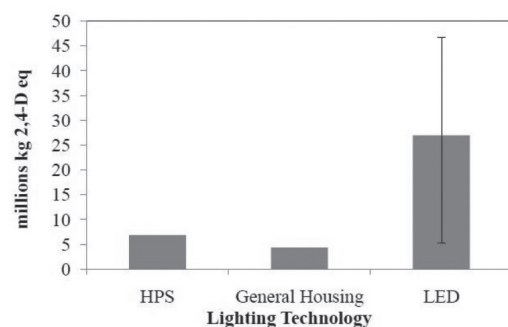


Figure 17. Ecotoxicity of Housings

Användning

Lamporna lagerhålls för att sedan transporteras till växthusmiljöer och dess huvudsakliga användningsfas. Här installeras lamporna och ansluts till elförsörjning.

I dagligt bruk orsakar elförbrukningen den betydande miljöpåverkan. Här är det stor skillnad i verkningsgrad mellan dagens dominerande HPS-lampa och den växande LED-tekniken. Uppskattningsvis kan en 100W HPS-lampa jämföras med en 60W LED-installation(s. 13).

I användningsfasen är interaktionen mellan människa och produkt begränsad till olika underhåll av lampan framför allt i form av reparationer. Det kan här noteras att livslängden för LED-dioder är 2,45 gånger längre än den för HPS-lamporna.

Table 3. I/O Bulb Modeling [23]

Technology	Cost per bulb (\$)	Bulbs per 100,000 hours	Scaled to city	Total Price (million \$)	1997 Total Price (million \$)
HPS	12.39	4.17	40,000	2.07	1.53
MH	27.29	8.28	40,000	9.04	6.69
Induction	280.00	1.0	40,000	11.2	8.29
LED	9.20	1.7	40,000	0.626	0.463
LED	250.00	1.7	40,000	17.0	12.6
LED	322.00	1.7	40,000	21.9	16.2

Resthantering

Uttjänta HPS-lampor kan betraktas som farligt avfall och måste därför tas omhand på rätt sätt. Här ligger ansvaret att genomföra och erbjuda fullgod återvinning både hos användare och myndigheter, men också hos tillverkaren måste betrakta hela produktens livscykel inklusive bortskaffning.

HPS-lampan innehåller kvicksilver och bly. Volymerna av kvicksilver i en lampa anses ej vara farligt stora men den sammanlagda kvantiteten från mängden lampor skapar trots det ett problem med farligt avfall. LED innehåller ej nämnvärda mängder av liknande känsliga material men ska trots det källsorteras (s. 27).

Slutsats

Den största miljöpåverkan sker i användningsfasen genom energiförbrukning varvid en låg effekt är eftersträvänsvärt. Detta är en stark fördel med LED-teknologin. Miljöpåverkan beror dock på vilken källa för elektricitet som används och kan därför minska drastiskt om förnyelsebar el nyttjas i HPS-lamporna.

Tillverkningsfasen bär den näst största miljöpåverkan, dock motsvarar det endast en tiondel av användningsfasen. En stor problematik finns runt tillverkningen av LED som kräver hälsovådliga kemikalier och som dessutom kan vara mycket energikrävande. Dessutom kräver LED-teknik kretskort vilka har hög ekotoxicitet och vars framställning, tillsammans med aluminium i armaturerna, har störst klimatpåverkan.

Vad det gäller bortskaffning är LED-lamporna en mindre problematisk komponent jämfört med HPS-lampor och deras mer än dubbla livslängd jämfört med HPS-lampornas bidrar till att ytterligare förenkla detta, förutsatt att livslängden för produkten som helhet kan upprätthållas. Kretskorten orsakar dock även inom denna fas problem pga ekotoxicitet och återvinningsproblematik.

Bilaga 3 - Produktspecifikation L4A

L4A Series 10 Technical Specifications

Photon flux measured 63 cm from the lamp with OceanOptics JAZ spectrometer in a Conviron Adaptis 1000 growth cabinet at 25°C. Values represent each LED group operating separately at 100% capacity. Total and Total PAR values represent the maximal output when the lamp is running at its full capacity of 600W. The user has full freedom to regulate the current provided to each LED group therefore the spectrum of produced light may be tailored to suit an individual demand. Maximum irradiance, peak maxima and FWHM may somewhat vary (<2.5%) between individual lamps and depending on the operating temperature.

ELECTRICAL

- Typical power consumption 600W
- Operating voltage 120V/230V, 50/60Hz
- Wieland RST20I3S female connector

PHYSICAL

- Weight 13 kg
- Dimensions 157 x 385 x 594 mm (height x width x depth)
- Temperature: Operating -10 – 40°C Storage -20 – 70°C
- Operation humidity 90% (max) relative humidity, non-condensing
- Storage humidity 95% (max) relative humidity, non-condensing

Bilaga 4 - Intervjuformulär

Allmänt:

- Storlek växthus?
- Vilka arter?
- Antal banor?
- Skördstorlek?
- Kriterier för skörd/försäljning?
- Ekologisk?

Belysning:

1. Typ av lampa? Effekt?
2. Hur mäter ni ljus på plantorna? Watt/m²?
 - a. Finns olika ljussättning på olika delar av odlingen?
 - b. Hur ökar ni ljusstyrka vid behov?
3. Några allmänna åsikter, positiva/negativa om HPS-armaturer?
4. Vid lampbyte, reparationer, rengöring, hur kommer man åt armaturerna? Tas dom ner?
5. Ljusspridning/ljusbild? Exempelvis kantrader?

Kostnader:

6. Hur förhåller sig energikostnaderna till övriga kostnader?
 - a. Hur stor andel kan belysningen stå för?
 - b. Framtidsutsikter för energipriser?

Värme och klimat:

7. Hur ser du på strålningsvärmen som alstras av HPS-lampan?
 - a. Hur sker samspelet med övriga värmekällor/isoleringsmetoder
 - b. Finns problematik/fördelar med strålningsvärmen från HPS:
 - i. vad gäller belysningen av plantorna?
 - ii. vad gäller allmänna temperaturen?
8. Om möjlighet att skapa ett optimalt temperaturklimat i växthuset, hur skulle det se ut. ("Set up"/"installationen" med värmekällor, lampor...)
 - a. Om man hade en lampa som alstrar noll värme, hur skulle det se ut då? Problem?
9. Hur hanteras fukt? Tror du lampvärme påverkar detta?

Ljus plantor:

10. Ser du några brister/fördelar med HPS-ljuset?
11. Justeras ljus (på/av) efter plantornas status? Hur ofta?
12. Önskvärt att kunna variera intensitet på ljus (dimma)? Spara energi vid halvstarkt solljus? Stor besparing?
13. Skulle det vara önskvärt med olika typ (våglängder) av ljus?
 - a. för olika typer plantor?
 - b. vid olika stadier av plantans tillväxt?
 - c. för att kompensera för missväxt av vissa plantor?
14. Vad skulle du vilja se för förbättringar i och med ett nytt belysningssystem?

LED:

15. Ljusterbart ljus – förbättrad smak, bättre kvalité, snabbare tillväxt - även energisnålare.
 - a. Hur ser du på dom möjligheterna?
 - b. Mervärde på vilket sätt/vilka aspekter mest intressanta? Skulle man kunna öka marginalerna?
16. Nytt belysningssystem med LED (tidigare nämnda) möjligheter. Vad skulle krävas för att det skulle vara intressant och aktuellt att införa det i verksamheten?
17. Hur ser du allmänt på växthusutvecklingen i framtiden? Tekniskt? Marknad?

Utvärdering av växter:

18. När plantans hälsa kontrolleras.
 - a. Hur skulle annan färg på ljuset påverka?
 - b. Skulle man vänja sig vid ny färg?

Övergripande:

19. Vad för krav skulle du ställa på en armatur och lampa för användning i ett växthus?
20. Hur ser du på möjligheten att framtida lampor kan komma att ha fläktar för kylning?

Bilaga 5 - Enkätformulär

1. Hur stort är växthuset?
_____ m²
2. Hur många arter odlas?

3. Om odling i banor, hur många finns i växthuset?
_____ Odlar ej i banor
4. Ungefär hur många krukor skördas/säljs per dag?
Högsäsong: _____ st Lågsäsong: _____ st
5. Vilka kriterier på plantorna styr skörd/försäljning? (ex vikt, längd, utseende, blomning)

6. Odlar ni ekologiskt?
Ja Nej Delvis _____
7. Hur många lamparmaturer finns per bana/bord?

8. Hur många m² motsvarar en bana/bord?

9. Hur gamla är armaturerna?

10. Ungefär hur ofta slocknar lampor?
Ca _____ lampor/månad
11. Ungefär hur ofta genomför reparationer på armaturer?
Ca _____ ggr/år
12. Hur ofta rengörs armaturer?
Ca _____ ggr/år
13. Trillar armaturer ner?
Nej Ibland Det har hänt någon gång Aldrig
14. Har du plast- eller plåtarmaturer?
Plast Plåt Båda
Har du några allmänna åsikter gällande fördelar/nackdelar med plast-/plåtarmaturer? _____
15. Vilka system finns/används för att justera lufttemperaturen i växthuset?

16. Under vilken/vilka period(er) är lamporna konstant släckta över hela dygnet?

17. Skulle det vara önskvärt med olika typ (del) av ljus...
 - a. ...för olika typer plantor?

 - b. ...vid olika stadier av plantans tillväxt?

 - c. ...för att kompensera för missväxt av vissa plantor?

18. Vilka färger skulle vara önskvärda i ljusterbart ljus? Hur många?

19. Påverkas odlingen av skuggbildning från armaturer och annat gods i taket?

20. Hur ofta sker inspektioner ute bland plantorna?
Ca _____ ggr/dag
21. Vilken är den viktigaste egenskaper hos plantan kopplat till kundens krav?
Utseende Form Smak Hållbarhet
Kommentar _____
22. Ungefär hur står procent av odling blir svinn?
Ca _____ procent
23. Orsaker till kassering?

Bilaga 6 - Sammanställning av enkätsvar

1. Vad heter ditt företag?

Swedeponic
Ortonovo
Palmgrens Krukväxtproduktion
Hörnhems Handelsträdgård
Svegro AB
Lövgrens Handelsträdgård AB
Vä Handelsträdgård
Van den Bergs Roses.

Totalt: 9 respondenter

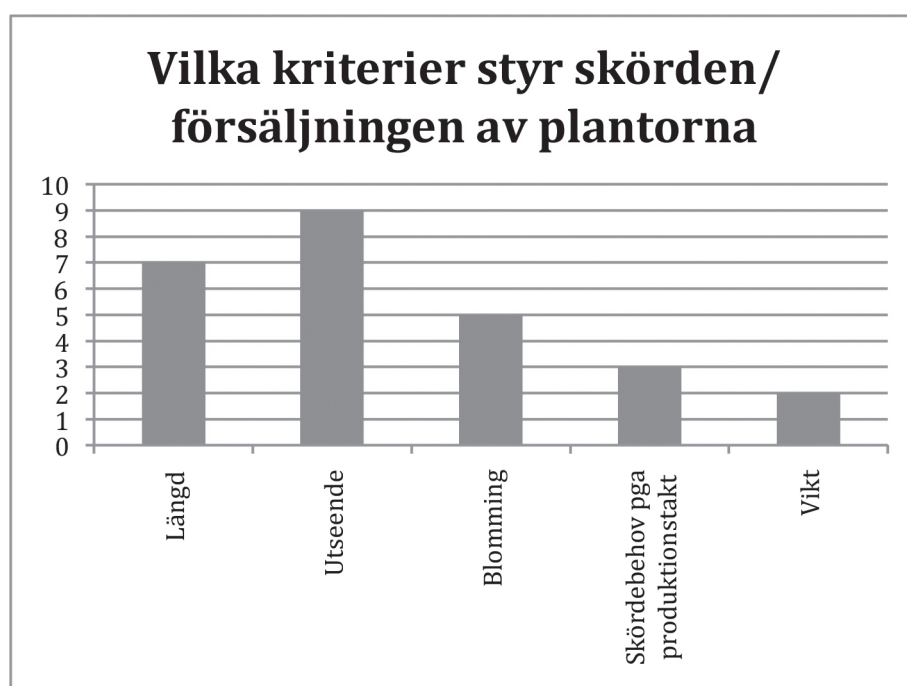
2. Hur stort är växthuset?

Spannet på svaren är 110 000-8 500 kvm
Genomsnittstorleken på växthusen var 36711 kvm

3. Hur många arter odlas i anläggningen:

Spannet på svaren är från 50-1, där Ortonovo odlar flest sorter och V.d Bergs Roses endast odlar en sort.

4. Vilka kriterier styr skörd/försäljning av plantorna?



5. Odlar ni ekologiskt?

2 svarar Ja.
5 svarar Nej.
En svarade delvis.

6. Hur många lamparmaturer finns per bana/bord?

Företag	Svar
Swedeponic 1	Ca 100 W/m ²
Svegro	Ca 100 W/m ²
Ortonovo	Ca 110 st
Swedeponic 2	Ca 400 st
Vä Handelsträdgård	Ca 44 W/m ²
Van der Berg Roses	Ca 12 000 st
Palmgren	Bortfall
Lövgrens	Bortfall
Hörnhems	Bortfall

7. Hur gamla är armaturerna?

Ålder på Armatur	Antal
3-5 år	2
6-10 år	4
11-20 år	2
Äldre än 20 år	1

8. Hur ofta slocknar lampor?

Hur ofta slocknar lampor?	Antal
Färre än 1- gånger/månad	5
3-10 gånger/måndag	1
11-20 gånger/måndag	1
Bortfall	2

Kommentarer:

Ofta är det tänddonet som slocknar. *Palmgren*

Vi har sällan lampor som lyser mer än 8000 timmar. *Vä Handelsträdgård*

Varje vecka kontrolleras lampor, men det betyder inte att vi lagar dom. *V.d Bergs RoseS*

9. Ungefär hur ofta genomförs reparationer på armaturer?

Ungefär hur ofta genomförs reparationer på armaturer?	Antal
0-1 gånger/år	3
2-5 gånger/år	2
11-15 gånger/år	2
Bortfall	2

Kommentarer:

Bra analoga håller utan besvär i 10 år. *Sweponic*

10. Hur ofta rengörs armaturer?

Hur ofta rengörs armaturer?	Antal
0-1 gånger/år	6
2-5 gånger/år	1
Aldrig	2

Kommentarer:

Vi tvättar reflektor och lampor en gång per år. *Swedeponic*

Rengöring görs främst vid lampbyte. *Swedeponic*

11. Trillar armaturer ner?

Trillar armaturer ner?	Antal
Nej, det har aldrig hänt	5
Det har hänt någon enstaka gång	3
Ja, det händer då och då	1

Kommentarer:

För hade vi plastarmaturer och dessa gav upp i själva kroppen pga. bristande UV-kvalité. Mycket farligt pga. brandrisk. *Swedeponic*

12. Har du plast- eller plåtarmaturer?

Har du plast- eller plåtarmaturer?	Antal
Plåt	6
Plast	0
Båda	3

Kommentarer:

Plast ska förbjudas, punkt och slut. *Swedeponic*

Har dåliga erfarenheter av plastarmaturer, plasten blir spröd med tiden.
Palmgren
 Brandrisk med plast. *Ortonovo*
 Plasten blir skör med tiden, så det ökar risken att de trillar ner. Plåt håller bättre, men kan rosta. *Swedponic*
 Plastic is a fire hazard and not insured. *V.d Bergs RoseS*

13. Vilka system finns/används för att justera lufttemperaturen i växthuset?

Det finns en uppsjö av olika typer av system, lika många som antalet deltagare i enkäten. För mer information se kap. 3.3 *Värme och cirkulation*.

14. Ungefär hur stor procent av odling måste kasseras?

Ungefär hur stor procent av odling måste kasseras?	Antal
0-2 %	4
3-8 %	4

15. Vilka är anledningarna till att plantor måste kasseras?

Dåligt substrat, dåligt frö, mekaniska skador, torkat ut, etc.
De ej håller de kvalitetsnormer som är satta.
Överproduktion
Oftast svampangrepp eller liknande som ger för dålig kvalitet. Ibland kan det bero på för dålig efterfrågan och överskott på marknaden.
Överskottsproduktion
Storlek, skador, insektsangrepp eller dålig försäljning
Alla plantor har inte bästa kvalité. Sjukom Dåligt utvecklade plantor.

16. Påverkas odlingen av skuggbildning från armaturer och annat gods i taket?

Påverkas odlingen av skuggbildning från armaturer och annat gods i taket?	Antal
Ja	7
Nej	2

Kommentarer:

I viss mån, det är dock inte så känsligt för oss. *Swedponic*

Speciellt den tiden på året då solen står lågt, då blir det långa skuggor.

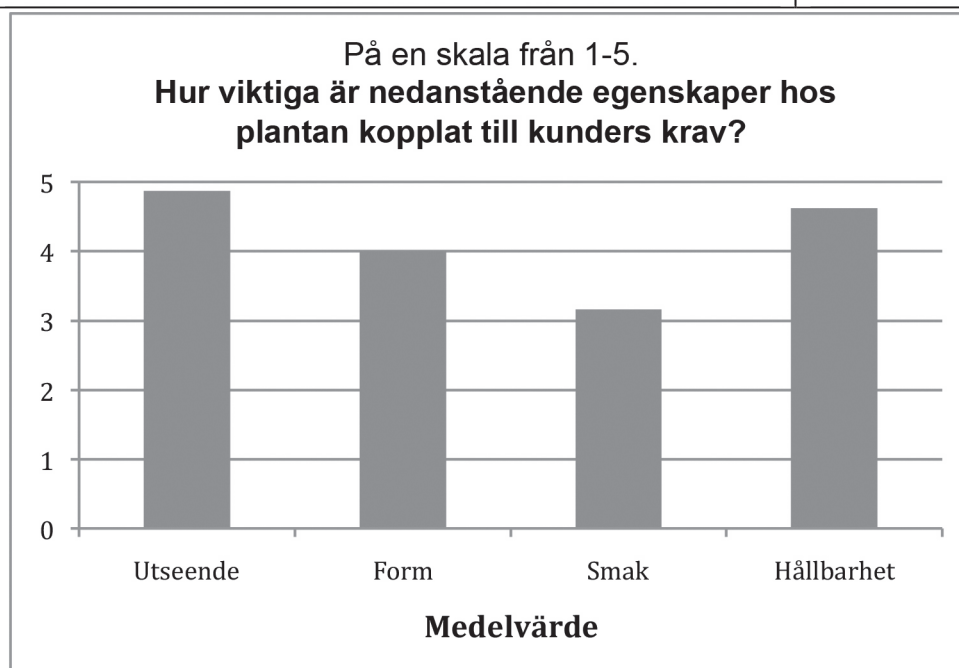
Palmgren

Om det är stora skuggfält så försämras tillväxten och det kan bli svårt att få en jämn bevattnings, eftersom det torkar olika fort beroende på hur stark solinstrålning det blir på olika ställen. *Swedeponic*

Less light is less production. *V.d Bergs RoseS*

17. Hur viktiga är nedanstående egenskaper hos plantan kopplat till kundens krav?

Hur viktiga är nedanstående egenskaper hos plantan kopplat till kundens krav?	Medelvärde	Median
Utseende	4,9	5
Form	4	4
Smak	3,2	3,5
Hållbarhet	4,6	5



Kommentarer:

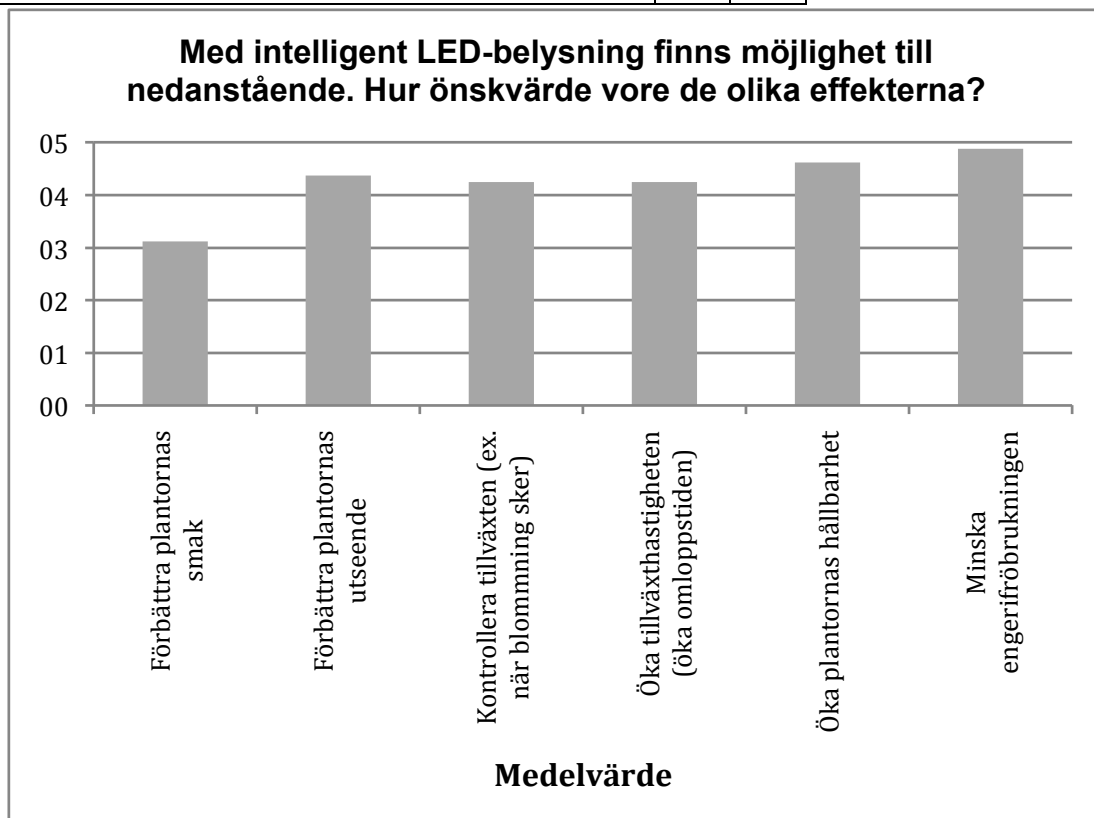
Prydnadsväxter ska vara estetiskt tilltalande. *Palmgrens krukväxtproduktion*

Det är alltid viktigt med hög och jämn kvalitet på produkterna. Kunderna har höga krav. *Swedeponic*

18. Med intelligent LED-belysning finns möjlighet till nedanstående. Hur önskvärda vore de olika effekterna?

Med intelligent LED-belysning finns möjlighet till nedanstående. Hur önskvärda vore de olika effekterna?	Medelvärde	Median
Förbättra plantornas smak	3,1	3,5

Förbättra plantornas utseende	4,4	5
Kontrollera tillväxten (ex. när blomning sker)	4,3	4,5
Öka tillväxthastigheten (öka omloppstiden)	4,3	4,5
Öka plantornas hållbarhet	4,6	5
Minska energiförbrukningen	4,9	5



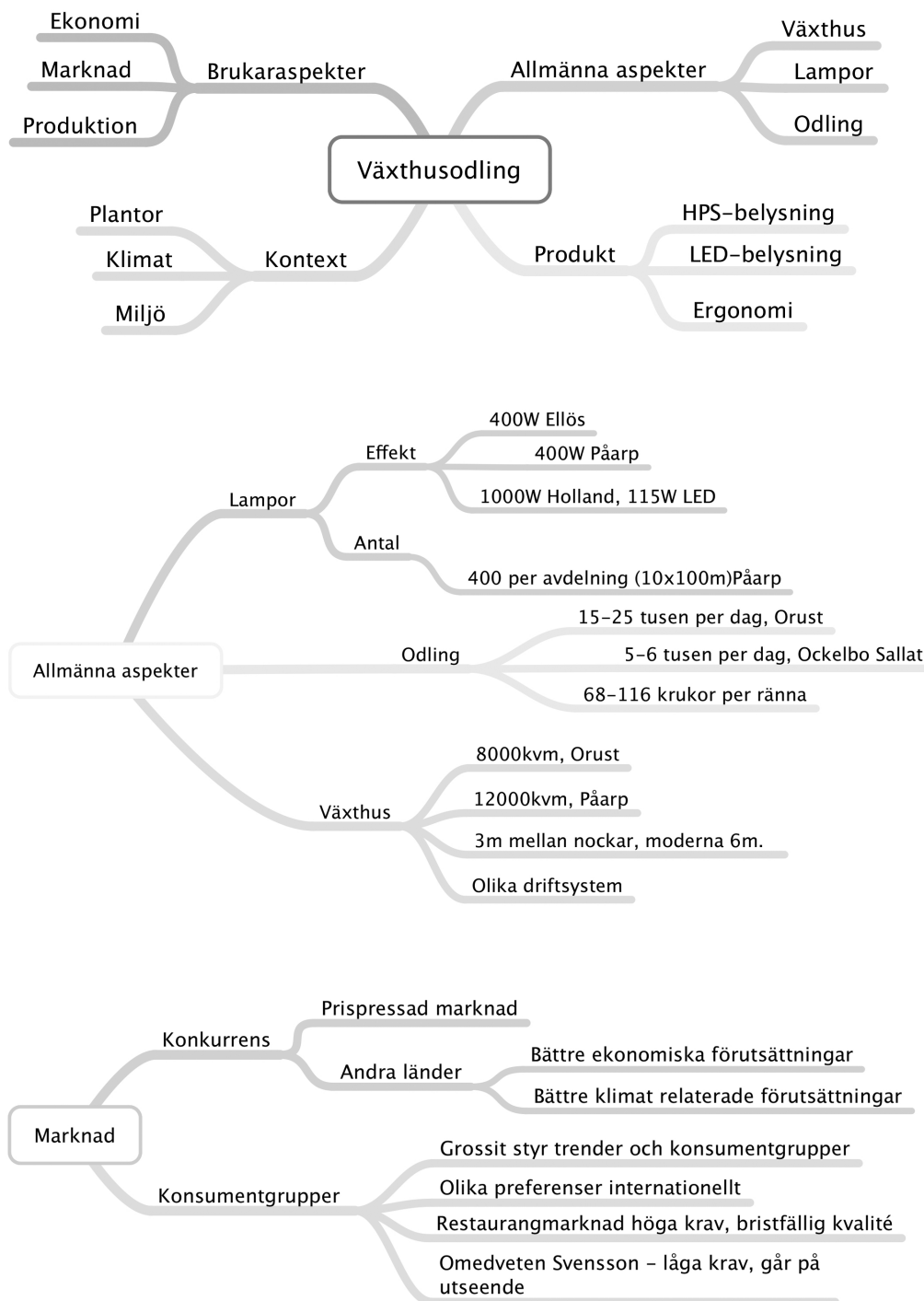
Kommentarer:

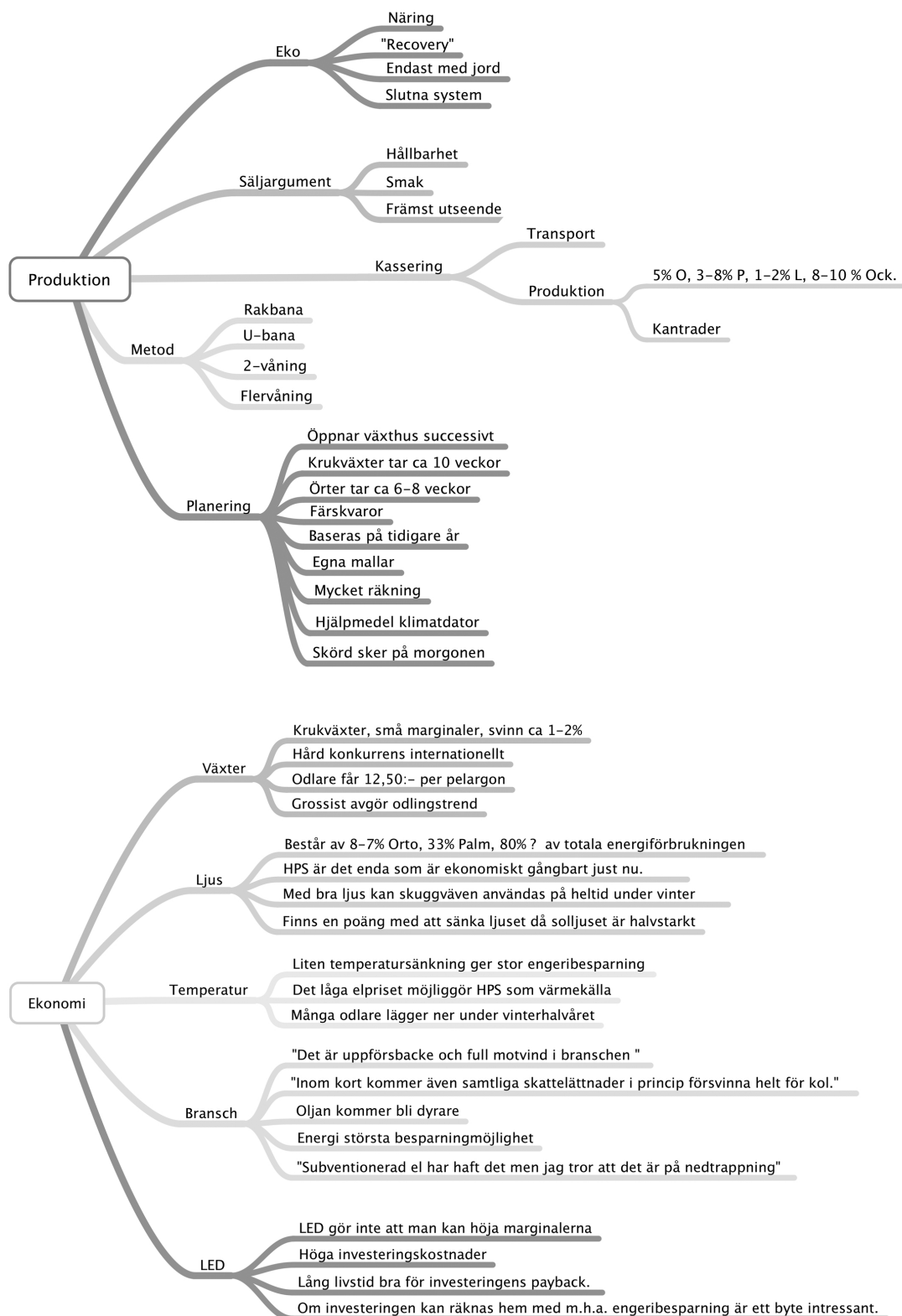
Tillväxthastighet och energiförbrukning är ju av samma slag. *Swedeponic*.

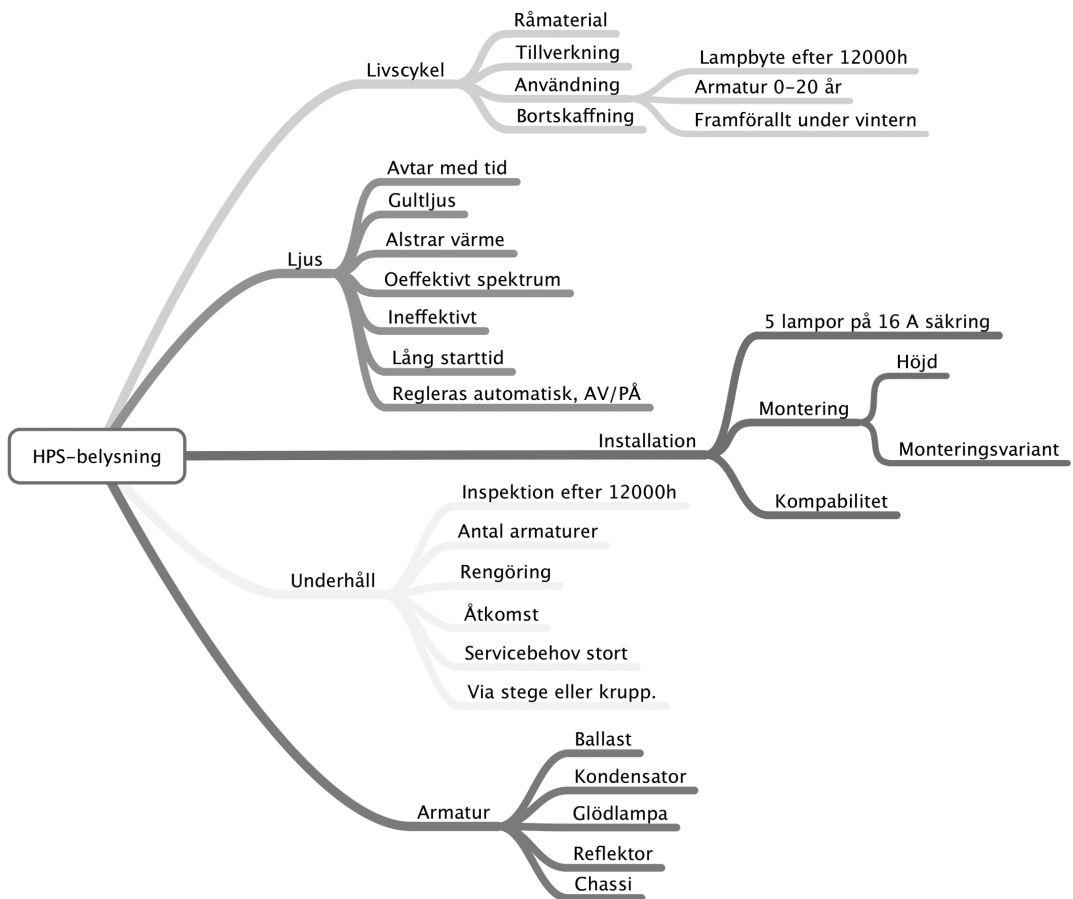
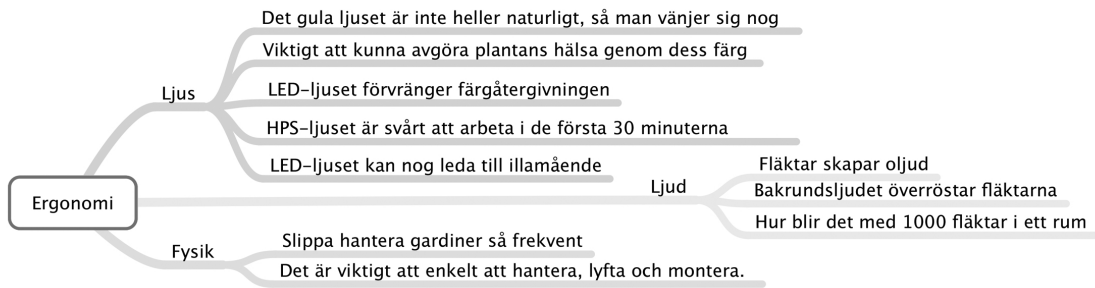
Bilaga 7 - Urval av deltagare för brukarstudie

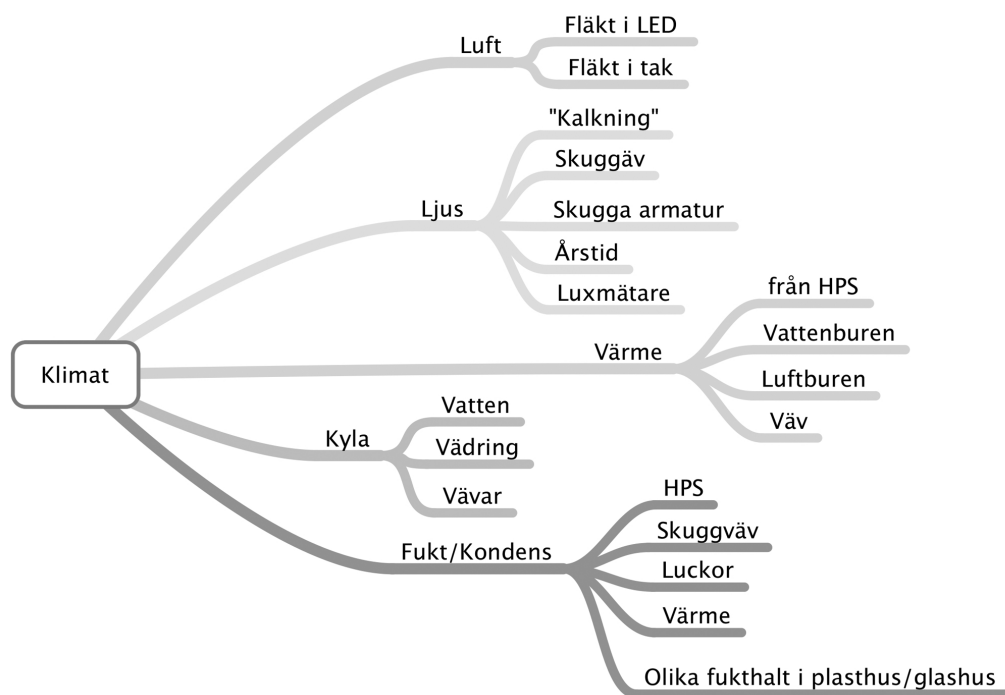
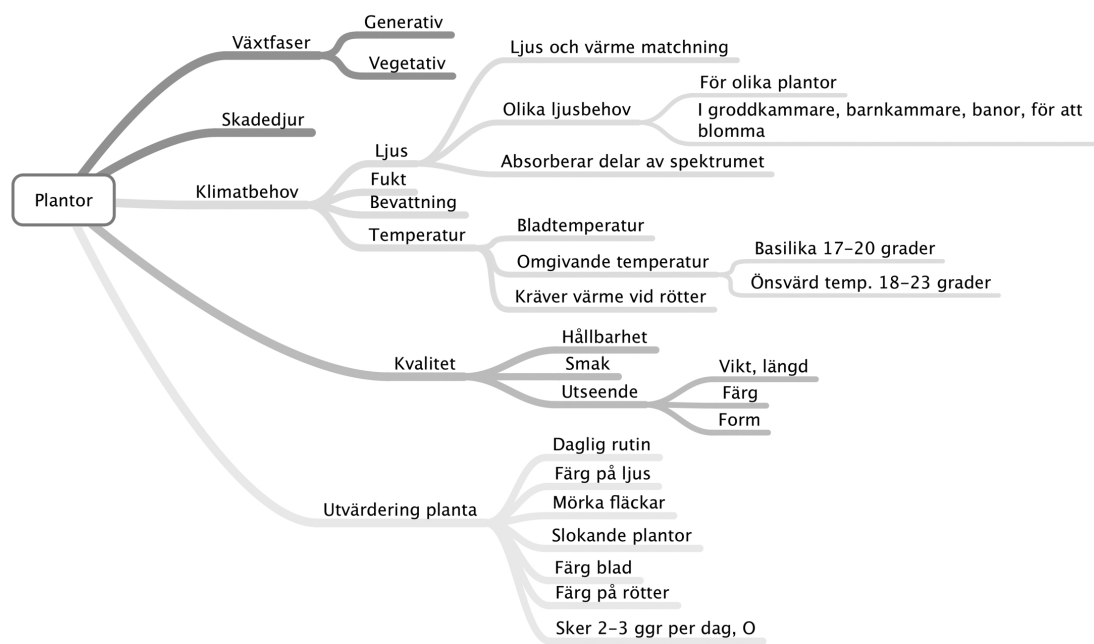
Namn	Företag	Position	Besök	Telefonintervju	Enkät
Cecilia Lund	Swedeponic Ellös	Verksamhetschef	X		X
Leif G Hultman	Vidal AB	Verksamhetschef	X		
Henrik Palmgren	Palmgrens Krukväxtproduktion	Ägare	X		X
Bengt Olofsson	Swedeponic Påarp	Platschef	X		
Per, Janne	Gurkodlare	-	X		
Ulf Jonsson	Swedeponic Påarp	-			X
Jimmy Bergqvist	Ockelbo Sallat	-		X	
Mikael Jidenholm	Ugglarps grönt	-		X	
Klas Johansson	Hörnhems	Odlingsansvarig		X	X
Pelle	Svegro AB	-			X
-	Vä Handelsträdgård	-			X
Per-Ove Kårors	Ortonovo	VD		X	X
Sjoerd Niebour	GreenQ Improvement Centre	Education Coordinator	X		
-	Jami	Verksamhetschef	X		
Maurice de Ruijt	Van der Berg Roses	General Manager	X		X
Jonas, Bertil, Mattias Löfgren	Lövgrens handelsträdgård	Ägare			X

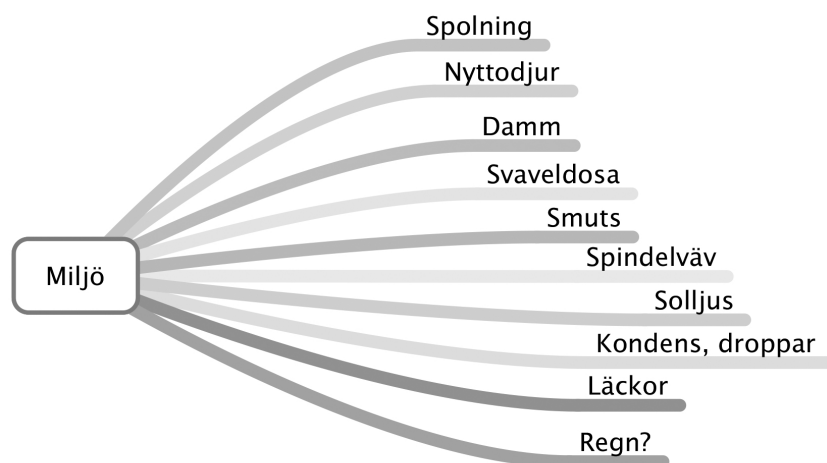
Bilaga 8.1 - Träddiagram, kontextöverblick



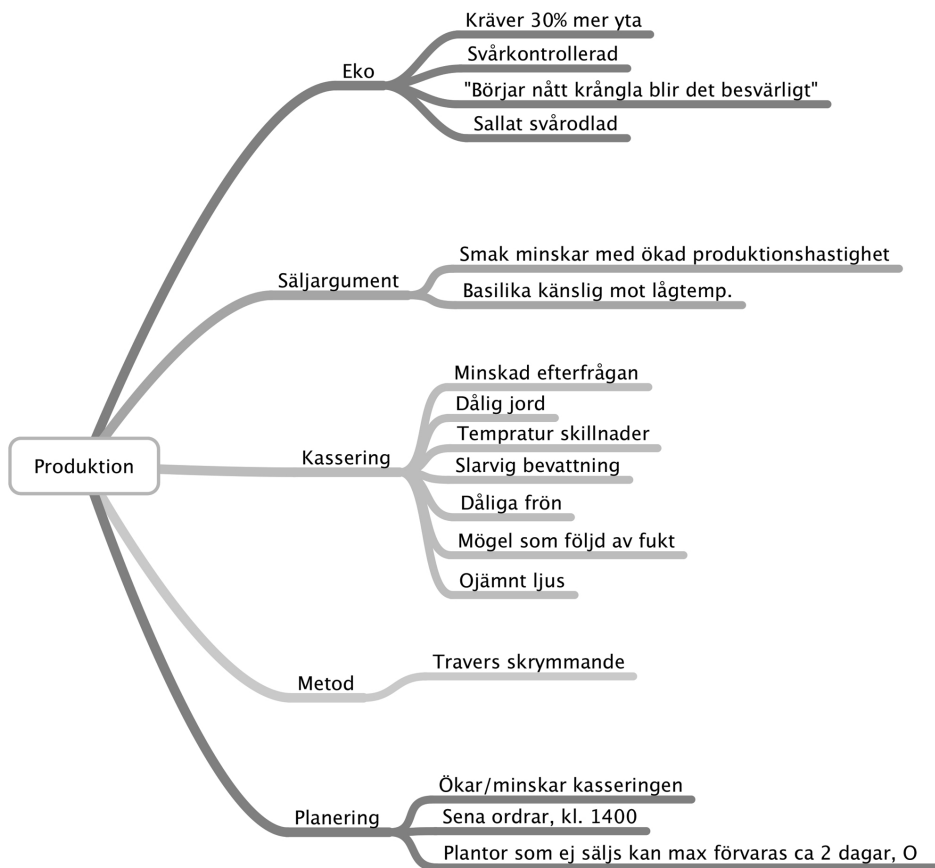
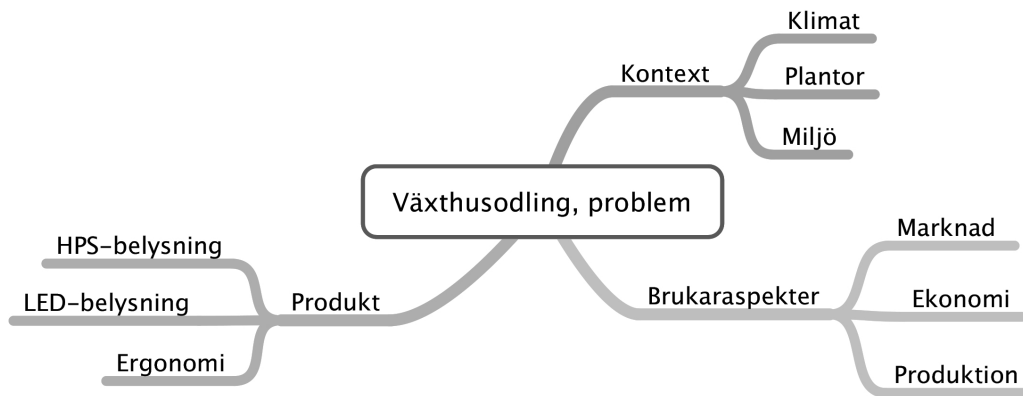


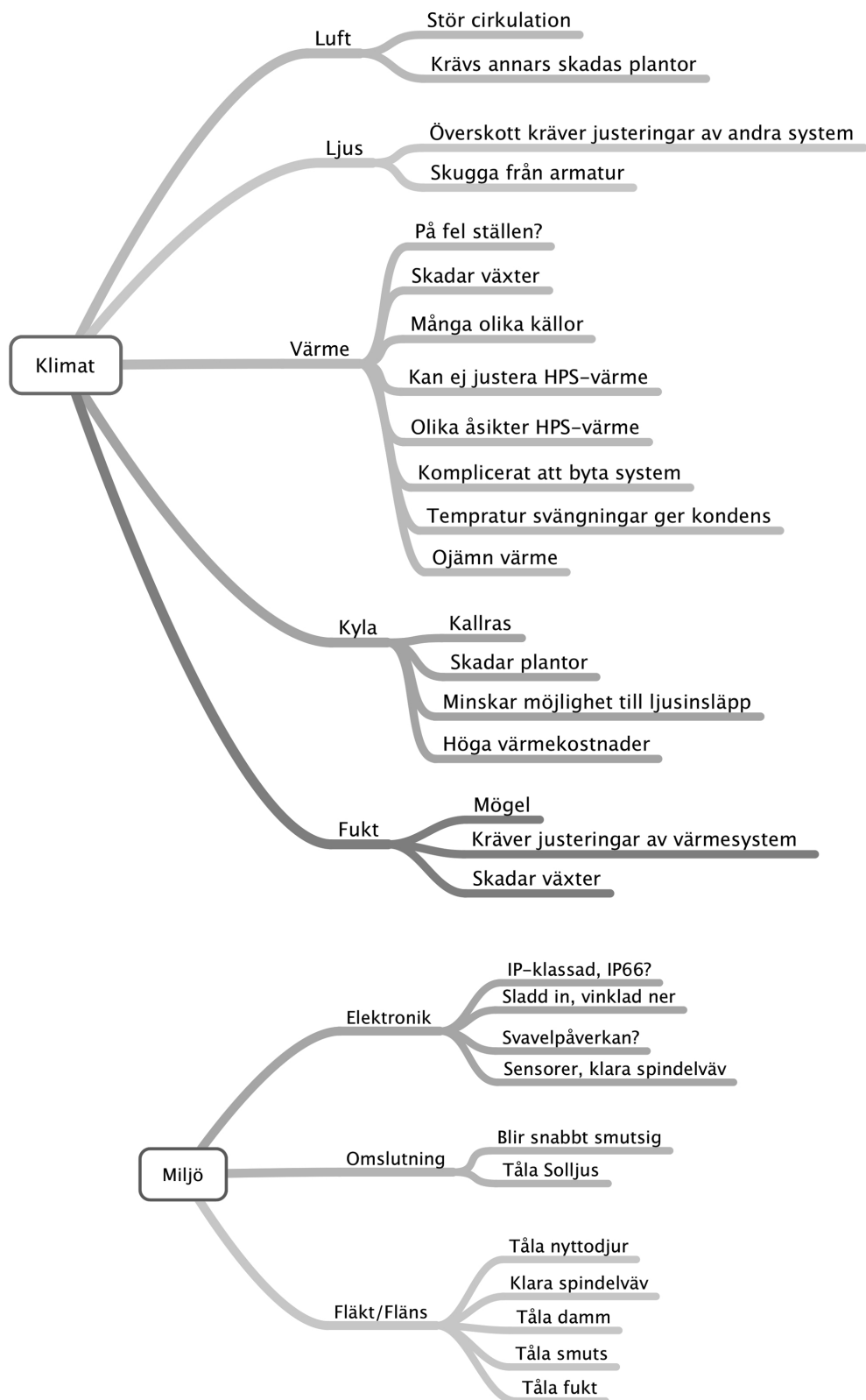


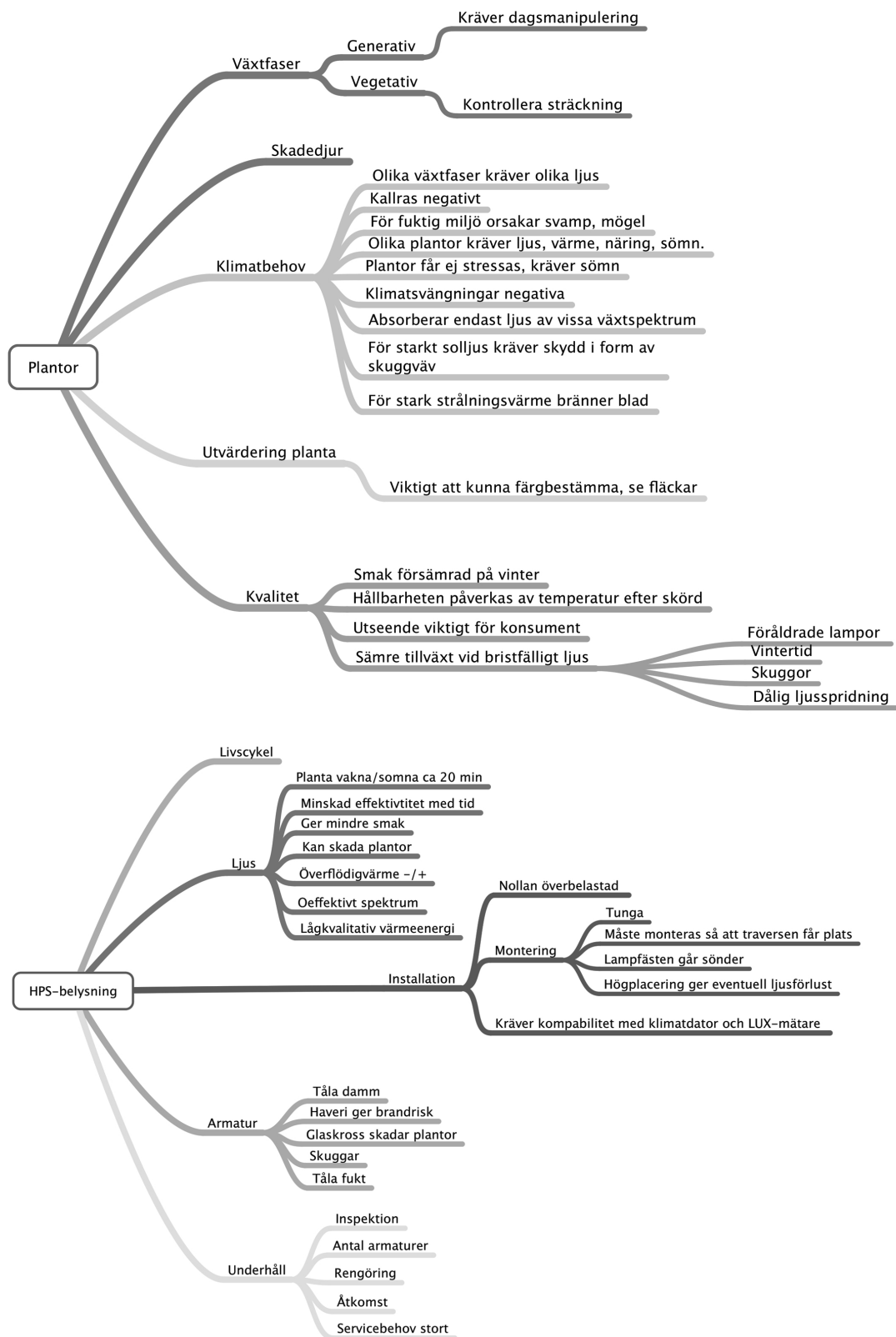


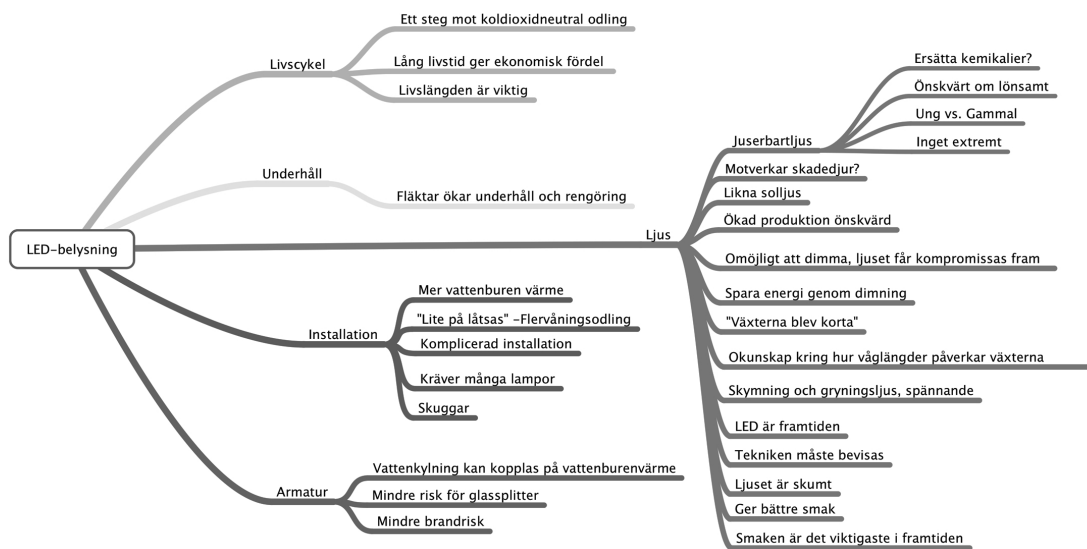


Bilaga 8.2 - Trädiagram, problembild

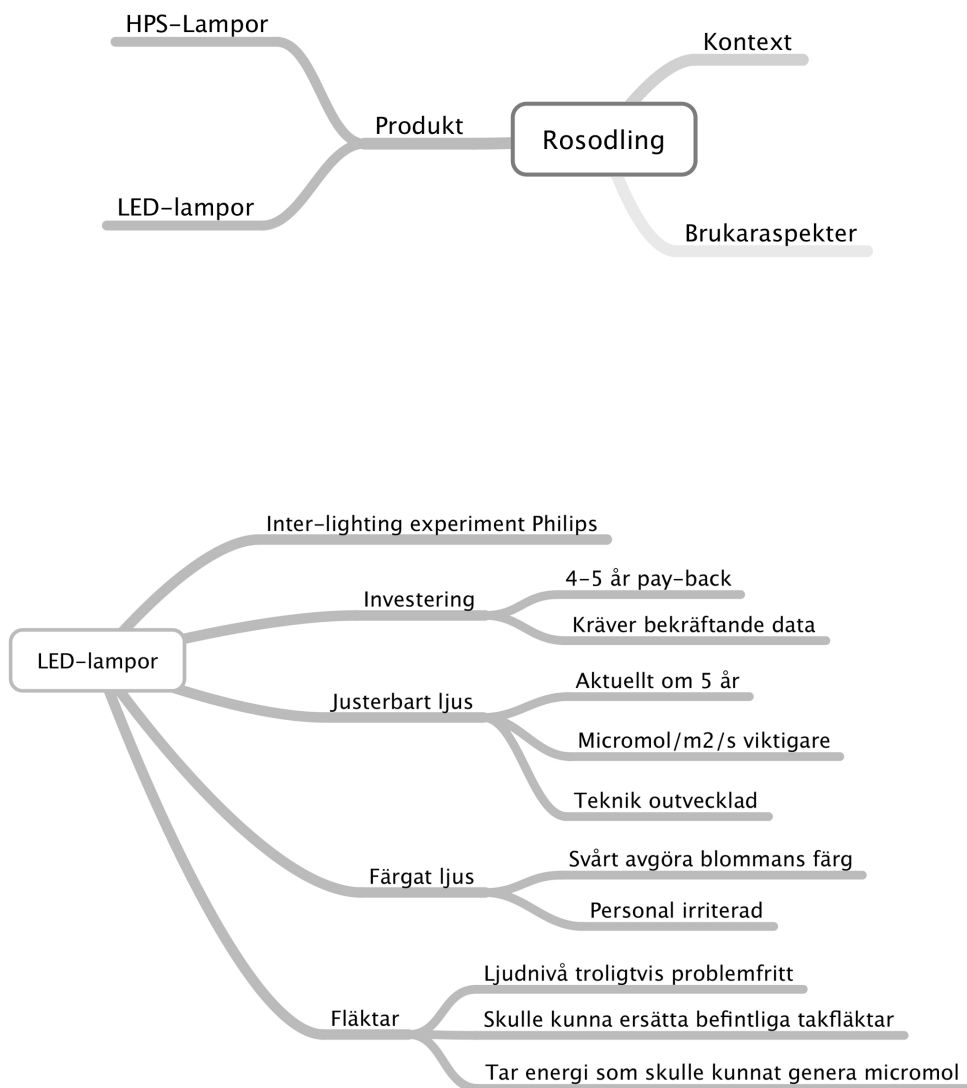


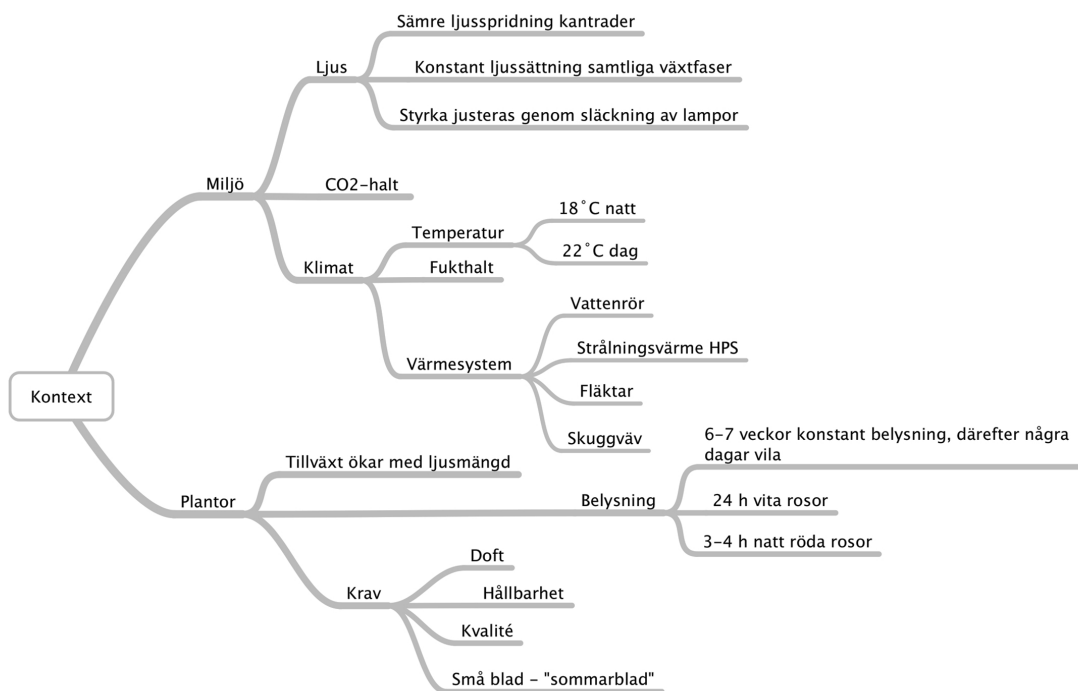
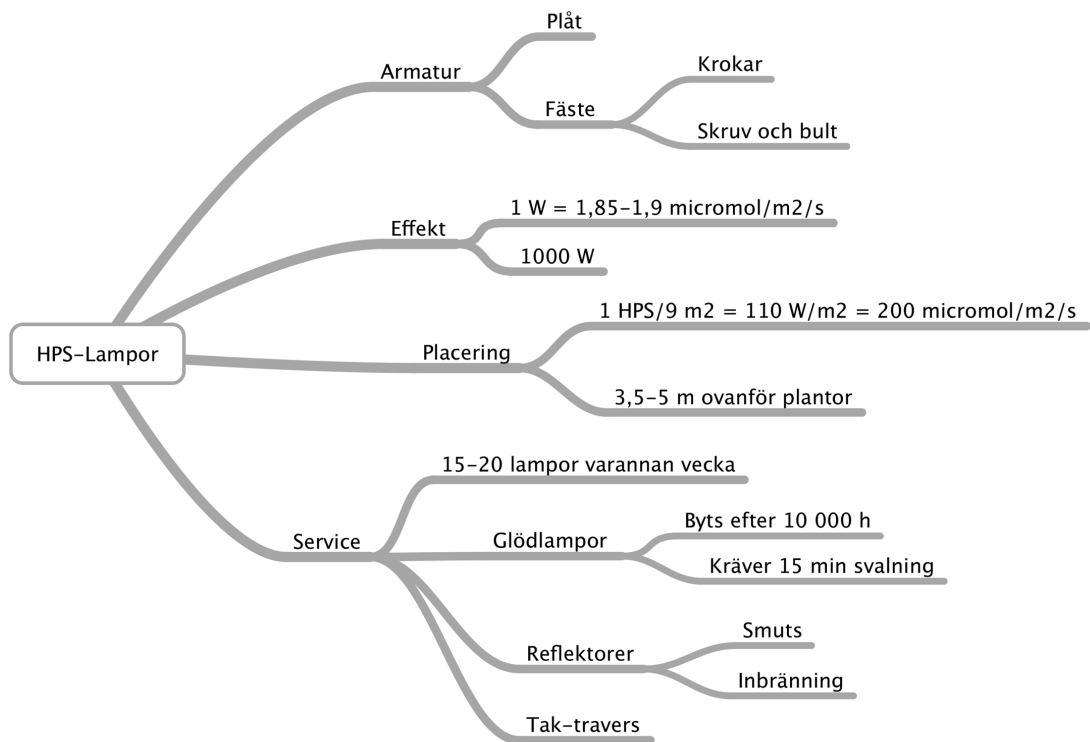


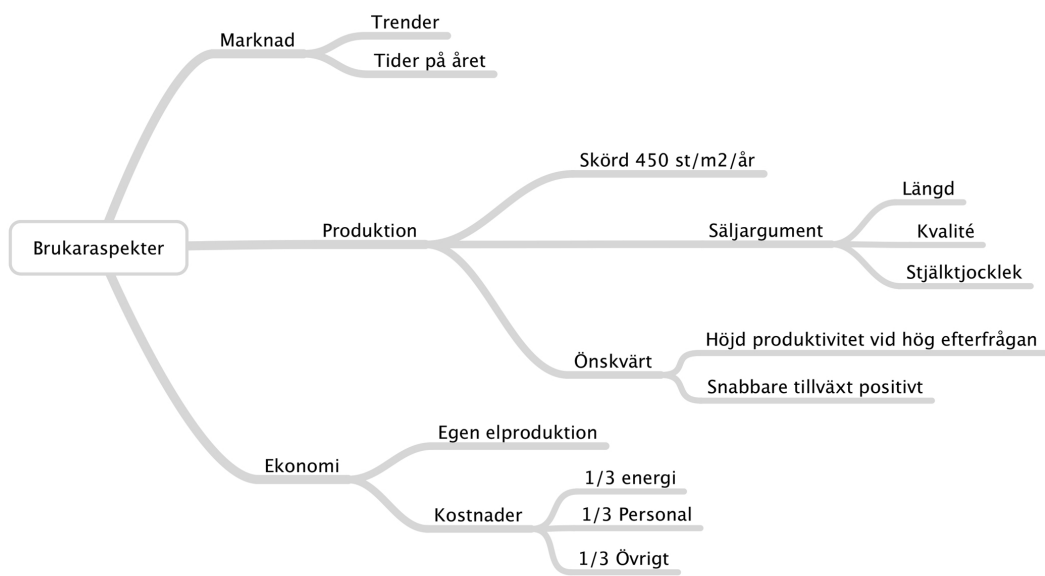


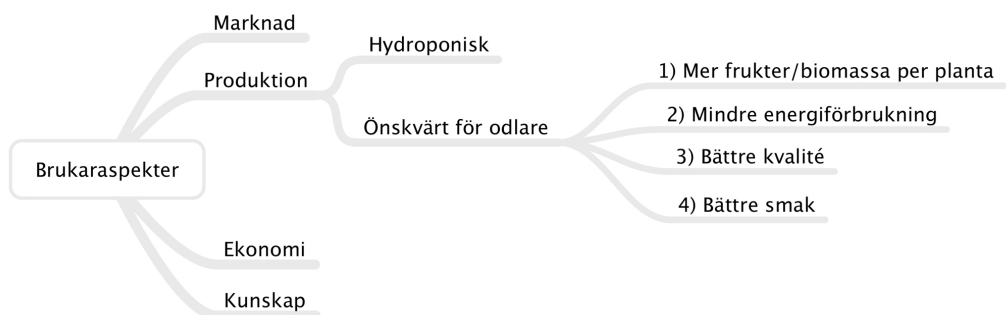
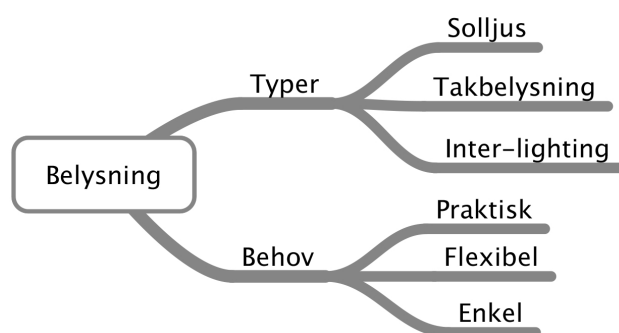
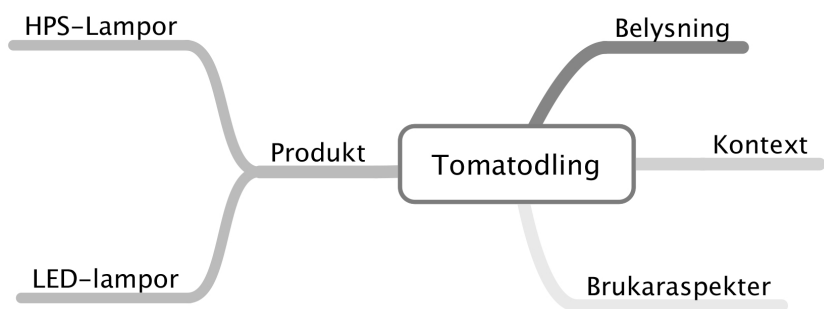


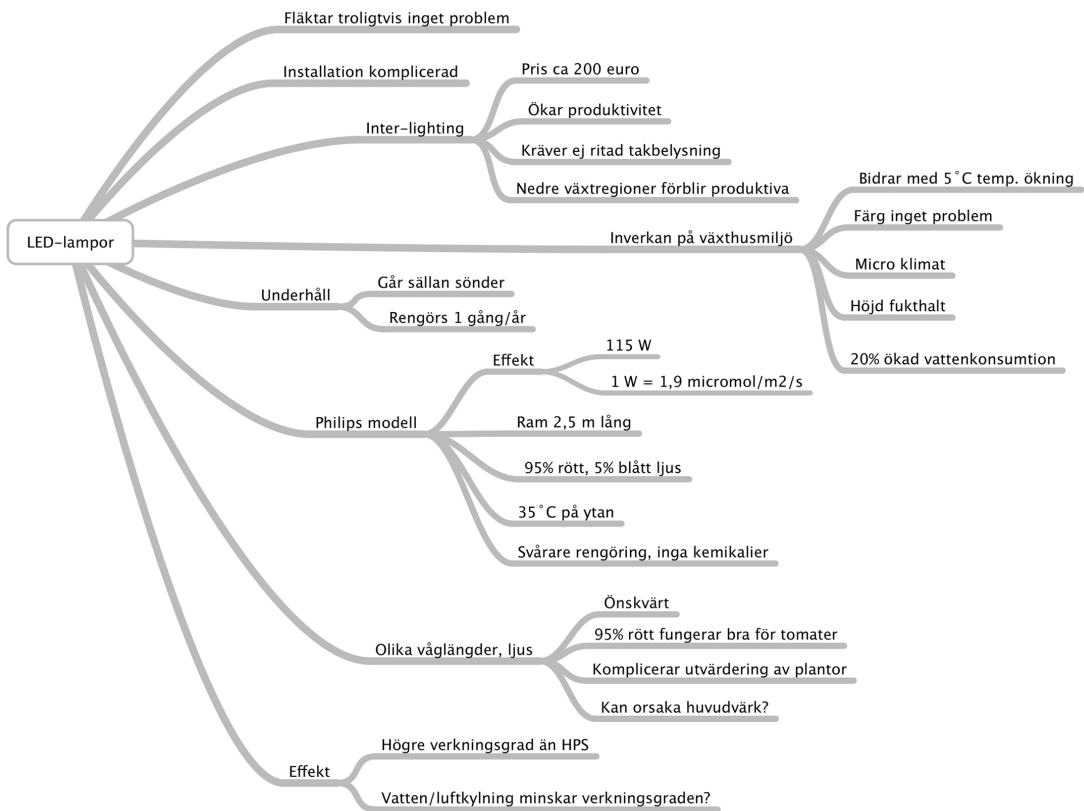
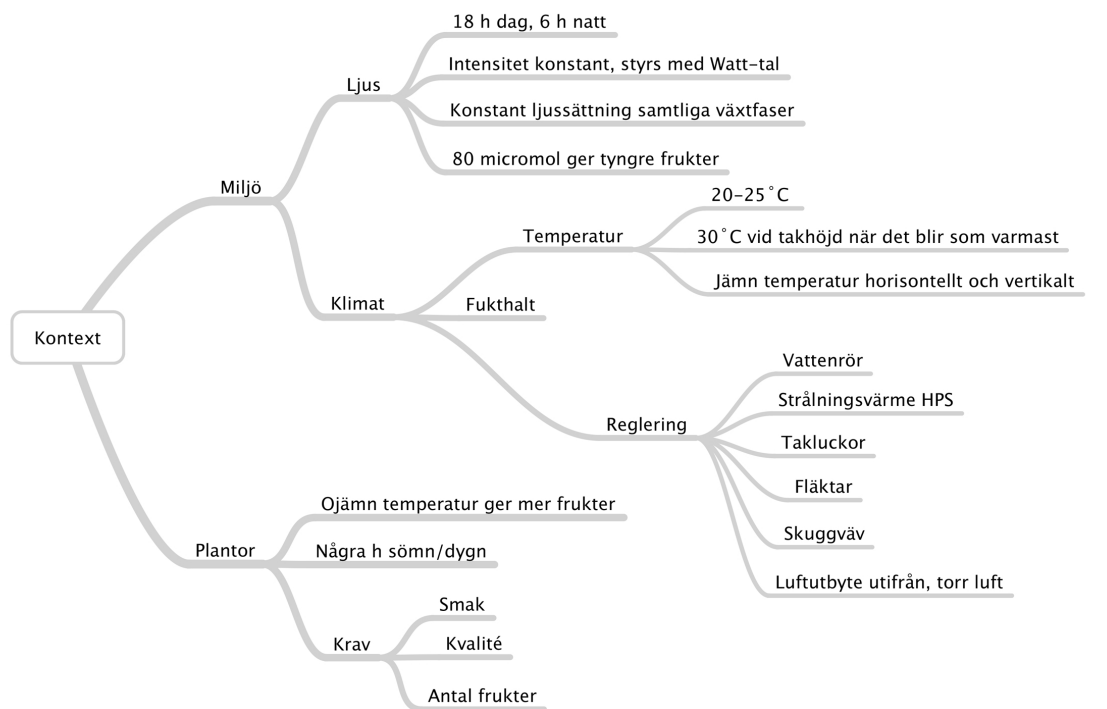
Bilaga 9 - Träddiagram, Holland

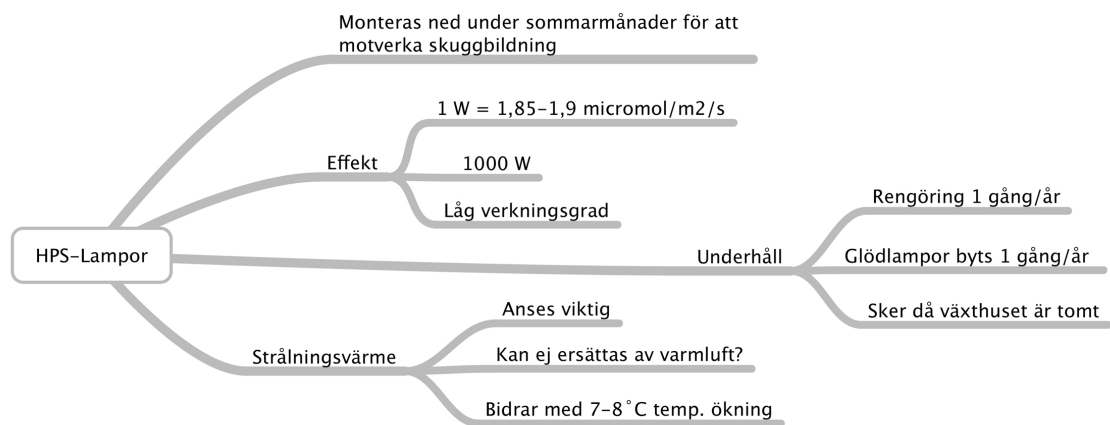












Bilaga 10 - Preliminär kravlista

Systemmål	Användningskrav	Övergripande utformning	Detaljerad utformning
Belysa växter med LED	Medge god ergonomi	Begränsa oljud	Tysta fläktar
	Tillhandahålla önskvärd ljusbild	Sprida ljus över aktuellt område Erbjuda fullgod arbetsbelysning Belysning specifika färger Minska skuggbild Justerbar intensitet Medge ljus ovanifrån och från sida	Belysa hela odlingen inkl kantrader Erbjuda neutralt (vitt) ljus Belysning med specifika färger generellt Belysning med specifika färger för olika växtfaser Belysning med specifika färger för olika arter Juster intensitet över dygn Juster intensitet för olika arter Juster intensitet för olika växtfaser
	Medge effektivt underhåll	Enkelt att hantera säkring Enkel rengöring av armatur Underlätta servicehantering	Enkelt att kontrollera säkringsstatus Enkelt byta säkring kåpor som tål rengöringsmedel lättåtkomliga ytor Enkel rengöring/byte av utsatta komponenter
	Medge effektiv installation	Vikt anpassad för manuell hantering Minimera kablage Lättillgänglig anslutningskontakter Underlätta integrering med befintligt elsystem	Mjukvaran ska vara kompatibel med klimatdator Maxvikt Ej kräva mer än två händer Lätthanterliga, brandsäkra kontakter Anslutningskontakter lättåtkomlig yta på armatur Anslutningskontakter av standardtyp Elektronik skyddad från hög luftfuktighet, droppar, damm, kryp och spindelväv Kontakter tål hög fuktighet/droppar
	Tåla omgivande miljö	Material får ej vittra sönder Kylsystem måste tåla damm och fukt	kåpor som tål intensivt solljus Komponenter som tål växlande temperatur
	Besitta upphängningsmöjlighet	Enkel upphängning/nedtagning Upphängning som passar de flesta växthus	Ej fler än två upphängningspunkter Klara egenvikt Anpassningsbar för olika takbalksutförningar Anpassningsbar i höjdled
	Medge driftsäkerhet	Kyla elektronik i varierande omgivningstemperaturer Stå emot spänningsfluktuationer Skydda elektronik Medvetet formspråk efter produktens kontext och utvecklare (branding)	
	Besitta fördelaktigt utseende		Ta till vara på Heliospectras varumärke
	Medge effektiv transport	Volymseffektiv förpackning Anpassad för pall/lastutrymme	Tåla transporttemperaturer
	Besitta god konstruktion	Stöttålig Effektiv tillverkning och montering (DFMA) Robust konstruktion Modulbaserad uppbyggnad Kostnadseffektiv Konstruktion som medger krav om underhåll	Få komponenter Få tillverkningsmetoder Minimal skuggbildning från armatur Effektiv materialanvändning Minska behov av dyra komponenter
	Besitta miljö och hållbarhetsegenskaper	Reducera vikt (minskar utsläpp från transport) Använd material med lågt klimatavtryck och reducerad ekotoxicitet (plast / metall) Begränsa behovet av kretskort (hög ekotoxicitet) Möjliggör uppgradering och reparation för ökade livscykler Möjliggör demontering för återvinning/återanvändning	Reducera energiförbrukning Endast LED från garanterat "rena" miljöer utan hälsofaror för anställda. Återvinningsbart material
	Medge önskvärd temperaturpåverkan	Bibehålla ett konstant önskvärt värmeklimat Ge plantan tillräcklig "närvarme" Motvärka effekter av kallras	

Bilaga 11 - Fullständig kravspecifikation

Kravgrupp	Namn	Krav	Beskrivning	Mätvärde	Verifikation	Typ	Ursprung
Ergonomi	ER1	Minimera fläktljud	Hålla nere ljudnivå på fläktar för att minska oväsen i växthuset	40 dB (AFS 2005:16)		Önskemål	Förkunskap
Underhåll	UN1	Signalera säkringsfel	Ge möjlighet att kontrollera säkringsstatus på avstånd	Minst 3 meter		Krav	Brukarstudie
	UN2	Underlätta säkringsbyte	Ge snabb åtkomst till säkringar	Utan verktyg		Krav	Förkunskap
	UN3	Underlätta rengöring	Tillåta effektiv rengöring av armatur vid behov	Full åtkomst till alla yttertor		Krav	Brukarstudie
	UN4	Anpassad för rengöring	Yttertor som tål rengöringsmedel	Tåla alla miljövänliga rengöringsmedel		Krav	Brukarstudie
	UN5	Medge servicehantering	Underlätta vid service av många armaturer		uppfylla UP1 och UP3	Krav	Brukarstudie
	UN6	Medge komponentunderhåll	Enkel rengöring och byte av utsatta komponenter		Uppfylla KO5	Krav	
Installation	IN1	Minimera vikt	Vikt anpassad för manuell hantering	max 10kg		Krav	Förkunskap
	IN2	Kompatibel mjukvara	System som fungerar med befintlig klimatdator	Ska vara kompatibel med alla datorer på marknaden		Krav	Brukarstudie
	IN3	Lätthanterliga kontakter	Möjliggöra snabb inkoppling av armaturer	Utan verktyg		Krav	Brukarstudie
	IN4	Lätthanterlig armatur	Hanterbar armatur utan utstickande komponenter	max 10cm från armatur		Krav	Brukarstudie
Klimat	KL1	Skyddad elektronik	Elektronik skyddad från hög luftfuktighet, droppar, damm, kryp och spindelväv	Armaturen uppfyller IP66		Krav	Brukarstudie
	KL2	Skyddade kontakter	Kontakter som tål hög fuktighet	Kontakten uppfyller IP66		Krav	Brukarstudie
	KL3	Tåligt kylsystem	Kylsystem måste tåla damm och fukt	Kylsystemet uppfyller IP66		Krav	Brukarstudie
	KL4	Tåliga yttertor	Ytor måste tåla solljus	UV		Krav	Brukarstudie/Företag
	KL5	Tåla temperatur	Tåla temperaturskiftningar i växthuset	18-35 grader C		Krav	Brukarstudie/Företag
Upphängning	UP1	Underlätta upphängning/hedtagning	Brukaren ska utan större ansträngning kunna montera en armatur	Utan verktyg + ett grepp, ensam kunna montera.		Krav	Brukarstudie
	UP2	Klara egenvikt med säkerhetsmarginal 2	Anpassad efter armaturvikt	minst 2*10kg		Krav	Förkunskap
	UP3	Passa befintlig balk	Anpassningsbar för olika takbalksutformningar	Rektangulärt + cirkulärt tvärsnitt		Krav	Brukarstudie
	UP4	Justerbar i höjdlöd	Anpassningsbar i höjdlöd vid installation	1 till 0 meter från balken		Krav	Brukarstudie
	UP5	Tillåta stapling	Nedtagen armatur måste gå att förvara volymseffektivt	Minst 4 armaturer skall kunna staplas på varandra		Krav	Förkunskap
Kylning	KY1	Kyla elektronik	Produkten kräver kylning som klarar att kyla känslig elektronik vid växlande temperaturer	Max 80 grader C		Krav	Studie
	KY2	Kyla LED	Medge konstant tempratur av LED	10 graders intervall		Krav	Företag
	KY3	Lång livslängd	Kylningslösning måste vara anpassad efter övriga komponenters livslängd	minst 50 000 h (LED)		Krav	Företag
Transport	TR1	Anpassad för pall	Dimensionerad med hänsyn till lastpall	EUR-pall 800x1200mm		Krav	Studie
	TR2	Volymseffektiv förpackning	Strävar efter en volymseffektiv transport vilket ger ekonomiska och hållbarhetsmässiga fördelar	Max 20% outnyttjad volym		Krav	Förkunskap
	TR3	Tåla transporttemperaturer	Tåla både låga och höga temperaturer vid transport	minus 40 till 70 grader C, då avstängd		Krav	Företag
	TR4	Stöttålig	Klara eventuell mindre varsam hantering exempelvis vid trucktransport	Fall från 80 cm		Krav	Förkunskap
Konstruktion	KO1	Minimera antalet komponenter	Förenkla tillverkning och ihopmontering		Uppfylla KO5	Önskemål	Företag
	KO2	Optimera livslängd	Komponenters livslängd ska matcha LED för en optimerad livscykel	Övriga komponenter matcha LED-livslängd, 50000h plus 10%		Krav	Förkunskap

	KO7	Skyddad elektronik	Känslig elektronik måste skyddas		Uppfyller KL1 och TR1	Krav	Förkunskap/Företag
	KO8	Minimera kablage	Hålla nere kostsamma kabellängder		Uppfyller KO6	Krav	Brukarstudie
Miljö och hållbarhet	MH1	Reducera elförbrukning	Vidta åtgärder för att hålla nere elförbrukning	max 70% av dagens förbrukning		Krav	Studie
	MH2	LED från rättvis tillverkning	Endast LED från garanterat "rena" miljöer utan hälsofaror för anställda	Uppfyller specifik certifiering		Krav	Studie
	MH3	Minimera produktvolym	Minimera transportpåverkad miljöbelastning		Uppfyller KO6 och TR2		
	MH4	Minimera produktvikt	Minimera transportpåverkad miljöbelastning	Så låg som möjligt, maximalt 10 kg	IN1	Krav	Förkunskap
	MH4	Miljöanpassat material	Använd material med lågt klimatavtryck och reducerad ekotoxicitet			Önskemål	Förkunskap/studie
	MH5	Begränsa behov av kretskort	Hög ekotoxicitet		Uppfyller KO1	Krav	Studie
	MH6	Optimera för underhåll	Möjliggör uppgradering och reparation för utökade livscyklar	Alla komponenter skall kunna ersättas		Krav	Förkunskap
	MH7	Optimera livslängd	Undvik överdimensionering av komponenter/ maximera livslängd		Uppfyller KO2		Förkunskap
	MH8	Optimera för komponentavskiljning	Möjliggör demontering för återvinning/återanvändning	Produkt skall ska kunna demonteras i huvudkomponenter.		Krav	Förkunskap
	MH9	Återvinningsbart material	Skapa förutsättningar för sluten livscykel	80 viktprocent		Krav	Förkunskap
Ljus	LJ1	Optimera ljusspridning	Sprida jämnt ljus över aktuellt område, inkl kantrader	Så liten yta om möjligt utanför plantbädd.		Krav	Brukarstudie/Företag
	LJ2	Erbjuda fullgod arbetsbelysning	Underlätta verksamhet i växthuset genom god arbetsbelysning	Ljuset skall upplevas som vitt.		Krav	Brukarstudie

Bilaga 12 - Pugh-matris kylmetod

Krav	Viktning	Syn Jet
Enkel rengöring av komponent	5	plus
Enkelt byte av komponent	3	0
Minimera kablage	0	-
Tåla damm	14	plus
Tåla fukt	16	plus
Tåla växlande temperatur	11	
Kyla elektronik i olika omgivningstemperaturer	17	
Lång livslängd	12	-
Volymseffektiv	6	-
Stöttålig	5	plus
Effektiv tillverkning och montering	5	0
Få interna komponenter	1	
Robusta komponenter	5	plus
Reducera elförbrukning	12	plus
Reducera vikt	10	-
Använd material med lågt klimatavtryck	7	
Reducera pris	10	-
Låg ljudnivå	13	plus
Viktad summa		42

Bilaga 13 - Parvis jämförelse, krav kylning

	Enkelt byte av komponent	Minimera kablage	Tåla damm	Tåla fukt	Tåla väldande temperatur	Kyla elektronik i olika omgivnings-temperaturer	Lång livslängd	Volymseffektiv	Stötålig	Effektiv tillverkning och monterning	Få interna komponenter	Robusta komponenter	Reducera elförbrukning	Reducera vikt (minskar utsläpp från transport)	Använd material med lågt klimatavtryck och reducerad ekotoxicitet (plast/metal)	Reducerat pris	Låg ljudnivå	0	X	Vikning
Enkelt rengöring av komponent	0	0	X	X	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X	X	X	5	12	5
Enkelt byte av komponent	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	0	X	X	3	13	3
Minimera kablage			X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
Tåla damm		3		X	0	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	14	14
Tåla fukt				4	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	16	16
Tåla väldande temperatur					3	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	X	8	11	11
Kyla elektronik i olika						6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	17	17
omgivningskylare							4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12
Lång livslängd								3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	6
Volymseffektiv									2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5
Stötålig										2	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5
Effektiv tillverkning och monterning											1	X	X	X	X	X	X	0	1	1
Få interna komponenter												4	X	X	X	0	X	1	5	5
Robusta komponenter													9	0	0	0	X	3	12	12
Reducera elförbrukning														9	0	0	X	1	10	10
Reducera vikt (minskar utsläpp från transport)														9	0	0	X	1	7	7
Använd material med lågt klimatavtryck och reducerad ekotoxicitet (plast/metal)														9	0	0	X	1	10	10
Reducerat pris														9	0	0	X	1	13	13
Låg ljudnivå														9	0	0	X	1	13	13

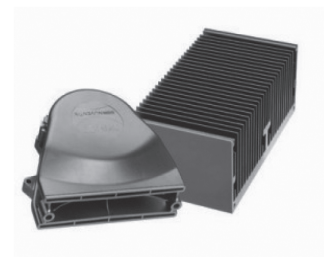
Bilaga 14 - Produktspecifikation SynJet XFlow42

PRODUCT DATASHEET

SynJet[®] LED Cooler L100-180

SynJet cooling provides the most reliable thermal management solution available. This LED cooler has been developed by Nuventix for cooling high power LED Luminaires.

- Cools up to 174 W⁴
- Reliable 100K Hours Lifetime
- Energy Efficient
- 5 Yr Warranty
- Small Form Factor
- Light Weight



Specifications¹

Thermal & Acoustic (Single LED Heat Source 25cm²)

SynJet Setting ²	Θ_{s-a} ³ 2 SJ	TDP ⁴ (W) $\Delta T = 30^\circ / 40^\circ C$ 2 SJ	SPL (dBA) ⁵ 1 SJ / 2 SJ	Wire Connections
PWM at 100% duty cycle	0.25	120 / 160	30 / 32	Red to +VDC Black only to Ground Blue to PWM Signal
High Performance	0.26	115 / 154	29 / 31	Red to +VDC Black & Blue to Ground
Standard Performance	0.34	88 / 118	22 / 23	Red to +VDC Black only to Ground
Silent Performance	0.43	70 / 93	18 / 19	Red to +VDC Black & Purple to Ground

Thermal & Acoustic (2 LED Heat Sources 25cm² or One LED Heat Source 75cm²)

SynJet Setting ⁶	Θ_{s-a} ³ 2 SJ	TDP ⁴ (W) $\Delta T = 30^\circ / 40^\circ C$ 2 SJ	SPL (dBA) ⁵ 1 SJ / 2 SJ	Wire Connections
PWM at 100% duty cycle	0.23	130 / 174	30 / 32	Red to +VDC Black only to Ground Blue to PWM Signal
High Performance	0.24	125 / 167	29 / 31	Red to +VDC Black & Blue to Ground
Standard Performance	0.32	94 / 125	22 / 23	Red to +VDC Black only to Ground
Silent Performance	0.41	73 / 98	18 / 19	Red to +VDC Black & Purple to Ground

¹ All values are typical at 25°C unless otherwise stated.

² The Level Select model should be used for discrete performance settings. Follow the instructions in the Product Design Guide for adjusting settings.

³ Thermal resistance values are given as reference only and are measured in free air without airflow obstructions. Thermal resistance is measured from the bottom middle of the heat sink to ambient air measured at the inlet to the SynJet, with a heat source at least 15cm² using a reference heat sink. Actual thermal performance may vary by application and final product design should be tested to assure proper thermal performance.

⁴ Thermal Design Power is based on a 30°C or 40°C temperature rise of heat sink mounting surface above ambient temperature around cooler.

⁵ Sound Pressure Level is measured at 4 meter distance at 100-3300 Hz.

PRODUCT DATASHEET

Electrical

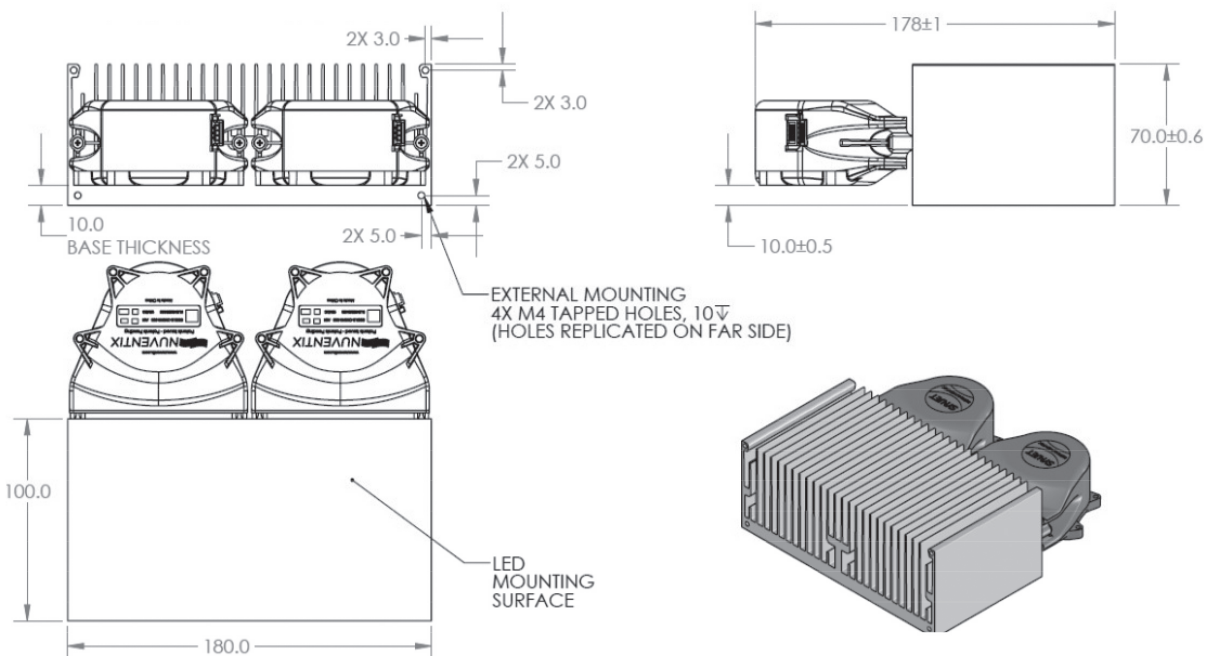
SynJet Setting ²	Voltage (VDC) +/- 10%	Current (mA) ⁷			Pavg (W) 1/2 SJ	Voltage (VDC) +/- 10%	Current (mA) ⁶			Pavg (W) 1/2 SJ
		Imin 1/2 SJ	Iavg 1/2 SJ	Ipeak 1/2 SJ			Imin 1/2 SJ	Iavg 1/2 SJ	Ipeak 1/2 SJ	
PWM at 100% duty cycle	5	20/40	220/440	440/880	1.10/2.20	12	10/20	115/230	230/460	1.38/2.76
High Performance		20/40	180/360	360/720	0.90/1.80		10/20	92/184	184/368	1.10/2.20
Standard Performance		20/40	80/160	160/320	0.40/0.80		10/20	46/92	92/184	0.55/1.10
Silent Performance		20/40	60/120	120/240	0.30/0.60		10/20	33/66	66/132	0.40/0.80

Environmental

All Settings	Min	Max	Units	Conditions
Operating Temperature	-40	70	°C	Air temperature surrounding cooler
Storage Temperature	-50	75	°C	Air temperature surrounding cooler
Storage Altitude		15K	m	Above sea level
Operating Relative Humidity	5	95	%	Non-condensing
Weight		1.42	kg	SynJet with Al heat sink
Reliability		100K	hrs	L10 @ 60°C
Regulatory Compliance				RoHS, UL, FCC Part 15 Class B, CE

Mechanical

SynJet Cooling Solution shown with Configurable heat sink



All dimensions are nominal and in mm unless otherwise stated. See product drawings for more detail.

⁷ The SynJet has a time varying current. The current waveform is sinusoidal and the average current (Iavg) is used to calculate the average power consumption (Pavg) at nominal input voltage (VDC). See the Electrical section in the Product Design Guide for a detailed explanation.

PRODUCT DATASHEET

SynJet Wire Harness



Connector Pinout

Pin	Wire Color	Symbol	Description
1	Red	+VDC	5 V or 12 V depending on model
2	Black	GND	Ground
3	Purple	CTRL2	Input for Level Select model Status signal for PWM model
4	Blue	CTRL1	Input for Level Select model PWM input for PWM model

IMPORTANT: SynJets should be completely wired to the power supply before the power supply is energized. The power supply should be turned off before the SynJet Cooler is disconnected. SynJet Coolers are not designed for "hot swap" or "hot plug" applications.

Part Numbers

Part Number	Description	Notes
NX202100	SynJet, XFlow 42, PWM, 5V, Black	Use with PWM input to control performance setting
NX202101	SynJet, XFlow 42, Level Select, 5V, Black	Configurable to discrete performance settings
NX202102	SynJet, XFlow 42, PWM, 12V, Black	Use with PWM input to control performance setting
NX202103	SynJet, XFlow 42, Level Select, 12V, Black	Configurable to discrete performance settings
NX302102	Heatsink, LED Cooler L100-180, Configurable, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302106	Heatsink, LED Cooler L100-180, Zhaga LES3, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302107	Heatsink, LED Cooler L100-180, 2xZhaga LES 3, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302108	Heatsink, LED Cooler L100-180, Bridgelux RS, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302109	Heatsink, LED Cooler L100-180, 2xBridgelux RS, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302110	Heatsink, LED Cooler L100-180, Citizen CLL050, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302111	Heatsink, LED Cooler L100-180, 2xCitizen CLL050, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302112	Heatsink, LED Cooler L100-180, Vossloh Schwabe/Panasonic, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302120	Heatsink, LED Cooler L100-180, Bridgelux Vero 29, Black	Contact sales for other heatsink options
NX302121	Heatsink, LED Cooler L100-180, 2xBridgelux Vero 29, Black	Contact sales for other heatsink options
WALLS-C4150-001	Wire Harness, 4-Wire, 150 mm Length	Contact sales for other wire harness options
WALLS-C4600-001	Wire Harness, 4-Wire, 600 mm Length	Contact sales for other wire harness options

Nuventix reserves the right to make changes to the products or information contained herein without notice. No liability is assumed as a result of their use or applications. For additional information, please contact Nuventix directly.



4635 Boston Lane
Austin, TX 78735

Phone: 512-382-8100
www.nuventix.com

MKTG-DOC-00175
Revision

E01
Apr 2013

Bilaga 15 - Sammanställning av undersökning av upplevd skuggbildning

Vilken konstruktion upplever du ger minst skuggbildning?								
Svarsperson	A upp	A ned	B upp	B ned	C upp	C ned	D upp	D ned
1	2	2	4	3	1	1	3	3
2	3	3	2	1	1	2	4	3
3	2	3	3	2	1	4	4	1
4	3	3	2	1	1	2	4	4
5	3	4	2	1	1	3	4	2
6	1	1	3	4	2	3	4	2
7	2	1	3	4	1	2	4	3
8	2	2	3	3	1	1	4	4
9	2	1	3	2	1	3	4	4
10	2	2	2	3	1	1	3	4
Summa	22	22	27	24	11	22	38	30
Tot	44		51		33		68	
Låda på sida	112							
Låda ovanpå	84							
Smal LED	77							
Kort LED	119							
A lång sida								
B kort ovan								
C lång ovan								
D kort sida								

Bilaga 16 - Pugh-matris konceptvarianter

Krav	Viktning	Lång sida (referens)	Kort ovan	Lång ovan	Kort sida
Medge god ergonomi	2	0	plus	plus	plus
Medge effektiv installation	4	0	0	0	0
Besitta fördelaktigt utseende (subjektivt)	2	0	0	0	0
Besitta god konstruktion					
Liten					
konstruktionskomplexitet	4	0	0	0	0
Volymseffektiv	2	0	minus	minus	0
Anpassad för pall/lastutrymme	3	0	plus	plus	plus
Minimal skuggbildning från armatur					
Upplevd skuggbildning	3.5	0	minus	plus	minus
Effektiv tillverkning och montering					
Effektiv tillverkning	3	0	minus	0	minus
Effektiv montering	1	0	plus	minus	plus
Sprida jämnt ljus över aktuellt område, inkl kantrader					
Enkelt byta säkring					
Enkel rengöring/byte av utsatta komponenter	2	(Om fläkt i mitten)	0	0	0
Enkel rengöring av armatur	3	0	0	0	0
Summa	-	0	3,5 minus	4,5 plus	2,5 minus
1 = inte så viktigt					
5 = mycket viktigt					

Bilaga 17 - Pugh-matris, teknisk princip för vikfunktion

Kriterier	Vikt	Gångjärn (referens)	Med frågetecken	Utan frågetecken
Enkel tillverkning		3 minus	-3	0
Enkel montering		2 plus	2	2
Hållfasthet		2 noll	0	0
Rengöring		2 minus	-2	-2
Hantering(vid service)		3 plus	3	3
Vikt		4 minus	-4	-4
Känslighet för miljö		3 noll	0	0
Volym		3 minus	-3	-3
Få komponenter		3 plus	3	3
Skugga		3 minus	-3	-3
Material (ekotoxic)		2 minus	-2	0
Totalt			-9	-4

