

Jari Rautiainen

# Toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksen suunnitteluohje, jossa huomioidaan ympäristöluokitusten vaatimukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

30.3.2016

|  |  |
|--|--|
| Tekijä(t)<br>Otsikko<br>Sivumäärä<br>Aika  | Jari Rautiainen<br>Toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksen suunnitteluohje, jossa huomioidaan ympäristöluokitusten vaatimukset.<br>65 sivua + 2 liitettä<br>30.3.2016 |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)  |
| Koulutusohjelma  | Sähkötekniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Sähkövoimatekniikka  |
| Ohjaaja(t)   | Lehtori Tapio Kallasjoki<br>Valaistussuunnittelija Sanna Forsman   |
| <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksen suunnitteluun ja saada kokonaiskuva siitä, mitä suunnittelulta vaaditaan, että ulkovalaistus olisi turvallinen, miellyttävä, kustannustehokas ja vähän valosaastetta aiheuttava.</p> <p>Opinnäytetyössä huomioidaan LEED- ja BREEAM-ympäristöluokitusten vaikutus suunnitteluun silloin, kun kohteelle haetaan ympäristöluokitussertifiointia. Valaistustekniikan perusteita käsitellään vain niiltä osin, mitä suunnittelun ja lopputuloksen arvioinnin kannalta on tarpeellista.</p> <p>Opinnäytetyö on tehty tutkielmana. Aineistona on käytetty eurooppalaista standardia EN-SFS12464-2 Light and lighting. Lighting of work places. Part 2 Outdoor work places sekä kansallisia valaistussuosituksia ja suunnitteluohjeita. Ympäristöluokituksia käsittelevissä luvuissa aineistona on käytetty LEED- ja BREEAM-ympäristöluokitusten vaatimuksia ja arviointiohjeita sekä vaatimusten pohjalla olevia valaistusstandardeja.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena syntyy suunnitteluohje yrityksen sisäiseen käyttöön. Suunnitteluohjeen tarkoituksena on kerrata valaistustekniikan keskeiset käsitteet ja asiat ja helpottaa ja nopeuttaa ulkovalaistuksen suunnittelua. Opinnäytetyö antaa myös ohjeet siihen, kuinka suunnittelua tulee muuttaa kohteissa, joihin ollaan hakemassa LEED tai BREEAM-sertifiointia.</p> |  |
| Avainsanat   | Ulkovalaistus, ulkovalaistussuunnittelu, LEED, BREEAM  |

|  |   |
|--|---|
| Author(s)<br>Title<br>Number of Pages<br>Date  | Jari Rautiainen<br>Office and Commercial Buildings Outdoor Lighting Design Instructions, Taking Into Account Environmental Rating Requirements.<br>65 pages + 2 appendices<br>30 March 2016 |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Electrical Engineering  |
| Specialisation option  | Electrical Power Engineering  |
| Instructor(s)  | Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer<br>Sanna Forsman, Lighting Designer   |
| <p>The purpose of this study was to familiarize with office and commercial buildings' outdoor lighting design and to give an overall picture of it, and of what planning is required so that outdoor lighting would be safe, pleasant, cost-effective and causing little light pollution.</p> <p>This thesis takes into consideration environmental rating requirements effect on the planning when applying for environmental certification rating. This thesis also deals with the fundamentals of lighting technology from those parts it is necessary to the design and the assessment of the end result of the design.</p> <p>This thesis is made as treatise. As material European standard EN-SFS12464-2 Light and lighting. Lighting of work places. Part 2 Outdoor work places, was used. Also national recommendations and design instructions were used. LEED and BREEAM environmental ratings are covered to the extent of which their criteria are for outdoor lighting.</p> <p>The result of this study is design instructions for internal use of a company. The purpose of instructions is to revise the linchpin of lighting technology and make outdoor lighting design easy and quick. This thesis also gives instructions on how design should be changed in the properties which are applying for LEED or BREEAM certification.</p> |   |
| Keywords   | Outdoor lighting, lighting design, LEED, BREEAM   |

## Sisällys

### Lyhenteet

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 1     | Johdanto                      | 1  |
| 2     | Valaistuksen perusteet        | 2  |
| 2.1   | Näköelin- ja silmän toiminta  | 2  |
| 2.2   | Valaistustekniikan käsitteitä | 4  |
| 2.2.1 | Näkyvä valo                   | 4  |
| 2.2.2 | Spektri                       | 5  |
| 2.2.3 | Näkemisen tavat               | 6  |
| 2.3   | Perussuureet                  | 7  |
| 2.3.1 | Valovirta                     | 7  |
| 2.3.2 | Valovoima                     | 7  |
| 2.3.3 | Valaistusvoimakkuus           | 7  |
| 2.3.4 | Luminanssi                    | 8  |
| 2.3.5 | Valotehokkuus                 | 9  |
| 2.4   | Peruslait                     | 9  |
| 2.4.1 | Lambertin laki                | 9  |
| 2.4.2 | Heijastus ja läpäisy          | 10 |
| 2.4.3 | Neliö- ja kosinilaki          | 11 |
| 2.5   | Kohteen ja taustan luminanssi | 12 |
| 2.6   | Häikäisy                      | 12 |
| 2.6.1 | Estohäikäisy                  | 12 |
| 2.6.2 | Kiusahäikäisy                 | 13 |
| 2.7   | Varjonmuodostus ja muodonanto | 13 |
| 2.8   | Väriin toistoindeksi          | 13 |
| 2.9   | Värivaikutelma                | 14 |
| 3     | Valonlähteet ja valaisimet    | 15 |
| 3.1   | Elohopeahöyrylamppu           | 15 |
| 3.2   | Monimetallilamppu             | 15 |
| 3.2.1 | Syttyminen ja lämpeneminen    | 16 |
| 3.2.2 | Säädettävyys                  | 16 |
| 3.2.3 | Valotehokkuus                 | 17 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2.4 | Säteily ja väriominaisuudet   | 17 |
| 3.2.5 | Polttoikä   | 17 |
| 3.3   | Suurpainenatriumlamppu  | 18 |
| 3.3.1 | Syttyminen ja lämpeneminen  | 18 |
| 3.3.2 | Säädettävyys  | 19 |
| 3.3.3 | Valotehokkuus   | 19 |
| 3.3.4 | Säteily ja väriominaisuudet   | 19 |
| 3.3.5 | Polttoikä   | 19 |
| 3.4   | Led   | 20 |
| 3.4.1 | Syttyminen ja lämpeneminen  | 20 |
| 3.4.2 | Valotehokkuus   | 21 |
| 3.4.3 | Säteily ja väriominaisuudet   | 22 |
| 3.4.4 | Polttoikä   | 23 |
| 3.4.5 | Teollisuusstandardi Zhaga   | 23 |
| 3.5   | Valaisimien perusvaatimukset  | 24 |
| 3.6   | Valotekniset vaatimukset  | 24 |
| 3.6.1 | Valonjako   | 25 |
| 3.6.2 | Häiriövalo ja häikäisy  | 26 |
| 3.6.3 | Hyötysuhde  | 26 |
| 3.7   | Valaisimien luokittelu  | 27 |
| 3.7.1 | Suojausluokat   | 27 |
| 3.7.2 | Kotelointiluokat  | 28 |
| 3.7.3 | Ilkivaltaluokat   | 29 |
| 4     | Suunnittelussa huomioitavat valaistuksen määrä- ja laatuvaatimukset | 29 |
| 4.1   | Valaistuksen tarve ja laatu   | 30 |
| 4.1.1 | Valaistusvoimakkuus   | 30 |
| 4.1.2 | Valaistusvoimakkuuden tasaisuus                                     | 32 |
| 4.1.3 | Lähialueen valaistusvoimakkuudet                                    | 32 |
| 4.1.4 | Valaistusvoimakkuusarvojen arviointialue                            | 33 |
| 4.2   | Häikäisyarvo  | 33 |
| 4.3   | Värintoistoindeksi ja värivaikutelma                                | 35 |
| 4.4   | Varjonmuodostus ja muodonanto                                       | 36 |
| 4.4.1 | Puolisylinterivalaistusvoimakkuus                                   | 37 |
| 4.4.2 | Tunnistaminen   | 37 |
| 4.5   | Häiriövalo  | 38 |
| 5     | Ulkovalaistuksen suunnittelu  | 39 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1   | Tarvittavan valaistuksen arviointi                           | 41 |
| 5.2   | Sisäänkäynnit ja numerovalaistus                             | 41 |
| 5.3   | Liikkumiseen tarkoitettut alueet                             | 42 |
| 5.4   | Portaat  | 42 |
| 5.5   | Oleskelualueet   | 43 |
| 5.6   | Pysäköintialueet   | 43 |
| 5.7   | Korostusvalaistus  | 43 |
| 5.8   | Mainosvalaistus  | 45 |
| 5.9   | Turvallisuus- ja valvontavalistus                            | 46 |
| 5.10  | Ohjaus ja säätö  | 47 |
| 6     | Ulkovalaistuksen huolto ja ylläpito                          | 48 |
| 6.1   | Valovirran alenema   | 49 |
| 6.2   | Valonlähteiden keskimääräinen elinikä ja hyötypolitoikä      | 49 |
| 6.3   | Likaantuminen  | 50 |
| 6.4   | Kestävyys ja vanheneminen                                    | 50 |
| 6.5   | Alenemakerroin   | 51 |
| 6.6   | Huoltosuunnitelma  | 52 |
| 6.7   | Elinkaarikustannukset  | 53 |
| 6.7.1 | Energiakustannus   | 53 |
| 6.7.2 | Huoltokustannus  | 53 |
| 6.7.3 | Rakennuskustannukset   | 54 |
| 7     | Ympäristöluokituksen vaikutus ulkovalaistuksen suunnitteluun | 54 |
| 7.1   | LEED   | 55 |
| 7.2   | BREEAM   | 56 |
| 7.3   | LEED- ja BREEAM-vertailua                                    | 56 |
| 7.4   | LEED:in vaikutus ulkovalaistuksen suunnitteluun              | 58 |
| 7.5   | BREEAM:in vaikutus ulkovalaistuksen suunnitteluun            | 62 |
| 8     | Johtopäätökset   | 64 |
|       | Lähteet  | 66 |
|       | Liitteet   |    |
|       | Liite 1. BUG-menetelmä.                                      |    |
|       | Liite 2. Ashrae 90.1 2010 taulukko.                          |    |

## Lyhenteet

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| CGPM                            | La 16 <sup>e</sup> Conference Generale des Poids et Mesures. Kansainvälinen mita- ja painokongressi.  |
| ASHRAE                          | American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. Yhdysvaltalainen ympäristönäkökohtiin keskittyviä talotekniikan standardeja ja käsikirjoja julkaiseva järjestö. |
| CIE                             | Comission Internationale de L'Eclairage. Kansainvälinen valaistusjärjestö.  |
| SFS                             | Suomen Standardisoimisliitto. Standardisoinnin keskusjärjestö Suomessa.   |
| GR                              | Clare Rating. Häikäisyn aste.   |
| EN                              | European Standard. Eurooppalainen standardi, joka on laadittu joko CENissä, CENELECissä tai ETSI:ssä  |
| LED                             | Light-Emitting Diode. Valodiodi.  |
| RGB                             | Red, Green, Blue. Värimalli.  |
| CE                              | Conformité Européenne. Tuotemerkintä direktiivien vaatimuksien täyttymisestä.   |
| EMC                             | Electromagnetic compatibility. Sähkömagneettinen yhteensopivuus.  |
| DALI                            | Digital Addressable Lighting Interface. Valaistuksen ohjausjärjestelmä.   |
| DMX                             | Digital MultipleX. Valaistustekniikassa käytettävä digitaalinen sarjaprotokolla.  |
| DSI                             | Digital Serial Interface. Valaistus ohjausjärjestelmä.  |
| L <sub>70</sub> B <sub>10</sub> | Ledin elinikää kuvaava arvo. Aika, jonka kuluessa 10 % toiminnassa olevista led-moduuleista tuottaa alle 70 % alkuperäisestä valovirrasta.  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| C <sub>10</sub> | Ledin elinikää kuvaava arvo. Aika, jonka kuluessa 10 % led-moduuleista on lopettanut valontuottonsa.                         |
| F <sub>10</sub> | Ledin elinikää kuvaava arvo. Aika, jonka kuluessa 10 % led-valolähteistä on rikkoutunut joko parametrisesti tai äkillisesti. |
| U.L.O.R         | Upward Light Output Ratio, installed. Ylöspäin suuntautuvan valon osuus asennetussa valaisimessa.                            |
| D.L.O.R         | Down Light Output Ratio, installed. Alaspäin suuntautuvan valon osuus asennetussa valaisimessa.                              |
| IP              | Ingress Protection. Laitteen koteloitiluokitus.  |
| IK              | Impact resistance. Laitteen iskunkestävyysluokitus.  |
| IDA             | International Dark-Sky Association. Valosaasteen vähentämiseen tähtäävä kansainvälinen järjestö.                             |
| USGBC           | The United States Green Building Council. Rakennusten vihreän rakentamisen neuvontaan erikoitunut järjestö.                  |
| LEED            | Leadership in Energy and Environmental Design. Ympäristöluokitusjärjestelmä  |
| REEM            | Building Research Establishment's Environmental Assessment Method. Ympäristöluokitusjärjestelmä.                             |
| Hea             | Health and Wellbeing. BREEAM-järjestelmän ympäristökategoria.  |
| Ene             | Energy. BREEAM-järjestelmän ympäristökategoria.  |
| Pol             | Pollution. BREEAM-järjestelmän ympäristökategoria.   |
| Tra             | Transport. BREEAM-järjestelmän ympäristökategoria.   |
| BUG             | Backlight-Uplight-Glare. Arviointimenetelmä valaisimien valovirran jakaantumiseksi.  |



## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä perehdytään sekä toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksen suunnitteluun siten, että huomioidaan LEED- ja BREEAM-ympäristöluokitukset sekä valaistustekniikan perusteet niiltä osin kuin suunnittelun ja suunnittelun lopputuloksen arvioinnin kannalta on tarpeellista. Insinööriyön lopputuloksena valmistuu suunnitteluohje yrityksen sisäiseen käyttöön, jonka tarkoituksena on kerrata valaistustekniikan keskeiset käsitteet ja asiat sekä helpottaa ja nopeuttaa ulkovalaistuksen suunnittelua. Opinnäytetyö antaa myös ohjeet, kuinka suunnittelua tulee muuttaa koh-teissa, joihin ollaan hakemassa LEED tai BREEAM-sertifiointia.

Tämä opinnäytetyö on tehty Granlund Oy:lle. Granlund Oy on talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin ja ohjelmistojen asiantuntijakon- serni, jonka vahvana osaamisalueena on energiatehokkuus. Granlund Oy on perustettu vuonna 1960 ja sen 17 eri toimistossa työskentelee yli 600 asiantuntijaa. Granlundin vahvana osaamisalueena on energiatehokkuus, joka ilmentyy hyvin Granlundin brän- dissä *less energy gives more*. Yhtiön kivijalkana on jo yli 50 vuoden ajan toiminut kol- me keskeistä teemaa, jotka ovat kehitykseen panostaminen, johtava asiantuntijuus sekä tietotekniikkaan panostaminen. Nämä kolme keskeistä teemaa näkyvät edelleen Granlundin kehityksen suunnannäyttäjänä.

Tämä opinnäytetyö on tehty tutkielmana, ja siinä käsitellään ensin valaistustekniikan keskeiset käsitteet, määritelmät ja yksiköt, jonka jälkeen keskitytään toimisto- ja liikera- kennusten ulkovalaistuksen suunnitteluun. Ulkovalaistuksen suunnittelun vaatimuksien lähtökohtana tulee käyttää eurooppalaista standardia *Light and lighting. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places*, joka on vahvistettu suomalaiseksi SFS-EN 12464-2 standardiksi. Standardi määrittelee ulkovalaistukselle raja-arvot, joita käyttä- mällä saadaan suunniteltua valaistus, jossa näkötehtävä on turvallista ja miellyttävää suorittaa. Lisäksi ulkovalaistuksen suunnittelussa tulee huomioida kansalliset valais- tussuositukset ja suunnitteluohjeet. Ympäristöluokituksia opinnäytetyössä käsitellään sillä laajuudella, kun niiden kriteerit asettavat vaatimuksia ulkovalaistukselle.

## 2 Valaistuksen perusteet

Valaistussuunnitelman päätavoitteena tulee olla hyvä näkyvyys ja näkömukavuus, jolloin pimeään aikaan työskentely tai liikkuminen on turvallista. Työskennellessä pimeään aikaan valaistus vaikuttaa olennaisesti työtehoon. Hyvässä valaistuksessa liike, etäisyydet, esineiden muodot ja värit havaitaan näkökohteessa helposti, nopeasti ja oikein. Saavuttaakseen edellä mainitun kaltaisen valaistuksen tulee suunnittelijan ymmärtää ja hallita näköelimen (silmä, aivot) fysiologinen toiminta. Kuin myös valoon liittyvät termit, käsitteet, perussuureet ja niiden keskinäiset riippuvuudet sekä peruslait, pystyäkseen arvioimaan suunnittelun vaikuttavia johtopäätöksiä, valaistusteknisiä asioita sekä myös suunnittelun lopputulosta.

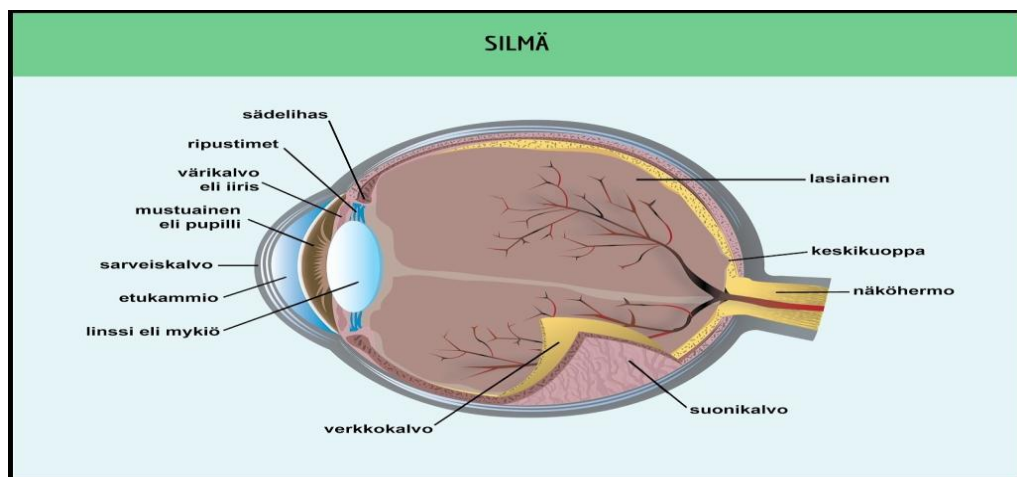
### 2.1 Näköelin- ja silmän toiminta

Silmän ja aivojen näköalueen yhteistoiminnasta syntyy näköelin. Näköelin aistii ulkopuolelta tulevan valoärsyksen muuttaen sen hermotoiminnoiksi. Tätä kutsutaan subjektiiviseksi näköhavainnoksi. Ympäristöstä tulevista ärsyksiä jopa 70 - 80 % tapahtuu näköelimen kautta, tästä johtuen näköelin on ihmisen tärkeimpiä aistielimiä. (1, s. 55.)

Kuva näkökohteesta muodostuu verkkokalvolle ylösalaisin. Näkökohteesta heijastunut valo kulkee sarveiskalvon, kammioveden, silmälinssin sekä lasiaisen läpi saavuttaen verkkokalvolla olevat 150 miljoonaa valoherkkää solua. Valoherkkiä soluja on kahdenlaisia. Tappisoluja on 6-7 miljoonaa kappaletta. Ne ovat erikoistuneet toimimaan voimakkaassa valaistuksessa sekä aistimaan värit. Loput valoherkistä soluista ovat sauvasoluja, jotka ovat erikoistuneet toimimaan heikossa valaistuksessa. Silmälinssin edessä oleva värikalvo ja värikalvolla oleva pupilli sekä silmän sädelihakset säätävät silmään tulevaa valovirtaa ja toimivat silmän optiikkana. (1, s. 56; 2.)

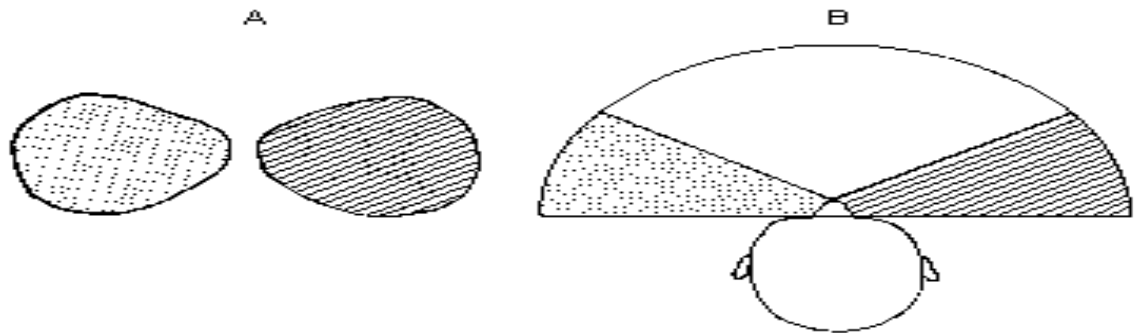
Silmän herkin kohta näkemisen kannalta on verkkokalvolla sijaitseva keltatäplä. Keltatäplässä on tiheämmässä sauva- ja tappisoluja kuin missään muualla sarveiskalvolla. Tarkannäkemisen alue sijaitsee keltatäplässä. Tätä verkkokalvon keskikohdassa olevaa aluetta kutsutaan foveaksi. Siinä on vain tappisoluja, ja värien ja tarkkojen yksityiskohtien näkeminen tapahtuu vain tällä pienellä alueella. (1, s. 56; 2.)

Kohdassa, jossa näköhermo kiinnittyy verkkokalvoon, ei ole laisinkaan tappi- tai saunasoluja. Kyseistä kohtaa kutsutaan sokeaksi pisteeksi. Koska silmä on jatkuvassa liikkeessä, ei sokeasta pisteestä ole haittaa näkötehtävän suorittamiseen. Lopullinen näköhavainto tapahtuu aivoissa. Hermoimpulssit, jotka tulevat silmien kautta aivoihin, aiheuttavat näköhavaintoja, joita aivot täydentää muistissa olevilla muistikuvilla, mielikuvilla, tiedolla ja henkilön omilla asenteilla sekä kokemuksilla. Nämä kaikki seikat vaikuttavat siihen, kuinka tarkasti ja nopeasti aivot tulkitsevat näköhavainnon. Kuvassa 1 on esitetty silmän rakenne. (1, s. 56 – 57.)



Kuva 1. Silmän rakenne. (1, s. 55)

Ihmisen näkökenttää rajoittavina tekijöinä toimivat nenä, otsa ja posket. Ihmisen näkökenttä on horisontaalisella tasolla  $190^\circ$  ja vertikaalisella tasolla alaspäin  $70^\circ - 80^\circ$  ja ylöspäin  $50^\circ - 60^\circ$ . Värien osalta näkökenttä on suppeampi: keltaisen ja sinisen aistiva näkökenttä on laajempi kuin punaisen ja vihreän aistiva näkökenttä. Keltatäplässä verkkokalvon keskikuopassa (fovea) sijaitsevalla tarkannäkemisen alueella syntyvät tarkimmat kuvat sekä värien näkeminen. Verkkokalvon laitaosat eivät kykene välittämään tarkkaa näköhavaintoa. Tästä johtuen silmien on oltava jatkuvassa liikkeessä, jotta voidaan saada tarkka kokonaiskuva ympäristöstä. Kuvassa 2. on esitetty ihmisen näkökenttä. (1, s. 57.)

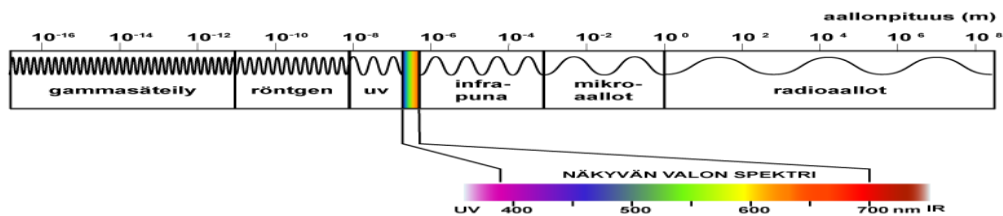


Kuva 2. Näkökenttä. (9)

## 2.2 Valaistustekniikan käsitteitä

### 2.2.1 Näkyvä valo

Näkyvä valo on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituusalue on 400 - 760 nm sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudesta, joka ylettyy lähes nolasta aina äärettömiin. Näkyvän valon aallonpituusalueen vieressä on pitempi aaltoisempi infrapunasäteily, joka tuottaa lämpöaistimuksia ja lyhytaaltoisempi vahingollinen ultraviolettisäteily. Kuvassa 3. on esitetty sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet. (1, s. 13; 3, s. 6.)

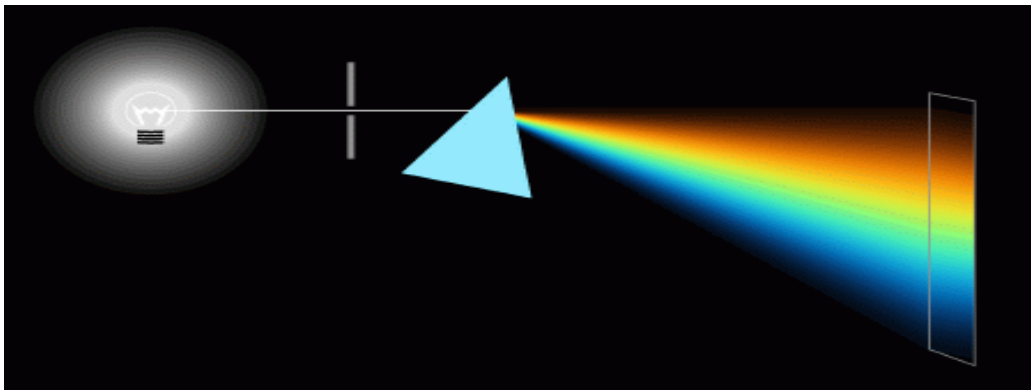


Kuva 3. Sähkömagneettinen säteily sekä säteilyn näkyväosa. (8)

Sähkömagneettisen säteilyn näkyvään osan aistimiseen ihmisellä on käytössä näköelin, joka koostuu silmästä ja aivojen näköalueesta. Silmän herkin herkkyyalue on aallonpituudella 555 nm, jolloin valo on vihertävän keltaista. Valosta puhuttaessa käytetään usein termiä näkyvä valo, joka ei sinällään terminä pidä paikkaansa. Itse asiassa meidän emme näe itse valonsädettä vaan pintakirkkauden eli luminanssin valonsäteiden osuessa valoa heijastavaan pintaan. (1, s. 17; 3, s. 6.)

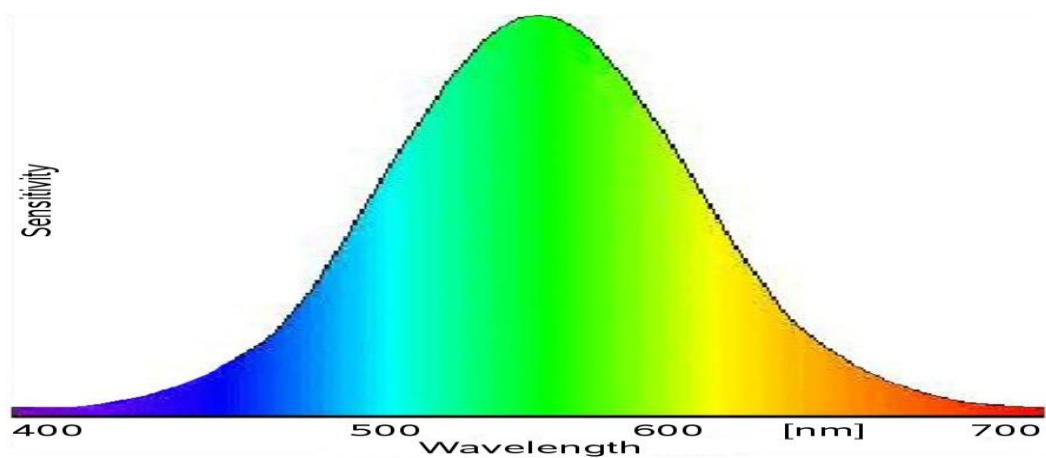
## 2.2.2 Spektri

Spektri on näkyvän sähkömagneettisen säteilyn kirjo, joka tarkoittaa valon jakautumista osiin. Hyvin harvoin valon spektri on monokromaattista vaan usein valo koostuu useasta spektrin osasta. Hehkusäteilijöiden valo on jatkuvaspektristä, jossa esiintyy valon koko kirjo. Tästä syystä hehkusäteilijää käytetään vertailukohteena, kun määritellään valolähteen värintoistoindeksiä. Kuvassa 4 on esitetty valon taittuminen prismassa. (3, s. 6; 8.)



Kuva 4. Valonsäteen taittuminen prismassa. (7)

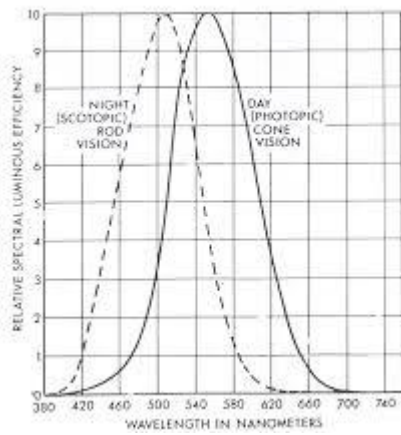
Silmän spektriherkkyyttä valolle ilmaistaan CIE:n vuonna 1924 hyväksymällä silmän spektriherkkyyskäyrän avulla, jota kutsutaan  $V(\lambda)$ -käyräksi. Käyrän arvot ovat keskiarvotuloksia tietyissä fotometrisissa olosuhteissa. Näihin arvoihin perustuvat valaistustekniikassa käytössä olevat fotometrian perussuureet. Kuvassa 5 on esitetty suhteellinen silmäherkkyyskäyrä. (1, s. 16 – 17.)



Kuva 5. Suhteellinen silmänherkkyyskäyrä  $V(\lambda)$ . (10)

### 2.2.3 Näkemisen tavat

Näkeminen perustuu kolmeen eri tapaan, joita ovat fotooppinen näkeminen, skotooppinen näkeminen ja mesooppinen näkeminen. Fotooppinen näkeminen (päivänäkeminen) on käytössä valoisan aikaan, jolloin silmä käyttää tappisoluja näkemiseen. Tähän näkemistapaan perustuu vuonna 1924 CIE:n hyväksymä suhteellinen silmänherkkyyskäyrä. Vuonna 1951 CIE hyväksyi skotooppiseen näkemiseen (pimeä näkeminen) perustuvan suhteellisen silmänherkkyyskäyrän. Kuvassa 6 on esitetty fotooppinen ja skotooppinen silmänherkkyyskäyrä. (6.)



Kuva 6. Fotooppinen ja skotooppinen silmänherkkyyskäyrä. (6)

Skotooppisessa näkemisessä silmä käyttää sauvasoluja näkemiseen. Päivä- ja hämäränäkemisen väliin jää mesooppinen näkemisenalue (hämäränäkeminen), jolloin näkemisen suorittavat tappi- ja sauvasolut yhdessä. Tähän näkemismuotoon perustuvan mesooppinen fotometrian, joka antaa kansainvälisen perustan matalien valotasojen valaistusmitoitukseen, CIE hyväksyi vuonna 2010. Sauvasolujen herkin kohta päivänäkemisessä on 555 :nm kohdalla silmänherkkyyskäyrällä. Kun siirrytään hämäärään näkemisen, jolloin käytössä on sauva- ja tappisolut yhdessä, niin herkin alue siirtyy kohti sinisävyistä valoa. Tämän johdosta ulkovalaistuksessa käytettävät valkoista valoa säteilevät valonlähteet, antavat suuremman valoistimustuntemuksen kuin mitä valaistusmittaukset ja laskelmat osoittavat, verrattaessa ei valkoista valoa lähettäviin valonlähteisiin (6.)

## 2.3 Perussuureet

### 2.3.1 Valovirta

Valovirran  $\Phi$ - yksikkö on luumen [lm]. Valovirta ilmaisee, kuinka paljon laskettua silmänspektriherkkyyssäyrälle painotettua säteilytehoa tarvitaan antamaan ärsytys, joka johtaa valoisaistimukseen eli paljonko valolähteen tuottama säteilyteho on. Käytännön laskuissa tarvittava valovirran arvo saadaan kyseessä olevan valolähteen valmistajalta. (1, s. 17–18; 3, s. 7.)

### 2.3.2 Valovoima

Valovoiman I- yksikkö on kandela [cd]. Valovoima ilmaisee, kuinka paljon on valovirran määrä tietyssä avaruuskulmassa. Kandela määritellään seuraavanlaisesti. Yksi kandela syntyy, kun yhden kandelan valovoima lähettää monokromaattista säteilyä taajuudella  $540 \cdot 10^{12}$  Hz säteilyintensiteetillä  $1/683$  W/sr. Määritelmässä käytetty taajuus sattuu silmänherkkyyssäyrällä aallonpituudelle 555 nm, jolloin näköelin on herkimmillään ottamaan vastaa valoärsykeitä. Tätä kutsutaan tappinäkemiseksi. CGPM hyväksyi vuonna 1979 kandelan määritelmän ja kandelasta tuli SI-järjestelmän johdannaisyksikkö. Kaikki muut valaistustekniikan yksiköt voidaan johdattaa tähän perusyksikköön. Käytännön laskuissa tarvittava valovoima tiettyyn avaruuskulmaan saadaan valaisinvalmistajan tekemistä valaisimen valonjakokäyristä. (1, s. 18 – 20; 4.)

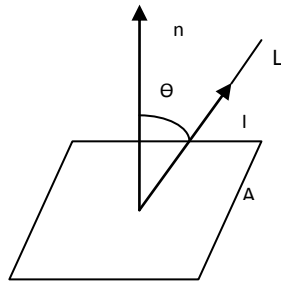
### 2.3.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden E- yksikkö on luksi [lx]. Valaistusvoimakkuus ilmaisee, kuinka paljon tietylle pinta-alalle A suuntautuu valovirtaa  $\Phi$ . Keskimääräinen valaistusvoimakkuus saadaan laskettua lausekkeesta 1. Valaistusvoimakkuutta käytetään kuvataan sitä, miten hyvät valaistusolosuhteet ovat. Valaistusvoimakkuus ja sen jakauma vaikuttavat voimakkaasti siihen, kuinka helposti, nopeasti ja turvallisesti suoriudutaan ja hahmotetaan näkötehtävä. Työympäristön valaistusvoimakkuutta ei voida kasvattaa rajattomiin, koska tietyn pisteen jälkeen näköaistimus ei enää parane vaikka nostettaisiin valaistusvoimakkuutta lisää. Näkö tarkkuus saavuttaa huippunsa yli  $100 \text{ cd/m}^2$  sopeutumistasoilla. Tämä edellyttää yli  $1000 \text{ lx}$  ja sitä suurempia valaistusvoimakkuuksia keskivaaleassa ympäristössä. (1, s. 21, s. 67; 3, s. 7.)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (1)$$

### 2.3.4 Luminanssi

Luminanssin  $L$  yksikkö on kandela neliometriä kohti [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]. Luminanssi kuvaa matemaattisesti tilannetta, jossa tarkastellaan kulkusuuntaa vasten homogeenista yhdensuuntaista hyvin pientä valokimppua ja valonsädettä, josta saadaan valaistusaistimus. Valoistimuksen tulee pysyä muuttumattomana säteen joka kohdassa. Edellä mainitussa tilanteessa valoa johtava väliaine ei saa imeyttää valoa, eikä tilanteen vaatimukset saa muuttua säteen lähtökohdassa tai kulkutien jokaisessa pisteessä eikä myöskään pinnan pisteessä, johon säde lankeaa. Käytännössä luminanssi on pinnasta heijastunut tai valonlähteen pinnasta lähtevä valo, joita voidaan kutsua pintakirkkaudeksi. Pintakirkkauteen vaikuttavia asioita ovat pinnalle tuleva ja lähtevä valo, pinnan heijastusominaisuudet, valon suunta ja heijastuskulma. Kuvassa 7 on esitetty luminanssin määrittely. (1, s. 23; 3, s. 7.)



Kuva 7. Luminanssin määrittely. (1, s. 24)

Luminanssi on valaistustekniikan ainoa suure, jonka näköelin aistii. Luminanssin muutokset eivät aritmeettisesti sovellu kuvaamaan vastaavia valaistusaistimuksia, koska näköaisti toimii logaritmisesti. Pinnan luminanssin tason täytyy muuttua standardissa SFS-EN 12462-2 esitetyn sarjan mukaisesti 5-10-15-20-30-50-75-100- jne. ennen kuin näköelin erottaa muutoksen pintakirkkaudessa. Käytännön laskuissa, jossa lasketaan äärellisen pinnan keskimääräistä luminanssia, voidaan käyttää lauseketta 2. (1, s. 24; 3, s. 7; 5, s. 7.)

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos\theta} \quad (2)$$



### 2.3.5 Valotehokkuus

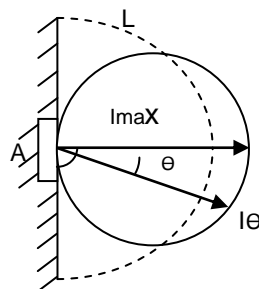
Valotehokkuuden yksikkö on luumen jaettuna Watilla [ $\text{lm/W}$ ]. Valotehokkuus kuvaa sitä, minkälainen hyötysuhde valolähteellä on eli kuinka suuri valovirta valolähteestä saadaan suhteessa valolähteen ja liitäntälaitteen kulutettuun energiaan nähden. Mitä suurempi tämä suhdeluku on, sitä parempi energiatehokkuus valonlähteellä on. (3, s. 23.)

## 2.4 Peruslait

### 2.4.1 Lambertin laki

Tasajakoiseksi hajotetun säteilyn peruslakia eli Lambertin lakia voidaan soveltaa valaistustekniikassa esiintyviin valoa lähettäviin pintoihin. Lambertin lakia käyttämällä saadaan käytännön laskuihin riittävän tarkka lopputulos. Lambertin lain mukaan säteileviä tai heijastavia pintoja ovat led-moduulin optiikan pinta, opaalikupuisen valolähteen pinta, loistelampun pinta, himmeällä mattamaalilla peitetyt pinnat sekä karkeat rakennepinnat kuten asfaltti ja betoni. (1, s. 28.)

Lambertin laki määrittelee tasajakoiseksi valoa hajottavaksi pinnaksi sellaisen pinnan, jonka jokainen pinta-alkion valonjakopinta on alkioita sivuava pallo ja alkion valojakokäyrät sitä sivuavia ympyröitä. Koska tasajakaisen pinnan luminanssi on kauttaaltaan vakio ja vastaan katselusuuntaa, tarkasteltaessa pinnan projektiota kohtisuorasti pinnan muodosta riippumatta, päädytään Lambertin lain yleiseen lauseeseen, joka koskee säteileviä ja heijastavia pintoja. Kuvassa 8 on esitetty valovoiman, luminanssin ja jakaantuminen. (1, s. 28.)



Kuva 8. Tasajakoisesti hajottavan pinnan A, valovoiman  $I$  ja luminanssin  $L$  jakautuminen. (1, s. 29)

Kaukaa tarkasteltaessa säteilevää tasopinnan osaa, joka säteilee tasajakoisesti hajottavasti, voidaan käsitellä pistemäisenä valonlähteenä, jonka pinta on pallo. Tällöin va-

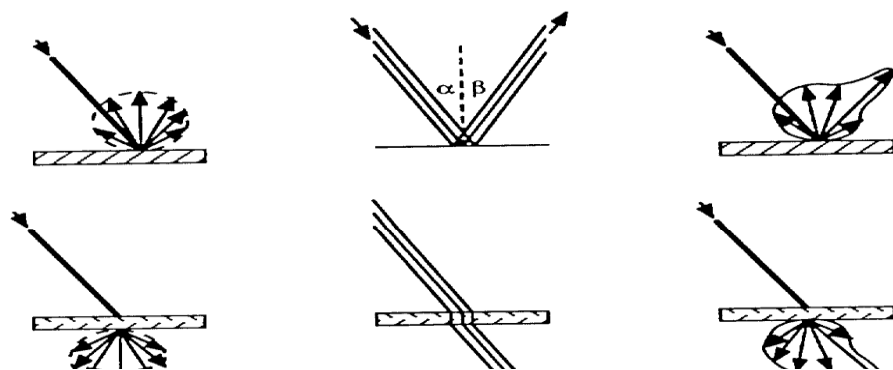
laistustekniikan sovelluksissa voidaan käyttää lauseketta 3 laskettaessa maksimivalovoima  $I_{max}$  tasajakoisesti hajottavalle pinnalle, joka on muodoltaan pallo (led-moduulin optiikan pinta, pallomuotoinen säteilijän pinta, karkearakenteiset pinnat). Lauseketta 4 voidaan käyttää laskettaessa maksimivalovoima  $I_{max}$  lieriön muotoiselle valonjakopinnalle, joka on toroidi. (1, s. 29 – 30.)

$$I_{max} = \frac{\Phi}{\pi \cdot sr} \quad (3)$$

$$I_{max} = \frac{\Phi}{\pi^2 \cdot sr} \quad (4)$$

#### 2.4.2 Heijastus ja läpäisy

Kun valoa läpäisemättömän aineen pinta kohtaa valon, niin osa valosta absorboituu ja osa heijastuu ympäristöön. Valon päästessä kulkemaan valoa läpäisevässä aineessa, osa siitä läpäisee aineen ja osa absorboituu aineeseen. Näitä ilmiöitä kutsutaan heijastumiseksi ja läpäisyksi. Heijastumiset voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: haja-, suunta- ja sekaheijastuminen. Läpäisyt voidaan myös jakaa kolmeen pääryhmään: haja-, suunta- ja sekaläpäisyihin. Täysin tällaisia puhtaita heijastus- tai läpäisyilmiöitä ei synny, vaan käytännössä ilmiöt ovat yhdistyneitä haja- ja suuntaheijastuksia ja läpäisyjä. Useasti ilmiöt voidaan olettaa puhtaiksi, koska silloin niiden matemaattinen käsittely on helpompaa kuin jos niitä käsiteltäisiin yhdistyneinä heijastuksina tai läpäisyinä. Kuvassa 9 on esitetty heijastumis- ja läpäisymuodot. (1, s. 30 – 31.)



Kuva 9. Haja-, suunta- ja sekaheijastuminen sekä haja-, suunta- ja sekaläpäisy. (1, s. 31)

Valaistustekniikassa käytetään hyväksi heijastumista ja läpäisyä esimerkiksi valaisimien heijastimien, häikäisysojien suunnittelussa ja julkisivuvalaistuksen laskennassa. Silloin kun tunnetaan pinnan heijastuskerroin  $\rho$ , niin voidaan laskea pinnan lähettämä valovirta  $\Phi$  lausekkeella 5. Koska valaistusvoimakkuus pinnalla on valovirta  $\Phi$  pinta-alayksikköä kohti, niin valaistusvoimakkuuden ja luminanssin välille saadaan lauseke 6, jolla saadaan selville haluttua luminanssia vastaava valaistusvoimakkuus, kun kohteen heijastavapinta on hajaheijastava. (1, s. 32.)

$$\Phi_{tuleva} = \rho \cdot \Phi_{lähtevä} \quad (5)$$

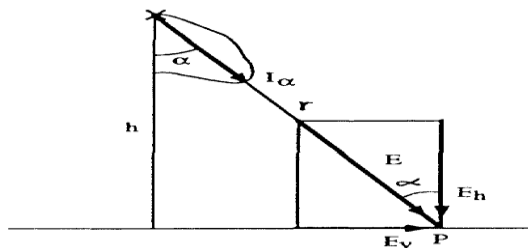
$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi \cdot sr} \quad (6)$$

### 2.4.3 Neliö- ja kosinilaki

Tarkasteltaessa erikokoisten ja muotoisten valolähteiden tuottamasta valaistusvoimakkuudesta  $E$  jollekin tasopinnalle niin pistemäiseksi katsotun valonosalta valaistusvoimakkuuden suuruus saadaan neliö- ja kosinilakia käyttämällä. Tällöin matemaattinen lauseke on lauseke 7, jossa  $I$  = valovoima,  $\alpha$  = valontulosuunnan ja pinnan normaalin välinen kulma ja  $r$  = valaistuspisteen matkaa valolähteeseen. Trigonometrisesti muuttamalla lauseketta 7 saadaan lauseke käytännössä käytettävään muotoon 8. Kuvassa 10 on esitetty neliö- ja kosinilaki. (1, s. 33 – 34.)

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2} \cdot sr \quad (7)$$

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \cdot sr \quad (8)$$



Kuva 10. Neliö- ja kosinilaki. (6, s 10)

Neliö- ja kosinilakia käytetään ulkovalaistussuunnittelussa, ulkoalueiden pintojen ja valoheittimien tuottamien valaistusvoimakkuuksien laskennassa. Laskennan lopputuloksena syntyy isoluksikäyrästä, jota voidaan käyttää apuna alueen valaisinsijoittelussa. Laskennassa käytettävän valaisimen valovoima  $I$  saadaan valaisinvalmistajan valojakokäyrästä ja muu tieto, joka vaikuttaa laskentaan, saadaan valaisimen asennusgeometriasta. (6, s. 11.)

## 2.5 Kohteen ja taustan luminanssi

Näkeminen perustuu kohteen ja taustan luminanssieroihin eli luminanssikontrastiin. Eriväriset pinnat heijastavat valoa eritavalla, jolloin pintojen pintakirkkaus eli luminanssi on erilainen. Tällöin syntyy kontrastieroja, jotka näköelin muuttaa kuvaksi aivoissa. Eri tavalla valoa heijastavat pinnat muodostavat väri- ja harmaa-asteikon kontrastit. Riittävä valaistusvoimakkuus näkökohteessa antaa edellytykset näkemiselle, mutta se ei kerro, kuinka hyvin näköhavainnon suorittaja näkee. Lausekkeella 9 voidaan laskea luminanssikontrastin suhde  $k$ , joka kertoo näköhavainnon suorittajan näkemisen tason. Lausekkeessa 9 on  $L_o$ = pinnan luminanssi ja  $L_b$ = taustan luminanssi. (3, s. 6; 6, s. 8.)

$$k = \frac{L_b - L_o}{L_b} \quad (9)$$

## 2.6 Häikäisy

Häikäisyn tunne syntyy, kun näkökentässä oleva luminanssin määrä, jakauma ja muutos ovat sopimattomia tai näkökohteen pinnoilla on suuri kontrastiero. Häikäisy aiheuttaa epämukavuutta näkemisessä ja vaikeuttaa yksityiskohtien näkemistä. Ohimenevä häikäisy poistuu, kun silmä adaptoituu (sopeutuu) valitsevaan valaistustilanteeseen. Pysyväksi häikäisyksi kutsutaan tilannetta, jossa häikäisyntunne jatkuu, vaikka silmä on adaptoitunut valaistustilanteeseen. (1, s. 72; 3, s. 6.)

### 2.6.1 Estohäikäisy

Estohäikäisy vaikeuttaa näkemistä, koska valonsäteet, joka lähtevät häikäisyn aiheuttajasta, hajautuvat silmässä ja muodostavat harsoluminanssin verkkokalvolla olevan ku-

van päälle. Silmän sopeutumistaso vallitsevaan valaistustilanteeseen kasvaa harsoluminanssin myötä. Jotta yksityiskohtien näkeminen olisi mahdollista, tulisi näkökohteen luminanssieroja kasvattaa. Kun harsoluminanssin määrä on 1 – 2 % näkökohteen luminansista, alkaa estohäikäisy. (1, s. 72; 3, s. 6.)

### 2.6.2 Kiusahäikäisy

Kiusahäikäisy aiheuttaa epä mukavuuden tunnetta näkemisessä. Kiusahäikäisy syntyy, kun vallitsevassa valaistustilanteessa näkökohteen luminanssi tai luminanssierot ovat suuret. Häikäisy ei vähene merkittävästi, vaikka ympäristön luminanssitasoa kohotettaisiin, kun häikäisyä aiheuttavan pinnan luminanssi on yli 10 000 cd/m<sup>2</sup>. (1, s. 73; 3, s. 6.)

Häikäisyä voidaan ehkäistä kasvattamalla katselukulmaa häikäisyn aiheuttajan ja katseleluun välillä tai pienentämällä häikäisyn aiheuttajan näkyvää pintaa. Häikäisyä voidaan pienentää vähentämällä asteittain näkökohteen lähiympäristön luminanssia. Esto- ja kiusahäikäisyä voi esiintyä yhdessä tai erikseen. (1, s. 73.)

### 2.7 Varjonmuodostus ja muodonanto

Valaistuksen hyvä muodonanto on tärkeä ominaisuus valaistuksessa, joka saadaan aikaiseksi varjoilla. Varjojen avulla saadaan tuotua esineen ja esineen ympäristön välille luminanssieroja, jolloin esineen muodon ja rakenteen tunnistaminen helpottuu. Varjonmuodostumiseen vaikuttaa suoran valon ja valon diffuusion välinen suhde. Valon tulisi tulla pääasiassa yhdestä suunnasta, jolloin varjon muodostuminen on selkeää. Liian voimakas yhdensuuntainen valo aiheuttaa voimakkaan heittovarjon, joka taas heikentää näkökohteen tunnistettavuutta. (1, s. 149; 3, s. 6; 12, s. 24.)

### 2.8 Värin toistoindeksi

Yleinen värintoistoindeksi  $R_a$  on fysikaalinen mitta, joka ilmoittaa, kuinka kaukana valonlähteen lähettämä valon spektri on vertailuvalolähteestä. Vertailuvalolähteenä käytetään Planckin säteilijöitä, joiden spektri on 2300-5000K ja 5000K ylöspäin. Vertailukohteena on päivänvalo käyttäen kahdeksaa eri testi väripintaa.  $R_a$ -indeksin suurin arvo on

100, joka saavutetaan silloin, kun valonlähteen valon spektri on täsmälleen samanlaisia kuin vertailuvalonlähteen. Hehkulampun  $R_a$ -indeksi on 100, koska sen säteily on lähes sama kuin Planckin säteilijöiden. Mitä pienempi  $R_a$  arvo on sitä huonommin valonlähteen säteily toistaa värejä. Värintoisto valaistuksessa on tärkeää, koska hyvä värintoisto näkökohteessa parantaa turvallisuutta, näkötehokkuutta ja käyttömukavuutta, kun ympäristön ja ympäristössä olevin kohteiden värit toistuvat luonnollisena. (1, s. 49; 3, s. 7.)

## 2.9 Väriaiikutelma

Lampusta tai muusta valonlähteestä säteilevää näkyvää valon väriä kutsutaan väriaiikutelmaksi. Väriaiikutelmaa mitataan ekvivalenttisen väriämpötilan  $T_{cp}$  avulla, jonka yksikkö on Kelvin [K]. Väriaiikutelman valinnassa tulee ottaa huomioon tilankäyttötarkoitus, tilan ja kalustuksen värit, tilaan vaadittava minimivalaistusvoimakkuustaso sekä ympäröivä ilmasto. Suosituksena voidaan pitää, että lämpimässä ilmastossa käytetään ekvivalenttisen väriämpötila arvoltaan korkeampia valonlähteitä ja kylmässä ilmastossa pienempiarvoisia. Taulukossa 1 on esitetty väriämpötilojen raja-arvoja. (1, s. 7; 11.)

Taulukko 1. Ekvivalenttisen väriämpötilojen raja-arvoja. (11)

| VÄRIVAIKUTELMA | EKVIVALENTTINEN VÄRILÄMPÖTILA ( $T_{cp}$ ) |
|----------------|--|
| Lämmin         | <3000 K                                    |
| Neutraali      | 3300...5300K                               |
| Kylmä          | <5300 K                                    |

Tiloissa, joissa tarvitaan suurta valaistusvoimakkuutta, suositellaan käyttämään valonlähteitä, jotka antavat kylmäsävyisemmän väriaiikutelman. Valonlähteissä käytettävä loisteaine sekä purkauslamppuissa käytetyt aineet, jotka kaasuntuvat, vaikuttavat väriaiikutelmaan. Päivävalon ekvivalenttinen väriämpötila on ~6500 K, eli päivävalo on hyvin kylmäsävyistä väriaiikutelmaltaan. (3, s. 7; 11.)

### 3 Valonlähteet ja valaisimet

Valonlähteen valintaan vaikuttaa voimakkaasti se, mihin sovellukseen ja käyttötarkoitukseen ollaan suunnittelemassa valaistusta. Ulkovalaistuksessa yleisesti käytettävien valonlähteiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan, joten merkittävimpinä valinnan kriteereinä voidaan pitää seuraavia valonlähteiden ominaisuuksia. Niitä ovat valontuotto, syttyvyys, säädettävyys, värinvalaistus ja kustannustehokkuus (valovirran alenema, polttoikä). Valonlähteen valinta suunniteltavaan kohteeseen tulisi tehdä valonlähteiden ominaisuuksien perustella, jotta saadaan sellainen valaistus, jossa näkötehtävän suorittaminen on helppoa ja turvallista sekä miellyttävää. Kaikkien ulkovalaistuksessa käytettävien valonlähteiden tulee täyttää EU:n lamppudirektiivin 2005/32/EC valaistustehokkuudelle asettamat vaatimukset. (3, s. 23, s. 29.)

#### 3.1 Elohopeahöyrylamppu

Elohopeahöyrylamppu ei energiatehokkuutensa takia yllä ErP-direktiivin toimeenpano säädösten asettamiin rajoihin. Tästä syystä säädökset ovat kieltäneet sen markkinoille tuomisen 15.4.2015 lähtien. Tämän vuoksi elohopeahöyrylamppua ei tässä opinnäytetyössä käsitellä samassa laajuudessa kuin muita ulkovalonlähteitä. Kuitenkin Suomessa on edelleen käytössä valtava määrä elohopeahöyrylamppuja. Elohopeahöyrylamppun markkinoille tuonnin kieltäminen aiheutti kaupungeille, kunnille ja taloyhtiöille paineen elohopeahöyrylamppujen hamstraukseen, koska markkinoilla ei ollut kustannustehokasta tuotetta niiden tilalle. Valonlähteiden tekniikka kuitenkin kehittyi nopeasti ja markkinoille on tullut monimetallilamppu, joka sopii suoraan vanhan elohopeahöyrylamppun liitäntälaitteeseen. Tällöin ei tarvitse saneerata käytössä olevia hyväkuntoisia valaisimia, vaan voidaan siirtää kallista valaisinsaneerausta tulevaisuuteen, jolloin korvaava valonlähde elohopeahöyrylampulle löytyy muista valonlähteistä, jotka energiatehokkuutensa ansiosta yltyvät ErP-direktiivin rajoihin. (13.)

#### 3.2 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on lamppu, jossa purkausputken sisään on elohopean lisäksi viety muidenkin metallien jodideja (anioni, jossa on jodiatomiin liittynyt yksi ylimääräinen elektroni- tai ioniyhdiste). Jodidit kaasuntuvat purkausputkessa tapahtuvan valokaaren

ansiosta ja vapaat metalliatomit, jotka ovat virittyneet elektronien avulla, alkavat säteillä ympäristöönsä ominaisspektristä valosäteilyä. Tällöin valonlaatu ja valontuottokyky ovat parempia kuin käyttämällä pelkästään elohopean tuottamaa valonsäteilyä. Jodidumeja, joita käytetään purkausputkessa elohopean ja syttymiskaasun lisäksi, ovat natrium, tallium, indium ja dysprosium. Jodideja käytetään metallien sijasta, koska ne höyrystyvät alemmassa lämpötilassa kuin metallit. Taulukossa 2 on esitetty jodidiumit ja niiden valontuotto-ominaisuudet. (1, s. 54; 14.)

Taulukko 2. Jodidiumit ja niiden valontuotto-ominaisuudet. (1, s. 54)

|                   |                                      |        |
|-------------------|--------------------------------------|--------|
| <b>Natrium</b>    | Keltainen                            | 587 nm |
| <b>Tallium</b>    | Vihreä                               | 535 nm |
| <b>Indium</b>     | Sininen                              | 451 nm |
|                   | Punainen                             | 670 nm |
| <b>Dysprosium</b> | Runsaasti huippuja koko valoalueella |        |

### 3.2.1 Syttyminen ja lämpeneminen

Monimetallilampussa on käytettävä erillistä sytytyslaitetta, koska jodidit kohottavat lampun tarvitseman syttymisjännitteen suuremmaksi. Tällöin lampun sytytys elektrodien apu ei enää riitä vaan tarvitaan erillinen sytytyslaite, joka antaa lampun elektrodien välille usean kilovoltin sytytyspiikkejä, niin kauan kunnes lamppu syttyy. Lampun lämpiäminen täyteen valovoimaansa kestää useita minutteja. Tuona aika lampun väri vaihtelma voi vaihdella suuresti, koska jodidit höyrystyvät eri nopeudella riippuen lampun seinämän lämpötilasta. Monimetallilamppu ei siedä suuria jännitevaihteluja syöttöjännitteessä vaan sammuu helposti jännitealenemasta  $\pm 3$  %. Jännitekatkoksesta ja uudelleen syttymisen edellytyksenä on lampunjäähdyminen, joka kestää jopa yli 10 minuuttia. Herkkyyttä jännitevaihteluihin voidaan pienentää käyttämällä elektronista liitäntälaitetta. Kylmät olosuhteet eivät rajoita monimetallilampun käyttöä, mutta liitäntälaitteiden pakkaskestävyys tulee tarkistaa. (16, s. 55; 3, s. 30.)

### 3.2.2 Säädettävyys

Joidenkin monimetallilamppujen valaistustehoa voidaan säätää 50 – 100 % välillä, mutta säätämiseen tarvitaan erikoisliitäntälaitteet, jossa on oma himmennyspiiri. Himmennys kuitenkin heikentää monimetallilampun värintoistoindeksiä, jolloin näkökohteen



värintoisto huonontuu. Himmennys vaikuttaa myös monimetallilampun ekvivalenttiseen värilämpötilaan muuttaen värivaikutelmaa kylmemmäksi. Lamppuvalmistajat eivät suosittele muuttuvien ominaisuuksien johdosta, monimetallilampun valotehokkuuden säätämistä (3, s. 30.)

### 3.2.3 Valotehokkuus

Monimetallilampun valotehokkuus on jodidien ansiosta huomattavasti parempi kuin pelkällä elohopealla tuotettu säteily. Valotehokkuus on välillä 91 - 125 lm/W riippuen lampun tehosta. Virranrajoitin kuitenkin pudottaa valotehokkuutta, jolloin koko järjestelmän valotehokkuus on 73 - 100 lm/W. (16, s. 56; 15, s. 10.)

### 3.2.4 Säteily ja väriominaisuudet

Monimetallilampun tehohuippujen määrä parantaa värintoisto-ominaisuuksia ja yleisvärisävyjä elohopealamppuun verrattuna. Jodidien värintoisto-ominaisuuksien johdosta monimetallilampussa ei tarvita loisteainekerrosta, joka aikaan saa lampun spektrin punaisen säteilyn. Käytön aikana monimetallilampun värivaikutelma voi muuttua jodidien säteilymuutoksista johtuen. Värivaikutelma monimetallilampulla on 3000 – 6500 K, ja yleinen värintoistoindeksi  $R_a$  on 65 – 90. (16, s. 56; 15, s. 10.)

### 3.2.5 Polttoikä

Monimetallilampun elinikä on 2500 – 16000 tuntia. Suuri vaihtelevuus polttoikässä johtuu jodidien ominaisuuksista ja lampun mallista. Valovirranalenema monimetallilampulla on suuri ja vaihtelee lampputyypeittäin ja tehottain. Valaistussuunnittelussa tulee ottaa huomioon monimetallilampun polttoiän aikana tapahtuva suuri valovirranalenema. Tämä nostaa valaistuksen kustannuksia, koska suunniteltavalle alueelle joudutaan lisäämään valaisimia tai nostamaan valaisimien tehoa, että alueella olisi riittävä valaistusvoimakkuus lampun polttoiän lopussa. Monimetallilampun elinikä ilmoitetaan 12 tunnin polttojaksolla, mikä tarkoittaa sitä, että lamppu on päälle kytkettynä 11 tuntia ja pois kytkettynä 1 tunnin, mikäli päällekytkentäaika on sytytyksestä kohti lyhempi, niin lampun elinikä lyhenee ja päinvastoin. (3, s. 30; 16, s. 56 – 57.)

### 3.3 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlampussa on purkausputken sisällä natriummetallia ja elohopeaa tai natriummetalleja ja ksenonkaasua, jotka kaasuuntuvat kun purkausputkeen johdetaan niin suuri virrantiheys, että purkausputken sisällä oleva kaasunpaine nousee 30 – 35 kPa paineeseen. Tällöin paineistunut kaasu alkaa säteilemään ympäristöönsä ominaispektristä valoa. Käyttämällä purkausputkessa natriummetallin kanssa elohopeaa, saadaan lisättyä lampun palamisjännitettä, jolloin virranvoimakkuus on vain 30 – 40 % suurempi kuin vastaavan kokoisella elohopeahöyrylampulla. Lisäämällä purkausputkeen, ksenonkaasua saadaan nostettua lampun valaistustehokkuus mahdollisimman suureksi. (16, s. 60 – 61.)

#### 3.3.1 Syttyminen ja lämpeneminen

Syttyäkseen suurpainelamppu tarvitsee erilliseen liitälaitteen, joka antaa 2,5 kV jännitepiikin lampulle ja rajoittaa virtaa syttymisen jälkeen. On myös lamppumalleja, joissa on itsessään sytytin, jolloin liitälaitte toimii syttymisen jälkeisenä virran rajoittimena. Syttymisen aikana lampun resistanssi ja palamisjännite kasvaa, josta seuraa lampun virran pienentyminen. Lampun lämpiäminen kestää 5 – 10 minuuttia, jonka jälkeen lamppu saavuttaa täyden valotehokkuutensa. Jännitekatkoksen jälkeen lampun tarvitsee jäähtyä 1 – 2 minuuttia syttyäkseen uudestaan. Valaistustilanteisiin, jossa ei sallita jännitekatkoksen aiheuttamaa jäähtymisaikaa, on kehitetty kaksi vaihtoehtoa. Suurpainenatriumlamppu, jossa on putken sisällä kaksi lamppua, joista toinen on valmis syttymään heti, kun toinen on sammunut ja liitälaitte, joka mahdollistaa kuumana syttymisen; liitälaitte ei sovellu kaikille suurpainenatriumlampuille. Tällaisia liitälaitteita ja suurpainenatriumlamppuja käytetään esimerkiksi lentokentillä. (16, s. 62, 65; 17, s. 43.)

Suurpainenatriumlampun toiminta ei ole kovin stabiilia, vaan on herkkä palamisjännitteen muutoksille. Palamisjännitteen muutos on riippuvainen putken seinämän lämpötilasta: palamisjännite nousee kun putkenseinän lämpötila nousee. Tämän ilmiön voi aiheuttaa valaisimen lämmittävä vaikutus, jolloin palamisjännite nousee eikä käyttöjännite riitä pitämään lamppua toiminnassa, vaan lamppu sammuu ja jäähtyessään syttyy uudestaan. Lampun taas lämmitessä se sammuu uudestaan. Tätä ilmiötä kutsutaan humppaamiseksi. Kylmät olosuhteet eivät rajoita suurpainenatriumlampun käyttöä, mutta liitälaitteiden pakkasen kestävyys tulee tarkistaa. (16, s. 63; 3, s. 30.)

### 3.3.2 Säädettävyys

Suurpainenatriumlampun valaistustasoa voidaan säätää 50 – 100 %:n välillä, mutta säätämiseen tarvitaan erikoisliitännälaitteet. Lampun valaistustehoa säädetään lampun impedanssia muuttamalla. Säädön tulee tapahtua hitaasti, ettei lamppu sammuu. Ennen valaistustason säätöä lamput tulee sytyttää täydellä teholla. (17, s. 43.)

### 3.3.3 Valotehokkuus

Suurpainenatriumlampun valotehokkuus on natriummetallin ansiosta huomattavasti parempi kuin pelkällä elohopealla tuotettu säteily. Valotehokkuus on välillä 85 - 150 lm/W riippuen lampun tehosta. Virranrajoitin kuitenkin pudottaa valotehokkuutta, jolloin koko järjestelmän valotehokkuus on 70 - 140 lm/W. (16, s. 62 – 63.)

### 3.3.4 Säteily ja väriominaisuudet

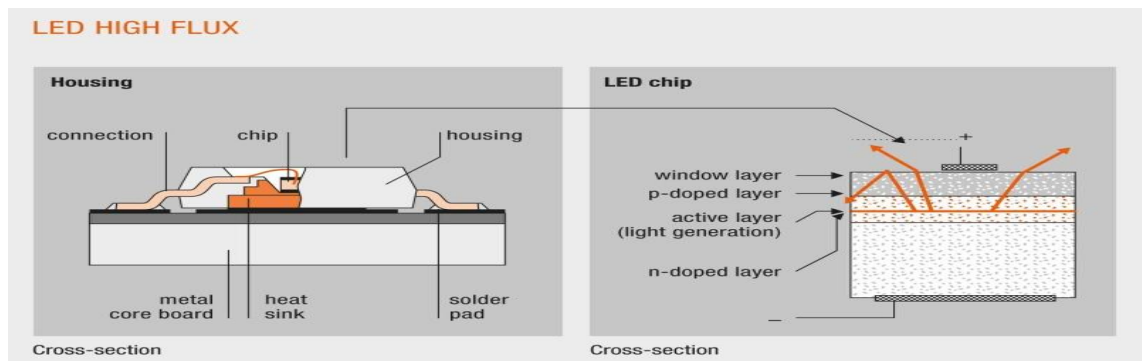
Suurpainenatriumlampun säteilyn spektri on painottunut keltaiselle ja punaiselle alueelle. Lampun antama valosäteily on väriltään kellanvalkoista, jolloin värivaikutelma, eli ekvivalenttisen värilämpötila, on 2100 K. Yleinenvärintoistoindeksi  $R_a$ , on suurpainenatriumlampulla huono, värintoistoindeksin ollessa vain 20 – 30. Värintoistokorjatuilla lamppuilla saadaan yleinen värintoistoindeksi  $R_a$  nostettua 65. Värintoiston korjaus pienentää lampun valotehokkuutta ja hyötypolttoaikaa. (15, s. 6; 16, s. 63.)

### 3.3.5 Polttoikä

Suurpainenatriumlampun polttoikä on 16000 tuntia ja pitkäikäisimmällä mallilla polttoikä on 24000 tuntia. Käytettäessä värikorjattuja lamppuja polttoikä lyhenee 10000 tuntiin. Valovirranalennema suurpainenatriumlampulla on pieni, valovirta alenee vain 10 % lampun polttoajan aikana. Suurpainenatriumlampun elinikä ilmoitetaan 12 tunnin polttojaksoilla, joka tarkoittaa sitä että lamppu on päälle kytkettynä 11 tuntia ja pois kytkettynä 1 tunnin. Jos päällekytkentä aika on sytytystä kohti lyhempi, niin lampun elinikä lyhenee ja päinvastoin. (15, s. 6; 16, s. 64.)

### 3.4 Led

Led eli valodiodei koostuu useita puolijohdettavista materiaalikerroksista. Kun valodiodeiin johdetaan tasavirtaa, säteilee valodiodein aktiivinen kerros valoa. Valosäteily johdetaan valodiodeista ulos optiikan välityksellä tai suoraan. Valodiodein säteily on monokromaattista toisin kuin hehkulampulla, säteilyn spektri riippuu käytettävästä puolijohdemateriaalista. Kuvassa 11 on esitetty valodiodein poikkileikkaus. (18.)



Kuva 11. Valodiodein poikkileikkaus. (18)

Ledin valmistuksessa on käytössä kaksi materiaalimenetelmää, joilla valmistetaan eri värisiä kirkkaita ledejä. Silloin kun virta johdetaan puolijohdeyhdisteiden läpi, saadaan aikaiseksi valoa, jonka spektri riippuu puolijohdeyhdisteiden koostumuksesta. Valon väri voi olla punaista, vihreää, keltaista tai sinistä. Siniseen lediin lisättäessä ylimääräinen fluoresoiva kerros, saadaan valodiodei tuottamaan valkoista valoa, tätä toimenpidettä kutsutaan luminenssikonversioksi. On myös toinen tapa tehdä valkoista valoa tuottava ledi. Tässä menetelmässä yhdistetään punainen, vihreä ja sininen valodiodei. Tällaista valodiodeia kutsutaan RGB -lediksi. RGB -ledillä saadaan sekoitettua mitä tahansa värisävyä, jolloin valaistusratkaisuun saadaan uusia ulottuvuuksia. (15, s. 3 – 5; 18.)

#### 3.4.1 Syttyminen ja lämpeneminen

Led-valolähde tarvitsee erillisen liitäntälaitteen syttyäkseen. Liitäntälaitte muuttaa 230 V verkkojännitteen ledille sopivaksi tasajännitteeksi huomioiden ledin sähköiset ominaisuudet, joihin ympäristölämpötila vaikuttaa. Led-valonlähde ei tarvitse syttyessään lämpenemisaikaa, vaan syttyessään led-valonlähde säteilee valoa ympäristöönsä täydellä valotehokkuudella. Valotehokkuus kuitenkin hieman alenee syttymisen jälkeen ja valotehokkuuden alentuminen kestää joitakin minutteja, kunnes valotehokkuus ta-

saantuu todelliseen maksimiarvoonsa. Tätä ilmiötä ei voida havainta silmillä. (19, s. 12.)

Led-valaisimien käynnistysvirtapiikki saattaa olla suurempi kuin muilla valonlähde-tyypeillä toteutettu valaistuksen käynnistysvirtapiikki, joten käynnistysvirtapiikki tulee huomioida suunnittelussa, koska se saattaa johtaa johdonsuoja-automaatin laukeamisen. Jotkin led-valaisimet on varustettu niin kutsutulla soft-start-liitännälaitteella, jolloin valaisimen käynnistysvirtaa on rajoitettu ja käynnistysvirtapiikkiä ei tarvitse huomioida valaistusryhmän suojauksen mitoituksessa. Valaisinvalmistajilta on saatavilla kuormitustaulukoita, joiden avulla voidaan mitoittaa led-valaisinryhmä oikean kokoiseksi suhteessa ryhmää suojaavaan johdonsuoja-automaattiin. Kylmät olosuhteet eivät rajoita ledin käyttöä, mutta liitännälaitteiden pakkasenkestävyys tulee tarkistaa (19.)

### Säädettävyys

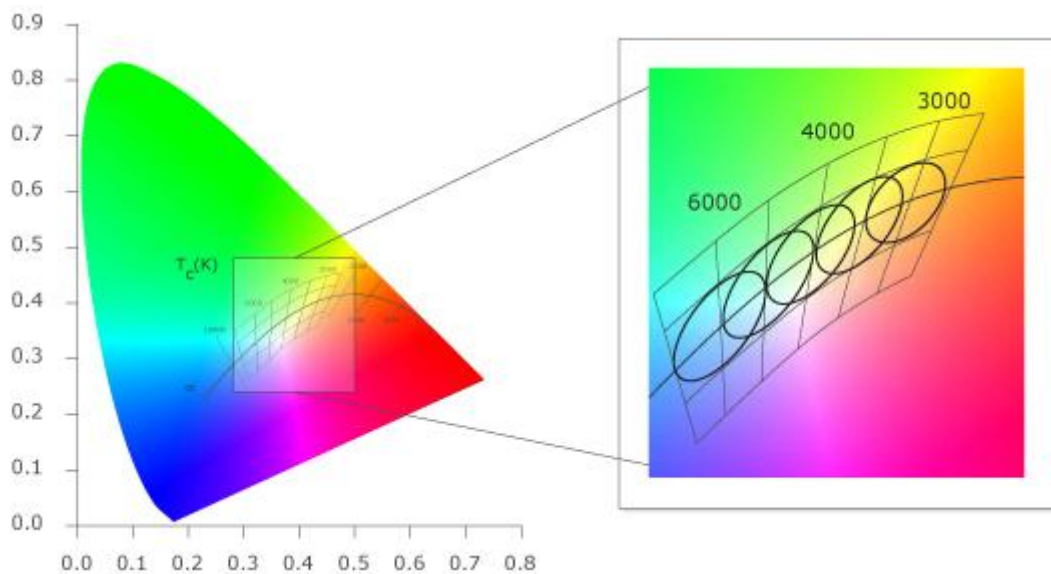
Led-valonlähteen säädettävyys on hyvä, säädön vasteaika on lyhyt ja valaistustehon säätöalue on 0,1 prosentista aina 100 prosenttiin. Led-valaisimien säätöön on olemassa monta mahdollisuutta, ja tärkein asia, joka vaikuttaa säädettävyyteen ja säätöön, on liitännälaitte. Led-valaisimen säätö tehdään jänniteohjauksella tai virtaohjauksella riippuen siitä, onko valaisimien led-moduulit kytketty rinnan vai sarjaan. Liitännälaitteen ohjaamiseen on monta protokollaa esim. DALI, DMX, DSI, pulssimodulaatio ja 1 – 10V säätö jne. (19, s. 12; 20.)

### 3.4.2 Valotehokkuus

Koska suurin osa ledin käyttämästä energiasta muuttuu lämmöksi, niin led-valonlähteen valotehokkuuteen vaikuttaa suuresti se, kuinka paljon saadaan jäähdytettyä liitoslämpötilaa. Liitoslämpötilaa alentamalla saadaan parannettua energian emittoimista valoksi. Tällä hetkellä ledin valotehokkuus ilman häviöitä on noin 130 lm/W. Valotehokkuuden uskotaan kasvavan vuoteen 2020 mennessä 220 lm/W, joka kuitenkin häviöiden johdosta jäisi 160 lm/W tasolle. (19, s. 3; 21.)

### 3.4.3 Säteily ja väriominaisuudet

Ledillä tuottamalla valon säteilyllä ei ole täydellistä värispektriä, vaan jokainen ledi voi olla erilainen väriltään tai värivaikutelmaltaan. Tämän johdosta käytetään binning-järjestelmää, jonka tarkoituksena on luokitella ledit värikoordinaattien avulla. Binning-toimenpiteessä käytetään apuna CIE:n 1931 hyväksymää väriavaruutta, väriavaruudesta määritellään värisovitusfunktio, jolla saadaan yhdistettyä ledit, joilla on samat väriominaisuudet. Kuvassa 12 on esitetty MacAdamin ellipsit. (19, s. 8.)



Kuva 12. MacAdamin ellipsit CIE:n väriavaruudessa. (19, s. 8)

Väriominaisuuksien määrittelyssä värisovitusfunktiona käytetään MacAdamin ellipsejä, jotka kuvaavat silmän väriherkkyyttä. Määrittelyssä ellipsit on aseteltu Planckin säteilyjän käyrälle siten, että mitä suurempi on MacAdamin arvo, niin sitä varmemmin silmä erottaa eron ledin värivaikutelmassa. Valaistusstandardeissa suositellaan ulkovalaistuksessa pysymään 5 - 7 askelman ellipsin sisällä. Tällöin silmä ei vielä erota eri ledien poikkeamaa värivaikutelmassa. (22, 25.)

Valkoista valoa tuottavien ledien värivaikutelma on 2700 – 8000 K. Käytännössä yleisesti käytössä olevien valkoista valoa tuottavien ledien värivaikutelma on lämminsävyinen 3000 K ja kylmänsävyisempi 4000 K. Yleinen värintoistoindeksi  $R_a$  vaihtelee ledeillä 70 – 95 välillä. Lämminsävyisellä 3000 K ledillä on parempi värintoistoindeksi kuin kylmänsävyisellä 4000 K:n ledillä. (24, s. 491.)

#### 3.4.4 Polttoikä

Ledin polttoikä on noin 50 000 tuntia, ja jotkin valonlähdevalmistajat lupaavat jopa 200 000 tunnin polttoiän. Ledien polttoikä määritellään erilailla kuin muiden valonlähteiden, koska harvoin ledit rikkoontuvat kokonaan. Ledin eliniän katsotaan loppuvan silloin, kun tietty valontuotto alitetaan ledillä. Ledien elinikä määreet perustuvat standardiin IEC 62717, jossa on annettu erilaisia määrettä elinikälle, joita valonlähdevalmistajien tulee käyttää, kun ilmoitetaan ledin elinikä. Esimerkiksi määritelmä  $L_{70}B_{10}$  tarkoittaa aikaa, jonka kuluessa 10 prosenttia toiminnassa olevista ledeistä tuottaa alle 70 prosenttia alkuperäisestä valontuotosta. Määritelmä  $C_{10}$  tarkoittaa aikaa, jonka kuluessa 10 prosenttia ledeistä on lopettanut valontuotonsa kokonaan. Määritelmä  $L_{70}F_{10}$  tarkoittaa aikaa jonka kuluessa 10 prosenttia ledeistä on rikkoutunut joko parametrisesti tai äkillisesti tuottaen alle 70 prosenttia alkuperäisestä valovirrastaan tai ei tuota ollenkaan valoa. (15, s. 19 – 21; 19, s. 5.)

Ledin polttoikä on pitkä verrattuna muihin ulkovalaistuksessa käytettäviin valonlähteisiin, koska ledissä ei ole hehkulankaa eikä liikkuvia osia, jotka voivat särkyä. Ledin polttoikään vaikuttaa hyvin voimakkaasti kaksi tekijää: ympäristön lämpötila ja ledin läpi kulkeva virran suuruus. Molemmat tekijät nostavat liitoslämpötilaa, jolloin esimerkiksi valkoista valoa tuottavan sinisen ledin siru ja fluoresoiva kerros rappeutuvat ja ledin valontuotokyky heikkenee asteittain. Tämä rajoittaa ledien käyttöä tiloissa, joissa ympäristön lämpötila on korkea. Kun ympäristön lämpötilaa nostetaan  $10^{\circ}\text{C}$  ilmoitetusta maksimikäyttölämpötilasta, niin ledin elinikä puolittuu. (19, s. 6.)

#### 3.4.5 Teollisuusstandardi Zhaga

Teollisuusstandardi Zhaga on valaisinteollisuuden luoma vapaaehtoinen standardi, jolla valaisinvalmistajat pyrkivät yhtenäistämään led-valaisimissa käytettävien komponenttien kuten: ledmoduli-, piirikortti- ja liitäntälaittekomponenttien yhteensopivuuden niin, että kenen hyvänsä valmistajan tekemä komponentti sopii toisen valmistajan komponentin tilalle. Tällaista led-valaisinta, joka on rakennettu Zhaga-standardin mukaan, voidaan kutsua modulaariseksi valaisimeksi. Modulaarisella valaisimella voidaan säästää merkittävästi valaistusinvestointeja ja huoltokustannuksia, koska yhden moduulin vaihto on huomattavasti edullisempaa kuin koko valaisimen vaihto. (23.)

### 3.5 Valaisimien perusvaatimukset

Valaisinvalinnassa tulee kiinnittää huomiota valaisimen valoteknillisiin ominaisuuksiin, esteettiseen sopivuuteen sekä taloudellisiin kustannuksiin, jotta kohteeseen saadaan näköhavainnon, turvallisuuden, viihtyvyyden sekä kustannuksien kannalta paras mahdollinen valaistus. Valaisimen tehtävänä ulkona on ohjata valoa valaistavaan kohteeseen hyvällä hyötysuhteella ja niin, että häikäisyä tulee mahdollisemman vähän. Valaisinvalinnassa ja valaisimen suuntauksessa tulee ottaa huomioon häiriövalo. Valaisinvalinnoissa tulee varmistua siitä, että valaisin soveltuu ulkokäyttöön, valaisimen pitää suojata valonlähde, liitäntälaitte, optiikka sekä muut sähkölaitteet ympäristön ja sään rasituksilta. Valaisimen rakenteen tulee olla sellainen, että pölyn, veden ja hyönteisten pääsy valaisimen sisään on estetty. Valaisimen rakenteessa muodossa sekä sijoittelussa tulee huomioida se, että valaisimen huolto ja huoltotoimenpide tulee voida suorittaa huonoissakin sääolosuhteissa. (3, s. 23; 16, s. 321.)

Kaikkien Suomessa käytettävien ulkovalaisimien on täytettävä standardin SFS-EN 60598 rakennemääräykset, standardin SFS-EN 55015 radiohäiriövaatimukset, standardin SFS-EN 61547 EMC-vaatimukset ja kaikissa valaisimissa tulee olla CE-merkintä. Kaikista laitteissa, jotka käyttävät energiaa, on toimitettava vaatimuksenmukaisuusvakuustodistus ennen kuin laite pääsee markkinoille. Tällä vakuustodistuksella valmistaja tai hänen edustajansa vakuuttaa, että laite on lain ja täytäntöönpanoasetusten mukainen. Laitteessa oleva CE-merkintä takaa sen, että energiaa käyttävä laite on täytäntöönpanoasetusten mukainen. (3, s. 23.)

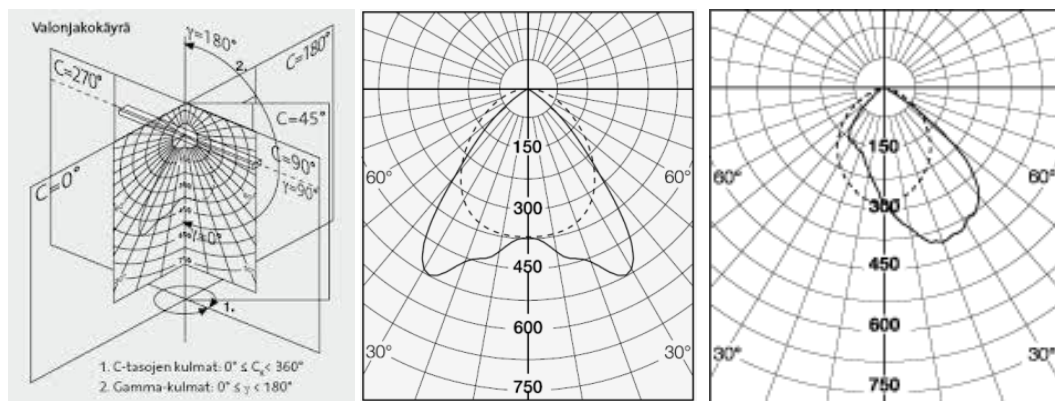
### 3.6 Valoteknilliset vaatimukset

Merkittävimmät valoteknilliset ominaisuudet valaisimessa ovat valonjako, häikäisysojaus ja hyötysuhde. Ulkovalaistusta suunniteltaessa suunnittelijalla tulee olla käytössä valaisimien valojakokäyrät. Valaistussuunnitteluohjelmalla ja valojakokäyrillä saadaan valaistus mitoitettua, niin että saavutetaan standardin SFS-EN 12464-2 mukainen minimivalaistustaso.



### 3.6.1 Valonjako

Valaisimen valonjaon valinta riippuu siitä, kuinka korkealle valaisin asennetaan valaistavasta kohteesta ja minkälaisia alueita ollaan valaisimessa, tarvitaanko valoa tarkkaan määritellylle alueelle vai laajalle alueelle. Valonjako valaisimessa voi olla pyörösymmetrinen, tai yhden tason suhteen symmetrinen tai epäsymmetrinen. Valaisimen ollessa matalalla tai lähellä suhteessa valaistavaan kohteeseen, käytetään leveää valonjakoa. Kun valaisin joudutaan sijoittamaan korkealle tai kauas, valaistavasta kohteesta käytetään valaisimessa kapeaa valonjakoa. Epäsymmetrisellä valonjaolla saadaan tasainen ja tarkasti rajattu valaistus, jossa ei ole hukka-valoa. Samalla myös häikäisyvaara pienenee. Kuvassa 13 on esitetty muutamia erilaisia valaisimien valonjakoa. (12, s. 43.)



Kuva 13. Valaisimen valonjaon mittaus, symmetrinen ja epäsymmetrinen valonjakokäyrä. (24, s. 462)

Valaisimen valonjako mitataan useissa tasoissa valaisimen ympäri. Mittauksien tuloksena saadaan valonjakokäyrä, joka on napa- ja polaarikoordinaatistoon piirretty mittauksien kuvaaja. Valonjakokäyrä ilmoittaa valaisimen suhteellisen valovoiman eri suuntiin tarkastelukulman funktiona yhdessä tai kahdessa tasossa. Yhtenäinen viiva valonjakokäyrällä kuvaa valonlähteen pituusakseliin nähden poikittaista suhteellista valovoimaa ja katkoviiva kuvaa valonlähteen pituusakseliin suuntaista suhteellista valovoimaa. (24, s. 462.)

Valonjakokäyrässä olevat lukuarvot voivat olla samankokoiset eri tehoisilla valolähteillä, koska valonjakokäyrien arvot on skaalattu valonlähteen 1000 lm kohti (cd/klm). Mittaustaso, joka mitataan kohtisuoraan valonlähteen pituussuuntaan, on  $C=0^\circ$ . Tämä mittaustaso ilmoittaa epäsymmetrisen valonjaon omaavilla valaisimilla maksimivalovoiman tähän suuntaan. (24, s. 462.)

### 3.6.2 Häiriövalo ja häikäisy

Valaistuksen aiheuttama häiriövalo ja häikäisy tulee huomioida suunnitteluvaiheessa valaisimen valinnassa sekä asennusgeometriassa. Häiriövalon ja häikäisyn suuruuteen vaikuttaa valaisimen valonjako, asennuskorkeus, sijoituspaikat ja suuntaus. Valaisimessa tapahtuvan häiriövalon ja häikäisyn rajoittamiseen voidaan käyttää häikäisy suojaa, joka rajoittaa suuriluminenssin valonlähteen pinnan näkyvyyttä katselusuunnassa, sekä myös prismakupua, joka hajottaa valon säteet laajemmalle alueelle. Valaisimessa voidaan käyttää myös valontaittajia ehkäisemään häikäisyä, jolloin valon taittajilla saadaan valo suunnattua pois katselukulmasta. Standardissa SFS-EN 12464-2 on annettu maksimiarvot häiriövalolle sekä häikäisylle. Näitä maksimiarvoja ei tulisi ylittää, kun halutaan saada suunnitellulle alueelle turvallinen ja miellyttävä valaistus. Julkisten rakennusten ulkovalaistuksen suunnittelussa häikäisyn tarkasteluun ei voida käyttää tievalaistuksessa käytettyä häikäisyindeksiä TI, koska toimisto- ja liikerakennusten ulkoalueilla voi olla monta eri käyttötarkoitusta. Tämän vuoksi jokaiselle valaisimelle tulisi määritellä erikseen valaisimen tuottama häikäisy, johon vaikuttavat valaisimen pinnan luminanssi ja valaisevan pinnan koko suhteessa asennuskorkeuteen. (26, s. 16, s. 356 – 357.)

### 3.6.3 Hyötysuhde

Valaisimen hyötysuhde L.O.R ilmoittaa, kuinka hyvin saadaan optiikan kautta valonlähteen tuottama valovirta ulos valaisimesta. Valaisimista määritellään erikseen D.L.O.R ja U.L.O.R arvot, D.L.O.R ilmoittaa vaakatason alapuolelle tulevan valon hyötysuhteen ja vastaavasti U.L.O.R ilmoittaa vaakatason yläpuolelle suuntautuvan valon hyötysuhteen. Vaakatason yläpuolelle suuntautuva valo on harvoin käytettävissä hyödyksi ulkoalueiden työvalaistuksessa vaan on häiriövaloa, jota tulisi rajoittaa. Kuvassa 14 on esitetty valaisimen hyötysuhdekaavio. (3, s. 23.)



Kuva 14. Valaisimen hyötysuhdekaavio. (3, s. 23)

Valaisinvalmistajat ilmoittavat valaisimille L.O.R arvon, jonka perusteella saadaan laskettu valaisimesta saatava valovirta. Led-valaisimille hyötysuhdearvoa ei kuitenkaan ilmoiteta. Led-valaisimille ilmoitetaan suoraan valaisimesta saatava valovirta, koska perinteiset valonlähteet ohjaavat suuren osan valosta eri suuntiin ja tämä saattaa näkyä häviönä valaisimen optiikan hyötysuhteessa. Led-valonlähde sen sijaan ohjaa kaiken valon yhteen suuntaan. (27.)

### 3.7 Valaisimien luokittelu

Valaisimien luokittelu voi perustua moneen eri tapaan. Valaisimet voidaan luokitella käyttöpaikan ja asennustavan mukaan. Jakoperusteina voidaan käyttää myös valonlähdettä, ohjattavuutta, hintaa, laatua, materiaalia. Valaisimia koskevien standardien mukaisesti valaisimien luokittelu jakaantuu suojausluokkiin, koteloitiluokkiin ja asennusalueen mukaiseen luokitteluun. (28.)

#### 3.7.1 Suojausluokat

Valaisimien luokittelu suojausluokissa jakaantuu vikatapauksessa tapahtuvan vaarallisen kosketusjännitteen estämisen perusteella. Suojausluokkien luokitus perustuu kolmeen perusasiaan, miten hyvin valaisimen kosketeltavat metalliosat on eristetty jännitteisistä osista, voidaanko kosketeltavat metalliosat maadoittaa, kun jännitteisissä osissa tapahtuu eristevika ja käytetäänkö valaisimessa sellaista jännitettä, jota ei katsota olevan vaarallista ihmisille, eläimille ja ympäristölle. Valaisimelle voidaan määritellä vain yksi suojausluokka, vaikka valaisin olisi rakenteeltaan sellainen, että useampi suojausluokka toteutuisi. Taulukossa 3 on esitetty suojausluokkien ominaisuudet. (26, s. 227 – 228.)

Taulukko 3. Valaisimien suojausluokat. (29)

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Suojausluokka I</b>   | Käyttöeristetty valaisin, valaisimessa on kosketeltavien metalliosien maadoitus mahdollisuus.  |
| <b>Suojausluokka II</b>  | Suojaeristetty valaisin, valaisimessa on kaksoiseristys (peruseristys + lisäeristys) tai vahvistettu eristys, valaisinta ei voi suojaadoittaa.                   |
| <b>Suojausluokka III</b> | Suojajännitteellä toimiva valaisin, valaisin toimii jännitteellä, joka ei aiheuta varaa ihmiselle, eläimille tai ympäristölle, valaisinta ei pidä suojaadoittaa. |

### 3.7.2 Kotelointiluokat

Valaiseminen kotelointiluokalla tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin valaisin on suojattu ulkoisia uhkia vastaan kuten pölyä ja vettä. Kotelointiluokitus noudattaa standardin IEC 60529 mukaista IP-luokitusta. Luokituksella on määritelty valaisimelle IP-luokituksen mukainen kaksimerkkinen tunnus, joka määrittelee, minkä kokoiset vieraat esineet pääsevät tunkeutumaan valaisimeen, sekä kuinka tiivis valaisin on veden vaikutukselle. Taulukossa 4 on esitetty IP-luokituksen tunnusten selitykset. (26, s. 228; 30.)

Taulukko 4. IP-luokitus merkkien selitykset. (3, s. 28)

| Suojaus vieraalta esineeltä |   | Suojaus veden vaikutukselta |   |
|-----------------------------|---|-----------------------------|---|
| <b>0</b>                    | Ei suojausta  | <b>0</b>                    | Ei suojausta  |
| <b>1</b>                    | Suojaus esineeltä, jonka halkaisija on yli 50 mm (Käsi)   | <b>1</b>                    | Tippuvesisuojaattu. Pystysuora tippuva vesi ei aiheuta haittaa  |
| <b>2</b>                    | Suojaus esineeltä, jonka halkaisija on yli 12 mm (Sormi)  | <b>2</b>                    | Tippuvesisuojaattu. Alle 15° kulmaan tippuva vesi ei aiheuta haittaa  |
| <b>3</b>                    | Suojaus esineeltä, jonka halkaisija on yli 2,5 mm (Työkalu)   | <b>3</b>                    | Tippuvesisuojaattu. Alle 60° kulmaan satava tai roiskevesi ei aiheuta haittaa   |
| <b>4</b>                    | Suojaus esineeltä, jonka halkaisija on yli 1 mm (Johdin)  | <b>4</b>                    | Mistä tahansa suunnasta tuleva roiskevesi ei aiheuta haittaa  |
| <b>5</b>                    | Pölyn haitallinen tunkeutuminen laitteeseen on estetty, laitteen ympärillä oleva pöly ei haittaa laitteen toimintaa | <b>5</b>                    | Mistä suunnasta tahansa tuleva suihkuvesi ei aiheuta haittaa,<br>Koestuksessa suuttimen halkaisija on ollut 6,3 mm ja vedenpaine 30 kPa |
| <b>6</b>                    | Laitteen kaikki jännitteiset osat on täysin suojattu, pöly ei pääse tunkeutumaan laitteeseen                        | <b>6</b>                    | Mistä suunnasta tahansa tuleva suihkuvesi ei aiheuta haittaa,<br>koestuksessa suuttimen halkaisija 12,5 mm ja vedenpaine 100 kPa        |
|                             |   | <b>7</b>                    | Vesitiivis, niin ettei väliaikainen veteen upotus aiheuta laitteen toiminnalle haittaa  |
|                             |   | <b>8</b>                    | Paine- ja vesitiivis, niin ettei jatkuvakaan ilmoitetuissa paineolosuhteissa aiheuta laitteen toiminnalla haittaa                       |

Kotelointiluokan IP-tunnuksen ensimmäinen numero ilmaisee, kuinka hyvin valaisin on suojattu vieraita esineitä ja pölyä vastaan. Toinen numero kertoo sen, kuinka hyvin valaisin on suojattu vettä ja kosteutta vastaan. Tavallisen IP 20-luokan valaisimen kotelointiluokkaa ei tarvitse merkitä valaisimeen. Kun on kysymyksessä valaisin, joka on suojattu paremmin kuin kosketussuojaus, molemmat IP-luokituksen merkit tulee näkyä. (3, s. 28; 30.)

### 3.7.3 Ilkivaltaloukat

Standardi SFS-EN 50102 määrittelee kriteerit valaisimien mekaaniselle kestävyydelle ja kestävyuden testaustavoille. Valaisimen mekaaninen kestävyys ilmoitetaan valaisimen tyyppikilvessä IK-luokkana. Valaisimen tulee kestää ilmoitetun luokan iskuenergia ilman, että valaisin menettää toimintakykynsä tai sähköistä ja mekaanista turvallisuuttaan. Täysin iskunkestäviä valaisimia ei ole olemassa estämään ilkivaltaa, mutta valaisinta, jonka IK-luokka on IK09, voidaan pitää ilkivallalta suojattuna valaisimena ja suojausluokaltaan IK10 valaisinta voidaan pitää jopa ilkivallalta sietävänä. Taulukossa 5 on esitetty IK-luokitusta vastaavat iskuenergiat. (3, s. 28.)

Taulukko 5. IK- luokitusta vastaavat iskuenergiat. (30)

| IK-luokka | Iskuenergia/Joule | Vastaava isku                               |
|-----------|-------------------|---|
| 00        | Suojaamaton       | Ei testiä                                   |
| 01        | 0,15              | 200 g esine pudotetaan 7,5 cm korkeudelta   |
| 02        | 0,2               | 200 g esine pudotetaan 10 cm korkeudelta    |
| 03        | 0,35              | 200 g esine pudotetaan 17,5 cm korkeudelta  |
| 04        | 0,5               | 200 g esine pudotetaan 25 cm korkeudelta    |
| 05        | 0,7               | 200 g esine pudotetaan 35 cm korkeudelta    |
| 06        | 1                 | 500 g esine pudotetaan 20 cm korkeudelta    |
| 07        | 2                 | 500 g esine pudotetaan 40 cm korkeudelta    |
| 08        | 5                 | 1,7 kg esine pudotetaan 29,5 cm korkeudelta |
| 09        | 10                | 5 kg esine pudotetaan 20 cm korkeudelta     |
| 10        | 20                | 5 kg esine pudotetaan 40 cm korkeudelta     |

## 4 Suunnittelussa huomioon otavat valaistuksen määrä- ja laatuvaatimukset

Ulkovalaistukselle asetettu päätehtävä on taata pimeässä ympäristössä liikkuville tai työskenteleville alueen turvallinen käyttö, jossa näköhavainnon suorittaminen on turvallista. Ulkovalaistuksen tehtävänä on myös luoda turvallisuuden ja viihtyisyyden tunnetta valitsevassa ympäristössä. Valaistusstandardien ja- suositusten lähtökohtana on se, kuinka hyvin työskentely voidaan suorittaa valaistavassa tilassa tai alueella. (3, s. 9.)

## 4.1 Valaistuksen tarve ja laatu

Lähtökohtana valaistuksen tarpeelle ja laadulle ulkovalaistussuunnittelussa tulee käyttää Eurooppalaista standardia Light and Lighting. Lighting of Work Places. Part 2: Outdoor work places, joka on vahvistettu suomalaiseksi SFS-EN 12464-2 standardiksi. Standardi määrittelee valaistukselle raja-arvot, joiden tulee täytyä koko valaistuksen elinkaaren. Valaistussuunnittelijan tulee huomioida suunnittelussa, kuinka paljon valaistustaso putoaa valaistuksen elinkaaren aikana. Valaistussuunnitelmassa tämä tulee huomioida valovirranalenemakertoimena. Valaistusteknisissä laskelmissa valovirranalenemakertoimen suuruus riippuu valonlähteen, liitännälaitteen ja valaisimen ominaisuuksista sekä valaistavan alueen vallitsevasta ympäristöstä. (3, s. 9.)

Hyvässä valaistuksessa valon laadulla on suuri merkitys. Näköhavaintoa suoritettavalla alueella vallitseva vaadittu valaistusvoimakkuus ei pelkästään riitä, vaan valaistukselta vaaditaan myös tasaisuutta, häikäisemättömyyttä ja hyvää värintoistokykyä. Työskentelyalueella, jossa itse näkötehtävä suoritetaan, tulee myös lähiympäristön valaistusvoimakkuuteen kiinnittää huomiota. Valaistusvoimakkuustasojen tulee olla oikeassa suhteessa ympäristön vallitsevaan valaistusvoimakkuuteen ja estää suurien luminanssierojen muodostuminen. Kun edellä mainitut hyvän valaistuksen kriteerit täytetään, saadaan ulkovalaistus, joka täyttää määrälliset ja laadulliset tarpeet. Standardissa SFS-EN 12464-2 annetuista raja-arvoista voidaan poiketa silloin, jos valaistuksen laadulliset ominaisuudet ovat paremmat kuin mitä standardi määrittelee. Standardin raja-arvoista voidaan poiketa myös, kun työskentely on poikkeuksellisen lyhytaikaista tai käsiteltävät esineet ovat poikkeavan suuria. (3, s. 9.)

### 4.1.1 Valaistusvoimakkuus

Pinnan luminanssi syntyy pinnalla valitsevan valaistusvoimakkuuden ja pinnan heijastusominaisuuksista. Tästä syystä ulkovalaistussuunnittelun perusteena käytetään valaistusvoimakkuutta. Luminanssijakauma, joka on suotuista silmälle, saavutetaan, kun asetetaan vaatimuksia valaistavan tilan, alueen tai ympäristön perustella valaistusvoimakkuudelle, valaisimille, valonlähteille sekä valaisimien sijoittelulle. (26, s. 14.)

Taulukossa 6 on esitetty standardin SFS-EN 12464-2 vaatimuksia ulkotyöalueille, jotka ovat yleisesti käytössä toimisto- ja liikerakennuksien yhteydessä. Taulukossa 6 on esitetty standardin SFS-EN12464-2 mukaiset minimivalaistusvoimakkuudet  $E_m$  lukseina

horisontaaliselle pinnalle. Usein näkökohteessa olevat pinnat on myös vertikaalisia, joten suunnittelussa tulee huomioida myös vertikaalipintojen riittävät valaistusvoimakkuustasot. (26, s. 14.)

Taulukko 6. Standardin SFS-EN 12464-2 vaatimuksia joillekin ulkotyöalueille. (5, s. 15 – 18)

| <b>Yleiset valaistusvoimakkuustasojen suositukset ulkotyöskentely alueille, sekä alueille jossa siivotaan</b> |       |                |     |    |   |
|---|-------|----------------|-----|----|---|
| Alueen käyttötarkoitus  | Em/lx | U <sub>o</sub> | RGL | Ra | Poikkeavia vaatimuksia                        |
| Alueet, joissa kulkeminen tapahtuu ainoastaan jalan   | 5     | 0,25           | 50  | 20 |   |
| Hitaan liikenteen katu (Max 10 km/h)<br>kuten polkupyörät, trukit ja kaivinkoneet                             | 10    | 0,40           | 50  | 20 |   |
| Normaali ajoneuvoliikenne (Max 40 km/h)   | 20    | 0,40           | 45  | 20 | Telakoilla ja satama alueilla RGL voi olla 50 |
| Jalkakäytävät, ajoneuvojen kääntöpaikat, lastausalueet  | 50    | 0,40           | 50  | 20 |   |
| Siivous ja huolto   | 50    | 0,25           | 50  | 20 | Kaikilla vallitsevilla pinnoilla              |
| <b>Teollisuustilat ja varastotilat</b>  |       |                |     |    |   |
| Alueen käyttötarkoitus  | Em/lx | U <sub>o</sub> | RGL | Ra | Poikkeavia vaatimuksia                        |
| Lyhytaikainen käsittely suurille esineille ja kiinteälle irtotavaralle  | 20    | 0,25           | 55  | 20 |   |
| Suurien esineiden ja raaka-aineiden lastaus ja purkualueella, jossa on nostureita ja nostolavoja              | 50    | 0,40           | 50  | 20 |   |
| Alueet, joissa joudutaan lukemaan osoitteita, käyttämään työkaluja tai hoitamaan kasveja, katetut alueet      | 100   | 0,50           | 45  | 20 |   |
| Alueet joissa suoritetaan vaativia asennustehtäviä tai tarkastuksia   | 200   | 0,50           | 45  | 60 | Käytetään paikallista valaistusta             |
| <b>Pysäköintialueet</b>   |       |                |     |    |   |
| Alueen käyttötarkoitus  | Em/lx | U <sub>o</sub> | RGL | Ra | Poikkeavia vaatimuksia                        |
| Kevytliikenne; kauppojen ja asuntoyhtiöiden pysäköintialueet esimerkiksi polkupyörien pysäköinti              | 5     | 0,25           | 55  | 20 |   |
| Keskisuuriliikenne; liikerakennusten, kauppojen, liikuntapaikkojen ja monitoimikeskusten pysäköintipaikat     | 10    | 0,40           | 50  | 20 |   |
| Raskasliikenne; kauppakeskusten, suurien urheilu ja monitoimikeskusten pysäköintipaikat                       | 20    | 0,50           | 50  | 20 |   |

#### 4.1.2 Valaistusvoimakkuuden tasaisuus

Valaistusvoimakkuuden tasaisuus tarkoittaa alueen pienimmän valaistusvoimakkuuden arvon ja keskimääräisen valaistusvoimakkuuden välistä suhdetta. Valaistusvoimakkuuden keskiarvo  $U_0$  lasketaan lausekkeella 10, jossa  $E_{\min}$  on pienin valaistusvoimakkuuden arvo ja  $E_{ka}$  on keskimääräinen valaistusvoimakkuuden arvo. (3, s. 8.)

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{ka}} \quad (10)$$

Valaistavalla alueella on valaistusvoimakkuustasojen oltava riittävän tasaisia, kun joudutaan katsomaan laajoilla alueilla vuorotellen valoisia kohtia ja vuoroin hämääriä kohtia. Suuret luminanssierot vaikeuttavat näkemistä, koska silmä ei ehdi sopeutua valaistusvoimakkuuden vaihteluihin. Alueilla, joissa on suuri tapaturman riski, ei valaistusvoimakkuustaso saa olla pimeimmässäkään nurkassa alle taulukossa 6 esitettyjen valaistusvoimakkuustasojen  $E_m$ -arvon. Ulkovaistuksen suunnittelussa voidaan valaistusvoimakkuuden tasaisuuteen vaikuttaa valaisimen valonjaolla, valaisimien välimatkan ja asennuskorkeuden välisellä suhteella, valaisimien suuntauksella ja valaisimien lukumäärällä. (12, s. 16 – 17.)

#### 4.1.3 Lähialueen valaistusvoimakkuudet

Standardissa SFS-EN 1264-2 on annettu myös minimivalaistusvoimakkuuden raja-arvot lähityöskentelyalueille. Lähityöskentelyalue rajoittuu 2 metrin päähän ympyräsäteellä työskentelypisteestä. Lähityöskentelyalueet, joissa tulee käyttää standardin minimiarvoja, on esimerkiksi alue, jossa työ on työturvallisuuden takia kriittistä, kohde tai työntekijä liikkuu, kun virheet tulevat maksamaan kohtuuttomasti, kun työ vaatii normaalia suurempaa tarkkuutta jne. Taulukossa 7 on esitetty lähityöalueen minimi valaistusvoimakkuustasot, suhteessa työskentelyalueen keskimääräiseen valaistusvoimakkuustasoon nähden. Lähityöskentelyalueen valaistusvoimakkuuden tasaisuus  $U_0$  saa olla minimissään 0,10. (5, s. 7 – 8.)



Taulukko 7. Lähityöskentelyalueen valaistusvoimakkuustasot. (5, s. 8)

| Lähityöskentelyalueen valaistusvoimakkuustasot |                        |
|--|------------------------|
| Työskentelyalue/lx                             | Lähityöskentelyalue/lx |
| $\geq 500$                                     | 100                    |
| 300  | 75                     |
| 200  | 50                     |
| 150  | 30                     |
| $50 \leq E_m \leq 100$                         | 20                     |
| < 50   | Ei vaatimusta          |

#### 4.1.4 Valaistusvoimakkuusarvojen arviointialue

Standardin SFS-EN 12464-2 mukaan työalueelle, sen välittömään lähiympäristöön ja tausta-alueille on määriteltävä valaistusvoimakkuustasot, jotka tulee laskea ja arvioida. Arviointialueen tulee olla suunnilleen neliön muotoinen ruudukko, joka on jaettu ruutuihin. Ruudukon ruutujen suhde tulee olla välillä 0,5 – 2. Arviointialueen ruudukon maksimikoko saadaan lausekkeella 11, missä lausekkeessa 11 p on suurin sallittu etäisyysmitta ruutujen välillä. Suurin sallittu arvo p:lle on 10 m, lausekkeessa 11 d on laskenta-alueen suurempi mitta, kuitenkin jos pidemmän sivun suhde lyhyempään on 2 tai enemmän, d muuttuu alueen lyhyemmäksi sivuksi. Lähin kokonaisluku joka saadaan d ja p välisestä suhteesta on luku, jota käytetään mittauspisteiden määränä. Lausekkeesta 11 saatavaa kokonaislukuun pohjautuvaa arviointipisteiden etäisyyttä käytetään myös arviointialueen toiseen suuntaan. Käytettäessä lauseketta 11 saadaan seuraavanlaisia tuloksia esim. p = 0,2 m kun d on 1 m, p = 1 m kun d on 10 m, p = 5 m kun d on 100 m. (5, s. 8.)

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} d} \quad (11)$$

#### 4.2 Häikäisyarvo

Häikäisyarvolla  $G_R$  tarkoitetaan häikäisyasteen suuruutta eli kuinka häiritsevänä näköhavainnontekijä tuntee häikäisyn. Nykyisin käytössä olevan laskentamenetelmän häikäisyarvon laskemiseen on alun perin käytetty urheilukenttien valoheitinasennuksista aiheutuviin häikäisyarvojen laskemisessa, mutta arviointitapaa on alettu käyttämään

myös muissa ulkovalaistussovelluksissa. Häikäisyarvo voidaan laskea käyttämällä neljää lauseketta 12, 13, 14 ja 15. (12, s. 18 – 23.)

Lausekkeella 12 voidaan laskea yhden valaisimen verkkokalvolle synnyttämä harsoluminanssi  $L_v$ . Lausekkeessa  $E_{\text{silmä}}$  on häikäisylähteen tuottama valaistusvoimakkuus silmän kautta kulkevalla katsesuuntavastaan kohtisuorassa olevalla tasolla. Katsesuunnan ja häikäisylähteen suunnan kulma on  $\Theta$ , jonka kärkipisteenä silmä on ( $1,5^\circ \dots 60^\circ$ ). Lausekkeella 13 lasketaan valaisinasennuksen kokonanisharsoluminanssi  $L_{vl}$ , jossa lasketaan yksittäisten valaisimien tuottamat harsoluminanssit yhteen. Lausekkeella 14 lasketaan ympäristön aiheuttama harsoluminanssi  $L_{ve}$ , joka heijastuu näköhavainnoinnin tekijän silmään. Lausekkeessa  $E_m$  on keskimääräinen valaistusvoimakkuus,  $L_b$  on taustan keskimääräinen luminanssi ja  $\rho$  on pinnan heijastumissuhde. Jos pinnan heijastumissuhde ei ole tiedossa, käytetään  $\rho$  arvona 0,15. Ympäristön aiheuttamaa harsoluminanssia laskettaessa oletetaan pinnan olevan täysin hajaheijastava. Lausekkeella 15 lasketaan häikäisyn aste eli  $G_R$ -arvo. Lausekkeessa  $L_{vl}$  on harsoluminanssi, jonka valaisimet synnyttävät näköhavainnontekijän silmään ja  $L_{ve}$  on lausekkeesta 14 saatu ympäristön aiheuttama harsoluminanssi. Lukuarvoltaan häikäisyarvo  $G_R$  voi vaihdella 10 – 90 välillä. Häikäisyn asteen keskiarvoa ei ole järkevää eikä tarkoituksenmukaista laskea tai mitata koko valaisinasennukselle kaikilta katselusuunnilta, vaan havaitsijan katselupaikat ja katselusuunnat tulee valita aina valaistusasennuskohtaisesti. Valaistus tulee kuitenkin suunnitella niin, että voimakasta häikäisyä ei esiinny alueilla, jossa työturvallisuus voi vaarantua tai työnteko häiriintyä. Taulukossa 8 on esitetty häikäisyarvot ja arvoja vastaavat häikäisyasteet. (12, s. 18 – 23.)

$$L_v = 10 \frac{E_{\text{silmä}}}{(\Theta)^2} \quad (12)$$

$$L_{vl} = L_{v1} + L_{v2} + \dots + L_{vm} \quad (13)$$

$$L_{ve} = 0,035 \cdot L_b = 0,035 \cdot \rho \frac{E_m}{\pi} \quad (14)$$

$$G_R = 27 + 24 \log_{10} \cdot \frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0,9}} \quad (15)$$

Häikäisyn rajoittaminen valaistussuunnittelussa on välttämätöntä hyvän näkötehokkuuden ja näkömukavuuden kannalta. Häikäisymuotoja ovat estohäikäisy ja kiusahäikäisy, jotka voivat esiintyä yhdessä tai erikseen. Häikäisyn lievempi muoto kiusahäikäisy ei rajoita työtehtäviä, mutta estohäikäisyä tulee ehdottomasti rajoittaa ulkotyöalueilla työ-

turvallisuuden takia. Valaistuksesta aiheutunut häikäisy tapahtuu suorana häikäisynä tai heijastinhäikäisynä. Suoraksi häikäisyksi kutsutaan häikäisyä, jonka aiheuttaa valaisimen valolähde tai pinta, joka näkyy valoisena suoraan näköhavainnontekijän silmään. Heijastinhäikäisyksi kutsutaan häikäisyä, joka aiheutuu silloin, kun kirkas valolähde heijastuu peilimäiseltä pinnalta. Ulkovalaistuksessa on harvoin heijastumishäikäisyä, koska ulkoalueiden pinnat eivät yleensä ole suuntaheijastavia, vaan ne ovat pääsääntöisesti hajaheijastavia. Taulukossa 8 on esitetty  $G_R$ -arvon ja häikäisyn välinen suhde. (12, s. 17 – 20; 3, s. 8.)

Taulukko 8.  $G_R$ -arvon ja häikäisyn välinen suhde. (12, s. 20)

| $G_R$ -arvo | Häikäisyn aste     |
|-------------|--------------------|
| 90          | Sietämätön         |
| 80          |                    |
| 70          | Häiritsevä         |
| 60          |                    |
| 50          | Juuri hyväksyttävä |
| 40          |                    |
| 30          | Havaittava         |
| 20          |                    |
| 10          | Huomaamaton        |

Ulkovalaistussuunnittelussa häikäisyä voidaan vähentää valaisimien valonjaolla, valaisinsijoittelulla, suuntauksella sekä käyttämällä häikäisysojia. Valonheittimillä ei valaisimia saa asentaa niin, että valovoiman maksimi suuntautuu yli 65 asteen gamma kulmaan. Taulukossa 6 sivulla 31 on esitetty standardin SFS-EN 12464-2 suositukset häikäisyarvon  $G_R$ -maksimi arvoille ulkotyöalueilla. (12, s. 17 – 20; 3, s. 8.)

#### 4.3 Värintoistoindeksi ja värivaikutelma

Kuten taulukosta 6 sivulla 31 nähdään, standardissa SFS-EN 12464-2 vaaditaan harvoin ulkoalueiden valaistukselta hyvää värintoistoindeksiä  $R_a$ , mutta kuten aikaisemmin todettiin, standardissa annetuista minimiarvoista voidaan poiketa ylöspäin. Alueilla, joissa halutaan värien toistuvan hyvin, tulisi värintoistoindeksin  $R_a$  olla suurempi kuin 60. Valaistuksen värintoistokyvyllä ja värivaikutelmalla on suuri psykologinen vaikutus. Kun värit toistuvat oikein ihminen tuntee olonsa tuvallisemmaksi, asioiden ja esineiden näyttäytyessä samalta kuin päivänvalossa. Hyvä värintoisto lisää myös näkömukavuut-

ta ja näkötehokkuutta. Hyvää värintoistoa tulisi käyttää tiloissa ja alueilla, joissa ihmiset kohtaavat toisensa esimerkiksi toimisto- ja liikerakennusten sisäänkäynneillä, piha-alueilla ja muissa vastaavilla alueilla, sekä alueilla, joissa turvavärien tulee näkyä oikein. Värivaikutelmaan vaikuttaa se, mitä pidetään luonnollisena. Alueilla, joilla on suuret valaistusvoimakkuustasot, tulisi luonnollisuuden takia käyttää värivaikutelmaltaan kylmäsävyisempää valaistusta. Tällöin valonlähteen ekvivalenttinen värilämpötila on yli 3000 K ja vastaavasti tiloissa joissa on pienempi valaistusvoimakkuus, tulisi käyttää värivaikutelmaltaan lämpimämpiä valonlähteitä joiden ekvivalenttinen värilämpötila on 3000 K tai alle. Taulukossa 9 on esitetty värintoisto ominaisuuksien raja arvot. (3, s. 7; 12, s. 29 – 30.)

Taulukko 9. Värintoistoominaisuudet. (12, s. 30)

| <b>R<sub>a</sub>-indeksi</b> | <b>Värintoisto ominaisuudet</b> |
|------------------------------|---------------------------------|
| R <sub>a</sub> ≥ 90          | Erittäin hyvä                   |
| 80 ≤ R <sub>a</sub> < 90     | Hyvin hyvä                      |
| 60 ≤ R <sub>a</sub> < 80     | Hyvät                           |
| 40 ≤ R <sub>a</sub> < 60     | Tyydyttävät                     |
| 20 ≤ R <sub>a</sub> < 40     | Välttävät                       |

#### 4.4 Varjonmuodostus ja muodonanto

Hyvältä ja laadukkaalta ulkovalaistukselta vaaditaan myös varjonmuodostusta ja muodonantoa, jota myös standardissa SFS-EN 12464-2 edellytetään. Varjoja muodostamalla mahdollistetaan muodonanto, jolloin esineiden muodot ja pinnanrakenteet tulevat paremmin esille. Varjojen luominen tuo luminanssieroja pintojen välille ja helpottaa pintojen muotojen ymmärtämisen. Esineiden muotojen hahmottumiseen vaikuttaa, mistä suunnasta ja kuinka paljon valoa lankeaa näkökohteessa olevaan esineeseen. Voimakas heittovarjo muodostuu, jos valoa tulee liikaa yhdestä suunnasta ja tämä vaikeuttaa kohteen tunnistettavuutta. Heittovarjon ehkäisyn kannalta tulisi tärkeillä ja kriittisillä alueilla valon langeta kahdesta eri suunnasta. Alueilla, joissa muodonanto on tärkeää, pitäisi yhdessä valaistuspisteessä käyttää useampaa kuin yhtä valonlähdettä, ettei valaistuspisteen valonlähteen sammuminen haittaisi valaistuksen muodonantoa. Valaistuksen valon ja hajavalon osuus voidaan selvittää usein riittävästi mittauksin. Mittauksessa käännettäessä valaistusvoimakkuusmittaria pystyasennossa erisuuntiin, jolloin selviää, miten suunnattu valaistus on ja mistä suunnasta valo lankeaa. Muodonannon

osalta miellyttävä valaistus on silloin, kun valo tulee mittauspisteeseen  $30^\circ$  kulmassa pystysuunnasta lukien ja kun valaistusvoimakkuus vaihtelee 1:4 kierrettäessä valaistusvoimakkuusmittaria ympäri pystyasennossa. Yleensä ulkotyöalueilla riittää muodonannon arvosteluun pystypintojen valaistusvoimakkuuksien mittaaminen. (12, s. 24 – 25.)

#### 4.4.1 Puolisylinterivalaistusvoimakkuus

Alueilla, kuten jalkakäytävät, kävelykadut aukiot ja puistokäytävät, joissa tapahtuu ihmisten kohtaamisia, tulee käyttää muodonannon arvostelemiseen puolisyylinterivalaistusvoimakkuutta. Puolisylinterivalaistusvoimakkuus on äärettömän pienen sylinterin keskimääräinen valaistusvoimakkuus tarkasteltavassa pisteessä. Puolisylinterivalaistusvoimakkuus  $E_{sc}$  voidaan laskea lausekkeella 16. Lausekkeessa  $\Phi$  on mittauspisteeseen tuleva valovirta,  $r$  on sylinterin säde ja  $l$  on sylinterin korkeus. (12, s. 28.)

$$E_{sc} = \frac{\Phi}{\pi \cdot r \cdot l} \quad (16)$$

#### 4.4.2 Tunnistaminen

Ulkovalaistuksen tulisi olla sellainen, että jalankulkijoilla on mahdollisuus tunnistaa vastaantulija ja vastaantulijan aikeet. Tunnistaminen tulisi tapahtua riittävän kaukaa, jolloin ihmisellä on aikaa mahdollisten puolustustoimintojen käynnistämiseen. Vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää, että kasvot voidaan tunnistaa neljän metrin etäisyydeltä, jolloin puolustustoiminnot voidaan käynnistää riittävän ajoissa. Tunnistamisetäisyytenä kymmenen metrin etäisyyttä pidetään kuitenkin suositeltavampana etäisyytenä. (12, s. 28.)

Tehtyjen tunnistamistestien perusteella, on tultu seuraavaan tulokseen. Kun ollaan neljän metrin etäisyydellä vastaantulijasta, niin kasvojen tunnistaminen on mahdollista, jos puolisyylinterivalaistusvoimakkuus on kasvojen korkeudella n. 0,8 lx. Kun etäisyys kasvaa kymmeneen metriin vastaantulijasta, niin puolisyylinterivalaistusvoimakkuuden tulee olla n. 2,7 lx kasvojen korkeudella. Hyvä muodonanto saavutetaan, kun verrataan pystypintojen valaistusvoimakkuutta  $E_v$  puolisyylinterivalaistusvoimakkuuteen  $E_{sc}$ , kun valaistusvoimakkuuksien suhde  $E_v : E_{sc}$  on tasoa 0,8...1,3 voidaan sanoa, että valaistuksella on hyvä muodonanto. (12, s. 28.)

#### 4.5 Häiriövalo

Häiriövalo, jota kutsutaan myös valosaasteeksi, on IDA:n määritelmän mukaan mikä tahansa keinovalaistus, jonka vaikutus on haitallinen. Keinovalaistuksesta aiheutuvaa valosaastetta ovat esimerkiksi taustataivaan kirkastuminen, häikäisy, valon suuntautuminen väärään paikkaan, valojen yhteisvaikutuksena syntyvä töhryvalo, heikentynyt näkyvyys yöllä ja energian tuhlaus. Joidenkin tutkijoiden mielestä koko valosaaste on seuraus huonosta valaistussuunnittelusta. (31, s. 15.)

Valosaaste on siis keinovaloa, joka on kytketty väärään aikaan päälle tai suuntautuu jonnekin muualle kuin mihin on tarkoitus, aiheuttaen ihmisille, eläimille ja luonnolle haitallisia terveysvaikutuksia ja ympäristöhaittoja. Valosaasteen terveysvaikutukset johtuvat siitä, kun ihmiset ja eliöt altistuvat valolle väärässä paikassa tai väärään aikaan. Suoraan valolle altistumisen haittojen lisäksi valosaaste aiheuttaa päästöjä, ilmansaasteita ja melua tarvitsemansa energian johdosta. Tämän lisäksi sähköntuotantovoimailojen, jakeluverkkojen, valaisimien asentaminen ja huolto sekä purkaminen rasittavat ja kuluttavat luontoa. (31, s. 15.)

Hyvin usein valosaaste aiheutuu valaistussuunnittelussa, valaistuksen asennuksessa tai molemmissa tapahtuvasta ajatteluttomuudesta, tietämättömyydestä tai jopa piittaamattomuudesta. Valaistuksen huolellinen suunnittelu on tärkeää ja siihen tulisi käyttää projekteissa tarpeeksi rahaa ja aikaa, koska ulkovalaistusasennukset palvelevat vuosikymmeniä. Standardissa SFS-EN 12464-2 on annettu maksimiarvot häiriövalolle. Ylempiä arvoja ei saa ylittää, alemmat arvot ovat suosituksia, ellei yöajalle ole erillistä viranomais määräystä. Taulukossa 10 on esitetty standardin SFS-EN 12464-2 mukaiset arvot häiriövalolle. Taulukon arvot perustuvat ympäristöluokitukseen. (5, s. 10; 31, s. 15.)

Taulukko 10. Häiriövalon raja-arvot. (32)

| Raja-arvot häiriövalolle |                                    |                  |       |                       |       |                                    |                                |
|--------------------------|------------------------------------|------------------|-------|-----------------------|-------|------------------------------------|--------------------------------|
| Ympäristö-<br>luokka     | Taivaan<br>valottumi-<br>nen ULR % | Valo ikkunoihin  |       | Valolähteen valovoima |       | Luminanssi                         |                                |
|                          |                                    | Ev/lx<br>Illalla | Yöllä | I/kcd<br>Illalla      | Yöllä | Lav/cd/m <sup>2</sup><br>Julkisivu | Ls/cd/m <sup>2</sup><br>Kyltti |
| <b>E1</b>                | 0                                  | 2                | 1     | 2,5                   | 0     | 0                                  | 50                             |
| <b>E2</b>                | 5                                  | 5                | 1     | 7,5                   | 0,5   | 5                                  | 400                            |
| <b>E3</b>                | 15                                 | 10               | 2     | 10                    | 1     | 10                                 | 800                            |
| <b>E4</b>                | 25                                 | 25               | 5     | 25                    | 2,5   | 25                                 | 1000                           |

**Taulukon tunnusten selitys:**

**E1** edustaa pimeitä alueita, kuten kansallispuistoja ja muita erityisen luonnonkauniita alueita  
**E2** edustaa valoisuudeltaan vähäisiä alueita, kuten maaseutua ja pieniä kyliä  
**E3** edustaa valoisuudeltaan keskimääräisiä alueita, kuten pieniä kaupunkeja  
**E4** edustaa hyvin valoisia alueita, kuten kaupunkien keskustoja, joissa on paljon toimintaa yöaikaan

**ULR** on upward light ratio eli horisontaalitason yläpuolelle suuntautunut valon osuusprosentteina, kun valaisimet on suunnattu

**Ev** on ikkunan vertikaalinen valaistusvoimakkuus mitattuna lasinpinnasta. Lasketaan suunnittelun yhteydessä tai mitataan valmiista valaisinasennuksesta

**I** on häiriölähteen valovoima kilokandeloina mitattuna häiritsevään suuntaan. Saadaan suunnitelmista tai mitataan valmiista valaisinasennuksesta

**Lav** on rakennuksen julkisivun keskimääräinen luminanssi eli pinta-kirkkaus

**Ls** on kyltin tai valomainoksen maksimiluminanssi eli pinta-kirkkaus

## 5 Ulkovalaistuksen suunnittelu

Ennen valaistushankkeeseen ryhtymistä on selvittävä kunnalta tai kaupungilta, tarvitseeko ulkovalaistushanke maankäyttö- ja rakennusasetuksen 62§ mukaisen toimenpidedeluvan, joka vaaditaan julkisivu- ja ulkovalaistukselta, jolla on merkittävä ja pitkäaikainen vaikutus kaupunkikuvaan. Suunnittelijan on ennen suunnittelutyön aloittamista selvittävä, mitä valaistukselta vaaditaan, minkä tyyppisiä tehtäviä tai toimintoja tilassa tai alueella suoritetaan pimeän aikana ja minkälaisia vaatimuksia tehtävät ja toimenpiteet asettavat valaistukselle. Projektin alussa on hyvä kysyä useaan kertaan mitä ja miksi. ( 3, s. 15, s. 21; 31.)

Tässä tehtävässä on hyvä käyttää apuvälineenä valaistussuunnittelun tehtäväluetteloa VAL12. Tehtäväluettelo on tarkoitettu talorakennuksen sisä- ja ulkovalaistuksen tehtävien sisällön ja laajuuden määrittelyyn. Tehtäväluettelo soveltuu käytettäväksi kaiken-

laisissa kohteissa riippumatta siitä, minkä muotoiset hankinta- ja palkkiomuodot ovat. Tehtävälueetella määritellään suunnittelijan tehtävän laajuus. Lisäksi tehtävälueeteloa käytetään suunnittelukokonaisuuden hallinnassa. Sitä voidaan käyttää myös osana laadunhallintaa. Tehtävälueetelo liitetään suunnittelusopimukseen. (3, s. 15, s. 21; 31.)

Ulkovalaistusta tarvitaan pimeän aikana, jotta liikkuminen ja työskentely olisi turvallista, tehokasta ja miellyttävää. Lisäksi ulkovalaistusta tarvitaan valvonnan, järjestyksenpidon helpottamiseksi, rikollisuuden vähentämiseksi ja yleisen turvallisuuden lisäämiseksi. Ulkovalaistukselle asetetut tehtävät sekä luonne vaihtelevat ulkovalaistuksen käyttötaroituksen mukaan. Ulkotyöalueilla valaistuksella pyritään hakemaan turvallista ja tehokasta työympäristöä, kulkuväylillä valaistuksen on mahdollistettava turvallinen liikkuminen, kun taas oleskelualueilla pyritään valaistuksella viihtyisyyteen. Ulkovalaistus tulisi suunnitella ja rakentaa niin, että päästään kohtuukustannuksin (hankintakustannukset ja käyttökustannukset) standardin ja valaistussuosituksen vaatimuksien mukaiseen valaistukseen. Vaikka kustannuksia pyritään alentamaan, ei ulkovalaistuksen laadusta tulisi tinkiä. (12, s. 11.)

Toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksessa joudutaan käyttämään korkeampia valaistusvoimakkuuksia kuin tieliikennevalaistuksessa, koska käyttäjät saattavat olla näkö- ja liikuntarajoittuneita. Usein toimisto- ja liikerakennusten ulkoalueilla on laajempi käyttötarkoitus, tästä johtuen ulkovalaistus tulisi suunnitella kaksi- tai useampitasoiseksi alueen toiminnallisten vaatimusten mukaan. Suunnitteluvaiheessa joudutaan myös arvioimaan, kuinka mahdollista valaistusasennukseen kohdistuva ilkivalta on. Alueilla, joissa on paljon liikkuja ja valaisimien luokse pääsy esteetöntä on valaisimien IK-luokituksen oltava suuri. (26, s. 354.)

Hyvä valaistussuunnitelma syntyy, kun suunnittelija tutkii ja erittelee tarvittavat pimeänajan näkötehtävät ja näköympäristöt. Suunnittelija määrittelee saatujen tietojen pohjalta ulkotyöalueiden valaistusstandardia SFS-EN 12464-2, valaistussuosituksia ja ohjeita hyväksikäyttäen valaistustavoitteet suunniteltavalle ulkovalaistukselle. Suunnittelussa ei pidä unohtaa sitä, että suunnitellun ulkovalaistuksen pitää olla sopusuhtainen tilan tai alueen ympärillä olevien nykyisten valaistusasennusten kanssa niin päivällä kuin pimeän aikaan. (12, s. 11.)



## 5.1 Tarvittavan valaistuksen arviointi

Tarvittavan valaistuksen arviointi voidaan suorittaa, kun on selvitetty suunniteltavan ulkovalaistusalueen käyttötarkoitus ja pimeän aikana tapahtuvat toiminnot. Arviointi voidaan suorittaa niin sanotulla hyötysuhdemenetelmällä. Hyötysuhdemenetelmässä käytetään lauseketta 17, jossa  $\Phi$  on kohteessa tarvittavien valolähteiden valovirta. Alueelle tavoiteltu valaistusvoimakkuus on  $E$ , joka saadaan standardista SFS-EN 12464-2 ja valaistussuosituksista. Alueen pinta-ala on  $A$ . Valaisimen hyötysuhde on  $\eta_L$  ja valaistuksen hyötysuhde on  $\eta_V$ . Suurilla alueilla hyötysuhdekertoimina voidaan käyttää 0.4...0.5, joka muodostuu valaisimen ja valaistuksen hyötysuhteiden tulosta ( $\eta_L \cdot \eta_V$ ). Julkisivuvalaistuksessa ja pienillä alueilla voidaan käyttää hyötysuhdekerrointa 0,3. (3, s. 21.)

$$\Phi = \frac{E \cdot A}{\eta_L \cdot \eta_V} \quad (17)$$

## 5.2 Sisäänkäynnit ja numerovalaistus

Rakennusten sisäänkäynnin valaistus on osa kulkuvalaistusta, joka mahdollistaa turvallisen liikkumisen pimeän aikana. Sisäänkäynnissä valo tulee suunnata ovea kohti tai oven edustaan, ettei valo aiheuta häikäisyä. Sisäänkäynnin valaistus toimii silmän sopeutumisalueena, kun tullaan valoisasta sisätilasta ulos. Portaittaiset valaistusvoimakkuustasot antavat silmille enemmän aikaa sopeutua hämärään. Sisäänkäyntivalaistuksella ohjataan tulija rakennukseen, jolloin sisäänkäyntien valaistusvoimakkuuksilla voidaan määritellä sisäänkäynnin taso. Sisäänkäynneillä, joilla on enemmän liikennettä, pidetään korkeampaa valaistusvoimakkuustasoa, kuin vähemmän liikennöidyillä sisäänkäynneillä. Valaisimet, joita käytetään sisäänkäyntivalaistukseen, tulee sovittaa rakennuksen arkkitehtuuriseen tyyliin. Numerovalaistukseen kohdistuu määräyksiä ja vaatimuksia kuntien ja kaupunkien rakentamismääräyksistä, jotka on syytä tarkistaa ennen suunnittelua. Numerovalaisin asennetaan näkyvälle paikalle ja valaisimen merkintöjen on oltava selvästi luettavissa. Numerovalaisin tulee myös sovittaa rakennuksen tyyliin, ja se voi toimia myös lähialueen yleisvalaisimena. (3, s. 12; 26, s. 349.)

### 5.3 Liikkumiseen tarkoitetut alueet

Liikkumiseen tarkoitetuilla alueilla ulkovalaistuksen tarkoitus on taata turvallinen liikkuminen pimeään aikaan. Alueilla, jotka on tarkoitettu liikkumiseen, on suunnittelussa huomioitava alueiden kaksijakoisuus, ajoneuvoille tarkoitetut väylät ja jalankulkuun tarkoitetut alueet. Liikkumiseen tarkoitettujen väylien valaistusvoimakkuustasot riippuvat siitä, minkälaista liikennettä väylillä sallitaan. Väylällä, jossa sallitaan pelkästään jalankulku, valaistusvoimakkuustasot voivat olla pienemmät kuin väylillä, joissa liikkuu työkoneita ja pyöräilijöitä. Väylillä, joissa liikkuu edellä mainitun liikkujien lisäksi moottoriajoneuvoliikennettä, joudutaan valaistusvoimakkuustasoja nostamaan. Ajoväylillä voidaan käyttää samanlaista tekniikkaa kuin alueeseen liittyvällä katu- tai tiealueella on. (26, s. 354; 3, s. 13.)

Valaisimina voidaan käyttää aukio tai puistovalaisimia, joiden asennus korkeus on 4 – 6 metriä. Tämän tyyppisillä valaisimilla saadaan myös toteutettua valaistuksen miellyttävyyteen ja ympäristön sopivuuteen liittyvät seikat. Pelkästään jalankulkuun tarkoitetut alueet voidaan toteuttaa samantyyppisillä valaisimilla, mutta asennuskorkeus voi olla matalampi ja valaisimen koko pienempi. Valaisimien asennuskorkeus ja mittasuhteet tulee sopeuttaa valitsevaan ympäristöön. Jalankulkualueilla valaisimien on myös kes-tettävä mahdollinen ilkivalta, joka on otettava huomioon valaisimien IK-luokituksessa. Kulkureittien valaistuksesta osa voidaan toteuttaa seinävalaisimilla, jolloin saadaan valaistua myös itse rakennuksen julkisivu. (26, s. 354; 3, s. 13.)

### 5.4 Portaat

Jalankulkualueilla portaiden valaiseminen on ensiarvoisen tärkeää, koska portaan tasoerot aiheuttavat kaatumisrikin. Etenkin talvella liukkaus ja lumi lisäävät kaatumisen riskiä. Portaiden valaistusvoimakkuus voi olla sama kuin muu alueen kulkureitin valaistusvoimakkuus, mutta portaiden yläpään askelmien alkukohta on valaistava paremmin kuin muut portaan askelmat ja askelmat eivät saa varjostaa alemmaa askelmaa. Portaisiin valaisimet sijoitetaan niin, että valo tulee sivulta tai ylhäältä edestäpäin, valaisimet voivat olla myös tukimuurissa tai kaiteessa. Valaisimien sijoittelussa on otettava huomioon myös, että kulkija ei omalla varjollaan varjosta portaita. (3, s. 13.)

## 5.5 Oleskelualueet

Oleskelualueilla ulkovalaistuksella pyritään luomaan viihtyvyyttä ja turvallisuuden tunnetta pimeään aikaan. Valaistus voidaan toteuttaa samantyyppisillä valaisimilla kuin liikumisalueiden valaistus, jolloin valaistuksesta saadaan yhtenäisen näköinen. Viihtyvyyden luomiseksi voidaan käyttää lisäksi pieniä valonheittäjiä sekä kohdevalaisimia valaisemaan rakenteita, kalusteita ja kasveja. Oleskelualueiden valaistusasuun on kestettävä mahdollista ilkivaltaa, joten valaisimien IK-luokkaan on kiinnitettävä huomiota valaisimia valittaessa. Oleskelualueella valaisimissa käytettävien valonlähteiden värintoistoindeksi Ra on oltava suuri, jolloin asiat ja esineet näyttävät samalta kuin päivällä luoden lisää turvallisuuden tunnetta ja viihtyvyyttä. Valaistusvoimakkuustasojen tulee olla yhtä tasoa suuremmat, jos oleskelualueet on tarkoitettu myös lapsille. (26, s. 350 – 354.)

## 5.6 Pysäköintialueet

Pysäköintialueiden ulkovalaistus tulisi palaa läpi pimeään ajan ehkäisten ilkivaltaa ja rikollista toimintaa. Ulkovalaistuksella tehdään liikkuminen helpoksi ja turvallisiksi pimeään aikaan. Pysäköintialueiden valaisimet tulee sijoittaa korkealle, etteivät autojen aiheuttamat varjot tekisi katvealueita valaistukselle. Valaisimina pysäköintialueilla voidaan käyttää samantyyppisiä valaisimia kuin ajoväylillä, jolloin valaisimen asennuskorkeus on 4 – 6 metriä ja isoilla pysäköintialueilla valaisimen asennuskorkeus voi olla 8 - 10 metriä. Valaistus voidaan toteuttaa myös valonheittimillä, jolloin tulee kiinnittää erityistä huomiota valonheittimien suuntaukseen häikäisyn ehkäisemiseksi, koska häikäisy voi vaikeuttaa esimerkiksi jalankulkijoiden havainnointia lumitöiden teossa talvella. (3, s. 14.)

## 5.7 Korostusvalaistus

Hyvä ulkovalaistus koostuu kulkualueiden, oleskelualueiden ja pysäköintialueiden turvallisuutta ja viihtyvyyttä tuovasta valaistuksesta, jossa ihmiset, esineet ja kappaleiden ja maan muodot on helposti tunnistettavissa. Hyvän yleisvalaistuksen lisäksi voidaan tarvita myös korostusvalaistusta, jolla saadaan tuotua sellaiset ulkoalueiden elementit esille, joita yleisvalaistus ei tuo. Korostusvalaistuksella voidaan muokata myös raken-

nuksen julkisivua entistä houkuttelemaksi pimeään aikaan. Korostusvalaistuksessa valaisimien sijoittamisessa ja suuntauksessa tulee ottaa huomioon, etteivät ne aiheuta kiusallista häikäisyä ympäristöön. Valaistusvaikutelmassa tulee huomioida katselusuunnat, miltä näkymä näyttää joka suuntaan. Jos jotain asiaa korostetaan niin, että se näkyy hyvin sisälle, näkyy se myös hyvin muihin suuntiin. (3, s. 15.)

Korostusvalaistuksen valaistusvoimakkuustasoja valittaessa on huomioitava ympäristön valaistusvoimakkuustasot. Pimeässä tarvitaan huomattavasti vähemmän valoa kuin ympäristössä, joka on jo valmiiksi valaistu. Korostusvalaistuksella ei ole tarkoitus järkyttää valaistusvoimakkuustasojen tasapainoa. Epävarmoissa tilanteissa kannattaa korostusvalaistus aloittaa pienellä valaistusvoimakkuudella ja lisätä valon määrää oikean vaikutelman saamiseksi. Taulukon 11 arvoista voidaan nähdä, miten pinnan vaaleus vaikuttaa valon määrään. Mitä vaaleampi pinta, niin sitä pienempi valaistusvoimakkuus tarvitaan korostuksen luomiseksi. Taulukossa 11 on esitetty CIE:n suositukset valaistusvoimakkuuksista eri pintamateriaaleille. (3, s. 15.)

Taulukko 11. CIE:n suosituksia valaistusvoimakkuuksista eri pintamateriaaleille. (3, s. 15)

| Valaistavanpinnan materiaali                  | Suositeltava valaistusvoimakkuus/lx |               |         | Korjauskertoimet |     |     |                  |          |               |
|---|-------------------------------------|---------------|---------|------------------|-----|-----|------------------|----------|---------------|
|   | Ympäristön valoisuus                |               |         | Valolähdetyyppi  |     |     | Pinnan likaisuus |          |               |
|   | Hämärä                              | Melko valoisa | Valoisa | Led              | Mm  | Nat | Melkopuhdas      | Likainen | Hyvinlikainen |
| Vaalea kivi                                   | 20                                  | 30            | 60      | 1                | 1   | 0,9 | 3                | 5        | 10            |
| Keskivaalea kivi                              | 40                                  | 60            | 120     | 1,1              | 1,1 | 1   | 2,5              | 5        | 8             |
| Tumma kivi, harmaa graniitti                  | 100                                 | 150           | 300     | 1                | 1   | 1,1 | 2                | 3        | 5             |
| Vaaleankeltainen tiili                        | 35                                  | 50            | 100     | 1,2              | 1,2 | 0,9 | 2,5              | 5        | 8             |
| Vaaleanruskea tiili                           | 40                                  | 60            | 120     | 1,2              | 1,2 | 0,9 | 2                | 4        | 7             |
| tummanruskea tiili, vaaleanpunainen graniitti | 55                                  | 80            | 160     | 1,3              | 1,3 | 1   | 2                | 4        | 6             |
| Punainen tiili                                | 100                                 | 150           | 300     | 1,3              | 1,3 | 1   | 2                | 3        | 5             |
| Tumma tiili                                   | 120                                 | 180           | 360     | 1,3              | 1,3 | 1,2 | 1,5              |          |               |

Korostusvalaistuksessa on huomioitava myös valaistavan kohteen pinnan ja ympäristön kontrasti. Tummat kohteet erottuvat vaaleasta taustasta selvästi tummuudellaan ja värikontrastein, joten tummia kohteita ei ole tarkoituksen mukaista tuoda esiin valon

määrällä, koska tummien pintojen valaistus tarvitsee huomattavan määrään valotehoa, jotta korostettavaan kohteeseen saataisiin tarvittava pintakirkkaus kohteen esiintuomiseksi ympäristöstä. Lisäksi on syytä muistaa, että hyvin usein korkeiden korostettavien kappaleiden taustalla on pimeä taivas, joka määrittelee kohteen tarvitseman valomäärän. Taulukossa 12 on esitetty pintakirkkauksien suhteita ja kuinka hyvin suhteet havaitaan silmillä. (3, s. 15.)

Taulukko 12. Eri pintakirkkauksien suhde. (3, s. 15)

| Eri pintakirkkauksien suhde | Silmin havaittuna |
|-----------------------------|-------------------|
| 1:2                         | Tuskin erottuu    |
| 1:3                         | Havaittava        |
| 1:5                         | Huomattava        |
| 1:7                         | Korostava         |
| 1:9                         | Dramaattinen      |

## 5.8 Mainosvalaistus

Myönteinen julkisuus on liike-elämässä tärkeää yrityksen toiminnan kannalta ja mainosvalaistus toimii tässä tarkoituksessa oivana apuvälineenä. Mainosvalaistus on yrityksen käyntikortti, jolla kerrotaan yrityksestä, sen tuotteista ja palveluista mainosvalaistuksen vaikutuspiirissä oleville ihmisille. Mainosvalaistuksen vaikutus ei rajoitu pelkästään pimeään aikaan, vaan mainosvalaistus pyritään rakentamaan niin, että itse mainosvalaisin palvellee myös päivällä. Hyvin usein liike- tai toimistorakennus löydetään opasteiden tai valomainoksen avulla. Tästä syystä mainosvalaistuksella on myös opastuksellinen tehtävä rakennuksen julkisivussa. Mainosvalaistuksella on kaupunkien pimeänajan valaistuksessa tärkeä merkitys. Mainosvalaistus yhdessä näyteikkunoiden valaistuksen kanssa hoitavat yhdessä osan liikekeskuksien toiminnallisesta valaistuksesta. (26, s. 362.)

Valomainoskylttien tekstit ja kuvat valmistetaan usein akryylimuovista, käyttäen runkomateriaalina alumiiniprofiileja kylttien runkona. Nykyään asennettavista valomainoskylteistä suurin osa on led-irtokirjainvalomainoksia. Led-valonlähteellä varustettujen valokylttimainosten etuna on noin yhdeksänkymmentä prosenttia pienempi energiankulutus ja huoltovälien pidentyminen 3 - 5 vuodesta noin kymmeneen vuoteen suhteessa neonputkivalomainoksiin. Valomainoksien luettavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti kirjainten korkeus ja kirjainten välinen etäisyys. Hyvä korkeuden suhde leveyteen on 4:3.

Tällä kirjainten suhteella ja yksinkertaisella fontilla valomainos on helposti luettavissa myös kauempaa. Valomainoksen luminanssi vaikuttaa huomattavasti valomainoksen näytävyyteen, mutta luettavuuden kannalta suuri luminanssi ei ole aina eduksi. Suuri pinnan luminanssi aiheuttaa häikäisyä, joka saattaa estää mainoksen informaation välittymisen kokonaan. Valomainoksien lisäksi liikerakennuksissa käytetään paljon valo-opasteita, jotka ovat rakenteeltaan ja valolähteeltään samanlaisia kuin mainosvalot. Valo-opasteet toimivat hyvin usein liikennettä ohjaavassa tehtävässä, niin jalankulkijoille kuin ajoneuvoliikenteelle. Valomainoksissa ja valo-opasteissa tulee käyttää sivun 39 taulukon 10 maksimiarvoja valomainoksen ja valo-opasteen pintaluminanssille. (26, s. 363 - 365; 34.)

## 5.9 Turvallisuus- ja valvontavalaistus

Turvallisuus- ja valvontavalaistuksella tarkoitetaan valaistusta, jonka tarkoituksena on suojata henkilökuntaa ja omaisuutta pimeän aikana. Valaistuksella ehkäistään ja paljastetaan alueeseen tai rakennukseen kohdistuva ilkeä ja alueelle sekä rakennukseen tapahtuva luvaton tunkeutuminen. Valaistuksen avulla mahdollistetaan myös vartioiden ja valvontahenkilökunnan liikkuminen pimeän aikaan ja alueelle tulevien ja siellä liikkuvien valvonta. Alue- ja kuorivalvontaan tarkoitettujen valvontakameroiden toimintaan tarvitaan myös valaistusta pimeän aikana. Väri- ja valvontakameroiden tarvitsema valaistusvoimakkuus on 15 – 50 lx ja mustavalkokameralla valaistusvoimakkuuden tarve on 3 – 10 lx. (12, s. 63.)

Turvallisuus- ja valvontavalaistuksen määrä ja toiminta määritellään kiinteistölle tehtävän riskikartoituksen ja turvallisuusanalyysin perusteella. Riskikartoituksessa selvitetään mahdolliset uhat, jotka kohdistuvat kiinteistöön ja sen käyttäjän toimintaan, henkilökuntaan ja ympäristöön. Turvallisuusanalyysissä tarkastellaan kiinteistön eri osalualueita ja määritellään turvatasot, joilla suojaus toteutetaan. Turvatasot jaetaan neljään tasoon, jotka määrittävät suojauksessa käytettävät toimenpiteet ja laitteiston. Kiinteistössä ei välttämättä käytetä vain yhden tason suojausta vaan voidaan käyttää myös suojaustasojen eri yhdistelmiä riippuen alueen ja kiinteistön toiminnasta. Turvatasoissa taso 1 määrittelee perustason, taso 2 tehostetun perussuojauksen, taso 3 erityissuojauksen ja taso 4 täyssuojauksen. Taulukossa 13 on esitetty turvatasot ja vaatimukset valaistukselle. (35, s. 7 – 10.)

Taulukko 13. Turvallisuuksien määritelmät ja tasojen vaatimukset valaistukselle. (35, s. 10, s. 13.)

| Turvallisuuksien tasot  | Valaistukselliset toimenpiteet  |
|---|---|
| <b>Taso 1 perussuojaus:</b>   |   |
| Yksinkertaisilla rakenteilla perusratkaisuihin toteutetaan riittävä turvallisuustaso kohteissa, joissa turvallisuuden suhteen ei ole erityisiä vaatimuksia.   | Alueella liikkuminen turvataan pääkulkuväylien ja sisäänkäyntien valaistuksella.  |
| <b>Taso 2 tehostettu perussuojaus:</b>  |   |
| Rakenteellista suojausta täydennetään sähköisillä turvajärjestelmillä ja henkilöllisellä valvonnalla. Tätä voidaan pitää normaalin toimistorakennuksen perussuojaustasona.  | Alueella liikkuminen turvataan pääkulkuväylien ja sisäänkäyntien valaistuksella. Valaistuksessa huomioidaan kulunvalvonnan ja kameravalvonnan vaatimukset. Sähkölaitteet suojataan ilkivaltaa vastaan.  |
| <b>Taso 3 erityissuojaus:</b>   |   |
| Rakenteellista ja sähköistä turvatekniikkaa käytetään merkittävässä määrin. Suojaustarve on korostunut ja aiheuttaa selvää kustannusten nousua.   | Alueella liikkuminen turvataan kaikkien kulkuväylien ja sisäänkäyntien valaistuksella. Valaistuksessa huomioidaan kulunvalvonnan ja kameravalvonnan vaatimukset. Huomioidaan valojen syttyminen esimerkiksi murtoilmaisujärjestelmän ohjaamana. Sähkölaitteet suojataan ilkivaltaa vastaan.   |
| <b>Taso 4 täyssuojaus:</b>  |   |
| Rakenteellisia erikoisratkaisuja ja sähköistä turvallisuustekniikkaa käytetään paljon. Suojaus tarpeet muodostavat olennaisen osan rakennushankkeesta ja suojaustoimenpiteet ohjaajat voimakkaasti kiinteistöissä tapahtuvaa toimintaa. | Alueella liikkuminen turvataan kaikkien kulkuväylien ja sisäänkäyntien sekä rajojen valaistuksella. Valaistus on varmennettu sähkökatkosten varalta kriittisimmiltä osilta. Valaistuksessa huomioidaan kulunvalvonnan ja kameravalvonnan vaatimukset ja valojen sytyttäminen esim. murtoilmaisujärjestelmän ohjaamana. sähkölaitteet suojataan ilkivaltaa vastaan ja sijoittelussa huomioidaan mahdollisuuksien mukaan (liikenne onnettomuustilanteet). |

## 5.10 Ohjaus ja säätö

Ulkovalaistuksen ohjauksella ja säädöllä säädellään valaistuksen tarkoituksenmukaista käyttöaikaa ja määrää, jolla pyritään minimoimaan valaistukseen käytettävä energiankulutus. Energiankulutuksen pienentämisen varjolla ei kuitenkaan pidä heikentää valaistukselle asetettuja vaatimuksia, koska valaistusta tarvitaan, kun työskennellään tai liikutaan ulkona pimeään aikaan. Hyvin suunnitellulla ulkovalaistuksella taataan turvallinen ja tehokkaaseen työhön mahdollistava työympäristö, turvallisuuden tunteen lisääminen ja valaistuksen miellyttävyys ulkona liikkujille. Monissa kiinteistöissä valvontaan ja korostusvalaistukseen tarvittavat valaistusvoimakkuuden tasot ovat pienempiä, kuin mitä tarvittaisiin työntekoon pimeään aikaan, joten tarpeettomat valaisimet tulisi sammuttaa ja valaistusvoimakkuustasoja pienentää mahdollisuuksien mukaan energian sääs-

tämiseksi. Suunnittelussa tulee selvittää, onko alueelle olemassa vain yksi valaistustaso ja toiminnan taso vai onko olemassa hetkiä, jolloin alueella ei tarvita valoa tai alueella ei tarvita alueen vaatimaa valaistusvoimakkuutta. Selvityksen perusteella valaistukselle suunnitellaan oikeanlainen ohjauspa, joka mahdollistaa energiankulutuksen minimoimisen. (3, s. 35.)

Valaistuksen ohjaus voidaan toteuttaa monella tapaa. Nykyään on käytössä useita tapoja sekä toimilaitteita esim. astronominen kellokytkin, hämäräkytkin, liiketunnistin ja kellokytkin. Yleisin tapa toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksen ohjauksessa on ohjata ulkovalaistusta valvonta-alakeskuksella, jossa valaistusta ohjataan valvonta-alakeskuksen aikaohjelmalla ja alakeskukseen kytketyllä valaistusanturilla releiden ja kelakytkimien kautta. Valvonta-alakeskuksella voidaan ohjata myös muita valaistuksen ohjausjärjestelmiä esimerkiksi DALI, DMX, alennusrele, kaksistehokuristin jne. Vaihtoehtoisesti valvonta-alakeskusta voidaan ohjata esimerkiksi murtoilmajärjestelmällä, liiketunnistimella, jolloin valvonta-alakeskuksen kautta ohjataan turvallisuus- ja valvontavalaitusta. Led-valonlähteiden yleistyminen ulkovalaistuksessa on helpottanut valaistusvoimakkuustasojen säätämisen, koska led-valonlähteen valovirtaa voidaan säätää nollan ja sadan prosentin välillä ilman viivettä. Ledejä voidaan hyödyntää energiatehokkaassa valaistuksen säädössä. Iltaisin ja aamuhämärällä, kun ulkona liikutaan, kulkualueiden valot palavat täydellä teholla ja yöaikaan, kun liikettä on vähän tai ei lainkaan, valaistusvoimakkuustasot voidaan pienentää esimerkiksi kahteenkymmeneen prosenttiin maksimivalaistusvoimakkuudesta, joka edelleen mahdollistaa suunnistamisen. Liiketunnistimien avulla valaistusvoimakkuustasot voidaan nostaa kriittisillä alueilla. (3, s. 36.)

## **6 Ulkovalaistuksen huolto ja ylläpito**

Ulkovalaistuksen valaistusvoimakkuustasot alenevat ajan myötä käytössä. Tämä johtuu valonlähteiden valovirran alenemasta ja valaisimien likaantumisesta. Tästä johtuen valonlähteet tulee uusia ja valaisimet puhdistaa sopivin aikaväleihin. Näillä huoltotoimpiteillä saadaan valaistusvoimakkuustasot pidettyä kohtuullisissa rajoissa. Tarvittaessa yksittäiset rikkoutuneet valonlähteet, liitäntälaitteet ja valaisimet uusitaan. Ulkovalaistus tulee suunnitella niin, että valaistusvoimakkuustasot ovat valaistuksen käyttöönottohetkellä suuremmat kuin mitä standardi SFS-EN 12464-2 ja valaistussuositukset suosittelevat. Valaistusvoimakkuustasojen mitoituksessa tarvittavan alenemakertoimen (huol-



tokertoimen) arvot riippuvat siitä, minkälainen huoltosuunnitelma tehdään valaistukselle. Huoltosuunnitelma tehdään suunnittelijan ja käyttäjän neuvottelujen pohjalta. Huoltosuunnitelmassa tulee selvittää huoltojakson pituus, jolla valaistukselle tehdään huolto-  
toimenpiteet. Huoltojaksoista on pidettävä kiinni, jotta valaistusvoimakkuustasot eivät laskisi liikaa valaistuksen elinkaaren aikana. (12, s. 53.)

## 6.1 Valovirran alenema

Kaikkien valonlähteiden valovirta alenee elinkaarensa aikana. Valovirranaleneman suuruus ja nopeus riippuvat hyvin pitkälti valonlähde tyypistä, joten suunnitelmissa valovirranalenema täytyy huomioida aina käytettävän valonlähteen mukaan. Valovirranalenema vaihtelee valonlähde tyypin ja tehon mukaan rajoittuen elinkaarensa aikana noin kymmenen ja neljäkymmenen prosentin välille valonlähteen valovirran uusarvosta. Valonlähteiden valmistajilta on saatavilla yksityiskohtaista tietoa valonlähteiden valovirranalenemasta. Valonlähteiden väriominaisuudet saattavat myös muuttua elinkaaren aikana. Muutokset väriominaisuuksissa ovat valonlähdekohtaisia. (12, s. 53.)

## 6.2 Valonlähteiden keskimääräinen elinikä ja hyötypolttokä

Valaistuksen valaistusvoimakkuutta alentaa myös valonlähteiden loppuun palaminen. Kun 15 – 20 prosenttia valonlähteistä on palanut loppuun, niin valonlähteiden loppuun palaminen kiihtyy ja samalla valaistusvoimakkuustasot alenevat merkittävästi. Valonlähteiden keskimääräinen elinikä on saavutettu, kun viisikymmentä prosenttia valonlähteistä on palanut. Pitkäikäisten valonlähteiden varsinkin monimetallilampun valovirta alenee voimakkaasti elinkaarensa aikana, joten monimetallilamput on vaihdettava ennen loppuun palamista. Monimetallilamppujen vaihtoajankohta valitaan hyötypolttokä (ryhmävaihtoväli) mukaan. Hyötypolttokä määritellään valovirranaleneman ja lamppujen kuolleisuuden yhteisvaikutuksen perusteella. Hyötypolttokä saavutetaan hetkellä, jolloin valaistusvoimakkuus on valonlähteistä johtuen laskenut kolmeenkymmeneen prosenttiin esimerkiksi valovirranalenema kahteenkymmeneen prosenttiin ja valonlähteiden kuolleisuus kymmeneen prosenttiin. Suurpainenaatriumlampulla hyötypolttokä on noin viisi vuotta kun polttoaika vuorokaudessa on 3500 – 4000 tuntia. Pitkäikäisillä valonlähteillä hyötypolttokä on merkittävästi lyhyempi kuin keskimääräinen elinikä. Yksit-

täisestä valonlähteestä ei voi sanoa, kuinka pitkään se tulee toimimaan, valonlähteen elinikä saadaan selville sitten, kun se on sammunut. ( 12, s. 54; 15, s. 18.)

### 6.3 Likaantuminen

Suurimman valaistusvoimakkuuden aleneman ulkovalaistuksen elinkaaren aikana aiheuttaa valaisimien valoa heijastavalle ja läpäisevälle pinnalle sekä valonlähteeseen kiertynyt lika. Valaisimen likaantumisen nopeus riippuu ympäristöstä, johon valaistus on tehty. Likaantumisen nopeuteen vaikuttaa myös valaisimen pintojen kaltevuus, pinnankäsittely, lämpötila, pölytiiveys sekä hengitysilman suodatustapa. Valaistuksen likaantumisenopeuteen voidaan vaikuttaa valitsemalla valaisimet ympäristön olosuhteiden mukaan. Avoimet valaisimet likaantuvat nopeammin kuin suljetut valaisimet. Ympäristössä, jossa on pölyä tai likaa, tulee käyttää kotelointiluokituksestaan pölynpitävää tai pölynsuojaisen rakenteen omaavaa valaisinta. Korkeisiin pylväisiin asennettujen valonheittimien kotelointiluokka valitaan myös pölynpitäväksi tai pölysuojatuksi, vaikka alue, johon valaistus asennus on tehty, olisikin puhdas. Valaisimissa, jotka ovat suljettuja, varmistetaan ilman kulkeminen erityisen suodattimen tai hengittävän tiivisteiden kautta. Tällaisia valaisimia kutsutaan hengittäviksi valaisimiksi. Säännölliset huollot, joissa valaisimien ja valonlähteen pinnat puhdistetaan, auttavat pienentämään valaistusvoimakkuustasojen laskemisen. Alueen valaistuksessa tarvittavaa valonlähde ja valaisinmäärää voidaan pienentää, jos valaistusvoimakkuustasojen aleneminen pidetään kohtuullisissa rajoissa. Tämä on myös taloudellisesti hyvin kannattavaa. (12, s. 54.)

### 6.4 Kestävyys ja vanheneminen

Vaikka ulkovalaistukselle on tehty hyvä huoltosuunnitelma ja huoltojaksojen huoltotoimenpiteet on suoritettu, niin tästä huolimatta valaisimien antama valovirta alenee, koska valoa heijastavien ja läpäisevien pintojen materiaalit vanhenevat ajan myötä. Vanhemisen johdosta valaisimen osat menettävät kykyään heijastaa ja läpäistä valoa. Polykarbonaatista valmistetut valoa taittavat ja valoa hajottavat osat kellastuvat yleensä akryylistä valmistettuja osia nopeammin. Valaisimia valitessa on kiinnitettävä huomiota mistä raaka-aineesta valaisin on valmistettu. Valaisimen raaka-aineen valinnassa tulee huomioida valaistuksen ympäristöolosuhteet kuten esimerkiksi lämpötila, UV-säteily ja

syövyttävät aineet. Alueilla, joissa valaistus on mahdollisesti alttiina ilkvallalle, tulee kiinnittää erityistä huomiota valaisimien mekaaniselle kestävyydelle. Moniin valaisimiin on saatavana iskunkestäviä UV-stabiloituja polykarbonaatista tai iskunkestävästä akryylistä valmistettuja kupuja. Valaisimen runko ja muu rakenne tulisi olla myös tukevaa tekoa. Valaisimien oikealla sijoituksella voidaan ehkäistä valaisimien kolhiintumista sekä ilkvallaa. Valaisimet tulisivat sijoittaa mahdollisuuksien mukaan niin ylös, että normaalitoiminnan yhteydessä valaisimet eivät kolhiintuisi. Korkealla olevat valaisimet vähentävät ilkvallan mahdollisuutta. Kun valaisimet ovat tarpeeksi korkealla, voidaan valaisimissa käyttää normaalia rakennetta. (12, s. 55.)

## 6.5 Alenemakerroin

Ulkovalaistuksen valaistusvoimakkuustasojen mitoituksessa käytetään alenemakerrointa, jolla otetaan huomioon valaistusvoimakkuustasojen aleneminen valaistuksen elinkaaren aikana. Alenemakerroin on valaistusasennuksen vanhana tuottama valaistusvoimakkuus suhteessa valaistuksen valaistusvoimakkuuden uusarvoon nähden. Alenemakerroin koostuu kahdesta eri osasta, valonlähteiden valovirranalenemasta ja valaisimien likaantumisasteesta. Alenemakerroin vaihtelee kun siirrytään valaisinasennuksesta toiseen. Taulukossa 14 on esitetty alenemakertoimen arvoja eri likaantumisolosuhteissa ulkoalueilla. Huoltojaksoksi on oletettu kolme vuotta. (12, s. 55.)

Taulukko 14. Alenemakertoimen arvoja eri likaantumisolosuhteissa. (12, s. 56)

| Ilman puhtaus          | Alueen sijainti                     | Valaisimesta ja valolähteiden likaantumisesta johtuva alenema kerroin | Valolähteiden vanhenemisesta johtuva alenemakerroin <sup>1)</sup> | Kokonais alenema kerroin |
|------------------------|-------------------------------------|---|---|--------------------------|
| <b>Puhdas</b>          | Maaseutu - ja esikaupunki alueet    | 0,85  | 0,8   | 0,7                      |
| <b>Keskinkertainen</b> | Tiheään rakennetut asuntoalueet     | 0,75  | 0,8   | 0,6                      |
| <b>Likainen</b>        | Tiheään rakennetut teollisuusalueet | 0,6   | 0,8   | 0,5                      |

<sup>1)</sup> Kun käytetään valolähteenä suurpainenatriumlamppua, muita valolähteitä käytettäessä arvo on vaihdettava valolähdettä vastaavaksi.

## 6.6 Huoltosuunnitelma

Ulkovalaistusta suunniteltaessa tulee valaistuksen huolto ottaa huomioon. Teknisesti ja taloudellisesti paras valaistus saadaan, kun valaistuksen huolto perustuu ennakkosuunnitelmaan. Valaistuksen huoltoa suunniteltaessa on selvittävä, minkälaiset ympäristöolosuhteet ovat alueella, johon valaistus ollaan suunnittelemassa ja minkälaisia vaikutuksia ympäristöllä on valaistusvoimakkuustasojen alentumiseen. Tällöin selvitetään, onko alentumiseen vaikuttavia tekijöitä yksi vai useita. Yksistään alenematekijöiden perusteella on vaikea päätellä, mitkä huoltotoimenpiteet ovat milloinkin ajankohtaisia. Huoltosuunnitelmassa tulee lukea kaikki toimenpiteet, joita suoritetaan valaisinhuollon yhteydessä. Huoltosuunnitelmassa tulee selvittää myös huollontekijä, ajankohta, tarvikkeet sekä tarvittavat apuvälineet. Taulukossa 15 on esitetty asiat, jotka tulee selvittää yksityiskohtaisesta valaisinhuoltosuunnitelmasta. (12, s. 56.)

Taulukko 15. Huoltosuunnitelmassa esitettävät asiat. (12, s. 56)

|   |
|---|
| 1. Valaistuksen valaistusvoimakkuustasojen seuranta   |
| 2. Valaistus asennuksen kunnon seuranta   |
| 3. Valolähteiden ja liitäntälaitteiden vaihtoväli ja -tapa  |
| 4. Valaisimien ja valolähteiden puhdistuksen suoritusjaksot   |
| 5. Valaistuksen rikkoutuneiden valaisinosien vaihto   |
| 6. Valaistuksen vanhentuneiden tai syöpyneiden valaisinosien vaihto                                   |
| 7. Valolähteiden ja valaisimen varaosien tekniset tiedot ja hankinta                                  |
| 8. Valaisimen puhdistuksessa käytettävien puhdistusaineiden ja välineiden tekniset tiedot ja hankinta |
| 9. Valaistuksen huollossa tarvittavien apuvälineiden hankinta yhteystiedot                            |
| 10. Ohjeistus huolto- tai korjaustyön tilaamisesta  |

Yleisimmät huoltotoimenpiteet ovat valonlähteiden vaihto sekä valaisimen puhdistus. Valonlähteitä voidaan vaihtaa yksittäin tai ryhmävaihtoina. Ryhmävaihtoa käytetään ammattivalaistuksessa, jossa työkustannuksen alentamiseksi suuren valaistusasennuksen valonlähteet vaihdetaan tietyn ajanjakson jälkeen kaikki yhtä aikaa riippumatta siitä, toimivatko valonlähteet vai eivät. Joskus on tarkoituksen mukaista käyttää molempia menetelmiä. Vaihtotavoista ryhmävaihto on edullisempi ja sillä saadaan hyvä valaistusvoimakkuustasojen pysyvyys. Oikea aika suorittaa ryhmävaihto on silloin, kun loppuun palaneiden valonlähteiden määrä alkaa nopeasti lisääntyä. Valaisinasennuksen puhdistusväli riippuu valaisimista, ympäristön olosuhteista ja puhdistuskustannuk-

sista. Valaisimien puhdistusväli tulisi yhdistää valonlähteiden vaihdon yhteyteen ja tarvittaessa vaihtojen välille. (12, s. 57; 15, s. 18.)

## 6.7 Elinkaarikustannukset

Ulkovalaistuksen, niin kuin muidenkin järjestelmien ja laitteiden käyttö, alkaa asennuksen ja käyttöönoton jälkeen. Ulkovalaistus on hankintahinnaltaan kallis, mutta merkittävämät kustannukset tulevat käyttöönoton jälkeen käytön seurauksena. Valaistuksen suunnittelulle ja asennukselle on helppo laskea hinta, mutta pystymmekö laskemaan, millä korvataan valaistuksen käyttöönoton jälkeiset kustannukset? Valaistuksen tarpeellisuutta perustellaan turvallisuudella, työn tehokkuudella ja viihtyvyydellä. Näille arvoille on yksittäistapauksissa mahdotonta tai erittäin vaikeaa arvioida hintaa. (3, s. 37.)

### 6.7.1 Energiakustannus

Usein valaistuksessa energiankulutus on suurin yksittäinen kustannuserä valaistuksen elinkaaren aikana. Suunnittelulla on suuri merkitys energiakustannuksen pienentämiseksi. Energiakustannukset saadaan mahdollisemman pieneksi valitsemalla oikeanlainen valaisin ja valonlähde suunniteltavaan kohteeseen. Samalla minimoidaan polttoajat oikeanlaisella ohjauksella ja vältetään tarpeetonta valaistusvoimakkuustasojen ylittämistä. (3, s. 37.)

### 6.7.2 Huoltokustannus

Valaisimet tarvitsevat huoltoa elinkaarensa aikana säilyttääkseen valontuottokykynsä. Oikein mitoitettut ja hyvälaatuiset valaisimet, pylväät ja kiinnikkeet tarvitsevat suhteellisen vähän huoltotoimenpiteitä. Valaisimien valonlähteiden vaihto ja puhdistus sekä liitäntälaitteiden vaihto tuovat kustannuksia, mutta huoltojen oikea-aikainen suorittaminen pienentää kokonaiselinkaarikustannuksia. Huoltojen suorittaminen koko valaistuksen elinkaaren, ajan mahdollistaa valaistuksen toteutuksen pienemmällä valaisinmäärällä. (3, s. 37.)

### 6.7.3 Rakennuskustannukset

Ulkovalaistuksen merkittävin investointi on rakennuskustannukset, joista suunnitteluvaiheessa määräytyy seitsemänkymmentä prosenttia. Yksittäisenä merkittävänä kustannuseränä varsinkin toiminnallisen valaistuksen osalta on kaapelointi. Kun tarkastellaan valaisinta yksittäisenä osana, on sen hankintahinta pieni verrattuna muuhun valaistusasennuksen rakentamiskustannuksiin, mutta kuitenkin valaisin määrää tulevien vuosien käyttö- ja huoltokustannukset. Suunnitteluvaiheessa oikein valittu valaisin, joka sopii tarkoitukseensa ja on laadukas, vähentää valaisinmäärää valaistuksessa ja huollon tarvetta. Valaisimien valinta suunnitteluvaiheessa onkin merkittävin kohta koko valaistuksen elinkaarelle. (3, s. 37.)

## 7 Ympäristöluokituksen vaikutus ulkovalaistuksen suunnitteluun

Vapaaehtoisten ympäristöluokitusten avulla sijoittajat, viranomaiset ja käyttäjät voivat vertailla kiinteistöjen energiatehokkuutta yhtenäisin menetelmin. Kiinteistön elinkaarikustannukset huomioiden toimintaympäristöön perustuva suorituskyky pystytään osoittamaan läpinäkyvästi. Kiinteistön arviointi tapahtuu eri kategorioihin jaettujen osaluokkien mukaan riippuen siitä, mitä luokitustapaa käytetään. Kategoriat, joita käytetään arvioinnissa, sisältävät erilaisia indikaattoreita, joille on annettu raja-arvoja ja ne perustuvat kansainvälisiin tai kansallisiin säännöksiin. Kokonaisarvosana kohteesta muodostuu käyttäen erilaisia painostuskertoimia arvioinnissa. (36, 37.)

Ympäristöluokituksesta saatava tieto on kaikille osapuolille yksiselitteistä palvelen niin kiinteistön omistajaa kuin vuokralaistakin. Yhdysvaltalainen finanssialan yritys McGraw-Hill Construction nykyisin Dodge Data & Analytics tutki rakentamisen kaupallisia hyötyjä. Tutkimustuloksissa havaittiin, että rakentamalla vihreitä arvoja noudattamalla rakennuksien arvo nousi 7,5 prosenttia. Kiinteistöön sijoitetun pääoman tuotto lisääntyi 6,6 prosenttia ja kiinteistön käyttökate kasvoi 3,5 prosenttia, jonka johdosta vuokratulot lisääntyivät kolme prosenttia. Käyttämällä vihreitä arvoja rakentamisessa tai toimimalla kiinteistössä, joka on rakennettu vihreiden arvojen mukaisesti, yritykset antavat itseltään kuvan, että he kantavat vastuunsa ympäristöasioista. Saamaansa ympäristöluokitusta yritykset voivat hyödyntää kaikessa sidosryhmäviestinnässä. (36, 37.)

Käytetyimpiä vapaaehtoisia ympäristöluokituksia ovat kotimainen PromisE sekä kansainvälisesti käytössä olevat yhdysvaltalainen LEED ja englantilainen BREEAM. Edellä mainittujen ympäristöluokituksien lisäksi ulkomailla on käytössä runsaasti kansallisia luokitusjärjestelmiä. On olemassa myös suppeampia arviointityökaluja kiinteistöjen arviointiin, jotka keskittyvät vain tiettyihin kiinteistön osa-alueisiin. Suomessa tällaisia suppeampia arviointityökaluja ovat sisäilmaluokitus tai taloyhtiön kuntotodistus ja EU:n alueella on käytössä rakennusten energiatodistus. (36, 37.)

Suomi on johtava maa kansainvälisten ympäristösertifikaattien käytössä Pohjoismaissa. Marraskuussa 2015 Suomessa oli yli 120 LEED- ja BREEAM-sertifioitua kiinteistöä. Taulukossa 16 on esitetty marraskuussa 2015 mennessä sertifioidut kiinteistöt ja kiinteistön saama laatutaso. (36, 37.)

Taulukko 16. Suomessa sertifioidut kiinteistöt ja sertifiointin taso. (36)

| <b>Luokitusjärjestelmä: LEED</b>   |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Taso</b>                        | <b>Kiinteistöjen määrä/kpl</b> |
| Certified                          | 6                              |
| Silver                             | 22                             |
| Gold                               | 53                             |
| Platinum                           | 13                             |
| <b>Luokitusjärjestelmä: BREEAM</b> |                                |
| <b>Taso</b>                        | <b>Kiinteistöjen määrä/kpl</b> |
| Pass                               | 0                              |
| Good                               | 13                             |
| Very Good                          | 21                             |
| Excellent                          | 1                              |
| Outstanding                        | 0                              |
| <b>Total</b>                       | <b>129</b>                     |

## 7.1 LEED

LEED on kansainvälinen USGBC:n kehittämä ympäristöluokitusjärjestelmä, jonka tarkoitus on toimia suunnittelun tukena ja itsenäisenä sertifiointimenetelmänä rakennusten energia- ja ympäristötehokkuudelle. LEED-sertifiointi, perustuu riippumattoman kolmannen osapuolen tekemään arviointiin ympäristöominaisuuksista, jotka koskevat rakennushanketta ja kiinteistöä. LEED-sertifikaatin saamisen edellytyksenä kiinteistön on täytettävä tietyt vähimmäisvaatimukset, joita ovat esimerkiksi energian, veden ja mate-

riaalien kulutus koko kiinteistön elinkaaren aikana sekä kiinteistön sijaintipaikan kestävyys. LEED-järjestelmässä on Certified-, Silver-, Gold- ja Platinum-tasot, jotka määräytyvät pisteytyksen perusteella. Pisteitä saavutetaan standardeissa kuvatuilla suunnitteluratkaisuilla. Pisteitä voi saada 100 ja pisteet on jaettu kuuteen eri osa-alueeseen, jotka ovat rakennuspaikka, tehokas vedenkäyttö, energia ja ilmastovaikutukset, materiaalit ja luonnonvarat, sisäilmaston laatu ja innovaatiot suunnittelussa. (36, 37.)

LEED-arviointiperusteita on olemassa erilaisia esimerkiksi uudiskohteille ja olemassa oleville kiinteistöille. Erityyppisille kiinteistöille, kuten koulut ja kauppapaikat, on olemassa oma arviointiperuste (Rating Systems). Toimitilajohtamiseen tarkoitettujen arviointiperusteiden ovat LEED for Commercial Interiors, joiden avulla tarkastellaan tilojen käyttöä. Tällöin arviointikohteina on sisäilma, energian ja muiden resurssien kulutus sekä julkisen liikenteen käyttömahdollisuus.(36, 37.)

## 7.2 BREEAM

BREEAM luotiin vuonna 1990 englantilaisen kiinteistöalan tutkimuslaitoksen toimesta mittamaan kaupallisten rakennusten kestävä kehitystä. Nykypäivänä sama tutkimuslaitos vastaa luokitusjärjestelmän kehityksestä. BREEAM oli maailman ensimmäinen menetelmä rakennusten ympäristönäkökulmien arviointiin. LEED:in tavoin BREEAM ohjaa rakennuksen suunnittelua, rakentamista ja käyttöä. BREEAM:in pisteytyksessä erilaiset suunnitteluratkaisut tuovat pisteitä ja lopullinen taso (pass, good, very good, excellent ja outstanding) määräytyy pisteiden prosentuaalisesta osuudesta maksimista. BREEAM sisältää kymmenen kestävä kehityksen kategoriaa: hallinto, terveys ja hyvinvointi, energia, kuljetus, vesi, materiaalit, jätteet, maan käyttö, ekologisuus, päästöt ja innovaatiot. BREEAM-luokituksen hyvä puoli on sen muunneltavuus vastaamaan erilaisia rakennustyyppisiä erilaisissa olosuhteissa. LEED puolestaan käyttää samoja kriteereitä, mutta ei huomioi kyseisiä asioita.(36, 37.)

## 7.3 LEED- ja BREEAM-vertailua

LEED- ja BREEAM-ympäristöluokituksissa on eroja, vaikka molemmat pyrkivät kestävään ja kehittyvään rakentamiseen. Ongelmia luokitusten käytössä aiheuttaa niiden alkuperäinen käyttötarkoitus eli minkä tyyppisille kiinteistöille ja minkälaisille toimialoille



luokitukset on alun perin luotu. Seuraavana on koottu lista esimerkeistä, jotka koskevat ympäristöluokitusten hyviä ja huonoja puolia. (37.)

LEED-ympäristöluokituksen hyviä puolia:

- Tunnettavuus jonka seurauksena LEED-sertifikaatilla on enemmän markkinoituarvoa kuin BREEAM-sertifioinnilla.
- USGBC takaa anomusten käsittelyn tietyssä ajassa.

LEED-ympäristöluokituksen huonoja puolia:

- LEED on alun perin suunniteltu käytettäväksi toimistojen arviointiin. Nykyään on olemassa omat arviointimenetelmät myös kouluille, kaupallisille rakennuksille ja terveydenhuoltolaitoksille.
- Ei huomioi maantieteellistä sijaintia ja siitä johtuvia ilmasto-olosuhteita.

BREEAM-ympäristöluokituksen hyviä puolia:

- Muuntelevuus, BREEAM-luokitukselle on omat arviointimenetelmänsä Euroopalle ja Lähi-idälle sekä kauppa-, toimisto- ja teollisuuskiinteistöille.
- Maille, joilla ei ole omaa arviointimenetelmää, voidaan tilauksesta tehdä sellainen.
- BREEAM ei pakota käyttämään englantilaisia tai amerikkalaisia standardeja, vaan tarjoaa joka maalle omat määräyksensä ja ohjeensa.

BREEAM-ympäristöluokituksen huonoja puolia:

- Se on vähemmän tunnettu kuin LEED.
- Mahdollisuus tuottaa oma arviointimenetelmä uudelle rakennustyyppille voi olla aikaa vievää ja kallista.

Yleisesti ympäristöluokitusjärjestelmät pyrkivät vaikuttamaan ulkovalaistuksen energian kulutukseen ja valaistuksen aiheuttamaan valosaasteeseen. Ympäristöluokitukset antavat raja-arvot valaistuksen energian kulutukselle, valaistusvoimakkuustasoille, pinnan luminansille ja valaisimien valovirralla sekä ulkovalaistuksen polttoajoille. Raja-arvot määräytyvät valaistavien ympäristöalueiden mukaan. Kreditien pisteiden saaminen edellyttää kredittien vaatimusten toteutumista valaistuksen joka osa-alueella. (37.)

## 7.4 LEED:in vaikutus ulkovalaistuksen suunnitteluun

Jokaisessa ympäristöluokitusprojektissa määritellään etukäteen LEED-konsultin johdolla, mitä kreditejä kyseisessä projektissa haetaan. Todistusaineistoa tarvitaan vasta, kun suunnitelmat ovat valmiina ja todistusaineiston keräyksestä on sovittu LEED-konsultin kanssa. Marraskuusta 2016 lähtien haettaessa LEED-sertifiointia kiinteistöille käytetään arviointikriteereinä toimisto- ja liikerakennusten ulkovalaistuksessa LEED v4 -järjestelmän Building Design + Construction vaatimuksia, joka soveltuu käytettäväksi uudiskohteille ja laajasti peruskorjattaville kiinteistöille. LEED-luokitus osoittaa, että rakennuksen suunnittelu ylittää normaalit Yhdysvalloissa käytössä olevat määräykset ja normit. Valaistussuunnittelijan on tutustuttava LEED v4 - vaatimuksiin ja tehtävä todistusaineisto LEED-vaatimusten mukaan. (37.)

Ulkovalaistuksen vaatimukset valaistusvoimakkuudesta, valovirrasta, valomainosten valovoimasta, valosaasteesta ja ohjauksesta esitetään LEED v4 - krediteissä Sustainable-alaluokassa Light Pollution Reduction ja Energy and Atmosphere alaluokassa Optimize Energy Performance. (40.)

Krediteissä ympäristönvalaistustasot on jaettu viiteen ympäristövyöhykkeeseen: LZ0 ei valoa, LZ1 matala valaistuksen taso, LZ2 kohtalainen valoisuus, LZ3 kohtalaisen kirkas valaistus ja LZ4 kirkas valaistus. Suunniteltavan kohteen ulkovalaistuksen tulee täyttää annetut vaatimukset kokonaisuudessaan saadakseen pisteet näistä luokista. Ennen suunnittelua on arvioitava, mille ympäristövyöhykkeelle suunniteltava kohde sijoittuu ympäristönsä ulkovalaistusratkaisujen osalta. (40.)

Kreditissä on joitakin poikkeuksia ulkovalaistuksen suhteen. Kreditin raja-arvot eivät koske liikennettä ohjaavaa valaistusta, korostusvalaistusta, joka yksinomaan valaisee julkisivua ja maiseman yksityiskohtia ja kytkeytyy automaattisesti pois keskiyön ja aamu kuuden välillä, esitysvalaistusta ja sairaalan ensiavun ulkovalaistusta ympäristöalueilla LZ 3 ja 4. Lisäksi kreditien vaatimukset eivät koske kansallisen lipun valaistusta valaistusalueilla LZ 2, 3, 4 ja sisäisesti valaistuja opasteita. (39.)

Valosaasteen vähentämiseksi LEED asettaa vaatimuksia yksittäiselle valaisimelle. Kreditissä annetaan maksimivalovirta-arvot valolle, joka suuntautuu ylöspäin valaisimesta. Kreditin vaatimuksen todistamiseen voidaan käyttää BUG-menetelmää tai laskennallista menetelmää. BUG-menetelmän liite 1 ovat kehittäneet Illuminating En-

gineering Society ja International Dark Sky Association, ja se on julkaistu IES TM-15 - 11 AddendumA- julkaisussa. Menetelmässä, jonka valaisinvalmistaja tekee, valaisin on jaettu ympyräsäteellä eri mittausalueisiin, joille on annettu maksimivalovirta-arvot. Arvot on taulukoitu neljään eri taulukkoon riippuen, onko kysymyksessä suorasti vai epäsuorasti heijastava valaisin. Mittaustuloksia on helppo analysoida ja tuloksista saa nopeasti käsityksen, täyttääkö valaisin LEED v4 - krediitin vaatimukset. Laskennallisessa todistuksessa verrataan esimerkiksi DiaLuxista saatuja prosentuaalisia ULR-arvoja krediitissä esitettyihin raja-arvoihin. Krediitissä määritellään myös maksimi-arvot valomainosten pinnan luminanssille. Pimeään aikaan valomainosten pintaluminanssi saa olla maksimissaan  $200 \text{ cd/m}^2$  ja valoisan aikaan  $2000 \text{ cd/m}^2$ . (38; 39; 40.)

Ulkovalaistusalueiden valaistusvoimakkuustasot voidaan suunnitella standardin SFS-EN 12464-2 mukaisesti, mutta valaistuksen tulee täyttää Ashrae 90.1 2010 standardin raja-arvot energian kulutukselle. Ashrae 90.1 2010 standardissa myös määritellään, että ulkovalaistusta pitää ohjata hämäräkytkimellä tai valoisuusanturilla. Krediitin raja-arvot on esitetty taulukossa 17 ja taulukko energian kulutuksen raja-arvoista on liitteessä 2. (38; 39; 40.)

Taulukko 17. BUG-menetelmän ja laskennallisen menetelmän maksimivalovirta-arvot ylöspäin suuntautuvalla valolle. (39)

| MLO lighting zone | Luminaire uplight rating |
|-------------------|--------------------------|
| LZ0               | U0                       |
| LZ1               | U1                       |
| LZ2               | U2                       |
| LZ3               | U3                       |
| LZ4               | U4                       |

| MLO lighting zone | Maximum allowed percentage of total luminaire lumens emitted above horizontal |
|-------------------|---|
| LZ0               | 0 %   |
| LZ1               | 0 %   |
| LZ2               | 1.5 %   |
| LZ3               | 3 %   |
| LZ4               | 6 %   |

Häiriövalolle kreditissä annetaan BUG-menetelmän ja laskennallisen menetelmän kautta mahdollisuus todistaa, että krediitin antamat vaatimukset häiriövalolle täytyvät. Laskennallisessa menetelmässä lasketaan vertikaalista valaistusvoimakkuutta valaistusrajalla. Laskentapisteen tulee sijaita 1,5 metriä maanpinnasta, ja laskentapisteen etäisyys on kymmenen metriä. Kreditissä annetaan maksimi-arvot valaisimien taustavalolle ja häikäisylle, joita kiinteistön tontin rajan yli ei saa mennä. Kiinteistön ulkovaistuksen valaistusrajoille kreditissä annetaan joitain helpotuksia. Kiinteistön sijaitessa julkisen alueen vieressä mutta ei kävelykadun, pyörätien, oleskelualueen tai parkkipaikan vieressä, valaistusrajaa voidaan siirtää 1,5 metriä kauemmaksi kiinteistön tontinrajasta. Kun kiinteistön tontinraja kulkee samassa linjassa yleisen kadun, kujun tai katu-  
 takulkukäytävän kanssa, voidaan valaistusrajaa siirtää keskelle kiinteistön tontin ulkopuolista aluetta. Jos vierekkäisillä kiinteistöillä on sama omistaja, voidaan valaistusrajaa siirtää, jotta krediitin vaatimukset täytyvät. Taulukossa 18 on esitelty BUG-menetelmän vaatimukset häiriövalolle ja taulukossa 19 on esitetty laskennallisen menetelmän raja-arvot häiriövalolle. (39.)

Taulukko 18. Maksimivalovirta häiriövalolle BUG-menetelmällä. (39)

|   | MLO lighting zone         |     |     |     |     |
|---|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Luminaire mounting  | LZ0                       | LZ1 | LZ2 | LZ3 | LZ4 |
|   | Allowed backlight ratings |     |     |     |     |
| > 2 mounting heights from lighting boundary                           | B1                        | B3  | B4  | B5  | B5  |
| 1 to 2 mounting heights from lighting boundary and properly oriented  | B1                        | B2  | B3  | B4  | B4  |
| 0.5 to 1 mounting height to lighting boundary and properly oriented   | B0                        | B1  | B2  | B3  | B3  |
| < 0.5 mounting height to lighting boundary and properly oriented      | B0                        | B0  | B0  | B1  | B2  |
|   | Allowed glare ratings     |     |     |     |     |
| Building-mounted > 2 mounting heights from any lighting boundary      | G0                        | G1  | G2  | G3  | G4  |
| Building-mounted 1–2 mounting heights from any lighting boundary      | G0                        | G0  | G1  | G1  | G2  |
| Building-mounted 0.5 to 1 mounting heights from any lighting boundary | G0                        | G0  | G0  | G1  | G1  |
| Building-mounted < 0.5 mounting heights from any lighting boundary    | G0                        | G0  | G0  | G0  | G1  |
| All other luminaires  | G0                        | G1  | G2  | G3  | G4  |

Taulukko 19. Laskennallinen maksimi valaistusvoimakkuustasot vuotovalolle. (39)

| MLO lighting zone | Vertical illuminance |
|-------------------|----------------------|
| LZ0               | 0.05 fc (0.5 lux)    |
| LZ1               | 0.05 fc (0.5 lux)    |
| LZ2               | 0.10 fc (1 lux)      |
| LZ3               | 0.20 fc (2 lux)      |
| LZ4               | 0.60 fc (6 lux)      |

### 7.5 BREEAM:in vaikutus ulkovalaistuksen suunnitteluun

Jokaisessa ympäristöluokitusprojektissa määritellään BREEAM-konsultin johdolla, mitä kreditejä kyseisessä projektissa haetaan. Todistusaineistoa tarvitaan vasta, kun suunnitelmat ovat valmiina ja todistusaineiston keräyksestä on sovittu BREEAM-konsultin kanssa. Todistusaineistona käytetään projektin piirustuksia ja niihin merkitään punakynällä todistettava asia. Tämän lisäksi esitetään spesifikaatiot ja/tai laskelmat. Voidaan myös tehdä erillinen asiakirja todistusaineistoksi. (41.)

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty ne BREEAM-Europe Commercial 2016 kreditluokituksen asiat, joilla on vaikutusta toimisto- ja liikeyritysten ulkovalaistuksen suunnitteluun. BREEAM-luokitus osoittaa, että rakennuksen suunnittelu ylittää Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimukset. Suunnittelijan on tutustuttava BREEAM-vaatimukseen tehdessään valaistussuunnitelmia. (41.)

BREEAM:in ulkovalaistusta koskevat perusvaatimukset esitetään krediteissä Hea 1, Ene 3, Tra 3, Tra 4 ja Pol 4, joissa käsitellään ulkovalaistukseen liittyviä vaatimuksia, jotka pitää yleisesti täyttyä pisteiden saamiseksi. Krediteiden mukaan koko ulkovalaistuksen valaistusvoimakkuustasojen tulee täyttää standardin SFS-EN 12464-2 vaatimukset. Kreditissä Ene 3 määritellään ulkovalaistuksen valotehokkuus. Ulkovalaistuksessa käytettävien valaisimien pienin sallittu valotehokkuus on 60 lm/W. Vaihtoehtoisesti voidaan laskea valaistavan alueen valovirrat yhteen ja jakaa alueen valolähteiden

ja liitäntälaitteiden ottoteholla, laskennan tuloksen tulee minimissään 60 lm/W. Ulkova-laistus tulee olla poiskytkettynä päiväaikaan. Ohjaus voidaan toteuttaa aikakytkimellä tai päivävaloanturilla, lisäksi valaistusta tulee ohjata jalankulkualueilla läsnäolotunnistimella pimeään aikaan. Kredittien Tra 3 ja Tra 4 mukaan polkupyörien säilytyspaikkojen, pyörateiden ja jalkakäytävien valaistukset tulee suunnitella standardin SFS-EN 12464-2 vaatimusten mukaisesti. (40; 41, s. 114 – 116, 140 – 142, 148- 150; 44.)

Valosaasteen vähentämistä pimeään aikaan on käsitelty krediteissä Pol 4. Perusvaatimukset krediteissä pisteiden saamiseksi on tehdä suunnitelma ulkovalaistuksesta. Suunnittelun yhteydessä tehtävät ratkaisut valosaasteen vähentämiseksi eivät kuitenkaan saa vaarantaa ulkoalueilla työskentelyä tai liikkumista. Kreditissä kohteen sijaintialueet on jaettu neljään eri vyöhykkeeseen ympäröivien valaistusratkaisujen mukaan: E1 pimeä alue, E2 matala valaistustaso, E3 keskimääräinen valaistustaso ja E4 korkea valaistustaso. Kreditin raja-arvot määräytyvät vyöhykkeen mukaan. (42, s. 277 – 280; 43, s. 7; 44.)

Kreditin vaatimuksien mukaan valomainosten tulee täyttää annetut vaatimukset valaistusvoimakkuuden ja valaistusvoimakkuuden tasaisuuden suhteen, ulkovalaistusta tulee vähentää tai sammuttaa klo 23:00 – 06:00 tai klo 23:00 – 07:00 väliseksi ajaksi. Valosaasteen vähentämiseksi ulkovalaistussuunnitelmassa tulee noudattaa CIE 150 – 2003 osaa 2.7 sekä CIE 126 - 1997 valaistussuositusten taulukkoa 2, joka käsittelee taivaankannen valottumista. Valomainosten sijaitessa kahden eri valaistusalueen rajalla tai jos valomainos voidaan havaita toiselta valaistusalueelta, tulee valaistus suunnitella tiukempien vaatimuksien mukaan. Taulukossa 20 on esitetty raja-arvot valomainoksen valaistusvoimakkuuden yleistasaisuudelle. Taulukossa 21 on esitetty maksimiarvot valomainoksen pintaluminanssille ympäristöalueittain. (42, s. 277 – 280; 43, s. 7; 44.)

Taulukko 20. Valaistusvoimakkuuden ja yleistasaisuuden raja-arvot. (42, s. 277 – 280; 43, s. 7; 44)

| Valaistustyyppi | Valaistu alue                        | Yleistasaisuus |
|-----------------|--------------------------------------|----------------|
| Ulkona          | > 1.5 m <sup>2</sup>                 | 10:1           |
| Ulkona          | ≤ 1.5 m <sup>2</sup>                 | 6:1            |
| Sisällä         | Valolähteiden välissä ja yläpuolella | 1.5:1          |

Taulukko 21. Maksimiarvot pintaluminanssille. (42, s. 277 – 280; 43, s. 7; 44)

| Valaistu alue/m <sup>2</sup> | E1 cd/m <sup>2</sup> | E2 cd/m <sup>2</sup> | E3 cd/m <sup>2</sup> | E4 cd/m <sup>2</sup> |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ≤ 10.00                      | 100                  | 600                  | 800                  | 1000                 |
| > 10.00                      | 0                    | 300                  | 600                  | 600                  |

Ulkovalaistus tulee sammuttaa esimerkiksi ajastimella, hämäräkytkimellä klo 23:00 – 06:00 tai klo 23:00 – 07:00 väliseksi ajaksi, lukuun ottamatta turvallisuuteen liittyvää valaistusta ja valomainoksia. Valomainosten tulee kuitenkin noudattaa taulukoiden 20 ja 21 vaatimuksia, poikkeuksena on valaistusvyöhyke E1, jossa valaistus tulee sammuttaa klo 23:00 – 06:00 tai klo 23:00 – 07:00 väliseksi ajaksi. Turvallisuuteen liittyvää ja välttämätöntä valaistusta käytettäessä klo 23:00 – 06:00 tai klo 23:00 – 07:00 välisenä aikana, tulee tällöin valaistuksessa noudattaa valaistussuosituksien CIE- 150 - 2003 ja CIE 126 -1997 annettuja alempia valaistustasoja, jotka ohjataan päälle automaattisesti. (42, s. 277 – 280; 43, s. 7; 44.)

## 8 Johtopäätökset

Kaiken valaistussuunnittelun perustana on vahva valaistuksen teorian hallinta, joka mahdollistaa tehtyjen suunnitelmien arvioinnin. Valaistussuunnitelmien tekemiseen ja valmiin suunnitelman arviointiin olisi syytä käyttää enemmän aikaa sähkösuunnittelun yhteydessä tai ulkovalaistuksen osalta suunnitelmat tulisi teettää valaistussuunnittelijalla, joka on perehtynyt valaistusteknillisiin asioihin ja valaistusta koskeviin standardeihin ja suosituksiin. Valaistussuunnitelmaan käytetty aika ja raha maksavat itsensä takaisin monin kerroin, koska tässä vaiheessa projektia pystytään vaikuttamaan valaistuksen elinkaarikustannuksiin ja ympäristöhaittoihin merkittävästi. Yksi tämän työn tarkoitus on ollut koota ulkovalaistusta koskevat asiat samaan paikkaan ja näin lisätä sähkösuunnittelijoiden, jotka eivät ole tiiviisti tekemisessä ulkovalaistuksen kanssa, mahdollisuutta suunnitella ulkovalaistus, joka palvelee käyttäjänsä ja on turvallinen, turvallisuuden tunnetta ja viihtyisyyttä tuova ja mahdollisemman vähän valosaastetta aiheuttava.

Verrattaessa standardin SFS-EN 12464-2 ja LEED:in vaikutusta ulkovalaistussuunnitteluun voidaan todeta, että LEED:ssä annetut raja-arvot tontin rajalla oleviin valaistusvoimakkuuksiin, ULR-arvoihin ja vuotovaloon ovat todella haastavat. LEED:in arvoihin ei päästä, jos suunnitellaan pelkästään standardin SFS-EN 12464-2 mukaisilla suosi-



tuksilla, esimerkiksi valoa joudutaan rajaamaan valitsemalla valaisimet, joista ei karkaa hukka-valoa ympäristöön. Valomainosten pintaluminanssin osalta taas standardin SFS-EN 12464-2 vaatimukset ovat tiukemmat kuin LEED:in vaatimukset. Energian säästämiseksi joudutaan miettimään, mitä valonlähteitä käytetään, että saavutetaan Ashrae 90.1 2010 standardin raja-arvot valaistuksen energiankulutukselle.

Kun taas verrataan standardin SFS-EN 12464-2 ja BREEAM:in eroja ulkovalaistus-suunnittelussa, huomataan, että eroja ei ole niin paljon, koska BREEAM:in mukaan ulkovalaistuksen valaistusvoimakkuustasot tulee suunnitella standardin SFS-EN 12464-2 mukaisesti. Mutta joitain poikkeuksia on: Standardissa ei oteta kantaa valonlähteiden valotehokkuudelle, joita käytetään sisäänkäyntiväylillä, jalkakäytävillä, parkkipaikoilla ja niille johtavilla teillä, ulkoalueilla käytettäviin valoheittämiin sekä valomainoksiin ja ylöspäin suunnattuihin valaisimiin. BREEAM:ssa on annettu edellä mainittuihin vaatimuskohtiin minimiarvot valotehokkuudelle. Lisäksi edellä mainituissa vaatimuskohdissa tulee käyttää värinointoindeksiltään suurempaa värinointoluokkaa olevaa valonlähdettä, kuin mitä standardissa edellytetään. Valomainosten osalta standardissa ei oteta kantaa valomainosten pinnan luminanssin yleistasaisuuteen. Kantaa ei oteta myöskään valomainoksen kokoon, joka määrittelee pinnan luminanssin. Suunnittelemalla ulkovalaistusstandardin SFS-EN 12464-2 mukaisesti ei päästä myöskään BREEAM:ssa annettuihin raja-arvoihin.

Tulevaisuudessa koko ulkovalaistus-suunnittelu tulee perustumaan mesooppiseen näkemiseen, joka lisää valkoisen valon käyttöä ulkovalaistussovelluksissa. Tämän myötä valonlähteiden spektri optimoituu paremmin ihmissilmälle sopivaksi, jonka seurauksena näköolosuhteet paranevat hämärän ja pimeän aikaan. Valkoisen valon käytön lisääntymisen myötä ledien käyttö tulee kasvamaan ulkovalaistuksessa, joka taas pienentää valaistuksen elinkaarikustannuksia energiatehokkuuden kasvaessa ja huoltojaksojen pidentyessä.

## Lähteet

- 1 Veikko Ahponen, Esko Kasurinen, Tapani Timonen. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Espoo: Sähköinfo.
- 2 Harvard College. 2008. Silmänhienosäätö. Verkkodokumentti. <[www.tohtori.fi/?page=8522667&id=0470812.html](http://www.tohtori.fi/?page=8522667&id=0470812.html)> 13.1.2009. Luettu 8.2.2016.
- 3 Antti Tiensuu. 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto.
- 4 Wikipedia. 2016. Kansainvälinen yksikköjärjestelmä. Verkkodokumentti. <[www.wikipedia.org/wiki/Kansainv%C3%A4linen\\_yksikk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4.html](http://www.wikipedia.org/wiki/Kansainv%C3%A4linen_yksikk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4.html)> Luettu 9.2.2016.
- 5 SESKO ry. 2014. Light and Lighting. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 6 Tapio Kallasjoki. 2012. Valaistustekniikan perusteita. Helsinki: Metropolia.
- 7 Hannu Karttunen, Ursa, Tuorlan observatorio. 2016. Spekitrit. Verkkodokumentti. <[www.astro.utu.fi/zubi/spectra/spectra.html](http://www.astro.utu.fi/zubi/spectra/spectra.html) > Luettu 12.2.2016.
- 8 Oskari Härmä, e-Oppi Oy. 2014. 2 Tähdet, avaruus ja maailmankaikkeus. Verkkodokumentti. <[www.peda.net/sastamala/sylvaan-koulu/e-opin-oppikirjat/efysiikka-722/itja/kuvat/kuvagalleria-ii/ss.html](http://www.peda.net/sastamala/sylvaan-koulu/e-opin-oppikirjat/efysiikka-722/itja/kuvat/kuvagalleria-ii/ss.html)> Luettu 12.2.2016.
- 9 Lea Hyvärinen. 1981. Silmät ja näkeminen. Verkkodokumentti.<[www.leatest.fi/su/silmat/nakemine.html](http://www.leatest.fi/su/silmat/nakemine.html)> 24.9.2001>. Luettu 12.2.2016.
- 10 Lawn Care Site. 2009. Organic Lawn Care. Verkkodokumentti. <[www.lawnsite.com/showthread.php?t=299467.html](http://www.lawnsite.com/showthread.php?t=299467.html) >. Luettu 12.2.2016.
- 11 Ensto. 2009. Värivaikutelma. Verkkodokumentti. <[www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398056227/1228463228201.html](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398056227/1228463228201.html)>. Luettu 12.2.2016.
- 12 Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1990. Valaistussuositukset ulkotyö- ja piha-alueet. Espoo: Suomen Valoteknillinen Seura.
- 13 Mikko Arvinen. 2015. Elohopeahöyrylamput vaihtoon. Verkkodokumentti. <[www.sahkoala.fi/koti/valaistus/fi\\_FI/elohopeahoyrylamput\\_vaihtoon.html](http://www.sahkoala.fi/koti/valaistus/fi_FI/elohopeahoyrylamput_vaihtoon.html)>. Luettu 16.2.2016.

- 14 Wikipedia. 2016. Jodidi. Verkkodokumentti. <[www.wikipedia.org/wiki/Jodidi.html](http://www.wikipedia.org/wiki/Jodidi.html)>. Luettu 16.2.2016.
- 15 Marko Martikainen. Osram Oy. 2015. Valolähteet. Helsinki: Valoteknillinen Seura ry.
- 16 Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998. Lamput ja valaisimet. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 17 Osram Oy. Tuoteluettelo 2013. Verkkodokumentti. <[www.prointerior.fi/k/1144/index.html?CW=true.html](http://www.prointerior.fi/k/1144/index.html?CW=true.html)>. Luettu 18.2.2016.
- 18 Osram Oy. 2016. Led: Energiatehokkaat, joustavat valaistusratkaisut mahdollista-va teknologia. Verkkodokumentti. <[www.osram.fi/osram\\_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/perustietoa/index.jsp.html](http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/perustietoa/index.jsp.html)>. Luettu 18.2.2016.
- 19 Glamox Oy. 2016. Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. Verkkodo-kumentti. < [www.glamox.com/upload/2013/09/26/fi\\_singlepages-2.pdf.html](http://www.glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf.html) >. Lu-ettu 22.2.2016.
- 20 Cariitti Oy. 2016. Led-tietopaketti. Verkkodokumentti. <[www.cariitti.fi/sivut/led-tietopaketti.html](http://www.cariitti.fi/sivut/led-tietopaketti.html)>. Luettu 22.2.2016.
- 21 Eino Tetri. 2016. Aalto-yliopisto. Mitä ledi on ja mitkä ovat sen edut ja haitat. Verkkodokumentti. <[www.valosto.com/tiedostot/Kohti\\_valoa\\_Tetri.pdf.html](http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf.html)>. Lu-ettu 22.2.2016.
- 22 Glamox Oy. 2016. Ledit ja valon laatu. Verkkodokumentti. <[www.glamox.com/fi/ledit-ja-valon-laatu1.html](http://www.glamox.com/fi/ledit-ja-valon-laatu1.html)>. Luettu 22.2.2016.
- 23 Tekniikan uutiset. 2013. Greenled Oy lanseeraa Euroopan ensimmäisinä sisäva-laisimen luokkaan A++. Verkkodokumentti. <[www.tekniikkauutiset.teknologiaforum.com/?cat=29.html](http://www.tekniikkauutiset.teknologiaforum.com/?cat=29.html)>. Luettu 22.2.2016.
- 24 Fagerhult Oy. 2002. Valaistussuunnittelijan käsikirja. Verkkodokumentti. <[www.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo\\_fi\\_09.pdf.html](http://www.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_fi_09.pdf.html)>. Luettu 23.2.2016.
- 25 Fagerhult Oy. 2016. Valaistustietoutta, Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri. Verkkodokumentti. <[www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari.html](http://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari.html)>. Luettu 23.2.2016.
- 26 Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry, Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1985. Valais-tustekniikan käsikirja III. Helsinki: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy.

- 27 Glamox Oy. 2016 Led- ja energiatehokkuus. Verkkodokumentti. <[www.glamox.com/fi/led-ja-energiatehokkuus1.html](http://www.glamox.com/fi/led-ja-energiatehokkuus1.html)>. Luettu 28.2.2016.
- 28 Ensto Oy. 2009. Luokitukset. Verkkodokumentti. <[www.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228466432236/1236795190973.html](http://www.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228466432236/1236795190973.html)>. Luettu 28.2.2016.
- 29 Rexel Oy. 2016. Sähkötekniisiä määräyksiä. Verkkodokumentti. <[www.stara.rexel.fi/documentelement.html?uid=7153991.html](http://www.stara.rexel.fi/documentelement.html?uid=7153991.html)>. Luettu 28.2.2016.
- 30 Wikipedia. 2015. IP-luokitukset. Verkkodokumentti. <[www.wikipedia.org/wiki/IP-luokitus.html](http://www.wikipedia.org/wiki/IP-luokitus.html)>. Luettu 28.2.2016.
- 31 Jari Lyytimäki, Janne Rinne. 2013. Valon varjopuolet. Helsinki: Gaudeamus.
- 32 Tapio Kallasjoki. 2015. Puistovalaistus. Helsinki: Metropolia.
- 33 Rakennustieto Oy. 2015. Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo VAL12. Helsinki: RAKLI ry ja Rakennustietosäätiö RTS.
- 34 Suomen valomainonta Oy. 2016. Usein kysyttyä. Verkkodokumentti. <[www.valomainonta.fi/index.php?page=Usein-Kysyttyae.html](http://www.valomainonta.fi/index.php?page=Usein-Kysyttyae.html)>. Luettu 13.3.2016.
- 35 Sähkötieto ry. 2014. Kiinteistö- ja tilaturvallisuuden tasot. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 36 Green Building Council Finland. 2016 Rakennuksen ympäristöluokitukset. Verkkodokumentti. <[www.figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset.html](http://www.figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset.html)>. Luettu 20.3.2016.
- 37 Granlund Oy. 2013. LEED sisäinen muistio. Helsinki: Granlund Oy.
- 38 International Dark-Sky Association. 2009. The BUG System—A New Way To Control Stray Light from Outdoor Luminaires. Verkkodokumentti. <[www.aal.net/content/resources/files/BUG\\_rating.pdf.html](http://www.aal.net/content/resources/files/BUG_rating.pdf.html)>. Luettu 22.3.2016.
- 39 The United States Green Building Council. 2016. Light pollution reduction. Verkkodokumentti. <[www.usgbc.org/node/2600382?view=language.html](http://www.usgbc.org/node/2600382?view=language.html)>. Luettu 22.3.2016.
- 40 The United States Green Building Council. 2016. SS Credit Light Pollution Reduction. Verkkodokumentti. <[www.leedonline.com/irj/go/km/docs/documents/usgbc/leed/content/CreditFormsDownload/2012/V01/ss/ss112/SSc\\_Light\\_Pollution.pdf.html](http://www.leedonline.com/irj/go/km/docs/documents/usgbc/leed/content/CreditFormsDownload/2012/V01/ss/ss112/SSc_Light_Pollution.pdf.html)>. Luettu 22.3.2016.
- 41 Granlund Oy. 2013. BREEAM sisäinen muistio. Helsinki: Granlund Oy.

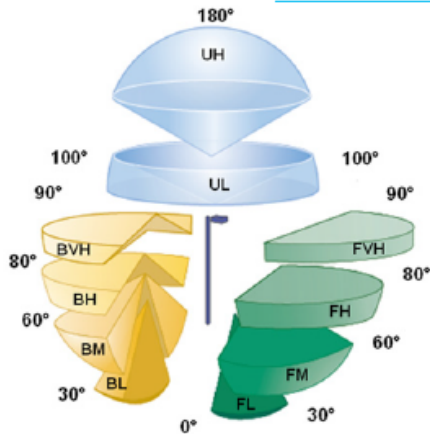
- 42 BRE Global Ltd. 2012. BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual. Hertfordshire: BRE Global Ltd.
- 43 CIE 12-1997. 1997. Guidelines for minimizing sky glow. Commission Internationale de l'Eclairage. Wien: CIE.
- 44 BRE Global Ltd. 2016. Consultation Summary document Draft BREEAM International New Construction 2016. Hertfordshire: BRE Global Ltd.

**BUG-menetelmä**

LEED:ssä käytettävä valaisimen valovirran arviointi menetelmä.

# Specifier Bulletin for Dark Sky Applications

VOLUME 2: ISSUE 1 : 2009 — [International Dark-Sky Association](http://www.darksky.org)



A Classification System for Lighting Zones

## The BUG System—A New Way To Control Stray Light from Outdoor Luminaires

For more information on FSA approved luminaires please visit the IDA Web site [www.darksky.org](http://www.darksky.org).

**B**UG STANDS FOR “Backlight”, “Uplight” and “Glare.” The acronym describes the types of stray light escaping from an outdoor lighting luminaire. “B” stands for backlight, or the light directed in back of the mounting pole. “U” stands for uplight, or the light directed above the horizontal plane of the luminaire, and “G” stands for glare, or the amount of light emitted from the luminaire at angles known to cause glare.

It is expected that BUG values will be published by luminaire manufacturers so lighting specifiers, designers or purchasers can tell at a glance how well a certain luminaire controls stray light or compares with other luminaires under consideration for an installation.

The BUG system was developed by the Illuminating Engineering Society (IES) to make comparing and evaluating outdoor luminaires fast, easy and more complete than older systems.

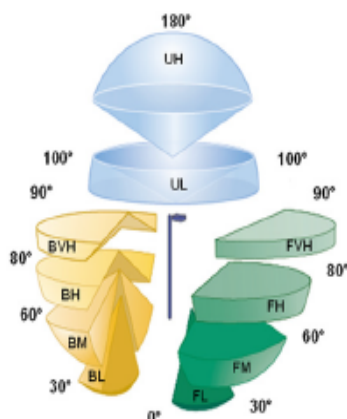
Work on the BUG system started in 2005 when the IES upgraded the roadway shielding classification system. The original system, which included the ratings full cutoff, cutoff, semi-cutoff and non cutoff, had been designed as a rating system solely for street lighting. However, increasing demand for control of glare and light trespass extended these terms to all types of outdoor lighting, and the IES realized that a more comprehensive system was needed.

The Lighting Research Center, acting as an IES contractor, developed a new classification concept that addresses light emitted from the luminaire in all directions, not just up into the sky. This system, released to the public as IES Technical Memorandum TM-15, technically replaced the old system. It divides the sphere around a luminaire into zones assigning values according to expected environmental impact. This rating system offers the most complete evaluation of the total light emitted from luminaires to date. A point to

The BUG System

remember, however, is that while the values assigned by the new system are good indicators, they may not in all cases directly correlate to light pollution. *It still depends upon the site, the application and how the luminaire is installed.*

A fundamental component of the Model Lighting Ordinance (MLO), currently under public review, divides lighting requirements into lighting zones according to environmental impact. **See Appendix A.** The joint IDA/IES task force in charge of drafting the MLO reviewed TM-15 and realized that it could be modified to serve as a key measure of all forms of light pollution related to shielding and the direction of light, becoming an important tool to determine which luminaires are appropriate for each zone. Modifications were made, including subdividing the TM-15 uplight zone to better address artificial sky glow, and subdividing the upper downlight zone to better address glare. The IES accepted these adjustments and released TM-15-07 (revised). **See Figure 1.**



**Figure 1:** the revised outdoor luminaire distribution measuring system from TM-15-07 (revised)

After reviewing hundreds of candidate luminaires, the MLO task force established the three composite (BUG) ratings based on TM-15-07 (revised):

**Backlight**, which creates light trespass onto adjacent sites. The B rating takes into account the amount of light in the BL, BM, BH and BVH zones, which are direction of the luminaire OPPOSITE from the area intended to be lighted.

**Uplight**, which causes artificial sky glow. Lower uplight (zone UL) causes the most sky glow and negatively affects professional and academic astronomy. Upper uplight (UH) is mostly energy waste. The U rating accounts the amount of light into the upper hemisphere with greater concern for the lower uplight angles in UL.

**Glare**, which can be annoying or visually disabling. The G rating takes into account the amount of frontlight in the FH and FVH zones as well as BH and BVH zones.

**Appendix A:**

**Lighting Zone Definitions:** The Lighting Zone shall define the limitations for outdoor lighting as specified in this ordinance. The policymaking body is able to designate areas according to the following descriptions, thereby creating a custom lighting plan according to local needs, functions, and geography.

**LZ0: No ambient lighting** Areas where the natural environment will be seriously and adversely affected by lighting. Impacts include disturbing the biological cycles of flora and fauna and/or detracting from human enjoyment and appreciation of the natural environment. Little or no lighting is expected. When not needed, lighting should be extinguished.

**LZ1: Low ambient lighting** Areas where lighting might adversely affect flora and fauna or disturb the character of the area. The vision of human residents and users is adapted to low light levels. Lighting may be used for safety, security and/or convenience but it is not necessarily uniform or continuous. After curfew, most lighting should be extinguished or reduced as activity levels decline.

**LZ2: Moderate ambient lighting** Areas of human activity where the vision of human residents and users is adapted to moderate light levels. Lighting may typically be used for safety, security and/or convenience but

it is not necessarily uniform or continuous. After curfew, lighting may be extinguished or reduced as activity levels decline.

**LZ3: Moderately high ambient lighting** Areas of human activity where the vision of human residents and users is adapted to moderately high light levels. Lighting is generally desired for safety, security and/or convenience and it is often uniform and/or continuous. After curfew, lighting may be extinguished or reduced in most areas as activity levels decline.

**LZ4: High ambient lighting** Areas of human activity where the vision of human residents and users is adapted to high light levels. Lighting is generally considered necessary for safety, security and/or convenience and it is mostly uniform and/or continuous. After curfew, lighting may be extinguished or reduced in some areas as activity levels decline.



### **Figure 1: the revised (or BUG) outdoor luminaire distribution measuring system from TM-15-07 (revised)**

The resulting rating system, called BUG for obvious reasons, is a comprehensive system that takes into account uplight shielding, glare shielding and backlight shielding as well as limiting lamp lumens to values appropriate for the lighting zone. BUG is a simple system consisting of a table of consensus acceptable values against which any luminaire having photometric data can be judged. A luminaire's numerical rating is the LOWEST light zone number in which it can be used. BUG will be part of the latest IES outdoor lighting system update.

The BUG rating system is a principal component of the Model Lighting Ordinance (MLO). The MLO is also a simple system that considers BUG ratings in the context of total lumens allowed per site, which the total site lumens are restricted. Use of the BUG system as the measuring tool for the MLO creates a straightforward system of controlling light pollution that can be implemented by persons having minimal experience or education in outdoor lighting design.

#### **BUG FAQs**

##### **Are BUG luminaire ratings better than using the old full cut off, semi cut off, non cut off, etc. designations for shielding?**

Yes, because BUG ratings provide backlight and glare information as well as how well the luminaire controls uplight. These additional measurements provide a much more accurate picture of lumen distribution and the overall efficiency of a luminaire.

##### **Does BUG allow any uplight?**

BUG requires downlight only with low glare (better than full cut off) in lighting zones 0, 1 and 2, but allows a minor amount of uplight in lighting zones 3 and 4. In lighting zones 3 and 4, the amount of allowed uplight is enough to permit the use of very well shielded luminaires that have a decorative drop lens or chimney so that dark sky friendly lighting can be installed where in places that traditional-appearing fixtures are required.

##### **Will all outdoor lighting manufacturers rate their luminaires according to BUG?**

Not at first. Since BUG is designed to prevent bad lighting practices, a lot of current outdoor products won't pass BUG, so there will be no point in rating them. But it is expected that manufacturers will rate their "good" luminaires and make changes to current products to improve BUG ratings.

##### **Will BUG apply to residential lighting?**

No. BUG can't be used for residential luminaires because they generally are not photometrically tested. The IDA Fixture Seal of Approval Program can be used to rate residential outdoor luminaires.

##### **Is BUG as strict as the toughest anti-light pollution ordinances in effect today?**

BUG, by itself, is a luminaire rating tool. It can easily be applied more stringently by using the zonal factors in response to community choices of lighting zones. While lighting zone determinants are clearly outlined in the MLO, the community decides upon zone placement. If a community adopts the MLO and chooses all lighting zones LZ0 and LZ1, the MLO with BUG is actually more restrictive than any of the toughest ordinances. However, zone assignment will always remain at the discretion of the community.



## Addendum A for IESTM-15-07: Backlight, Uplight, and Glare (BUG) Ratings

Text, charts, and photograph from IES TM-15-07:

<http://www.iesna.org/PDF/Ernas/TM-15-07BUGRatingsAddendum.pdf>

The following **Backlight**, **Uplight**, and **Glare** ratings may be used to evaluate luminaire optical performance related to light trespass, sky glow, and high angle brightness control. These ratings are based on a zonal lumen calculations for secondary solid angles defined in TM-15-07. The zonal lumen thresholds listed in the following three tables are based on data from photometric testing procedures approved by the Illuminating Engineering Society for outdoor luminaries (LM-31 or LM-35).

Notes to Tables **A-1**, **A-2**, and **A-3**:

1. Any one rating is determined by the maximum rating obtained for that table. For example, if the BH zone is rated B1, the BM zone is rated B2, and the BL zone is rated B1, then the backlight rating for the luminaire is B2.
2. To determine BUG ratings, the photometric test data must include data in the upper hemisphere unless no light is emitted above 90 degrees vertical (for example, if the luminaire has a flat lens and opaque sides), per the IES Testing Procedures Committee recommendations.
3. It is recommended that the photometric test density include values at least every 2.5 degrees vertically. If a photometric test does not include data points every 2.5 degrees vertically, the BUG ratings shall be determined based on appropriate interpolation.
4. A "quadrilateral symmetric" luminaire shall meet one of the following definitions:
  - a. Type V luminaire is one with a distribution that has circular symmetry, defined by the IES as being essentially the same at all lateral angles around the luminaire.
  - b. Type VS luminaire is one where the zonal lumens for each of the eight horizontal octants (0-45, 45-90, 90-135, 135-180, 180-225, 225-270, 270-315, 315-315-360) are within  $\pm 10$  percent of the average zonal lumens of all octants.

**Table A-1: Backlight Ratings (maximum zonal lumens)**

|                        |    | Backlight Rating |      |      |      |      |       |
|------------------------|----|------------------|------|------|------|------|-------|
| Secondary Solid Angle  |    | B0               | B1   | B2   | B3   | B4   | B5    |
| Backlight/<br>Trespass | BH | 110              | 500  | 1000 | 2500 | 5000 | >5000 |
|                        | BM | 220              | 1000 | 2500 | 5000 | 8500 | >8500 |
|                        | BL | 110              | 500  | 1000 | 2500 | 5000 | >5000 |

**Table A-2: Uplight Ratings (maximum zonal lumens)**

|                       |     | Uplight Rating |    |     |      |      |       |
|-----------------------|-----|----------------|----|-----|------|------|-------|
| Secondary Solid Angle |     | U0             | U1 | U2  | U3   | U4   | U5    |
| Uplight/<br>Skyglow   | UH  | 0              | 10 | 50  | 500  | 1000 | >1000 |
|                       | UL  | 0              | 10 | 50  | 500  | 1000 | >1000 |
|                       | FVH | 10             | 75 | 150 | >150 |      |       |
|                       | BVH | 10             | 75 | 150 | >150 |      |       |

Changes in red are based on addendum A for IES TM-15-11. A copy is attached.

**Table A-3: Glare Ratings (maximum zonal lumens)**

|                           |     | Glare Rating for<br>Asymmetrical Luminaire Types (Type I, Type II, Type III, Type IV) |      |      |      |       |        |
|---------------------------|-----|---|------|------|------|-------|--------|
| Secondary Solid Angle     |     | G0  | G1   | G2   | G3   | G4    | G5     |
| Glare/<br>Offensive Light | FVH | 10  | 100  | 225  | 500  | 750   | >750   |
|                           | BVH | 10  | 100  | 225  | 500  | 750   | >750   |
|                           | FH  | 660   | 1800 | 5000 | 7500 | 12000 | >12000 |
|                           | BH  | 110   | 500  | 1000 | 2500 | 5000  | >5000  |

|                           |     | Glare Rating for<br>Quadrilateral Symmetrical Luminaire Types (Type V, Type V Square) |      |      |      |       |        |
|---------------------------|-----|---|------|------|------|-------|--------|
| Secondary Solid Angle     |     | G0  | G1   | G2   | G3   | G4    | G5     |
| Glare/<br>Offensive Light | FVH | 10  | 100  | 225  | 500  | 750   | >750   |
|                           | BVH | 10  | 100  | 225  | 500  | 750   | >750   |
|                           | FH  | 660   | 1800 | 5000 | 7500 | 12000 | >12000 |
|                           | BH  | 660   | 1800 | 5000 | 7500 | 12000 | >12000 |

**“BUG” RATING EXAMPLE:**

A 250-watt MH area luminaire, Type IV forward throw optical distribution. Based on the photometric test data, the luminaire has the following zonal lumen distribution:

|                      | Lumens | % Lamp Lumens |
|----------------------|--------|---------------|
| <b>Forward Light</b> |        |               |
| FL (0–30 degrees)    | 1618   | 5.9%          |
| FM (30–60 degrees)   | 6093   | 22.2%         |
| FH (60–80 degrees)   | 3748   | 13.6%         |
| FVH (80–90 degrees)  | 27     | 0.1%          |
| <b>Backlight</b>     |        |               |
| BL (0–30 degrees)    | 985    | 3.6%          |
| BM (30–60 degrees)   | 930    | 3.4%          |
| BH (60–80 degrees)   | 136    | 0.5%          |
| BVH (80–90 degrees)  | 16     | 0.1%          |
| <b>Uplight</b>       |        |               |
| UL (90–100 degrees)  | 0      | 0.0%          |
| UH (100–180 degrees) | 0      | 0.0%          |



**Backlight Rating:**

Determine the lowest rating where the lumens for all of the secondary solid angles do not exceed the threshold lumens from **Table A-1**. In this example the backlight rating would be B2 based on the BL lumen limit.

**Uplight Rating:**

Determine the lowest rating where the lumens for all of the secondary solid angles do not exceed the threshold lumens from **Table A-2**. In this example the uplight rating would be U0 based on the UL and UH lumen limits.

**Glare Rating:**

Determine the lowest rating where the lumens for all of the secondary solid angles do not exceed the threshold lumens from **Table A-3** for a Type IV distribution. In this example, the glare rating would be G2 based on the FH lumen limit.

Therefore, the BUG rating for this luminaire would be: **B2 U1 G2**

## ASHRAE 90.1 2010 taulukko

Taulukossa on annettu ulkovalaistuksen energiankulutuksen raja-arvot eri valaistusalueille.

© American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (www.ashrae.org).  
For personal use only. Additional reproduction, distribution, or transmission in either print or digital form is not permitted without ASHRAE's prior written permission.

**TABLE 9.4.3B Individual Lighting Power Allowances for Building Exteriors**

|   | Zone 0                 | Zone 1   | Zone 2   | Zone 3   | Zone 4   |
|---|------------------------|--|--|--|--|
| <b>Base Site Allowance</b> (base allowance may be used in tradable or non-tradable surfaces)  |                        |  |  |  |  |
|   | No Base Site in Zone 0 | 500 W  | 600 W  | 750 W  | 1300 W   |
| <b>Tradable Surfaces</b><br>(LPDs for uncovered parking areas, building grounds, building entrances and exits, canopies and overhangs, and outdoor sales areas may be traded.)  |                        |  |  |  |  |
| <b>Uncovered parking areas</b>  |                        |  |  |  |  |
| Parking areas and drives  | No allowance           | 0.43 W/m <sup>2</sup>  | 0.65 W/m <sup>2</sup>  | 1.1 W/m <sup>2</sup>   | 1.4 W/m <sup>2</sup>   |
| <b>Building grounds</b>   |                        |  |  |  |  |
| Walkways less than 3 m wide   | No allowance           | 2.3 W/linear meter   | 2.3 W/linear meter   | 2.6 W/linear meter   | 3.3 W/linear meter   |
| Walkways 3 m wide or greater  | No allowance           | 1.5 W/m <sup>2</sup>   | 1.5 W/m <sup>2</sup>   | 1.7 W/m <sup>2</sup>   | 2.2 W/m <sup>2</sup>   |
| Plaza areas   | No allowance           | 1.5 W/m <sup>2</sup>   | 1.5 W/m <sup>2</sup>   | 1.7 W/m <sup>2</sup>   | 2.2 W/m <sup>2</sup>   |
| Special feature areas   |                        |  |  |  |  |
| Stairways   | No allowance           | 8.1 W/m <sup>2</sup>   | 10.8 W/m <sup>2</sup>  | 10.8 W/m <sup>2</sup>  | 10.8 W/m <sup>2</sup>  |
| Pedestrian tunnels  | No allowance           | 1.6 W/m <sup>2</sup>   | 1.6 W/m <sup>2</sup>   | 2.2 W/m <sup>2</sup>   | 3.2 W/m <sup>2</sup>   |
| Landscaping   | No allowance           | 0.43 W/m <sup>2</sup>  | 0.54 W/m <sup>2</sup>  | 0.54 W/m <sup>2</sup>  | 0.54 W/m <sup>2</sup>  |
| <b>Building entrances and exits</b>   |                        |  |  |  |  |
| Main entries  | No allowance           | 66 W/linear meter of door width                              | 66 W/linear meter of door width  | 98 W/linear meter of door width  | 98 W/linear meter of door width  |
| Other doors   | No allowance           | 66 W/linear meter of door width                              | 66 W/linear meter of door width  | 66 W/linear meter of door width  | 66 W/linear meter of door width  |
| Entry canopies  | No allowance           | 2.7 W/m <sup>2</sup>   | 2.7 W/m <sup>2</sup>   | 4.3 W/m <sup>2</sup>   | 4.3 W/m <sup>2</sup>   |
| <b>Sales Canopies</b>   |                        |  |  |  |  |
| Free standing and attached  | No allowance           | 6.5 W/m <sup>2</sup>   | 6.5 W/m <sup>2</sup>   | 8.6 W/m <sup>2</sup>   | 10.8 W/m <sup>2</sup>  |
| <b>Outdoor sales</b>  |                        |  |  |  |  |
| Open areas (including vehicle sales lots)   | No allowance           | 2.7 W/m <sup>2</sup>   | 2.7 W/m <sup>2</sup>   | 5.4 W/m <sup>2</sup>   | 7.5 W/m <sup>2</sup>   |
| Street frontage for vehicle sales lots in addition to "open area" allowance   | No allowance           | No allowance   | 33 W/linear meter  | 33 W/linear meter  | 98 W/linear meter  |
| <b>Nontradable Surfaces</b><br>(LPD calculations for the following applications can be used only for the specific application and cannot be traded between surfaces or with other exterior lighting. The following allowances are in addition to any allowance otherwise permitted in the "Tradable Surfaces" section of this table.) |                        |  |  |  |  |
| Building facades  | No allowance           | No allowance   | 1.1 W/m <sup>2</sup> for each illuminated wall or surface or 66 W/linear meter for each illuminated wall or surface length | 1.6 W/m <sup>2</sup> for each illuminated wall or surface or 12.3 W/linear meter for each illuminated wall or surface length | 2.2 W/m <sup>2</sup> for each illuminated wall or surface or 16.4 W/linear meter for each illuminated wall or surface length |
| Automated teller machines and night depositories  | No allowance           | 270 W per location plus 90 W per additional ATM per location | 270 W per location plus 90 W per additional ATM per location   | 270 W per location plus 90 W per additional ATM per location   | 270 W per location plus 90 W per additional ATM per location   |

© American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (www.ashrae.org). For personal use only. Additional reproduction, distribution, or transmission in either print or digital form is not permitted without ASHRAE's prior written permission.

**TABLE 9.4.3B Individual Lighting Power Allowances for Building Exteriors (continued)**

|   | Zone 0  | Zone 1   | Zone 2  | Zone 3  | Zone 4  |
|---|---|--|---|---|---|
| Entrances and gate-house inspection stations at guarded facilities  | No allowance  | 8.1 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces") | 0.75 8.1 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces") | 0.75 8.1 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces") | 0.75 8.1 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces") |
| Loading areas for law enforcement, fire, ambulance, and other emergency service vehicles                                  | No allowance  | 5.4 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces") | 0.5 5.4 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces")  | 0.5 5.4 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces")  | 0.5 5.4 W/m <sup>2</sup> of uncovered area (covered areas are included in the "Canopies and Overhangs" section of "Tradable Surfaces")  |
| Drive-through windows/doors   | No allowance  | 400 W per drive-through  | 400 W per drive-through   | 400 W per drive-through   | 400 W per drive-through   |
| Parking near 24-hour retail entrances   | No allowance  | 800 W per main entry   | 800 W per main entry  | 800 W per main entry  | 800 W per main entry  |
| Roadway/parking entry, trail head, and toilet facility, or other locations approved by the authority having jurisdiction. | A single luminaire of 60 watts or less may be installed for each roadway/parking entry, trail head, and toilet facility, or other locations approved by the authority having jurisdiction | No allowance   | No allowance  | No allowance  | No allowance  |

- d. Lighting for theatrical purposes, including performance, stage, film production, and video production.
- e. Lighting for athletic playing areas.
- f. Temporary lighting.
- g. Lighting for industrial production, material handling, transportation sites, and associated storage areas.
- h. Theme elements in theme/amusement parks.
- i. Lighting used to highlight features of public monuments and registered historic landmark structures or buildings.
- j. Lighting for hazardous locations.
- k. Lighting for swimming pools and water features.
- l. Searchlights.

**9.4.4 Functional Testing.** Lighting control devices and control systems shall be tested to ensure that control hardware and software are calibrated, adjusted, programmed, and in proper working condition in accordance with the construction documents and manufacturer's installation instructions. When occupant sensors, time switches, programmable schedule controls, or photosensors are installed, at a minimum, the following procedures shall be performed:

- a. Confirm that the placement, sensitivity and time-out adjustments for occupant sensors yield acceptable performance, lights turn off only after space is vacated and do not turn on unless space is occupied.
- b. Confirm that the time switches and programmable schedule controls are programmed to turn the lights off.

- c. Confirm that photosensor controls reduce electric light levels based on the amount of usable daylight in the space as specified.

The construction documents shall state the party who will conduct and certify the functional testing. The party responsible for the functional testing shall not be directly involved in either the design or construction of the project and shall provide documentation certifying that the installed lighting controls meet or exceed all documented performance criteria. Certification shall be specific enough to verify conformance.

**9.5 Building Area Method Compliance Path**

**9.5.1 Building Area Method of Calculating Interior Lighting Power Allowance.** Use the following steps to determine the interior lighting power allowance by the Building Area Method:

- a. Determine the appropriate building area type from Table 9.5.1 and the allowed LPD (watts per unit area) from the "Building Area Method" column. For building area types not listed, selection of a reasonably equivalent type shall be permitted.
- b. Determine the gross lighted floor area (square meters) of the building area type.
- c. Multiply the gross lighted floor areas of the building area type(s) times the LPD.
- d. The interior lighting power allowance for the building is the sum of the lighting power allowances of all building area