



# Ihmiskeskeisen toimistovalais- tuksen suunnittelu

Circadian Stimulus -arvojen avulla

Teemu Nuutinen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2019

Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka

NUUTINEN. TEEMU:

Ihmiskeskeisen toimistovalaisuksen suunnittelu  
Circadian Stimulus -arvojen avulla

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Toukokuu 2019

---

Ihmiskeskeinen valaistus on ollut jo jonkin aikaa puheenaiheena suunnittelijoiden keskuudessa. Tällaiselle valaistukselle ei kuitenkaan ole ollut mitään selkeitä ohjeita tai määräyksiä siitä, kuinka se tulisi toteuttaa ja kuinka sen vaikutusta ihmiseen mitataan. Useimmiten ihmiskeskeinen valaistus onkin vain säädetty mukailemaan auringosta tulevaa valoa kirkkaudeltaan ja värilämpötilaltaan.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Lighting Research Centerin kehittämään Circadian Stimulus (CS) -arvoon, jolla mitataan valaistuksen vaikutusta ihmisen sirkadiaanirytmiiin. Työssä laskettiin CS-arvot Greenledin käyttämille led-siruille ja tämän CS-arvon pohjalta tehtiin valaistuslaskentoja Greenledin uusiin toimistotiloihin Dialux Evo -ohjelmalla sekä vertailtiin erilaisten valaistustapojen käytettävyyttä avotoimistoissa. Työ tehtiin Greenled Oy:lle, jotta ihmiskeskeistä valaistusta ja CS-arvoja voitaisiin jatkossa hyödyntää paremmin osana yrityksen tulevien kohteiden suunnittelua.

Tehtyjen mallinnusten perusteella kävi ilmi, että avotoimistoissa parhaimmaksi valaistustavaksi soveltuu ylä- ja alavalollisella ripustettavalla valaisimella toteutettu puoliepäsuora valaistus. Tällaisella valaisintyypillä saadaan tasainen ja voimakas valaistus tilan kattoon ja seinille, sekä oikein sijoiteltuna alavaloilla saadaan hyvä työpistekohtainen valaistus. Tällainen valaistus on myös käyttäjän itse säädettävissä, jolloin jokainen pystyy muuttamaan työpisteensä valaistusta omaan vuorokausirytmiiinsä parhaiten soveltuvaksi.

---

Asiasanat: valaistus, valaistussuunnittelu, ihmiskeskeinen valaistus

## **ABSTRACT**

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

NUUTINEN. TEEMU:

Designing Human Centric Lighting to Offices Using Circadian Stimulus -Values

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages

May 2019

---

Human centric lighting has been a subject for discussion among designers for a while now. But because of the lack of guides and metrics for measuring its effectiveness, most human centric lighting has just been built to simulate the sun for its brightness and colour temperature.

The purpose of this thesis was to design new human centric lighting for Greenled's new open-plan offices based on Circadian Stimulus (CS) -values that have been developed by Lighting Research Center to measure the effect of lighting on human circadian rhythm. The purpose was also to create design with CS-values for Greenled for their future projects. The empirical part consists of CS-value calculations for led chips used by Greenled and lighting calculations made with Dialux Evo for different types of luminaires in the new office.

As a result, it was found out that luminaires with both direct and indirect light distribution is the best solution for open-plan offices. With this kind of luminaires, good ambient light can be achieved with indirect lighting. Direct lighting when correctly placed, can be used as a light source for individual workstations and to obtain adjustable light for each user based on their circadian rhythm.

---

Key words: lighting, lighting designing, human centric lighting

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	VALO .....	6
	2.1 Näkeminen .....	6
	2.2 Valon ei-visuaaliset vaikutukset .....	7
	2.3 Elimistön/hormonien päivärytmi .....	8
	2.4 Valon ominaisuudet näön ja ei-visuaalisten vaikutusten kannalta	10
	2.4.1 Voimakkuus .....	10
	2.4.2 Spektri .....	10
	2.4.3 Valonjako.....	12
	2.4.4 Ajoitus.....	13
	2.4.5 Kesto .....	13
3	IHMISKESKEINEN VALAISTUS.....	14
	3.1 Ihmiskeskeinen valaistus työpaikalla.....	14
	3.2 Lighting research center ja CS-arvo.....	16
4	VALAISIMEN CS-ARVON MÄÄRITTELEMINEN JA TOIMISTOVALAISTUKSEN SUUNNITTELU: CASE GREENLED .....	20
	4.1 Valaisimien CS-arvon määrittäminen .....	20
	4.2 Toimistovalaisituksen suunnittelu hyvinvointi huomioon ottaen ....	22
	4.2.1 Suunniteltavat tilat ja valaistusratkaisujen lähtökohdat.....	22
	4.2.2 CS- arvot toimistoympäristössä .....	23
	4.3 Suunnitellut valaistusratkaisut.....	24
	4.4 Valaistusratkaisujen yhteenveto ja hyvinvoinnin näkökulma .....	27
5	POHDINTA .....	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET .....	34
	Liite 1. Kuvaajat led sirujen valaistusvoimakkuuksista ja CS-arvoista	34

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Lighting Research Centerin kehittämään CS-arvoon, jolla määritellään valaistuksen vaikutusta ihmisen kronobiologiseen järjestelmään ja hyvinvointiin. Toisena tavoitteena työssä oli laskea CS-arvoja led-siruille ja suunnitella valaistus Greenled Oy:n uusiin toimistotiloihin CS-arvoja hyödyntäen, sekä vertailla miten erilaisilla valaistustavoilla voidaan saavuttaa hyvä ihmiskeskeinen valaistus toimistotiloissa.

Työssä käsitellään aluksi näkemisen perusteita lyhyesti ja kerrotaan valon ei-visuaalisista vaikutuksista elimistöön ja hormonitoimintaan. Tämän jälkeen kerrotaan ihmiskeskeisen valaistuksen perusteista ja sen vaikutuksista työtehokkuuteen, sekä Lighting Research Centerin kehittämästä CS-arvosta ja siihen perustuvista tutkimuksista. Viimeisessä osassa on laskettu CS-arvoja Greenledin käyttämille led-siruille, sekä kerrottu uuden toimiston valaistuksen suunnittelusta ja vertailtu erilaisten valaistustapojen hyviä ja huonoja puolia.

## 2 VALO

Valo on pieni osa sähkömagneettisen säteilyn spektriä, joka on havaittavissa ihmissilmällä. Tämän osan aallonpituusalue on noin 400 ja 700 nanometrin välillä. Silmässä olevat solut näkevät eri aallonpituudet eri väreinä. Pitkään oletettiin, että silmän ainoana tehtävänä on näköaistimuksen synnyttäminen, kunnes vuonna 2002 silmästä löydettiin uusi solu, valoherkkä gangliosolu (ipRGC). (Riihimäki 2018, 9). Seuraavissa kappaleissa on kerrottu lyhyesti näöstä ja valon ei-visuaalisista vaikutuksista, sekä kerrottu valon ominaisuuksien vaikutuksista näihin järjestelmiin.

### 2.1 Näkeminen

Näkeminen perustuu valoon ja sen heijastumiseen. Näkökentässä olevista kohteista heijastuu valonsäteitä, jotka kulkevat silmän optisten osien läpi silmämunan takaosassa oleville sauva- ja tappisoluille. Tappisoluja on verkkokalvon keskellä, tarkan näön alueella, eli fovean ympärillä noin 7 miljoonaa kappaletta. Ne reagoivat näkyvän valon alueen väreihin ja vastaavat värinäöstä. Tappisolut ovat aktiivisena suurissa valaistusvoimakkuuksissa. Tappisoluja on kolmea erilaista absorptioherkkyyden mukaan luokiteltuna, sini-, viher-, ja punaherkkiä ja ne ovat herkimmillään 447 nm, 540 nm ja 577 nm säteilylle. Sauvasolut sijaitsevat ympäri verkkokalvoa ja niitä on noin 150 miljoonaa kappaletta. Ne reagoivat parhaimmin erittäin pieniin valaistusvoimakkuuksiin ja havaitsevat vain harmaa-asteikon. Kaikesta aistimisesta 70-80 % tapahtuu silmien avulla, jonka takia näkö onkin ihmisen tärkein aisti. (Latvajärvi 2013, 9-14; Ylijoki 2005, 2.)

Näkö heikkenee iän myötä silmässä tapahtuvien muutosten takia. Ikääntyessä esimerkiksi mykiön elastisuus pienenee, mykiön kerrokset samentuvat ja mykiö kellastuu, jolloin valoa ei pääse yhtä paljoa verkkokalvolle.

## 2.2 Valon ei-visuaaliset vaikutukset

Näkemisen lisäksi valolla on toinenkin tärkeä merkitys ihmiselle. Silmään tuleva valo vaikuttaa ihmisen kronobiologiseen järjestelmään, joka säätelee ihmisen viireystilaa ja mielialaa. Sauva- ja tappisolujen lisäksi silmässä on valoherkkiä gangliosoluja, joiden tehtävänä on säädellä ihmisen sirkadiaanirytmisiä. Sirkadiaanirytmillä tarkoitetaan ihmisen biologista rytmiä, joka toistuu noin 24 tunnin välein. Tähän biologiseen rytmiin kuuluu nukkuminen ja hereillä olo, ruumiin lämpötilan muutokset, hormonien tuotanto ja viireystaso. (Figueiro 2003.)

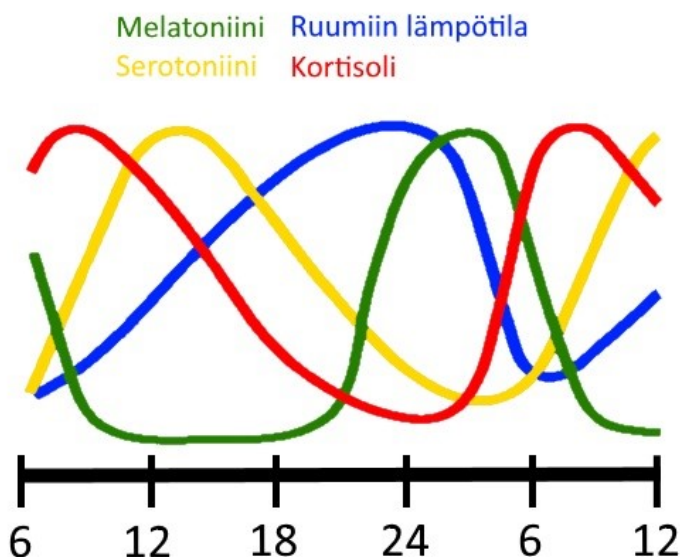
Ihmisen sirkadiaanirytmisiä ohjaa aivojen suprakiasmaattisessa tumakkeessa oleva biologinen kello, sirkadiaanirytmien tahdistin (circadian pacemaker). Silmään tuleva valo toimii pääasiallisena väylänä synkronoida tämä kello normaaliin 24 tunnin vuorokausirytmisiin. Biologinen kello kertoo elimistölle, milloin on aika herätä, olla nälkäinen, olla vireimmillään ja milloin mennä nukkumaan. Yleisin tapa biologisen kellon rytmin mittaamiseen on ihmisen ruumiinlämpötilan mittaaminen päivän aikana. On tärkeää huomioida, että valo on erittäin tärkeä, muttei ainoa kellon tahdistaja. Muita sirkadiaanirytmisiin vaikuttavia tekijöitä on liikunta, ruokailujen ajoitus ja sosiaaliset aktiviteetit, vaikkakin näiden vaikutus on huomattavasti valoa vähäisempi. (Figueiro 2003, 17; Riihimäki 2018, 12; Lighting Research Center: Circadian rhythms 2018.)

Jos elimistö ei saa tarvitsemiaan signaaleja kellon synkronointiin, on todennäköistä, että unirytmisi sekoaa ja ihminen menee nukkumaan 15 minuuttia myöhemmin joka päivä. Tämä johtaa siihen, ettei biologinen kello ole enää tahdissa vuorokausirytmien kanssa. Rytmien oleminen eri tahdissa tuntuu samalta, kuin aikaeroritus, illalla on vaikea saada unta ja keskellä päivää olo tuntuu väsyneeltä. (Lighting Research Center: Circadian rhythms 2018.)

Valaistus vaikuttaa ihmisen näkökykyyn aivan eri tavalla kuin ihmisen biologiseen kelloon. Tästä johtuen ihmiset, jotka viettävät paljon aikaa sisätiloissa heikossa valaistuksessa, kuten toimistotyöntekijät ja vanhainkotien asukkaat, kärsivät todennäköisimmin rytmien epätahdistista. Tämän takia olisi tärkeää saada oikeanlaisia ärsykeitä oikeaan aikaan. Ihmisen biologinen kello saa vahvimmat signaalinsa kirkkaasta valosta päiväsaikaan ja hämäryydestä tai pimeydestä yöaikaan. (Young, 2007.)

### 2.3 Elimistön/hormonien päivärytmi

Valolla on suuri merkitys ihmisen elimistölle ja rytmille, siksi olisikin tärkeää viettää yöt pimeässä ja päivät valoisassa ympäristössä. Nukkuessamme silmän verkkokalvo on pois päältä. Verkkokalvo on erittäin herkkä ja auringon valo aamulla antaa ”herätys” -signaalin verkkokalvon pigmenttiepiteelille (Retinal Pigment Epithelium), joka ohjaa sen aivojen etulohkolle. Aivojen etulohko vapauttaa tällöin erilaisia hormoneja, kuten testosteronia ja kasvuhormoneja. Ilman valosta saatavaa signaalia, hormoneja ei vapaudu terveyden kannalta optimaalista määrää. Signaali vaikuttaa hormonien tuotantoon koko päivän ajan (kuva 1). (Fergus 2016; University Of California 2003.)



KUVA 1. Hormonitasot ja ruumiin lämpötila normaalissa uni-valverytmissä (Teemu Nuutinen 2019)

Aamuisin, kirkaalle valolle altistuessaan, elimistö lisää serotoniinin tuotantoa. Serotoniini on kudoshormoni, joka säätelee ihmisen mielialoja, ruokahalua, muistia ja nukkumista, sekä osallistuu ruoansulatuksen toimintaan ja verenpaineen säätelyyn. Elimistö tuottaa serotoniinia 5-HTP (5-Hydroksitryptofaani) -molekyyleistä, joita elimistö muuntaa ruoasta saatavasta tryptofaani-aminohapoista. Tutkimukset osoittavat, että masennuksesta kärsivillä tryptofaani-tasot ovat usein normaalia matalampia. Alhainen tryptofaani-taso voi myös kasvattaa hermostuneisuutta, levottomuutta ja jännittyneisyyttä. Tryptofaaniin tärkeys johtuu sen osasta serotoniinin tuotannossa. Serotoniini on tärkeä ainesosa aivojen normaalille toiminnalle ja tryptofaaniin vajaus vähentää serotoniinin tuotannon määrää,



kun taas valo lisää serotoniinin tuotantoa, joka on suoraan suhteessa valon kirkkauteen ja altistuksen keston. Kirkasvalolaitteet ovatkin tärkeä laite kaamosmasennuksen hoidossa, mutta muutamat tutkimukset osoittavat, että kirkasvalot vähentävät masennuksen oireita muissakin tilanteissa. (Tinsley 2018; Lambert, Reid, Kaye, Jennings, Esler 2002; Young, 2007.)

Kun tryptofaani on muuttunut elimistössä serotoniiniksi, muutetaan se vielä toiseksi tärkeäksi molekyyliksi, melatoniiniksi. Melatoniini on hormoni, jota elimistö tuottaa yöaikaan pimeässä. Melatoniinin huomattavia vaikutuksia ovat uneliaisuus, kehon toimintojen hidastuminen ja aktiivisuuden laskeminen. Se myös aiheuttaa ruumiin lämpötilan laskemista ja aineenvaihdunnan hidastumista, jolloin keho alkaa tuottaa kasvuhormoneja, jotka korjaavat soluja yöaikaan. Nukkumista ohjaavan melatoniini-hormonin määrään vaikuttaa siis päivän aikana tapahtuvat hormoni muutokset, ja tutkimukset osoittavat, että kirkas valo aamupäivällä vaikuttaa melatoniinin määrän öisin. Ilman tätä aamuista valoa, käpylisäke ei pysty luovuttamaan melatoniinia yöllä yli neljää tuntia. (licht.de: Licht.wissen 19 2014, 17; Fergus 2016.)

Kolmas päivärytmiin vaikuttava hormoni on kortisoli. Se on stressihormoni, joka aktivoi aineenvaihduntaa ja ohjelmoi elimistön toimimaan tehokkaammin päiväaikaan. Elimistö alkaa tuottamaan kortisolia aamuyöllä noin kello kolmen aikaan ja tuottaa sitä aamupäivään asti. Kirkas valo aamulla kasvattaa kortisolin tuotantoa, aivan kuten serotoniininkin. Lisäksi stressi ja ruumiillinen rasitus nostavat kortisolin määrää. Jotta elimistö toimisi oikein, tulee kortisoli- ja melatoniinirytmien olla päinvastaisessa tahdissa. (licht.de: Licht.wissen 19 2014, 17)

Myös muilla hormoneilla, kuten noradrenaliinilla ja dopamiinilla on vaikutusta ihmisen sirkadiaanirytmiiin ja vireystiloihin. Noradrenaliini vaikuttaa heräämiseen, unien näkemiseen ja tunnetilojen säätelyyn. Dopamiini aiheuttaa mielihyvää, tehostaa oppimista, lisää energiaa ja lihaskoordinaatiota. Dopamiinin on havaittu noudattavan sirkadiaanirytmiiä muun muassa verkkokalvolla, hajukäämissä, keskiaivoissa, aivojuoviossa ja hypotalamuksessa. On siis todennäköistä, että myös dopamiinilla on tärkeä rooli näiden aivojen osien pysymisessä sirkadiaanirytmiiissä. (Korshunov 2017; Tortora 2009, 448,644)

## **2.4 Valon ominaisuudet näön ja ei-visuaalisten vaikutusten kannalta**

Valolla on viisi ominaista, valon laatua määrittelevää perustekijää. Nämä ovat valon voimakkuus, spektri, valonjako, ajoitus ja kesto. Näkökyvyn osalta näitä tekijöitä osataan hyödyntää hyvin, mutta niiden vaikutusta kronobiologiseen järjestelmään ei vielä täysin tunneta, tai ainakaan osata hyödyntää yhtä hyvin. Nämä kaikki valon ominaisuudet tulisi kuitenkin ottaa huomioon laadukasta valaistusta suunnitellessa. (Figueiro 2003, 18.)

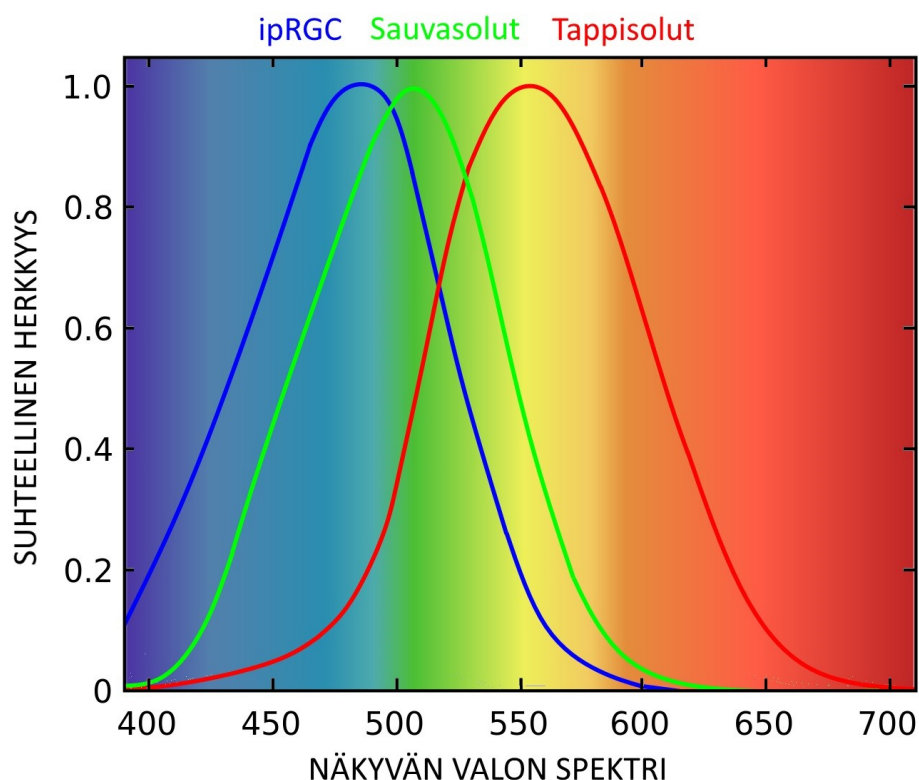
### **2.4.1 Voimakkuus**

Näkemisen osalta valaistusvoimakkuuksia tarkastellaan aina käyttötasojen mukaan, joten tärkeintä on, kuinka paljon valoa tulee tarkasteltaville pinnoille. Toimistoissa valaistusvoimakkuus on yleensä 500 luksia työpisteellä, joka on täysin riittävä näkemisen osalta. Tunnin altistus tälle samalle valolle ei useimmissa tapauksissa kuitenkaan riitä stimuloimaan kronobiologista järjestelmää. Kronobiologinen järjestelmä reagoi valoon silmän takaosassa olevilla valoherkillä gangliosoluilla, joten tämän osalta tärkeintä on, kuinka suuri valaistusvoimakkuus on tilan seinillä ja katossa.

Valaistusvoimakkuutta suunnitellessa tulee aina huomioida käyttäjien ikä. Yli 40-vuotiailla näkö alkaa heikentyä ja vähemmän valoa pääsee silmän takaosaan. 60-vuotiaan silmä saa vain kolmasosan valosta verrattuna 20-vuotiaan silmään. Vanhetessa myös kontrastinäkö heikkenee, värit erottuvat huonommin ja silmä tulee herkemäksi häikäisylle. (Figueiro 2003, 18.)

### **2.4.2 Spektri**

Näkemisessä tarvittavat tappisolut ovat herkimmillään näkyvän valon spektrin keskiosuudella (550 nm), sauvasolut 500 nanometrin aallonpituudella ja valoherkät gangliosolut ovat herkimmillään 470 nm läheisyydessä (kuva 2).



KUVA 2. Silmän sauva-, tappi- ja valoherkkien gangliosolujen suhteelliset herkkyydet eri aallonpituuksilla. (Teemu Nuutinen 2019)

Näkemisen osalta tärkeintä on spektrin tasaisuus, jota kuvastaa värintoistoindeksi (CRI). Se kertoo, kuinka hyvin valonlähde kykenee toistamaan värejä vertailuvalonlähteeseen verrattuna. Värintoistoa mitataan asteikolla 0-100, jossa 0 on huonoin ja 100 paras. Jos valonlähteellä on matala värintoistoindeksi, kaikki näyttää värittyneeltä ja luonnottomalta, jos taas värintoistoindeksi on yli 85, pidetään valoa yleensä luonnollisena.

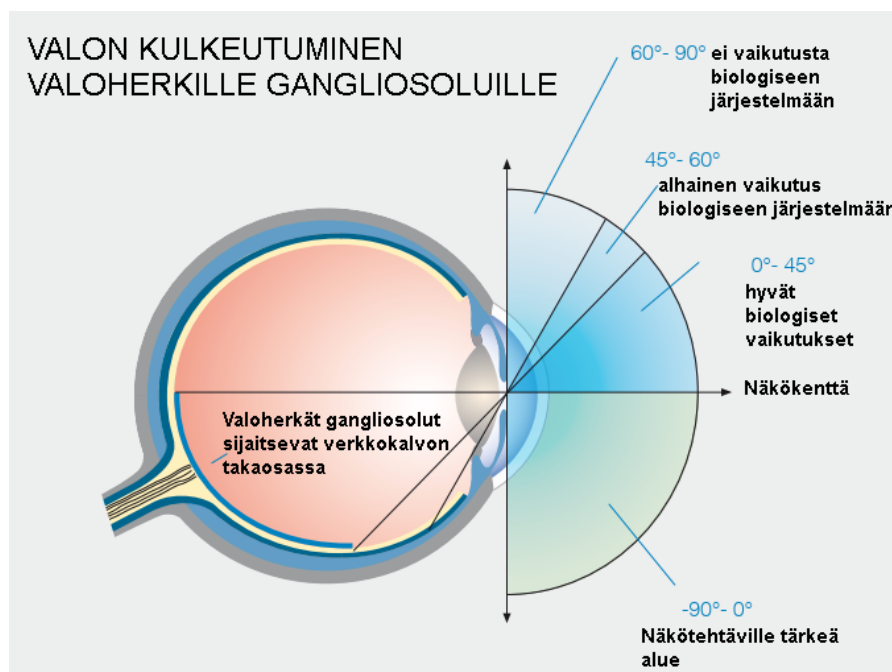
Toinen valkoisen valon spektrissä silmillä havaittava ominaisuus on värilämpötila. Se kuvastaa valkoisen valon värisävyä, sen yksikkö on Kelvin ja asteikko sisävalaistuksessa on yleensä 2000 - 7000 K. 2000 Kelvinin valo näyttää punertavalta, 4000 K on neutraalin valkoinen ja 7000 K on sinertävää valoa. Näkemiseen värilämpötila ei suoraan vaikuta, vaikkakin sama valaistusvoimakkuus voi korkeammalla värilämpötilalla vaikuttaa kirkkaammalta. (Virtanen 2012, 15.)

Värilämpötilalla ja värintoistolla on vaikutusta melatoniinin tuotannon määrään ja kronobiologisen järjestelmän toimintaan. Tutkittaessa näitä vaikutuksia tarkem-

min, eri valonlähteitä ei voida kuitenkaan vertailla pelkän värilämpötilan ja värin-  
toistoindeksin perusteella, vaan tarkastelu tulee tehdä valonlähteen spektrin mu-  
kaan. (Figueiro 2003, 18.)

### 2.4.3 Valonjako

Näkemisen kannalta valonjaolla on erittäin suuri merkitys, sillä näkeminen perus-  
tuu täysin valon heijastumiseen ja varjojen muodostumiseen. Liian tasainen va-  
laistus ei luo ollenkaan varjoja, jolloin kaikki näyttää lattelta ja muotoja on vaike-  
ampi hahmottaa. Kun valaistus suunnitellaan hyvin, syntyy sopivasti varjoja hel-  
pottamaan pintojen havainnoimista, kuitenkin niin, etteivät varjot häiritse näke-  
mistä ja tarvittavissa paikoissa on riittävät valaistusvoimakkuudet. Tätä varten  
esimerkiksi työpaikkojen valaistuksen suunnittelussa käytetään apuna muo-  
donanto-käsitettä, joka on määritetty standardissa SFS-EN 12464-1:2011. Se ku-  
vaa pystysuoran sylinteri- ja vaakatason valaistusvoimakkuuksien suhdetta ja  
varmistaa, että tilassa muodostuu sopivan pehmeitä varjoja. Muodonanto on  
hyvä, kun näiden voimakkuuksien suhde on 0,3 ja 0,6 välillä. Sirkadiaanijärjes-  
telmän toimintaan valonjaolla ei ole yhtä suurta merkitystä, vaan oleellisinta on,  
kuinka paljon valoa pääsee verkkokalvon valoherkille gangliosoluille (kuva 3). (Fi-  
gueiro 2003, 18; Virtanen 2012, 14; SFS-EN 12464-1:2011, 28.)



KUVA 3. Silmän valoherkkien gangliosolujen reagointi valoon. (Suomennettu. Al-  
kuperäinen kuva. Licht.de 2018)

#### **2.4.4 Ajoitus**

Valaistuksen ajoitus ei vaikuta ihmisen näkökykyyn, vaan ihmisen näkö toimii yhtä hyvin samanlaisessa valaistuksessa kellonajasta riippumatta. Valon oleellisin tekijä biologisessa rytmissä on kellon resetoiminen aamuisin kirkkaalla valolla, joka auttaa pitämään sirkadiaanirytmien tahdissa vuorokausirytmien kanssa. Tästä johtuen valaistuksen ajoitus on yksi tärkeimmistä tekijöistä valon biologisten vaikutusten osalta. (Figueiro 2003, 18.)

#### **2.4.5 Kesto**

Ihmisen silmä reagoi valon määrän muuttumiseen yleensä nopeasti, eikä näön kannalta ole niinkään oleellista, kuinka kauan valoa on saatavilla. Valon saannin ajoituksella on kuitenkin merkittävä vaikutus kronobiologisen järjestelmän toimintaan. Melatoniinin määrä alkaa laskemaan verenkierrossa vasta kun silmään on tullut 10 minuuttia riittävän kirkasta valoa. Jotta valaistuksella olisi oleellinen vaikutus rytmiiin, tulee altistuksen kestojen kuitenkin olla paljon tätäkin pidempiä. (Figueiro 2003, 18.)

### 3 IHMISKESKEINEN VALAISTUS

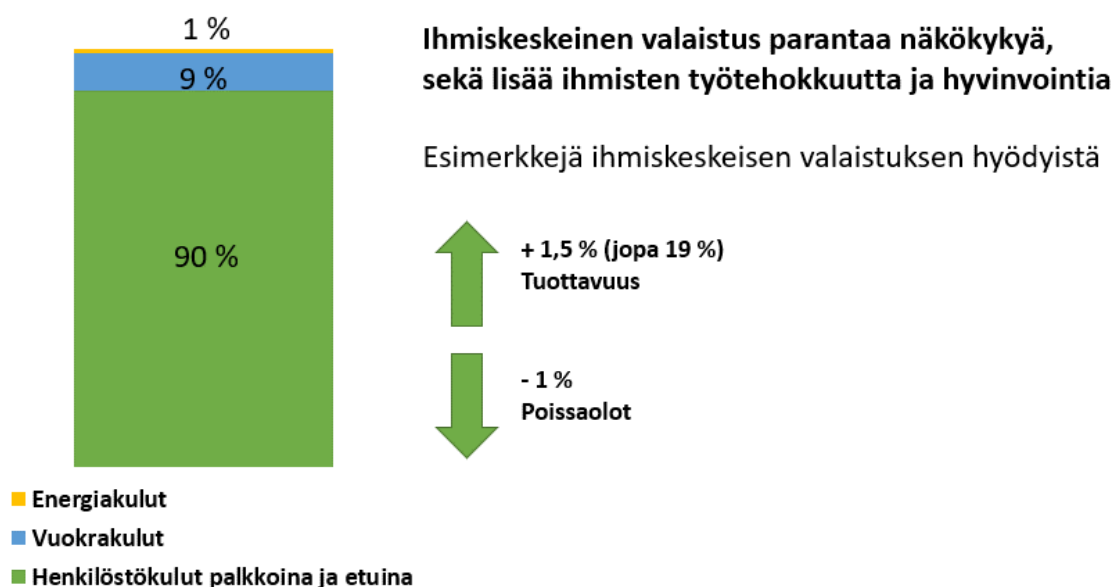
Ihmisen sirkadiaanirytmii saa vahvimmin signaalinsa sinisestä taivaasta. Aikaisemmin ihmiset viettivät suuren osan ajastaan ulkona auringonvalossa, ja tämä ohjasi heidän päivärytmiänsä. Päivällä auringon paistaessa kirkkaana oltiin heillä ja yön pimeydessä nukuttiin. Tämän luonnollisen rytmin huomaa hyvin viettäessään aikaa luonnon keskellä. Muutaman päivän kuluttua voi huomata heräävänsä auringon noustessa ja nukahtavan luonnollisesti auringon laskun aikoihin. Valaistuksen johdosta, meillä on kuitenkin valoa saatavilla jatkuvasti ja vietämme suuren osan ajasta sisätiloissa, jolloin elimistömme ei saa ärsykeitä auringonvalon mukaisesti. (Lighting Research Center: Circadian stimulus 2018.)

Yleisesti ihmiskeskeisellä valaistuksella (Human Centric Lighting, HCL) tarkoitetaan valaistusta, joka on rakennettu mukailemaan auringosta tulevaa valoa väriltään ja kirkkaudeltaan. Ihmiskeskeisen valaistuksen tärkeä tehtävä on kuitenkin tarjota käyttäjälleen haluttu valo, joka on aina henkilökohtaisesti säädetty käyttäjän työn, rytmin ja elämäntilanteen mukaisesti. Saksan sähkö- ja elektroniikkatuottajayhdistys (ZVEI) määrittelee ihmiskeskeisen valaistuksen seuraavasti: Valolla on useita erilaisia vaikutuksia ja se vaikuttaa aina visuaalisesti, tunneperäisesti ja biologisesti. Ihmiskeskeisellä valaistuksella on erityinen pitkäaikainen vaikutus terveytemme, hyvinvointiin ja tuottavuuteen kokonaisvaltaisen suunnittelun ja valon visuaalisten, tunneperäisten ja biologisten vaikutusten toteuttamisen kautta. (licht.de: Licht.wissen 21: Guide to Human Centric Lighting (HCL) 2014.)

#### 3.1 Ihmiskeskeinen valaistus työpaikalla

Ihmiskeskeisellä valaistuksella on huomattavia vaikutuksia ihmisen näkökykyyn, työtehokkuuteen ja hyvinvointiin. LightingEuropen ja ZVEIn vuonna 2015 tekemän tutkimuksen mukaan yrityksen kustannuksista 90 % koostuu henkilökuluista palkkojen ja etuuksien muodossa, 9 % vuokratuloista ja vain 1 % energiakuluina. Tämän perusteella yritykset voivat saada aikaan merkittäviä säästöjä panostamalla henkilökunnan hyvinvointiin ja työtehokkuuteen. Tarkastelluissa kohteissa esimerkiksi valaisimet vaihtamalla energiatehokkaisiin led-valaisimiin, voidaan

saada enintään alle yhden prosentin säästöjä energiakustannuksissa. Sijoittamalla laadukkaaseen ihmiskeskeiseen valaistukseen voidaan sen sijaan saada aikaan suurempia taloudellisia hyötyjä. Tutkimuksen mukaan ihmiskeskeinen valaistus kasvattaa toimistotyöntekijöiden työtehokkuutta vähintään 1,5 % ja parhaillaan jopa 19 %, sekä vähentää poissaoloja ja terveydenhuollon kustannuksia muutamia prosentteja (kuva 4). (A.T.Kearney 2015.)



KUVA 4. Ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt (Teemu Nuutinen 2019)

Suomessa sisävalaistuksen suunnittelua julkisissa tiloissa ohjaa standardi SFS-EN 12464-1:2011, jossa on määriteltynä erilaisten työkohteiden valaistusvaatimukset määrällisesti ja laadullisesti. Standardin lähtökohtana on normaalinäkökykyisen henkilön näkömukavuuden ja näkötehokkuuden tarpeet. Valon ei-visuaalisia vaikutuksia ei standardeissa ole vielä otettu huomioon sen tarkemmin. Ai-noana viitauksena on luku 4.13, valon vaihtelevuus.

Valo on tärkeää jokaisen ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille. Valo vaikuttaa ihmisten mielialaan, tunteisiin ja vireystilaan. Se voi myös tukea ja tahdistaa vuorokausirytmiiä sekä vaikuttaa ihmisten fysiologiseen ja psyykkiseen tilaan. Viimeisimmät tutkimukset osoittavat, että edellä mainittuihin tekijöihin vaikuttavat tässä standardissa EN 12464-1 esitettyjen valaistussuunnitteluperusteiden lisäksi myös ns. ei-visuaalinen valaistusvoimakkuus ja värivaikutelma. Kellonajan mukaan vaihtelevat valaistusolosuhteet, kuten suurempi valaistusvoimakkuus, luminanssijakauma ja laajempi värilämpötilan vaihteluväli kuin tässä eurooppalaisessa standardissa on esitetty, yhdessä päivänvalon ja/tai tätä tarkoitusta varten optimoitujen keinovalaistusratkaisujen kanssa voivat stimuloida ihmisiä ja parantaa heidän hyvinvointiaan. Suositeltavat vaihteluvälit ovat tällä hetkellä harkinnassa. (SFS-EN 12464-1:2011, 34.)

### 3.2 Lighting research center ja CS-arvo

Lighting Research Center (LRC) on Rensselaerin ammattikorkeakoulussa sijaitseva, maailman johtava valaistuksen tutkimus- ja koulutuslaitos. New Yorkin osavaltion energia-alan tutkimus- ja kehitysviranomainen perusti LRC:n vuonna 1988 tutkimaan valaistuksen vaikutusta ihmiseen ja kasveihin, liikenteen valaistusta ja turvallisuutta, SSL (Solid State Lighting) -valaistusta (LED) ja valaistuksen energiatehokkuutta. LRC:n on kehittänyt innovatiivisia valaistusratkaisuja yhteistyössä monien muiden tahojen kanssa esimerkiksi sairaaloihin, Yhdysvaltain laivaston sukellusveneisiin ja Boeing 787 Dreamliner -lentokoneisiin. Se oli myös ensimmäinen korkeakoulu vuonna 1990, joka tarjosi jatko-opintoja valaistuksesta ja nykyään siellä voi kouluttautua maisteriksi tai tohtoriksi. (Troy 2016.)

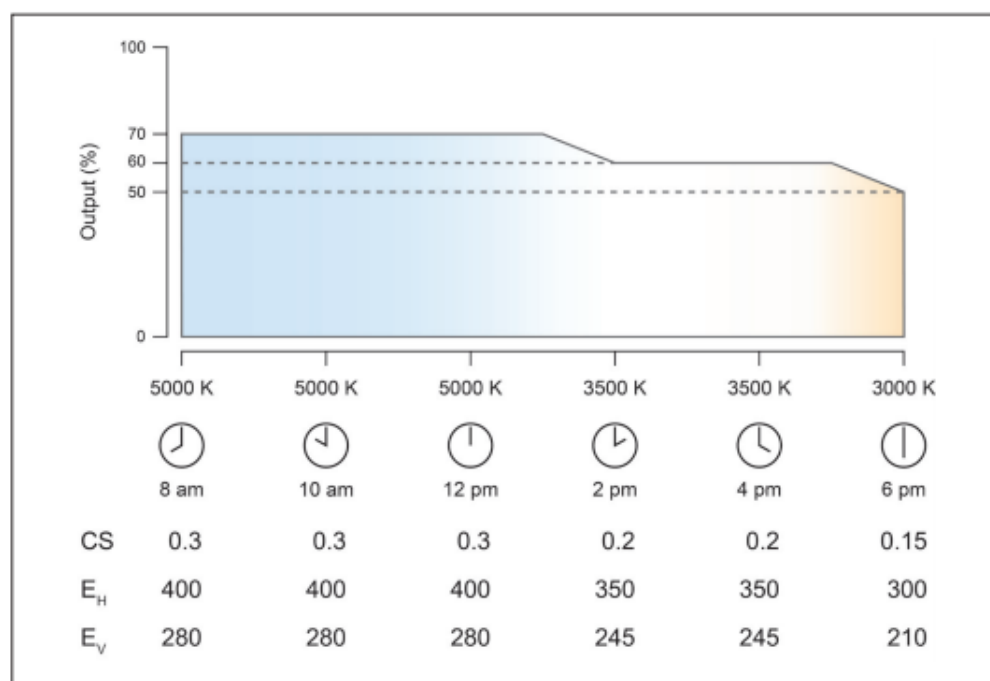
LRC on tutkinut erilaisia ratkaisuja sirkadiaanirytmien ohjaamiseen valaistuksella, sekä miten tätä rytmia voidaan ylläpitää mahdollisimman tehokkaasti. LRC on kehittänyt ja ehdottanut CS-arvoa (Circadian Stimulus) mittayksiköksi, jolla valaistuksen vaikutusta sirkadiaanirytmiiin voidaan esittää numeraalisesti. CS-arvo kertoo kuinka paljon yhden tunnin altistus tietylle valaistusvoimakkuudelle tietyllä spektrillä vaikuttaa ihmisen melatoniinin tuotantoon. CS-arvojen määritelmä pohjautuu elimistön melatoniinin maksimimääriin. Arvot on määritelty altistamalla koehenkilöt tunniksi tietylle valolle yöaikaan, jolloin melatoniini on elimistössä enimmillään. CS 0,3 tarkoittaa elimistön melatoniinin tuotannon tipahtamista 30% maksimista. (Lighting Research Center: Circadian stimulus 2018; Lighting Research Center: Circadian stimulus look-up charts 2019.)

Vaikka elimistö ei tuota melatoniinia päiväsaikaan, CS-arvoa voidaan silti käyttää mittarina, kuinka paljon valaistus vaikuttaa biologiseen kelloon. CS-arvo vaihtelee välillä 0,1-0,7. Arvo <0,1 tarkoittaa, ettei valaistuksella ole huomattavaa vaikutusta melatoniinin tuotantoon ja 0,7 kuvastaa suurinta havaittua melatoniinin tuotannon määrän laskemista elimistössä. LRC:n tutkimukset osoittavat, että altistus yli CS 0,3:lle tunnin ajan aamupäivästä vaikuttaa positiivisesti unen laatuun ja mielialaan. (Lighting Research Center: Circadian stimulus 2018; Lighting Research Center: Circadian stimulus look-up charts 2019.)

Nyrkkisääntönä valaistuksen suunnittelussa voidaan pitää: Aamulla kirkasta sinertävää valoa, jonka CS on yli 0,3 ja illalla hämärää ja kellertävää valoa, jonka



CS ei ylitä 0,1 (kuva 5). On kuitenkin huomioitava, että liian korkea CS heti heräämisen jälkeen, kääntää biologista kelloa taaksepäin ja liian korkea CS myöhään illalla kääntää sitä eteenpäin. Mitä pidempi altistus tietylle CS-määrälle, sitä tehokkaammin se vaikuttaa elimistöön, eli jos päiväsaikaan saa riittävästi erittäin kirkasta valoa, ei järjestelmä reagoi illalla niin herkästi normaalista poikkeaviin CS-arvoihin. (Lighting Research Center: Circadian stimulus 2018.)



KUVA 5. Esimerkki valaistuksen ohjauksen toteutuksesta CS-arvojen avulla (Lighting Research Center 2016)

Paras tapa saada aamulla korkea CS-arvo, on mennä ulos auringonnousun jälkeen vähintään puoleksi tunniksi. Myös pilvisenä päivänä tai aurinkolaseja käytettäessä ulkona saatava auringonvalo on riittävä stimuloimaan kronobiologista järjestelmää. Toinen tapa saada piristävää valoa aamulla on avata verhot ja istua/tehdä töitä kasvot ikkunaa kohden. Jos luonnonvalon hyödyntäminen ei onnistu, voidaan valaistusta käyttää tuottamaan riittävästi valoa. Riittävät CS-arvot voidaan saavuttaa esimerkiksi kattovalaisimilla, jalkalampuilla tai pöytälampuilla. (Lighting Research Center: Delivery and control of circadian stimulus 2018.)

Koska CS-määrän tarve vaihtuu päivän mittaan, tulisi valaistuksen olla himmennettävä ja parhaassa tapauksessa säädettävällä värilämpötilalla. Yksi tapa pitää CS-arvot matalana illalla on käyttää vain lämpimän valkoisia valonlähteitä iltaisin. LRC:n tutkimusten mukaan televisio tuottaa erittäin alhaisia CS-arvoja tavalliselta

katseluetäisyydeltä tarkasteltuna, eikä sillä ole huomioitavaa vaikutusta kronobiologiseen järjestelmään. Puhelimien ja tablettitietokoneiden katseluetäisyydet ovat toisaalta niin paljon pienempiä, että niiden valo aiheuttaa korkeita CS-arvoja ja voivat vaikuttaa unenlaatuun negatiivisesti. Näyttöjen himmentäminen ja sinisen valon suotimet laskevat CS-arvoja, mutta eivät välttämättä poista ongelmaa kokonaan. (Lighting Research Center: Delivery and control of circadian stimulus 2018.)

Ihmiskeskeisestä valaistuksesta puhuttaessa voidaan käyttää monia muitakin termejä kuvastamaan valaistuksen laatua kronobiologisen järjestelmän näkökulmasta. LRC ei kuitenkaan suosittele käyttämään näitä termejä yksinään kuvastamaan ihmiskeskeistä valaistusta. Nämä termit ovat värilämpötila, Full Spectrum valaistus ja Melanopix Lux.

- *Värilämpötilaa* voidaan pitää suuntaa antavana määreenä, mutta se itsessään ei kerro koko totuutta. Led sirujen valmistajat käyttävät erilaisia siruja ja erilaista fosforia ledien pinnassa, joten saman värilämpötilan ledin aallonpituusjakaumat voivat erota runsaasti toisistaan. Tästä johtuen saman värilämpötilan ledeillä ei välttämättä ole samanlaisia stimuloivia vaikutuksia.
- *Full Spectrum* on markkinointitermi, jolle ei ole virallista määritelmää. Yleisesti sitä käytetään kuvastamaan, että valonlähde lähettää valoa tasaisesti spektrin jokaisella aallonpituudella. Kuitenkin myös muutkin kuin täyden spektrin valonlähteet voivat tuottaa tarvittavaa valoa halutulla aallonpituudella ja näin ollen saavuttaa hyvän CS-arvon. Täyden spektrin valaisimet voivat iltaisin tuottaa voimakasta säteilyä sinisellä aallonpituudella.
- *Melanopix lux* on myös yksi termi valaistusta määrittäessä. Se on kuitenkin harhaanjohtava yksikkö kuvaamaan valon vaikutusta sirkadiaanirytmiiin. Se ei ole SI-yksikkö ja se kertoo, kuinka valo vaikuttaa vain yhteen silmän fotoreseptoreista (ipRGC), vaikka tutkimukset osoittavat, että myös muut fotoreseptorit vaikuttavat kronobiologisen järjestelmän toimintaan. Melanopic lux ei siis arvioi valon vaikutusta sirkadiaanijärjestelmän stimuloinnin perusteella. (Lighting Research Center: Circadian stimulus 2018.)

Valaistuksen suoraa vaikutusta ihmisen sirkadiaanirytmiiin on kallista ja vaikeaa tutkia. Kaikki LRC:n tulokset perustuvat tutkimuksiin, jossa on tutkittu valon vaikutusta melatoniinin tuotantoon öisin ja ihmisen vuorokausirytmien muuttumista erilaisille valaistuksille altistumisen jälkeen. Tutkimukset kuitenkin osoittavat vahvasti, että valolla on vaikutusta melatoniinin tuotantoon ja päivärytmien siirtymiseen, vaikka suoraa todistetta tästä ei ole olemassa. (Lighting Research Center: Circadian effective light 2019.)

## 4 VALAISIMEN CS-ARVON MÄÄRITTELEMINEN JA TOIMISTOVALAISTUKSEN SUUNNITTELU: CASE GREENLED

Työssä hankittujen tietojen pohjalta suunniteltiin toimistovalaistaus Greenledin uusiin toimistotiloihin CS-arvoja hyödyntäen. Suunnittelutyö aloitettiin laskemalla valaisimissa käytetyille led-siruille CS-arvot. Tarkoituksena oli tutkia, kuinka erilaiset valaistustavat ja valaisimet vaikuttavat halutun CS-arvon saavuttamiseen. Valaistustavoiksi valittiin suora ja puoliepäsuora valaistus. Työhön valittiin kolme erilaista valaisinta Greenlediltä. Nämä valaistukset mallinnettiin Dialux Evolla ja saatuja tuloksia vertailtiin keskenään.

### 4.1 Valaisimien CS-arvon määrittäminen

LRC:n internetsivuilta löytyy CS-laskuri, jolla pystyy laskemaan tietyn valonlähteen tuottaman CS-arvon. Sivustolta löytyy myös muutamia valmiita valonlähteitä, joita voidaan käyttää arvojen määrittelyssä. Laskimeen voidaan halutessa lisätä omia valonlähteitä, mikäli aallonpituusjakauma tiedetään 1nm tarkkuudella ja vaakatason valaistusvoimakkuus silmän korkeudella on tiedossa. Laskurissa voidaan laskea myös useamman valonlähteen tuottama CS-arvo, jos molempien valonlähteiden tiedot ja yksittäiset valaistusvoimakkuudet on tiedossa. Jos CS-arvoja lasketaan erittäin nuorille tai vanhoille ihmisille, voidaan Macular Pigment Optical Density -arvoa säätää tarpeen mukaan, jolloin laskuri ottaa huomioon silmässä iän myötä tapahtuvat muutokset. Tämä laskuri auttaa suunnittelijoita hyödyntämään CS mitta-asteikkoa tilojen valaistuksia suunnitellessa. Sivustolta löytyy myös valmiita malleja vanhainkodin, toimiston, luokka- ja sairaalahuoneen suunnitteluun. (Lighting Research Center: CS-Calculator 2019.)

CS-laskurin avulla laskettiin CS-arvoja Greenledin käyttämille kahdelle led-sirulle tietyissä valaistusvoimakkuuksissa. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 1.

Ledin tyyppi	CRI	CCT	Valaistusvoimakkuuksien mukaiset CS-arvot				
			Valaistusvoimakkuus (lx)				
			50	100	300	500	700
1	80	2700	0,069	0,133	0,309	0,407	0,467
	80	yhdistetty 2700 ja 6500	0,054	0,107	0,267	0,367	0,433
	80	5000	0,070	0,135	0,314	0,415	0,477
	80	6500	0,090	0,169	0,365	0,462	0,519
	90	2700	0,076	0,145	0,328	0,425	0,484
	90	yhdistetty 2700 ja 6500	0,063	0,123	0,296	0,397	0,461
	90	5000	0,065	0,126	0,300	0,401	0,465
	90	6500	0,104	0,191	0,393	0,487	0,539
2	80	2700	0,069	0,132	0,307	0,405	0,466
	80	yhdistetty 2700 ja 6500	0,057	0,113	0,278	0,378	0,444
	80	5000	0,071	0,137	0,317	0,418	0,480
	80	6500	0,094	0,176	0,373	0,470	0,525
	90	2700	0,076	0,146	0,328	0,426	0,485
	90	yhdistetty 2700 ja 6500	0,061	0,120	0,290	0,391	0,456
	90	5000	0,070	0,136	0,316	0,417	0,480
	90	6500	0,099	0,184	0,385	0,480	0,534

TAULUKKO 1. Lasketut CS-arvot kahdelle eri led-sirulle kahdella eri värintoisto - arvolla.

Tämän taulukon pohjalta on tehty kuvaajat (liite 1) jonka perusteella voidaan helposti määrittää valaistusvoimakkuutta vastaava CS-arvo. Näitä CS-kuvaajia käytettiin apuna erilaisia valaistustapoja vertailtaessa.

Työtä tehdessä laskurin toiminnassa huomattiin joitakin epäjohdonmukaisuuksia. Eräässä tilanteessa, jossa laskettiin CS-arvoa useamman valonlähteen tuottamalle valolle, muuttui CS-arvo lähes kaksinkertaiseksi muuttamalla valaistusvoimakkuutta 1 luksilla. Myöskin taulukossa olevilla 2700 ja 6500 kelvinin siruilla laskettu yhdistetty CS-arvo antaa erikoisen tuloksen. LRC:n uusimmassa asiaa käsittelevässä julkaisussa tämä vihreän aallonpituuden epäjatkuvuuskohta on huomioitu, mutta sen osalta ei ole vielä riittäviä tutkimustuloksia, jotta pystyttäisiin sanomaan mikä sen vaikutus on kronobiologiseen järjestelmälle.

## 4.2 Toimistovalaistuksen suunnittelu hyvinvointi huomioon ottaen

Työssä vertaillaan, kuinka hyvin tietyt CS-arvot pystytään toteuttamaan Greenledin uudessa avotoimistossa. Toimivuuden kannalta on tärkeää huomioida, että valaistus olisi säädettävissä työpistekohtaisesti, jotta valaistus mukailisi jokaisen henkilökohtaista päivärytmiä ja jokaisen omia mieltymyksiä värilämpötilojen ja kirkkauden osalta. Lisäksi on huomioitava käyttäjien iän tuomat muutokset silmän rakenteessa, jotka vaikuttavat verkkokalvolle pääsevään valoon. Valaistuksen tulee olla suunniteltu niin, ettei tilan yleisilme kärsisi valaistusvoimakkuuksien ja värilämpötilojen epätasaisuuksien vuoksi, vaikka valaistusta olisi säädetty työpistekohtaisesti.

### 4.2.1 Suunniteltavat tilat ja valaistusratkaisujen lähtökohdat

Suunniteltava toimisto koostuu noin 140 m<sup>2</sup> avotoimistosta, jossa on 8 työpistettä ja keittiönurkkaus, sekä 3 pientä toimistohuonetta ja neuvottelutila (kuva 6). Toimistossa on ikkunat itään päin koko seinän pituudelta. Näistä tulevaa auringonvaloa ei suunnittelussa otettu huomioon valon määrän ja värilämpötilan jatkuvan vaihtelevuuden vuoksi.



KUVA 6. Toimisto mallinnettuna Dialux Evo -ohjelmaan. (Teemu Nuutinen 2019)

Tavoitteena oli saada hyvä yleisvalaistus ja jokaiselle työpisteelle tasainen, sekä kirkas valaistus, joka täyttää standardin vaatimukset. Lisäksi valaistuksen tulisi olla säädettävissä työpistekohtaisesti. Ohjaustapoihin ei työssä ole otettu kantaa, vaan työssä keskityttiin ainoastaan erilaisiin valaistusratkaisuihin, joita voidaan ohjata tarpeen mukaan siihen soveltuvalla järjestelmällä.

#### 4.2.2 CS- arvot toimistoympäristössä

LRC:n ohjeiden perusteella toimistoon suunniteltiin aikataulu, jonka mukaan valaistuksen värilämpötilaa ja silmien korkeudella olevaa pystytason valaistusvoimakkuutta säädetään yleisesti. Taulukossa 2 on esitetty suunniteltu aikataulu ja sitä vastaavat arvot taulukon 1 mukaiselle led tyypille 2 (CRI 80).

KELLONAIKA	CS-TAVOITE	$E_v$ (lx)	CCT (K)	LASKETTU CS
7:00-12:00	>0,4	500	6500	0,47
12:00-13:00	0,4-0,3	450	5000	0,4
13:00-16:00	0,3	330	2700 ja 6500	0,3
16:00-17:00	0,3-0,2	230	2700 ja 6500	0,22
17:00-19:00	0,2	170	2700	0,2
19:00-20:00	0,2-0,1	130	2700	0,16
20.00	0,1	70	2700	0,1

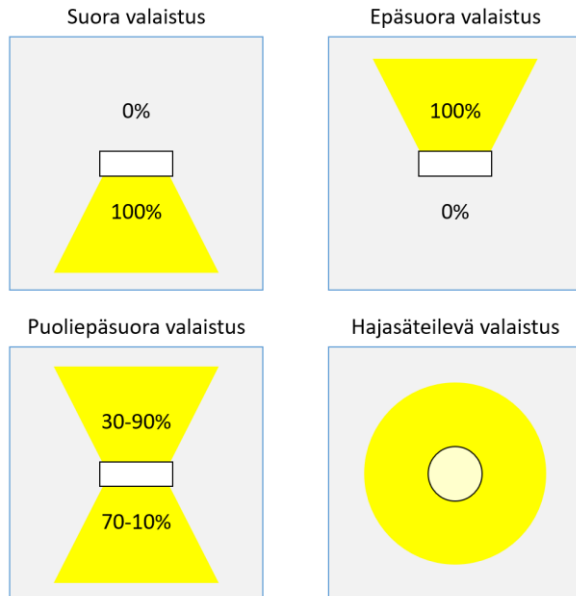
TAULUKKO 2. CS-aikataulu ja niitä vastaavat värilämpötilat ja valaistusvoimakkuudet.

Suunnitelman mukaan aamusta puoleen päivään toimistossa on kirkas ja kylmän sävyinen valaistus, joka piristää. Puolen päivän jälkeen valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa aletaan tiputtaa hiljalleen asteittain iltaa kohti mennessä, jotta liian korkeat CS-arvot eivät vaikuttaisi luontaiseen melatoniinin tuotantoon illemmalla.

Haluttujen CS-arvojen täytyminen voidaan suunnitella alustavasti Dialux Evo -ohjelmassa esimerkiksi sijoittamalla puolisynterivalaistusvoimakkuuden mittauspisteitä työpisteiden kohdille ja tarkastamalla voimakkuudet niiltä pinnoilta.

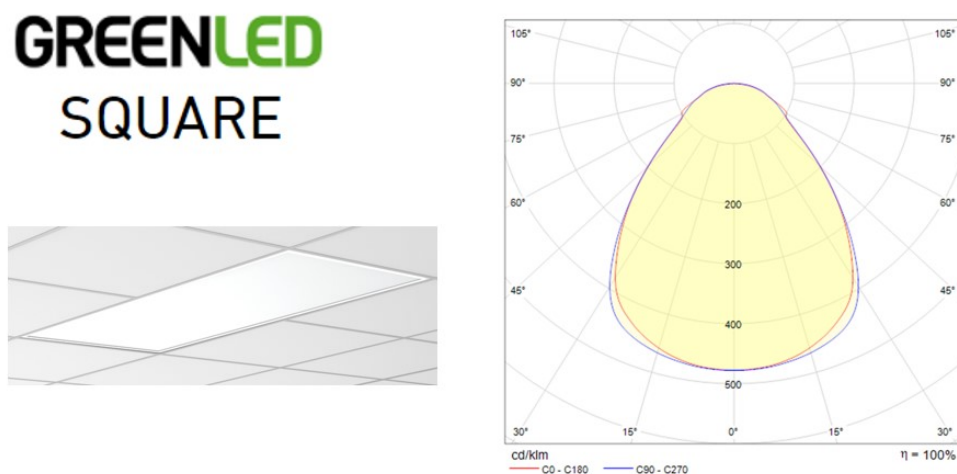
### 4.3 Suunnitellut valaistusratkaisut

Yleisimpiä toimistoissa käytettyjä valaistustapoja ovat suora, epäsuora ja puoliepäsuora valaistus (kuva 7).



KUVA 7. Erilaisia valaistustapoja ja valonjakosuhteita. (Teemu Nuutinen 2019)

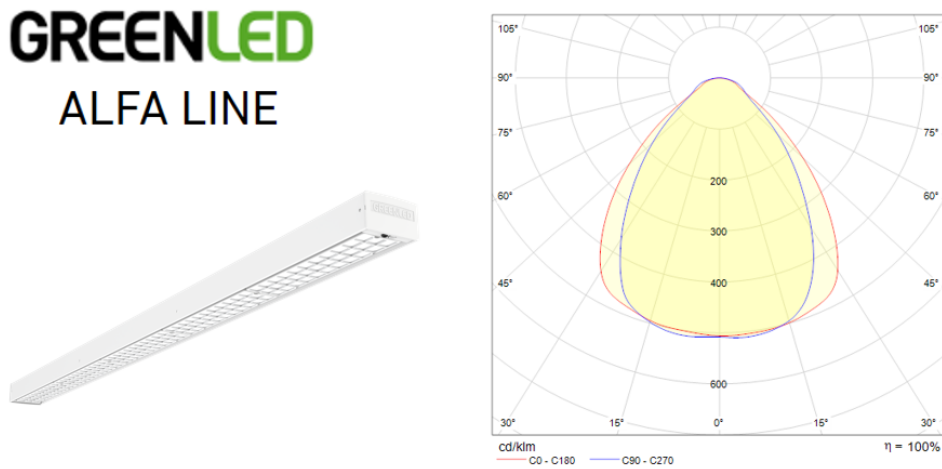
Vertailtaviksi valaistustavoiksi valittiin suora ja puoliepäsuora valaistus, koska pelkkää epäsuoraa tai hajasäteilevää valaistusta ei ole mahdollista säätää yksilöllisesti. Suoraa valaistusta varten valittiin Square -paneelivalaisimet ja Alfa line -yleisvalaisimet. Square valaisimista valittiin 60x60 cm paneeli mikroprismaoptiikalla, jonka valovirta on 4700 lm ja teho 45 W (kuva 8).



KUVA 8. Square mikroprisma -valaisimen kuva ja valonjako. (Muokattu. Alkuperäinen kuva Greenled 2019)



Alfa line sarjasta valittiin leveän valonjaon versio, koska kapeammalla valokeilalla kiusahäikäisy olisi noussut liian korkeaksi. Tässä valaisimessa valovirta on 6150 lm ja teho 45 W (kuva 9).



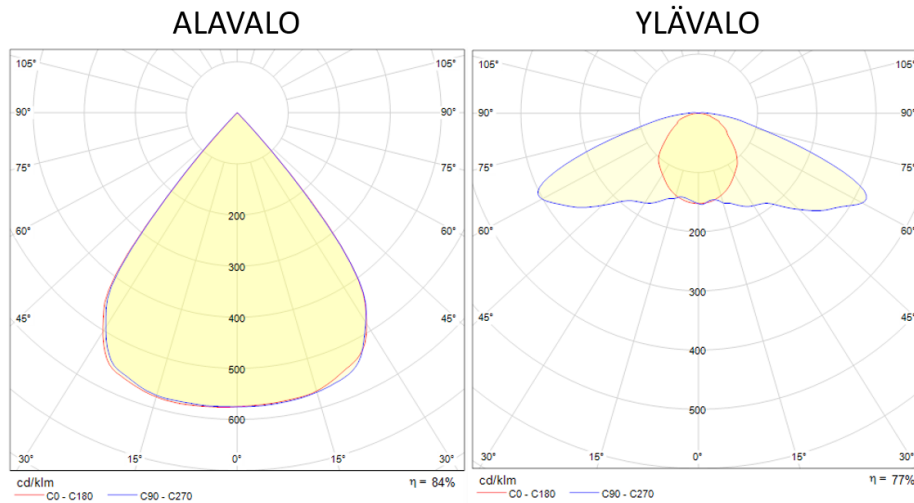
KUVA 9. Alfa Line -valaisimen kuva ja valonjako. (Muokattu. Alkuperäinen kuva Greenled 2019)

Kolmantena valaisimena käytettiin Greenledin kehitteillä olevaa valaisinta, joka julkaistaan syksyllä. Kyseinen valaisin on suunniteltu täyttämään ihmiskeskeisen valaistuksen tarpeet ja siinä on erillinen ylä- ja alavalo (kuva 10).



KUVA 10. Greenledin uusi valaisin. (Greenled 2019)

Valaisimesta ei ollut vielä valmista valonjakotiedostoa, joten suunnitelmat tehtiin heiltä saatujen erillisten valonjakotiedostojen mukaan, jotka oli mitattu suunniteluille led ja heijastin -yhdistelmille. Ylä- ja alavalon heijastimien valonjaot on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Ala- ja ylävalon valonjaot. (Teemu Nuutinen 2019)

Kaikki suunnitelmissa käytetyt valaisimet ovat led-valaisimia, jotka on ripustettu kattopalkkien alapuolelle. Tilasta tehtiin 3d-malli Dialux Evolla ja malliin piirrettiin valaisimet kaikilla kolmella eri valaisintyyppillä (kuva 12).



KUVA 12. Toimiston Dialux Evo -mallit eri valaistustavoilla. (Teemu Nuutinen 2019)

#### 4.4 Valaistusratkaisujen yhteenveto ja hyvinvoinnin näkökulma

Kaikissa suunnitelluissa valaistusratkaisuissa saavutettiin standardien mukaiset valaistusvoimakkuudet, tasaisuudet ja kiusahäikäisy -arvot. Kaikilla valaisimilla valaistusta pystytään säätämään CS-arvon muuttamiseksi, mutta suoraa valoa antavilla valaisimilla säätö onnistuu vain koko tilassa samanaikaisesti. Laajan valonjaon takia yksittäisen työpisteen valaistusta ei ole mahdollista säätää ilman että se vaikuttaisi viereisiinkin työpisteisiin.

Valaisimilla, joissa on erillinen ylä- ja alavallo, saavutetaan hyvä työpistekohtainen säädettävyys valaistuksessa ilman että koko toimiston yleisvalaistus kärsisi. Kaikkien valaisimien ylävalot voivat mukaila tiettyä rytmiä värilämpötilassa ja kirkkaudessa, ja alavalot voidaan ohjelmoida henkilökohtaiset rytmit huomioon ottaen. Kuvassa 13 on esitetty tilanne, jossa yhdelle työpisteelle on suunniteltu paljon matalampi CS-arvo. Avotoimiston keskimääräinen valaistusvoimakkuus tässä tilanteessa on käyttötasolla 400 luksia. Kirkkaammilla työpisteillä voimakkuus on 1000 lx, värilämpötila 5000 Kelviniä ja CS 0,55 ja himmeämmällä työpisteellä 310 lx, 4180 K ja CS 0,2.



KUVA 13. Työpistekohtaisesti säädetty valaistus. (Teemu Nuutinen 2019)

Kaikkia valaistustapoja voidaan käyttää ihmiskeskeisen valaistuksen toteuttamiseksi, mutta tiloissa, joissa valaistuksen säätö halutaan yksilölliseksi, on pa-

rasta käyttää puoliepäsuoraa valaistusta. Suoraa valaistusta voidaan käyttää yksittäisissä toimistoissa, tai tiloissa, joissa yksilöllinen valaistus ei käyttäjien vaihtuvuuden takia ole mahdollista, kuten neuvottelutiloissa, luentosaleissa tai ryhmätyöskentelytiloissa.

LRC:n suosittelemat CS-arvot on mahdollista toteuttaa toimistojen valaistusta suunniteltaessa. Niiden avulla ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelu helpottuu ja valaistusratkaisuja voidaan yhdenmukaistaa. Kaikista matalimpia CS-arvoja tavoiteltaessa vaakataso valaistusvoimakkuudet kuitenkin tipahtavat useimmiten alle standardien määräämän tason.

## 5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tutustua CS-arvoon, laskea CS-arvoja led-siruille ja suunnitella Greenledin toimistoon ihmiskeskeinen valaistus näiden tietojen pohjalta. Työssä havaittiin, että hyvän ihmiskeskeisen valaistuksen saavuttamiseksi, valaistuksen olisi hyvä olla säädettävissä toimistoissa työpistekohtaisesti jokaisen oman rytmin ja mieltymysten mukaisesti. Tämän takia valaisimet erikseen säädettävällä ylä- ja alavalolla, tai yleisvalaistus ja työpistekohtaiset lisävalaisimet ovat parhaita ratkaisuja toimistoihin, tai muihin vastaaviin tiloihin.

Työssä käytetyillä valaistusratkaisuilla on mahdollista saavuttaa erittäin laaja skaala erilaisia CS-arvoja. Täytyy kuitenkin huomioida, että matalimmilla CS-arvoilla ei työtasolla saavuteta standardin mukaista 500 lx voimakkuutta. Suunnitelmassa näin pienet vaakatason valaistusvoimakkuudet tulevat vasta kello 16 jälkeen, jolloin useimmat jo lopettelevat töitensä toimistolla.

Opetustiloissa, neuvotteluhuoneissa, luentosaleissa ja muissa vastaavissa tiloissa valaistusta ei ole mahdollista säätää jokaiselle henkilökohtaisesti. Näissä tiloissa valaistus tulisi aina suunnitella keskimääräisen kohdeyleisön mukaisesti. Erittäin vanhoille tai nuorille täytyy huomioida silmän kehitys ja sen myötä erilaiset valaistusvoimakkuustarpeet. Mikäli mahdollista olisi näidenkin tilojen valaistuksen hyvä olla säädettävissä kirkkauden ja värilämpötilan osalta, jotta valaistusta voitaisiin säätää yleisesti vuorokauden mukaan ja tukea näin ihmisten luonnollista vuorokausirytmää, sekä säätää valaistusta tarvittaessa esimerkiksi piristävän vaikutuksen aikaansaamiseksi.

Tutkimukset ihmiskeskeisen valaistuksen osalla ovat vielä suhteellisen tuoreita ja uusia tutkimustuloksia tulee jatkuvasti lisää. Tässä työssä hyödynnetyissä tutkimustuloksissakaan ei ole löydetty suoraa yhteyttä valon vaikutuksesta sirkadianrytmiin, vaan kaikki tieto perustuu tutkimuksiin valon vaikutuksesta melatoniinintuotantoon yöaikaan ja vuorokausirytmien siirtymiseen. Näiden tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin luotettavasti osoittaa, että valolla on iso rooli sirkadianrytmien tahdistuksessa ja valon avulla voidaan ylläpitää luonnollista vuorokausirytmää, joka vaikuttaa positiivisesti ihmisen terveyteen ja elämänlaatuun.

LRC:n materiaalit asiasta ja CS-arvoista ovat vielä uusia ja useissa tutkimuksissa mainittiinkin, että kyseistä asiaa olisi syytä tutkia tarkemmin.

CS-arvo on ensimmäinen ehdotettu mittayksikkö kuvastamaan valon vaikutusta sirkadiaanirytmiiin ja vaikka aiheesta riittää vielä paljon tutkittavaa, voidaan CS-arvoa pitää hyvänä lähtökohtana ihmiskeskeisiä valaistuksia suunnitellessa. CS-arvoja käyttäessä jokainen kohde tulee suunnitella yksilöllisesti tilan, käyttäjien ja käytettävien valaistusratkaisujen takia. LRC tarjoaa erilaisten kohteiden suunnitteluun avuksi hyviä materiaaleja, joita käyttämällä voidaan toteuttaa hyviä ihmiskeskeisiä valaistusratkaisuja.

## LÄHTEET

A.T.Kearney. 2015. Human Centric Lighting. Quantified benefits of Human Centric Lighting. Luettu 8.12.2018. [https://www.lightingeurope.org/images/publications/presentations/150420\\_From\\_Barriers\\_to\\_Measures\\_-\\_Final\\_Results\\_-\\_Complete\\_vF\\_004.pdf](https://www.lightingeurope.org/images/publications/presentations/150420_From_Barriers_to_Measures_-_Final_Results_-_Complete_vF_004.pdf)

Fergus, A. 2016. How to Improve Your Sleep With Morning Sunlight. Luettu 16.3.2019. <https://www.alexfergus.com/blog/how-to-improve-your-sleep-with-morning-sunlight>

Figueiro, M. G. 2003. Research Recap: Circadian rhythm. Lighting Research Center. Tulostettu 15.12.2018. <https://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/researchrecap.pdf>

Korshunov, K. S., Blakemore, L. J., & Trombley, P. Q. 2017. Dopamine: A Modulator of Circadian Rhythms in the Central Nervous System. *Frontiers in cellular neuroscience*, 11, 91.

Lambert G. W., Reid, C., Kaye, D. M., Jennings, G. L., Esler, M. D. 2002. Effect of sunlight and season on serotonin turnover in the brain. Luettu 9.3.2019. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(02\)11737-5/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(02)11737-5/fulltext)

Latvajärvi, E. 2013. Valon hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden huomiointi valaistussuunnittelussa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Licht.de. 2014. Licht.wissen 19: Impact of Light on Human Beings. Luettu 15.12.2018. [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)

Licht.de. 2018. Licht.wissen 21: Guide to Human Centric Lighting (HCL). Luettu 15.12.2018. [https://en.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809\\_lw21\\_E\\_Guide\\_HCL\\_web.pdf](https://en.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809_lw21_E_Guide_HCL_web.pdf)

Lighting Research Center. Circadian effective light. Luettu 5.5.2019. <https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/CircadianEffectiveLight.pdf>

Lighting Research Center. 2018. Circadian rhythms. Youtube 6.8.2018.  
<https://youtu.be/noJnpGmWEPk>

Lighting Research Center. 2018. Circadian stimulus. Youtube 6.8.2018.  
<https://youtu.be/wxXxpnCOpSU>

Lighting Research Center. Circadian stimulus look-up charts. Luettu 16.3.2019.  
[https://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/LookUpTable\\_Direct-Indirect.pdf](https://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/LookUpTable_Direct-Indirect.pdf)

Lighting Research Center. 2019. CS-calculator. Luettu 16.1.2019.  
<https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/>

Lighting Research Center. 2018. Delivery and control of circadian stimulus. Youtube 6.8.2018. <https://youtu.be/Eje6SRx289o>

Riihimäki, A. 2018. Ihmiskeskeinen valaistus. Yleisesti sekä kouluympäristössä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

SFS-EN 12464-1:2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 10.10.2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Tinsley, G. 2018. How Tryptophan Boosts Your Sleep Quality and Mood. 25.2.2018. Luettu 16.3.2019. <https://www.healthline.com/nutrition/tryptophan>

Tortora, G. J., Derrickson, B. H. 2009. Principles of Anatomy and Physiology: Organization, Support and Movement, and Control Systems of the Human Body. Asia. John Wiley & Sons.

Troy, N. Y. 2016. LRC Releases Free, Open Access Circadian Stimulus Calculator. Luettu 16.2.2019. [https://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/pr\\_story.asp?id=338#.XKtQXJgzaUI](https://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/pr_story.asp?id=338#.XKtQXJgzaUI)

University Of California, San Diego. 2003. Bright Light Exposure Increases Male Hormone. 21.4.2003. ScienceDaily. Luettu 16.3.2019. [www.sciencedaily.com/releases/2003/04/030421084040.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2003/04/030421084040.htm)

Virtanen, J. 2012. Myymälävalaistuksen muutostyön suunnittelu. Kohti energia-  
tehokkaampaa valaistusta. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö



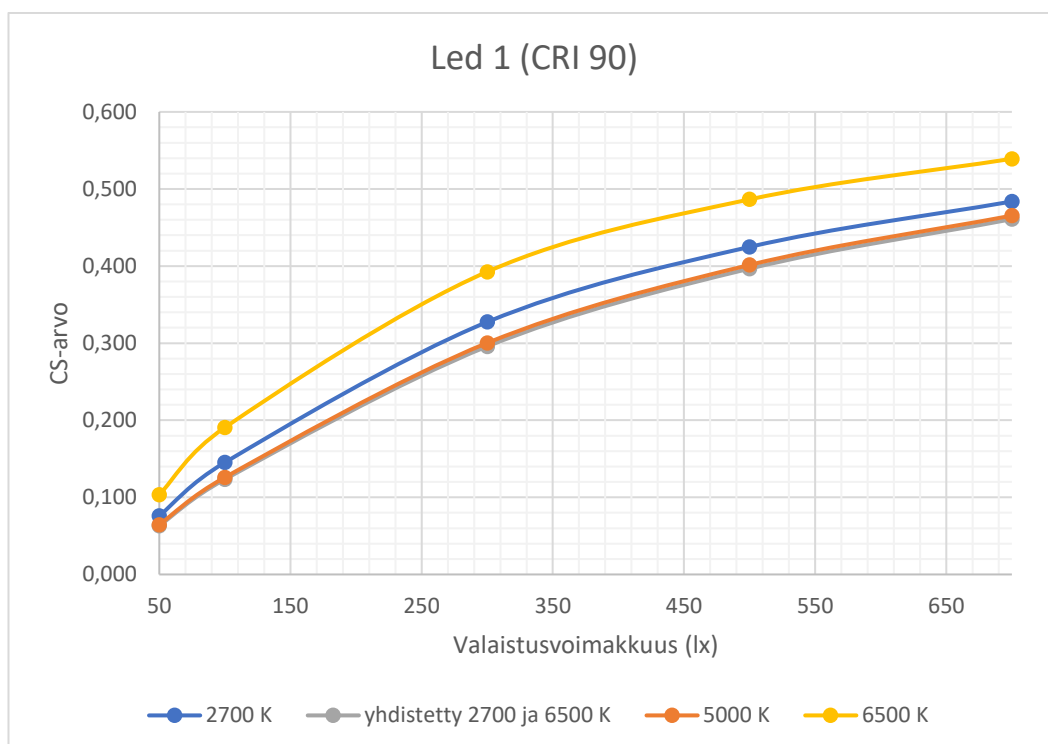
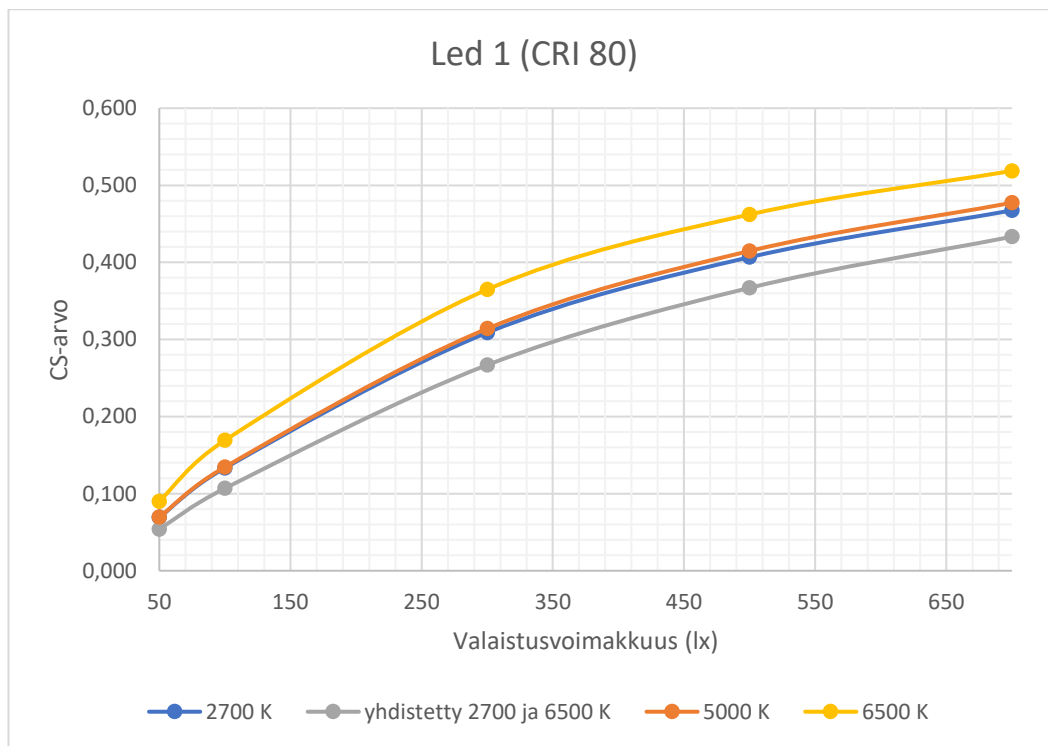
Ylijoki, H. 2005. Toimistovalaistuksen laadulliset lähtökohdat. Valaistussuunnitelma VALOA design Oy:lle. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Young S. N. 2007. How to increase serotonin in the human brain without drugs. *Journal of psychiatry & neuroscience: JPN*, 32 (6), 394–399.

## LIITTEET

Liite 1. Kuvaajat led sirujen valaistusvoimakkuuksista ja CS-arvoista

1 (2)



(jatkuu)

