

ISSN 0355-1180

HELSINGIN YLIOPISTO

Elintarvikealan koulutusohjelman tutkimuksia

EKT-sarja 1446

LED- JA LOISTEPUTKIVALON VAIKUTUS  
MAITOTALOUSTUOTTEIDEN JA PERUNAN LAATUUN

Kari Solala

Elintarviketeknologian laitos

Helsinki 2009

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty<br>Maatalous-metsätieteellinen   |  | Laitos — Institution — Department<br>Elintarviketeknologian laitos |   |
| Tekijä — Författare — Author<br>Kari Solala   |  |  |   |
| Työn nimi — Arbetets titel — Title<br>LED- ja loisteputkivalon vaikutus maitotaloustuotteiden ja perunan laatuun  |  |  |   |
| Oppiaine — Läroämne — Subject<br>Elintarviketeknologia  |  |  |   |
| Työn laji — Arbetets art — Level<br>Pro gradu -tutkielma  |  | Aika — Datum — Month and year<br>Huhtikuu 2009                     | Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages<br>83 |
| Tiivistelmä — Referat — Abstract  |  |  |   |
| <p>Tutkielman kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin valoa, erilaisia valonlähteitä ja niiden ominaisuuksia. Erityisesti keskityttiin LED (Light Emitting Diode) -valoon ja sen ominaisuuksiin, koska sen käyttö myös yleisessä valaistuksessa on lisääntymässä. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin näkyvän valon aiheuttamia laatumuutoksia maitotaloustuotteissa ja perunassa.</p> <p>Tutkimuksen kokeellisessa osan tavoitteena oli etsiä sellainen valon spektrijakauma, jossa maidon aistinvaraisesti havaittavat laatumuutokset ja perunan värin muutokset olisivat mahdollisimman vähäisiä. Tutkimuksen tarkoituksena oli myös selvittää, minkälaisia vaikutuksia LED -valolla on tutkittavien elintarvikkeiden laatuun loisteputkivaloon verrattuna.</p> <p>Koemateriaaleina käytettiin kevytmaitoa ja uutta perunaa. Maitoa altistettiin kaupallisessa pakkauksessaan loisteputki- ja erivärisille LED -valoille noin 1000 luksin valaistusvoimakkuudella 12 ja 24 tunnin ajan +6 °C:ssa. Läpinäkyviin LDPE-pusseihin pakattuja perunoita altistettiin loisteputki- ja erivärisille LED -valoille noin 1000 luksin valaistusvoimakkuudella seitsemän vuorokauden ajan +18 °C:ssa. Maidossa tapahtuvia aistinvaraisia laatumuutoksia arvioitiin yleisellä kuvailemalla menetelmällä. Perunoiden vihertymistä eli värikoordinaatti a-arvon muutosta mitattiin spektrofotometrillä ja perunoiden pintalämpötilaa lasersädelämpömittarilla.</p> <p>Maidon aistinvaraisissa arvioinneissa löytyi joitakin tilastollisesti merkitseviä eroja loisteputki- ja LED -valojen alla 12 tai 24 tuntia säilytettyjen näytteiden välillä. Perunat vihertyivät nopeasti kaikissa valaistusolosuhteissa. Värinmuutosprosentin mukaan perunoiden vihertymisjärjestys pienimmästä suurimpaan eri valonlähteiden alla oli: valkoinen LED, keltainen LED, vihreä LED, turkoosi LED ja loisteputki. Samoissa olosuhteissa pimeässä säilytetty peruna ei vihertynyt lainkaan. Perunoiden pintalämpötilaa nostivat merkitsevästi valkoinen LED- ja turkoosi LED -valo.</p> <p>Tutkimuksessa ei löydetty sellaista valon spektrijakaumaa, jossa maidon aistinvaraisesti havaittavat laatumuutokset olisivat olleet vähäisempiä kuin nykyisin käytettävien loisteputkien aiheuttamat laatumuutokset. Aistinvaraisten arviointien tulosten perusteella voitiin kuitenkin päätellä, että kirjallisuuden mukaan haitallisimpana pidetyn sinisen valon ohella myös punainen valo aiheuttaa maitoon merkittäviä laatumuutoksia. Tulosten perusteella voitiin todeta, että LED -valossa maidon laatu säilyi vähintään yhtä hyvänä kuin loisteputkivalossa. Perunoiden vihertymisessä oli havaittavissa eroja valonlähteiden välillä. Valkoinen ja keltainen LED -valo aiheuttivat vähiten perunoiden vihertymistä. Pimeässä säilytetyt perunat eivät muuttaneet väriä lainkaan, ja eniten perunoiden vihertymistä aiheutti loisteputkivalo.</p> |  |  |   |
| Avainsanat — Nyckelord — Keywords<br>valo, LED, loisteputki, aallonpituus, värilämpötila, maito, peruna   |  |  |   |
| Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited<br>Viikin tiedekirjasto   |  |  |   |
| Muuta tietoja — Övriga uppgifter — Further information<br>EKT-sarja 1446  |  |  |   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty<br>Faculty of Agriculture and Forestry  |  | Laitos — Institution — Department<br>Department of Food Technology |   |
| Tekijä — Författare — Author<br>Kari Solala  |  |  |   |
| Työn nimi — Arbetets titel — Title<br>The effects of LED and fluorescent light on the quality of dairy products and potatoes   |  |  |   |
| Oppiaine — Läroämne — Subject<br>Food Technology   |  |  |   |
| Työn laji — Arbetets art — Level<br>M. Sc. Thesis  |  | Aika — Datum — Month and year<br>April 2009                        | Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages<br>83 |
| Tiivistelmä — Referat — Abstract<br><br><p>The literature review of this thesis deals with light, different light sources and their properties. LED (Light Emitting Diode) light was specially taken into consideration, because the use of LED lights will increase in general illumination. The literature review also deals with the quality changes of dairy products and potatoes caused by exposure to light.</p> <p>The aim of this study was to search for such a spectral distribution of light which would cause only minor changes in the sensory quality of milk and the surface colour of potatoes. Objective was to also find out if there is a difference between the effects of fluorescent light and LED light on the quality of milk and greening of potatoes.</p> <p>Reduced (1,5 %) fat milk and new potatoes were used as testing materials. The milk in commercial carton board packages was exposed to six different light sources: white fluorescent lamp, white LED and LED of four different colours. The potatoes packed in transparent LDPE (Low Density Poly Ethylene) bags were stored under five different light sources: white fluorescent lamp, white LED and LED of three different colours. The light intensity at the surface of the packages was about 1000 lx in both studies. In the milk study, the effects of light were evaluated with a sensory method using descriptive analysis. In the potato study, the light effects were analysed with colour measurements (a-value) using a spectrophotometer and with surface temperature measurements using a laser thermometer.</p> <p>Sensory evaluation of milk there resulted in few statistically significant differences in the intensity of the attributes between the milks stored under different light sources. Light exposure caused a rapid greening of potatoes in every illumination. According to colour change percentage, the greening order under different lights was: white LED &lt; yellow LED &lt; green LED &lt; turquoise LED &lt; fluorescent light. The potatoes which were stored in dark had no change in their surface colour. The surface temperature of potatoes increased most under white LED and turquoise LED lights.</p> <p>A spectral distribution of light which would have caused less changes in sensory quality of milk than commonly used fluorescent light was not found in this study. The results showed, however, that in addition to blue light which has always been considered the most harmful for milk the red light also caused remarkable quality changes. Based on the results of this study, it could be suggested that under the LED lights the quality of packed milk retained its quality characteristics at least as well as under the fluorescent light. There were differences between the effects of different lights on the greening of potatoes. White and yellow LED light caused less greening of potatoes than the other lights. The strongest greening of potatoes was observed under the fluorescent light.</p> |  |  |   |
| Avainsanat — Nyckelord — Keywords<br>light, LED, fluorescent lamp, wavelength, colour temperature, milk, potato  |  |  |   |
| Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited<br>Viikki Science Library  |  |  |   |
| Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information<br>EKT-series 1446  |  |  |   |

## **ESIPUHE**

Tämä pro gradu -tutkimus tehtiin Helsingin yliopiston elintarviketeknologian laitoksella. Tutkimuksen aihepiiri tuli tutuksi työskennellessäni laitoksen Valo -hankkeessa, jossa selvitettiin valon vaikutuksia elintarvikkeisiin. Tutkielman pääpaino on LED -valossa ja sen soveltuvuudessa käytettäväksi yleiseen valaistukseen elintarvikkeiden jakelu- ja varastointiketjussa.

Haluan kiittää yliopistonlehtori Harry Heléniä kannustavasta ja asiantuntevasta ohjauksesta, sekä professori Lea Hyvöstä arvokkaista neuvoista ja asiantuntevista kommentteista tutkielman eri vaiheissa. Haluan kiittää myös tutkija Sari Mustosta asiantuntevista neuvoista aistinvaraisen arvioinnin suunnittelussa.

Haluan myös kiittää SAVLED/Diranet Oy:tä, joka toimitti tutkimuksessa käytetyt LED -valonlähteet ja Norpe Oy:tä, joka toimitti tutkimuksessa käytetyn kylmäkaapin.

Helsingissä huhtikuussa 2009

Kari Solala

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ESIPUHE

|  |    |
|--|----|
| 1 JOHDANTO .....   | 7  |
| 2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS .....   | 9  |
| 2.1 Valo .....   | 9  |
| 2.1.1 Valon määrittely ja tuottaminen .....                                    | 9  |
| 2.1.2 Valon muodostuminen erilaisissa valonlähteissä .....                     | 10 |
| 2.1.2.1 Aurinko.....   | 10 |
| 2.1.2.2 Hehkulamput.....   | 10 |
| 2.1.2.3 Loistelamput .....   | 11 |
| 2.1.2.4 Puolijohdevalaisimet .....   | 12 |
| 2.1.3 Erilaisten valonlähteiden ominaisuuksia.....                             | 13 |
| 2.1.3.1 Valosuureita.....  | 13 |
| 2.1.3.2 Valonlähteiden ominaisuuksien vertailua.....                           | 14 |
| 2.1.3.3 Valonlähteiden spektrijakautuma.....                                   | 15 |
| 2.2 LED valonlähteenä .....  | 16 |
| 2.2.1 LED:n rakenne ja luokittelu .....  | 16 |
| 2.2.2 LED-valon optiset ominaisuudet.....                                      | 17 |
| 2.2.2.1 Erivärisen LED-valon muodostuminen.....                                | 17 |
| 2.2.2.2 Eriväristen LED-valojen spektrijakaumat ja valontuotto-ominaisuudet... | 18 |
| 2.2.3 LED-valon sähkötekniset ominaisuudet .....                               | 19 |
| 2.2.3.1 Valon ohjaus ohjaimen avulla .....                                     | 19 |
| 2.2.3.2 Valon himmentäminen .....  | 19 |
| 2.2.4 LED-valon termiset ominaisuudet.....                                     | 20 |
| 2.2.4.1 Lämmöntuotto.....  | 20 |
| 2.2.4.2 Lämmönsiirto.....  | 20 |
| 2.2.5 LED-valon etuja verrattuna perinteisiin valonlähteisiin .....            | 21 |
| 2.2.6 LED-valojen käytössä olevia sovellutuksia .....                          | 21 |
| 2.3 Valon vaikutus maitotaloustuotteiden laatuun.....                          | 23 |
| 2.3.1 Maidon koostumus .....   | 23 |
| 2.3.1.1 Maidon ravintoaineet.....  | 23 |
| 2.3.1.2 Maidon valolle herkät komponentit .....                                | 23 |
| 2.3.1.3 Maidon laatuun eniten vaikuttavat valon ominaisuudet.....              | 24 |
| 2.3.2 Valon vaikutus eri maitotaloustuotteisiin .....                          | 25 |
| 2.3.2.1 Valon aiheuttamat reaktiot .....                                       | 25 |
| 2.3.2.2 Nestemäiset maitotuotteet .....  | 26 |
| 2.3.2.3 Juusto.....  | 27 |
| 2.3.2.4 Jogurtti.....  | 27 |
| 2.4 Valon vaikutus perunan laatuun.....  | 28 |
| 2.4.1 Perunan koostumus .....  | 28 |
| 2.4.1.1 Perunan rakenne.....   | 28 |
| 2.4.1.2 Perunan ravintoaineet.....   | 28 |
| 2.4.1.3 Luonnolliset toksiinit .....   | 29 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.4.1.4  | Perunan valolle herkät komponentit.....  | 30        |
| 2.4.1.5  | Perunan laatuun eniten vaikuttavat valon ominaisuudet .....                          | 30        |
| 2.4.2    | Valon vaikutus perunaan.....   | 31        |
| 2.4.2.1  | Ulkonäössä tapahtuvat muutokset.....   | 31        |
| 2.4.2.2  | Haitallisten aineiden muodostuminen .....  | 32        |
| <b>3</b> | <b>KOKEELLINEN TUTKIMUS.....</b>   | <b>34</b> |
| 3.1      | Materiaalit ja menetelmät .....  | 34        |
| 3.1.1    | Maitokokeet.....   | 34        |
| 3.1.1.1  | Tutkimusmateriaali .....   | 34        |
| 3.1.1.2  | Maitojen valoaltistus .....  | 34        |
| 3.1.1.3  | Maitonäytteiden aistinvarainen arviointi yleisellä kuvailevalla<br>menetelmällä..... | 35        |
| 3.1.1.4  | Arvioinnin tulosten käsittely .....  | 38        |
| 3.1.2    | Perunoille suoritettut kokeet.....   | 38        |
| 3.1.2.1  | Tutkimusmateriaali .....   | 38        |
| 3.1.2.2  | Perunoiden valoaltistus.....   | 38        |
| 3.1.2.3  | Värimuutoksen ja pintalämpötilan mittaaminen sekä valokuvaus.....                    | 40        |
| 3.1.2.4  | Mittaustulosten käsittely.....   | 40        |
| 3.2      | Tulokset .....   | 41        |
| 3.2.1    | Maidon aistinvarainen arviointi.....   | 41        |
| 3.2.1.1  | Ensimmäinen koesarja.....  | 41        |
| 3.2.1.2  | Toinen koesarja .....  | 41        |
| 3.2.1.3  | Kolmas koesarja.....   | 43        |
| 3.2.1.4  | Neljäs koesarja.....   | 43        |
| 3.2.1.5  | Viides koesarja.....   | 45        |
| 3.2.2    | Perunan värimuutoksen ja pintalämpötilan mittaus sekä valokuvaus .....               | 45        |
| 3.2.2.1  | Spektrofotometrisesti mitattu värimuutos .....                                       | 45        |
| 3.2.2.2  | Pintalämpötilan muutos.....  | 46        |
| 3.2.2.3  | Perunoiden valokuvat.....  | 47        |
| 3.2.3    | Tulosten yhteenveto.....   | 48        |
| 3.3      | Tulosten tarkastelu .....  | 49        |
| 3.3.1    | Tutkimusmateriaalit ja koeasetelma .....   | 49        |
| 3.3.2    | Tutkimusmenetelmät .....   | 50        |
| 3.3.2.1  | Maidon aistinvarainen arviointi .....  | 50        |
| 3.3.2.2  | Perunoiden värin- ja pintalämpötilan mittaus.....                                    | 51        |
| 3.3.3    | Tulosten arviointia .....  | 52        |
| 3.3.3.1  | Maidon aistinvarainen arviointi .....  | 52        |
| 3.3.3.2  | Perunoiden värin ja pintalämpötilan muutos.....                                      | 55        |
| <b>4</b> | <b>PÄÄTELMÄT .....</b>   | <b>57</b> |
|          | <b>LÄHTEET .....</b>   | <b>58</b> |
|          | <b>LIITTEET.....</b>   | <b>62</b> |

## 1 JOHDANTO

Valo on elektromagneettista säteilyä, jota voidaan kuvata kahdella eri tavalla: aaltoliikkeenä, jolla on tietty aallonpituus tai energiakvantteina, joilla on tietty energiasisältö (Helén, 2004). Mitä lyhyempää elektromagneettisen säteilyn aallonpituus on, sitä enemmän se sisältää energiaa. Näkyväksi valoksi kutsutaan säteilyä, jonka ihmissilmä voi havaita. Näkyvän valon aallonpituusalue on n. 380–790 nm. Jokaisella valon värillä on oma aallonpituusalueensa.

Valoa voidaan tuottaa monella eri menetelmällä: vastuslangan hehkumisella, kaasupurkauksella, elektroluminesenssilla, fotoluminesenssilla, katodiluminesenssilla ja kemiallisella luminesenssilla (Hunt, 1991). Yleisessä valaistuksessa käytetään eniten hehku- ja loistelamppuja. Niiden rinnalle ovat tulossa elektroluminesenssiin perustuvat puolijohdevalaisimet. Valonlähteiden ominaisuudet, kuten valaistusvoimakkuus, värilämpötila ja spektrijakauma, vaikuttavat siihen, minkälaisia muutoksia ne voivat saada aikaan elintarvikkeissa varastoinnin aikana.

Maitotaloustuotteet ja peruna ovat herkkiä valon aiheuttamille laatumuutoksille. Valon aiheuttamat hapettumisprosessit saavat maitotaloustuotteissa aikaan virhemakuja ja -hajuja, värimuutoksia sekä ravintoaineiden tuhoutumista (Bekbölet, 1990; Skibsted, 2000; Becker ym., 2003). Nämä laatumuutokset syntyvät pitkälti proteiinien hajoamisessa ja lipidien hapettumisprosesseissa, ja niiden aikana syntyneet virhemaut ja -hajut ovat voimakkaita ja niiden ärsytyskynnys on matala.

Perunan altistuessa valolle sen pinta vihertyy ja glykoalkaloidipitoisuus kasvaa. Vihertyminen johtuu klorofyllien muodostumisesta (Zhu ym., 1984). Glykoalkaloidien määrän kasvu ei johdu yksinomaan valosta, mutta valo on yksi perunan stressitekijöistä, jotka aiheuttavat glykoalkaloidipitoisuuden nousua (Korppas ym., 1989).

Maitotaloustuotteiden ja perunan valoherkkyys selittyvät niiden sisältämällä valoherkistimillä, joiden rakenteessa ovat konjugoituneet kaksoissidokset absorboivat voimakkaasti valoa (Bradley ja Min, 1992). Maidossa on runsaasti riboflaviinia ja porfyriineja sekä myös klorofyllejä. Perunassa valo katalysoi klorofyllien biosynteesireaktioita (Heldt, 1997).

Tämän pro gradu -tutkimuksen tutkimusmateriaaleina käytettiin kevytmaidon ja uusia perunoita, ja tavoitteena oli etsiä sellainen valon spektrijakauma, jossa maidon aistinvaraisesti havaittavat laatumuutokset ja perunan värin muutokset olisivat mahdollisimman vähäisiä. Lisäksi

selvitettiin sitä, miten valon värilämpötila vaikuttaa tuotteiden laatumuutoksiin. Tutkimuksen tarkoituksena oli myös selvittää, minkälaisia vaikutuksia LED-valoilla on tutkittavien elintarvikkeiden laatuun loisteputkivaloon verrattuna.

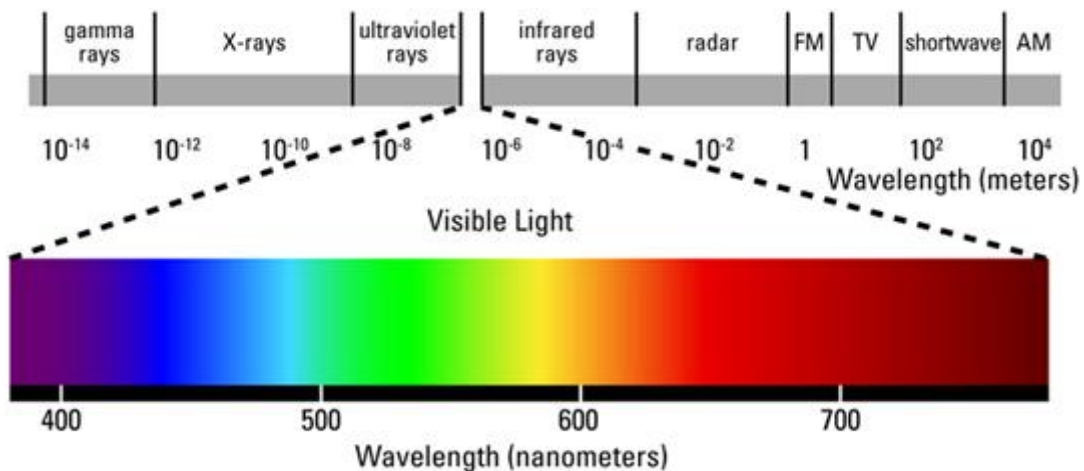


## 2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

### 2.1 Valo

#### 2.1.1 Valon määrittely ja tuottaminen

Valo on elektromagneettista säteilyä, jota voidaan kuvata kahdella eri tavalla: aaltoliikkeenä, jolla on tietty aallonpituus tai energiakvantteina, joilla on tietty energiasisältö (Helen, 2004). Mitä lyhyempää elektromagneettisen säteilyn aallonpituus on, sitä enemmän se sisältää energiaa. Näkyväksi valoksi kutsutaan säteilyä, jonka ihmissilmä voi havaita. Näkyvän valon aallonpituusalue on n. 380–790 nm. Jokaisella valon värillä on sille tyypillinen aallonpituusalue (kuva 1).



Kuva 1. Valon spektri ja näkyvän valon eri aallonpituuksia vastaavat värit (Gordon, 2008a)

Ultravioletti- eli UV-säteily on lyhytaaltoisempaa säteilyä kuin näkyvä valo, ja sen aallonpituusalue on 100–380 nm. Infrapuna- eli IR on taas näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa säteilyä, ja sen aallonpituusalue on 780 nm–1 mm.

Valoa voidaan tuottaa monella eri menetelmällä. Näitä ovat vastuslangan hehkuminen, kaasupurkaus, elektroluminesenssi, fotoluminesenssi, katodiluminesenssi ja kemiallinen luminesenssi (Hunt, 1991). Hehkumisessa kiinteä tai nestemäinen aine emittoi valoa, kun sen lämpötila on yli 1000 K. Kaasupurkauksessa kaasut emittoivat valoa, kun sähkövirta johdetaan kaa-

sun läpi. Elektroluminesenssissa tietyt kiinteät aineet, kuten puolijohdeet ja fosfori, voivat emittoida valoa, kun sähkövirta johdetaan niiden läpi. Fotoluminesenssissa väliaine ensin absorboi elektromagneettista säteilyä (fotoneja) ja sitten luovuttaa ne emittoiden samalla valoa. Katodiluminesenssissa luminoivat materiaalit, kuten fosfori, emittoivat valoa, kun niitä pommitetaan elektroneilla. Kemiallisessa luminesenssissa tietyt kemialliset reaktiot saavat aikaan valon emittoitumisen.

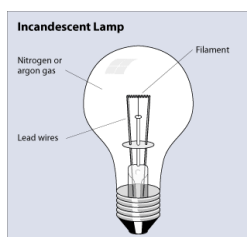
## 2.1.2 Valon muodostuminen erilaisissa valonlähteissä

### 2.1.2.1 Aurinko

Aurinko saa säteilemänsä energian muuttamalla vedyn heliumiksi ytimessä tapahtuvassa lämpöydinreaktiossa. Auringon ytimessä tapahtuvassa reaktiossa neljä vetyatomia muodostaa heliumatomin ja samalla vapautuu suuri määrä energiaa. Tämä energia siirtyy konvektoitumalla auringon pintaan, josta se vapautuu lämpönä ja valona. Auringon säteilystä lyhytaaltoinen osa absorboituu ilmakehän otsoni- ja vesihöyrykerrokseen (Hunt, 1991). Maan pinnalle tulevan pitkäaaltoisen säteilyn voimakkuuteen ja aallonpituusjakaumaan vaikuttavat ilmakehän olosuhteet, pilvien määrä ja sijainti sekä auringon sijainti (Wyszecki ja Stiles, 2000).

### 2.1.2.2 Hehkulamput

Tavallisen hehkulampun toiminta perustuu siihen, että sähköä johdetaan vastuksena toimivan hehkulangan läpi. Hehkulanka on ilmatiiviin kuvun sisällä, jossa on joko tyhjiö tai se on täytetty inertillä kaasulla tai kaasuseoksella, kuten typellä, argonilla, kryptonilla tai ksenonilla (kuva 2). Lämmennyt lanka lähettää säteilyä laajalla spektrialueella, josta vain pieni osa on näkyvän valon alueella (Hautala, 2001). Suurin osa säteilystä on lämpösäteilyä, eikä siten valaise. Hehkulampuissa lämpötilalla on suurin vaikutus valon voimakkuuteen ja spektrin muodostumiseen (Hunt, 1991).



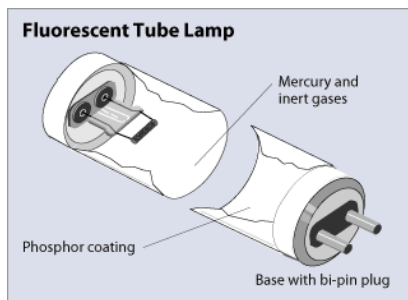
Kuva 2. Hehkulamppu (Anon1, 2005)

Halogeenilamput ovat myös hehkulamppuja, joissa hehkulanka on kapseloitu pieneen, läpinäkyvään kvartsikuoreen (Hunt, 1991). Lampun sisällä on tavallisten kaasujen lisäksi halogeenikaasuja, kuten jodia tai bromia. Nämä kaasut sekoittuvat muiden kaasujen kanssa. Lämpötilan ollessa riittävän korkea halogeenikaasut yhdistyvät hehkulangasta vapautuvien kaasuaatomien kanssa ja palauttavat ne takaisin hehkulankaan. Tämä kierto auttaa hehkulankaa kestämään kauemmin, mahdollistaa korkeamman lämpötilan käytön ja sitä kautta paremman valaistusvoimakkuuden.

### 2.1.2.3 Loistelamput

Loistelamput tuottavat valoa sähköpurkauksessa (Wyszecki ja Stiles, 2000). Purkaus tapahtuu, kun elektronit törmäävät kaasujen atomien kanssa ja virittävät ne korkeammalle energiatasolle. Kun virittyneet atomit palautuvat perustilaan, ne purkavat ylimääräisen energiansa sähkömagneettisen säteilyn fotoneina ja emittoivat silloin valoa.

Loisteputket ovat putkimallisia lamppuja, joiden sisäpinta on päällystetty fosforoivalla aineella ja molemmissa päissä on elektrodit (Wyszecki ja Stiles, 2000) (kuva 3). Loisteputken täyteaineena on jalokaasuja, kuten argonia, kryptonaa tai niiden seosta sekä pisara elohopeaa.



Kuva 3. Loisteputken rakenne (Anon2, 2005)

Loisteputkessa valo tuotetaan pisaralla elohopeaa, joka kaasuuntuu sähköpurkauksen vaikutuksesta ja synnyttää UV-säteilyä, kun sähkö purkautuu sen läpi. Loisteputken sisäpinta on päällystetty fluoresoivalla materiaalilla, joka muuttaa elohopeahöyryssä olevan sähköpurkauksen synnyttämän UV-säteilyn näkyväksi valoksi.

Natriumlamppuja on kahdenlaisia: pienpainenatrium- ja suurpainenatriumlamppuja. Näissä lamppuissa toimintaperiaate on samanlainen kuin elohopeaa sisältävissä loisteputkissa (Kärnä ja Nurmi, 1997). Pienpainenatriumlamppu tuottaa kirkkaan keltaista, lähes monokromaattista

valoa aallonpituudella 589 nm. Suurpainenatriumlamppu tuottaa vaaleankeltaista valoa, ja sen spektri sisältää komponentteja koko näkyvän valon alueelta.

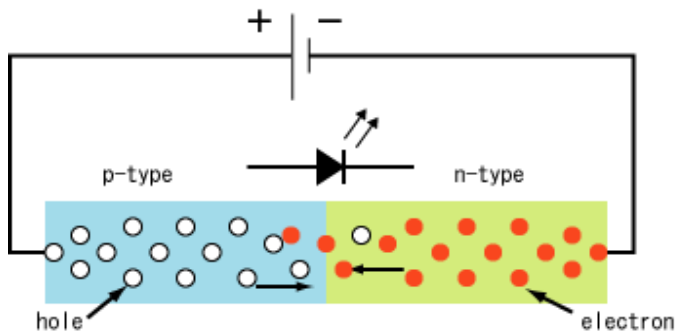
Elohopealampun valontuotto perustuu elohopeahöyryn korkeassa lämpötilassa ja paineessa lähettämään säteilyyn, josta pääosa on näkyvää valoa ja osa ultraviolettisäteilyä (Wyszecki ja Stiles, 2000). Lampun lähettämän valon aallonpituusjakauma riippuu lampun sisällä olevan kaasun paineesta ja sen läpi kulkevan virran suuruudesta. Lampun sisäpinnassa käytetään fluoresoivaa kerrosta, joka muuntaa UV-valon näkyväksi valoksi ja näin parantaa lampun valaistusvoimakkuutta.

Monimetallilamppu eli metallihalogeenilamppu toimii samalla periaatteella kuin elohopealamppu. Monimetallilampun polttimoon on lisätty elohopean lisäksi metallihalideja, kuten jodia tai bromia, jotka lämmitessään kaasuuntuvat ja säteilevät valoa (Kärnä ja Nurmi, 1997). Käytetyt metallihalidit määräävät valon voimakkuuden, värilämpötilan, ja niiden käytöllä saadaan elohopealampun valon aallonpituusjakaumaa leveämmäksi.

Ksenonlamppuissa valo muodostuu, kun lampun läpi kulkenut korkeajännitepulssi virittää elektronit korkeammalle energiatasolle, ja palautuessaan perustilaan ne emittoivat valoa (Hunt, 1991). Jotta sähkövirta saadaan kulkemaan ksenonkaasussa, se täytyy ensiksi ionisoida korkeajännitepulssin avulla.

#### 2.1.2.4 Puolijohdevalaisimet

LED (Light Emitting Diode) on rakenteeltaan puolijohdediodi, joka sisältää positiivisesti (P) ja negatiivisesti (N) varautuneen osan (kuva 4). Nämä varautuneet osat muodostavat PN-liitoksen. Diodin rajapinnalla varauksenkuljettajina toimivien elektronien ja aukkojen tiheys on suurin. Rajapinnalla negatiiviselta puolelta kulkeutuu elektroneja positiiviselle puolelle ja elektronit täyttävät näin positiivisella puolella olevia vapaita aukkoja, jotka siten häviävät. Tätä ilmiötä kutsutaan rekombinaatioksi (Yam ja Hassan, 2005).



Kuva 4. Valon muodostuminen LED:ssä (Anon3, 2005)

Kun ulkoinen jännitelähde kytketään siten, että negatiivinen napa kytketään N-tyyppiseen materiaaliin ja positiivinen vastaavasti P-tyyppiseen materiaaliin, rajapintavyöhyke kapenee ja varauksenkuljettajat pääsevät rajapinnan yli ja virta alkaa kulkea. Valodiodeissa virta johdetaan myötäsuntaisesti diodin yli ja elektroni-aukkoparin rekombinoituminen saa aikaan fotonin emission eli valon syntymisen (Yam ja Hassan, 2005).

### 2.1.3 Erilaisten valonlähteiden ominaisuuksia

#### 2.1.3.1 Valosuureita

Valovirta ilmaisee, kuinka paljon valoa valonlähde antaa. Valovirran yksikkö on lumen (lm). Valaistusvoimakkuus ilmaisee, paljonko valoa tulee tietylle pinnalle. Valaistusvoimakkuus ilmoitetaan lukseina (lx), ja se lasketaan jakamalla tuleva valovirta (lm) valaistavalla pinta-alalla ( $m^2$ ).

Valotehokkuus kertoo valolähteestä saadun valomäärän suhteessa käytettyyn sähkötehoon (Gordon, 2008b). Valonlähteiden valotehokkuuden yksikkö on lm/W (lumen/Watti). Valotehokkuus on tärkeä suure, kun vertaillaan eri valonlähteiden energiatehokkuutta. Valotehokkuus saadaan, kun valolähteen tuottama valomäärä (lumen) jaetaan sen kuluttamalla sähkötehoilla (Watti). Mitä suurempi luku on, sen energiatehokkaampi valonlähde on.

Väriämpötila (CCT=Correlated Color Temperature) on valkoisen valon mitattava ominaisuus, joka mittaa jatkuvan spektrin valonlähteestä tulevan valon värien keskinäistä suhdetta (Gordon, 2008a) (kuva 5). Jatkuvaksi spektriksi kutsutaan sellaista spektriä, joka sisältää kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia. Väriämpötila on sellaisen mustan metallikappaleen lämpötila, jonka säteilemä valo vastaa tarkasteltavaa valoa. Väriämpötilan yksikkö on Kelvin (K). Esi-

merkiksi 5000 K:n lämpötilassa musta metallikappale on valkoinen ja se säteilee valkoista valoa, ja 10000 K:n lämpötilassa säteilevän valon väri alkaa muuttua siniseksi. Voimakkaasti värillisellä valolla ei ole värilämpötilaa. Valkoisen valon värilämpötilat voidaan jakaa viiteen luokkaan: 2000–2800 K (lämmin/kellertävä), 2800–3500 K (lämmin/valkoinen), 3500–4500 K (neutraali/valkoinen), 4500–5600 K (kylmä/valkoinen) ja >5000 K (päivänvalo/viileä päivänvalo).



Kuva 5. Värilämpötilan vaikutus valon väriin

Värintoistoindeksi (CRI=Colour Rendering Index) on suure, jolla mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna ihanteelliseen valonlähteeseen eli mustaan kappaleeseen tai muuhun referenssisäteilijään, kuten hehkulamppuun (Gordon, 2008a). Värintoistoindeksi ilmoitetaan lukuna asteikolla nolasta sataan, missä 0 tarkoittaa täysin monokromaattista valoa, jossa värit eivät toistu lainkaan, ja 100 täysin jatkuvaspektristä valoa eli täydellistä värintoistoa. Sisätilojen valaistuksessa minimi-värintoistoindeksinä pidetään lukua 80.

### 2.1.3.2 Valonlähteiden ominaisuuksien vertailua

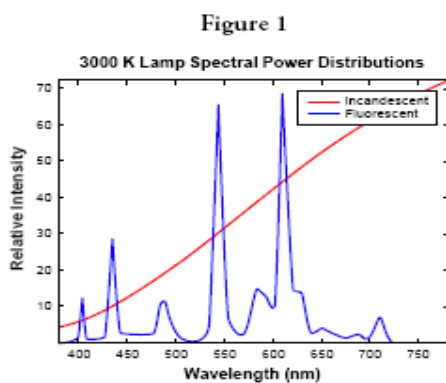
Hehkulampun tehokkuus muihin valonlähteisiin verrattuna on huono, koska suurin osa säteilystä on lämpösäteilyä. Yleisesti käytetyn valonlähteen, loisteputken, tehokkuus on hehkulamppuihin verrattuna hyvällä tasolla. Markkinoille tulevien LED:ien tehokkuus on vielä vähän loisteputkia jäljessä, mutta se on parantunut vuosi vuodelta tekniikan kehittyessä (taulukko 1). Värintoistoindeksin kohdalla muiden valonlähteiden indeksiä verrataan hehkulamppuun, koska sen värintoistoindeksi on lähes maksimi eli se toistaa värejä lähes täydellisesti. Hehkulampun värilämpötila on aina lähellä 3000 K, kun taas muilla jatkuvaspektrisillä valonlähteillä värilämpötilaa voidaan säädellä esim. täytekaasun koostumuksella tai LED:n kohdalla aallonpituusjakaamaa muuttamalla. Suuria eroja valonlähteiden välillä löydetään, kun vertaillaan niiden käyttöikä. Käyttöikä vaihtelee hehkulampun muutamasta kuukaudesta LED:n useaan vuoteen.

Taulukko 1. Eri valonlähteiden ominaisuuksia (Anon4, 2008)

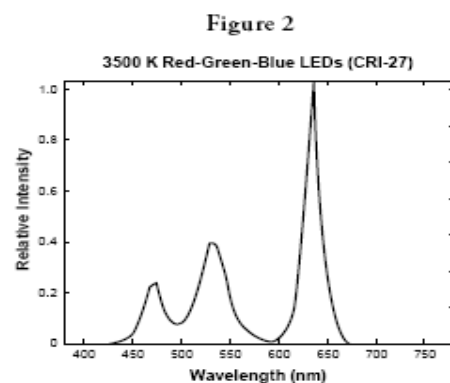
| Valaisin                                | Tehokkuus<br>(lumen/Watti) | Värintoisto-<br>indeksi (CRI) | Väriämpötila<br>(K) | Käyttöikä<br>(h) |
|---|----------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|
| Hehkulamppu                             | 10-17                      | 98-100                        | 2700-2800           | 750-2500         |
| Halogeenilamppu                         | 12-22                      | 98-100                        | 2900-3200           | 2000-4000        |
| Loisteputki                             | 30-110                     | 50-90                         | 2700-6500           | 7000-24000       |
| Loisteputki (energian-<br>säästölamppu) | 50-70                      | 65-88                         | 2700-6500           | 10000            |
| Pienpainenaatrium-<br>lamppu            | 60-150                     | <44                           |                     | 12000-18000      |
| Suurpainenaatrium-<br>lamppu            | 50-140                     | 25                            | 2100                | 16000-24000      |
| Elohopealamppu                          | 25-60                      | 50                            | 3200-7000           | 16000-24000      |
| Monimetallilamppu                       | 70-115                     | 70                            | 3700                | 5000-20000       |
| LED                                     | 23-87                      | 70-95                         | 2600-6000           | 35000-50000      |

### 2.1.3.3 Valonlähteiden spektrijakautuma

Hehkulampun spektrijakauma on tyypillisesti sellainen, että se jakautuu koko näkyvän valon aallonpituusalueelle voimakkuuden kasvaessa lineaarisesti (kuva 6). Loisteputken sekä muidenkin sähköpurkaukseen perustuvien valonlähteiden spektrijakaumalle on tyypillistä korkeat piikit tietyillä aallonpituusalueilla riippuen valonlähteessä käytettävän kaasun koostumuksesta (kuva 6). Myös LED:lle on tyypillistä korkeat piikit sinisen, vihreän ja punaisen valon aallonpituusalueella (kuva 7).



Kuva 6. Hehkulampun ja loisteputken spektrijakaumat (Gordon, 2008c)

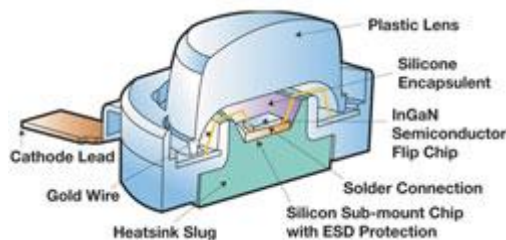


Kuva 7. RGB-LED:n spektrijakauma (Gordon, 2008c)

## 2.2 LED valonlähteenä

### 2.2.1 LED:n rakenne ja luokittelu

LED-valaisin rakentuu pienestä sirusta (n. 1 mm<sup>2</sup>), joka sisältää puolijohtavia materiaalikerroksia (Gordon, 2008d). LED-valaisin voi sisältää yhden tai useamman sirun, jotka on kiinnitetty lämpöä johtavaan materiaaliin ja ympäröity kotelolla ja linssillä (kuva 8). Tyypillisen LED-valaisimen halkaisija on 7–9 mm. Tämä paketti kiinnitetään piirilevyyn, joka sijoitetaan lopulliseen valaistusjärjestelmään. Valaisinratkaisuissa LED-valoja käytetään yleensä ryhmissä.



Kuva 8. LED:n rakenne (Gordon ja Gilbride, 2008)

LED (light emitting diode) on puolijohdediodi, joka päästää sähkövirran läpi vain yhteen suuntaan. Diodi muodostuu, kun kaksi erilaista materiaalia liitetään yhteen ja ne muodostavat PN-liitoksen (Yam ja Hassan, 2005). Liitoksessa P-puoli on positiivisesti varautunut ja N-puoli negatiivisesti varautunut.

LED-valon perusrakenteena on ollut pitkään PN-liitos, jonka puoliläpäisevässä rajapinnassa käytettävät materiaalit ovat hyvin samankaltaisia/homogeenisia. Näillä materiaaleilla on samanlaiset energia-aukot, mutta erilainen läpäisevyys. Tätä yksinkertaisinta LED-mallia ei enää käytetä, koska sen valaistustehokkuus on alhainen (Yam ja Hassan, 2005).

Tehokkaamman valontuoton saavuttamiseksi LED:n rakenteeseen voidaan lisätä hyvin ohuita kalvorakenteita. Nykyisin korkean tehon omaavat LED-valot ovat poikkeuksetta rakenteeltaan heterogeenisia. Niiden rakenteissa käytettävät puoliläpäisevät materiaalit ovat erilaisia. Tällöin niiden energia-aukotkin ovat erikokoisia, mikä edesauttaa yhdensuuntaisen elektronivirran syntymistä (Zukauskas ym., 2002).



LED:n tehokkuutta voidaan parantaa myös ohuilla kalvomateriaaleilla, joissa elektronien liikkuvuutta on rajoitettu yhteen tai kahteen ulottuvuuteen. Näin ne saadaan kulkemaan haluttuun suuntaan, jolloin elektronien ja aukkojen rekombinaatio tapahtuu tehokkaammin (Yam ja Hassan, 2005).

LED:t voidaan jakaa kahteen luokkaan: pienitehoisiin ja suuritehoisiin (kuva 9). Pienitehoisten LED:ien teho on tyypillisesti 0,1 W, ja ne toimivat pienellä sähkövirralla (~20 mA). Pienitehoisten LED:ien valontuotto on vähäistä ja niitä käytetäänkin pääasiassa erilaisten mittalaitteiden merkkivaloina. Suuritehoisten LED:ien teho on 1–4 W, ja niissä käytetään tyypillisesti korkeampaa sähkövirtaa (350, 700 tai 1000 mA) (Gordon, 2008e).



Kuva 9. Pienitehoinen (vasemmalla) ja suuritehoinen LED (oikealla) (Bullough, 2003)

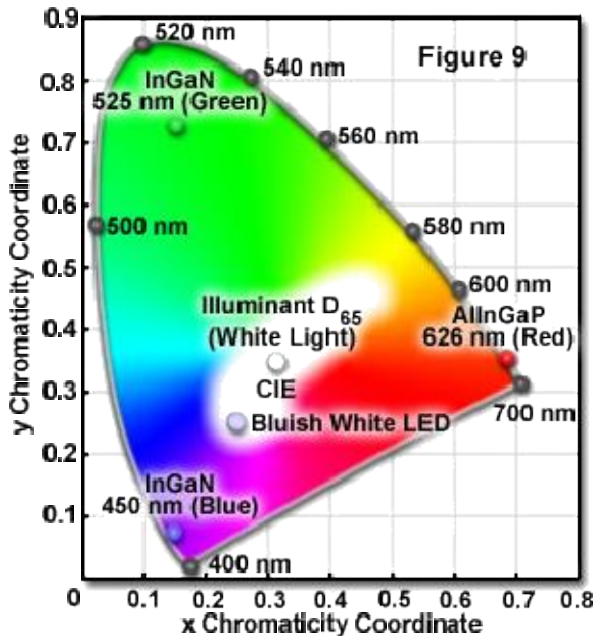
LED:t voidaan jakaa kahteen luokkaan myös niiden valmistuksessa käytettävien materiaalien mukaan: epäorgaanisiin ja orgaanisiin (Gordon ja Gilbride, 2008). Tavalliset valaistuksessa käytettävät LED:t on valmistettu epäorgaanisista aineista. Orgaaniset LED:t (OLED) on nimensä mukaisesti valmistettu orgaanisista materiaaleista. Niiden rakenteessa valoa emittoiva materiaalikerrokset koostuu orgaanisista yhdisteistä. Orgaanisten LED:ien teknologiaa hyödynnetään pääasiassa matkapuhelimien, kämmenmikrojen ja laajakuvatelevisioiden näytöissä.

## 2.2.2 LED-valon optiset ominaisuudet

### 2.2.2.1 Erivärisen LED-valon muodostuminen

Puolijohtavien elementtien materiaalivalinnoilla määritetään LED-valon väri. Tällä hetkellä käytössä olevat päätyypit ovat alumiini-gallium-indium-fosfidi -metalliseos (AlGaInP), joka saa aikaan punaisen, oranssin ja keltaisen värin, ja indium-gallium-nitriitti -metalliseos (In-

GaN), joka saa aikaan vihreän, sinisen ja valkoisen värin (Bullough, 2003). CIE-kromaattisuusdiagrammin avulla värit voidaan ilmaista xy-koordinaattien avulla (kuva 10). Valon värin hallitseva aallonpituus saadaan kehäpisteeltä piirtämällä suora valkopisteestä väripisteen kautta kehän ulkoreunalle. Vastavärin aallonpituus löytyy suoran vastakkaisesta päästä.

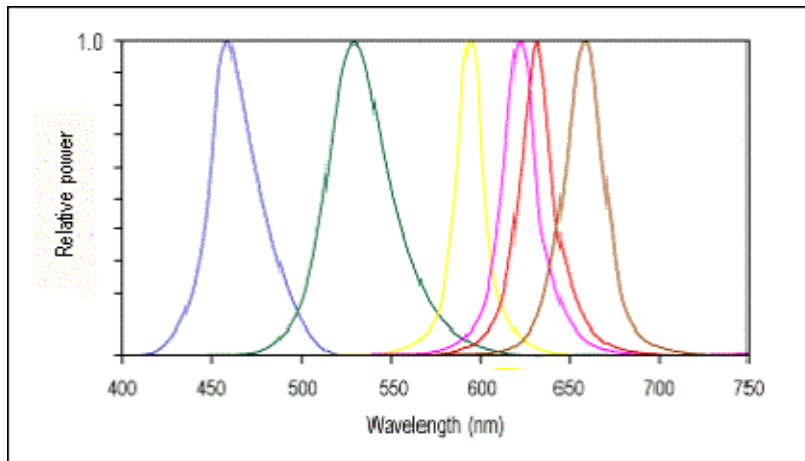


Kuva 10. LED-valon värien sijainti CIE-kromaattisuusdiagrammissa (Davidson ym., 2003)

LED:n valkoinen valo saadaan aikaiseksi joko fosfori-muunnoksella, jossa sinistä valoa emittoivan sirun kotelo päällystetään fosforilla, joka emittoi sinisen valon valkoisena, tai sekoittamalla RGB LED:n kolmea pääväriä (punainen, vihreä, sininen) sopivassa suhteessa (Yam ja Hassan, 2005). Valkoisen valon tuottamistapa vaikuttaa LED:n valon määrään ja väriominaisuuksiin (Bullough, 2003). Bulloughin (2003) mukaan RGB LED:n valovirta on suurempi, värintoisto-ominaisuudet paremmat ja käytettävissä olevien värien valikoima suurempi kuin fosforimuunnos LED:llä.

#### 2.2.2.2 Eriväristen LED-valojen spektrijakaumat ja valontuotto-ominaisuudet

Rakenteessa käytettävät puolijohtavat materiaalit määrittävät LED:n spektrijakauman (kuva 11). Spektrijakauma vaikuttaa valovirran suuruuteen (taulukko 2). Valovirran suuruuteen vaikuttavat spektrijakauman lisäksi LED:n rakenne, ympäristön lämpötila, LED:n läpi kulkeva sähkövirta ja puolijohtavien materiaalien hajoamisominaisuudet (Bullough, 2003).



Kuva 11. Eriväristen LED-valojen spektrit (Bullough, 2003)

Taulukko 2. Eriväristen LED-valojen tuottama valovirta (Bullough, 2003)

| Väri      | Valovirta (lm) |
|-----------|----------------|
| Valkoinen | 18-87          |
| Sininen   | 7-30           |
| Vihreä    | 25-120         |
| Keltainen | 20-69          |
| Punainen  | 25-55          |

### 2.2.3 LED-valon sähkötekniset ominaisuudet

#### 2.2.3.1 Valon ohjaus ohjaimen avulla

LED-valaisimissa valon tehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi sähkövirran ja jännitteen suuruus. LED-ohjaimen avulla sähkövirta ja jännite voidaan muuntaa valon vaatimalle tasolle (Gordon, 2008e). Tyypillinen sähkövirta on 200–1000 mA ja jännite 2–4 voltin tasajännite. Ohjaimella voidaan usein myös säätää valon väriä ja voimakkuutta. Ohjaimien tehokkuus on nykyään noin 85 %, joka siis vähentää LED:n tehokkuutta 15 %.

#### 2.2.3.2 Valon himmentäminen

Koska sähkövirran suuruus on suoraan verrannollinen valon tehokkuuteen, LED-valoa voidaan himmentää pienentämällä sähkövirtaa. Useimpien LED-valojen himmentäminen tehdään ohjaimen avulla käyttäen pulssileveysmodulaatio -tekniikkaa (PWM=Pulse Width Modulation) (Gordon, 2008b). Tämä tekniikka syyttää ja sammuttaa LED:n nopealla frekvenssillä, ja taajuutta muuttamalla voidaan säätää himmennysen tasoa.

## 2.2.4 LED-valon termiset ominaisuudet

### 2.2.4.1 Lämmöntuotto

Kaikki valonlähteet muuntavat sähköenergiaa säteilyenergiaksi ja lämmöksi. LED-valo tuottaa erittäin vähän IR- ja UV-säteilyä, mutta muuntaa vain 15–25 % sähkötehosta näkyväksi valoksi (taulukko 3). Muu osa energiasta muuntuu lämmöksi, joka pitää johtaa pois LED:n sirusta muihin rakenteisiin (lämpönieluun, piirilevyyn, koteloon tai runkoelementteihin). LED-valon PN-liitoksen lämpötilaan vaikuttaa kolme asiaa: sähkövirta, lämmön siirtyminen ja ympäristön lämpötila (Gordon, 2007). Yleensä ottaen mitä korkeampi sähkövirta, sitä enemmän lämpöä syntyy.

Taulukko 3. Sähköenergian muuntuminen lämmöksi ja säteilyenergiaksi (näkyvä valo mukaan lukien) eri valonlähteissä (Gordon, 2007)

|                                | <b>Hehkulamppu</b> | <b>Loisteputki</b> | <b>Monimetallilamppu</b> | <b>LED</b> |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------|
| Näkyvä valo                    | 8 %                | 21 %               | 27 %                     | 15-25 %    |
| IR                             | 73 %               | 37 %               | 17 %                     | ~ 0 %      |
| UV                             | 0 %                | 0 %                | 19 %                     | 0 %        |
| Säteilyenergia                 | 81 %               | 58 %               | 63 %                     | 15-25 %    |
| Lämpö<br>(konduktio+konvektio) | 19 %               | 42 %               | 37 %                     | 75-85 %    |

Näkyvän valon tuotto on LED:llä ja loisteputkella lähellä toisiaan. Loisteputkesta syntyvä lämpö siirtyy pois sekä säteilemällä että johtumalla, kun taas LED:stä lämpö siirtyy vain johtumalla. Tällöin ympäristöön ei tule ylimääräistä lämpökuormitusta, mutta lämmön johtuminen LED:n rakenteeseen vaatii tehokkaan lämmönsiirron piirilevystä runkorakenteisiin.

### 2.2.4.2 Lämmönsiirto

Lämpö tulee siirtää sirusta, jotta valon tehokkuus, väri ja käyttöikä eivät muuttuisi (Gordon, 2007). Poistettavan lämmön määrä riippuu ympäristön lämpötilasta ja lämmön siirtoon tarkoitettujen rakenteiden materiaalista ja muotoilusta. Tavallisesti LED-valaisin koostuu valonlähteestä, metallikerroksen sisältävästä piirilevystä ja ulkopuolisesta lämmön siirtäjästä (Gordon, 2007). Valonlähteessä on aina lämpöä siirtävä osa, joka on yhteydessä piirilevyyn. Piirilevyssä on sähköä johtamaton kerros, joka on kiinnitetty metallialustaan (alumiinia). Piirilevy on kiinnitetty ulkopuoliseen lämmön siirtäjään, jona voivat toimia valaisimen pohja- ja runkorakenteet.

### 2.2.5 LED-valon etuja verrattuna perinteisiin valonlähteisiin

Valaistusratkaisuja suunniteltaessa kannattaa kiinnittää huomiota valonlähteen tehon tai käyttöään lisäksi myös muihin ominaisuuksiin. LED-valaisimen etuja ovat valon suora suuntautuminen, pieni koko, tärinänkestävyys, kylmänsieto, valon voimakkuuden ja väriominaisuuksien säätämismahdollisuus sekä välitön käynnistyminen. Tiheä käynnistäminen ja sammuttaminen eivät vaikuta LED:n käyttöikään ja eikä valo sisällä UV- tai IR-säteilyä (Gordon, 2008d).

LED-valaisimissa valonlähde on kiinnitetty tasaiselle pinnalle, jolloin valo säteilee puoliympyrän muotoisesti. Perinteisissä valonlähteissä valo säteilee ympyrän muotoisesti kaikkiin suuntiin, jolloin valoa menee hukkaan. LED-valo suuntautuu pääasiassa alaspäin ja sen suuntaaminen haluttuun kohteeseen on helppoa. LED-valojen pieni koko mahdollistaa pienten ja matalien valaisimien rakentamisen, jolloin pieniin ja ahtaisiinkin paikkoihin voidaan saada valaistus.

LED-valojen tärinän kesto on hyvä, koska ne eivät sisällä hehkulankaa tai lasisia koteloja. LED-valo on kiinnitetty piirilevyyn lyijyllä juottaen, mikä tekee rakenteesta kestävä. Koska LED-valaisin ei sisällä lasia, siitä ei rikkoutuessa pääse ympäristöön haitallisia kappaleita. Nämä ominaisuudet voivat antaa lisäarvoa LED-pohjaisille valaistusratkaisuille esim. elintarvikkeita valmistavissa tehtaissa.

LED-valon toimintakyky paranee, kun ympäristön lämpötila laskee. Näin ollen LED-valo sopii hyvin elintarvikemyymälöiden kylmä- ja pakastekaappien valaistukseen, kylmävarastoihin sekä ulkovalaistukseen. LED-valon hyviin puoliin kuuluu lähes välitön käynnistyminen täyteen kirkkauteen ja se, että tiheä käynnistäminen ja sammuttaminen eivät vaikuta valon käyttöikään. LED-valon voimakkuuden ja väriominaisuuksien säädettävyys antaa valaistusratkaisulle lisäarvoa.

### 2.2.6 LED-valojen käytössä olevia sovellutuksia

LED-valojen käyttö on tällä hetkellä laajinta elektroniikkateollisuudessa, kuten matkapuhelinten näytöissä ja digitaalikameroiden salamavalloissa (Mills, 2005). Taulutelevisioiden kontrastin, värintoiston ja katselumukavuuden parantuminen LED-tekniikan avulla on lisännyt LED:n käyttöä myös niiden valmistuksessa. LED-valojen muita merkittäviä käyttökohteita ovat liikennevalot, opasteet, mainokset ja autoteollisuus (Mills, 2005).

LED-valojen käyttö yleisessä valaistuksessa on voimakkaasti lisääntymässä niiden valotehokkuuden kasvaessa ja värintoisto-ominaisuuksien parantuessa. LED-valoja on käytössä tällä hetkellä vähittäiskauppojen kylmä- ja pakkaskaapeissa (kuva 12), vitriineissä, ruoanvalmistustiloissa, työpöytävalaisimina, kaappien sisä- ja alusvaloina, upotettavina kattovalaisimina, hissi- ja porrasvaloina sekä korostus- ja taidevaloina (Gordon, 2008d).



Kuva 12. Oikealla loisteputkivalaistu ja vasemmalla LED-valaistu pakkaskaappi (Cimo, 2007)

## 2.3 Valon vaikutus maitotaloustuotteiden laatuun

### 2.3.1 Maidon koostumus

#### 2.3.1.1 Maidon ravintoaineet

Maidon keskimääräinen rasvapitoisuus on noin 4,2 %. Maidon rasva on pääasiassa triglyseridejä, joita on noin 970–980 g/kg. Loput rasvoista koostuvat lähinnä diglyserideistä, monoglyserideistä, kolesterolista, kolesteroliestereistä, vapaista rasvahapoista ja fosfolipideistä (Huh-tanen ym., 1998). Rasva esiintyy maidossa yleensä monimutkaisena rakenteena. Pallomaiset rasvapisarat, jotka ovat halkaisijaltaan 0,1–12 µm, ovat pääosin fosfolipideistä muodostuneen kaksoiskalvorakenteen ympäröiminä.

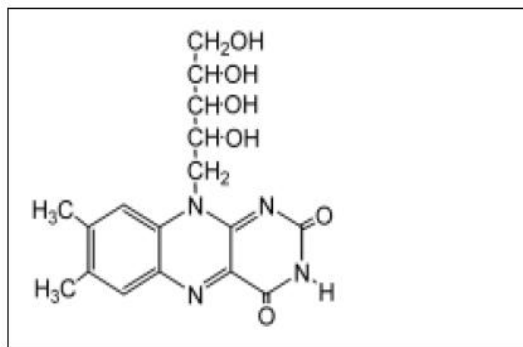
Maidon keskimääräinen proteiinipitoisuus on 3–3,5 %. Maidon sisältämät proteiinit voidaan jakaa kahteen ryhmään: kaseiineihin ja heraproteiineihin. Kaseiineja on noin 80 % ja heraproteiineja noin 20 %. Kaseiinien kolme päätyyppiä maidossa ovat alfa-, beeta- ja kappakaseiini. Kaseiini muodostaa alfa-, beeta- ja kappakaseiinista kalsiumfosfaattisidosten avulla pallonmuotoisia komplekseja, joita kutsutaan kaseiinimiselleiksi (Fennema, 1996).

Maidon pääasiallinen hiilihydraatti on laktoosi, jota on maidossa 4,6–4,9 %. Laktoosin makeus on noin 1/5 sakkaroosin makeudesta. Laktoosia on vain maidossa ja se vaikuttaa osaltaan maidon ominaismakuun (Fennema, 1996). Maito sisältää kivennäisaineita keskimäärin 0,7 %, ja se on hyvä kalsiumin ja D-vitamiinin lähde. Kivennäisaineet voivat esiintyä maidossa ioneina, liuoksissa olevina ioniyhdisteinä tai proteiineihin sitoutuneina ioniyhdisteinä (Fennema, 1996).

#### 2.3.1.2 Maidon valolle herkät komponentit

Riboflaviini on aktiivisin valoherkistin maitotaloustuotteissa (kuva 13). Kun riboflaviinia altistetaan UV-säteilylle tai näkyvälle valolle 500 nm:iin saakka, se voi aloittaa foto-oksidation (Wold, 2006). Wold ym. (2005, 2006a, 2006b) havaitsivat tutkimuksissaan, että maidossa esiintyy lisäksi porfyriineja ja klorofyllejä, jotka ovat erittäin herkkiä valolle ja toimivat myös valoherkistiminä. Näitä valoherkistiminä toimivia rengasrakenteisia väriaineita ovat protopor-

fyriini, hematoporfyrini, klorofylli a ja klorofylli b (Wold, 2005). Valoherkistimet absorboivat näkyvää valoa, koska niiden rakenteessa on konjugoituneita kaksoissidoksia (Bradley ja Min, 1992).



Kuva 13. Riboflaviinin rakenne (Choe ym., 2005)

### 2.3.1.3 Maidon laatuun eniten vaikuttavat valon ominaisuudet

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että maidolle haitallisien valon aallonpituusalue on 400–500 nm (Bosset ym., 1993). Tämä johtuu siitä, että valon aiheuttaman foto-oksidation on todettu olevan voimakkainta kyseisellä aallonpituusalueella. Valon spektrijakauma vaikuttaa valoherkistimien absorptio-ominaisuuksiin, koska ne absorboivat valoa ja aktivoituvat vain tietyillä aallonpituusalueilla (Bradley ja Min, 1992; Wold, 2006). Riboflaviini on aktiivinen UV-valon, violetin ja sinisen valon alueella noin 500 nm:iin saakka (Wold, 2006). Riboflaviinin absorptiomaksimi on 450 nm:n kohdalla (Choe ym., 2005). Klorofyllit ovat aktiivisia samoilla alueilla kuin riboflaviini, mutta näiden lisäksi myös punaisen valon alueella. Porfyriniit absorboivat valoa eniten UV-valon, 400–410 nm:n ja 580–650 nm:n aallonpituusalueilla (Afonso ym., 1999; Wold, 2006). Klorofyllit ja porfyriinit näyttäisivät absorboivan valoa myös vihreän ja keltaisen valon alueella, mutta huomattavasti vähemmän kuin muilla aallonpituusalueilla (Wold, 2006).

Bossetin ym. (1993) mukaan värilämpötilaltaan kylmä valo, joka sisältää violetta ja sinistä valoa, on maitotuotteille haitallisempaa kuin lämmin valo, joka sisältää keltaista, oranssia ja punaista valoa. Wold ym. (2006a) totesivat myös punaisen, oranssin ja keltaisen valon aiheuttavan aistinvaraisia laatumuutoksia juustossa, koska maidossa esiintyvät erittäin valoherkät porfyriinit ja klorofyllit absorboivat valoa ja aktivoituvat näillä valon aallonpituuksilla. Tämä tutkimus muutti pitkään vallalla ollutta käsitystä siitä, että värilämpötilaltaan kylmä, eli violetin ja sinisen valon aallonpituuksia sisältävä, valo olisi maitotuotteiden laatumuutosten pääasiallinen aiheuttaja.



Valoaltistettuun voihin virhemakuja muodostui eniten violetissa valossa, toiseksi eniten punaisessa ja vähiten vihreässä valossa (Wold ym., 2006b). Woldin (2006b) tutkimuksessa selvitettiin myös riboflaviinien, porfyriinien ja klorofyllien hajoamista erivärisissä valoissa. Violetissa valossa kaikkien valoherkistimien määrä pieneni huomattavasti ja protoporfyyriini tuhoutui melkein kokonaan. Punainen valo ei vaikuttanut juurikaan riboflaviinin määrään, kun taas klorofyllien ja porfyriinien määrä putosi selvästi. Vihreä valo pienensi myös kaikkien valoherkistimien määrää, mutta huomattavasti hitaammin kuin violetti ja punainen valo. Tulokset ovat linjassa molekyylien absorptio-ominaisuuksien kanssa; riboflaviini ei absorboi punaista valoa ja klorofyllit ja porfyriinit absorboivat valoa kaikilla näkyvän valon aallonpituuksilla. Hansenin ym. (1975) tutkimuksessa valkoinen loisteputkivalo oli haitallisin maidon virhemakujen muodostumisen kannalta. Vaaleanpunainen valo hidasti hapettumisprosessia, mutta kaikkein parhaimman suojan virhemakujen muodostumista vastaan antoi vihreä valo.

Valonlähde, valon aallonpituus, valoaltistuksen kesto ja valaistusvoimakkuus ovat valon ominaisuuksia, jotka vaikuttavat maidossa tapahtuviin laatumuutoksiin (Lennersten, 1995). Maidon pakkauksessa jo 3–5 %:n valonläpäisevyys saattaa riittää aiheuttamaan tuotteeseen aistinvaraisesti havaittavia laatumuutoksia (Helén ym., 2008).

### 2.3.2 Valon vaikutus eri maitotaloustuotteisiin

#### 2.3.2.1 Valon aiheuttamat reaktiot

Valon aiheuttamat hapettumisprosessit saavat maitotaloustuotteissa aikaan virhemakuja ja -hajuja, värimuutoksia sekä ravintoaineiden tuhoutumista (Bekbölet, 1990; Skibsted, 2000; Becker ym., 2003). Lipidien hapettuminen UV-valon ja näkyvän valon aiheuttamana tapahtuu joko fotolyyttisenä auto-oksidaationa tai valoherkistettynä hapettumisena (Wold, 2006). Fotolyttinen auto-oksidaatio tapahtuu UV-valon vaikutuksesta ja siinä syntyy vapaita radikaaleja. Valoherkistetty hapettuminen tapahtuu näkyvän valon vaikutuksesta ja valoherkistimen läsnä ollessa. Maitotaloustuotteissa proteiinien hapettuminen tapahtuu pääasiassa aminohappojen hapettumisena. Herkimmin aminohapoista hapettuu metioniini, jonka rikkihappo- ja metanoli-ryhmien lopputuotteet aiheuttavat valon makua maitopohjaisissa elintarvikkeissa (Choe, 2005).

Valoherkistetty hapettuminen eli foto-oksidaatio tapahtuu valoherkistimien läsnä ollessa. Nämä yhdisteet absorboivat UV-säteilyä tai näkyvää valoa, jolloin niiden elektronit virittyvät.

Virittyneessä tilassa olevat yhdisteet aiheuttavat hapettumisen joko tyypin I tai tyypin II fotokemiallisen reaktion kautta (Wold, 2006). Tyypin I reaktiot etenevät vapaa radikaali -mekanismilla, jossa normaalisti valoherkistin itse hajoaa. Tyypin II reaktioissa valoherkistin reagoi hapen kanssa muodostaen hyvin reaktiivista singlettihapetta, mutta ei hajoa itse tässä reaktiossa. Muodostunut singlettihappi voi tosin reagoida herkistimen kanssa, jolloin se hajoaa. Tyypin I ja II reaktiot voivat tapahtua samanaikaisesti, mutta matalissa happipitoisuuksissa tyypin I reaktiot tapahtuvat tehokkaammin.

### 2.3.2.2 Nestemäiset maitotuotteet

Nestemäiset maitotuotteet ovat hyvin herkkiä valon aiheuttamalle hapettumiselle, koska ne sisältävät runsaasti riboflaviinia sekä muita valoherkistimiä, kuten klorofyllejä ja porfyriineja (Wold ym., 2005, 2006a, 2006b). Valoa absorboidessaan herkistimet siirtyvät energiarikkaaseen tilaan ja luovuttavat tämän energian joko hapelle virittäen sen erittäin reaktiiviseen muotoon, tai suoraan elintarvikkeiden komponenteille. Hapen reaktiivisia muotoja ovat esimerkiksi superoksidianioni, hydroksyyli-radikaalit, vetyperoksidi ja singlettihappi, jotka voivat aiheuttaa niin ravintoaineiden tuhoutumista kuin virhemakujen muodostumista (Choe ym., 2005).

Valoaltistuksen aiheuttamat virhemaut syntyvät kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisenä syntyy nk. valon maku, joka on seurausta proteiinien aminohappojen hajoamisesta, pääasiassa metioniinin muuttumisesta metionaaliksi, ja siitä edelleen dimetyylidisulfidiksi (Moysiadi ym., 2004; Mestdagh ym., 2005). Syntyvää makua kuvaillaan termeillä palanut, kaalimainen ja sienimäinen maku. Toisessa vaiheessa syntyvät lipidien hapettumisesta aiheutuvat virhemaut. Hapettunutta makua kuvataan termein paperinen, pahvinen, metallinen tai öljyinen maku (Moysiadi ym., 2004; Karatapanis ym., 2006). Proteiinien hajoamisessa ja lipidien hapettumisessa syntyneet virhemaut ovat voimakkaita ja niiden ärsytyskynnys on hyvin matala (Mestdagh ym., 2005).

Virhemakujen muodostumisen ohella valoaltistus saa aikaan vitamiinitappioita A-, B<sub>2</sub>-eli riboflaviinin ja C-vitamiinin kohdalla (Lennersten, 1995). Valoaltistus aiheuttaa maidossa myös värimuutoksia. Iskukuumennetun maidon värin keltaisuus väheni ja punaisuus lisääntyi valoaltistuksen seurauksena (Mestdagh ym., 2005). Keltaisuuden vähenemiseen vaikutti mahdollisesti riboflaviinin, β-karoteenin ja A-vitamiinin hajoaminen. Punaisuuden lisääntymiseen saattoi taas vaikuttaa tyrosiinin ja tryptofaanin hajoaminen.

### 2.3.2.3 Juusto

Juusto on herkkä valon aiheuttamalle hapettumiselle etenkin silloin, kun se pakataan valoa läpäiseviin pakkauksiin. Hapettumisprosessit aiheuttavat virhemakuja, värimuutoksia, ravintoainehäviöitä ja myrkyllisiksi epäiltyjen yhdisteiden muodostumista (Skibsted, 2000). Riboflaviinin on pitkään tiedetty olevan maitotuotteiden hapettumisen aiheuttaja valoaltistuksen aikana, mutta Woldin ym. (2006b) tutkimuksen mukaan myös klorofyllit ja porfyriinit voivat aiheuttaa lipidien hapettumista juustossa ja voissa.

Valoaltistus heikentää puolikovien ja kovien juustojen aistinvaraista hyväksyttävyyttä (Kristensen ym., 2000). Juustotyypistä riippuen aistinvaraiset laatumuutokset voivat alkaa jo 1–4 vuorokauden valoaltistuksen jälkeen. Valon aiheuttamat muutokset ovat sen verran selkeitä, että kuluttajaraati tai kouluttamatonkin raati pystyy ne havaitsemaan (Kristensen ym., 2000).

Valoaltistuksen aikana juustojen A- ja B<sub>2</sub>-vitamiinin eli riboflaviinin pitoisuuksien on havaittu pienenevän (Kristensen ym., 2000). Lisäksi on havaittu, että β-karoteeni, C-, B<sub>6</sub>-, B<sub>12</sub>- ja D-vitamiini sekä foolihappo ja tokoferolit voivat tuhoutua joko suoraan valon vaikutuksesta tai reagoidessaan hapen aktiivisten muotojen kanssa. Valoaltistus saa aikaan myös juuston värin vaalenemista (Kristensen ym., 2000).

Valoaltistuksen aikana juuston sisältämä kolesteroli voi hapettua muodostaen myrkyllistä oksisterolia (Kristensen ym., 2001).

### 2.3.2.4 Jogurtti

Valoaltistuksen aikana jogurtin heksanaali-, heptanaali- ja oktanaalipitoisuudet nousivat merkittävästi (Carrillo-Carrión ym., 2007). Lipidien sekundääristen hapettumistuotteiden pitoisuuden nousulla ja jogurtin virhemakujen muodostumisella oli havaittavissa selkeä positiivinen korrelaatio.

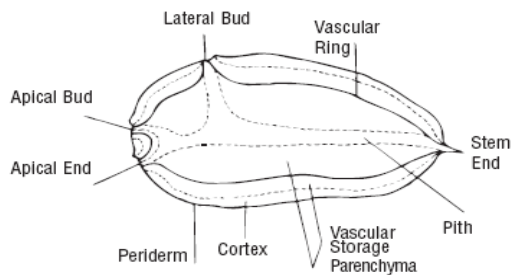
Valoaltistus aiheutti värimuutoksia maustamattomassa jogurtissa siten, että jogurtin väri muuttui punaisemmaksi ja samalla värin keltaisuus väheni (Bosset ym., 1986).

## 2.4 Valon vaikutus perunan laatuun

### 2.4.1 Perunan koostumus

#### 2.4.1.1 Perunan rakenne

Perunaa ympäröi kuori, jota kutsutaan peridermiksi. Peridermin alla on kuorikerros eli korteksi, joka on pienisoluisempaa ja tärkkelyspitoisempaa kuin perunan muu osa. Kuorikerroksen ja ytimen välissä on johtojännerengas (vascular ring), joka on yhteydessä perunan kuoreen pää- ja sivusilmujen kohdalta (apical ja lateral bud) (kuva 14) (Kari-Kärki, 1996). Perunasta noin neljännes on kuiva-ainetta ja loput kolme neljäsosaa vettä.



Kuva 14. Perunan rakenne (Kadam ym., 1991)

#### 2.4.1.2 Perunan ravintoaineet

Pääosa perunan hiilihydraateista on tärkkelystä, jonka pitoisuus on noin 12 % (Kari, 1998). Perunoiden sokeripitoisuus vaihtelee 0,8–1,6 %:n välillä (Rahkonen ja Kari, 2000). Proteiineja ja rasvoja peruna sisältää vähän. Proteiinipitoisuus on keskimäärin 1,6 % ja rasvapitoisuus 0,1 % (Anon5, 2008).

Perunoiden C-vitamiinipitoisuus on noston jälkeen noin 30 mg/100 g (Kadam ym., 1991). Varastoinnin aikana C-vitamiinipitoisuus laskee melko nopeasti ja vakiintuu noin 10 mg/100 g tasolle (Yli-Halla ym., 1987). Muiden vitamiinien keskimääräiset pitoisuudet ovat hyvin pieniä. Peruna on myös hyvä kaliumin, fosforin, magnesiumin ja raudan lähteenä (Kari, 1998).

### 2.4.1.3 Luonnolliset toksiinit

Perunalla on luontainen kyky tuottaa toksisia eli ihmiselle myrkyllisiä yhdisteitä, glykoalkaloideja. Se on perunan keino suojautua ulkopuolelta tulevia uhkia, kuten tauteja ja tuholaisia, vastaan. Glykoalkaloideja on runsaasti perunan lehdissä ja varsissa, mutta suhteellisen vähän itse mukulassa. Perunan glykoalkaloideista suurin osa koostuu  $\alpha$ -solaniinista ja  $\alpha$ -kakoniinista. Glykoalkaloidien määrään perunassa vaikuttavat lajike, kasvupaikka ja ilmasto, lannoitus, tuleentuminen, varastointi, valoaltistuksen määrä, mekaaninen vioittuminen ja prosessointi (Vorne, 2001).

Glykoalkaloideista  $\alpha$ -kakoniinin on todettu olevan ihmiselle myrkyllisempi kuin  $\alpha$ -solaniinin (Mustonen ja Kumpulainen, 1990). Myrkytysoireina voivat olla ripuli, mahakouristukset, kuume ja verenpaineen aleneminen. Glykoalkaloidit vaikuttavat myös perunan makuun. Peruna maistuu karvaalta, kun glykoalkaloidipitoisuus on suurempi kuin 140 mg/kg tuorepainoa kohden ja polttavalta, kun pitoisuus on suurempi kuin 220 mg/kg tuorepainoa kohden. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksessa (237/2002) perunan glykoalkaloidien korkeimmaksi sallituksi pitoisuudeksi on asetettu 200 mg/kg.

Peruna on suuren kulutuksen vuoksi suurin glykoalkaloidien lähde suomalaisten ruokavaliossa. Keskimääräinen glykoalkaloidien saanti on 13 mg/henkilö/vuorokausi (Blomberg ja Hallikainen, 2000). Perunan glykoalkaloidit eivät tuhoudu kuumennettaessa, vaan kuorinta on ainoa keino glykoalkaloidien saannin vähentämiseen, koska suurin osa glykoalkaloideista sijaitsee heti kuorikerroksen alapuolella. Lapsiperheille suositellaankin perunoiden kuorimista ennen keittämistä (Kari, 2000).

Varhaisperunassa glykoalkaloidien määrä nousee helposti korkeaksi ja voi jopa ylittää KTM:n asettaman raja-arvon. Glykoalkaloidien suureen määrään varhaisperunassa vaikuttaa pieni koko, mekaaniset vioitukset sekä altistuminen valolle (Mustonen ja Kumpulainen, 1990).

Toinen perunassa esiintyvä luonnollinen toksiini on nitraatti, joka kuuluu luonnollisena osana kasvin aineenvaihduntaan. Ihmiselle nitraatti on kuitenkin haitallista, koska se voi muuttua elimistössä nitriitiksi. Nitriitti voi edelleen vaikuttaa methemoglobiinin tai N-nitrosoyhdisteiden muodostumiseen, jotka ovat terveydelle haitallisia yhdisteitä (Koponen, 1999). Perunasta saadaan nitraatteja vajaa 10 mg/henkilö/vuorokausi, mikä on 15 % nitraatin kokonaissaannista (Blomberg, 1998). Perunasta saatu nitraatin määrä on noin 5 % ADI-

arvosta (Blomberg ja Hallikainen, 2000). Suurin osa nitraatista sijaitsee perunan kuorikerroksessa, joten kuorinnalla voidaan vähentää nitraattienkin saantia.

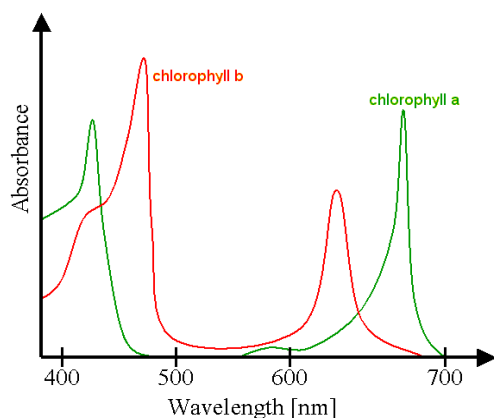
#### 2.4.1.4 Perunan valolle herkät komponentit

Perunan valoherkkiä komponentteja ovat kuorikerroksen alla sijaitsevat kloroplastit, joissa muodostuu vihertymisen aiheuttavat väripigmentit eli klorofyllit. Klorofyllit ja niiden esiasteet ovat erittäin tehokkaita fotoreseptoreita, koska niiden rakenteessa on vuorotellen yksinkertaisia kovalenttisia sidoksia ja kaksoissidoksia (Berg ym., 2006).

Tärkkelystä varastoivat amyloplastit muuttuvat valon vaikutuksesta kloroplasteiksi, jotka tuottavat klorofyllejä (Zhu ym., 1984). Kloroplastit sijaitsevat heti peridermin alla olevassa korteksissa, johon myös fotosynteesissä syntyvät klorofyllit kerääntyvät.

#### 2.4.1.5 Perunan laatuun eniten vaikuttavat valon ominaisuudet

Klorofyllit a ja b absorboivat näkyvää valoa, eniten sinisen (430–475 nm) ja punaisen (640–700 nm) valon aallonpituusalueilla (Heldt, 1997). Klorofyllien absorptiospektristä nähdään, että vihreän valon aallonpituudella (n. 500–600 nm) absorptio on vähäistä (kuva 15). Valon voimakkuus ja valoaltistuksen kesto vaikuttavat merkittävästi valon aiheuttamiin laatu muutoksiin.



Kuva 15. Klorofylli a:n ja b:n absorptiospektrit (Stryer, 1995)

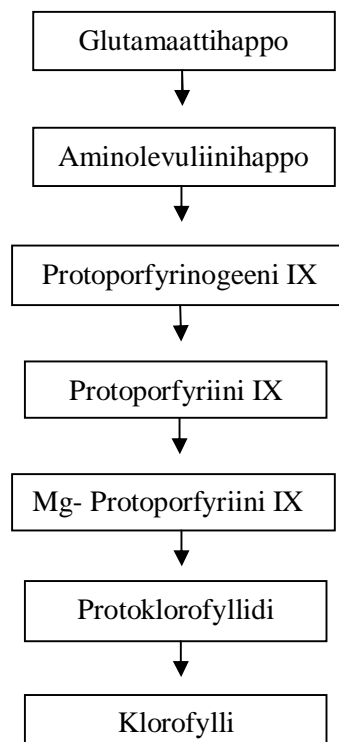
Valkoisen loisteputkivalon on todettu aiheuttavan eniten perunoiden vihertymistä (Nema ym., 2008). Valkoisen valon jälkeen haitallisimpia olivat punainen ja sininen valo. Vähiten perunoiden vihertymistä aiheutti vihreä valo.

## 2.4.2 Valon vaikutus perunaan

### 2.4.2.1 Ulkonäössä tapahtuvat muutokset

Valolle altistuneissa perunoissa klorofyllien muodostuminen ja kerääntyminen lähelle peridermiä muuttavat perunan pinnan vihertäväksi. Klorofyllien muodostuminen ja perunan vihertyminen ovat kumulatiivinen prosessi (Zhu ym., 1984). Mitä kauemmin ja voimakkaammalle valolle peruna altistuu, sitä enemmän klorofyllejä muodostuu ja sitä vihreämmäksi peruna kauttaaltaan muuttuu.

Klorofyllin biosynteesireitti on monivaiheinen ja sen ensimmäisessä vaiheessa glutamaattihappo muuttuu aminolevuliinihapoksi (kuva 16) (Heldt, 1997). Usean vaiheen reaktiossa muodostuu neljä syklistä rengasta eli klorofylleille tyypillinen tetrapyrrolirakenne. Klorofyllien muodostumisessa tarvitaan valoa, jotta protoporfyrinogeeni IX:stä muodostuu fotokemiallisen reaktion kautta protoporfyriini IX. Tämän jälkeen kloroplastin entsyymit lisäävät  $Mg^{2+}$ -ionin tetrapyrrolirakenteen keskelle, joka aloittaa varsinaisen klorofylli-biosynteesin. Valoa tarvitaan myös biosynteesireitin lopussa, jossa protoklorofyllidistä muodostuu klorofyllejä.

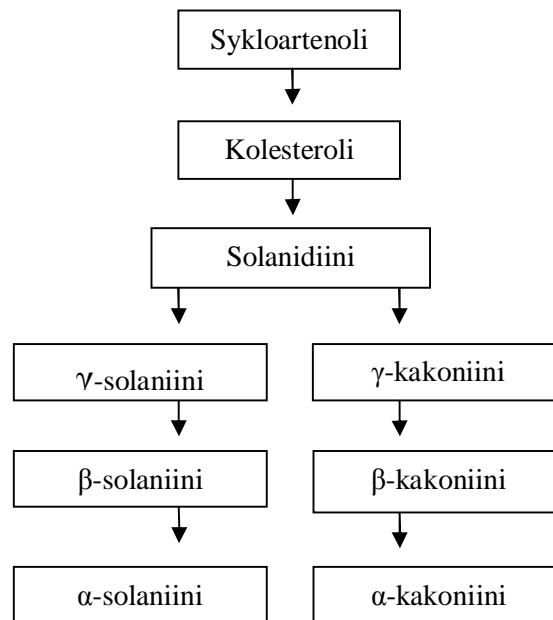


Kuva 16. Kaavio klorofyllin biosynteesistä

### 2.4.2.2 Haitallisten aineiden muodostuminen

Valolle altistuminen nostaa perunan glykoalkaloidipitoisuutta (Ahvenniemi, 2000). Aurin-  
gonvalo nostaa pitoisuutta keinovaloja (loisteputki, hehkulamppu) tehokkaammin. Glykoalka-  
loidien pitoisuus nousee valon vaikutuksesta lähinnä perunan pintakerroksissa.

Glykoalkaloidien biosynteesiä on tutkittu pitkään ja sen reitti on pääpiirteissään selvitetty  
(kuva 17) (Valkonen ym., 1996). Glykoalkaloidien biosynteesin alkuna pidetään yleistä ste-  
roidien biosynteesireittiä, jonka lopuksi sykloartenolista muodostuu kolesterolia. Toisessa  
vaiheessa kolesterolin hajotessa syntyy hydroksyloituneita steroleita ja solanidiinia. Viimei-  
sessä vaiheessa tapahtuu glykosylaatio, jossa solanidiiniin kiinnittyy entsyymiohjatusti gly-  
kaaneita ja muodostuu  $\alpha$ -muotoisia glykoalkaloideja.



Kuva 17. Kaavio  $\alpha$ -solaniinin ja  $\alpha$ -kakoniinin biosynteesistä

Perunan pinnan vaurioituminen nostaa glykoalkaloidipitoisuutta, etenkin vaurioituneen koh-  
dan välittömässä läheisyydessä (Ahvenniemi, 2000). Vaurioituneen perunan glykoalkaloidipi-  
toisuus nousee helpommin yli sallitun rajan, joten vaurioituneet perunat kannattaa poistaa heti  
sadonkorjuuvaiheessa.

Perunan glykoalkaloidipitoisuuteen vaikuttaa myös koko, tuleentuneisuus ja lajike (Ahven-  
niemi, 2000). Pienemmissä perunoissa pitoisuus on korkeampi kuin isoissa. Tähän vaikuttaa  
se, että pienissä perunoissa pintakerroksen osuus perunan koko massasta on suurempi. Tu-



leentumattomissa ja pienikokoisissa perunoissa on havaittu myös korkeampia glykoalkaloidipitoisuuksia. Tuleentumiseen vaikuttavat erilaiset kasvutekijät, kuten varsistonhävitys ja poikkeuksellisen kylmä sää. Myös perunalajikkeiden välillä on eroja glykoalkaloidipitoisuuksissa.

Valolle altistunutta, vihertynyttä perunaa pidetään perinteisesti syömäkelvottomana. Vihertymisen ja glykoalkaloidien muodostumisen ei ole kuitenkaan todettu olevan yhteydessä toisiinsa (Edwards ja Cobb, 1999). Tutkimuksissa lämpötilan on todettu vaikuttavan glykoalkaloidien muodostumiseen. Perunan vihreys kertoo siitä, että se on altistunut stressille (valo, lämpö, vaurioituminen) ja toimii siten hyvänä indikaattorina mahdollisesti lisääntyneelle glykoalkaloidipitoisuudelle (Korppas ym., 1989).

### 3 KOKEELLINEN TUTKIMUS

#### 3.1 Materiaalit ja menetelmät

##### 3.1.1 Maitokokeet

###### 3.1.1.1 Tutkimusmateriaali

Kokeellisessa tutkimuksessa käytettiin materiaalina 1,5 % rasvaa sisältävää kevytmaitoa 0,5 l:n pakkauksessa (Arla Ingman Oy Ab, valmistaja Hämeenlinnan Osuusmeijeri). Maitopakkaukset ostettiin Viikin Prismasta parasta ennen -päiväyksen mukaan niin, että ne olivat aina olleet saman ajan kaupan varastossa (liite 1). Maitopakkaukset otettiin hyllyn takareunasta, jotta ne olisivat altistuneet mahdollisimman vähän valolle ennen varsinaista tutkimusta. Maitopakkausten valonläpäisevyys mitattiin spektrofotometrillä (UV-VIS Recording Spectrophotometer, UV-2501 PC, Shimadzu), ja valonläpäisevyyskäyrä on esitetty liitteessä 1.

###### 3.1.1.2 Maitojen valoaltistus

Maidot altistettiin valolle kaupallisessa kartonkipakkauksessa Norpe Oy:n valmistamassa kylmäkaapissa +6 °C:ssa. Maitopakkaukset asetettiin kylmäkaapin hyllylle kyljelleen noin 30 cm:n etäisyydelle valonlähteistä (kuva 18). Kaikkien valonlähteiden valaistusvoimakkuus säädettiin luksimittarilla niin, että pakkauksen pinnalla voimakkuus oli noin 1000 luksia, joka on lähellä kauppojen yleisvalaistuksen voimakkuutta. Maitopakkauksia altistettiin valolle 12 ja 24 tunnin ajan.



Kuva 18. Maitopakkausten valoaltistus kylmäkaapissa

Koesarjoissa käytettiin kolmea valonlähdettä, joista loisteputkivalaistus oli kaikissa koesarjoissa sama (PET-kalvopäällysteinen Philips Master Secura TLD 36W/830). LED-valaistuksessa käytettiin kahta erilaista valolistaa (LED RGB-Lista 2x280, p/n CE082306 ja LED-valolista 4000K, p/n CE082201, SAVLED/Diranet Oy) ja yhteensä viittä erilaisen aallonpituusjakauman sisältävää valaistusta (taulukko 4). Kaikkien valonlähteiden aallonpituusjakaumat ja säteilytehot mitattiin valoanalysointilaitteella (X4 Light Analyzer), ja mittaustulokset ovat liitteessä 2.

Taulukko 4. Koesarjoissa käytetyt LED-valot ja niiden värit

| Koesarja | Valonlähde | Valon väri ja kuvissa käytetty lyhenne [...]                       |
|----------|------------|--|
| 1        | LED RGB    | Valkoinen (7200K); [ $\alpha$ ]                                    |
| 2        | LED        | Valkoinen (4000K); [ $\beta$ ]                                     |
| 3        | LED RGB    | Turkoosi (punaisen valon aallonpituusalue poistettu); [ $\Phi$ ]   |
| 4        | LED RGB    | Keltainen (sinisen valon aallonpituusalue poistettu); [ $\Omega$ ] |
| 5        | LED RGB    | Vihreä (punaisen ja sinisen valon aallonpituusalueet poistettu)    |

LED RGB -valolistan lähettämän valon aallonpituusjakaumaa säädeltiin ohjaimen (DDC-6, 6 CH DMX Dimmer controller) avulla niin, että valosta poistettiin tutkittaville tuotteille haitallisimpina pidettyjä aallonpituusalueita. Valoaltistusajat määritettiin esikokeiden ja aistinvaraisen raadin koulutustilaisuuden tulosten perusteella.

### 3.1.1.3 Maidonäytteiden aistinvarainen arviointi yleisellä kuvailevalla menetelmällä

Maidon aistinvaraisten laatumuutosten tutkimusmenetelmäksi valittiin yleinen kuvaileva menetelmä, koska se soveltuu hyvin tuotteiden varastoinnin aikana tapahtuvien muutosten määrittämiseen. Menetelmässä tavoitteena on löytää tuotteista sellaisia ominaisuuksia, joissa löytyy selkeitä eroja tuotteiden välillä.

#### Esikokeet

Ennen varsinaisia koesarjoja tehtiin esikokeet, joiden avulla selvitettiin tutkittavalle maidolle sopiva rasvapitoisuus ja valoaltistusajat. Ensimmäisessä esikokeessa oli mukana 1, 1,5 ja 3,5 % rasvaa sisältävät maidot. Kokeessa huomattiin, että rasvapitoisuuden kasvu voimistaa maidon virhemakua. Voimakkain virhemaku oli 3,5 % rasvaa sisältävässä maidossa, mutta varsinaisiin koesarjoihin valittiin 1,5 % rasvaa sisältävä kevytmaito, koska virhemaku oli jo siinäkin selkeä ja sitä kulutetaan Suomessa eniten.

Toisessa esikokeessa selvitettiin tutkimukseen sopivat valoaltistusajat. Tarkoituksena oli löytää sellaiset altistusajat, joista lyhyemmän aikana maitoon kehittyisi proteiinien hajoamisesta johtuvia virhemakuja ja pidemmän aikana ehkä jo rasvan hapettumisesta aiheutuvia virhemakuja. Esikokeessa huomattiin, että jo neljän tunnin valoaltistuksen jälkeen maidon maussa pystyttiin havaitsemaan hyvin pieniä muutoksia. Kuuden tunnin valoaltistuksen jälkeen virhemaku oli hieman voimistunut, mutta ero neljän tunnin valoaltistuksen aiheuttamaan virhemakuun ei ollut kovinkaan suuri. Vuorokauden kestävän valoaltistuksen jälkeen virhemaku oli voimakas, kahden vuorokauden valoaltistuksen jälkeen erittäin voimakas. Esikokeen perusteella valoaltistusajoiksi aistinvaraisen raadin koulutustilaisuuteen valittiin 8, 16, 24 ja 48 tuntia, koska nämä ajat valolle altistettujen maitojen virhemaussa oli havaittavissa selkeitä eroja.

### Raadin koulutus

Aistinvarainen raati (n=11) koostui pääasiassa Helsingin yliopiston elintarviketeknologian laitoksen henkilökunnasta ja kahdesta opiskelijasta. Raadin vetäjänä toimi tutkimuksen tekijä. Suurin osa raadin jäsenistä oli melko kokeneita arvioijia. Koulutilaisuudessa raadilla oli arvioitavana 8, 16, 24 ja 48 tuntia valkoisella LED RGB -valolla 1000 luksin valaistusvoimakkuudella valotettuja näytteitä. Aluksi raadin jäsenet arvioivat maitonäytteitä itsenäisesti ja kirjoittivat ylös näytteiden hajua ja makua kuvailevia ominaisuuksia. Raadilla oli käytettävissä sanalista, johon oli koottu sanoja, joita yleisesti käytetään kuvaamaan valon aiheuttamia virrehajua ja -makuja (liite 3). Itsenäisen työskentelyn jälkeen raati keskusteli löytämistään ominaisuuksista näyte kerrallaan. Raadin vetäjä kirjasi kuvailevat sanat ylös (taulukko 5).

Taulukko 5. Aistinvaraisen raadin valitsevat kuvailevat sanat valoaltistetuille maitonäytteille

| Valoaltistusaika (h) | Kuvailevat termit                                      |
|----------------------|--|
| 8                    | keitetyn maidon maku ja haju, lievästi makea           |
| 16                   | keitetyn maidon maku ja haju, makea, heikko pistävyys  |
| 24                   | pistävä haju ja maku, metallimainen, hapan, öljymainen |
| 48                   | pistävä haju ja maku, pahvinen, paperinen, eltaantunut |

Raati löysi selkeitä eroja alle ja yli 24 tuntia valoaltistetuille näytteille. 8 ja 16 tunnin valoaltistuksen jälkeen näytteistä löytyi keitetyn maidon makua ja hajua, jota pidetään proteiinien hajoamisesta aiheutuvana virrehajuna ja -makuna. Alle 24 tuntia valoaltistuksessa olleet näytteet olivat raadin mielestä myös selkeästi yli 24 tuntia valoaltistettuja näytteitä makeampia. 24 ja 48 tunnin valoaltistuksen jälkeen näytteissä havaittiin pistävää hajua ja makua sekä muita yleensä rasvan hapettumisesta aiheutuvia virhemakuja, joita kuvattiin termeillä metallinen,

eltaantunut ja pahvinen. Seuraavaksi raadin jäsenet päättivät yhdessä, mitkä ominaisuudet kuvasivat parhaiten näytteiden välisiä eroja. Ominaisuudet valittiin niin, että kaikki raadin jäsenet pystyivät tunnistamaan ja arvioimaan kyseisiä ominaisuuksia. Ominaisuuksiksi valittiin keitetyn maidon haju ja maku, pistävä haju ja maku sekä makeus. Raati valitsi maitonäytteistä kyseisiä ominaisuuksia parhaiten kuvaavat vertailunäytteet, jotka toimivat samalla esimerkkeinä arvioinnissa käytettävän asteikon ääripäistä. Vertailunäytteiksi valittiin 16 ja 24 tuntia valoaltistetut näytteet. Varsinaisissa koesarjoissa käytettiin valoaltistusaikoina 12 ja 24 tuntia, koska haluttiin varmistaa, että näytteiden välillä on hajussa ja maussa selkeitä eroja. Tämä myös helpotti tutkimuksen käytännön järjestelyjä.

### Arvioinnin toteuttaminen

Ennen ensimmäistä arviointia raadin jäsenillä oli mahdollisuus vertailunäytteiden avulla palauttaa mieleen koulutustilaisuudessa yhdessä valitut ominaisuudet. Jokaisen arvioijan koesarjassa oli kaksi arviointia, joista toinen oli toistoarviointi. Ensimmäinen arviointi suoritettiin aamupäivällä ja toinen iltpäivällä.

Valoaltistetut maitopakkaukset siirrettiin pois valosta jääkaappiin (+6 °C) tuntia ennen arviointia ja annostelu arviointiastioihin aloitettiin puoli tuntia ennen arviointia. Arviointiastioina toimivat muovista valmistetut kannelliset näyteastiat, jotka koodattiin kolminumeroisin luvuin ja joiden esitysjärjestys satunnaistettiin (kuva 19). Annostelu tehtiin ilman valaistusta, jotta arvioitavat näytteet altistuisivat mahdollisimman vähän valolle pakkauksen avaamisen jälkeen. Arviointiastiat suljettiin kannella heti annostelun jälkeen, jotta näytteistä haihtuvat yhdisteet ehtisivät konsentroitua hajuarviointia varten. Arvioinnissa maitonäytettä oli 40 ml arvioijaa kohden, ja tarjoilulämpötila pidettiin samana jokaisessa arvioinnissa, noin 10–12 °C:ssa.



Kuva 19. Maitonäytteiden esittäminen aistinvaraisessa arvioinnissa

Arvioinnissa raati arvioi viiden yhdessä valitun ominaisuuden voimakkuutta (keitetyn maidon haju ja maku, pistävä haju ja maku, makeus) sekä näytteiden eroavuutta vertailunäytteen (R) mausta 9-portaisella päistään ankkuroidulla asteikolla (liite 4). Vertailunäytettä ei altistettu lainkaan valolle, mutta se oli muuten säilytetty samoissa olosuhteissa. Jokaisessa koesarjassa oli mukana toistonäyte, joka oli loisteputkivalolle 24 tuntia altistettu näyte.

#### 3.1.1.4 Arvioinnin tulosten käsittely

Aistinvaraisista arvioinneista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Toistettujen mittausten varianssianalyysin avulla ja Tukeyn testiä käyttäen selvitettiin, oliko maitonäytteiden arviointien keskiarvojen välillä tilastollisesti merkitseviä eroja. Tuloksia analysoitaessa keskityttiin tutkimaan, oliko valonlähteillä eroja virhemakujen ja -hajujen aiheuttajana 12 tunnin tai 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen.

#### 3.1.2 Perunoille suoritettut kokeet

##### 3.1.2.1 Tutkimusmateriaali

Kokeita varten ostettiin uutta perunaa (Karlsson JerkerPotatis, Ruotsi). Perunat ostettiin multaisina Heinon tukusta Sörnäisistä 15 kg:n laatikossa. Ennen valoaltistusta perunat pestiin kevyesti käsin niin, että multa ja muu irtolika lähti pois, mutta perunan kuori pysyi mahdollisimman vahingoittumattomana. Perunoiden annettiin kuivua yön yli valolta suojattuina kylmähuoneessa. Jokaisessa koesarjassa oli mukana kuusi perunaa.

##### 3.1.2.2 Perunoiden valoaltistus

Perunat altistettiin valolle läpinäkyvissä ja rei'itetyissä LDPE-pusseissa Norpe Oy:n valmistamassa kylmäkaapissa +18 °C:ssa (kuva 20). Perunoiden pakkaamiseen käytetyn LDPE-pussin valonläpäisevyys mitattiin spektrofotometrillä (UV-VIS Recording Spectrophotometer, UV-2501 PC, Shimadzu) ja valonläpäisevyyskäyrä on esitetty liitteessä 1. Perunapussit asetettiin kylmäkaapin hyllylle noin 30 cm:n etäisyydelle valonlähteistä. Kaikkien valonlähteiden valaistusvoimakkuus säädettiin luksimittaria apuna käyttäen niin, että pakkauksen pinnalla

valaistusvoimakkuus oli noin 1000 luksia, joka on lähellä kauppojen yleisvalaistuksen voimakkuutta. Perunoita altistettiin jatkuvalla valolle seitsemän vuorokauden ajan.



Kuva 20. Perunoiden valoaltistus

Koesarjoissa käytettiin kolmea eri valonlähdetä, joista yksi oli loisteputkivalaistus (PET-kalvopäällysteinen Philips Master Secura TLD 36W/830 ja kaksi LED-valolistaa (LED RGB-Lista 2x280, p/n CE082306 ja LED-valolista 4000K, p/n CE082201, SAVLED/Diranet Oy). Koesarjoissa käytettiin yhteensä viittä erilaisen aallonpituusjakauman sisältävää valoa (taulukko 6). Kaikkien valonlähteiden aallonpituusjakaumat ja säteilytehot mitattiin valoanalyysaattorilla (X4 Light Analyzer) ja mittaustulokset ovat liitteessä 2.

Taulukko 6. Koesarjoissa käytetyt valonlähteet ja niiden värit

| Koesarja | Valonlähde  | Valon väri  |
|----------|-------------|---|
| 1        | Loisteputki | Valkoinen (3000K)   |
| 2        | LED         | Valkoinen (4000K)   |
| 3        | LED RGB     | Vihreä (punaisen ja sinisen valon aallonpituusalueet poistettu) |
| 4        | LED RGB     | Turkoosi (punaisen valon aallonpituusalue poistettu)            |
| 5        | LED RGB     | Keltainen (sinisen valon aallonpituusalue poistettu)            |

LED RGB -valolistan lähettämän valon aallonpituusjakamaa säädeltiin ohjaimen (DDC-6, 6 CH DMX Dimmer controller) avulla niin, että siitä poistettiin perunalle haitallisimpina pidettyjä aallonpituusalueita, jotka ovat sinisen ja punaisen valon aallonpituusalueet. Valoaltistus-aika valittiin aikaisempien elintarviketeknologian laitoksella tehtyjen tutkimusten perusteella.

### 3.1.2.3 Värimuutoksen ja pintalämpötilan mittaaminen sekä valokuvaus

Perunan laatumuutoksia määritettäessä päätettiin keskittyä perunan vihertymiseen, koska se on perunalle tyypillinen laatuvirhe ja helposti myös tavallisen kuluttajan havaittavissa.

Perunoille tehtiin värimittaus spektrofotometrillä (Spectrophotometer CM-3600d, Konica Minolta) 0, 2, 5 ja 7 vuorokauden valoaltistuksen jälkeen. Mittaus tehtiin kuudesta eri kohdasta asettaen spektrofotometrin mittapää tiiviisti perunaan kiinni. Perunan pintaan tehtiin tussilla merkintä, jotta värimuutosmittaus osattiin tehdä aina samalta puolelta ja samoilta kohdista perunaa. Värimittauksessa keskityttiin värikoordinaatti  $a$ :han, joka kertoi perunoiden vihertymisestä. Se kuvaa väriä akselilla vihreästä (-50) punaiseen (+50), eli mitä pienempi  $a$ -arvo, sitä vihreämpi peruna on. Perunoiden värikoordinaatti  $a$ -arvon muutoksesta laskettiin värimuutosprosentti käyttäen kaavaa:

$$\Delta a = 1 - (a_7 / a_0) * 100$$

missä  $a_7$  on värikoordinaatti  $a$ :n arvo seitsemän vuorokauden valoaltistuksen jälkeen ja  $a_0$  koesarjan alkuarvo.

Perunoiden pintalämpötilan mittaus tehtiin lasersädelämpömittarilla (Raytek, Raynger) 2, 5 ja 7 vuorokauden valoaltistuksen jälkeen. Mittaus tehtiin kolmesta eri kohtaa aina samalta puolelta ja samoilta kohdista perunaa. Jokaisen koesarjan perunoista kolme valokuvattiin (Canon EOS 400D digital-järjestelmäkamera) 0, 2, 5 ja 7 vuorokauden valoaltistuksen jälkeen. Valokuvaus tehtiin vakiovalaistuksessa valokaapissa (valonlähde D65, Verivide). Seitsemän vuorokauden valoaltistuksen jälkeen perunat halkaistiin ja niiden leikkauspinta kuvattiin, jotta voitiin nähdä, oliko vihertyminen edennyt perunan sisäosaan. Jokaisen koesarjojen valokuvista valittiin edustavimmat kuvat kuvasarjoihin, joissa seurattiin perunoiden vihertymistä eri valonlähteiden alla.

### 3.1.2.4 Mittaustulosten käsittely

Perunoiden väriä ja pintalämpötilan mittauksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Kaksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Tukeyn testiä käyttäen selvitettiin, oliko perunoiden vihertymisessä tai pintalämpötiloissa tilastollisesti merkitseviä eroja eri valoaltistusajojen välillä ja käytettäessä eri valonlähteitä. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Tukeyn testiä käyttäen tutkittiin kunkin valoaltistusajan kohdalla, löytyikö perunoiden vihertymisessä tilastollisesti merkitseviä eroja käytettäessä eri valonlähteitä.

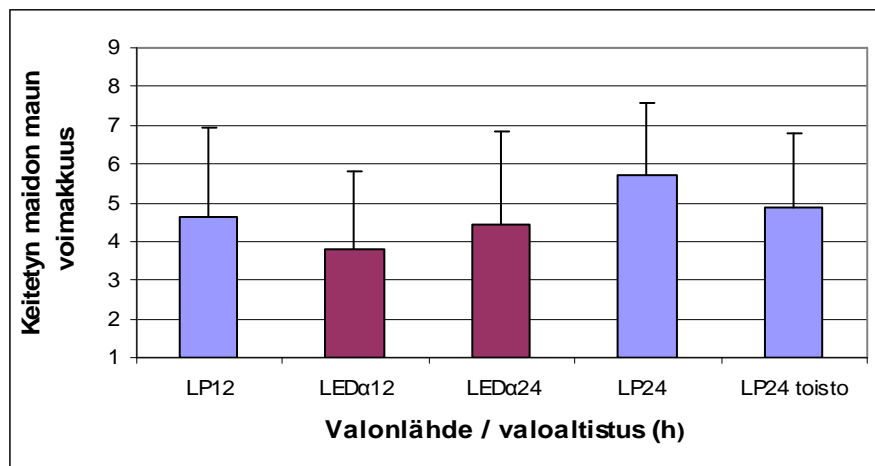


## 3.2 Tulokset

### 3.2.1 Maidon aistinvarainen arviointi

#### 3.2.1.1 Ensimmäinen koesarja

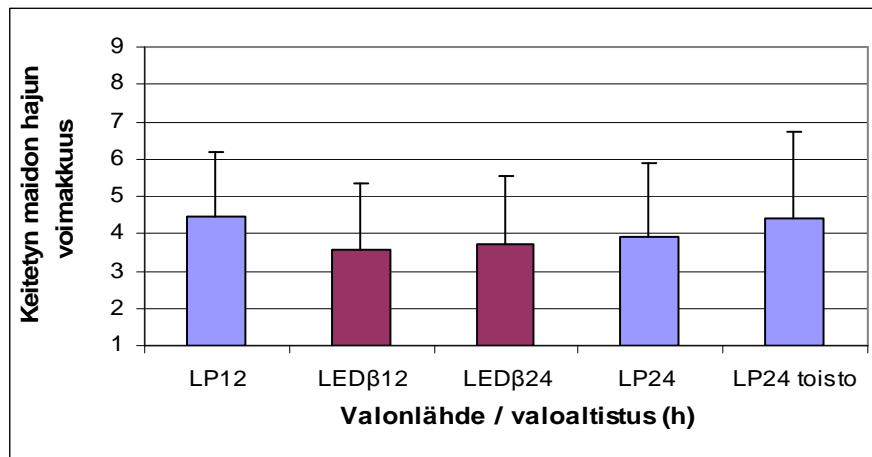
Ensimmäisen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo (3000K) ja valkoinen LED RGB -valo (7200K). Valonlähteiden vaikutusten välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero keitetyn maidon maun voimakkuudessa 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen [ $F(4,18)=3.81$ ;  $p<0,050$ ]. Loisteputkivalo aiheutti maitoon voimakkaamman keitetyn maidon maun kuin valkoinen LED RGB -valo (kuva 21). Arvioinnin tulokset on esitetty liitteessä 5A.



Kuva 21. Aistinvaraisten arviointien keskiarvot (n=22) keitetyn maidon maun voimakkuudessa 12 ja 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen (1=ei lainkaan, 9=erittäin voimakas, LP=loisteputki, LEDα=valkoinen LED RGB)

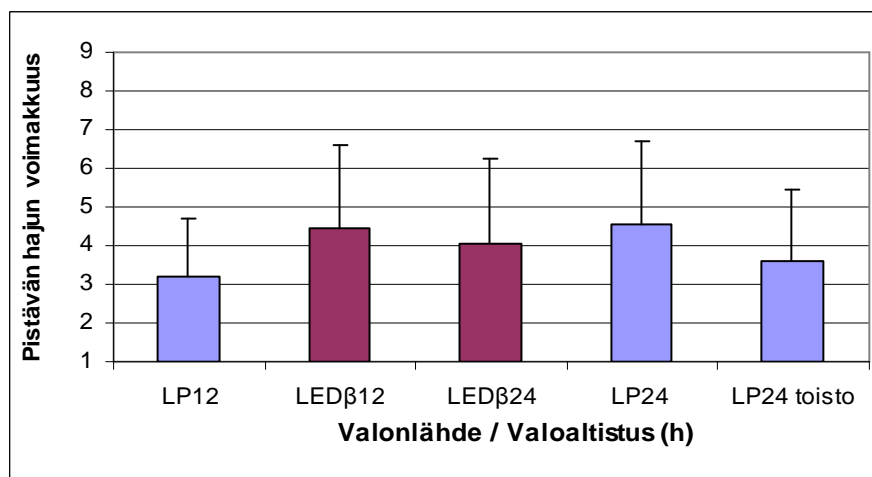
#### 3.2.1.2 Toinen koesarja

Toisen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo (3000K) ja valkoinen LED 4000K -valo. Valonlähteiden vaikutusten välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen keitetyn maidon hajun voimakkuudessa [ $F(4,18)=5.33$ ;  $p<0,05$ ]. Loisteputkivalo aiheutti maitoon voimakkaamman keitetyn maidon hajun kuin valkoinen LED 4000 K -valo (kuva 22).



Kuva 22. Aistinvaraisten arviointien keskiarvot (n=22) keitetyn maidon hajun voimakkuudessa 12 ja 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen (1=ei lainkaan, 9=erittäin voimakas, LP=loisteputki, LEDβ=LED 4000K)

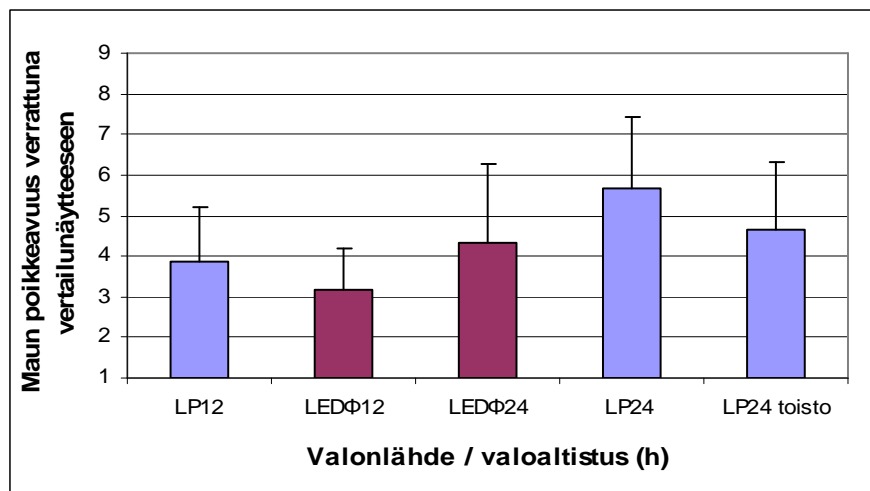
Varianssianalyysin mukaan valonlähteiden vaikutusten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja pistävän hajun voimakkuudessa valoaltistuksen jälkeen [ $F(4,18)=3.81$ ;  $p>0,05$ ]. Tukeyn testin mukaan valonlähteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $p<0,05$ ) pistävän hajun voimakkuudessa 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen. LED 4000K -valo aiheutti maitoon voimakkaamman pistävän hajun kuin valkoinen loisteputkivalo (kuva 23). Arvioinnin tulokset on esitetty liitteessä 5B.



Kuva 23. Aistinvaraisten arviointien keskiarvot (n=22) maidon pistävän hajun voimakkuudessa 12 ja 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen (1=ei lainkaan, 9=erittäin voimakas, LP=loisteputki, LEDβ=LED 4000K)

### 3.2.1.3 Kolmas koesarja

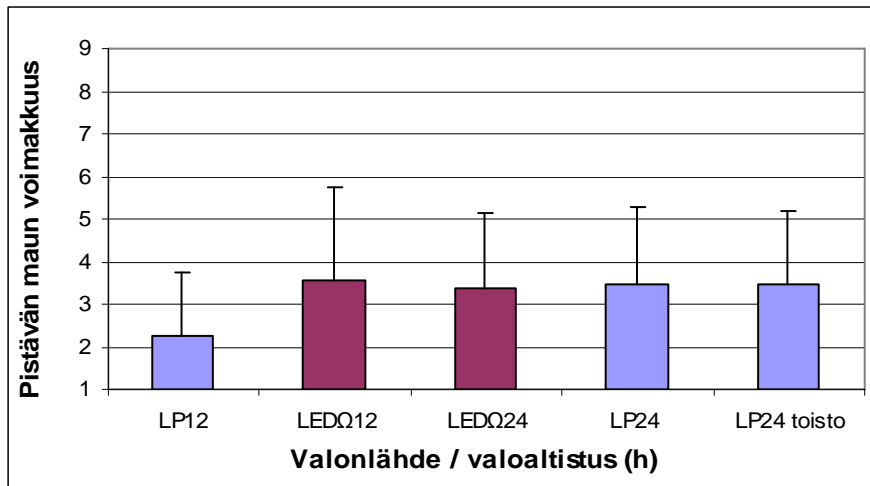
Kolmannen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja turkoosi LED RGB -valo. Valonlähteiden vaikutusten välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen maun poikkeavuudessa verrattuna vertailunäytteen makuun [ $F(4,18)=12.03$ ;  $p<0,05$ ]. Loisteputkivalon aiheuttama poikkeava maku oli voimakkaampi kuin turkoosi LED RGB -valon aiheuttama poikkeava maku (kuva 24). Arvioinnin tulokset on esitetty liitteessä 5C.



Kuva 24. Aistinvaraisten arviointien keskiarvot (n=22) maidon maun poikkeavuudessa verrattuna vertailunäytteeseen 12 ja 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen (1=ei lainkaan, 9=erittäin voimakas, LP=loisteputki, LEDΦ=turkoosi LED RGB)

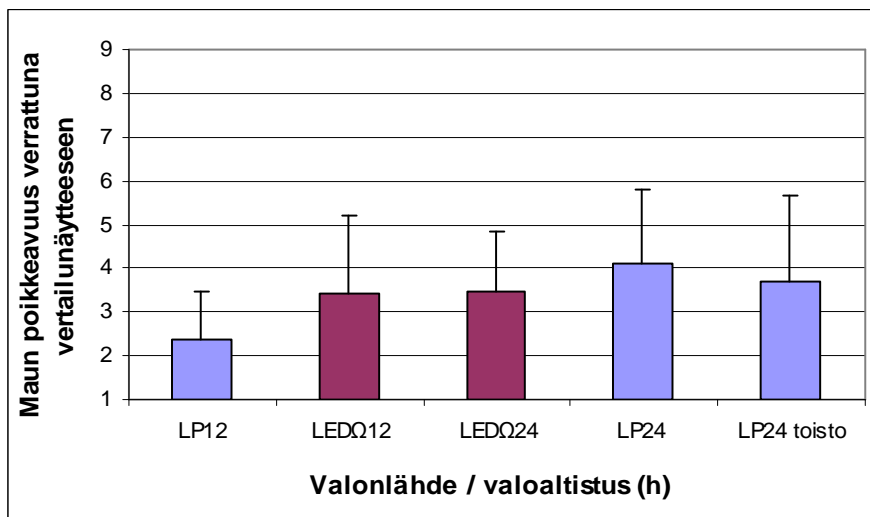
### 3.2.1.4 Neljäs koesarja

Neljännän koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja keltainen LED RGB -valo. Varianssianalyysin mukaan valonlähteiden vaikutusten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja pistävän maun voimakkuudessa 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen [ $F(4,18)=1,85$ ;  $p>0,05$ ]. Tukeyn testin mukaan valonlähteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $p<0,05$ ) maitoon syntyneen pistävän maun voimakkuudessa 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen. Keltainen LED RGB -valo aiheutti maitoon voimakkaamman pistävän maun kuin valkoinen loisteputkivalo (kuva 25).



Kuva 25. Aistinvaraisten arviointien keskiarvot (n=22) maidon pistävän maun voimakkuudessa 12 ja 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen (1=ei lainkaan, 9=erittäin voimakas, LP=loisteputki, LEDΩ=keltainen LED RGB)

Valonlähteiden vaikutusten välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen maun poikkeavuudessa verrattuna vertailunäytteen makuun [ $F(4,18)=7.97$ ;  $p<0,05$ ]. Keltainen LED RGB -valo aiheutti maitoon voimakkaamman poikkeavan maun verrattuna vertailunäytteeseen kuin valkoinen loisteputkivalo (kuva 26). Arvioinnin tulokset on esitetty liitteessä 5D.



Kuva 26. Aistinvaraisten arviointien keskiarvot (n=22) maidon maun poikkeavuudessa verrattuna vertailunäytteeseen 12 ja 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen (1=ei lainkaan, 9=erittäin voimakas, LP=loisteputki, LEDΩ=keltainen LED RGB)

### 3.2.1.5 Viides koesarja

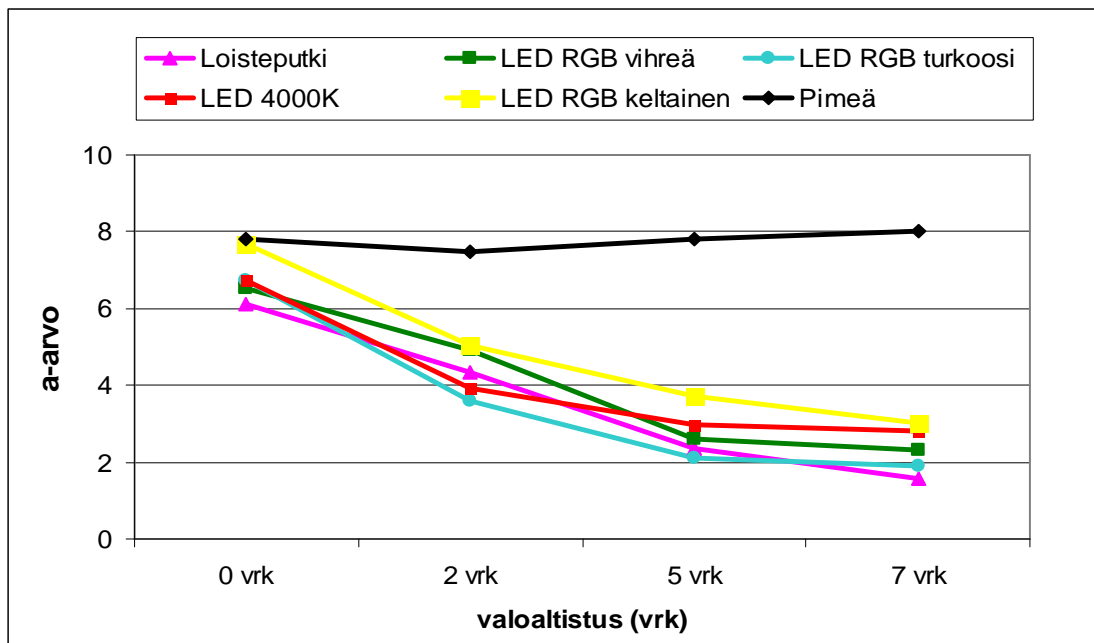
Viidennen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja vihreä LED RGB -valo. Valonlähteiden vaikutusten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja arvioituissa ominaisuuksissa 12 tai 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen. Arvioinnin tulokset on esitetty liitteessä 5E.

### 3.2.2 Perunan värinmuutoksen ja pintalämpötilan mittaus sekä valokuvaus

#### 3.2.2.1 Spektrofotometrisesti mitattu värinmuutos

Perunat vihertyivät kaikissa valaistusolosuhteissa lähes samalla tavalla (kuva 27). Valonlähteistä ainoastaan LED RGB keltainen -valo erosi tilastollisesti merkitsevästi muista valonlähteistä [ $F(4,100)=9.538$ ;  $p<0,05$ ]. Värikoordinaatti a -arvon muutoksesta valoaltistuksen aikana laskettiin muutosprosentti, joka kertoi perunoiden vihertymisestä eri valaistuksissa. Näin mitattuna perunoiden vihertymisjärjestys pienimmästä suurimpaan eri valonlähteiden alla oli: LED 4000K (58 %), keltainen LED RGB (61 %), vihreä LED RGB (65 %), turkoosi LED RGB (72 %) ja loisteputki (75 %). Samoissa olosuhteissa pimeässä säilytetty peruna ei vihertynyt lainkaan. Perunoiden värinmittaustulokset ja a-arvon muutosprosentit on esitetty liitteessä 6.

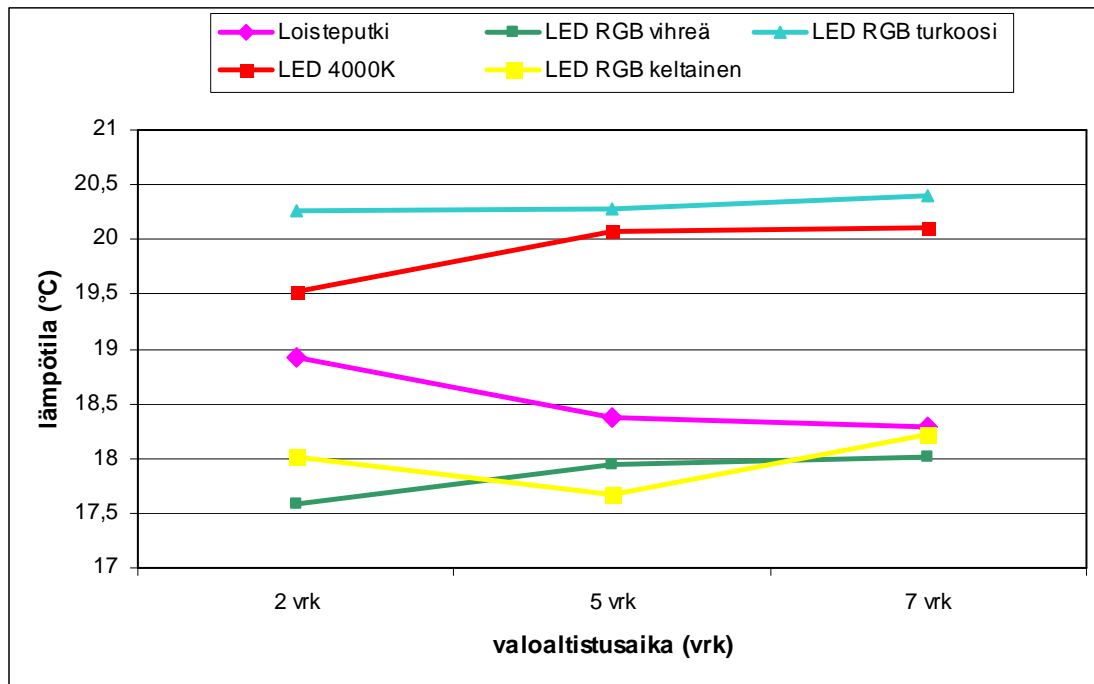
Kaksi vuorokautta valoaltistettujen perunoiden a-arvo erosi tilastollisesti merkitsevästi viisi ja seitsemän vuorokautta valoaltistettujen perunoiden a-arvosta [ $F(3,100)=174.811$ ;  $p<0,05$ ]. Viisi ja seitsemän vuorokautta valoaltistettujen perunoiden a-arvot eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Tutkittaessa perunoiden vihertymistä kunkin valoaltistusajan kohdalla havaittiin, että ainoa tilastollisesti merkitsevä ero oli viisi vuorokautta keltaisen LED RGB- ja turkoosin LED RGB -valon alla valoaltistettujen perunoiden vihertymisen välillä [ $F(4,25)=3.465$ ;  $p<0,05$ ].



Kuva 27. Perunan värin a-arvon muutos 7 vuorokauden valoaltistuksen aikana eri valonlähteiden alla +18 °C:n varastointilämpötilassa

### 3.2.2.2 Pintalämpötilan muutos

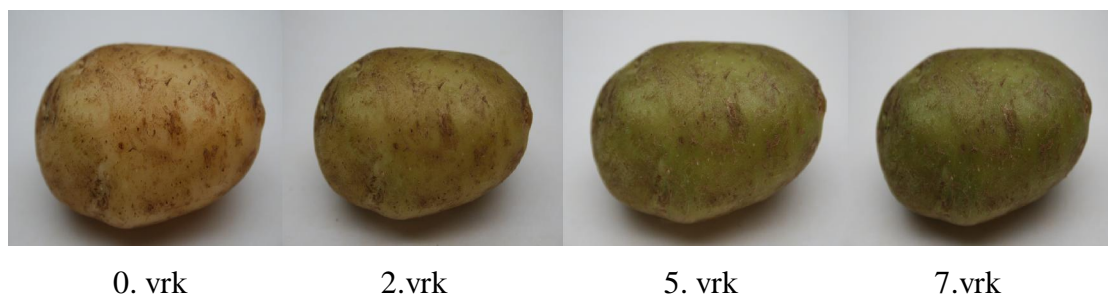
Eri valonlähteiden alla säilytettyjen perunoiden pintalämpötiloissa oli tilastollisesti merkitseviä eroja [ $F(4,75)=82.486$ ;  $p<0,05$ ]. Loisteputken alla säilytettyjen perunoiden pintalämpötilat erosivat LED -valojen alla säilytettyjen perunoiden pintalämpötiloista (kuva 28). Keltaiselle LED RGB- ja vihreälle LED RGB -valolle altistettujen perunoiden pintalämpötila pysyi lähimpänä kylmäkaapin +18 °C:n lämpötilää. Eniten perunoiden pintalämpötilaa nostivat LED 4000 K ja turkoosi LED RGB -valo. Perunoiden pintalämpötilan mittaustulokset on esitetty liitteessä 7.



Kuva 28. Perunan pintalämpötilan muutos 7 vuorokauden valoaltistuksen aikana eri valonlähteiden alla +18 °C:n varastointilämpötilassa

### 3.2.2.3 Perunoiden valokuvat

Perunat valokuvattiin spektrofotometrimitauksen yhteydessä (kuva 29) ja (liite 8). Kuvasarjat perunoiden vihertymisestä (liite 8) osoittavat, että LED 4000K- ja LED RGB vihreä -valolle altistuneet perunat näyttäisivät vihertyneen hitaammin ja hieman vähemmän kuin muissa valaistusolosuhteissa säilytetyt perunat. Seitsemän vuorokautta valoaltistettujen perunoiden halkaisukuvissa oli selkeästi havaittavissa se, että LED RGB vihreälle valolle altistetuissa perunoissa pinnan vihreä väri ei ollut edennyt perunan sisälle juuri lainkaan (liite 8).



Kuva 29. Kuvasarja loisteputkivalolle altistettujen perunoiden vihertymisestä kokeen aikana

### 3.2.3 Tulosten yhteenveto

Maidon aistinvaraisessa arvioinnissa löytyi joitakin tilastollisesti merkitseviä eroja loisteputken ja LED-valojen vaikutusten välillä arvioituissa ominaisuuksissa 12 tai 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen.

Ensimmäisen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja valkoinen LED RGB -valo. Loisteputkivalo aiheutti maitoon voimakkaamman keitetyn maidon maun 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen kuin valkoinen LED RGB -valo. Toisen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja valkoinen LED 4000K -valo. 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen havaittiin loisteputkivalon aiheuttaneen maitoon voimakkaamman keitetyn maidon hajun kuin LED 4000 K -valo, ja LED 4000K -valon voimakkaamman pistävän hajun kuin valkoinen loisteputkivalo.

Kolmannen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja turkoosi LED RGB -valo. Loisteputkivalon aiheuttama poikkeava maku verrattuna vertailunäytteeseen oli turkoosi LED RGB -valon aiheuttamaa makua voimakkaampi. Neljännen koesarjan valonlähteinä olivat valkoinen loisteputkivalo ja keltainen LED RGB -valo. 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen keltainen LED RGB -valo aiheutti maitoon voimakkaamman pistävän maun ja voimakkaamman poikkeavan maun verrattuna vertailunäytteeseen kuin valkoinen loisteputkivalo.

Perunoiden vihertymisessä ei ollut kovin suuria eroja eri valaistusolosuhteissa. LED RGB keltaisen valon vaikutus erosi tilastollisesti merkitsevästi muiden valonlähteiden vaikutuksista. Värikoordinaatti a -arvon muutoksesta laskemalla selvisi, että vähiten perunoista vihertyivät LED 4000K-, LED RGB keltainen- ja LED RGB vihreä -valolle altistetut näytteet. Perunoista otetuista valokuvista voitiin havaita, että vihertyminen näytti etenevän hitaimmin LED 4000K- ja LED RGB vihreä -valolle altistetuissa perunoissa.

Perunoiden pintalämpötilojen suhteen loisteputkivalon vaikutus erosi tilastollisesti merkitsevästi LED -valojen vaikutuksista. Keltaiselle LED RGB- ja vihreälle LED RGB -valolle altistettujen perunoiden pintalämpötila pysyi lähimpänä kylmäkaapin +18 °C:n lämpötilaa. Eniten perunoiden pintalämpötilaa nostivat LED 4000K- ja turkoosi LED RGB -valo.



### 3.3 Tulosten tarkastelu

#### 3.3.1 Tutkimusmateriaalit ja koeasetelma

Koemateriaalina käytetty maito ostettiin läheisestä kaupasta niin, että parasta ennen -päiväykseen oli ostohetkellä aina yhtä monta päivää. Tällä tavoiteltiin sitä, että maitoja olisi säilytetty samanlaisissa olosuhteissa yhtä pitkä aika. Tällöinkään ei voitu olla täysin varmoja siitä, että maitopakkaukset olivat saaneet samanlaisen valoaltistuksen varastoinnin ja myynnin aikana. Mahdollisesti erilaiset valoaltistukset varastoinnin ja myynnin aikana ovat voineet saada aikaan laatumuutoksia maidossa jo ennen kokeiden aloittamista ja vaikuttaa näin ollen arviointeihin.

Perunalle suoritettuja kokeita aloitettaessa kesäkuun alussa suomalaisia uusia perunoita oli heikosti saatavilla, jolloin päädyttiin ostamaan ruotsalaisia uusia perunoita. Perunat myytiin avonaisissa pahvilaatikoissa, joten pinnalla olleet perunat olivat saaneet varastoinnin aikana suuremman valoaltistuksen kuin pinnan alla olleet perunat ja näin ollen päällimmäisiä perunoita ei käytetty koesarjoissa. Perunoita varastoitaessa lämpötila olisi hyvä pitää tasaisena, koska erityisesti lämpötilan nousu saattaa aiheuttaa niissä laatumuutoksia. Pitkä kuljetusmatka ja lämpötilojen vaihtelu kuljetuksen aikana ovat voineet vaikuttaa perunan laatuun ja vihertymisaltiuteen jo ennen kokeiden aloittamista.

Sekä maidolle että perunalle suoritetuissa koesarjoissa käytetyn loisteputkivalaistuksen valonsäteet tulivat tutkittaviin tuotteisiin kaapin rakenneratkaisuista johtuen viistosti ylhäältä ja sivuilta, kun taas LED -valaistuksissa valonlähde sijaitsi suoraan altistettavien tuotteiden yläpuolella. Valaistusvoimakkuus kuitenkin säädettiin samaksi molemmissa valaistuksissa, joten tällä valon tulosuunnalla tuskin oli kovin suuria vaikutuksia tutkimuksen tuloksiin.

### 3.3.2 Tutkimusmenetelmät

#### 3.3.2.1 Maidon aistinvarainen arviointi

Maitojen aistinvaraisessa arvioinnissa käytetty yleinen kuvaileva menetelmä sopii hyvin tuotteiden varastoinnin aikana tapahtuvien laatumuutosten määrittämiseen (Roininen ym., 2005). Se vaatii kuitenkin aistinvaraisen raadin jäseniltä hyvää tuotetuntemusta ja sopivan vertailunäytteen. Vertailunäytteet valittiin koulutustilaisuudessa, ja ne palautettiin mieleen ennen ensimmäistä arviointia. Vertailunäytteiden mieleen palauttaminen olisi ollut hyvä tehdä jokaisella arviointikerralla ennen varsinaista arviointia, jotta arvioitavat ominaisuudet olisivat säilyneet kirkkaina mielessä. Vertailunäytteiden mieleen palauttamisen ja arvioinnin välissä olisi kuitenkin ollut tarpeen pitää taukoa, jotta aistien väsyminen ei olisi vaikuttanut arviointeihin. Tämä olisi kuitenkin lisännyt arvioijien jo ennestään suurta työmäärää, koska jokaisessa koesarjassa oli saman päivän aikana kaksi arviointia.

Raadin koko (n=11) oli kuvailevalle menetelmälle tyypillinen, ja raati pysyi koossa ja motivoituneena koko tutkimuksen ajan. Toistoarvioinnin avulla arviointien määrä kasvoi ja yksittäisen arvioijan vaikutus kokonaisvaihtelun määrään pieneni (Roininen ym., 2005). Toistonäytteenä, joka esitettiin kaksi kertaa kaikissa koesarjoissa, oli 24 tuntia loisteputkivalolle altistettu näyte. Toistonäytteen arviointitulokset eivät eronneet varsinaisen näytteen arviointituloksista, joten raadin arviointien toistettavuus oli hyvä.

Arvioinneissa käytettyjä kuvailevia ominaisuuksia oli viisi, kaksi hajuun ja kolme makuun liittyvää ominaisuutta. Arvioitavia ominaisuuksia olisi voinut olla yksi tai kaksi vähemmän, koska aistit väsyvät melko nopeasti, ja jos näytteiden ominaisuuksien voimakkuudet ovat lähellä toisiaan, niin niiden erottaminen käy sitä vaikeammaksi mitä enemmän näytteitä on. Maitonäytteiden arvioinneissa ei löydetty kovin suuria eroja eri valonlähteiden vaikutusten välille tai valoaltistusaikojen välille. Voimakkaampien erojen aikaansaamiseksi näytteiden välille olisi ehkä tarvittu suurempi ero valoaltistusajoissa. Koulutustilaisuuden perusteella pidemmässä valoaltistuksessa (48 h) syntyneiden virhemakujen ja -hajujen voimakkuuden ja epämiellyttävyyden koettiin lisääntyvän merkittävästi verrattuna lyhyempiin valoaltistusaikoihin. Maitoon muodostuvien virhemakujen ja -hajujen voimakkuuden kasvu ja näytteiden epämiellyttävyyden lisääntyminen ei todennäköisesti olisi helpottanut arviointia ja auttanut erojen löytämisessä.

Kuvailevassa analyysissä ominaisuuden voimakkuus arvioidaan usein suhteessa muihin näytteisiin, jolloin tulokseen vaikuttavat muut arvioinnissa mukana olevat näytteet. Tämä oli huomattavissa arviointien tuloksissa. Vaikka kaikissa koesarjoissa loisteputkivalaistus oli sama, sen aiheuttamat aistinvaraiset laatumuutokset arvioitiin eri koesarjoissa voimakkuudeltaan erilaisiksi.

### 3.3.2.2 Perunoiden värin- ja pintalämpötilan mittaus

Perunoiden värinmittauksessa keskityttiin a-arvoon eli perunoiden pinnan värin muuttumiseen vihreäksi. Mittaus tehtiin aina samoista kohdin perunaa. Mittauskohdat yritettiin valita niin, että perunan pinta olisi mittauskohdalla mahdollisimman tasainen ja tasavärinen. Perunoiden pinnassa saattoi olla kuitenkin pieniä tummia kohtia tai epätasaisuuksia, jotka saattoivat vaikuttaa mittaustuloksiin. Mitattaessa spektrofotometrin mittapään tuli olla tiivisti kiinni perunassa. Perunoiden koosta tai muodosta johtuen mittapäästä ei välttämättä saatu aina täysin tiivisti kiinni perunaan, mikä saattoi vaikuttaa mittaustuloksiin.

Pintalämpötilaa määritettäessä lasersäteet kohdistettiin perunan pintaan, jolloin laite mittasi lämpötilan. Mitattaessa laitteen etäisyys perunasta ja lasersädekeilan halkaisija mittauskohdassa pidettiin vakiona. Lasersädekeilan halkaisijan vakiona pitäminen oli haasteellista, koska mittalaitteen ollessa pistoolimallinen käden vakaus vaikutti lasersädekeilan halkaisijaan.

### 3.3.3 Tulosten arviointia

#### 3.3.3.1 Maidon aistinvarainen arviointi

Ensimmäisessä koesarjassa oli valonlähteinä loisteputki (3000 K) ja valkoinen LED RGB (7200 K). Molemmat valonlähteet tuottivat valkoista valoa, mutta LED:n värielämpötila oli huomattavasti korkeampi, eli LED -valo oli kylmempää sisältäen enemmän violetta ja sinistä valoa. Bossetin ym. (1993) mukaan värielämpötilaltaan kylmä valkoinen valo on maitotuotteille haitallisempaa kuin lämmin valkoinen valo. Valonlähteiden vaikutusten välillä ei ollut eroja arvioituissa maidon ominaisuuksissa 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen, ja 24 tunnin jälkeen raati löysi eron yhdessä ominaisuudessa; loisteputkivalo aiheutti voimakkaamman keitetyn maidon maun kuin valkoinen LED RGB. Tämä tulos antoi viitteitä siitä, ettei värielämpötilaltaan kylmä valo olisi merkittävästi lämpöistä valoa haitallisempaa. Woldin ym. (2006a) tutkimuksessa päädyttiin samansuuntaiseen johtopäätökseen, kun myös värielämpötilaltaan lämpöisen valon, joka sisälsi enemmän punaista ja keltaista valoa, todettiin aiheuttavan maitotaloustuotteisiin aistinvaraisia laatumuutoksia.

Toisessa koesarjassa oli valonlähteinä loisteputki (3000 K) ja valkoinen LED (4000 K). Molemmat valonlähteet tuottivat valkoista valoa ja niiden värielämpötilat olivat melko lähellä toisiaan. Valonlähteiden vaikutusten välillä löytyi eroja maitoon syntyneiden virrehajujen voimakkuuksissa 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen. Loisteputkivalo aiheutti maitoon voimakkaamman keitetyn maidon hajun ja LED 4000K -valo voimakkaamman pistävän hajun. Koesarjassa havaitut erot näytteiden välillä löytyivät 12 tuntia valoaltistetuista näytteistä, josta voisi päätellä, että käytetyt valonlähteet vaikuttaisivat aminohappojen hapettumiseen eri tavalla.

Kolmannessa koesarjassa valonlähteinä olivat loisteputki ja turkoosi LED RGB. Turkoosi valo saatiin aikaiseksi poistamalla LED RGB:n spektristä punaisen valon aallonpituusalue (590–670 nm). Tämä aallonpituusalue poistettiin, koska kirjallisuuden perusteella klorofyllien ja porfyriinien tiedettiin absorboivan valoa tällä alueella. Vaikka turkoosi LED RGB -valo sisälsi maidolle haitallisimpana pidettyä sinistä valoa, se ei aiheuttanut voimakkaampia virhemakuja tai -hajuja kuin loisteputkivalo. Loisteputkivalo taas aiheutti 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen voimakkaamman poikkeavan maun verrattuna pimeässä säilytettyyn vertailunäytteeseen kuin turkoosi LED RGB -valo. Loisteputken aallonpituusjakaumassa oli emissiopeikkejä niin sinisen kuin punaisenkin valon alueella. Näin ollen loisteputken emittoimalla punai-

sella valolla näyttäisi olleen jonkinasteinen vaikutus poikkeavan maun muodostumiseen valoaltistuksen aikana.

Neljännessä koesarjassa oli valonlähteinä loisteputki ja keltainen LED RGB. Keltainen valo saatiin aikaiseksi poistamalla LED RGB:n spektristä sinisen valon aallonpituusalue (420–490 nm). Sinisen valon aallonpituusalue poistettiin, koska kirjallisuuden perusteella kaikki maidon valoherkistimet (riboflaviini, porfyriinit ja klorofyllit) absorboivat voimakkaasti valoa tällä alueella (Afonso ym., 1999; Wold, 2006). Vaikka LED RGB:n aallonpituusjakaumaa oli muokattu niin, että siitä poistettiin haitallimpana pidetty sininen valo, se aiheutti silti 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen maitoon voimakkaamman pistävän maun ja voimakkaamman poikkeavan maun verrattuna pimeässä säilytettyyn vertailunäytteeseen kuin loisteputkivalo. Tästä tuloksesta voi vetää sen johtopäätöksen, että myös punaisella valolla oli merkittävä vaikutus maidossa tapahtuviin laatumuutoksiin.

Viidennessä koesarjassa oli valonlähteinä loisteputki ja vihreä LED RGB, josta oli poistettu sekä sinisen (420–490 nm) että punaisen (590–670 nm) valon aallonpituusalueet. Kirjallisuuden perusteella valonlähteen, joka sisältää pääasiassa vain vihreää valoa, olisi pitänyt säilyttää maidon laatu kaikkein parhaimpana, koska kaikkien valoherkistimien absorptio tällä aallonpituusalueella on vähäistä (Wold ym., 2006a; Wold ym., 2006b). Aistinvarainen raati ei kuitenkaan löytänyt eroja valonlähteiden vaikutusten välillä 12 tai 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen. Tämä tulos kertoi siitä, että valonlähteiden aiheuttamissa laatumuutoksissa ei ollut kovin suurta eroa, jolloin myös voimakkuuserojen löytäminen virhemauissa ja -hajuissa oli vaikeaa. Maito osoittautui myös melko haastavaksi tutkimusmateriaaliksi aistinvaraisessa arvioinnissa. Maidon ominaismakuun vaikuttavat lukuisat pienen molekyylipainon omaavat molekyylit, ja prosessoinnilla ja varastoinnilla on todettu olevan suuri vaikutus näiden molekyylien konsentraatioihin (Francis ym., 2005).

Aistinvarainen raati löysi 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen enemmän eroja eri valonlähteiden vaikutuksien välillä kuin 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen. Lyhyemmän valoaltistusajan kohdalla maidon virhemakujen ja -hajujen lähteenä ovat pääasiassa aminohappojen hapettumisesta syntyvät tuotteet. Tästä voi vetää sellaisen johtopäätöksen, että valonlähteillä olisi erilainen vaikutus maidon aminohappojen hapettumiseen. Arviointiin on voinut vaikuttaa myös se, että aminohappojen hapettumisesta aiheutuvat aistittavat virheominaisuudet, keitetyn maidon maku ja haju, olivat ehkä helpommin tunnistettavissa kuin lipidien hapettumisesta aiheutuvat virheominaisuudet. Näin ollen aminohappojen hapettumisesta aiheutuvien virheominaisuuksi-

en ja niiden voimakkuuksien arviointi saattoi olla helpompaa kuin muiden virheominaisuuksien arviointi.

Aistinvaraisissa arvioinneissa aminohappojen ja lipidien hapettumisesta aiheutuvia virhemakua ja -hajuja löytyi näytteistä, joissa kirjallisuuden ja esikokeiden perusteella ei kyseisiä ominaisuuksia olisi pitänyt esiintyä ainakaan kovin voimakkaina. Ensimmäisessä koesarjassa 24 tunnin valoaltistuksen jälkeen havaittiin loisteputkivalon aiheuttaneen voimakkaan keitetyn maidon maun. Tämä virheominaisuus kuvaa aminohappojen hapettumisesta aiheutuvaa virhemakua, joka muodostuu hyvin nopeasti valoaltistuksen aloittamisen jälkeen. LED -valo taas aiheutti toisessa koesarjassa voimakkaan pistävän hajun ja neljännessä koesarjassa voimakkaan pistävän maun 12 tunnin valoaltistuksen jälkeen. Nämä virheominaisuudet kuvaavat lipidien hapettumisesta aiheutuvia virhemakua ja -hajuja, jotka vaativat muodostuakseen pidemmän valoaltistusajan. Aistinvaraisten arviointien tulokset kertoivat siitä, että virhemakujen ja -hajujen muodostuminen noudatteli pääpiirteissään kirjallisuuden ja esikokeiden antamaa informaatiota. Näiden poikkeavien tulosten perusteella oli kuitenkin nähtävissä, että eri valonlähteet todennäköisesti vaikuttivat hapettumisprosesseihin eri tavoin aiheuttaen virhemakujen ja -hajujen muodostumista eri nopeudella.

Valoaltistetuissa maitonäytteissä oli havaittavissa selkeitä eroja makeuden suhteen. Alle 24 tuntia valoaltistetut näytteet arvioitiin makeammiksi kuin yli 24 tuntia altistetut näytteet. Maidon ominaismaku on luontaisesti hieman makea, mutta todennäköisesti jokin valon aikaansaama reaktio tai reaktiossa mahdollisesti syntyneet reaktiotuotteet aiheuttivat aistinvaraisesti havaittavia eroja makeudessa. Julkaistuja tutkimuksia tästä aihepiiristä ei ole. Valon säteilyenergia tuskin riittää pilkkomaan laktoosia glukoosiksi ja galaktoosiksi, joka voisi lisätä maidon makeutta. Valoaltistuksen tiedetään vaikuttavan maidon heraproteiineihin, ja aminohappojen hapettumistuotteet ovatkin vastuussa monista maidon virhemauista ja -hajuista. Teoreettisesti voisi ajatella, että jokin maidon glykoproteiineista hajoaisi, jolloin rakenteesta vapautuva sokeriosa lisäisi makeutta. Makeuden aistimiseen voisivat vaikuttaa myös valon aiheuttamissa reaktioissa syntyvät yhdisteet, jotka parantaisivat tai lisääisivät maidon makeuden aistimista. Maidon tarjoilulämpötilalla ja rasvapitoisuudella on todettu olevan vaikutusta maidon makeuden aistimiseen (Francis ym., 2005). Maidon tarjoilulämpötilan noustessa makeus tuntuu voimakkaammalta. Rasvaa sisältävässä maidossa makeus on todettu voimakkaammaksi kuin rasvattomassa maidossa. Maidon tarjoilulämpötila tässä tutkimuksessa oli noin +10–12 °C, joten se on voinut osaltaan vaikuttaa siihen, että maitonäytteet maistuivat makeilta. Tutkimusmateriaalina käytetty kevytmaito sisälsi rasvaa vain 1,5 %, joten se ei todennä-

köisesti vaikuttanut merkittävästi makeuden voimakkuuden aistimiseen. Maitonäytteiden makeuden arvioiminen varsinaisissa koesarjoissa oli todella haasteellista, koska tilastollisesti merkitseviä eroja ei löydetty missään koesarjassa edes 12 ja 24 tuntia valolle altistettujen maitonäytteiden välillä.

Vaikka valaistusvoimakkuus säädettiin kaikissa koesarjoissa samaksi, valoanalysointimittaus osoitti erivärisillä valoilla olleen pieniä eroja valon säteilytehoissa. Pienimmät säteilytehot olivat LED 4000 K- ja vihreä LED RGB -valoilla. Loisteputkella ja valkoisella, keltaisella sekä turkoosilla LED RGB -valolla säteilytehot olivat lähellä toisiaan, mutta selvästi LED 4000 K:ta ja vihreätä LED RGB:tä korkeammat. Aistinvaraisten arviointien tuloksiin säteilytehon eroilla ei ollut vaikutusta. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että maidon kartonkipakkaus päästi valoa niukasti lävitseen, ja näin ollen pienet erot eriväristen valojen säteilytehoissa eivät saaneet aikaan huomattavia eroja aistinvaraisessa laadussa.

### 3.3.3.2 Perunoiden värin ja pintalämpötilan muutos

Seitsemän vuorokauden valoaltistuksen aikana perunat vihertyivät voimakkaasti kaikkien valonlähteiden alla. Vihertymisessä oli kuitenkin havaittavissa eroja sekä spektrofotometrillä mittaamalla että silmin arvioiden. Vähiten vihertymistä saivat aikaan LED 4000 K- sekä keltainen ja vihreä LED RGB -valo. Eniten vihertymistä aiheuttivat loisteputki ja turkoosi LED RGB -valo.

Yhteistä vähän vihertymistä aiheuttaneille valoille oli sinisen valon osuuden pienuus tai puuttuminen kokonaan. LED 4000 K -valossa oli vain matala emissiopiikki sinisen valon aallonpituusalueella, ja keltaisen sekä vihreän LED RGB -valon sinisen valon aallonpituudet oli poistettu kokonaan. Loisteputkien ja turkoosin LED RGB -valon aallonpituusjakaumassa oli molemmissa mukana sinisen valon alue. Tästä voidaan päätellä, että perunalle haitallisina aallonpituusalue vihertymistä ajatellen on sinisen valon aallonpituusalue. Virgin ja Sundqvist (1992) sekä Antis ja Northcote (1973) totesivat tutkimuksissaan, että sininen valo on punaista valoa tehokkaampi muuttamaan amyloplasteja kloroplasteiksi ja aloittamaan näin vihertymisprosessin. Virginin ja Sundqvistin (1992) mukaan aallonpituusalue, joka sai vihertymisprosessin tehokkaasti käyntiin, oli 360–530 nm. Teoreettisesti ajateltuna vihreän valon olisi pitänyt aiheuttaa kaikkein vähiten perunoiden vihertymistä. Vihreän LED RGB -valon aallonpituusjakauma sijoittui välille noin 480–590 nm:iin, jolloin jakauman alkuosa osui alueelle, jossa vi-

hertymisprosessin todettiin tehokkaasti alkavan. Tämä selittänee osaltaan sitä, miksi teoreettisesti parhaana pidetyn vihreän valon alla myös tapahtui selkeää perunoiden vihertymistä.

Säteilytehon vaikutus perunoiden vihertymiseen oli epäselvä. Vähiten vihertymistä aiheuttaneen LED 4000 K -valon säteilyteho oli matalin. Vihreän LED RGB:n säteilyteho oli myös matala, mutta se aiheutti silti enemmän vihertymistä kuin keltainen LED RGB, jonka säteilyteho oli puolet korkeampi. Tämä antaa viitteitä siitä, että perunoiden vihertymistä ajatellen valonlähteen emittoiman valon aallonpituusjakaumalla on säteilytehoa suurempi merkitys.

Valoaltistuksen aikana tehdyissä perunoiden pintalämpötilamittauksissa selvisi, että turkoosi LED RGB- ja LED 4000 K- valo nostivat perunoiden pintalämpötilaa noin kahdella C-asteella. Loisteputki-, keltainen ja vihreä LED RGB -valo eivät nostaneet perunoiden pintalämpötilaa, vaan ne pysyivät lähes samassa lämpötilassa kuin kylmäkaappikin. Turkoosin valon alla klorofyllien muodostuminen oli voimakasta, ja tämä perunan pinnassa tapahtuva biosynteesi saattoi hyvin olla syynä perunan pintalämpötilan nousuun. LED 4000 K -valo aiheutti vähiten perunoiden vihertymistä, ja sen säteilyteho oli kaikkein matalin. Se kuitenkin nosti perunoiden pintalämpötilaa myös kahdella C-asteella. Loogista selitystä tälle lämpötilan nousulle ei ole, mutta se voisi johtua valonlähteen rakenteesta. LED -valoista ei normaalisti siirry lämpösäteilyä ympäristöön, mutta jos rakenteessa ovat lämmönsiirtoon tarkoitettut ratkaisut eivät ole riittävän tehokkaita, lämpöä voi siirtyä myös ympäristöön.



## 4 PÄÄTELMÄT

Pro gradu -tutkielman aihe oli hyvin ajankohtainen ja tarpeellinen, koska nopean teknologisen kehityksen myötä LED -valojen soveltuvuus myös yleiseen valaistukseen on parantunut. LED -valaistuksen vaikutuksista elintarvikkeisiin ei ole kuitenkaan olemassa julkaistua tutkimustietoa, joten tämän tutkielman tulokset ovat ensimmäisten joukossa.

Tutkimuksessa ei löydetty sellaista LED -valon spektrijakaumaa, jossa maidon aistinvaraiset laatumuutokset olisivat olleet vähäisempiä kuin nykyisin käytettävän loisteputken spektrijakauman aiheuttamat laatumuutokset. Aistinvaraisten arviointien tulosten perusteella voitiin kuitenkin päätellä, että kirjallisuuden mukaan haitallisimpana pidetyn sinisen valon ohella myös punainen valo aiheuttaa maitoon merkittäviä laatumuutoksia. Väriämpötilaltaan kylmää valoa, joka sisältää paljon sinistä valoa, on pidetty haitallisempänä kuin lämmintä eli keltaista ja punaista sisältävää valoa, mutta tuloksista voitiin päätellä, ettei kylmän ja lämpimän valon välillä ollut kovin suurta eroa maidon laatumuutosten aiheuttajana. Kaiken kaikkiaan loisteputki- ja LED -valojen välillä ei ollut merkittäviä eroja maidon aistinvaraisten laatumuutosten aiheuttajana, joten tulosten perusteella voitiin todeta, että LED -valossa maidon laatu säilyi vähintään yhtä hyvänä kuin loisteputkivalossa.

Perunoiden vihertymisessä havaittiin eroja eri valaistuksissa. LED 4000 K- ja keltainen LED RGB -valo aiheuttivat vähiten vihertymistä, ja voimakkain vihertyminen havaittiin loisteputkivalossa. Mittaustulosten perusteella voitiin päätellä, että haitallisin spektrijakauman osa perunoiden vihertymistä ajatellen oli sinisen valon alue. Vertailtaessa loisteputki- ja LED -valon vaikutusta perunoiden värinmuutosten aiheuttajana voidaan mittaustulosten perusteella todeta, että LED -valossa perunoiden laatu säilyi loisteputkivaloa parempana.

Tutkimustulosten perusteella LED on potentiaalinen valaistusvaihtoehto elintarvikkeiden jakelu- ja varastointiketjussa. Näin ollen sen vaikutuksia elintarvikkeisiin kannattaa tutkia jatkossa laajemminkin. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä tehdä elintarvikkeiden aistinvaraisen arvioinnin lisäksi myös kemiallisia analyyssejä, koska laatuerojen ollessa pieniä niitä ei välttämättä pystytä havaitsemaan pelkästään aistinvaraisin arviointimenetelmin.

## LÄHTEET

- Afonso, S.G., Enríquez de Salamanca, R. ja Batlle, A.M. Del C. 1999. The photodynamic and nonphotodynamic actions of porphyrins. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 32 (3): 255–266.
- Ahvenniemi, P. 2000. Mitkä ihmehen glykoalkaloidit? Perunako myrkyllistä?. *Maatilan Pirkka* 4: 47–48.
- Anonyymi 1. 2005. Incandescent Lighting. Internet:  
[http://www.eere.energy.gov/consumer/your\\_home/lighting\\_daylighting/index.cfm/mytopic=12120](http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/lighting_daylighting/index.cfm/mytopic=12120). Luettu 30.01.2009.
- Anonyymi 2. 2005. Fluorescent Tube and Circline Lamps. Internet:  
[http://www.eere.energy.gov/consumer/your\\_home/lighting\\_daylighting/index.cfm/mytopic=12070](http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/lighting_daylighting/index.cfm/mytopic=12070). Luettu 30.01.2008.
- Anonyymi 3. 2009. The inner workings of an LED. Internet:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/LED>. Luettu 30.01.2009.
- Anonyymi 4. 2008. Types of Lighting. Internet:  
[http://www.eere.energy.gov/consumer/your\\_home/lighting\\_daylighting/index.cfm/mytopic=12030](http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/lighting_daylighting/index.cfm/mytopic=12030). Luettu 30.01.2009.
- Anonyymi 5. 2008. Käsittelemättömän perunan keskimääräiset ravintoarvot 100 grammassa elintarviketta. Kansanterveyslaitos, ravitsemusyksikkö 2003–2007.  
 Internet: <http://www.ktl.fi/fineli/>. Luettu 30.01.2009.
- Anstis, P. J. P. ja Northcote, D.H. 1973. Development of Chloroplasts from Amyloplasts in Potato Tuber Discs. *New Phytologist* 72(3): 449–464.
- Becker, E., Christensen, J., Frederiksen, C. ja Haugaard, V. 2003. Front-face fluorescence spectroroscopy and chemometrics in analysis of yogurt: Rapid analysis of riboflavin. *J.Dairy Sci.* 86: 2508–2515.
- Bekbölet, M. 1990. Light effects on food. *J. Food Prot.* 53 (5): 430–440.
- Berg, J., Tymoczko, J.L. ja Stryer, L. 2006. *Biochemistry. Fifth edition.* W.H. Freeman & Company, USA.
- Blomberg, K. 1998. Keittämisen vaikutus kasvien nitraattipitoisuuteen. Elintarvikeviraston Valvonta-sarja 2. Elintarvikevirasto, Helsinki.
- Blomberg, K. ja Hallikainen, A. 2000. Kotimaisten ja ulkomaisten ruokaperunoiden vieraat aineet; glykoalkaloidit, nitraatit ja raskasmetallit. Elintarvikeviraston Tutkimuksia -sarja 3. Elintarvikevirasto, Helsinki.
- Bosset, J., Daget, N., Desarzens, C., Dieffenbacher, A., Fluckiger, E., Lavanchy, P., Nick, B., Pauchard, J.-P. ja Tagliaferri, E. 1986. The influence of light transmittance and gas permeability of various packing materials on the quality of whole natural yoghurt during storage. Teoksessa: *Food packaging and preservation*, M. Mathlouthi (toim.), s.235–270. Chapman & Hall, Lontoo.
- Bosset, J.O., Gallmann, P.U. ja Sieber, R. 1993. Influence of light transmittance of packaging material on the shelf life of milk and milk products – a review. Teoksessa: *Food packaging and preservation*, M. Mathlouthi (toim.), s.222–268. Blackie, Glasgow.
- Bradley, B.G. ja Min, D.B. 1992. Singlet oxygen oxidation of foods. *Crit. Rev. in Food Sci. Nutr.* 31: 211–236.
- Bullough, J.D. 2003. Lighting answers: LED lighting systems. National Lighting Product Information Program (NLPIP), Volume 7 issue 3. The Lighting Research Center (LRC), Rensselaer Polytechnic Institute. New York, USA.
- Carrillo-Carrión, C., Cárdenas, S. ja Valcárcel, M. 2007. Vanguard/rearguard strategy for the evaluation of the degradation of yoghurt samples based on the direct analysis of the volatiles profile through headspace-gas chromatography–mass spectrometry. *J. Chromatography A* 1141: 98–105.
- Choe, E., Huang, R. ja Min, D. 2005. Chemical reactions and stability of riboflavin in foods. *J. Food Sci.* 70: 28–36.

- Cimo, M. 2007. LED lighting: brighter displays, more appeal to frozen foods in supermarkets. National Lighting Product Information Program (NLPIP), Press release. The Lighting Research Center (LRC), Rensselaer Polytechnic Institute. New York, USA.
- Davidson, M.W., Fellers, T.J. ja Spring, K.R. 2003. Physics of Light and Color. Introduction to Light Emitting Diodes. National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL) and the Florida State University Research Foundation (FSURF). Internet: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/ledsintro.html>. Luettu 30.01.2009.
- Edwards, J.E. ja Cobb, A.H. 1999. The effect of prior storage on the potential of potato tubers (*Solanum tuberosum* L) to accumulate glycoalkaloids and chlorophylls during light exposure, including artificial neural network modeling. *J. Sci. Food and Agriculture* 79 (10): 1289–1297.
- Fennema, O.R. 1996. *Food chemistry. Third edition*. University of Wisconsin-Madison, USA.
- Gordon, K.L. 2007. Thermal Management of White LEDs. PNNL-SA-51901, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Gordon, K.L. ja Gilbride, T.L. 2008. Illuminating Solar Decathlon Homes. Exploring Next Generation Lighting Technology – Light Emitting Diodes. PNNL-17597, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Gordon, K.L. 2008a. Color Quality of White LEDs. PNNL-SA-50007. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Gordon, K.L. 2008b. Dimming LEDs. PNNL-SA-59321, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Gordon, K.L. 2008c. Color Rendering Index and LEDs. PNNL-SA-56891, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA.
- Gordon, K.L. 2008d. Using LEDs to Their Best Advantage. PNNL-SA-58430, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Gordon, K.L. 2008e. Energy Efficiency of White LEDs. PNNL-SA-50462, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Hautala, M. 2001. *Soveltavaa fysiikkaa maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan tarpeisiin*. Maa- ja kotitalousteknologian laitoksen julkaisuja 9. Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos, Helsinki.
- Hansen, A.P., Turner, T.L. ja Aurand, W.L. 1975. Fluorescent light-activated flavour in milk. *J. Milk Food Technology* 38 (7): 388–392.
- Heldt, H.-W. 1997. *Plant Biochemistry & Molecular Biology*. Oxford University Press, USA.
- Helén, H. 2004. Valo – haaste sekä elintarvikkeen että pakkauksen valmistajalle. *Pakkaus* 12: 28–29.
- Helén, H., Heikkilä, M., Huhtanen, J., Isokangas, J., Jokinen, N., Kivelä, H., Poutanen, J., Koivisto, L. ja Solala, K. 2008. Pakkausten valonsuoja elintarvikkeille. PTR:n raportti n:o 55/2008. Pakkausteknologia – PTR ry, Helsinki.
- Huhtanen, P., Jaakkola, S., Jokela, M., Korhonen, H., Piironen, V., Rokka, T. ja Salo-Väänänen, P. 1998. Keskeisten alkutuotantotekijöiden ja prosessoinnin vaikutus maidon laatuun. Sarja A 41. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.
- Hunt, R.W.G. 1991. *Measuring Colour, Second edition*. Ellis Horwood Series in Applied science and industrial technology. Hartnolls Ltd, Cornwall, Great Britain.
- Kadam, S.S., Dhumal, S.S. ja Jambhale, N.D. 1991. Structure, nutritional composition, and quality. Teoksessa: *Potato: production, processing, and products*, D.K. Salunkhhe, S.S Kadam ja S.J. Jadhav (toim.), s.10–35. CRC Press, Inc., Florida, USA.
- Karatapanis, A., Badeka, A., Riganakos, K., Savvaidis, I. ja Kontominas, M. 2006. Changes in flavour volatiles of whole pasteurized milk as affected by packaging material and storage time. *Int. Dairy J.* 16: 750–761.
- Kari, M. 1998. Perunan sisäisen laadun hallinta: loppuraportti. Perunantutkimuslaitoksen julkaisu 2. Perunantutkimuslaitos, Lammi.

- Kari, M. 2000. Glykoalkaloidit ovat luonnollinen osa perunaa. Tuottava Peruna 1: 18-21.
- Kari-Kärki, M. 1999. The effect of harvesting time and nitrogen fertilization on enzymatic browning in potato during storage. Teoksessa: *Agri-Food Quality II, Quality management of fruit and vegetables*, M. Hägg, R. Ahvenainen, A.M. Evers ja K. Tiilikkala, (toim.), s.213–217. Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom.
- Koponen, A. 1999. Tiedätkö mitä syöt?. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki.
- Korppas, M.-L., Korpi-Tassi, A.-M. ja Ahonen, S. 1989. Ruokaperunan glykoalkaloiditutkimukset. Helsingin kaupungin terveystieteiden raportteja. Sarja B 36. Helsingin kaupunki, Helsinki.
- Kristensen, D., Hansen, E., Arndal, A., Trinderup, R. A. ja Skibsted, L. H. 2001. Influence of light and temperature on the colour and oxidative stability of processed cheese. *Int. Dairy J.* 11: 837–843.
- Kristensen, D., Orlien, V., Mortensen, G., Brockhoff, P. ja Skibsted, L. H. 2000. Light induced oxidation in sliced Havarti cheese packaged in modified atmosphere. *Int. Dairy J.* 10: 95–103.
- Kärnä, J. ja Nurmi, T. 1997. *Valaistustekniikan perusteet*. Tampere.
- Francis, L.L., Chambers, D.H., Kong, S.H., Milliken, G.A., Jeon, I.J. ja Schmidt, K.A. 2005. Serving temperature effects on milk flavor, milk aftertaste, and volatile compound quantification in nonfat and whole milk. *J. Food Sci.* 70(7): 413–418.
- Lennersten, M. 1995. The influence of light and packaging materials on oxidative deterioration in foods. A literature review. SIK-rapport 620. SIK, The Swedish institute for food and biochemistry, Göteborg.
- Mestdagh, F., De Meulenaer, B., De Clippeleer, J., Devlieghere, F. ja Huyghebaert, A. 2005. Protective influence of several packaging materials on light oxidation of milk. *J. Dairy Sci.* 88: 499–510.
- Mills, A. 2005. LED 2005 Illuminates. Conference Report, LED 2005. San Diego, California.
- Moyssiadi, T., Badeka, A., Kondyli, E., Vakirtzi, T., Savvaidis, I. ja Kontominas, M. 2004. Effect of light transmittance and oxygen permeability of various packaging materials on keeping quality of low fat pasteurized milk: chemical and sensorial aspects. *Int. Dairy J.* 14: 429–436.
- Mustonen, L. ja Kumpulainen, J. 1990. Glykoalkaloidit – perunan haitalliset ainesosat. Koetoiminta ja käytäntö. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.
- Nema, P.K., Ramayya, N., Duncan, E. ja Niranjana, K. 2008. Review Potato glycoalkaloids: formation and strategies for mitigation. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1869–1881.
- Rahkonen, A. ja Kari, M. 2000. Ruokaperunan virallinen lajikekoe. Perunantutkimuslaitoksen julkaisu 1. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1999. Perunantutkimuslaitos, Lammi.
- Roininen, K., Heiniö, R.-L. ja Vehkalahti, K. 2005. Kuvailevat menetelmät. Teoksessa: *Elin-  
tarvikkeiden aistinvaraiset tutkimusmenetelmät*, H. Tuorila ja U. Appelby (toim.), s. 93–105. Yliopistopaino, Helsinki.
- Skibsted, L.H. 2000. Light induced changes in dairy products. Teoksessa: *Packaging of milk products*. Bulletin of the International Dairy Federation, 346, s.3–9. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.
- Stryer, L. 1995. *Biochemistry. Fourth edition*. W.H. Freeman and Co, New York, USA.
- Valkonen, J.P.T., Keskitalo, M., Vasara, T. ja Pietilä, L. 1996. Potato glycoalkaloids: a burden or a blessing? *Critical Reviews in Plant Sciences* 15: 1–20.
- Virgin, H.I. ja Sundqvist, C. 1992. Pigment formation in potato tubers (*Solanum tuberosum*) exposed to light followed by darkness. *Physiologia Plantarum* 86(4): 587–592.
- Vorne, V. 2001. Kirjallisuusselvitys perunan laadusta. Elintarvikeviraston julkaisu 9/2001. Edita Express, Helsinki.

- Wold, J.P., Veberg, A., Nilsen, A., Iani, V., Juzenas, P. ja Moan, J. 2005. The role of naturally occurring chlorophyll and porphyrins in light-induced oxidation of dairy products. A study based on fluorescence spectroscopy and sensory analysis. *Int. Dairy J.* 15 (4): 343–353.
- Wold, J.P. 2006. Understanding and measuring photo-oxidation in dairy products by fluorescence spectroscopy. *Spectroscopy Europe* 18 (5):8–13.
- Wold, J.P., Veberg, A., Lundby, F., Nilsen, A. N. ja Moan, J. 2006a. Influence of storage time and color of light on photo-oxidation in cheese: a study based on sensory analysis and fluorescence spectroscopy. *Int. Dairy J.* 16: 1218–1226.
- Wold, J.P., Bro, R., Veberg, A., Lundby, F., Nilsen, A. N. ja Moan, J. 2006b. Active photosensitizers in butter detected by fluorescence spectroscopy and multivariate curve resolution. *J. Agric. Food Chem.* 54: 10197–10204.
- Wyszecki, G. ja Stiles, W. 2000. *Color Science. Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, Second Edition.* John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.
- Yam, F.K. ja Hassan, Z. 2005. Innovative advances in LED technology. *Microelectronics J.* 36 (2): 129–137.
- Yli-Halla, M., Viikari, E. ja Palonen, J. 1987. Quantity and quality of potato yield as influenced by unbalanced and excessive fertilization. *J. Agricultural Sci. in Finland* 59: 131-139.
- Zhu, Y.S., Merkle-Lehman, D.L. ja Kung, S.D. 1984. Light-Induced Transformation of Amyloplasts into Chloroplasts in Potato Tubers. *Plant Physiology* 75: 142–145.
- Zukauskas, A., Schur, M.S. ja Gaska, R. 2002. *Introduction to Solid State Lighting.* Wiley-Interscience, New York, USA.

## **LIITTEET**

Liite 1. Maitojen pakkaus- ja parasta ennen -päiväykset sekä maitopakkauksen ja perunoiden pakkaamiseen käytetyn LDPE-pussin valonläpäisevyyskäyrät

Liite 2. Tutkimuksessa käytettyjen valonlähteiden aallonpituusjakaumat ja säteilytehot

Liite 3. Valoaltistetun maidon arvioinneissa käytettyjä kuvailevia sanoja

Liite 4. Aistinvaraisessa arvioinnissa käytetty arviointilomake

Liite 5. Maidon aistinvaraisten arviointien tulokset

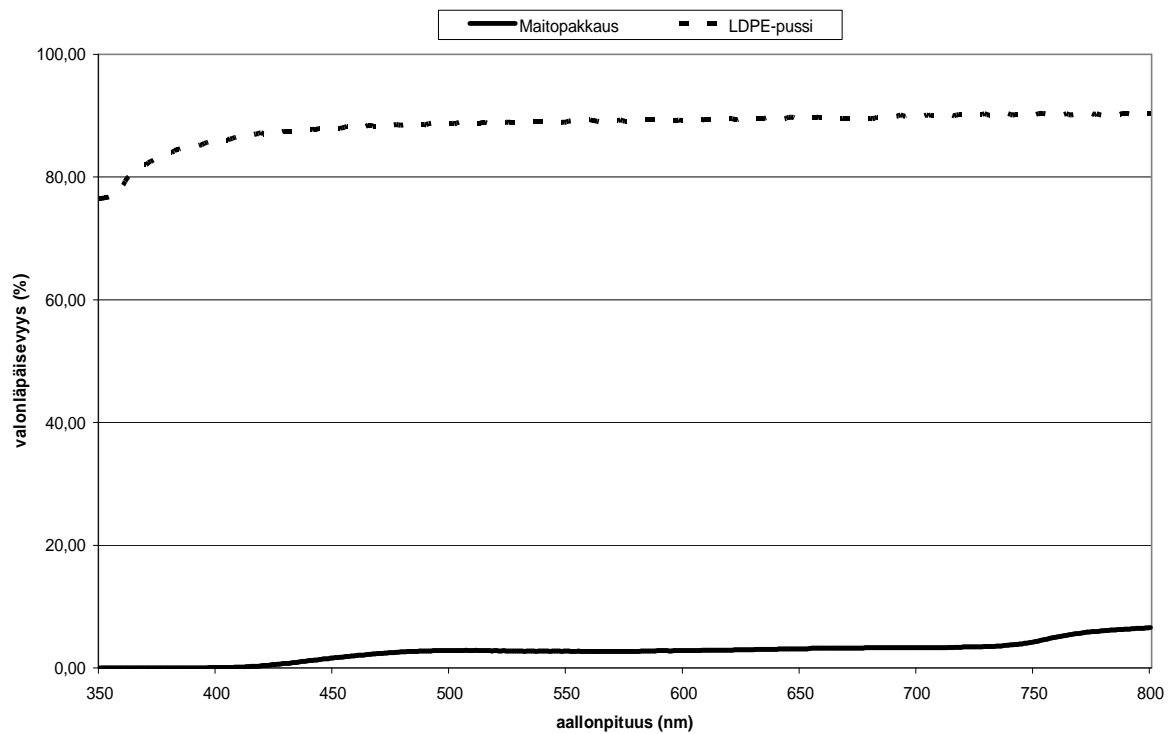
Liite 6. Perunoiden värinmittausten a-koordinaatit ja värikoordinaatti a:n muutoksesta lasketut muutosprosentit

Liite 7. Perunoiden pintalämpötilan mittaustulokset

Liite 8. Kuvasarja perunoiden vihertymisestä valoaltistuksen aikana ja halkaisukuvat 7 vrk:n valoaltistuksen jälkeen

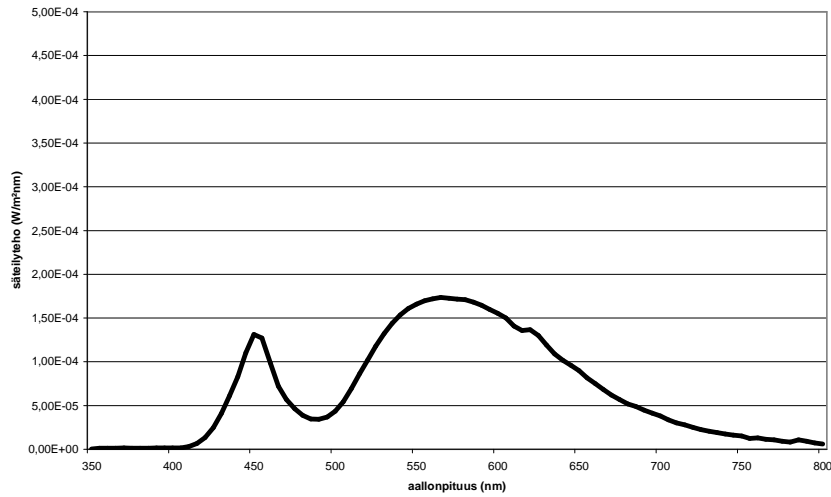
LIITE 1. Maitojen pakkaus- ja parasta ennen -päiväykset sekä maitopakkauksen ja perunoiden pakkaamiseen käytetyn LDPE-pussin valonläpäisevyyskäyrät

| Koesarja | Pakkauspäivä | Parasta ennen |
|----------|--------------|---------------|
| 1        | 10.5.2008    | 17.5.2008     |
| 2        | 19.5.2008    | 26.5.2008     |
| 3        | 23.5.2008    | 30.5.2008     |
| 4        | 26.5.2008    | 2.6.2008      |
| 5        | 30.5.2008    | 6.6.2008      |

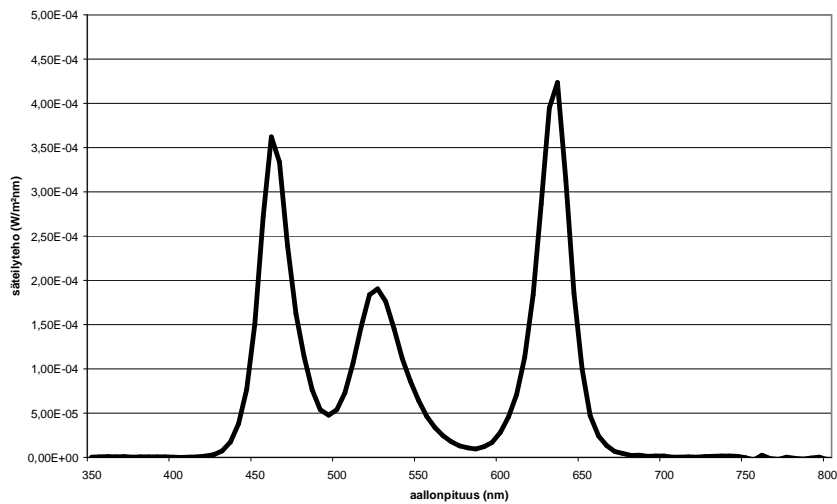


Maitopakkauksen ja perunoiden pakkaamiseen käytetyn LDPE-pussin valonläpäisevyyskäyrät. Valonläpäisevyys on kuvattu transmissioprosenttina asteikolla 0–100 %.

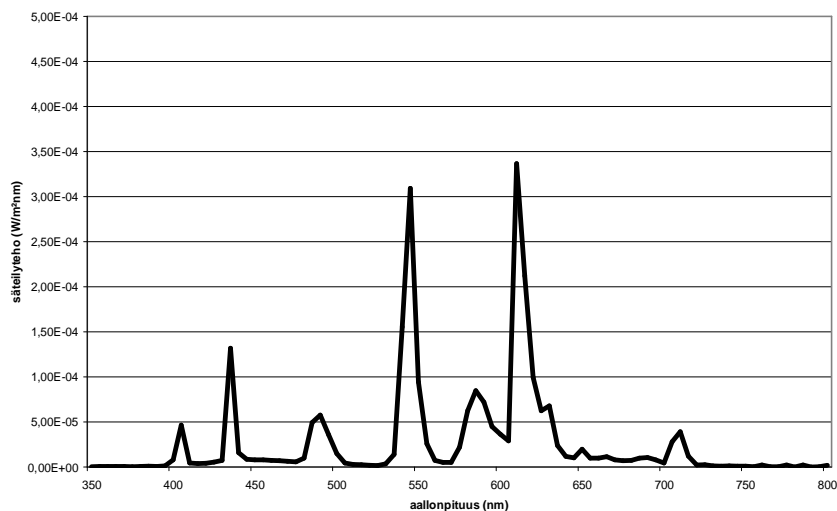
## LIITE 2. Tutkimuksessa käytettyjen valonlähteiden aallonpituusjakaumat ja säteilytehot 1(3)



LED 4000 K -valon aallonpituusjakauma

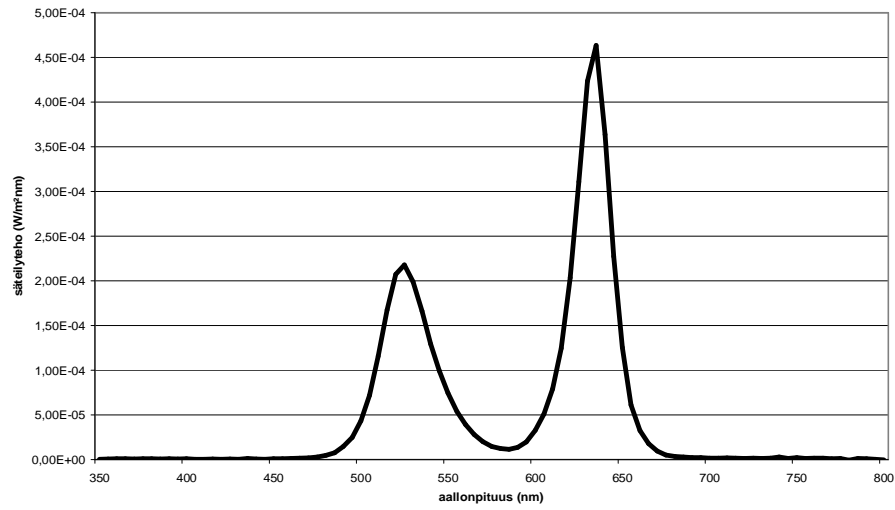


Valkoisen LED RGB -valon aallonpituusjakauma

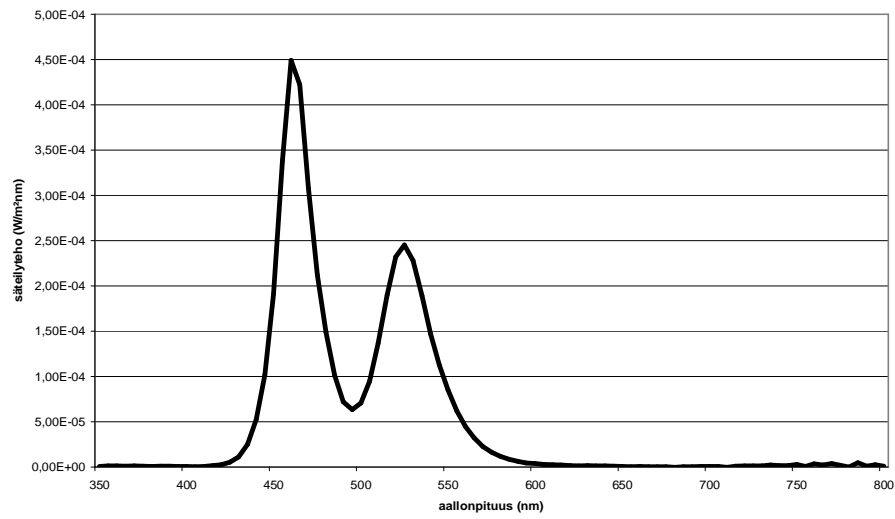


Loisteputken (Philips Master Secura TLD 36W/830) aallonpituusjakauma

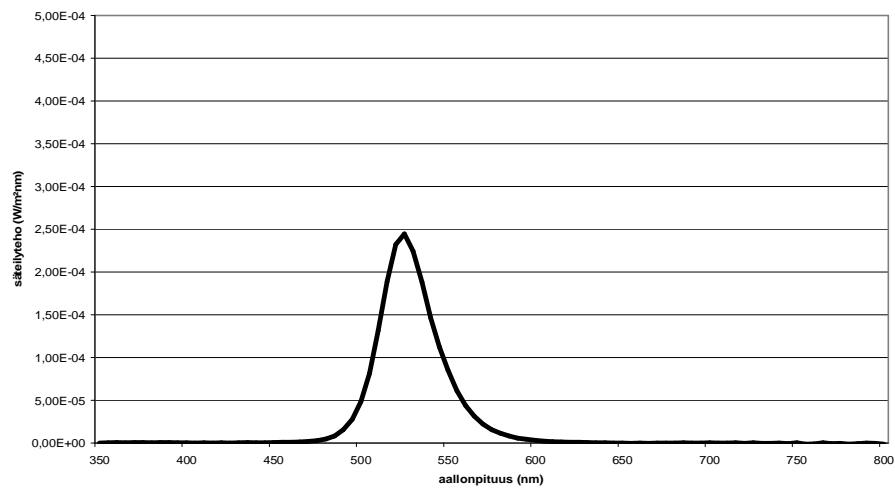




Keltaisen LED RGB -valon aallonpituusjakauma



Turkoosin LED RGB -valon aallonpituusjakauma



Vihreän LED RGB -valon aallonpituusjakauma

Tutkimuksessa käytettyjen valonlähteiden säteilytehot (W/m<sup>2</sup>nm)

|              | Loisteputki | LED 4000K | LED valkoinen | LED turkoosi | LED keltainen | LED vihreä |
|--------------|-------------|-----------|---------------|--------------|---------------|------------|
|              | 0,000453    | 0,000161  | 0,000462      | 0,000431     | 0,000485      | 0,000239   |
|              | 0,000527    | 0,000192  | 0,000419      | 0,000444     | 0,000453      | 0,000245   |
|              | 0,000467    | 0,000170  | 0,000398      | 0,000515     | 0,000463      | 0,000258   |
| keskiarvo    | 0,000482    | 0,000174  | 0,000426      | 0,000463     | 0,000467      | 0,000247   |
| keskihajonta | 3,93E-05    | 1,59E-05  | 3,26E-05      | 4,52E-05     | 1,64E-05      | 9,71E-06   |

## LIITE 3. Valoaltistetun maidon arvioinneissa käytettyjä kuvailevia sanoja

- valon maku (taste of light)
- sienimäinen (mushroom-like)
- kaalimainen (gabbage-like)
- sipulimainen (onion-like)
- keitetty maito (cooked milk)
- keitetty peruna (boiled potato)
- palanut (burnt)
- hapan (acidic)
- paperinen (papery)
- pahvinen (cardboardy)
- märkä pahvi (wet cardboardy)
- metallinen (metallic)
- öljyinen (oily)
- kalamainen (fish flavor)
- astringoiva, pistävä (astringent)

## LIITE 4. Aistinvaraisessa arvioinnissa käytetty arviointilomake

**MAIDON AISTINVARAINEN ARVIOINTI**

Nimi: \_\_\_\_\_

Pvm: \_\_\_\_\_

Koodi: \_\_\_\_\_

Sinulla on arvioitavana sarja maitonäytteitä. Tehtävänäsi on arvioida ominaisuuksien voimakkuutta ja merkitä arviosi asteikolle ympyröimällä sitä vastaava numero (merkitse näyteastian oleva koodi arviosi yläpuolelle). Hajua arvioidessasi raota näyteastian kantta aivan nenäsi alla. **Vertailunäytettä (R) käytetään vain viimeisessä kohdassa maun poikkeavuuden arvioinnissa.** Huuhtelee suutasi vedellä näytteiden välillä. Näytteitä ei niellä.

**Keitetyn maidon haju**

|             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                   |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Ei lainkaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Erittäin voimakas |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|

**Hajun pistävyys**

|             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                   |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Ei lainkaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Erittäin voimakas |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|

**Keitetyn maidon maku**

|             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                   |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Ei lainkaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Erittäin voimakas |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|

**Maun pistävyys**

|             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                   |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Ei lainkaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Erittäin voimakas |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|

**Makeus**

|        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |          |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|
| Heikko | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Voimakas |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|

**Arvioi vielä näytteiden maun poikkeavuus vertailunäytteen (R) mausta**

Ei poikkea lainkaan

Poikkeaa erittäin paljon

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

# Kiitos arvioinnista !

## LIITE 5A. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset (koesarja 1)

1(2)

**Keitetyn maidon haju**

| Arvioija     | Näyte |       |       | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED24 | LP24 | toisto |
| 1            | 5     | 2     | 4     | 4    | 7      |
| 2            | 4     | 1     | 4     | 7    | 5      |
| 3            | 1     | 1     | 6     | 1    | 2      |
| 4            | 1     | 4     | 4     | 5    | 3      |
| 5            | 6     | 7     | 5     | 8    | 2      |
| 6            | 6     | 6     | 3     | 2    | 5      |
| 7            | 2     | 5     | 4     | 3    | 1      |
| 8            | 3     | 1     | 1     | 1    | 1      |
| 9            | 7     | 2     | 8     | 8    | 4      |
| 10           | 6     | 6     | 3     | 2    | 5      |
| 11           | 3     | 6     | 2     | 5    | 4      |
| 12           | 3     | 2     | 5     | 2    | 3      |
| 13           | 3     | 5     | 4     | 7    | 6      |
| 14           | 6     | 1     | 1     | 1    | 5      |
| 15           | 1     | 2     | 1     | 3    | 2      |
| 16           | 5     | 8     | 2     | 3    | 2      |
| 17           | 1     | 4     | 3     | 1    | 2      |
| 18           | 2     | 1     | 5     | 6    | 3      |
| 19           | 1     | 1     | 1     | 1    | 1      |
| 20           | 7     | 2     | 3     | 6    | 8      |
| 21           | 5     | 6     | 2     | 2    | 2      |
| 22           | 3     | 6     | 2     | 5    | 4      |
| keskiarvo    | 3,68  | 3,59  | 3,32  | 3,77 | 3,50   |
| keskihajonta | 2,10  | 2,40  | 1,80  | 2,40 | 2,00   |

**Hajun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |       | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED24 | LP24 | toisto |
| 1            | 4     | 2     | 3     | 2    | 6      |
| 2            | 3     | 1     | 3     | 1    | 4      |
| 3            | 1     | 1     | 1     | 1    | 1      |
| 4            | 1     | 2     | 1     | 5    | 1      |
| 5            | 8     | 4     | 7     | 6    | 3      |
| 6            | 3     | 1     | 5     | 6    | 2      |
| 7            | 2     | 2     | 6     | 5    | 1      |
| 8            | 6     | 1     | 7     | 7    | 7      |
| 9            | 4     | 2     | 7     | 5    | 8      |
| 10           | 3     | 2     | 4     | 5    | 5      |
| 11           | 7     | 2     | 7     | 6    | 3      |
| 12           | 4     | 5     | 3     | 5    | 7      |
| 13           | 3     | 6     | 8     | 7    | 4      |
| 14           | 1     | 2     | 5     | 5    | 4      |
| 15           | 1     | 1     | 1     | 2    | 2      |
| 16           | 6     | 2     | 2     | 3    | 4      |
| 17           | 1     | 1     | 1     | 2    | 1      |
| 18           | 2     | 1     | 5     | 4    | 3      |
| 19           | 2     | 1     | 7     | 4    | 4      |
| 20           | 2     | 8     | 7     | 3    | 4      |
| 21           | 5     | 2     | 3     | 3    | 4      |
| 22           | 7     | 2     | 7     | 6    | 3      |
| keskiarvo    | 3,45  | 2,31  | 4,54  | 4,22 | 3,68   |
| keskihajonta | 2,20  | 1,80  | 2,40  | 1,80 | 2,40   |

**Keitetyn maidon maku**

| Arvioija     | Näyte |       |       | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED24 | LP24 | toisto |
| 1            | 5     | 2     | 5     | 3    | 7      |
| 2            | 4     | 1     | 6     | 7    | 6      |
| 3            | 1     | 1     | 6     | 3    | 4      |
| 4            | 1     | 4     | 4     | 3    | 3      |
| 5            | 5     | 4     | 7     | 8    | 3      |
| 6            | 9     | 8     | 5     | 3    | 7      |
| 7            | 5     | 6     | 8     | 7    | 4      |
| 8            | 6     | 3     | 7     | 5    | 6      |
| 9            | 8     | 4     | 2     | 7    | 3      |
| 10           | 7     | 6     | 5     | 3    | 4      |
| 11           | 3     | 7     | 3     | 8    | 4      |
| 12           | 5     | 3     | 2     | 6    | 6      |
| 13           | 6     | 3     | 5     | 8    | 7      |
| 14           | 8     | 3     | 2     | 4    | 7      |
| 15           | 3     | 2     | 1     | 4    | 2      |
| 16           | 1     | 5     | 1     | 5    | 3      |
| 17           | 6     | 3     | 2     | 4    | 5      |
| 18           | 6     | 5     | 9     | 8    | 7      |
| 19           | 3     | 2     | 7     | 6    | 2      |
| 20           | 5     | 3     | 4     | 7    | 8      |
| 21           | 6     | 5     | 2     | 4    | 3      |
| 22           | 3     | 7     | 3     | 8    | 4      |
| keskiarvo    | 4,65  | 3,80  | 4,45  | 5,70 | 4,90   |
| keskihajonta | 2,30  | 2,00  | 2,40  | 1,90 | 1,90   |

**Maun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |       | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED24 | LP24 | toisto |
| 1            | 7     | 3     | 2     | 7    | 5      |
| 2            | 1     | 1     | 1     | 3    | 3      |
| 3            | 1     | 4     | 1     | 3    | 1      |
| 4            | 1     | 4     | 2     | 1    | 1      |
| 5            | 4     | 5     | 6     | 3    | 8      |
| 6            | 2     | 7     | 3     | 8    | 5      |
| 7            | 3     | 5     | 8     | 2    | 7      |
| 8            | 6     | 3     | 4     | 2    | 6      |
| 9            | 4     | 2     | 7     | 8    | 3      |
| 10           | 3     | 6     | 2     | 6    | 5      |
| 11           | 2     | 7     | 3     | 8    | 6      |
| 12           | 4     | 7     | 2     | 6    | 2      |
| 13           | 5     | 8     | 6     | 7    | 3      |
| 14           | 3     | 5     | 1     | 2    | 1      |
| 15           | 1     | 5     | 2     | 4    | 1      |
| 16           | 3     | 2     | 2     | 5    | 4      |
| 17           | 3     | 1     | 2     | 2    | 1      |
| 18           | 3     | 6     | 2     | 4    | 7      |
| 19           | 4     | 6     | 2     | 4    | 6      |
| 20           | 3     | 4     | 8     | 2    | 6      |
| 21           | 3     | 6     | 2     | 6    | 5      |
| 22           | 2     | 7     | 3     | 8    | 6      |
| keskiarvo    | 3,10  | 3,35  | 4,10  | 4,60 | 4,45   |
| keskihajonta | 1,70  | 2,30  | 2,40  | 2,10 | 2,50   |

**Makeus**

| Arvioija     | Näyte |       |           | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 7     | 2     | 2         | 7    | 5      |
| 2            | 5     | 8     | 4         | 7    | 7      |
| 3            | 3     | 7     | 7         | 5    | 3      |
| 4            | 3     | 5     | 4         | 2    | 2      |
| 5            | 7     | 4     | 5         | 6    | 2      |
| 6            | 7     | 3     | 7         | 8    | 6      |
| 7            | 3     | 7     | 6         | 2    | 8      |
| 8            | 8     | 5     | 6         | 8    | 1      |
| 9            | 7     | 3     | 5         | 6    | 4      |
| 10           | 7     | 4     | 3         | 2    | 3      |
| 11           | 6     | 8     | 7         | 6    | 4      |
| 12           | 6     | 5     | 4         | 5    | 4      |
| 13           | 4     | 2     | 7         | 3    | 4      |
| 14           | 5     | 4     | 7         | 5    | 7      |
| 15           | 3     | 1     | 2         | 2    | 1      |
| 16           | 2     | 8     | 7         | 6    | 7      |
| 17           | 2     | 6     | 7         | 4    | 3      |
| 18           | 2     | 5     | 2         | 6    | 5      |
| 19           | 8     | 5     | 3         | 4    | 8      |
| 20           | 4     | 6     | 8         | 3    | 7      |
| 21           | 7     | 4     | 3         | 2    | 3      |
| 22           | 6     | 8     | 7         | 6    | 4      |
| keskiarvo    | 4,90  | 5,35  | 4,60      | 5,10 | 5,05   |
| keskihajonta | 2,07  | 1,98  | 2,23      | 2,17 | 1,90   |

**Maun poikkeavuus vertailunäytteestä**

| Arvioija     | Näyte |       |           | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 6     | 6     | 3         | 7    | 5      |
| 2            | 4     | 7     | 1         | 3    | 4      |
| 3            | 3     | 1     | 1         | 2    | 3      |
| 4            | 1     | 6     | 2         | 3    | 4      |
| 5            | 5     | 6     | 4         | 3    | 8      |
| 6            | 5     | 4     | 7         | 7    | 3      |
| 7            | 4     | 3     | 7         | 5    | 8      |
| 8            | 4     | 6     | 5         | 5    | 2      |
| 9            | 4     | 8     | 3         | 2    | 5      |
| 10           | 5     | 6     | 3         | 5    | 6      |
| 11           | 7     | 8     | 3         | 8    | 7      |
| 12           | 3     | 5     | 5         | 6    | 3      |
| 13           | 5     | 7     | 4         | 8    | 6      |
| 14           | 5     | 3     | 2         | 5    | 5      |
| 15           | 2     | 5     | 1         | 3    | 4      |
| 16           | 3     | 5     | 5         | 2    | 6      |
| 17           | 3     | 5     | 4         | 3    | 4      |
| 18           | 4     | 5     | 3         | 1    | 5      |
| 19           | 1     | 3     | 2         | 3    | 1      |
| 20           | 6     | 7     | 3         | 8    | 2      |
| 21           | 5     | 6     | 3         | 5    | 6      |
| 22           | 7     | 8     | 3         | 8    | 7      |
| keskiarvo    | 4,10  | 3,40  | 4,60      | 5,40 | 4,60   |
| keskihajonta | 1,71  | 1,76  | 1,98      | 1,90 | 2,39   |

## LIITE 5B. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset (koesarja 2)

1(2)

**Keitetyn maidon haju**

| Arvioija     | Näyte |       |        | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 2     | 5      | 3    | 5      |
| 2            | 5     | 4     | 5      | 2    | 6      |
| 3            | 5     | 3     | 5      | 3    | 2      |
| 4            | 7     | 7     | 2      | 3    | 7      |
| 5            | 8     | 6     | 2      | 2    | 3      |
| 6            | 5     | 4     | 7      | 7    | 5      |
| 7            | 7     | 5     | 4      | 3    | 6      |
| 8            | 4     | 3     | 1      | 2    | 1      |
| 9            | 5     | 2     | 8      | 3    | 7      |
| 10           | 3     | 1     | 3      | 8    | 1      |
| 11           | 4     | 4     | 3      | 6    | 7      |
| 12           | 5     | 6     | 3      | 3    | 6      |
| 13           | 3     | 2     | 5      | 4    | 2      |
| 14           | 3     | 2     | 4      | 3    | 4      |
| 15           | 6     | 4     | 2      | 8    | 7      |
| 16           | 3     | 2     | 4      | 5    | 3      |
| 17           | 3     | 2     | 5      | 1    | 1      |
| 18           | 5     | 5     | 3      | 4    | 6      |
| 19           | 1     | 1     | 2      | 2    | 1      |
| 20           | 4     | 6     | 1      | 5    | 7      |
| 21           | 6     | 4     | 5      | 3    | 3      |
| 22           | 4     | 4     | 3      | 6    | 7      |
| keskiarvo    | 4,45  | 3,59  | 3,73   | 3,91 | 4,41   |
| keskihajonta | 1,71  | 1,74  | 1,80   | 2,00 | 2,34   |

**Hajun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |        | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 4     | 2      | 5    | 6      |
| 2            | 2     | 2     | 4      | 1    | 4      |
| 3            | 4     | 7     | 3      | 5    | 3      |
| 4            | 6     | 7     | 6      | 7    | 7      |
| 5            | 2     | 5     | 4      | 7    | 3      |
| 6            | 4     | 6     | 7      | 6    | 5      |
| 7            | 3     | 6     | 8      | 7    | 4      |
| 8            | 2     | 1     | 3      | 2    | 3      |
| 9            | 5     | 8     | 3      | 6    | 4      |
| 10           | 2     | 5     | 2      | 5    | 1      |
| 11           | 2     | 5     | 6      | 3    | 3      |
| 12           | 7     | 2     | 3      | 3    | 4      |
| 13           | 2     | 1     | 3      | 3    | 2      |
| 14           | 2     | 4     | 2      | 7    | 2      |
| 15           | 5     | 6     | 8      | 2    | 3      |
| 16           | 3     | 3     | 7      | 7    | 6      |
| 17           | 2     | 2     | 1      | 5    | 1      |
| 18           | 4     | 3     | 2      | 2    | 2      |
| 19           | 3     | 3     | 1      | 1    | 2      |
| 20           | 2     | 8     | 5      | 7    | 8      |
| 21           | 4     | 5     | 3      | 6    | 3      |
| 22           | 2     | 5     | 6      | 3    | 3      |
| keskiarvo    | 3,18  | 4,45  | 4,05   | 4,55 | 3,59   |
| keskihajonta | 1,50  | 2,13  | 2,21   | 2,15 | 1,84   |

**Keitetyn maidon maku**

| Arvioija     | Näyte |       |        | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 2     | 3      | 4    | 6      |
| 2            | 3     | 4     | 3      | 5    | 6      |
| 3            | 5     | 2     | 7      | 5    | 1      |
| 4            | 5     | 6     | 8      | 5    | 7      |
| 5            | 8     | 4     | 2      | 6    | 2      |
| 6            | 5     | 3     | 4      | 7    | 5      |
| 7            | 6     | 7     | 3      | 3    | 4      |
| 8            | 4     | 2     | 3      | 1    | 2      |
| 9            | 6     | 2     | 8      | 3    | 7      |
| 10           | 5     | 3     | 4      | 5    | 1      |
| 11           | 6     | 7     | 1      | 3    | 4      |
| 12           | 4     | 2     | 6      | 6    | 2      |
| 13           | 5     | 4     | 5      | 4    | 6      |
| 14           | 2     | 2     | 5      | 3    | 3      |
| 15           | 6     | 4     | 3      | 9    | 8      |
| 16           | 7     | 4     | 6      | 3    | 4      |
| 17           | 4     | 6     | 5      | 3    | 7      |
| 18           | 5     | 6     | 5      | 6    | 3      |
| 19           | 3     | 2     | 1      | 1    | 3      |
| 20           | 5     | 6     | 7      | 2    | 6      |
| 21           | 3     | 6     | 3      | 5    | 3      |
| 22           | 6     | 7     | 1      | 3    | 4      |
| keskiarvo    | 4,77  | 4,14  | 4,23   | 4,18 | 4,27   |
| keskihajonta | 1,54  | 1,91  | 2,16   | 1,94 | 2,10   |

**Maun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |        | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 2     | 3      | 3    | 5      |
| 2            | 5     | 3     | 3      | 4    | 5      |
| 3            | 3     | 5     | 1      | 3    | 2      |
| 4            | 4     | 7     | 9      | 7    | 6      |
| 5            | 1     | 3     | 6      | 7    | 8      |
| 6            | 3     | 3     | 5      | 4    | 7      |
| 7            | 3     | 4     | 7      | 5    | 6      |
| 8            | 1     | 4     | 4      | 1    | 3      |
| 9            | 5     | 8     | 2      | 7    | 3      |
| 10           | 2     | 2     | 2      | 1    | 1      |
| 11           | 1     | 1     | 7      | 5    | 3      |
| 12           | 4     | 2     | 6      | 6    | 3      |
| 13           | 6     | 2     | 5      | 5    | 4      |
| 14           | 3     | 5     | 2      | 6    | 3      |
| 15           | 6     | 7     | 8      | 3    | 4      |
| 16           | 3     | 2     | 3      | 7    | 6      |
| 17           | 1     | 2     | 1      | 4    | 2      |
| 18           | 6     | 3     | 7      | 4    | 3      |
| 19           | 1     | 1     | 2      | 4    | 4      |
| 20           | 8     | 5     | 7      | 8    | 4      |
| 21           | 4     | 4     | 7      | 6    | 7      |
| 22           | 1     | 1     | 7      | 5    | 3      |
| keskiarvo    | 3,32  | 3,45  | 4,73   | 4,77 | 4,18   |
| keskihajonta | 2,03  | 2,02  | 2,49   | 1,90 | 1,84   |

**Makeus**

| Arvioija     | Näyte |       |        | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 3     | 3     | 5      | 4    | 3      |
| 2            | 4     | 6     | 3      | 2    | 5      |
| 3            | 3     | 3     | 3      | 7    | 4      |
| 4            | 6     | 6     | 4      | 4    | 1      |
| 5            | 5     | 2     | 3      | 4    | 2      |
| 6            | 3     | 6     | 4      | 6    | 2      |
| 7            | 3     | 7     | 5      | 5    | 6      |
| 8            | 3     | 1     | 5      | 1    | 1      |
| 9            | 7     | 8     | 3      | 5    | 4      |
| 10           | 6     | 2     | 2      | 5    | 3      |
| 11           | 6     | 6     | 2      | 3    | 4      |
| 12           | 3     | 4     | 6      | 6    | 2      |
| 13           | 2     | 2     | 6      | 3    | 3      |
| 14           | 4     | 5     | 5      | 3    | 7      |
| 15           | 5     | 4     | 2      | 8    | 6      |
| 16           | 6     | 5     | 4      | 5    | 4      |
| 17           | 4     | 5     | 4      | 3    | 6      |
| 18           | 3     | 3     | 5      | 4    | 7      |
| 19           | 2     | 2     | 1      | 1    | 4      |
| 20           | 8     | 5     | 7      | 2    | 7      |
| 21           | 2     | 2     | 3      | 4    | 2      |
| 22           | 6     | 6     | 2      | 3    | 4      |
| keskiarvo    | 4,27  | 4,23  | 3,82   | 4,00 | 3,95   |
| keskihajonta | 1,75  | 1,95  | 1,56   | 1,80 | 1,91   |

**Maun poikkeavuus vertailunäytteestä**

| Arvioija     | Näyte |       |        | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 2     | 4      | 4    | 5      |
| 2            | 4     | 6     | 2      | 3    | 1      |
| 3            | 5     | 3     | 6      | 3    | 2      |
| 4            | 3     | 5     | 6      | 5    | 2      |
| 5            | 8     | 2     | 4      | 8    | 3      |
| 6            | 4     | 6     | 4      | 6    | 2      |
| 7            | 3     | 7     | 5      | 4    | 6      |
| 8            | 1     | 4     | 6      | 2    | 5      |
| 9            | 4     | 3     | 8      | 5    | 7      |
| 10           | 2     | 3     | 5      | 6    | 1      |
| 11           | 3     | 4     | 8      | 6    | 3      |
| 12           | 3     | 4     | 6      | 6    | 2      |
| 13           | 2     | 5     | 6      | 4    | 3      |
| 14           | 5     | 6     | 5      | 2    | 1      |
| 15           | 6     | 4     | 3      | 8    | 7      |
| 16           | 5     | 3     | 3      | 2    | 4      |
| 17           | 5     | 4     | 2      | 3    | 6      |
| 18           | 2     | 5     | 5      | 4    | 6      |
| 19           | 1     | 2     | 4      | 3    | 3      |
| 20           | 2     | 2     | 3      | 7    | 2      |
| 21           | 3     | 4     | 6      | 3    | 5      |
| 22           | 3     | 4     | 8      | 6    | 3      |
| keskiarvo    | 3,45  | 4,00  | 4,95   | 4,55 | 3,59   |
| keskihajonta | 1,71  | 1,45  | 1,79   | 1,87 | 1,97   |



## LIITE 5C. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset (koesarja 3)

1(2)

**Keitetyn maidon haju**

| Arvioija | Näyte |       |        |      |             |
|----------|-------|-------|--------|------|-------------|
|          | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | LP24 toisto |
| 1        | 4     | 3     | 1      | 1    | 5           |
| 2        | 5     | 4     | 7      | 4    | 6           |
| 3        | 6     | 3     | 2      | 8    | 3           |
| 4        | 1     | 2     | 3      | 1    | 2           |
| 5        | 3     | 2     | 6      | 8    | 2           |
| 6        | 3     | 2     | 1      | 4    | 5           |
| 7        | 5     | 8     | 8      | 5    | 5           |
| 8        | 3     | 6     | 4      | 3    | 6           |
| 9        | 1     | 2     | 3      | 5    | 4           |
| 10       | 7     | 5     | 4      | 3    | 8           |
| 11       | 3     | 6     | 3      | 5    | 3           |
| 12       | 2     | 4     | 8      | 5    | 6           |
| 13       | 8     | 5     | 7      | 4    | 2           |
| 14       | 6     | 3     | 4      | 5    | 5           |
| 15       | 4     | 4     | 2      | 5    | 7           |
| 16       | 3     | 3     | 2      | 4    | 2           |
| 17       | 3     | 2     | 1      | 2    | 3           |
| 18       | 4     | 1     | 2      | 3    | 2           |
| 19       | 7     | 6     | 7      | 2    | 2           |
| 20       | 5     | 3     | 4      | 6    | 6           |
| 21       | 3     | 7     | 4      | 2    | 8           |
| 22       | 3     | 6     | 3      | 5    | 3           |

|              |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|
| keskiarvo    | 4,05 | 3,95 | 3,91 | 4,09 | 4,32 |
| keskihajonta | 1,89 | 1,91 | 2,29 | 1,90 | 2,03 |

**Hajun pistävyys**

| Arvioija | Näyte |       |        |      |             |
|----------|-------|-------|--------|------|-------------|
|          | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | LP24 toisto |
| 1        | 3     | 3     | 1      | 1    | 5           |
| 2        | 6     | 4     | 4      | 7    | 7           |
| 3        | 3     | 5     | 7      | 5    | 6           |
| 4        | 1     | 2     | 3      | 1    | 1           |
| 5        | 4     | 6     | 4      | 2    | 7           |
| 6        | 2     | 3     | 1      | 2    | 2           |
| 7        | 8     | 5     | 6      | 9    | 7           |
| 8        | 5     | 3     | 3      | 6    | 4           |
| 9        | 1     | 2     | 2      | 4    | 3           |
| 10       | 4     | 6     | 7      | 8    | 3           |
| 11       | 6     | 3     | 7      | 5    | 7           |
| 12       | 2     | 4     | 8      | 5    | 4           |
| 13       | 2     | 5     | 6      | 5    | 9           |
| 14       | 5     | 5     | 6      | 4    | 4           |
| 15       | 2     | 3     | 7      | 4    | 5           |
| 16       | 2     | 3     | 1      | 3    | 2           |
| 17       | 2     | 1     | 1      | 3    | 2           |
| 18       | 1     | 1     | 3      | 2    | 1           |
| 19       | 5     | 5     | 7      | 6    | 9           |
| 20       | 3     | 5     | 6      | 3    | 4           |
| 21       | 6     | 2     | 4      | 8    | 3           |
| 22       | 6     | 3     | 7      | 5    | 7           |

|              |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|
| keskiarvo    | 3,59 | 3,59 | 4,59 | 4,45 | 4,64 |
| keskihajonta | 2,02 | 1,50 | 2,40 | 2,26 | 2,44 |

**Keitetyn maidon maku**

| Arvioija | Näyte |       |        |      |             |
|----------|-------|-------|--------|------|-------------|
|          | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | LP24 toisto |
| 1        | 4     | 2     | 2      | 2    | 6           |
| 2        | 4     | 6     | 3      | 5    | 7           |
| 3        | 7     | 4     | 4      | 8    | 3           |
| 4        | 1     | 3     | 2      | 2    | 3           |
| 5        | 2     | 2     | 3      | 7    | 1           |
| 6        | 3     | 5     | 2      | 1    | 4           |
| 7        | 6     | 7     | 3      | 6    | 7           |
| 8        | 5     | 4     | 4      | 6    | 7           |
| 9        | 2     | 2     | 5      | 7    | 6           |
| 10       | 8     | 6     | 4      | 3    | 9           |
| 11       | 3     | 6     | 3      | 5    | 1           |
| 12       | 2     | 5     | 8      | 5    | 4           |
| 13       | 4     | 3     | 6      | 5    | 9           |
| 14       | 7     | 6     | 4      | 7    | 5           |
| 15       | 4     | 3     | 2      | 6    | 8           |
| 16       | 5     | 5     | 3      | 4    | 4           |
| 17       | 1     | 2     | 3      | 2    | 4           |
| 18       | 2     | 3     | 3      | 3    | 4           |
| 19       | 8     | 8     | 7      | 7    | 9           |
| 20       | 3     | 5     | 6      | 4    | 3           |
| 21       | 7     | 6     | 7      | 2    | 8           |
| 22       | 3     | 6     | 3      | 5    | 1           |

|              |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|
| keskiarvo    | 4,14 | 4,50 | 3,95 | 4,64 | 5,14 |
| keskihajonta | 2,21 | 1,79 | 1,79 | 2,04 | 2,62 |

**Maun pistävyys**

| Arvioija | Näyte |       |        |      |             |
|----------|-------|-------|--------|------|-------------|
|          | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | LP24 toisto |
| 1        | 1     | 2     | 1      | 1    | 5           |
| 2        | 2     | 3     | 2      | 7    | 6           |
| 3        | 4     | 7     | 7      | 5    | 4           |
| 4        | 1     | 2     | 3      | 1    | 1           |
| 5        | 3     | 5     | 3      | 4    | 3           |
| 6        | 2     | 3     | 2      | 4    | 3           |
| 7        | 3     | 3     | 3      | 6    | 2           |
| 8        | 3     | 3     | 4      | 5    | 6           |
| 9        | 2     | 2     | 4      | 5    | 4           |
| 10       | 5     | 6     | 7      | 8    | 4           |
| 11       | 4     | 3     | 7      | 3    | 8           |
| 12       | 2     | 4     | 6      | 4    | 4           |
| 13       | 7     | 8     | 4      | 6    | 3           |
| 14       | 5     | 6     | 6      | 5    | 2           |
| 15       | 3     | 2     | 3      | 5    | 3           |
| 16       | 4     | 5     | 3      | 6    | 6           |
| 17       | 3     | 4     | 2      | 6    | 2           |
| 18       | 2     | 3     | 5      | 4    | 2           |
| 19       | 6     | 4     | 2      | 6    | 7           |
| 20       | 5     | 4     | 3      | 7    | 6           |
| 21       | 6     | 2     | 3      | 3    | 2           |
| 22       | 4     | 3     | 7      | 3    | 8           |

|              |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|
| keskiarvo    | 3,50 | 3,82 | 3,95 | 4,73 | 4,14 |
| keskihajonta | 1,65 | 1,71 | 1,91 | 1,80 | 2,08 |

**Makeus**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24<br>toisto |
|--------------|-------|-------|--------|------|----------------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 |                |
| 1            | 3     | 3     | 2      | 2    | 5              |
| 2            | 3     | 3     | 4      | 4    | 2              |
| 3            | 2     | 3     | 2      | 4    | 2              |
| 4            | 3     | 4     | 2      | 2    | 1              |
| 5            | 4     | 4     | 6      | 7    | 3              |
| 6            | 5     | 4     | 3      | 1    | 2              |
| 7            | 3     | 8     | 4      | 3    | 6              |
| 8            | 3     | 5     | 5      | 3    | 3              |
| 9            | 1     | 1     | 4      | 7    | 3              |
| 10           | 6     | 5     | 4      | 3    | 8              |
| 11           | 4     | 5     | 3      | 1    | 3              |
| 12           | 5     | 4     | 3      | 4    | 4              |
| 13           | 6     | 8     | 3      | 4    | 2              |
| 14           | 6     | 4     | 6      | 4    | 5              |
| 15           | 2     | 3     | 3      | 5    | 6              |
| 16           | 4     | 4     | 5      | 3    | 1              |
| 17           | 3     | 4     | 1      | 2    | 2              |
| 18           | 3     | 4     | 4      | 5    | 2              |
| 19           | 7     | 6     | 8      | 9    | 8              |
| 20           | 4     | 5     | 6      | 3    | 3              |
| 21           | 3     | 4     | 5      | 2    | 5              |
| 22           | 4     | 5     | 3      | 1    | 3              |
| keskiarvo    | 3,82  | 4,36  | 3,91   | 3,59 | 3,59           |
| keskihajonta | 1,50  | 1,56  | 1,66   | 2,06 | 2,04           |

**Maun poikkeavuus vertailunäytteestä**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24<br>toisto |
|--------------|-------|-------|--------|------|----------------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 |                |
| 1            | 5     | 3     | 1      | 4    | 7              |
| 2            | 4     | 2     | 7      | 8    | 6              |
| 3            | 5     | 3     | 5      | 8    | 4              |
| 4            | 1     | 3     | 4      | 3    | 4              |
| 5            | 2     | 5     | 5      | 6    | 2              |
| 6            | 2     | 3     | 1      | 4    | 5              |
| 7            | 5     | 2     | 3      | 2    | 5              |
| 8            | 5     | 3     | 4      | 7    | 6              |
| 9            | 2     | 2     | 5      | 7    | 6              |
| 10           | 4     | 5     | 6      | 8    | 2              |
| 11           | 5     | 4     | 4      | 6    | 6              |
| 12           | 3     | 4     | 7      | 5    | 4              |
| 13           | 4     | 3     | 7      | 5    | 8              |
| 14           | 4     | 3     | 7      | 8    | 5              |
| 15           | 3     | 2     | 4      | 5    | 5              |
| 16           | 4     | 2     | 4      | 4    | 3              |
| 17           | 4     | 3     | 1      | 6    | 2              |
| 18           | 4     | 2     | 3      | 5    | 4              |
| 19           | 3     | 3     | 3      | 4    | 3              |
| 20           | 4     | 5     | 7      | 8    | 6              |
| 21           | 7     | 4     | 3      | 6    | 3              |
| 22           | 5     | 4     | 4      | 6    | 6              |
| keskiarvo    | 3,86  | 3,18  | 4,32   | 5,68 | 4,64           |
| keskihajonta | 1,36  | 1,01  | 1,96   | 1,76 | 1,68           |

## LIITE 5D. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset (koesarja 4)

1(2)

**Keitetyn maidon haju**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24   |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 3     | 7     | 3      | 6    | 4      |
| 2            | 6     | 6     | 4      | 6    | 4      |
| 3            | 3     | 2     | 1      | 3    | 2      |
| 4            | 4     | 3     | 2      | 3    | 4      |
| 5            | 2     | 3     | 2      | 5    | 3      |
| 6            | 2     | 2     | 1      | 4    | 3      |
| 7            | 1     | 1     | 1      | 1    | 1      |
| 8            | 3     | 2     | 3      | 8    | 8      |
| 9            | 2     | 3     | 5      | 2    | 4      |
| 10           | 2     | 1     | 6      | 3    | 2      |
| 11           | 5     | 2     | 5      | 3    | 4      |
| 12           | 6     | 5     | 4      | 2    | 7      |
| 13           | 4     | 6     | 3      | 3    | 6      |
| 14           | 4     | 5     | 3      | 5    | 5      |
| 15           | 1     | 3     | 1      | 2    | 1      |
| 16           | 4     | 3     | 7      | 4    | 4      |
| 17           | 1     | 3     | 1      | 3    | 4      |
| 18           | 6     | 3     | 4      | 3    | 5      |
| 19           | 3     | 1     | 5      | 1    | 3      |
| 20           | 3     | 2     | 1      | 2    | 3      |
| 21           | 1     | 1     | 1      | 2    | 1      |
| 22           | 5     | 2     | 5      | 3    | 4      |
| keskiarvo    | 3,23  | 3,00  | 3,09   | 3,36 | 3,73   |
| keskihajonta | 1,66  | 1,75  | 1,87   | 1,73 | 1,80   |

**Hajun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24   |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 3     | 6     | 2      | 6    | 4      |
| 2            | 3     | 3     | 4      | 5    | 6      |
| 3            | 3     | 2     | 1      | 3    | 4      |
| 4            | 5     | 4     | 7      | 6    | 6      |
| 5            | 7     | 3     | 3      | 2    | 2      |
| 6            | 3     | 1     | 2      | 1    | 1      |
| 7            | 1     | 1     | 1      | 1    | 1      |
| 8            | 8     | 5     | 8      | 2    | 7      |
| 9            | 1     | 2     | 3      | 1    | 3      |
| 10           | 2     | 8     | 5      | 2    | 3      |
| 11           | 1     | 4     | 2      | 5    | 2      |
| 12           | 7     | 2     | 5      | 3    | 5      |
| 13           | 3     | 5     | 2      | 8    | 4      |
| 14           | 2     | 4     | 8      | 6    | 4      |
| 15           | 1     | 2     | 1      | 2    | 1      |
| 16           | 3     | 3     | 5      | 2    | 2      |
| 17           | 3     | 2     | 1      | 2    | 1      |
| 18           | 3     | 6     | 3      | 5    | 4      |
| 19           | 4     | 3     | 2      | 4    | 2      |
| 20           | 2     | 2     | 1      | 1    | 3      |
| 21           | 1     | 1     | 1      | 1    | 1      |
| 22           | 1     | 4     | 2      | 5    | 2      |
| keskiarvo    | 3,05  | 3,32  | 3,14   | 3,32 | 3,09   |
| keskihajonta | 2,06  | 1,84  | 2,27   | 2,10 | 1,80   |

**Keitetyn maidon maku**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24   |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 7     | 3      | 6    | 3      |
| 2            | 6     | 6     | 3      | 5    | 3      |
| 3            | 2     | 4     | 1      | 3    | 3      |
| 4            | 6     | 4     | 7      | 8    | 7      |
| 5            | 4     | 4     | 2      | 3    | 6      |
| 6            | 4     | 2     | 2      | 5    | 3      |
| 7            | 2     | 1     | 4      | 2    | 1      |
| 8            | 7     | 6     | 5      | 6    | 6      |
| 9            | 4     | 3     | 6      | 5    | 4      |
| 10           | 4     | 1     | 2      | 3    | 5      |
| 11           | 2     | 4     | 2      | 1    | 5      |
| 12           | 6     | 2     | 3      | 4    | 6      |
| 13           | 5     | 4     | 5      | 5    | 3      |
| 14           | 1     | 6     | 6      | 4    | 4      |
| 15           | 4     | 5     | 4      | 6    | 5      |
| 16           | 1     | 2     | 8      | 3    | 4      |
| 17           | 4     | 4     | 3      | 2    | 3      |
| 18           | 5     | 3     | 4      | 3    | 6      |
| 19           | 2     | 3     | 4      | 2    | 1      |
| 20           | 2     | 2     | 4      | 3    | 3      |
| 21           | 2     | 1     | 3      | 1    | 2      |
| 22           | 2     | 4     | 2      | 1    | 5      |
| keskiarvo    | 3,50  | 3,55  | 3,77   | 3,68 | 4,00   |
| keskihajonta | 1,79  | 1,74  | 1,80   | 1,89 | 1,66   |

**Maun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24   |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 2     | 7     | 2      | 5    | 4      |
| 2            | 3     | 3     | 6      | 5    | 6      |
| 3            | 1     | 2     | 1      | 3    | 3      |
| 4            | 3     | 6     | 2      | 5    | 5      |
| 5            | 3     | 3     | 7      | 6    | 5      |
| 6            | 2     | 1     | 3      | 2    | 3      |
| 7            | 1     | 1     | 1      | 1    | 1      |
| 8            | 7     | 2     | 5      | 2    | 5      |
| 9            | 3     | 3     | 4      | 4    | 3      |
| 10           | 2     | 4     | 1      | 3    | 2      |
| 11           | 1     | 7     | 4      | 6    | 4      |
| 12           | 2     | 4     | 4      | 5    | 6      |
| 13           | 2     | 8     | 6      | 3    | 2      |
| 14           | 1     | 5     | 5      | 2    | 7      |
| 15           | 2     | 3     | 3      | 3    | 3      |
| 16           | 3     | 3     | 3      | 2    | 2      |
| 17           | 1     | 2     | 2      | 1    | 3      |
| 18           | 2     | 3     | 5      | 6    | 4      |
| 19           | 5     | 2     | 2      | 4    | 2      |
| 20           | 2     | 1     | 3      | 1    | 1      |
| 21           | 1     | 1     | 1      | 1    | 1      |
| 22           | 1     | 7     | 4      | 6    | 4      |
| keskiarvo    | 2,27  | 3,55  | 3,36   | 3,45 | 3,45   |
| keskihajonta | 1,45  | 2,20  | 1,79   | 1,82 | 1,71   |

**Makeus**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24   |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 1     | 5     | 1      | 2    | 2      |
| 2            | 6     | 6     | 3      | 3    | 4      |
| 3            | 3     | 3     | 2      | 2    | 2      |
| 4            | 5     | 3     | 2      | 4    | 6      |
| 5            | 2     | 5     | 1      | 1    | 2      |
| 6            | 2     | 3     | 4      | 4    | 3      |
| 7            | 5     | 4     | 5      | 5    | 5      |
| 8            | 4     | 5     | 6      | 7    | 3      |
| 9            | 3     | 2     | 4      | 2    | 5      |
| 10           | 4     | 5     | 4      | 3    | 7      |
| 11           | 5     | 2     | 1      | 2    | 5      |
| 12           | 1     | 2     | 3      | 4    | 4      |
| 13           | 4     | 3     | 4      | 5    | 2      |
| 14           | 5     | 7     | 5      | 6    | 8      |
| 15           | 3     | 4     | 3      | 5    | 3      |
| 16           | 2     | 3     | 4      | 2    | 4      |
| 17           | 3     | 4     | 2      | 3    | 4      |
| 18           | 7     | 6     | 3      | 3    | 5      |
| 19           | 7     | 5     | 5      | 6    | 4      |
| 20           | 2     | 2     | 3      | 2    | 3      |
| 21           | 4     | 5     | 4      | 5    | 4      |
| 22           | 5     | 2     | 1      | 2    | 5      |
| keskiarvo    | 3,77  | 3,91  | 3,18   | 3,55 | 4,09   |
| keskihajonta | 1,74  | 1,51  | 1,47   | 1,65 | 1,60   |

**Maun poikkeavuus vertailunäytteestä**

| Arvioija     | Näyte |       |        |      | LP24   |
|--------------|-------|-------|--------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED 24 | LP24 | toisto |
| 1            | 3     | 6     | 3      | 5    | 2      |
| 2            | 3     | 3     | 6      | 8    | 7      |
| 3            | 1     | 2     | 5      | 4    | 3      |
| 4            | 3     | 3     | 7      | 6    | 8      |
| 5            | 2     | 4     | 3      | 3    | 3      |
| 6            | 2     | 3     | 3      | 4    | 5      |
| 7            | 1     | 1     | 2      | 1    | 2      |
| 8            | 3     | 5     | 3      | 7    | 4      |
| 9            | 2     | 3     | 3      | 2    | 5      |
| 10           | 2     | 3     | 2      | 3    | 4      |
| 11           | 2     | 6     | 4      | 5    | 3      |
| 12           | 5     | 2     | 3      | 2    | 6      |
| 13           | 4     | 8     | 2      | 2    | 6      |
| 14           | 4     | 3     | 2      | 4    | 4      |
| 15           | 3     | 4     | 3      | 6    | 3      |
| 16           | 2     | 2     | 5      | 2    | 3      |
| 17           | 3     | 2     | 2      | 1    | 3      |
| 18           | 2     | 3     | 5      | 4    | 6      |
| 19           | 1     | 3     | 3      | 2    | 5      |
| 20           | 1     | 2     | 2      | 4    | 3      |
| 21           | 1     | 1     | 4      | 1    | 2      |
| 22           | 2     | 6     | 4      | 5    | 3      |
| keskiarvo    | 2,36  | 3,41  | 3,45   | 3,68 | 4,09   |
| keskihajonta | 1,09  | 1,79  | 1,41   | 1,99 | 1,69   |

## LIITE 5E. Aistinvaraisen arvioinnin tulokset (koesarja 5)

1(2)

**Keitetyn maidon haju**

| Arvioija     | Näyte |       |           |      |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 5     | 2     | 7         | 3    | 5      |
| 2            | 2     | 1     | 2         | 4    | 3      |
| 3            | 3     | 4     | 6         | 5    | 7      |
| 4            | 5     | 2     | 2         | 4    | 2      |
| 5            | 3     | 3     | 5         | 6    | 4      |
| 6            | 3     | 2     | 7         | 1    | 3      |
| 7            | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 8            | 7     | 5     | 2         | 3    | 8      |
| 9            | 4     | 2     | 3         | 2    | 5      |
| 10           | 7     | 4     | 7         | 5    | 4      |
| 11           | 2     | 5     | 5         | 2    | 2      |
| 12           | 3     | 5     | 7         | 3    | 5      |
| 13           | 2     | 3     | 2         | 3    | 3      |
| 14           | 3     | 8     | 6         | 4    | 6      |
| 15           | 2     | 2     | 3         | 7    | 6      |
| 16           | 7     | 6     | 4         | 2    | 8      |
| 17           | 3     | 1     | 2         | 4    | 2      |
| 18           | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 19           | 6     | 7     | 2         | 5    | 2      |
| 20           | 5     | 5     | 2         | 7    | 6      |
| 21           | 3     | 2     | 7         | 1    | 3      |
| 22           | 2     | 5     | 5         | 2    | 2      |
| keskiarvo    | 3,59  | 3,45  | 4,00      | 3,41 | 4,00   |
| keskihajonta | 1,89  | 2,06  | 2,23      | 1,87 | 2,16   |

**Hajun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |           |      |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 6     | 4     | 6         | 4    | 4      |
| 2            | 1     | 1     | 2         | 2    | 3      |
| 3            | 2     | 6     | 4         | 3    | 3      |
| 4            | 5     | 2     | 1         | 2    | 3      |
| 5            | 6     | 5     | 3         | 3    | 4      |
| 6            | 3     | 7     | 2         | 2    | 2      |
| 7            | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 8            | 3     | 5     | 8         | 7    | 2      |
| 9            | 2     | 2     | 2         | 1    | 3      |
| 10           | 4     | 6     | 7         | 6    | 6      |
| 11           | 5     | 2     | 2         | 5    | 5      |
| 12           | 2     | 5     | 7         | 3    | 5      |
| 13           | 3     | 2     | 2         | 2    | 3      |
| 14           | 4     | 3     | 5         | 4    | 3      |
| 15           | 3     | 5     | 4         | 2    | 2      |
| 16           | 3     | 5     | 7         | 8    | 8      |
| 17           | 2     | 1     | 1         | 2    | 1      |
| 18           | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 19           | 3     | 3     | 5         | 4    | 6      |
| 20           | 7     | 3     | 3         | 8    | 3      |
| 21           | 3     | 7     | 2         | 2    | 2      |
| 22           | 5     | 2     | 2         | 5    | 5      |
| keskiarvo    | 3,36  | 3,55  | 3,50      | 3,50 | 3,41   |
| keskihajonta | 1,71  | 2,02  | 2,28      | 2,18 | 1,82   |

**Keitetyn maidon maku**

| Arvioija     | Näyte |       |           |      |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 7     | 4     | 7         | 4    | 5      |
| 2            | 3     | 5     | 1         | 4    | 2      |
| 3            | 5     | 4     | 3         | 5    | 3      |
| 4            | 6     | 2     | 1         | 6    | 3      |
| 5            | 5     | 6     | 3         | 4    | 3      |
| 6            | 5     | 3     | 7         | 2    | 3      |
| 7            | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 8            | 8     | 5     | 3         | 4    | 9      |
| 9            | 4     | 5     | 3         | 4    | 5      |
| 10           | 2     | 5     | 2         | 2    | 5      |
| 11           | 3     | 5     | 2         | 2    | 3      |
| 12           | 4     | 6     | 7         | 4    | 3      |
| 13           | 4     | 5     | 3         | 4    | 5      |
| 14           | 6     | 4     | 5         | 7    | 6      |
| 15           | 5     | 3     | 2         | 4    | 5      |
| 16           | 7     | 6     | 4         | 3    | 8      |
| 17           | 3     | 4     | 2         | 5    | 3      |
| 18           | 3     | 1     | 1         | 2    | 2      |
| 19           | 6     | 5     | 4         | 3    | 3      |
| 20           | 6     | 4     | 3         | 6    | 6      |
| 21           | 5     | 3     | 7         | 2    | 3      |
| 22           | 3     | 5     | 2         | 2    | 3      |
| keskiarvo    | 4,59  | 4,14  | 3,32      | 3,64 | 4,05   |
| keskihajonta | 1,76  | 1,46  | 2,06      | 1,56 | 1,96   |

**Maun pistävyys**

| Arvioija     | Näyte |       |           |      |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 6     | 2     | 5         | 2    | 4      |
| 2            | 2     | 3     | 1         | 3    | 4      |
| 3            | 5     | 1     | 3         | 2    | 1      |
| 4            | 4     | 2     | 1         | 2    | 1      |
| 5            | 3     | 3     | 5         | 4    | 6      |
| 6            | 2     | 7     | 6         | 2    | 3      |
| 7            | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 8            | 3     | 5     | 9         | 7    | 2      |
| 9            | 2     | 5     | 3         | 4    | 2      |
| 10           | 2     | 6     | 6         | 6    | 7      |
| 11           | 3     | 2     | 3         | 3    | 2      |
| 12           | 3     | 6     | 6         | 5    | 4      |
| 13           | 2     | 3     | 3         | 3    | 4      |
| 14           | 5     | 2     | 7         | 8    | 3      |
| 15           | 2     | 3     | 2         | 3    | 2      |
| 16           | 4     | 6     | 7         | 8    | 3      |
| 17           | 1     | 2     | 3         | 3    | 2      |
| 18           | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 19           | 3     | 3     | 4         | 5    | 6      |
| 20           | 7     | 3     | 2         | 8    | 8      |
| 21           | 2     | 7     | 6         | 2    | 3      |
| 22           | 3     | 2     | 3         | 3    | 2      |
| keskiarvo    | 3,00  | 3,41  | 3,95      | 3,86 | 3,23   |
| keskihajonta | 1,60  | 1,97  | 2,30      | 2,25 | 2,00   |

**Makeus**

| Arvioija     | Näyte |       |           | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 5     | 3     | 5         | 2    | 3      |
| 2            | 3     | 4     | 2         | 2    | 1      |
| 3            | 5     | 4     | 4         | 6    | 3      |
| 4            | 4     | 7     | 3         | 5    | 4      |
| 5            | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 6            | 3     | 2     | 2         | 3    | 2      |
| 7            | 5     | 4     | 5         | 4    | 4      |
| 8            | 4     | 7     | 8         | 7    | 3      |
| 9            | 4     | 2     | 3         | 3    | 5      |
| 10           | 3     | 2     | 2         | 4    | 1      |
| 11           | 4     | 3     | 4         | 6    | 5      |
| 12           | 2     | 3     | 4         | 3    | 6      |
| 13           | 3     | 5     | 2         | 3    | 6      |
| 14           | 5     | 4     | 3         | 3    | 6      |
| 15           | 4     | 5     | 6         | 5    | 6      |
| 16           | 3     | 5     | 7         | 8    | 2      |
| 17           | 5     | 3     | 4         | 4    | 3      |
| 18           | 5     | 5     | 5         | 5    | 4      |
| 19           | 1     | 1     | 1         | 1    | 1      |
| 20           | 3     | 2     | 2         | 3    | 3      |
| 21           | 3     | 2     | 2         | 3    | 2      |
| 22           | 4     | 3     | 4         | 6    | 6      |
| keskiarvo    | 3,59  | 3,50  | 3,59      | 3,95 | 3,50   |
| keskihajonta | 1,22  | 1,68  | 1,87      | 1,86 | 1,82   |

**Maun poikkeavuus vertailunäytteestä**

| Arvioija     | Näyte |       |           | LP24 |        |
|--------------|-------|-------|-----------|------|--------|
|              | LP12  | LED12 | LED<br>24 | LP24 | toisto |
| 1            | 7     | 6     | 7         | 2    | 4      |
| 2            | 3     | 4     | 1         | 5    | 2      |
| 3            | 3     | 5     | 5         | 4    | 6      |
| 4            | 5     | 1     | 3         | 5    | 4      |
| 5            | 3     | 3     | 3         | 4    | 5      |
| 6            | 4     | 6     | 7         | 3    | 2      |
| 7            | 1     | 1     | 1         | 1    | 2      |
| 8            | 7     | 4     | 2         | 3    | 8      |
| 9            | 4     | 4     | 3         | 1    | 3      |
| 10           | 3     | 2     | 4         | 4    | 2      |
| 11           | 3     | 2     | 4         | 5    | 6      |
| 12           | 2     | 5     | 7         | 5    | 4      |
| 13           | 4     | 2     | 4         | 4    | 1      |
| 14           | 5     | 4     | 7         | 8    | 2      |
| 15           | 5     | 2     | 3         | 2    | 1      |
| 16           | 6     | 3     | 2         | 1    | 8      |
| 17           | 3     | 1     | 5         | 4    | 2      |
| 18           | 1     | 1     | 1         | 3    | 2      |
| 19           | 3     | 4     | 3         | 6    | 5      |
| 20           | 2     | 2     | 3         | 5    | 4      |
| 21           | 4     | 6     | 7         | 3    | 2      |
| 22           | 3     | 2     | 4         | 5    | 6      |
| keskiarvo    | 3,68  | 3,18  | 3,91      | 3,77 | 3,68   |
| keskihajonta | 1,64  | 1,71  | 2,04      | 1,74 | 2,12   |

LIITE 6. Perunoiden värinmittausten a-koordinaatit ja värikoordinaatti a:n muutoksesta lasketut muutosprosentit

1(2)

Eri valonlähteiden alla säilytettyjen perunoiden värikoordinaatti a:n mittaustulokset.  $a_0$  on lähtöarvo ja numero a:n perässä tarkoittaa valoaltistuksen kestoja vuorokausissa.

| Valonlähde        | Näyte        | $a_0$ | $a_2$ | $a_5$ | $a_7$ |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Loisteputki       | 1            | 5,69  | 4,07  | 2,95  | 2,11  |
|                   | 2            | 6,42  | 3,23  | 1,81  | 0,80  |
|                   | 3            | 6,05  | 5,63  | 2,90  | 2,14  |
|                   | 4            | 6,24  | 5,10  | 2,59  | 1,78  |
|                   | 5            | 6,14  | 3,67  | 2,46  | 1,96  |
|                   | 6            | 6,19  | 4,40  | 1,36  | 0,54  |
|                   | keskiarvo    | 6,12  | 4,35  | 2,34  | 1,55  |
|                   | keskihajonta | 0,63  | 1,16  | 0,63  | 0,53  |
| LED<br>4000K      | Näyte        | $a_0$ | $a_2$ | $a_5$ | $a_7$ |
|                   | 1            | 7,58  | 5,04  | 3,64  | 3,79  |
|                   | 2            | 7,39  | 3,77  | 2,66  | 2,84  |
|                   | 3            | 6,76  | 4,13  | 3,25  | 2,78  |
|                   | 4            | 7,11  | 3,72  | 2,91  | 2,92  |
|                   | 5            | 5,74  | 3,40  | 3,05  | 2,11  |
|                   | 6            | 5,91  | 3,44  | 2,43  | 2,55  |
|                   | keskiarvo    | 6,75  | 3,91  | 2,99  | 2,83  |
| keskihajonta      | 0,79         | 1,21  | 0,43  | 0,41  |       |
| LED RGB vihreä    | Näyte        | $a_0$ | $a_2$ | $a_5$ | $a_7$ |
|                   | 1            | 6,85  | 6,21  | 3,68  | 2,89  |
|                   | 2            | 5,80  | 3,85  | 1,85  | 1,77  |
|                   | 3            | 6,95  | 4,42  | 2,11  | 1,11  |
|                   | 4            | 6,65  | 5,68  | 3,66  | 2,64  |
|                   | 5            | 6,02  | 3,45  | 2,13  | 2,01  |
|                   | 6            | 6,80  | 5,83  | 2,13  | 3,44  |
|                   | keskiarvo    | 6,51  | 4,90  | 2,59  | 2,31  |
| keskihajonta      | 0,41         | 0,83  | 0,84  | 0,24  |       |
| LED RGB turkoosi  | Näyte        | $a_0$ | $a_2$ | $a_5$ | $a_7$ |
|                   | 1            | 5,91  | 2,67  | 1,87  | 1,98  |
|                   | 2            | 6,15  | 3,19  | 1,06  | 0,98  |
|                   | 3            | 6,80  | 2,45  | 0,98  | 0,60  |
|                   | 4            | 7,16  | 4,87  | 2,95  | 2,19  |
|                   | 5            | 6,40  | 3,93  | 1,58  | 1,63  |
|                   | 6            | 8,05  | 4,59  | 4,19  | 3,98  |
|                   | keskiarvo    | 6,74  | 3,61  | 2,10  | 1,89  |
| keskihajonta      | 0,83         | 0,42  | 1,25  | 0,51  |       |
| LED RGB keltainen | Näyte        | $a_0$ | $a_2$ | $a_5$ | $a_7$ |
|                   | 1            | 6,48  | 4,35  | 2,86  | 2,07  |
|                   | 2            | 8,30  | 5,29  | 4,11  | 4,00  |
|                   | 3            | 8,88  | 6,12  | 4,19  | 4,07  |
|                   | 4            | 6,89  | 4,16  | 3,30  | 1,99  |
|                   | 5            | 7,81  | 5,95  | 4,92  | 3,58  |
|                   | 6            | 7,73  | 4,43  | 2,98  | 2,46  |
|                   | keskiarvo    | 7,68  | 5,05  | 3,72  | 3,03  |
| keskihajonta      | 0,61         | 0,94  | 0,81  | 0,33  |       |

| Valolta suojattu | Näyte        | $a_0$ | $a_2$ | $a_5$ | $a_7$ |
|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
|                  | 1            | 7,21  | 7,30  | 7,26  | 7,83  |
|                  | 2            | 7,67  | 6,60  | 7,86  | 7,89  |
|                  | 3            | 8,62  | 8,58  | 8,34  | 8,34  |
|                  | 4            | 8,20  | 8,05  | 8,03  | 8,53  |
|                  | 5            | 7,46  | 7,50  | 7,44  | 7,44  |
|                  | 6            | 7,73  | 6,90  | 7,99  | 8,05  |
|                  | keskiarvo    | 7,82  | 7,49  | 7,82  | 8,01  |
|                  | keskihajonta | 0,51  | 0,73  | 0,40  | 0,39  |

Värikoordinaatti a:n muutoksesta lasketut muutosprosentit (%).  $a_0$  on lähtöarvo ja  $a_7$  arvo seitsemän vuorokauden valoaltistuksen jälkeen.

| Valonlähde        | $a_0$ | $a_7$ | %  |
|-------------------|-------|-------|----|
| LED 4000 K        | 6,75  | 2,83  | 58 |
| LED RGB keltainen | 7,68  | 3,03  | 61 |
| LED RGB vihreä    | 6,51  | 2,31  | 65 |
| LED RGB turkoosi  | 6,74  | 1,89  | 72 |
| Loisteputki       | 6,12  | 1,55  | 75 |



## LIITE 7. Perunoiden pintalämpötilan mittaustulokset

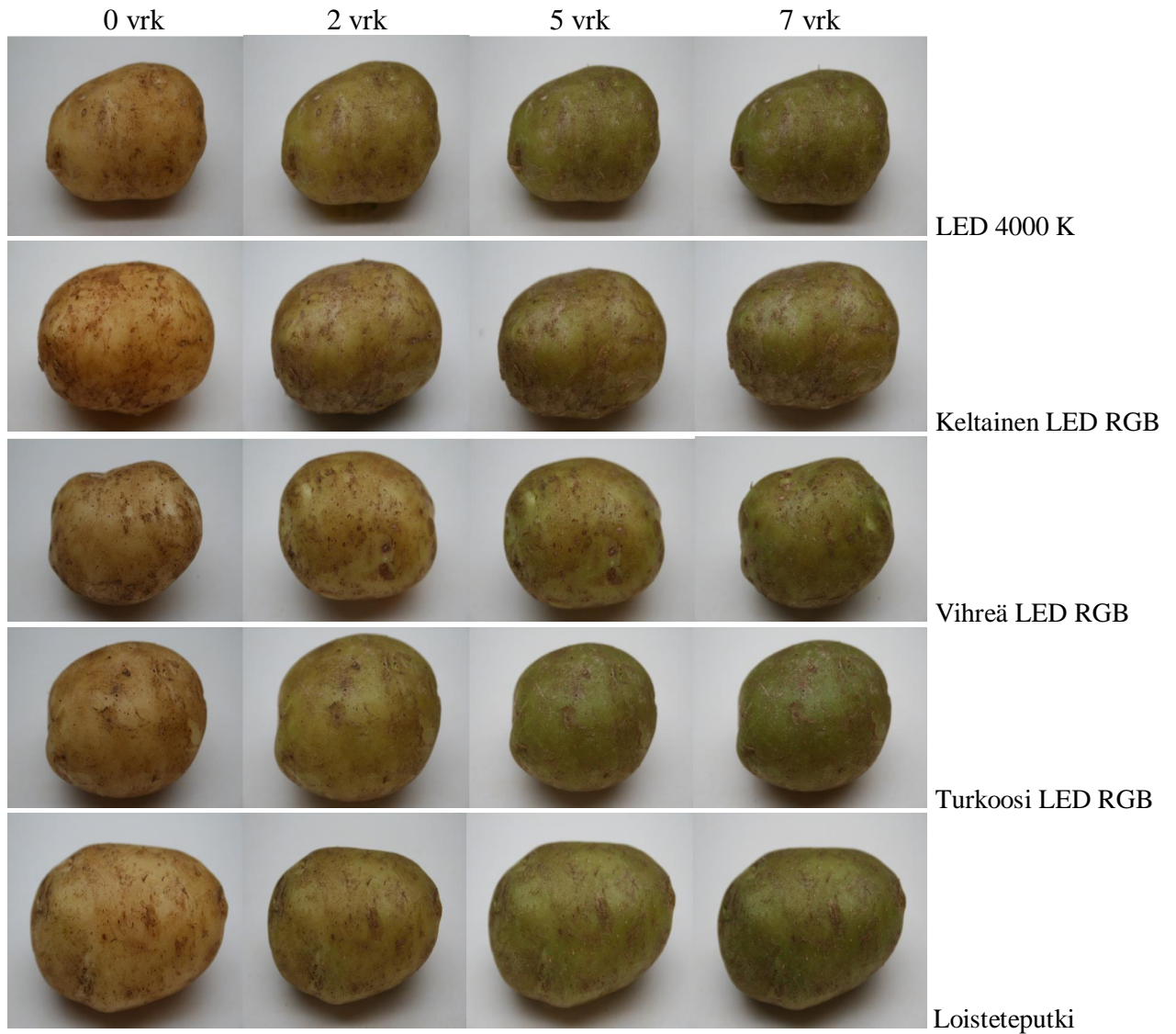
Eri valonlähteiden alla säilytettyjen perunoiden pintalämpötilojen mittaustulokset.  
Numero t:n perässä tarkoittaa valoaltistuksen kestoa vuorokausissa.

| Valonlähde        | Näyte        | t <sub>2</sub> | t <sub>5</sub> | t <sub>7</sub> |
|-------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| Loisteputki       | 1            | 19,4           | 18,7           | 18,5           |
|                   | 2            | 19,1           | 18,6           | 18,3           |
|                   | 3            | 19,2           | 18,4           | 18,6           |
|                   | 4            | 18,9           | 18,1           | 18,2           |
|                   | 5            | 18,1           | 17,9           | 18,0           |
|                   | 6            | 18,8           | 18,5           | 18,1           |
|                   | keskiarvo    | 18,9           | 18,4           | 18,3           |
|                   | keskihajonta | 0,5            | 0,3            | 0,2            |
| LED4000K          | Näyte        | t <sub>2</sub> | t <sub>5</sub> | t <sub>7</sub> |
|                   | 1            | 19,4           | 20,6           | 20,3           |
|                   | 2            | 19,2           | 19,8           | 19,4           |
|                   | 3            | 19,8           | 20,5           | 20,4           |
|                   | 4            | 19,4           | 19,8           | 19,6           |
|                   | 5            | 19,7           | 19,4           | 20,5           |
|                   | 6            | 19,6           | 20,3           | 20,4           |
|                   | keskiarvo    | 19,5           | 20,1           | 20,1           |
| keskihajonta      | 0,2          | 0,5            | 0,5            |                |
| LED RGB vihreä    | Näyte        | t <sub>2</sub> | t <sub>5</sub> | t <sub>7</sub> |
|                   | 1            | 17,6           | 17,8           | 17,7           |
|                   | 2            | 17,3           | 18,5           | 18,3           |
|                   | 3            | 17,7           | 17,8           | 17,9           |
|                   | 4            | 17,7           | 17,8           | 18,1           |
|                   | 5            | 17,8           | 18,0           | 18,2           |
|                   | 6            | 17,4           | 17,8           | 17,9           |
|                   | keskiarvo    | 17,6           | 18,0           | 18,0           |
| keskihajonta      | 0,2          | 0,3            | 0,2            |                |
| LED RGB turkoosi  | Näyte        | t <sub>2</sub> | t <sub>5</sub> | t <sub>7</sub> |
|                   | 1            | 19,1           | 19,3           | 19,2           |
|                   | 2            | 19,6           | 19,8           | 19,6           |
|                   | 3            | 19,8           | 19,6           | 19,8           |
|                   | 4            | 20,1           | 20,5           | 20,9           |
|                   | 5            | 21,4           | 20,7           | 21,2           |
|                   | 6            | 21,6           | 21,8           | 21,7           |
|                   | keskiarvo    | 20,3           | 20,3           | 20,4           |
| keskihajonta      | 1,0          | 0,9            | 1,0            |                |
| LED RGB keltainen | Näyte        | t <sub>2</sub> | t <sub>5</sub> | t <sub>7</sub> |
|                   | 1            | 17,8           | 17,7           | 18,3           |
|                   | 2            | 17,7           | 17,8           | 18,1           |
|                   | 3            | 17,5           | 17,7           | 18,2           |
|                   | 4            | 17,9           | 17,7           | 18,1           |
|                   | 5            | 18,3           | 17,7           | 18,5           |
|                   | 6            | 18,9           | 17,4           | 18,1           |
|                   | keskiarvo    | 18,0           | 17,7           | 18,2           |
| keskihajonta      | 0,5          | 0,1            | 0,2            |                |

LIITE 8. Kuvasarja perunoiden vihertymisestä valoaltistuksen aikana ja halkaisukuvat 7 vrk:n valoaltistuksen jälkeen

1(2)

Kuvasarja eri valonlähteiden alla säilytettyjen perunoiden vihertymisestä valoaltistuksen aikana.



Eri valonlähteiden alla säilytettyjen perunoiden halkaisukuvat 7 vrk:n valoaltistuksen jälkeen

Loisteputki



RGB-LED turkoosi



LED3000K



RGB-LED keltainen



RGB-LED vihreä



Pimeässä säilytetty

