



Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Antti Väisänen Valoa ja työtä Afrikkaan – aurinkokennovalaisinkonseptin jatkokehitys 58 sivua 16.1.2014
Tutkinto	Muotoilija AMK
Koulutusohjelma	Muotoilu
Suuntautumisvaihtoehto	Teollinen muotoilu
Ohjaaja(t)	Opettaja Tuomo Äijälä DI, Teemu Ronkka Opettaja Ville-Matti Vilkkä
<p>Opinnäytetyöni aiheena oli aurinkokennovalaisimen tuotekehitys kehitysmaiden ihmisten tarpeisiin. Työn lähtökohtana oli monikäyttöinen ja mukana kuljetettava konseptivalaisin, jonka suunnittelin syksyllä 2012 startup-yritys Lumivio Oy:lle. Lumivio Oy:n tavoitteena oli kehittää konseptista kehitysmaissa kokoonpantava valaisin, jonka valmistuksen aloittamiskustannukset olisivat yritykselle mahdollisimman pienet. Projektin tavoitteena oli myös valaisimen käytettävyyden parantaminen.</p> <p>Tuotekehitystyön työskentelymetodiksi valitsin prototyyppien valmistamisen, jonka pohjalta arvioin Lumivio Oy:n kanssa työn etenemistä ja tuloksia. Käytettävyyttä tutkin ensisijaisesti eläytymällä käyttäjän asemaan ja havainnoimalla henkilöitä, jotka testasivat valaisimen prototyyppejä.</p> <p>Valaisimen valmistettavuuden kehityksessä oli tärkeää huomioida kokoonpanon helppous kehitysmaissa. Valmistustekniikoista ja materiaaleista hankin tietoa kirjallisista lähteistä ja muovituotesuunnittelun asiantuntijoilta. Materiaalien valinnassa oli huomioitava erityisesti kehitysmaiden ympäristöolosuhteet, jotka voivat olla erittäin haastavia elektroniikka- ja muovituotteille. Tuotekehitystyön tueksi toteutin elektroniikan kokoonpanotestin, jonka tarkoituksena oli saada tietoa valaisimen rakenteen ja kokoonpanon suunnittelua varten.</p> <p>Tuotekehitysprojektin lopputuloksena esittelen monikäyttöisen ja paikallisesti kehitysmaissa kokoonpantavan valaisimen ulkonäölliset piirteet ja rakenteelliset ratkaisut.</p>	
Avainsanat	Tuotekehitys, valmistettavuus, käytettävyys



Author(s) Title	Antti Väisänen Designing a Solar Led Light to the Developing Countries
Number of Pages Date	58 pages 16 January 2014
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Design
Specialisation option	Industrial Desing
Instructor(s)	Tuomo Äijälä, Lecture Teemu Ronkka, M.Sc Ville-Matti Vilkka, Lecture
<p>The topic of my thesis was product development of a solar powered led light for people in the developing countries. The background of the work was a multipurpose use concept light that I had designed for a start-up company called Lumivio Oy in the end of 2012. Lumivio's goal was to develop the lighting concept so the lamp could be assembled in the developing countries. Lumivio Oy also wanted to minimize the start up costs of the production of the lamp. Another goal of the project was to make the lamp more user friendly.</p> <p>The working method of the project was making prototypes and based on that the progress of the project and the results were evaluated. I tested the usability of the lamp mainly by taking the role of the end user of the product and by observing the test users.</p> <p>Easiness of the assembly work in the developing countries was an important desing driver in the process. I gathered information about manufacturing techniques and materials mainly from written sources and from the experts of the design of plastic products. Environmental conditions can be very harsh to plastics and to electronics in the developing countries, therefore the selection of the materials needed to be done very carefully. As a tool of the product development I organized an assembly test to gather information for the structure and assembly design.</p> <p>As a result of the product development project I represent a structure and aesthetic features of the multipurpose use lamp that can be assembled locally in the developing countries.</p>	
Keyword	product development, desing for assembly, usability

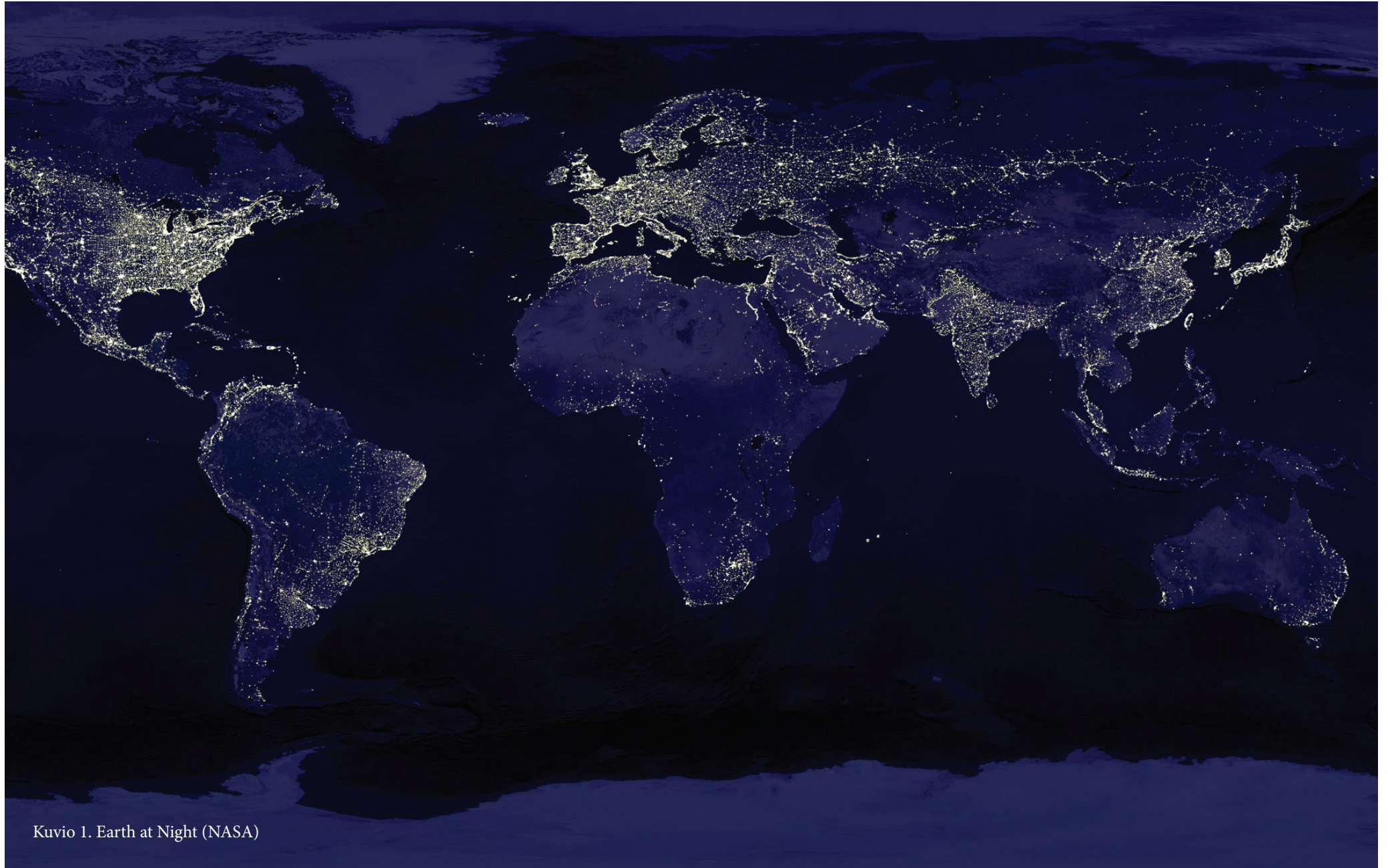
---

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO</b>	1	<b>6 SUUNNITTELUPROSESSI</b>	21
<b>2. PROJEKTIN ESITTELY</b>	2	6.1 Valaisimen uudelleen mitoittaminen	21
2.1 Toimeksiantaja Lumivio Oy	2	6.2 Valaisimen toimintaperiaatteiden muutokset	22
2.2 Projektisuunnitelma ja design brief	2	6.3 Käytettävyyden ja elektroniikkakokoonpanon testaus	24
2.3 Teoreettinen viitekehys ja työn rajaus	2	6.3.1 Käytettävyydestaus Suomessa	24
2.4 Käytettävyyden ja valmistettavuuden merkitys tuotesuunnittelussa	3	6.3.2 Elektroniikan ja käytettävyyden testaus Keniassa	26
2.5 Tutkimusmenetelmät	4	6.3.3 Testituloksien yhteenveto	27
<b>3. AIHEEN TAUSTAT</b>	6	6.4 Valaisimen rakenteen modulointi	27
3.1 Valon tarve ja käyttö kehitysmaissa	6	6.5 Elektroniikan suunnittelu	28
3.2 Led- ja aurinkokennotekniikan kehitys	7	6.5.1 Elektroniikan rakenne	28
3.3 Aurinkokennovalaisimien hinnan muodostus	7	6.5.2 Akkutyypin valinta	30
3.4 Valaisimien laatuongelmat Afrikassa	8	6.5.3 Led-valonlähteen valinta	31
3.5 Lighting Global -ohjelma ja laatustandardit	8	6.6 Runkorakenteen suunnittelu	31
3.6 Vastuullisesti tuotetut valaisimet Afrikassa	8	6.6.1 Valmistusmateriaalin valinta	32
3.7 Valaistuksen suunnittelu	11	6.6.2 Perusrakenteen konseptointi	33
3.8 Muovit ja muovituotteiden suunnittelu	12	6.7 Varjostinosien rakenneratkaisut	35
<b>4. KONSEPTIVALAISIMEN ARVIOINTI JA KEHITYSTARPEET</b>	13	6.7.1 Suulakepuristettu profiili	35
<b>5. KOKOONPANOPROSESSIN VALINTA</b>	17	6.7.2 Laserlaikattu polypropeeniarikki	36
5.1 Kokoonpanoprosessin vaihtoehdot	17	6.8 Katkaisijan ja runkoputken rakenne	37
5.2 Elektroniikan kokoonpanotesti	17	6.9 Päätytulpan muotoilu	39
5.3 SWOT- analyysi ja kokoonpanoprosessin valinta	19	6.10 Kantohihnan muotoilu	45
		<b>7. TULOKSET JA ARVIOINTI</b>	47
		<b>8. YHTEENVETO</b>	53
		Lähteet	56

---





Kuvio 1. Earth at Night (NASA)



## 1. JOHDANTO

Syksyllä 2012 Metropolia Ammattikorkeakoulu ja startup-yritys Lumivio Oy järjestivät yhteistyössä projektikurssin, jonka tarkoituksena oli konseptoida aurinkoenergialla toimivia led-valaisimia kehitysmaiden ihmisten tarpeisiin. Konseptoitavilta valaisimilta odotettiin uudenlaisia näkökulmia edullisen kehitysmaavalaisimen valmistettavuuteen, käytettävyyteen ja materiaalien käyttöön. Valaisimista rakennettiin toimivat prototyypit, joilla esitettiin valaisimien ulkonäöllisten piirteiden lisäksi keskeisiä toiminnallisia funktioita ja rakenteellisia ratkaisuja. Esittelemäni konsepti valittiin jatkokehitykseen, jonka tavoitteeksi asetettiin kehitysmaissa kokoonpantava valaisin.

Suunnittelemassani valaisinkonseptissa Lumivio Oy:tä kiinnosti näkökulma valaisimen monikäyttöisyydestä. Valaisin oli helposti mukana kuljetettava ja se tarjosi valoa myös tarkkaa näkemistä vaativiin tehtäviin, kuten esimerkiksi lukemiseen, ompelamiseen sekä erilaisiin kodin töihin. Valaisimen pystyi ripustamaan monella tavalla, asettamaan tasolle ja kuljettamaan mukana niin, että se ei rajoittanut käsien käyttämistä esimerkiksi tavaroiden kantamiseen. Konseptivalaisin pyrki olemaan monikäyttöinen työvalo.

Yleisimmät valonlähteet kehitysmaissa ovat kerosiinilyhty ja taskulamppu. Nämä valonlähteet tarjoavat hyvin rajallisen tavan käyttää valoa. Ne ovat kalliita käyttää ja lisäksi fossiililla polttoaineilla toimivat kerosiinilyhdyt huonontavat sisäilmaa aiheuttaen

terveysongelmia, kuten hengitystiesairauksia. Puhutaan sisäilman ja edullisen valon lisäksi kehitysmaissa on puutetta myös työstä. Kehitysmaissa on paljon nuorisoa koko väestöön suhteutettuna ja heidän tulevaisuuden näkymänsä eivät ole hyvät. Valon puute rajoittaa opiskelua erityisesti maaseutualueilla. Tähän tarpeeseen Lumivio Oy oli etsinyt valaisinkonseptia, josta se voisi kehittää kehitysmaissa paikallisesti valmistettavan valaisimen. Valaisimen tuotantoprosessissa se halusi työllistää kehitysmaiden nuoria ja aikuisia. Tavoitteeksi Lumivio Oy asetti mahdollisimman suuren paikallisen valmistusasteen. Lisäksi Lumivio Oy toivoi, että tuotannossa tarvittavien teollisten työkalujen valmistuskustannukset olisivat mahdollisimman pienet.

Opinnäytetyöni oli tuotekehitysprojekti, jonka tarkoituksena oli kehittää konseptivalaisimen käytettävyyttä ja valmistettavuutta. Työskentelymetodiksi



Kuvio 2. Kehitysmaissa yleisesti käytetty valaisintyyppi

valitsin prototyyppien valmistamisen. Käytettävyyttä tutkin pääasiassa eläytymällä käyttäjän asemaan ja havainnoimalla testikäyttäjiä. Valaisimen rakennetta tutkin niin ikään prototyypeillä ja lisäksi 3D-malleilla. Valmistettavuuden kehittäminen edellytti kehitysmaissa paikallisesti tapahtuvan tuotantoprosessin tuntemista. Sitä varten tutkin elektroniikan valmistettavuutta käsityönä ja tein erilaisissa työympäristöissä tapahtuvasta kokoonpanosta swot-analyysin. Analyysin perusteella valittu menetelmä toimi design driverina valaisimen rakenneratkaisujen muotoilutyössä. Tietoa kehitystyön tueksi hain kirjallisuudesta, internet-lähteistä ja asiantuntijoilta.

Lopputyöni rakenne jakautuu neljään osaan: aiheen esittelyyn, konseptivalaisimen arviointiin, kokoonpanoprosessin valintaan ja suunnitteluprosessiin. Aiheen esittelystä kerron kehitysmaissa käytettävien valaisimien tuottamista ongelmista ja vastuullisesti tuotettujen aurinkoenergiavalaisimien mahdollisuuksista. Lisäksi avaan led- ja aurinkokennoteknologian kehitystä ja kerron ympäristön asettamista haasteista elektroniikalle ja muovimateriaaleille. Valaisimen suunnittelua pohjustan myös kertomalla hyvän valaistuksen periaatteista. Konseptivalaisimen arviointi ja kokoonpanoprosessin valinta pohjustavat valaisimen rakenteen suunnittelua. Suunnitteluprosessissa kehitän valaisimen rakennetta tutkivalta eri valmistusmateriaaleja ja valmistustekniikoita. Lisäksi muotoilen valaisimen ulkoasun. Estetiikassa kiinnitän erityisesti huomiota värien käyttöön. Lopputuloksena esittelen uuden valaisinkonseptin, joka on alkuperäistä konseptia pienempi, yksinkertaisempi ja helppokäyttöisempi.



## 2. AIHEEN ESITTELY

### 2.1 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyöni toimeksiantaja oli kotimainen kevättalvella 2012 perustettu startup-yritys Lumivio Oy, joka on erikoistunut kestävän kehityksen aurinkoenergiaprojekteihin, tuotteisiin ja palveluihin. Yrityksen päätuotteita, joita se vie kehittyviin maihin, ovat aurinkopaneelit ja aurinkoenergiajärjestelmät. Yrityksen omaa parasta osaamista edustaa järjestelmien suunnittelu ja laadukkaiden kehitysmaaosuhteet kestävien komponenttien hankinta. Lumivio Oy:ssä työskentelee tällä hetkellä kaksi yrityksen omistajaa ja yksi osa-aikainen työntekijä. Yritys tekee yhteistyötä kansalaisjärjestöjen ja organisaatioiden kanssa, joiden tavoitteena on kehitysmaiden olosuhteiden parantaminen. Toimintansa alussa Lumivio Oy asetti tavoitteekseen oman kuluttajatuotteen tuomisen kehitysmaiden markkinoille. Tuotteen avulla Lumivio Oy halusi erottautua kilpailijoista ja rakentaa brändi-identiteettiä vastuullisena kestävän kehityksen periaatteita noudattavana toimijana kehitysmaissa.

### 2.2 Projektisuunnitelma ja desing brief

Lumivio Oy teki päätöksen tuotekehitysprojektin aloittamisesta tammikuussa 2013. Projektin lähtökohtana oli syksyllä 2012 Lumivio Oy:lle suunnittelemani monikäyttöisen ja mukana kuljetettavan valaisimen konsepti. Projektin päämääränä oli kehittää valaisimen helppokäyttöisyyttä ja soveltuvuutta arkielämän askareisiin ja suunnitella konseptiva-

laisimesta malli, joka oli mahdollista kokoonpanna kehitysmaaosuhteissa. Lumivio Oy:n tuotekehityksen tavoitteena oli tuottaa konseptivalaisimesta edullinen, kestävä ja monikäyttöinen aurinkoenergialla toimiva led-valaisin.

Lumivio Oy:n tavoitteena oli, että valaisimia voisivat valmistaa esimerkiksi paikalliset mikroyrittäjät pienissä työpajoissa. Yhdeksi varteenotettavaksi kokoonpanomalliksi Lumivio Oy esitti rakennussarjan, jonka loppukäyttäjä kokoaa itse. Valmista tuotantomallia valaisimen valmistukseen ei ollut olemassa, joten lopputyössäni tarkastelen mahdollisia valaisimen kokoonpanotapoja kehitysmaaosuhteissa. Valittu malli toimi myös design driverina valaisimen teknisten ratkaisujen ja valmistettavuuden suunnittelussa.

Keskeinen osa projektisuunnitelmaa oli desing brief eli lyhyt kirjallinen dokumentti, jossa määritellään projektin tavoitteet ja yksilöidään suunnittelutar-



Kuvio 3.

peet. Design Briefin (kuvio 3) kokosin yhdessä Lumivio Oy:n toimitusjohtaja Rasmus Lampénin kanssa. Valaisimen ominaisuuksia design brief:ssä luonnehdittiin seuraavasti: edullinen, monikäyttöinen, kestävä, luotettava, pitkäikäinen, huollettavissa oleva ja sen tuli soveltua sekä aikuisten että lasten käyttöön. Lisäksi toiveena oli, että valaisimen paikallisen valmistuksen osuus olisi mahdollisimman suuri. Pienen startup-yrityksen tavoitteena oli myös mahdollisimman pienet valmistuksen aloituskustannukset.

Projektia käynnistettäessä totesimme, että päävastuu suunnittelutyöstä ja työskentelyaikatauluista tulee olemaan muotoilijalla. Muita henkilöstöresursseja olivat yrityksen kaksi omistajaa, joiden vastuualueena olisi pääasiassa tiedonhankinta, kannattavuuslaskelmat sekä projektin budjetti ja heille osa-aikaisesti työskentelevä henkilö, joka vastasi muun muassa kontakteista ja viestinnästä sekä avusti käytettävyyssuunnittelussa. Kaikki henkilöt pystyivät työskentelemään projektille osa-aikaisesti. Aikaa projektille varasimme noin kymmenen viikkoa, joka oli tarkoitus käyttää pienissä 1-2 viikon jaksoissa niin, että projekti valmistuu syyskuun 2013 loppuun mennessä.

### 2.3 Teorettinen viitekehys ja työn rajaus

Lopputyöni oli tuotekehitysprojekti, jossa tutkin kehitysmaiden ihmisten tarpeisiin suunniteltavan aurinkokennovalaisimen käytettävyyttä ja valmistettavuutta. Lähtökohtana toimi konseptivalaisin, jossa esittelin pääasiassa ratkaisuja pienen aurinkoken-

novalaisimen monikäyttöisyyteen. Opinnäytetyön konkreettiseksi tavoitteeksi asetin yhdessä Lumivio Oy:n toimitusjohtaja Rasmus Lampénin kanssa prototyyppivalaisimen, jonka tarkoituksena oli esittää valaisimen ulkonäölliset piirteet, valmistusmateriaalit, rakenteelliset ja valmistustekniset ratkaisut. Valaisimen tuli olla mahdollisimman yksinkertainen sekä käyttäjälle että kokoonpanijalle, ja siinä täytyy säilyttää konseptivalaisimessa esitetty monikäyttöisyys. Esteettisesti ja toiminnallisesti suunniteltavan valaisimen tuli olla mahdollisimman lähellä lopullista tuotetta.

#### 2.4 Käytettävyyden ja valmistettavuuden merkitys tuotesuunnittelussa

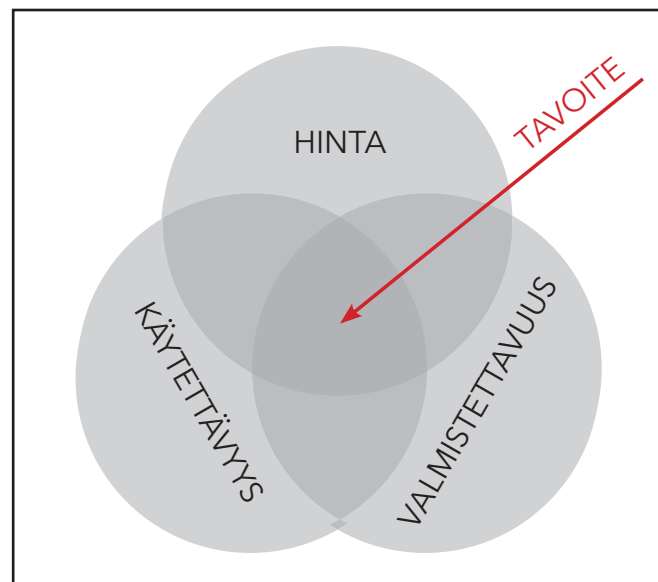
Hyvä tuote vastaa käyttäjän tarpeisiin ja tuottaa käyttäjälleen mielihyvää. Muotoilututkimuksessa puhutaan tuotteen ja käyttäjän välisestä vuorovaikutuksesta, joka voidaan kokea hyvänä tai luotettavana kumppanuussuhteena. Käytännön arjessa tuotteiden vastaamisella käyttäjän tarpeeseen on suuri merkitys. Silloin, kun tuote toimii sulavasti ja vaivattomasti, sitä ei edes huomata. Mielihyvän tunne onnistumisesta jää päällimmäiseksi mieleen. (Värynen ym. 2004, 7, 30.)

Tuotteiden suunnittelussa ja tuotekehityksessä tulisi aina huomioida, että tuotteet eivät ole vain käytännönläheisiä tehtävien tai ongelmien ratkaisun välineitä. Tuotteet voivat saada käyttäjän kokemaan esimerkiksi onnistumista, epäonnistumista, varmuutta, epävarmuutta, iloa, mielihyvää tms. Onnistuneiden tuotteiden käyttämiseen liitetään aina tyytyväisyys ja

mielihyvän kokeminen. (Värynen ym. 2004, 30.)

Käytettävyys koostuu monista osatekijöistä, kuten tuotteen ulkonäöstä, ominaisuuksista, nimistä, mainonnasta, hinnasta ja asiakkaan kokemasta arvosta ja hyödystä. Tästä syystä menestyviä tuotteita suunnittelevan yrityksen täytyy tuntea asiakkaansa. Yrityksen pitää pystyä hyödyntämään tietoa markkinoiden näkökulmasta ja käyttää sitä hyväkseen tuotekehityksessä. (Cagan & Graig. 2003, 255, 227.)

Käyttäjän tarpeiden ja toiveiden ymmärtämiseksi on tehtävä käyttäjätutkimusta. Käytettävyteen liittyvien ergonomisten tutkimusten lisäksi menetelminä voidaan käyttää esimerkiksi skenaarioita tai elämäntyyliin eläytymistä. (Cagan & Graig. 2003, 255.) Eläytymisellä voidaan tutkia esimerkiksi arkiaskareiden



Kuvio 4.

tekemistä pimeän aikana ilman sähköverkkoon liitettäviä valaisimia.

ISO 9241-11 -standardi (1998) määrittelee käytettävyyden seuraavalla tavalla: ”Se on tarkkuus, tehokkuus ja tyytyväisyys, jolla tietyt määritellyt käyttäjät saavuttavat määritellyt tavoitteet tietyssä ympäristössä”. Tarkkuudella tarkoitetaan sitä, onko tuotteessa oikeat ominaisuudet käyttäjän kannalta. Tehokkuus mittaa tavoitteiden saavuttamista suhteutettuna käytettyihin resursseihin. Tyytyväisyydellä tarkoitetaan käytön miellyttävyyttä ja tyytyväisyyttä vuorovaikutuksen sujuvuuteen ja tulokseen. (VTT 2013.)

Valmistettavuuden suunnittelu on tuotantoprosessin huomioimista tuotesuunnittelussa. Päämääränä on valmistaa tuotteita mahdollisimman helposti ja tehokkaasti. Keskeistä valmistettavuuden suunnittelussa on kustannuksien minimoiminen ja suunniteltavan tuotteen sovittaminen tuotantoprosessiin. (Ulrich & Eppinger 2008, 211.)

Valmistettavuuden helpottamista voivat olla esimerkiksi yksinkertaisemmat valmistusmenetelmät, yksinkertaisempi kokoonpano- tai asennustapa ja yksinkertaisempi tuotteen rakenne tai standardiosien käyttö (Jokinen. 2001,125). Valmistettavuuden suunnittelussa huomioitavia asioita ovat muun muassa osien määrän minimointi, modulaarisuuden suunnittelu, standardikomponenttien käyttö, osien suunnittelu moneen käyttötarkoitukseen, suunnittelu helppoon valmistusprosessiin, osien asennussuuntien vähentäminen kokoonpanossa, kappaleen pyörittämisen tarpeen vähentäminen asennuksessa, turhan tole-



roinnin välttäminen ja pehmeiden osien, kuten joihin välttäminen. (Ulrich & Eppinger 2008, 211-231.)

”Muovituotteiden suunnittelussa, kuten suunnittelussa yleensä, paras osa tai liitos on se, jota ei tarvita” (Vienamo & Nykänen, 2013). Hyvillä materiaalivalinnoilla ja ominaisuuksilla samaan osaan voidaan yhdistää useita eri toimintoja. Osien määrän ja liitoksien vähentäminen monimutkaistaa suunnittelua, mutta sillä voidaan voida yksinkertaistaa tuotteen valmistusta ja laskea lopullisen tuotteen hintaa. Jokainen ylimääräinen osa ja liitos lisää myös virheiden mahdollisuutta. Pienen sarjan tuotannoissa valmistuksen aloituskustannuksia pyritään kuitenkin minimoimaan ja yksi iso kustannuserä on muottityökalut. Tämän takia pienen sarjan tuotteissa rakenteet voivat toisinaan olla edullisempia toteuttaa useasta yksinkertaisesta osasta. (Vienamo & Nykänen, 2013.)

## 2.5 Tutkimusmenetelmät

Valaisimen käytettävyyttä tutkin ensisijaisesti eläytymällä käyttäjän asemaan ja havainnoimalla henkilöitä, jotka testasivat valaisimen prototyyppiä. Tietoa käyttäjätarpeista ja käyttäjien elinympäristöistä kehitysmaissa sain sekä toimeksiantajalta että valmiista saatavilla olevista tutkimuksista. Yksi tärkeimmistä tietolähteistä oli [www.lightingafrica.com](http://www.lightingafrica.com) sivusto, jonka kautta oli mahdollista löytää muun muassa ajankohtaisia markkinatutkimuksia, laatus-tandardeja, teknistä tietoa aurinkokennovalaisimien rakenteellisista vaatimuksista kehitysmaailmo-olosuhteissa ja tietoa kilpailevista tuotteista kehitysmaissa.

Valaisimen valmistettavuuden kehityksessä oli tärkeää huomioida kokoonpanon helppous sekä tilaajarytymisen tavoite minimoida valmistuksen aloituskustannukset. Materiaalien valinnassa oli huomioitava erityisesti kehitysmaiden ympäristöolosuhteet, jotka voivat olla erittäin haastavia elektronikka- ja muovituotteille. Valmistustekniikoista ja materiaaleista hankin tietoa kirjallisista lähteistä ja muovituotesuunnittelun asiantuntijoilta. Valaisimen rakennetta tutkin rakentamalla prototyyppiä.

Tuotekehitystyön tueksi toteutin yhdessä Lumivio



Kuvio 5. Elektroniikan kokoonpanotesti

Oy:n kanssa kokoonpanotestin, jonka tarkoituksena oli tuottaa tietoa valaisimen elektroniikan rakenteen suunnittelua varten. Tutkimuksella halusin selvittää, miten vaativia elektroniikkatöitä oli mahdollista tehdä ilman aikaisempaa koulutusta tai kokemusta elektroniikkatyöstä. Tutkimuksen tarkoituksena oli myös löytää luonteva rajapinta käsityönä ja teollisena sarjatyönä tehtävien töiden välille. Lähtökohtana tutkimukselle oli Lumivio Oy:n esittämä ajatus, jonka mukaan kehitysmaissa toimivat paikalliset yrittäjät voisivat valmistaa valaisimen elektroniikan kokoonpanon käsityönä.



Kuvio 6. Valaisimen käytettävyyden testausta

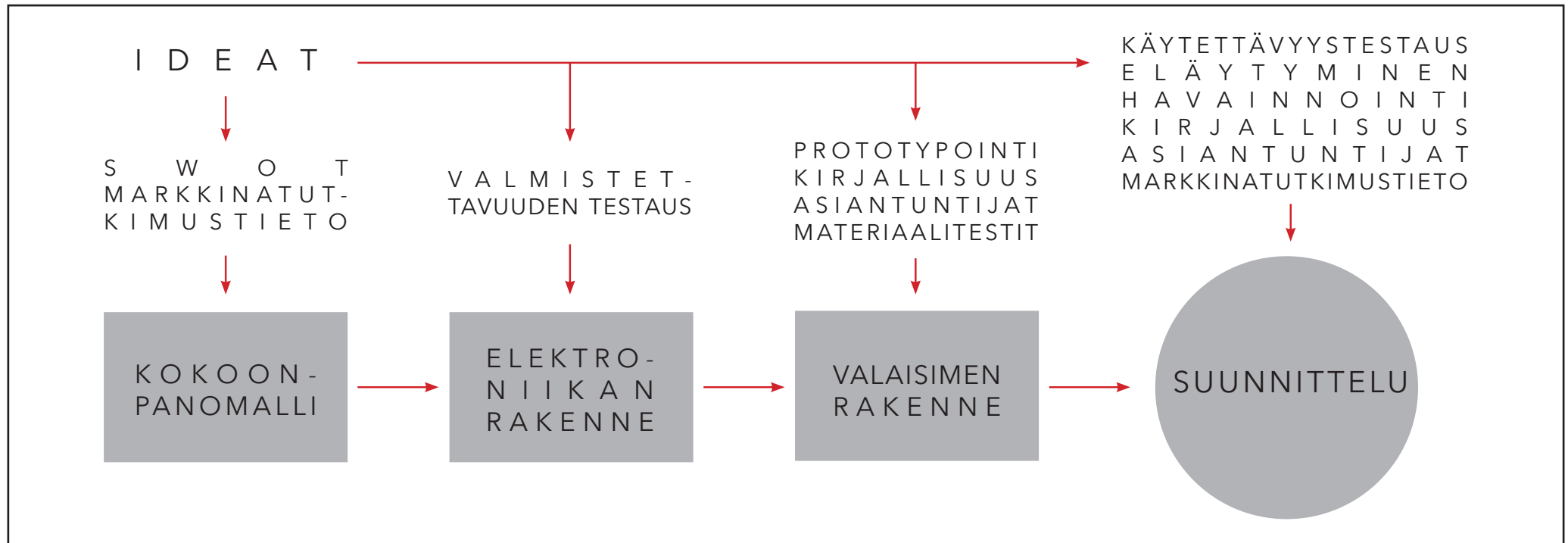
Valaisimen elektroniikka-alustaksi oli tarjolla kaksi erilaista järjestelmää, joista toinen oli niin sanottu perinteinen 3,6 V:n järjestelmä ja toinen uusi 2,4 V:n järjestelmä, josta ei ollut aikaisempia käyttökokeuksia. Projektin alkuvaiheessa tutkimme uuden 2,4 V:n järjestelmän luotettavuutta käytännön olosuhteissa kahdella POC-mallilla (Proof of Concept). Testi suoritettiin Keniassa Nairobien pohjoispuolella sijaitsevalla vuoristoalueella, jossa testihenkilöt koe-käyttivät prototyyppejä noin kuukauden ajan. Testin avulla halusimme saada myös palautetta valaisimen rakenteen ja materiaalien soveltuvuudesta kehitysmaolosuhteisiin sekä yleisesti palautetta ensimmäi-

sistä käyttäjäkokemuksista.

Ennen valaisimen rakenteen ja valmistettavuuden suunnittelua oli tunnettava mahdollisimman hyvin tuotantoprosessi, johon valaisin suunniteltiin. Tuotekehitysprosessin alussa Lumivio Oy:llä ei ollut esittää tutkittua tai hyväksi havaittua mallia tuotantoprosessista tai liiketoimintamallista. Kokoonpanoprosessin hahmottamiseksi tutkin vaihtoehtoisia Lumivio Oy:n esittämiä malleja SWOT-analyysillä.

Opinnäytetyöprojektin loppupuolella suunnittelin

yhdessä Lumivio Oy:n kanssa käytettävyystudiumuksen, jolla halusimme kartoittaa viimeisimmän prototyypin käyttäjäkokemuksia valaisimen todellisessa käyttöympäristössä. Tutkimus oli mahdollista toteuttaa luotainmenetelmällä Street Children Empowerment Foundation/Ghana (SCEF) –järjestön avustuksella Ghanassa Länsi-Afrikassa. Tutkimuksen sijoittuminen opinnäytetyöprosessin loppupuolelle ei kuitenkaan mahdollistanut tutkimustuloksien sisällyttämistä lopputyöhön. Tätä kirjoittaessani tutkimus oli kuitenkin edennyt jo loppuvaiheeseen ja ensimmäisiä palautteita oli odotettavissa lähiaikoina.



Kuvio 7. Malli tutkimustiedon siirtämisestä muotoiltavaan tuotteeseen



### 3. AIHEEN TAUSTAT

#### 3.1 Valon tarve ja käyttö kehitysmaissa

YK:n kehitysohjelma UNDP luokittelee sähkön ja valon puutteen yhdeksi maailman suurimmista inhimillisen ja taloudellisen kehityksen esteistä (Aulio, 2012). Kehitysmaissa, erityisesti Afrikassa Saharan eteläpuolisilla alueilla, sähköverkon ulkopuolella asuu reilusti yli puolet väestöstä. Koko Afrikassa elää jopa 600 miljoonaa ihmistä ilman mahdollisuutta liittyä sähköverkkoon. (OECD/IEA 2013)

Kehitysmaissa valon puute ei ole akuuttia vain maaseudulla, vaan sähkön ja valon puutteesta kärsitään yleisesti myös kaupungeissa, sillä sähköntuotanto on riittämätöntä ja sähköverkot huonokuntoisia. Katkokset sähkön jakelussa ovat yleisiä ja ne sijoittuvat usein pimeään aikaan vuorokaudesta, jolloin sähköä tarvitaan eniten.

Kehitysmaiden köyhimmillä alueilla, kuten Afrikan maaseudulla, pääasiallisena valonlähteenä käytetään fossiililla polttoaineilla toimivia valaisimia, kuten kerosiini-lyhtyjä. Lyhtyjien käyttö kuluttaa maailmanlaajuisesti vuosittain jopa 77 miljoonaa litraa kerosiinia, ja kulutus kasvaa väestön kasvun mukana aiheuttaen kokonaisuudessaan valtavat päästöt (WHO, 2011). Kerosiinilla ja muilla fossiililla polttoaineilla toimivien valaisimien käyttö on kallista ja vähentävät luonnonvarat nostavat polttoaineiden hintoja edelleen. Köyhimmissä osissa Afrikkaa valaisuun käytetään jopa yli puolet kaikista käytettävissä olevista tuloista. Kallis energia johtaa valon säästeliää-

seen käyttöön, jolloin valoa ei riitä esimerkiksi opiskeluun tai muuhun elintasoja pitävällä elämällä edistävään toimintaan.

Kerosiini-lyhtyjien lisäksi valonlähteenä sähköverkkojen ulkopuolella käytetään yleisesti kynttilöitä ja soihtuja. Tavallisin sähkövalo on vaihdettavilla paristoilla toimiva taskulamppu, jota käytetään liikkuttaessa ulkona pimeällä. Afrikassa myytävät taskulamput ovat usein kiinalaisia halpatuotteita, joita ei ole suunniteltu haastaviin olosuhteisiin. Näiden valaisimien elinkaari jää usein varsin lyhyeksi, ja ne tuottavat harmia käyttäjille epäluotettavuuden takia. Valaisimista voi löytyä vakavia vikoja jo kahden kuukauden käytön jälkeen. (Mink ym. 2010, 1)

Kerosiini-lyhtyjät, soihdut, kynttilät ja taskulamput tarjoavat hyvin rajallisen tavan käyttää valoa. Valo on himmeää ja valaisuun käytettävä energia kallista. Helppokäyttöisille ja käyttökustannuksia säästäville valaisimille, joiden käyttöä ei tarvitse rahan säästämisen takia rajoittaa, on kehitysmaissa ilmeinen ja suuri tarve. Vaihtoehtoisilla energiamuodoilla toimivat valaisimet yleistyvät kehitysmaissa nopeasti. Viime vuosien aikana markkinoille on tullut useita valaisimia ja tuotepereheitä, jotka on suunniteltu erityisesti kehitysmaiden haastaviin ympäristöolosuhteisiin.

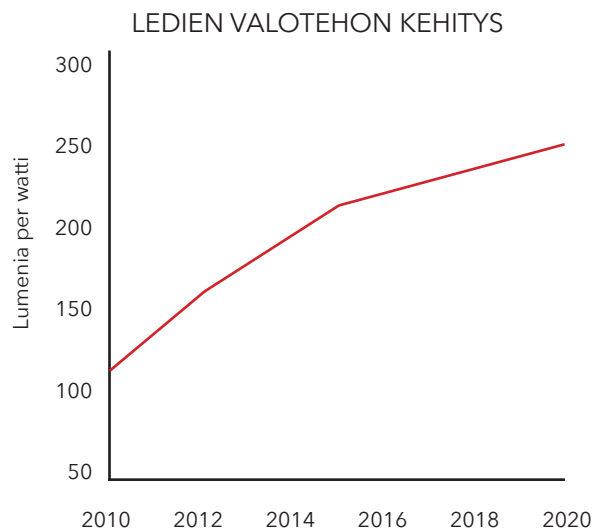
Suurin osa afrikkalaisista valitsee tänä päivänä valaisimen ensisijaisesti hinnan perusteella. Esimerkiksi Saharan eteläpuoleisessa Afrikassa puolet väestöstä ansaitsee alle yhden dollarin päivässä (Mubila ym. 2012). Kymmenenkin dollarin kertainvestointi on sil-



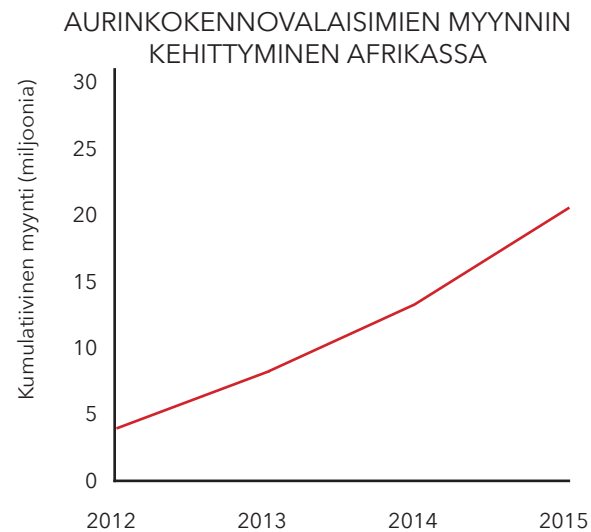
Kuvio 8. Mess of Wires (Arttu Manninen)



Kuvio 9. Lamp (shortie66)



Kuvio 10. Dahlberg analysis, Lighting Africa 2013a, 52 muukaan.



Kuvio 11. Dahlberg analysis, Lighting Africa 2013a, 16 muukaan.

loin varsin mittava. Tällä hetkellä edullisten, hyvien ja laadukkaiden valaisimien tarjonta markkinoilla on vielä varsin suppeaa, mutta teknologioiden laskeva hinta ja kuluttajien tietoisuus aurinkokennovalaisimien tarjoamista eduista on kasvattanut kysyntää rajusti. Perusvalaisimien lisäksi markkinoita avautuu kysynnän kasvun myötä myös tarkasti eri käyttötarkoituksiin suunnitelluille valaisimille. (Lighting Africa 2010, 11.)

### 3.2 LED- ja aurinkokennotekniikan kehitys

Aurinkoenergian talteenotto ja muuttaminen sähköksi on keksintönä jo yli sata vuotta vanha, ja led-valonlähteitäkin on valmistettu vuosikymmeniä. Valkoista valoa tuottava led kehitettiin kuitenkin vasta 1990-luvun puolessa välissä, jonka jälkeen valontuottokykyä on saatu parannettua vuosi vuodelta. Vuonna 2011 led-valoputkilla saatiin tuotettua 2-3 kertainen määrä valoa vastaavantehoisiin loisteputkiin verrattuna (Laatikainen 2011).

Parhaimmillaan valkoisen ledin hyötysuhde on nykyään 150 lm/W ja ledeillä uskotaan saavutettavan tulevaisuudessa jopa 300 lm/W:n hyötysuhde. Käytännön sovelluksissa led jää kuitenkin aika paljon jälkeen teoreettisesta maksimihyötysuhteesta. Esimerkiksi lämpimän valon värilämpötilan saamiseksi ledin pintaan on sivetävä punertava fosforipinnoite, jonka suhteellisen matala hyötysuhde vähentää valonlähteen kirkkautta. Led on joka tapauksessa energiatehokkain tapa tuottaa valoa, ja se soveltuu erinomaisesti heikkovirtalaitteiden valonlähteeksi. (Suihkonen 2013.)

Ledien lisäksi aurinkokennojen ja myös akkujen suorituskyky on kasvanut viime vuosina samaan aikaan, kun niiden valmistuskustannukset ovat laskeneet. Kehitys mahdollistaa yhä pienempien ja käytökelpoisempien valaisimien valmistamisen.

### 3.3 Aurinkokennovalaisimien hinnan muodostus

Vuonna 2010 elektroniikkakomponentit ja niiden valmistus muodostivat yli 70 % Afrikassa myytävien aurinkokennokäyttöisten valaisimien hinnasta. Seuraavaksi suurimmat kustannukset syntyivät myyntiketjusta, jotka olivat 13 %:sta jopa 47 %:iin. Kuljetuskustannuksien, verojen ja maahantuontiin liittyvien maksujen osuus oli noin 10-30 %. Valaisimien kokoonpano ja kuoriosat muodostivat vain 3-7 % valaisimien jälleenmyyntihinnasta. (Lighting Africa 2010, 51.)

Laadukkaiden aurinkokennovalaisimien keskimääräinen myyntihinta Afrikan markkinoilla oli vuonna 2012 oli noin 30 dollaria (Lighting Africa 2013a, 53). Edullisimmillaan laadukas aurinkokennovalaisin maksoi noin 15 dollaria. Sivulla 9 kuviossa 12 esitetty ennuste hintakehityksestä kertoo voimakkaasti halpenevan elektroniikan mahdollistavan lähitulevaisuudessa laadukkaiden noin 10 dollarin hintaisten valaisimien valmistuksen. Elektroniikka muodostaa yhä pienemmän osan valaisimien tuotantokustannuksista.

Kehittyvien maiden köyhimmälle väestölle jo viidenkin dollarin investointi on mittava, joten elektroniikkakustannusten lisäksi valmistajien on pys-



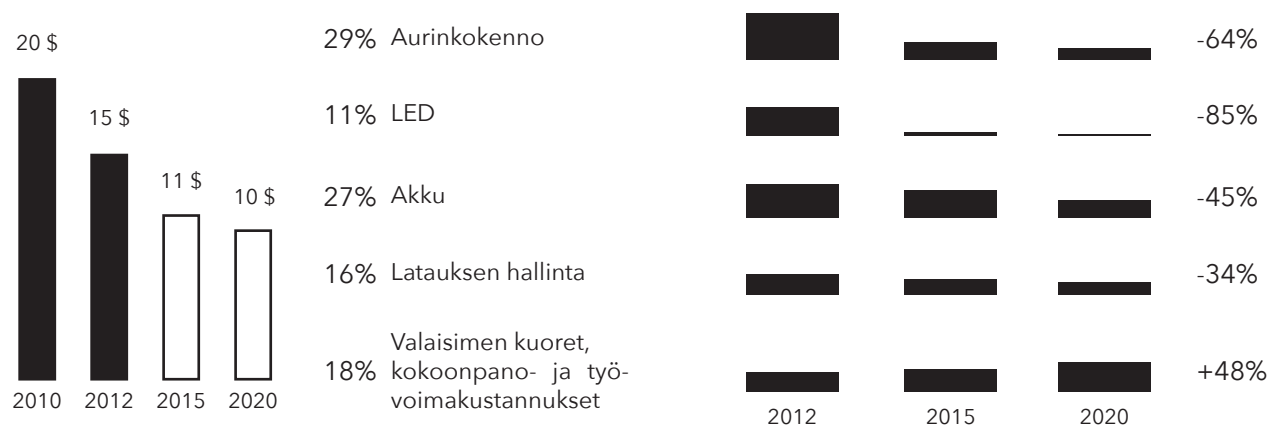
tyttävä pienentämään muita kustannuksia, kuten kuviossa 14 esitettyjä valaisimien kokoonpano-, varastointi-, kuljetus- ja jälleenmyyntikustannuksia. Avainasemassa on erilaisten rahoitus-, jälleenmyynti- ja tuotantomallien kehittäminen. (Lighting Africa 2013a. 40, 54-80.) Kehitysmaissa suuria haasteita ovat myös kehittymätön infrastruktuuri sekä epävakaa poliittiset olosuhteet, jotka vaikeuttavat tuotteiden jalkautumista markkinoille.

### 3.4 Valaisimien laatuongelmat Afrikassa

Suurin osa kehittyvistä maista sijaitsee ilmastovyöhykkeillä, joissa sääolosuhteet ovat elektroniikkatuotteille erittäin haastavia. Esimerkiksi tropiikissa ilmasto on kuuma ja kostea ympäri vuoden ja aavikkoilmasto on kuivaa ja kuumaa. Lämpötilojen vaihtelut yön ja päivän välillä voivat olla suuria. Kehitysmaissa valaisimia käytetään paljon ulkona, jossa ne joutuvat helposti kosketuksiin voimakkaan aurionvalon, lian ja pölyn kanssa. Mukana kuljetettavien valaisimien riski tippua maahan tai tulla ronskisti käsitellyksi on suuri. Elektroniikkatuotteiden kannalta erityisen haitallista on niiden joutuminen kosketuksiin veden ja ilmankosteuden kanssa (Lighting Africa 2013b, 1).

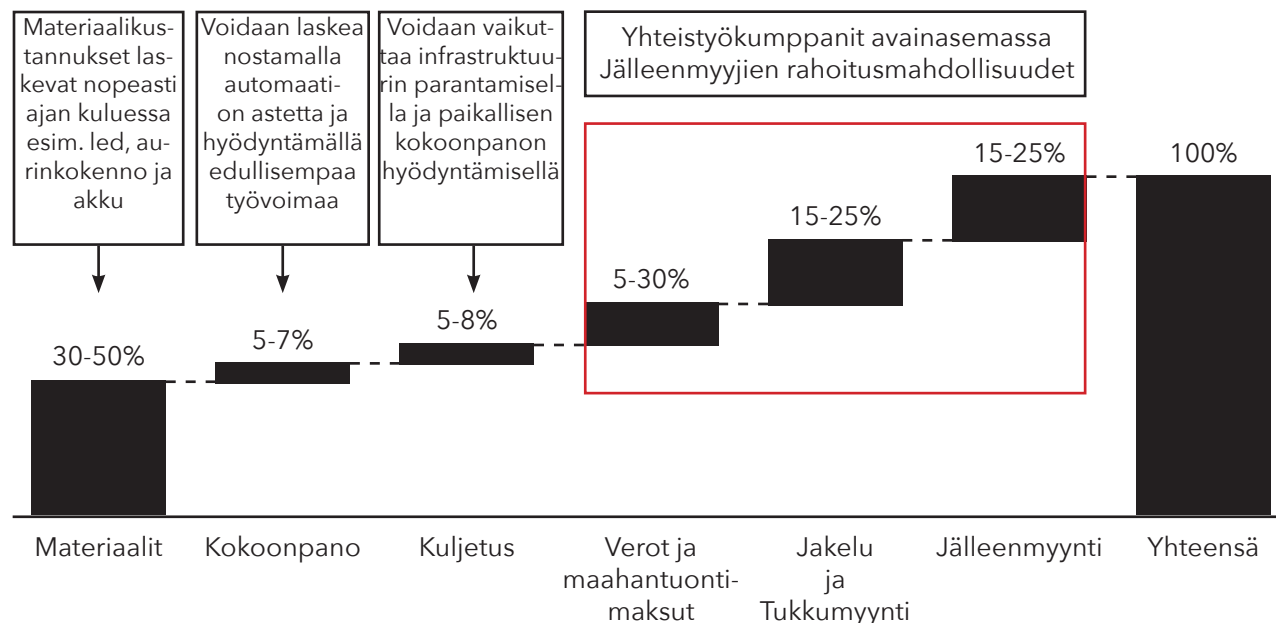
Monet kehitysmaissa myytävät pienvalaisimet ovat halpatuotteita, joita ei ole suunniteltu haastaviin ympäristöolosuhteisiin. Elektroniikkatuotteissa tärkeä suojaus korroosiota vastaan on puutteellinen tai sitä ei ole lainkaan. Tästä syystä elektroniikka vaurioituu nopeasti ja aiheuttaa ongelmia käyttäjille. Kosteassa ilmastossa elektroniikan käyttöikä voi lyhimmillään

#### AURINKOKENNOVALAISIMIEN VALMISTUSKUSTANNUSIEN HINTAKEHITYS

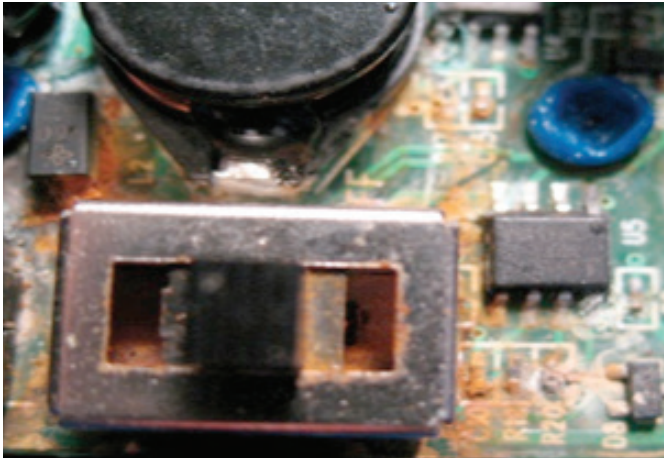


Kuvio 12. Dahlberg analysis, Lighting Africa 2013a, 50 mukaan.

#### MAHDOLLISUUDET LASKEA AURINKOKENNOVALAISIMIEN HINTOJA



Kuvio 13. Dahlberg analysis, Lighting Africa 2013a, 40 mukaan.



Kuvio 14. Suojaamattoman elektronian vaurioita (Corrosion of Electronics 2013, 1)



Kuvio 15. Vaurioitunut suojaus (Corrosion of Electronics 2013, 6)

jäää jopa parin kuukauden mittaiseksi. (Mink ym. 2010, 8.) Myös korroosiota vastaan suojatut elektronikat ovat alttiita vaurioille, jos niiden suojausta ei ole tehty huolellisesti tai käydyt materiaalit eivät ole olleet riittävän laadukkaita. Pitkäikäisen elektronian valmistuksessa tärkeintä onkin kiinnittää huomiota huolelliseen suunnitteluun ja laadun valvontaan. (Lighting Africa 2013b.)

Nykyään huono tuote floppaa nopeasti Afrikan markkinoilla. Vaikka kuluttajilla on vähän rahaa käytössään, on heillä jo hintojen laskun myötä jonkin verran valinnan varaa tuotteissa. Käyttäjät palaavat helposti myös perinteisiin fossiililla polttoaineilla toimiviin valaisimiin uudenlaisten valaisimien peittäessä tuotelupauksensa. Esimerkiksi Keniassa monet huonolaatuiset paristokäyttöiset taskulamput ovat menettäneet kuluttajien luottamuksen, ja näiden valaisimien huono maine on vaikeuttanut myös hyvälaatuisten vaativat ympäristöolosuhteet täyttävien aurinkokennovalaisimen myyntiä ja yleistymistä. (Mink ym. 2010)

### 3.5 Lighting Global -ohjelma ja laatustandardit

Lighting Global on kansainvälisen rahoitusyhtiö IFC:n ja Maailman pankin rahoittama ohjelma, joka on perustettu parantamaan sähköverkkojen ulkopuolelle jäävien kehitysmaa-alueiden mahdollisuuksia valon saantiin. Ohjelman tarkoituksena on nopeuttaa nykyaikaisten ja käyttäjän kannalta vastuullisesti tuotettujen valaisimien tarjonnan lisääntymistä kehitysmaissa. (Lighting Global 2014a.)

Lighting Global-ohjelma edistää laadukkaiden valaisimien lisäämistä Lighting Africa- ja Lighting Asia-ohjelmien avulla tuottamalla valaisimien suunnittelijoille ja valmistajille markkinatutkimus- ja käyttäjätietoa sekä tarjoamalla asiantuntijapalveluja liiketoimintamallien suunnittelussa.

Lighting Global-ohjelman tarkoituksena on ollut ostajan aseman turvaaminen markkinoilla. Ohjelma on laatinut minimivaatimukset vastuullisesti ja kestävän kehityksen periaatteilla tuotetuille valaisimille. Valaisimien tulee täyttää laatustandardi IEC/TS 62257-9-5, joka määrittelee valaisimien vähimmäislaatuvaatimukset. Vähimmäisvaatimuksissa edellytetään tuotteen totuudenmukaista markkinointia, valaisimen rakenteen kestävyyttä, elektronian laatua, valonlähteen laatua ja takuuta, joka vuoden 2013 standardin mukaan on vähintään 6 kk - vuoden 2014 alusta alkaen 12 kk. (Lighting Global 2014b.) Ohjelman perustamisen jälkeen laatustandardit täyttävien valaisimien markkinat ovat kasvaneet Afrikassa vuosittain jopa 90-95 % (Lighting Africa 2013a, 8; World Bank 2013).

### 3.6 Vastuullisesti tuotetut valaisimet Afrikassa

Viime vuosien aikana kehitysmaiden markkinoille jalkautuneet laadukkaat kotitalouksille suunnatut aurinkokennovalaisimet voidaan jakaa viiteen kategoriaan: 1. valaisinjärjestelmät, 2. monikäyttöiset valaisimet, joissa lisäominaisuutena on esimerkiksi puhelimen latausmahdollisuus, 3. lyhdyt, 4. työ/pöytävalot ja 5. taskulamput. Useimmat valaisimista on suunniteltu mahdollisimman helposti kannettaviksi

tai mukana kulkeviksi. Kaikissa valaisintuotteissa on ensisijaisesti pyritty tarjoamaan valonlähde kestävässä kuorissa. Joissakin valaisimissa on lisäominaisuuksia, kuten puhelimen latausmahdollisuus. Se on tänä päivänä on yksi halutuimmista lisäominaisuuksista, sillä myös matkapuhelimien määrä kasvaa nopeasti kehitysmaiden sähköttömillä alueilla. (Lighting Africa 2013a, 32.)

Aurinkokennovalaisimissa yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on käyttöaika. Useimmissa Lighting Global -laatustandardilla hyväksytyissä valaisimissa se on vähintään viisi tuntia päivittäin, joka päivän-tasaajan korkeudella riittää jatkamaan päivää lähes puoleen yöhön. Isoilla aurinkopaneeleilla varustetut valaisimet saattavat toimia jopa vuorokauden. Joissakin valaisimissa on mahdollisuus valita kaksi eri valotehoa, jolloin valon käyttöaika voidaan tarvittaessa pidentää tai valon tehoa kasvattaa. (Lighting Global 2014c.)

Lähes poikkeuksetta kaikki suurimpien valmistajien valaisimet on valmistettu muovisista kuorikappaleista ruiskuvalamalla, joka menetelmänä soveltuu isoihin valmistussarjoihin. Valaisimet valmistetaan pääasiassa teollistuneissa maissa. Yrityksiä, jotka kehittävät ja tuovat valaisimia markkinoille, ovat muun muassa D-light Design, Barefoot Power Ltd., Beta Lights, Fosera Group, Greenlight Planet, Global Telelinks, Nokero International Ltd., Nuru Energy, Schneider Electric, Sunlite ja Pharos Off-Grid Technologies. (Lighting Africa 2013a, 97-98; Lighting Africa 2010, 18.)



Kuvio 16. Barefoot Power Powa Pack 5W



Kuvio 18. BoGo Light



Kuvio 17. D-light-tuoteperhe



Valaisimien jakelu kehityksissä voi tapahtua monella eri tavalla. Valaisimet voidaan myydä jälleenmyyjille, suoraan käyttäjille tai myynnistä vastaa franchise-yrittäjä. Lisäksi yritykset tekevät yhteistyötä järjestöjen ja rahoituslaitosten kanssa. Mikro-yrittäjät voivat olla mukana toiminnassa pienellä pääomalla leasing-periaatteella. Huolto- ja varaosapalvelu kuuluu yleensä jälleenmyyjänä toimivalle yrittäjälle. (Lighting Africa 2013a, 69-70.)

Valaisimien huolto ja takuukorjaukset ovat olleet Afrikan markkinoilla ongelmallisia. Edullisten valaisimien kannattamaton huoltotoiminta ei innosta valmistajia eivätkä kulujajat läheskään aina tiedä takuusta. Valtaosa rikkoituneista valaisimista vaihdetaan uusiin ilman korjausta, sillä huoltotoiminnan organisointi on yrityksille hankalaa ja kallista. Huoltoverkosto edellyttäisi esimerkiksi tarvittavien työntekijöiden kouluttamista ja ylläpitoa. Yhteistyö paikallisten toimijoiden kanssa on kuitenkin synnyttänyt jonkin verran itsenäisten elektroniikka-asentajien ja puhelinkorjaajien ylläpitämiä huoltopisteitä, joissa asiakkaat saavat korjautettua valaisimensa edullisesti. Käyttäjille valaisimien huollattaminen takuun jälkeen on ollut varsin edullista verrattuna uuden ostamiseen, joten huoltotoiminta on ollut paikallisille pienyrittäjille menestyksekkästä. (Lighting Africa 2013a, 77-80.)

Tulevaisuudessa uudenlaiset toimintamallit ja käyttäjää lähellä olevat palvelut tulevat yhä tärkeämmiksi. Valaisimien myynnin voimakas lisääntyminen ja halpenevan elektroniikan myötä yhä edullisempien tuotteiden tarjoaminen yhä laajemmille asiakas-

ryhmille tulee mahdolliseksi. Markkinoilla on tilaa myös uusille edullisille tuotteille. Tarjonnan kasvessa ja monipuolistuessa markkinoille pääseminen ja kilpailijoista erottautuminen edellyttää kuitenkin, että tuote kohtaa yhä paremmin käyttäjän tarpeen ja pystyy vakuuttamaan käyttäjän laadulla. ”Markkinoita tulevat hallitsemaan ne, jotka pystyvät kehittämään kestävämpiä ja käyttökelpoisempia tuotteita ja tuotteiden ominaisuuksia” (Lighting Africa 2010, 11).

## VALAISTUKSEN OSATEKIJÄT

-TEHO

-VALOJAKO

-SUUNTAUS

-HÄIKÄISYSUOJAUS

-PINTAKIRKKAUS-

JA LUMINANSSI-

SUHTEET

-VÄRILÄMPÖTILA / VÄRI-

OMINAISUUDET

Kuvio 19.

### 3.5 Valaistuksen suunnittelu

Valaisimet suunnitellaan ensisijaisesti helpottamaan näkemistä. Valo piirtää ympäröivän tilan esiin ja luo tilaan tunnelman. Siihen ei voi koskea, mutta sen voi kokea vahvasti. Ympäristöissä, joissa on vähän valoa, valolla luodaan turvallisuuden tunnetta. Mitä enemmän näemme ympärillemme, sitä turvallisemmaksi koemme tilan.

Valaistuksen tarkoituksena on helpottaa erilaisten tehtävien suorittamista pimeän aikana, tehdä ympäröivät kohteet helposti havaittaviksi, jäsentää tilaa, ohjata huomiota ja liikkumista sekä muodostaa ympäristön kanssa esteettisesti miellyttävä kokonaisuus. Hyvä valaistus saadaan aikaan, kun valaistuksen eri osatekijät ovat tasapainossa. Osatekijöitä ovat riittävä valaistusteho, tehokas häikäisy suojaus, oikeat pintakirkkaus ja luminanssisuhteet, oikea suuntaus ja tilaan sopivat väriominaisuudet. (Launis ym. 2001, 266; Innojok 2013.)

Valaistuksen voimakkuutta pidetään yleisesti tärkeimpänä hyvän näkemisen perusedellytyksenä. Voimakkuus ei kuitenkaan yksin takaa hyvää näkemistä ja valon tarpeen kokemisessa on paljon yksilöllisiä eroja. Tarkka näkeminen edellyttää riittävän tasaista valoa niin työkohteessa kuin sen lähiympäristössä. Lähiympäristönä pidetään valaistusstandardin SFS-EN12464 mukaan puolen metrin vyöhykettä työn edellyttämän katselualan ympärillä. Suuri valaistustason muutos aiheuttaa helposti häikäistymistä tai näkösuorituksen heikentymistä. Tämä johtuu siitä, että silmä pyrkii mukautumaan vallitsevaan



valotasoon. Hyvän näkemisen kannalta valon riittävän laaja ja tasainen jakautuminen ympäristöön on ensiarvoisen tärkeää. (Launis & Lehtelä 2011, 267-268.)

Valonlähteen sijainnilla on myös näkemisen kannalta suuri merkitys. Valonlähde täytyy pystyä sijoittamaan niin, että valo ei aiheuta heijastumia, valonlähde ei ole suojaamattomana näkökentässä ja valon tuleminen työalueelle ei varjosta mikään. Näkökentän luminanssiarvojen eli valotiheyksien pitää olla riittävän suuria ja niiden erojen riittävän pieniä. Tällöin häikäistymistä ei synny esimerkiksi vierekkäisten kirkkaiden ja tummien pintojen takia. Hyvä valaistus voidaan saada aikaan pelkällä yleisvalaistuksella, mutta usein on kuitenkin syytä käyttää myös kohdevaloa. Valaisimen säädettävyys on suositeltava ominaisuus ja parantaa kätettävyyttä. (Launis & Lehtelä 2011, 275-276.)

Eri lampputyypin tuottama valo on erilaista. Valon värivaikutelma syntyy siitä, mille spektrin alueelle valon aallonpituudet painottuvat. Valkoinen valo voi olla kylmää tai lämmintä, ja sitä kuvataan värilämpötilalla, joka ilmoitetaan Kelvin-asteina. Valoa sanotaan lämpimäksi, kun sen värilämpötila on alle 3300 Kelvin-astetta ja kylmäksi, kun värilämpötila ylittää 5300 Kelvin-astetta. Valkoinen valo syntyy joko siten, että koko spektri on mukana tai siten, että valo koostuu sopivassa suhteessa valon eri spektrin osista. Valon värintoistokyky riippuu valon spektrin jatkuvuudesta. Valon värisävyn kokeminen on subjektiivista. Yleensä voimakas valaistus tuntuu luonnollisemmalta, kun se on ”kylmää”, ja vastaavasti hämärässä valaistuksessa ”lämmin” valo koetaan

miellyttävämpänä. (Launis & Lehtelä 2011, 274-275.)

### 3.7 Muovimateriaalit ja materiaalien erityisvaatimukset kehitysmaissa

Muovit ovat nykyaikaisia ja helposti työstettäviä valmistusmateriaaleja, joiden käyttö lisääntyy tuotteissa jatkuvasti. Muovien tekninen kehitys mahdollistaa entistä keveämmät, vähemmän materiaalia sisältävät ja yhä pitkäikäisemmät tuotteet. Monet nykyiset tuotteet eivät olisi edes mahdollisia ilman muoveja. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi cd-levyt tai kannettava tietokone. (Kurri ym. 2002, 20.)

Muoveilla on lukemattomia hyviä ominaisuuksia ja helposti muovattavana materiaalina se tarjoaa laajasti mahdollisuuksia tuotesuunnitteluun. Hyviä ominaisuuksia ovat helpon muovattavuuden lisäksi muun muassa edullinen hinta, keveys, lujuus, hyvä korroosion kesto, läpinäkyvyys, läpivärjättävyys, materiaalin räätälöitävyys ja kierrätettävyys. (Kurri ym. 2002, 20.)

Erilaisia muoveja ja muovilaatuja on tuhansia ja niillä on omat ominaisuutensa. Ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla apu- ja täyteaineilla. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset uv- ja lämpöstabilaattorit, joiden avulla pyritään estämään auringonvalon muovia haurastuttava vaikutus. Lisäksi täyte- ja apuaineilla voidaan vaikuttaa muun muassa muovien kemikaalien, lämpötilan, kosteuden ja naarmuuntumisen kestoon sekä iskulujuuteen. (Kurri ym. 2002 27-31.) ”Muovituotteita suunniteltaessa on muistettava se, että muovit ovat viskoelastisia materiaaleja. Tämä

tarkoittaa sitä, että kuormituksen alaisena niissä tapahtuu muodonmuutosta ja niiden ominaisuudet ovat myös riippuvaisia lyhyt- ja pitkäkestoisista käyttölämpötiloista” (Nykänen 2013).

Muovituotteiden suunnittelussa materiaalivalinnoilla on erityisen tärkeä rooli ja sen takia suunnittelutyössä on tehtävä yhteistyötä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa muovituotteiden valmistajien ja materiaalitoimittajien kanssa. Tuotteen teknisen suunnittelun tavoitteena on yhdistää tuotteen käyttötarkoitukseen sopiva materiaali ja muotoilu sekä valmistettavuuden kannalta hyvin suunniteltu muotti. Hyvin suunniteltu tuote sisältää kaikki tuotteelta edellytetyt ominaisuudet, ja sen materiaalien käyttö on minimoitu. (Nykänen 2013.)

Kehitysmaissa käytettäviltä tuotteilta odotetaan ennen kaikkea kestävyyttä ja edullisuutta. Valaisimessa runko suojaa elektroniikkaa, jonka luotettava toimiminen on ensiarvoisen tärkeää. Tuotteiden täytyy kestää tarvittaessa kovaakin käsittelyä. Muovista valmistettavan valaisimen suunnittelussa on huomioitava muun muassa materiaalin iskulujuus ja naarmuuntumisen kesto. Päiväntasaajan tuntumassa käytettävän muovituotteen materiaalin valinnassa on huomiotava erityisesti uv-valon kesto. Monet muovilaadut kestävät huonosti uv-säteilyä, joka on riittävän tehokas rikkomaan muovin polymeerirakenteen sidoksia. Ultraviolettisäteily voi aiheuttaa muoveissa kellastumista, haurastumista, säröilyä tai samentumista. (Kurri ym. 2002, 29.)

#### 4. KONSEPTIVALAISIMEN ARVIOINTI JA KEHITYSTARPEET

Lähtökohtana Lumivio Oy:lle suunniteltavan aurinkokennovalaisimen tuotekehitystyölle toimi syksyllä 2012 konseptoimani prototyypivalaisin, jossa tutkin minkälaisia käyttötarpeita valaisimella voisi olla kehityksmaissa ja minkälaisilla ominaisuuksilla valaisin voisi helpottaa käyttäjien arkea. Aurinkoenergialla toimivia vaihtoehtoja esimerkiksi kerosiinilyhdyille oli markkinoilla jo useita. Taskulampun kokoisia valaisimia ei sen sijaan ollut juurikaan tarjolla, joten konseptivalaisimessa lähdin tutkimaan

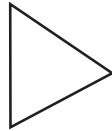
mukana kuljetettavan valaisimen mahdollisuuksia. Konseptivalaisimen suunnittelussa tähtäsin monikäyttöisen valon tarjoamiseen sähköverkkojen ulkopuolelle. Suunnittelun lähtökohtana pidin käyttäjää, joka tarvitsee valoa vuorokauden aikana useassa eri paikassa ja hän tarvitsee sitä myös tarkkaa näkemistä vaativiin töihin, kuten esimerkiksi ompelamiseen tai lukemiseen. Valaisimen piti helpottaa käyttäjän selviytymistä arkielämän haastavista tilanteista eikä tuottaa lisää ongelmia, kuten esimerkiksi ylimääräistä vaivannäköä akkujen lataamiseksi. Konseptivalaisimessa pyrin yhdistämään taskulampun ja pöytälampun ominaisuuksia sekä mahdollistamaan

valaisimen käytön tarvittaessa myös yleisvalona. Konseptointivaihe tuotti prototyypin, joka oli mahdollista ripustaa monella eri tavalla, asettaa tasolle niin, että valoa pystyi suuntaamaan ja ripustamaan kaulaan kulkuvaloksi niin, että kädet jäivät vapaiksi työn ja tarpeellisten askareiden tekemiselle.

Konseptivalaisimen runko muodostui halkaisijaltaan 50mm paksusta ja 170mm pitkästä akryyliputkesta. Putken halkaisijaksi valitsin 50mm siksi, että se oli yleisesti varastotuotteena myytävä standardikoko ja se mahdollisti helposti elektroniikan sijoittelun putken sisään. Materiaalivahvuus oli 2mm.



Kuvio 20. Work (Jeff Attaway)



Kuvio 21.



Kuvio 22.



Valaisimen sisäosat, jotka pitivät elektroniikkaa paikallaan ja toimivat valaisimen varjostimena, muodostuivat konseptivalaisimessa profileista, jotka oli valmistettu pääasiassa kuumalangalla taivutetuista akryylilevyistä. Putken päädyt oli suljettu polyeteenimuovista valmistetuilla mustilla muovitulpilla. Toiseen muovitulppaan oli sijoitettu kuminen virtakatkaisijan painike. Valaisimen hihna oli pyöreäprofiilista polypropeeninyöriä ja jalustaosa oli valmistettu lämpötaivutetusta polykarbonaatista.



Kuvio 25.



Kuvio 23.



Kuvio 24.



Kuvio 26.





Kuvio 27.



Kuvio 28.



Kuvio 29.



Kuvio 30.

Konseptivalaisimen käytettävyydestä tein vuoden 2012 marras- ja joulukuun aikana perheeni kanssa kesämökkiolosuhteissa. Perheeseeni kuuluu itseni lisäksi vaimo ja kaksi lasta, joista toinen oli testien aikana viisi ja toinen kymmenen vuotta. Tietoa valaisimen käytettävyydestä keräsin sekä havainnoimalla valaisimen käyttöä että eläytymällä itse käyttäjän rooliin. Testeillä halusin saada tietoa siitä minkälaisia valaisimen käyttötarpeita esiintyi päivittäisten askareiden yhteydessä, jos käytössä ei ollut sähköverkkoon liitettävää sähkövaloa. Lisäksi halusin selvittää miten konseptivalaisin toimi näissä tilanteissa. Vertasin valaisinta kolmeen paristoilla toimivaan led-valaisimeen: taskulamppuun, otsalamppuun ja lyhtyyn.

Käytettävyydestien aikana valoa tarvittiin pimeän aikana esimerkiksi ruoan laittoon, tiskaamiseen, siivoamiseen, tavaroiden etsimiseen, iltatoimien tekemiseen, ulkokuuussa käyntiin, lukemiseen, veden kantamiseen kaivolta ja halkojen hakemiseen puuliiteristä. Testeissä havaitsin, että lähes kaikkien arkiaskareiden tekeminen edellytti molempien käsien käyttämistä. Käytettävyydestien aikaisessa vaiheessa jo havaitsin, että valaisimen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista oli laaja valojako, joka vähensi valon suuntaamisen tarvetta käytön aikana. Tarpeelliseksi ominaisuuksiksi kaikki käyttäjät kokivat hyvän häikäisysojan ja mahdollisuuden asettaa valaisin tarvittaessa pöydälle tai maahan haluttuun asentoon. Valaisimen ripustusmahdollisuutta pidettiin itsensä selvänä.

Testeissä konseptivalaisimen fyysinen koko tuntui



erityisesti lapsista tarpeettoman suurelta. Kaikki käyttäjät kokivat valaisimen kantamisen kaulassa välillä hankalaksi ja rajoittavaksi kookkaan jalustaosan takia. Jalustasta kuitenkin pidettiin, sillä valo oli nopeasti ja helposti suunnattavissa tarpeen mukaan. Valaisimen pitkä jalustan neljään pisteeseen kiinnittyvä kantohihna koettiin välillä monimutkaiseksi valaisimen ripustustilanteissa. Pitkä hihna todettiin myös turvallisuusriskiksi, sillä se mahdollisti käyttäjän sotkeutumisen hihnaan. Akkujen lataaminen aurinkoenergialla edellytti valaisimen viemistä ulos päivän aikana. Kukaan testihenkilöistä ei mielellään kuljettanut valaisinta mukanaan vaan valaisin vietiin ulos ja jätettiin sinne latautumaan.

Testihenkilöt kokivat konseptivalaisimen vertailussa mukana olevia lamppuja - taskulamppua, otsalamppua ja lyhtyä - käyttökelpoisemmaksi sen monikäyttöisyyden vuoksi. Erityisesti lapset pitivät konseptivalaisimesta ja he jopa kilpailivat valaisimen käytöstä. Uutuuden viehätysten lisäksi syynä tähän oli se, että lamppu mahdollisti laajan alueen näkemisen, jonka lapset kokivat turvallisenä. Taskulamppu ja otsalamppu koettiin monissa tehtävissä rajoittavaksi kapean valokiilan takia. Taskulamppua oli pidettävä kädessä, jotta valo suuntautui toivotulla tavalla. Otsalamppu ei rajoittanut käsien käyttöä, mutta valaisimen käyttöä ei koettu miellyttävänä. Kapea valokiila valaisi vain pienen alueen kerrallaan ja valo häikäisi helposti toisia samassa tilassa oleskelevia henkilöitä. Pienen paristoilla toimivan lyhdyn tuottama valo koettiin testiryhmässä miellyttävänä, mutta sen käyttö rajoittui suurimmaksi osaksi sisätiloissa tapahtuvaan toimintaan, sillä valon kuljetta-

minen mukana edellytti valaisimen kantamista kädessä.

Konseptivalaisimessa testikäyttäjät pitivät erityisesti valon kirkkaudesta ja valon laajasta avautumiskulmasta, joka mahdollisti jopa noin 20 neliömetrin laajuisen alueen valaisemisen. Laaja valon avautumiskulma vähensi valon suuntaamisen tarvetta ja tarjosi tasaista valoa myös silloin, kun valaisin sijoitettiin esimerkiksi työpöydälle käyttäjän käsien ulottuville. Melko kookkaan valoa läpi päästävän varjostinosan käyttäjät kokivat miellyttävänä, kun valoa käytettiin yleisvalona. Häikäisy suojausta pidettiin kuitenkin puutteellisena silloin, kun valaisin sijoitettiin käyttäjän kaulaan.

Konseptivalaisimen arvioinnin pohjalta tein johtopäätöksen, että valaisimen parempi käytettävyys edellytti pienempää kokoa ja yksinkertaisempaa kantohihnaa. Hihnan yksinkertaistamisessa otin tavoitteeksi käytön helppouden ja turvallisuuden. Valaisimen jalustaosan tarkoituksena oli monipuolistaa ripustettavuutta, mutta samalla se monimutkaisti valaisimen käyttöä tarpeettomasti. Jalustaosan totesin ylimääräiseksi osaksi, jos sen tarjoamat valon suuntaamiseen ja pöydälle asettamiseen liittyvät ominaisuudet pystyi siirtämään kantohihnaan tai päätytulppiin (trade-offs). Valaisimen laaja valojako oli valaisimen käytettävyyden kannalta yksi tärkeimmistä ominaisuuksista. Käyttäjän kannalta erittäin tarpeellinen häikäisy suojaus kaipasi parannuksia.



Kuvio 31.

## 5. KOKOONPANOPROSESSIN VALINTA

### 5.1 Kokoonpanoprosessi vaihtoehdot

Tuotteiden suunnittelu ja niiden valmistettavuuden kehittäminen edellyttää tuotteiden valmistus- ja kokoonpanoprosessien tuntemista. Lumivio Oy:n tavoitteena oli toteuttaa valaisimen kokoonpano kehitysmaissa, joten suunnitteluprosessin alussa oli tutkittava mahdolliset kookoonpanotavat, joita valaisimen valmistuksessa oli mahdollista hyödyntää.

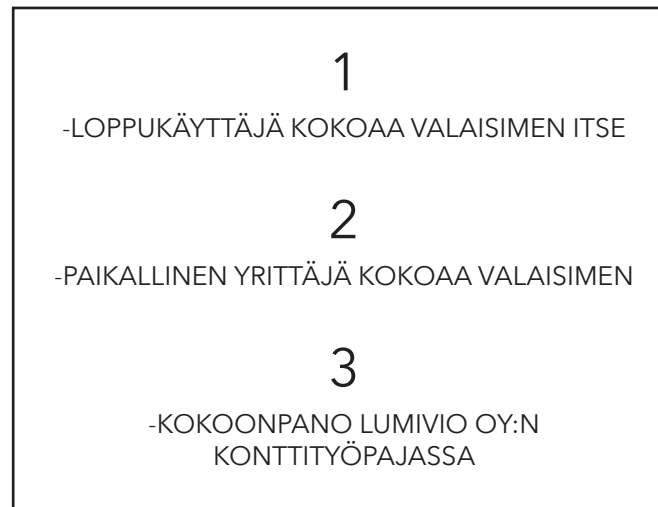
Tuotteiden valmistettavuudella tavoitellaan yksinkertaisempia valmistus- ja kokoonpanomenetelmiä. Yksi valmistusta helpottava ratkaisu on siirtää osa kokoonpanotyöstä asiakkaalle. Tällaisella ratkaisulla voidaan saavuttaa säästöjä kokoonpanossa sekä kuljetus-, pakkaus- ja varastointikustannuksissa, jotka ovat merkittävä osa tuotteiden hinnan muodostumisessa. Esimerkiksi huonekaluteollisuudessa käytäntö, jossa asiakas kokoa itse tuotteen, on nykyään yleinen.

Lumivio Oy:tä kiinnosti valaisimen kokoonpanon siirtäminen loppukäyttäjille tai kehitysmaissa toimiville paikallisille yrittäjille, sillä se oli havainnut paikallisella työllistämällä olevan suurta kysyntää. Paikallisen valmistuksella oli mahdollista laskea loppukäyttäjän tuotteesta maksamaa hintaa. Suurimpana haasteena valaisimen paikallisessa valmistuksessa Lumivio Oy piti kehitysmaiden infrastruktuurin kehittämättömyyttä. Lumivio Oy:n omien kokemusten mukaan myös logistiikka oli vaikeaa, joka haittasi erityisesti pienien tavaramäärien lähettämistä.

Kustannukset lähetettävää tavaraa kohden nousivat korkeiksi. Lumivio Oy halusi kuitenkin löytää ratkaisun paikalliseen valmistukseen, johon se oli ideoinut kolme erilaista ratkaisumallia. Mallit olivat:

1. Rakennussarja, jonka kuka tahansa voi koota itsenäisesti
2. Kokoonpano paikallisten yrittäjien toimesta yrittäjien omissa tuotantotiloissa
3. Piensarjatuotanto työmaakonttiin sijoitetussa kokoonpanolinjastossa.

Kokoonpanomalleja päätin tutkia yhdessä Lumivio Oy:n omistajien kanssa käymällä läpi vaihtoehtojen vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Tiedot kokosin swot-analyysiksi. Lisäksi teimme pienen kokoonpanotestin, jossa neljä testihenkilöä kokosi elektroniikkaa kuvallisten ohjeiden avulla.



Kuvio 32.

### 5.2 Elektroniikan kokoonpanotesti

Elektroniikan kokoonpanotestin tarkoituksena oli löytää rajapinta käsityönä ja teollisesti valmistettavien elektroniikkakomponenttien ja työvaiheiden välille. Tutkimuksessa pyrimme selvittämään yksinkertaisen elektroniikan valmistamisesta työvaiheet, jotka olivat helposti ymmärrettäviä ja opittavia. Lisäksi halusin tutkia miten hyvin tarvittavia työvaiheita pystyi seuraamaan kuvallisista ohjeista. Afrikassa lukutaidon puute on yleistä, joten kuvallisten ohjeiden ymmärtäminen oli tärkeää esimerkiksi rakennussarjan kannalta.

Elektroniikan kokoonpanotestiin osallistui neljä koehenkilöä, joista yhdellä oli aikaisempaa kokemusta elektroniikan tekemisestä. Yksi koehenkilöistä oli kokeillut juottamista pari kertaa. Kahdella ei ollut aikaisempaa kokemusta ollenkaan. Testikokoonpano-ohjeet olivat pääasiassa kuvalliset. Niihin oli kuitenkin lisätty tekstiä, joissa kerrottiin eri elektroniikkakomponenttien tehtävät. Kokoonpanotestissä koehenkilöt suorittivat kaksi tehtävää. Ensimmäisessä tehtävässä elektroniikkakomponentit yhdisteltiin kuvallisten ohjeiden avulla ja toisessa kaksi lediä juotettiin virtapiiriin.

Lopputuloksena testissä oli, että vain yksi neljästä testihenkilöstä pystyi kokoamaan toimivan lampun ohjeiden mukaan ilman ulkopuolista ohjausta. Hän oli testiryhmän ainoa, jolla oli jo aikaisempaa kokemusta elektroniikan rakentamisesta. Elektroniikkavirtapiireissä on erityisen tärkeää, että komponenttien plus- ja miinusnavat sijoitetaan oikein päin.



Kokoonpanotestissä selvisi, että ilman aikaisempaa käytännön kokemusta testihenkilöiden oli hyvin vaikea ymmärtää komponenttien merkitystä tai toimintaperiaatteita pelkästään kuvallisista ja kirjallisista ohjeista. Kuvallista ohjetta tukevaa kirjoitettua ohjetta ei välttämättä edes luettu tai sitä ei ymmärretty riittävän hyvin. Ledien juottaminen virtapiiriin onnistui yhdeltä elektroniikkaa aikaisemmin tehneeltä testihenkilöltä. Muille testihenkilöille juottamistehtävä oli selvästi hyvin haastava ja testihenkilöt kertoivat myös jälkepäin tehtävän olleen todella vaikea.

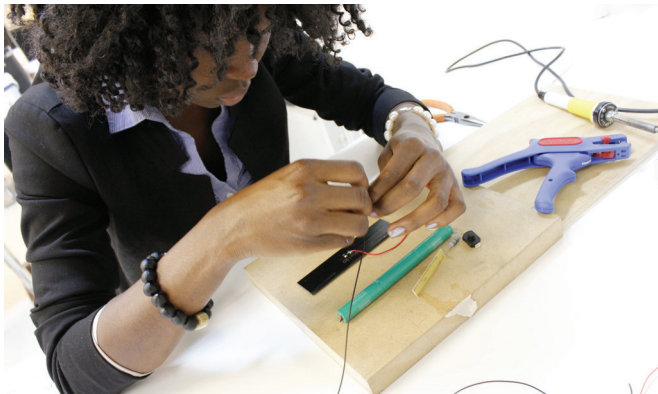
Elektroniikan kokoonpanon käytettävyydestä saatoimme todeta, että kokoonpanon kannalta tarpeellisia ohjeita oli mahdotonta esittää pelkkinä kuvina. Onnistunut lopputulos olisi vaatinut opettajana toimivan henkilön henkilökohtaista ohjausta tai vähintään seikkaperäistä kirjallista ohjeistusta. Kokoonpanotesti osoitti, että melko yksinkertaisenkin elektroniikkatyön tekeminen edellytti opiskelua opettajan ohjauksessa ja käytännön harjoittelua ennen varsinaiseen työhön ryhtymistä.

**VALMISTETTAVUUS**  
KÄSITYÖ VS. TEOLLINEN VALMISTUS

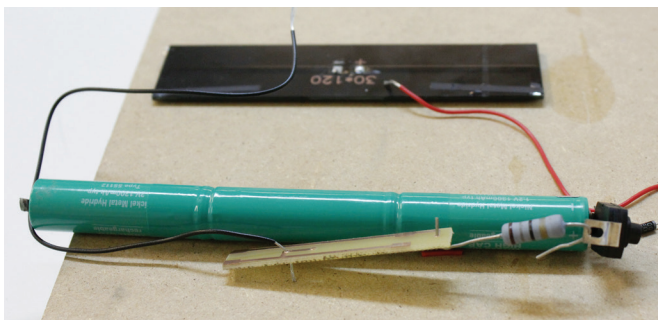
Kuvio 33.



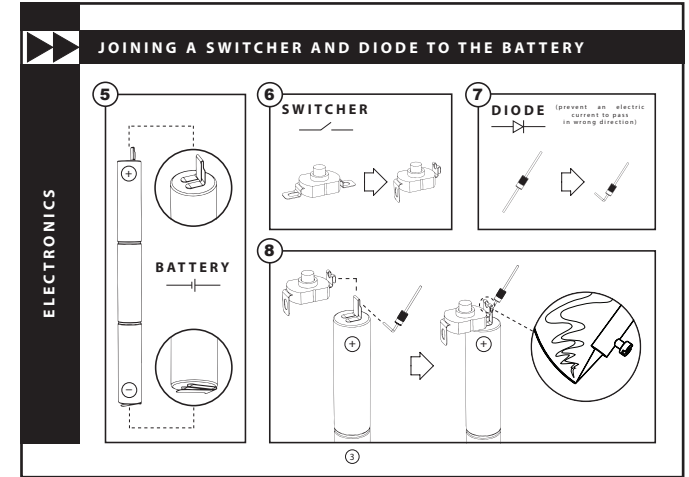
Kuvio 34.



Kuvio 35.



Kuvio 36.



Kuvio 37.



Kuvio 38.





nergiajärjestelmiä työmaakontteihin, joita käytetään Afrikassa erilaisina myymälä- ja työmaatiloina. Projekti innosti Lumivio Oy:tä tutkimaan työmaakonttia yhtenä vaihtoehtona aurinkokennovalaisimen kokoonpanossa. Lumivio Oy:n mukaan konttien saatavuus oli hyvä ja niiden hinta oli varsin edullinen. Lisäksi työmaakonttien rakennushankkeisiin oli mahdollista saada mukaan rahoitusta ja yhteistyökumppaneita.

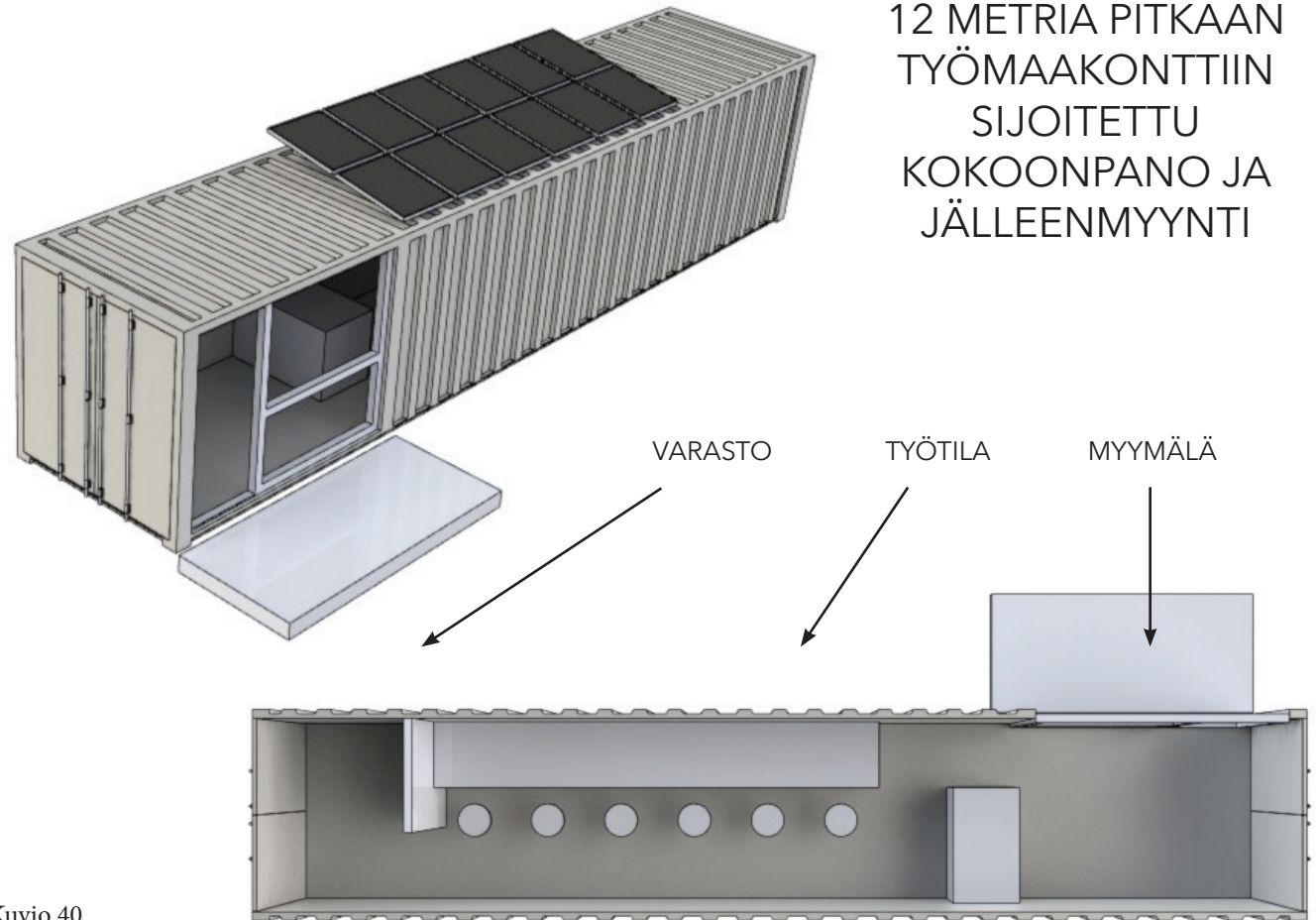
Työmaakonttiin sijoitettava kokoonpanolinjasto tarjosi mahdollisuuden tuottaa valaisimia yhtenäisissä ja hallituissa työskentelyolosuhteissa työmaakontin sijainnista riippumatta. Työmaakontti oli mahdollista suunnitella, varustaa ja tuotantolinja oli mahdollista testata hallituissa olosuhteissa ennen konttien viemistä kehitysmaaolosuhteisiin. Tuotantovälineistöön ja valmistukseen liittyvät ongelmat olivat siten ratkaistavissa etukäteen ennen varsinaista tuotannon aloittamista.

Työmaakonttimallia analysoidessa totesimme, että se tarjosi valmistettavuuden, tuotannon jatkuvuuden ja laadunvalvonnan kannalta monia etuja ja mahdollisuuksia verratuna kahteen edellä käsiteltyyn malliin. Lighting Africa -ohjelman tekemän markkina-analyysin mukaan kehitysmaissa myytävien valaisimien hinnasta noin puolet syntyi varastoinnista ja jälleenvyyntistä aiheutuvista kustannuksista. Konttimallissa varastointi, tuotanto ja myynti oli mahdollista toteuttaa saman katon alla. Konttiin sijoitettavaan työpajaan oli mahdollista tehdä tilat useammalle työntekijälle, jolloin valaisimia pystyi valmistamaan suurempia määriä yhdessä paikassa.

Totesimme työmaakontin soveltuvan erinomaisesti paikalliseen piensarjatuotantoon, jossa tuotteita valmistavat muutaman hengen työryhmät. Kontit oli mahdollista sijoittaa lähelle käyttäjää, jolloin matka tuotteen valmistajalta asiakkaalle ei muodostu pitkäksi. Konttiin toteutettu työpaja tarjosi mahdollisuuden myös asiakkaan myöhempien tarpeiden huomioimiseen, kuten valaisimien huoltoon tai

takuun aikaisiin korjauksiin tai lisämyyntiin. Konttimallin suurimpana etuna näimme, että tuotantoa oli mahdollista laajentaa hallitusti kysynnän mukaan. Valmistuskapasiteettia oli mahdollista kasvattaa kytkemällä useampia kontteja yhteen yhdeksi isoksi tuotantoyksiköksi. Valitsimme työmaakontin valaisimen kokoonpanoympäristöksi, jonka pohjalle suunnittelin varsinaisen valaisintuotteen.

12 METRIÄ PITKÄÄN  
TYÖMAAKONTTIIN  
SIJOITETTU  
KOKOONPANO JA  
JÄLLEENMYyntI



Kuvio 40.

## 6. SUUNNITTELUPROSESSI

### 6.1 Valaisimen uudelleen mitoittaminen

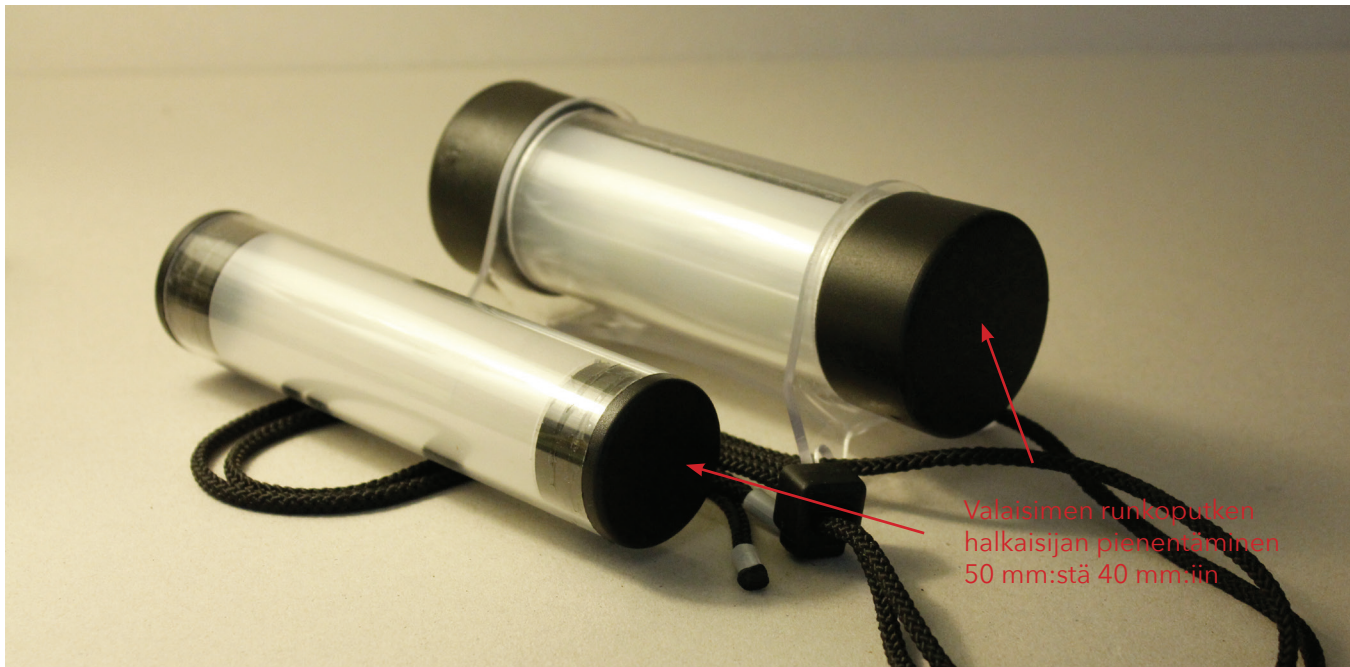
Tuotekehityksen ensimmäiseksi konkreettiseksi tavoitteeksi asetin valaisimen rungon uudelleen mitoittamisen. Lisäksi konseptissa tuli ratkaista häikäisyongelma, kehittää uusi kantohihna ja löytää ratkaisu, joka mahdollisti valaisimen suuntaamisen ilman kookasta jalustaosaa. Valaisimen koon pienentämisessä tuli huomioida, että aurinkokennoa ei voinut pienentää. Kennon jännite ei olisi enää riittänyt valaisimen akkujen lataamiseen. Valaisimen sisään täytyi rungon pienemmästä koosta huolimatta mahduttaa 30mm x 120mm kokoinen kenno. Lisäk-

si sisään oli mahdutettava virtalähde, joka koostui joko kahdesta tai kolmesta AA kokoisesta akusta. Akkujen määrä riippui valittavasta elektroniikkakoonpanosta, jossa vaihtoehtoina oli 2.4 ja 3.6 voltin järjestelmät.

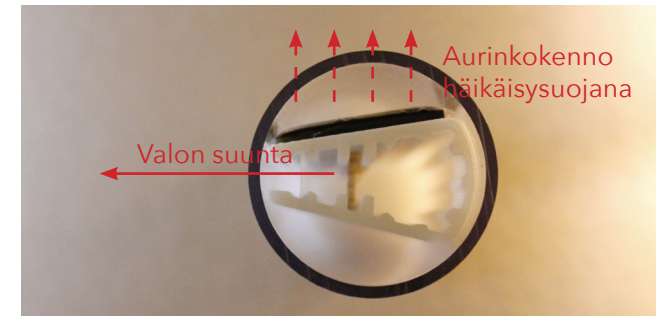
Valaisimen runkoputken pienintä mahdollista kokoa määriteltäessä käytin sekä tietokonemallinnusta että hyvin käytännön läheistä tapaa: sijoittelin elektroniikkakomponentteja eri paksuisiin putkiin. Tulokseksi sain, että putken ulkohalkaisija on mahdollista pienentää 50mm:stä 40mm:iin, jos materiaalivahvuus oli maksimissaan 1,5mm. Runkoputken pituudeksi sain samalla mittausmenetelmällä 160mm, jolloin siitä tuli 10mm lyhyempi kuin suunnittelun lähtökohtana ollut valaisin.

nittelun lähtökohtana ollut valaisin.

Valaisimen mitoitusongelmia ratkottaessani löysin käyttäjälle tärkeään häikäisyongelmaan ratkaisun. Valaisimen rungon kaventaminen edellytti elektroniikkakomponenttien mahdollistamista pienempään tilaan, jolloin niiden sijoittelua oli muutettava. Aurinkokenno oli sijainnut ensimmäisissä prototyypeissä suoraan valaisimen valonlähteiden ja elektroniikan takana. Pienempään tilaan mitoitettussa valaisimessa muutin aurinkokennon paikan niin, että se sijaitisi elektroniikan ja valonlähteiden vieressä valon suuntaisesti. Tällä tavalla aurinkokennolle tuli luontevasti toinen käyttöfunktio. Nyt se toimi myös häikäisyuojana.



Kuvio 41. Valaisimen uudelleen mitoittaminen



Kuvio 42. Aurinkokennon sijoittaminen häikäisyuojaksi



Kuvio 43. Häikäisyä aiheuttavat valonlähteet piilossa

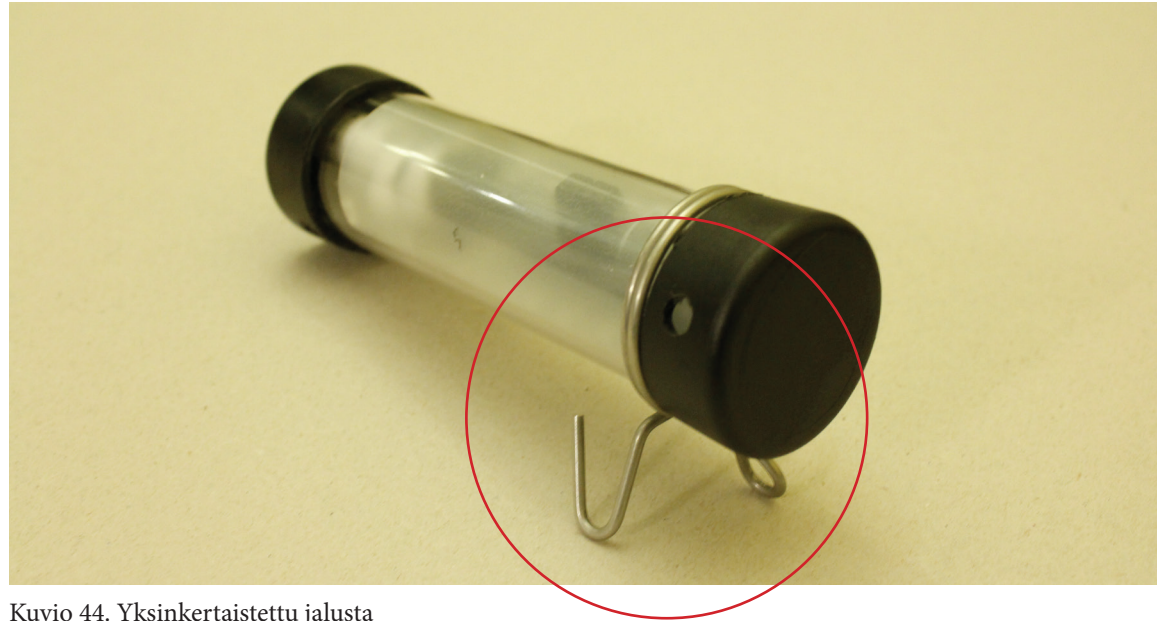


## 6.2 Valaisimen toimintaperiaatteiden muutokset

Hihnan pääasiallisena tarkoituksena oli mahdollistaa valaisimen helppo kuljetettaminen mukana ja ripustettavuus. Konseptivalaisimessa valon suuntaaminen tapahtui pyörittämällä runkoputkea jalustaosan sisässä. Jalustaosan jäätävä pois lopullisesta tuotteesta, suuntaaminen oli toteutettava toisin ja ensimmäiseksi tutkimuskohteeksi valikoitu valaisimen hihna.

Työstin hihnasta useita pikamalleja, joilla testasin mahdollisuuksia suunnata valoa pöytätasolla. Tutkin hihnan mahdollisuuksia toimia jalustana ompelemalla erilaisia laskoksia ja heloja hihnaan valaisimen pyörimisen estämiseksi. Yksinkertaista ratkaisua ei löytynyt vaan ompeleista muodostui helposti vaativia ja hankalasti toteutettavia. Hihnan rinnalle putken ympärille kokeilin myös pieniä teräslangasta taivutettuja jalkoja. Ratkaisu olisi ollut edullinen, mutta se häiritsi ja monimutkaisti valaisimen käyttöä enemmän kuin helpotti sitä. Metalliosien ongelmana oli myös niiden kuumentuminen auringossa.

Prototyypeillä tehdyt mallit osoittivat, että jalustan ominaisuuksien liittäminen hihnaan ei tuottanut riittävän hyviä lopputuloksia. Hihnan rakenteesta muodostui helposti valmistettavuuden kannalta monimutkainen. Konseptivalaisimessa jalustaosa monipuolista valaisimen ripustettavuutta, mutta myös monimutkaisti sen peruskäyttöä. Konseptivalaisimen käytettävyydestien mukaan valaisimen mukana kuljetettavuutta tuli parantaa, joten valitsin sen tärkeämmäksi ominaisuudeksi kuin valon suun-



Kuvio 44. Yksinkertaistettu jalusta



Kuvio 45. Yhdistetty hihna ja jalusta





Kuvio 46.

taamisen tarkasti tason päällä. Riittäväksi ominaisuudeksi määrittelin, että valaisimen oli pysyttävä tasolla pyörähtämättä toiseen asentoon ja valaisin tuli pystyä säätämään tasolla vähintään kahteen eri valaisukulmaan. Hihnan pitämiseksi yksinkertaisena päätin tutkia valon suuntausominaisuuden liittämistä päätytulppiin.

Päätös hihnan yksinkertaistamisesta ja aurinkokennon uudenvuodenlainen sijoittelu yhdessä johtivat valaisimen käytettävyyden kannalta merkittävään oivalukseen. Ensimmäisissä prototyypeissä valaisimen saattoi asettaa kaulaan joko pysty- tai vaaka-asentoon. Vaaka-asennossa valaisimen valo jakautui käsien ulottuville pöytätasoa edessä työskennellessä ja pystyasennossa valo kanto hieman kauemmaksi, kun valaisinta käytettiin kulkuvalona. Myöhemmillä prototyypeillä tehdyissä käytettävyydesteissä totesin pystyasennon tuottavan vain vähän etua verrattuna siihen, että valo oli koko ajan vaaka-asennossa. Hihnan rakenteesta tuli yksinkertaisempi ja valaisinta oli helpompi käyttää, kun sen asentoa ei tarvinnut vaihtaa käytön aikana.

Valaisimen sisäosien ja hihnan toimintaperiaatteiden hahmotuttua rakensin valaisimesta prototyypin, jolla pystyin tutkimaan valaisimeen tehtyjen muutosten vaikutusta käytettävyyteen. Tässä vaiheessa lisäsin hihnaan myös värin. Värillä halusin tehdä valaisimesta näkyvämmän, jotta se olisi helpommin löydettävissä silloin, kun valaisinta tarvittiin. Värillä halusin parantaa myös valaisimen esteettistä ulkonäköä ja tutkia miten testihenkilöt reagoivat väriin prototyypin.

## 6.3 Käytettävyyden ja elektroniikkakokoonpanon testaus

Keväällä 2013 rakensin valaisimesta useita prototyyppisiä, joilla tutkin ensisijaisesti käytettävyyttä. Lisäksi rakensin kaksi POC-mallia (Proof Of Concept), joiden avulla tutkin valaisimeen ennen tuotekehityksen alkua ideoidun 2,4 V:n elektroniikan valmistettavuutta ja luotettavuutta. Käytettävyyttä testasin pääasiassa koti- ja kesämökkiosuhteissa. Testeissä pyrin selvittämään valaisimen käytettävyyteen ja riittävän hyvään näkemiseen liittyviä tekniisiä ratkaisuja. Käytettävyyden parantamisessa tutkin erityisesti hihnan muotoilua ja tilanteita, joissa valaisin saattoi aiheuttaa häikäistymistä. Kaksi 2.4 voltin järjestelmällä toimivaa POC-mallia lähetimme Lumivio Oy:n toimesta testattavaksi Keniaan todelliseen käyttöympäristöön, jossa valaisimia koekäytettiin erilaisissa olosuhteissa. Keniassa tehdyillä testeillä oli tarkoitus saada tietoa valaisimeen tarjotun

elektroniikan luotettavuudesta sekä saada yleisesti palautetta käyttäjien tekemistä havainnoista liittyen valaisimen käytettävyyteen.

### 6.3.1 Käytettävyydestä Suomessa

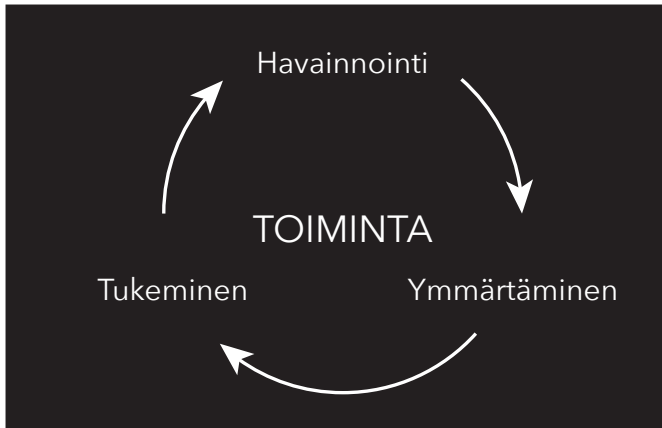
Suomessa tehdyissä käytettävyydesteissä tutkimusmenetelmänä käytin havainnointia ja eläytymistä käyttäjän asemaan. Käyttäjän asemaan eläytymisellä pyrin havainnoimaan oman toiminnan kautta ongelmia, joita syntyi arkielämään liittyvien asioiden hoitamisessa.

Testien perusteella totesin, että valaisimen hihnan yksinkertaisuus helpotti käyttöä ja tosiasiasa mahdollisti valaisimen monipuolisemman käytön, sillä se otettiin helpommin mukaan pienempien asioiden hoitamiseen. Valaisimen hihna tuntui miellyttävämmältä, kun se oli valmistettu pyöreäprofiilisen nyörin sijasta 15mm leveästä litteästä nauhasta.

Leveällä kantohihnalla varustettua prototyyppivalaisinta oli helppo kantaa mukana eikä se hiertänyt niskaa. Leveän nauhan ansiosta valaisin tuntui jopa aikaisempaa kevyemmältä ja se saattoi unohtua kaulaan pitkäksi aikaa, vaikka valaisinta ei enää käytetty.

Leveä hihna osoittautui ongelmalliseksi valaisimen latauksen kannalta, sillä nauha varjosti kennoa. Tein hihnasta prototyyppin, jossa ompelin 15mm leveän nauhan päähän pätkät kapeampaa 10mm leveää nauhaa, josta hihna kiinnittyi valaisimeen. Useammasta nauhan palasta ommeltava hihna vaikutti esteettisesti hyvältä, mutta sen valmistaminen oli hidas prosessi. Kapeassa nauhassa ei voinut käyttää halpoja muovisia heloja vaan ne piti korvata metallisilla osilla rakenteen kestävyuden turvaamiseksi.

Värikkäällä hihnalla halusin tehdä valaisimesta erottuvan, jotta se löytyisi mahdollisimman helposti silloin, kun sitä tarvittiin. Värien käytöllä huoma-



Kuvio 47. User Study -menettelyn periaate (Väyrynen ym. 2014, 113)



Kuvio 48.

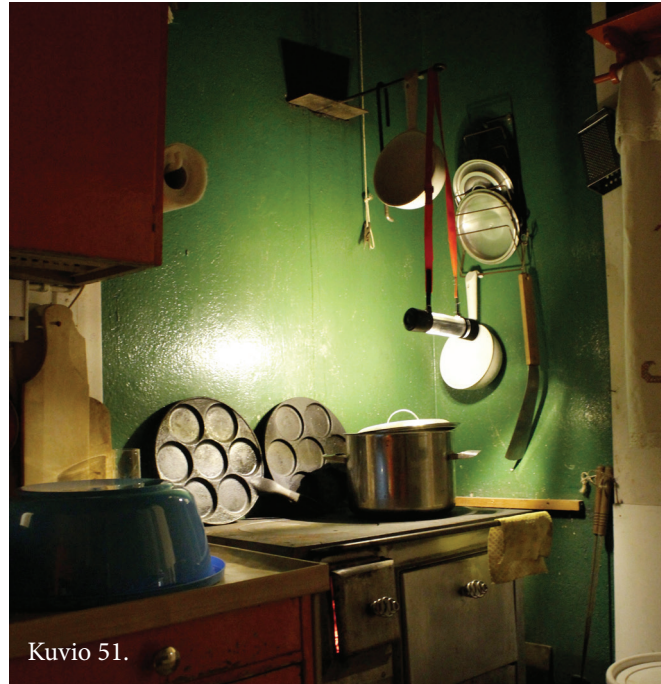


Kuvio 49.





Kuvio 50.



Kuvio 51.



Kuvio 52.



Kuvio 53.

sin kuitenkin olevan erittäin paljon vaikutusta siihen miten houkuttelevana ja vakuuttavana valaisin koettiin. Erityisesti omiin lapsiini, jotka käyttivät usein prototyypivalaisimia, väri lisäsi kiinnostusta käyttää valaisinta enemmän. Myös Lumivio Oy:ssä värillisellä hihnalla varustettu valaisin nähtiin esteettisesti houkuttelevampana kuin mustavalkoiset prototyypit. Valaisinta pidettiin tässä vaiheessa jopa lähes valmiina tuotteena, vaikka osien yksityiskohmainen suunnittelu hihnaa lukuunottamatta ei ollut vielä edes alkanut.

Käytettävyydestien perusteella pystyin päättelemään, että suunnittelussa mentiin oikeaan suuntaan. Valaisimen pienempi koko tuntui hyvältä ja esteettisesti se näytti ensimmäistä konseptivalaisinta so-pusuhtaisemmalla. Erityisesti lapset pitivät uudesta valaisimesta, sillä yksinkertainen hihna oli helppo ja nopea säätää oikean mittaiseksi. Perusrakenne, jossa aurinkokenno toimi häikäisysuojana osoittautui erittäin toimivaksi. Sen lisäksi, että aurinkokenno esti valaisimen käyttäjän häikäistymisen, se esti tehokkaasti myös muiden samassa tilassa olevien henkilöiden häikäistymisen. Esimerkiksi kohtaamistilanteessa, jossa vastaanulijalla oli valaisin kaulassa, aurinkokenno rajasi valon vastaanulijan silmien alapuolelle. Samassa tilanteessa otsalamppu häikäisi vastaanulijaa niin, että näkeminen estyi. Valaisimen suuntausominaisuudet olivat kuitenkin vielä puutteelliset, sillä valaisimen pystyi asettamaan tasolle vain pystyasentoon. Vaaka-asennossa valaisin pyö- rähti ”selälleen” ja valaisi suoraan ylöspäin.



### 6.3.2 Elektroniikan ja käytettävyyden testaus Keniasa

Valaisimeen oli tarjolla kaksi erilaista elektroniikkakokoonpanoa: 2,4 Voltin ja 3,6 Voltin järjestelmät. 2,4 V:n elektroniikka oli konseptina uusi eikä sen luotettavuudesta ollut kokemuksia. Tuotekehityksessä olisin voinut valita nopeasti tuotesuunnittelun lähtökohdaksi perusvarmaksi todetun 3,6 V:n järjestelmän. 2,4 V:n järjestelmällä oli kuitenkin omat hyvät puolensa, jonka takia se oli mielestäni syytä testata ennen lopullista valintaa. Järjestelmä tarvitsi kolmen akun sijaan vain kaksi akkua, joka oli käyttäjän kannalta parempi ratkaisu. Akkujen tullessa vaihtoiäkään käyttäjällä oli mahdollista säästää yhden akun kustannukset. Akkujen hinta kehitysmaissa on tulotasoon nähden korkea, joten kahdella akulla toimiva valaisin olisi valaisimen markkinointia ja kilpailijoista erottautumista ajatellen hyvä ratkaisu.

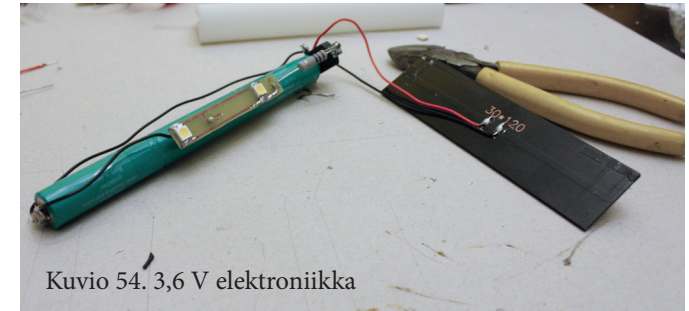
Saimme mahdollisuuden testata elektroniikan luotettavuutta todellisissa olosuhteissa Keniassa Nairobiin pohjoispuolella sijaitsevalla vuoristoalueella. Rakensin testiä varten kaksi POC-mallia (Proof of Concept), joilla luotettavuutta tutkittiin. Samalla halusimme saada tietoa ensimmäisistä käyttäjäkokemuksista. Teimme lyhyen kyselylomakkeen, joka perustui haastatteluun. Afrikkalaistaustainen Peter Kuria, jonka mukana valaisimet matkasivat Keniaan käyttötestiin, lupautui järjestämään prototyyppien testauksen ja tekemään myös haastattelut. Haastatteluista emme kuitenkaan saaneet dokumentointia, joten päädyin haastattelemaan Peteriä hänen palatessaan takaisin Suomeen. Peterin haastattelusta

ilmeni, että valaisimet eivät toimineet moitteetta. Toisen valaisimen lataus ei toiminut kunnolla ja toisessa ilmeni odottamaton ongelma. Valaisimen ledit himmenivät ajoittain ja sitä ilmeni erityisesti silloin, kun valaisinta oli käytetty pitemmän aikaa.

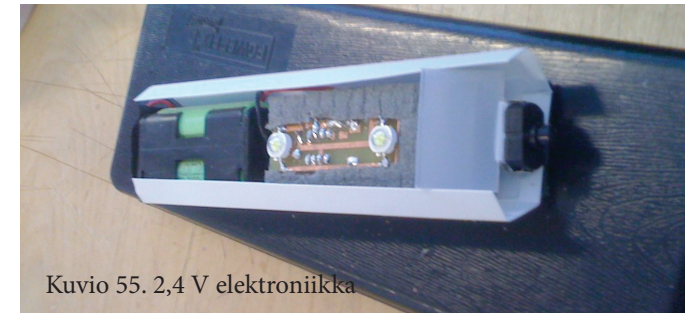
Tutkin itse tekemiäni valaisimien elektroniikat ja löysin niistä yhden huonon juotoksen, joka aiheutti toisen valaisimen latausongelman. Valon himmenemiseen en löytänyt syytä vaan annoin valaisimen elektroniikkasuunnittelijalle tutkittavaksi. Hänen mukaansa ongelma saattoi johtua yksinkertaisesti elektroniikkakomponenttien yhteensopimattomuudesta. Oikean ja luotettavan kokoonpanon löytäminen edellytti erilaisten yhdistelmien testaamista. Prosessi voisi kestää pitkän ajan, joten jatkoin suunnittelua 3,6 V:n järjestelmän pohjalta.

Peteriltä saadussa palautteesta ilmeni, että prototyypeissä käytetyt mustat päätytulpat kuumentuivat auringossa niin, että niihin koskemista välteltiin. Polyeteenimuovista valmistetut päätytulpat myös pehmenivät ja laajenivat lämmitessään niin paljon, että ne saattoivat irrota kesken käytön. Peterin mukaan Afrikassa vältellään mustaa väriä lähes yhtä paljon kuin kuumaa metallia. Hänen mukaansa musta väri tai metalliset kiinnityshelat voisivat olla valaisimen myynnin kannalta oikea ongelma.

Peter oli kiinnittänyt huomiota myös siihen, että prototyypeissä ei ollut värejä. Hänen mukaansa afrikkalaiset käyttävät paljon värejä ja erityisesti afrikkalaiset naiset haluavat pukeutua hienosti. Peterin mukaan värillisen tai värikkään valaisimen voisi liit-



Kuvio 54. 3,6 V elektroniikka



Kuvio 55. 2,4 V elektroniikka



Kuvio 56. Keniassa testatus POC-mallit

tää osaksi asua ja naiset voisivat kuljettaa sitä mukanaan niin kuin käsilaukkua. Kommentti nosti esille tuotteiden estetiikkaan tärkeyden. Kaunis esine voidaan kokea henkilökohtaisempana ja sen omistamisesta voidaan tuntea ylpeyttä.

### 6.3.3 Testituloksien yhteenveto

Suomessa ja Keniassa suoritettujen testien tulokset tuottivat paljon tarpeellista tietoa tuotekehitykseen ja muotoiluun. Testien avulla pystyin vahvistamaan joitakin omia johtopäätöksiäni, kuten hihnan yksinkertaisuuden ja valaisimen fyysisen koon pienentämisen tarpeen, todeksi. Lisäksi sain paljon tietoa, jota en edes odottanut saavani. Esimerkiksi mustien muoviosien kuumentuminen auringossa polttavan kuumiksi oli pieni yllätys. Yhteenvetona tärkeimmistä tuotekehitykseen ja muotoiluun vaikuttavista asioista listasin:

- Pienempi koko paransi käytettävyyttä
- Yksinkertainen hihna paransi käytettävyyttä ja otti paremmin huomioon lapsikäyttäjät
- Aurinkokenno toimi hyvin häikäisysuojana
- Mustaa väriä ja metalliosia oli syytä välttää, sillä ne lämpenivät Afrikan auringossa polttavan kuumiksi
- Valaisimen valmistusmateriaaleihin tuli kiinnittää erityistä huomiota, jotta ne toimivat odotetulla tavalla todellisessa käyttöympäristössä
- Valaisimen suunnattavuutta tasolla piti kehittää
- Estetiikassa oli syytä kiinnittää huomiota värien käyttöön
- Esteettisyydellä on todella merkitystä käyttäjä-

kokemukseen

- 2,4 V:n elektroniikka ei toiminut käytännössä odotetulla tavalla

### 6.4 Modulointi

Valaisimen rakenteen suunnittelussa oli lukuisia huomioon otettavia asioita ja erityisen haastavaksi suunnittelun teki se, että valaisimelle ei ollut olemassa valmiita elektroniikkaa tai elektroniikan valmistustapaa. Vaatimukset valmistuksen aloituskustannuksien minimoimisesta ja paikallisesta valmistuksesta kehitysmaissa johtivat suunnittelupro-

sessissa tavallista huolellisempaan perehtymiseen muovituotteiden valmistustekniikoista. Suunnittelussa oli löydettävä valmistusmenetelmät ja materiaalit, jotka tukivat kokoonpanotyötä lähellä loppukäyttäjää. Suunnittelussa piti löytää rajapinnat teollisesti ja käsityönä valmistettavien osien ja tehtävien työvaiheiden välille. Kokoonpanotyö kehitysmaissa ei saanut olla pelkästään kestävä kehityksen ideologiaan perustuvaa ”viherpesua” vaan työn tuli tuoda lisäarvoa tuotteelle sekä käyttäjän että valmistajan näkökulmasta. Ilman todellisia hyötyjä on vaarana, että valmistettavan tuotteen ominaisuudet eivät vastaa odotuksia. Tärkeimmät ominaisuudet, joihin valmistettavuuden kehityksellä voitiin vaikuttaa, olivat valaisimen rakenteen kestävyys, elinkaari ja hinta.

Suunnittelutyön helpottamiseksi jaoin valaisimen rakenteen pienempiin osakokonaisuuksiin eli moduuleihin. Moduloinnin tarkoituksena oli selkeyttää rajapinnat, joissa osat ja osakokonaisuudet yhdistyvät toisiinsa. Modulointi helpottaa niin osasuunnittelua kuin kokoonpanon suunnitteluaakin, ja se on syytä pyrkiä tekemään mahdollisimman aikaisessa tuotesuunnittelun vaiheessa. Ilman modulointia on vaarana, että tuotteeseen synnytetään valmistettavuuden kannalta hankalia rakenteita. (Rodgers & Milton. 2011, 108). Valaisin oli mahdollista jakaa neljään perusmoduuliin: kuorikappaleet, varjostinosa, elektroniikka ja hihna.

## MODUULIT



Kuvio 57.



## 6.5 Elektroniikan suunnittelu

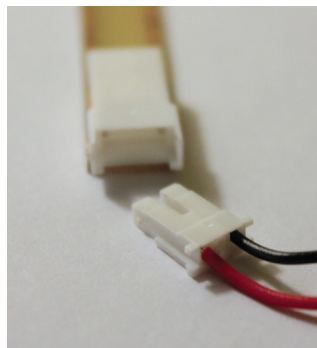
Lumivio Oy oli asettanut valaisimelle tavoitteeksi korkean laadun. Korkea laatu tarkoitti valaisimen kestävyuden ja pitkäikäisyyden lisäksi luotettavuutta ja toimintavarmuutta, joka edellytti hyvin toteutettua elektroniikkaa. Elektroniikan suunnittelussa tutkin kokonaan paikallisesti käsityönä valmistettavan elektroniikan ja automatisoidulle tehdaslinjalle suunnitellun elektroniikan hyötyjä ja haittoja. Suunnittelun taustalla vaikutti Lumivio Oy:n esittämä ajatus, että kokonaan käsityönä valmistettavan elektroniikan avulla oli mahdollista laskea valmistuksen aloittamiskustannuksia ja tarjota ammatillisesti haastavaa työtä kehitysmaihin.

Elektroniikan kokoonpanotesti ja oma työskentely tuotekehityksen aikana elektroniikan parissa osoitti, että hyvin käsityönä tehty elektroniikka edellytti erityistä huolellisuutta, tarkkuutta ja hyviä kädentaitoja. Testin yhteydessä havaitsin myös, että toimivan ja laadukkaan elektroniikan rakentaminen vaatii tietoa ja ammattitaitoa, jota on lähes mahdotonta opetella ilman opettajan ohjausta. Lisäksi elektroniikan käyttövarmuuteen liittyi sen suojaus korroosiota vastaan, joka kehitysmaiden olosuhteissa näyttelee erittäin tärkeää roolia. Suojausmenetelmiä ja suojaukseen käytettäviä aineita on useita. Menetelmät voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Elektroniikka voidaan kastaa suoja-aineeseen, se voidaan sivelellä pensselilyönä tai suoja-aine voidaan suihkuttaa elektroniikan päälle esimerkiksi spray-pullosta. Suojausaineita on useita ja monet niistä eivät anna todellista suojaa, jos elektroniikka joutuu kosketuksiin

veden kanssa. (Lighting Africa 2013b, 6)

Elektroniikan valmistuksessa kriittisin vaihe on ehdottomasti virtapiirin valmistus. Pitkäikäisen elektroniikan aikaan saamiseksi komponenttien liittäminen piirilevyille on pystyttävä tekemään erityisen huolellisesti. Komponenttien laadukas suojaus edellyttää, että työympäristö on mahdollisimman pölytön. Virtapiirin pintaan ei saa jäädä epäpuhtauksia, jotka voivat edesauttaa elektroniikan tuhoavan korroosion kehittymistä. Tästä syystä virtapiirin rakenne ja valitut elektroniikkakomponentit oli suunniteltava siten, että suojaus oli mahdollista tehdä mahdollisimman yksinkertaisesti ja luotettavasti.

Yksinkertaisenkin elektroniikan suunnittelu vaatii asiantuntemusta. Tästä syystä päädyin välttämään elektroniikan liian yksityiskohtaista suunnittelua ja lähestyin muotoilijana elektroniikan suunnittelua lähinnä tilan käytön näkökulmasta etsimällä perusratkaisut elektroniikan isojen komponenttien sijoitteluun ja niiden liittämiseksi toisiinsa.



Kuvio 58. Mekaaninen liitos



Kuvio 59. Juotettu liitos

### 6.5.1 Elektroniikan rakenne

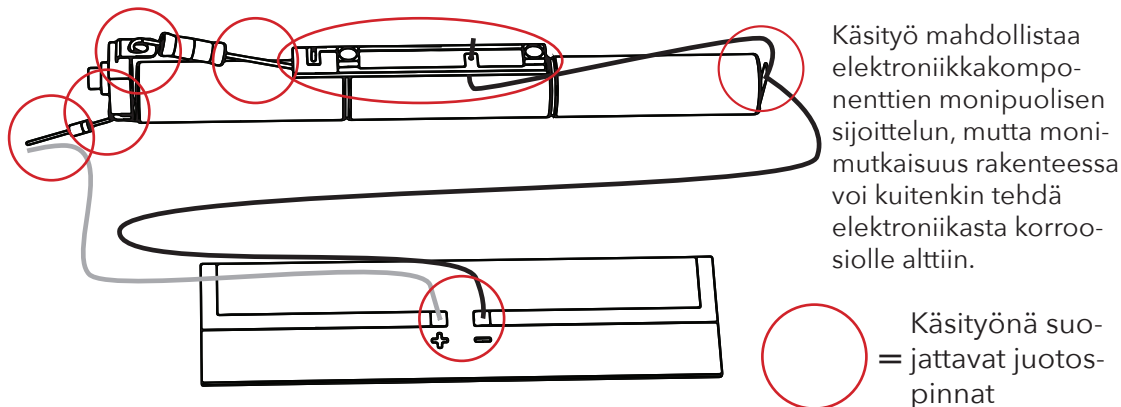
Teolliset tuotteet valmistetaan sarjatuotantoon ja tuotteiden suunnittelussa pyritään välttämään kalliita käsityövaiheita. Teollisella sarjatuotannolla tavoitellaan kustannustehokkuuden lisäksi tuotteen tasaista laatua. Tuotesuunnittelussa pidetäänkin nyrkkisääntönä, että tuote tulisi aina suunnitella automaatioon, vaikka osa työvaiheista tehtäisiinkin käsityönä. Automaatioon suunniteltu kokoonpano on usein helppo siirtää käsityönä valmistettavaksi, mutta ei päin vastoin.

Kehitysmaissa kokoonpantavan ja huollettavan valaisimen suunnittelussa näin tarpeelliseksi huomioida laadun varmistamiseksi ja mahdollisen kasvavan kysynnän tyydyttämiseksi, että elektroniikka suunnitellaan teolliseen sarjatuotantoon soveltavaksi. Automaatiota varten mahdollisimman monet komponentit oli sijoitettava piirilevyille, ja mielellään pintaliitoskomponentteina. Käsityön mahdollisuus tuli huomioida erityisesti huollettavuutta ajatellen. Komponenttien tuli olla mahdollisimman suuria, jotta niiden asentaminen käsityönä oli myös mahdollista.

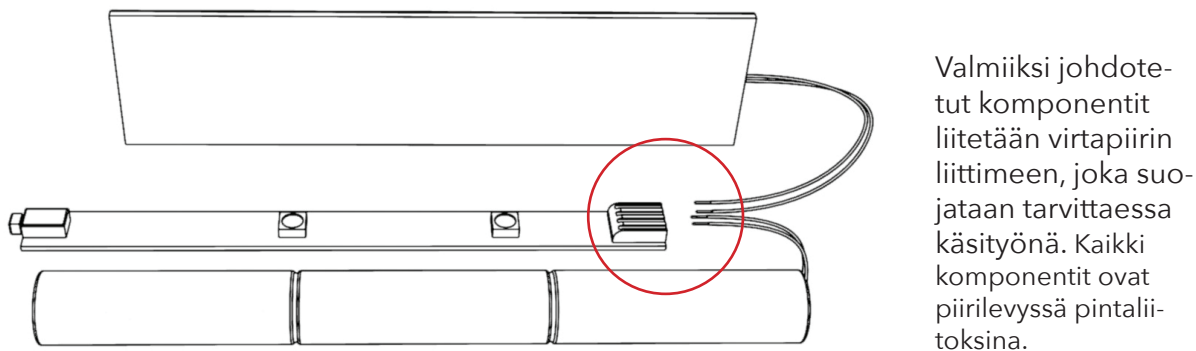
Isojen komponenttien liittäminen virtapiiriin oli mahdollista tehdä helpoksi kytkemällä ne mekaanisesti yhteen liitinkomponenteilla. Sähköjohtojen käytöllä oli mahdollista pienentää virtapiirin kokoa ja helpottaa komponenttien sijoittelua. Pehmeät materiaalit kuten sähköjohtot soveltuvat huonosti automaatioon ja niiden liittäminen tehdään usein käsityönä.

## ELEKTRONIIKAN SUOJAUS KAHDESSA ERI RAKENNERATKAISUSSA

- 1 KÄSITYÖNÄ VALMISTETTAVA ELEKTRONIikka, JOSSA ON MINIMOITU MATE-  
RIAALIEN KÄYTTÖ YHDISTELEMÄLLÄ KOMPONENTTEJA SUORAAN TOISIINSA



- 2 ELEKTRONIikka, JOKA ON MAHDOLLISTA VALMISTAA SEKÄ AU-  
TOMATISOIDULLA LINJALLA ETTÄ KÄSITYÖNÄ



Kuvio 60.

Viereisessä kuviossa 74 olen havainnollistanut, miten käsityöprosessiin ja automaatioon suunnitellut elektroniikat voivat erota toisistaan. Käsityöprosessissa on mahdollista minimoida materiaalien määrää yhdistelemällä komponentteja suoraan toisiinsa. Komponenttien monipuolinen sijoittelu voi kuitenkin monimutkaistaa elektroniikkaa tarpeettomasti. Useat käsin tehtävät liitokset myös lisäävät virheiden mahdollisuutta. Automaatioon suunnitellussa elektroniikassa korostuu rakenteen yksinkertaisuus, jolloin myös elektroniikan suojaus on helpompi toteuttaa luotettavasti.

Prototyypin rakennuksesta saamiini kokemusten mukaan käsityönä komponentteja yhdistelemällä valmistetun elektroniikan valmistus vei huomattavan paljon aikaa verrattuna koko valaisimen valmistukseen. Elektroniikan valmistus saattoi viedä 15-20 minuuttia, kun taas muiden valaisimen osien rakentaminen ja kokoonpano vei aikaa vain 5-10 minuuttia. Kehitysmaissakaan työ ei ole ilmaista ja käytetty aika sitoo resursseja. Lightin Africa -ohjelman tutkimuksien mukaan kehitysmaissa käytäviltä valaisimilta odotetaan ennen kaikkea kestävyttä ja luotettavuutta, joten materiaalien käytön minimoiminen keinolla millä hyvänsä valaisimen hinnan madaltamiseksi ei ollut mielestäni perusteltua. Tuotteen arvon määrittelee lopulta käyttäjä, joka tekee ostopäätöksen. Valmistuksen aloituskustannuksien minimoista tuotannon aloittamisen helpottamiseksi on mielestäni myös syytä punnita tarkkaan. Tuotteen edullinen hinta ja riittävä laatu saavutetaan usein suurten valmistusmäärien avulla, jolloin valmistuksen aloituskustannukset ovat mur-

to-osa tuotteen kustannuksista.

Teollisesti esivalmistettu elektroniikka tai automaatiota varten suunniteltu elektroniikka ja liitinkomponenttien käyttö helpottaa ja nopeuttaa kokoonpanotyötä merkittävästi. Valaisimen kokoonpanijan kannalta selkeä ja yksinkertainen rakenne mahdollistaa valaisimien suuremman määrän valmistamisen eikä vaadi erityisiä kädentaitoja tai suurta ammattitaitoa. Liitinkomponenttien käyttö helpottaa myös huoltotoimenpiteitä, kuten akun vaihtoa. Työmaakontissa lähellä käyttäjää valmistettavien valaisimien suurimpana etuna voisikin nähdä huoltotoiminnan. Elektroniikka-alan koulutuksen saanut tai muuten ammattitaitoinen työväki voisi kokoonpanon lisäksi myös korjata valaisimia.

Lopputyöprosessin aikana tehdyn tuotekehityksen aikana elektroniikan rakenteen suunnittelua ei ollut mahdollista tehdä aikataulullisista syistä tämän pidemmälle. Tarkempi suunnittelu olisi edellyttänyt laajemmin elektroniikan valmistajien asiantuntija-apua. Tästä syystä päädyin määrittelemään elektroniikan tarvitseman tilantarpeen minimin, jonka pohjalta jatkoin valaisimen muiden osien suunnittelua.

Elektroniikan tilan tarpeeksi arvioin suorakaiteen muotoisen 15mm x 17mm x 148mm kokoisen tilan. Valaisimen sisään oli mahdutettava 3,6 V:n elektroniikka, joka edellytti kolmen AA- tai AAA-pariston kokoista akkupakettia. Keniassa suoritettussa käyttöttestissä epäluotettavaksi todetun 2,4 V:n elektroniikan tilan tarvetta tutkiessani huomasin, että

järjestelmän vaatimat ylimääräiset elektroniikkakomponentit mahtuisivat helposti yhden AA-kokoisen akun pituiseen tilaan. Kaksi AA- tai AAA-kokoista akkua vaativa 2,4 V:n järjestelmä oli periaatteessa mahdollista sijoittaa saman kokoiseen tilaan kuin 3,6 V:n järjestelmäkin. Käyttäjän kannalta kolmen vaihdettavan akun sijaan kaksi akkua olisi houkuttelevampi ratkaisu, joten järjestelmän päivittäminen 2,4 V:n elektroniikkaan oli syytä jättää mahdolliseksi valaisimen varjostinrakenteiden suunnittelussa.

### KÄSITYÖPROSESSI JA MATERIAALIEN KÄYTÖN MINIMOINTI

Plussat:

- komponenttien monipuolinen sijoittelu
- pienet valmistuksen aloittamiskustannukset

Miinukset:

- käsityönä tehtävä suojaus edellyttää huolellisuutta
- kokoonpanoon käytettävä aika pitkä
- liitosten suuri määrä lisää virheiden mahdollisuutta

### AUTOMAATIOON SUUNNITELTU ELEKTRONIikka

Plussat:

- yksinkertainen rakenne
- suojaus mahdollista tehdä hallitusti
- pieni liitosten määrä vähentää virheiden mahdollisuutta
- mahdollista toteuttaa myös käsityönä

Miinukset:

- valmistuksen aloittamiskustannukset

Kuvio 61.

### 6.5.2 Akkutyyppin valinta

Kehityksmaissa käytettävien laadukkaiden aurinkokennovalaisimien kaksi yleisintä akkutyyppiä ovat NiMH ja Li-ion. Näistä kehittyneempi Li-ion akku tarjoaa hieman paremman suorituskyvyn ja lähes puolet enemmän latauskertoja elinkaarensa aikana. Li-ion akkujen hinta on laskenut viime vuosina nopeasti, joka on lisääntynyt niiden käyttöä voimakkaasti kehityksmaissa myytävissä valaisimissa NiMH akkujen suosion laskiessa tasaisen varmasti. (Lighting Africa 2013a, 45.) NiMH akun eduksi voidaan kuitenkin laskea, että akun lataus ei tarvitse virtapiiriin elektroniikkaa monimutkaistavaa erillistä latauksen hallintajärjestelmää. Lisäksi NiMH akku kestää paremmin kuumuutta eikä se vaurioituneena käytäydy epävakaasti, kun taas vioittunut ja ylikuumentunut Li-ion akku voi syttyä tuleen tai jopa räjähtää (Burris, 2013).

Uusimmat NiMH-akut yltyvät jopa 1000 latausykliin, jolloin ne voivat kestää jopa kolmekin vuotta ennen kuin niitä tarvitsee vaihtaa uusiin. Valaisin suunniteltiin paikallisesti valmistettavaksi tai kokoonpantavaksi ja oletuksena oli, että paikalliset valmistajat myös huoltaisivat valaisimia tai myisivät valaisimiin varaosia kuten akkuja. Tästä syystä akun käyttöiän maksimointi ei ollut välttämätöntä. Akun eliniän maksimoimista tärkeämpänä pidin yksinkertaisen elektroniikan tarjoamaa käyttövarmuutta.

Ympäristön kannalta Li-ion ja NiMH akkuja pidetään parhaimpina vaihtoehtoina. Li-ion akku ei sisällä ympäristölle haitallisia raskasmetalleja, joten



sen hävittämistä pidetään kohtuullisen turvallisenä jopa tavalliselle kaatopaikalle. NiMH sen sijaan sisältää nikkeliä, joka on raskasmetalli. Pieninä määrinä nikkeli ei aiheuta ympäristölle tai ihmisille väliä vaaraa niin kuin esimerkiksi lyijy tai cadmium, jotka ovat myös akuissa yleisesti käytettyjä metalleja. Käytetyn NiMH akun etuna on, että sen sisältämät metallit saadaan kerättyä talteen melko yksinkertaisella prosessilla verrattuna esimerkiksi Li-ion akun tarvitsemaan prosessiin. Kehityksessä arvokkaita metalleja kerätään ansaintamielessä ja esimerkiksi NiMH akuilla on arvoa romumetallina. (Lighting Global, 2012.)

Kokonaisuuden kannalta NiMH-akun edut verrattuna Li-ion akkuun olivat paremmat. NiMH-akun valintaa puolsi erityisesti se, että akkutyyppi ei ollut altis vaurioille.

### 6.5.3 LED-valonlähteen valinta

Led-valonlähteen valinnassa valintakriteerejä olivat hinta, teho, värilämpötila, asennettavuus ja kestävyys. Lisäksi suunnittelussa oli huomioitava ledien toimitusaika ja saatavuus. Elektroniikan eri kokoonpanoissa testasin kahta erilaista led-tyyppiä, joista valonlähteeksi valitsin tuotekehityksen tässä vaiheessa neliön muotoisen 5 mm x 5 mm kokoinen pinta-asennettavan yhden watin ledin. Kokonaan käsityönä valmistettavan elektroniikan kannalta valittu led-tyyppi oli haastava, sillä siitä puuttui juotostyötä helpottavat rivat. Valitun led-tyyppin hinta-tehosuhde oli kuitenkin huomattavasti muita vaihtoehtoja parempi. Lisäksi sen saatavuus oli hyvä

ja toimitusajat nopeita.

Käyttäjän kannalta yksi tärkeimmistä valonlähteen ominaisuuksista oli värilämpötila. Värilämpötilalla on vaikutusta siihen miten värit voidaan nähdä ja minkälaista tunnelmaa valaisimella voidaan luoda. Valaisimen värilämpötilan valintaa ohjasi sekä omat että testihenkilöiden käyttökokemukset prototyyppivalaisimista, joissa käytin sekä kylmän että lämpimän sävyisiä ledejä. Lämmin valo koettiin miellyttävämpänä käyttäjä. Lopulliseen päätökseen vaikutti ennako-odotuksista poiketen havainto, että markkinoilla olevat lämpimät led-valonlähteet tuottivatkin tosiasiaa enemmän valoa kuin kylmät ledit. Luontaisesti sinistä valoa tuottava led on useinmiten tehokkaampi, kun sen värilämpötila on opimoitu kylmäksi. Lämpimien ledien tehokkuuteen saattoi olla syynä muun muassa se, että vuoden 2009 jälkeen, EU alueella on saanut myydä vain energiatehokkaita valaisimia, joka lienee lisännyt sisävalaisimissa käytettävien lämpimien ledien tuotantoa. Valonlähteeksi valitsin 3800 Kelvin-asteen värilämpötilan omaavan ledin, jonka valontuotto oli 127 lumenia wattia kohden.



Kuvio 62.

## 6.6 Runkorakenteen suunnittelu

Ensimmäisessä ennen tuotekehitysprojektin alkua tehdyssä prototyyppissä valaisimen rakenne muodostui mittaan katkaistusta muoviputkesta, joka oli suljettu päädyistä yksinkertaisilla muovitulpilla. Ajatuksena rakenteessa oli valmiiden profiilien ja standardiosien hyödyntäminen ja liitossaumojen minimointi. Valaisimen sisäosat olin rakentanut laserleikatuista ja lämpötaivutetuista akryylilevyistä. Menetelmä ei kuitenkaan ollut valmistettavuuden kannalta kovin hyvä. Kovasta muovilevystä taivuttamalla ei ollut mahdollista rakentaa riittävän mitatarkkoja osia ilman aikaa vievää viimeistelytyötä. Tästä syystä valmistettavuuden suunnittelussa lähdin melko laajasti tutkimaan erilaisten teollisten valmistustekniikoiden tarjoamia ratkaisuja, kuten esimerkiksi ruiskuvalua ja suulakepuristusta.

Valaisimen rakenteen suunnittelussa oli huomioitava erityisesti valmistuksen aloittamiskustannukset, jotka Lumivio Oy halusi minimoida. Tämä tarkoitti sekä tuotteen valmistusta varten tehtävien muottien määrän että koon minimoimista. Kehityksessä tehtävän kokoonpanon kannalta osien liittäminen toisiinsa tuli olla riittävän yksinkertaista, jotta työssä ei tehtäisi virheitä. Kokoonpanotyön piti olla myös riittävän nopeaa valaisimen hinnan pitämiseksi kohtuullisena käyttäjälle. Kokoonpanon mielekkyyden ja riittävän tasaisen laadun kannalta prosessit eivät saaneet olla liian monimutkaisia.

Käyttäjän kannalta valaisimen rakenteen ja osien suunnittelussa tärkeintä oli saavuttaa mahdollisim-

man kestävä ja pitkäikäinen rakenne. Valaisimen tuli olla pölytiivis eikä se saanut vaurioitua esimerkiksi sateessa tai pudotessaan veteen. Huollettavuuden kannalta valaisimen rakenne täytyi olla avattavissa, jotta esimerkiksi uuden akun vaihto oli mahdollista. Toisaalta rakenne ei saanut aueta vahingossa ja avaamisen piti olla riittävän haastavaa, etteivät esimerkiksi lapset pääsisi elektroniikkaan tai akkuihin käsiksi.

### 6.6.1 Rungon valmistusmateriaalin valinta

Valaisimen tuotekehityksessä valmistusmateriaalin valinta muodostui tärkeäksi vaiheeksi. Erilaisia muovilaatuja on useita tuhansia, joiden ominaisuuksia voidaan lisäksi muuttaa erilaisilla lisäaineilla. Afrikan ilmasto-olosuhteissa, joissa auringon ultraviolettisäteily on voimakasta, ilman lämpötila vaihtelee paljon ja ilmankosteus voi nousta korkeaksi, muovimateriaalit käyttäytyvät helposti odottamattomalla tavalla. Muovit ovat myös herkkiä lämpötilamuutoksille. Lämpötilan noustessa esimerkiksi monet kestumuovit pehmenevät. (Kurri ym. 2002., 193.) Näin kävi myös tuotekehityksen alkuvaiheessa Keniaan lähetetyille prototyypivalaisimille, joiden päätytulpissa käytettiin polyeteenimuovia. Tulpat eivät pysyneet kunnolla kiinni valaisimessa, sillä musta tulppa keräsi lämpöä ja materiaalissa tapahtui lämpölaajenemista. Tästä syystä turvauduin muovilaatujen valinnassa asiantuntijoiden apuun.

Valaisimen rungolta edellytettiin kestävyyttä, pitkäikäisyyttä ja mahdollisimman hyvää valon läpäisykykyä. Konseptivalaisimen runko oli valmistettu

hyvin valoa läpi päästävästä akryyliputkesta. Akryyli (PMMA) on kirkas tekninen muovi, jota käytetään laajasti sisustusvalaisimien valmistusmateriaalina. Akryylin iskulujuus ja jännitys säröilyn kesto on kuitenkin heikko, joten se ei ollut mahdollinen valaisimen valmistusmateriaali. (Kula & Ternaux, 2009).

Anamorfinen polyeteenitereftalaatti eli PET-A on akryylin ja polykarbonaatin tapaan lasinkirkas materiaali. PET on sitkeä ja iskunkestävä materiaali,

jota käytetään yleisesti puhallusmuovaukseen. Yleisimpiä PET-materiaalista valmistettuja tuotteita ovat erilaiset pullot ja säiliöt. Huonoina puolina PET:ssä ovat kuitenkin rajalliset uv-valon ja lämmönkestävyysominaisuudet. (Vienamo & Nykänen, 2013)

Riittävän lujaksi päiväntasaajan seudun ilmasto-olosuhteet ja vaativat käyttöolosuhteet kestäväksi muovilaaduksi löysin polykarbonaatin (PC). Polykarbonaatti muistuttaa hyvin paljon akryyliä, mutta



Kuvio 63. Materiaalitestit akryyli vs. polykarbonaatti

sillä on huomattavasti paremmat mekaaniset ominaisuudet. Esimerkiksi iskunkestävyys on todella hyvä. Polykarbonaatin heikkoutena voidaan mainita sen luontainen huono uv-valon kesto ja alttius naarmuuntumiselle. Tästä syystä polykarbonaatti on suojauttava uv-suojaineilla ulkokäyttöä varten (Kula & Theroux. 2009, 195). Kovapinnoitteella polykarbonaatin pehmeästä pinnasta saadaan naarmuuntumisen kestävä. Hinnaltaan polykarbonaatti on yksi kalleimmista muovilaaduista. Valaisimen runkoputkessa kallis materiaali tuntui kuitenkin perustellulta, sillä valaisimen tuli kestää kovaa käyttöä useita vuosia.

Polykarbonaatin kestävyttä testasin käytännön kokeella. Testissä vertasin materiaalivahvuudeltaan 2 millimetriä paksun akryyliputken ja saman vahvuisen polykarbonaattiputken kestävyttä lyömällä putkiprofiileja 16 unssin eli noin 450 gramman vasaralla. Polykarbonaattiputki ei hajonnut useista voimakkaista lyöntikerroista huolimatta. Materiaalin pintaan ilmestyi vain pieniä painaumuksia. Akryyli puolestaan hajosi pirstaleiksi pienestä vasaran kopautuksesta. Testin perusteella sain varmistuksen siihen, että polykarbonaatti soveltui erittäin hyvin haastaviin olosuhteisiin. Materiaalivahvuutta oli mahdollista ohentaa reilusti valmistuskustannuksien säästämiseksi.

Kovapinnoitettua ja uv-suojattua polykarbonaattia oli mahdollista saada levytavarana, putkena ja se soveltui useimpiin teollisiin valmistusprosesseihin, kuten tuotekehityksen aikana tutkimiini ruiskuvalu-, suulakepuristus- ja puhallusmuovausprosesseihin.

## 6.6.2 Perusrakenteen konseptointi

Valaisimen perusrakennetta lähdin tarkastelemaan kolmen erilaisen valmistustavan kautta. Yhtenä vaihtoehtona pidin jo ensimmäisessä prototyypissä esitettyä mallia mittaan katkaistusta putkiprofiilista, jonka sisään pyrin löytämään uudenlaisen tavan rakentaa valaisimen sisäosat. Muita malleja olivat kuorikappaleiden ruiskuvalu ja laserleikatuista levyistä valmistettu niin sanottu sandwich-rakenne. Perinteisesti kalliina menetelmänä pidetyn ruiskuvalun konseptoin siinä syystä, että valaisimen rakenteen yksinkertaistaminen, valmistettavuuden helpottaminen ja kaikkien tarvittavien ominaisuuksien säilyttäminen tuotteessa edellytti todennäköisesti vähintään yhden tuotantotyökalun valmistamista.

Ruiskuvalu on muovituotteiden valmistusmenetelmä yleisin. Prosessissa sula muovi ruiskutetaan

### VALAISIMEN RUNGON RAKENNE

- Kestävä
- Pienet valmistuksen aloittamiskustannukset
- Muottien määrän minimointi
- Osien määrän minimointi

Kuvio 64.

korkealla paineella vähintään kahdesta muottiosasta valmistettuun muottipesään. Ruiskuvalua käytetään tuotannoissa, joissa sarjakoot ylittävät 1000 kappaaleen määrän. Valmistettavan osan pinnan laatu on todella hyvä ja osa voi olla hyvinkin monimutkainen ja -ulotteinen. Tuotanto voidaan automatisoina täysin ja kappaleiden valmistusrytmi on vain 30-60 sekuntia riippuen materiaalin paksuudesta ja laadusta. Huonona puolena ruiskuvalussa pidetään yleisesti korkeaa muottityökalun hintaa, mutta hinta riippuu paljon valmistettavan kappaleen monimutkaisuudesta ja muottipesien lukumäärästä. (Thompson. 2007, 50.)

Valaisimissa valon jakautuminen ja pintakirkkausominaisuudet edellyttävät eri tavoin valoa läpäisevien materiaalien käyttöä. Valonlähteiden edessä materiaalien täytyy olla hyvin valoa läpi päästäviä, kun taas varjostimena toimivien osien täytyy suodattaa valoa enemmän. Lisäksi esteettisesti ehjän näköisissä tuotteissa tekniikka usein peitetään näkymättömiin. Ruiskuvalutun valaisimen runko olisi tästä syystä täytynyt tehdä useita kalliita muottiosia käsittävällä kaksiaiinevalutekniikalla. Toinen vaihtoehto oli sijoittaa läpinäkyvien kuorikappaleiden sisään erilliset varjostimen ja tekniikan peittävät osat.

Sandwich-rakenteessa osien valmistus oli mahdollista toteuttaa CNC-ohjatulla laserleikkauksella, joka ei vaadi kalliiden tuotantotyökalujen, kuten muottien, valmistamista. Menetelmällä on mahdollista työstää muoveja erittäin tarkasti ja laadukkaasti ilman erillistä työn jäljen viimeistelyä. Laserleikkaus on nopea levymäisten materiaalien työstötapa, joka soveltuu



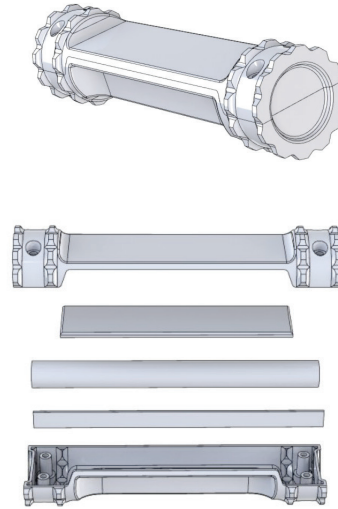
sekä isojen että pienien sarjojen tuotantoon. (Thompson. 2007, 248-249.) Laserleikatuisissa osissa mittatarkkuus on käsityöhön verrattuna omaa luokkaansa.

Osien määrä muodostui laserleikatussa rakenteessa suureksi. Tämä tarkoitti myös tiivistettävien saumojen suurta määrää. Tiivistys oli mahdollista tehdä joko liimamalla osat yhteen tai käyttämällä jokaisen kerroksen välissä tiivistemateriaalia. Käytettyyn liittyvien ominaisuuksien säilyttäminen, kuten valaisimen suunnattavuus pöytätasolla, edellytti sandwich-rakenteella toteutetussa valaisimessa päätytulppien valmistamista esimerkiksi ruiskuvalamalla. Sandwich-rakenteen avulla ei siten pystynyt säästämään kalliita teollisia työvaiheita.

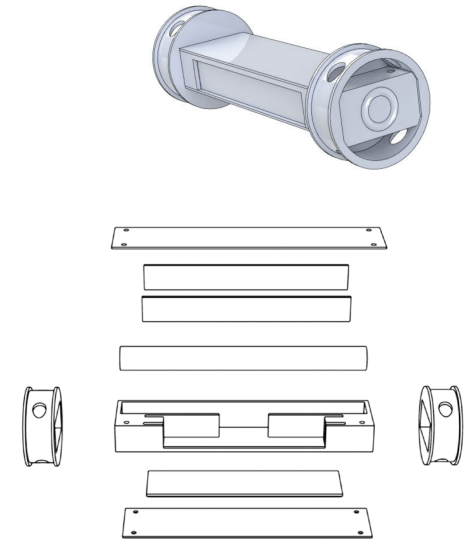
Mittaan leikattu putkiprofiili oli valaisimen rakenneratkaisuna houkutteleva, sillä siinä oli muihin vaihtoehtoihin verrattuna vähän tiivistettäviä saumoja. Putkiprofiilin tarjoama mahdollisuus sijoitella sisäkkäisiä toisiinsa tukeutuvia profileja oli myös edullisen rakenteen kannalta kiinnostava ratkaisu. Keniassa tehdyn testin mukaan päätytulppien kiinnitykseen ja materiaalien ominaisuuksiin, kuten lämpölaajenemiseen, tuli kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota. Lisäksi varjostinosat oli konseptoitava uudelleen.

## RAKENTEEN KONSEPTOINTI

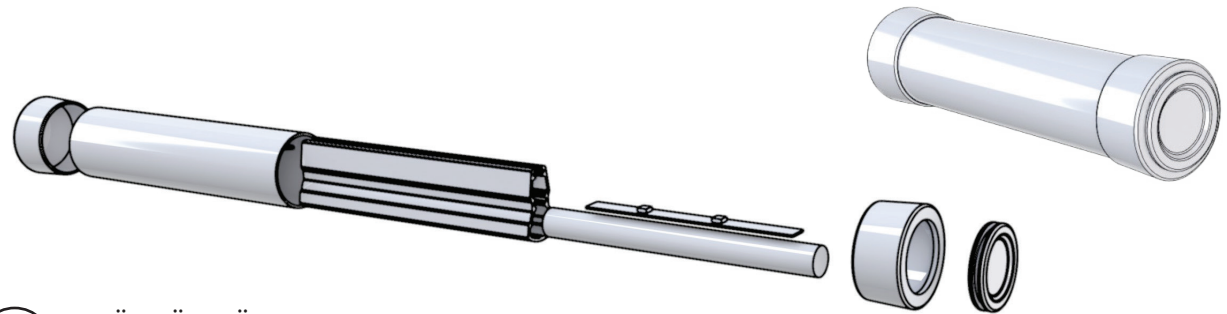
### 1 RUISKUVALETUT KUORIKAPPALEET



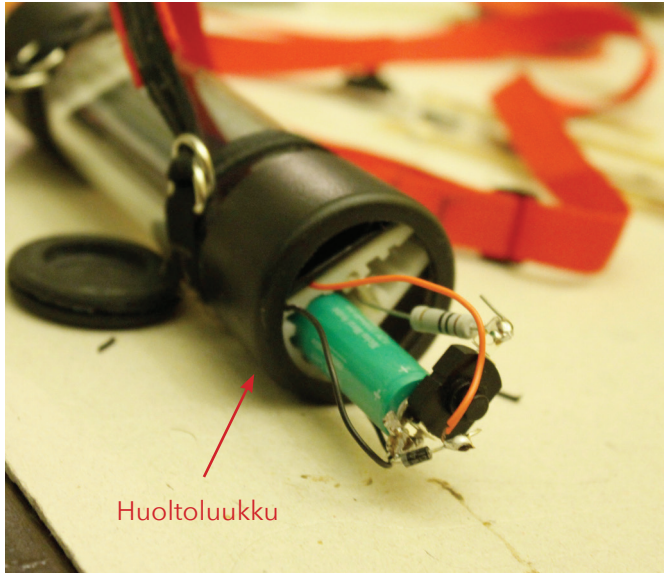
### 2 SANDWICH-RAKENNE LASERLEIKATUISTA LEVYISTÄ



### 3 SISÄKKÄIKKÄIN SIJOITETUT PROFIIIT



Kuvio 65.



Kuvio 66. Suulakepuristettu profiili



Kuvio 67.

## 6.7 Valaisimen varjostinosien rakenneratkaisut

Valaisimen varjostinosien suunnittelussa valitsin tutkimuskohteiksi kaksi erilaista menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä tutkin mahdollisuutta valmistaa runkoputken sisälle profiilin suulakepuristamalla. Toisessa menetelmässä tutkin pahvikartongin tapaan työstettävää polypropeeniarkkia, jonka leikkaus on mahdollista tehdä joko käsityönä tai teollisesti laserleikkaamalla.

Valaisimen varjostinosalla oli useita tehtäviä. Sen pääasiallinen käyttötarkoitus oli valon suuntaaminen ja rajaaminen. Varjostimen mahdollisimman suuren vaalean pinnan tarkoituksena oli kasvattaa valaisimen valopinta-alaa niin, että häikäistyminen oli mahdollisimman vähäistä. Lisäksi varjostinosa piti elektroniikkaa paikoillaan.

### 6.7.1 Suulakepuristettu profiili

Valmistusmenetelmistä tutkin ensimmäiseksi suulakepuristusta. Suulakepuristus on periaatteessa hyvin yksinkertainen prosessi, joka vaatii huomattavasti yksinkertaisemman muotin kuin esimerkiksi ruiskuvalukappale.

Suulakepuristetun profiilin etuna oli, että elektroniikka oli mahdollista sujuttaa profiiliin ikään kuin raiteita pitkin. Asennustapa tarjosi mahdollisuuden rakenteeseen, jossa runkoputken päätytulppa oli kiinteästi asennettu. Elektroniikka oli mahdollista ottaa ulos valaisimen rungon sisältä irrottamalla pelkästään katkaisijan painike. Painikkeeksi oli

mahdollista valita jokin sähkötarvikkeina myytävä läpivientikumi.

Valmistustekniikkana suulakepuristus osoittautui kuitenkin huomattavasti ennakoitua hankalammaksi. Prosessissa sulatettu muovigranulaatti ajetaan korkealla painella suppiloon, jonka toisessa päässä on toivotun profiilin muotoinen muottiosa. Muotin läpi tullessaan profiili on tilavuudeltaan noin 10% lopullista profiilia suurempi. Muotista profiili jatkaa matkaa jäähdytysaltaan läpi, jossa se kutistuu oikeaan mittaansa. Jäähdyessään muovi vetäytyy kasaan ja pyrkii vääntyilemään, joten samalla kun profiilia jäähdytetään sitä pidetään halutussa muodossa ohjauksella. Ohjauksellisten käyttö rajoittaa melko paljon profiilin muotojen tekemistä. Esimerkiksi suljettujen tai sisään päin kääntyvien muotojen hallitsemiseksi ohjauksellista rakentuu monimutkainen kokonaisuus ja tällöin myös tuotannon aloittamiskulut nousevat melko suuriksi. 3D-tulosteina valmistetut mallit osoittivat myös, että profiilin ja elektroniikan yhteen sovittaminen olisi vaatinut kohtuullisen tarkat toleranssit profiilille. Tarkka toleroiminen olisi omalta osaltaan nostanut valmistuskustannuksia. (Sistonen, 2013.)

Valaisimen elektroniikan valmistettavuuden kannalta suulakepuristettu profiili osoittautui varsin kehnoksi ratkaisuksi. Profiilin leveysuunnassa tilaa elektroniikalle oli vähän, joka rajoitti komponenttien sijoittelua. Profiilin mittasuhteet määrittivät myös elektroniikan koon, joten muutokset elektroniikassa tuotteen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa olisivat olleet rajallisia.

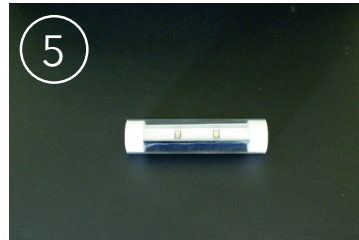
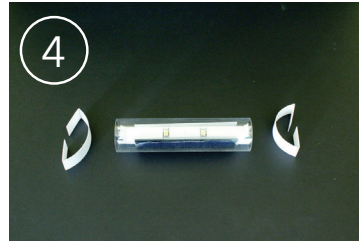
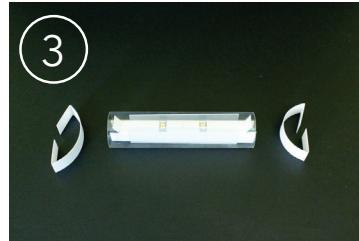
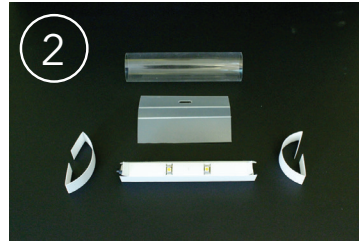
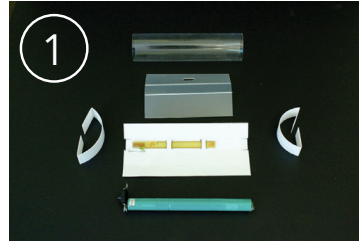


## 6.7.2 Laserleikattu polypropeeniarkki

Valitsin polypropeeniarkin (PP) yhdeksi mahdolliseksi varjostinosan materiaaliksi sen helpon työstettävyyden ja hyvien taivutusominaisuuksien takia. Polypropeeniarkista pystyy taittelemaan helposti monimutkaisiakin muotoja, kuten esimerkiksi tuotepakkauksia tai sisustusvalaisimia. Polypropeenia voidaan leikata saksilla ja puukolla tai se voidaan työstää nopeasti laserleikkauksella. Lujuudeltaan materiaali on erinomaisen sitkeää ja vahvaa. Sitä käytetäänkin yleisesti muun muassa kalvosaranoiden tekemiseen, jotka kestävät taivuttelua tuhansia kertoja.

Polypropeeni oli valaisimen sisäosien rakennusmateriaalina erityisen mielenkiintoinen, sillä se on yksi maailman yleisimmistä ja edullisimmista muovimateriaaleista. Polypropeenista on saatavilla jopa varastotuotteena useita erilaisia läpivärjättyjä, valoa läpäiseviä ja läpäisemättömiä laatuja. Levymäisestä materiaalista on saatavilla kattavasti myös eri materiaalivahvuuksia. Polypropeeni vaikutti hyvältä materiaalilta kehitysmääolosuhteisiin, sillä sen lämmön kesto-ominaisuudet ovat hyvät ja se voidaan suojata hyvin UV-säteilyä kestäväksi.

Polypropeeniarkin vahvimpana puolena näin, että se voidaan esityöstää helposti ja edullisesti laserleikkauksella. Laserleikkauksessa tuotannon aloituskustannukset ovat minimaaliset ja menetelmällä voidaan tehdä edullisesti niin pieniä kuin suuriakin valmistussarjoja. (Thompson. 2009, 248-249.)



## LUMIVIO LIGHT VARJOSTIMEN OSAT

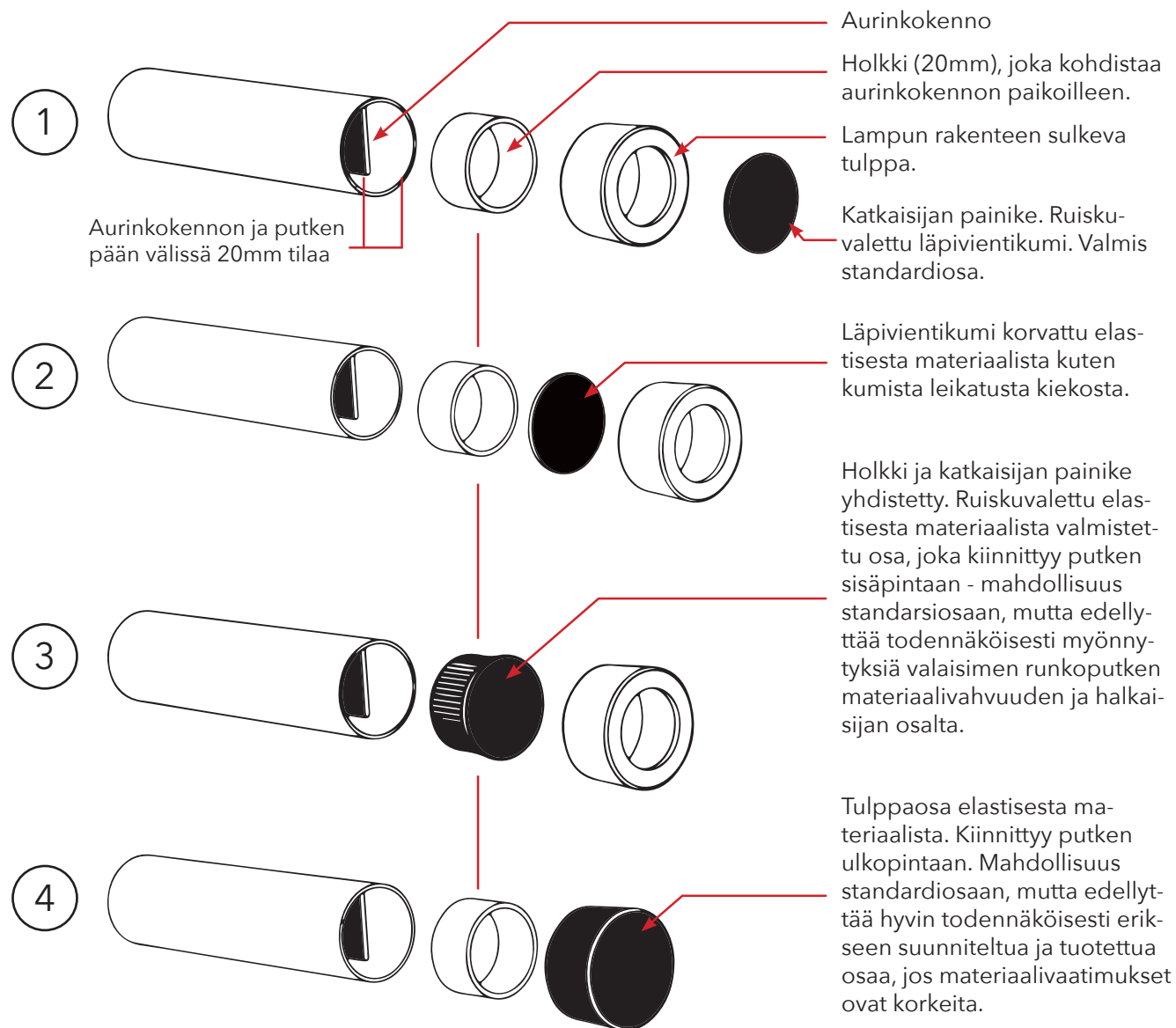


MATERIAALI:  
POLYPROPEENIARKKI

© Antti Väisänen 23.8.2013

Kuvio 68.

## VALAISIMEN KATKAISIJAN RAKENNEVAIHTOEHTOJA



Kuvio 69.

Mittatarkoilla osilla ja hyvällä suunnittelulla oli mahdollista pienentää materiaalihukka minimiin ja osien sovittaminen valaisimen runkoputken sisään kävi helposti. Taipuisa materiaali mahdollisti elektroniikan yksinkertaisen, nopean ja esteettisesti siistin kiinnityksen varjostinosaan. Paikallisen kokoonpanon kannalta erityisen tärkeää oli, että laserleikattujen osien taittelu ei edellyttänyt työkalujen käyttöä eikä aikaa vieviä prosesseja. Kaikki valaisimen sisään sijoitettavat osat oli mahdollista valmistaa samasta materiaalista, joten osien tuotantoprosessi oli mahdollista pitää yksinkertaisena.

Polypropeeniarokin käyttö tarjosi useita hyviä ratkaisuja niin valmistajan, kokoonpanijan kuin käyttäjänkin kannalta. Materiaalin helppo muokattavuus ja minimaaliset tuotannon aloituskustannukset johtivat polypropeeniarokin valitsemiseen valaisimen sisäosien materiaaliksi.

### 6.8 Valaisimen katkaisijan ja runkoputken rakenne

Valaisimen runkoputken sulkeminen tiiviisti, luotettavasti ja edullisesti osoittautui yllättävän hankalaksi katkaisijan painikkeen takia. Katkaisijan painikkeen suunnittelussa pyrin aluksi löytämään ratkaisuja, jotka mahdollistivat standardiosien käytön tai ne olivat mahdollisia valmistaa yksinkertaisesti käsityönä. Lisäksi tutkin mahdollisuuksia muotoilla runkoputkea niin, että putki oli suljettavissa kierrekorkilla tai putken muotojen mukaan suunnitellulla tulpalla. Katkaisijan painikkeen suunnittelussa tuli huomioda ennen kaikkea rakenteen tiiveys, asennettavuus ja rakenteen avattavuus huoltotoimenpiteitä varten.

Kierteistetyn ja profiloitun putken etuna oli mekaaninen kiinnitys, joka mahdollisti valaisimen rakenteen tiiviin sulkemisen ja helpon avattavuuden. Kierteistetyn putken avulla valaisimesta oli mahdollista tehdä täysin vesitiivis. Mekaaniset kiinnitystavat tarjosivat mahdollisuuden päätytulpan lyhentämiseen niin, että kantohihnalle jäi enemmän tilaa. Kierreputki oli mahdollista valmistaa valmiista putkiprofiilista kierrettyökälulla koneistamalla tai puhallusmuovaamalla. Puhallusmuovaamalla oli mahdollista tehdä myös profiili, jossa ei ollut kierteitä.

Mittaan katkaistun putkiprofiilin etuna oli edulliset valmistuksen aloittamiskustannukset, sillä eri paksuisia ja vahvuisia putkiprofiileja oli saatavilla melko kattavasti. Putkiprofiili oli mahdollista sulkea standarditulpalla. Valaisimen kaikkien tarvittavien ominaisuuksien, kuten esimerkiksi rakenteen riittävä tiiveys ja mahdollisuus suunnata valaisinta tasolla, edellytti kuitenkin oman osan valmistuksen tutkimista.

Koneistamalla kierteitetyn putken ongelmaksi muodostui vaatimus vähintään kahden millimetrin materiaalivahvuudesta. Kierteiden työstö olisi edellyttänyt oman useamman tuhannen euron kierrettyökälun hankkimista, jonka moitteeton toimiminen olisi vaatinut myös huoltoa varsin usein. Koneistamalla valmistettu kierre oli myös rakenteen kestävyys kannalta ongelmallinen. Materiaalivahvuus kierteiden syvimässä kohdassa jäi vain 0,5 millimetriä paksuiseksi, jos materiaalivahvuus oli kaksi millimetriä. Yli kahden millimetrin materiaalivahvuus lisäsi taas putkiprofiilin hintaa tarpeettomasti.

## VALAISIMEN RUNGON RAKENNEVAIHTOEHTOJA

### 1 MITTAAN KATKAISTU PUTKIPROFIILI



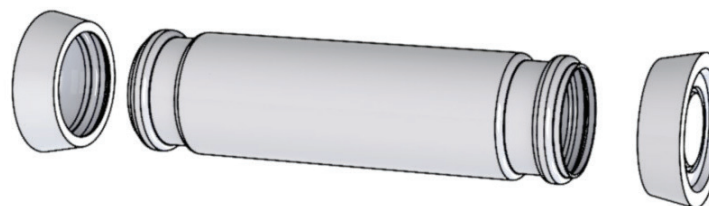
Päätytulpat:  
-1 kpl kaksiosainen muotti  
-vaihtoehtoisesti standarditulppa  
Runko:  
-mittaan katkaistu putkiprofiili

### 2 PUTKI KIERTEELLÄ



Päätytulpat:  
-1 kpl kaksiosainen muotti  
-standardikorkit  
Runko:  
-koneistettu putki, materiaalivahvuus min. 2mm

### 3 PUHALLUSMUOVATTU PUTKI



Päätytulpat:  
-1 kpl kaksiosainen muotti  
Runko:  
-puhallusmuovattu  
-1 kpl kaksiosainen muotti

Kuvio 70.



Puhallusmuovaus on menetelmä, jolla voidaan valmistaa hyvin ohutseinäisiä kappaleita. Prosessi tuottaa hyvän pinnanlaadun ja sillä on mahdollista saada aikaan myös kirkkaita hyvin valoa läpäiseviä kappaleita. Tyypillisiä puhallusmuovattuja tuotteita ovat erilaiset säiliöt ja pullot. (Thompson. 2009, 22-23.)

Valmistusmenetelmänä puhallusmuovaus oli mielenkiintoinen sillä se mahdollisti hyvin vapaan muodon annon tuotteelle. Menetelmän avulla oli mahdollista minimoida valaisimessa tarvittavien osien määrä sekä tehdä kevyt ja kestävä rakenne mahdollisimman pienellä materiaalin määrällä. Lumivio Oy:n näkökulmasta puhallusmuovaus oli kuitenkin liian kallis menetelmä, sillä puhallusmuovausmuotin lisäksi rakenteen sulkeminen edellytti oman muottityökalun valmistamista päätytulpalle.

Edullisimmaksi valaisimen rakenteeksi osottautui mittaan katkaistu putkiprofili. Tarvittavien ominaisuuksien saaminen valaisimeen edellytti kuitenkin oman päätytulpan valmistamista. Valmistettavuuden kannalta vaihtoehto oli erittäin haastava, mutta tutkimisen arvoinen.

## 6.9 Päätytulpan muotoilu

Päätytulpan muotoilu suoraan putkiprofiliin oli hyvin haastava vaihe osasuunnittelussa. Valaisimen rakenteen kannalta tulpalle voitiin määritellä kuusi eri tehtävää, jotka sen piti hoitaa:

- Putken päädyn sulkeminen tiiviisti
- Putken ulkoreunojen suojaaminen

- Toimiminen katkaisijan painikkeena
- Mahdollisuus brändi-tunnisteen sijoittelulle
- Estää putken ympärille kiinnittyvän hihnan liukuminen pois putken päädyistä
- Estää vaakatasoon pöydälle tai maahan asetetun valaisimen pyöriminen

Ohjeeksi päätytulpan suunnitteluun sain muovituotekonsultti Matti Sistoselta ja Maillefer Extrusion Oy:n Jyrki Pennala, että yhden hieman monimutkaisemmankin osan valmistaminen on usein kannattavampaa kuin monen yksinkertaisen. Suunnittelin päätytulpasta sivulla 41 kuviossa 73 esitetyt kolme eri perusratkaisua. Valmistusmateriaaliksi olin ajatellut silikonista tai TPE-kumia, jotta tulpassa olisi riittävä pintakitka sen tartunnan varmistamiseksi sileän putken pintaan. Pehmeän materiaalin oli tarkoitus mahdollistaa tulpan toimiminen myös katkaisijan painikkeena ilman tarvetta erilliselle painikeosalle.

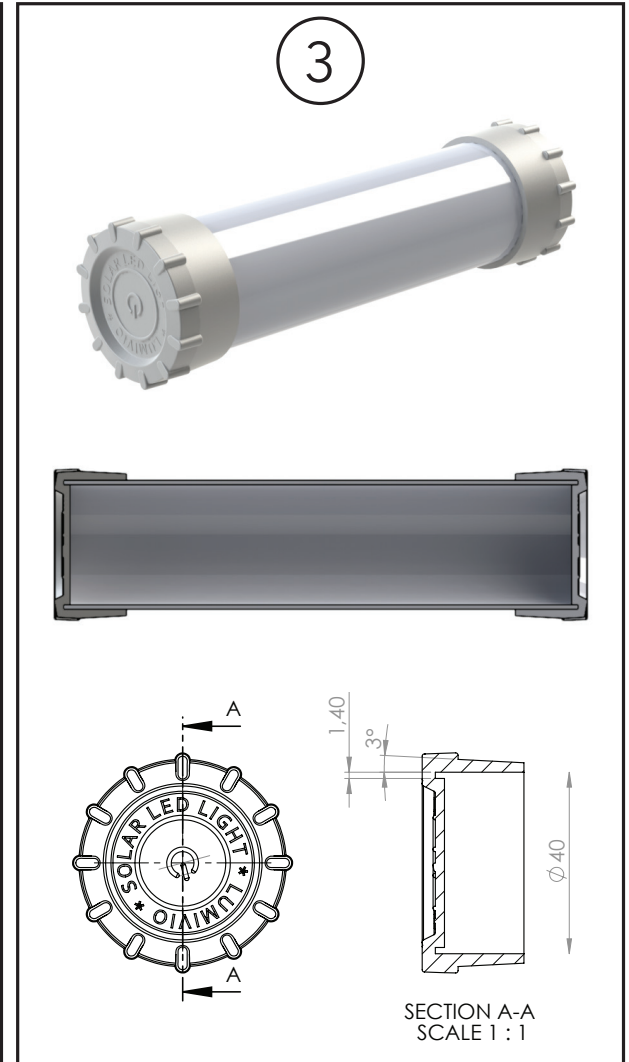
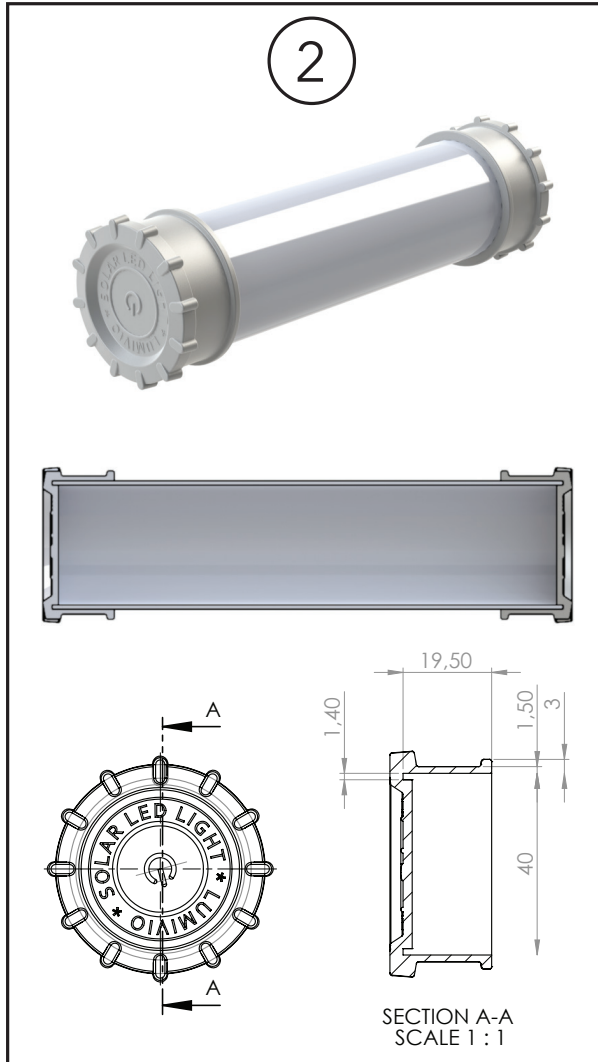
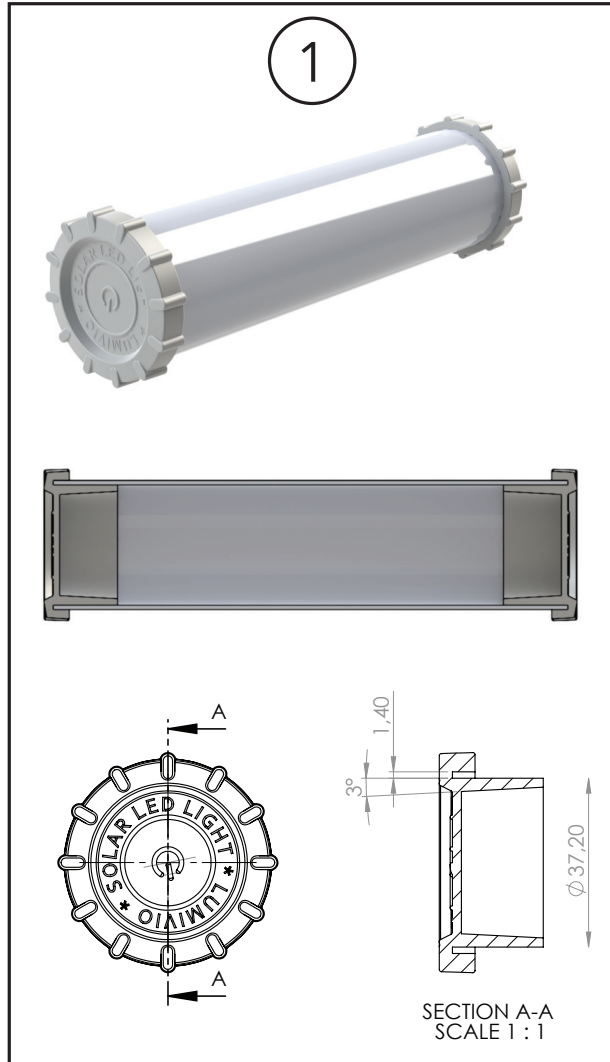
Ensimmäisessä vaihtoehdossa tulppa kiinnittyi putken sisäpintaan. Tulpan reuna kääntyi ulkopinnan päälle noin 10 mm. Ratkaisu mahdollisti 15 mm leveän kantohihnan käytön niin, että se ei peittänyt aurinkokennoa. Lisäksi putken sisälle työnäköinen tulppa auttoi aurinkokennon kohdistamisessa sen oikeaan paikkaan ilman lisäosia. Toisessa vaihtoehdossa tulppa kiinnittyi runkoputken ulkopuolelle. Tulpan ulkopintaan oli muotoiltu uurre, johon hihnan sai kiinnitettyä. Kolmannessa vaihtoehdossa tulppa kiinnittyi myös runkoputken ulkopuolelle. Tulpan ulkopinnassa ei ollut uurteita vaan reilusti päästävä muoto.

Tulppavaihtoehdon valintaan vaikuttivat valmistettavuuden lisäksi käyttäjän tarve ja asennettavuus. Käyttäjän kannalta ensimmäinen ja toinen ratkaisu olivat selkeästi parhaita, sillä niissä hihnan paikka sijoittui valaisimen päätyihin eikä hihna voinut silloin varjostaa aurinkokennoa ja estää akkujen latautumista.

Eri vaihtoehtojen valmistettavuuteen ja asennettavuuteen halusin saada kommentteja asiantuntijoilta. Tässä vaiheessa suunnittelua otin yhteyttä Lahden lähellä muovituotteita valmistavaan yritykseen Plastella Oy:hyn, jonka tiesin käyttävän thermoelasteja (TPE) tuotteiden valmistuksessa. Timo Korvenoja Plastella Oy:stä kommentoi mielellään muovituotevalmistajan näkökulmasta suunnitelmiani.

Timo Korvenoja listasi ehdotukseni paremmuusjärjestykseen valmistettavuuden kannalta. Vaihtoehto numero kolme oli muottiteknisesti helpoin ja edullisin toteutettava. Numero kaksi oli myös helposti toteutettava, mutta se vaati kalliin neliosaisen muotin. Ensimmäinen vaihtoehto tuntui vaikeimmalta, mutta ei mahdottomalta. Tulpan pinnat, jotka koskettivat putkiprofilin sisäpintaan, eivät olleet muodoltaan päästäviä. Lisäksi tulpan ja putken välinen kosketuspinta oli suuri, joten osan saaminen ulos muotista pelkän ulostyöntäjän saattoi muodostua ongelmaksi. Riskinä oli esimerkiksi tuotantokatkokset tai tuotantotyöntekijän käyttäminen osan irrottamiseen muotista, jotka olisivat nostaneet osan tuotantokustannuksia.

# LUMIVIO LIGHT / END CAP STRUCTURE



Asennettavuuden kannalta vaihtoehdot kaksi ja kolme vaikuttivat hankalilta sen takia, että tulppaa olisi pitänyt venyttää auki, jotta sen olisi saanut asennettua putkeen. Lisäksi tulppa olisi pitänyt toleroida hyvin tarkasti valaisimen runkoputken ulkopinnan mukaan, jotta siitä tulisi tiivis eikä asennustyö muodostuisi mahdottomaksi. Asennustyön kannalta oli huomattava, että muovisen runkoputken mitoissa saattoi esiintyä myös pientä vaihtelua. Tiukasti mitoitettua osaa ei olisi välttämättä saanut käsivoimin putkeen. Tärkeä huomioitava asia oli myös, että muovi- ja kumiosat kestävät paremmin puristusta kuin venytystä.

Hankalasta valmistettavuudesta huolimatta vaihtoehto numero yksi oli mielestäni paras ratkaisu putken tulppaamiseen. Piirsin ja mallinsin tulpasta kymmenen erilaista ratkaisumallia, joiden pohjalta päätin hakea päätytulpan muotoiluun vielä muiden asiantuntijoiden näkemyksiä. Ratkaiseva asiantuntija-apu saatiin Sisäkuorma-autojakin työkseen suunnittelelta Olavi Karhulta. Putken sisäpuolelle sijoittuvasta tulpan osasta tehtiin reilusti päästävä ja päätyyn muotoiltiin kuvion 73 yksityiskohdassa näkyvä uloke. Muotti saatiin tällä tavalla säilytettyä kaksiosaisena ja tulppa oli mahdollista saada ulos muotista ulostyöntäjällä pakottamalla ilman käsityötä. Lisäksi tulpan asennus oli mahdollista tehdä käsityönä esimerkiksi veden tai muun vastaavan liukuaineen avulla, jonka kuivuttua tulppa olisi tiukasti putkessa kiinni eikä se irtoaisi ilman voiman käyttöä.

Valaisimen päätytulppien materiaaliksi valikoitui thermoelastomeereihin kuuluva silikonia ulkoisesti

muistuttava SBS (styreeni-eteenibuteeni). Thermoelastit ovat kumimaisia kestopuoveja, joista voidaan valmistaa esineitä kestopuovien tapaan mm. ruiskuvalamalla. (Kula & Ternaux, 2009.) Silikonituotteiden valmistukseen verrattuna prosessi on hyvin yksinkertainen ja tuotantokustannuksia säästävä.

Vaihtoehtoisena valmistusmateriaalina tutkin silikonia, joka on ominaisuuksiltaan hyvin saman kaltainen thermoelastien kanssa. Materiaaliin ja valmistustekniikkaan kävin tutustumassa Turkulaisessa Hexamer Oy:ssä. Silikonin tuotantoprosessissa yleisesti käytetty menetelmä on prässäys, jossa materiaali puristetaan esilämmitettyyn muottiin. Prosessiaika silikoniosan valmistuksessa on noin 10 minuuttia, kun taas muoviosat valmistuvat noin 30 sekunnissa. Silikonit täytyy muotituksen jälkeen vielä temperoida eli kuumentaa uunissa, jotta ne saavuttavat lopulliset ominaisuutensa. Pitkä prosessiaika ja kallis materiaalin hinta nostavat silikonituotteiden kustannukset muovituotteita korkeammaksi.

Rungon sulkevasta päätytulpasta muodostui valaisimen ainoa osa, joka valmistettiin teollisesti muottityökaluilla. Ruiskuvaltava osa antoi mahdollisuuden estetiikan parempaan huomioimiseen suunnittelutyössä. Tulppaan oli mahdollista istuttaa bränditunniste. Tulpan ulkonäöllä pystyi kertomaan käyttäjälle virtakatkaisijan sijainnin. Lisäksi tulpan muotoilulla oli mahdollista luoda mielikuvia valaisimen ominaisuuksista, jotka olivat esimerkiksi valaisimen ostotilanteessa tärkeitä. Estetiikalla halusin viestiä erityisesti laadusta, kestävydestä ja halusin korostaa, että kyseessä on aurinkokennovalai-

sin. Kestävyys vaikutelmaan pyrin geometrisella säännönmukaisuudella ja pienipiirteisellä muotoilulla. Laadukkuus oli mahdollista tuoda esille pienien yksityiskohtien huomioimisella kuten virtakatkaisijan painikkeen symboleilla, bränditunnisteilla ja jakosaumojen piilottamisella. Myös tulpan pinnan viimeistely ja virtakatkaisijan painikkeen jämökkä tuntuma viesti laadusta.

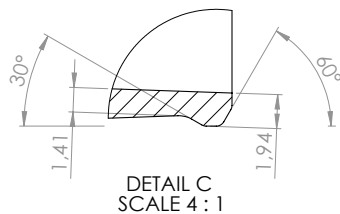
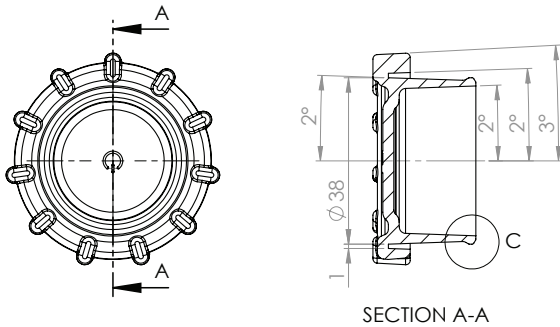
Ensimmäisen konseptivalaisimen pystyi asettamaan tasolle ja suuntaamaan valaisimessa olevan jalustaosan ansiosta. Teollisesti muotoiltava päätytulppa antoi mahdollisuuden lisätä pöytävalo-ominaisuus valaisimeen ilman jalustaa. Muotoilin päätytulppaan sakarat, jotka toimivat ikään kuin jalustan jalkoina. Sakaroiden määräksi valitsin yksitoista kokeilemalla eri variaatioita. Kymmenen sakaraa käänsi valaisinta mielestäni liian paljon ja kaksitoistasakaraisessa tulpassa sakaroiden väli muodostui niin pieneksi, että valaisin ei pysynyt enää vakaasti paikoillaan vaan pyörähti helposti pienestäkin kosketuksesta. Käytettyystesteissä yksitoistasakarainen päätytulppa toimi odotetulla tavalla. Valaisimen pysti laskemaan tai asettamaan pöydälle eikä valaisin pyörähtänyt hallitsemattomasti uuteen asentoon. Valaisimen suuntaaminen oli myös mahdollista joskin se rajoittui kahteen asentoon. Säätovara tuntui kuitenkin riittävältä laajan valojoon ansiosta.



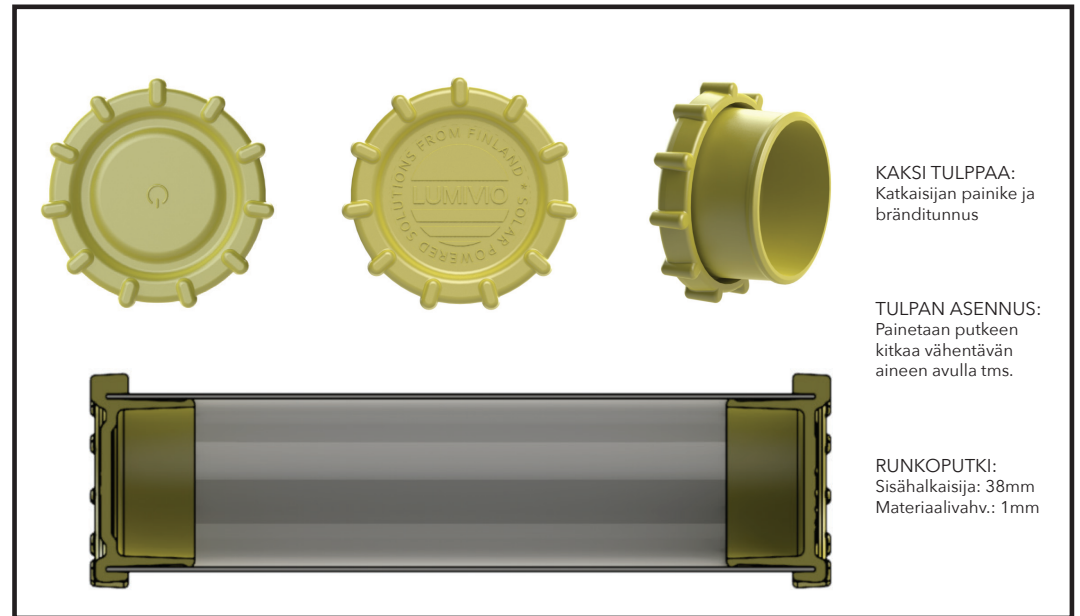
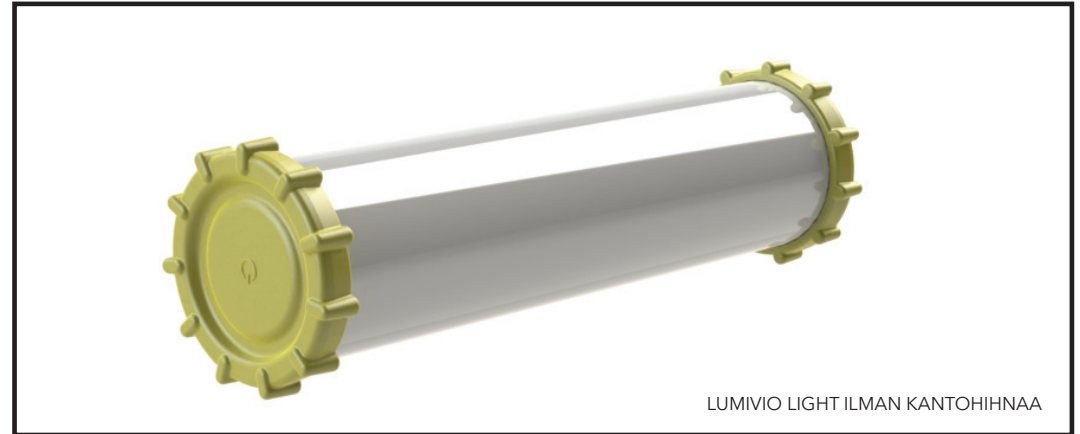
16.9.2013

# LUMIVIO LIGHT PÄÄTYTULPPA EC 11

© Antti Väisänen



MATERIAALIVAHVUDET:  
-keskimäärin 2,5mm  
-vaihtelee 1,4mm - 3mm välillä



KAKSI TULPPAA:  
Katkaisijan painike ja  
bränditunnus

TULPAN ASENNUS:  
Painetaan putkeen  
kitkaa vähentävän  
aineen avulla tms.

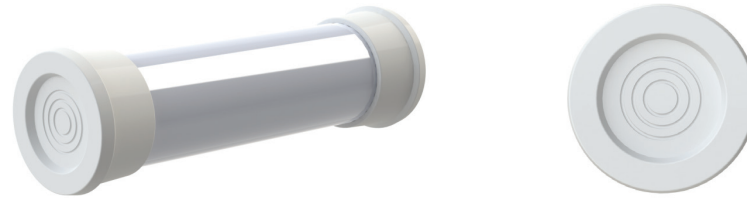
RUNKOPUTKI:  
Sisähalkaisija: 38mm  
Materiaalivahv.: 1mm

PÄÄTYTULPAN FUNKTIOT: 1. SULKEE PUTKEN 2. SUOJAA PUTKEN PÄÄTYREUNAN 3. TOIMII KATKAISIJAN PAINIKKEENA 4. BRÄNDITUNNISTE 5. ESTÄÄ  
PUTKEN YMPÄRILLE KIIINNITTYVÄN KANTOHINAN POIS LIUKUMISEN PUTKEN PÄÄDYSTÄ 6. ESTÄÄ PUTKEN PYÖRIMISEN TASOLLA

# LUMIVIO LIGHT END CAP DESIGN

© Antti Väisänen 21.8.2013

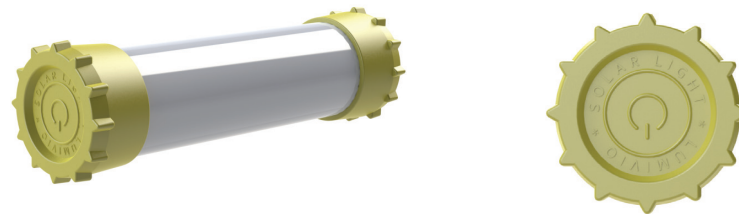
①



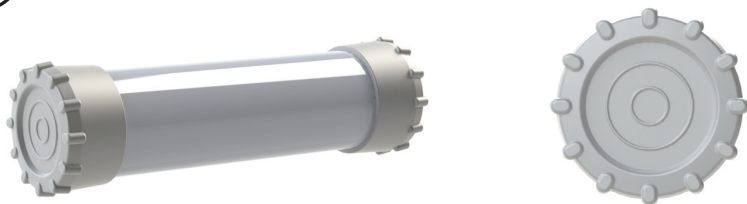
②



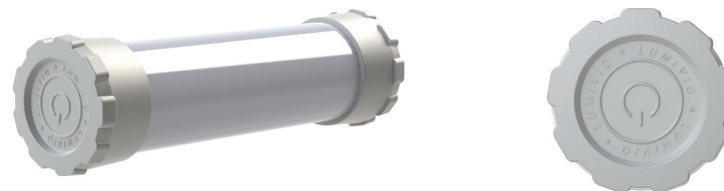
③



④



⑤



# LUMIVIO LIGHT PÄÄTYTULPAN YKSITYISKOHDAT



© Antti Väisänen 30.9.2013

Kuvio 74.



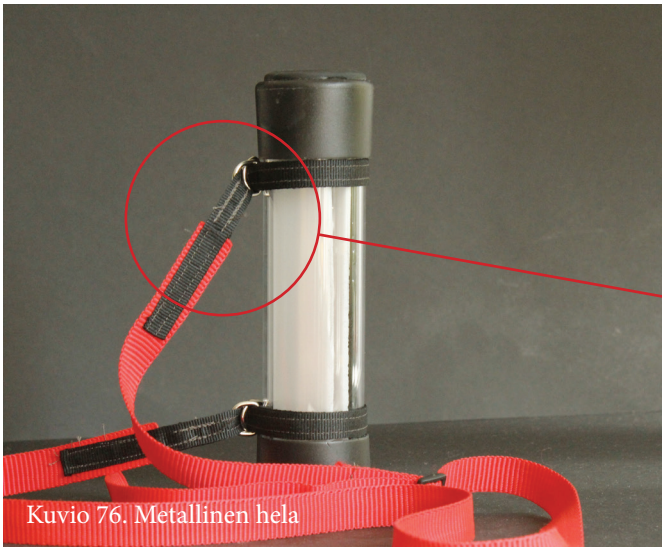


Kuvio 75. Hihnan säätö

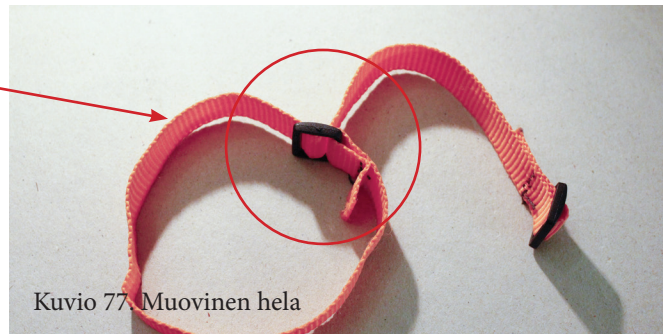
## 6.10 Kantohihnan muotoilu

Tuotekehitysprojektin aikana tehdyn hihnan uudelleen konseptoinnin yhteydessä hihnan rakenne yksinkertaistui huomattavasti verrattuna ensimmäisiin prototyyppeihin. Uudessa konseptissa hihna oli valmistettu kahdesta eri levyisestä polypropeeninauhasta, jotta valaisimen kantaminen kaulassa oli miellyttävää ja hihna ei varjostanut aurinkokennoa. Osia hihnassa oli yhdeksän kappaletta. Kuviossa 76 näkyvä musta vain 10 millimetriä leveä nauha edellytti metallisten helojen käyttöä, sillä muoviset helat olisivat pienen kokonsa takia olleet rakenteellisesti liian heikkoja. Hihna oli valmistettu vanhanaikaisella vyölenkkiperiaatteella, jossa hihna kulki kahden soljen läpi. Veto hihnassa kiristi lenkin ja piti hihnan tiukasti kiinni valaisimen rungossa.

Valmistettavuuden näkökulmasta hihnaa oli syytä vielä yksinkertaistaa. Ompelusaumojen ja osien määrän vähentämisellä hihnan valmistamista oli mahdollista nopeuttaa. Eri levyisten nauhojen ompelu samaan hihnaan lisäsi ompelusaumojen ja virheiden mahdollisuuksien määrää kokoonpanotyössä merkittävästi. Työ edellytti koneellista ompelua ja



Kuvio 76. Metallinen hela



Kuvio 77. Muovinen hela

tarkkutta työn tekemisessä.

Päätytulpan uusi muotoilu mahdollisti 15mm leveän nauhan käytön koko hihnassa. Leveässä hihnassa metalliset helat pystyi korvaamaan muovisilla ilman rakenteiden liiallista heikentymistä. Kiinnitysheloiksi valitsin monenlaisten solkien tutkimisen jälkeen T-soljen, jota käytetään yleisesti hihnojen ja nauhojen pituuden säätöön. T-soljen valinnalla pystyin poistamaan erilaisten helojen tarpeen hihnan valmistuksessa. Liitoksen valaisimen runkoputkeen toteutin ompelemalla hihnan soljen keskikaiteen sijasta päätykaiteeseen ja pujottelin nauhan kiristyslenkiksi. Tällä tavalla sain vähennettyä osien määrän yhdeksästä viiteen. Erilaisia osia ja materiaaleja oli enää vain kaksi. Myös ompelusaumat lyhenivät niin paljon, että hihnan valmistaminen pelkän langan ja neulan avulla oli mahdollista tehdä muutamassa minuutissa.

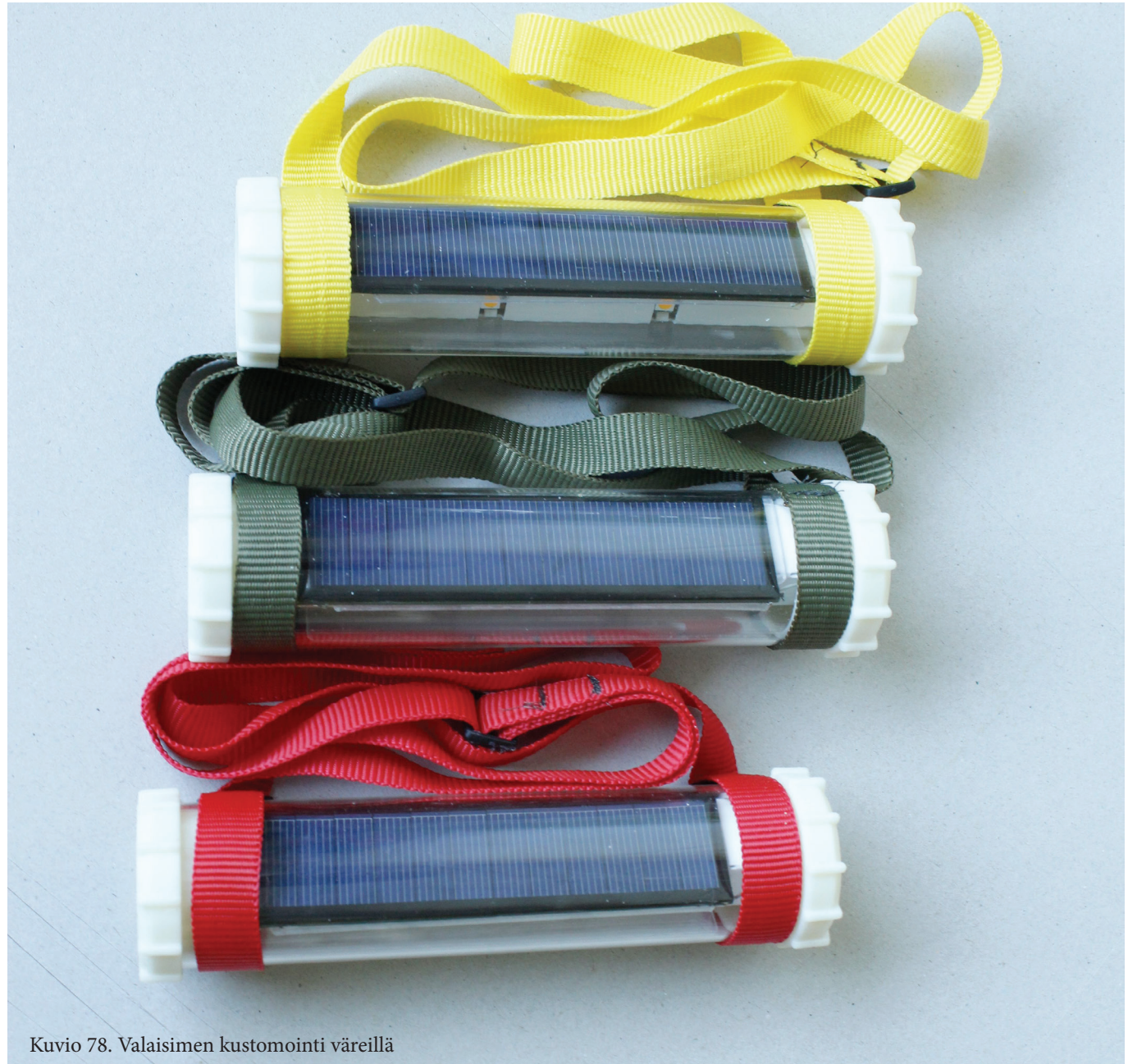
Valaisimen käytettävyydestä saadusta palautteesta ymmärsin, että värit olisivat valaisimessa tärkeitä. Peter Kuria, joka järjesti ensimmäisten valaisimien prototyyppien testauksen Keniassa, kertoi afrikkalaisten pitävän väreistä. Hänen mielestään erityisesti afrikkalaiset naiset halusivat koristautua ja heille värit valaisimessa saattoivat olla hyvinkin tärkeä keino liittää valaisin omaan asuun. Kaunis valaisin voisi olla ylpeyden aihe. Käytettävyydesteissä myös omat lapseni kiinnostuivat värillisellä hihnalla varustetusta prototyyppivalaisimesta huomattavasti enemmän kuin mustavalkoisesta, ja värillisillä hihnoilla varustettuja prototyyppisiä pidettiin yleisesti kiinnostavampina.



Tuotteiden ulkonäkö välittää sanattomia singnaaleja niiden ominaisuuksista ja käytettävyydestä. Estetiikka on myös mahdollisuus erottua joukosta tai kuulua joukkoon. Tämän takia koin erittäin tärkeäksi, että valaisimeen ja sen hihnaan liitetään väri. Yksinkertainen hihnan rakenne ja valaisimen mustavalkoinen pohjaväri mahdollistivat monenlaisten värien harmonisen käytön. Eri värisillä hihnoilla näin mahdollisuuden kustomoida valaisimen käyttäjän tarpeita ja omia värimieltyksiä vastaavaksi. Tällä tavalla käyttäjä saattoi tuntea tuotteen enemmän omaksi ja kokea ylpeyttä sen omistamisesta.

Käytettävyyteen liittyy tiiviisti ergonomia, joka valaisimen hihnan suunnittelussa tarkoitti käytön helppoutta ja soveltuvuutta sekä aikuisille että lapsille. Hihnan pituuden mitoitin sopivaksi käytännön läheisesti testaamalla eri pituisia hihnoja eri kokoisilla testihenkilöillä. Lapsille ja aikuisille sopivan hihnan pituudeksi sain 90-140 cm. Valaisimen käyttömukavuuteen pystyin vaikuttamaan hihnan leveydellä. Käytön helppous parani hihnan rakenteen yksinkertaistamisella.

Valaisimen käyttöturvallisuus edellytti, että käyttäjä ei voinut jäädä kiinni hihnaan jos valaisin takertui esimerkiksi puuhun. Muoviset helat olivat yksi ratkaisusta. Ne antoivat periksi riittävässä kuormituksessa ja liukas polypropeenihina luisti heloissa, jos valaisimesta kiskaisi kovalla otteella. Hihnan turvallisuus olisi kuitenkin parempi, jos siinä olisi riittävässä kuormituksessa aukeava liitos. Sopivan solki-osan löytäminen on yksi seuraavista työvaiheista.



Kuvio 78. Valaisimen kustomointi väreillä



## 7. TULOKSET JA ARVIOINTI

Opinnäytetyössäni tutkin Lumivio Oy:n toimeksiannosta syksyllä 2012 konseptoimani aurinkokenovalaisimen käytettävyyttä ja valmistettavuutta. Tavoitteena työssä oli kehittää konseptivalaisimesta malli, joka soveltuisi kokoonpantavaksi kehitysmaissa. Toisena tavoitteena oli valaisimen käytön helppouden parantaminen. Lumivio Oy asetti työhön haasteeksi valmistuksen aloituskustannuksien minimoinnin. Ominaisuuksiltaan valaisimen tuli olla edullinen, monikäyttöinen, kestävä, luotettava, pitkäikäinen, huollettavissa oleva ja sen tuli soveltua sekä aikuisten että lasten käyttöön.

Valaisimen kehitystyössä pyrin toteuttamaan käyttäjälähtöistä suunnittelua muun muassa eläytymällä itse käyttäjän rooliin käytettävyydestä ja havainnoimalla testikäyttäjiä. Eläytymällä käyttäjän



Kuvio 79. Konseptivalaisin lokakuussa 2013



Kuvio 80. Konseptivalaisin joulukuussa 2012



asemaan pyrin pääsemään mahdollisimman lähelle käyttäjän kokemusmaailmaa. Koin valitun metodin hyväksi, sillä sain välitöntä palautetta valaisimen toimivuudesta ja pystyin kokeilemaan erilaisia ratkaisuja nopeasti prototyyppejä rakentamalla ja tekemällä pikamalleja.

Käytettävyydestien avulla löysin ratkaisut, joilla pystyin vaikuttamaan positiivisen käyttäjäkokemuksen syntymiseen. Yksi merkittävä havainto oli, että laaja valojako helpotti enemmän näkemistä kuin valotehon lisääminen. Häikäisyä taas oli mahdotonta vähentää pienentämällä valon tehoa, sillä silmä mukautui valon määrään, jolloin hämärässä tai pimeässä tilassa vähäinenkin valo aiheutti häikäisyä. Pehmentämällä valon luonnetta valonlähteen päälle sijoitettavilla valo läpäisevillä materiaaleilla valon määrä taas väheni huomattavasti. Aurinkokennovalaisimien teho-hyötysuhde on niin pieni, että ratkaisu olisi joko heikentänyt näkemistä tai lyhentänyt valaisimen päivittäistä käyttöaikaa. Ratkaisuna oli aurinkokennon sijoittaminen häikäisysojaksi. Ratkaisua edesauttoi tarve pienentää valaisimen kokoa, joka ohjasi minut tutkimaan erilaisia mahdollisuuksia sijoitella elektroniikka uudella tavalla valaisimen sisälle. Oman kokemukseni mukaan ja testihenkilöiltä saamani palautteen mukaan ratkaisu toimi hyvin ja paransi käytettävyyttä merkittävästi - erityisesti silloin, kun valaisin roikkui käyttäjän kaulassa.

Valaisimen käytettävyyden näkökulmasta koin erittäin tärkeäksi ymmärtää ja löytää toimintaperiaatteet, jotka mahdollistivat valaisimen monikäyttöisyyden. Käytettävyydesteissä valaisinta pidettiin



Kuvio 81.



enimmäkseen kaulassa, joten keskityin valaisimen ominaisuuksiin, jotka paransivat valaisimen käyttämistä kaulaan ripustettuna. Käytettävyydesteissä huomaisin, että yksinkertainen hihna toteutti lähes kaikki tarpeelliset ripustusvaatimukset. Tästä syystä päädyin tekemään valaisimen hihnasta mahdollisimman yksinkertaisen. Samalla sain ratkaistua valaisimen soveltuvuuden aikuisille ja lapsille. Yksinkertaiseen hihnaan oli helppo toteuttaa pituuden säätö, joka oli myös helposti käytettävä.

Syksyllä 2012 konseptoimassani valaisimessa oli jalusta, joka mahdollisti valaisimen käyttämisen pöytälamppuna. Jalustaosan totesin tuotekehityksen al-

kumetreillä olevan valmistettavuudeltaan vaikeasti toteutettava ja kallis ratkaisu. Käytettävyydesteissä ilmeni, että pöytävalona toimiminen edellytti ennen kaikkea sitä, että valaisin ei pyörinyt tasolla ja valaisimen pystyi suuntaamaan vähintään kahteen eri valaistuskulmaan. Pöytävalo-ominaisuuden liitin valaisimen rakenteen sulkeviin päätytulppiin lisäämällä niihin muodon, joka esti valaisimen pyörimisen tasolla. Valaisimen korkeuden säädön jätin kokonaan toteuttamatta, sillä korkeutta oli mahdollista muuttaa asettamalla valaisin esimerkiksi korokkeen päälle.

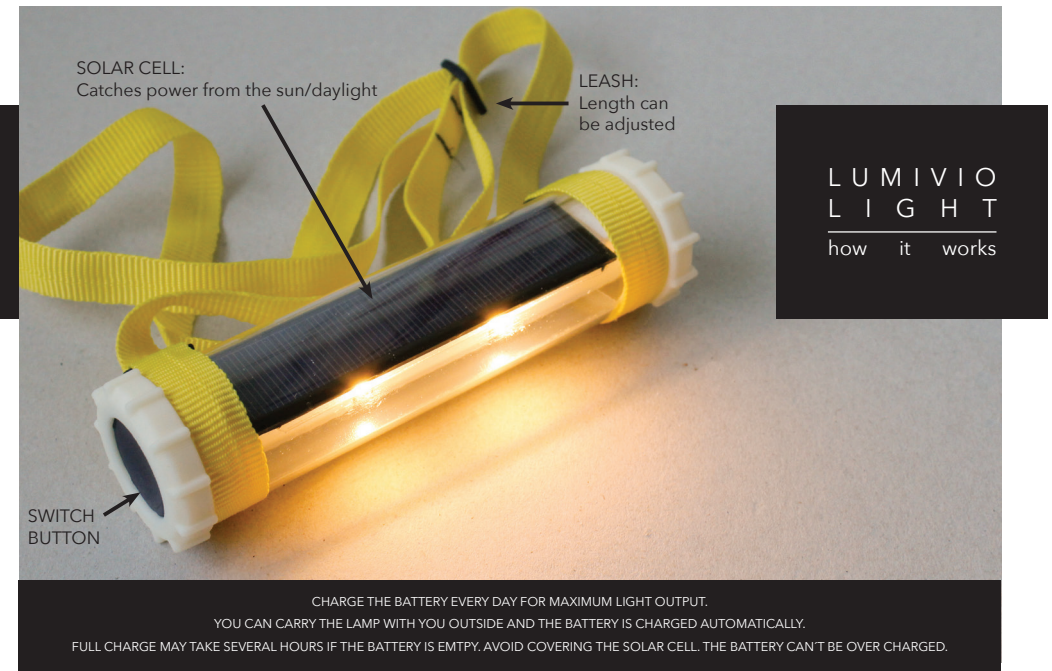
Lumivio Oy:n asettamaan haasteeseen valmistuk-

sen aloituskustannuksien minimoimisesta vastasin keskittämällä kaikki rakenteellisesti kriittiset ominaisuudet yhteen osaan, valaisimen rakenteen sulkevaan päätytulppaan, jonka suunnittelin ruiskuvalukappaleena toteutettavaksi. Tällä tavalla pystyin vähentämään valaisimen osien määrää ja yksinkertaistamaan valaisimen rakennetta. Valaisimesta tuli helposti ja nopeasti kokoonpantava ja se oli mahdollista purkaa osiin huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten.

Ruiskuvalumuotin suunnittelu oli perusteltua myös valaisimen kokonaishinnan kannalta. Useista yksinkertaisista käsin valmistetuista osista tai stan-



Kuvio 82.



Kuvio 83.

dardiosista rakennettu päätytulppa olisi ollut hidas valmistaa ja lopputuloksen laatu olisi riippunut paljon tekijän kädentaidoista. Osien määrän kasvaminen olisi monimutkaistanut kokoonpanoprosessia, jolloin myös virheiden mahdollisuus olisi ollut suurempi. Päätytulpan hinta valaisimen kokonaisuudessa muodostui kohtuullisen pienilläkin valmistusmäärillä varsin pieneksi, joten sillä ei ollut merkittäviä vaikutuksia loppukäyttäjän maksamaan hintaan valaisimesta. Valmistuksen aloittamiskustannuksien liiallinen säästäminen käyttäjän kannalta tarpeellisten ominaisuuksien kustannuksella olisi voinut merkitä tuotteen markkinoille jalkautumisen epäonnistumista.

Valaisimen sisäosien varjostinkappaleet toteutin laserleikatuista polypropeeniarkeista. Mahdollisimman pienien valmistuksen aloittamiskustannuksien kannalta laserleikkaus oli hyvä valinta, sillä prosessi ei edellytä kalliiden muottityökalujen hankintaa. Lisäksi laserleikkaus soveltuu sekä suurien että pienien sarjojen tuotantoon ja mahdollistaa tarkasti valmistetut osat. Polypropeeni on taas markkinoiden yksi edullisimmista muovimateriaaleista, jonka tekniset ominaisuudet ovat hyvät. Materiaali soveltuu omien kokemuksieni mukaan erityisen hyvin käsityönä tehtävään kokoonpanoon, jossa oli mahdollista tehdä nopeasti ja helposti automaatiossa mahdottomia muoviarkkien taivutteluja suljettuun muotoon ja osien liittämistä toisiinta limittämällä.

Kokoonpantavien osien määrä tuotekehityksen aikana pieneni ensimmäisen konseptivalaisimen 29 osasta viimeisimmän prototyypin 13 osaan. Osat

ja osakokonaisuudet pystyin pitämään hallitusti omina elementteinään valaisimen rakenteen moduloimalla ansiosta. Omina osakokonaisuuksina suunniteltu rakenne mahdollisti työn jakamisen kokoonpanovaiheessa eri työntekijöille. Valaisimen hihna, elektroniikka ja runko-osat oli mahdollista kokoonpanna siten, että komponentit valmistettiin valmiiksi omissa työpisteissä ja liitettiin yhteen vasta tuotantolinjan lopussa.

Elektroniikan suunnittelussa päädyin muotoilemaan elektroniikan tilan tarpeen enkä ottanut ledejä ja akkua lukuun ottamatta yksityiskohtaisesti kantaa lopullisten elektroniikkaosien valintaan. Virtapiirin suunnittelua tein pääasiassa suuntaa antavilla

tilavuusmalleilla ja prototyypeillä. Kehityksessä erityisesti elektroniikan suojauksella korroosiota vastaan on suuri merkitys valaisimen pitkäikäisyyden kannalta. Suojausmenetelmiä ja materiaaleja on useita ja niiden suunnittelu ja käyttäminen vaatii ammattitaitoa. Yksinkertaisessakin elektroniikassa komponentteja voi olla useita ja niiden keskinäinen vuorovaikutus vaikuttaa elektroniikan toimintaan. Hyvän ja käyttövarman elektroniikan suunnittelussa on paljon huomioitavia asioita eikä muotoilijalla ole ammattitaitoa kyseiseen tehtävään. Elektroniikan tarkempi suunnittelu oli siten syytä jättää asiantuntijoiden tehtäväksi ja muotoilijana koin tarpeelliseksi esittää vain käyttäjän ja kokoonpanijan näkökulman suunnittelutarpeista.



Kuvio 84.



# VALAISIMEN RAKENNE

## ELEKTRONIIKKA

- 3 osaa
- Tehdasvalmisteinen virtapiiri
- NiMH akkupaketti 3,6V
- 4,5 V / 30 mm x 120 mm kenno
- Virtapiiri, kenno ja akku liitetään johdoilla yhteen valaisimen kokoonpanovaiheessa

## RUNKO-OSAT

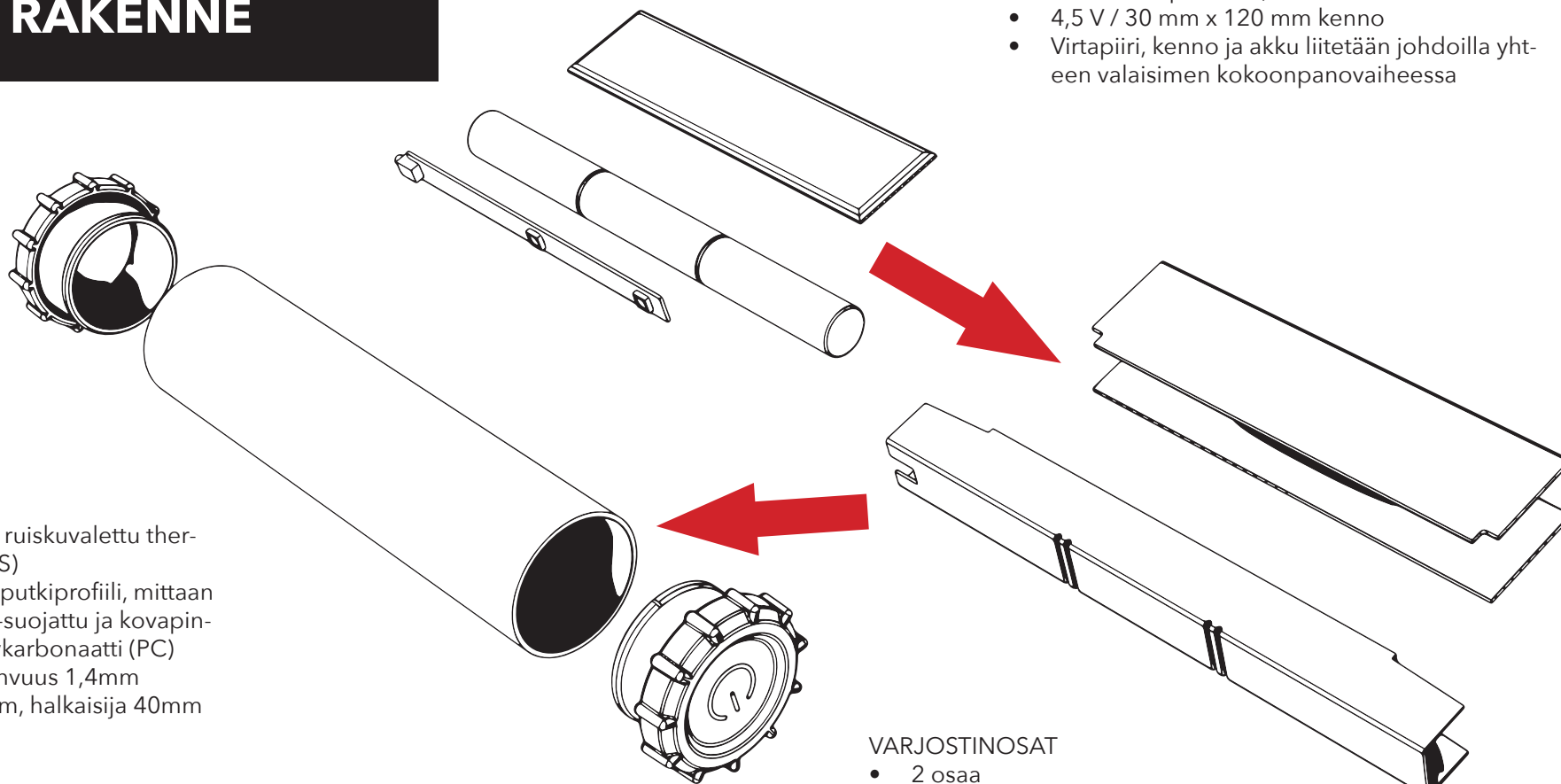
- 3 osaa
- Päätytulppa: ruiskuvalettu thermoelasti (SBS)
- Runkoputki: putkiprofiili, mittaan katkaistu UV-suojattu ja kovapinnoitettu polykarbonaatti (PC)
- Materiaalivahvuus 1,4mm
- Pituus 160mm, halkaisija 40mm

## HIHNA

- 5 osaa
- 15mm leveä litteä polypropeeni (PP) -nauha
- kiinnityshelat: 3 kpl muovinen T-solki (PP tai PE)
- ommellaan valaisimen kokoonpanovaiheessa joko koneella tai käsin

## VARJOSTINOSAT

- 2 osaa
- Materiaalina polypropeeni (PP): valkoinen ja 70 % läpinäkyvä
- Laserleikatut aihiot
- Taitellaan lopulliseen muotoon kokoonpanovaiheessa käsityönä



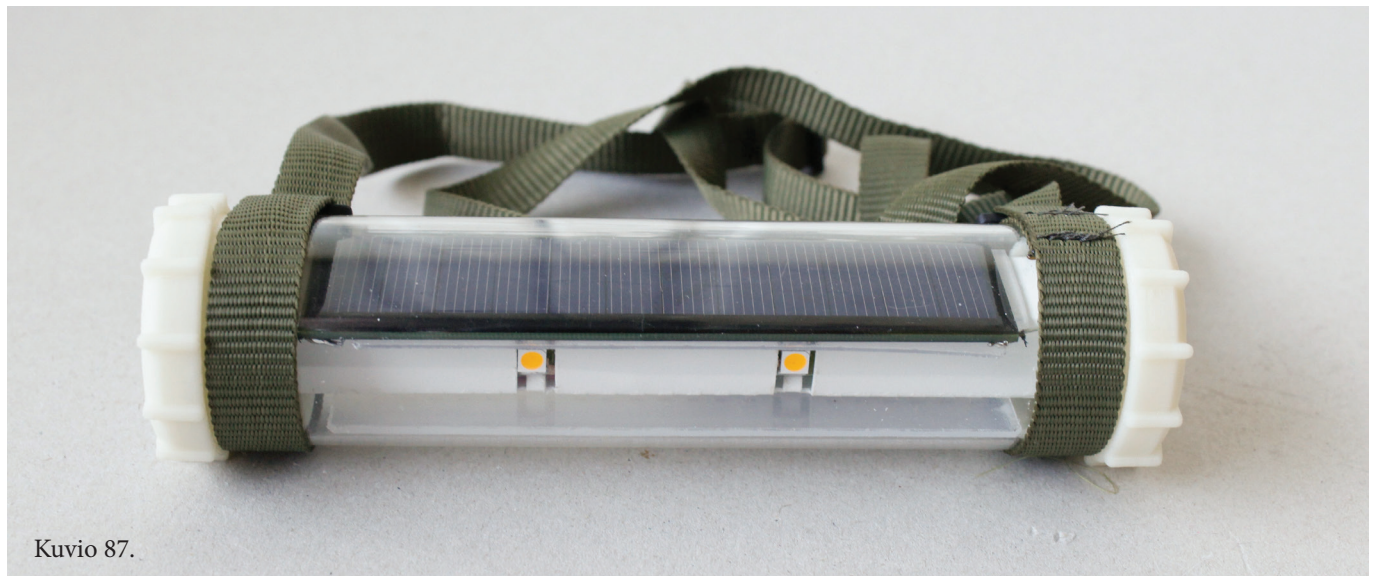
Kuvio 85.

Tuotekehitysprojektin alussa toimeksiannon yhteydessä Lumivio Oy esitti ajatuksen, jonka mukaan valaisimen estetiikalla kehitysmaissa on vain vähäinen merkitys. Estetiikalla on kuitenkin laajempi merkitys kuin se, että näyttääkö tuote hyvältä tai huonolta. Tuote voi ulkonäöllään viestiä käyttäjälle laadusta ja ominaisuuksista, kuten kestävydestä ja käyttötarkoituksesta. Esteettisesti miellyttävät ja hyvin toimivat tuotteet koetaan myös henkilökohtaisemmiksi. Parhaimmillaan tuotteen ja käyttäjän välistä suhdetta voidaan pitää kumppanuussuhteena, jossa tuote tukee huomaamattomasti käyttäjän toimintaa ja käyttäjä voi kokea mielihyvää tuotteen omistamisesta (Väyrynen ym. 2004. s.30). Esteettisesti kauniita esineitä halutaan pitää myös enemmän esillä. Valaisimen suunnittelussa estetiikalla oli siten suuri merkitys siinä, miten valaisimessa kiinteänä osana oleva akku saadaan ladattua. Lataaminen oli helppoa ja vaivatonta, jos valaisin kulki käyttäjän mukana joka päivä.

Estetiikan tärkeys valaisimen suunnittelussa nousi esille tuotekehityksen alkumetreillä käytettävyyss-testien yhteydessä. Keniassa valaisimen käyttäjiä tehneen ja ohjanneen kenialaisen Peter Kurian palautteesta ilmeni, että afrikkalaiset ihmettelivät prototyyppien värittömyyttä. Väriäinen valaisin oli hänen mukaansa mahdollista liittää osaksi asukokonaaisuutta, joka Afrikassa on tärkeää erityisesti naisille. Peter kertoi afrikkalaisten käyttävän paljon värejä ja muun muassa omasta ulkonäöstä huolehtiminen on tärkeää köyhimmällekin osalle väestöstä. Palautteen perusteella totesin värien näyttelevän erittäin tärkeää roolia valaisimen toimivuuden kan-



Kuvio 86. The Cool Kids (Christina Chan)



Kuvio 87.

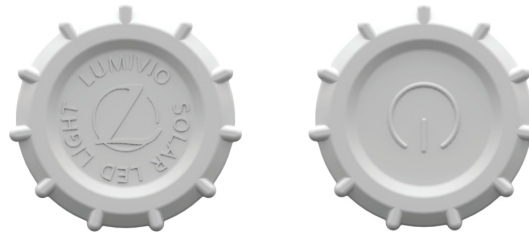
nalta. Tarkemman tutkimisen jälkeen oivalsin värien tuovan myös mahdollisuuden valaisimien yksilöllistämiseen. Valaisimet oli mahdollista kustomoida käyttäjien mieltymysten mukaisiksi ilman lisäkustannuksia vain vaihtamalla kantohihnan väriä.

Kaikki käyttäjälle näkyvät osat vaikuttavat kokonaisuudesta syntyvään mielikuvaan. Valaisimen esteetiikkaan oli mahdollista vaikuttaa ruiskuvaluttavan päätytulpan ja kantohihnan muotoilun lisäksi myös valaisimen sisälle jäävien varjostinosien muotoilulla. Esimerkiksi näkyvillä oleva virtapiiri voisi viestiä keskeneräisyydestä eikä siten vahvistaisi mielikuvaa laadusta tai johtaisi ostopäätöksen syntymiseen. Valaisimen sisäosien esteettisesti siistin ja edullisesti toteutettavan ulkonäön saavutin materiaalivalinnalla. Polypropeeniarkki antoi mahdollisuuden pujottaa elektroniikkavirtapiiri arkkiin leikattujen lovien läpi niin, että ainoastaan ledit jäivät näkyville.

Päätytulppien suunnittelussa geometrinen ja symmetrisen muotojen käyttö oli mielestäni perusteltua, sillä ne jatkoivat valaisimen runkoputken ja sisäosien perusmuotojen harmoniaa ja muodostivat siten ehjän kokonaisuuden. Valaisin oli vahvasti esine, jonka piti toimia hyvin ja luotettavasti tehtävässään. Tiukka symmetria vahvisti mielestäni mielikuvaa kestävydestä ja laadusta. Päätytulpan muodoissa päädyin myös korostamaan rakenteen jyrkyyttä selkeillä viistetyillä muodoilla ja sijoittamalla esimerkiksi katkaisijan kostetuspinnan syvennykseen.

Tuotteiden menestymisen kannalta on tärkeää, että

ne identifioidaan tuotemerkkiin tai brändiin. Mielestäni myös kehitysmaissa brändi-identiteetin rakentaminen alusta alkaen on tärkeää ja tulevaisuudessa sillä tulee olemaan yhä suurempi merkitys. Aurinkoenergiasta käyttövoimansa saavien valaisin- tuotteiden määrä ja myynti kehitysmaissa on kasvanut viime vuosina räjähdysmäisesti, joten erottautuminen kilpailijoista käy yhä haastavammaksi ja tärkeämmäksi. Päätytulpan suunnittelu ruiskuvalukappaleena antoi mahdollisuuden lisätä yrityksen logon tuotteeseen. Bränditunnuksen lisääminen ruiskuvalukappaleeseen ei ole suuri kustannuserä, joten päätytulpan suunnittelussa sain mahdollisuuden kiinnittää huomiota myös yrityksen esille tuomiseen tuotteeseen kautta.



Kuvio 88.

## 8. YHTEENVETO

Kehitysmaissa käytettävän ja kokoonpantavan valaisimen suunnittelu oli projektina mielenkiintoinen ja haasteellinen. Aiheen taustoitukseen jouduin käyttämään paljon aikaa, sillä itselläni ei ollut omakohtaista kokemusta kehitysmaiden ympäristö- ja elinolosuhteista. Suurimpana haasteena suunnitteluprosessissa koin Lumivio Oy:n asettaman tavoitteen mahdollisimman pienistä tuotannon aloittamiskustannuksista, joka tarkoitti ensisijaisesti valaisimen osien val-

mistukseen tarvittavien tuotantotyökalujen määrän minimoimista. Haasteena oli myös löytää kehitysmaissa tapahtuvaa kokoonpanoprosessia tukevat materiaalit ja valmistustekniikat.

Muotoilutyössä päädyin suunnittelemaan yhden pienikokoisen ruiskuvalumuotin, jolla valmistettiin valaisimen rakenteen sulkevat tulpat. Tulppaosaan pyrin keskittämään mahdollisimman monta valaisimen käytettävyyden ja valmistettavuuden kannalta tärkeää ominaisuutta, jotta valaisimen muut osat oli mahdollista valmistaa yksinkertaisilla ja edullisilla menetelmillä. Valaisimen sisäosat toteutin laserleikatuista käsin taivuteltavista muoviarkeista, joka mahdollisti profilirakenteiden valmistamisen paikallisesti ilman työkaluja. Elektroniikan paikallisen valmistuksen totesin valaisimen laatuvaatimuksien kannalta ongelmalliseksi. Teollisesti esivalmistettujen komponenttien käyttö tuki selvästi käsityötä paremmin valaisimen kokoonpanoprosessia ja huollettavuutta. Valaisimen käytettävyyttä sain parannettua valaisimen kokoa pienentämällä, kantohihnaa yksinkertaistamalla sekä sijoittamalla elektroniikan niin, että aurinkokenno toimi myös valaisimen varjostimena.

Tuotekehitystyö synnytti projektin lähtökohtana olevaa konseptivalaisinta pienemmän ja rakenteeltaan huomattavasti yksinkertaisemmän valaisimen prototyypin. Esteettisesti valaisimesta muotoutui ehjä ja harmoninen kokonaisuus. Tuotekehityksen myötä valaisimen luonne muuttui monella tavalla ripustettavasta valaisimesta enemmän yksinkertaiseksi ja helposti mukana kulkevaksi apuvälineeksi.





Kuvio 89.





Kuvio 90.



---

Kirjalliset/verkkolähteet:

Cagan, Jonathan & Vogel, Craig 2003. Kehitä kärkituote, Ideasta innovaatioksi. Helsinki: Talentum media Oy

Jokinen, Tapani 2001. Tuotekehitys. 6. korjattu painos. Helsinki: Otatieto Oy

Kula, Daniel & Ternaux, Élodie & Hirsinger Quentin 2009. Materiology. Amsterdam: Frame Publishers

Kurri, Veijo & Malén, Timo & Sandell, Risto & Virtanen, Matti 2002. Muovitekniikan perusteet. 3. Tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus

Launis, Martti & Lehtelä, Jouni 2011. Ergonomia. Tampere: Työterveyslaitos

Rodgers, Paul & Milton, Alex 2011, 108. Product Desing. Lontoo: Laurence King Publishing Ltd

Thompson, Rob 2007. Manufacturing Processes for Desing Professionals. New York: Thames & Hudson

Ulrich, Karl & Eppinger, Steven 2008. Product Desing and Development. 4. painos. New York: Mc Graw-Hill/Irwin

Väyrynen, Seppo & Nevala, Nina & Päivinen, Minna 2004. Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa. Tampere: Teknologiainfo Teknova Oy

Aulio, Kai 21.3.2012. Sähköttömyys kehityksen suurin este varsinkin Afrikassa. Tiedebasaari <<http://tiedebasaari.wordpress.com/tag/ykn-vuosituhatohjelma/>> (Luettu: 20.10.2013)

Burris, Matthew 2013. Li-ion Battery Safety. About.com <<http://components.about.com/od/Components/a/Liionsafety.htm>> (Luettu: 20.10.2013)

Hamilo, Marko 16.6.2013. Paikalliset sähköverkot tuovat sivilisaation syrjäseuduille. Suomen Kuvalehti <<http://suomenkuvalehti.fi/jutut/ulkomaat/paikalliset-sahkoverkot-tuovat-sivilisaation-kehitysmaiden-syrjaseuduille>> (Luettu 20.10.2013)

Innojok 2013. Valaistussuosituksset <<http://www.innojok.fi/valaistus/suosituksset.php>> (Luettu: 20.10.2013)

Laatikainen, Markku 22.8.2011. Led-valoputken tuotto suhteessa kulutettuun sähköön. Valtavalo ( <http://www.valtavalo.com/Blogi/19/led-valoputken-valontuotto-suhteessa-kulutettuun-sahkoon-vtt-tutkimukset-ja>)

Lighting Africa 2010. Solar Lighting for the Base of the Pyramid. Market Research <<http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a68a120048fd175eb8dcbc849537832d/SolarLightingBasePyramid.pdf?MOD=AJPERES>> (Luettu 20.9.2013)

Lighting Africa 2013a. Lighting Africa Market Trends Report 2012. Market Research <<http://www.lightingafrica.org/lighting-africa-market-trend-report-2012-overview-of-the-off-grid-lighting-market-in-africa.html>> (Luettu 15.10.2013)

Lighting Africa 2013b. Preventing Electronic Corrosion in Solar Lights. Briefing Notes [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/newsroom/stories/preventing-electronic-corrosion-in-solar-lights>> (Luettu 20.10.2014)

Lighting Global 2012. Battery Toxicity and Eco Product Desing. Briefing Notes <[www.lightingglobal.org/recources/briefing-notes](http://www.lightingglobal.org/recources/briefing-notes)> (Luettu: 20.10.2013)

Lighting Global 2014a. About Lighting Global <<http://www.lightingglobal.org/about/about-lighting-global>> (Luettu 14.1.2014)

Lighting Global 2014b. Minimum Quality Standards <<http://lightingglobal.org/activities/qa/standards>> (Luettu 14.1.2014)

Lighting Global 2014c. Standardized Specifications Sheets <<http://www.lightingglobal.org/resources/specs>> (Luettu: 15.1.2014)

Mink, Tirian & Tracy, Jennifer & Alstone, Peter, Jacobson Arne 2010. Led Flashlights in the Kenyan Market. Technical Research. [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/component/k2/item/25-publications.html>> (Luettu 8.1.2014)



---

Mubila, Lannes, Aissa. Income Inequality in Africa. 7.3.2012 <<http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Policy-Documents/FINAL%20Briefing%20Note%205%20Income%20Inequality%20in%20Africa.pdf>> (Luettu 9.1.2014)

Nykänen, Sanna 2013. Muovituotesuunnittelun kokonaisprosessi <[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign\\_overallprocess\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf)> (Luettu: 20.10.2013)

OECD/IEA 2013. WEO-2013 Electricity Access Database <<http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energydevelopment/energyaccessdatabase/>> (Luettu 15.10.2013)

Suihkonen, Sami 2013. Led-teknologia <<http://mide.aalto.fi/Ajankohtaista/Led-teknologia>>

Vienamo, Teppo & Nykänen, Sanna 2013. Toimintojen integrointi <<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/160/215/>> (Luettu: 15.11.2013)

VTT 2013. Käytettävyyden määritelmä <[http://www.vtt.fi/research/technology/contextawareservices/hti\\_what\\_usability.jsp?lang=fi](http://www.vtt.fi/research/technology/contextawareservices/hti_what_usability.jsp?lang=fi)> (Luettu: 15.11.2013)

WHO 2013. Indoor air pollution and Health <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/>> (Luettu 15.10.2013)

World Bank 2013. Energy in Africa <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/AFRICAEXT/EXTAFRREGTOPENERGY/0,,contentMDK:22932439~menuPK:717339~pagePK:34004173~piPK:34003707~theSitePK:717306,00.htm>> (Luettu: 15.11.2013)

#### Haastattelut:

Sistonen, Matti 2013. Kone- ja prosessisuunnittelun asiantuntija. Haastattelu 2.8.2013

#### Kuvalähteet:

Kuvio 1. Earth at Night. NASA 18.4.2012 [WWW-dokumentti] <[http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/79000/79765/dnb\\_land\\_ocean\\_ice.2012.3600x1800.jpg](http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/79000/79765/dnb_land_ocean_ice.2012.3600x1800.jpg)> (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 2-7.

Kuvio 8. Mess of Wires. Arttu Manninen 11.9.2004 [WWW-dokumentti] <<http://www.flickr.com/photos/adrenalin/167266287/>> Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä-Epäkaupallinen-Ei muutoksia 2.0 Yleinen -lisenssillä. (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 9. Lamp. shortie66 21.2.2007 [WWW-dokumentti] <<http://www.flickr.com/photos/sunshine6/441252396/in/set-72157600031037464>> Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä-Epäkaupallinen-Jaa samoin 2.0 Yleinen -lisenssillä. (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 10. Market Trend Report 2012. Lighting Africa 2013, s. 52 [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/lighting-africa-market-trend-report-2012-overview-of-the-off-grid-lighting-market-in-africa.html>> (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 11. Market Trend Report 2012. Lighting Africa 2013, s. 16 [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/lighting-africa-market-trend-report-2012-overview-of-the-off-grid-lighting-market-in-africa.html>> (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 12. Market Trend Report 2012. Lighting Africa 2013, s. 50 [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/lighting-africa-market-trend-report-2012-overview-of-the-off-grid-lighting-market-in-africa.html>> (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 13. Market Trend Report 2012. Lighting Africa 2013, s. 40 [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/lighting-africa-market-trend-report-2012-overview-of-the-off-grid-lighting-market-in-africa.html>> (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 14-15. Corrosion of Electronics, Lighting Africa 2013 [WWW-dokumentti] <<http://www.lightingafrica.org/newsroom/stories/preventing-electronic-corrosion-in-solar-lights>> (Luettu 8.1.2014)

---

Kuvio 16. Barefoot Power Powa Pack 5W. Barefoot Power Ltd. [WWW-dokumentti] <<http://www.barefootpower.com/index.php/products/item/122-powapack-5w>> (Luettu 9.1.2014)

Kuvio 17. D-light tuoteperhe. D.light Desing [WWW-dokumentti] <<http://www.dlightdesign.com/productline/>> (Luettu 9.1.2014)

Kuvio 18. BoGo Light. Momastore [WWW-dokumentti] <[http://images.budgettravel.com/200812040257612\\_SolarFlashLight.jpg](http://images.budgettravel.com/200812040257612_SolarFlashLight.jpg)> (Luettu 9.1.2014)

Kuvio 19.

Kuvio 20. Work. Jeff Attaway 24.4.2010 [WWW-dokumentti] <<http://www.flickr.com/photos/attawayjl/4552060769/in/set-72157623283907715>> Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä 2.0 Yleinen -lisenssillä. (Luettu 8.1.2014)

Kuvio 21-46

Kuvio 47. Väyrynen, Seppo & Nevala, Nina & Päivinen, Minna 2004. Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa. Tampere: Teknologiainfo Teknova Oy

Kuvio 48-85.

Kuvio 86. The cool kids. Christina Chan. 2005. <<http://www.flickr.com/photos/stine1121/21151301/sizes/l/>> Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä-Epäkaupallinen-Ei muutoksia 2.0 Yleinen -lisenssillä.

Kuvio 87-90.