



Valosaaste ja sen välttäminen valaistussuunnittelussa

Tenille Seppälä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

SEPPÄLÄ, TENILLE:

Valosaaste ja sen välttäminen valaistussuunnittelussa

Opinnäytetyö 56 sivua
Toukokuu 2020

Valaistus on tärkeä osa ympäristö- ja rakennussuunnittelua, ja sillä on suuri rooli alueiden ja kiinteistöjen turvallisuudessa, toimivuudessa, esteettömyydessä ja estetiikassa. Huolimattomasti toteutettuna valaistus voi kuitenkin aiheuttaa haittoja ihmisille sekä ympäröivälle luonnolle, eli valosaastetta. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millainen ilmiö valosaaste on, mitkä ovat sen lähteet ja haitat sekä mitä asioita valaistussuunnittelussa on huomioitava sen välttämiseksi. Tarkoituksena oli myös kuvata valaistussuunnittelun roolia esimerkiksi alue- ja rakennushankkeissa Suomessa ja pohtia, miten sitä voitaisiin kehittää. Työ tehtiin yhteistyössä VALOA design Oy:n kanssa.

Opinnäytetyöhön koottiin valosaasteeseen liittyviä kansainvälisiä tutkimuksia ja artikkeleita sekä selvitettiin, millaisia lakeja, määräyksiä ja ohjeita aiheesta on saatavilla Suomessa. Lisäksi pohdittiin valaistussuunnittelun roolia Suomessa ja esitettiin peruskeinoja valosaasteen välttämiseen. Käytännön osiossa tutkittiin, kuinka valaistuskalkulaattoria voidaan hyödyntää valosaasteen määrän arvioinnissa ja todentamisessa valaistusta suunniteltaessa. Laadittiin DIALux Evo -ohjelmalla valaistusmalli, jonka tuloksia verrattiin ulkovalaistusstandardissa SFS-EN 12464-2 asetettuihin vaatimuksiin.

Työn perusteella selvisi, että valosaaste aiheuttaa monenlaisia haittoja, joita voidaan välttää huolellisella valaistussuunnittelulla. Selvisi myös, että velvoittavia raameja valosaasteen vähentämiseksi Suomessa on vain vähän ja toisaalta se, että valaistussuunnittelun monitahoisuuden vuoksi tiukkojen sääntöjen laatiminen olisi haastavaa. DIALux-laskennan tulokset vastasivat olettamia ja todettiin, että DIALux on käyttökelpoinen työkalu valosaasteen määrän arvioinnissa suunnitteluvaiheessa.

Asiasanat: valosaaste, häiriövalo, valaistussuunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Building Services Engineering

SEPPÄLÄ, TENILLE:

Light Pollution and How to Avoid It in Lighting Design

Bachelor's thesis 56 pages

May 2020

Lighting plays an important role in construction planning and landscape architecture in creating safe, functional, unobstructed, and esthetic surroundings. If not designed carefully, artificial lighting can cause adverse effects on the environment or human beings, which refers to light pollution. The aim of this bachelor's thesis was to study light pollution, its sources, and the adverse effects it causes, and the matters that should be considered in lighting design to avoid it. The aim was also to describe the role of lighting design for example in planning constructions and surroundings in Finland and to consider how the process could be developed. The bachelor's thesis was carried out in co-operation with VALOA design ltd.

For the thesis, international studies and articles were collected and the existing legislation, regulations and guidelines in Finland were investigated. The role of lighting design in Finland was considered and basic methods of avoiding light pollution in lighting design were presented. The use of lighting design software for estimating and verifying the amount of light pollution caused by the intended lighting was demonstrated. A lighting design model was made with DIALux software, and the calculation results were compared to the demands of the European Standard for outdoor work places.

The study revealed various disadvantages associated with light pollution that could be avoided by designing lighting thoroughly. It also emerged that there are only a few binding regulations for limiting light pollution in Finland and, on the other hand, it would be challenging to formulate strict regulations because of the complex nature of lighting design. The significance of high-quality lighting design featured strongly. The results of DIALux calculation met the presumptions, and it was noticed that DIALux is a practicable tool in estimating the amount of light pollution in lighting design.

Key words: light pollution, obtrusive light, lighting design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	MÄÄRITELMÄT	9
2.1	Valo.....	9
2.1.1	Väriämpötila.....	10
2.1.2	Värintoisto	11
2.1.3	Valosuureet	12
2.1.4	Heijastuminen.....	13
2.1.5	Näkeminen	15
2.2	Valosaaste tai häiriövalo	16
2.2.1	Hohdevalo, taivaan hohde (sky glow).....	17
2.2.2	Häikäisy.....	17
2.2.3	Töhryvalo.....	18
2.2.4	Valosaasteen määrä.....	19
2.3	Valosaasteen lähteet.....	20
2.3.1	Liian voimakas valo	20
2.3.2	Väärin suunnattu valo.....	21
2.3.3	Valotaulut ja -mainokset	22
3	VALOSAASTEEN HAITAT	24
3.1	Yöllisen keinovalon vaikutukset ihmiseen	24
3.1.1	Valon määrän vaikutus rikollisuuteen ja onnettomuuksiin ..	25
3.2	Ekologiset vaikutukset.....	26
4	VALOSAASTEEN VÄHENTÄMINEN MÄÄRÄYKSISSÄ JA OHJEISSA 30	
4.1	Lait ja määräykset.....	30
4.1.1	Määräys tienvarsimainonnasta ja -ilmoittelusta	30
4.1.2	Lait.....	31
4.2	Standardi SFS-EN 12464-2:2014.....	32
4.2.1	Häiriövalon raja-arvot	32
4.2.2	Häikäisyn raja-arvot.....	33
4.3	Valosaaste ympäristöluokitusjärjestelmissä	34
4.3.1	LEED	35
4.3.2	BREEAM	36
5	SUUNNITTELU.....	37
5.1	Hyvä valaistussuunnittelu.....	37
5.1.1	Valaistussuunnittelun rooli Suomessa	38
5.2	Valosaasteen välttäminen osana valaistussuunnittelua	39

5.2.1 Valaistuksen ohjauksen hyödyt	41
6 HÄIRIÖVALON ARVIOINTI DIALUX EVON AVULLA.....	42
6.1 Menetelmät	42
6.2 Tulokset	46
7 POHDINTA	49
LÄHTEET.....	51

LYHENTEET JA TERMIT

ALAN	Artificial Light At Night, yöllinen keinovalo
CIE	International Commission on Illumination
CRI	Color Rendering Index, värintoistokyky
GR	Glare Rating, häikäisyindeksi
HCL	Human Centric Lighting, ihmiskeskeinen valaistus
IDA	The International Dark-Sky Association
ULR	Upward Light Ratio, taivaalle suuntautuvan valon määrä

1 JOHDANTO

Emme ikinä tule täysin tavoittamaan sitä, miten ihmeellinen asia valo on (Siironen 2020).

Valaistus parhaimmillaan tekee näkymättömän näkyväksi ja parantaa elämänlaatua luoden esteettömiä, tasapainoisia, esteettisiä, viihtyisiä ja turvallisia ympäristöjä. Lähivuosina valaistusalalla runsaasti huomiota saanut ihmiskeskeinen valaistus (HCL, Human Centric Lighting) tarkastelee valon hyvää tekevää vaikutusta ihmiseen niin fysiologisella kuin emotionaalisella tasolla. Tiedetään, että oikeanlaisella ja oikea-aikaisella valaistuksella voidaan vaikuttaa positiivisesti ihmisten vireystilaan, terveyteen ja yleiseen hyvinvointiin.

Vähemmälle huomiolle on jäänyt se, että väärin käytettynä keinovalolla voi olla myös negatiivisia vaikutuksia sekä ihmisiin että luontoon. Tätä kutsutaan valosaasteeksi. Valosaasteen määrä kehittyneissä maissa on lisääntynyt, eikä siihen ole kiinnitetty riittävästi huomiota. Valaistustekniikka on kehittynyt nopeasti viime vuosina, mikä tuo lähes rajattomasti sovellusmahdollisuuksia valolle ja valaistukselle. Samalla laadukkaan valaistussuunnittelun tärkeys korostuu.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitä valosaaste tarkoittaa, mitkä ovat sen lähteitä ja mitä yhteiskunnallisia toimenpiteitä Suomessa on tehty sen rajoittamiseksi. Tavoitteena on myös selvittää, kuinka valosaastetta voidaan välttää ja miten suunniteltavan valaistuksen tuottamaa valosaasteen määrää voidaan arvioida. Yhtenä työn tavoitteista on myös lisätä tietoisuutta valosaasteesta monitahtoisena ongelmana ja perustella hyvän valaistussuunnittelun merkitystä sen vähentämisessä. Työ tehtiin yhteistyössä valaistussuunnittelutoimisto VALOA design Oy:n kanssa.

Opinnäytetyö painottuu teoriaosaan, jossa ensin tutkitaan valosaasteen eri muotoja ja lähteitä sekä sen haittavaikutuksia kansainvälisen tutkimustiedon avulla. Lisäksi selvitetään, onko valosaastetta rajoitettu Suomessa lainsäädännöllä tai määräyksillä ja käydään läpi ulkovalaistusstandardin SFS-EN 12464-2 vaatimuksia. Työssä pohditaan myös, millainen rooli valaistussuunnittelulla on Suomessa

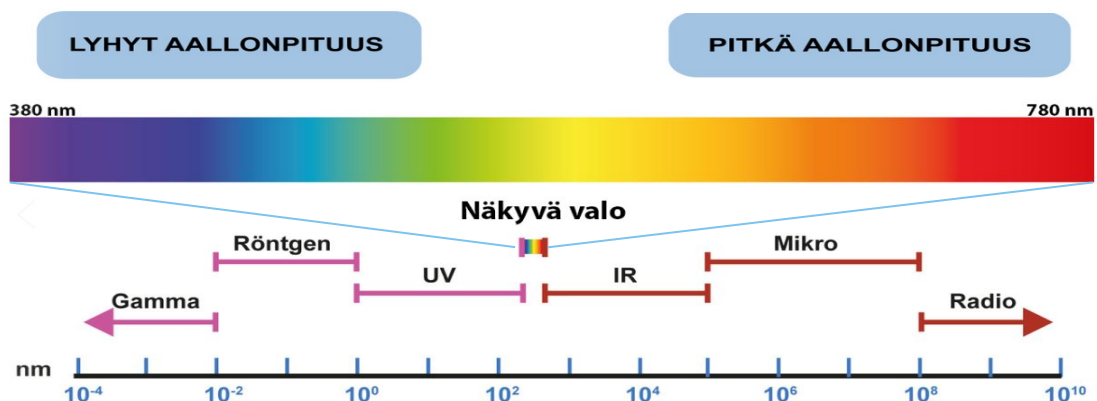
sekä mitä on hyvä valaistussuunnittelu. Lopuksi esitetään perusohjeita siihen, kuinka valosaastetta voidaan välttää. Käytännön osassa laaditaan DIALux-malli, jolla tutkitaan ohjelman käytettävyyttä valosaasteen määrän arviointiin ja havainnollistetaan erityyppisten valaisimien vaikutuksia valosaasteen määrään. Lopuksi valaistuslaskennan tuloksia verrataan standardin raja-arvoihin.

2 MÄÄRITELMÄT

Tässä luvussa selvitetään ensin lyhyesti, mitä valo on ja mihin näkeminen perustuu. Sitten käsitellään tärkeimmät valosuureet ja muut työn kannalta oleelliset valoon liittyvät ilmiöt. Lopuksi määritellään, mitä valosaaste tarkoittaa sekä sen eri muodot ja lähteet.

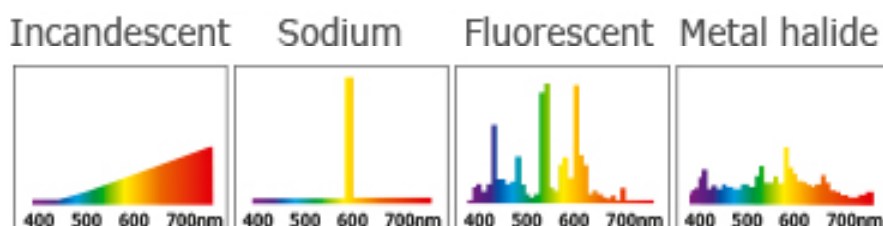
2.1 Valo

Valo on sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalue, jolla on kyky toimia näköelimen ärsykkeenä. Ihminen aistii sähkömagneettisesta säteilystä valona n. 380–780 nm:n aallonpituusalueen (kuva 1).



KUVA 1. Sähkömagneettisen säteilyn lajit (Peda.net 2019, muokattu)

Valkoinen valo sisältää useampia näkyvän valon aallonpituuksia, ja sitä tuotetaan monen eri säteilyn summana. Esimerkiksi RGB-tekniikalla valkoista valoa muodostetaan punaisella, vihreällä ja sinisellä valolla. (Harsia & Kallioharju 2018.) Kuvassa 2 nähdään esimerkkejä valkoisen valon tuottamisesta erilaisilla valonlähteillä.



KUVA 2. Eri valonlähteiden spektrijakaumia (Glamox n.d.a)

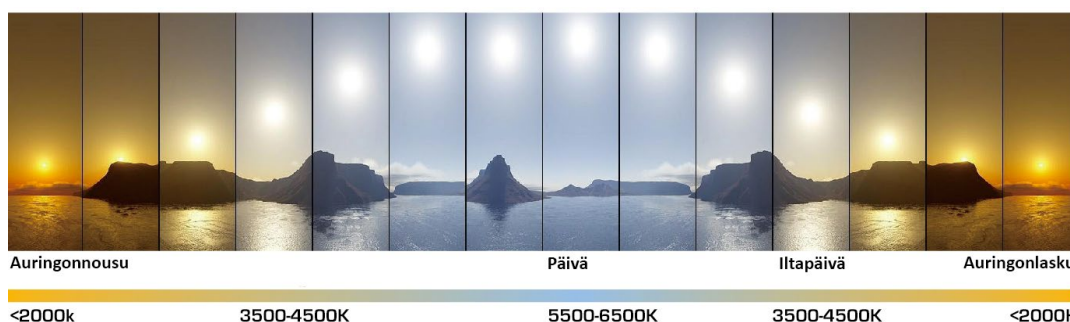
Muilla eliöillä ja kasveilla säteilyn hyödyntäminen ja havaitseminen voi poiketa ihmisestä suuresti. Ihminen ei pysty aistimaan valaisimien tuottamaa lyhytaaltoista ultraviolettivaloa, toisin kuin monet linnut ja hyönteiset. (Lyytimäki & Rinne 2013, 28; Harsia & Kallioharju 2018.)

2.1.1 Värilämpötila

Värilämpötila tarkoittaa valonlähteen tuottaman valkoisen valon värisävyä. Sen mittayksikkö on kelvin, K. Mitä korkeampi kelvin-arvo, sitä sinisempi eli kylmempi valon väri on (kuva 3). Luonnonvalon värilämpötila voi vaihdella päivän aikana alle 2 000 kelvinistä jopa 10 000 kelviniin (kuva 4). (Ledrise 2019.)



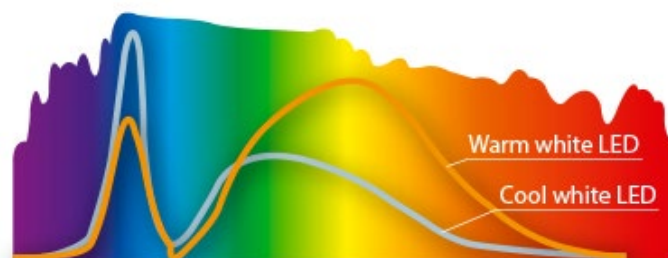
KUVA 3. Esimerkki eri värilämpötiloista (Lighting Design Studio n.d.)



KUVA 4. Auringonvalon värilämpötilan vaihtelu (Ledrise 2019, suomennettu)

LED-siru ei kykene tuottamaan valkoista valoa suoraan, vaan sitä tuotetaan yhdistämällä valon eri aallonpituuksia. LEDeillä tämä tehdään joko lisäämällä sinisen LEDin pinnalle keltaista fosforia (fotoluminesenssiperiaate) tai esimerkiksi RGB-tekniikalla, eli yhdistämällä punaisia, vihreitä ja sinisiä LED-siruja (additiivinen sekoittaminen). (Glamox n.d.b; Ledvance 2020.) Käytännössä LEDien värilämpötila vaihtelee valmistajan mukaan, vaikka ilmoitettu kelvin-arvo olisi sama,

ja se voi myös muuttua LEDin käyttöiän myötä (Fagerhult n.d.a). Kuvassa 5 nähdään yksi esimerkki värilämpötilaltaan kylmän ja lämpimän valkoisen LEDin spektrijakaumasta verrattuna auringonvalon spektriin.



KUVA 5. Auringonvalon sekä kylmän ja lämpimän valkoisen LEDin spektrijakaumia (Glamox n.d.a)

Kylmässä valkoisessa LEDissä on enemmän sinisiä aallonpituuksia. Lämpimän valkoisen LEDin spektrijakaumasta näkyy selkeämmin myös keltainen fosfori. (Glamox n.d.b.)

2.1.2 Värintoisto

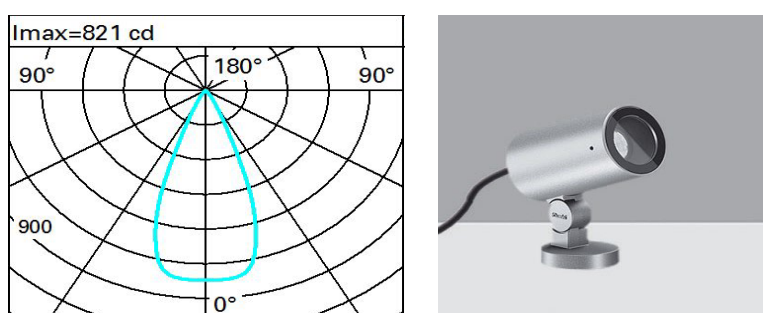
Valo toistaa kaikki ne värit, joita se itse lähettää. Valonlähteen värintoistokyky ilmoitetaan R_a -arvona (myös: CRI, Color Rendering Index). R_a -asteikon arvot ovat 0–100 %, jossa 100 % tarkoittaa täydellistä värintoistoa. Toisin kuin päivänvalo, esimerkiksi LED ei lähetä kaikkia valon aallonpituuksia. Valkoisen LEDin värintoistokyky voi parhaimmillaan olla ≥ 90 . Matalamman värintoistoindeksin omaava valonlähde on usein tehokkaampi kuin värintoistokyvyltään parempi valonlähde. (Harsia & Kallioharju 2018; Lighting Design Studio 2020.)

CRI-järjestelmän toimivuutta LED-valonlähteiden värintoistokyvyn määrittelyssä on arvosteltu mm. siksi, että järjestelmä käyttää vain pientä määrää värimalleja, ja lopullinen tulos on keskiarvo yksittäisten värien tuloksista. Valonlähde saattaa siis saada korkean värintoistoarvon, vaikka se toistaisi joitakin värejä huonosti. IES (Illuminating Engineering Society) on kehittänyt värintoistokyvyn määrittämiseen uudemman järjestelmän nimeltä TM-30, mutta se ei ole vielä yhtä laajalti käytössä. (Lighting Design Studio n.d.)

2.1.3 Valosuureet

Valovirta Φ kertoo, kuinka paljon näkyvää valoa valonlähde tuottaa. Sen yksikkö on luumen, 1 lm. Luumen-arvoa käytetään myös valotehokkuuden määrittämisessä. (Harsia & Kallioharju 2018.) Esimerkiksi LED-valaisimien **valotehokkuus** ilmoitetaan lm/W (luumen/watti) -arvona, joka kertoo kuinka paljon valovirtaa yksi watti sähköä tuottaa. Kylmemmissä värilämpötiloissa valotehokkuus on suurempi, koska valkoinen valo tuotetaan sinisellä LEDillä, ja lämpimämpää värilämpötilaa varten fosforin on muutettava suurempi osa alkuperäisestä sinisestä valosta. Teoriassa LED-moduulilla saavutettava lämpimän valkoisen LEDin valotehokkuus on maksimissaan n. 320 lm/W. Tämä kuitenkin edellyttäisi häviötöntä järjestelmää, joten käytännössä suurin mahdollinen valaisimen valotehokkuus on tällä hetkellä n. 160 lm/W – arvioiden mukaan saavutettavissa oleva tehokkuus on n. 200–250 lm/W. Halogeenilampulla vastaava luku on n. 25 lm/W ja monimettallilampulla n. 99 lm/W. (Fagerhult n.d.a; Glamox n.d.b; Dial 2016.)

Valovoima I kertoo valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuuden. Sen yksikkö on kandela, 1 cd. Sillä ilmaistaan valaisimien valonjak ominaisuuksia. Valaisimen valonjakoa havainnollistetaan valonjakokäyrän avulla, jossa valovoima on ilmoitettu napakoordinaatistossa. (Fagerhult n.d.b.) Kuvassa 6 on esimerkki siitä, kuinka valonjako esitetään valonjakokäyrällä.

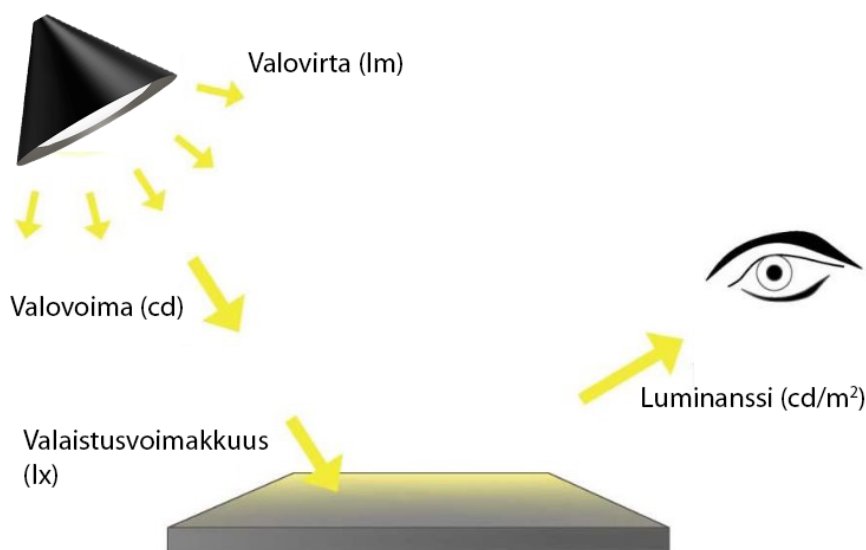


KUVA 6. Valaisin ja sen valonjakokäyrä (iGuzzini 2020)

Valaistusvoimakkuus E kertoo tarkastelupinnalle tulevan valovirran määrän pinta-alayksikköä kohti, eli valovirran tiheyden tarkastelupinnalla. Sen yksikkö on lux, 1 lx. (Ensto n.d.) Valaistusvoimakkuus riippuu suoraan pinnalle tulevasta valovirrasta ja kääntäen valaistavan pinnan pinta-alasta. Tästä seuraa käänteinen neliölaki, jonka mukaan etäisyyden kaksinkertaistuessa valaistusvoimakkuus putoaa neljäsosaan. (Fagerhult n.d.b, 460.) Toisin sanoen, mitä kapeampi

valonjako valaisimessa on, sitä suurempi on valaistavan kohteen valaistusvoimakkuus. Tyypillisesti valon määrällinen suunnittelu perustuu lukseihin.

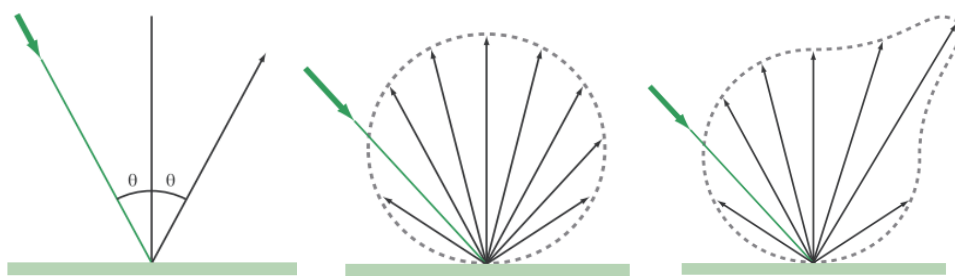
Luminanssi L eli valotiheys on ainoa ihmisen aistima valosuure, ja näkeminen perustuu pääosin luminanssierojen havaitsemiseen. Luminanssi kuvaa pinnalta tai pisteestä heijastuvan valon määrää ja sen yksikkö on kandela neliömetrillä (cd/m^2). (Harsia & Kallioharju 2018.) Luminanssi on mitattavissa oleva suure, kun taas pinnan kirkkaus on subjektiivinen näkemys, johon vaikuttavat muutkin tekijät, kuten muiden näkökentässä olevien asioiden väri tai luminanssi. Kaksi luminanssiltaan samanarvoista pintaa voi siis ihmissilmin näyttää kirkkaudeltaan erilaisilta. Luminanssiin vaikuttavat pinnalle tuleva ja pinnalta lähtevä valo, pinnan heijastusominaisuudet (heijastussuhde), valon suunta sekä heijastuskulma. (van Bommel & Rouhana n.d, 59; Ensto n.d.) Yleisimmät valosuureet on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Valosuureet (Hrishi 2017, muokattu)

2.1.4 Heijastuminen

Kun valonsäteet osuvat pinnalle, ne joko heijastuvat pinnalta, läpäisevät pinnan tai absorboituvat siihen riippuen pinnan ominaisuuksista. Heijastuminen voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: suuntaheijastuminen, hajaheijastuminen ja sekaheijastuminen (kuva 8). (Ensto n.d.)



KUVA 8. Vasemmalta oikealle: suuntaheijastuminen, hajaheijastuminen ja sekaheijastuminen. (Jokela & Ylianttila n.d., 31)

Suuntaheijastumista tapahtuu sileillä, tasaisilla pinnoilla, kuten kiiltävä metalli, lasi tai tyyni vesi. Tällöin valon heijastuskulma on sama kuin pintaan osuvan valon kulma. Kiiltävän, suuntaheijastavan peilipinnan luminanssi vaihtelee eri katse-lusuunnista, riippuen siitä missä suunnassa valonlähde on. Hajaheijastumisesta puhutaan silloin, kun heijastava pinta on epätasainen ja heijastaa valoa joka suuntaan. Hajaheijastavan pinnan luminanssi on sama joka katselusuunnasta (Ensto n.d.). Tällaisia pintoja ovat mattapintaiset tai kohokuvioidut materiaalit. Useimmat pinnat ovat jotain näiden kahden heijastusmuodon väliltä eli sekaheijastavia. Sekaheijastavia pintoja ovat esimerkiksi märkä asfaltti, kivet, harjattu metalli, himmeät maalatut pinnat tai muut himmeät, joko vaaleat tai tummat pin-nat. (van Bommel & Rouhana n.d., 41–42; Turpen 2017.)

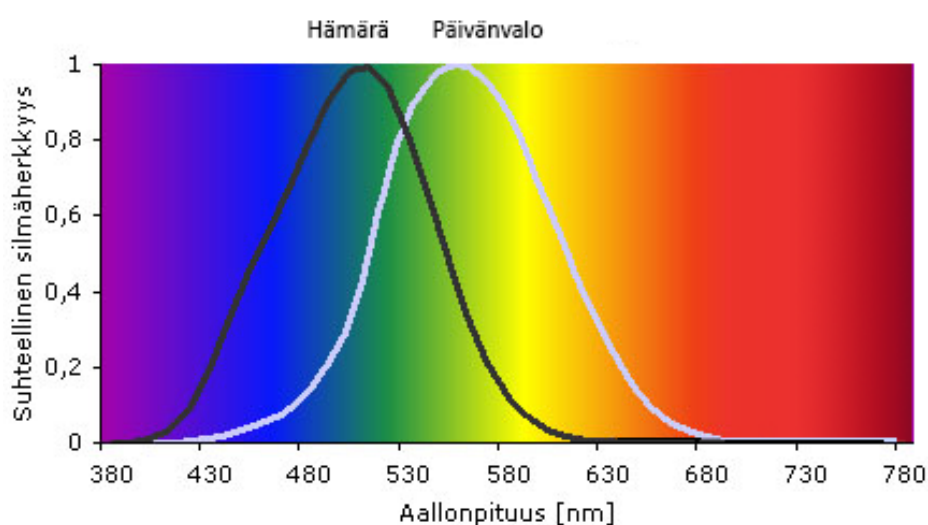
Sisätiloissa pintojen heijastuskertoimet pysyvät melko vakioina, elleivät tilan pin-nat likaannu tai niitä muuteta vaikkapa remontin yhteydessä. Tällöinkin niihin pys-tytään itse vaikuttamaan. Ulkotiloissa ei usein voi valita olosuhteita, vaan etenkin maan pinnan olemus voi muuttua radikaalisti sään vaihteluiden vuoksi. Suo-messa vuodenaikojen vaihtelu ja lumi vaikuttavat merkittävästi pinnan heijastus-kertoimiin ja heijastuvan valon määrään. Lumen heijastuskerroin on suuri, ja pil-visen sään ja lumisen maan yhteisvaikutus saa taivaan loistamaan kuunvaloa kirkkaammin (Hölker & Jechow 2019, 2).

2.1.5 Näkeminen

Näkeminen perustuu luminanssi- ja värierojen havaitsemiseen, ja merkittävin näkyvyyteen vaikuttava tekijä on luminanssikontrasti eli kohteen ja taustan välinen luminanssiero, joka riippuu valaistuksesta ja kohteen heijastusominaisuuksista. Sopeutuminen (adaptoituminen) erilaisiin valaistustilanteisiin ja mukautuminen (akkommodoituminen) katseluun eri etäisyyksille ovat näköaistin kannalta oleellisia silmän toimintoja. (Rakennustieto Oy 2017, 1.)

Ihmisen silmässä on kolmen tyyppisiä fotoreseptoreita: hämärän valon tunnistavia sauvasoluja, värejä tunnistavia tappisoluja sekä valoherkkiä gangliosoluja, jotka löydettiin vasta 2000-luvun alussa. Näistä sauva- ja tappisolut osallistuvat näköaistimuksen synnyttämiseen, kun taas valoherkät gangliosolut välittävät ärsykeitä vuorokausirytmia, mielialaa ja vireystilaa säätelevälle järjestelmälle. (glamox. n.d.a; Kallioharju & Harsia 2018; Aries 2020.)

Päivänvalossa ihmissilmä on herkin kellanvihreän valon aallonpituusalueelle osuvalle 555 nm:n aallonpituudelle, kun taas hämärässä herkkyysmaksimi siirtyy siniseen päin (kuva 9). Valoherkät gangliosolut ovat herkimpiä siniselle valolle, jonka aallonpituus on n. 480 nm. (van Bommel & Rouhana n.d; glamox. n.d.a; Kallioharju & Harsia 2018.)

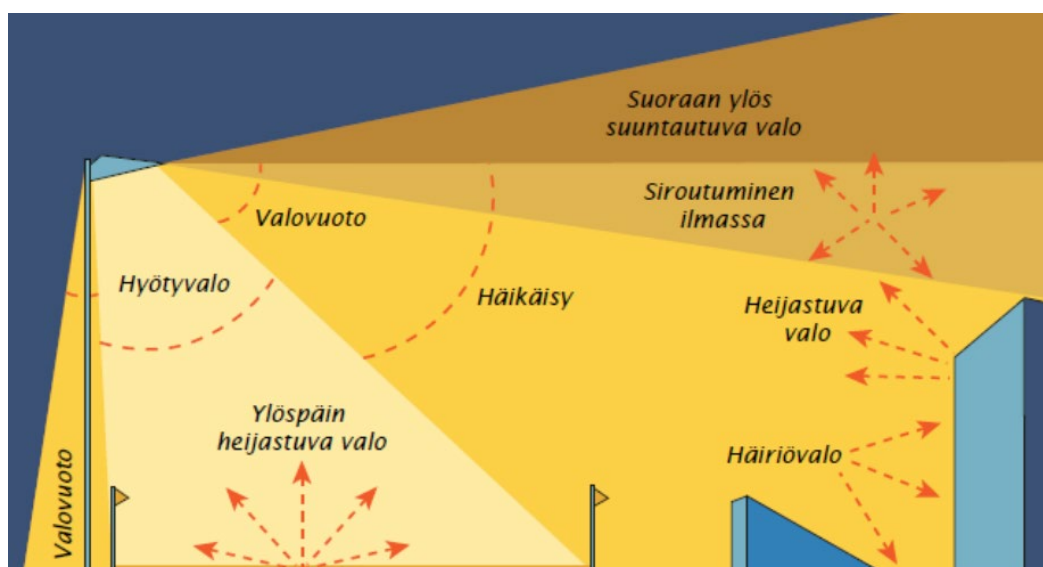


KUVA 9. Silmän suhteellinen herkkyyskäyrä (Ensto n.d.a, muokattu)

2.2 Valosaaste tai häiriövalo

Valosaasteesta ja häiriövalosta puhutaan termeinä rinnakkain. Häiriövalosta puhutaan usein silloin, kun viitataan ihmisten kokemiin haittoihin, valosaasteen voidaan ajatella olevan laajempi kuvaus ilmiölle, joka vaikuttaa haitallisesti sekä ihmisiin että muuhun ekosysteemiin. Kansainvälisissä valosaastetta käsittelevissä terveystutkimuksissa käytetään myös termiä yöllinen keinovalo (ALAN, Artificial Light At Night). Lyhyesti sanottuna valosaaste tarkoittaa valoa siellä, mihin sitä ei ole suunniteltu tai missä se ei ole tarpeellista, tai perusteettoman voimakasta valaistusta. Valosaastetta on myös keinovalo, joka on spektrijakaumaltaan sopimatonta käyttökohteeseensa tai joka on päällä väärään aikaan. Laajasti tulkiten auringon valoakin voitaisiin joissain tapauksissa pitää valosaasteena, esimerkiksi sen aiheuttaessa häikäisyä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 16, 26.) Tässä työssä valosaasteella tai häiriövalolla tarkoitetaan kuitenkin nimenomaan ihmisen keinovalolla aiheuttamia ilmiöitä.

Valosaasteen eri muotoja ovat horisontin yläpuolelle suuntautuva valo ja yötaivaan kirkastuminen, väärään paikkaan, kuten ikkunoista sisään, tunkeutuva valo, valovuodot, häikäisy, välkkyvä tai vilkkuva valo, tai mikä tahansa pinnoista ympäristöön suunnittelemattomasti heijastuva valo (kuva 10). Häiriövaloa on myös valo, joka rajoittaa oleellisen informaation näkemistä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 11; Lyytimäki 2014, 8; McKensey 2018.) Seuraavissa alaluvuissa käsitellään näitä valosaasteen eri muotoja yksityiskohtaisemmin.



KUVA 10. Valosaasteen muodot (Lyytimäki 2016a)

2.2.1 Hohdevalo, taivaan hohde (sky glow)

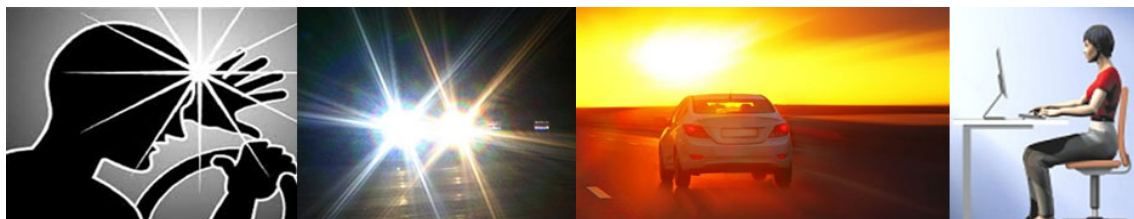
Taivaan hohtaminen eli hohdevalo (engl. sky glow) tarkoittaa joko auringon valon tai keinovalon aiheuttamaa taivaan valaistumista valon suoran tai epäsuoran heijastumisen takia, kun heijastunut säteily siroaa ilmakehän aineosista (kaasumolekyyleistä, aerosoleista ja hiukkasista) takaisin maata kohti. (Lighting Research Center 2007.) Taivaalta heijastuvan valon määrä riippuu taivaalle heijastuvan valon määrän lisäksi myös olosuhteista: esimerkiksi pilvisyys ja ilmansaasteet lisäävät valon siroamista ja heijastumista ilmakehästä takaisin alaspäin. Jos keinova-loista aiheutuva taivaan kirkkaus on suurempi kuin 10 % luontaisesta taivaan kirkkaudesta, taivaan voidaan sanoa olevan valosaastunut. (Nathanson 2010; Lyytimäki 2016b.)

Planckin teorian mukaan: mitä lyhyempi aallonpituus, sitä voimakkaampi säteily. Päivisin sinisiä aallonpituuksia sisältävästä valosta on hyötyä ihmisen toiminnalle, mutta IDA:n (The International Dark-Sky Association) mukaan se voi öisin aiheuttaa enemmän häiriövaloa siroten voimakkaammin taivaalle kuin vähemmän lyhyitä aallonpituuksia sisältävä valo. IDA suosittelee, että sinisen valon määrä minimoidaan, ja ettei ulkovalaistuksen värilämpötila saisi ylittää 3 000 kelviniä. (IDA n.d.a; Ursa n.d.) Myös alaspäin suunnatut valaisimet heijastavat valoa taivaalle maan pinnan kautta.

2.2.2 Häikäisy

Häikäisy johtuu sopimattomasta tai liian nopeasti muuttuvasta luminanssikaumasta tai -tasosta, ja sitä aiheuttavat näkökentässä olevat kirkkaat alueet, esim. väärin suunnatut tai liian tehokkaat valaisimet tai pintojen heijastumat. Mitä suurempi valonlähteen valontuotto on, sitä enemmän se häikäisee. Esimerkiksi LED-moduulien luminanssi eli valotiheys voi olla yli 300 000 cd/m², kun perinteisemmän T5-loistelampun luminanssitaso on 17 000 cd/m². Tuotettavaa valoa on siis voitava suunnata ja säätää heijastimien, linssien ja muiden valoa hajauttavien materiaalien avulla. (Fagerhult n.d.b; Lyytimäki & Rinne 2013, 24.)

Häikäisy voidaan jakaa kahteen eri ilmiöön: kiusahäikäisy ja estohäikäisy (kuva 11). Nimensä mukaisesti kiusahäikäisy aiheuttaa epämukavuutta tai kipua. Estohäikäisy taas estää tai rajoittaa ympäristön tai kohteen näkemistä. Ilmiö tapahtuu, kun häikäisy muodostaa verkkokalvolla olevan kuvan päälle harsoluminanssin. Epämukavuuden lisäksi häikäisy voi aiheuttaa virheitä, väsymystä ja vaaratilanteita, ja sitä on syytä pyrkiä välttämään. (SFS-EN12464-2 2014, 9; Rakennustieto Oy 2017, 1.)



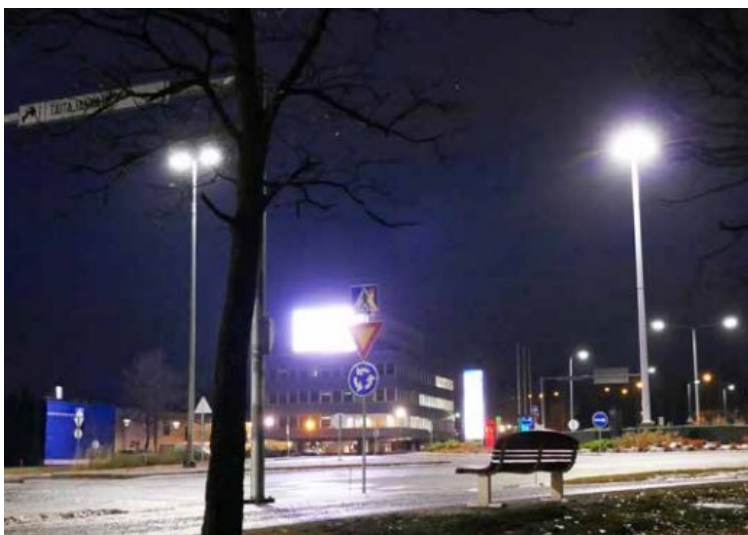
KUVA 11. Kiusahäikäisy vasemmalla, estohäikäisy oikealla (Philips 2015)

Määrittelyssä voidaan käyttää myös kolmea eri luokkaa: Absoluuttinen eli sokeutettava häikäisy (esim. vastaantulevan auton valot), vaikeuttava tai vammauttava häikäisy, joka aiheuttaa havaintokykyä heikentäviä fysiologisia muutoksia silmässä ja psykologinen häikäisy eli epämukavuushäikäisy. (Lyytimäki & Rinne 2013, 24.)

Häikäisy on subjektiivinen kokemus ja herkkyys häikäisylle voi vaihdella iän myötä, kun silmien toiminta muuttuu ikääntyessä. Myös silmien hämäräadaptatio ja kyky sopeutua valaistuksen äkillisiin muutoksiin heikkenee iän myötä. (LRC 2007; Lyytimäki & Rinne 2013, 37.)

2.2.3 Töhryvalo

Töhryvaloa syntyy erilaisten valojen yhteisvaikutuksena (Lyytimäki 2014, 8). Esimerkiksi kaupunkien keskusta-alueilla ilmiö on yleinen ja johtuu usein siitä, ettei alueen valaistusta ole suunniteltu kokonaisuutena, vaan valaistus on toteutettu erillisinä osa-alueina tai kerroksittain (kuva 12). Huonosti suunniteltu katuvalaistus, liikennevalot, liiketilojen valaistus ja kirkkaat valomainokset kaikki tuovat oman osansa, jolloin lopputulos voi olla sotkuinen, häikäisevä ja hankaloittaa oleellisen informaation havaitsemista.

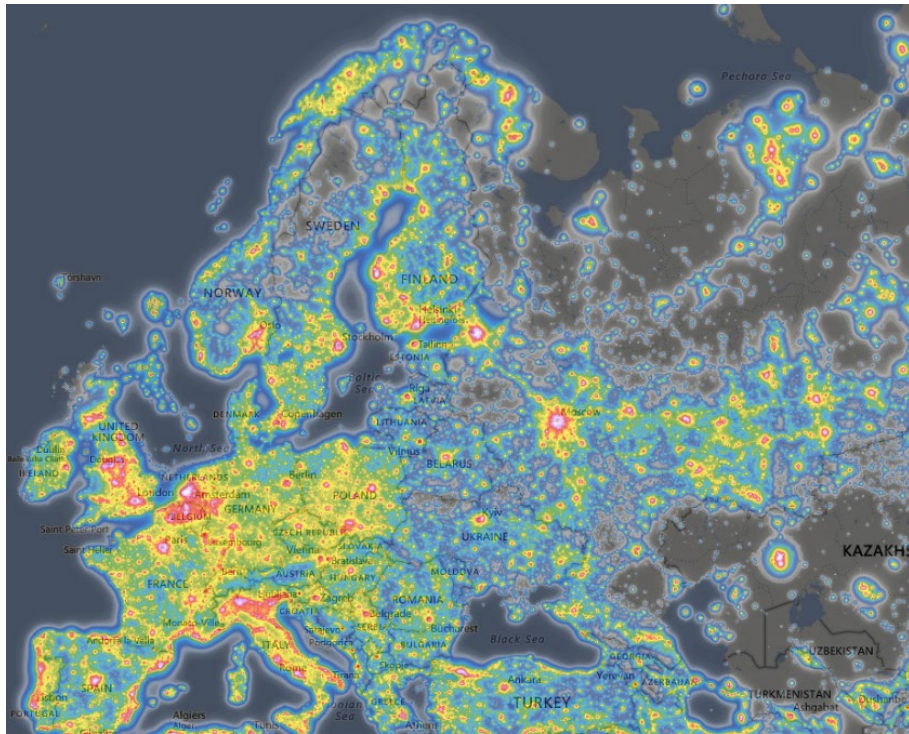


KUVA 12. Uudistettu katuvalaistus Salossa (Mannervesi 2016)

2.2.4 Valosaasteen määrä

Erityisesti talouden ja väestön kehitys ovat vaikuttaneet valosaasteen määrään. Valosaaste on lisääntynyt kasvavilla kaupunkiseuduilla ja vähentynyt ilmeisesti vain niiltä alueilta, joissa pysyvä asutus on vähentynyt. (Lyytimäki 2014, 12, 36.) Suomessa vuosina 1995–2000 ja 2005–2010 himmentyneet alueet ovat satelliittikuvien mukaan kasvaneet kaupungistumisen myötä enemmän tai lähes yhtä paljon kuin kirkastuneet alueet (Bennie ym. 2014).

Kyban (2017) johtamassa tutkimuksessa todettiin maapallolla valaistujen alueiden osuuden sekä valon määrän kasvaneen n. 2 % vuodessa vuosina 2012–2016. Valosaasteen määrän mittaamiseen on käytetty satelliittiin kiinnitettyä VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) -säteilymittaria, joka havaitsee yöllisen valon. Menetelmässä on kuitenkin puute: sensori ei tunnista sinisiä alle 500 nm:n aallonpituuksia, joten tärkeä osa valosaastetta tuottavasta valosta jää havaitsematta. (Kyba ym. 2017.) Valon määrä saattaa siis todellisuudessa olla suurempi kuin mitä kartat antavat ymmärtää (kuva 13).



KUVA 13. Valosaastekartta (Baugh ym. 2016)

2.3 Valosaasteen lähteet

Asutus ja liikenne ovat yleisimpiä valosaasteen lähteitä. Tässä työssä ei kuitenkaan perehdytä liikenteen aiheuttamaan valosaasteeseen. Julkisten alueiden lisäksi valosaasteen lähteitä voivat olla kasvihuoneet sekä yksityiset pihat. (Lyytimäki & Rinne 2013, 55.)

2.3.1 Liian voimakas valo

LED-tekniikan yleistymisen myötä valaisinten valotehokkuus on kasvanut. Tuotettu valo on siten energiatehokkaampaa ja valonlähteen käyttöikä pidempi. Perinteisesti päähuomio ulkovalaistuksen kehittämisessä on keskittynyt lähinnä energiatehokkuuden parantamiseen. Kun samalla wattimäärällä saadaan enemmän valoa, vaarana on houkutus lisätä valon määrää hallitsemattomasti lisäämällä valaisimia tai vaihtamalla vanhoihin valaisimiin uusia valonlähteitä pohti-

matta, millaista valoa valaisin tämän jälkeen tuottaa, tai suunnittelematta mitä valaistuksella juuri siinä kohteessa on tarkoitus saavuttaa. Näin myös valosaasteen määrä lisääntyy. (Xavia 2019; Siirainen 2020.)

Toisaalta LEDin tuottama valo suuntautuu yhteen suuntaan, mikä mahdollistaa valon täsmällisen kohdistamisen ja suuntaamisen vanhoja tekniikoita paremmin. Kääntöpuolena on se, että liian tehokas valaistus liikennöidyillä alueilla aiheuttaa suuria kontrastieroja ympäröiviin alueisiin tehden ne entistä pimeämmiksi ja hankalammiksi havaita. Liian tehokkaat tai väärin suunnatut LED-valopisteet myös aiheuttavat helposti häikäisyä. (McKensey 2018.)

Kuva 14 on otettu keskiyöllä, jolloin alueella on hyvin vähän liikennettä. Tarpeettoman voimakas valaistus tunkeutuu lähistöllä asuvien ikkunoista sisään, häikäisee tiellä kulkevaa ja saa viereisen metsäpolun vaikuttamaan entistä pimeämmältä.



KUVA 14. Kirkas katuvalaistus yöllä

2.3.2 Väärin suunnattu valo

Väärin suunnattu valo aiheuttaa häikäisyä, valovuotoja (light spill) sekä valon tunkeutumista sinne, mihin sitä ei ole tarkoitettu, kuten talojen ikkunoista sisään (light trespass) (Lyytimäki & Rinne 2013, 24). Horisontin yläpuolelle suuntautuva valo valaisee yötaivasta ja aiheuttaa ongelmia linnuille ja muulle luonnolle.

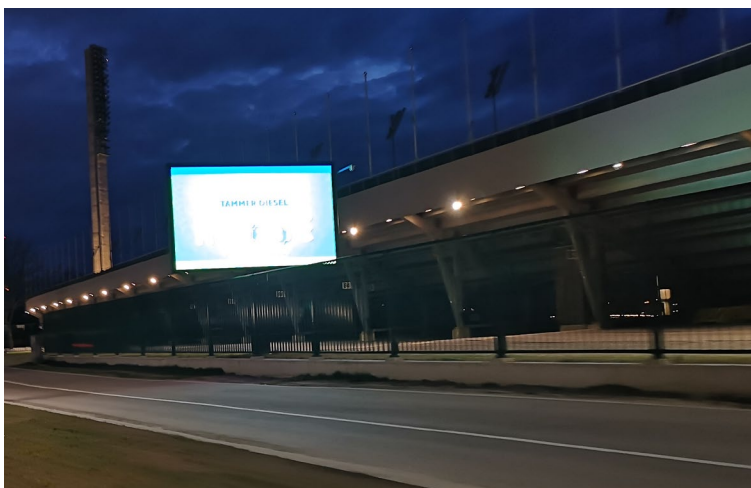
Valon suuntaus ja varjonmuodostus vaikuttavat katselukohteen muodon tunnistamiseen. Oikealla suuntauksella saadaan haitalliset varjot pois katselukohteesta ja syvyyttä ja tilavaikutelmaa (KVS Oy 2020). Valon oikea suuntaus on tärkeää, jotta saavutetaan se lopputulos, johon valaistuksella on pyritty, ja vältetään valon karkaamiselta väriin paikkoihin. Suuntaukseen vaikuttavat muun muassa valaisimella valaistavan kohteen koko, muodot ja materiaalit sekä valaisinten sijoittelu, etäisyys kohteesta ja valonjako. Kuvassa 15 valaistusvoimakkuuden säätö ja oikea suuntaus ovat vielä tekemättä, ja valo vuotaa tornin väärälle sivulle.



KUVA 15. Säättämätön valaistus

2.3.3 Valotaulut ja -mainokset

Kirkkaat valotaulut ovat merkittäviä valosaasteen lähteitä (kuva 16). Ne ovat yleistyneet ja levinneet kaupunkien keskustoista liikenneväylien varsille. Mainosten tarkoitus on herättää huomiota ja näkyä mahdollisimman suurelle joukolla, joten mainostajat mielellään tekevät niistä mahdollisimman kirkkaita. Suurimmiksi ongelmiksi on koettu valomainosten liian voimakas valo, valotason nopeat vaihtelut sekä voimakkaat kontrastit mainosten vaihtuessa. (Lyytimäki 2014, 20.) Liikennealueiden varsilla kirkkaat valomainokset vaarantavat turvallisuutta viemällä autoilijoiden huomion pois liikenteestä. Muillakin alueilla ne voivat aiheuttaa töhryvaloa ja häikäisyä sekä luoda suuria kontrastieroja jättäen muut kohteet varjoonsa.



KUVA 16. Valotaulu liikenneväylän varrella

Tienvarsimainonnasta ja -ilmoittelusta on määrätty Liikenne- ja viestintäviraston määräyksellä. Tätä käsitellään luvussa 4 kohdassa ”Lait ja määräykset”. Muunlaisia alueita kuin maanteiden liikennealueita koskevaa koko maan kattavaa yhtenäistä sääntelyä valotaulujen asettamisesta ei ole, ja kuntien rakennusjärjestysten mukaiset säännöt ovat vaihtelevia. Jos sääntely puuttuu, vaarana on mainostajien kilpavarustelu, kun valotaulujen huomioarvosta kilpaillaan.

Jotkin kaupungit ovat alkaneet kiinnittää asiaan enemmän huomiota. Esimerkiksi Oulussa LED-valaistuille mainostauluille on määritelty lupaehdot, joiden tavoitteena on varmistaa mainoksen soveltuvuus ympäristöönsä ja parantaa liikenneturvallisuutta. Ohjeistuksessa määritellään tienvarsilla, viheralueilla ja kiinteistöjen tonteilla tai rakennuksissa käytettävien mainostaulujen valaistusvoimakkuuksien maksimiarvot, tekstien ja kuvien värit, määrät ja muodot sekä alueet, joilla mainokset on kokonaan kielletty. (Oulun kaupunki 2018.)

Helsinki on alkanut selvittää valosaasteen määrää kaupungissa, ja selvityksen pohjalta laaditaan toimintamalli häiriövalon vähentämiseksi. Työn on määrä valmistua vuoden 2020 lopussa (Helsingin kaupunki 2019a.) Keinovalaistuksen ja mainostaulujen sääntelystä on myös jätetty aloite kaupunginvaltuustolle. Aloitteen mukaan mainoslaitteiden valvontaa on parannettava, ja on selvitettävä luvasta poikkeavan käytön sanktioinnin mahdollisuus. (Helsingin kaupunki 2019b.)

3 VALOSAASTEEN HAITAT

Valosaasteelle altistuminen aiheuttaa haittoja ihmisille ja luonnolle. Tässä luvussa käsitellään yöllisen keinovalon vaikutuksia ihmiseen ja ekosysteemiin, sekä selvitetään, parantaako valon määrän lisääminen turvallisuutta.

3.1 Yöllisen keinovalon vaikutukset ihmiseen

Kuten monilla muillakin eliöillä, valon ja pimeän vaihtelu säätelee myös ihmisen sisäistä vuorokausirytmää. Yölliselle keinovalolle altistuminen voi häiritä tätä rytmiä ja aiheuttaa terveysongelmia vaikuttamalla ihmisen hormonitoimintaan. Kun ihminen altistuu valolle, melatoniinin tuotanto aivojen käpyrauhasessa loppuu. Tähän voi riittää pienikin määrä valoa, sillä jo noin 1,5 luksin keinovalo tyrehtyttää melatoniinin tuotannon. (Lyytimäki & Rinne 2013, 155). Siten valoaltistus pimeään aikaan vaikuttaa vuorokausirytmiiin. Melatoniini myös vahvistaa elimistön immunititeettijärjestelmää. Ulkoa sisätiloihin tunkeutuva valo vaikeuttaa nukahtamista ja heikentää unen laatua. Valosaasteelle altistumisen epäillään aiheuttavan mm. masennusta, diabetesta, sydäntauteja ja syöpää sekä heikentävän immuunijärjestelmän toimintaa. (Smolensky, Sackett-Lundeen & Portaluppi 2015; Xavia 2019.)

Liikalihavuuden ja valoaltistuksen väliltä on myös löydetty yhteys, mutta tähän liittyy monia epävarmuustekijöitä, eikä välttämättä voida päätellä liikalihavuuden johtuvan suoraan valolle altistumisesta, vaan vääränlaisen valoaltistuksen vaikutukset terveyteen voivat olla myös välillisiä. Tämäkin yhteys saattaa selittyä vuorokausirytmien häiriintymisellä: väsymys vaikuttaa aineenvaihduntaan ja myös ravintoon liittyviin valintoihin. Liian vähäinen valaistus voi myös vaikuttaa välillisesti: huonosti valaistut ulkotilat eivät välttämättä houkuttele lenkille. Hyvä ulkovalaistus kannustaa ihmisiä liikkumaan ulkona ja parantaa siten kansanterveyttä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 148; Lyytimäki 2015.)

Altistuminen siniselle valolle voi myös vahingoittaa silmiä. Yleensä kuitenkin ihmisen ulkovalaistuksesta saama sinisen valon määrä on pieni verrattuna muihin sinisen valon lähteisiin, kuten sisävalaistus ja näyttölaitteet, joten on epäselvää,

kuinka paljon juuri ulkovalaistuksesta pimeään aikaan saatu sininen valo vaikuttaa terveyteen tai vuorokausirytmiiin. (McKensey 2018.)

3.1.1 Valon määrän vaikutus rikollisuuteen ja onnettomuuksiin

Tehokkaampi valaistus koetaan usein himmeämpää turvallisemmaksi. On myös näyttöä siitä, että erityisesti viherkohteiden valaiseminen lisää turvallisuuden tunnetta enemmän kuin keinotekoisien kohteiden valaiseminen. (Fotios, Unwin & Farrall 2015.) Tietoa voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi kaupunkien puistoalueiden valaistuksen suunnittelussa.

Eräässä tutkimuksessa yritettiin löytää optimaalista valaistusvoimakkuutta parkkipaikkojen valaistukselle USA:ssa. Tulokset osoittivat, että 10 luksin horisontaalinen valaistusvoimakkuus on raja, jonka ylittäminen ei enää merkittävästi paranna turvallisuuden tunnetta alueella verrattuna päiväaikaan samassa paikassa. Valoisuus on vain yksi turvallisuuden kokemiseen vaikuttavista ympäristötekijöistä, joten koettu turvallisuus on paikkariippuvaista, eikä tietty valaistusvoimakkuus välttämättä johda samoihin tuloksiin toisessa kohteessa. Siksi tutkimuksessa käytettiin verrokkiarvoina saman paikan tuloksia valoisaan aikaan. (Fotios ym. 2015.)

Valaistus tuo siis turvaa ja turvallisuuden tunnetta, mutta tutkimukset eivät ole pystyneet osoittamaan, että valon määrän lisääminen vähentäisi rikollisuutta tai onnettomuuksia. Lontoossa vuosina 2003–2009 kerättiin aineistoa väkivaltarikosten, seksuaalirikosten, ryöstöjen ja omaisuusrikosten määrän muutosten ja kirkkaamman katuvalaistuksen välisestä yhteydestä. Tutkimuksen mukaan rikollisuus väheni parhaimmillaan 13 % ja lisääntyi pahimmillaan 11 %. (Marchant 2011.) Vuonna 2015 Englannissa ja Walesissa tutkittiin katuvalaistuksen muutosten yhteyttä yöaikaisiin kolareihin ja rikollisuuteen. Tutkimus tehtiin käyttäen neljää eri tapaa säätää valaistusta: valojen sammuttaminen kokonaan, valojen päälläoloajan lyhentäminen, himmentäminen ja vanhojen valonlähteiden korvaaminen LEDeillä. Mikään näistä muutoksista ei näyttänyt lisäävän kolareita tai rikollisuutta. Sen sijaan valaistuksen himmentäminen näyttikin vähentävän alueen rikollisuutta, etenkin väkivaltarikoksia, joskin arviot olivat epätarkkoja. Kirjoittajien

mukaan katuvalaistusta voidaankin harkintaa käyttäen vähentää ilman, että se vähentäisi alueen turvallisuutta. (Steinbach ym. 2015.) Chicagossa 90-luvun lopulla tehdyssä tutkimuksessa todettiin rikosten lisääntyneen kujilla puoli vuotta ennen ja puoli vuotta valaistuksen lisäämisen jälkeen. Muutos tapahtui myös verokkialueella, jonka valaistusta ei muutettu, mutta siellä muutos oli vähäisempi. (Morrow & Hutton 2000.)

Silmien hämäädaaptaatio eli sopeutuminen pimeään on hidasta – kun kulkee valaistulla polulla, pimeään ympäristöön näkeminen on hankalampaa kuin kokonaan pimeässä ympäristössä suuren kontrastin vuoksi. Sen sijaan pimeässä mahdollisesti odottelevan ryöstäjän silmät ovat jo tottuneet pimeään, jolloin rikollisen on helpompi havaita valossa kulkeva kohde. Huono tai liian kirkas valaistus voikin itse asiassa vähentää turvallisuutta myös tätä kautta. Pimeässä myös rikolliset tarvitsevat lisävaloa, jolloin heidät on helpompi havaita ja kiinnijäämisriski on suurempi. (Lyytimäki & Rinne 2013, 160; Reeves 2019.)

Tutkimukset valon määrän vaikutuksesta turvallisuuteen eivät kuitenkaan ole täysin aukottomia johtuen useista muuttujista. Osan tilastollisista muutoksista saattavat selittää muut tekijät, kuten poliisien määrän muutos alueella, liikenteen määrän ja tyyppin muutokset (esimerkiksi kävelijöiden määrä saattaa vähentyä valaistuksen vähentyessä), tai väkiluvun määrän muutokset. Lisäksi saattaa olla niin, että hämärässä ihminen ei koe oloaan yhtä turvalliseksi, jolloin hän on valppaampi ja varautuu mahdollisiin uhkiin enemmän (Lyytimäki & Rinne 2013, 160).

Valosaasteen vähentäminen ei siis lisää turvallisuusriskejä, vaan voi sen sijaan vähentää niitä, kunhan valaistus on riittävän voimakasta, suunniteltu huolella, häikäisemätöntä ja kohdistettu hyvin. Riskejä aiheuttaa se, jos ihmiset eivät näe kulkureittiään. Tähän ongelmaan voidaan törmätä sekä liian heikossa että liian kirkkaassa tai häikäisevässä valaistuksessa. (Lyytimäki & Rinne 2013, 167.)

3.2 Ekologiset vaikutukset

Aikojen alusta eliöt ovat sopeutuneet luonnon rytmiin ja oppineet ajoittamaan toimintonsa vuoden- sekä vuorokaudenaikojen vaihtelun mukaan. Arviolta miltei

kolmannes kaikista maailman selkärangkaisista ja yli 60 % selkärangattomista lajeista on hämärä- tai yöaktiivisia. Valon tietyt aallonpituudet, voimakkuus ja suunta säätelevät myös kasvien toimintoja, kuten itämistä, siementen tuottamista ja yhteyttämistä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 103; Singhal, Kumar & Bose 2019.)

Väärään paikkaan suuntautuva tai väärään aikaan ilmenevä keinovalo saattaa vaikuttaa koko ekosysteemin toimintaan muuttamalla eläinten ja kasvien luontaista rytmiä ja toimintoja, vuorovaikutusta ja yhdyskuntarakennetta. Max Planckin instituutin tutkijat löysivät näyttöä siitä, että yöllinen keinovalo muuttaa joidenkin lintulajien vuorokausirytmisiä sekä vuosittaista rytmiä. Neljän lintulajin aamu- ja iltalaulu aikaistui keinovalolle altistuneilla alueilla. (Da Silva, Valcu & Kempenaers 2015.) Jotkin eläimet voivat kuitenkin hyötyä valon lisääntymisestä, kuten esimerkiksi hämähäkkilajit, jotka kutovat verkkonsa valonlähteiden lähelle (Lyytimäki & Rinne 2013, 112).

Ihminenkin ei elä täysin irrallaan luonnosta. Lyytimäki ja Rinne viittaavat kirjassaan ekosysteemipalveluihin. Jos ekosysteemien toiminta häiriintyy, vaarantuu myös niiden kyky tuottaa ihmisille hyötyjä. Esimerkiksi kasvien kyky korjata alailmakehässä olevan otsonin aiheuttamia lehtivaurioita voi heikentyä, jos kasvi altistuu valolle yöllä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 102–103.) Otsonia syntyy alailmakehässä valokemiallisissa reaktioissa, ja suotuisissa sääolosuhteissa otsonipitoisuuksille asetetut raja-arvot voivat ylittyä (Ilmatieteen laitos n.d.).

Elinympäristöjen häviäminen ja pirstoutuminen on suurin syy luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen, ja valosaaste kasvattaa tätä uhkaa esimerkiksi estämällä eläinten liikkumisen (Lyytimäki & Rinne 2013, 18). Euroopan parlamentti on ryhtynyt toimeen biodiversiteetin eli luonnon monimuotoisuuden vaalimiseksi. Parlamentti on vaatinut, että luonnontilaisten alueiden pitäisi kattaa 30 % EU:n pinta-alasta vuoteen 2030 mennessä ja ehdottanut, että 10 % EU:n tulevasta pitkän aikavälin budjetista korvamerkitään biodiversiteetin suojeluun. (Euroopan parlamentti 2020.)

Viheralueiden suojelu ja lisääminen kaupunkialueilla voi lisätä kaupungeissa elävien eläinlajien elinmahdollisuuksia. Sen lisäksi, että viherkohteiden valaiseminen näyttäisi lisäävän ihmisten turvallisuuden tunnetta alueella liikkuessa, puusto

ja kasvillisuus voi myös estää valon pääsyä taivaalle. Kuten valaistus muutenkin, myös viherkohteiden valaisu täytyy suunnitella ja toteuttaa harkiten, jotta säilytetään yö- ja hämäräaktiivisten lajien, kuten lepakoiden, elinmahdollisuudet. (Lyytimäki 2014.)

Keinovalon aiheuttama valon heijastuminen pinnoista voi aiheuttaa ongelmia suoraviivaisemminkin kuin valaisemalla yötaivasta. Monet hyönteiset, linnut ja matelijat tunnistavat tasaisen veden pinnan siitä, miten valo siitä heijastuu. Tasaisesta pinnasta heijastuessaan valoalto etenee yhdensuuntaisesti. Kun heijastava pinta onkin lammen tai lätäkön sijaan jokin ihmisen rakennelma, hyönteiset saattavat erehdyksessä päätyä elinkelvottomille alueille tai munia kelvottomiin paikkoihin. Keinovalo eksyttää myös yöllä lentäviä lintuja, jotka suunnistavat luontaisten valonlähteiden, kuten tähtien, avulla. Linnut voivat törmäillä rakennuksiin ja savupiippuihin tai ajautua valonheittimen valokeilaan, josta ne eivät enää osaa pois. (Lyytimäki & Rinne 2013, 113.)

Eri eläinlajien herkkyys valolle vaihtelee. Laboratorio-oloissa tehdyt kokeet ovat osoittaneet, että lintujen suunnistamiseen vaikuttavat voimakkaimmin punainen ja keltainen valo. Teorian mukaan nämä näkyvän valon spektrin pitkät aallonpituuudet sotkevat lintujen sisäisen kompassin, joka perustuu maan magneettikenttiin. Vihreä ja sininen valo ei näyttänyt häiritsevän muuttolintuja läheskään yhtä paljon. Sen sijaan muuttavia lepakoita vihreä valo näyttäisi houkuttelevan harhaan. (Lyytimäki & Rinne 2013, 116; Voigt ym. 2017.) Myös hyönteisiä näyttäisi houkuttelevan enemmän lyhytaaltainen kuin pitkäaalton valo. Hyönteiset harhautuvat valonlähteiden lähelle ja ovat siten helppo ateria saalistajille. Värilämpötilaltaan 3 000 kelvinin valonlähde tappoi yön aikana vähemmän hyönteisiä kuin 6 000 kelvinin valonlähde. (Lyytimäki & Rinne 2013, 116.)

Toisaalta Suomessa eläimet ja kasvit ovat sopeutuneet vuodenajan vaihteluihin ja kasvit kasvukauden aikana valoisan ajan suuriin vaihteluihin. Yöttömästä yöstä huolimatta eläinten ajantaju ei katoa, vaan vuorokausirytmistö on niille tärkeä. Emeritusprofessori Esa Hohtolan mukaan harva yöeläinkään, kuten kettu tai pöllö, on riippuvainen juuri pimeydestä, ja lepakoidenkin yöaktiivisuus johtuu enemmän niiden syömien hyönteisten vuorokausirytmistä. Valoisat yöt saattavat kuitenkin estää joidenkin lajien, kuten kehrääjän, siirtymisen pohjoiseen, mutta siitä ei ole

vielä pitävää tutkimusnäyttöä. (Tuominen 2018.) Suomen ympäristökeskuksen raportin mukaan Suomessa ei juurikaan ole tutkittu valosaasteen vaikutuksia luontoon, eivätkä ulkomaiset tutkimukset ole suoraan yleistettävissä Suomen oloihin. Tutkimus on myös keskittynyt enimmäkseen yksilöissä ilmeneviin välittömiin vaikutuksiin. Tarvitaan lisää pitkän aikavälin tutkimusta, jossa otetaan huomioon myös muut ympäristökuormitukset. (Lyytimäki & Rinne 2013, 102; Lyytimäki 2014.)

4 VALOSAASTEEN VÄHENTÄMINEN MÄÄRÄYKSISSÄ JA OHJEISSA

Suomessa ei ole erillislainsäädäntöä valosaasteen rajoittamiseksi lukuun ottamatta Liikenne- ja viestintäviraston tienvarsimainontaa koskevaa määräystä, eikä termejä valosaaste tai häiriövalo mainita olemassa olevassa lainsäädännössä. Joitakin lakeja voidaan kuitenkin soveltaa, ja aihetta käsitteleviä ohjeistuksia sekä ympäristöjärjestelmiä on olemassa. Tässä luvussa käydään ensin läpi mainostauluihin liittyvä määräys, sitten muut valosaasteen välttämistä sivuavat lait ja ulkovalaistusstandardi SFS-EN 12464-2:2014. Lopuksi esitellään käytetyimmät ympäristöluokitusjärjestelmät.

4.1 Lait ja määräykset

4.1.1 Määräys tienvarsimainonnasta ja -ilmoittelusta

Tienvarsimainonnasta ja -ilmoittelusta on määrätty Liikenne- ja viestintäviraston määräyksellä, joka koskee mainoksia tai ilmoituksia asemakaava-alueen ulkopuolella tai asemakaava-alueella olevilla maanteiden liikennealueilla. (132/1999, 83 §.) Se täydentää lakia liikennejärjestelmästä ja maanteistä (503/2005, 52 §) ja sisältää määräyksiä mm. mainoksen ulkoasusta, koosta, sijainnista ja teknisistä vaatimuksista. Määräyksen mukaan itsevalaisevaa mainosta ei esimerkiksi saa sijoittaa valaisemattomalle tiealueelle, eikä mainos saa sisältää häikäisyä aiheuttavia elementtejä tai heijastavaa materiaalia. Itsevalaiseva mainos ei myöskään saa ylittää standardin SFS-EN 12464-2 raja-arvoja (Taulukko 1). (Traficom 2019, 3, 5.)

Määräyksessä määrätään myös mainospinnan maksimiluminanssit pimeään ja hämärän aikaan, ja että mainostaulun tulee säätää kirkkauttaan ympäristön valoisuuden mukaan. Vaihtuvasisältöisten mainosten toimintaa on myös määritelty erikseen, ja tilapäisille ilmoituksille on omat määräyksensä. Muualle kuin liikennealueille asetettaviin valomainoksiin määräys ei kuitenkaan ota kantaa. (Traficom 2019, 5.)

4.1.2 Lait

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) tavoitteena on ”järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestäväää kehitystä”. Lain mukaan mainoksen pysyvä tai pitkäaikainen asettaminen vaatii kaupungin toimenpideluvan. Tätä voidaan soveltaa myös valomainoksiin, joihin laki ei kuitenkaan erityisesti ota kantaa.

Järjestyslaki (612/2003) kieltää yleistä järjestystä tai turvallisuutta vaarantavan häikäisevän tai harhauttavan valon tai mainoksen käytön. Laissa ei määritellä tarkemmin, millainen valo tai mainos on häikäisevä tai harhauttava.

Ympäristönsuojelulain (527/2014) tarkoituksena on ”ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja”. Laissa valo sisällytetään ihmisen toiminnan aiheuttamiin päästöihin. Laki ei kuitenkaan ota tarkemmin kantaa valosaasteeseen.

Luonnonsuojelulain (1096/1996) tavoitteena on mm. luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen ja luonnonkauneuden ja maisema-arvojen vaaliminen. Valosaaste voidaan tulkita näitä vaarantavaksi tekijäksi.

Terveysuojelulain (763/1994) yleisten periaatteiden mukaan elinympäristöön vaikuttava toiminta on suunniteltava ja järjestettävä siten, että väestön ja yksilön terveyttä ylläpidetään ja edistetään. Valaistuksen ihmisen terveydelle aiheuttamien hyötyjen ja haittojen voidaan ajatella kuuluvan tämän lain vaikutusalueeseen.

Kuntien rakennusjärjestykset sisältävät joitakin vaatimuksia myös valaistukselle. Esimerkiksi Tampereen kaupungin rakennusjärjestys (2014) määrää: ”Tontin ja rakennuksen valaistusjärjestelyissä valolaitteiden sijoitus, suuntaus ja valoteho on sovitettava siten, että ne lisäävät alueen turvallisuutta eivätkä häiritse alueen asukkaita, alueella liikkuvia tai naapurialueita. Julkisivuvalaistuksen tulee tukea

rakennuksen luonnetta ja sen kaupunkikuvallista merkitystä. Valaisinten tulee soveltua kunkin alueen kaupunkikuvaan.” Valaistus ei siis saa vaarantaa turvallisuutta tai häiritä ihmisiä. Muuten rakennusjärjestys ei ota kantaa häiriövaloon tai sen rajoittamiseen. (Tampereen kaupunki 2014.)

4.2 Standardi SFS-EN 12464-2:2014

Eurooppalainen standardi ulkotyöpaikkojen valaistuksesta, SFS-EN 12464-2:2014, määrittelee valaistuksen määrälliset ja laadulliset vaatimukset useimmilla ulkotyöpaikoilla ja niihin liittyvillä alueilla sekä antaa suosituksia hyvistä valaistuskäytännöistä. Ulkotyöpaikkoja voivat olla esimerkiksi kävelytiet, parkkipaikat, lentokentät, satama-alueet, teollisuusalueet, rakennustyömaat ja monet muut ulkoalueet. Standardissa on asetettu raja-arvot häikäisylle ja häiriövalolle. Myös välkkyvien valaistusjärjestelmien käyttöä kehoitetaan välttämään. (SFS-EN 12464-2 2014.)

4.2.1 Häiriövalon raja-arvot

Taulukossa 1 on listattu raja-arvot häiriövalolle ympäristövyöhykkeittäin. Ympäristövyöhykkeet on jaettu neljään eri luokkaan (E1-E4) ympäristön ominaisuuksien mukaan. Raja-arvot on asetettu ikkunoihin suuntautuvalla valolla, häiriön kohteena olevaa paikkaa kohti suuntautuvalla valolla, julkisivujen ja kylttien luminaanssille sekä taivaalle suuntautuvan valon määrälle. Taivaalle suuntautuvan valon määrä ilmoitetaan ULR (Upward Light Ratio) -arvolla, joka kertoo, kuinka suuri prosenttiosuus valonlähteen tuottamasta valosta säteilee kohti taivasta.

TAULUKKO 1. Raja-arvot häiriövalolle (SFS-EN 12464-2 2014, 10)

Ympäristö- vyöhyke	Valo ikkunoihin E_v (lx)		Valonlähteen valovoima I (cd)		Taivaan valottu- minen ULR (%)	Luminanssi L (cd/m ²)	
	Ilta	Yö	Ilta	Yö		Julkisivu L_b	Kyltit L_s
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	25	25	1 000

E1 = Luonnostaan pimeät alueet, kansallispuistot ja suojelualueet

E2 = Vähäisen valaistuksen alueet, maaseutu

E3 = Keskitasoinen alueellinen valaistus, esikaupunki

E4 = Kirkkaasti valaistut alueet kuten kaupunkien keskustat

E_v = Ulkovalaistuksesta rakennusten ikkunoihin suuntautuva suurin sallittu vertikaalinen valaistusvoimakkuus

I = Suurin sallittu häiriön kohteena olevaan paikkaan suuntautuva valon määrä (cd)

ULR = Horisontin yläpuolelle suuntautuvan valon määrä (%)

L_b = Julkisivun tai rakennuksen keskimääräinen maksimiluminanssi (cd/m²)

L_s = Kylttien maksimiluminanssi (cd/m²)

4.2.2 Häikäisyn raja-arvot

Ulkotiloissa valaisinten aiheuttaman häikäisyn määrittämiseen sovelletaan CIE:n (International Commission on Illumination) GR (Glare Rating) -menetelmää. Häikäisyindeksin manuaalinen määrittäminen on kuitenkin monimutkaista, ja se edellyttää valaisinvalmistajalta saatuja valaisinkohtaisia lähtötietoja. Käytännössä helpoin tapa on määrittää GR-indeksi valaistuslaskentaohjelman, esimerkiksi DIALux Evo:n, avulla. (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 5.) Taulukossa

2 on lueteltu häikäisyarvojen maksimit kävelyteille, pysäköintialueille ja hitaan liikenteen kaduille.

Taulukko 2. Standardin vaatimuksia suurimmille sallituille GR-arvoille (SFS-EN 12464-2 2014, 15,18)

<i>Alueen käyttötarkoitus</i>	<i>GR</i>	<i>E_m (lx)</i>
Kävelytiet	50	5
Autoliikenne max 40 km/h	45	20
Pysäköintialueet, joilla vähän liikennettä, esim. kaupat, asuinkiinteistöt, pyöräparkit	55	5
Pysäköintialueet, joilla paljon tai keskimääräisesti liikennettä, esim. tavaratalot, toimistokiinteistöt, ostoskeskukset	50	10/20

GR = Häikäisyindeksi

E_m = keskimääräinen valaistusvoimakkuus lukseina

Standardi ottaa kantaa myös heijastumisen aiheuttamaan häikäisyyn. Esimerkiksi näiden avulla heijastinhäikäisyä voidaan vähentää: valaisinten oikeanlainen sijoittaminen, valaistavan pinnan materiaali, valaisinten luminanssin rajoittaminen ja valaisimen laajempi valonjako. Häikäisyä on erityisesti vältettävä, kun katseusuunta on ylöspäin. (SFS-EN 12464-2:2014, 9.)

4.3 Valosaaste ympäristöluokitusjärjestelmissä

Ympäristöluokitusjärjestelmien avulla voidaan mitata ja vertailla kiinteistöjen ympäristötehokkuutta. Ympäristösertifikaatilla voidaan todentaa kohteen vastuullisuutta ja varmistaa kestävä kehitys mukaisia toimintatapoja. Sertifikaatit ovat vapaaehtoisia. LEED ja BREEAM ovat maailmanlaajuisia ympäristöluokitusjärjestelmiä, jotka ottavat kantaa myös ulkovalaistukseen ja valosaasteen vähentämiseen. (Green Building Council Finland 2020.) Taulukossa 3 on esitetty LEED- ja BREEAM -sertifioitujen rakennusten määrä Suomessa.

TAULUKKO 3. LEED- ja BREEAM-sertifioitujen rakennusten määrä Suomessa 10/2019 (Huhtinen 2019).

	<i>Uudisrakennukset</i>	<i>Käytössä olevat rakennukset</i>
<i>LEED</i>	192	69
<i>BREEAM</i>	81	112

4.3.1 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) on maailman käytetyin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä. Se sisältää arviointijärjestelmiä uudisrakentamiselle, peruskorjaushankkeille, sisätilahankkeille, huollolle ja kunnossapidolle, lähiseudun kehittämiseksi sekä asuinrakentamiselle. Sertifikaatin saadakseen hankkeen on kerättävä tietty pistemäärä, jolla saavuttaa määrätyn sertifiointitason. Tasoja on neljä: sertifioitu, hopea, kulta ja platina. (Green Building Council Finland 2020.)

Valosaasteen vähentäminen kuuluu LEEDin alajärjestelmään GIB (Green Infrastructure and Buildings), jossa arvioidaan lisäksi mm. rakennuksen ja infrastruktuurin energiatehokkuutta, vedenkäyttöä ja haittoja lähialueelle. Valosaasteen arvioinnin tavoitteena on vähentää taivaalle suuntautuvan sekä ihmisiä ja luontoa häiritsevän valon määrää. (USGBC 2018.)

Valaistus voidaan toteuttaa joko käyttäen määritellyllä tavalla luokiteltuja valaisimia tai noudattaen määrättyjä horisontin yläpuolelle säteilevän valon maksimiarvoja. Raja-arvot on määritetty ympäristöluokittain. LEED käyttää ympäristöluokituksena CIE:n (International Commission on Illumination) Lighting Zones -järjestelmää. Luokituksessa on viisi valaistustason mukaan määriteltyä vyöhykettä (LZ0–4), joista LZ0 tarkoittaa aluetta, jolla ei ole valaistusta ollenkaan ja LZ4 korkeimman valaistustason aluetta. (USGBC 2018, 82; IDA n.d.b.)

4.3.2 BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) on Euroopan johtava ympäristöluokitusjärjestelmä yksittäisille rakennuksille, yhteisöille tai infrastruktuurille. LEED:n tavoin BREEAM-järjestelmä kattaa rakennushankkeet, peruskorjaukset ja rakennuksen käytön. BREEAM:ssa hankkeiden ympäristövaatimusten toteutumista valvovat valtuutetut arvioijat. Eri osa-alueiden pisteytyksen perusteella rakennukselle myönnettävä luokitus on: läpäisty, hyvä, erittäin hyvä tai erinomainen. (Green Building Council Finland 2020.)

Järjestelmässä on saastuttamisen arvioinnille oma osionsa, johon valosaasteen vähentäminenkin kuuluu. Tavoitteet ovat samankaltaiset kuin LEED:ssä: ohjata valon käyttöä vain tarvittaville alueille, vähentää taivaalle suuntautuvan valon määrää sekä häiriövaloa ja pienentää energiankulutusta. Pisteitä tienaa jättämällä ulkovalaistuksen pois, ellei sille ole tarvetta, tai noudattamalla valaistuksessa standardin SFS-EN 12464-2 ympäristöalueittain (E1-E4) määritetyt raja-arvoja sekä sammuttamalla turvavalaitusta lukuun ottamatta valot klo 23 ja 07 väliseksi ajaksi. (BREEAM International... 2017.)

5 SUUNNITTELU

Tässä luvussa pohditaan, millainen on valaistussuunnittelun nykyrooli Suomessa ja miten sitä voitaisiin kehittää. Luvussa esitetään tiivistetysti perusohjeita siihen, millaisia seikkoja valaistussuunnittelussa tulee huomioida, jotta valosaastetta voidaan välttää. Lopuksi käsitellään valaistuksen ohjauksen hyötyjä valosaasteen vähentämisessä. Pohdinta perustuu tässä työssä kerättyihin tietoihin, asiantuntijahaastatteluun sekä kirjoittajan omiin havaintoihin.

5.1 Hyvä valaistussuunnittelu

Laadukas valaistussuunnittelu ei ole helppoa eikä suoraviivaista, ja siihen tarvitaan useiden sekä luovien että teknisten osa-alueiden osaamista. Tietämystä tarvitaan esimerkiksi arkkitehtuurin lainalaisuuksista, sähkö- ja talotekniikasta, rakennusten tai alueiden toiminnallisuuksista, sisustussuunnittelusta sekä ihmislähtöisistä tekijöistä. (Wismar 2020). On mahdotonta luoda tiukkoja raameja tai yleispäteviä ohjeistuksia sille, kuinka valaistus tulisi toteuttaa. (Siironen 2020.) Standardit toimivat hyvänä summamääräisenä ohjeistuksena, mutta hyvään ja laadukkaaseen valaistukseen pelkästään nämä kriteerit tai ylipäänsä pelkkä lukusimääriin eli valaistusvoimakkuuteen perustuva suunnittelu ei kuitenkaan riitä. Esimerkiksi aallonpituudeltaan aivan erilaiset valonlähteet voivat tuottaa saman luksimäärän (Lyytimäki & Rinne 2013, 29).

Valaistus on yleensä ihmislähtöistä, lähes poikkeuksetta sitä tehdään ihmistä varten. Sen lisäksi on huomioitava myös ympäröivä luonto. Ensimmäisiä kysymyksiä suunnitteluprosessissa pitäisikin aina olla: mihin valaistusta tehdään ja miksi, kenelle sitä tehdään, mihin lopputulokseen tähdätään ja vielä lopuksi, miten. Jokaisen valopisteen olemassaolon tulee olla perusteltua ja jokaisella valaisimella tulee olla tarkoitus, jotta lopputulos on hallittu ja harkittu (Siironen 2020).

5.1.1 Valaistussuunnittelun rooli Suomessa

Valaistussuunnittelua tarvitaan useissa erilaisissa hankkeissa, kuten esimerkiksi sisä- tai ulkotilojen valaistuksessa, rakennus- ja aluehankkeissa sekä valaistuksen yleissuunnitelmien laatimisessa (kuva 17). Valaistussuunnittelija voi toimia erilaisissa rooleissa esimerkiksi valaistussuunnittelutoimistossa, konsulttina, tuotekehityksessä, sähkösuunnittelutoimistossa, kaupallisissa tehtävissä tai arkkitehtitoimistossa (Wismar 2020, VALOA design Oy 2020). Tällä hetkellä valaistussuunnittelu Suomessa hakee vielä vakiintunutta paikkaansa. Valaistusta tekevät valaistussuunnitteluun erikoistuneiden ihmisten lisäksi eri alojen toimijat, kuten arkkitehdit, sähkösuunnittelijat, sähköurakoitsijat, sisustussuunnittelijat ja monet muut, kaikki omista lähtökohdistaan.



KUVA 17. Senaatintorin valaistuksen yleissuunnitelma (VALOA design Oy 2014)

Rakennushankkeita varten löytyy Rakennustiedon ylläpitämästä RT-kortistosta Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo VAL12 -ohjekortti (2015), jossa on määritetty valaistussuunnittelun tehtävät talonrakennushankkeiden eri vaiheissa. Luettelo voidaan liittää suunnittelusopimukseen ja sitä käytetään suunnittelijan tehtävälajisuuden määrittelyssä, suunnittelukokonaisuuden hallinnassa sekä osana laadunvarmistusta. (Rakennustieto Oy 2015, 1.)

Eri alojen yhteistyö on edellytyksenä hankkeen parhaalle onnistumiselle. Valaistuksen onnistumisen kannalta suurimpia ongelmia ovat välinpitämättömyys ja

ymmärryksen puute siitä, mitä hyvä valaistus tarkoittaa, mitä se vaatii ja mitä sillä voidaan saavuttaa. Ensin projekteissa tulisi siis tunnistaa tarve hyvälle valaistus-suunnittelulle. Ajattelumallin täytyisi kääntyä valaisinten sijoittelusta huolelliseen valaistussuunnitteluun. (Siirainen 2020.) Näin saadaan valaistuksen lukuisat positiiviset puolet ja mahdollisuudet hyödynnettyä, ja lisäksi vältetään valosaastetta. Valaistukseen on myös hyvä kiinnittää huomiota tärkeänä osana rakennus-, kaupunki- ja yhdyskuntasuunnittelua, laajemmin kuin irrallisena yksittäisten kohteiden toteutuksena.

Yksi avain ymmärryksen lisäämiseen ja yhteistyön parantamiseen on koulutus. Suomessa ei ole vuosiin ollut saatavilla valaistussuunnitteluun keskittyvää koulutusta. Tähän tarpeeseen on vastannut Oulun yliopisto yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa, jotka tarjoavat täydennyskoulutuksena valaistussuunnittelun opintokokonaisuuden lukuvuonna 2020-21 (Oulun yliopisto 2020).

5.2 Valosaasteen välttäminen osana valaistussuunnittelua

Valosaasteen vähentämiseksi on muutamia perusohjeita. Valaistuksen kuuluu olla päällä vain tarvittaessa, ja valaistusvoimakkuus mitoitetaan tarpeen mukaan. Vain tarvittava ja tarkoituksenmukainen kohde tai alue valaistaan, ja valaisimet sijoitetaan niin, etteivät ne valaise sisätiloihin. Valaistustapa tulee valita kohteen ominaisuuksien ja olosuhteiden mukaan, ja valon suuntaus on tehtävä huolellisesti, mieluiten pimeään aikaan. Pintojen heijastusominaisuuksiin täytyy kiinnittää huomiota, ja käytettävien valaisinten on oltava koteloitu niin, että valo ei pääse karkaamaan taivaalle. Uutta ja tehokkaampaa valaistusta ei rakenneta vanhan päälle, vaan uudistettaessa valaistus on suunniteltava uudelleen. (IDA n.d; Larsen 2016.) Lisäksi valaisimissa käytetään laadukkaita käyttötarkoituksen ja valaisinten sijoittelun mukaan valittuja häikäisemättömiä optiikoita. Myös valaistuksen ohjausta on hyvä hyödyntää – sen hyötyjä on käsitelty seuraavassa alaluvussa.

Hyvä valaistus ei häikäise, ja kun valaistuksessa mikään ei häikäise, pienempi määrä valoa riittää. Valaistuksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kaikki oleelliset katselukulmat ulkotiloissa sekä ympäröivissä rakennuksissa. Kuvassa

18 on esimerkki parkkipaikasta, jossa valaistus on toteutettu pylväisiin kiinnetyillä valonheittimillä. Valaisimet on kallistettu niin, että niiden valopinnat ovat kokonaan nähtävissä sekä parkkipaikalta että läheiseltä tieltä. Valaistusvoimakkuus on tilanteeseen nähden tarpeettoman suuri, ja valo häikäisee parkkipaikalla tai tiellä kulkijaa. Lopputuloksesta saataisiin toimivampi valitsemalla koteloidut valaisimet häikäisyn estävällä ja tarkoituksenmukaisen valonjaon tuottavalla optiikalla, suuntaamalla valo alaspäin, vähentämällä valovirtaa ja sijoittamalla valaisimet tarpeenmukaisesti. Ennen tätä tulisi miettiä, mitä kaikkea valaistuksella halutaan saavuttaa juuri tässä kyseisessä kohteessa: halutaanko esimerkiksi suojata kiinteistöä rikollisilta ja ilkivallalta, tehdä liikekiinteistö näkyväksi ja saada huomioarvoa liiketoiminnalle, taata esteetön kulku parkkipaikalla liikkuville, vai lisäksi vielä jotain muuta.



KUVA 18. Häikäisevä ja tarpeettoman voimakas valaistus

Kuvassa 19 on toinen esimerkki kohteesta, jonka valaistus ei vaikuta suunnitellulta. Seinälle on asennettu useita valaisimia, joista parkkipaikkaa valaisevat valonheittimet häikäisevät alueella kulkevaa. Kuitenkin havaintoiltaan klo 22:n jälkeen valaistus oli jo sammutettu, joten se ei aiheuta yöllistä harmia.



KUVA 19. Suunniteltu vai ei?

5.2.1 Valaistuksen ohjauksen hyödyt

Älykkään valaistuksen ohjauksen avulla voidaan tehokkaasti vähentää valosaastetta, saada aikaan laadukas ja tarpeenmukainen valaistus ja samalla pienentää energiankulutusta sekä lisätä valaisimen ja valonlähteen käyttöikää. Ohjattavuus tuo myös enemmän joustoa valonlähteen valovirran määrän valintaan, kun valaisimia ei tarvitse käyttää täydellä teholla. Se myös mahdollistaa valaistuksen tarkan valaisinkohtaisen säädön. Valaisinten tulee olla päällä vain tarvittaessa, mutta kaikkien valojen sammuttaminen ei ole välttämättä hyvä ratkaisu tai edes tarpeellista. Yöaikaan, kun luonnonvaloa ja kulkijoita on vähän, valaistusta voidaan himmentää. Julkisivu- tai aluevalaistuksen valaistusvoimakkuus mitoitetaan tai ohjelmoidaan sopivaksi niin, että valoa on vain tarvittava määrä.

Perinteisesti lähtökohtana valaistuksen ohjauksen ratkaisuille on ollut energiansäästö. Nyt, kun LEDit ovat muuttaneet valaistuksen energiatehokkaammaksi ja tuoneet lisää sovellusmahdollisuuksia, voidaan painoarvoa laittaa enemmän ohjauksen hyödyntämiselle luovassa toteutuksessa. Ideaalitulanteessa koko alueen valaistus ja valaistuksen ohjaus toimivat kokonaisuutena, jolloin kaikki valaistuksen osa-alueet saadaan toimimaan tasapainoisesti ja ilman suuria epätarkoituksenmukaisia kontrasteja, jotka aiheuttaisivat häikäisyä ja esteettisesti ikävän lopputuloksen.

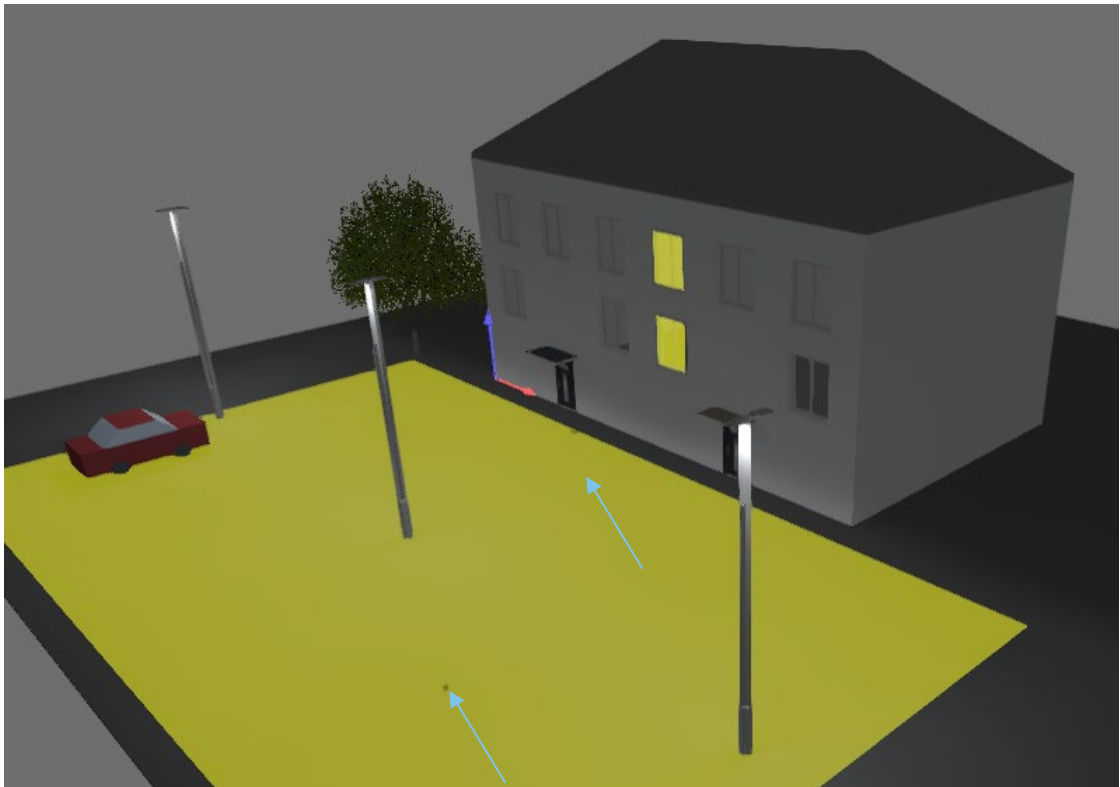
6 HÄIRIÖVALON ARVIOINTI DIALUX EVON AVULLA

Tässä luvussa käydään läpi sitä, kuinka valaistuksen tuottaman valosaasteen määrää voidaan arvioida suunnitteluvaiheessa DIALux Evo -ohjelmalla. Ensin esitellään laadittu valaistusmalli, sitten kootaan yhteen saadut tulokset ja verrataan niitä standardin SFS-EN 12464 vaatimuksiin.

6.1 Menetelmät

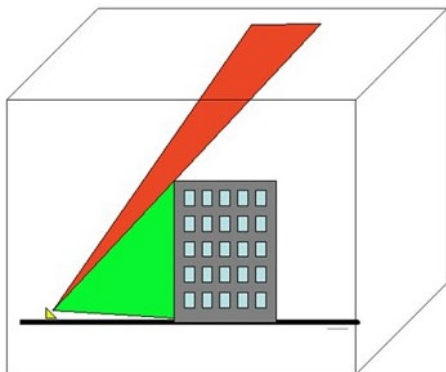
Ympärisäteilevän pallon muotoisen valaisimen ja alaspäin suunnatun katuvalaisimen, jossa valonjako on rajattu (myöhemmin: rajattu valaisin), vertailemiseksi laadittiin yksinkertainen valaistusmalli DIALux Evo 9.0 -valaistuslaskentaohjelmalla. Tavoitteena oli esittää, kuinka valaistuslaskentaa voidaan hyödyntää häiriövalon määrän arvioinnissa ja todentamisessa valaistussuunnittelussa. Tarkoituksena oli myös havainnollistaa kahdella täysin erityyppisellä valaisimella toteutetun valaistuksen vaikutusta GR- ja ULR-arvoihin ja verrata näitä standardin SFS-EN 12464-2:2014 vaatimuksiin. Laaditun laskentamallin ei ole tarkoitus toimia yleisenä esimerkkinä hyvästä valaistuksesta eikä se huomioi muita valaistuksellisia tekijöitä.

Malliin sijoitettiin talo, kolme valaisinpylvästä 10 metrin päähän talosta ja niihin valaisimet valaisemaan piha-aluetta. Pylväiden välimatka oli 14 metriä ja valaisinten asennuskorkeudet valaisintyyppin mukaan 4 metriä tai 8 metriä. Valaisinten teho valittiin niin, että standardin vaatimukset maanpinnan keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta täyttyvät. Kahteen eri korkeudella olevaan ikkunaan sijoitettiin laskentapinnat laskemaan ikkunoihin suuntautuvan valon määrää, ja katupinnasta laskettiin maahan asti tulevan valon määrä. GR-katsojat sijoitettiin 1,6 metrin korkeudelle talon edustalle kävelytietä edustavalle alueelle sekä parkkipaikkaa tai tietä edustavalle alueelle. Laskentapinnat ja -pisteet näkyvät kuvassa 20. Oletuksena oli, että ympärisäteilevän valaisimen tuottamat tulokset ylittävät standardissa asetetut raja-arvot.



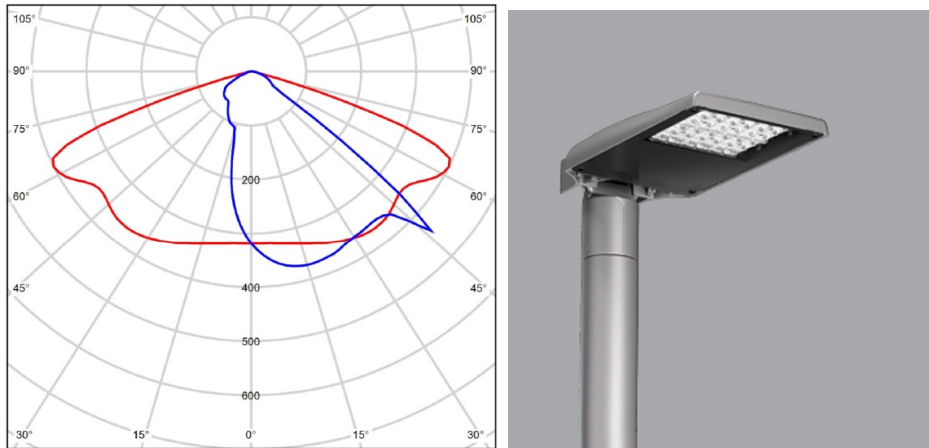
KUVA 20. Laskentapinnat ja -pisteet, joita mallissa käytettiin

DIALux laskee ULR-arvon viiden ”taivaalla” olevan laskentapisteen avulla (kuva 21). Huomioitavaa on, että DIALux huomioi ULR-laskennassa vain suoraan valaisimesta taivaalle säteilevän valon määrän. Se ei siis huomioi pinnoista heijastumalla taivaalle säteilevää valoa, vaan se on otettava erikseen huomioon valaistussuunnittelussa. (DIAL Support Team 2019.) DIALux Evo:n ulko- ja rakennussuunnittelulaskennan valikoimasta ei löydy ULR-arvon laskentaa, joten laskenta tehtiin ohjelman tievalaistuspuolella.



KUVA 21. DIALuxin ULR-laskentaperiaate (DIAL Support Team 2019)

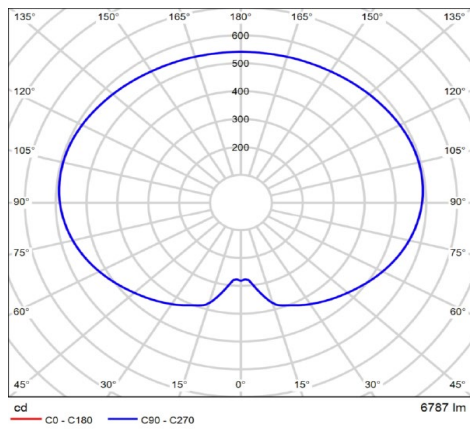
Mallissa käytetty rajattu valaisin ja sen valonjakokäyrä sekä DIALux-mallin kuva nähdään kuvissa 22–23. Kuvat 24–25 esittelevät ympärisäteilevän valaisimen, sen valonjakokäyrän sekä siitä laaditun DIALux-mallin.



KUVA 22. Rajattu valaisin ja sen valonjakokäyrä (iGuzzini 2020)



KUVA 23. Rajattu valaisin DIALuxissa



KUVA 24. Laskennassa käytetty ympärisäteilevä valaisin ja sen valonjakokäyrä (Bega 2020)



KUVA 25. Ympärisäteilevä valaisin DIALuxissa

6.2 Tulokset

DIALux-laskennan tulokset on esitetty taulukossa 4. Taulukon yläosassa näkyvät laskennan tulokset ja alaosassa standardin SFS-EN 12464-2 maksimiarvot kyseisille mittauskohteille.

TAULUKKO 4. DIALux-laskennan tulokset ja standardin raja-arvot

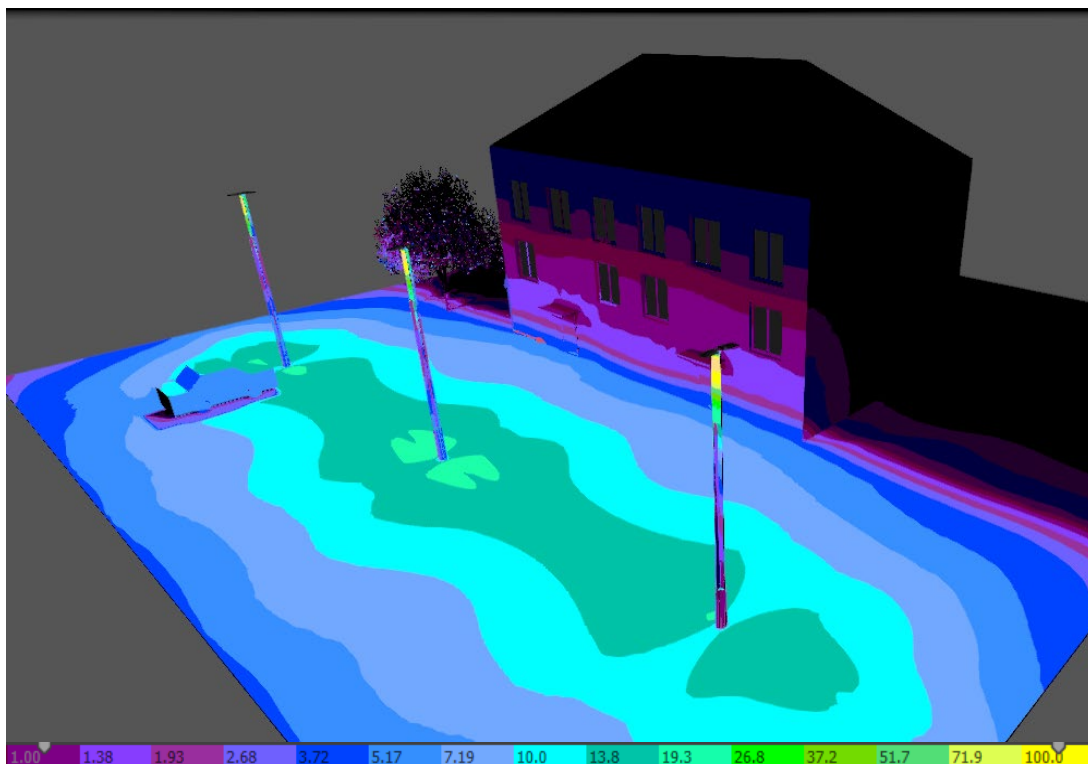
Tulokset DIALux	ULR (%)	Valo ikkunoihin E_v (lx)		GR		Maanpinnan va- laistusvoimakkuus E_m (lx)
		Ylä	Ala	Parkkialue	Kävelytie	
Pallovalaisin	53	5,8	6,3	61	60	6,7
Rajattu valaisin	0	0,6	1,2	48	37	11,3
Raja-arvot 12464-2		Ilta	Yö			
E1	0	2	0	55	50	5
E2	5	5	1			
E3	15	10	2			
E4	25	25	5			

ULR = Taivaan valottuminen

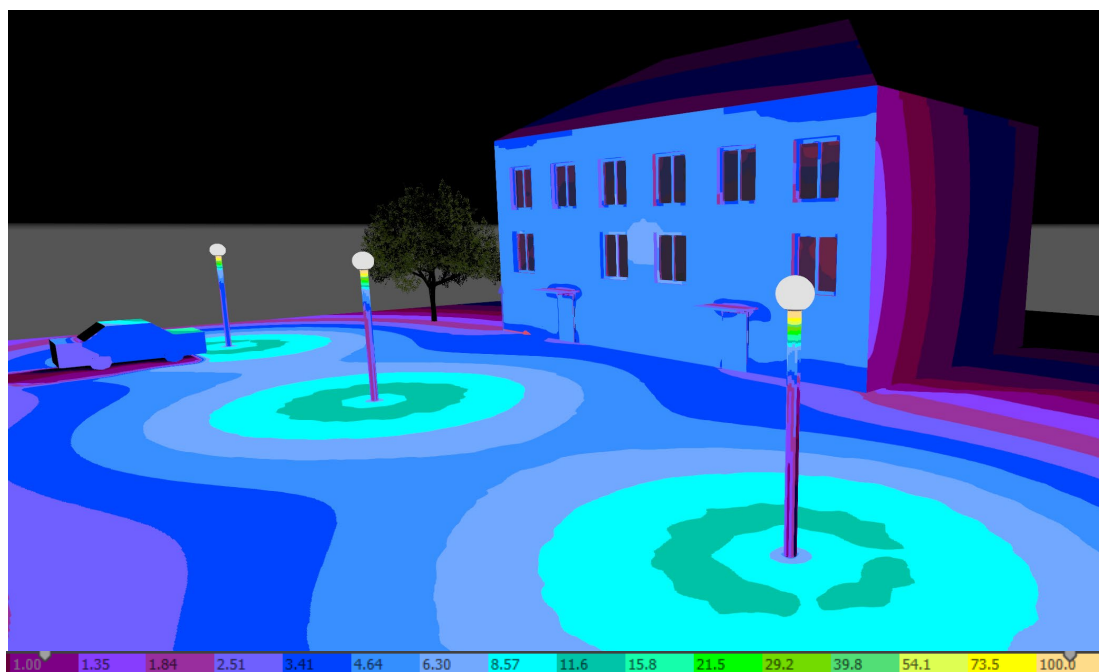
GR = Häikäisyindeksi

Tuloksista havaitaan, että ympärisäteilevällä valaisimella toteutetulla valaistuksella sekä GR- että ULR-arvot ylittävät lähes kaikilta osin ulkovalaistusstandardissa asetetut maksimit. Ilta-aikaan ympäristöalueilla E3 ja E4 ikkunoihin heijastuvan valon määrä ei kuitenkaan ylittäisi standardin maksimiarvoja.

Valaistus, jossa käytettiin rajattua valaisinta, täyttää standardin vaatimukset kaikilta muilta osin, paitsi käytetyllä valovirran määrällä ikkunoihin suuntautuvan valon maksimiarvot ylittyivät yöaikaan ympäristöalueilla E1 ja E2. Väärävärικuvista nähdään, kuinka pintojen valaistusvoimakkuudet kullakin valaisintyyppillä toteutetussa ratkaisussa jakautuvat (kuvat 26 ja 27).



KUVA 26. Rajatulla valaisimella toteutetun valaistuksen väärävärikuva



KUVA 27. Ympärisäteilevällä valaisimella toteutetun valaistuksen väärävärikuva

Kuvan alareunassa oleva asteikko kuvaa kyseisellä värillä väritetyn alueen luksimääriä. Kuvista nähdään, että ympärisäteilevä valaisin valaisee myös rakennuksen julkisivua enemmän kuin rajattu valaisin. Etukäteisolettama siis täyttyi. Voidaan myös todeta, että DIALux-laskennasta voi olla hyötyä valosaasteen määrän

arvioinnissa suunnitteluvaiheessa sekä tilanteessa, jossa suunnitellun valaistuksen häiriövaikutusta on syytä todistella. Täytyy kuitenkin muistaa, että pintojen kautta heijastuva valo on arvioitava vielä erikseen.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia valosaastetta monitahoisena ilmiönä, pohdita hyvän valaistussuunnittelun merkitystä sen vähentämisessä ja selvittää siitä annettuja määräyksiä ja ohjeita. Lisäksi tavoitteena oli tutkia ulkovalaistusstandardin SFS EN-12464-2 vaatimuksia sekä laatia DIALux-valaistuslaskentamalli valosaasteen määrän arviointia ja todentamista varten.

Tutkimukset osoittivat, että valosaaste aiheuttaa monenlaisia haittoja luonnolle, ihmisille ja muille eliöille, ja sen vähentämiseen on syytä kiinnittää enemmän huomiota. Valaistustekniikan kehityksen, LEDien läpimurron ja valaisimien energiatehokkuuden parantumisen myötä ongelma on näyttänyt vain kasvavan. Valaistussuunnittelu on monitahoinen prosessi, jota ei voi korvata pelkästään hyvällä tekniikalla. Saatavilla olevaa tekniikkaa on käytettävä viisaasti, ja valosaastetta voidaan torjua vain suunnittelemalla valaistus huolellisesti.

Selvitystyö osoitti, että suomenkielistä materiaalia ja suomalaista tutkimusta valosaasteesta ja sen vaikutuksista löytyy toistaiseksi vain vähän, joten lähdemateriaalina käytettiin enimmäkseen kansainvälisiä tutkimuksia ja artikkeleita. Toisaalta juuri suomenkielisen materiaalin puute antoi tälle opinnäytetyölle yhden tarkoituksen lisää: tiivistetyn suomenkielisen katsauksen laatimisen. Ulkomaisten ympäristötutkimusten yleistettävyyttä Suomen oloihin voidaan kyseenalaistaa, mutta niistä saadaan ainakin suuntaa antavia tuloksia.

Yksilöiden näkemykset valosaasteesta ovat vaihtelevia. Mikä on yhdelle valosaastetta, ei välttämättä ole sitä toiselle. Kaupungeissa asuvat ihmiset ovat saataneet tottua suureen määrään valoa myös öisin ja pitävät sitä normaalina. Yksi kysymys on, tarvitaanko velvoittavat raamit ja raja-arvot ohjaamaan toimintaa, ja kuinka niitä voitaisiin rakentaa niin, ettei vahingossa kavenneta liikaa mahdollisuuksia erilaisiin hyviin ratkaisuihin. Työssä todettiin, että tiukkojen sääntöjen laatiminen olisi hankalaa, ellei mahdotonta. Suomen laki ei tällä hetkellä tunne valosaastetta, ja valomainoksillekin on määrätty raamit vain maantiealueille. Juuri valotaulut ovat osa-alue, jonka yhteiskunnallinen rajoittaminen olisi hyödyllistä ja vieläpä mahdollista.

Ulkotyöpaikkojen valaistusstandardissa SFS-EN 12464-2:2014 käsitellään häiriövaloa ja häikäisyä ja asetetaan niille raja-arvot. Opinnäytetyön DIALux-laskenta täytti ennakko-oletuksen – laskennassa ympärisäteilevä valaisin ylitti lähes kaikki raja-arvot, kun taas pelkästään alaspäin valoa säteilevä valaisin täytti lähes kaikki kriteerit. DIALuxin voitiin todeta olevan käyttökelpoinen työkalu valosaasteen määrän arviointiin yhdessä standardin kanssa.

Onnistuminen ja ehdotukset jatkotutkimukselle

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Työtä voisi vielä jatkaa laatimalla hyviin käytännön esimerkkeihin perustuvan ohjeistuksen laadukkaan, valosaastetta tuottamattoman valaistuksen toteutussuunnittelusta, missä syvennyttäisiin yksityiskohtaisemmin erilaisiin hyviin toteutusvaihtoehtoihin ja -ratkaisuihin. Tämän työn tavoitteista se rajattiin pois. Työssä on keskitytty enimmäkseen valon negatiivisiin vaikutuksiin ja puutteellisesti suunniteltuihin valaistusesimerkkeihin. Tosiasia kuitenkin on, että valolla saadaan aikaan huomattavan paljon hyvää. Lisäksi tarvittaisiin lisää monialaista tutkimusta valosaasteen fysiologisista vaikutuksista ihmiseen.

Työ on hyvä päättää Suomen ympäristökeskuksen erikoistutkija Jari Lyytimäen viisaisiin sanoihin:

Valosaasteen vähentämisessä ei ole kyse kaiken valaistuksen vastustamisesta, vaan miellyttävän ja turvallisen valoympäristön vaalimisesta. Häiriö- ja töhryvalon vähentäminen on paras, halvin ja ympäristöystävällisin tapa saada keinovalon kauneus kunnolla esiin. (Lyytimäki 2016c.)

LÄHTEET

Aries, M. 2020. Light for humans. Luentotalenne. Katsottu 17.5.2020. https://www.youtube.com/watch?v=hpvo_AA2ptg&feature=youtu.be

Bega. 2020. Tuotetiedot. Luettu 27.5.2020. <https://www.bega.com/en/>

Bennie, J., Davies, T., Duffy, J., Inger, R. & Gaston, K. 2014. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. Scientific reports 4, 3789. <https://www.nature.com/articles/srep03789>

van Bommel, W. & Rouhana, A. n.d. The science of lighting: a guide about the nature and behaviour of light. Signify. E-kirja.

BRE Group. n.d. BREEAM. Luettu 14.5.2020. <https://www.breeam.com/>

BREEAM International New Construction 2016. Pol 04 Reduction of night time light pollution. Julkaistu 3.7.2017. Luettu 14.5.2020. https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/#12_pollution/pol04.htm?Highlight=light%20pollution

Da Silva A, Valcu M & Kempnaers B. 2015. Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. Luettu 5.3.2020. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2014.0126>

DIAL. 2016. Efficiency of LEDs: the highest luminous efficacy of a white LED. Luettu 13.5.2020. <https://www.dial.de/en/blog/article/efficiency-of-ledsthe-highest-luminous-efficacy-of-a-white-led/>

DIAL Support Team. 2019. DIALux board. Upward Light Ratio. Luettu 21.5.2020. <https://dxboard.dialux.com/viewtopic.php?t=86347>

Ensto. n.d. Valaistustekniikka. Luettu 13.5.2020. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398103877.html>

Euroopan parlamentti. 2020. Biodiversiteettikato: mistä se johtuu ja miksi siitä pitää olla huolissaan? Julkaistu 16.1.2020. Luettu 5.2.2020. <https://www.euro-parl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20200109STO69929/biodiversiteettikato-mista-se-johtuu-ja-miksi-siita-pitaa-olla-huolissaan>

Fagerhult n.d.a. Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri. Luettu 17.5.2020.

<http://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>

Fagerhult n.d.b. Valaistussuunnittelijan käsikirja. Luettu 21.5.2020. <https://docplayer.fi/3704275-Valaistussuunnittelijan-kasikirja.html>

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C., Elvidge, C., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N. & Furgoni, R. 2016. The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness. Science Advances 2(6). Light pollution map. [interaktiivinen kartta]. Luettu 15.5.2020. <https://www.lightpollutionmap.info>

Fotios, S., Unwin, J. & Farrall, S. 2015. Road lighting and pedestrian reassurance after dark: A review. Lighting Research and Technology 47 (4), 449-469.

Glamox. n.d.a. Valo ohjaa ihmisen biologista kelloa. Luettu 16.5.2020 <https://glamox.com/fi/-miten-se-toimii>

Glamox. n.d.b. LED-perusteet. Luettu 16.5.2020. <https://glamox.com/fi/led-perusteet->

Green Building Council Finland. 2020. Ympäristöluokitukset. Luettu 14.5.2020. <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset/>

Harsia, P. & Kallioharju, K. 2018. Valo, valosuureet ja peruslait... Tamk Valaistussuunnittelu ja ohjaukset -kurssimateriaali. Luettu 16.5.2020. Ei saatavilla.

Helsingin kaupunki. 2019a. Helsinki selvittää valosaasteen ja häiriövalon määrää kaupungissa. Luettu 13.3.2020. <https://www.hel.fi/uutiset/fi/kaupunkiymparisto/helsinki-selvittaa-valosaasteen-maaraa-181119>

Helsingin kaupunki. 2019b. Valtuutettu Petra Malinin aloite keinovalaistuksen säätelystä ja valosaasteen vähentämisestä. Luettu 13.3.2020. <https://dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2019-004554/kvsto-2019-20/>

Hrishi, R. 2017. Luminance and Illuminance. [Kuva]. Haettu 17.5.2020. <https://www.slideshare.net/hrishihrx/luminance-and-illumiance>

Huhtinen, H. 2019. Ympäristösertifikaatin vaikutus toimistojen vuokratasoon Suomessa. [Taulukko]. Luettu 21.5.2020. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/41760/master_Huhtinen_Helena_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

iGuzzini. 2020. Tuotetiedot. Luettu 21.5.2020. <https://www.iguzzini.com/>

Ilmatieteen laitos. n.d. Alailmakehän otsoni. Luettu 17.5.2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/alailmakehan-otsoni>

International Dark Sky Association (IDA). n.d.a. Outdoor Lighting Basics. Luettu 15.3.2020. <https://www.darksky.org/our-work/lighting/lighting-for-citizens/lighting-basics/>

International Dark Sky Association (IDA). n.d.b. Lighting Zones. Luettu 14.5.2020. <https://www.darksky.org/our-work/lighting/public-policy/model-lighting-laws-policy/lighting-zones/>

Jechow, A. & Hölker, F. 2019. Snowglow – The Amplification of Skyglow by Snow and Clouds Can Exceed Full Moon Illuminance in Suburban Areas. *Journal of Imaging* 5 (8), 69. <https://doaj.org/article/9c0236597b1a4561801f42731077065d>

Jokela, K & Ylianttila, L. Radiometria. n.d. Säteilyturvakeskus. Luettu 30.4.2020. <https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirja-luku-2.pdf/e78f269b-98dc-42e4-bab0-36496e0b3b62>

Järjestyslaki 27.6.2003/612.

Kallioharju, K. & Harsia, P. 2018. Näkeminen, värioppi ja värintoisto. Tamk valaistussuunnittelu ja ohjaukset -kurssimateriaali. Ei saatavilla.

KVS Oy. 2020. Casambilla terveelliseen valaistuksen ohjaukseen. Julkaistu 14.2.2020. Luettu 24.5.2020. <https://www.kvsoy.fi/blog/2020/2/14/casambilla-terveelliseen-valaistuksen-ohjaukseen>

Kyba, C., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C., Gaston, K. & Guanter, L. 2017. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3 (11). Luettu 21.5.2020. <https://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528.full>

Larsen, A. 2016. Valon kaupunki Jyväskylä. Valosaasteeton ulkovalaistus. Luettu 1.3.2020. <https://www.vyl.fi/site/assets/files/1520/annukkalarsen.pdf>

Ledrise. 2019. LED color temperature. Luettu 17.5.2020. <https://www.ledrise.eu/blog/color-temperature-explained-lr/>

LEDVANCE. 2020. LED-valon värit. luettu 24.5.2020. <https://www.ledvance.fi/tuotteet/tuotetiedot/led-perustiedot/led-valojen-vaerit/index.jsp>

Lehmuskallio, P. 2020. [valokuva]. Länsi-Suomi 23.2.2020. Haettu 21.5.2020. <https://ls24.fi/uutiset/satakunnassa-yli-100-vahingontorjuntatehtavaa-yolla-raumalla-merivedenkorkeus-nousi-yli-huippukorkean-ennusteen>

Lighting Design Studio. 2020. luettu 17.5.2020. <https://lightingdesignstudio.co.uk/cri-lighting-design/>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2019. Määräys tienvarsimainonnasta ja -ilmoittelusta 7.11.2019.

LRC. Lighting Research Center. 2007. Light Pollution. National Lighting Product Information Program. Luettu 10.4.2020. <https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpiip/lightinganswers/lightpollution/skyGlow.asp>

Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096.

Lyytimäki, J. & Rinne, J. 2013. Valon varjopuolet. Tampere: Tammerprint Oy.

Lyytimäki, J. 2014. Valosaaste ympäristöongelmana. Katsaus yhteiskunnalliseen ohjaukseen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2014. Luettu 4.3.2020. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135831/SY-KEra_27_2014.pdf?sequence=1

Lyytimäki, J. 2015. Karhunen, M. (toim.) Keinovalolle altistumisesta voi aiheutua terveysongelmia. Savon sanomat 26.10.2015. Luettu 5.3.2020. <https://www.savonsanomat.fi/kotimaa/Keinovalolle-altistumisesta-voi-aiheutua-terveysongelmia/542648>

Lyytimäki, J. 2016a. Valosaasteet. Liikenne- ja viestintävaliokunta. Asiantuntijapyyntö. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2016-AK-57547.pdf>

Lyytimäki, J. 2016b. Vähemmällä valolla parempaa turvallisuutta? Tie & Liikenne 6/2016, 8. https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1351/tl_6-16.pdf

Lyytimäki, J. 2016c. Töhryvalo kannattaa vähentää. Mielipidekirjoitus. Helsingin Sanomat 9.2.2016. <https://www.hs.fi/mielipide/art-2000002884913.html>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Mannervesi, M. 2016. [valokuva]. Tie & Liikenne 6/2016. Haettu 10.5.2020. https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1351/tl_6-16.pdf

Marchant, P. 2011. Radical Statistics 104, 39–48. Luettu 5.2.2020. https://www.researchgate.net/publication/275331092_Radical_Statistics_Issue_104_Have_new_street_lighting_schemes_reduced_crime_in_London

McKensey, J. 2018. Avoid obtrusive light. Build 166, 84–85. <https://www.buildmagazine.org.nz/assets/PDF/Build-166-84-Feature-Exterior-And-Interiors-Avoid-Obtrusive-Light.pdf>

Morrow, E. & Hutton, S. 2000. The Chicago alley lighting project: final evaluation report. Research and Analysis Unit Illinois Criminal Justice Information Authority. Luettu 5.2.2020. <http://www.icjia.state.il.us/assets/pdf/ResearchReports/Chicago%20Alley%20Lighting%20Project.pdf>

Narisada, K & Schreuder, D. 2004. Light pollution handbook. Dordrecht: Springer Science+Business Media.

Nathanson, J. 2010. Light pollution. Britannica Academic.

Oulun kaupunki & Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus. 2018. Luettu 21.3.2020. <https://www.ouka.fi/documents/64248/204925/2020-ulko-ja-tienvarsimainosten-sijoittaminen.pdf/f9bcf3b9-988f-4be4-833d-97efdbbf077f>

Oulun yliopisto. 2020. Valaistussuunnittelun koulutus. <https://www oulu.fi/arkkitehtuuri/node/200742>

Peda.net. 2019. Metallien ominaisuudet. Läpinäkymättömyys. Luettu 26.5.2020. <https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/yl%C3%A4koulu/luku-vuosi-19-20/k7uo/V/mo>

Philips. 2015. Koninklijke Philips N.V. Philips Lighting Academy. Luettu 21.5.2020. http://www.docs.lighting.philips.com/global/lighting_university/courses_new2015/ABT/finnish/office_measure_light_09.html

Rakennustieto Oy. 2015. RT 10-1174. Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo VAL12. RT-kortisto.

Rakennustieto Oy. 2017. RT 75-11263. Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. RT-kortisto.

Reeves, A. 2009. Vision: light and dark adaptation. *Encyclopedia of Neuroscience*, 211–216.

SFS-EN 126464-2. 2014. Light and lighting. Lighting of work places. part 2: Outdoor work places. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

Siironen, R. 2020. Toimitusjohtaja. VALOA design rhs Oy.

Singhal, R. ym. 2019. Eco-physiological responses of artificial night light pollution in plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 66 (2), 190–202.

Smolensky, M., Sackett-Lundeen, L. & Portaluppi, F. 2015. Nocturnal light pollution and underexposure to daytime sunlight: Complementary mechanisms of circadian disruption and related diseases. *Chronobiology International* 32 (8), 1029-1048.

Steinbach, R., Perkins, C., Tompson, L., Johnson, S., Armstrong, B., Green, J., Grundy, C., Wilkinson, P. & Edwards, P. 2015. The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. *Journal of Epidemiology and Community Health* 69 (11), 1118–1124.

Suomen Valoteknillinen Seura ry. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Taustaraportti. Versio 4.0. Luettu 5.2.2020. https://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf

Tampereen kaupunki. 2014. Tampereen kaupungin rakennusjärjestys 1.10.2014.

Terveystieteiden lakien 19.8.1994/763

Tuominen, A. (toim.). 2018. Pohjoisen kasvit ja eläimet kukoistavat yöttömässä yössä. Suomen Luonto. Julkaistu 21.6.2018. Luettu 21.4.2020. <https://suomenluonto.fi/uutiset/pohjoisen-kasvit-ja-elaimet-kukoistavat-yottomassa-yossa/>

Turpen, B. 2017. Optical Systems: Methods of Controlling Light. Lightsearch. Luettu 12.5.2020. <https://www.lightsearch.com/resources/lightguides/optics.html>

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry. n.d. Pimeä taivas. <https://www.pimea-taivas.fi/hukkavallo/>

U.S. Green Building Council USGBC. 2018. LEED v4 for Neighborhood Development. Päivitetty 2.7.2018.

VALOA design Oy. 2014. Senaatintorin valaistuksen yleissuunnitelma. [kuva]. Haettu 27.5.2020. <https://valoa.com/referenssi/valaistuksen-yleissuunnitelma-helsinki-senaatintori/>

VALOA design Oy. 2020. Luettu 27.5.2020. <https://valoa.com/>

Voigt C., Roeleke M., Marggraf L., Petersons G., Voigt-Heucke S. 2017. Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. PLOS ONE 12(5). Luettu 10.4.2020. <https://doi.org/article/363dc14138684e6e91d9912cae691b69>

Wismar University of Applied Sciences. 2020. Architectural Lighting Design, Master. Luettu 23.5.2020. <https://www.hs-wismar.de/studium/beratung-und-information/alle-studiengaenge/architectural-lighting-design-master/>

Xavia, K. 2019. LED Lights May Harm Your Health. Australasian Science 40 (3), 33–35.

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.