

Jukka Magnusson

Led-tuotteiden hankinta ja käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähköisen talotekniikan tutkinto

Insinöörityö

22.5.2014

Tekijä Otsikko	Jukka Magnusson Led-tuotteiden hankinta ja käyttöönotto
Sivumäärä Aika	91 sivua 22.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Torsti Viilo
<p>Led-tuotteet kasvattavat markkinaosuuttaan ja niiden tekniset ominaisuudet paranevat vuosi vuodelta. Niille ei ole kuitenkaan valoteknisesti laadullisia vaatimuksia standardissa ja myös heikkolaatuisia tuotteita on tullut markkinoille. Tavoitteena on saada tietoa erilaisissa sovelluksissa käytettyjen tuotteiden ominaisuuksista verrattuna niitä muihin valon- tuottotekniikoihin.</p> <p>Selvitetään, mikä on valoa tuottavien led-sirujen toimintamekanismi ja kuinka ihmisen näköaisti toimii valoa nähdessään sekä minkälaiset näköolosuhteet tukevat näköaistin toimintaa ja minkälaiset häiritsevät sitä. Kerätään tietoa valaistus standardeista ja alan julkaisuis- ta valaistuksesta erilaisissa asennusympäristöissä. Haastatellaan sähkötukkulikkeiden, sähköurakoitsijan ja valvovan viranomaisen edustajia led-tuotteiden vahvuuksista ja haas- teista. Tehdään E27-kantaisten lamppujen testi, jossa mitataan valaistusvoimakkuutta ja energiankulutusta sekä arvioidaan värintoistokykyä ja tuotteiden toimivuutta hehkulam- pua korvaavina tuotteina.</p> <p>Tuloksena alan toimijoiden haastattelusta saatiin tietoa tällä hetkellä myynnissä ja käytös- sä olevien led-tuotteiden vahvuuksista ja haasteista. Tunnetuimmat valmistajat tarjoavat yleensä hyvälaatuisia tuotteita. Lampputestissä todettiin led-tekniikan valotehokkuus mui- hin vaihtoehtoihin nähden sekä halogeenilamppujen sitä hieman paremmat laadulliset ominaisuudet. Led-lamppuja ei voida pitää hehkulamppua korvaavina tuotteina.</p> <p>Johtopäätöksenä todetaan led-tuotteiden vahvuudet ja vielä ratkaisemattomat haasteet eri käyttöympäristöissä. Tulokset tarjoavat valonlähdevaihtoehdon valinnassa muitakin kritee- reitä kuin energiatehokkuuden, koska sen yhteydessä täytyy huomioida myös ympäristön olosuhteet ja valon laadulliset vaatimukset.</p>	
Avainsanat	Led-tuote, valaistusvoimakkuus, valotehokkuus, värintoisto, vahvuus, haaste ja standardi.

Author Title	Jukka Magnusson Purchase and use of LED products
Number of Pages Date	91 pages 22 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructor	Torsti Viilo, Principal Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to find out whether the LED products, which have increased their market share and whose technical properties have improved, fulfill the consumer demands and lighting standards.</p> <p>Information about lighting in different installation environments was gathered with measurements. The representatives of electrical wholesale companies, contractors and monitoring officials were interviewed. The illuminance, recursion of colour and energy consumption of LED light bulbs with an E27 connection were measured.</p> <p>As a result, information about the strengths and challenges of the LED products that are already sold or used was gained. The test results showed that the majority of the LED products were adequate, but that the quality of some products was weak. The low-quality products cannot substitute incandescent light bulbs or fulfill the lighting standards.</p> <p>Furthermore the assets, challenges and the current state in the market of the LED products was established. Also, it was found out that the halogen light bulb is still the best option in some lightning applications. The results make it possible to use other criteria than luminous efficacy when choosing the light source.</p>	
Keywords	LED product, illuminance, luminous efficacy, recursion of color, asset, challenge and standard.

Sisällys

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
2	Led-tuotteet	2
2.1	Mitä ovat led ja oled	2
2.2	Markkinoilla tarjolla olevia erilaisia led-tuotteita	2
3	Hyvän valaistuksen edellytykset	3
3.1	Silmän rakenne ja sen toiminta	4
3.2	Hyvä näkeminen	6
3.2.1	Värien näkeminen ja värintoistoindeksi	7
3.2.2	Riittävä valaistusvoimakkuus	8
3.2.3	Häikäisy, kiiltokuvastuminen, kontrastintoisto ja Blue Light Hazard	8
3.2.4	Valon ei-visuaaliset vaikutukset	10
3.2.5	Mesooppinen näkeminen	11
3.3	Valaistuskalkulaatio valaistussuunnittelussa	12
4	Led valaistuksessa	14
4.1.1	Kiinteistöjen energiatehokkuuden vaatimuksia	14
4.1.2	Valaistuksen energiatehokkuus	15
4.2	Led-tekniikan sovelluksia	16
4.2.1	Sisävalaistus: energiatehokkuus ja suunnitteluprosessi	17
4.2.2	Ulko- ja tievalaistus Helsingissä	19
4.2.3	Yhteistilojen valaistus	20
4.2.4	Tehdasvalaistusesimerkki	21
4.2.5	Urheilualueiden ja jäähallien valaistus	22
4.2.6	Turvavalaistus	23
4.2.7	Rautateiden valaistus	24
4.3	Standardit led-tuotteille	25
4.4	Valaisimien huolto	27

5	Alan toimijoiden haastattelu	28
5.1	Kyselylomake haastattelun pohjana	29
5.1.1	Haastattelujen tulokset	29
5.1.2	EU:n markkinavalvontaviranomaisten yhteiskampanja	42
5.1.3	Johtopäätökset led-tuotteiden toimivuudesta	44
6	Testi E27-kantaisille 40 W:n hehkulampun korvaaville led-lampuille	48
6.1	Tutkimus	50
6.2	Tutkimustiedon analysointi	53
6.2.1	Valotehokkuus	53
6.2.2	Valonjako	55
6.2.3	Värintoisto	57
6.2.4	Elinkaarikustannus	67
6.2.5	Harmoniset ylivirrat	69
6.3	Testin tulokset	75
7	Loppupäätelmä led-tuotteiden ominaisuuksista vuonna 2014	77
7.1	Haasteet, jotka ovat vielä ratkaisematta	77
7.2	Vahvuudet, jotka tekevät led-tuotteista hyvän valonlähteen	79
7.3	Loppupäätelmä led-tuotteista	80
	Lähteet	82

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

alenemakerroin	Lampun tai valaisimen eliniän aikana tapahtuva valon määrän alenema. Kuvataan kertoimella, joka ilmoittaa, paljonko valontuottokyvystä on jäljellä eliniän lopussa.
CE-merkintä	Vaaditaan tuotteilta, jotka ovat myynnissä EU:n alueella. Merkki takaa tuotteen vaatimustenmukaisuuden.
DALI	Digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä.
E27-kanta	Lampun kiertämällä kiinnitettävä kanta. Hehku- lampun tyyppillinen kanta. Kierteen halkaisija on 27 millimetriä.
elinkaarikustannus	Tuotteen kustannukset mukaan lukien sen hankinta, ylläpito- ja huoltokulut.
fotooppinen näkeminen	Päivänäkeminen.
harmoninen ylivirta	Laitteen lähettämät verkkovirran kerrannais- taajuiset virrat, jotka siirtyvät jakeluverkkoon.
hehkusäteilijä	Hehku- tai halogeenitekniikalla toimiva valon- lähde.
häikäisyindeksi	Laskennallinen yksikkö, jolla arvioidaan häi- käisyyn määrää. Sen yksiköitä ovat UGR, GR ja TI.
kontrastintoistosuhde	Laskennallinen yksikkö, jonka suositus on yli 0,9. Yksikkö on CRV.
KNX	Kiinteistön sähkötoimisten järjestelmien yhtei- nen ohjausjärjestelmä.
lamppu	Laite, jossa valo muodostuu. Yleensä va- laisimeen kiinnitettävä erillinen osa.
led	Lyhenne sanoista "light-emitting diode". Puoli- johdekomponentti, joka tuottaa valoa.
MacAdam-luku	Kuvaa tietyssä lampumallissa väriämpötilan vaihtelun suuruutta yksittäisten tuotteiden väli- lä. Arvona luku 0–10.
mesooppinen näkeminen	Päivänäkemisen ja hämäränäkemisen väliin jäävä näkemisen alue.

nanometri	Mittayksikkö. $1 \cdot 10^{-9}$ metriä.
oled	Lyhenne sanoista ”organic light-emitting diode”. Puolijohdekomponentti, joka tuottaa valoa.
porrasvaloautomaatti	Laite, joka kytkee valaistuksen määräajaksi päälle.
retrofit	Termi, joka tarkoittaa uuden tuotteen sovittamista vanhan tilalle olemassa olevaan järjestelmään.
RGB	Red Green Blue. Tarkoittaa led-yksikköä, jossa on punaisen, vihreän ja sinisen värin led-sirut, jotka yhdessä tarjoavat hyvälaatuisen värin-toiston.
sauvasolut	Silmän verkkokalvon aistinsolut, jotka aistivat heikossa valossa.
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Suomessa viranomainen, joka vastaa sähkölaitteiden valvonnasta.
skotooppinen näkeminen	Hämäränäkeminen.
smart grid	Järjestelmä, joka mahdollistaa sähköliittymän haltijalle energian oston lisäksi myös sen myynnin jakeluverkkoon haluamallaan tavalla.
sylinterivalaistusvoimakkuus	Pystypinnalle kertyvä valaistusvoimakkuus.
tappisolut	Silmän verkkokalvon aistinsolut, jotka toimivat voimakkaassa valossa ja aistivat myös värejä.
valaisin	Laite, johon lamppu asennetaan. Sen tehtävä on suunnata lampun tuottama valo kohteeseen ja rajoittaa sen aiheuttamaa häikäisyä.
valo	Sähkömagneettisen säteilyn ihmissilmän näkemä osuus valon aallonpituuksilla 380–760 nanometriä.
valotehokkuus	Lampun valovirran (lumen, lm) suhde lampun kuluttamaan pätötehoon (watti, W). Yksikkö on lumen/watti (lm/W).
valovirta	Lampun lähettämä valo. Yksikkö on lumen (lm).

valovoima	Valaisimen lähettämä valo tiettyyn suuntaan. Yksikkö kandela (cd).
valaistusvoimakkuus	Pinnalle tulevan valovirran määrä verrattuna sen pinta-alaan. Yksikkö luks (lx).
verkkokalvo	Silmänpohjan osa, johon syntyvät hermoärsykkeet. Siitä ne menevät näköhermoa pitkin aivoihin, jossa kuva muodostetaan.
väriämpötila	Ilmoittaa valonlähteen valon sävyn lämpimyyden/viileyden. Yksikkö kelviniä (K).
värintoistoindeksi	Kertoo lampun kyvystä toistaa värejä oikeanlaisina. Arvot ovat välillä 0–100. Yksikkö on joko R_a tai CRI.

1 Johdanto

Led-tuotteita on tullut määrällisesti ja laadullisesti paljon valaisintuotemarkkinoille.

Tunnettujen valmistajien tuotteet ovat toimineet yleisesti hyvin, mutta joissakin tuotteissa on ollut laatuongelmia, jotka ovat tuottaneet käyttäjille pettymyksen. Mielipiteet uuden tekniikan toimivuudesta ovat jakaantuneet, mutta selkeää tutkimustietoa ei ole ollut riittävästi käytettävissä.

Tässä työssä tutkitaan led-tuotteiden käyttöönoton haasteita ja vahvuuksia tuotteista saatavaan dokumentointiin perehtymällä, eri valonlähteillä toimivia E27-kantaisia lampuja tutkimalla ja alan toimijoiden haastatteluilla. Urakoijalta, tukkumyyjiltä ja viranomaistaholta kerätään tietoa ja kokemuksia tuotteiden turvallisuudesta, valontuotosta, eliniästä, värintoistosta ja ympäristöön aiheutuneiden häiriöiden aiheuttamista ongelmista. led-tekniikkaa vertaillaan perinteisiin valaistustekniikoihin mahdollisimman realistisesti. Lisäksi selvitetään, täytyvätkö led-tuotteiden myyntilupaukset kaikilta osin, ettei yllättäviin ongelmiin törmättäisi käyttöönoton yhteydessä tai käytön aikana.

Julkisessa ja kaupallisessa rakentamisessa työn tilaajalta vaaditaan nykypäivänä entistä suurempaa ammattitaitoa urakoiden kilpailutuksessa, jotta haluttu lopputulos valaistuksessa on toimiva ja laadukas sekä kohtuukustannuksin ylläpidettävä. Trendikkäät tekniikat eivät ole ratkaisu jokaiseen kohteeseen. Elinkaarikustannuslaskelmiin ja käyttäjien laatuvaatimukseen perustuva lopputulos on valoteknisesti ja taloudellisesti järkevä ratkaisu.

Ledit ovat epäilemättä tulevaisuuden valaistusratkaisujen ytimessä jo nykytietämyksen ja poliittisten päätöstenkin perusteella. Niiden ominaisuudet ja mukautuvaisuus moniin käyttötarkoituksiin ovat tietyltä kannalta tarkasteltaessa vertaansa vailla. Tyypillisesti tuotteilla on niiden kehityskaaren alkupäässä huonotkin ominaisuudet, joten niiden vähättely markkinoinnissa on kuluttajien johtamista harhaan. Tämä voi johtaa huonoista ominaisuuksista kertyneiden kokemusten kautta myös led-tuotteiden maineen aiheuttamaan heikkenemiseen kuluttajan silmissä. Tuotekehityksessä epäilemättä satsataan voimavaroja myös mm. parempaan värintoistoon, häikäisyn vähentämiseen ja valon spektrissä sinisen valon kohdalla olevan piikin pienentämiseen. Korkealaatuisen tuotteen ei kuulu olla erinomainen vain tärkeimmässä ominaisuudessaan, vaan myös vähintään hyvän huonoimmassakin ominaisuudessaan.

2 LED-tuotteet

2.1 Mitä ovat led ja oled

Led-kirjainyhdistelmä tulee englanninkielisistä sanoista Light-Emitting Diode. Se tarkoittaa valoa säteilevää diodia. Muita käytettyjä nimityksiä ovat mm. loistediodi, hohtodiodi ja ledi. Diodi taasen on anodista ja katodista koostuva puolijohdekomponentti. Valoa säteilevä diodi päästää virtaa kulkemaan vain yhteen suuntaan, joten se toimii vain tasasähköllä. Virran kulkiessa sen läpi se säteilee valoa ympäristöönsä. Ledien valmistusmateriaali määrää sen lähettämän valon värin. Väriä voidaan edelleen muokata ledin pintaan asennettavilla kalvoilla ja pinnoitteilla.

Aiemmin led-tuotteita käytettiin näyttötauluina ja elektronisten laitteiden merkkivaloina. Viime vuosina ne ovat alkaneet yleistyä valaistuksessa yhä kiihtyvällä tahdilla. Tämän on mahdollistanut valkoisen ledin keksiminen ja tekniikan valotehokkuuden voimakas kasvu kilpaileviin tuotteisiin verrattuna. Shuji Nakamuralle, valkoisen ledin kehittäjälle, myönnettiin Millenium-tekniologiapalkinto vuonna 2006. Valkoisen led-sirun tekniikka perustuu siniseen lediin, joka on päällystetty fluoresoivalla loisteaineella, joka muuntaa osan säteilystä kellertäväksi. Näin toteutetun valonlähteen väri koetaan näköaistissa valkoisena valona. Tämä tekniikka on ylivoimaisesti yleisin nykyään käytössä olevissa led-tuotteissa.

Oled-kirjainyhdistelmä tulee sanoista Organic Light-Emitting Diode. Se tarkoittaa suomeksi orgaanista valoa säteilevää diodia. Sen elektroluminesenssikerros on korvattu kalvolla, joka on orgaanista yhdistettä. Oled on ollut käytössä näytöissä ja siitä kehitetään uusia sovelluksia valaistukseen. Se vapauttaa valaistussuunnittelun perinteisen valaisimen vaatimasta fyysisestä muodosta ja sen rajoitteista, jos se päättyy tulevaisuudessa yleisvalonlähteeksi. [3]

2.2 Markkinoilla tarjolla olevia erilaisia led-tuotteita

Led tarjoaa pieneen kokoon mahtuvaa, valotehokasta, edullista ja muuntautumiskykyistä valonlähdettä moniin olosuhteisiin. Sen käyttö on erittäin yleistä. Kaupunkiympäristössä saatamme olla koko ajan tekemisissä led-tuotteiden kanssa aina edes sitä ajattelematta. Tyypillisimmät led-tuotteiden kohteet ovat valaistus ja erilaiset näytöt. Yksittäi-

siä led-merkkivaloja on lähes kaikissa tuotteissa, jotka toimivat verkkovirralla tai patterilla. Led-tuotteita tyypillisimmillään ovat sisä- ja ulkovalaisimet tai niissä olevat lamput. Niiden käyttö yleistyy myös tievalaistuksessa, meri- ja lentoliikenteessä sekä autojen ajovalonlähteinä. Led-tuote on integroitu usein tietokoneeseen, puhelimeen tai televiisioon sen näytöksi. Tällaisista laitteesta ei saada informaatiota tarkasteltavaksi, jos näyttö ei toimi. Usein puhelimissa ja mobiililaitteissa näyttö toimii myös laitteen pääasiallisena ohjaimena.

Mainosvalaistus on siirtynyt käyttämään pääasiassa led-taustavalaisua logojen valaistukseksi ja tarvittaessa myös värinanton. Suurissa pop-konserteissa ja yleisötapahtumissa on siirrytty värikkäistä halogeeni-heittimistä väriä vaihtaviin led-heittimiin, koska energiansäästö on ollut huomattava ja taiteellisen valaistusvaikutelman tarjoamisen mahdollisuudet ovat moninaistuneet. Yksittäisiä ledejä on ollut sähkötoimisten laitteiden merkkivaloina ja tasonvoimakkuus-indikaattoreina jo useita vuosikymmeniä. Se on ollut ainut yleisesti käytetty ja edullinen tapa toteuttaa värillisiä merkkivaloja erittäin pieneen tilaan. Kameroiden salamalaitteet, taskulamput, otsalamput ja pyörien ajovalaisimet ovat myös vaihtuneet led-tuotteiksi.

Yliyöntejäkin on varmaan tehty, mutta yleensä led-tuote on monipuolistanut valonlähteen mahdollisuuksia lisäten turvallisuutta, käytettävyyttä ja toimintavarmuutta sekä mahdollistanut uusien sovellusten käyttöönoton. Kun samassa tuotteessa on erinomainen valotehokkuus, pitkä elinikä ja monipuolinen ohjattavuus, valonlähteiden välisessä kilpailussa led-tuotteet voivat olla pian ilman vakavasti otettavaa haastajaa.

3 Hyvän valaistuksen edellytykset

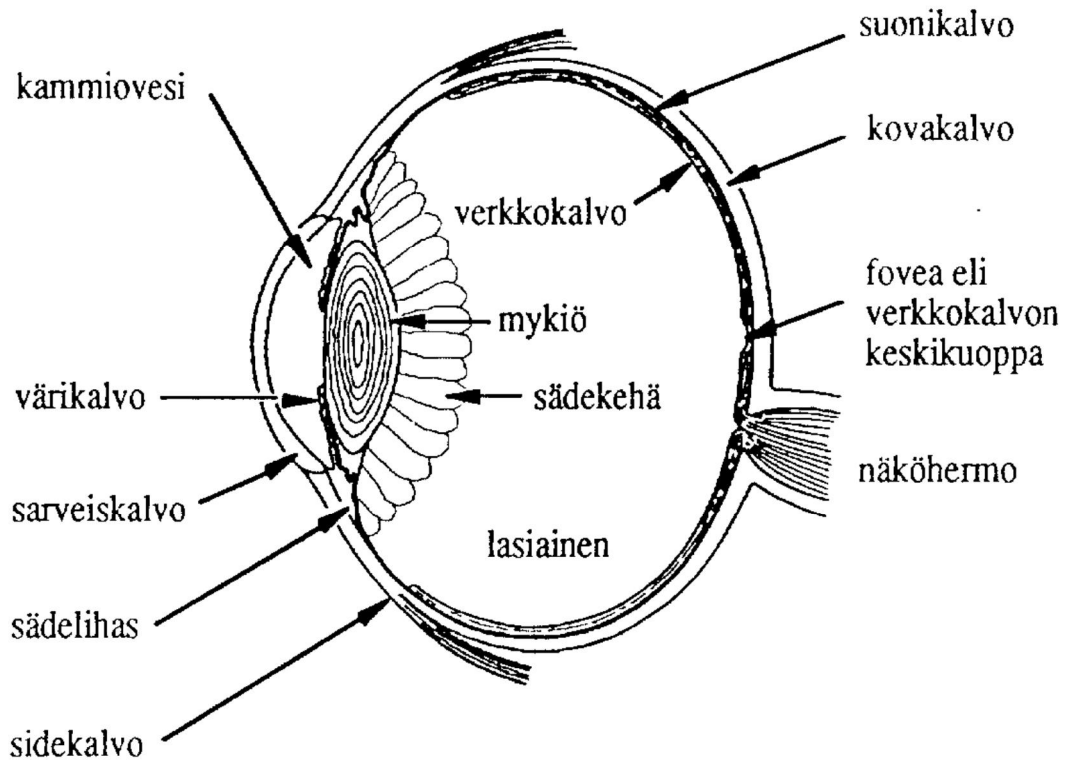
Hyvä valaistus mahdollistaa selkeän ja silmiä rasittamattoman näkemisen. Sen on oltava toiminnaltaan luotettava ja helppokäyttöinen. Kokonaistaloudellisesti sen on oltava energiatehokas, kohtuuhintainen ja pitkäikäinen investointi. Lisäksi sen on sovittava esteettisesti ympäristöönsä ja oltava häiriötön muulle ympäristölle. Näkemisen kannalta hyvän valaistuksen pitää olla riittävän voimakas ja tasainen. Sillä on riittävät värin- ja kontrastintoisto-ominaisuudet. Se ei saa häikäistä tai heijastua pinnoista niin, että se haittaa näkemistä.

Työpaikkojen valaistussuunnittelu ottaa huomioon näyttöpäätetyöskentelyn haasteet. Kirjoitus- ja lukualueelta ei saa heijastua liikaa valoa ja näytön on oltava selkeästi luettavissa. Valaistusvoimakkuudeksi vaaditaan yleensä 500 luksia työpisteessä ja 300 luksia sen välittömässä läheisyydessä. Standardissa SFS-EN 12464-1 vaaditaan raja-arvot mm. sisätyöpaikkojen valaistusvoimakkuudelle, häikäisyindeksille, valaistuksen tasaisuudelle, värinointindeksille, seinien ja kattojen valaistusvoimakkuudelle, huonepintojen heijastuskertoimille, sylinterivalaistusvoimakkuudelle ja kontrastinotosuhteelle. Valaisinten sijoittelu tehtävään työhön nähden on yksi keskeisimpiä edellytyksiä onnistuneessa valaistuksessa. [5]

3.1 Silmän rakenne ja sen toiminta

Valaistuksen päätarkoitus on saada aikaan hyvät näkemisolosuhteet. Niiden aikaansaamiseksi on tarpeellista ymmärtää, kuinka ihminen näkee. Silmän havainnointikyky perustuu keskeisesti luminanssikontrastiin. Luminanssin määrä riippuu katsottavan kohteen eri osien heijastusominaisuuksista ja valosta, joka kohteen eri osista tulee silmään aistittavaksi. Valo kulkee silmän linssin eli mykiön kautta, joka näkyy kuviossa 1, verkkokalvon aistinsoluille, jotka ovat tappeja ja sauvoja. Tappisolut toimivat voimakkaassa valossa ja sauvasolut heikossa valossa. Tappisolut sijaitsevat verkkokalvon keskiosalla ns. keltaisen täplän alueelle, jolloin voimakkaassa valossa tarkka kuva syntyy hyvin kapeassa, noin 3 asteen levyisessä sektorissa suoraan kohdetta katsottaessa. Tappisolut aistivat, päinvastoin kuin sauvasolut, myös värejä.

Valon vähetessä värien näkeminen heikkenee. Silmänherkkyyskäyrän maksimi siirtyy valon lyhyempiin aallonpituuksiin päin. Siniset värinsävyt näkyvät siten paremmin ja punaiset värinsävyt taasen huonommin hämärässä. Kontrastinherkkyden pienentyessä ei enää eroteta pieniä yksityiskohtia ja havaitsemisnopeus hidastuu. Syvyystarkkuuden heiketessä etäisyyksien arviointi vaikeutuu. Periferisessä eli hämäränäkemisen näkökentässä useilla hermosoluilla on yhteinen näköhermo, jolloin liike erotetaan myös näkökentän äärialueilla. Verkkokalvon keskikuopassa ei ole sauvasoluja, joten heikossa valaistuksessa tarkin kuva syntyy hieman kohteesta ohi katsottaessa.



Kuvio 1. Silmän poikkileikkaus.

Verkkokalvolle syntyneet hermoärsykkeet siirtyvät näköhermoa pitkin aivoihin. Näköhermo menee silmästä aivoihin ns. sokean täplän kohdalta. Aivot muodostavat varsinaisen kuvan valoisuuden, ääriviivojen ja kokemusperäisen tiedon perusteella. Oikeassa valaistuksessa aivojen on helpompi muodostaa tämä kuva. Tutuista kohteista aivot pystyvät muodostamaan helpommin kuvan.

Valaistusvoimakkuus ulkoilmassa voi olla 100 000 luksia. Jos siirrymme nopeasti sisätiloihin, joissa sen arvo tippuu 100:aan, pystymme silti edelleen havainnoimaan ympäristöä. Voimme liikkua yöllä myös 1 luksin valaistusvoimakkuudessa. Silmä sopeutuu hyvin erilaisiin valaistusvoimakkuusolosuhteisiin. Kameran valaistuksen säätömahdollisuudet onnistuneen valokuvan oton kannalta ovat olemattomat ihmissilmään sopeutumiskykyyn verrattuna. Silmä säätelee verkkokalvolle tulevan valon määrää muuttamalla pupillin kokoa normaalisti kahden ja kahdeksan millimetrin välillä. Myös verkkokalvo säätelee herkkyyttään ja se voi olla tarvittaessa eritasoinen näkökentän eri osissa. Tämä on ihmissilmän suurin säätömekanismi valaistuksen määrään sopeutumisessa. Silmä sopeutuu hämärään täydellisesti vasta 30–40 minuutin kuluttua. Kirkkauteen se sopeutuu paljon nopeammin. Valaistussuunnittelussa huomioidaan näkökentän luminans-

sisuhteet, jotta ne eivät ole liian suuria. Näkötehtävät, jossa vuoroin katsotaan tummaa ja vaaleaa kohdetta, ovat silmille raskaita sopeutumiseen tarvittavan ajan takia.

Silmä joutuu tarkentamaan eri etäisyydellä oleviin kohteisiin. Sitä kutsutaan mukautumiseksi eli akkommodaatioksi. Mukautuminen tapahtuu sädelihaksien taivuttaessa silmän linssiä jolloin kuva tarkentuu verkkokalvolle. Lähelle katsottaessa lihakset ovat jännittyneet, ja noin 1–2 metrin etäisyydestä lähtien ne ovat lepotilassa. Mukautumistapahtuma kestää noin 0,7 sekuntia. Voimakkaassa valaistuksessa pupillin ollessa pieni ja silmän syvyystarkkuus suuri, ei silmän tarvitse mukautua niin paljon kuin hämärässä. Silmän avulla voi arvioida myös etäisyyseroja. Ilmiö perustuu syvyysnäkemiseen, mukautumiseen ja kokemusperäiseen tietoon.

Ihmisen ikääntyessä silmä rappeutuu. Linssi kellastuu ja lasiainen sumenee. Valo siroaa enemmän silmän sisällä päästään vähemmän valoa verkkokalvolle asti. Siksi verkkokalvolle muodostuva kuva tulee epätarkaksi ja silmä häikäistyy helpommin. Näkökentän lähipiste siirtyy kauemmaksi estäen aivan lähelle tarkan näkemisen. Myös silmän sopeutumiskyky heikkenee ja sopeutumisaika kasvaa. [14]

3.2 Hyvä näkeminen

Hyvä näkeminen liittyy näöntarkkuuteen, näkömukavuuteen ja värinäkemiseen. Valaistussuunnittelijan pitäisi pystyä huomioimaan työssään kaikkien näiden osa-alueiden toteutuminen saatujen lähtötietojen perusteella. Valonlähteiden lisäksi koko ympäristö vaikuttaa ratkaisevasti näkemisen laatuun.

Näöntarkkuus riippuu keskeisesti valon määrästä ja kontrastin riittävydestä. Häikäisy ja varjonmuodostus voivat rajoittaa tarkasti näkemistä. Ratkaisevaa sen toteutumisessa on oikea valaisintyyppi ja valaisinsijoittelu, jotta riittävän voimakas valo tulee häikäisemättömästä suunnasta kohteeseen. Näkömukavuus riippuu samoista ominaisuuksista kuin näöntarkkuuskin. Häikäisyn vähäisyys ja varjonmuodostuksen selkeys ilman sen aiheuttamia katvealueita on keskeisempää, kuin valon määrä ja kontrasti. Se saavutetaan, kun myös valittu lampputyyppi antaa miellyttävää, hyvän värintoiston omaavaa valoa kohteeseen. Värinäkeminen vaatii erinomaista värintoistoa ja sopivaa värisävyä. Lampun on tarjottava tasaspektristä, sopivan värilämpötilan valoa ympäristössä, joka ei vääristä värintoistoa omilla liian voimakkailla väreillään. Oikean lamppu-

tyypin valinta ja ympäristön neutraali värimaailma tekevät värinäkemisestä selkeämpää. [5]

3.2.1 Värien näkeminen ja värintoistoindeksi

Värintoistoindeksin yleisesti käytetty lyhenne CRI tulee englanninkielisistä sanoista Colour Rendering Index. Toinen käytetty lyhenne on Ra. Molemmat indeksit määrittävät värien toistumisen realistisuutta. Väriämpötilaltaan alle 5 000 kelvinin valonlähteitä verrataan Planckin säteilijään eli hehkulamppuun ja yli 5 000 kelvinin valonlähteitä verrataan standardoituun luonnonvaloloisteputkeen (D65). Päivänvalon värintoistoindeksi on 89 verrattuna Planckin säteilijään ja hehkulampun värintoistoindeksi on myös 89 päivänvaloon verrattuna. Tämän kaksijakoisuuden takia on suunniteltu erilaisia korvaavia värintoistoindeksin mittaamenetelmiä. Värintoistoindeksi ilmaistaan lukuna, joka on nollan ja sadan välillä. Luku 0 vastaa monokromaattista valoa, jossa yksikään väri ei toistu normaalisti. Luku 100 vastaa tasaista, jatkuvaspektristä valoa, jossa värit toistuvat täydellisesti.

Värintoistoindeksi määritellään vertaamalla tutkittavaa valonlähdettä referenssivalonlähteeseen tarkasteltaessa kahdeksan (R_a) tai viidentoista (CRI) eri värin toistumista em. valaistuksissa. Joka värin kohdalla mitataan ero väriavaruuteen sijoittumisen poikkeavuuksissa ja niistä eroista lasketaan neliöllinen keskiarvo. Yhden värin selkeä poikkeama ei vaikuta paljoa lopputulosta huonontavasti, vaikka se voi olla loppukäyttäjän kannalta hyvin olennaista esimerkiksi ihon tai viherkasvin värin muuttumisessa. Hyvänä värintoistoindeksinä valonlähteillä pidetään yli 80 olevia arvoja. Alle arvon 70 jäävät valonlähteet valaisevat kohdetta yleensä epäluonnollisessa tai värittyneessä valossa. Usean erivärisen kohteen toistuminen voi poiketa laadullisesti samanaikaisesti huomattavasti toisistaan. Valokuvauksessa käytettävien valonlähteiden olisi oltava arvoiltaan vähintään 90. Hehkulampuilla ja auringonvalolla on värintoistoindeksi 100. Tie- ja teollisuusvalaistuksen värintoistoindeksi on noin 20–60, koska värien toistumisella ei ole kohteissa suurta merkitystä. Toimistovalaistuksessa usein käytettävillä loisteputkilla luku on 80–85. Värintoistoindeksiä ei pidetä enää toimivana tapana mitata uusia valonlähteitä, joten on päädytty kehittämään uutta menetelmää CIE:n, kansainvälinen valaistuskomission, toimesta. [1]

3.2.2 Riittävä valaistusvoimakkuus

Hyvässä valaistuksessa on keskeistä riittävä valaistusvoimakkuus. Standardit määrittelevät sen minimiarvoja useisiin sisä- ja ulkotyöalueisiin sekä kotivalaistukseen ja liikenteeseen. Valaistussuunnitteluohjelmat laskevat tilojen valaistusvoimakkuuksia. Suunnitelmista voi nähdä isoluksikäyrät, joista tietää, miten valo jakautuu niin työskentelykuin lähialueelle. Ohjelmassa voidaan kokeilla erilaisia sijoitusvaihtoehtoja valaisimille ja nähdä niiden tuottaman valon jakautuminen.

Kaikissa valonlähteissä, valaisimissa ja ympäröivässä tilassakin tapahtuu likaantumista. Myös valonlähteiden teho laskee käyttötuntien kuluessa. Ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden on säilyttävä koko tuotteen eliniän ajan, jonka jälkeen valonlähteet vaihdetaan ja valaisimet mahdollisesti puhdistetaan. Standardi SFS-EN 12464-1 määrittää sisätyöpaikkojen valaistusvoimakkuuden minimiarvot. Tyypilliset toimistohuoneen vaatimukset ovat työtason 500 lx, lähialueen 300 lx, katon 30 lx, seinien 50 lx ja vertikaalisen sylinterivalaistusvoimakkuuden 150 lx. Tasaisuusvaatimus (U_0) on kaikille pinoille 0,1. [5]

3.2.3 Häikäisy, kiiltokuvastuminen, kontrastintoisto ja Blue Light Hazard

Häikäisy estää näkemisen tai rajoittaa sitä merkittävästi. Sen eri lajeja ovat suora häikäisy, epäsuora häikäisy, estohäikäisy ja kiusahäikäisy. Suora häikäisy aiheutuu suoraan valonlähteestä tulevasta valosta. Epäsuora häikäisy aiheutuu valonlähteen jonkun pinnan kautta heijastuneesta valosta katsojan silmään. Estohäikäisy sananmukaisesti estää kohteen näkemisen muodostamalla verkkokalvolla olevan kuvan päälle harsoluminanssin. Tämä on erityisen vaarallista autolla ajaessa, jos äkillinen voimakas valonlähde ”sokaisee” kuljettajan. Kuljettaja ei menetä näköaistiaan, vaan syy on harsoluminanssin. Kiusahäikäisy ei välttämättä estä näkemistä, mutta on epämiellyttävää ja vaikeuttaa näkötehtävää. Häikäisyn määrää arvioidaan mm. laskennallisen häikäisyindeksin avulla. Sen tunnus on sisävalaistuksessa UGR, ulkovalaistuksessa GR ja tievalaistuksessa TI. Sitä voidaan arvioida myös näkökentän maksimiluminanssien tai sen luminanssisuhteiden avulla. Häikäisyyn vaikuttavat häikäisylähteen luminanssi eli pinta-kirkkaus, sen koko ja sen sijainti näkökentässä. Lisäksi siihen vaikuttavat havaitsijan ikä, vireystila ja näköaistin sopeutumistaso sekä suorituskyky.

Häikäisyä estetään rajaamalla häikäisylähteen näkyminen havaitsijalle valaisin- tai kattorakenteen avulla, jakamalla häikäisylähteen luminanssi laajemmalle alueelle, siirtämällä valaisimet pois katselukentästä ja lisäämällä taustan luminanssia. Kiiltäväpintaiset LCD-näytöt, joiden hyviä ominaisuuksia ovat kirkkaus, kontrasti ja erottelukyky, ovat ongelmallisia heijastusten suhteen. Mattapintaiseen näyttöön verrattuna valo ei hajaannu heijastuessa, vaan absorboitumaton osa heijastuu peilinkaltaisesti vastakkaiseen suuntaan tulokulmaan nähden. Ongelmat eivät tule esille vielä asuinhuoneistolle tyypillisessä 100 luksin valaistusvoimakkuudessa, mutta toimistojen 500 luksin valaistusvoimakkuudessa kiiltäväpintaisen näytön häikäisy on noin viisinkertainen mattapintaiseen verrattuna. Tilannetta voi parantaa muuttamalla työpisteen järjestystä, säätämällä näytön ominaisuuksia, muuttamalla näytön sijaintia ja katselukulmaa sekä vaikuttamalla luonnonvalo-olosuhteisiin.

Kiiltokuvastumisessa kirkas lamppu tai valaisimen osa heijastuu katselukohteen kautta havaitsijan silmään. Suora valaistus aiheuttaa aina jotain kiiltokuvastumishaittoja. Tätä ilmiötä voidaan vähentää oikeanlaisella valaisinsijoittelulla.

Kontrastintoistosuhteen (CRV) suositus on yli 0,9. Vaikkei standardi anna ehdotonta raja-arvoa, se kehottaa välttämään kiiltokuvastumista, jota ei esiinny, jos kontrastintoistosuhde on hyvä. [5]

Blue Light Hazard -ilmiön todellisuudesta on puhuttu vahvasti puolesta ja vastaan. Nyt on jo ymmärretty yöaikaisen keinovalon välitön ja välillinen haitallinen vaikutus ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille yhtä lailla kuin luonnon eläin- ja kasvikunnalle. Led-valaistukseen liittyvistä ongelmista ei vielä tiedetä riittävästi, jotta voitaisiin tietää varmuudella sen mahdollisista seurauksista. Illumination Engineering Society, IES, valaistusalan maailmanlaajuinen kattojärjestö, suosittaa lisätutkimusten tekoa aiheesta. Toisaalta Ranskan hallituksen raportti painottaa led-valaistuksen riskejä ja siksi se on tehnyt useita suosituksia niihin liittyen. ANSES (ranskassa ruuasta, ympäristöstä, terveydestä ja turvallisuudesta vastaava ministeriö) on julkaissut raportin *Lighting systems using light-emitting diodes: health issues to be considered*, eli suomennettuna: Led-tekniikalla toimivien valaistusjärjestelmien aiheuttamat mahdolliset terveysongelmat. Koko raportti on vain ranskaksi saatavilla, mutta siitä on tehty englanninkielinen yhteenveto. Raportissa painotetaan led-tuotteiden sinisen valon aallonpituudella olevaa korostunutta piikkiä spektrissä lähellä UV-taajuuksia ja ledin voimakasta pintakirkkautta. Niiden pelätään vaurioittavan silmän verkkokalvoa. Riskiryhmiin kuuluviksi laske-

taan lapset, valoherkät yksilöt ja työnsä puolesta voimakkaalle led-valaistukselle altistuvat. Raportin mukaan standardi EN 62471 ei ole soveltuva led-valaistuksen määrittelyyn. Valmistajia kehoitetaan käyttämään optiikkaa hajottamaan led-sirusta lähtevää valonsädettä sekä estämään tuotteiden led-sirun suoraa näkemistä, jonka pintakirkkaus on liian suuri ihmissilmän siedettäväksi. [13]

3.2.4 Valon ei-visuaaliset vaikutukset

Näköelimen pääasiallinen tarkoitus on mahdollistaa ihmisen näkeminen erilaisissa tilanteissa ja valaistusolosuhteissa, mutta sillä on muitakin tehtäviä. Näköelimen ei-näköaistimusta synnyttävä järjestelmä säätelee mm. ihmisen biologista kelloa, mielialaa ja vireystilaa. Pääosin järjestelmän ärsykeitä välittää silmän kolmas, tappi- ja sauvasolujen ollessa kaksi tunnetuinta, fotoreseptorityyppi. Se on verkkokalvon valoherkkä gangliosolu (ipRGC, intrinsically photosensitive retinal ganglion cell) tai toiselta nimeltään melanopsiinia sisältävä verkkokalvon gangliosolu. Valoherkän gangliosolun herkkyysmaksimi on valon aallonpituudella 480 nanometriä, sinisen värin alueella.

Ei-näköaistimusta synnyttävän järjestelmän tärkein tehtävä on suprakiasmaattisessa tumakkeessa sijaitsevan ihmisen keskuskellon, biologisen kellon tahdistaminen. Ilman vuorokautista valoisuuden vaihtelua ihmisen luontainen vuorokausirytmisi olisi 24 tuntia ja 11 minuuttia. Suprakiasmaattisen tumakkeen lähettämä valoinformaatio estää käpylisäkkeessä yöhormoniksi kutsutun melatoniinin eritystä. Melatoniini on tärkein sirkadiaanisen rytmien eli biologisen kellon tahdittaja. Ihmisen melatoniinitasot ovat yöllä korkeat ja päivällä matalat. Jos ihminen altistetaan voimakkaalle näkyvän valon lyhyimmille aallonpituuksille eli sinistä väriä sisältävälle valolle, loppuu melatoniinin eritysi jo minuuteissa. Järjestelmä säätelee myös serotoniinin eli mielialahormoonin ja kortisolin eli stressihormoonin eritystä.

Merkittävimmit vaivat ihmisellä, jotka liittyvät sisäiseen kelloon ja valon määrään, ovat kaamosmasennus ja lievempioireinen kaamosväsymys. Niitä hoidetaan kirkasvalohoidolla, joka annetaan aamuisin esim. 10 000 luksin valaistusvoimakkuudella 30 minuutin ajan. Samaa hoitoa on käytetty hyvin tuloksin vuorotyön, matkustamisen ja Alzheimerin taudin aiheuttamiin vuorokausirytmiongelmisiin. Yöaikainen valo voi pahimmillaan häiritä solunjakautumista ja immuunipuolustuksen toimintaa. Esimerkiksi yötyötä tekevillä naisilla rintasyövän riski on merkittävästi kohonnut.

Valolla voidaan kiistatta nostaa näköelimen välityksellä ihmisen vireystilaa sekä päiväettä yöaikaan. Valaistusvoimakkuuden kasvattaminen nostaa aina ihmisen vireystilaa. Yöllä melatoniinitasojen vaihtelu on tärkein vaikuttaja ihmisen vireystilaan. Päivällä vireystilaan vaikuttavat muutkin mekanismit. Viimeisimmissä tutkimuksissa on tullut esiin punaisen valon suuri merkitys. Tutkimuksissa on havaittu, että värilämpötilaltaan kylmät valonlähteet nostavat ihmisen vireystilaa lämminsävyisiä valonlähteitä tehokkaammin.

Ei-näköaistimusta synnyttävän järjestelmän spektriherkkyyskäyrä on hyvin samanlainen verrattuna valkoisen ledin lähettämän valon spektriin. Molempien spektrin käyrässä on voimakas korostuma näkyvän valon lyhyiden aallonpituuksien osalla eli sinisen värin kohdalla. Tästä johtuen ei-näköaistimusta synnyttävä järjestelmä reagoi voimakkaasti led-valonlähteiden valoon laskien melatoniinitasoa ja nostaen ihmisen vireystilaa. Näyttöpäätteet ja led-televisiot, joita katsotaan paljon iltaisin, huonontavat näiden tutkimusten perusteella unen laatua ja ne häiritsevät myös biologisen kellon toimintaa. [12]

3.2.5 Mesooppinen näkeminen

Mesooppinen alue on päivä- ja hämäränäkemisen väliin sijoittuva näkemisen alue. Ihmisen näköaisti havaitsee valona sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet 380–760 nanometriä (nm). Valo on säteilyä painotettuna funktiolla, joka kuvaa silmän spektriherkkyttä. Silmä on herkimmillään päivänäkemisen eli fotooppisen näkemisen alueella valon aallonpituuden 555 nm kohdalla ja hämäränäkemisen eli skotooppisen näkemisen alueella valon aallonpituuden 507 nm kohdalla. Päivänäkeminen tapahtuu tappisolujen avulla luminanssin ollessa vähintään 5 cd/m². Hämäränäkeminen tapahtuu sauvasolujen avulla luminanssin ollessa korkeintaan 0,005 cd/m². Mesooppinen alue sijoittuu näiden alueiden väliin, jossa silmä havainnoi valoa sekä tappi- että sauvasolujen avulla. Sauvasolut eivät havaitse värejä, joten tällä alueella värinäkeminen on osittain heikentynyttä riippuen ympäristön luminanssin määrästä.

Mesooppisen näkemisen tilanteita ovat kadut, tiet, puistot, merenkulku ja ilmailu vähäisen luonnonvalon aikaan ja lisäksi tunnelit sekä turvavalistus. Kaikki valaistusmitoitukset perustuu CIE V-lambda-käyrään eli päivänvalokäyrään maailmanlaajuisesti. Vielä ei ole kansainvälisesti CIE-standardoitua mesooppista fotometriaa, vaikka mesooppisia valaistussovelluksia on useissa kohteissa. Käytännön näkemistilanteessa valkoisen

ledin ja monimetallilamppujen tuottama valo on verrattuna kellertävään valoon (suurpainenaatrium) tehokkaampi hämäränäkemisessä. Mittaukset ja valaistustekniset laskut antavat päivänvalokäyrän mukaan painotettuja tuloksia. Valon spektri, joka painottuu sinisiin värinsävyihin, antaa paremman hämäränäkemisen ja lyhentää reaktioaikoja tieliikenteessä. Nämä edut saavutetaan tyypillisesti led-valaistuksessa.

Valonlähteiden spektrijakaumasta kertoo S/P-suhde. Se on skotooppisen eli hämäränäkemisen ja fotooppisen eli päivänäkemisen alueiden suhdeluku. Mitä suurempi on S/P-suhteen arvo, sitä paremmin valonlähde toimii hämäränäkemisen alueella. Suhdelukuna 1 on neutraali arvo. Suurpainenaatriumlampulla se on tyypillisesti 0,60. Monimetallilampuilla ja valkoisella ledillä esim. 2,40. [6]

3.3 Valaistuslaskenta valaistussuunnittelussa

Valittuun kohteeseen saadaan riittävä valaistusvoimakkuus tekemällä suunnitteluvaiheessa valaistuslaskenta. Suunnittelussa huomioidaan standardin vaatimukset. Esim. sisätyövalaistuksen standardi on SFS EN 12464-1 ja ulkotyövalaistuksen SFS EN 12464-2. Tarvittavat tiedot sijoitetaan valaistusteknisiin kaavoihin ja lasketaan arvot käsin tai esimerkiksi dialux- valaistuksenlaskentaohjelmalla. Valaistuslaskennassa arvioidaan häikäisyä ja kertyviä kustannuksia sekä investoinnin että käyttökustannusten osalta. Elinkaarikustannuslaskelmat voidaan tehdä samalla, mikäli asiakas on kiinnostunut myös käyttökustannuksista. Elinkaarikustannusvertailujen avulla led-valaistuksesta voi tulla muita vaihtoehtoja edullisempi alkuinvestointien suuruudesta huolimatta.

Lamppu lähettää valovirran ympäristöönsä, jonka yksikkö on lumen (lm). Valolähteen valovirta saadaan, kun säteilytehoa painotetaan suhteellisella silmänherkkyyskäyrällä. Valovirta heikkenee valonlähteessä polttoajan aikana. Sitä kutsutaan valovirran alenemaksi ja se on huomioitava valaistuslaskennassa. Valaisin, jossa on lamppu valonlähteenä, lähettää valovoiman, jonka yksikkö on kandela (cd). Valaisin lähettää erisuuruisen valovoiman eri suuntiin. Teknisten valaisimien valonjakokäyrästä voidaan lukea tiettyyn suuntaan lähtevän valon määrän suhteellisarvo, jos sellainen tieto on saatavilla. Suhteellisarvon yksikkö on kandela/kilolumen (cd/1 000 lm). Sen arvon ja lamppujen yhteensä antaman valovirran määrän perusteella saadaan tiettyyn suuntaan valaisimesta lähtevän valovoiman arvo. Pinnalle tuleva valaistusvoimakkuuden yksikkö on luksi (lx). Se on sama kuin valovirta pinta-alayksikköä kohden (lm/m^2). Tämä arvo

voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittarilla, ja se kertoo valon määrän, joka tulee mitattavalle pinnalle, muttei sitä, paljonko siitä valosta heijastuu katsojan suuntaan. Mittaritkin on kalibroitu toimimaan silmänherkkyyskäyrän mukaan. Katsoja näkee pinnan kirkkauden eli luminanssin. Se kertoo valovoiman määrän jaettuna kohteen projektiopinnalla. Luminanssia voi mitata luminanssimittareilla, jotka ovat hyvin kalliita, tai edullisemmin digitaalisella kameralla, jossa on siihen valmius. Taulukossa 1 on lueteltu valaistuslaskennan keskeiset suureet ja niiden yksiköt.

Taulukko 1. Valaistuksen keskeiset suureet ja niiden yksiköt

Tunnus	Suure	Yksikkö	Lyhenne	Kuvaus
Φ	valovirta	lumen	lm	Lampun lähettämä valovirta
E	valaistusvoimakkuus	luksi	lx	Pinnalle tuleva valaistusvoimakkuus
I	valovoima	kandela	cd	Valaisimen lähettämä valovoima
L	luminanssi	luminanssi	cd/m ²	Pinta näkyy luminanssina katsojalle

Sisävalaistuksessa valaistusvoimakkuuden laskenta perustuu yleensä hyötysuhdemenetelmään. Sillä lasketaan huonetilaan tms. syntyvä keskimääräinen valaistusvoimakkuus tai tarvittavien valaisinten määrä, jos valaisimen tyyppi on jo valittu. Mikäli halutaan tietää tietyn pisteen valaistusvoimakkuus, siihen käytetään pistemenetelmää. Pinnasta heijastuva luminanssi voidaan laskea Lambertin lakia käyttäen. Näitä menetelmiä ei käsitellä tarkemmin tässä yhteydessä.

Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden (E_k) kaava:

$$E_k = (\beta * k\Phi * k_{25} * \eta * N * \Phi) / A$$

Kaava 1

E_k	keskimääräinen valaistusvoimakkuus
β	kerroin, joka ottaa huomioon lamppujen ja valaisinten likaantumisen
$k\Phi$	kerroin, joka huomioi valovirran alenemisen polttoain aikana
k_{25}	kerroin, jota käytetään loistelampuilla. Se huomioi ympäristön lämpötilan vaikutuksen lampun valovirtaan.
N	valaisimien lukumäärä
Φ	yhden valaisimen lamppujen yhteenlaskettu valovirta
η	valaistushyötysuhde

A laskenta-alueen pinta-ala

Sisävalaistuksessa valaisinhyötysuhde η riippuu valaisimien hyötysuhteesta ja valonjosta sekä huoneen muodosta ja huonepintojen heijastumissuhteista.

Huoneen muodon vaikutus huomioidaan huoneindeksin k_r avulla.

Huoneindeksin (k_r) kaava:

$$k_r = (a * b) / ((a + b) * h_m)$$

Kaava 2

a huoneen pituus

b huoneen leveys

h_m valaisimien asennuskorkeus laskentatasosta

Huonepintojen heijastumissuhteet selvitetään käytettävien sisustusmateriaalien ja niiden värien perusteella. Ulkovalaistuksessa valo katoaa ympäristöön, kun ei ole pintoja joista se heijastuisi takaisin. Suunnittelijan tehtävänä on arvioida työskentelyalueelle jäävän valon määrä. Näin saadaan karkea arvio tarvittavien ulkovalaisinten määrästä.

[15]

4 Led valaistuksessa

4.1.1 Kiinteistöjen energiatehokkuuden vaatimuksia

Euroopan unionissa (EU) on asetettu tavoitteeksi pienentää rakennusten aiheuttamia päästöjä. Suomessa käynnistyi jo 10 vuotta sitten rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävä rakentamista ohjaavien säädösten muutostyö. 10 vuotta sitten tulivat käyttöön rakennusten ET-luku ja energiatodistukset. ET-luvusta siirryttiin E-lukuun. Vuonna 2013 annettiin ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi myös muutos- ja korjaustöissä. Säädöksiä on muutettu, -ja lisää muutoksia on tulossa.

Nykyisen E-luvun laskentaperiaate ja erityisesti sen energiakertoimet ovat herättäneet paljon keskustelua. Laskentamenetelmien painotukset eivät välttämättä ohjaa teke-

mään energiatehokkaita kokonaisratkaisuja. EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan keskeisiä sitoumuksia ovat kasvihuonepäästöjen vähentäminen 20 %:lla, uusiutuvien energianlähteiden osuuden nostaminen 20 %:iin energian loppukulutuksesta ja ohjeellisena energiatehokkuuden parantaminen 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) edellyttää, että 31.12.2020 mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Julkisilta uusilta rakennuksilta tätä vaaditaan jo vuoden 2018 loppuun mennessä. Kansalliselle määritellylle jää paljon tulkinnanvaraa, mutta rakennuksen tulee olla kuitenkin erittäin energiatehokas. Lisäksi vähäinen energian tarve olisi katettava hyvin laajalti uusiutuvista lähteistä tulevalla energialla, joka tuotettaisiin paikan päällä tai rakennuksen lähellä. Tavoitteet eivät vaikuta siten realistisilta, koska ne ovat aikataulullisesti ja sisällöllisesti hyvin haastavia.

Energiatehokkuusdirektiivi (EED) edellyttää pidemmän aikavälin strategiaa peruskorjauksissa rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi. Uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi (RES) edellyttää jäsenvaltioiden vuoden 2014 loppuun mennessä uusiutuvista energianlähteistä peräisin olevan energian vähimmäistasoa uusissa ja peruskorjatuissa kohteissa. Yksittäisten tuotteiden ja laitteiden energiatehokkuuden parantamiseksi on asetettu ekodesign- ja energiamerkintä-direktiivit. Tunnetuin ekodesign-direktiivi koskee valonlähteiden energiatehokkuutta, jonka perusteella hehkulamput ja myöhemmin todennäköisesti halogeenilamput poistuvat markkinoilta. Vaatimuksissa keskitytään kokonaisten rakennusten energiatehokkuuden optimointiin perinteisen yksittäisten laitteiden ja rakennusosien osaoptimointiin nähden. Paikallinen energiantuotanto, sähköverkon kuormanohjaus ja smart grid tuovat uusia mahdollisuuksia ja myös haasteita. Valaistuksessa on parhaat mahdollisuudet pienentää kiinteistöjen energiankulutusta led-valonlähteiden ja älykkään ohjausjärjestelmän avulla. [7]

4.1.2 Valaistuksen energiatehokkuus

Maailmassa kulutettavasta sähköenergiasta noin 20 % menee valaistukseen. Sähkömoottorit kuluttavat 46 %, lämmitys 19 % ja elektroniikka 10 % sähköenergiasta. Valaistuksen osuus ei ole suurin, mutta led-tekniikka tarjoaa mahdollisuuden, varsinkin yhdistettynä älykkääseen valaistuksenohjausautomaatiikkaan, pienentää sen osuutta energian kulutuksesta alle puoleen nykyisestä. Pelkästään hehkulamppujen poistuminen on puolittanut kotitalouksien valaistukseen kuluvan sähkönkulutuksen viime vuosi-

na. Keinovalaistus on osa modernia yhteiskuntaa. Sen käyttö on yleistynyt leviten ympäri maailmaa. Suomessa kuluu valaistukseen 11 % sähköenergiasta ja erikoistiloissa, kuten sairaaloissa, sen osuus voi ylittää jopa yli puoleen kaikesta kiinteistön sähköenergian kulutuksesta.

Suomessa rakentamismääräykset eivät suoraan vaadi energiatehokasta valaistusta, mutta kiristyneet energiatehokkuusvaatimukset ovat ohjanneet siirtymistä vähemmän kuluttaviin valaistusratkaisuihin. Myös hehkulamppujen maahantuontikielto on nopeuttanut siirtymistä energiaa säästäviin vaihtoehtoihin. Kodin valaistuksen kuluttama sähköenergia on alle 10 % kodin kokonaiskulutuksesta. Vanhoja kiinteistöjä saneerattaessa voidaan uusimalla valaistus ja sen ohjaustekniikka päästä jopa 80 % energiansäästöön. Valaistuksen säädön ja automatisoinnin avulla saavutettavat säästöt ovat usein suuremmat, kuin lampputyypin vaihdolla saavutettavat. led-lamppuja valittaessa on huomioitava, tuleeko kyseinen malli himmennettävään käyttöön, jos sitä ominaisuutta tarvitaan. Lisäksi valaisinten oikea sijoittelu ja vaaleat värit sisustuksessa vähentävät valaistuksen tarpeen määrää. Päivänvalon käytön huomiointi jo suunnitteluvaiheessa lisää energiansäästöä sekä tarjoaa usein laadukkaampaa valaistusta, joka pitää mielen virkeänä ja tahdistaa paremmin sisäistä kelloamme.

Led-tekniikka on jo ohittanut esimerkiksi E27-kantaisissa valonlähteissä energiansäästölamput suorituskyvyssä valotehokkuuden (lm/W) osalta. Ledit sopivat energiansäästölamppuja paremmin kylmään ympäristöön, koska ne syttyvät heti, kestävät toistuvia sytytyksiä ja ovat energiatehokkaimmillaan kylmissä lämpötiloissa. Energiansäästölamput eivät kestä hyvin vastaavia olosuhteita.

Energiatehokkuuden parantaminen ei saisi tapahtua näköergonomian, terveyden, turvallisuuden tai värien huonon toistumisen kustannuksella. Uudet valaistusratkaisut tarjoavat myös elinkaarikustannuksiltaan edullisempia vaihtoehtoja. Energiatehokkuuden merkitys vielä korostuisi, jos energian hinta nousisi tulevaisuudessa ympäristönormien kiristymisen takia EU:n alueella. [2]

4.2 Led-tekniikan sovelluksia

Led-valonlähteet tulevat todennäköisesti korvaamaan perinteisiä valonlähteitä eri valaistustekniikan sovelluksissa. Vaativissa käyttöolosuhteissa voi olla monenlaisia haas-

teita vielä ratkaistavina. Sisävalaistuksessa led-tuotteet ovat kuitenkin yleistyneet voimakkaasti viime vuosina.

4.2.1 Sisävalaistus: energiatehokkuus ja suunnitteluprosessi

Sisätyöpaikkojen valaistus perustuu standardin SFS-EN 12464-1 vaatimukseen. Valaistuksen laadulle on useita kriteereitä, mutta rakentamismääräyskokoelmissa D3 ja D5 vaaditaan energiatehokkuuden korostamista. [5]

Suomessa meni 21 % valaistukseen toimistorakennusten energiankulutuksesta vuonna 2008. Uusi led-tekniikka tarjoaa mahdollisuutta laskea valaistuksen energiankulutusta. Muissa sähkönkulutuksen kohteissa ei ole tällä hetkellä samanlaista säästöpotentiaalia, kuin valaistuksessa. Rakennuslupaa haettaessa on hakemukseen liitettävä mukaan rakennuksen energiaselvitys. Energiankulutusta on tarkasteltava myös valaistuksen osalta. Rakentamismääräyskokoelma D3:ssa määritellään energiaselvitys. RMK D5 taas kertoo energiankulutuksen laskentatavoista. Määritellään energialuku, mitä varten selvitetään energian nettotarve, lämmitysjärjestelmän tehokerroin, ostoenergian määrä ja ostettujen energiamuotojen energiakertoimet. Energiakertoimen yksikkö on kWh/m²/vuosi. Se tarkoittaa, paljonko rakennuksessa kuluu vuoden aikana energiaa yhtä sisäpinta-alan neliometriä kohden. Esimerkiksi alle 120 asuinneliömetrin pientalossa sen on oltava alle 204 ja toimistorakennuksessa alle 170.

RMK D3:n mukaan valaistus on suunniteltava ja toteutettava siten, että tilan käyttötarkoituksen edellyttämä valaistus ylläpidetään energiatehokkaasti. Valitaan tarkoituksenmukainen valaistusjärjestelmä ja sen ohjausjärjestelmä. Käytetään päivänvaloa hyväksi mahdollisuuksien mukaan. Valaisimet ryhmitellään siten, että tilan yleisvalaistusta voidaan ohjata valaistustarpeen mukaan ja erityisesti päivänvalon saatavuus huomioiden. Järjestelmä pyritään mitoittamaan siten, että valaistuksen lämpökuormasta johtuva huonetilojen lämpötilan kohoaminen ja jäähtymisen tarve vältetään. Rakennusten valaistuksen energiatehokkuutta kuvataan LENI-luvulla, jonka yksikkö on kWh/m²/vuosi. Se kertoo rakennuksen valaistuksen energian kulutuksen kilowattitunteina koko vuoden aikana yhtä sisäpinta-alan neliometriä kohden. LENI-lukua voidaan käyttää toiminnoiltaan samantyyppisten rakennusten valaistusratkaisujen energiatehokkuuden keskinäiseen vertailuun.

Laskennallinen valovirran määrä joudutaan ylimitoittamaan, koska valovirran määrä laskee valonlähteessä usein jopa 20 tai 30 % ennen sen vaihtoa. Mikäli käytetään led-

tekniikkaa himmennettävällä säätöjärjestelmällä, voidaan valaistusvoimakkuustasoa alussa säätää vastaavasti 20–30 % pienemmälle. Valonlähteen valontuoton heiketessä säätöjärjestelmä pitää valaistusvoimakkuuden standardin mukaisena koko tuotteen eliniän ajan ja säästää näin sähkönkulutuksessa. Päivänvalon huomioiminen valaistuksen säädössä mahdollistaa suuria säästöjä aurinkoisina päivinä, kun luonnonvalo tulee runsaasti ikkunoista sisätiloihin. Läsnaolon mukaan säätävä järjestelmä sammuttaa valot kohteesta, kun siellä ei havaita enää ihmisiä. Tyypillisen T8-loisteputkivalaistun toimiston LENI-luku voi olla esim. 45. Kun sen tilalle vaihdetaan led-järjestelmä valaistuksen ohjauksella, LENI-luvun arvo voi tippua esimerkiksi arvoon 11. Erilaisille tiloille on erilaisia LENI-lukusuosituksia. Liiketiloiissa ja teollisuudessa sallitaan suuriakin LENI-luvun arvoja. Toimistoissa ja luokkahuoneissa suositusarvojen pienimmät lukuarvot ovat 5–60. Niihin arvoihin pääseminen toteutuu esimerkiksi himmennettävän ja päivänvalon huomioivan ohjausjärjestelmän ja led-valaistuksen yhdistelmällä. [21]

Valaistussuunnittelun tehtäväluetelo määrittelee suunnitteluprosessin vaiheita ja suunnitteluhankkeen tehtäviä yleisellä tasolla. Siinä määritellään suunnittelun ammatillinen perusta ensimmäistä kertaa virallisesti Suomessa. Sitä on ollut tekemässä Suomen valoteknillinen seura, jonka jäsenet ovat etupäässä valaistussuunnittelun parissa työskenteleviä henkilöitä.

Valaistussuunnittelijan erikoisasiantuntemusta tarvitaan arkkitehtoonisesti, käyttövaltaan tai kaupunkikuvallisesti vaativien tilojen suunnittelussa. Suunnittelun vaiheistus jakaantuu pienempiin osiin ja tehtävämäärittelyt tulevat tarkemmiksi ja huomioivat nykykäytännön mukaiset urakointitavat. Käsiteltäviä tehtäviä ovat myös tarjouspyyntöjen ja tarjouksien laadinta ja sopimuksien muodostaminen. RT-kortisto on julkaissut vuonna 2012 TELU-kortit valaistussuunnittelusta, jonka alkutunnuksena on VAL12.

Suunnittelun valmistelu, tarveselvitys, hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleisuunnittelu, rakennuslupatehtävät, toteutussuunnittelu, rakentamisen valmistelu, rakentaminen, vastaanotto ja takuu-aika ovat valaistussuunnittelun tyypillisiä vaiheita.

Suunnitteluvaiheet alkavat suunnittelutavoitteiden määrittelyllä ja päättyvät arviointiin, onko suunnittelutavoitteet saavutettu sekä päätökseen jatkotyöskentelyn suunnasta. Perustehtävillä saadaan laadukas lopputulos, joka sisältää mm. tavoitteiden määrittelyn, teknisen laskennan, laadunvarmistuksen ja sopimuksenmukaisuuden varmistami-

sen. Erikseen voidaan tilata muita tehtäviä, kuten mm. simulointeja, määrien laskentaa, elinkaarilaskentatehtäviä ja valvontatehtäviä.

Tarveselvityksessä luonnostellaan projektin kustannusraami, aikataulu, valaistusperiaatteet ja rakentamisen ympäristöarvot. Hankesuunnittelussa määritetään valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset, valaistustavoitteet, voimassa olevat määräykset ja kustannusarvio. Ehdotussuunnitteluvaiheessa laaditaan vaihtoehtoisia suunnitelmaehdotuksia, jotka täyttävät aiemmat vaatimukset. Näistä valitaan sopiva vaihtoehto. Yleissuunnitelmassa laaditaan toteutettavissa oleva suunnitelma, jota yhteensovitetään muiden alojen suunnitelmien kanssa. Laaditaan myös rakennuslupaan vaadittava materiaali. Toteutussuunnittelussa laaditaan asiakirjat, joiden perusteella voidaan muodostaa urakkasopimukset. Niitä ovat mm. pistesijoituspiirustukset, valaisinluettelo ja järjestelmäkuvaus. Erikseen tilattavia tehtäviä voivat olla vielä suunnitelmamuutokset, koevalaistukset ja asennuspiirustukset.

Rakentamisvaiheessa suunnittelutehtävät muuttuvat asiantuntijatehtäviksi. Käydään työmaakokouksissa ja hyväksytään asennettavia tuotteita, jos niin erikseen sovitaan. Voidaan osallistua työmaakatselmuksiin, ohjausjärjestelmien testaukseen ja käyttäjäkoulutukseen. Tehtäväluettelon tavoitteena on ollut määrittää valaistussuunnittelun työprosessia kirjallisesti eri rakennusalan järjestöjen kanssa. [22]

4.2.2 Ulko- ja tievalaistus Helsingissä

Helsingin ulkovalaistus on HelenUlkovalaistuksen omistuksessa. Se vastaa ulkovalaistusverkon ylläpidosta. Helsingissä syttyi ensimmäinen sähkövalo 1877, ja jo vuonna 1878 tuli Kaivopuistoon sähköistä puistovalaistusta. Yleisemmin katu- ja satamavalaitusta alkoi tulla kaupunkiin vuonna 1885. Kunnallinen sähkövalaistus alkoi Helsingissä jo vuonna 1911. Nykyään HelenUlkovalaistuksella on 86 000 valopistettä yhteisteholtaan 13 MW. Suurimpana meneillään olevana projektina on vaihtaa kaikki 48 000 elohopeavalaisinta vuosien 2007 ja 2017 välisenä aikana nykyaikaisempiin ja energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin. Lisäksi on vaihdettu tai modifioitu 1 700 katuvalokaappia toimimaan uusiutuvan valaistuksenohjausjärjestelmän osana. Vuosittain uudistetaan noin 2 500 valopistettä ja rakennetaan n. 1 000 uutta valopistettä. Valaisinpylväitä tarkistetaan ja vaihdetaan tarvittaessa uusiin sekä valaisinrunkoja vaihdetaan muovisista metallisiin. Elohopealamppuja vaihdetaan jonkin verran led-tekniikkaan hyvää värin-

toa vaativissa kohteissa. Niitä ovat tyypillisesti keskustan alueen kadut, joiden katukeroksessa on liiketiloja näyteikkunoineen.

Energiatehokas valaistus saavutetaan analysoimalla ensin valon todellista tarvetta. Valaisinryhmiä voidaan sammuttaa tai himmentää käytettävästä tekniikasta riippuen. Ryhmähuolto pitää valaistuksen tasoa yllä ja puhdistuksen tärkeys ulkovalaistuksessa liikenteestä johtuen korostuu. HelenUlkovalaistus pyrkii käyttämään parasta tekniikkaa lamppujen, valaisinrunkojen ja optiikan osalta. Elektronisissa liitäntälaitteissa siirrytään vaiheittain DALI-tekniikkaan. Korkeammat pylväät mahdollistavat tehokkaampien ja myös valotehokkaampien purkauslamppujen käytön. Katujen saneeraus pyritään toteuttamaan yhdessä sähkö- ja televerkkojen kanssa. Himmennystoimintojen yhteydessä on led-valonlähteiden käyttö mielekkäintä.

Ulkovalaistusta hallitaan verkkotietojärjestelmällä. Valaistusverkossa on suuri määrä komponentteja, joiden laatu, käyttöikä ja varaosien saatavuus on joskus epävarmaa. Ilkivallan sietoa joudutaan huomioimaan entistä paremmin. Verkko on rakennettu n-1-periaatteella, joka mahdollistaa syötön kahdesta vaihtoehdoisesta suunnasta. HelenUlkovalaistuksella on käytössä KeyUV-kunnossapitojärjestelmä, jonka avulla seurataan verkon vikaantumista ja sen korjauksen etenemistä. Led-valonlähteet toimivat hyvin kauko-ohjatun, säädettävän ja vikatietoja keräävän verkon osana. Tekniikan hinta rajoittaa toistaiseksi sen yleistymistä ulko- ja tievalaistuksessa. [20]

4.2.3 Yhteistilojen valaistus

Led-lamppuja on vaihdettu mm. kerrostalojen yhteistilojen valaisimiin hehkulampun poistuttua valikoimasta. Ne ovat energiansäästölamppuja energiatehokkaampia, nopeampia syttymään varsinkin pakkasella ja pitkäikäisempiä vaihtoehtoja. Nykyiset led-lamput kestävät kylmää ja antavat miellyttävää valoa. Ulkokäyttöön ne sopivat nyt hyvin, toisin kuin kymmenen vuotta sitten.

Ongelmia epäillään tulevan yhteensopivuudesta kodin elektroniikan ja olemassa olevan valaistustekniikan kanssa. Porrashuoneissa suuri sytytyskertojen määrä on kokeemukseen perustuen ollut kuitenkin ongelma. Porrasvalobautomaatit eivät aina kestä ledien aiheuttamia virtapiikkejä. Siitä ei ole varmuutta, liittykö se hakkurivirtalähteen ominaisuuksiin, syttymisvirtaan vai harmonisiin ylivirtoihin, mutta ongelma tulee esille kohteissa, jossa on paljon led-tuotteita saman ryhmäsulakkeen perässä, mikä näyttäisi

lyhentävän selvästi porrasvaloautomaatin elinikää. Laittevalmistaja kertoo yleensä suositellun määrän led-valaistusta yksikön perään, mutta sitä ei usein huomioida, vaan ostetaan halvin malli. Liikennevalokäyttöön kehitetyt energiasyöpöt hehkulamput ovat kestäneet tässä käytössä jopa led-lamppuja pidempään.

Osa muistakin valonlähdetyypeistä tuottavat loistehoa, mutta niiden yhteydessä ei ole tullut vastaan samanlaisia automatiikkaa rikkovia häiriösignaaleja. Sisäkäytössä led-lampun pinnasta mitattiin jopa +200 °C:n lämpötila. Sen vaikutusta lampun materiaaleille pitkällä aikavälillä ei vielä tiedetä.

Tukes oli testannut led-valaisintuotteiden häiriöitä vuonna 2011. Yli kolmasosa testatuista tuotteista lähetti toimintaympäristöönsä sallittua enemmän sähkömagneettisia häiriöitä. Vain alle viidesosa tuotteista täytti kaikki sähkömagneettisen yhteensopivuuden vaatimukset. Tyypillisin EMC-häiriöiden ilmenemismuoto on muiden sähkölaitteiden toimintahäiriöt. Harmonisille virroille ei ole alle 25 watin led-tuotteissa vaatimuksia, vaikka ne ovat olemassa energiansäästölapuille. Ilman tarkempia tutkimuksia ei tiedetä täsmällisesti häiriöiden syiden aiheuttajia. [8]

4.2.4 Tehdasvalaistusesimerkki

Hyvä esimerkki led-teknologiaan siirtyneestä teollisesta tuotantolaitoksesta on ABB:n taajuusmuuttajatehdas Pitäjänmäellä, Helsingissä. Tehtaassa työskentelee lähes tuhat ihmistä, heistä 350 tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa.

Tehdashallin vanha 70-luvulla käyttöönotettu loisteputkivalaistus on korvattu 15 000 neliömetrin suuruudessa tilassa KNX-taloautomaation avulla ohjattavalla valaistusjärjestelmällä. Halli on jaettu 16 erikseen säädettävään valaistusalueeseen, joissa on yhteensä yli 400 led-valaisinta. Valaistusvoimakkuustasoa säädetään tarpeen mukaan yleisesti käytetystä 800 luksin tasosta alaspäin. Aurinkoisina päivinä pienenee valaistuksen tehontarve n. 30 %, koska järjestelmä huomioi päivänvalon määrän. Tehdashallin suuri koko ja valaisinten asennuskorkeus asettivat haasteita valaisintyyppin valinnassa. Uudistus pienensi valaistuksen sähkönkulutusta noin 75 prosenttia. Tehtaan sähkölasku pienentyi vuositasolla 120 000 eurolla, ja valaistusinvestoinnin takaisinmaksuajaksi tuli 4 vuotta.

Sähkösuunnittelun kohteeseen toteutti Granlund. Philips toimitti uusimman led-tekniikan valaisimet. Kohde oli ensimmäinen tämän kokoluokan hanke Suomessa. Teollisuus käyttää suuria määriä sähköenergiaa, joten säästömahdollisuudetkin ovat mittavat siirryttäessä uuteen teknologiaan. [16]

4.2.5 Urheilualueiden ja jäähallien valaistus

Urheilualueiden valaistuksen tehtävänä on tarjota lajikohtaisesti riittävä valaistustaso turvalliseen suoritukseen, tarjota katselunautinto yleisölle ja mahdollistaa videointi suoritusajan aikana. Lisäksi kansallisten pääsarjatasoisten suorituspaikkojen on tarjottava riittävä vertikaalinen valaistustaso ja edellytykset TV-kuvaukselle. Valaistuksen ohjauksessa valitaan eri valaistustasoja harjoitukseen, kansallisiin peleihin ja TV-kuvattuihin peleihin, mikäli se on mahdollista. Led-tekniikalla voidaan toteuttaa himmentämällä eri valaistustasoja, joihin monimetalli-, elohopea- ja suurpainetekniikka ei käytännössä sovellu sen himmentämisen rajallisuuden, tekniikan kalleuden ja energiatehottomuuden takia. Lamppujen ryhmävaihto on usein kallista valaisinpylväisiin ja valaisinmastoihin pääsyn hankaluuden ja hitauden takia, joten pitkäikäiset lamput säästävät huoltokustannuksissa. Led-valaisin ei myöskään pimene ikääntyessään yhdellä kertaa, vaan himmenee. Näin ollen muuta aluetta selvästi hämärämpiä kohtia ei pääse syntymään urheilualueelle ryhmävaihtovälin lähestyessä.

Standardeista EN 12193 antaa urheilualueille ja jäähalleille taso- ja lajikohtaiset valaistus-suositukset valon määrästä ja laatuvaatimuksista. Se myös määrittelee turvavalais-tuksen tason vikatilanteissa, sallitun häiriövalon määrän ja antaa ohjeet valaistuslas-kentaa varten. Jäähallien valaistukseen sovelletaan myös sisätyön valaistusstandardia SFS-EN 12464-1 häikäisyn raja-arvojen mitoittamiseen UGR-menetelmällä. Lisäksi ollaan julkaisemassa vuoden 2014 aikana kansallinen jäähallien valaistusohje. Kauppa- ja teollisuusministeriö on antanut suositukset julkisten hankintojen energiatehokkuu-desta. Lajikohtaisia vaatimuksia antavat myös urheilulajien keskusjärjestöt, kuten FIFA, UEFA ja Veikkausliiga. TV-yhtiöillä, kuten EBU:lla ja YLE:llä on myös omat erityisvaatimuksensa.

Ulkovalaistuksessa tulee suosia epäsymmetrisiä valonheittäjiä, joissa on symmetrisiin valonheittäjiin verrattuna pienemmät häikäisyarvot ja vähemmän häiriövaloa. TV-kuvauksen vertikaalisten valaistusvoimakkuusvaatimusten täyttymiseksi käytetään symmetrisiä valonheittäjiä kameroiden kuvauspaikoilla ne suorituspaikkaan suunnat-

tuna. Harjoitustason kentillä on käytetty paljon suurpainenatriumvalaisimia, mutta värin-
toiston heikkouden takia led- ja monimetallivalaistukseen siirrytään mahdollisuuksien
mukaan. Ottelutason kentillä on käytetty monimetallivalaisimia erinomaisen värin-
toiston ja 4 000–6 000 kelvinin värilämpötilan takia. TV-kuvaukseen monimetallivalaistusta on
käytetty eniten toistaiseksi. Valotehokkuuden, värin- ja valaistustasojen säädön
mahdollisuuksien takia led-tekniikka on valittu jo joihinkin uusiin tai täysin peruskorjat-
tuihin kohteisiin. Sen yleistymistä hidastaa tällä hetkellä suuremmat kustannukset ver-
rattuna monimetallivalaisimiin. [10]

Valaistusteknisessä laskennassa käytetään pisteverkko-menetelmää määrittämään
riittävä vaaka- ja pystytason valaistusvoimakkuus. Korkeimmassa valaistusluokassa,
valaistusluokka J1:ssä vaakataso- ja pystytason valaistusvoimakkuusvaatimus on 1 000 luk-
sia ja pystytason 800 luksia. Samalla värin- ja valaistustasoindeksi (R_a) on oltava vähintään 80.
Tämä on minimivaatimus esimerkiksi televisioitavissa SM-liigan otteluissa. Suuren ja
tarvittaessa muunneltavan valaistusvoimakkuuden takaaminen kohtuullisilla kustan-
nuksilla voi tehdä led-valaistuksesta lähivuosina monimetallivalaisimia taloudellisem-
män vaihtoehdon. [11]

4.2.6 Turvavalistus

Turvavalaisuksen tehtävänä on opastaa henkilöt ulos rakennuksesta kaikissa eri tilan-
teissa. Sen suorituskyvyllä on suuri merkitys siihen, miten opasteet erottuvat kohteessa
poistuttaessa sieltä hätätilanteessa. Standardit asettavat suorituskyvyn, kuten esimer-
kiksi pintakirkkauden minimitaso. Poistumistievalaisimissa, jotka ovat päällä koko
ajan, uuden led-tuotteen ominaisuuksien on oltava huomattavasti paremmat, jotta riit-
tävä valaistusvoimakkuuden ja pintakirkkauden taso täyttyy vuosienkin päästä, koska
ledien hiipuminen ajan funktiona heikentää sen suorituskykyä.

Turvavalaisukseen vaikuttavia standardeja ovat mm. SFS 6000-5-56 (turvajärjestelmi-
en asentaminen), EN 60 598-2-22:1998 (valaisinstandardi), EN 1838:2013 (valaistus-
tasot ja toiminta-aika), EN ISO 7010 (poistumistievalaisinten kuvat) ja SFS-EN
50171:2002 (keskitetyn tehonsyötön järjestelmät). Lisäksi turvavalaisuksen taso on
määritelty Suomessa sisäasianministeriön asetuksella SMA805/2005. Se määrää, mi-
hin kohteisiin ja miten toteutettuna turvavalaisuus vaaditaan sekä mitä standardeja
asennukselta ja tuotteilta vaaditaan. Turvalaisimelta vaaditaan mm. toimintatestaus
+70 °C:n lämpötilassa ja miniminä 0,5 sekunnin syttymisaika sähkökatkotilanteissa.

Syttymisajan toteutuminen oli ongelma pienoisloisteputki valonlähteenä toimivissa turvavalaisimissa aiemmin. Led-tuotteet syttyvät heti myös pakkasessa.

Turvavalaistusjärjestelmästä pitää näkyä joka paikkaan kiinteistössä vähintään yksi opastevalaisin, joka näyttää poistumisreitit sijainnin. Turvavalaistuksen valossa on nähtävä poistua rakennuksesta turvallisesti. Järjestelmä tarkastetaan päivittäin silmämääräisesti, kuukausittain simuloimalla normaalin valaistuksen syötön vikaantuminen tarkastamalla kaikki turvavalaisimet ja vuosittain tekemällä täyden mitoituksessa käytetyn kestoajan testi tallentaen tulokset. Turvavalaistuksen kunnossapitoon olisi kiinnitettävä huomiota. Led-turvavalaisimien elinikä on yleensä neljän ja kymmenen vuoden välillä. Silloin usein valaisimen pintakirkkaus tai valaistusvoimakkuus on voinut laskenut standardissa määritettyyn minimitasoon. Poistumistievalaisimet joudutaan yleensä vaihtamaan kokonaan. Valmistajista mm. Teknoware lupaa uusien tuotteidensa elinikäksi noin 8–10 vuotta. Jatkuva toimiva poistumistievalaisin ehtii toimia silloin noin 70 000–90 000 tuntia. Poistumistievalaisimista suurin osa toteutetaan nykyisin led-tekniikalla. [9]

4.2.7 Rautateiden valaistus

Rautateiden valaistuksen tehtävänä on taata turvalliset työskentely-ympäristö ja matkustaja-alueet. Valaistuksen suunnittelun tavoitteina on energiatehokkuuden parantaminen, sen tarkoituksenmukainen mitoitus, turvallisuuden tunteen luominen ja sen käyttö matkustajien ohjaamiseen oikeille reiteille. Korostunut tarve valaistukselle on lippuautomaatien ja lipuntarkastuspisteiden kohdalla. Valvontakameroiden toimintaan on taattava riittävä valaistusvoimakkuus ja riittävä värintoisto ihmisten tunnistamisen helpottamiseksi. Rautatiealueiden suunnitteluohjeet pohjautuvat standardiin SFS-EN 12464-2 ukotyöalueista, standardiin EN 13272, RATO 18 rautatietunnelien osalta ja RATO 20 ympäristön sekä rautatiealueiden osalta. Muita vaatimuksia ovat YTE-vaatimukset (yhteentoimivuuden tekninen eritelmä 2013), liikenneviraston suunnitteluohje ja infra RYL2006-tuote- ja asennusvaatimukset. Rautateiden ulkoalueet jaetaan matkustaja-alueisiin, ratapihoihin ja järjestelyratapihoihin. Eri alueille on määritelty omat valaistustehtävät ja valaistusvaatimukset.

Matkustaja-alueet käsittävät laiturit, tasonvaihtoalueet, asemahallit ja odotuskatokset. Matkustaja-alueilla, aseman koon ja rakenteen mukaan valistusvoimakkuudeksi vaaditaan 10–100 luksia ja värintoistoindeksiksi Ra 20–80. Valaisimien kotelointiluokaksi vaaditaan yleisesti IP65, joka takaa pitkäikäisemmän ja mekaanisesti kestävämmän

asennuksen, vaikka standardi vaatii usein vain IP21- tai IP23-kotelointiluokkaisen valaisimen. Tyypillisesti käytetään valonjaoltaan epäsymmetrisiä, 25-asteen tai 60-asteen valaisimia. Portaissa ja jalankulkijoille tarkoitetuissa alikulkutunneleissa vaatimukset ovat tiukempia onnettomuusriskin pienentämiseksi. Valaistuksen täytyminen on osoitettava laskelmilla tai mittauksilla. Turvavalistus on suunniteltava paikallisten pelastusviranomaisten määräysten perusteella. Ratapihoilla ja järjestelyratapihoilla vaatimukset ovat löyhempiä.

Valaistussuunnittelussa huomioidaan valaistusvoimakkuuden taso, määritellään alenemakertoimet sekä ryhmävaihtovälit, valitaan valonlähde ja päätetään valaisimien sijoittelu maksimoiden energiatehokkuutta ja minimoiden häiriövaloa. Ratapihavalaituksessa käytetään edelleen suurpainenatriumlamppuja elinkaarikustannusten mataluuden takia ja siksi, koska standardi ei vaadi niille alueille hyvää värintoistoa. Avolaitureilla vaaditaan kohtalaista värintoistoa ja valinta valonlähteeksi sinne on ollut yleensä monimetallilamppu. Led-tekniikka on vielä sitä hivenen kalliimpaa, mutta hyvä värintoisto, pitkäikäisyys ja huoltoystävällisyys puoltavat led-tekniikkaan siirtymistä.

Ryhmävaihtovälit ovat yleisesti suurpainelampuilla 16 000 tuntia, monimetallilampuilla 12 000 tuntia, T8/T5-pakkasputkilla 40 000 tuntia ja led-valaistuksella jopa 60 000 tuntia. Kunnossapito-ohjeissa määritellään tarvittavat huoltotoimenpiteet, ryhmävaihtoväli ja yksittäisvaihtojen tarve. [19]

4.3 Standardit led-tuotteille

Standardointiorganisaatiot sähkötekniikassa, johon valaistus kuuluu, jakaantuu maailmassa kolmeen tasoon. Kansainvälisenä sähkötekniikan komissiona toimii IEC, international electrotechnical commission. Euroopassa EU:n alueella toimiva järjestö on CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization eli eurooppalainen komitea sähkötekniikalle standardoinnille. Suomessa standardoinnista vastaa SESKO. SESKO (sähkö- ja elektroniikka-alan standardointijärjestö) osallistuu kansainväliseen sähköalan standardointityöhön, kansainvälisten standardien saattamiseen SFS-standardeiksi, sähkö- ja elektroniikka-alan SFS-standardien laatimiseen, sähköalan sertifiointityön kansalliseen koordinointiin, kansainvälisten standardien välittämiseen käyttäjille ja tiedottamiseen standardeista.

IEC-standardit ovat maailmanlaajuisia. EN-standardit ovat eurooppalaisia ja identtisiä kaikissa CENELECin jäsenmaissa. Lisäksi ovat eurooppalaiset HD-harmonisointiasiakirjat, jotka voidaan vahvistaa kansallisiksi standardeiksi. SFS-standardit ovat suomalaisia. Niistä 95 % on identtisiä EN-standardien kanssa. Pelkääntään kansallisia ovat sanastot tai standardin alueet, joista ei ole olemassa EN-standardia. Näitä ovat esimerkiksi suomenkieliset sanastot.

Ehdotuksen päätyminen standardiksi edellyttää äänestyksen, valmisteluvaiheen, lausuntokierrokset, äänestyskierrokset, loppuäänestyksen ja ratifioinnin, jonka jälkeen ehdotus voidaan hyväksyä standardiksi.

Valaistuksen standardit (CEN TC 169) jakautuvat energiatehokkuuden, laatuvaatimusten ja valoteknisten mittauksen kesken. Valaistusstandardit löytyvät SFS-käsikirjasta 608. Rakennusten energiatehokkuuden standardi SFS-EN 15193:2008 sisältää määritelmän LENI-luvusta. Se on numeerinen valaistuksen energiavaatimusindikaattori. LENI-luku ilmoitetaan arvolla, jonka yksikkö on kWh/m²/vuosi.

Sisätyöpaikkojen standardi on SFS-EN 12464-1. Ulkotyöpaikkojen standardi on EN 12464-2. Urheilupaikkojen standardi on EN 12193. Turvalaistukselle on SFS-EN 1838-standardi ja tievalaistukselle on EN 13201-sarja. Valotekniset mittaukset määritellään standardin EN 13032-sarjassa. Led-tuotteilla ongelmia aiheuttanut sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC) on standardissa EN/IEC 61547. Sähkömagneettisista kentistä (EMF) on standardi EN/IEC 62493. Lamppuihin liittyen on olemassa n. 30–40 standardia. Liitäntälaitteiden standardi on EN/IEC 61347 ja valaistuksenohjauksjärjestelmien EN/IEC 62386 -sarja. Turvallisuusstandardeja on EN/IEC 60598 -sarjassa ja suorituskykyvaatimukset yleisvalaisimille on IEC 62722-1, joka on vielä valmisteilla tätä kirjoittaessa huhtikuussa 2014.

Led-tuotteille on myös omia standardeja. Led-moduleille on standardeja EN/IEC 62031, IEC/PAS 62717 ja EN/IEC 60838-2-2. Led-tuotteen liitäntälaitteille on mm. standardit EN/IEC 61347-1+A1, EN/IEC 61347-2-113 ja EN/IEC 62384+A1. Led-lampuille on standardit EN/IEC 62560, IEC/PAS 62612:2009, IEC 62663-1 ja IEC 62663-2. Led-valaisimille on standardit SFS-EN 60598-1+A11 ja IEC/PAS 62722-2-1:2011. Led-käsikirjat SFS-kk 651-1 ja SFS-kk 651-2 on julkaistu vuonna 2012. Standardoinnin edistymistä voi seurata Seskon ja Cenelecin sivustoilta. [18]

4.4 Valaisimien huolto

Kansainvälinen valaistuskomissio, CIE on voittoa tavoittelematon, tieteellinen ja tekninen organisaatio. Se on kehittänyt useita valaistukseen liittyviä standardeja. Se on myös tehnyt ohjeen sisävalaistuksen ylläpitoon nimeltään CIE TECHNICAL RAPORT: guide on the maintenance of indoor electric lightning systems.

Teos käsittelee valaistuksen huollon vaikutusta sen toimintatasoon. Lisäksi oppaassa on taloudellisia tarkasteluja ja valaisinten puhdistusohjeita. Opas valmistui 2005, joten siinä ei ole tietoa led-tuotteisiin liittyvistä erityispiirteistä. Määräaikaishuoltojen ohjeistus led- valaisimilla perustuu näin ollen toimintatapoihin perinteisillä valaisimilla.

Kohteissa, joissa lampun valovirran aleneman lisäksi valaisimet ja huonepinnat likaantuvat voimakkaasti sekä osa lampuista sammuu ennen vaihtoa, voi valaistusvoimakkuus laskea liikaa, ennen kuin lampun normaali ryhmävaihtoväli tulee ajankohtaiseksi. Teoksessa käsitellään lampun elinikää sen sytytystavasta ja sytytysjärjestelmästä riippuen. Likaantumista on määriteltä neljän eritasoisesti likaantuvan tilan ja valaisimen runkorakenteen muodon mukaan taulukkoina, jotka antavat alenemakertoimia valonlähteen vaihtovälin pituudesta riippuen.

Valaistuksen alenemakertoimen kaava:

$$MF = LLMF * LSF * LMF * RSMF$$

Kaava 3

MF	valaistuksen alenemakerroin
LLMF	lampun valovirran alenemakerroin
LSF	lampun elinikäkerroin
LMF	valaisimen alenemakerroin
RSMF	huonepintojen alenemakerroin

Led-tuotteiden puhdistuksen ohjeistuksen haasteita ovat erilaiset osat perinteisiin valaisimiin verrattuna. Valo tulee usein pienistä kohdista valaisimessa, joiden likaantuminen tai naarmuuntuminen voi vaikuttaa paljon valaisimen valonantokykyyn. Erilaisten led-tuotteiden välillä on myös suuria eroja, joten yleispäteviä sääntöjä ei niille voida laatia. Huollon merkitys voi korostua merkittävästi, jos ympäristö on helposti likaantuva.

Toistaiseksi ei ole vielä saatavilla led-tuotteiden erikoisominaisuuksia huomioivaa huolto-ohjetta CIE:ltä. [17]

5 Alan toimijoiden haastattelu

Tehtiin kvalitatiivinen ja laadullinen alalla toimivien henkilöiden haastattelututkimus, joka toteutettiin haastateltavien omissa toimitiloissa pääkaupunkiseudulla. Ennalta laaditut kysymykset toimivat keskustelun runkona. Tavoitteena oli saada eri näkökulmia lähestyä uutta tekniikkaa ja sen aiheuttamia haasteita.

Työssä haastateltiin sähköalan toimijoista kolmea eri sähkötuotetukkuliikkeiden edustajaa, kahta turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) ylitarkastajaa ja sähköurakointiliikkeen työnjohdon edustajaa. Koska lopputyön tekijä on taustaltaan sähköasentaja, päätin haastatella myös itseäni. Tuotteiden loppukäyttäjillä, jotka ovat yleensä sähköalalla maallikkoja, ei uskottu olevan yksityiskohtaisia kommentteja vielä melko vähäisen kotitalouksien käytön ja käyttökokemuksien takia.

Testattiin ensin kysymyksien kattavuutta aihepiirissä ja ajankäytön hallintaa koehaastattelemalla lopputyötä valvova opettaja, Torsti Viilo. Kertyneiden kokemusten perusteella muutettiin hieman kysymysten sisältöä ja arvioitiin tarvittava haastattelu-aika.

Haastattelujen ajankohta oli 19.2.–17.3.2014. Haastattelu-aika oli mitoitettu yhteen tuntiin. Osalla haastateltavista oli käytettävissään enemmän aikaa, ja yksi haastattelu oli sovittu toteutettavaksi muita nopeammassa aikataulussa. Haastattelun keston keskiarvoksi tuli 1 h 9 min. Kommentit eivät ole sanatarkkoja lainauksia, koska haastattelutilanteessa tehtiin vain kirjallisia muistiinpanoja avainkohdista. Puhtaaksikirjoitetut kommentit on lähetetty vastaajille hyväksyttäväksi sähköpostin välityksellä. Vastauksena on saatu hyväksyntä kommenttien sanamuotoon. Kahden vastaajan kommentteja on muokattu jälkikäteen heidän toivomallaan tavalla. Kiitokset kaikille haastatelluille saamastani ajasta ja asiantuntevista kommentteista.

5.1 Kyselylomake haastattelujen pohjana

Laadittiin 26 kysymystä käsittävä kokonaisuus, joka oli sama kaikille haastateltaville. Kysymykset, jotka eivät liity haastateltavan toimenkuvaan tai joista ei ole kommentoitavaa, sivuutetaan. Haastattelussa keskitytään led-tuotteista saatuihin kokemuksiin verrattuna niiden kilpailevien tuotteiden ominaisuuksiin. Muutama kysymys liittyy myös tuotteiden mainostamiseen, valaistustutkimukseen, standardointiin ja tulevaisuuden näkymiin.

Haastateltavien luettelon mukaisesti käytetään kirjaimia a, b, c, d, e ja f erittelemään vastausten antajat.

Haastateltavat ja haastattelujen ajankohdat:

- a.) 19.2.2014: Samuli Rasinmäki, kehityspäällikkö, valaistus, Relex Finland oy.
- b.) 19.2.2014: Kenneth Sandberg, tuoteryhmäpäällikkö, Onninen.
- c.) 26.2.2014: Tero Niittymäki, tuotepäällikkö, SLO.
- d.) 13.3.2014: Hanna Mustonen, ylitarkastaja (EMC) ja Mika Toivonen, ylitarkastaja (sähköturvallisuus), Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes).
- e.) 17.3.2014: Antti Pessa, asennuspäällikkö, EMC-talotekniikka.
- f.) 20.3.2014: Jukka Magnusson, sähköasentaja, sähköinsinööriopiskelija; talotekniikka.

5.1.1 Haastattelujen tulokset

1. Ovatko kohtaamasi led-tuotteet olleet toiminnaltaan ja laadultaan luvatusia?
 - a.) Ovat.
 - b.) Tukkuymyjille on tarjottu pienien, uusien maahantuojien edullisia ja heikkolaa-tuisia tuotteita aiempina vuosina. Tunnetut merkkituotteet ovat hyviä. Laatu pa-ranee koko ajan.
 - c.) Osa on ja osa ei ole. Yleisesti melko hyviä.
 - d.) Markkinavalvontarekisteristä saa tilastoja poistetuista tuotteista. Laatu on para-nemassa.
 - e.) Nykyisin laatu on jo luvatusia.
 - f.) Halvimmat lamput eivät ole. Yleensä ovat.

2. Onko polttoiän pituus ollut alle luvatus ja millaisissa olosuhteissa?
 - a.) Vielä ei ole kertynyt tietoa, koska luvataan todella pitkiä aikoja.
 - b.) Retrofit- eli korvaavissa lampuissa on tullut vastaan kohde, jossa käyttöikä led-lampuilla on jäänyt alle 1 000 tuntiin. Syynä on todennäköisesti valaisimen rungon tiiviys ja siihen liittyen ongelmat lämmön pois johtumisessa.
 - c.) Vielä ei ole ehtinyt kertyä tietoa.
 - d.) Ei kuulu Tukesin tutkimuksiin. Sen voi todeta vasta vuosien päästä.
 - e.) Ei ole ollut merkittäviä ongelmia.
 - f.) Ylhäältä suljetut riippuvalaisimet, jotka on suunniteltu alun perin hehkulamputta, lyhentävät joskus led- ja energiansäästölamppujen elinikää. Lämpö ei näyttäisi poistuvan, kuten pitäisi.

3. Onko lukuarvoihin perustuva valaistusvoimakkuus ollut riittävä käytännössä?
 - a.) Tievalaistuksessa elohopeavalaisinta led-valaisimiin vaihdettaessa on tullut vastaan kohde, jossa speksien mukaan kriteerit täyttävät valaisimet eivät ole pystyneet tuottamaan riittävää valaistusvoimakkuutta. Lisäksi valaisimien valonjako on jäänyt puutteelliseksi. Lopputuloksena on ollut laukukkaasti valaistusta tieosuus.
 - b.) Ei aina.
 - c.) Eräässä kohteessa on mitattu 1 000 tunnin käytön jälkeen valaistusvoimakkuuden alenemaksi 25 %. Näin ollen ei täyty vaatimuksia polttoiän loppuun asti. Takuu on toiminut hyvin tässä tapauksessa
 - d.) Ei kuulu testauksen piriin. Valvotaan tarvittaessa.
 - e.) Eräässä tapauksessa poistumistievalaistuksessa 2 vuoden käytön jälkeen mitauksessa ei ole enää saavutettu vaadittuja valaistusvoimakkuusarvoja tietyllä valaisinmallilla. Meni takuukorjaukseen.
 - f.) On nykyisin. Muutama vuosi sitten "halpa"-versioista sai tosi heikon valaistusvoimakkuuden.

4. Onko värien toistumisessa tai värilämpötilassa ollut ongelmia?
 - a.) Riviin asennetuissa valaisimissa värilämpötilan pieni vaihtelu led-valaistuksessa tulee esiin. MacAdam-luku ei ole niissä hehkulamppujen veroinen.

- b.) Värintoiston vaatimukset R_a :n arvolla 80 täyttyvät. Ei tarvita yleensä enempää.
- c.) Saatavilla tarvittaessa R_a -arvoltaan 90 olevia led-lamppuja ja -valaisimia, jos vaaditaan parempaa värintoistoa esimerkiksi kohdevalaistuksessa. Suurempi ongelma on värintoiston mahdollinen huononeminen käytön aikana aivan kuten valaistusvoimakkuuden laskukin. Moni ei ole kiinnittänyt tähän huomiota. Korostusvalaistuksessa tiettyjen sävyjen toistuminen voi joskus olla ongelma.
- d.) Riittäviä.
- e.) Yksittäisissä toimituserissä led-lampuissa värilämpötilan vaihteluerot tulevat esiin, jos valaisimet on asennettu riviin tai muuten kerralla nähtävästi.
- f.) Hyvää värintoistoa saa vain hehku- ja halogeenilampuista, jota tarvitsee esim. elektroniikkatöissä vastuksien värikoodien lukemiseen. Yleisvalaistuksessa kaikki toimii, jos lampun ”yleissävy” ei ole liian kellertävä tai vihertävä.

5. Onko asennus ja käyttöönotto onnistunut hyvin?

- a.) Asennusohjeet ovat toisinaan puutteellisia, jolloin asentaessa voi tulla ongelmia.
- b.) Led-valaistuksen vaatimaa sytytysvirtaa ei ole huomioitu joissain ryhmissä, joka on vaatinut B-tyypin johdonsuojakatkaisimien vaihtamista C-tyyppisiin.
- c.) Väärin asennetuissa järjestelmissä muuntaja lämpenee ja rikkoutuu. Ei ole tiedetty tai huomioitu riittäviä mittoja koteloiduissa rakenteissa jäähdytyksen takaamiseksi.
- d.) Led-putket, jotka on suunniteltu loisteputkien korvaajiksi, ovat aiheuttaneet paljon ongelmia.
- e.) Asennus sekä käyttöönotto on onnistunut hyvin. Ei poikkeaa paljon muista valonlähdetekniikoista asennuksen kannalta.
- f.) Kokemusta on kertynyt vain vähän. On siltä osin.

6. Ovatko valmistajan kirjalliset ohjeet olleet selkeästi ymmärrettäviä ja riittäviä?

- a.) Halvimmista tuotteista voi puuttua ohjeet kokonaan. Ohjeessa tuotetta voidaan väittää esim. upotettavaksi malliksi, vaikka se käy vain pinta-asennukseen.
- b.) Ei ole tullut valituksia.

- c.) Speksit puutteellisia. Puuttuu esim. valovirran tai fyysisten mittojen arvoja. Niitä ei aina taideta lukea asentajien toimesta, joten ongelmia asennuksessa mahdollisesti myös siksi.
- d.) Ohjeet on oltava tuotteessa suomeksi ja ruotsiksi.
- e.) Niitä ei aina ole saatavilla suomeksi. Niistä voi puuttua eri arvoja tai tieto siitä, onko liitännälaite mukana. Yleistä etelä-eurooppalaisissa design-valaisimissa.
- f.) Ne ovat usein sekavia ja puutteellisia. Tarpeelliset tiedot voisivat olla standardoidusti lueteltu tietyssä järjestyksessä jossain taulukossa.

7. Onko lamppujen fyysisesti erilainen koko ollut ongelma?

- a.) Yksi reklamaatio tuli valaisimesta, joka oli suljettu ja pienikokoinen, joten E27-kantainen led-lamppu ei todennäköisesti mahtunut jäähtymään.
- b.) Jotkin led-lamput eivät satu vanhoihin downlight- valaisimiin, koska ne tulevat näkyviin kattopinnan alapuolelle. Eräässä kohteeseen toiselta valmistajalta löytyi fyysisesti lyhyempi lamppu, joka sattui siihen ulkonäöllisesti.
- c.) Halogeenilamppujen tilalle asennettavat GU10-kantaiset led-lamput ovat liian kookkaita toisinaan. Hehkulampun korvaavilla led-lampuilla ympärisäteilevyys ei ole enää ongelma ja jäähdytyksen tilantarve on pienentynyt.
- d.) Ei ongelmia tiedossa
- e.) Ei ongelmia tiedossa
- f.) Niukasti hehkulampun koolle mitoitetuissa vanhoissa valaisimissa on ongelmallista vaihtaa tilalle led-lamppu, koska se osuu valaisimen opaalikupuun tms.

8. Onko ollut paloturvallisuuteen liittyviä ongelmia?

- a.) Ei tiedossa.
- b.) Tukesin tutkimista tuotteista yleensä halvimmassa on eniten vikoja
- c.) Ei tiedossa.
- d.) Led-lamppujen muoviosat ovat joskus testeissä syttyneet palamaan. Joko muovi ei ole palamista jatkamatonta tai vikatilanne on aiheuttanut liian voimakkaan lämmön tuoton, jotta näin on käynyt.
- e.) Ei tiedossa.
- f.) Ei tiedossa.

9. Onko ollut sähköturvallisuuteen liittyviä ongelmia?

- a.) Led-putkista on todennäköisesti vain tunnetuilla valmistajilla varmasti turvallisia tuotteita.
- b.) Halvoissa on ongelmia Tukesin raporttien perusteella.
- c.) Alkuvaiheessa muutamia takaisin vetoja on tullut.
- d.) Joissain lampuissa on ollut sähköiskun vaara, koska erotus lampun verkkojännitteisten osien ja kosketeltavien metalliosien välillä on liian pieni.
- e.) Joissain liitäntälaitteissa, joihin johdot on ”prässätty” kiinni, ei ole ollut kaksoiseristeistä johtoa. Se voi mahdollisesti painua metallisia kattorankoja vasten ja aiheuttaa maavian.
- f.) Ei ole ollut.

10. Suunnittelijoiden kohtaamat ongelmat led-tuotteissa.

- a.) Ei tiedossa.
- b.) Ei tiedossa.
- c.) Suunnitteluvaiheessa valittu valaisintyyppi on jo vanhentunut, kun asennuksen ajankohta on käsillä vaikka vuoden päästä. Vanhaa mallia ei ehkä enää ole saatavilla ja uusi malli voi olla joltain osin erilainen arvoiltaan tai mitoiltaan.
- d.) Ei tiedossa.
- e.) Ei tiedossa.
- f.) Ei tiedossa.

11. Tukkuymyjien kohtaamat ongelmat led-tuotteissa.

- a.) Led-tuotteiden kehitys on niin nopeaa, että varastossa ei kannata kauan tuotteita säilyttää. Nopeasti tulevat uudet, paremmat ja halvemmat tuotesukupolvet. Varastossa oleville tuotteille ei ole käyttöä, jos ne ehtivät vanheta. Teknisten tietojen ilmoituksista on kirjavat käytännöt eri valmistajien kesken. Ei ole yhtenäistä tapaa luetella tietyt suureet tietyssä järjestyksessä.
- b.) Osa maahantuojista ei välttämättä tunne kyseistä tekniikkaa ja alaa. He tuovat maahan arveluttavia tuotteita ja väittävät niiden ominaisuuksiksi arvoja, jotka eivät aina toteudu käytännössä.

- c.) Tuotesukupolvet vaihtuvat nopeasti. Valmistajilla on usein alkuvaiheessa puutteita teknisissä tiedoissa. Vaikea myydä, jos puuttuu tiedot esim. upotusaukosta tai valovirta-arvosta.
- d.) Kun on monia tarjoajia, tukkumyyjät eivät voi tietää missä tuotteissa on laatuongelmia.
- e.) Ei tiedossa.
- f.) Ei tiedossa.

12. Urakoitsijoiden kohtaamat ongelmat led-tuotteissa.

- a.) Puutteet teknisissä tiedoissa.
- b.) Huonolaatuiset tuotteet ja niiden puutteellinen suorituskyky.
- c.) Tuotteita, joista ei ole speksejä, ei haluta välttämättä jatkossa käyttää. Sarjaan kytkettäviksi tarkoitettuja tuotteita kytketään vahingossa rinnan, jolloin ne voivat rikkoontua.
- d.) Led-tuotteiden häiriöt ovat toisinaan rikkoneet muita laitteita. Ne häiritsevät esim. radiosignaalia.
- e.) Ei saada käyttöön kattavia teknisiä tietoja. Joudutaan kysymään tietoja erikseen.
- f.) Puutteelliset tekniset tiedot aiheuttavat turhaa selvittelyä jälkikäteen.

13. Käyttäjien kohtaamat ongelmat led-tuotteissa.

- a.) Usein niissä ei ole himmennettävyyttä.
- b.) Ei tiedossa
- c.) Ei tiedossa
- d.) Led-valaistuksella kokonaan toteutetuissa tiloissa on ollut ongelmia. Esimerkiksi yhdessä parkkihallissa radioliikenne, viranomaisverkko ja autoradiot eivät toimineet normaalisti.
- e.) Ei tiedossa.
- f.) Lampuissa elinikä jää joskus lyhyeksi

14. Onko hehku- ja mahdollisesti halogeenilamppujen myyntikielto EU:ssa led-tuotteiden pakkomyyntiä edistävää politikointia?

- a.) Ei. Aikataulu siirtymiselle oli vain liian nopea. Ledin ominaisuudet kehittyvät vielä.
- b.) Ei. Energian säästö on painavin syy.
- c.) Ei. Järkevää panostaa energiatehokkuuteen valaistuksessa.
- d.) Ei. Energiansäästön periaate on hyvä. Ei tule haittalämpöä niin paljon valaistuksesta kesäaikaan.
- e.) Ei. Järkevä päätös Etelä-euroopassa. Suomessa valot päällä eniten talviaikaan, jolloin hehkulamppu säästäisi lämmityskuluja samassa suhteessa, mitä se valaistuksessa kuluttaa.
- f.) Kyllä. Laatu/hinta-suhteen ja käyttökohteen tarpeen pitäisi ohjata kuluttajien päätöksiä. Nyt näin ei ole. Tässä on lobbauksen makua. Syy hehkulampun käyttöön voi olla esim. lämpimät käyttöolosuhteet tai eroon pääsy häiriöistä, joita jotkut led-lamput aiheuttavat.

15. Kaipaako hehkusäteilijöiden hyviä puolia kotivalaistuksessa?

- a.) En.
- b.) En. Värintoistossa on pieni ero, jolla ei ole merkitystä. Hehkulampussa on liian kellertävä valo.
- c.) En. Valon tasalaatuisuus on hehkulampun suurin etu.
- d.) En. Nykyisillä led-valaisimilla ja -lampuilla on hyvä värintoisto.
- e.) En enää. led-valaisinten laatu on hyvä.
- f.) Kyllä. Värintoiston suhteen ei vielä led- tuotteista löydy korvaajaa. Tuotettu valo on myös hehkusäteilijöillä silmiä rasittamatonta.

16. Etuja led-tuotteisiin siirtymisestä.

- a.) Energian säästö, pitkä elinikä, nopea syttyminen, tarkempi havainnoiminen, uudet toteutustavat ja helppous dynaamiseen valaistukseen siirtymisessä.
- b.) Energian säästö, pitkä elinikä, nopea syttyminen, syttyminen pakkasessa, toimivuus kylmäkalusteiden sisällä ja helppo ohjattavuus, joka lisää säästöjä.

- c.) Energian säästö, pitkä elinikä vähentää myös huoltotöitä, nopea syttyminen purkauslamppuihin nähden, oledillä vapaa muotoilu valonlähteen suhteen ja ohjattavuus käyttömukavuuden sekä energiansäästön parantamisessa.
- d.) Energian säästö, pitkä elinikä ja toimintavarmuus. Led-zipin ja liitäntälaitteen sijoitus on mahdollista eri paikkoihin. Se mahdollistaa vapaamman valaisinmuotoilun.
- e.) Energian säästö, pitkä elinikä, nopea syttyminen ja toimintavarmuus.
- f.) Energian säästö, pitkä elinikä, syttyminen heti ulkovalaistuksessa liiketunnistimen yhteydessä ja pitkä käyttöikä viileissä olosuhteissa. Se ei sammu kriittisellä hetkellä, vaan hiipuu turvallisesti. Hiilidioksiidipäästöjen pieneneminen.

17. Haittoja led-tuotteisiin siirtymisestä.

- a.) Korvaavien valaisimien ongelmat. Monilla valmistajilla on ongelmia sovituksessa. Spekseihin ei voi aina luottaa. led-valaistusta himmennettäessä tullut häiriötä esim. dataprojektoriin, jotka poistuivat kohteesta siirtämällä valaistuksen ja dataprojektorin syöttö omille ryhmäjohtolähdöille.
- b.) Lähi-idän maissa ilmaston kuumuus aiheuttaa ongelmia led-valaistuksen jäädytyksessä. T8-loisteputken korvaava led-putki ei täytä aina lupauksiaan.
- c.) Teollisuusolosuhteissa käyttöympäristön korkeat lämpötilat estää usein led-valaistuksen käytön. Korkeiden värilämpötilojen valonlähteiden heikompi värin-toisto. Aiheuttaa joskus häiriötä WIFI-verkkoon hotellissa esim. asennusvirheen takia, jolloin ylipitkä pienjännitejohto alkaa toimia häiriötä lähettävänä antennina. On ollut kylmänkestävyysongelmia varsinkin pohjois-suomessa. Markkinoille on tullut kuitenkin kylmänkestoltaan jo miinus 30 asteen kestäviä tuotteita.
- d.) Kuumien lämpötilojen sietämättömyys. Ongelmat sovitettaessa vanhaan valaistustekniikkaan. EMC-häiriöt. Varastojen saatavuusongelmat, koska uudet tuotesukupolvet tulevat nopeasti, eikä siksi kannata laajempia varastoja pitää.
- e.) Ei kohdattuja haittoja.
- f.) Huonolaatuiset led-näytöt ja sinertävät, korkeiden värilämpötilojen yleisvalaistuksen led-lamput ja -valaisimet ärsyttävät ja kuivattavat silmiä jonkin verran. Myös valonsävy on sinertävänharmaa, joka vaikuttaa jonkin verran epämukavalta. Olen kuullut samanlaisia kommentteja muiltakin.

18. Kokemukset ledeillä valaistuissa sisätiloissa.

- a.) Kokemukset hyviä. Hyvälaatuisilla valaisimilla ja lampuilla ei havaittavaa eroa värintoistossa. Kylmemmässä värilämpötilassassa näkeminen on vähän selkeämpää ja tarkempaa. Enää ei ole häikäisy- ja heijastusongelmia.
- b.) Tunnelma on miellyttävämpi, kuin kellertävässä hehkulampun valossa. Valaistus on raikkaamman sävyinen.
- c.) Kaikki riippuu siitä, onko valaistus yleensä toteutettu hyvin ja hyvälaatuisilla valonlähteillä. Saatavilla on erilaisia värilämpötilavaihtoehtoja. Optiikkasuunnittelu on poistanut kiusahäikäisyä. Led-kiteen ei olisi hyvä näkyä valaisimesta suoraan silmään. Valaisimen sijoittelu tilassa on aina ratkaiseva asia jokaisen valonlähteen suhteen.
- d.) Tiloissa, joihin on vaihdettu led-valaistus, on valaistusvoimakkuus jäänyt toisinaan selkeästi liian heikoksi. Markkinoijan lupaamat arvot eivät näyttäisi pitävän paikkansa. Laajemmissa asennuksissa led-lamppujen värilämpötilan vaihtelu keskenään on ongelma. MacAdan-luku on liian suuri led-tuotteissa yleensäkin.
- e.) Valon laatu on hyvä. Se häikäisee nykyisin downlight-valaistuksessa vähemmän kuin halogeenivalaistus.
- f.) Toisinaan on ongelmia valaistusvoimakkuuden ja valaistuksen laadun suhteen. On myös hyvin toimivia led-valaistuksia.

19. Kokemuksia tie- ja ulkovalaistuksesta, jotka on toteutettu led-tekniikalla.

- a.) Yksittäisessä pihakatu-kohteessa elohopeavalaisimet vaihdettiin led-valaisimiin, jonka jälkeen valaistusvoimakkuus tippui silmin havaittavasti ja valonjaosta tuli epätasainen. Ongelmana näyttäisi olevan vastuun puute urakoitsijoilla. Viranomaiset eivät anna sanktioita ala-arvoisesta lopputuloksesta. Julkisiin hankintoihin pitäisi saada vaatimuksiksi muutakin kuin hinta. Halvin toimittaja tarjoaa yleensä huonoimmat tuotteet. Laadusta pitäisi maksaa, jotta asennus olisi siten myös hyvä.
- b.) Elohopeavalaisimiin nähden parempi värintoisto ja valaistusvoimakkuus. Kirkkaampi yleisvaikutelma. Led-valaistuksessa on helpompi havaita ulkona liikkuessa kohteita ja reagointi on nopeampaa.
- c.) Mahdollista saavuttaa energian säästöjä.

- d.) Kokemuksena on epätasaiseksi jäänyt valonjako tievalaistuksessa. Valaisinpylväiden väliin tiehen on jäänyt heikosti valaistu alue. Rakennusten julkisivuvalaistusta on toteutettu liian useassa, ei kaupunkikuvallisesti merkittävässä kohteissa varsinkin värillisenä.
- e.) Ei kokemuksia.
- f.) Julkisivuvalaistuksessa värilliset yksityiskohdat ovat hienoja, jos ne eivät ole liian hallitsevia. Kohteena esimerkiksi Helsingissä esplanadin valaisinpylväiden siniset lumihutaleet valkoisen valonlähteiden lisänä. Ei kokemuksia tievalaistuksesta.

20. Tiedätkö, mikä on ”blue light hazard” ja olisiko sitä mielestäsi tutkittava enemmän suomessa?

- a.) Tiedän. Aiheuttajana on sininen piikki led-valon spektrissä. Ei kantaa tutkimustarpeeseen.
- b.) Tiedän. Pitäisi tutkia enemmän. led-valaistus yleistyy, joten olisi tärkeää selvittää sen aiheuttamia mahdollisia riskejä.
- c.) Tiedän. Sininen piikki spektrissä on jo poistumassa parempien tuotteiden tullessa markkinoille. Ranskassa ei suositella led-tuotteiden käyttöä kohteissa mitkä on tarkoitettu erityisesti lapsille esim. päiväkodit. Ns. sinisen valon vaarat eivät kosketa pelkästään ledejä. Samoja piirteitä on myös muissa valonlähteissä viileillä sävyillä.
- d.) Tiedän. Tutkiminen on tuskin tarpeellista. Monilla valonlähteillä voi tietenkin olla joitain lievempiä vaikutuksia ihmisen terveyteen.
- e.) En tiedä tarkemmin. Pitäisi tutkia, koska monilla hyväksi luulluilla tuotteilla on myöhemmin todettu vakaviakin terveysvaikutuksia. Valaistus vaikuttaa kaikkiin ihmisiin länsimaissa.
- f.) Tiedän. led-tuotteet, kuten näytöt ja valaistus, saattavat aiheuttaa lapsille ja valoyliherkille yksilöille vaurioita silmän verkkokalvolle. Ranskalaiset tutkijat uskovat riskien olemassaoloon, suomalaiset tutkijat eivät taida uskoa. Pitäisi tutkia. Jos ei tutki jotain asiaa kunnolla, ei myöskään voi tietää siitä.

21. Onko led-tuotteiden ominaisuuksia mainostettu mielestäsi realistisesti?

- a.) Pääsääntöisesti on. Tyypillistä on kertoa hyvät puolet ja jättää huonot puolet kertomatta. Usein elinikä ilmoitetaan 0 °C lämpötilassa ja valoteho tai valovirta

vain led-chipin osalta. Todellinen tilanne on korkeampi ympäristön lämpötila ja valaisimen suorituskyky kokonaisuutena, joten em. arvot eivät ole todellisia. Valaistusalan lehdet voisivat miettiä, onko toisinaan liioitteleva mainonta omilla sivuilla eettisesti oikein ammattilaisille suunnatussa julkaisussa.

- b.) Mainonnan pitäisi olla asiallista. Tukkuliikkeille tarjotaan toisinaan huonolaatuisia tuotteita liioittelevilla mainospuheilla. Toimittajien puheet ovat usein ylilyönnejä. Led-tuotteista löytyvät niin hyvät kuin huonotkin puolet.
- c.) Valaistusala oli aiemmin melko konservatiivinen koskien markkinointia. Ledin tulon myötä rahan tekeminen on houkutellut alalle toimijoita, joille laatu ei aina ole tärkeintä. Mainoslupaukset ovat joskus turhan suuria. Tuotteet, mitkä eivät lunasta markkinoinnin lupauksia huonontavat hyvienkin tuotteiden mainetta.
- d.) Mainostamisessa on mukana paljon hypetystä. Elinikälupauksiin ei ole todellista todistettavaa pohjaa.
- e.) Jokainen kauppias korostaa hyviä ominaisuuksia ja jättää huonot mainitsematta toimialasta riippumatta. Tyypillistä mainontaa.
- f.) Liioitellaan hyviä ominaisuuksia. Ei mainita mitään huonoista. Ei kerrota käyttöolosuhteiden merkityksestä tuotteen elinikään.

22. Mikä on henkilökohtainen mielipiteesi eurooppalaisesta valaistustutkimuksesta, joka sijoittaa lähes kaiken rahoituksen led- ja oled- tekniikoihin?

- a.) Järkevää. Rahoitusta tulisi antaa myös laser-tekniikan ja mahdollisesti muiden uusien tekniikoiden tutkimiseen. Ei enää tutkimusta purkauslamppuihin paitsi katuvalaistuksen osalta.
- b.) Hyvä näin. Energiatohokkuus tärkeintä.
- c.) Hyvä asia. Osa tutkimuksesta on tietenkin valaistuksen perustutkimusta, joka hyödyttää kaikkia valonlähdetekniikoita.
- d.) Hyvä näin.
- e.) Ei mielipidettä asiaan. Ei tietoa erilaisista kilpailevista tutkimusvaihtoehdoista.
- f.) Hyvä. Toivottavasti panostetaan myös tekniikan heikompien ominaisuuksien parantamiseen, eikä etupäässä vain valotehokkuuden nostoon. Halogeenitekniikkaa pitäisi mielestäni myös panostaa, koska sille ei ole hyvää korvaavaa vaihtoehtoa.

23. Onko eurooppalainen standardointi pysynyt led-tekniikan uusien tuotteiden lanseerauksen tahdissa mukana?

- a.) Perinteiset värinvalon R_a - suureet eivät kerro totuutta. Laatuvaatimuksia ei ehditä tai koeta tarpeelliseksi liittää standardeihin, jolloin markkinoille tulee paljon huonoja tuotteita.
- b.) Pitäisi vähentää politisointia ja byrokratiaa standardoinnissa. Turvallisuus- ja kemikaalivirastolle voisi antaa enemmän resursseja ja vaikutusvaltaa, jolloin laatu- ja turvallisuusasiat paranisivat.
- c.) Nykyisellä kehitystahdilla ei voi oikein odottaa, että standardointi voisi pysyä samassa tahdissa.
- d.) Tuotteelle sovelletaan usein muita standardeja, jos kyseiselle tuotteelle ei ole vielä omaa tuotestandardia. Ei ole vielä omaa standardia esim. led-putkille.
- e.) Standardointi ei tule vastaan urakoinnissa käytännön työelämässä.
- f.) Raskas ja monimutkainen byrokratia on hidasta toteuttaa ja päivittää. Jos standardit olisivat yleispäteviä, kaikkia led-tuotteita koskevia laatustandardeja, joiden numeroarvoja päivitetäisiin tarvittaessa, saataisiin selkeämmät säännöt ja laskettua standardointi-koneiston suuria kuluja.

24. Ehditäänkö tuotteiden laatua ja turvallisuutta valvoa mielestäsi riittävästi viranomaisten toimesta Suomessa?

- a.) Sähkötekniistä turvallisuutta kyllä, mutta valotekniistä laatua ei tutkita. Se voisi olla osana standardia.
- b.) Tukes tutkii ja valvoo riittävästi tilannetta. Markkinavalvonta kerää epäilyttäviä, jo myynnissä olevia tuotteita tutkittavaksi. Valvontaa ei ole maahantuontivaiheessa, vaikka sitä voisi olla siinäkin jossain määrin.
- c.) Voittaisiin tutkia enemmänkin. Tukes on lisännyt led-tuotteiden tutkimista niiden yleistyessä. Esim. valoteknisiä testauksia ei ole.
- d.) Suomi on panostanut sähkötuotevalvontaan EU:ssa enemmän kuin keskimäärin tehdään. Saksa on etenkin EMC- vaatimuksissaan muita jäsenmaita tiukempi. Valvonta on markkinavalvontaa, joten viallisiksi todetut tuotteet ovat jo ehtineet myyntiin. Ennakkovalvonta poistui, kun suomi liittyi EU:hun. Internetin kautta myytyjä tuotteita on mahdotonta valvoa.
- e.) Tukes toimii riittävän hyvin. Ennakkovalvonta tulisi liian kalliiksi.

f.) Melko hyvin, mutta aina voisi olla paremminkin. Tukesille voisi antaa enemmän resursseja ja päätäntävaltaa. Viranomaiselle myös oikeus antaa sanktioita vaarallisten tuotteiden maahantuojille.

25. Onko asiakas tai oletko itse kiinnostunut maksamaan enemmän led-tuotteiden uusista ominaisuuksista?

a.) Omaan käyttöön kiinnostaa järkevät toiminnot, mutta tuskin esim. kännykällä ohjattavat sovellukset. Asuntotuotanto tuskin haluaa ottaa käyttöön lisää maksavia ominaisuuksia. Ammattipuolta kiinnostavat erikoissovellukset, kuten esim. erilaiset audiohuoneet ja edustustilat. Led sanana on jo tietynlainen markkina-arvo.

b.) Itseäni kiinnostaa, jos se on tarpeellinen sovellus. Markkinointi on keskeisessä asemassa, miten uuden tekniikan tarpeellisuus todistetaan asiakkaalle. Ammatikäytössä tilaaja osaa jo arvioida, mikä on tarpeellista.

c.) Toimivista lisäominaisuuksista voin itse maksaa. Yleisesti rakentamisessa kohtuuhintaisuus on usein tärkeämpää kuin korkea laatu, joka myös maksaa enemmän. Jos tilaajalla on myös huoltovastuu, silloin menevät myös teknisemmät ratkaisut kaupaksi, koska ne ovat yleensä energiataloudellisempia käytön aikana. Omaa asuntoa rakentavat ovat usein valmiimpia maksamaan ominaisuuksista, koska siitä saadaan selkeä vastine.

d.) Omaan käyttöön dynaaminen valaistus kiinnostaa, muttei kännykällä ohjattavuus tai värillisten valojen käyttö. Kaikki riippuu ratkaisun todellisesta mielekkyydestä.

e.) En tarvitse omaan käyttöön erikoisia ratkaisuja. Marginaalinen ryhmä asiakkaita on kiinnostunut aina uudesta tekniikasta.

f.) Olen itse kiinnostunut dynaamisesta valaistuksesta, jos hinta ei nouse liian suureksi. Suurin osa ihmisistä tuskin haluaa lisää menoeriä asumiseen. Luksusnimikkeellä myytäviin tai vuokrattaviin asuntoihin ohjattava led-valaistus varmasti tuo lisäarvoa.

26. Uskotko tulevaisuuden valaistusratkaisujen löytyvän lähes pelkästään led- ja oled-tekniikasta? Onko muita valonlähdevaihtoehtoja?

- a.) Lähitulevaisuudessa kyllä, kun led-tuotteiden hinnat vielä laskevat ja valotehokkuus paranee entisestään. T5-loisteputkivalaisimet ovat vielä yleisin ja selkeästi edullisin toimistojen yleisvalonlähde. Downlight-valaisimissa led-tuote on jo paras vaihtoehto. Valonheittimissä monimetalli on vielä paras valonlähdevaihtoehto. Uusista valaisimista led-tuotteiden osuus melko pieni. Ehkä vuonna 2020 led-valaisimia myydään enemmän määrällisesti, kuin muita valaisimia yhteensä.
- b.) Pääsääntöisesti niistä tekniikoista, mutta laser-valonlähteet voivat tulla niiden haastajiksi.
- c.) Tulee muitakin, kuten laser-tekniikka. Asuntotuotannossa led-valaistuksen hinta on jo samaa tasoa perinteisen valonlähteen kanssa ja sen käyttökustannukset ovat edullisempia. Toimistojen valaistuksessa on vielä hinta, häikäisy ja epäsuoran valon liian pieni osuus ongelmina. Seiniä ja kattoja on hankala saada valaistua aina standardin vaatimusten mukaan. Ehkä vuonna 2017 led-valaistuksen osuus ylittää 50 % uusien valaisinten koko markkinaosuudesta. Oma lukunsa on led-lamput, jotka eivät näy tilastoissa, vaikka niitä vaihdetaan paljon vanhoihin valaisimiin.
- d.) Kyllä. EMC-ongelmat vaativat joitain toimenpiteitä, jos led-valaistuksen määrä yleistyy. Käytössä olisi silloin paljon häiriöitä aiheuttavia lamppuja ja valaisimia.
- e.) Lähitulevaisuudessa led-valaisimet. Aina tulee uusia vaihtoehtoja, kun aikaa kuluu.
- f.) Kyllä. Lähitulevaisuudessa yleisin on led-valaistus. Aika näyttää, tuleeko oled, laser ja muut uudet valonlähteet myöhemmin riittävän edullisiksi. Tuotteen ostohinta varmaan ratkaisee kilpailun, ellei tehdä poliittisia kulutusta ohjaavia päätöksiä. Valotehokkuus on kuitenkin todella suuri tulevaisuudessa kaikissa em. valonlähteissä.

5.1.2 EU:n markkinavalvontaviranomaisten yhteiskampanja

Vuoden 2011 aikana Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) sekä 17 muuta markkinavalvontaviranomaista muista EU-maista järjestivät yhteiskampanjan tutkiakseen led-valaistustuotteiden laatua ja turvallisuutta. Kampanjassa testattiin yhteensä 168 tuotetta. Valmistusmaana oli 91 tuotteessa Kiina, 12 tuotteessa EU ja 65 tuotteen alkuperä jäi epäselväksi. Kampanjasta julkaistiin tutkimus: EMC Administrative co-operation working group; Final report on the 4th joint cross-border EMC market surveillance campaign (2011) led lightning products. (23.)

Testatuista tuotteista 17 prosenttia täytti kaikki niille annetut vaatimukset sähkömagneettisen yhteensopivuuden (EMC) suhteen. Käytännössä suuri enemmistö, 83 prosenttia testatuista tuotteista, ei välttämättä toimi muiden sähkölaitteiden kanssa häiriötömästi samassa käyttöympäristössä. Tyypillisiä häiriöitä voivat olla raidat television kuvassa, radion rätinä ja tietokoneen virhetoiminnot.

Testituloksien mukaan yli kolmasosa testatuista tuotteista lähetti ympäristöönsä sallitua enemmän sähkömagneettisia häiriöitä. 47 prosenttia tuotteista lähetti jakeluverkkoon harmonisia virtoja yli valaistustuotteille sallitun määrän. Tukes testasi omalta osaltaan 13 Suomessa myynnissä ollutta led-valaisinta ja -lamppua EMC:n osalta. Lamppuista yksi asetettiin myyntikieltoon ja yksi toimituskieltoon. Valaisimista yksi asetettiin toimituskieltoon. Huomautuksen sai lisäksi kolme muuta tuotetta. Myyntikieltopäätös merkitsee myynnin välitöntä lopetusta, mutta toimituskieltoon määrätyt tuotteet saa myydä kaupoista loppuun, muttei toimittaa enää uusia myytäväksi. Huomattavia puutteita löytyi myös valaistustuotteilta vaadittavista asiakirjoista. CE-merkintä ja vaatimustenmukaisuusvakuutus olivat kunnossa vain 30 prosentilla testatuista tuotteista.

Tukesin ylitarkastaja Hanna Mustonen kommentoi: ” vaikuttaa siltä, että valmistajat eivät ole kiinnittäneet riittävästi huomiota EMC-vaatimukseen. Tukes aikookin jatkaa led-valaistustuotteiden tehostettua EMC-valvontaa myös tänä vuonna (2012), ensimmäiset laitteet ovat jo testissä.”

Vuonna 2011 tehdyn tutkimuksen loppupäätelmässä pidetään ongelmallisena määritellyn puuttuminen led-lamppujen harmonisille virroille standardista. Tutkimukset osoittavat, että vaatimuksia olisi ryhdyttävä pikaisesti valmistelevaan. Lisäksi mainitaan alkuperältään tuntemattomien tuotteiden osuuden, 39 prosenttia, olevan yllättävän suuri ja osoittavan jäljitettävyyden olevan ongelma. Harmonisille virroille on EMC-testausstandardi EN 61000-3-2, mutta se ei edellytä testien tekoa alle 25 W:n tehoisille led-laitteille. Valmisteilla on raja-arvon lasku viiteen wattiin. (4)

5.1.3 Johtopäätökset led-tuotteiden toimivuudesta

Kysymykset käydään läpi numerojärjestyksessä, jolloin voidaan tarvittaessa palata yksittäisiin vastauksiin. Käsitellään myös EU:n markkinavalvontaviranomaisten yhteiskampanjaa. Johtopäätökset perustuvat haastatteluista saatuihin vastauksiin.

1. Tunnettujen valmistajien led-tuotteet ovat jo nyt hyvälaatuisia. Ongelmia voivat aiheuttaa maahantuoja, jotka tuovat edullisia tuotteita, joiden laatu ei vastaa tuotteille asetettuja vaatimuksia.
2. Tuotteet ovat olleet yleisesti niin vähän aikaa markkinoilla, että vielä ei tiedetä varmasti, kestävätkö ne luvatus ajan hyvissä olosuhteissa. Yksittäisissä kohteissa, joissa lämpö ei pääse tehokkaasti siirtymään pois tuotteen jäähdytysrivasta, voi sen elinikä jäädä jopa hehkulampun tasolle.
3. Hyvillä tuotteilla saavutetaan vaaditut valaistusvoimakkuustasot alussa, mutta joissain tapauksissa valovirran alenema on liian nopeaa. Silloin led-tuotteilla sallittu 30 %:n heikkenemä koko eliniän aikana voi tapahtua jo joissain tuhansissa tunneissa. Tie- ja poistumistievalaistuksessa tämä on myös turvallisuusasia. Osa tuotteista ei näyttäisi saavuttavan vaadittuja arvoja uutenakaan.
4. Yleisvalaistuksessa värinointoindeksiin (R_a tai CRI) arvo vähintään 80 löytyy lähes joka tuotteesta ja se tarjoaa riittävän tason yleisvalaistuksen tarpeisiin. Väriämpötilan vaihtelut samassa tuote-erässä johtuen valmistusteknisistä ominaisuuksista tulevat esille kohteissa, joissa useampi tuote näkyy yhtä aikaa katsojalle. Mainosvaloissa oikea värinsävy logoissa voi joskus jäädä saavuttamatta. Led-tuotteille Näyttäisi olevan ominaista, että myös värinointo-ominaisuudet voivat huonontua tuotteen vanhetessa. Tästäkään ilmiöstä ei vielä ole ehtinyt tulla riittävästi näyttöä.
5. Asennus on hyvin samankaltaista, kuin perinteisillä valonlähteillä. Led-valaisimet ovat vielä hyvin paljon perinteisten valaisimien kaltaisia. Joskus retrofit-sovituksissa fyysisten mittojen pienet erot voivat aiheuttaa ongelmia. Asennusohjeiden puutteellisuus tai puuttuminen aiheuttaa välillä ongelmia. Ilman niissä olevaa tietoa ei voida joka tilanteessa huomioida tuotteen vaatimuksia asennusympäristöltä. Yksittäisenä tuotteena T8:n korvaavat led-putket ovat saaneet paljon kritiikkiä.
6. Kirjallisissa ohjeissa on välillä puutteellisia tietoja, virheitä tai ohjeet voivat puuttua kokonaan. Myös suomenkielisen version puuttuminen on joskus ongelma.

7. Led-lamppujen fyysinen koko ei ole enää yleisesti ongelma joitain poikkeuksia lukuun ottamatta esim. downlight-lampuissa.
8. Paloturvallisuuteen liittyviä ongelmia ei ole tullut vastaan. Tukes on poistanut markkinoilta ja laittanut toimituskieltoon yksittäisiä vaarallisia tuotteita. Ei ole havaittu tälle tuotteelle tyypillisiä ongelmia.
9. Sähköturvallisuuden suhteen riski on liittynyt mm. yksinkertaiseen eristeeseen ja pieniin ilmapäleihin led-lampun elektroniikassa. Sähköiskun riskin aiheuttavia tuotteita on poistettu myös markkinoilta.
10. Suunnittelijoilla ongelmat liittyvät toisinaan suunnitteluhetkestä toteutukseen kuuluvan ajan pituuteen. Tuotteesta on usein saatavilla uusi versio kun kohdetta rakennetaan, eikä vanhaa mallia ole aina enää tarjolla. Tuotteen uuden sukupolven fyysiset mitat eivät ole aina identtisiä tai sen valotekniset ominaisuudet ovat parantuneet tai muuttuneet enää suoraan asennuskohteeseen sattuvaksi.
11. Tukkuymyjien ei kannata tuotteiden nopean kehityksen takia pitää suuria varastoeria. Uudet sukupolvet tekevät usein vanhoista tuotteista hyödyttömiä. Varosia ei kannata varastoida. Maahantuojien valaisimista antamat tekniset tiedot voivat olla puutteellisia tai väärinä. Voi olla vaikeaa myydä urakoitsijoille tuotteita, joiden ominaisuuksista ei voi olla täysin varma.
12. Urakoitsijoiden ongelmat liittyvät teknisten tietojen puutteeseen. Asennus ei etene toivotusti, jos joudutaan selvittämään asioita kesken rakentamisen.
13. Käyttäjille ei tule yleensä ongelmia. Tuotteen lyhyt elinikä, himmennettävyyden puute tai häiriöt radio- ja puhelintaajuuksilla voivat joskus olla ongelma. Lyhyt elinikä joissain tuotteissa asennettuna haastavaan paikkaan voi heikentää tuoteryhmän mainetta.
14. Hehkulamppujen markkinoillesaattamiskieltoa pidetään pääsääntöisesti oikeana ratkaisuna. Sen aikataulu on joidenkin mielestä ollut vain liian nopea. Energiansäästösyistä päätöstä pidetään hyvänä. Eriävä mielipide liittyi hehkulamppuominaisuuksien puuttumiseen korvaavista led-tuotteista. Suomen ilmastossa säästö siirtyy talviaikaan kasvaviin lämmityskuluihin, mutta kesällä se vähentää huoneiden lämpötilan liiallista nousua.
15. Yleisesti hehkulamppua ei kaivata tiettyjen ominaisuuksiensa takia. led-tuotteet ovat hyviä. Erinomaista värintoistoa voivat yksittäiset henkilöt kaivata, ennen kuin led-tuotteiden värintoisto-ominaisuudet parantuvat. Lämpimän keltaista hehkulamppuvalonsävyä jotkut pitävät jopa huonona.
16. Led-tuotteisiin siirtymisen etuina pidetään energiansäästöä, pitkää käyttöikää, nopeaa syttymistä, dynaamisen valaistuksen mahdollisuutta, toimivuutta kyl-

mässä, huoltohelppoutta, toimintavarmuutta, valaisinmuotoilun mahdollisuuksia ja turvallisuuden kannalta valonlähteen hiipumista hetkellisen sammumisen sijaan.

17. Haasteina pidetään toisinaan korvaavien valaisimien sovitusten epäsopivuutta mitoissa, häiriötä ympäristöön varsinkin himmennyskäytössä, epäluotettavia teknisiä tietoja, kuumien olosuhteiden ongelmia, korkeaväriämpötilaisten valonlähteiden heikompaa värintoistoa, heikkoa verkkoon päässeiden ilmastollisten ylijännitteiden kestoisuutta, erittäin kylmän ympäristön kestoisuutta, saata- vuusongelmia käytössä oleville valaisimille ja silmien ärsyyntymistä joillain henkilöillä.
18. Sisävalaistuksessa valaistusvoimakkuus ja valon värintoisto-omaisuudet ovat hyvät tunnettujen merkkien tuotteilla. Poikkeuksena on joidenkin edullisimpien tuotteiden heikko valaistusvoimakkuus. Väriämpötilaltaan on saatavilla erilaisia tuotteita eri mieltymyksiin. Kylmät valonsävyt koetaan selkeämmin tilaa valaisevina ja raikkaamman vaikutelman antavina. Yhtä aikaa näkyvissä valaisimissa tulee toisinaan esiin väriämpötilojen pienten erojen aiheuttamat valon sävyerot. Häikäisy ei ole ongelma, jos tuotteessa on hyvä optiikka.
19. Tie- ja ulkovalaistuksessa elohopeavalaisimiin vaihdettaessa värintoisto on parantunut, mutta joissain kohteissa valaistusvoimakkuus on jäänyt heikoksi ja tie on valaistunut epätasaisesti. Reagointiaika tuntuu lyhyemmältä subjektiivisesti koettuna. Hämäränäkeminen on tarkempaa. Rakennusten julkisivuvalaistus varsinkin värillisinä jakaa mielipiteitä.
20. "Blue light hazard" on yleensä tunnettu ilmiö ammattilaisten keskuudessa. Tiedetään sinisen valon UV-taajuuksien lähellä olevan piikin olleen voimakas ensimmäisissä mallisukupolvissa ja korkean väriämpötilan valonlähteissä. Moni ei kokenut sen tarkemman tutkimisen tai mahdollisesti sen jo aiheuttaneiden vaurioiden kartoitusta tarpeellisena. Oli eriäviä mielipiteitäkin. Osa vastaajista tiesi ranskalaisten tutkimusten tuloksista, joissa sen pelättiin altistavan lapsia silmävaurioille.
21. Mainostamista pidettiin usein hyvien ominaisuuksien hehkutuksena ja heikoista ominaisuuksista vaikenemisena tai tietämättömyytenä, vaikka asiallistakin mainontaa myös on. Eliniän lupauksia pidettiin eniten liioiteltuna tai annettuna ilman todellisia perusteita. Jotkut myyntilupauksista olivat paikkaansa pitämättömiä varsinkin uusien maahantuojien tuotteissa, koska normaaleissa käyttöolosuhteissa ne eivät yleensä toteutuneet. Kuluttajille suunnatussa mainonnassa liioittelu koettiin tyyppilliseksi alasta riippumatta. Kaikki mainostavat parasta tuotetta.

Ammattilaisille suunnatuissa mainonnassa liioittelu voisi aiheuttaa ongelmia, jos vasta tehdessä käyttöön otossa valaistusmittauksia saadaan arvoja, joiden lukemat eivät täytä vaatimuksia.

22. Eurooppalaisen valaistustutkimuksen painottuminen lähes yksinomaan led-tuotteisiin vaikuttaa kaikista vastaajista järkevältä päätökseltä. Perinteisissä valonlähdetekniikoissa ei ole mahdollisuutta samanlaiseen kehitykseen. Perusteina ovat energiatehokkuuden paraneminen ja led-tuotteiden tuotekehitykseen panostaminen niiden muidenkin ominaisuuksien parantamiseksi. Muitakin tulevaisuuden valonlähde-tekniikoita koetaan tarpeelliseksi tutkia.
23. Eurooppalainen standardointi on jäänyt jälkeen led-tuotteiden nopean kehityksen takia. Standardointiprosessi on hidas ja joidenkin mielestä liian byrokraattinen. Osalle led-tuotteista ei ole omaa standardia, joten niille sovelletaan muita standardeja. Uudentyyppiset valonlähteet tarvitsisivat kiireesti esim. värinointoon ja harmonisiin ylivirtoihin omat standardit.
24. Sähköteknisen turvallisuuden valvojana Suomessa toimii turvallisuus- ja kemikaalivirasta (Tukes), jonka toimintaa pidetään yleisesti tehokkaana ja riittävänä. Joidenkin mielestä se voisi toimia jossain määrin jo maahantuontivaiheessa ja testata enemmän led-tuotteiden valoteknisiä ominaisuuksia. Jotkut haluaisivat Tukesille myös enemmän resursseja tutkia tuotteita. Sähköturvallisuuden vaatimusten taso halutaan ammattilaisten mielestä pitää Suomessa tulevaisuudessakin korkealla tasolla.
25. Led-tuotteiden uusista lisäominaisuuksista, mm. dynaamisesta valaistuksesta ja muista todellista hyötyä tarjoavista ratkaisuista, ollaan valmiita maksamaan itse käyttäjänä ylimääräistä. Tarpeettomiksi koetaan mm. mobiililaitte-ohjaukset ja värivalaistus. Asiakkaista asuntotuotannon ja toimistorakentamisessa erikoistilojen osalta on oletettavissa kiinnostusta lisäominaisuuksiin. Asiakkaat, jotka maksavat myös kiinteistön käyttökulut, ovat kiinnostuneempia lisäominaisuuksista valaistuksessa jo energiansäästönkin takia.
26. Lähitulevaisuuden valaistusratkaisujen uskotaan toimivan entistä enemmän led-tekniikalla, kun sen valotehokkuus paranee ja hinnat vielä laskevat. Toimisto-, valonheitin- ja tievalaistuksessa se ei ole vielä suosituin vaihtoehto, mutta joissain sovelluksissa se on jo erinomainen, kuten lamput, downlight-valaisimissa ja erikoisvalaistuksessa (pop-konsertit ja digitaalisesti ohjatut jäähallivalaistukset). Toimistovalaistuksessa yleisin valonlähde on vielä T5-loisteputkivalaisimet, valonheittimissä monimetallilamput ja tievalaistuksessa suurpainenaatriumlamput. Ongelmina ovat edelleen joissain led-tuotteissa hinta,

häikäisy, EMC-häiriöt, värintoisto ja epätasainen valonjako. Ehkä noin vuosina 2017–2020 led-valaisimia myydään yli 50 % kaikista uusista valaisimista. Oled, laser ja muut tulevaisuuden valonlähdetekniikat ovat vasta kokeiluasteella toimivia ja kalliita. Led-valaistus vaikuttaisi olevan kaikilta kannoilta katsottuna lähitulevaisuuden ylivoimaisesti yleisin valonlähde.

Markkinaviranomaisten yhteiskampanja vuonna 2011 paljasti enemmistössä tutkituista led-tuotteista löytyvän eritasoisia puutteita. Lopputuloksena vain 17 % tutkituista tuotteista täytti kaikki niille asetetut vaatimukset sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta. Yli kolmasosa tuotteista lähetti ympäristöönsä sallittua enemmän sähkömagneettisia häiriöitä. Noin puolet tuotteista lähetti jakeluverkkoon harmonisia ylivirtoja yli sallitun määrän. CE-merkintä ja vaatimustenmukaisuusvakuutus olivat kunnossa vain 30 %:lla tuotteista. Alkuperältään tuntemattomia tuotteista oli peräti 39 %. Tukes testasi Suomessa myynnissä olleista tuotteista 13, joista kolme se asetti testin jälkeen myyntitai toimituskieltoon. Tuloksena päätettiin jatkaa led-tuotteiden tutkimista.

6 Testi E27-kantaisille 40 W:n hehkulampun korvaaville led-lampuille

Testissä selvitetään eri valmistajien led-lamppujen ominaisuuksia verrattuna niitä perinteisempiin hehku-, halogeeni- ja loisteputkitekniikoilla toteutettuihin lamppeihin. Osa-alueina ovat valotehokkuus, valonjako, värintoisto, elinkaarikustannus ja harmoniset ylivirrat. Tarkastellaan myös testilamppujen soveltuvuutta hehkulampun korvaavaksi tuotteeksi, koska sellaisina niitä markkinoidaan. Jokaiselle lampulle annetaan arvosanaksi 1–5 kaikista viidestä eri osa-alueesta. Energiankulutus vaikuttaa kahteen testin eri osa-alueen tulokseen, joten arvosanassa sen merkitys korostuu voimakkaimmin. Jokaisen lampun saamista osa-alueiden arvosanoista lasketaan sille keskiarvo, mikä on lampun arvosana. Arvosanojen perusteella arvioidaan lamppujen, jotka näkyvät kuviossa 2, toimivuus valonlähteinä yleisvalaistuksessa.

Testi alkaa tutkimustiedon keräämisellä. Siinä valokuvataan sekä mitataan valaistusvoimakkuus-, teho- ja ylivirta-arvoja. Mittaustulosten oikeellisuutta arvioidaan mittauksen yhteydessä, jotta välttyttäisiin huolimattomuusvirheilta. Sen jälkeen testituloksia analysoidaan erikseen valituissa aihealueissa. Käytetään myös valmistajien ilmoittamia teknisiä arvoja taulukosta 2. Tehdään lopuksi johtopäätökset aihealueittain ja kokonaisuutena.



Kuvio 2. Testin lamput ostopakkauksissaan. Hehkulamppu on hankittu testiaan varastosta.

Taulukko 2. Lamppujen tärkeimmät valmistajan ilmoittamat ominaisuudet ja niiden hinnat. Värilämpötila on kaikissa lamppuissa 2 700 K.

		Teho	Valovirta	Käyttöaika	Värintoisto-	Hinta
	Verrokkilamput	(W)	(lm)	(h)	indeksi	(€)
					(R _a /CRI)	
1	Hehkulamppu Airam	40	400	1 000	R _a =100	0,79
2	Halogeenilamppu Airam	30	405	2 000	CRI=99	3,95
3	Halogeenilamppu ECO, 1/2	30	405	2 000	R _a =100	1
4	Halogeenilamppu ECO, 2/2	30	405	2 000	R _a =100	1
5	Loisteputkilamppu Megaman	9	405	10 000	R _a =82	7,95
	Led-lamput					
6	Osram Led Star Classic	7	470	15 000	R _a =80	15,99
7	Airam led-lamppu	6	470	25 000	CRI=80	12,95
8	Philips led-lamppu	6	350	15 000	Ei ilmoitettu	13,95
9	Ikea led Ledare, 1/2	6,3	400	25 000	CRI=87	4,95
10	Ikea led Ledare, 2/2	6,3	400	25 000	CRI=87	4,95
11	Innovation-led	6	470	25 000	R _a =90	13,99

6.1 Tutkimus

Valaistaan katosta liitäntäjohdon varassa roikkuvalla E27-kantaisella lampulla, joka ei ole valaisinrungossa, pöytätasoa suoraan sen yläpuolelta. Pöytätasolla on testikuva tarkasteltavana. Tila pimennetään testin ajaksi, jotta testattava lamppu on tilan ainut valonlähde. Tilan seinät ovat valkoiset ja lattia on vaalean ruskea, joten tila itsessään ei merkittävästi vääristä värintoiston tuloksia. Testattavat lamput on valittu eri valmistajien valikoimista ja eri hintaluokkaisista tuotteista. Kahta lamppumallia on otettu 2 kappaletta testiin, jotta voidaan tutkia, eroavatko saman valmistajan eri yksilöiden mittausarvot toisistaan. Taulukosta 3 näkyy testatuista lampuista käytetyt lyhenteet, jotka esiintyvät muissa taulukoissa.

Taulukko 3. Taulukoissa käytetyt lyhenteet testin lampuista.

1: Hehkulamppu	Hehkulamppu Airam 40 W
2: Airam-halogeeni	Halogeenilamppu Airam 30 W
3: ECO 1-halogeeni	Halogeenilamppu Halogen ECO, kappale 1/2, 30 W
4: ECO 2-halogeeni	Halogeenilamppu Halogen ECO, kappale 2/2, 30 W
5: Loistelamppu	Loistelamppu Megaman 9 W
6: Osram-led	Led-lamppu Osram 7 W
7: Airam-led	Led-lamppu Airam 6 W
8: Philips-led	Led-lamppu Philips 6 W
9: Ikea 1-led	Led-lamppu ledare/Ikea, kappale 1/2, 6,3 W
10: Ikea 2-led	Led-lamppu ledare/Ikea, kappale 2/2, 6,3 W
11: Innovation-led	Led-lamppu led innovation/Clas Ohlsson 6 W

Sähkötyöturvallisuus huomioidaan käyttämällä 1-vaihesyötön yhteydessä 30mA vikavirtasuojakytkintä sekä käyttämällä eristäviä turvakenkiä koko testin ajan. Testissä normaalit, kosketeltavat jännitteiset osat ovat vähintään IP20-luokan suojavaatimukset täyttäviä, paitsi virran mittauksessa pihdin ympäri kiertävä vain 1-kertaisesti eristetty johdin, johon ei tarvitse koskea testin aikana. Testaustila on nähtävänä kuviossa 3. Muut henkilöt eivät pääse tilaan testin aikana.



Kuvio 3. Testauspaikkana kylpyhuone.

Ensimmäisessä vaiheessa otetaan valokuvia testikuvasta ilman salamaa ja samalta etäisyydeltä sekä samasta kuvauskulmasta erikseen jokaisen lampun valossa. Testikuva on toteutettu Paint-ohjelmalla ja tulostettu A4-kokoon. Kamerana on Panasonic DMC-TZ 10, joka on toistanut hyvin värejä omassa käytössä erilaisissa kuvaustilanteissa. Lamppujen korkeus säädetään yksilöllisesti niin, että kaikkien lamppujen kohdalla saataisiin sama valaistusvoimakkuusarvo, 50 luksia testikohteeseen valokuvaustilanteessa. Osram-led:n ja Airam-led:n osalta jouduttiin käyttämään arvoa 80 luksia, sillä niiden nostaminen vielä korkeammalle arvon pienentämiseksi ei ollut mahdollista 2,2 metriä korkeassa huoneessa. Testin ainut valonlähde on kulloinkin testattavana oleva lamppu.

Toisessa vaiheessa mitataan Amprope LM-120 -mittarilla valaistusvoimakkuusarvoja. Lamppu roikkuu 1 metrin korkeudella suoraan pöytätasoa yläpuolella. Mittaus suoritetaan erikseen pöytätasolta (0° kulma) sekä 30°, 60°, 90°, 120° ja 150°:n kulmista pystytasoon nähden aina 1 metrin etäisyydeltä selvittäen valaistusvoimakkuuden jakautumista eri suuntiin. Mitataan arvot jokaiselle lampulle vuorotellen. Apuvälineinä käy-

tään 1 metrin mittaista mittakeppiä ja valmiiksi seinään teipillä merkattuja mittauskulmien kohtia. Tulokset kirjataan ylös.

Kolmannessa vaiheessa pätö-, lois- ja näennäistehonkulutusta mitataan FLUKE 43B Power Quality Analyzer-energia-analysaattorilla. Virtamittauspihdin ympärille kieritetään lampun liitântä johdon vaihejohdinta 10 kierrosta, jotta pienitehoiset lamput pystytään mittaamaan yksitellen. Näin toimien mitattavat virta-arvot sekä tehojen arvot kymmenkertaistuvat. Mitattuja tehoja kirjatessa muistiin mittarin lukemat jaetaan 10:llä, jotta tulokset olisivat oikeita. Lisäksi mitataan lamppujen mahdollisesti lähettämiä erilaisia parittomasti verkkovirran taajuuteen nähden kerrannaisia harmonisia ylivirtoja. Näämäkin tulokset kirjataan muistiin. Mittausvälineistö on esillä kuviossa 4.



Kuvio 4. Valaistusvoimakkuusmittari, vikavirtasuojakytkin, energia-analysaattori ja virranmittauspihti.

6.2 Tutkimustiedon analysointi

Mittaustuloksien arvot kirjataan excel-taulukoiiksi. Eri lamppujen saamien mittaustuloksien arvoja verrataan toisiinsa, analysoidaan tuloksia ja arvioidaan lamppujen laadullisia tekijöitä eri ominaisuuksissa. Lopuksi arvioidaan lamppujen toimivuutta hehkulamppua korvaavina tuotteina erilaisissa käyttöolosuhteissa.

6.2.1 Valotehokkuus

Valotehokkuus ilmoitetaan valovirran ja pätötehon suhteella. Sen yksikkönä on lumen/watti (lm/W). Todellisuudessa osa kulutuskojeista, kuten loisteputki- ja led-lamput ottavat sähköjakeluverkosta myös loistehoa, joka on induktiivista tai kapasitiivista. Moottorit, joissa on käämitykset, ottavat tyypillisesti induktiivista eli miinusmerkkistä loistehoa verkosta. Elektroniikka, jossa on puolijohteita kuten kondensaattoreita, ottavat verkosta usein positiivista eli kapasitiivista loistehoa, joka on erikseen tuotettava verkkoon kompensoimalla. Lisäksi harmoniset ylivirrat aiheuttavat verkkoon häiriöitä. Testissä on mitattu lamput myös näennäistehot, jotta voidaan muodostaa vertaileva valotehokkuusyksikkö, joka on valovirta jaettuna näennäisteholla (lm/VA). Tämä yksikkö vastaa paremmin valaistuksen todellista hyötysuhdetta. Tätä yksikköä ei yleisesti ole käytössä, mutta sitä käytetään tässä testissä kuvaamaan lampun valovirran suhdetta sen todelliseen tehonkulutukseen, jota on arvosteluperusteena testissä. Mittaustulokset ovat taulukossa 4 ja lasketut valotehokkuudet ja arvosanat ovat taulukossa 5.

Taulukko 4. Tehomittaukset. Mittarina FLUKE 43B Power Quality Analyzer

nro	Lamppu	P	Q	S
		pätöteho (W)	loisteho (var)	näennäisteho (VA)
1	Hehkulamppu	34	1	34
2	Airam-halogeeni	26	1	26
3	ECO 1-halogeeni	28	1	28
4	ECO 2-halogeeni	28	1	28
5	Loistelamppu	8	12	14
6	Osram-led	6	3	7
7	Airam-led	5	4	6
8	Philips-led	5	7	9
9	Ikea 1-led	5	5	7
10	Ikea 2-led	5	5	7
11	Innovation-led	5	5	7

Taulukko 5. Valovirran ja tehojen arvot. Valotehokkuusarvot arvosanoineen.

nro	Lamppu	valovirta Φ /lm	Valmista-	Valmista-	Valmista-	Vertaileva	Arvo-
			ilmoitta-	jan	jan		
			ma	Mitattu	laskettu	valote-	sana
			pätöteho (W)	näennäisteho (VA)	hokkuus lm/W	hokkuus lm/VA	
1	Hehkulamppu	400	40	34	10	11,8	1
2	Airam-halogeeni	405	30	26	13,5	15,6	1,5
3	ECO 1-halogeeni	405	30	28	13,5	14,5	1,5
4	ECO 2-halogeeni	405	30	28	13,5	14,5	1,5
5	Loistelamppu	405	9	14	45	28,9	3
6	Osram-led	470	7	7	67,1	67,1	4,5
7	Airam-led	470	6	6	78,3	78,3	5
8	Philips-led	350	6	9	58,3	38,9	3,5
9	Ikea 1-led	400	6,3	7	63,5	57,2	4
10	Ikea 2-led	400	6,3	7	63,5	57,2	4
11	Innovation-led	470	6	7	78,3	67,2	4,5

Tulokset ovat loisvirran kulutus huomioiden vähän parempia hehkusäteilijöillä. Niiden energiankulutus on tälläkin tavalla tarkasteltuna kuitenkin huomattavasti suurempaa, kuin testin muiden lamppujen. Hehkusäteilijät kuluttivat mittauksissa ilmoitettua vähemmän pätötehoa ja siksi myös näennäistehon arvot olivat valmistajan ilmoittamaa pätötehoa pienempiä. Loistelamppu ja Philipsin led-lamppu kuluttivat mittauksissa pätötehoa lähes valmistajan ilmoituksen mukaisesti, mutta niiden näennäistehon kulutus oli loisvirran suurien määrien takia selvästi suurempaa. Varsinkin loistelampun loistehon pätötehoa suurempi arvo kertoo huonosti toteutetusta tuotteesta. Loistehon suuruuden takia niillä oli huonommat vertailevan valotehokkuuden arvot verrattuna valotehokkuuteen. Ikean lamput olivat hyviä, eivätkä ne kuluttaneet paljoa loistehoa.

Arvosanat määräytyvät vertailevan valotehokkuuden arvojen mukaan. Suurimman arvon saanut saa numeron 5 arvosanaksi. Airamien led-lamppu ja Innovation led-lamppu olivat testin valotehokkaimmat perinteisessä valotehokkuudessa valmistajan ilmoittamien arvojen perusteella. Vertailevan valotehokkuuden paras oli Airamien led-lamppu ja edelliset lamput sijoituivat vasta sen jälkeen toiseksi. Voittaja on Airamien led-lamppu.

6.2.2 Valonjako

Valaistusvoimakkuus kertoo mitatulle pinnalle tulleen valon määrän. Yksikkönä käytetään luksia (lx). On tärkeää, että lampun valo jakaantuu melko tasaisesti eri suuntiin riippumatta siitä, onko se sijoitettu heijastimella varustettuun tai lampun avoimeksi jättävään valaisimeen. Lamppu on siis ideaali tilanteessa ympärisäteilevä pallo valonjaoltaan. Lampun kanta ja sen kiinnitys estävät käytännössä valon jakaantumisen aivan symmetrisesti ympäristöön. Yleisvalaistukseen suunnitellussa valaisimessa valon on tarkoitus jakaantua tasaisesti ympäröivään huoneeseen.

Taulukossa 6 olevat valaistusvoimakkuuden mittaustulokset analysoidaan. Lisäksi selvitetään, täyttyvätkö vaatimukset loisteputkilampun syttymisestä, jonka mittaustulokset ovat taulukossa 7. Sen pitää saavuttaa standardin EN 12464-1 mukaan 60 % maksimi-valaistusvoimakkuusarvostaan 60 sekunnin päästä sytytyksestä.

Taulukko 6. Valaistusvoimakkuus mitattuna ilmoitetuista kulmista 1 m:n päästä. Mittarina Amprope LM-120. Arvosanat.

nro	Lamppu:	(lx)	(lx)	(lx)	(lx)	(lx)	(lx)	keski- arvo	Arvo- sana
		0° kulma	30° kulma	60° kulma	90° kulma	120° kulma	150° kulma		
1	Hehkulamppu	45	44	51	51	44	51	48	5
2	Airam-halogeeni	31	37	51	55	50	45	45	4,5
3	ECO 1-halogeeni	31	49	59	64	51	52	51	5
4	ECO 2-halogeeni	32	48	59	66	53	49	51	5
5	Loistelamppu	61	56	69	65	45	34	55	4
6	Osram-led	90	70	67	51	32	24	85	2
7	Airam-led	178	122	90	58	33	28	76	2
8	Philips-led	142	98	82	66	38	31	56	2,5
9	Ikea 1-led	72	62	66	67	49	47	61	4
10	Ikea 2-led	71	60	64	65	49	45	59	4
11	Innovation-led	116	90	82	70	46	37	74	3,5

Hehkulamppu on valonjaon vertailussa ylivoimainen lähes täydellisen valonjaon ansiosta. Valo jakaantuu hehku- ja halogeenilampuissa tasaisesti ympäriinsä painottuen hieman 90°:n kulmaan. Halogeenilampuissa 0°:n kulmassa on heikompi lähtevän valon määrä. Lamppu voi olla valaisimessa pysty- tai vaaka- asennossa ja sen kanta ylös- tai alaspäin. Tasaisen valonjaon lamppu on universaali, eikä edellytä erikseen sille sopivaa valaisinta. Loistelamppu ja Ikean led-lamppu jakavat valoa 0°:n kulmaan painottuen, mutta valaistusvoimakkuuden heikkeneminen 150°:n kulmaan on jo kuitenkin alle 50 %. Muissa led-lampuissa suurin teho jakaantuu 0° kulmaan. Ne eivät valaise tilaa enää kunnolla 120°:n ja 150°:n kulmissa. Tyypillisessä kattokruunussa, jossa lampun kanta on alaspäin, niiden valaistuksellinen toimivuus on heikko. Suuri valon määrä suuntautuu kattoon, josta heijastuessa se menettää tehostaan yli puolet. Alaspäin ei suuntaudu riittävästi suoraa valoa.

Osramin, Airamin ja Innovation led-lamput antavat suurimman keskimääräisen, noin 80 lx valaistusvoimakkuuden. Muiden lamppujen tulokset (45–61 lx) ovat hieman heikompia. Tyypillisessä kattokruunuvalaisimessa valaistuksen kannalta merkitsee eniten 120°:n ja 150°:n kulmiin lähtenyt valon määrä. Tässä Osramin, Airamin ja Philipsin led-lamput ovat heikkoja, mutta Ikean led-lamput antavat melko tasaisen valonjaon. Suu-

rimman valaistusvoimakkuuden antavat tähän suuntaan hehkusäteilijät, ECO-halogenin saadessa niukasti parhaan tuloksen.

Led-lampuilla saadaan kohdevalaisimissa suuri valaistusvoimakkuus yhteen suuntaan. Testissä painotetaan kuitenkin yleisvalaistuksen tarpeita. Arvosanat ovat samassa taulukossa valaistusvoimakkuusarvojen kanssa. Hehkusäteilijät olivat testin voittajia. Loistelamppu ja Ikean led-lamppu saivat hyvän tuloksen. Osramin, Airamien ja Philipsin led-lampuilla oli epätasaisin valon jako, ja se painottui yleisvalaistuksen kannalta väärään suuntaan. Näitä kolmea tuotteista ei voisi sanoa hehkulampun korvaajiksi, koska niiden valotekniset ominaisuudet ovat selkeästi erilaisia. Arvosana määräytyy sekä valonjaon tasaisuuden että 120°:n ja 150°:n kulmien valaistusvoimakkuuden arvojen mukaan.

Taulukko 7. Loistelamppu Megaman. Valaistusvoimakkuuden arvot ajan funktiona sytytyshetkestä. Mitattu 1 metrin päästä 0°:n kulmasta lampun alapuolelta

Aika/ (s.)	Valaistus-
	voimakkuus (lx)
0	0
10	42
20	50
30	55
45	57
60	61
90	61
120	61

Loistelamppu täyttää standardin SFS-EN 12464-1 vaatimukset, koska jo 60 sekunnissa saavutetaan sen maksimi valaistusvoimakkuus (61 Lx).

6.2.3 Värintoisto

Tutkimuksen yhteydessä otetut kuvat tulostetaan A4-kokoon Toshiba e-studio 2330 c monitoimitulostimella. Sillä on tulostettu aiemmin myös valokuvauksen kohdekuva, jota käytetään nyt kuvien vertailukuvana. Kuvien värien toistuminen analysoidaan silmämääräisesti vertaamalla tulostettuja valokuvia vertailukuvaan. Kuvissa mahdollisesti

tapahtuvat systemaattiset värien vääristymät tutkitaan. Ne voivat liittyä kameran tai tulostuslaitteen puutteisiin värintoistossa.

Testikuvassa on suuri määrä värisävyiltään sattumanvaraisesti valittuja värejä. Värintoistoindeksien määrittelyssä käytetään ennalta tiedossa olevia kahdeksaa (R_a) tai neljäätoista (CRI) värisävyä. Se voi mahdollistaa lamppujen tuotekehityksessä kyseisten sävyjen hyvään toistoon keskittyneen lampun kehityksen, joka ei käytännössä toista muita värisävyjä kunnolla. Värintoistoindeksien arvot 80–90 sallivat myös tietyn värisävyn vääristymän, vaikka suurin osa värisävyistä toistuisi hyvin.

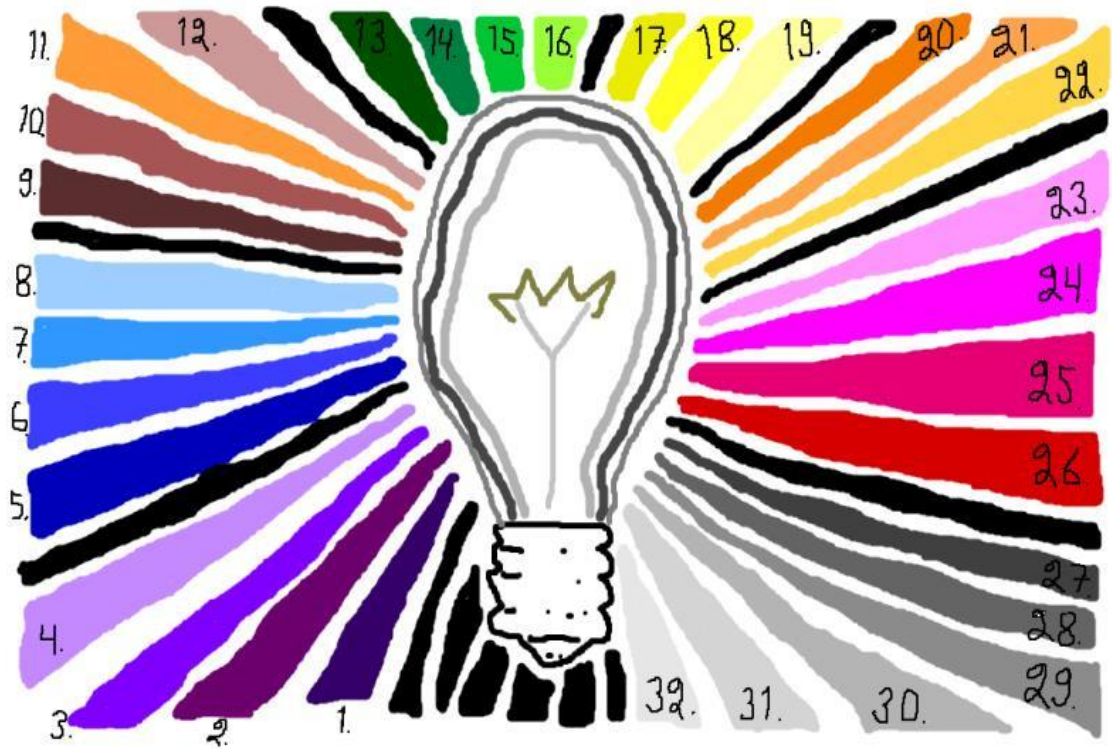
Vertailukuvaa katsottaessa havaitaan, että värit ovat toistuneet samanlaisina, kuin ne ovat näytöltäkin katsottaessa, joten käytetty tulostin ei ole vääristänyt tuloksia. Testissä havaittiin vaaleanvihreän (väri 16) toistuneen hieman heikosti jokaisella valonlähteellä kuvatuissa kohteissa, joten tämä on mahdollisesti kameran tai vielä tuntemattoman syyn aiheuttama virhe. Muut värit toistuivat aina oikein osalla lamppuja, joten testi toteutui, kuten oli suunniteltu.

Kuvissa on 8 eri testivärikenttää, joissa on violetin, sinisen, ruskean, vihreän, keltaisen, oranssin, punaisen ja harmaan eri sävyjä. Kentissä on useampi erisävyinen kyseisen värin segmentti. Segmenttejä on yhteensä 32, jotka on numeroitu järjestyksessä vasemmalta oikealle. Musta väri kenttien välillä on mukana luomassa kontrastia.

Jokaisen värin toistuminen arvioidaan asteikolla 1–5 ja lasketaan numeerinen keskiarvo tuloksesta joka lampulle. Perusvaatimus on vähintään numero 4, eli hyvä arvosana, jolloin lampun katsotaan täyttävän hyvin perusvalaistuksen värintoistovaatimukset. Arvosanan 1–3 saaneiden värien lukumäärä lasketaan jokaiselle lampulle, jos niitä esiintyy.

Lampuista, joita oli 2 samanlaista kappaletta testissä, liitettiin kuvana vain toinen, koska ne olivat käytännössä identtiset. Ikean led-lampun ja ECO-halogeenilampun saman mallin eri yksilöiden välillä ei siis havaittu eroavuuksia. Arvioidaan myös aistinvaraisesti testin aikana havaittua valaistuksen yleisvaikutelmaa. Värilämpötilan arvot olivat valmistajien ilmoituksen mukaan samat jokaisella lampulla, mutta värilämpötilasta muodostui subjektiivisesti erilaisia käsityksiä ja testikuvan valkoiset osat toistuivat erilailla eri lampuilla. Kuviossa 5 on vertailukuva ja kuvioissa 6–14 on testattavien lamppujen

valossa otetut testikuvat. Taulukossa 8 ovat annetut numerot eri värien toistumiselle ja arvosanat.



Kuvio 5. Testikuva, joka on numerot lisättyä myös värivertailun vertailukuva.



Kuvio 6. Hehkulamppu Airam 40 W



Kuvio 7. Halogeenilamppu Airam 30 W



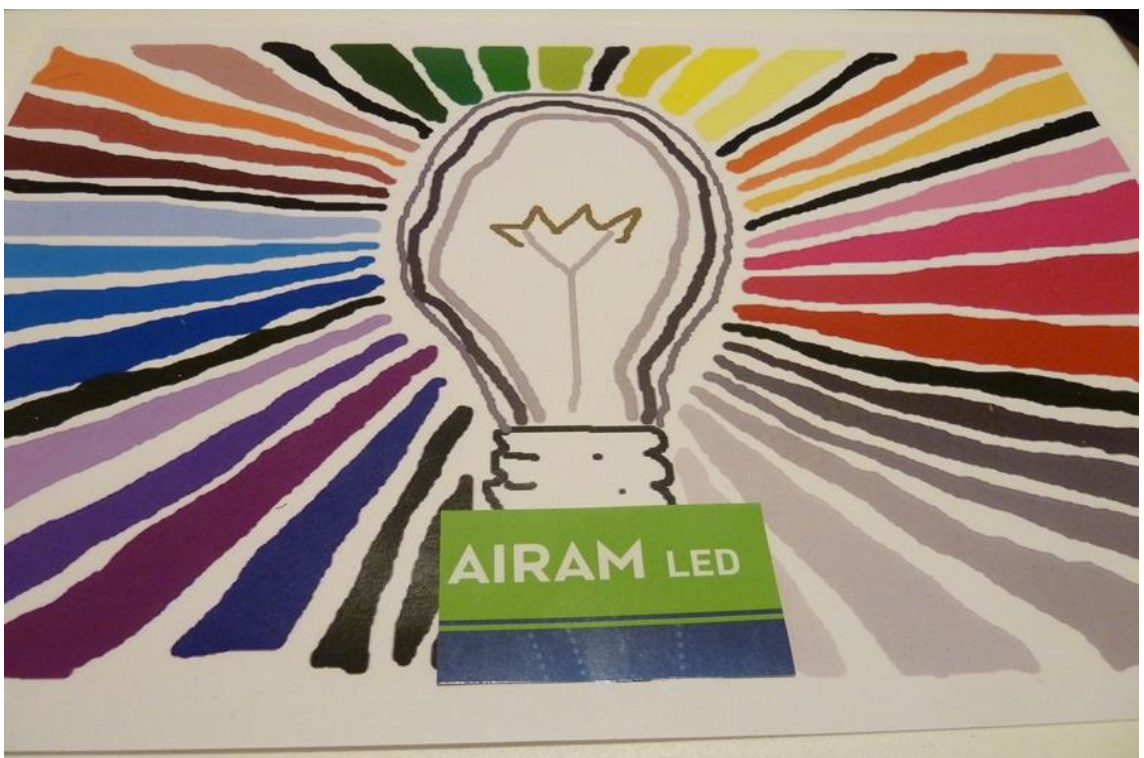
Kuvio 8. Halogeenilamppu Halogen ECO, kappale 1/2, 30 W



Kuvio 9. Loistelamppu Megaman 9 W



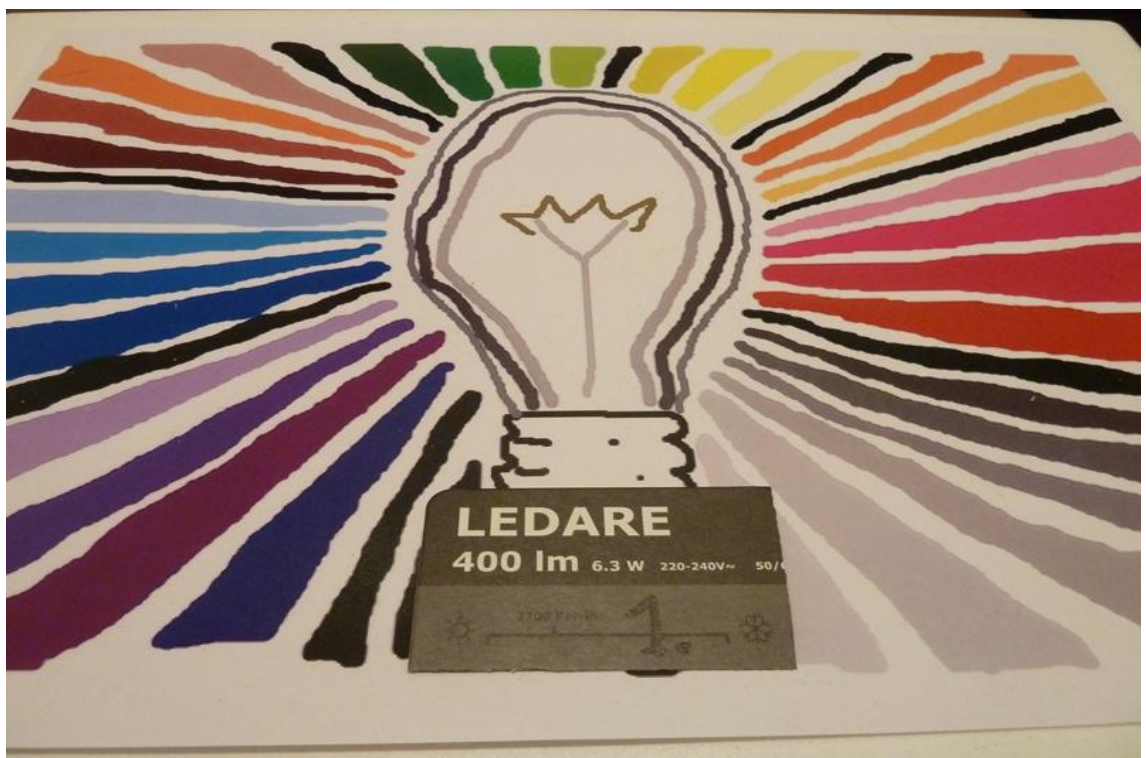
Kuvio 10. Led-lamppu Osram 7 W



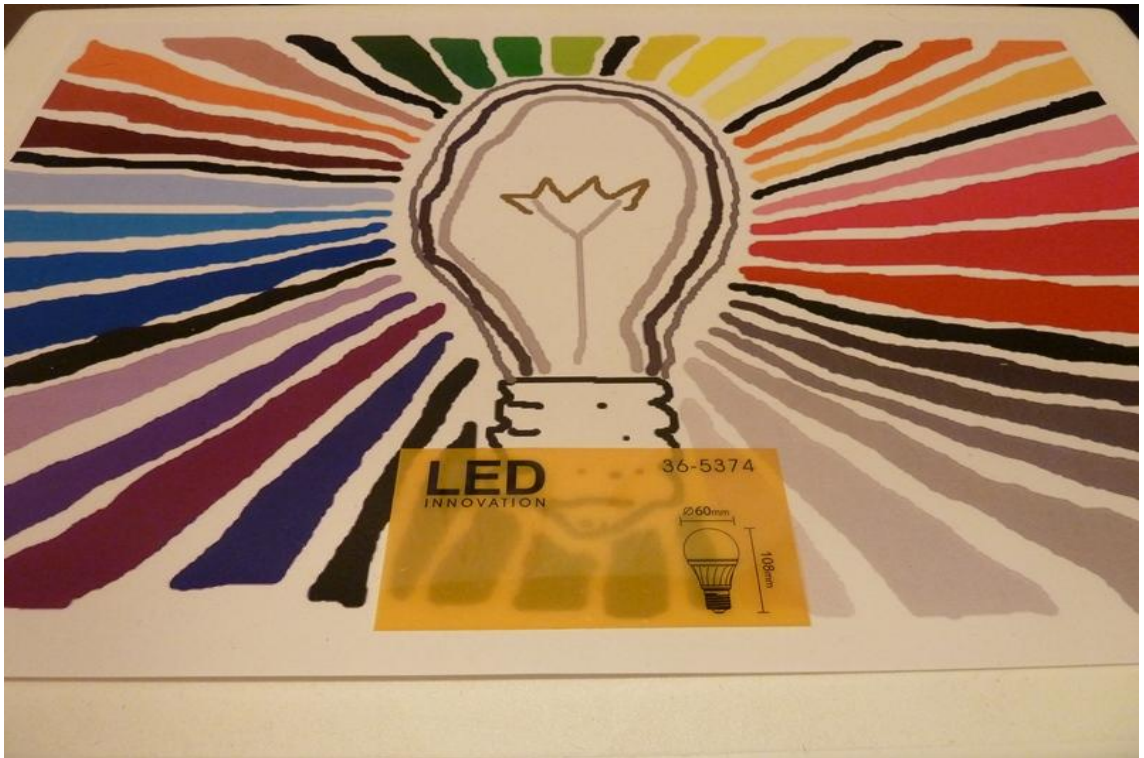
Kuvio 11. Led-lamppu Airam 6 W



Kuvio 12. Led-lamppu Philips 6 W



Kuvio 13. Ikean led-lamppu ledare, kappale 1/2, 6,3 W



Kuvio 14. Led-lamppu led innovation/Claes Ohlsson 6 W

Taulukko 8. Värintoistoverailu. Arvosanat.

	Värin nro	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Violetti	1.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2.	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	4
	3.	5	5	5	5	3	5	5	4	5	5	5
	4.	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Sininen	5.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	7.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	8.	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Ruskea	9.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	10.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	11.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	12.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Vihreä	13.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	14.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	15.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	16.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Keltainen	17.	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4
	18.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	19.	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5
	20.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Oranssi	21.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	22.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	23.	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4
	24.	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	4
Punainen	25.	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	4
	26.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	27.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	28.	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4
Harmaa	29.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	30.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	31.	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4
	32.	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4

Keskiarvo		4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,6	4,6	4,6
-----------	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Arvosana		5	5	4,5	4,5	4,5	5	5	5	4	4	4
----------	--	---	---	-----	-----	-----	---	---	---	---	---	---

Taulukon vaakarivin numerot vastaavat lamppuja:

1: Hehkulamppu Airam 40 W

2: Halogeenilamppu Airam 30 W

3: Halogeenilamppu Halogen ECO, kappale 1/2, 30 W

4: Halogeenilamppu Halogen ECO, kappale 2/2, 30 W

- 5: Loistelamppu Megaman 9 W
- 6: Led-lamppu Osram 7 W
- 7: Led-lamppu Airam 6 W
- 8: Led-lamppu Philips 6 W
- 9: Led-lamppu ledare, Ikea, kappale 1/2, 6,3 W
- 10: Led-lamppu ledare, Ikea, kappale 2/2, 6,3 W
- 11: Led-lamppu LED innovation, Clas Ohlsson 6 W

Ikean led-lamput ja Halogen ECO-lamput, joita oli 2 samanlaista kappaletta testissä, liitettiin kuvana vain toinen, koska ne olivat käytännössä identtiset. Ikean led-lamput ja ECO-halogeenilamput saman mallin eri yksilöiden välillä ei siis havaittu eroavuuksia. Arvioidaan myös aistinvaraisesti testin aikana havaittua valaistuksen yleisvaikutelmaa. Värilämpötilan arvot olivat valmistajien ilmoituksen mukaan samat jokaisella lampulla, mutta värilämpötilasta muodostui subjektiivisesti erilaisia käsityksiä ja testikuvan valkoiset osat toistuivat erilailla eri lampuilla.

Värintoistoverailun voittajat olivat niukasti Osramin, Airamien ja Philipsin led-lamput ja Airamien valmistamat hehku- ja halogeenilamppu. Hieman heikommaksi jäivät edulliset ECO-halogeenilamput ja loisteputkilamppu. Niukasti viimeiseksi jäivät Lidlin ja Innovation led-lamput, joista jälkimmäinen antoi myös testitulanteessa epämiellyttävän, neonekeltaisen sävyn huoneeseen. Se ei näkynyt valokuvassa muuten kuin tavallista kellertävämpänä toistuvana valkoisena testipaperin reunuosassa. Yksittäisten värien toiston arvosanat olivat 4 tai 5. Ainoana poikkeuksena loistelampun toistamana yksi violetin sävy (väri 3) muuttui tummansinisen kaltaiseksi, josta tuli arvosana 3. Testin pienet erot ja käytännössä satunnaisten huonosti toistuvien yksittäisten värien puute yllättivät tuloksessa. Hienoisia eroja havaittiin paljon, mutta tämä testi käsitteli värintoistoa yleisvalaistuksen kannalta.

Värilämpötilaa ei voinut mitata testissä. Kaikki valmistajat antavat lamppunsa värilämpötilaksi 2 700 K. Suurin osa lampuista antoi hieman kellertävän ja kirkkaan valon. Loistelampun valo vaikutti hieman vihertävältä, Philipsin led-lampun valo hieman kirkkaan sinertävältä ja Innovation led-lampun valo epätodellisen neonekeltaiselta. Philipsin valo vaikutti kylmän valkoisen kaltaiselta eli korkeamman värilämpötilan arvolta. Tyyppillisiä poikkeamia olivat harmaiden sävyjen hieman vääristynyt toisto. Vain Philipsin led-lampulla ja loisteputkilampulla se oli vähäistä. Ongelmallinen väri oli loisteputkilampulle sekä Lidlin ja Innovation led-lampuille punainen. Keltainen toistui parhaiten loiste-

putkilampulla sekä Osramin, Airamien ja Philipsin led-lampulla. Violetin ja sinisen toisto oli ongelmallista Lidlin ja Innovation led-lampuilla.

Kaikki lamput saivat hyvän tai erinomaisen arvosanan. Värintoiston keskiarvolla 4,8 sai arvosanaksi 5. Keskiarvo 4,6 laski arvosanan jo numeroon 4. Testi oli hyvin tasainen, ja niukasti voittajiksi tulivat Airamien hehku- ja halogeenilamppu sekä Airamien, Osramin ja Philipsin led-lamppu. Loppupäätelmä oli, että kaikki kolme Airamien valmistamaa lamppua, tekniikasta riippumatta, saivat arvosanaksi 5.

6.2.4 Elinkaarikustannus

Lasketaan lamppujen käyttämän sähköenergian hinta. Eliniän arvoissa joudutaan tyytymään valmistajien antamiin tietoihin, koska sitä ei voida mittauksin todentaa tässä testissä. Ensin lasketaan, montako lamppua on ostettava 25 000 tunnin käyttöajalle ja paljonko ne maksavat yhteensä. Tulokset ovat taulukossa 9. Sitten lasketaan jokaisen lampun kuluttaman energian hinta 25 000 tunnin ajalta, jonka tulokset ovat taulukossa 10. Kotitalouksien maksaman sähkön hinta perustuu pätöenergian kulutukselle. Sen hinta vaihtelee jonkin verran markkinatilanteen mukaan. Tässä käytämme hintaa 0,11 €/kWh. Lopuksi jokaiselle lampulle lasketaan yhteen ostokustannukset ja energian kulutuksen kustannukset, josta muodostuu elinkaarikustannus. Niitä vertaillaan keskenään ja annetaan arvosanat niin, että lamppu, jolla on edullisin elinkaarikustannus, saa numeron 5. Tämä on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 9. Lamppujen käyttökustannukset 25 000 käyttötunnille.

nro	lamppu	hinta/lamppu (€)	lamppujen lukumäärä	hinta/25 000 h. (€)
1	Hehkulamppu	0,79	25	19,75
2	Airam-halogeni	3,95	13	51,35
3	ECO 1- halogeni	1	13	13
4	ECO 2- halogeni	1	13	13
5	Loistelamppu	7,95	3	23,85
6	Osram-led	15,99	2	31,85
7	Airam-led	12,95	1	12,95
8	Philips-led	13,95	2	27,9
9	Ikea 1-led	4,95	1	5
10	Ikea 2-led	4,95	1	5
11	Innovation-led	13,99	1	14

Taulukko 10. Sähkönkulutuksen kustannukset 25 000 käyttötunnille.

nro	lamppu	pätöteho (W)	käyttöaika (h.)	sähkön hinta (€/kWh)	hinta/25 000 h. (€)
1	Hehkulamppu	40	25 000	0,11 €/kWh	110
2	Airam-halogeni	30	25 000	"	82,5
3	ECO 1- halogeni	30	25 000	"	82,5
4	ECO 2- halogeni	30	25 000	"	82,5
5	Loistelamppu	9	25 000	"	24,75
6	Osram-led	7	25 000	"	19,25
7	Airam-led	6	25 000	"	16,5
8	Philips-led	6	25 000	"	16,5
9	Ikea 1-led	6,3	25 000	"	17,33
10	Ikea 2-led	6,3	25 000	"	17,33
11	Innovation-led	6	25 000	"	16,5

Taulukko 11. Kokonaiskulut 25 000 käyttötunnille. Arvosanat.

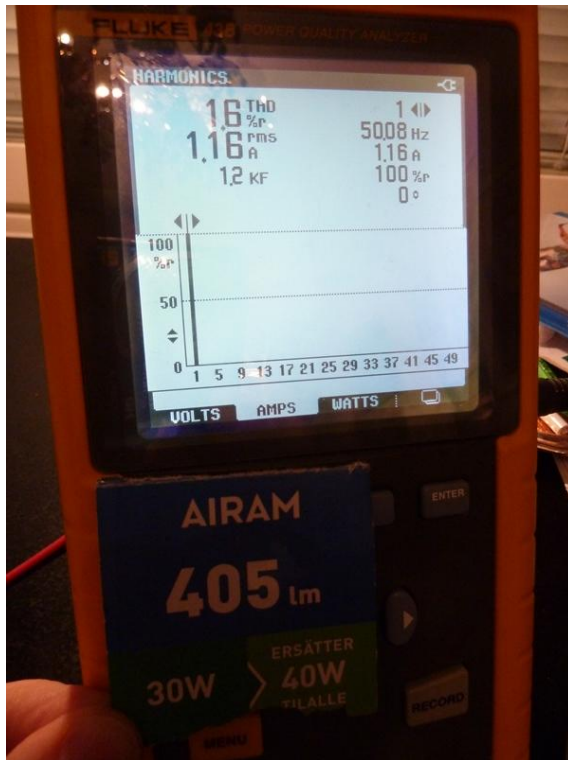
nro	Lamppu	Elinkaarikustannus (€)	Arvosana
1	Hehkulamppu	129,75	1
2	Airam-halogeni	133,85	1
3	ECO 1-halogeni	95,5	2
4	ECO 2-halogeni	95,5	2
5	loistelamppu	48,6	3,5
6	Osram-led	51,1	3,5
7	Airam-led	39,45	4
8	Philips-led	44,4	4
9	Ikea 1-led	22,28	5
10	Ikea 2-led	22,28	5
11	Innovation-led	30,5	4,5

Testin voittajia olivat Ikean led-lamput erinomaisella tuloksella. Toiseksi tuli Innovation led-lamppu. Kaikki led-lamput saivat vähintään hyvän arvosanan. Loistelamppu ja Osramin led-lamppu olivat keskitasoa elinkaarikustannuksiltaan. Osramin ja Philipsin lamppuja piti ostaa kaksi, kun muut led-lamput kestävät valmistajan mukaan koko 25 000 tunnin ajan. Elinikäarvoja voi kertyneen tiedon perusteella epäillä, muttei tutkia tässä testissä. Hehkusäteilijät saivat huonon arvosanan.

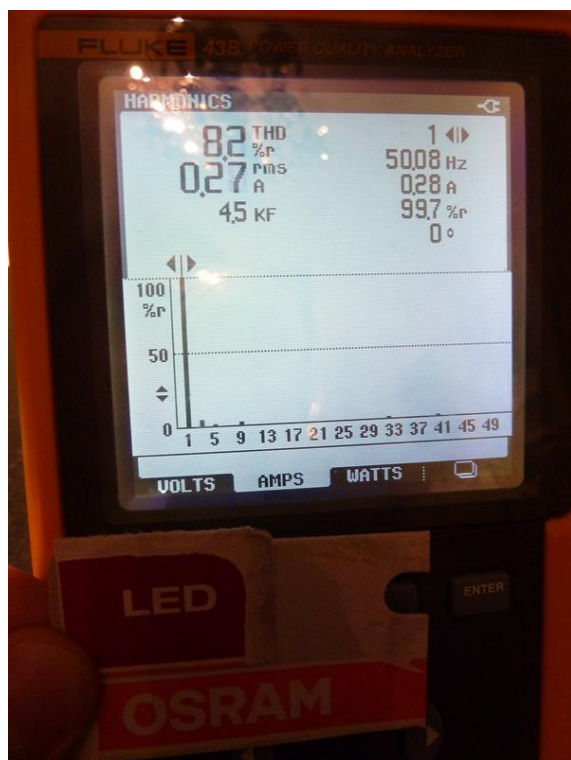
6.2.5 Harmoniset ylivirrat

Harmoniset ylivirrat aiheuttavat häiriöitä sähköverkkoon. Mitä enemmän niitä aiheuttavien tuotteiden käyttö lisääntyy, sitä enemmän muut sähkötoimiset laitteet alkavat niistä kärsiä. Jokaisen lampun aiheuttamat ylivirrat mitataan prosentteina näennäisvirtaan nähden. Mittarin yhteydessä ei ollut käytössä sen mittausdatan tallennus-ohjelmistoa, joten arvot on luettu mittarin näytöltä ja kirjattu excel-taulukoiksi. Arvioidaan harmonisten ylivirtojen määriä arvosanoilla 1–5. Arvosanan 5 saa ylivirtoja lähettämätön laite. Tiedetään jo, että hehkusäteilijät eivät lähetä merkittäviä ylivirtoja verkkoon. Muiden lamppujen arvot riippuvat siitä, onko valmistaja toteuttanut tuotteensa niin, että tuotteen toiminnassa syntyvät ylivirrat suodatetaan pois. Käytetty mittari on FLUKE 43B Power Quality Analyzer. Kuvioissa 15–18 ovat Airamin halogeenilampun, Osramin led-lampun, Megamanin loistelampun ja Innovation led-lampun mittaustulokset nähtynä

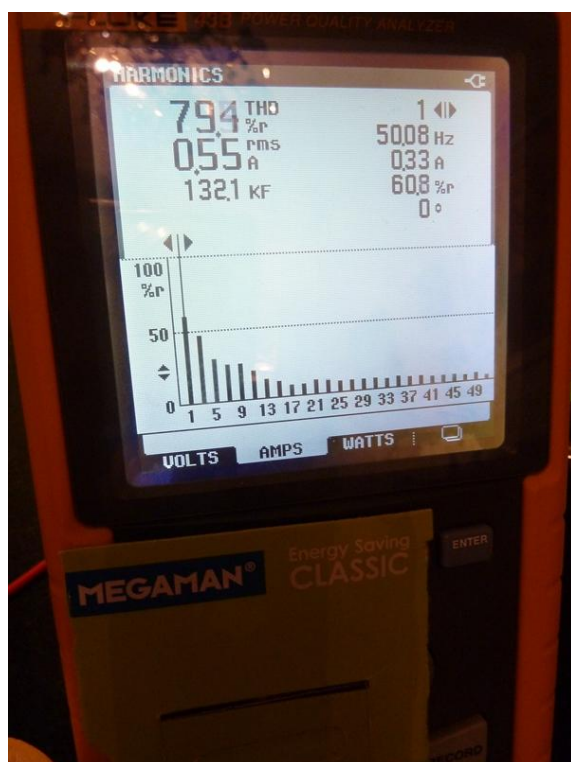
mittarin näytöltä. Taulukoissa 12–14 ovat harmonisten ylivirtojen mittaustulokset, ja taulukossa 15 on lampuille annetut arvosanat.



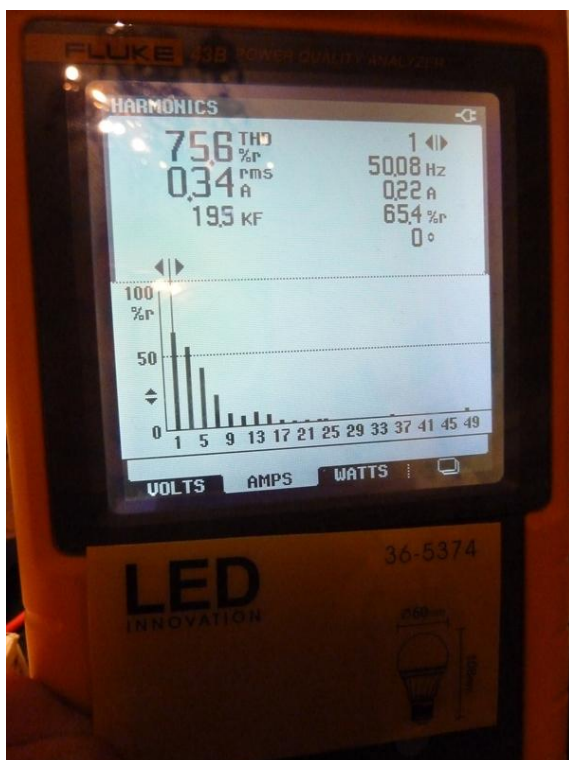
Kuvio 15. Tyypillinen hehkusäteilijän ylivirtojen spektri Airamin halogeenilampulla. Ei harmonisia ylivirtoja.



Kuvio 16. Osramin led-lampun spektri. Valmistaja on suodattanut häiriöt lähes kokonaan pois.



Kuvio 17. Megamanin loisteputkilamppu. Testin heikoin suoritus.



Kuvio 18. Testissä tyypillinen led-lampun ylivirtojen spektri. Kyseessä on Clas Ohlssonin myymä Innovation led-lamppu.

Taulukko 12. Ylivirrat parittomista kerrannaisaalloista 9:een asti.

50,00 Hz:n siniaallon kerrannaiset yliaallot/virran osuus prosentteina

nro	lamppu	näennäisvirta (A)	pätövirta (A)	50,00 Hz:n siniaallon kerrannaiset yliaallot/virran osuus prosentteina				
				1./ %	3./%	5./%	7./%	9./%
1	Hehkulamppu	0,15	0,15	100				
2	Airam-halogeneeni	0,116	0,116	100				
3	ECO 1-halogeneeni	0,123	0,123	100				
4	ECO 2-halogeneeni	0,123	0,123	100				
5	Loistelamppu	0,55	0,33	61	50	35	30	30
6	Osram-led	0,028	0,028	99,7	3			3
7	Airam-led	0,027	0,025	94,3	25	20		10
8	Philips-led	0,038	0,028	70,5	50	35	30	20
9	Ikea 1-led	0,028	0,026	93,6	30	20		10
10	Ikea 2-led	0,029	0,027	94,6	30	20		15
11	Innovation-led	0,034	0,022	65,7	55	40	20	10

Taulukko 13. Ylivirrat 11–25 parittomista kerrannaisaalloista.

nro	lamppu	11./%	13./%	15./%	17./%	19./%	21./%	23./%	25./%
1	Hehkulamppu								
2	Airam-halogeeni								
3	ECO 1-halogeeni								
4	ECO 2-halogeeni								
5	Loistelamppu	20	15	10	10	10	10	10	10
6	Osram-led								
7	Airam-led								
8	Philips-led	10	5	5		5	5		
9	Ikea 1-led								
10	Ikea 2-led								
11	Innovation-led	5	10	10	5		5	5	

Taulukko 14. Ylivirrat 27–39 parittomista kerrannaisaalloista.

nro	lamppu	27./%	29./%	31./%	33./%	35./%	37./%	39./%
1	Hehkulamppu							
2	Airam-halogeeni							
3	ECO 1-halogeeni							
4	ECO 2-halogeeni							
5	Loistelamppu	10	10	10	10	10	10	10
6	Osram-led							
7	Airam-led							
8	Philips-led							
9	Ikea 1-led							
10	Ikea 2-led							
11	Innovation-led							

Taulukko 15. Arvosanat ylivirtojen haitattomuudesta.

nro	lamppu	Arvosana
1	Hehkulamppu	5
2	Airam-halogeni	5
3	ECO 1-halogeni	5
4	ECO 2-halogeni	5
5	Loistelamppu	1
6	Osram-led	4,5
7	Airam-led	3
8	Philips-led	1,5
9	Ikea 1-led	3
10	Ikea 2-led	3
11	Innovation-led	1,5

Hehkusäteilijät eivät aiheuttaneet harmonisia yliaaltoja. Osramin led-lampun tulos on lähes hehkusäteilijöiden tasoinen. Näiden lamppujen käytön yhteydessä ei näyttäisi tulevan ongelmia muihin sähkötoimisiin laitteisiin.

Muut lamput aiheuttavat virtoja selkeästi 3. ja 9. kerrannaisilla taajuuksilla, jotka ovat pahimpia nollajohdon ylikuormituksen kannalta. Loistelamppu lähettää vielä 27. kerrannaisellakin taajuudella virtoja. Ylivirtoja vain muutamilla taajuuksilla tuottavia olivat Airamin ja Ikean led-lamput. Megamanin loistelampun, Innovation led-lampun ja hie-man yllättäen myös Philipsin led-lamppu lähettivät paljon ylivirtoja verkkoon. Kolmannen ylivirran osuus oli näiden kolmen valmistajien lampuissa noin 50 % tehollisvirrasta.

Ylivirtojen suodatus ei tuota ongelmia laitevalmistaja Osramille. Muiden led-valmistajien tulokset ovat heikkoja. Lähes harmonisia ylivirtoja lähettämätön led-lamppu on testin perusteella kuitenkin mahdollista tehdä. Osram oli vähän kalliimpi, kuin led-lamput keskimäärin. Häiriöttömälle lampulle ei siis kerry tämän testin mukaan kohtuuttomia valmistuskustannuksia. Testin voittajia ovat hehkusäteilijät, ja Osram on hyvä kakkonen. Muihin lamppuihin valmistajan olisi aiheellista toteuttaa parempi häiriönpoisto ennen niiden käytön lisääntymistä.

6.3 Testin tulokset

Led-lamppujen energian säästö ja hyvät valaistustekniset ominaisuudet ovat itsestään selvyyttä monelle kuluttajalle ja ammattilaiselle. Osa kuluttajista pitäytyy perinteisissä valonlähdetekniikoissa syistä, joita ei välttämättä ole tutkittu tarkemmin. Testin tuloksena voisi olettaa led-lamppujen parempia arvosanoja muihin valonlähdetekniikoihin nähden. Taulukkoon 16 on koottu lamppujen arvosanat eri osatesteistä ja loppuarvosana.

Taulukko 16. Yhteenveto osatestien arvosanoista. Loppuarvosana.

nro	lamppu	6.2.1:	6.2.2:	6.2.3:	6.2.4:	6.2.5:	6.3:
		valote- hokkuus	valon- jako	värin- toisto	elinkaari- kustannus	harmoniset ylivirrat	arvo- sana
1	Hehkulamppu	1	5	5	1	5	3,4
2	Airam-halogeneeni	1,5	4,5	5	1	5	3,4
3	ECO 1-halogeneeni	1,5	5	4,5	2	5	3,6
4	ECO 2-halogeneeni	1,5	5	4,5	2	5	3,6
5	Loistelamppu	3	4	4,5	3,5	1	3,2
6	Osram-led	4,5	2	5	3,5	4,5	3,9
7	Airam-led	5	2	5	4	2	3,6
8	Philips-led	3,5	2,5	5	4	1	3,2
9	Ikea 1-led	4	4	4	5	2	3,8
10	Ikea 2-led	4	4	4	5	2	3,8
11	Innovation-led	4,5	3,5	4	5	1	3,6

Testin voittaja on Osram Led Star Classic. Se oli erinomainen kaikissa osa-alueissa, paitsi valonjaossa. Toiseksi sijoittuivat Ikean led-lamput. Ikean lamput yksilöiden välillä ei ollut merkittäviä eroja, mikä kertoo tasaisuudesta laatutekijöissä. Ne hävisivät Osramille harmonisten ylivirta-arvojen heikkouden vuoksi. Valonjako toteutui Ikean lamputta Osramin lamppua paremmin.

Loistelamppu Megaman ja Philipsin led-lamppu jäivät jaetulle viimeiselle sijalle. Huonot arvot harmonisissa ylivirroissa laskivat niiden tulosta. Molemmat olivat hyviä värintotossa.

Arvosanojen jakauma on yllättävän pieni. Kaikki arvosanat sijoittuivat 3,2:n ja 3,9:n välille. Jokainen hehkusäteilijä oli parempi kuin heikoin led-lamppu tai loistelamppu. Hehkusäteilijät sijoittuivat arvosanojen perusteella testissä keskimääräisesti. Yllättäen

led-lamppujen energiansäästöominaisuudet eivät tehneet niistä ylivoimaisia, koska niiden muut ominaisuudet olivat joissain kohdin heikompia.

Johtopäätöksenä voidaan kuitenkin todeta, että tämänkaltaisen testin osa-alueita tai painoarvoja muuttamalla voidaan vaikuttaa lamppujen keskinäiseen sijoittumiseen huomattavasti. Testissä ei huomioitu himmentämisen mahdollisuutta, led-lamppujen sinisen valon joillekin aiheuttamia silmäongelmia tai soveltuvuutta ääriämpötiloihin, koska niiden ominaisuuksien tutkiminen ei ollut realistista. Se olisi todennäköisesti parantanut hehkusäteilijöiden menestymistä. Vastaavasti energiankulutusta enemmän painottamalla menestyminen olisi parantunut led-lampuilla.

Testi todisti tutkijan mielestä kaksi asiaa. Ensinnäkin led-tuotteilla ja lampuilla yleensä on selkeästi eroja toisiinsa verrattuna. Erot näkyvät kuitenkin paremmin yksittäisissä ominaisuuksissa, kuin niiden keskimääräisessä laadussa. Toiseksi halogeenilamput eivät ole selkeästi muita huonompia valonlähteitä. Niiden vahvuuksia ovat värinaston laatu, valonjaon tasaisuus, lämpimien ja kylmien olosuhteiden sieto, häiriöttömyys ympäristöönsä nähden sekä säilyttymättömän ja tasaspektrisen valon anto. Halogeenitekniikkaa tarvittaisiin tulevaisuudessakin kohteissa, joissa led-tuotteet eivät kykene täyttämään tiettyjä valoteknisiä tai ympäristön asettamia vaatimuksia.

Testatuista lampuista mikään ei ollut selkeästi paras lamppu yleisvalaistuksen tarpeisiin. Ratkaisevaksi jää lampun tarkempi käyttötarkoitus ja sen käyttöympäristön olosuhteet. Ulkokäytössä, sisävalaisimessa tai kohdevalaisimessa tarpeet valon ominaisuuksille ovat erilaisia riippuen myös käyttäjän mieltymyksistä ja erikoistarpeista. Lisäksi vuotuiset käyttötunnit ratkaisevat, onko tietyn kohteen energiansäästöissä todellista potentiaalia. Näiden tutkimusten perusteella valitsisin hehkulampun yöpöytävalaisimeen ja saunaan, halogeenin kohdevalaisimeen tarkkaa työskentelyä varten, loistelampun keittiön työvalaisimeen ja led-lampun ulkokäyttöön ja yleistilojen valaistukseen sisätiloissa.

Osram todisti led-tekniikan toimivuuden E27-kantalampuilla kodin yleisvalaistuksessa, jos se toteutetaan hyvin. Sen tuote on valontoisto-ominaisuuksiltaan erimainen ja toteutettu ilman tässä testissä havaittuja selkeitä heikkouksia lukuun ottamatta valon jako. Jos kuitenkin halogeenilamput poistuvat tulevaisuudessa lamppuvalikoimasta, tämän testin tulosten perusteella valaistuksen vaihtoehdot vähenevät ja sen laatu heikkenee joissain sovelluksissa. Yksikään testin lamppu ei ole kaikkiin tilanteisiin ja joka

käyttäjälle sopiva vaihtoehto. Energian säästön potentiaali on yleisvalaistuksessa, ei tietyissä yksittäisissä kohteissa. Mitä laajempi valikoima kuluttajalla on eri valontuototekniikoilla toteutettuja lampuja käytössä, sitä mukautuvaisempi, yksilöllisempi ja korkealaatuisempi valaistus voidaan toteuttaa.

7 Loppupäätelmä led-tuotteiden ominaisuuksista vuonna 2014

7.1 Haasteet, jotka ovat vielä ratkaisematta

Tuotteiden mukana olevissa valmistajien kirjallisissa ohjeissa on paljon puutteita tai ne puuttuvat kokonaan. Tämä voi aiheuttaa asennusvirheitä sekä mitoitusvirheitä suunnittelussa. Viranomaisten on vaikeaa valvoa alaa, jossa tulee koko ajan uusia tuotteita ja niiden tarjoajia. Viranomaisten testissä havaittiin viallisia led-tuotteita enemmän kuin täysin vaatimustenmukaisia. Standardointi etenee hitaasti ja on erittäin byrokraattista, eikä se usein kata kaikkia tuotteita, jotka ovat jo markkinoilla. Tämä mahdollistaa huonolaatuisten led-tuotteiden valmistamisen ja myynnin, ennen kuin niiden ominaisuuksia voidaan tutkia viranomaisen toimesta. Tyypillisiä ongelmia ovat häiriöiden lähettäminen ympäristöön sekä heikko valotekninen suorituskyky. Nämä ominaisuudet painottuvat tukkumyyjien kokemusten mukaan voimakkaasti edullisten tuotteiden kohdalle.

Led-valaisimien nopeasti uudistuvat sukupolvet aiheuttavat ongelmia suunnittelijoille, koska suunnitteluhetkestä asentamiseen kuluneessa ajassa tuotteesta on tullut jo uusi sukupolvi, joka ei ole aivan samanlainen. Tukkumyyjille tarjotaan uusien maahantuojien toimesta huonolaatuisia tuotteita, jotka eivät täytä standardin vaatimuksia asennuksessa. On vaikeaa estää huonojen tuotteiden pääsy markkinoille, koska ennakkovalvontaa ei ole viranomaisen toimesta. Valaistusvoimakkuus jää valmiissa asennuksessa toisinaan alle standardin vaatimusten, kun valaistuslaskenta on toteutettu maahantuojan antamien arvojen perusteella. Tämä on suuri ongelma urakoitsijoille, jotka vastaavat asiakkaalle asennuksen laadusta.

Lamppujen hinnat eivät ole laskeneet kuluttajia houkuttelevalle tasolle. Led-lamppujen elektroniikka on asennettu niin pieneen tilaan lampun kannassa, että ilmavälit jäävät liian pieniksi ja siksi sähköiskun vaara lisääntyy. Lamppuja ei useinkaan voi himmentää, mikä voi tulla kuluttajalle yllätyksenä, jos ne korvataan himmennetyn hehku- tai energiansäästölamppun tilalle. Polttoikä tai toisin sanoen elinikä on joskus hyvin lyhyt

led-lampuissa, joiden käyttöolosuhteissa lämpötila voi nousta liian suureksi. Elinikä voi jäädä alle 1 000 tuntiin. Usein halvimpien lamppujen valmistajat lupaavat pisimmät elinikäit, joiden toteutumisesta ei ole vielä kertynyt kunnon tilastotietoa, mutta tämän hetken kokemuksen mukaan ne jäävät usein täyttymättä, kun valovirran alenema on liian nopeaa.

Väriämpötilan pieni vaihtelu saman erän led-tuotteilla aiheuttaa riviin tai tiiviiseen alueeseen asennetussa valaistuksessa selvästi näkyvän väriämpötilan sävyjen kirjon, jota ei esiinny hehkusäteilijöillä. Kyseessä on MacAdam-luvun suurehko arvo, joka kertoo väriämpötilojen vaihtelueroista. Värintoistoindeksien R_a - ja CRI- arvot ovat yleisesti vähintään 80, jotka ovat riittäviä yleisvalaistuksen tarpeisiin, mutta riittämättömiä erinomaista värintoistoa vaativiin kohteisiin. Yksi tyyppiongelmia voi olla huono värintoisto kylmän väriämpötilan tuotteissa sekä kaikissa tuotteissa värintoiston huononeminen käyttöiän aikana. On myös edelleen ratkottava haasteita ulkovalaisimien valonjaon tasaisuudessa. Häikäisyä esiintyy varsinkin niissä tuotteissa, joissa led-siru on nähtävillä tai voimakasta valaistusta vaativissa kohteissa. Häikäisyä on jo vähennetty onnistuneesti optiikalla joissain tuotteissa, mutta sen kustannukset rajoittavat sen käytön yleistymistä.

Yhteistilojen, kuten kerrostalojen rappukäytävien valaistuksessa on tullut ongelmia led-lamppujen sytytyskertojen kestossa, porraskäytävien kestämyydessä led-kuorman ja häiriöissä talon muissa sähkölaitteissa. Tropiikin maissa tai teollisuuden kohteissa led-valonlähteet lämpenevät liikaa jo kuuman ympäristön lämpötilan takia, koska niiden jäähtytys ei pysty toimimaan. Loisteputki T8:n korvaavat led-putket ovat laadultaan toisinaan ala-arvoisia. Tekniikka ei ole toiminut hyvin kyseisessä sovelluksessa. Led-valaisimille ei ole tehty selkeää huolto-ohjetta, joka takaisi tuotteiden toimivuuden ja estäisi haitallisten huoltotoimenpiteiden suorittamisen paremman tietämyksen puuttuessa.

Led-tuotteiden mainonnassa on käytetty välillä turhan suuria lupauksia. Ne eivät toteudu todellisuudessa. Tuotteen heikoista ominaisuuksista tai tiettyihin olosuhteisiin sopimattomuudesta ei yleensä mainita.

Ihmisen silmässä ei-näköaistimusta synnyttävän järjestelmän spektriherkkyyssä muuttuu hyvin tarkasti valkoisen led-valon spektriä lyhyiden, sinisten valon aallonpituuksien osalta. Tämä järjestelmä ohjaa biologisen kellon toimintaa. Illalla saatu valkoi-

sen ledin tuottama valo tietokoneiden näytöissä tai yleisvalaistuksessa aktivoi ihmistä virkistymään kuin olisi aamu vähentäen melatoniinin tuotantoa ja siksi myös heikentäen unen laatua sekä immuunipuolustuksen toimintakykyä esim. syöpää vastaan.

"Blue light hazard" -ilmiö saattaa vaurioittaa silmän verkkokalvoa. Sen syinä pidetään yleensä noin 430 nanometrin taajuudella olevaa voimakkaasta piikkiä sen spektrissä sinisen valon aallon pituuksilla lähellä UV-säteilyn taajuutta sekä led-sirun suurta pinta-kirkkautta. Ranskalaistutkijoiden mukaan riskiryhmiin kuuluvat lapset, auringon valolle herkät yksilöt ja työssä voimakkaalle led-valolle altistuvat ihmiset. Varmaa tietoa ei ilmiöstä ole vielä kertynyt, mutta sitä tutkitaan.

7.2 Vahvuudet, jotka tekevät led-tuotteista hyvän valonlähteen

Valotehokkuus on led-tuotteiden suurin vahvuus, ja se paranee jatkuvasti tuotekehityksen edetessä samalla kun perinteisillä valonlähteillä se on jo lähellä kyseisten järjestelmien realistisia maksimiarvoja. Energian säästö on todella merkittävä. Hyvälaatuisilla led-tuotteilla on valonlähteistä pisimmät käyttöiät, joka säästää huoltokustannuksissa. Led-valaistus on toimivin tapa toteuttaa dynaamista valaistusta, jossa säädetään päivän mittaan valaistuksen valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa. Kiristyvät energiankäyttövaatimukset suosittavat valaistukselta pieniä LENI-lukuja, joita voidaan saavuttaa vain läsnäolon ja päivänvalon tunnistavalla valaistuksen ohjauksella. Ohjaus vaatii valonlähteeltä energiatehokkuuden lisäksi häviötöntä himmennysmahdollisuutta, joka voidaan toteuttaa kohtuukustannuksin vain led-tekniikalla.

Mesooppisen näkemisen alueella led-valon spektri, joka painottuu sinisiin värinsävyihin, antaa paremman hämäränäkemisen tason ja lyhentää reaktioaikoja tieliikenteessä. Valonlähteen S/P-suhde on valkoisella ledillä n. 2,4.

Led-tekniikka soveltuu paremmin kylmäkalusteiden sisällä käytettäväksi loistelamppu-tekniikkaan verrattuna, joka on ollut niiden aiempi valaistustapa. Tievalaistuksessa vanhoja elohopealamppuja uusittaessa led-valaistus voi syrjäyttää monimetallilamput kohteissa parempana vaihtoehtona, jos vaaditaan hyvän värintoiston lisäksi myös kustannustehokkuutta, pitkää ryhmävaihtoväliä ja ohjattavaa himmennettävyyttä. Ne toimivat ulkovalaistuksessa energiansäästölamppuja paremmin varsinkin kylmässä. Ne kestävät pidempään ja syttyvät välittömästi esim. liiketunnistimien ohjauksesta. Ne eivät myöskään pimene kerralla, jolloin vältytään tilapäisesti valaisemattomilta kohdilta. Led-

lamppuissa ei ole elohopeaa, kuten energiansäästölamppuissa, mikä tekee niiden rikkoutumisesta sisätiloissa vaarattomampaa. Led-tekniikka mahdollistaa myös säädettävän värivalaistuksen erikoiskohteisiin.

Tehdashallivalaistuksessa voidaan saavuttaa suuria säästöjä sähkönkulutuksessa, koska suuren valaistusvoimakkuuden takia sähkölaskutkin ovat suuria. Järjestelmän alkukustannukset ovat muita järjestelmiä suuremmat, mutta ohjausjärjestelmän ja valotehokkuuden yhdistelmä takaa edullisemmat elikaarikustannukset muihin järjestelmiin verrattuna. Turvavalaituksen poistumistievalaisimissa led-tekniikka on tyypillisin valinta sen suuren pintaluminanssin ja pienen energiankulutuksen takia. Turvavalaitus toimii akkujen varassa energian saannin ollessa rajallista ja usein rakennuksesta hätäpoistumisen aikana voi näkyvyys on alentunut.

Hyvämaineiset valmistajat tekevät hyvälaatuisia tuotteita eivätkä vääristele teknisissä tiedoissa tuotteen suorituskykyä. Niiden perusteella saadaan haluttu valaistustaso kohteisiin.

7.3 Loppupäätelmä led-tuotteista

Tunnettujen, pitkään alalla olleiden led-tuotevalmistajien tuotteet ovat valontuotoltaan vähintään hyviä ja energian säästöissä erinomainen valinta sisä- ja ulkovalaistuksen valonlähteeksi. Sitä vastoin huonolaatuisten led-tuotteiden aiheuttamat ongelmat tulevat kasvamaan, jos niiden yleistymistä ei rajoiteta joillain tavoin. Tievalaistuksessa käytetään vielä toistaiseksi yleisesti suurpainenatrium-tekniikkaa. led-tuotteet ovat ainut valontuottotapa, jonka ominaisuudet paranevat selvästi vuosi vuodelta samalla kun niiden hinnat laskevat. Ne vastaavat markkinoilla myydyistä uusista valaisimista ehkä viidesosaa tällä hetkellä, mutta valaistus tullaan toteuttamaan pääsääntöisesti led-tekniikalla ehkä jo 3–6 vuoden päästä.

Taulukko 17. LED-tuotteiden vahvuudet ja haasteet.

Vahvuudet	Haasteet
energiansäästö	valovirran arvon lasku eliniän aikana
valotehokkuus	osa tuotteista heikkolaatuisia
matalat elinkaarikustannukset	lyhyt elinikä liian lämpimissä olosuhteissa
laatutuotteiden pitkä elinikä	yleensä muita suuremmat alkukustannukset
dynaamisen valaistuksen mahdollisuus	häiriöiden lähettäminen ympäristöön
digitaaliseen ohjaukseen integroituminen	värinoston laadun lasku eliniän aikana
häviötön himmennystekniikka	ei valoteknisiä vaatimuksia standardissa
hämäränäkemisen hyvä taso	ei ennakoivalvontaa viranomaisilla
kylmäkalusteiden valaistus	lamppujen hinnat ovat vielä melko korkeita
ulkovalaistuksessa pitkä ryhmävaihtoväli	joidenkin lamppujen jäähtymisongelmat
nopea syttyminen kaikissa olosuhteissa	lamppuja ei voi usein himmentää
himmenevät, eivät sammu kerralla	kuumien käyttöolosuhteiden huono sieto
eivät sisällä elohopeaa	erittäin kylmien käyttöolosuhteiden sieto
värivalaistuksen laajat mahdollisuudet	kirjallisten ohjeiden puutteet
ominaisuudet paranevat edelleen	suurehko MacAdam-luku
suuri pintaluminanssi turvalaisimissa	valon spektrin epätasaisuus
akkukäytöissä pitkä toiminta-aika	häikäisy joissain tuotteissa
kannettavien sovelluksien keveys	värinosto kylmän värilämpötilan tuotteissa
hinnat laskevat tulevaisuudessa	joidenkin valaisinten valonjaon epätasaisuus
	sytytyskertojen liian pieni kesto yleistiloissa
	sytytysvirtapiikki rasittaa kytkinlaitteita
	T8:n korvaavien LED-putkin laatuongelmat
	ei selkeitä huolto-ohjeita
	häiritsee ihmisen biologisen kellon toimintaa
	blue light hazard-ilmiön mahdolliset vaarat
	herkkyys ilmastollisille ylijännitteille

Lähteet

- 1 Värintoistoindeksi, Wikipedia.
- 2 Kallioharju Kari. 2014. Lehtori, AMK Tampere/talotekniikka. Toolilainen, 1/2014, s.15.
- 3 Oversol.fi/ usein kysytyt kysymykset.
- 4 Led-valaistustuotteiden toiminnasta löytyi useita puutteita. Verkkajulkaisu. Tukes/ ajankohtaista/ tiedotteet/ sähkö ja hissit. Luettu 30.3.2014.
- 5 Kallasjoki Tapio. 23.1.2014. Suositukset ja standardit valaistussuunnittelussa. Luentomateriaali kurssista TE00AD35-3002, Sisävalaistus.
- 6 Puolakka Marjukka.16.1.2013. Aalto-yliopisto, valaistusyksikkö. Mesooppinen valaistus, SVS ulkovalaistus. Luentomateriaali kurssista TE00AD36-3001, Ulko- ja tievalaistus.
- 7 Harsia Pirkko. 2004. Yliopettaja, sähköinen talotekniikka. Kiinteistöjen energiatehokkuusvaatimukset edellyttävät uutta osaamista. Toolilainen 1/2004, s. 20.
- 8 Siren Jukka. 24.1.2014. Yhteistilojen led-valaistus vaatii valppautta. Verkkajulkaisu. www.kiinteistölehti.fi/ lehti. Luettu 3.4.2014.
- 9 Hongisto Pasi. 2014. Turvavalauksen teoriaa ja standardeja. Teknoware oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD35-3002, Sisävalaistus.
- 10 Saari Mika. 21.1.2014. Urheilualueiden valaistus. LiCon-AT oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD36-3001, Ulko- ja tievalaistus.
- 11 Ekrias Aleksanteri. 20.1.2014. Sports lightning EN 12193 -Jäähallien valaistusohje. LiCon-AT oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD36-3001, Ulko- ja tievalaistus.
- 12 Kallioharju Kari. 2013. Valon ei-visuaaliset, näköelimen kautta välittyvät vaikutukset. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 13 Light and human health: led risks highlighted. Verkkajulkaisu. Leds magazine. 11/2010. www.ledsmagazine.com/articles. Luettu 3.4.2014.

- 14 Kallasjoki Tapio. 01/2010. Valaistustekniikan perusteita, s.11. Luentomateriaali kurssista TE00AB33, Valaistustekniikan perusteet.
- 15 Kallasjoki Tapio. 2010. Valo ja spektri. Luentomateriaali kurssista TE00AB33, Valaistustekniikan perusteet.
- 16 Suomen energiatehokkain tehdasvalaistus käyttöön ABB:n taajuusmuuttaja- tehtaalla Pitäjänmäellä, 2013-09-17-ABB.
- 17 Juslen Henri. 23.1.2014. Valaistuksen ylläpito CIE 97:2005. Helvar oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD35-3002, Sisävalaistus.
- 18 Sorri Eero. 23.1.2014. Ryhmäpäällikkö, SESKO oy. Valaistusalueen standardointi. Luentomateriaali kurssista TE00AD35-3002, Sisävalaistus.
- 19 Saari Mika. 21.1.2014. Valaistusvaatimukset rautatiealueella. LiCon-AT oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD36-3001, Ulko- ja tievalaistus.
- 20 Markkanen Olli. 13.2.2014. Ulkovalaistus nyt ja tulevaisuudessa? Verkonhaltijan näkökulma. Helen ulkovalaistus oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD36-3001, Ulko- ja tievalaistus.
- 21 Varsila Markku. 23.1.2014. Valaistuksen energiatehokkuus ja rakentamismääräykset. Philips oy. Luentomateriaali kurssista TE00AD35-3002, Sisävalaistus.
- 22 Forsman Sanna. 11.2.2014. Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo. Suomen valoteknillinen seura. Luentomateriaali kurssista TE00AD35-3002, Sisävalaistus.
- 23 EU:n markkinavalvontaviranomaisten yhteiskampanja. 2011. Final report on the 4th joint cross-border EMC market surveillance campaign (2011) led lightning products. Verkkodokumentti. **EMC Administrative co-operation working group** ; ec.europa.eu/.../files/emc/ms-campaign-fourth_en. Luettu 2.4.2014.

