



Anna Niemi-Nikkola

## Ihmiskeskeinen valaistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

21.3.2024

# Tiivistelmä

Tekijä:	Anna Niemi-Nikkola
Otsikko:	Ihmiskeskeinen valaistus
Sivumäärä:	51 sivua
Aika:	21.3.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Ossi Hämäläinen

---

Valo vaikuttaa ihmisen elämään visuaalisen näkemisen lisäksi myös syvemmin biologisella tasolla. Vasta viimeisten parinkymmenen vuoden aikana on alettu ymmärtää nämä valon ei-visuaaliset vaikutukset. Tutkimukset saivat alkunsa vuosituhatien alussa löydetystä verkkokalvon valoherkistä gangliosoluista, jotka vaikuttavat aivojen sisäiseen kelloon. Gangliosoluilla arvellaan olevan suuri merkitys ihmisen vuorokausi-rytmiin ja ihmisen vireystilaan. Edelleen ihmiskeskeinen valaistus on valaistusalan keskeisin tutkimuskohde.

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutustua tämänhetkiseen tilanteeseen ihmiskeskeisen valaistuksen tutkimuksessa. Mitä ihmiskeskeisellä valaistuksella tarkoitetaan ja millaisia hyvinvointivaikutuksia sillä on?

Työssä käsitellään aluksi yleisesti valoa ja sen ominaisuuksia sekä sitä, miten näköaistimus silmässä tapahtuu. Seuraavaksi keskitytään ihmiskeskeiseen valaistukseen, sen määrittelyyn ja valon ei-visuaalisiin vaikutuksiin. Tämän jälkeen työssä käsitellään sitä, mitä pitää ottaa huomioon laadukasta ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa ja miten ei-visuaalisia vaikutuksia aikaansaavaa valon määrää voidaan mitata. Lopuksi luodaan katsaus siihen, miten ei-visuaaliset vaikutukset huomioidaan viimeisimmissä standardeissa ja tunnetuimmissa ympäristösertifikaattijärjestelmissä.

Opinnäytetyö osoittaa, että ihmiskeskeistä valaistusta on tutkittu paljon viime vuosina, mutta myös sen miten paljon tutkittavaa vielä riittää jatkossakin. Aihetta koskevat tutkimukset eivät ole täysin ongelmattomia. Myöskään tutkimustuloksista ei olla täysin yksimielisiä. Näitä ongelmakohtia pohditaan työn yhteenvedossa.

Avainsanat: valo, ihmiskeskeinen valaistus, hyvinvointi, EML, m-EDI, CS, ympäristösertifikaatti

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Anna Niemi-Nikkola  
Title: Human Centric Lighting  
Number of Pages: 51 pages  
Date: 21 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Power Engineering  
Supervisors: Ossi Hämäläinen, Senior Lecturer

---

Light affects our lives not only through visual perception but also on a deeper biological level. It is only in the last twenty years that we have begun to understand these non-visual effects of light. Research in this area began with the discovery of light-sensitive ganglion cells in the retina during the early 2000s. These cells play a significant role in regulating our internal body clock and affect our alertness level. Even today, human-centric lighting remains a central focus in the field of illumination research.

The purpose of this thesis work was to explore the current state of human-centric lighting: what it is, what are its well-being effects, how it can be measured, and how human-centric lighting is considered in new standards and environmental certification.

The thesis begins by discussing light and its properties, as well as the process of visual perception in the eye. The subsequent chapter focuses on human-centric lighting, defining it and examining its non-visual effects. Following that, thesis explores considerations for designing high-quality human-centric lighting and methods for quantifying the amount of light that produces non-visual effects. Finally, an overview of how these non-visual effects are addressed in the latest standards and well-known environmental certification systems is provided.

This study shows how much research has been done on human-centric lighting in recent years, but also how much more research there is to be done in the future. The studies around this topic are not completely unproblematic. There is also no complete agreement on the results of the research. These issues are further discussed in the thesis summary.

Keywords: light, Human Centric Lighting, well-being, EML, m-EDI, CS, environmental certification

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valo ja näkeminen	2
2.1	Valo	2
2.2	Valaistustekniikan perussuureet	4
2.3	Silmän rakenne ja näkeminen	5
3	Ihmiskeskeinen valaistus	8
3.1	Ihmiskeskeisen valaistuksen määritelmä	8
3.2	Valon ei-visuaaliset vaikutukset	11
3.2.1	Silmän valoherkät solut	11
3.2.2	Ihmisen vuorokausirytmii ja siihen vaikuttavat hormonit	12
3.3	Valon terveys- ja hyvinvointivaikutuksia	14
3.3.1	Vireystila	15
3.3.2	Mieliala	16
3.3.3	Unirytmien ongelmat	17
4	Valon ominaisuudet ei-visuaalisten vaikutusten kannalta	18
4.1	Spektri	19
4.2	Valaistusvoimakkuus	20
4.3	Ajoitus ja kesto	21
4.4	Valonjako	21
5	Vuorokausivalaistusmittarit	22
5.1	Equivalent Melanopic Lux	23
5.2	Melanopic Equivalent Daylight Illuminance	26
5.3	Circadian Stimulus	27
6	Valaistusstandardit, ympäristöluokitukset ja hyvinvointi	29
6.1	Valaistusstandardit hyvinvoinnin kannalta	29
6.2	Ympäristöluokitukset valaistuksen hyvinvoinnin osalta	32
6.2.1	BREEAM	32
6.2.2	LEED	33
6.2.3	WELL	35

7 Yhteenveto

39

Lähteet

43

## Lyhenteet

- BRE: *Building Research Establishment*. Myöntää BREEAM-sertifikaatin.
- BREEAM: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. Iso-Britanniassa kehitetty kansainvälinen sertifiointijärjestelmä rakennuksille.
- CCT: *Correlated Colour Temperature*. Ekvivalentti värilämpötila, jota käytetään, jos valonlähteen väripiste ei osu hehkusäteilijän väripisteiden uralle.
- CIE: *International Commission on Illumination*. Kansainvälinen valaistuskomitea.
- CLA: *Circadian Light*. Sarveiskalvolle tulevan säteilyn teho painotettuna sirkadiaanirytmien spektriherkkyydellä.
- CS: *Circadian Stimulus*. Numeerinen mittayksikkö valaistuksen vaikutuksiin sirkadiaanirytmien.
- D65: Standardi valonlähde, joka määrittelee valon spektrin. Vastaa keskimäärin valaistusta ulkona pilvisellä säällä noin klo 12.00. Värilämpötila 6500 K.
- DGP: *Daylight Glare Probability*. Päivänvalon häikäisytodennäköisyys.
- EDI: *Melanopic Equivalent Daylight Illuminance*. Päivänvaloa vastaava valaistusvoimakkuus.
- EML: *Equivalent Melanopic Lux*. Valaistusmittari, joka ottaa huomioon valon vaikutuksen ihmisen unirytmien ja muihin ei-visuaalisiin vasteisiin, kuten hormonien tuotantoon ja mielialaan.
- HCL: *Human Centric Lighting*. Ihmiskeskeinen valaistus, joka ottaa huomioon myös valon ei-visuaaliset vaikutukset.
- ipRGC: *Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells*. Silmän valoherkkä gangliosolu.
- ISO: *International Organization for Standardization*. Kansainvälinen standardointijärjestö, joka on maailmanlaajuinen kansallisten standardointielinten liitto.

- LEED: *Leadership in Energy and Environmental Design*. Yhdysvaltalainen rakennuksille kehitetty kansainvälinen ympäristösertifiointijärjestelmä.
- LRC: *Lightning Research Center*. Maailman johtava valaistuksen tutkimus- ja koulutuslaitos Yhdysvalloissa.
- MDER: *Melanopic Daylight Efficacy Ratio*. Valonlähteen ja CIE D65:n spektrijakaumien suhde, jonka avulla voidaan laskea valaistusasennuksen melanooppinen valaistusvoimakkuus lukseina.
- SAD: *Seasonal Affective Disorder*. Kaamosmasennus.
- SCN: *Suprachiasmatic Nucleus*. Suprakiasmaattinen tumake, joka sijaitsee aivojen alaosassa hypotalamuksessa. Toimii ihmisen keskus-kellona.
- SPD: *Spectral Power Distribution*. Kertoo, miten valo jakaantuu eri aallonpituuksille.
- USGBC: *U.S Green Building Council*. Yhdysvaltalainen LEED-ympäristöluokitusjärjestelmää hallinnoiva neuvosto.
- WELL v2: *WELL Building Standard*. Yhdysvalloissa kehitetty rakentamisstandardi.

## 1 Johdanto

Vuosituhansia ihminen eli luonnossa mukautuen päivänvalon rytmiin. Auringon noustessa aamulla ihminen aktivoitui päivän töihin, ja illalla hämärän saapuessa alettiin paneutua yöpuulle. Tämä luonnon valon vaihtelun mukaan eläminen on luonut perustan ihmisen nykyiselle luonnolliselle vuorokausirytmille [1]. Tänä päivänä ihminen viettää suuren osan ajastaan keinovalaistuksessa, joka tuo haasteita siihen, miten luontaista vuorokausirytmää saadaan tuettua.

2000-luvun alussa silmän verkkokalvolta tunnettujen tappi- ja sauvasolujen lisäksi löydettiin uudet valoherkät gangliosolut. Nämä solut eivät osallistu itse näköaistimukseen, mutta niillä on todettu olevan vaikutusta ihmisen hormonitoimintaan ja sitä kautta ihmisen vuorokausirytmiiin ja hyvinvointiin. Valoherkkien gangliosolujen löytyminen mullisti valaistustutkimuksen kentän avaamalla siihen kokonaan uuden tutkimussuunnan, jonka sisältönä ovat valon ei-visuaaliset vaikutukset ihmiseen. Tässä niin kutsutussa ihmiskeskeisessä valaistuksessa pyritään yhdistämään valaistuksen vaikutukset ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. Siinä keskitytään esimerkiksi valaistuksen vaikutukseen unen laatuun, vireystilaan ja mielialaan. Tutkimusten tavoitteena on saavuttaa valaistusratkaisu, joka palvelee kokonaisvaltaisesti ihmistä. [2.]

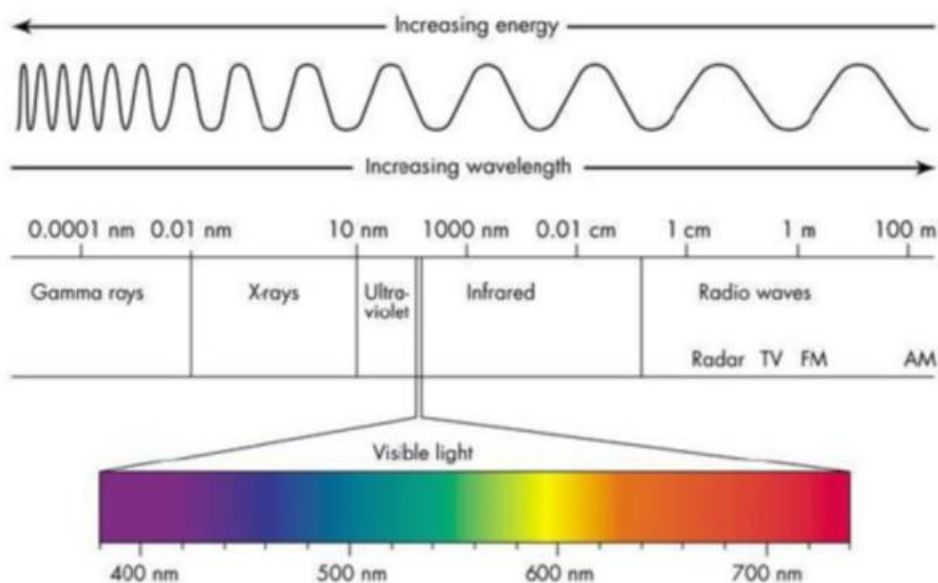
Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä tarkemmin näiden valoherkkien gangliosolujen toimintaan ja siihen, millaisia vaikutuksia niillä on ihmisen ei-visuaaliseen näkemiseen. Tavoitteena on oppia ymmärtämään paremmin valon vaikutuksia ihmisen hyvinvointiin ja ominaisuuksia, joihin valaistusuunnittelussa tulisi keskittyä ihmiskeskeisen valaistuksen luomiseksi. Työssä käsitellään myös mittareita, joilla pystytään osoittamaan ei-visuaalisen valon määrää samaan tapaan kuin visuaalisen valon valaistusvoimakkuutta lukseilla. Työn loppupuolella perehdytään ihmiskeskeisen valaistuksen huomioonottamiseen uusimmissa valaistusstandardeissa ja vapaaehtoisissa ympäristöluokitusjärjestelmissä.

Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena ihmiskeskeisestä valaistuksesta löytyvän aineiston pohjalta. Aineistoa haetaan lähinnä ulkomaalaisesta kirjallisuudesta ja verkkoaineistoista, koska aiheeseen liittyvää suomenkielistä kirjallisuutta on tarjolla vielä verrattain vähän.

## 2 Valo ja näkeminen

### 2.1 Valo

Valo on sähkömagneettista säteilyä. Ihmissilmälle näkyvä osa on kuitenkin vain pieni osa sähkömagneettisen säteilyn spektristä (kuva 1). Näkyvän valon taajuuskaista on UV-säteilyn ja lämpösäteilyn välissä, ja sen aallonpituudet ovat noin 390 nm – 700 nm. [3.]



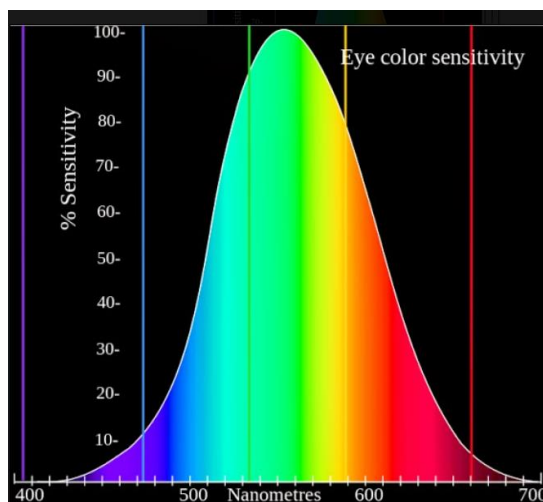
Kuva 1. Valon sähkömagneettinen spektri [3].

Silmä havaitsee näkyvän valon eri aallonpituudet kuvassa 2 esitettyinä väreinä. Lyhin aallonpituus on väriltään violetti ja pisin punainen.

Väri	Aallonpituus nanometriä (nm)
violetti	~ 380–430 nm
sininen	~ 430–500 nm
syaani	~ 500–520 nm
vihreä	~ 520–565 nm
keltainen	~ 565–590 nm
oranssi	~ 590–625 nm
punainen	~ 625–740 nm

Kuva 2. Valon värit ja aallonpituudet [4].

Silmän herkkyyttä eri aallonpituiselle säteilylle kuvataan suhteellisella silmän herkkyyssäyrällä niin sanotulla  $V(\lambda)$ -käyrällä, joka on esitetty kuvassa 3. Silmän herkkyyssäyrä perustuu silmän tappisolulla tapahtuvaan päivänäkemiseen, jolloin valoa on paljon. Ihmissilmän herkkyys on suurin vihreän ja keltaisen valon rajakohdassa noin aallonpituuden 550 nm kohdalla. Ihminen näkee siis keltavihreät sävyt parhaiten. Päivänvalo sisältää kaikki näkyvän valon aallonpituudet eli spektrin. Samoin laadukkaassa lampussa valkoinen valo muodostuu useista eri aallonpituuksista, jotka voi nähdä lampun spektrijakaumasta. [5.]



Kuva 3. Silmän suhteellinen herkkyyssäyrä [5].

## 2.2 Valaistustekniikan perussuureet

Valaistustekniikan perussuureet auttavat ymmärtämään valon ominaisuuksia ja vaikutuksia, ja ne ovat tärkeitä valaistuksen suunnittelussa ja arvioinnissa. Suureet perustuvat näköaistin toimintaan.

*Valovoima* kuvaa valonlähteen tiettyyn suuntaan lähettämää valon voimakkuutta eli intensiteettiä. Valovoiman tunnus on  $I$  ja sen SI-järjestelmän mukainen yksikkö on kandela (cd). Valovoima on perussuure, josta muut suureet on johdettu. [6, s. 34.]

*Valovirta* kuvaa valonlähteen lähettämää valon määrää määrätyllä hetkellä. Valovirta saadaan, kun valonlähteen säteilytehoa painotetaan silmän tappisolujen suhteellisella silmänherkkyydellä. Valovirran yksikkö on lumen (lm) ja tunnus  $\Phi$ . [7.]

*Luminanssi* ( $L$ ) eli valotiheys kuvaa sitä, kuinka valoisana tai kirkkaana jokin pinta näkyy havaitsijalle. Kyseessä on havaitsijan suuntaan oleva valovoima jaettuna kohteen projektiopinta-alalla. Luminanssin yksikkö on kandela per neliometri ( $\frac{cd}{m^2}$ ). [5; 7.]

*Valaistusvoimakkuus*  $E$  kertoo, paljonko valaistavaan kohteeseen tulee valoa. Se kertoo, kuinka paljon valoa kohdistuu määrätylle pinnalle pinta-alayksikköä kohti. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luksi (lx) eli valovirran avulla lausuttuna  $\frac{lm}{m^2}$ . Perinteisesti valaistussuunnittelun tavoitteena on saavuttaa riittävä valaistusvoimakkuus näkökohteessa. [5; 7.]

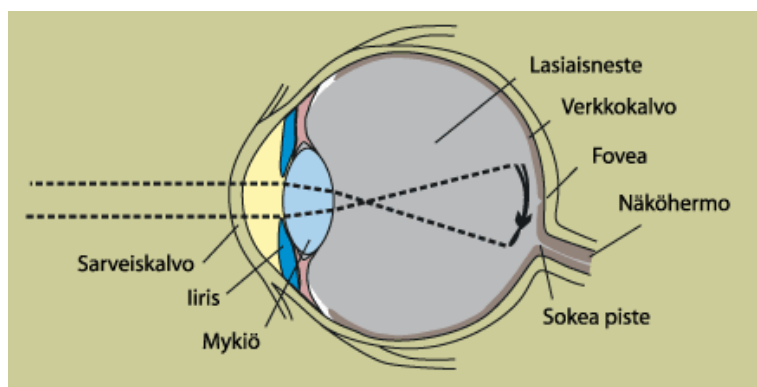
*Väriämpötilan* avulla määritellään valon värilaji. Valon väriämpötila kuvaa sitä lämpötilaa, jossa hehkusäteilijän (Planckin säteilijä) säteilemän valon väri vastaa valonlähteen väriä. Alhaisessa lämpötilassa hehkusäteilijä lähettää punertavaa valoa ja korkeassa lämpötilassa kylmää, valkoista valoa. Valonlähteen väriämpötila ilmoitetaan kelvineinä (K). Yleensä voimakkaassa valaistuksessa

suositaan kylmempää valon värisävyjä kuin matalissa valaistustasoissa, mutta yleisiä suosituksia ei värilämpötilalle anneta. Mikäli valonlähteen väri ei osu hehkusäteilijän väripisteiden uralle, voidaan käyttää ekvivalenttia värilämpötilaa (Correlated Colour Temperature, CCT). [6, s. 59, s. 133; 7.]

### 2.3 Silmän rakenne ja näkeminen

Näkeminen perustuu valoon ja sen heijastumiseen. Valonsäteet heijastuvat näkökentän kohteesta ja kulkevat silmän optisten osien läpi. Näköelin muodostuu silmästä, näköhermosta ja tietyistä aivojen osista. Näköaisti on ihmisen tärkeimpiä aisteja ympäristön käsittelyssä, sillä mikään muu aisti ei pysty tuottamaan niin paljon tietoa ympäristöstä kuin näkö. Ihminen saa näköaistinsa välityksellä 70–80 % siitä tiedosta, mitä hän vastaanottaa kaikkien aistiensa välityksellä ympäristöstä. [8.]

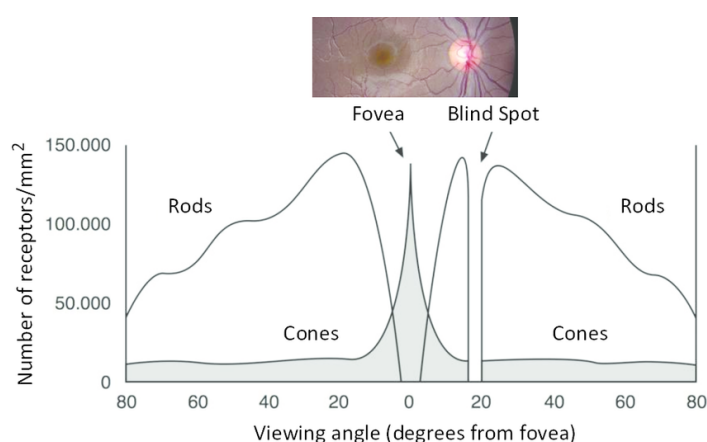
Silmän rakenne on esitetty kuvassa 4. Silmän uloimman kerroksen muodostaa kovakalvo, joka muuttuu etuosastaan sarveiskalvoksi. Sarveiskalvon päätehtävä on läpäistä ja taittaa valonsäteitä. Silmän etuosan värikalvo eli iiris säätelee silmään pääsevän valon määrää. Värikalvon takana sijaitsee mykiö eli linssi, jonka päätehtävänä on taittaa silmään tulevia valonsäteitä ja säätää taittovoima sopivaksi niin, että verkkokalvolle syntyvästä kuvasta tulee terävä. Valo kulkee linssin läpi silmämunan takaosassa olevalle verkkokalvolle ja sen aistin- ja hermosoluille. [6, s. 85–88.]



Kuva 4. Silmän rakenne [9].

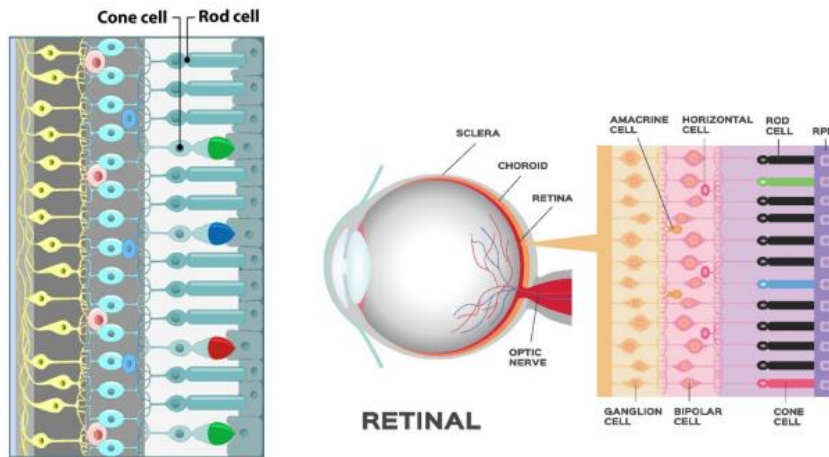
Verkkokalvon uloimmassa kerroksessa olevia aistisoluja kutsutaan sauvasoluiksi (rod cell) ja tappisoluiksi (cone cell) niiden ulkomuodon vuoksi. Kuvassa 5 on esitetty sauva- ja tappisolujen jakaantuminen verkkokalvolla. Sauvasoluja on noin 150 miljoonaa, ja ne sijaitsevat kaikkialla verkkokalvolla lukuun ottamatta verkkokalvon tarkan näön aluetta, foveaa. Sauvasolut mahdollistavat hämäränäön, mutta ne eivät pysty erottelmaan värejä. Tappisoluja on noin 7 miljoonaa keskittyen verkkokalvon tarkan näön alueelle. Tappisolut reagoivat näkyvän valon alueen väreihin ja vastaavat värinäöstä ja yksityiskohdista.

[5; 6, s. 88.]



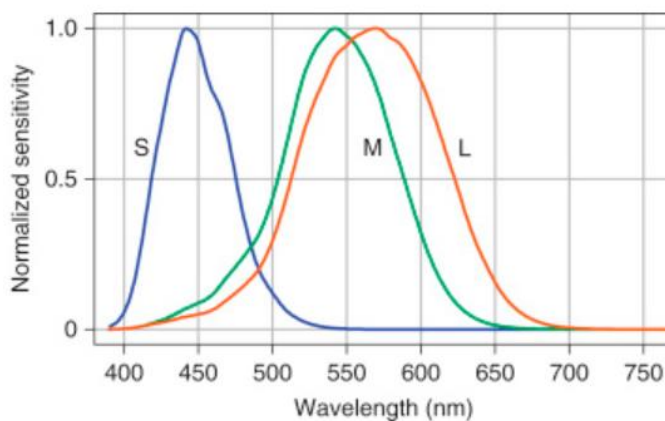
Kuva 5. Sauva- ja tappisolujen jakaantuminen verkkokalvolla [10].

Verkkokalvolla lähimpänä lasiaista sijaitsee noin miljoona gangliosolua (ganglion cell). Tappi- ja sauvasolujen lähettämä näköinformaatio välittyy gangliosoluille välittäjäsolujen (horisontaali-, bipolaari- ja amakriinisolut) kautta, ja edelleen näköhermoa pitkin aivoihin, jossa tiedot tulkitaan ja niistä muodostuu varsinainen näköaistimus. [11; 12.] Verkkokalvon perusrakenne on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Verkkokalvon perusrakenne [13].

Tappisolut jakautuvat kolmeen alatyyppiin sen mukaan, miten ne absorboivat valon eri aallonpituuksia. Normaali värinäkö perustuu näiden eri tappisoluryhmien samanaikaiseen toimintaan. Siniset tappisolut ovat herkimmillään aallonpituudella 447 nm, vihreiden tappisolujen herkin aallonpituus on 540 nm ja punaisten 577 nm [6, s. 96]. Kuvassa 7 on esitetty erilaisten tappisolujen silmänherkkyyskäyrät.



Kuva 7. Tappisolujen herkkyyskäyrät [14].

Väriaistimus syntyy, kun erityyppisiä tappisoluja ärsytetään eri tavoin, ja tämän vuoksi ihminen pystyy näkemään lukemattoman määrän eri sävyjä ja värejä.

Kun siirrytään heikompaan valaistukseen, silmänherkkyysmaksimi siirtyy lyhyempiin aallonpituuksiin. Hyvin heikossa valossa näkeminen tapahtuu ainoastaan sauvasolujen avulla. Sauvasolujen herkkyyskäyrän maksimi on noin 507 nm. [6, s. 96.]

### **3 Ihmiskeskeinen valaistus**

Ihmiskeskeinen valaistus on ollut jo pidempään valaistusmaailman muotitermi. Sen mukaan valaistusta ei pitäisi suunnitella vain tilaa varten, vaan ihmistä varten. Tässä luvussa avataan ihmiskeskeisen valaistuksen käsitettä ja esitellään sen vaikutuksia ihmiseen.

#### **3.1 Ihmiskeskeisen valaistuksen määritelmä**

Pitkään ajateltiin, että hyvän valaistuksen tarkoituksena on pelkästään visuaalinen näkeminen. Hyvä visuaalinen valaistus mahdollistaa hyvän näkösuorituksen, jolloin yksityiskohdat ja värit erottuvat selkeästi. Työtehokkuus ja -mukavuus paranevat hyvän visuaalisen valaistuksen myötä. Hyvä valaistus myös lisää turvallisuutta. Vasta viime vuosikymmeninä on alettu ymmärtää valon ei-visuaaliset vaikutukset. Tämä niin sanottu ihmiskeskeinen valaistus on kokonaisvaltaisempi tapa käsitellä valaistusta, jolloin tavoitteena on yleensä tukea ihmisen luonnollista biologista vuorokausirytmää tai vaikuttaa muuten ihmisen vireystiloihin.

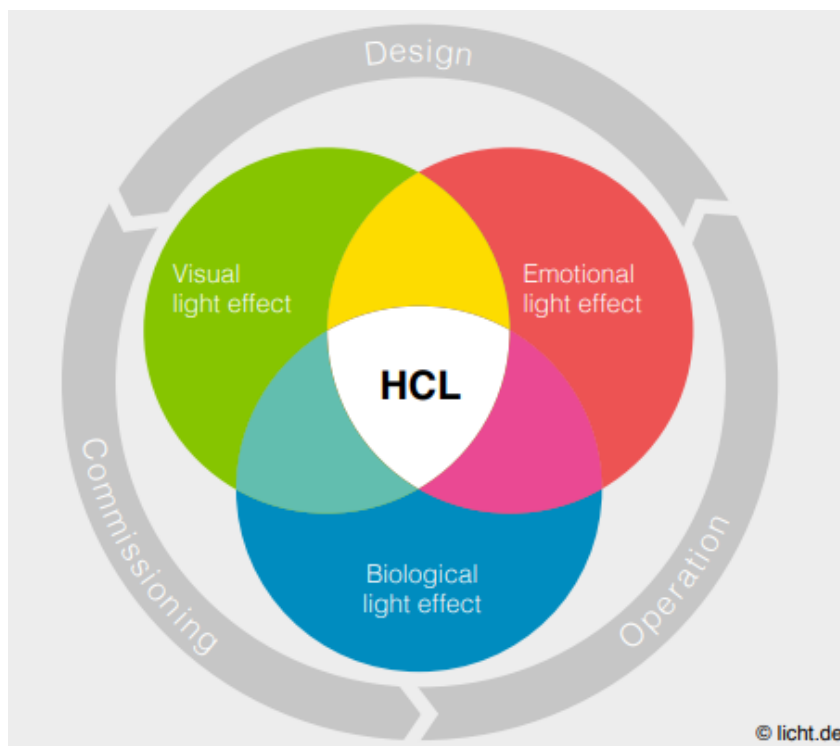
Aiemmat sukupolvet viettivät pääosan ajastaan ulkona luonnollisessa päivänvalossa. Muutos keskipäivän korkeasta valaistustasosta ja päivänvalon värilämpötilasta yön matalampaan valaistukseen tapahtui asteittain. Ihminen synkronoi elämänsä päivänvalon kanssa. Nykyään tätä kutsutaan ihmisen vuorokausijärjestelmäksi tai ”biologiseksi kelloksi”. Länsimaissa ihmiset viettävät 90 % ajastaan huonosti valaistuissa sisätiloissa ja käyttävät sen lisäksi suuren osan ajastaan sinistä valoa tuottavien laitteiden parissa. Usein keinotekoinen valaistus on liian himmeä päivällä ja liian kirkas yöllä. Tämä häiritsee ihmisen luontaista

vuorokausirytmiiä ja lisää riskiä sairastua. Valo vaikuttaa aivojen näkökeskuksen lisäksi koko kehoon, sen vireystilaan, hyvinvointiin ja suorituskykyyn. Elääkseen optimaalisesti ihminen tarvitsee oikean valon värin ja voimakkuuden oikeaan aikaan päivästä. Tällaista ratkaisua kutsutaan ihmiskeskeiseksi valaistukseksi. [15; 16.]

Käsitteenä ihmiskeskeinen valaistus on vielä niin uusi, että sillä ei ole vain yhtä määritelmää. Valaistusalan ihmiset käyttävät aiheesta usein englanninkielistä nimeä Human Centric Lighting (HCL). 2000-luvulla tutkimukset koskien valon merkitystä ihmisen hyvinvoinnille ovat lisääntyneet runsaasti. Valaistusallalla kiinnostus tutkimuksen kaupallistamiseen on ollut suurta. Human Centric Lighting -nimeen törmää eniten valaistustuotteita valmistavien yritysten markkinointiesitteissä, mutta nimen käytön ohjaamiseen ei ole olemassa standardia. Täten samasta asiasta puhutaan myös käyttäen esimerkiksi termejä älykäs valaistus, sirkadiaaninen valaistus, dynaaminen valaistus, biodynaaminen valaistus, Tunable White -valaistus tai CCT-säädettävä valaistus. Yhteistä niille kaikille on kuitenkin ajatus valon avulla käyttäjien hyvinvointiin. [17; 18.]

Kansainvälinen valaistuskomitea, International Commission on Illumination (CIE), käyttää aiheesta termiä Integrative Lighting. Tällöin tarkoitetaan nimensä mukaisesti valaistusta, joka yhdistää valon visuaaliset ja ei-visuaaliset vaikutukset niin, että saadaan aikaan fysiologisia ja psykologisia hyötyjä ihmiselle. [19.]

Lighting Europe on eurooppalaisten valaistusalan yritysten edunvalvontajärjestö, joka on perustettu Brysselissä. Lighting Europe edustaa yli 1000 eurooppalaista yritystä. Järjestöllä on suuri painoarvo, kun käsitellään esimerkiksi Euroopan komission valaistusallaa koskevia määräyksiä. Lighting Europe määrittelee seuraavasti: "Human Centric Lighting on valaistusmenetelmä, joka pyrkii tukemaan ihmisten terveyttä, hyvinvointia ja suorituskykyä yhdistämällä valon visuaaliset, biologiset ja emotionaaliset hyödyt." [20; 21.] Tämä määritelmä on esitetty kuvana 8.



Kuva 8. Valon kolme päävaikutusta: visuaalinen, biologinen ja emotionaalinen [22].

Tunnettu, 75 vuotta vanha ruotsalainen valaistusyrittäjä Fagerhult tukee Lighting European kuvausta. Omissa määritelmässään se lisäksi puhuu lähestymistavasta, jossa huomioidaan ihmisen näkemiseen, fysiologiseen ja psykologiseen liittyvät aspektit. Heidän valaistusratkaisunsa sisältävät tästä syystä seitsemän eri tekijää: näkeminen, suorituskyky, keskittyminen, vireys, mieliala, yleinen terveys ja hyvinvointi. [1.]

Tässä työssä keskitytään lähinnä ihmiskeskeisen valaistuksen biologisiin vaikutuksiin. Valon ei-visuaalisista vaikutuksista puhuttaessa käsitellään sen biologisia vaikutuksia sivuten jonkin verran myös emotionaalisia vaikutuksia.

## 3.2 Valon ei-visuaaliset vaikutukset

### 3.2.1 Silmän valoherkät solut

Yli 150 vuotta tiedemiehet luulivat, että silmän ainoat valoherkät reseptorit olivat sauva- ja tappisolut. Vuonna 2002 David Berson Brownin yliopistosta havaitsi, että verkkokalvon alimmassa kerroksessa oli aiemmin tunnettujen näkökykyyn vaikuttavien aistisolujen tappien ja sauvojen lisäksi myös kolmas valoreseptori. Nämä gangliosolut (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGC) eivät vaikuta itse näköaistimukseen, mutta ne sisältävät valoherkkää proteiinia melanopsiinia, jonka vuoksi gangliosoluilla on todettu olevan vaikutus ihmisen sisäiseen kelloon ja käyttäytymiseen. Valoherkkien gangliosolujen osuus ihmisellä on vain noin 0,8 % kaikista gangliosoluista, mutta ne muodostavat laajan tehokkaasti silmään osuneita fotoneita sieppaavan verkoston. [2; 23; 24.]

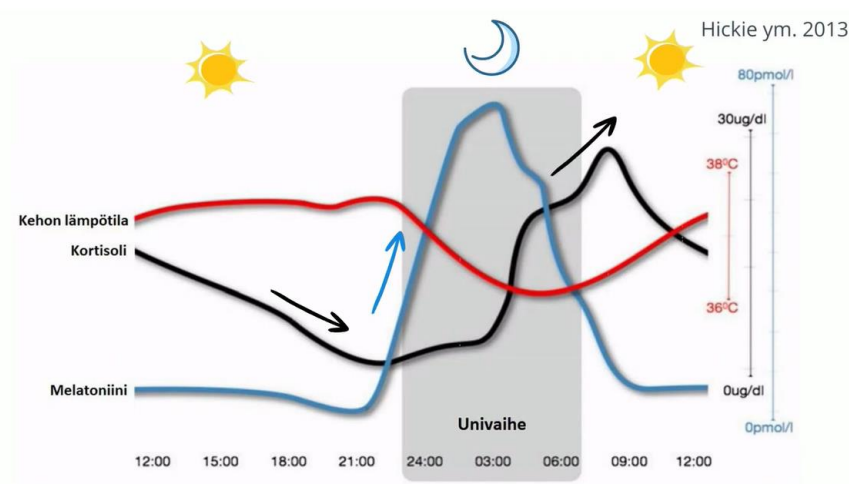
Valoherkkien gangliosolujen herkkyyssäyrä standardoitiin CIE:n toimesta vuonna 2018. Gangliosolujen herkkyyssäyrän huippu on noin 480 nm:n kohdalla eli sinisen valon aallonpituusalueella. Sininen valo stimuloi näiden ipRGC-solujen sisältämää melanopsiiniproteiinia, mikä saa aivojen näköhermojen risteyskohdassa olevan suprakiasmaattisen tumakkeen (SCN) vastaanottamaan silmästä tulevan ärsykkeen. Täältä tieto välittyy edelleen aivojen käpyrauhasseen, joka huolehtii siitä, että tieto välittyy muualle aivoihin ja kehoon. Suprakiasmaattinen tumake on ihmisen sisäinen keskuskello, joka säätelee kehon rytmisiä ja aineenvaihduntaa vuorokaudenajan mukaan. [24; 25; 26.] Kuvassa 9 on esitetty valoärsykkeen eteneminen aivoissa.



jonka vuoksi elimistössä käynnistyvät nukahtamiseen johtavat järjestelmät. Jos keho saa päivän aikana liian vähän valoa, se tuottaa liian vähän melatoniinia, minkä seurauksena ihminen nukkuu huonosti, herää väsyneenä eikä energiaa ja motivaatiota riitä päivän suoritukseen. Valon lisäksi stressi, alkoholi ja ikääntyminen vähentävät melatoniinin tuotantoa. Valon ja pimeyden vaikutusten arvioiminen ihmisen vuorokausirytmiiin on vaikeaa ja kallista tutkimusta, joten suurin osa tutkimuksista perustuu tutkimuksiin valon vaikutuksesta yöllä melatoniinin synteesiin. [26; 27.]

Toinen biologista rytmiä säätelevä hormoni on niin kutsuttu stressihormoni kortisoli. Melatoniini saa ihmisen tuntemaan itsensä uniseksi ja rentoutuneeksi, kun taas kortisoli saa ihmisen tuntemaan itsensä pirteäksi ja aktiiviseksi. Keho tuottaa kortisolia alkaen noin kello kolmesta aamuyöllä. Kortisoli muun muassa antaa keholle energiaa lisäämällä verensokeria. Kortisoli myös ikään kuin ohjelmoi kehon päivän toimintaa varten. Kortisolin ja melatoniinin määrät vaihtelevat siis päivän aikana vastakkaisiin suuntiin. Melatoniini-hormonin taso säätelee myös kehon ydinlämpötilaa. Korkea melatoniinitaso saa kehon lämpötilan laskemaan. Melatoniinin, kortisolin ja kehon lämpötilan vaihtelut on esitetty kuvassa 10. Aamuisin noin klo 9 kortisoli saavuttaa huippupitoisuuden, josta se laskee päivän edetessä. Melatoniinin tuotantohuippu on yöllä noin klo 3.

[27; 28; 29.]



Kuva 10. Ihmisen melatoniinin, kortisolin ja ruumiinlämpötilan vaihtelu vuorokauden aikana [29].

Kirkas valo aamulla tukahduttaa melatoniinin tuotannon gangliosolujen kautta, ja samalla käpylisäke erittää enemmän kolmatta hormonia serotoniinia. Serotoniini eli onnellisuushormoni on hermonvälittäjäaine. Se vaikuttaa esimerkiksi ihmisen mielialaan, ruokahuuun, unen laatuun ja nukkumiseen. Vaikka kortisolitaso veressä tippuisi päivän aikana melatoniiniin verrattuna, niin serotoniini auttaa pitämään vireystilaa yllä. Serotoniinia tarvitaan myös unirytmien pitämisessä mahdollisimman säännöllisenä. [30; 31.]

### 3.3 Valon terveys- ja hyvinvointivaikutuksia

Tutkimukset ihmiskeskeisen valaistuksen ympärillä ovat vielä melko keskeneräisiä ja tulokset hankalasti arvioitavissa. Tämän vuoksi osa valaistusalan yrityksistä ja ihmisistä on sitä mieltä, että on liian aikaista tehdä johtopäätöksiä valon todellisista vaikutuksista ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin. Monissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että huonolla valaistuksella on negatiivisia terveysvaikutuksia erityisesti vuorokausirytmiiin. Altistuminen vääräntyyppiselle valolle aiheuttaa ristiriitaa sisäisen keskuskellon ja todellisen vuorokaudenajan välille, jolloin vaarana on kielteiset vaikutukset käyttäytymiseen, uneen ja muuhun terveyteen. [32.]

Teknisessä raportissaan ISO/CIE TR 21783:2022(E) kansainvälinen standardoimisjärjestö yhteistyössä kansainvälisen valaistuskomitean kanssa toteaa, että ihmiskeskeisestä valaistuksesta voi olla akuutteja tai pitkäaikaisia hyötyjä hyvinvointiin ja mielialoihin. Kohtuullista näyttöä sen mukaan on ihmiskeskeisen valaistuksen vaikutuksista unen laatuun, unen alkamiseen ja suorituskykyyn seuraavina päivinä. Suuri altistuminen valolle iltaisin voi aiheuttaa unihäiriöitä. [32.]

Ihmiskeskeinen valaistus voi myös lisätä kognitiivista suorituskykyä ja vähentää uneliaisuutta ilta- tai yöaikaan, mikä saattaa hyödyttää yötyötä tekeviä. Edelleen ihmiskeskeinen valaistus saattaa auttaa ihmisiä joidenkin sairauksien, kuten demencian, hoidossa. Sen sijaan raportissa todetaan, että vielä ei ole riittävästi todisteita siitä, että ihmiskeskeinen valaistus lisäisi kognitiivista suorituskykyä ja vähentäisi uneliaisuutta päiväsaikaan. Ihmiskeskeinen valaistus voi parantaa akateemista suorituskykyä ja keskittymistä. Tästä on saatu todisteita eläinmaaille, mutta lisää pidemmän aikavälin tutkimuksia ihmisillä tarvitaan. Tällä hetkellä tutkimustulokset ovat vielä hyvin ristiriitaisia. [32.]

Kansainvälinen valaistuskomitea mainitsee lisäksi standardissaan CIE S 026/E:2018 valon vaikutukset vuorokausirytmien siirtymiseen. Altistuminen aamuvalolle tyypillisesti edistää vuorokausirytmää, kun taas vuorokausirytmii viivästyy iltavalosta. Näiden lisäksi standardissa mainitaan, miten valo voi aiheuttaa akuutteja muutoksia ihmisen fysiologiassa ja käyttäytymisessä joko valolle altistuksen aikana tai välittömästi sen jälkeen. Esimerkkejä tästä ovat hormonien erityis, syke, virkeys, ruumiinlämpö, verkkokalvon neurofysiologia, pupillien supistuminen, geeniekspressio ja aivovasteet, kuten hermosolujen toiminta tai myöhempi keskittymiskyky. Valo on osoittautunut myös tehokkaaksi kausiluonteisen ja ei-kausittaisen masennuksen hoidossa. [33.]

### 3.3.1 Vireystila

Useissa tieteellisissä tutkimuksissa valon aallonpituudella on todettu olevan suora vaikutus ihmisen vireystilaan. On havaittu, että lyhyen aallonpituuden,

kirkas ja sinertävä valo aamulla tukee vuorokausirytmiiä ja tekee ihmisestä virkeämpiä ja tehokkaampia. Tämä valo sijaitsee juuri valoherkkien ipRGC-solujen herkkyyskäyrän maksimin kohdalla. [34.]

### 3.3.2 Mieliala

CIE:n standardissa [33] kirjoitetaan, miten kenttätutkimuksissa on saatu hyviä todisteita siitä, että positiivisempaan mielialaan ja parempaan elinvoimaisuuteen liittyy vahvasti suurempi valoaltistus. On myös osoitettu, että kirkkaalle valolle altistumisen jälkeen sosiaalinen vuorovaikutus on sopeutuvampaa. Vielä ei kuitenkaan tiedetä tarkempia syitä tähän ja sitä, millaista valoaltistuksen pitäisi olla. [35.]

Elimistö saa ruoasta tryptofaani-aminohappoa, jonka se muuntaa useiksi tärkeiksi molekyyleiksi, kuten serotoniiniksi ja melatoniiniksi. Nämä molekyylit vaikuttavat esimerkiksi uneen, ruokahaluun, muistiin, mielialaan ja käyttäytymiseen. Alhaiset tryptofaanitasot vähentävät serotoniinin määrää kehossa. Tämän on todettu vaikuttavan aivojen toimintaan ja sitä kautta ihmisen masennukseen ja ahdistukseen. [35; 36.]

Aina keväällä päivien pidentyessä ihminen tuntee itsensä aktiivisemmaksi ja mielensä pirteämmäksi kuin talvikuukausina. Joskus jo sateinen ja pilvinen päivä riittää saamaan olon alavireiseksi. Riski sairastua kausiluonteisiin mielialahäiriöihin on myös suuri pohjoisella pallonpuoliskolla asuville ihmisille. Päivänvalon puute vaikuttaa ihmisiin ja osoittaa sen, että ihminen tarvitsee valoa muuhunkin kuin näkemiseen. Varsinkin talvikuukausina eletään suurimmaksi osaksi sisätiloissa keinovalaistuksessa. Hoitavaa ja ennaltaehkäisevää valoa tuottava ihmiskeskeinen valaistus voi parantaa mielialaa, erityisesti jos kärsii *kaamosmasennuksesta* (Seasonal affective disorder, SAD). [20; 36.]

Lisääntynyt unentarve, energian puute, mielialan vaihtelut ja jopa masennus voivat kehittyä talvikuukausina kaamosmasennukseksi. SAD eroaa muista masennustyypeistä siinä, että oireet katoavat keväällä päivien pidentyessä, mutta

palaavat taas takaisin syksyllä. SADista kärsivät eivät myöskään kärsi unettomuudesta, kuten muut masennuspotilaat. Kaamosmasennuksen aiheuttajaa ei tunneta varmasti. On myös mahdollista, että syitä on useampia. Mahdollisia tutkijoiden löytämiä syitä ovat esimerkiksi silmän fotoreseptorien toimintahäiriö, häiriöt potilaan vuorokausirytmissä ja se, että SAD-potilaat eivät mukaudu lyhyempiin päiviin niin helposti kuin muut. Perinteisesti kaamosmasennusta hoidetaan tehokkaasti kirkasvalolampuilla. Myös ei-kausittaiseen masennukseen aamulla annettava valoterapia on todettu toimivaksi hoitomuodoksi. [25.]

### 3.3.3 Unirytmien ongelmat

Unen ajankohdan ja sisäisen rakenteen määrittelevät vuorokausirytmii ja ihmisen valvoessa kertyvä unipaine. Näistä keskuskelloon perustuva vuorokausirytmii on määräävämpi uni-valverytmien syntymiselle. Valoisan ja pimeän ajan vaihtelu ovat keskuskelloa eniten määrittävät ulkoiset aikamerkit. Uni-valverytmien häiriöitä ovat viivästynyt unijakso, aikaistunut unijakso, kaamosunettomuus, epäsäännöllinen unirytmii, tahdistumaton unirytmii, vuorotyöunettomuus sekä aikaerorasitus. [37; 38.]

Kun keho seuraa luonnollisen päivänvalon mallia, uni paranee. Unen laatu paranee johtuen paremmasta hormonitasapainosta, kun melatoniinia erittyy oikeaan aikaan päivästä. Jos keho ei saa aamulla reilua annosta valoa, vuorokausirytmii sekoaa, ja keho saa tiedon, että on aika nukkua päivällä ja valvoa yöllä. Tätä voi verrata aikaerorasitukseen, jetlagiin. Jotta melatoniinituotanto vaimeenee, kirkasta valoa tarvitaan riittävä aika. Altistusaika riippuu valon aiheuttaman ärsyksen voimakkuudesta. Jos taas illalla nukkumaanmenoaikaan altistuu älypuhelimien tai muiden elektronisten laitteiden siniselle valolle, melatoniinin tuotanto ja unentulo viivästyvät. Unen laatu myös kärsii. Uniongelmillla on merkittäviä vaikutuksia terveysongelmiin, kuten unihäiriöihin, masennukseen, liikaliivuuteen ja erilaisiin sairauksiin, jopa sydänsairauksiin ja syöpään. [14; 39.]

Unirytmien häiriöissä oireet johtuvat sisäisen kuskuskellon ja ympäristön ulkoisen aikataulun välisestä epätahdistuksesta. Viivästyneessä unijaksossa häiriötä hoidetaan kirkasvalolla aamulla ja lisämelatoniinilla illalla ennen nukkumaanmenoa. [37.]

Lähes 20 prosenttia Euroopan ja Pohjois-Amerikan työvoimasta tekee yövuoroja, jotka eivät ole hyväksi terveydelle. Tutkimukset yövuorojen terveyshaitoista ovat vielä keskeneräisiä, ja siksi on vaikeaa luoda asiaa koskevia tarkkoja sääntöjä koskien valaistusta. Yötyön vaikutukset riippuvat myös yksilön henkilökohtaisista ominaisuuksista, elämäntavasta ja uni-valverytmien epäsäännöllisyydestä. Joka tapauksessa on selvää, että altistuminen valolle yövuorojen aikana voi vähentää melatoniinin eritystä ja vaikuttaa unen ajoitukseen. Tämän vuoksi yövuorotyössä tulisi huomioida oikeanlaiset valaistusmallit. Aikaerorasituksella ja yötyön tekemisellä on samankaltaisia seurauksia ihmiselle. Keho ei pysty selviytymään suurista häiriöistä uni-valverytmissä. Aikaerorasituksesta johtuviin unihäiriöihin suositellaan auringonpaisteesta oleskelua tai kirkasvaloa. [37; 39.]

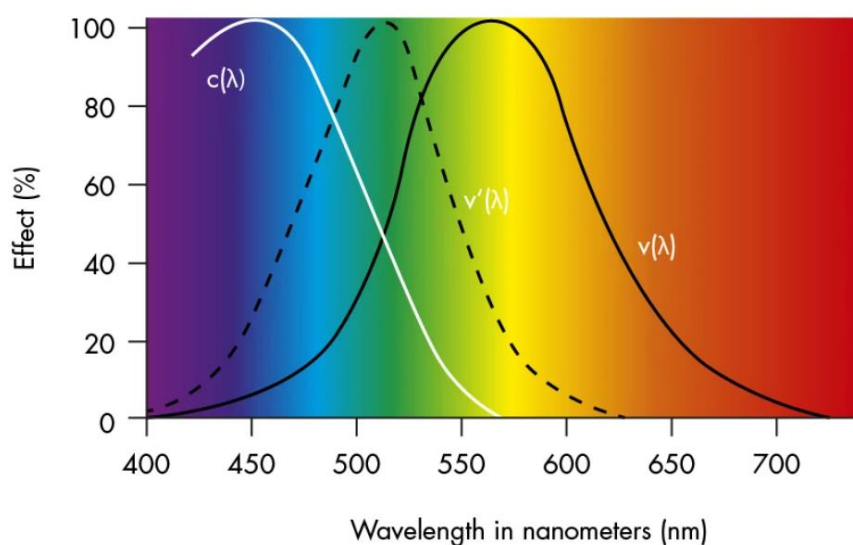
On myös tutkittu paljon uniongelmiin vaikuttavien tekijöiden vaikutuksia päivällä tapahtuviin kognitiivisiin toimintoihin. Valppauden ja luovuuden on todettu kärsivän huomattavasti uniongelmissä, ja työtapaaturmien riski on merkittävästi kohonnut. [39.]

#### **4 Valon ominaisuudet ei-visuaalisten vaikutusten kannalta**

Standardit antavat perinteisesti tietyt viitearvot sille, minkä verran valoa tulee olla, jotta ihminen näkee iän mukaisesti ja voi työskennellä turvallisesti ja virheettömästi. Kaikkia valaistuksen ei-visuaalisia vaikutuksia ihmisen biologiaan ei vielä tunneta. Ihmiskeskeisessä valaistuksessa pyritään kuitenkin jäljittelemään päivänvaloa terveen vuorokausirytmien tukemiseksi. Teknologinen kehitys, joka on tapahtunut viime vuosina, erityisesti LED-valaistus, mahdollistaa ihmiskeskeisen valaistuksen. Laadukasta valaistusta suunniteltaessa keskitytään etenkin näihin neljään parametriin: spektriin, valaistusvoimakkuuteen, ajoitukseen ja keston sekä valonjakoon [40].

## 4.1 Spektri

Verkkokalvon tappisolut reagoivat päivänvalon punaiseen, vihreään ja siniseen säteilyyn. Päivänvalon herkkyyskäyrän maksimi on noin 555 nm. Hämäränäöstä vastaavat silmän sauvasolut. Erityisesti sininen spektri, jonka aallonpituus on noin 460–480 nm, on biologisesti vaikuttava alue. Tämän aallonpituuden valoa on paljon auringonvalossa. [30; 40.] Kuvassa 11 on esitetty silmänherkkyyskäyrät.



*Silmänherkkyyskäyrä päivänvalossa  $v(\lambda)$ , hämärässä  $v'(\lambda)$  ja sirkadiaaninen herkkyys  $c(\lambda)$*

Kuva 11. Silmän sirkadiaaninen herkkyys, herkkyyskäyrä hämärässä ja herkkyyskäyrä päivänvalossa [30].

Verkkokalvon ipRGC-solut ovat herkimpiä siniselle valolle, jonka aallonpituus on 480 nm. Valkoiseen valoon, jolla aktivoidaan biologisia vaikutuksia, on siksi lisätty sinisiä aallonpituuksia. Tätä kutsutaan kylmäksi valkoiseksi valoksi. Sen värilämpötila on vähintään 5000–6000 kelviniä. Kuten aiemmin on jo todettu, altistuminen siniselle valolle vähentää melatoniinin eritystä. [30.]

Päivänvalo sisältää kaikki aallonpituudet. Jos halutaan luoda sähkövalo, jolla on samat vaikutukset ihmisen hormonituotantoon kuin päivänvalolla, on sähkövalolla oltava samanlainen spektri. Yksittäisen ledin spektri on kapea, ja siinä on piikki sinisen aallonpituuden kohdalla. Sinisestä ledistä saadaan valkoinen valo päällystämällä sininen ledi sopivalla loisteaineella. Yhdistelemällä lämpimän ja kylmän sävyisiä ledejä sekä värillistä valoa tuottavia ledejä voidaan valon värisävyä ja spektriä muokata. Aamulla lisätään sinistä valoa ja illalla punaista.

## 4.2 Valaistusvoimakkuus

Biologisen kellon järjestelmässä tärkeä osa on melatoniinihormonin tuotanto. Sen tuotanto vaihtelee kellonajan mukaan. Sitä erittyy eniten yöllä, ja päivällä sen taso on matala. Altistuminen valolle estää melatoniinin muodostumista voimakkaammin. Melatoniinin tuotannon väheneminen alkaa, kun valaistusvoimakkuus vertikaalitasolla on 30 luksia. Melatoniinin määrä elimistössä on saavuttanut maksiminsa, kun valaistusvoimakkuus silmien tasolla on 1000 luksia. [30.]

Vuonna 2019 yhdysvaltalainen standardointilaitos Underwriters Laboratories (UL) esitteli uuden ohjearvon valaistusvoimakkuudelle, jolla pystytään vähentämään melatoniinin tuotantoa riittävästi sirkadiaanisen rytmin siirtämiseksi. Tämä suositus on 254 luksia pystysuorasti valaistustavan ollessa epäsuora ja värilämpötilan ollessa 5000 K, joka vastaa 30 prosentin melatoniinin laskua. [30; 40.]

Vaakasuuntainen valaistusvoimakkuus työtasolla on kaksi tai jopa kolme kertaa suurempi kuin pystysuuntainen valaistusvoimakkuus. Uudessa sisävalaistusstandardissa [41] on huonepinnoille tulevia valaistusvoimakkuuksia nostettu selvästi aiempaan verrattuna. Horisontaalivalaistusvoimakkuuksille on annettu arvot vaaditulle tasolle ja muokatulle tasolle. Tyypilliselle toimistoympäristölle on määriteltä vaadituksi tasoksi 500 luksia ja muokatuksi tasoksi 1000 luksia. Tämä antaa mahdollisuuden toteuttaa päivän mukaan vaihteleva valaistustaso. [30.]

### 4.3 Ajoitus ja kesto

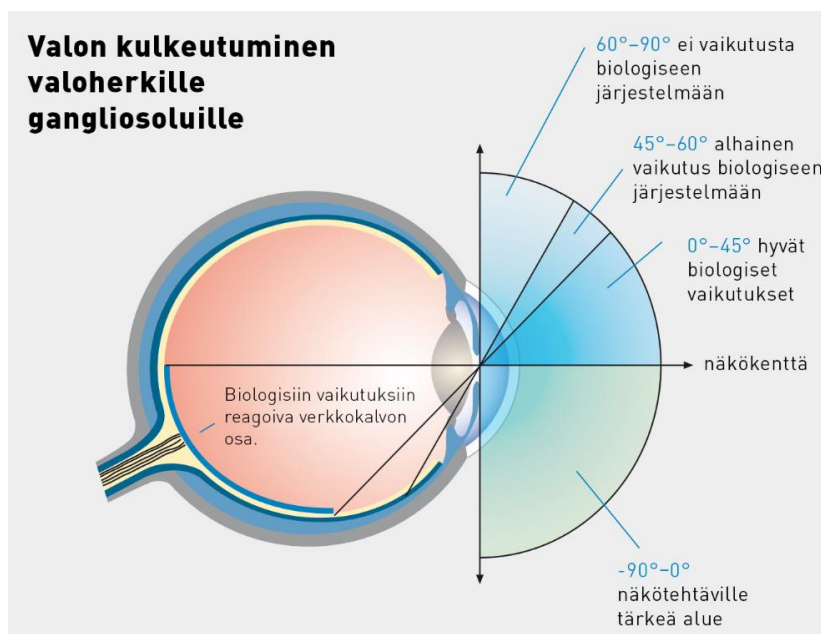
Valaistuksen ajoitus on yksi oleellisimmista tekijöistä, jotka vaikuttavat ihmisen biologisen rytmiin. Altistuminen valolle aamulla heti elimistön lämpötilan minimiarvon jälkeen kertoo elimistölle uuden päivän alkamisesta ja aktivoi elintoinnot tätä varten. Aamuvalolla on merkitystä myös pitkäkestoiseen valppauteen. Valolle altistuminen illalla taas heikentää melatoniinin tuotantoa ja vaikeuttaa nukahtamista sekä vaikuttaa unen laatuun heikentävästi. [30.]

Valon kestoa koskevien ohjeiden laatiminen on hankalaa, koska asiaan vaikuttavat myös henkilökohtaiset mieltymykset ja halutun vuorokausirytmien siirtymä. Yleisesti ajatellaan, että mitä suurempi valolle altistumisaika on, sitä suurempi on vuorokausirytmien siirtymä. Suhde ei kuitenkaan ole suoraviivainen, sillä myös lyhytkestoinen altistus kirkkaalle valolle voi siirtää vuorokausirytmää. Tämä on riippuvainen siitä, miten herkkä ihminen on valoaltistuksen ensimmäisessä vaiheessa. On myös todettu, että kirkas valo ei välttämättä automaattisesti lisää valppautta, vaan aktiivisuuden lisäämiseen tarvitaan jatkuvaa tai toistuvaa altistusta valolle. [30; 42.]

### 4.4 Valonjako

Valaisimien sijoittelu ja muut ominaisuudet vaikuttavat valon jakautumiseen. Tutkimuksissa on todettu, että hieman yläviistosta tuleva valo on tehokkainta biologisten vaikutusten aikaansaamiseksi, koska verkkokalvon alaosassa sijaitsevien gangliosolujen on todettu olevan herkempiä valolle. Jos valolla halutaan saada aikaiseksi ei-visuaalisia vaikutuksia, valon täytyy tulla silmään. Valolla, joka tulee 60–90° yli vaakatason tai alaviistosta, ei ole juurikaan merkitystä melatoniinin tuotantoon. Sen sijaan 0–45°:n kulmassa tulevalla vertikaalivalolla on merkittävä vaikutus ihmisen biologiseen järjestelmään (kuva 12). Tyypillinen katsekentän raja horisontaalitasosta alapäin on 70° ja ylöspäin sisätiloissa noin 50° ja ulkona 20°. Tämän vuoksi sisällä huonepintojen luminansseilla on suuri merkitys. [20.] Uusitussa sisätyöpaikkojen standardissa [41] on huonepinnoille

suositeltuja valaistusvoimakkuusarvoja nostettu huomattavasti aiempaan verrattuna.



Kuva 12. Valon tulosuunta biologisten vaikutusten kannalta [suomennettu, alkuperäinen 20].

Standardien noudattaminen sekä häikäisy- että luminanssivaatimusten osalta on tärkeää. Liian suuret valaistusvoimakkuudet ja vääränlainen valon saanti voivat aiheuttaa epämukavuutta ja kiusahäikäisyä katsojalle. Hyvä valaistus voidaan toteuttaa esimerkiksi suurilla valaistuilla pinnoilla kattopinnassa yhdistettynä seinänpesijöihin tai epäsuoraa valoa tuottavilla riippuvalaisimilla. [40.]

## 5 Vuorokausivalaistusmittarit

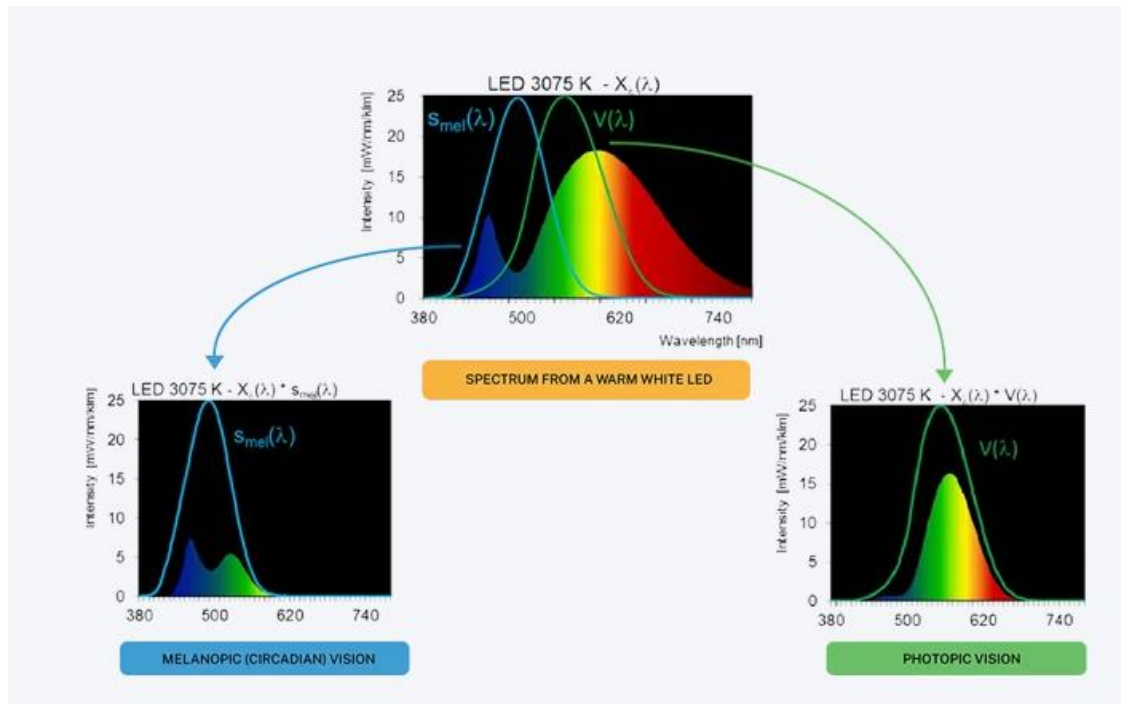
Ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa ei voida tarkastella vain visuaalisen näkemisen valaistusvoimakkuusarvoja lukseina. Suunnittelussa on tärkeää tietää, kuinka paljon ja minkä tyyppistä valoa tarvitaan eri vuorokaudenaikoina, jotta valo jäljittelisi mahdollisimman hyvin päivänvaloa tukien kehon luonnollista vuorokausirytmää. Jokaisella valonlähteellä ja valaistusasetuksella on oma vaikutuksensa näkemiseen ja vuorokausirytmiiin. Viimeisten 20 vuoden aikana

tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että valosta saatavilla reaktioilla on omat spektriset herkkyydet, jotka eroavat näköjärjestelmästä. Tämä on johtanut uusiin sirkadiaanisiin mittareihin, jotka ilmaisevat valon mahdollisia vaikutuksia. Valaistusmittarit on kehitetty työkaluiksi valaistusalan ammattilaisille mittaamaan tarkemmin sirkadiaanisen valaistuksen toteutumista sisätiloissa. Kolme yleisintä sirkadiaanista valaistusmittaria ovat Equivalent Melanopic Lux (EML), Circadian Stimulus (CS) ja Melanopic EDI (m-EDI).

### 5.1 Equivalent Melanopic Lux

EML-arvot muodostivat perustan melanooppisten laskelmien tekemiselle. Lucas ja muut työryhmän jäsenet ehdottivat artikkelissaan ”Measuring and using light in the melanopsin age” Neuroscience-lehdessä vuonna 2014 valon vaikutusten sirkadiaanisen rytmin mittaamista yksiköllä melanooppinen luksi eli Equivalent Melanopic Lux (EML) [43]. ipRGC-solujen sisältämän melanopsiinin spektrin maksimikohta on 480 nm, joka poikkeaa visuaalisen, lähinnä tappisolusta riippuvan, näkemisen herkkyyssäyrän maksimista 555 nm:stä. Tämän vuoksi perinteiset visuaaliset mittarit, jotka on suunniteltu mittaamaan valon vaikutusta ihmisen näköön, eivät ole sopivia mittaamaan valon vaikutusta ihmisen unirytmiiin. [44.]

EML-arvot saadaan painottamalla eri valaistuslähteiden säteilyteho vuorokausirytmistä ja muista ihmisen ei-visuaalisista prosesseista vastaavien valoherkkien ipRGC-solujen herkkyyssäyrällä eikä silmän visuaalisesta näkemisestä vastaavien tappi- ja sauvasolujen herkkyyssäyrällä, kuten tavallisissa lukseissa [44]. Kuvassa 13 on esitetty spektriherkkyyssäyrällä painottaminen.



Kuva 13. Spektriherkkyyssäyrällä painottaminen [45].

Valon biologisia vaikutuksia mitattaessa on tärkeää keskittyä valon tulosuuntaan. Erityisesti silmiin kohdistuvan pystysuoran valaistusvoimakkuuden tulisi olla ensisijainen arvioinnin kohde. Tämän takia EML tulee mitata vertikaalitasolla noin 1,2 metrin korkeudelta (eli pystysuora valaistus silmien korkeudella istuessa) toisin kuin perinteiset valaistusvoimakkuusmääräykset neuvovat. [46.]

EML-arvon laskemiseksi mitattu valaistusvoimakkuus lukseina kerrotaan valonlähteen melanooppisella kertoimella (Melanopic Ratio, MR), kuten kaavassa 1 on esitetty. Melanooppinen kerroin mittaa, kuinka paljon valonlähde stimuloi ihmisen vuorokausijärjestelmää. MR ottaa huomioon valon spektrin ja intensiteetin mittauspisteessä. [47.]

$$EML = E \cdot MR \quad (1)$$

EML on melanooppinen valaistusvoimakkuus

E on valaistusvoimakkuus (luksi)

MR on valonlähteen melanooppinen kerroin.

Taulukossa 1 on esitetty suuntaa antavia melanooppisia kertoimia joillekin valonlähteille. Kertoimien avulla voidaan laskea, että esimerkiksi 4000 Kelvinin led-valaisimella mitattua 1000 luksin valaistustehoa vastaa 760 melanooppista luksia.

Taulukko 1. Suuntaa antavia melanooppisia kertoimia (MR) eri valonlähteille [46].

<b>CCT (K)</b>	<b>Valonlähde</b>	<b>Kerroin</b>
2700	LED	0,45
3000	Loistelamppu	0,45
2800	Hehkulamppu	0,54
4000	Loistelamppu	0,58
4000	LED	0,76
5450	CIE E	1,00
6500	Loistelamppu	1,02
6500	Päivänvalo	1,10
7500	Loistelamppu	1,11

EML on siis mittari, joka ottaa huomioon valon vaikutuksen ihmisen unirytmiiin ja muihin ei-visuaalisiin vasteisiin, kuten hormonien tuotantoon ja mielialaan. Se auttaa valaistussuunnittelijoita ymmärtämään paremmin, kuinka erilaiset valaistusolosuhteet voivat vaikuttaa ihmisten biologisiin rytmeihin ja siten heidän terveyteensä ja hyvinvointiinsa. EML on kuitenkin vain arvio, ja se voi vaihdella eri valonlähteiden ja valaistusolosuhteiden mukaan. EML edellyttää myös tietoa valon spektristä.

## 5.2 Melanopic Equivalent Daylight Illuminance

Melanooppinen EDI tulee sanoista Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI tai EDI), eli kyseessä on päivänvaloa vastaava melanooppinen valaistusvoimakkuus. Kansainvälinen valaistuskomissio CIE on hyväksynyt M-EDImittarin ja se on korvannut Equivalent Melanopic Luxin valaistusstandardina. EML:n korvaamaan haluttiin mittari, jonka yksikkönä on SI-yksikkö. [48.]

m-EDI ei mittaa suoraan melanopsiinin herkkyyttä, koska SI-järjestelmän yksiköt eivät sisällä tätä herkkyyttä. m-EDI on suunniteltu mittaamaan valaistuksen vaikutusta unirytmiiin vertaamalla valaistusta päivänvaloon. Melanopic EDI -arvo ilmoittaa vastaavan luksimäärän, jota kyseinen valonlähde tuottaa, jos se tuotettaisiin CIE:n standardoimalla päivänvalolähteellä D65. D65 SPD (Spectral Power Distribution) kuvaa keskipäivän valaistusta, ja sen väriämpötila on noin 6500 K. [47; 4, s.135–136.]

Melanopic Daylight Efficacy Ratio (MDER) on valonlähteen ja CIE D65:n spektrijakaumien suhde, jonka avulla voidaan laskea valaistusasennuksen melanooppinen valaistusvoimakkuus lukseina. Valonlähteellä, joka lähettää D65-vastaavaa säteilyä, MDER-arvo on 1. Yleisesti valonlähteillä, joilla on korkeampi CCT, on korkeampi MDER-arvo kuin sellaisilla valonlähteillä, joilla CCT on matalampi. Jos taas tunnetaan valaisimen melanooppinen kerroin, valaistusasennuksen melanooppinen valaistusvoimakkuus pystytään helposti laskemaan kertomalla fotooppinen valaistusvoimakkuus melanooppisella suhteella (kaava 2). Näin saatu arvo on päivänvaloa vastaava painotettu valaistusvoimakkuus m-EDI. M-EDI-arvot saa helposti mitatuksi spektripohjaisella mittarilla. [47; 48.]

$$m\text{-EDI} = \text{MDER} \cdot E \quad (2)$$

m-EDI on päivänvaloa vastaava valaistusvoimakkuus

MDER on melanooppinen päivänvalokerroin

E on valaistusvoimakkuus.

Molemmat mittarit EML ja m-EDI pyrkivät mittaamaan valon vaikutusta unirytmiiin, mutta ne tekevät sen vain hieman eri tavalla. EML käyttää melanooppista suhdetta valaistusvoimakkuuden ja melanooppisen luksin välillä, kun taas EDI vertaa valaistusasetusta päivänvaloon. Molemmat arvot perustuvat samaan fysiologiseen vasteeseen, ja ne saadaan kertomalla visuaalisen näkemisen valaistusvoimakkuus kertoimilla Melanopic Ratio (MR) ja Melanopic Daylight Efficacy Ratio (MDER). Tämän vuoksi melanooppiset mittayksiköt voidaan muuntaa helposti toisikseen kaavoilla 3 ja 4. [47.]

$$MR = 1,103 \cdot MDER \quad (3)$$

MR on valonlähteen melanooppinen kerroin  
MDER on melanooppinen päivänvalokerroin.

$$m - EDI = 1,103 \cdot EML \quad (4)$$

m – EDI on päivänvaloa vastaava valaistusvoimakkuus  
EML on melanooppinen valaistusvoimakkuus.

EDI:n tuottama melanooppinen suhde on hieman korkeampi kuin EML:n vastaava suhde. Tästä syystä EDI-suositukset saattavat vastata paremmin tarvittavia määriä. CIE:n suositus EDI-lukemalle on päivällä vähintään 250 luksia mitattuna pystytasosta noin 1,2 metrin korkeudelta (eli pystysuora valaistus silmien korkeudella istuttaessa). Iltaisin vähintään kolme tuntia ennen nukkumaanmenoa melanooppisen EDI-arvon tulisi olla maksimissaan 10 luksia. Öisin nukkumistilassa tulisi olla mahdollisimman pimeää. Suurimman suositellun EDI-arvo tulisi olla 1 luksi silmästä mitattuna. [50.]

### 5.3 Circadian Stimulus

Lightning Research Center (LRC) on maailman johtava valaistuksen tutkimus- ja koulutuslaitos Yhdysvalloissa. LRC on tutkinut runsaasti sitä, miten

valaistuksen avulla pystytään ohjaamaan sirkadianirytmiiä. Circadian Stimulus (CS) on LRC:n kehittämä numeerinen mittayksikkö valaistuksen vaikutuksiin sirkadianirytmiiin. CS kuvaa ihmisen reaktiota valoon melatoniinin suhteen, kun taas EML ja EDI kuvaavat valonlähteen tehokkuutta melanopsiinin stimuloimisessa. CS on mittari, joka osoittaa, kuinka hyvin yhden tunnin altistuminen päivän aikana valonlähteelle, joka tuottaa tietyn valaistuksen ja valon aallonpituuden, stimuloi sirkadianista järjestelmää perustuen sen kykyyn estää melatoniinihormoni. [51.]

CS-arvon laskemiseksi on tärkeää tietää sarveiskalvoon osuvan valon spektri-kauma. On siis tiedettävä, paljonko valoa eri aallonpituuksilla osuu silmään. Tämän perusteella voidaan laskea Circadian light (CLA), joka tarkoittaa sarveiskalvolle tulevan säteilyn tehoa painotettuna sirkadianirytmiiin spektriherkkyydellä. CS-arvo saadaan laskettua sen jälkeen kaavan 5 avulla. Esimerkiksi CS-arvo 0,3 tarkoittaa, että elimistön melatoniinin tuotanto on tippunut 30 % maksimiarvosta. [51.]

$$CS = 0,7 - \frac{0,7}{1 + \left(\frac{CLA}{355,7}\right)^{1,1026}} \quad (5)$$

CS on Circadian stimulus

CLA on Circadian light.

CS-arvo vaihtelee välillä 0,1–0,7. Arvo 0,1 edustaa rajaa, jolloin valo alkaa vaikuttaa sirkadianiseen järjestelmään. Arvo 0,7 kuvaa taas sitä rajaa, jolla sirkadianinen järjestelmä on saavuttanut maksimaalisen vasteensa valolle. Tutkimusten mukaan yli CS 0,3:n altistus aamupäivisin vaikuttaa yöunen edistämiseen, uneliaisuuden vähentämiseen päivällä ja mielialaan positiivisesti. [52.]

UL Solutions on maailmalaajuinen johtava sovelletun turvallisuustieteen yritys, jolla on asiakkaita yli 100 maassa. UL loi maailman ensimmäisen sirkadianisen testilaboratorion ja lanseerasi Circadian-Effective Luminaire Performance Verification -järjestelmän. UL vastaanottaa valmistajilta valaisimia testatakseen niiden sirkadianitehokkuudet kaikilla kolmella mittarilla EML, EDI ja CS. [53.]

Valaistusalan tutkimuksissa ei ole päästy yksimielisyyteen, mikä edellä mainituista mittareista mittaa parhaiten valon vaikutusta ihmisen vuorokausirytmiiin. Uusimmissa tutkimuksissa on pystytty osoittamaan, että ipRGC-solujen lisäksi myös sauva- ja tappisolut osallistuvat sisäisen kellon säätelyyn. CS:n puolesta puhuu se, että CS ottaa huomioon silmän kaikki viisi fotoreseptoria, kolme eri tappisolua, sauvasolut ja gangliosolut, kun taas EML ja EDI perustuvat vain silmän gangliosoluihin. Toisaalta CIE on hyväksynyt m-EDIn mittayksiköksi sirka-diaanisen valon määrälle, ja sen standardissa annetaan suositukset SI-yksikölliselle EDI-arvolle. CIE tai IES eivät kuitenkaan ole vielä hyväksyneet CS-mittaria viralliseksi. Seuraavassa luvussa esiteltävä uusiin WELL 2.0 -ympäristöstandardi antaa myös pisteitä rakennuksen EML- tai EDI- arvojen perusteella, ei CS-arvojen. [47; 52.]

## **6 Valaistusstandardit, ympäristöluokitukset ja hyvinvointi**

### **6.1 Valaistusstandardit hyvinvoinnin kannalta**

Valaistusalan standardeihin on tullut vain vähän muutoksia, vaikka valaistusala on kehittynyt paljon viimeisten vuosikymmenten aikana. Alun perin standardit on kehitetty näkemisen tehokkuuden varmistamiseksi. Standardit kertovat, millainen valaistus on määrällisesti ja laadullisesti riittävä. Sisätyöpaikkojen valaistusstandardi SFS-EN 12464-1:2021 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus päivitettiin syksyllä 2021. Se käsittelee sisätyöskentelytilojen valaistusvaatimuksia näkötehokkuuden ja näönmukavuuden pohjalta. Standardi ei ole velvoittava Suomessa kuten monissa muissa Euroopan maissa. Standardin varsinainen velvoittava osa ei ota kantaa valon ei-visuaalisiin vaikutuksiin muuten kuin mainitsemalla päivänvalon hyvänä sisävalaistusratkaisuna muun muassa sen hyvän värinvalon, spektrin ja valaistusvoimakkuuden vaihtelun vuoksi. Päivänvalon saamisen vuoksi standardi kehottaa suosimaan työpaikoilla ikkunoita varustettuna kuitenkin häikäisysuojalla. SFS-EN 12464 myös mainitsee, että jos päivänvaloa käytetään sisätilojen

valaistuksessa, standardissa EN 17037 määritellään päivänvalolaskennassa käytetyt mittayksiköt ja laskentamenetelmät. [41.]

Ei-näköaistimusta synnyttävä valaistus ja valon värivaikutelma määritellään tarkemmin taas julkaisuissa CEN/TR 16791:2017 ja CIE S 026:2018. Lisäksi sisätyöpaikkojen valaistusstandardin liitteessä B: Lisätietoja valon visuaalisista vaikutuksista ja ei-visuaalisista (ei-näköaistimusta synnyttävistä) vaikutuksista on tarkemmin tuotu esiin valon vaikutuksia ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. Liite B ei ole velvoittava muissakaan maissa. [41.]

Liitteessä B puhutaan aistitusta huoneen valoisuudesta (luminanssijakauma), joka syntyy valaistuksen ja esineiden sekä huonepintojen heijastusominaisuuksien välisestä vuorovaikutuksesta. Tällä on tärkeä vaikutus henkilön hyvinvointiin ja vireyteen. Luminanssia on hankala arvioida rakennusvaiheessa, minkä vuoksi käytännöllisempää on arvioida valaistusvoimakkuuksia. Huoneen valoisuuden arvioimiseen käytetään seinä-, katto- ja sylinterivalaistusvoimakkuuksia. Vaihtoehtoisia arviointimenetelmiä on kolme: ympäristön keskimääräinen valaistusvoimakkuus, huoneen pintojen keskimääräinen valon tuotto ja 40 asteen kaistan luminanssi. [41.]

Liitteessä puhutaan myös valaistustilanteiden vaihtelun tärkeydestä. Vaihtelemalla valaistusvoimakkuutta, luminanssijakaumia ja eri värilämpötiloja voidaan parantaa ihmisten hyvinvointia. Erikseen mainitaan mahdollisuus vaikuttaa henkilökohtaisesti valoasetuksiin käyttäjän tyytyväisyyttä lisäävänä ratkaisuna. Päivänvalo huomioidaan olennaisena valonlähteenä ihmisten hyvinvoinnille, mutta myös sen vuorovaikutus sähkövalaistuksen kanssa mainitaan äärimmäisen tärkeänä. Esimerkiksi valaistusvoimakkuuden tasaisuusvaatimuksia, jotka eivät täyty päivänvaloa hyödynnettäessä, voidaan kompensoida sähkövalolla. Liitteessä kuvataan päivänvalosta saatavia hyötyjä ja esitellään päivänvalostandardin CEN/TR 16791:2017 antamia vaatimuksia. [41.]

Standardi SFS-EN 17037:2018 + A1:2021 Daylight in Buildings käsittelee yksinomaan päivänvaloa. Standardi ei ole velvoittava Suomessa. Standardissa

suositellaan päivänvalon käyttöä tiloissa, joissa se on mahdollista. Standardi antaa suositukset riittävälle päivänvalolle ja suoran auringonvalon saatavuudelle sekä näkymälle ulos. Myös häikäisylle ja häikäisysojaukselle annetaan ohjeita. Standardin mukaan tilassa on riittävästi päivänvaloa, jos tavoitteena oleva valaistusvoimakkuus saavutetaan vähintään 50 prosentille määrittelypinnasta vähintään puolessa päivänvalotuntien määrästä. Lisäksi jos päivänvalo tulee pystysuorista tai kallistetuista aukoista, minimivalaistusvoimakkuus on saavutettava 95 prosentilla pinnasta. Tilan vertailutaso sijaitsee 0,85 m lattian yläpuolella, ellei toisin mainita. Tavoitetasot valaistusvoimakkuudelle annetaan kolmessa eri luokassa: minimi, keskitaso ja korkea. [55.] Tavoitetasot pystyasennossa oleville tai kallistetuille ikkunoille on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Valaistusvoimakkuuden tavoitetasot, kun ikkunat ovat pystyasennossa tai kallistettu [55].

<b>Tavoite- taso</b>	<b>Tavoiteva- laistusvoi- makkuus</b>	<b>Osuus tarkastelu- tasosta</b>	<b>Minimiva- laistusvoi- makkuus</b>	<b>Osuus tarkastelu- tasosta</b>	<b>Osuus päivän- valotun- neista</b>
Minimi	300 lx	50 %	100 lx	95 %	50 %
Keskitaso	500 lx	50 %	300 lx	95 %	50 %
Korkea	750 lx	50 %	500 lx	95 %	50 %

Vastaavat tavoitetasot vaakatasossa oleville ikkunoille on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Valaistusvoimakkuuden tavoitetasot, kun ikkunat ovat horisontaalitasolla [55].

Tavoitetaso	Tavoitevalaistusvoimakkuus tarkastelutasolla	Osuus tarkastelutasosta	Osuus päivänvalotunneista
Minimi	300 lx	95 %	50 %
Keskitaso	500 lx	95 %	50 %
Korkea	750 lx	95 %	50 %

Päivänvalon määrä voidaan laskea tietokoneavusteisesti käyttäen hyväksi päivänvalokertoimia. Voidaan myös hyödyntää sijaintipaikan ilmastotietokantoja ja sopivaa aikaporrasta. Häikäisyä arvioidaan päivänvalon häikäisytodennäköisyyden (Daylight Glare Probability, DGP) avulla. Menetelmä perustuu empiiriseen tutkimukseen tyytymättömien henkilöiden osuudesta. [55.]

## 6.2 Ympäristöluokitukset valaistuksen hyvinvoinnin osalta

Kansainvälisten ja kansallisten valaistusjärjestöjen standardien lisäksi on olemassa useita kaupallisia sertifiointielimiä, joilla on omat rakennusten sertifiointiohjelmansa. Sertifiointiohjelmat tarjoavat työkalut ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi. Ohjelmat eivät ole velvoittavia tai pakollisia, eli niillä pystytään ennemminkin osoittamaan rakennuksen täyttävän tietyt kriteerit. Nämä ympäristösertifiointijärjestelmät huomioivat myös hyvinvoinnin edistämisen valaistuksella, mutta markkinalähtöisyytensä takia niihin kannattaa silti suhtautua kriittisesti.

### 6.2.1 BREEAM

Isobritannialainen BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) -luokitus pohjautuu yhteiseen eurooppalaiseen

normistoon ja on siksi Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä. BREEAM on myös maailman ensimmäinen rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä. BREEAM-hankkeessa paikallinen lisensoitu arvioija, BREEAM assessor, tarkastaa vaatimusten täyttymisen. Tämän jälkeen Building Research Establishment (BRE) myöntää tämän raportin ja laatuauditoinnin jälkeen BREEAM-sertifikaatin. Täytettyjen kriteerien perusteella saatavien pisteiden mukaan rakennukselle myönnetään seuraavat luokitukset: Pass (läpäisty), Good (hyvä), Very Good (erittäin hyvä), Excellent (erinomainen) ja Outstanding (erityisen hyvä). BREEAM on yksityiskohtaisempi kuin muut sertifiointimallit, mutta samalla joustavampi. Kansalliset standardit huomioimalla se on pyritty tekemään käyttökelpoiseksi kansallisella tasolla. [56; 57; 58.]

Uudishankkeisiin sovellettava BREEAM New Construction versio V6.0:ssa on yhdeksän osa-aluetta. Näistä kategorian Health and wellbeing (Terveys ja hyvinvointi) alakategoriasta Hea 01 Visual comfort (Visuaalinen viihtyvyys) löytyvät valaistus ja sen ohjausta koskevat kriteerit. Päivänvaloon liittyviä pisteitä saa, kun päivänvalosuhte ylittää määrätyn arvon. Tilan käyttötarkoitus määrittää päivänvalon valaistusvoimakkuudelle annetut tavoitearvot. Pisteitä saa myös näkymästä ulos. Kriteeristön taulukoissa on esitetty vaatimukset eri näkymäetäisyyksille ja ikkunan osuudelle seinästä. Pisteiden saamiseen vaaditaan myös, että riittävä määrä lattiapinta-alasta on tarpeeksi lähellä ikkunaa, josta on näkymä ulos. Häikäisynesto täytyy suunnitella niin, että päivänvalon saanti maksimoidaan myös pilvisinä päivinä eikä energiankulutus kasva sähkövalojen käytön seurauksena. [58; 59.]

## 6.2.2 LEED

Yhdysvaltalainen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) -luokitus on maailman tunnetuin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä. Sen vahvuutena on yhtenäinen kriteeristö ja vertailtavuus koko maailmassa. Luokitusjärjestelmää käytetään yli 160 maassa. Myös Suomessa LEED on selvästi suosituin järjestelmä hankkeiden ympäristösertifiointiin. LEED-hakemukset tarkastaa ja sertifikaatin rakennukselle myöntää U.S. Green Building Council

(USGBC). LEED-järjestelmässä sertifioitavat rakennukset luokitellaan neljään eri tasoon: Certified, Silver, Gold ja Platinum. [56; 60.]

Uusin LEED-versio on loppuvuodesta 2023 julkaistu LEED v5. Tästä ei kuitenkaan löytynyt vielä yksityiskohtaisempia kriteeristöjä uusille rakennuksille, joten työssä käsitellään edellistä versiota LEED v4 ja sen alakohtaa LEED BD+C: New Construction. Järjestelmässä on yhdeksän kategoriaa, joista valaistukseen liittyviä pisteitä voi saada kolmesta kategoriasta: Sustainable sites: Light Pollution Reduction, Energy & atmosphere: Optimize energy performance (energia-kysymysten osalta) ja Indoor environmental quality: Interior Lighting ja Daylight. Näistä viimeinen käsittelee myös valaistuksen ei-visuaalisia kysymyksiä. Kaiken kaikkiaan valaistus on vain hyvin pieni osa LEEDiä. [60; 61.]

Sisätilojen valaistuksen tavoitteena on parantaa käyttäjien mukavuutta ja työkentelytehokkuutta sekä edistää käyttäjien hyvinvointia. Alakohtia on kolme: Glare control (häikäisy-suojaus), Color rendering (värintoistokyky) ja Lighting control (valaistuksen ohjaus). Toteuttamalla näiden kaikkien kohtien kriteerit voi saada yhteensä kaksi pistettä. Alakohtiin annetaan tarkat lukuarvot tavoitteille, esimerkiksi käytössä olevista tiloista 90 %:ssa on oltava himmennettävä tai monitasoinen valaistus. Valaisinten luminanssille annetaan yläraja tai, vaihtoehtoisesti värintoistoindeksiin täytyy olla tarpeeksi korkea pois lukien epäsuoraa valoa antavat valaisimet. Seinien ja kattojen pintaheijastuskyvylle annetaan myös ylärajat. [61.]

Daylight (päivänvalo) -alakohdassa halutaan vahvistaa vuorokausirytmeyttä vähentämällä sähkövalaistusta päivänvaloa hyödyntäen. Pisteitä voi saada enimmillään kolme. Edellytyksenä pisteiden saamiselle on häikäisy-suojat kaikissa säännöllisesti käytettävissä tiloissa. Pisteitä saa riittävästä päivänvalon osuudesta säännöllisesti käytettävällä lattiapinta-alalla. Vaatimusten täyttämiseen on kolme eri vaihtoehtoa. Ensimmäisessä päivänvalosimuloinnin avulla osoitetaan, että valaistusvoimakkuuden vähimmäismäärä on 300 luksia päivänvaloa ainakin 50 % tilan käyttöajasta. Vaihtoehtoisesti voidaan osoittaa päivänvalosimuloinnin avulla, että riittävässä osassa tiloista pilvettömänä päivänä kello 9–15 välisenä

aikana saavutetaan 300–3000 lx päivänvaloa. Kolmas vaihtoehto on osoittaa mittauksilla, että riittävässä osassa tiloista saavutetaan 300–3000 lx päivänvaloa. [56; 61.]

### 6.2.3 WELL

WELL Building -sertifikaatti on Yhdysvaltalaisen International WELL Building Institutin vuonna 2014 julkaisema sertifiointiohjelma. Siinä missä BREEAM ja LEED ovat toisilleen vaihtoehtoisia sertifiointijärjestelmiä, WELL erottautuu niistä siinä, että se keskittyy yksinomaan tilan käyttäjien terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseen. WELL paremminkin täydentää BREEAMia ja LEEDiä kuin kilpailee niiden kanssa. WELL-sertifiointi ohjaa suunnittelemaan ja toteuttamaan tiloja käyttäjien hyvinvoinnin näkökulmasta ottaen huomioon myös tilojen myöhemmän, varsinaisen käytön. Alkuperäisen WELL-version (v1) rinnalle on jatkokehitetty toinen versio (v2). Versiossa 2 kategorioita on lisätty, pakollisia vaatimuksia on vähemmän ja valinnaisten vaatimusten sisällöissä on valinnanvaraa. Versiota 2 kuvataan aiempaa joustavammaksi. Versiossa 2 kategorioita on kymmenen, joista yksi on valaistus (kuva 15). Näiden lisäksi Innovation (Innovaatio) -konseptista voi ansaita 10 lisäpistettä. WELL-sertifikaatissa on neljä tasoa: WELL Platinum (platina), WELL Gold (kulta), WELL Silver (hopea) ja WELL Bronze (pronssi). [56; 62.]



Kuva 14. WELL-version v2 kategoriat sekä niiden sisältämien pakollisten ja valinnaisten vaatimusten kokonaismäärät [suomennettu 63].

WELL-sertifiointissa valaistus otetaan huomioon laajemmin kuin monessa muussa ympäristöluokituksessa. Myös ei-visuaaliset vaikutukset ihmisen hyvinvointiin huomioidaan useammasta näkökulmasta. Valaistusosion tavoitteena on tarjota valaistusympäristö, joka vähentää vuorokausivaihtelun häiriötä, parantaa unen laatua ja vaikuttaa positiivisesti mielialaan ja tuottavuuteen. Valaistusosiossa on yhdeksän kategoriaa, jotka on esitetty taulukossa 4. Vaikka versiossa 2 sirkadianrytmi ei ole enää sertifiointin saamiseksi edellytettävä osa-alue, kuten ensimmäisessä versiossa, painotetaan silti edelleen vuorokausivaihtelun saatavuutta joko päivänvalon muodossa tai sähköisistä lähteistä. Pakollisia vaatimuksia sertifiointin saavuttamiseksi on kaksi. Lisäksi lisäpisteitä on mahdollista saavuttaa seitsemässä osa-alueessa. [63.]

Taulukko 4. WELL-sertifiointin Light (Valo) -kategorian osa-alueet.

	<b>Pisteet</b>	<b>Kategoria</b>
L01	Precondition (Edellytettävä)	Light Exposure (Valaistuksen saatavuus)
L02	Precondition (Edellytettävä)	Visual Lighting Design (Visuaalinen valaistussuunnittelu)
L03	3 Pts	Circadian Lighting Design (Sirkadiaaninen valaistussuunnittelu)
L04	2 Pts	Electric Light Glare Control (Keinovalon häikäisyn hallinta)
L05	4 Pts	Daylight Design Strategies (Päivänvalon suunnittelustrategiat)
L06	2 Pts	Daylight Simulation (Päivänvalon simulointi)
L07	1 Pts	Visual Balance (Visuaalinen tasapaino)
L08	3 Pts	Electric Light Quality (Keinovalon laatu)
L09	3 Pts	Occupant Lighting Control (Valaistusryhmien ohjattavuus)

Osa-alue L03 (Circadian lighting design) koskee ihmisen biologista vuorokausirytmää tukevaa valaistussuunnittelua. Se ottaa kantaa vuorokausirytmää vahvistaviin valaistustasoihin. Valaistusta tarkastellaan melanooppisen luksiarvon eli

EML:n tai päivänvaloa vastaavan valaistusvoimakkuuden m-EDI-arvojen mukaan.

Taulukossa 5 esitettyjen työpisteiden EML- tai M-EDI-arvojen täytyy olla voimassa vähintään neljän tunnin ajan alkaen viimeistään keskipäivästä kaikissa säännöllisesti käytössä olevien tilojen työpisteillä. Lukemat tulee mitata noin 45 cm:n korkeudelta työtasosta eli silmän korkeudelta vertikaalitasolla. Päivänvalo on hyvä väline tämän osa-alueen pisteiden saavuttamiseen. [63; 64.]

Taulukko 5. WELL-sertifikaatin Circadian Lighting Design -kategorian vaadittavat EML-/ m-EDI -arvot.

Kynnysarvo		Kynnysarvo projekteille, joissa on lisäksi päivänvalo	Pisteet
Vähintään 150 EML [136 m-EDI(D65)]	OR	Vähintään 120 EML [109 m-EDI(D65)] ja joko L05 osa 1 tai L06 osa 1	1
Vähintään 240 EML [218 m-EDI(D65)]	OR	Vähintään 180 EML [162 m-EDI(D65)] ja joko L05 osa 1 tai L06 osa 1	3

Kategoriassa L05 Daylight Design Strategies pisteitä annetaan hyvästä päivänvalon suunnittelusta tarkoituksena tarjota päivänvalolle altistumista sisätiloissa. Tämä varmistetaan sijoittamalla työpisteet ikkunoiden läheisyyteen. Samassa kategoriassa pisteitä saa myös aurinkosuojajärjestelmistä. Kuudennessa kategoriassa L06 Daylight Simulation vaatimuksiin kuuluu varmistaa päivänvalon riittävä saatavuus tietokonesimulaatioiden avulla. Riittävällä 300 luksin valaistusvoimakkuudella (sDA300,50 % -arvo) määrätyissä osissa eri alueita voi saada maksimissaan kaksi lisäpistettä. Viimeinen osa-alue Occupant Lighting Control käsittelee aluekohtaista valaistuksen säätöä. Täydet kaksi pistettä saa maksimissaan 30 m<sup>2</sup>:n alue, jonka valon väriä, värilämpötilaa ja valojakaumaa

on mahdollista kontrolloida. Lisäksi kategoriassa voi saada yhden lisäpisteen siitä, että työpisteeseen on mahdollista saada tarvittaessa lisävalaistus, joka kaksinkertaistaa valotason normaaliin verrattuna työtasolla. [63; 64.]

Monessa muussakin kategoriassa valaistuksen psykologiset vaikutukset ihmiseen huomioidaan, esimerkiksi kategorian Visual Balance tarkoitus on luoda visuaalisesti miellyttävä ympäristö. Tämä toteutuu esimerkiksi suunnittelemalla vierekkäisten tilojen luminanssikontrastit vähäisiksi ja pitämällä valaistusvoimakkuus ja värilämpötila yhteneväisinä. Electric Light Quality -kategoriassa keinovalon laadun vaatimuksilla on tarkoitus parantaa näkömukavuutta vähentämällä esimerkiksi välkyntää ja kohentamalla värintoistoa. [64.]

## 7 Yhteenveto

2000-luvun alussa ihmisen silmästä löydettiin kolmas valoreseptori. Näillä gangliosoluilla havaittiin olevan vaikutusta ihmisen vuorokausirytmiiin ja sitä kautta ihmisen hyvinvointiin, alettiin puhua ihmiskeskeisestä valaistuksesta. Ihmiskeskeinen valaistus on ollut näin ollen jo parikymmentä vuotta valaistusalan keskeisin tutkimuskohde ja on sitä edelleen. Opinnäytetyössä tutustuttiin siihen, mitä ihmiskeskeisellä valaistuksella tarkoitetaan ja millaisia vaikutuksia ihmisen hyvinvointiin sillä on tämänhetkisen tutkimustiedon valossa. Tavoitteena oli oppia ymmärtämään paremmin valon ominaisuuksia, joihin valaistus suunnittelussa tulisi keskittyä ihmiskeskeisen valaistuksen luomiseksi.

Ihmiskeskeisen valaistuksen keskeisen roolin valaistusalan tutkimuskentällä huomasi selkeästi verkosta löytyvien tutkimusten ja artikkelien suuresta määrästä. Englanninkielistä lähdeaineistoa oli saatavilla todella runsaasti. Myös Kallasjoki mainitsee aiheen olevan edelleen keskeinen Valo-lehden artikkelissaan CIE:n 30. maailmankonferenssi syksyllä 2023, siihen liittyviä esityksiä oli konferenssissa peräti 14 kpl [17]. Perehtyessäni ihmiskeskeiseen valaistukseen aiheeseen työtäni varten tuli selväksi, että tutkimustyötä on edelleen paljon tehtävänä, koska aihe on osoittautunut odotettua monimutkaisemmaksi. Nostan

tässä luvussa esiin muutamia ongelmakohtia liittyen ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluun.

Kukaan ei kiellä sitä, miten suuria vaikutuksia auringonvalolla on ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. Tästä huolimatta suuri osa ihmisistä ei pysty viettämään päiviään ulkona, jolloin on tärkeää panostaa hyvälaatuiseen keinovalaistukseen ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa. Tutkimusrintamalla vallitsee melko hyvä yksimielisyys siitä, että ihmiskeskeinen valaistus palauttaa luonnollisen uni-valverytmin, jolla on edelleen suuria vaikutuksia ihmisen terveydelle. Oleellisin asia vuorokausirytmien säilyttämisessä on melatoniinin erityis, johon valoherkät gangliosolut vaikuttavat. Melatoniinin erityksen tulisi loppua aamulla, ja illalla taas melatoniinin erityis takaa hyvät yöunet. Yksinkertaisin tapa toteuttaa tällainen valaistus on valon määrän ja värisävyn muuttaminen. Valon määrän lisäämisestä aamulla ollaan yksimielisiä, mutta värisävyn muuttamisesta tutkijoilla on erilaisia mielipiteitä.

Nykyisellään ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa värisävyä säädetään aamulla sinisempään suuntaan ja illalla punaisempaan (niin sanottu Tunable White -valaistusratkaisu). Tämä tapahtuu ledivalaisimilla, joissa siniset ledit päällystetään loisteaineella. Näin saadaan aikaiseksi valkoista valoa. Tällaisen valkoisen valon sinisten ledien aallonpituushuippu, noin 445 nm, ei osu kuitenkaan samaan kohtaan kuin valoherkkien gangliosolujen herkkyyskäyrän huippu, noin 480 nm. Tästä on herännyt kysymyksiä kyseisen valaistuksen todellisista hyödyistä ja pohdintaa siitä, pitäisikö ihmiskeskeistä valaistusta suunniteltaessa keskittyä enemmän tarkempaan spektrin muokkaamiseen levittämällä sitä laajemmalle alueelle. Valonlähteen valotehokkuus laskee tällä tavalla hieman, mutta haluttu m-EDI-arvo kasvaa. [65; 66.]

Valon spektrin vaikutusta on vaikea tutkia, koska sinisen valon aallonpituuden alueella sijaitsevat myös sauvasolujen ja lyhytaaltoisten tappisolujen herkkyyskäyrät. Kallasjoki kertoo myös eräästä tutkimuksesta, joka esiteltiin CIE:n 30. maailmankonferenssissa. Siinä esitettiin, että myös lyhyen aallonpituuden tappisoluilla on vaikutusta vireystilaan. Näiden solujen vaikutus on päinvastainen

kuin valoherkillä gangliosoluilla, eli valon määrän pienentäminen lyhyen aallonpituuden tappisolujen herkkyyssäyrällä lisää vireyttä. Tämä aiheuttaa myös pohdintaa siitä, olisiko järkevämpää käyttää lediä, jossa sinisen piikin maksimi olisi samalla alueella kuin gangliosolujen herkkyyssäyrän maksimi. [17.]

Tutkijat uskoivat lähes kaksikymmentä vuotta, että vain uudet 2000-luvun alussa löydetty ipRGC-solut muodostivat erillisen järjestelmän, joka vaikutti ihmisten vuorokausirytmiiin. Uudemmat tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että myös tappi- ja sauvasoluilla on vaikutusta vuorokausirytmien säätelyyn. Tänä päivänä tutkijat uskovat, että kaikki viisi valoreseptoria, sauvat, kolme erilaista tappisolua ja valoherkät gangliosolut, vaikuttavat vuorokausijärjestelmään. Vaikka ipRGC-solut ovat edelleen tärkeitä vuorokausirytmien säätelyssä, tappi- ja sauvasolujen rooli on tunnustettu entistä merkittävämmäksi osaksi tätä monimutkaista prosessia.

Eräs selkeä kiistanalainen ongelmakohta ihmiskeskeisessä valaistuksessa liittyy siihen, mikä mittareista EML, m-EDI vai CS mittaa parhaiten valon vaikutusta vuorokausirytmiiin. Monet alan asiantuntijat eivät halua ottaa kantaa asiaan sen monimutkaisuuden tai keskeneräisten tutkimusten vuoksi. Nykyään tutkimukset ovat lisänneet melanooppisten mittareiden luotettavuutta ja CIE on hyväksynyt m-EDI:n mittariksi sirkadiaanisen valon määrälle. CIE ei kuitenkaan ole vielä hyväksynyt CS-mittaria viralliseksi mittariksi. Mariana Figueiro, yksi maailman johtavista asiantuntijoista valon ja terveyden alalla ja entinen LRC:n johtaja, tuntuu puolustavan lukuisten artikkeliansa perusteella voimakkaasti Circadian Stimulus -mittaria. [47.]

Ihmiskeskeisen valaistuksen tutkimus on haastavaa ja kallista monestakin syystä. Ihmisten fysiologian ja psyykeen monimutkaisuus vaatii monipuolista tutkimusta, johon tarvitaan asiantuntemusta eri tieteenaloilta. Haastetta tuo myös se, että ihmisen kokemus valaistuksesta on moniulotteinen ja monimutkainen. Jos valaistustilannetta muutetaan, aiheutuuko koehenkilön reaktio visuaalisten vai ei-visuaalisten vaikutusten kautta? Myös se, että eri tutkimuksissa valon vaikutuksia on mitattu eri tavalla, tuo lisähaasteita. CIE on ottanut kantaa

tutkimustulosten vertailtavuuteen julkaisemalla ohjeen, mitä tietoja tutkimuksista tulisi raportoida. [67.]

Se, mikä olisi oikeanlaista ihmiskeskeistä valaistusta, vaatii edelleen lisätutkimusta. Sen lisäksi, että saadaan selvitettyä millaista valoa, milloin ja miten paljon, on myös selvitettävä, miten esimerkiksi ihmiskeskeinen valaistus vaikuttaa eri-ikäisiin ihmisiin. On selvää, että ihmiskeskeinen valaistus vaatii tapauskohtaista ammattitaitoista suunnittelua. Jatkossakin riittää siis haastetta siinä, miten saavuttaa laadukas valaistus, joka huomioi valaistavan tilan ja näkötehtävän sekä ihmisen tarpeet.

## Lähteet

- 1 Valo ja ihminen, Human Centric Lighting. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/valaistustietoa/valo-ja-ihminen/>>. Luettu 16.1.2024.
- 2 van Bommel, W.J.M. & van den Beld, G.J. 2004. La iluminación en el trabajo: Efectos visuales y biológicos. Verkkoaineisto. Philips Lightning, Holanda. <[https://www.academia.edu/4232437/Iluminacion\\_en\\_el\\_trabajo\\_Efectos\\_visuales\\_y\\_biologicos](https://www.academia.edu/4232437/Iluminacion_en_el_trabajo_Efectos_visuales_y_biologicos)>. 2004. Luettu 16.1.2024.
- 3 Fergus, Alex. How Blue Light Is Your Ruining Sleep (And How to Fix it). Verkkoaineisto. Alex Fergus. <<https://www.alexfergus.com/blog/how-technology-blue-light-is-ruining-sleep-making-you-sick-fat-tired-and-how-to-fix-it>>. Luettu 12.1.2024.
- 4 Chilin ja yrttien kasvatusvalo. Verkkoaineisto. Valokas. <<https://valokas.fi/chilin-ja-yrttien-kasvatusvalo/>>. Luettu 12.1.2024.
- 5 Kallasjoki, Tapio. 2018–2021. Valaistustekniikka. Luentomateriaalit. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Vantaa.
- 6 Halonen, Liisa & Lehtovaara, Jorma. 1992. Valaistustekniikka. Espoo. Otatieto.
- 7 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. ST-kortti 57.40. Sähkötieto ry.
- 8 Ahlponen, Veikko; Kasurinen, Esko & Timonen, Tapani. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. 1996. Suomen sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry. Sähköinfo Oy.

- 9 Kaukoniemi, Juha & Volantis Oy. Verkkoaineisto. Värin havaitseminen. <<http://www.volantis.fi/sivut/color-theory.html>>. Luettu 12.1.2024.
- 10 Löfgren, Stefan; Thaug, Jörgen & Lopes, Cesar. 2013. Laser pointers and eye injuries. An analysis of reported cases. Verkkoaineisto. Ruotsi: Säteilyturvakeskus. <<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/0afc07d8bc5740e3884b7924b01cbd6d/201330-laser-pointers-and-eye-injuries---an-analysis-of-reported-cases>>. 11/2013. Luettu 12.1.2024.
- 11 Berson, David M.; Dunn, Felice A. & Takao, Motoharu. 2002. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. Science. Vol 295, Issue 5557, pp. 1070–1073.
- 12 Teikari, Petteri. 2006. Biological effects of light. Diplomityö. Helsinki University of Technology. Aaltodoc-tietokanta.
- 13 How Your Eyes Work. Verkkoaineisto. American Optometric Association. <<https://www.aoa.org/AOA/Documents/Healthy%20Eyes/For%20Teachers/How%20Your%20Eyes%20Work.pdf>>. Luettu 12.1.2024.
- 14 Foster, D. H. 2010. Chromatic Function of the Cone. Verkkoaineisto. University of Manchester. <[https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/d.h.foster/Research/My\\_PDFs/Foster\\_ChromaticFunction-oftheCones\\_10.pdf](https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/d.h.foster/Research/My_PDFs/Foster_ChromaticFunction-oftheCones_10.pdf)>. 2010. Luettu 15.3.2024.
- 15 What human centric lighting is, and why you need it. Verkkoaineisto. WAC Lighting. <[wacighting.com/blog/what-human-centric-lighting-is-and-why-you-need-it/](http://wacighting.com/blog/what-human-centric-lighting-is-and-why-you-need-it/)>. Luettu 16.1.2024.
- 16 Aalto, Riku. 2018. Ihmiskeskeinen valaistus – tapaustutkimus. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.

- 17 Valaistus ja hyvinvointi! Sirkadiaaninen valaistus yleistyy nopeasti. 2021. Verkkoaineisto. Nylund Oy. <<https://nylund.fi/yritys/ajankohtaista/blog/asi-antuntija-artikkelit/valaistus-ja-hyvinvointi-sirkadiaaninen-valaistus-yleistyy-nopeasti/>>. 2021. Luettu 15.1.2024.
- 18 Pihlajaniemi, Henrika; Pujol, Mia; Liikkanen, Jussa; Junes, Henna; Hint-sala, Heidi; Ikäheimo, Tiina & Joutsenvaara, Jari. 2022. Hyvinvointia mu-kautuvalla ja älykkäällä valaistuksella kouluihin ja työympäristöihin. Verk-koaineisto. Valo 2/2022, s. 30–31. <[https://www.lehti-luukku.fi/lehti/valo/\\_read/2-2022/329702.html](https://www.lehti-luukku.fi/lehti/valo/_read/2-2022/329702.html)>. 2022. Luettu 15.1.2024.
- 19 Kallasjoki, Tapio. 2023. CIE:N 30. maailmankonferenssi. Verkkoaineisto. Valo 2/2023, s. 6–8. <<https://www.lehtiluukku.fi/lue/valo/2-2023/364160.html>>. 2023. Luettu 15.1.2024.
- 20 Human Centric Lighting. 2017. Verkkoaineisto. Lighting Europe. <[https://www.lightingeurope.org/images/HCL/14\\_LE\\_HCL2017.pdf](https://www.lightingeurope.org/images/HCL/14_LE_HCL2017.pdf)>. 2017. Luettu 16.1.2024.
- 21 About us. Who we are. Verkkoaineisto. Lighting Europe. <<https://www.lightingeurope.org/about-us>>. Luettu 17.1.2024.
- 22 Guide to Human Centric Lightning (HCL), licht.wissen 21. Verkkoaineisto. Fördergemeinschaft Gutes Licht. <[https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809\\_lw21\\_E\\_Guide\\_HCL\\_web.pdf](https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809_lw21_E_Guide_HCL_web.pdf)>. Luettu 15.1.2024.
- 23 Boyce, Peter R. 2014. Human factors in Lightning. Third Edition. Boca Ra-  
ton. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- 24 Englund, Ani & Partonen, Timo. 2009. Valon vaikutus terveyteen. Verkko-  
aineisto. Duodecim. 6/2009, s. 609–616. <<https://www.duodecim-lehti.fi/duo97925>>. 2009. Luettu 19.1.2024.

- 25 Guide to Human Centric Lightning (HCL), licht.wissen 19. Verkkoaineisto. Fördergemeinschaft Gutes Licht. <[https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409\\_LW19\\_E\\_Impact-of-Light-on-Human-Beings\\_web.pdf](https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf)>. Luettu 16.1.2024.
- 26 Vireystilan biologinen säätely. Verkkoaineisto. Opintoimisto. <<https://www.opintoimisto.fi/sivu/vireystilan-biologinen-saately>>. Luettu 22.1.2024.
- 27 Schlangen, L.J.M. 2010. White paper, The role of lighting in promoting well-being and recovery within healthcare. Verkkoaineisto. Philips. <<https://www.itdoes.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/Role-of-lighting-published-by-philips-as-a-white-paper-2010.pdf>>. 2010. Luettu 28.1.2024.
- 28 Schlangen, Luc. 2014. The effect of light on our sleep/wake cycle. Verkkoaineisto. Philips. <[https://www.lighting.philips.com/b-dam/b2b-li/en\\_AA/Experience/Topics/Education/Lighting\\_Academy/how-to-beat/Daily-sleep-wake-cycles-whitepaper-FINAL.pdf](https://www.lighting.philips.com/b-dam/b2b-li/en_AA/Experience/Topics/Education/Lighting_Academy/how-to-beat/Daily-sleep-wake-cycles-whitepaper-FINAL.pdf)>. 2014. Luettu 28.1.2024.
- 29 Vuorokausirytmien ohjaavat elimistömme toimintaa. 2023. Verkkoaineisto. Xamk Active Life Lab. <<https://www.youtube.com/watch?v=Qy-aDCI643I>>. 2023. Katsottu 24.1.2024.
- 30 Valo ohjaa ihmisen biologista kelloa. Verkkoaineisto. Glamox. <<https://www.glamox.com/fi/pbs/ihmiskeskeinen-valaistus/syventavaa-tietoa/>>. Luettu 24.1.2024.
- 31 Heinonen, Riikka. 2019. Serotoniini ja uni: Uniongelmiin taustalla voi olla serotoniinin puute. Verkkoaineisto. Kotiliesi. <<https://kotiliesi.fi/terveys/serotoniini-ja-uni-uniongelmiin-taustalla-voi-olla-serotoniinin-puute/>>. 17.5.2019. Luettu 28.1.2024.
- 32 ISO/CIE TR 21783:2022(E). Light and lighting, Integrative Lighting, Non-visual effects. ISO.

- 33 CIE S 026/E:2018. CIE Systems for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light. CIE.
- 34 Lockley, S.; Evans, E.; Scheer, F.; Brainard, G.; Czeisler, C. & Aeschbach, D. 2006. Short-Wavelength Sensitivity for the Direct Effects of Light on Alertness, Vigilance, and the Waking Electroencephalogram in Humans. Verkkoaineisto. Sleep. Vol 29:2, s. 161–168. DOI: 10.1093. <<https://academic.oup.com/sleep/article/29/2/161/2708023>>. 1.2.2006. Luettu 25.1.2024.
- 35 Tinsley, G. 2018. How Tryptophan Boosts Your Sleep Quality and Mood. Verkkoaineisto. Healthline. <<https://www.healthline.com/nutrition/tryptophan>>. 25.2.2018. Luettu 26.1.2024.
- 36 Partonen, Timo. 2012. Valosta aikaa. Sisäinen aika ja terveys. Helsinki. Kustannus Oy Duodecim.
- 37 Partonen, Timo. 2023. Uni-valverytmin (unirytmien) häiriöt. Verkkoaineisto. Duodecim Terveyskirjasto. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00535>>. 2.5.2023. Luettu 25.1.2024.
- 38 Figueiro, Mariana G. 2022. How Daytime Light Improves Your Nighttime Sleep. Verkkoaineisto. Icahn School of Medicine at Mount Sinai. <[https://www.youtube.com/watch?v=RpBQmdemP\\_Y](https://www.youtube.com/watch?v=RpBQmdemP_Y)>. 1.4.2022. Katsottu 10.2.2024.
- 39 Sallinen, Mikael. 2013. Stressin ja unen vaikutus kognitiivisiin toimintoihin. Verkkoaineisto. Duodecim. 21/2013, s. 2253-2259. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo111307>>. 2013. Luettu 30.1.2024.
- 40 Mitä on ihmiskeskeinen valaistus? Verkkoaineisto. KVS Oy. <<https://kvsoy.fi/ihmiskeskeinenvalaistus>>. Luettu 2.2.2024.

- 41 SFS-EN 12464-1 (2021). Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen Standardoimisliitto.
- 42 Chang, Anne-Marie; Santhi, Nayantara; St Hilaire, Melissa; Gronfier, Claude; Bradstreet, Dayna S.; Duffy, Jeanne F.; Lockley, Steven W.; Kronauer, Richard E. & Czeisler, Charles A. 2012. Human responses to bright light of different durations. Verkkoaineisto. The Journal of Physiology. 2012, Vol. 590, 3102–3112. <<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1113/jphysiol.2011.226555>>. 1.7.2012. Luettu 1.3.2024.
- 43 Lucas, Robert J.; Peirson, Stuart N.; Berson, David M.; Brown, Timothy M.; Cooper, Howard M.; Czeiler, Charles A.; Figueiro, Mariana G.; Gamlin, Paul D.; Lockley, Steven W.; O'Hagon, John B.; Price, Luke L.A.; Provenzio, Ignacio; Skene, Debra J., Brainard & George C. 2014. Measuring and using light in the melanopsin age. Verkkoaineisto. Trend in Neuroscience. 01/2014, vol 37, issue 1, p. 1–9. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166223613001975#sec0060>>. 01.2014. Luettu 15.2.2024.
- 44 Jory, Tom; Lai, Yi-Ying & Sims, Paul. 2021. White paper. Lighting for health: Human-centric lighting. Verkkoaineisto. Luminus Devices. <[https://www.luminus.com/datasheets/Lighting\\_for\\_Health\\_Human-Centric\\_Lighting\\_Final.pdf](https://www.luminus.com/datasheets/Lighting_for_Health_Human-Centric_Lighting_Final.pdf)>. 06.2021. Luettu 15.2.2024.
- 45 Nielsen, Monica Silvia. 2023. What is Melanopic EDI? Verkkoaineisto. Chromavisio. <<https://chromavisio.com/en/knowledge-about-light/what-is-melanopic-edi>>. 2023. Luettu 10.2.2024.
- 46 WELL Building standard. 2017. Verkkoaineisto. International WELL Building Institute. <<https://standard.wellcertified.com/v7/tables>>. 2017. Luettu 15.2.2024.

- 47 Reid, Randy. 2022. Understanding Circadian-Effective Lighting. Verkkoaineisto. Designing lighting. Dec/2022. <[https://issuu.com/designinglighting/docs/dec\\_2022/s/18078622](https://issuu.com/designinglighting/docs/dec_2022/s/18078622)>. 12.2022. Luettu 15.2.2024.
- 48 Valo ja Ihminen, Human Centric Lightning. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/valaistustietoa/valo-ja-ihminen/melanooppinen-kerroin/uusi-yksinkertainen-ja-tieteellinen-keino-ilmoittaa-valaistuksen-biologisia-vaikutuksia/>>. Luettu 16.2.2024.
- 49 Circadian Metric Lightings. Verkkoaineisto. Axis Lighting. <<https://balancedcare.axislighting.com/resources/circadian-metrics-spd/>>. Luettu 21.2.2024.
- 50 Rush, Jonathan. 2021. m-EDI: A revolution in our understanding of light and health. Verkkoaineisto. Hoare Lea. <<https://hoarelea.com/2021/12/01/m-edi-a-revolution-in-our-understanding-of-light-and-health/>>. 1.12.2021. Luettu 13.3.2024.
- 51 Circadian-Effective Light. 2019. Verkkoaineisto. Lighting Research Center. <<https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/img/CircadianEffectiveLight.pdf>>. 28.3.2019. Luettu 22.2.2024.
- 52 Figueira, Mariana. 2018. Circadian Stimulus. Verkkoaineisto. Lighting Research Center. <<https://www.youtube.com/watch?v=d70aOYQUR48>>. 30.5.2018. Katsottu 22.2.2024.
- 53 Lighting. Verkkoaineisto. UL Solutions. <<https://www.ul.com/industries/products-and-components/lighting>>. Luettu 20.2.2024.
- 54 Alkila, Martta. 2019. Vapaaehtoisten laatujärjestelmien vaikutuksia valaistussuunnitteluun – LEED, BREEAM, WELL. Granlund Oy. Verkkoaineisto. Suomen Valoteknillinen Seura ry. <<https://www.valoakatemia.fi/videot/vapaaehtoisten-laatujarjestelmien-vaikutuksia-valaistussuunnitteluun/>>. 2019. Katsottu 17.2.2024.

- 55 SFS-EN 17037:2018 + A1:2021. Daylight in buildings. Suomen Standardoimisliitto.
- 56 Ympäristöluokitukset. Verkkoaineisto. Green Building Council Finland. <<https://figbc.fi/ymparistoluokitukset>>. Luettu 20.2.2024.
- 57 BREEAM-sertifikaatti soveltuu poikkeuksellisellekin kohteelle. 2023. Verkkoaineisto. Raksystems. <<https://raksystems.fi/ajankohtaista/breeam-sertifikaatti-soveltuu-poikkeuksellisellekin-kohteelle/>>. 28.12.2023. Luettu 20.2.2024.
- 58 BREEAM-SE New Construction v6.0. Technical Manual 1.1. 2023. Verkkoaineisto. Sweden Green building council. <[https://www.sgbc.se/app/uploads/2023/01/Manual\\_BREEAM-SE-v6\\_EN\\_230119.pdf](https://www.sgbc.se/app/uploads/2023/01/Manual_BREEAM-SE-v6_EN_230119.pdf)>. 2023. Luettu 20.2.2024.
- 59 What BREEAM In-Use Assesses. Recognising and driving environmental performance for existing Commercial and Residential assets. Verkkoaineisto. BRE. <[https://files.bregroup.com/breeam/BREEAM-In-Use-International\\_What-BIU-Assesses.pdf](https://files.bregroup.com/breeam/BREEAM-In-Use-International_What-BIU-Assesses.pdf)>. Luettu 20.2.2024.
- 60 LEED rating system. Verkkoaineisto. U.S. Green Building Council. <<https://www.usgbc.org/leed>>. Luettu 21.2.2024.
- 61 LEED credit library. Verkkoaineisto. U.S. Green Building Council. <<https://www.usgbc.org/credits>>. Luettu 21.2.2024.
- 62 Aalto, Helena. 2019. WELL-sertifiointi ja valaistus. Verkkoaineisto. Valo 2/2019, s. 38–41. <<https://www.lehtiluukku.fi/lue/valo/2-2019/231393.html>>. 2019. Luettu 21.2.2024.
- 63 WELL Community Standard. Light. 2023. Verkkoaineisto. International WELL building institute. <<https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light>>. 2023. Luettu 21.2.2024.

- 64 Juslén, Henri. 2020. WELL 2 -tietoisku. Valo ja valaistus WELL 2 -standardissa. Verkkoaineisto. Suomen valoteknillinen Seura. <<https://valosto.com/valaistustietoa/ videot/valo-ja-valaistus-well-2-standardissa/>>. 2020. Katsottu 21.2.2024.
- 65 Kallasjoki, Tapio. 2019. Säädetäänkö valon spektriä oikein? Verkkoaineisto. Valo 1/2019, s. 5. <<https://www.lehtiluukku.fi/lue/valo/1-2019/214134.html>>. 2019. Luettu 18.3.2024.
- 66 Kallasjoki, Tapio. 2018. Light + Building 2018. Verkkoaineisto. Valo 1/2018, s. 6–9. <<https://www.lehtiluukku.fi/lue/valo/1-2018/182322.html>>. 2018. Luettu 18.3.2024.
- 67 Kallasjoki, Tapio. 2021. CIE:n virtuaalisessa konferenssissa käsiteltiin tuttuja aiheita. Verkkoaineisto. Valo 2/2021, s. 6–8. <<https://www.lehtiluukku.fi/lue/valo/02-2021/297790.html>>. 2021. Luettu 18.3.2024.