



VALON HYVINVOINTIIN VAIKUT- TAVIEN TEKIJÖIDEN HUOMIOINTI VALAISTUSSUUNNITTELUSSA

Eero Latvajärvi

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu

Talotekniikka

Sähköinen talotekniikka

Eero Latvajärvi

Valon hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden huomiointi valaistussuunnittelussa

Opinnäytetyö 48 sivua

Toukokuu 2013

Valon positiivinen vaikutus ihmisen mielialaan ja vireystasoon on tunnettu kautta aikain, ja monissa kulttuureissa valoterapia on ollut yleinen hoitomuoto eri sairauksiin satojen vuosien ajan. Viime vuosikymmenen alkupuolella ihmissilmästä löydetty valoherkkä aistinsolu, joka ei sauva- ja tappisolujen tapaan vaikuta visuaaliseen näkökokemukseen, vaan säätelee muun muassa kehon hormonitoimintaa, on viimeinkin tuonut vastauksia siihen, miten ja miksi valo vaikuttaa ihmiseen. Tämä valoherkkä gangliosolu säätelee vuorokausirytmää tahdistamalla sisäisen kellon vallitsevaan valo-pimeärytmiin ja vastaa myös monista muista biologisista vaikutuksista nisäkkäissä.

Tässä työssä perehdyttiin siihen, miten valo vaikuttaa ihmisen kronobiologiseen järjestelmään ja hyvinvointiin, ja pohdittiin millaisia vaikutusmahdollisuuksia valaistussuunnittelijalla voisi työssään olla näiden vaikutusten hallitsemiseen. Työn lähtökohtana ovat Fagerhultin viimeaikaiset tutkimukset aiheeseen liittyen, joiden suosittamia työkaluja ja toimintatapoja kirjoittajalla on työtehtävissään mahdollista käyttää.

Työssä käsitellään aluksi näkemistä ja silmän toimintaa, jotka ovat perusta kaikille valon vaikutuksille. Seuraava osa sisältää tietoa valon hyvinvointiin liittyvistä tekijöistä ja niiden taustalla vaikuttavista ilmiöistä. Tämän jälkeen työssä luodaan katsaus siihen miten valon ei-visuaaliset vaikutukset otetaan huomioon käytössä olevassa valaistusstandardissa ja valaistussuunnittelijan työtehtävissä. Viimeisessä osassa tärkeässä roolissa ovat Fagerhultin tutkimukset sekä niissä esille tulleet aspektit.

Valon ei-visuaalisiin vaikutuksiin perehtymisen myötä kävi ilmi se, miten suuria vaikutuksia luonnonvalolla ja keinovalolla on ihmisen hyvinvointiin. Tutkimusmateriaalia aiheesta on todella paljon ja niiden tuloksia huomioimalla voi valaistussuunnittelussa suunnitella entistä parempia valaistusratkaisuja.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Housing Technology
Electrical Housing Technology
Eero Latvajärvi
Positive Effects of Light in Lighting Designing

Bachelor's thesis 48 pages
May 2011

Positive effects of light for mood and alertness have been known through ages and light therapy has been a common treatment for different diseases for hundreds of years. A new photosensitive cell, found in human retina at the beginning of last decade finally brings answers to how the light affects on human hormone suppression and other biological aspects. This photosensitive ganglion cell regulates circadian rhythm by synchronizing internal clock to environmental light/dark-cycle and it has also other biological effects.

The purpose of this thesis was to get acquainted with studies on biological effects of light. Also some thoughts about possibilities to affect these phenomena as a lighting designer were written. The foundation of this thesis were recent studies of Fagerhult, which gives the tools and procedures that are used as the job of the writer.

The basis for the phenomenon is vision and the structure of eye, which are elaborated on the first part of the actual text. The following part of the thesis goes deeper into the biological effects, the emphasis on the studies by Fagerhult. The last part takes into consideration different ways to use and market the aspects the researches recommend.

Key words: lighting, lighting designing, wellbeing

Alkusanat

Jokainen projekti on jossain vaiheessa päästettävä käsistä, vaikka viilaamista tuntuisi riittävän ikuisesti. Tämän työn kohdalla on nyt koittanut se hetki, ja on aika kiittää henkilöitä ja tahoja jotka ovat mahdollistaneet projektin loppuunsaattamisen.

Opinnäytetyön aihe on pyörinyt mielessä jo nykyisen opinahjon ensimmäisestä valaistustekniikan luennosta lähtien. Työn ohjauksesta ja oikeastaan koko valaistusalalle ajautumisesta vilpittömät kiitokset TAMKin lehtorille Kari Kallioharjulle.

Suurikiitokset koko Fagerhultin porukalle. Ilman teitä työni ei olisi sellainen kuin se nyt on. Kiitokset myös ystäville ja lähipiirille, jotka ovat joutuneet kestämään vouhotustani kronobiologiasta, hormonitoiminnan oikuista ja hypotalamuksen suprakiasmaattisista tumakkeista.

Erityiskiitokset vanhemmilleni, jotka ovat tukeneet kaikin mahdollisin tavoin koko opiskelutaipaleen ajan.

Tampereella 14.5.2013

SISÄLLYS

Alkusanat	4
1 Johdanto.....	8
2 Näkemisen perusteet.....	9
2.1 Silmän rakenne	10
2.1.1 Kovakalvo, sarveiskalvo ja sidekalvo	11
2.1.2 Värikalvo ja sädekehä	11
2.1.3 Mykiö	12
2.1.4 Lasiainen	13
2.1.5 Verkkokalvo	13
2.2 Silmän toiminta ja näkeminen	15
2.2.1 Sopeutuminen (adaptoituminen) ja sen häiriöt	15
2.2.2 Mukautuminen (akkomodoituminen)	17
3 Valon vaikutukset kronobiologiseen järjestelmään sekä mielialaan ja vireystilaan	19
3.1 Sirkadiaanirytmii.....	19
3.2 Valoherkät gangliosolut (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGCs/ melanopsin-containing retinal ganglion cells, mRGCs).....	20
3.3 Melanopsiini	21
3.4 Valon vaikutukset vireystilaan ja mielialaan	22
4 Valon ei-visuaalisten vaikutusten huomioiminen valaistussuunnittelijan työtehtävissä	24
4.1 Valon ei-visuaalisten vaikutusten huomioiminen standardissa EN 12464-1:2011	24
4.2 Valon hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden huomioiminen valaistussuunnittelussa.....	25
5 Fagerhultin tutkimukset valon vaikutuksista terveyteen, mielialaan ja vireystilaan	27
5.1 Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children (2011)	27
5.1.1 Päivänvalon vaikutukset.....	29
5.1.2 Mittaukset.....	30
5.1.3 Tutkimusaiheet.....	30
5.1.4 Koehenkilöt.....	31
5.1.5 Mittaukset.....	31
5.1.6 Tulokset.....	32
5.1.7 Koulumenestys	32
5.1.8 Visuaalinen näkökulma.....	33
5.1.9 Biologiset vaikutukset.....	33

5.1.10	Emotionaaliset näkökohdat	35
5.1.11	Yhteenveto	36
5.2	The experience of ambient light from common light sources with different spectral power distribution – Light emitting diodes (LED) vs. 3- phosphorus fluorescent tubes (T5) (2012)	38
5.2.1	Tutkimuksen järjestely ja tutkimusmetodit	39
5.2.2	Testihenkilöt	42
5.2.3	Tulokset	42
5.2.4	Millaisena tila koettiin	42
5.2.5	Kirkkausvaikutelma	42
5.2.6	Valon laatu	43
5.2.7	Biologinen näkökulma – vaikutukset hormonituotantoon	43
5.2.8	Johtopäätökset	44
6	Pohdinta	46
	LÄHTEET	47

ERITYISSANASTO

LGN	Lateral Geniculate Nucleus. Ulompi polvitumake
SCN	Suprachiasmatic Nucleus. Suprakiasmaattinen tumake
L	Luminanssi kandela neliömetrille [cd/m^2], kuvaa tietylle pinnalle saapuvan valovirran määrää
E	Valaistusvoimakkuus luksa [lx], kuvaa tietylle pinnalle saapuvan valovirran määrää
Φ	Valovirta lumen [lm], ilmaisee valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän

1 Johdanto

2000-luvun alussa silmän verkkokalvolta löydetty valolle aktiivinen gangliosolu, joka ei vaikuta näköaistimukseen, vaan säätelee muun muassa kehon hormonitoimintaa sekä muita biologisia mekanismeja, on viimeinkin tuonut vastauksia siihen, miten ja miksi valo vaikuttaa ihmiseen.

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä siihen, miten luonnonvalo sekä keinotekoinen valo vaikuttavat kronobiologisen järjestelmän toimintaan, vireystilaan ja mielialaan. Tärkeässä roolissa erityisesti keinovalon hyvinvointiin vaikuttaviin mekanismeihin perehdyttäessä ovat Fagerhultin viimeaikaiset tutkimukset aiheeseen liittyen. Tavoitteena on oppia ymmärtämään paremmin valon vaikutuksia hyvinvointiin ja vireystilaan, jolloin niiden huomioiminen valaistussuunnittelijana on mahdollista.

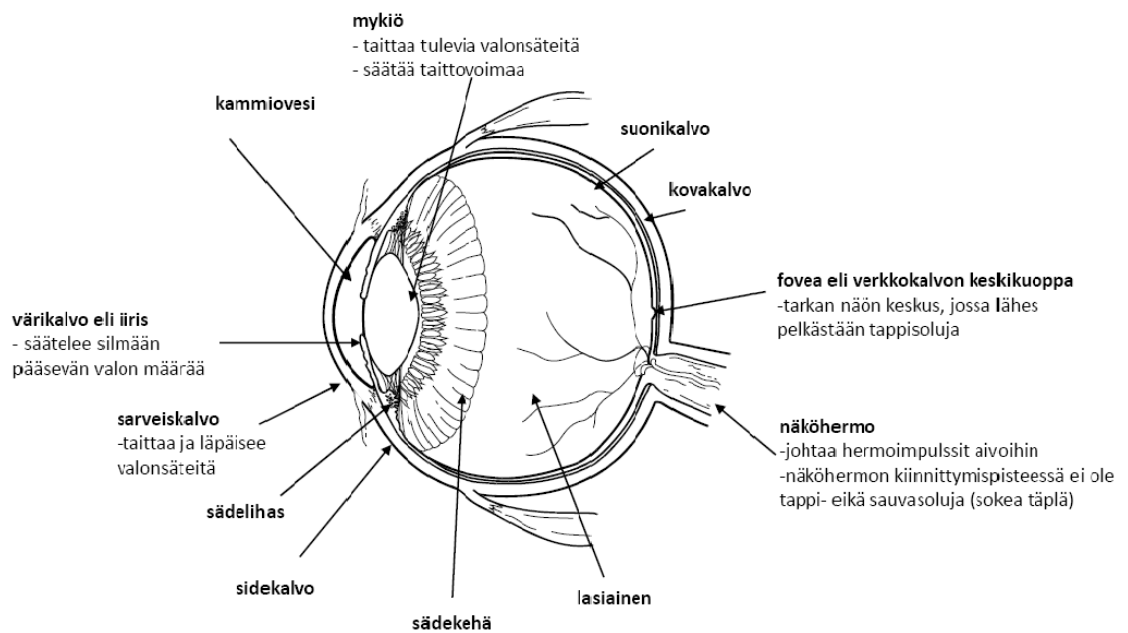
Valon ei-visuaalisten vaikutusten pohjana on silmän toiminta, jota käsitellään työni kolmannessa kappaleessa. Neljäs kappale pureutuu valon kronobiologisiin vaikutuksiin, sekä valon hyvinvointiin liittyviin tekijöihin. Viides osa työstä keskittyy siihen, miten valon ei-visuaaliset vaikutukset on huomioitu kansallisessa valaistusstandardissa, ja siihen, miten valaistussuunnittelija voi työssään vaikuttaa kyseisiin ilmiöihin. Kuudennessa kappaleessa tärkeässä roolissa ovat Fagerhultin viimeaikaiset tutkimukset valon hyvinvointiin liittyen, sekä niissä esille tulleet aspektit. Viimeinen kappale summaa yhteen työn sisällön.

Visuaalinen aistiminen perustuu valoon, eikä ole mahdollista ilman sitä, mutta yhtä tärkeää näkemisen kannalta on ympäröivät pinnat, joista valo heijastuu. Valaistussuunnittelijan on syytä tuntea näkemisen perusteet pystyäkseen luomaan mahdollisimman hyviä ja toimivia valaistusratkaisuja. Ikääntymisen vaikutus näkökokemukseen ja tarvittavaan valon määrään on myös otettava huomioon. 60-vuotiaana tarvittavien valaistusvoimakkuuksien määrä on jopa kolminkertainen 20-vuotiaaseen verrattuna. Riittäväällä ja tarkoituksenmukaisella valaistuksella voidaan myös helpottaa silmäsairauksista kärsivien henkilöiden elämää lisäämällä visuaalisen näköelimen kautta saatavaa informaatiota. (Halonen & Lehtovaara; Kallioharju)

2.1 Silmän rakenne

Silmä sijaitsee silmäkuopassa kallon etuosassa ja sitä pitää paikallaan sen ympäröivä orbitarasva. Silmä on halkaisijaltaan n. 2,5 senttimetriä ja sisältä sitä täyttää väritön, hyytelömäinen massa, lasiainen. Rakenteeltaan se on pallomainen ja ohutseinämäinen. Etuosassa olevaa etukammiota täyttävä kammiovesi on kirkasta läpinäkyvää nestettä. Kuviossa 2 on leikkaus silmän rakenteesta nimettyine osineen.

(Halonen & Lehtovaara; Kallioharju; Näkövammaisten keskusliitto)



Kuvio 2. Silmän rakenne (Kallioharju)

2.1.1 Kovakalvo, sarveiskalvo ja sidekalvo

Silmän uloin kerros muodostuu kovakalvosta, joka, kuten nimestä käy ilmi, on kestävä ja sitkeä, väriltään valkoinen sidekudos. Silmän etuosassa se muuttuu läpinäkyväksi sarveiskalvoksi, jonka päätehtävänä on taittaa silmään saapuvia valonsäteitä. Sarveiskalvon pinta ei välttämättä ole täysin pallomainen, joten se saattaa aiheuttaa hajataittoa silmään. Kovakalvo ja sarveiskalvo yhdessä muodostavat suojakerroksen silmän sisäisille osille. Sidekalvo on silmän valkoisen osan päällä oleva, etureunasta alkava limakalvo, joka ulottuu silmämunan päältä silmän pohjaan saakka. (Halonen & Lehtovaara; Kallioharju; Terveystalo)

2.1.2 Värikalvo ja sädekehä

Silmään tulevan valon määrää säätelee silmän etuosassa sijaitseva värikalvo, jota kutsutaan iirikseksi. Ympäröivien valaistusvoimakkuuksien muuttuessa myös värikalvon keskellä sijaitsevan mustuaisaukon eli pupillin koko vaihtelee voimakkaasti. Pupillin kokoon vaikuttaa myös se, onko silmä tarkentunut lähi- vai kaukokatseluun. Iiriksen jatkeella kohti silmän takaosaa sijaitsee rengasmaisesta lihaskudoksesta rakentuva sädekehä, johon myös mykiön ripustussäikeet kiinnittyvät. Sädekehän supistuksilla hallitaan mykiön taittovoimakkuutta. Kuvassa 3 on esitetty värikalvo, jonka keskellä pupilli. (Halonen & Lehtovaara; Solunetti)

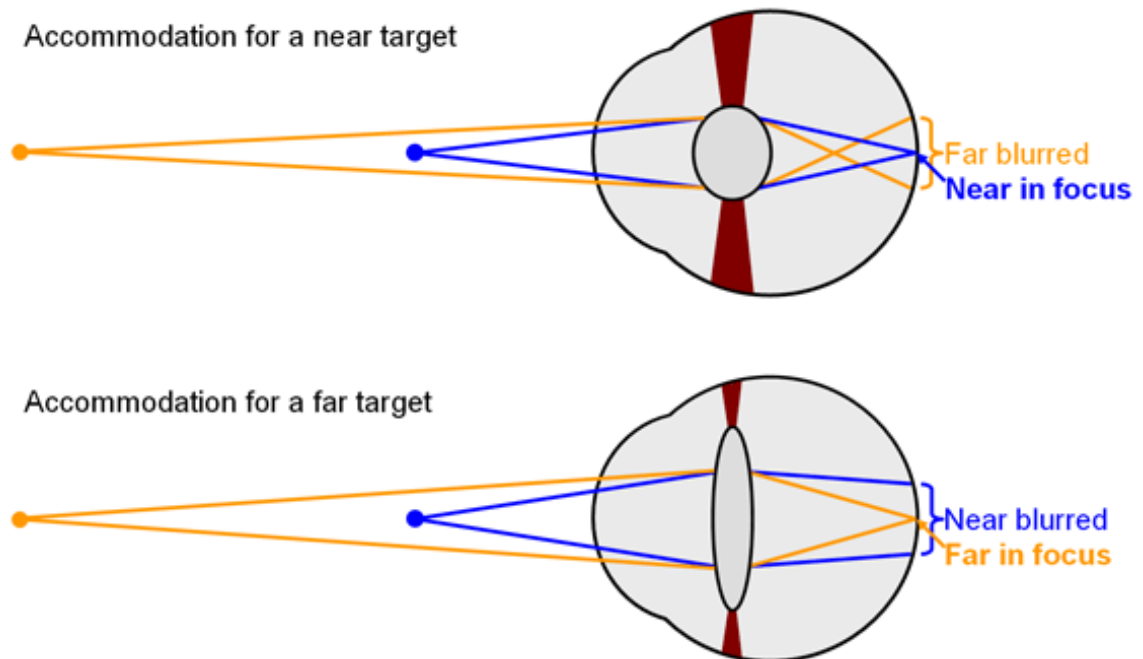


Kuva 1. Silmän värikalvo ja pupilli

(http://ohjelmat.yle.fi/akuutti/arkisto/iirisanalyysilta_puuttuu_tieteellinen_pohja)

2.1.3 Mykiö

Silmän tärkein linssirakenne eli mykiö sijaitsee silmän etuosassa iiriksen takana. Mykiö kiinnittyy reunoiltaan kannatinsäikeillä sädelihakseen. Rakenteeltaan se on lähestulkoon läpinäkyvä linssi, jonka etupinta on vähemmän kupera kuin takapinta. Mykiö taittaa silmään tulevia valonsäteitä verkkokalvolle silmän takaosaan. Taittovoiman muutoksen saa aikaan sädelihaksen supistuminen tai laajentuminen. Supistuessaan sädelihaksen kannatinsäikeet löystyvät, mykiö kuperoituu ja sen taittovoima lisääntyy, jolloin näkökuva tulee tarkaksi. Vastaavasti kun sädelihakset eivät ole jännittyneenä, ovat mykiön kannatinsäikeet kiristyneinä ja mykiön taittovoima suurimmillaan. Tällöin silmä on tarkentunut näkemään kauas (kuvio 3). Mykiön koko kasvaa koko eliniän ajan, ja myös sen elastisuus vähenee ikääntyessä. Tästä johtuen silmän taittokyky heikentyy ja lähellä oleviin kohteisiin tarkentaminen käy vaikeammaksi. Mykiön eri kerroksien samentuminen ikääntymisen myötä voi johtaa harmaakaihiin. (Halonen & Lehtovaara; Näkövammaisten keskusliitto)



Kuvio 3. Elastisen mykiön toiminta, kun näkökuvaa tarkennetaan eri etäisyyksille. Ylemmässä kuvassa silmä on tarkentunut lähellä olevaan kohteeseen ja alemmassa kuvassa kaukana sijaitsevaan kohteeseen.

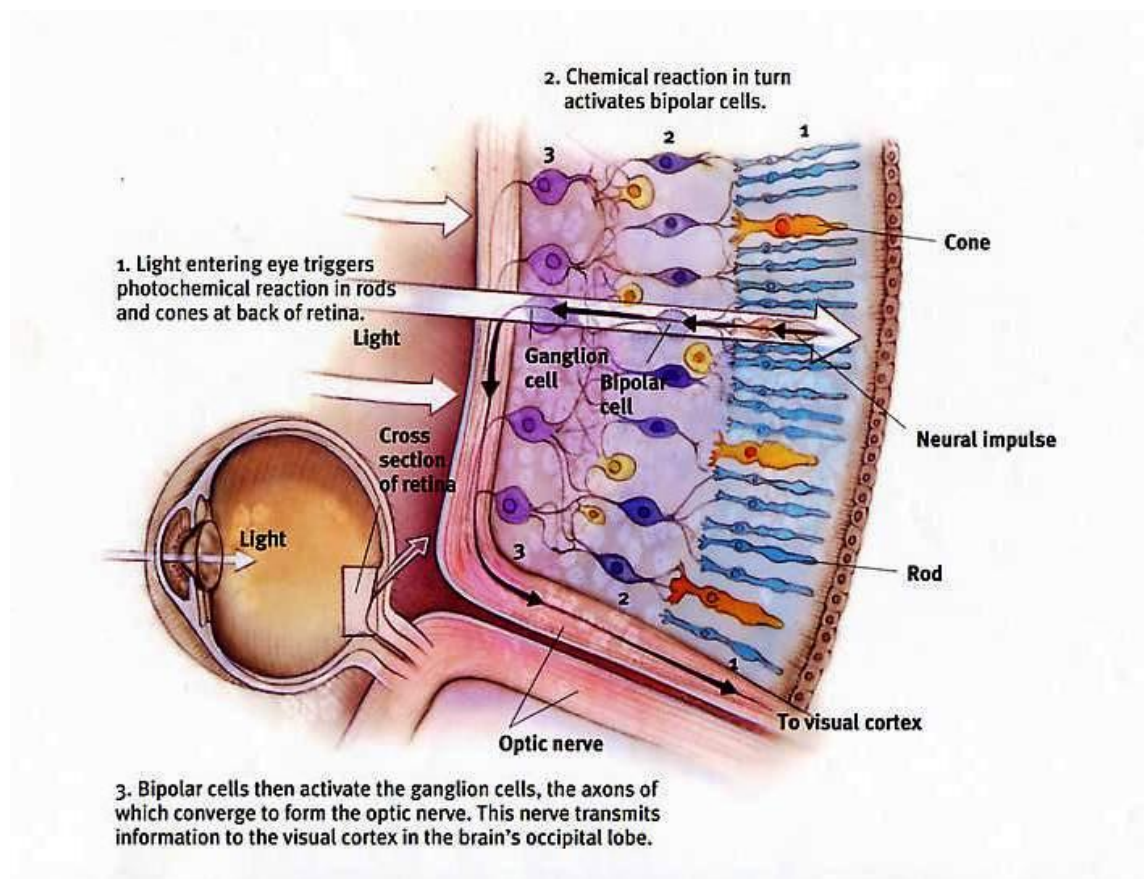
(http://www.sapdesignguild.org/resources/accessibility_res/vision_physiology.asp)

2.1.4 Lasiainen

Lasiainen on rakenteeltaan läpinäkyvää massaa, joka täyttää suurimman osan silmästä. Lasiainen on pääosin vettä, jonka pitää hyytelömäisenä hyaluronihappo ja kollageenipitoiset lasiaissäikeet. Lasiaisen tehtävä on taata valon heijastumaton kulku mykiöstä verkkokalvolle. (Halonen & Lehtovaara; HYKS silmätautien klinikka)

2.1.5 Verkkokalvo

Verkkokalvo on osa ihmisen keskushermostoa, joka sijaitsee laajalle levittyneenä silmän takaosassa lasiaisen ja suonikalvon välissä. Verkkokalvoa voisi kuvaila silmän valkokankaaksi, jolle eri linssirakenteiden läpi taittuva kuva-aistimus heijastuu. Verkkokalvolla sijaitsee kahdentyyppisiä näköaistimukseen vaikuttavia solutyyppejä, sauva- ja tappisoluja. Verkkokalvon pohjaosassa valo- ja värierot muodostuvat valoa absorboivissa sauva- ja tappisoluissa hermoimpulsseiksi, jotka gangliosolujen välittämänä kulkeutuvat näköhermoja pitkin ulomman polvitumakkeen kautta aivojen takaosaan näkökeskuksen tulkittaviksi. Prosessi on havainnollistettuna kuviossa 4. (Halonen & Lehtovaara)

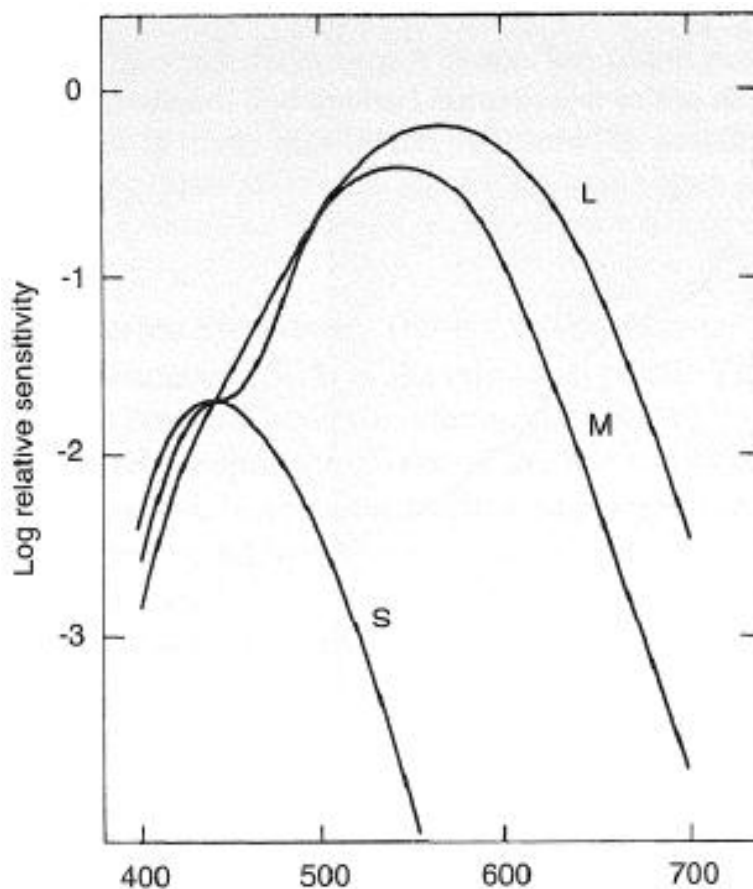


Kuvio 4. Fotonien muutos hermoimpulsseiksi verkkokalvon sauvasoluissa (Rod) ja tappisoluiissa (Cone)

(The Retina, <http://www.rhsmpsychology.com/Handouts/retina.htm>)

Sauvasoluja on ihmisen verkkokalvolla noin 100 miljoonaa kappaletta. Ne ovat sijoittuneet ympäri verkkokalvoa ja ovat aktiivisia erittäin pienissä valaistusvoimakkuuksissa, jolloin tarkka näkeminen tai värierojen havaitseminen on mahdotonta. (Halonen & Lehtovaara; Kallioharju)

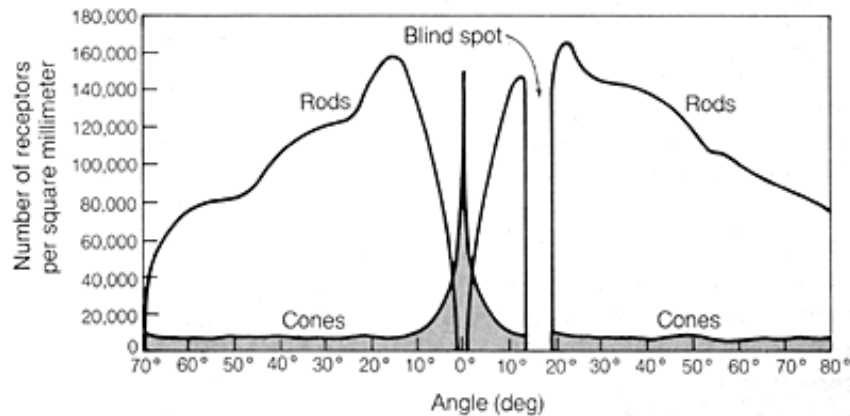
Tappisolujen määrä verkkokalvolla on noin 4-7 miljoonaa kappaletta. Tappisolut ovat keskittyneet verkkokalvon tarkan näön alueen, fovean, ympärille. Tappisolut vastaavat väriäistimuksista ja ovat aktiivisia korkeissa valaistusvoimakkuuksissa. Valon aallonpituuksien absorptioherkkyyden mukaan tappisolut jakaantuvat sini- (S), viher (M)- ja punaherkkiin (L) soluihin. Aallonpituuksien absorptioherkkyyksien huippuarvot ovat punaherkillä tappisolulla n. 577 nm, viherherkillä 540 nm ja siniherkillä 447 nm (kuvio 5). (Halonen & Lehtovaara; Kallioharju; Teikari)



Kuvio 5. Eri tappisolutyypin suhteelliset spektriherkkyydet.

(Kallioharju)

Kuviossa 6 on esitetty sauvasolujen (Rods) ja tappisolujen (Cones) jakaantuminen ja määrä verkkokalvolla.



Kuvio 6. Sauva- ja tappisolujen jakaantuminen verkkokalvolla

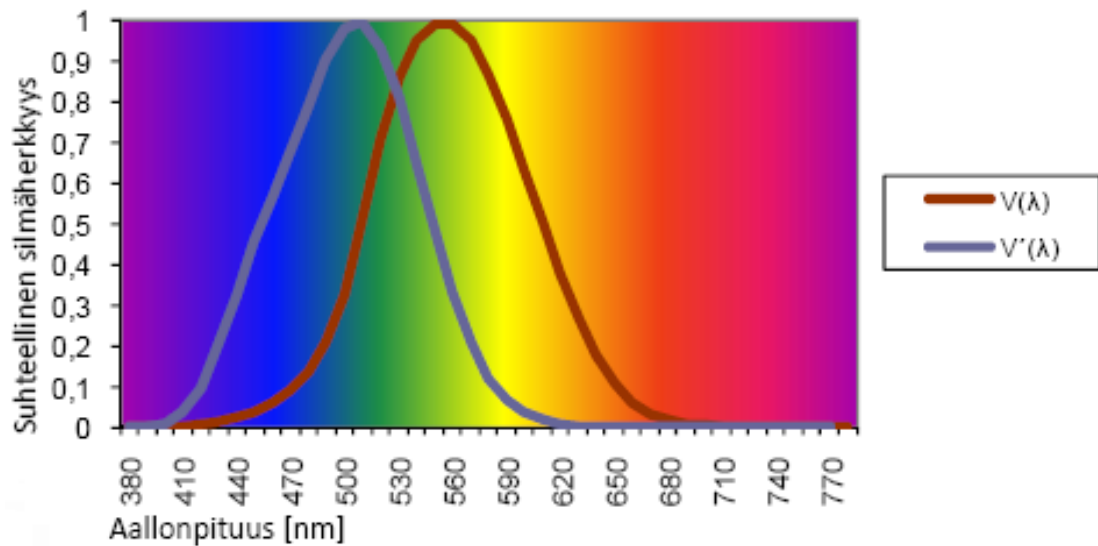
(http://www.sapdesignguild.org/editions/edition9/vision_physiology.asp)

2.2 Silmän toiminta ja näkeminen

2.2.1 Sopeutuminen (adaptoituminen) ja sen häiriöt

Silmä sopeutuu näkökentässä esiintyviin valaistustilanteisiin pyrkimällä sen keskiarvoisen luminanssin määräämään kokemukseen (sopeutumistaso). Erittäin pienillä sopeutumisluminansseilla (10^{-6} - 10^{-2} cd/m²) ollaan alueella, jolloin pelkästään sauvasolut ovat aktiivisina. Tätä aluetta kutsutaan skotooppiseksi näkemiseksi. (Halonen & Lehtovaara)

Erittäin suurilla sopeutumisluminansseilla (kymmenestä kandelasta neliömetrillä aina häikäisykestoisuuden asettamaan subjektiiviseen ylärajaan, joka on noin 10000 cd/m²) taas pelkästään tappisolut osallistuvat kuvan muodostamiseen. Tätä aluetta kutsutaan fotooppisen näkemisen alueeksi. Kuviossa 7 on esitetty suhteelliset spektriherkkyysskäyrät tappi- ja sauvanäkemiselle. (Halonen & Lehtovaara)



Kuvio 7. Silmän suhteelliset spektriherkkyyskäyrät sauva (V')- ja tappinäkemisessä (V) (Kallioharju)

Skotooppisen ja fotooppisen näkemisen väliin sijoittuu mesooppinen näkeminen, jolloin sekä sauva- että tappisolut ovat aktiivisia. Mesooppisen näkemisen alue sijoittuu noin 3-10 cd/m² alueelle. (Teikari)

Edellä mainittuihin näkemisen alueisiin sopeutuminen tarkoittaa sitä, että ihmissilmä on kykeneväinen toimimaan kaikissa luonnossa esiintyvissä valaistustilanteissa pilviverhon takaa loistavasta kuunvalosta aina kirkkaan kesäpäivän auringonpaisteeseen. Vaikka erilaisiin valaistustilanteisiin sopeutuminen on mahdollista, se ei tapahdu kovinkaan nopeasti. Kyseisen ominaisuuden hyödyntämiseen perustuu nykyään yleisesti käytössä oleva vakiovalosäätö, jossa keinovalaistusta ohjaamalla säädetään valaistavan kohteen valaistusvoimakkuutta luonnonvalon määrän mukaan. Kun säätö tapahtuu riittävän hitaalla syklillä, ei silmä havaitse valonlähteen himmentymistä tai kirkastumista. (Halonen & Lehtovaara; Teikari)

Silmän hämääadaptoituminen tapahtuu kahdessa osassa. Ensimmäisen minuutin aikana hämääherkkyys suunnilleen satakertaistuu. Tämä johtuu tappisolujen sopeutumisesta hämääriin olosuhteisiin. Seuraavan noin kahdenkymmenen minuutin aikana tapahtuu sauvasolujen hämääadaptoituminen, jolloin näköherkkyys lisääntyy 1000-10000-kertaiseksi. Hämäästä kirkkaisiin valaistusvoimakkuuksiin adaptoituminen tapahtuu myös kahdessa osassa, mutta muutos muutokseen kulunut aika on huomattavasti lyhyempi. Ensimmäiseen vaiheeseen kuluu aikaa vain sekunnin kymmenyksiä ja tätä seu-

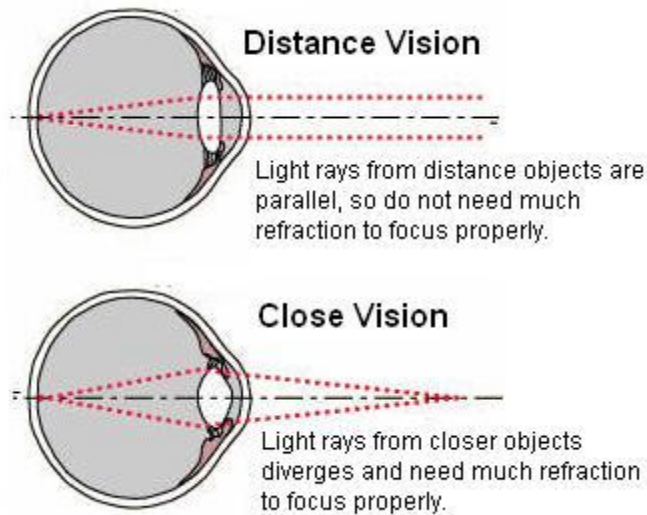
raavaan hitaampaan tappisolujen fotokemialliseen muutokseen kuluu aikaa noin minuutti. (Halonen & Lehtovaara)

Eräs perinteinen syy hämäränäkemisen häiriintymiseen on aiemmin ollut A-vitamiinin puutos. Länsimaissa ilmiö on kuitenkin nykyään harvinainen, joten A-vitamiinin tai voim syömisellä ei hämäränäkemisen ongelmiin ole normaalisti vaikutusta. Ongelman alussa hämääadaptoituminen hidastuu lakaten myöhemmällä iällä kokonaan. Korkeammassa valaistusvoimakkuuksissa hämäräsokeudesta kärsivät näkevät vielä normaalisti silloin kun hämärässä näkeminen on jo mahdotonta. Osalla hämäränäön häiriintymisestä kärsivillä henkilöillä esiintyy myös häiriöitä korkeampiin valomääriin adaptoitumisessa. Häikäistymistä aiheuttaa monet muutkin tekijät, kuten verkkokalvovauriot, lasiaisen samentuminen, sekä sarveis- ja sidekalvon ärtymät. (Halonen & Lehtovaara; Lea Hyvärinen)

2.2.2 Mukautuminen (akkomodoituminen)

Silmän kyky mukautua tarkentamaan näkökuva eri etäisyyksille perustuu taittovoiman mukauttamiseen. Eri linssirakenteiden tarkoituksena on heijastaa ja taittaa silmään saapuvat valonsäteet mahdollisimman terävinä verkkokalvolle. Optisten rakenteiden taittovoimakkuus, dioptria (D), määritellään linssirakenteiden polttovälin (f) käänteisarvona. (Halonen & Lehtovaara)

Valonsäteiden taittumiseen silmässä vaikuttaa eniten sarveiskalvon etupinta ja mykiö. Sarveiskalvon taittovoima on noin kaksinkertainen verrattuna mykiön taittovoimaan. Sarveiskalvon taittovoimaa ei voi muuttaa, toisin kuin mykiön, jonka elastinen rakenne mahdollistaa sen taittovoiman muuttamisen sädelihasten avulla (kappale 2.1.4). Mykiön elastisuuden ansiosta näkökuvan tarkentaminen eri etäisyyksille on mahdollista (kuvio 8). (Halonen & Lehtovaara)



Kuvio 8. Mykiön mukautuminen kaukokatseluun (Distance Vision) ja lähikatseluun (Close Vision). Lähikatselu vaatii mykiöltä enemmän taittovoimaa, kuin kaukokatselu. (<http://healthy-ojas.com/eye/presbyopia.html>)

Etäisimmän kohteen etäisyyttä, jonka silmä näkee vielä tarkasti, kutsutaan kaukopisteeksi. Lähimmän kohteen etäisyys on taas nimeltään lähipiste. Näiden pisteiden väliä kutsutaan mukauttamislaajuudeksi, joka ilmoitetaan pituutena (m) tai dioptrioina (D). Ikääntymisen myötä tapahtuva mykiön elastisuuden väheneminen heikentää mykiön taittovoimaa, jolloin pienin tarkentamisetäisyys kasvaa. Valaistusvoimakkuudet vaikuttavat oleellisesti mukautumisalueeseen. Heikommilla valaistustasoilla lähimmän mukautumisetäisyyden piste etääntyy ja kaukopiste lähenee silmää. Pienillä valaistusvoimakkuuksilla myös akkommodaation nopeus ja sen tarkkuus pienenevät. (Halonen & Lehtovaara)

Näöntarkkuuden mukautuminen eri etäisyyksille vaatii aikaa. Tarkennuspisteen siirtyessä kaukaa lähelle tai päinvastoin, mukautumiseen kuluu aikaa vajaa sekunti. Hyvässä valaistuksessa luettaessa pupilli on pieni, josta johtuen silmän syvätarkkuus on suuri, eikä mukautumista juuri tarvita. Huonossa valaistuksessa havainnointiin kuluva aika saattaa olla jopa kolminkertainen. (Halonen & Lehtovaara)

3 Valon vaikutukset kronobiologiseen järjestelmään sekä mielialaan ja vireystilaan

Valo vaikuttaa visuaalisen näkökokemuksen lisäksi myös vireystilaan ja mielialaan. Kronobiologia on biologian haara, joka tutkii sisäisiä biologisia kellorytmejä. Valon oleelliset vaikutukset kronobiologiaan liittyvät vuorokausi- eli sirkadiaanirytmien ja mekanismeihin, jotka säätelevät sitä. Näitä asioita käsittelee tämä luku.

3.1 Sirkadiaanirytmien

Valon biologisten vaikutusten tärkeimpänä pohjana on vuorokausi-, eli sirkadiaanirytmien, joten sen ymmärtäminen on tärkeää. Valoa on pidetty tärkeimpänä vaikuttajana vuorokausirytmien, mutta myös muut tekijät, kuten sosiaalisuhteet, uni-valverytmi, ravinto, päihitteet, lämpötila ja kehon fyysinen rasittaminen vaikuttavat siihen oleellisesti. (van Bommel & van den Beld; Teikari)

Vuorokausirytmien olemassaolo on tunnettu läpi historian. Jo vuonna 1729 ranskalainen tähtitieteilijä Jacques D'Ortous de Mairan tutki ilmiötä heliotrooppi-kasvin osalta ja havaitsi sen lehtien sulkeutuvan ja aukenevan, vaikka kasvi oli täysin eristetty valolta. 1850-luvulla Karl von Frisch, Gustav Kramer ja Colin Pittendrigh löysivät kukin tahollaan todisteita sisäisestä kellosta nisäkkäillä. Nämä tutkimukset olivat alku modernille sirkadiaaniselle fotobiologialle. (Rosbash & Takahashi)

1960-luvulla saksalainen tutkija Jürgen Aschoff järjesti ensimmäisen ihmisillä suoritetun sirkadiaanirytmitutkimuksen. Hän rakensi bunkkerin, jossa vapaaehtoiset tutkimuskohteet asuivat usean viikkojen ajan eristettyinä muusta maailmasta ilman päivänvaloa. Aschoff havaitsi, että vaikka kohdehenkilöt olivat eristettyinä, heidän uni-valverytminsä säilyi tästä huolimatta. Aschoff huomasi kuitenkin myös, että biologinen kello joutui epäsynkroniin ulkomaailman kanssa, sillä kohdehenkilöiden sisäinen rytmi ei ollut täsmälleen 24 tuntia, vaan keskiarvoisesti 24,5 tuntia. Viimeisin huomio oli, että kun ovet avattiin, kohdehenkilöt mukauttivat vuorokausirytmensä, mikä todisti sirkadiaanirytmien muuttamisen ulkoisten vihjeiden mukaan olevan mahdollista. Aschoff ei kuitenkaan tiennyt miten sirkadiaaninen kello toimii, tai missä osassa kehoa se sijaitsee. (Aschoff & Wever)

1970-luvulla tutkijat osoittivat, että nisäkkäillä sisäinen kello sijaitsee aivojen hypotalamukseksi kutsutussa osassa, tarkemmin sen suprakiasmaattisessa tumakkeessa (Suprachiasmatic Nucleus, SCN). Huomattiin, että kun SCN poistettiin tutkimuseläimiltä, niiden vuorokausirytmiksi katosi. Kun SCN palautettiin, biologinen rytmi palasi normaaliiksi. Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että SCN voidaan täysin eristää eläimestä, ja silti sen vaikutuksia elintoimintoihin pystytään mittaamaan. (van Bommel & van den Beld; Teikari)

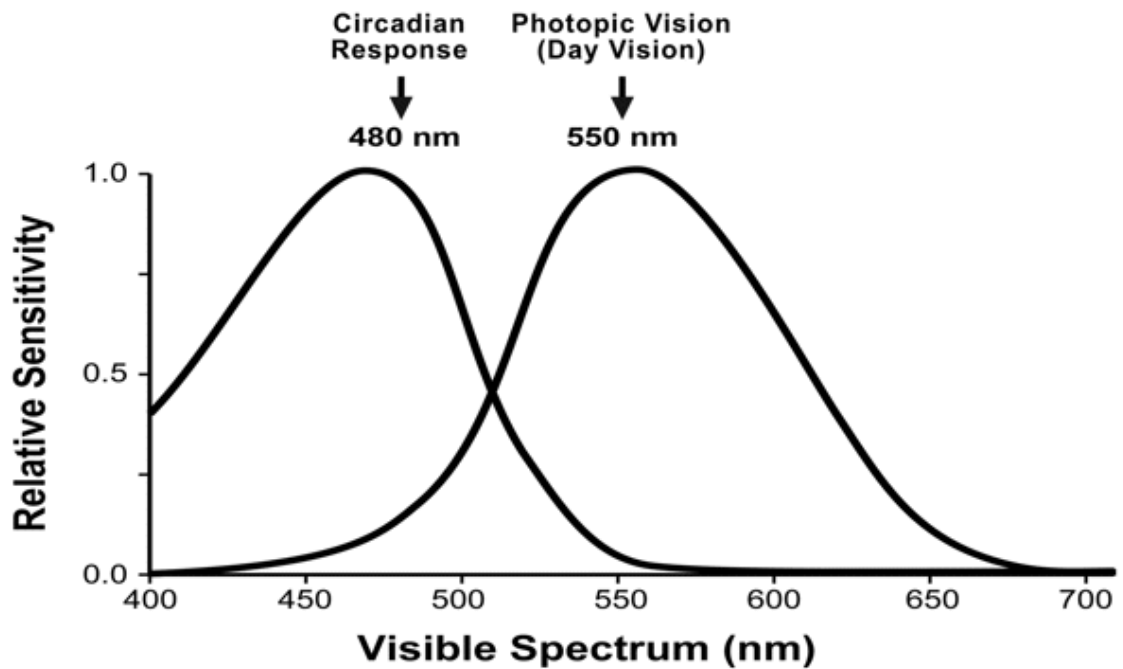
3.2 Valoherkät gangliosolut (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGCs/ melanopsin-containing retinal ganglion cells, mRGCs)

Pitkään luultiin sauva- ja tappisolujen olevan silmän ainoat valoherkät reseptorit. Verkkokalvon valoherkän gangliosolun, niin sanotun sirkadiaanisen fotoreseptorin, löysi viimein David M Berson tutkimuksissaan vuonna 2002. (Berson ym.)

Pohja valoherkän gangliosolun löydöksen tekemiselle löytyy nisäkkäiden sirkadiaanirytmistä, jonka on pitkään tiedetty riippuvan valosta. Alun perin sirkadiaanirytmien aikauttajaksi epäiltiin sauva- ja tappisoluja, joiden arveltiin vaikuttavan suprakiasmaattiseen tumakkeeseen (SCN) verkkokalvon gangliosolujen (RGC) välityksellä. Tutkimukset 1980-luvulla alkoivat näyttää todisteita tätä teoriaa vastaan. Tutkimukset sokeilla hiirillä ja myöhemmin sokeilla ihmisillä todistivat, että sauva- ja tappisolut eivät pelkästään voi olla vastuussa nisäkkäiden sirkadiaanirytmistä. Tällöin ei kuitenkaan oltu varmoja vuorokausirytmien vaikuttavien solujen sijainnista. Myöhemmissä tutkimuksissa ei valolla todettu olevan vaikutusta vuorokausirytmien sen jälkeen kun silmät oli poistettu tutkimuskohteilta. Viimeaikaiset tutkimukset Oulun yliopistossa kuitenkin antavat viitteitä siitä, että valonvälittäjäaine melanopsiinia (luku 3.3), jonka vaikutuksella valoherkät gangliosolut toimivat, löytyy verkkokalvon lisäksi myös eri osista aivoja. Tämän löydöksen mahdollisia vaikutuksia sirkadiaanirytmien on syytä tutkia tarkemmin. (Teikari; Foster; Yazamaki ym.; Nissilä ym.)

Valoherkän gangliosolun spektriherkkyysmaksimi sijoittuu tutkimuksien mukaan noin 480 nm kohdalle (kuvio 9). Syy tähän on vielä osittain epäselvä, mutta erääksi teoriaksi on esitetty evoluutioon pohjautuen sitä, että sirkadiaanirytmia ohjaavat, aamuisin ja il-

taisin esiintyvät luonnonvalon aallonpituudet sijoittuvat juuri kyseiselle aallonpituusalueelle. Valoherkkiä gangliosoluja on ihmisillä todettu olevan vain noin 0,25 % gangliosolujen määrästä, joka on noin 1,2-1,6 miljoonaa. (Teikari; Callaway ym.)

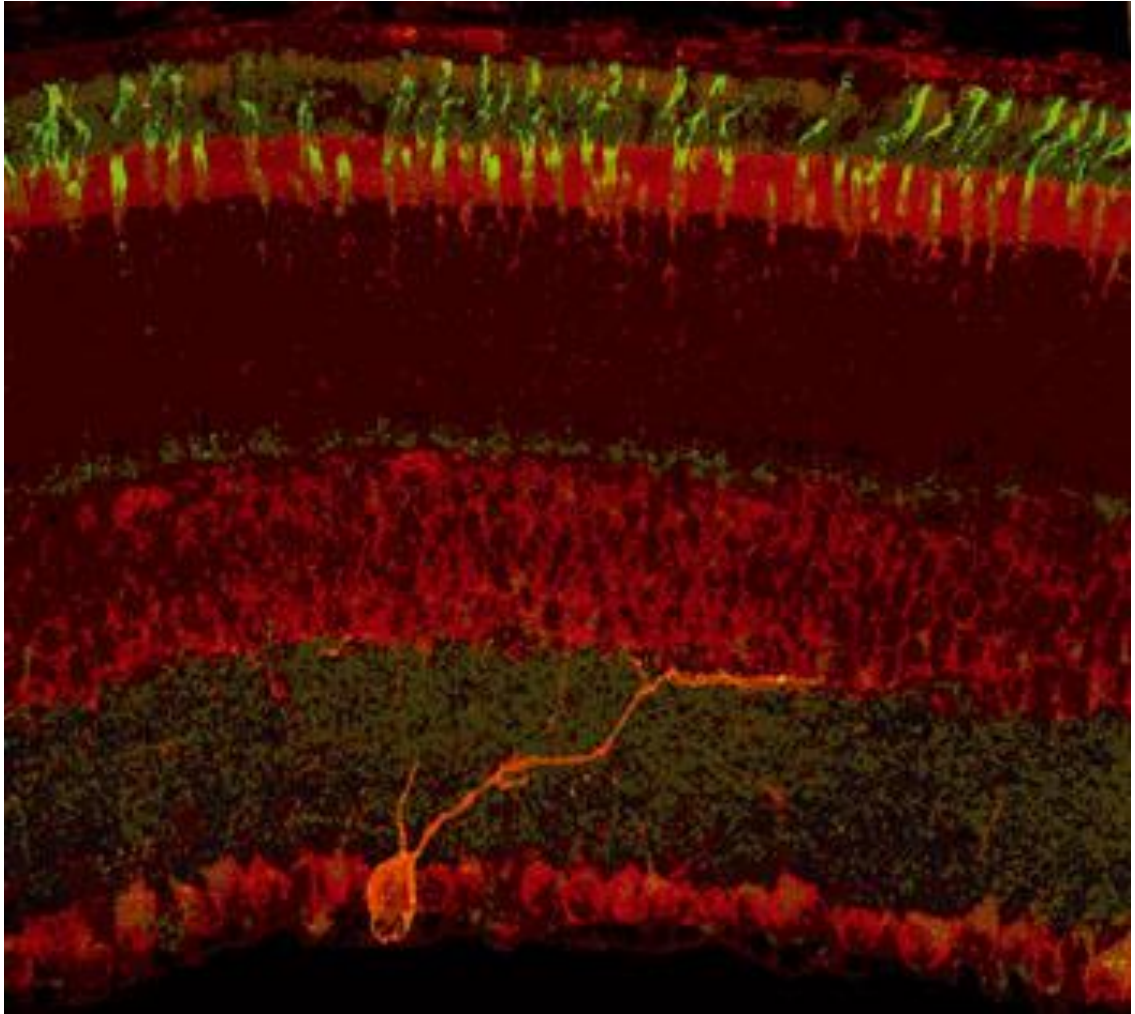


Kuvio 9. Luontaisesti valoherkän gangliosolun (Circadian Response) ja päivänäkemisen (Day Vision) spektriherkkyyskäyrät

(<http://www.photobiology.info/Roberts-CR.html>)

3.3 Melanopsiini

Melanopsiini on valonvälittäjäaine, jonka ansiosta melanopsiinia sisältävät gangliosolut (mRGCs) ovat valoherkkiä, vaikka eivät osallistukaan näköaistimuksen tuottamiseen. Melanopsiinin löysi ensimmäisenä tutkimuksissaan Ignacio Provencio kollegoineen vuonna 2000. Nisäkkäillä melanopsiinia esiintyy pääasiassa verkkokalvolla, tarkemmin sen uloimmassa osassa (kuva 2). Viimeaikaiset tutkimukset ovat kuitenkin antaneet viitteitä siitä, että melanopsiinia saattaa esiintyä myös eri osissa aivoja. Yleisesti hyväksytty päätelmä on, että juuri melanopsiini on se välittäjäaine, jonka vaikutuksella valoherkät gangliosolut (ipRGCs) vaikuttavat sirkadiaanirytmiiin. Melanopsiinin spektriherkkyysmaksimi on todettu olevan lähellä 480 nanometrin aallonpituutta. (Nissilä ym.; Teikari; van Bommel & van den Beld)



Kuva 2. Leikkaus hiiren verkkokalvosta, jonka sisimmässä osassa tappisoluja (vihreä) ja keskellä ulko-osaa suuri melanopsiinia sisältävä gangliosolu (punainen) (<http://www2.cnrs.fr/en/1637.htm>)

3.4 Valon vaikutukset vireystilaan ja mielialaan

Valon määrän linkittyminen vireystilan ja mielialan muutoksiin on asia, jonka varsinkin pohjoisella pallonpuoliskolla elävät ihmiset ovat huomanneet. Talvikuukausien aikana ilmenevistä vakavista kaamosmasennusoireista, joista yleisimpiä ovat alentunut mieliala, unen tarpeen kasvu, ruokahalun lisääntyminen sekä fyysisen aktiivisuuden heikkeneminen, kärsii noin 1 % väestöstä. Valon kausittaiset vaikutukset ilmenevät vähemmän vakavina taipumuksina edellä mainittuihin kuvauksiin jopa kolmellakymmenellä prosentilla väestöstä. Näitä lievempiä vaikutuksia kutsutaan kaamosrasitukseksi.

(Duodecim)

Kaamosmasennusoireille tyypillistä on niiden esiintyminen voimakkaimmillaan marrastammikuussa, ja oireiden häviäminen kevätkuukausien aikana. Ilmiön eri asteista kärsivät henkilöt alkavat yleensä oireilla 20-30 vuoden iässä, ja oireilla on tapana voimistua ikääntymisen myötä. Joissain tapauksissa oireet ovat kuitenkin lieventyneet tai jopa poistuneet ikääntyessä. (Duodecim)

Keinovalon vaikutuksia vireystilaan ja mielialaan on viime aikoina tutkittu aktiivisesti monien eri tahojen osalta. Erityisesti sirkadiaanirytmien tahdistamisesta keinovalon avulla, sekä vireystilan parantamisesta dynaamisella valaistuksella, on saatu yhteneviä positiivisia tuloksia. Näillä toimenpiteillä on todettu olevan vaikutuksia eri-ikäisten opiskelijoiden vireystilaan, oppimismenestykseen, sekä sairaalapotilaiden kivunlievitykseen sekä hoitoaikoihin. Kirkasvalohoidosta kaamosmasennusoireisiin on saatu rohkaisevia tutkimustuloksia, joskin aihetta on syytä tutkia tarkemmin. Muutamia Fagerhultin tutkimuksia valon vaikutuksista vireystilaan ja mielialaan on tarkasteltu tarkemmin kappaleessa 5. (Juslén & Rautkylä; Govèn ym.; Nissilä ym.)

4 Valon ei-visuaalisten vaikutusten huomioiminen valaistussuunnittelijan työtävissä

Standardi SFS-EN 12464-1:2011 valaistuksesta on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. Se esittää vaatimukset valaistusratkaisuille julkisissa tiloissa. Tämä luku sisältää standardin kannanoton valon ei-visuaalisiin vaikutuksiin ja ajatuksia siitä, miten valaistussuunnittelija voisi vaikuttaa kyseisiin ilmiöihin standardin suositusten pohjalta.

4.1 Valon ei-visuaalisten vaikutusten huomioiminen standardissa EN 12464-1:2011

Valon ei-visuaaliset vaikutukset on otettu standardissa huomioon hyvin varovaisesti. Tämä on tietysti ymmärrettävää, sillä ilmiö on verrattain uusi, eikä vielä kovinkaan perinpohjaisesti tunnettu. Asiaan on otettu kantaa luvussa 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, luku 4.13)

Asia on kuitenkin myös standardin laatijoiden puolesta myönnetty ja hyväksytty. Tämä on hyvä pohja tulevaisuudelle, ja muutoksia sekä ohjeistuksia varmasti tulee, kunhan asiaa on tutkittu syvemmin ja useampien tahojen osalta.

4.2 Valon hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden huomioiminen valaistussuunnittelussa

Miten standardin SFS-EN 12464-1:2011 huomioita valon ei-visuaalisista vaikutuksista sitten pystyy ottamaan käyttöön valaistussuunnittelijan työtehtävissä. Kohteita suunniteltaessa voi tietysti tehdä millaisia ehdotuksia vain, mutta aina lopullinen toteutus ei ole aivan sitä mitä itse haluaisi. Syitä tähän on monia. Päälimmäinen syy on useimmiten tietysti raha. Uudenlainen ratkaisu, jossa on käytetty esimerkiksi päivänvaloa jäljittelevää dynaamista valaistusta ja suurempia valaistusvoimakkuuksia katoilla ja seinissä, on hankintakustannuksiltaan jonkin verran perinteisiä ratkaisuja kalliimpi. Kun valoa on selkeästi enemmän katoilla ja seinillä verrattuna perinteisiin ratkaisuihin, on ensimmäinen ajatus usein tietysti se, että myös energiaa kuluu enemmän. Tämä mielikuva on kuitenkin käytännössä toteutetuissa mittauksissa todistettu vääräksi. Läsnaolo- ja päivänvaloantureilla ohjatut dynaamiset valaistusjärjestelmät säästävät merkittävästi energiaa perinteisiin ratkaisuihin verrattuna, vaikka ympäröivän valon määrä on selkeästi suurempi. Tästäkin huolimatta monet tilaajat päätyvät silti perinteisempiin ratkaisuihin, koska ne ovat hankintakustannuksiltaan edullisempia. Tämä korostuu erityisesti silloin, kun tilaaja on vuokralla kiinteistössä, eikä ole varmaa miten kauan hän ko. kohteessa viihtyy.

Toinen usein ilmi tuleva mielipide on se, että ainahan nämä ratkaisut on tehty samalla tavalla ja hyvin on pärjälty. Tämä on tietysti totta; 60-luvulta lähtien valaistusratkaisut esimerkiksi oppilaitoksissa ovat olleet hyvin samantyyppisiä. Kaiken kehityksen pohjana on kuitenkin kyky hyväksyä muutoksia, ja pitäisikin muistaa, että tekniikan kehittyessä ja tiedon lisääntyessä uudet ratkaisut korvaavat vanhat monessakin mielessä parempina.

Nykyään on kuitenkin myös ilahduttavan suuressa määrin lisääntymässä ajatus, jonka mukaan uusi ratkaisu voi hankintahinnaltaan olla kalliimpikin, kunhan se on teknisiltä ominaisuuksiltaan parempi, tai se säästää energiaa. Rajansa tietysti kaikella, mutta halvin ratkaisu ei suinkaan välttämättä ole nykyään enää suoraan tarjouskilpailun voittaja.

Selkeästi on huomattavissa, että valon biologiset vaikutukset ovat tuttuja oikeastaan ainoastaan valaistuksen parissa työskenteleville henkilöille. Uusia tutkimuksia valmis-

tuu kuitenkin jatkuvasti, ja aihe on saanut yhä enemmän palstatilaa alan lehdissä ja mediassa yleensäkin. Muutos on hidasta, mutta suunta on oikea.

5 Fagerhultin tutkimukset valon vaikutuksista terveyteen, mielialaan ja vireystilaan

Fagerhult on ollut tiiviisti mukana tutkimuksissa, joissa on selvitetty valon merkitystä hyvinvointiin ja vireystilaan. Tässä luvussa on otettu tarkempaan analyysiin muutamia uusimpia ja ajankohtaisimpia tutkimuksia.

5.1 Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children (2011)

Tutkimusryhmä: **Tommy Govén**, Thorbjörn Laike , Peter Raynham , Eren Sansal

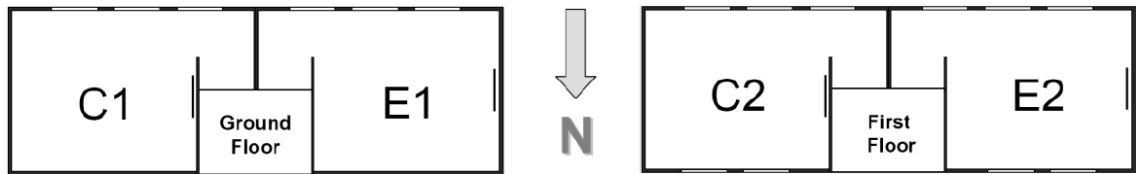
Tavoite tutkimukselle oli selvittää millä tavalla ympäröivä valo vaikuttaa lasten emotionaaliseen tilaan, opintomenestykseen sekä hyvinvointiin subjektiivisesti ja fysiologisesti. Tutkimuksessa otettiin huomioon sekä päivänvalo että keinotekoinen valo.

Tutkimus suoritettiin ala-asteikäisten lasten koulussa Lontoossa. Kokeeseen osallistivat vain ne lapset joiden vanhemmat sitä halusivat. Testiin osallistui noin 50% lukuvuoden oppilaista.

Tutkimustulokset on jaettu kolmeen eri ryhmään VBE-mallin mukaisesti. VBE-malli ottaa huomioon valaistuksen visuaaliset, biologiset ja emotionaaliset aspektit.

Tutkimuksessa oli neljä samankokoista luokkahuonetta. Kaksi koehuoneista (E1 ja E2) oli varustettu uudella valaistusratkaisulla joka perustui korkeampiin horisontaalisiin ja ympäröivän valon valaistusvoimakkuuksiin. Kahdessa muussa luokkahuoneessa oli perinteinen yleisvalaistukseen perustuva valaistusratkaisu. Perinteisen valaistusratkaisun tiloihin vaihdettiin uudet valaisimet, jotka oli varustettu elektronisilla liitäntälaitteilla. Kaikissa luokkahuoneissa valaisimet varustettiin samanlaisilla loisteputkilampuilla, joiden värilämpötila oli 4000K ja Ra-indeksi 80.

Luokkahuoneet E1 ja C1 sijaitsevat ensimmäisessä kerroksessa ja niissä on etelänpuoleisella seinällä ikkunat. Huoneet E2 ja C2 sijaitsevat toisessa kerroksessa ja niissä on ikkunat sekä etelän että pohjoisen puolella. Kuvio 10 esittää luokkien pohjapiirroksia.



Kuvio 10. Luokkien pohjapiirrokset

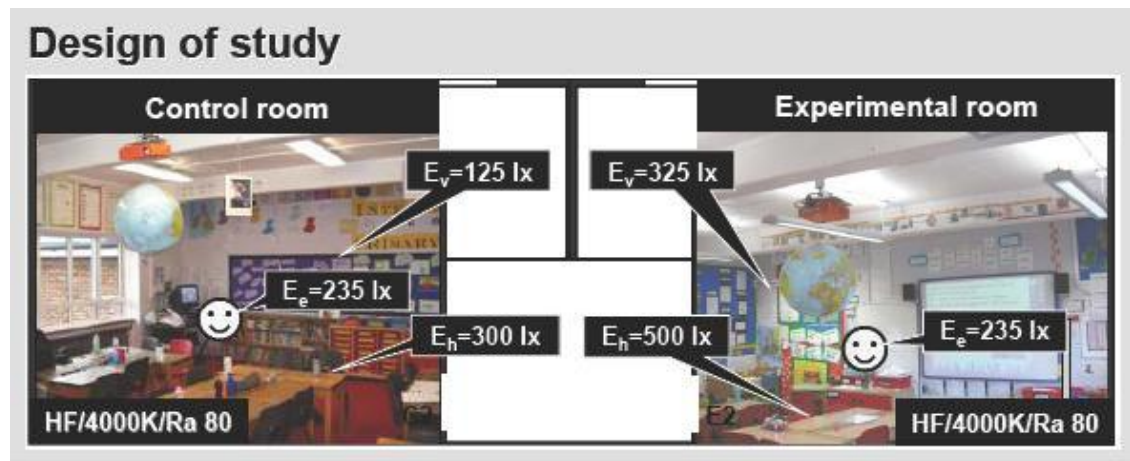
Luokat E1 ja E2 oli varustettu valaistuksenohjausjärjestelmällä, joka oli säädetty pitämään työalueen valaistusvoimakkuudet noin 500 luksissa. Yleisvalaistuksen valaisimet ripustettiin katosta ja niiden valonjako oli suora/epäsuora. Lisäksi asennettiin wall-washer-tyyppisiä valaisimia, jotta seinille saatiin suurempia valaistusvoimakkuuksia. Saavutetut valaistusvoimakkuudet on lueteltu taulukossa 1.

Koetilat E1 ja E2 oli varustettu läsnäolotunnistuksella ja päivänvalo-ohjauksella. Tila E2 sisälsi näiden lisäksi ohjelmallisen tilaohjauksen, jolla saavutettiin korotetut valaistusvoimakkuudet aamun ensimmäisille sekä lounaan jälkeisille tunneille. Näitä korotettuja valaistusvoimakkuuksia toistettiin samoilla ajanhetkillä koko kouluvuoden ajan.

Molemmissa kontrollihuoneissa (C1 ja C2) oli pinta-asenteinen yleisvalaistusjärjestelmä, jolla saavutettiin noin 300lx valaistusvoimakkuudet työalueilla. Muuta valaistusta ei ollut. Valaistus oli ainoastaan manuaalisesti ohjattavissa. Horisontaaliset ja vertikaaliset valaistusvoimakkuudet sekä lampputyypit eri luokkatyypeissä ovat havainnollistettuina kuvassa 3.

Taulukko 1. Valaistusvoimakkuudet luokkatiloissa

Illuminance levels		C1	E1	C2	E2	E2
					standard	algorithmic
Average horizontal illuminance (working plane)	(lx)	316	520	311	508	575
Average vertical illuminance - front wall	(lx)	120	280	118	350	650
Average vertical illuminance - back wall	(lx)	131	302	128	350	650
Average ceiling illuminance	(lx)	98	321	84	297	347
Vertical illuminance, at eye level - centre of room	(lx)	234	240	230	236	325



Kuva 3. Lamputyypit sekä horisontaaliset ja vertikaaliset valaistusvoimakkuudet tiloissa

Taulukossa 2 on esitetty sylinterivalaistusvoimakkuudet huoneissa. Kontrollihuoneissa suoran valaistusvoimakkuuden suhde kokonaisvalaistusvoimakkuuteen oli noin 1,2 ja testihuoneissa noin 0,3. Epäsuoran valaistusvoimakkuuden nostamisen myötä tila tuntuu paremmin valaistulta ja kasvojen tunnistaminen on helpompaa.

Taulukko 2. Sylinterivalaistusvoimakkuudet tiloissa

Room	Total [lx]	Direct lighting only [lx]	Indirect lighting only [lx]	Direct / Indirect %
C1	205	110	95	54/48 %
E1	218	52	164	24/76%
C2	213	122	91	57/43 %
E2	220	53	167	24/76 %

5.1.1 Päivänvalon vaikutukset

Ylemmän kerroksen luokkahuoneissa päivänvalon osuus on selkeästi suurempi, koska niissä on ikkunat molemmin puolin huonetta ja rakennusten lähetyvillä olevat puut varjostavat vähemmän. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty päivänvalon läpäisy luokkahuoneissa verhoilla ja ilman.

Taulukko 3. Päivänvalon läpäisy eri luokkahuoneissa ilman verhoja

Daylight factor (DF) - without curtains	C1	E1	C2	E2
Average horizontal daylight penetration	2.43%	1.57%	5.53%	4.67%

Taulukko 4. Päivänvalon läpäisy luokkahuoneissa verhojen kanssa

Daylight factor (DF) - with curtains	C1	E1	C2	E2
Average horizontal daylight penetration	0.08%	0.04%	1.73%	1.71%

Käytössä olleet testitilat olivat hyvin ilmastoituja ja CO₂-pitoisuuksia tarkkailtiin säännöllisesti koejakson aikana. Lämpötilat olivat talvisaikaan 22-24 °C.

5.1.2 Mittaukset

Mittaukset suoritettiin kuutena kertana kouluvuoden aikana. Mittaukset alkoivat loka-kuun alussa 2008 (päiväntasauspäivä), jatkuivat joulukuun puolella välissä (vuoden pimein aika) ja maaliskuun lopussa (kevät-päiväntasaus). Lisäksi suoritettiin kolme mitausta maaliskuun lopun ja kesäkuun välissä. Mittaukset sisälsivät biologiset ja emotionaaliset osa-alueet. Energian kulutusta ja valaistusvoimakkuuksia tarkkailtiin toistuvasti koko koejakson aikana.

5.1.3 Tutkimusaiheet

Tutkimusaiheet lasten osalta oli jaettu erilaisiin osa-alueisiin, jotka olivat:

Mieliala: Lasten mielialaa mitattiin yhdeksällä vaihtoehdolla, joilla he kuvasivat senhetkistä mielialaansa. Osallistujien unisuuden mittarina käytettiin kuvallista asteikkoa.

Unen laatu: Kohdehenkilöiden unen laadun arvioinnissa oli käytössä kuusiosainen arviointiosio.

Koulumenestys: Koulumenestyksen mittarina käytettiin koetuloksia.

Sairauspoissaolot: Sairauspoissaolojen määrää seurattiin koejakson ajan.

Biologiset testit: Sylkinäytteet otettiin kolme kertaa päivässä. Klo 9:50, 11:45 ja 14:45. Kaikki näytteet tutkittiin kortisolin osalta, melatoniinitasot tutkittiin vain aamun ensimmäisistä näytteistä.

5.1.4 Koehenkilöt

Yhteensä 56 lasta, iältään 8-9 vuotta, neljältä luokalta osallistui tutkimukseen. Kaikki osallistujat kävivät läpi samaa koulutusohjelmaa. Opintomenestys raportoitiin koetulosten keskiarvona. Luokkaryhmät muodostettiin vuoden alussa koulun johtajan toimesta. Taulukossa 5 on esitetty koehenkilöt lueteltuna luokkahuoneittain.

Taulukko 5. Oppilaiden jakauma luokittain

Gender	C1	E1	C2	E2	Total
Boys	7	7	7	9	30
Girls	7	4	8	7	26
Total	14	11	15	16	56

5.1.5 Mittaukset

Mittauksia oli kahta eri tyyppiä, päämittauksia ja tukevia mittauksia. Mittausrutiinit ovat lueteltuina taulukoissa 6 ja 7.

Taulukko 6. Päiväritiini päämittausten kohdalla

Time	Operation
8:30 a.m.-8:50 a.m.	Preparations
8:50 a.m.	Start of the school day Self-ratings of sleep
9:50 a.m.	Self-ratings of mood and sleepiness + Morning saliva samples (cortisol+melatonin)
10:15 a.m.-10:30 a.m.	Mid-morning break
11:45 a.m.	Self-ratings of mood and sleepiness + Late-morning saliva samples (cortisol)
12:00 p.m.-1:10 p.m.	Lunch
2:45 p.m.	Self-ratings of mood and sleepiness + Afternoon saliva samples (cortisol)
3:20 p.m.	End of school day

Taulukko 7. Päiväritiini tukevien mittauksien kohdalla

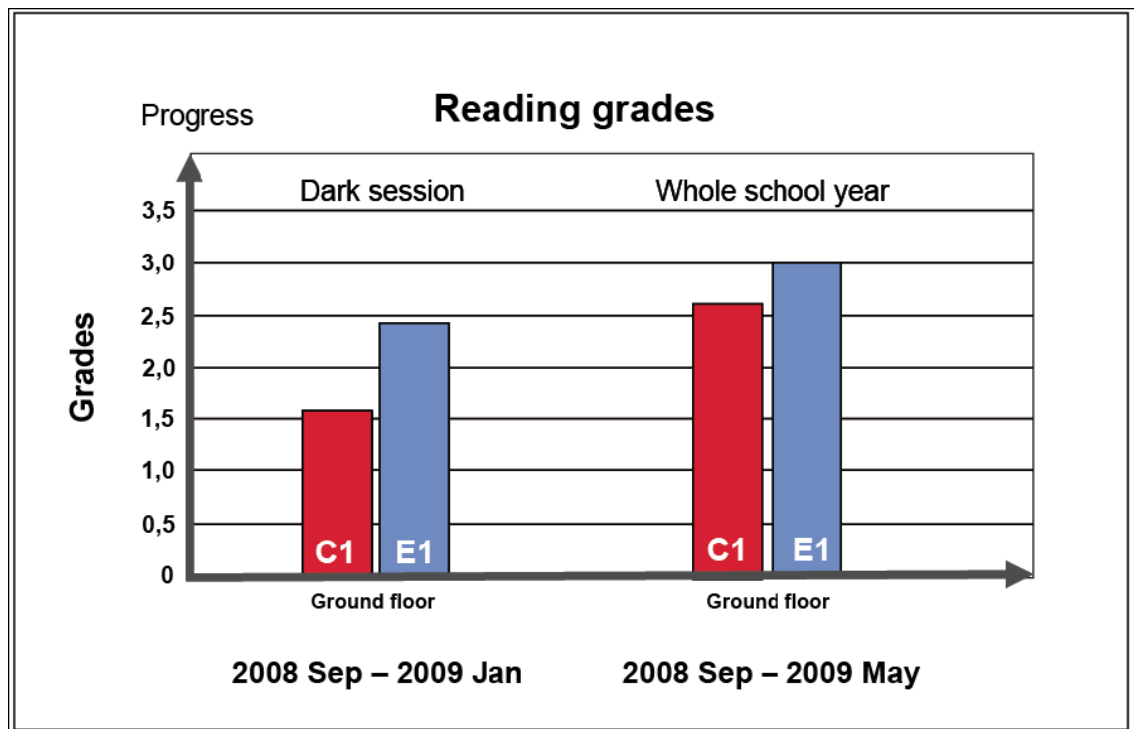
Time	Operation
8:30 a.m.-8:50 a.m.	Preparations
8:50 a.m.	Start of the school day Self-ratings of sleep
9:50 a.m.	Self-ratings of mood and sleepiness + Morning saliva samples (melatonin)

5.1.6 Tulokset

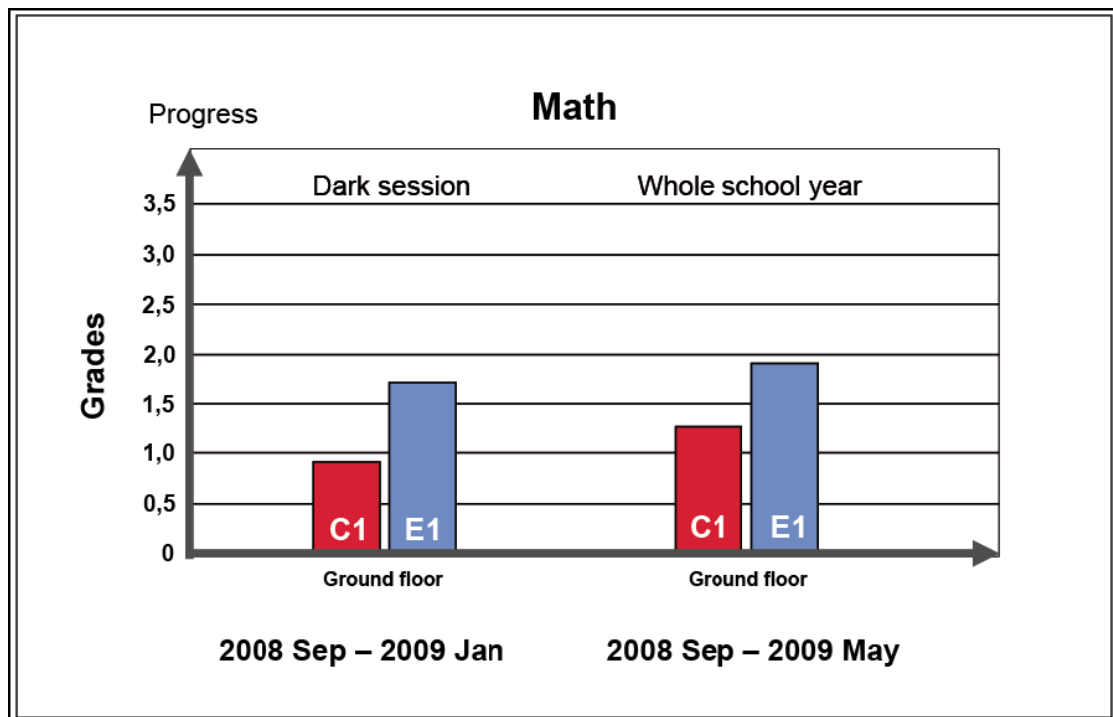
Tulosten esitys on jaettu eri osiin ottaen huomioon VBE-mallin visuaaliset, biologiset ja emotionaaliset osa-alueet. Koulumenestystä eri oppiaineissa voidaan pitää näiden tuloksena, ja se on esitetty tuloksissa ensimmäisenä.

5.1.7 Koulumenestys

Kaikilla mitatuilla koulumenestyksen osa-alueilla (lukeminen, kirjoittaminen, matemaattikka), havaittiin tasaista tulosten parantumista kokeen aikana. Kuitenkin erityisesti pimeimpään aikaan vuodesta testihuoneiden oppilaat saavuttivat korkeampia arvosanoja. Tulokset koulumenestyksen kehityksestä lukemisen ja matemaattisten aineiden kohdalla ovat esitettyinä kuviossa 11 ja 12.



Kuvio 11. Tulosten kehitys lukemisen osalta ensimmäisen kerroksen kontrollihuoneessa C1 ja testihuoneessa E1



Kuvio 12. Tulosten kehitys matematiikan osalta ensimmäisen kerroksen kontrollihuoneessa C1 ja testihuoneessa E1

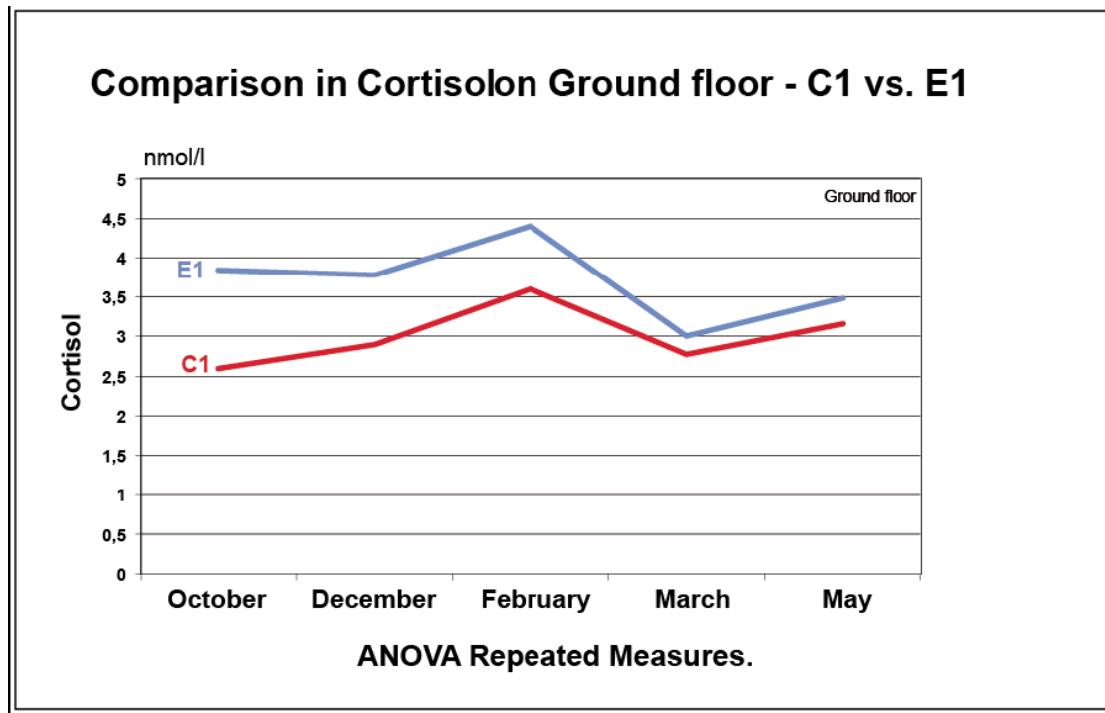
5.1.8 Visuaalinen näkökulma

Kaikki luokkatilat oli varustettu uusilla valaistusratkaisuilla. Kaikissa valaisimissa oli elektroniset liitäntälaitteet, eli valo oli välkymätöntä. Kaikki loisteputket vaihdettiin täyden spektrin 4000K värilämpötilan versioihin. Tilojen sisustusratkaisuja ei muutettu. Kaikkien opettajien mielestä valaistusolosuhteet luokissa paranivat. Kaikki tilat täyttivät standardien vaatimukset horisontaalisen valaistusvoimakkuuden, häikäisyn ja värinsoitinindeksin osalta.

5.1.9 Biologiset vaikutukset

Kortisoli:

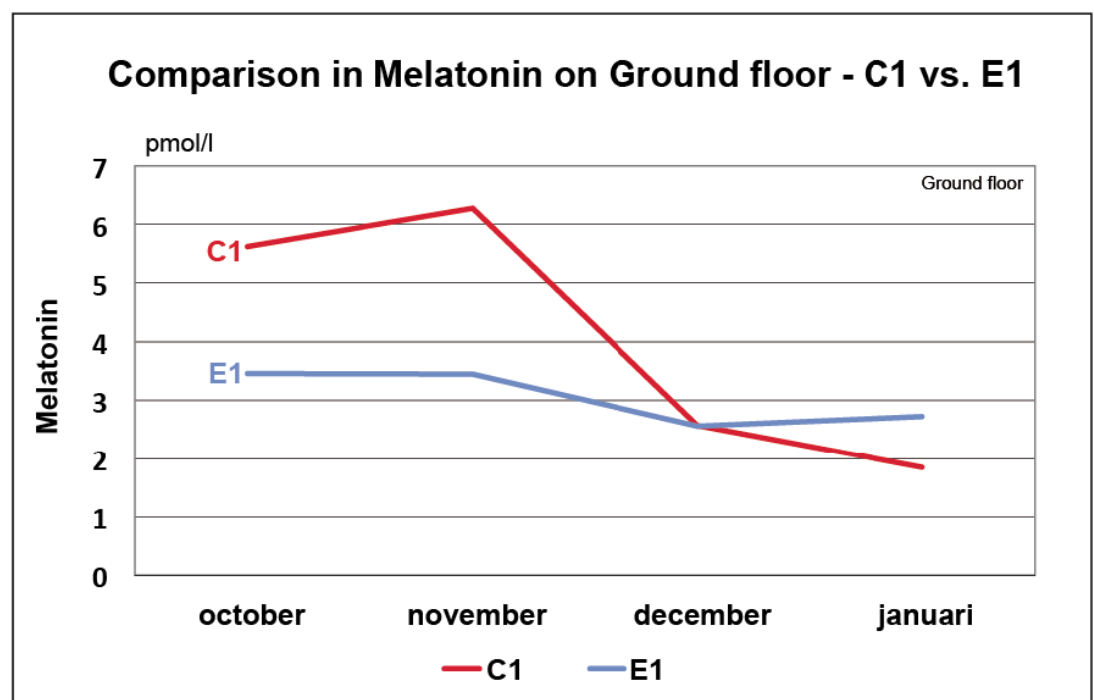
Analyysit klo 9:50 mitatuista kortisolitasoista paljastavat selkeän eron eri kuukausien ja kerrosten välillä. Ensimmäisessä kerroksessa kortisolitasot olivat testihuoneessa E1 koko lukuvuoden korkeammat kuin vertailuluokassa C1. Kuvio 13 esittää kortisolitasojen vaihtelut 1. kerroksen luokahuoneissa lukuvuoden aikana.



Kuvio 13. Kortisolitasot 1. kerroksen luokissa lukuvuoden aikana

Melatoniniini:

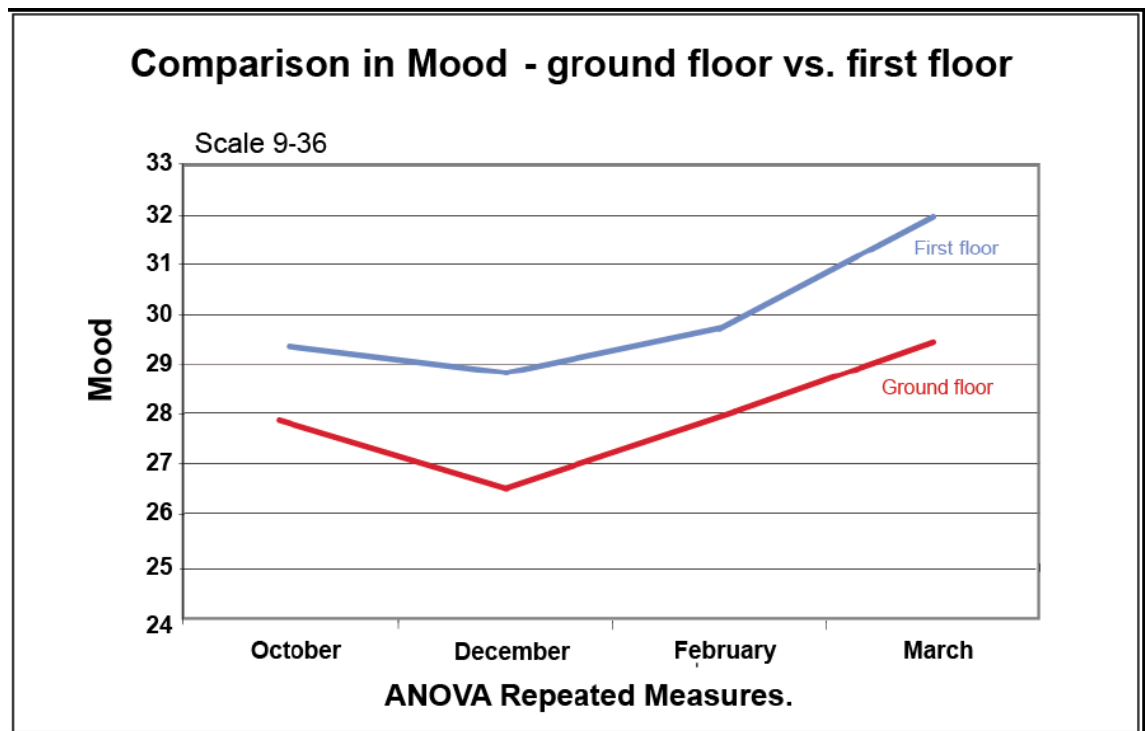
Analyysit klo 9:50 mitatuista melatoniinitasoista paljastivat eron tasoissa eri kuukausien välillä. Lisäksi analyyseistä kävi ilmi, että pimeimpään aikaan vuodesta (lokakuusta joulukuuhun) melatoniinitasot olivat korkeimmillaan ensimmäisen kerroksen kontrollihuoneessa C1. Erot kuitenkin tasaantuivat lukuvuoden loppua kohti. Kuvio 14 esittää melatoniinitasojen vaihtelut 1. kerroksen luokkahuoneissa lukuvuoden aikana.



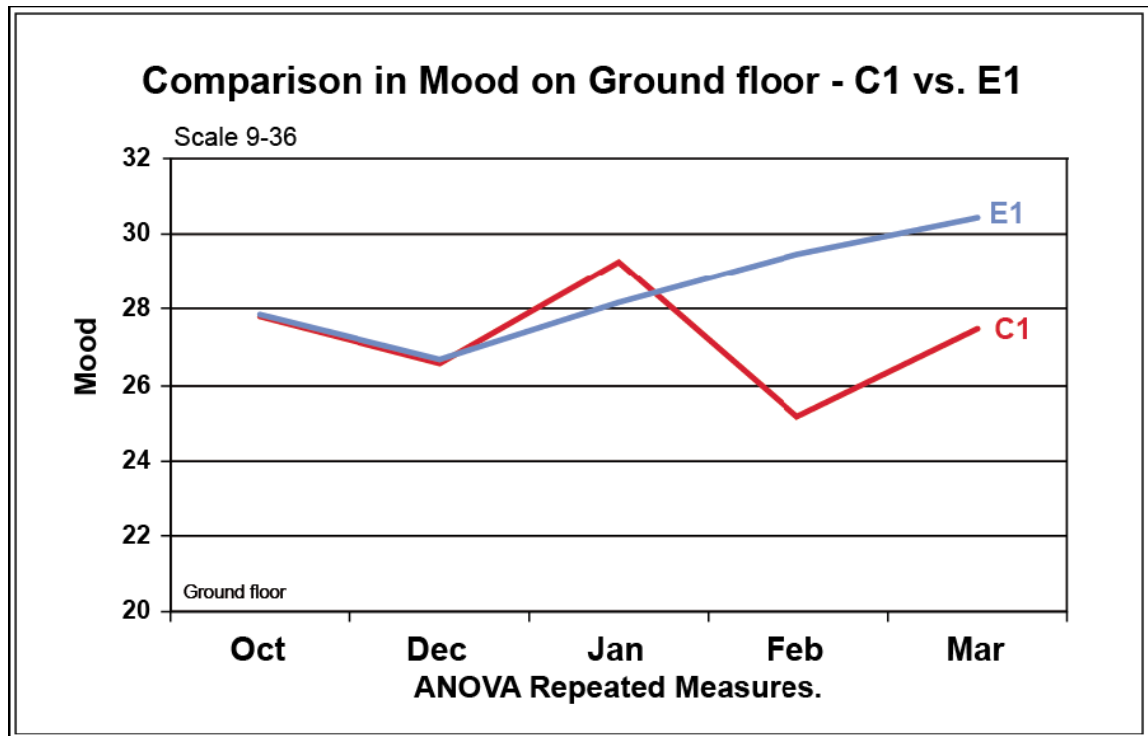
Kuvio 14. Melatoniinitasot 1. kerroksen luokissa lukuvuoden aikana

5.1.10 Emotionaaliset näkökohdat

Tulokset klo 9:50 otetuista mieliala-analyseistä paljastavat selkeän eron ensimmäisen ja toisen kerroksen luokkien välillä. Ensimmäisessä kerroksessa luokkien välillä ei ollut havaittavissa selkeitä mielialaeroja. Kuvio 15 esittää mieliala-analyysien tulokset ensimmäisen ja toisen kerrosten välillä. Kuvio 16 esittää mieliala-analyysien erot luokkien C1 ja E1 välillä.



Kuvio 15. Tulokset mielialavertailuista ensimmäisen ja toisen kerroksen välillä



Kuvio 16. Tulokset mielialavertailuista luokkien C1 ja E1 välillä

5.1.11 Yhteenveto

Tulokset osoittavat, että valon ei-visuaaliset vaikutukset on syytä ottaa huomioon oppimisympäristöjen suunnittelussa. VBE-malli vaikuttaisi olevan hyvä työkalu vertailtaessa valaistusratkaisuja.

Tutkimus osoittaa, että sekä biologiset että emotionaaliset vaikutukset tuntuvat vaihtelevan kausittain, josta voidaan päätellä, että päivänvalo vaikuttaa ihmisten mielialoihin. Tuloksissa on havaittavissa selkeä ero koehuoneiden ja kontrollihuoneiden välillä, erityisesti ensimmäisen kerroksen luokissa, jossa päivänvalon vaikutus on vähäisempi. Ilmiö korostuu entisestään vuoden pimeimpään aikaan.

Alakerran luokkatiloissa oli havaittavissa eroa lasten mielialoissa koejakson aikana. Koehuoneessa mielialoissa havaittiin noususuhdannetta joulukuusta eteenpäin, kun taas kontrollihuoneessa ilmeni päinvastainen ilmiö tammikuun ja helmikuun välillä.

Kortisolitasot olivat korkeampia koehuoneissa ja alakerran luokissa läpi koko koejakson. Erot tasoissa olivat suurimmillaan loka-marraskuussa, mikä kertoo siitä, että keinotekoisella valaistuksella on suurempi vaikutus vuoden pimeimpään aikaan.

Melatoniinitasot vaihtelivat läpi koejakson. Pimeimmän ajanjakson aikana oli havaittavissa selkeä ero alakerran kontrollihuoneen ja koehuoneen välillä. Koehuoneen henkilöillä melatoniinitasot olivat matalammat.

Myös koulumenestyksessä oli eroa luokkien välillä. Koehuoneen lapset saavuttivat parempia oppimistuloksia pimeimpään aikaan.

Yhteenvetona voi todeta, että valaistuksella on mahdollista vaikuttaa positiivisesti viireystilaan ja mielialaan. Ilmiö näyttäisi korostuvan erityisesti silloin kun päivänvalon osuus on pieni ja sitä on tarjolla vähän.

5.2 The experience of ambient light from common light sources with different spectral power distribution – Light emitting diodes (LED) vs. 3-phosphorus fluorescent tubes (T5) (2012)

Tutkimusryhmä: **Govén, T.1**, Laike, T.2.

Viime vuosina on tehty paljon tutkimuksia siitä miten säteilevän valon aallonpituudet (päivänvalon sekä keinotekoisen valon) vaikuttavat ihmiskehon hormonituotantoon, ja millaisia emotionaalisia vaikutuksia näkyvällä valolla on. Uudet energian säästöön tähtäävät määräykset ja tutkimuksissa tehdyt löydökset ovat kehittäneet uusia tehokkaita valaistusratkaisuja, jotka ovat parempia sekä visuaaliselta että biologiselta kantilta tarkasteltuna.

LED-valonlähteellä on erilainen säteilevän valon aallonpituusjakauma loisteputkivalonlähteisiin verrattuna. Yleisimmin käytetyt LEDit säteilevät selkeästi enemmän lyhyimpiä aallonpituuksia verrattuna muihin sisätilojen valaistukseen käytettyihin valonlähteisiin. Tällä saattaa olla vaikutusta siihen, miten kirkkaana ympäröivä valo koetaan sisätiloissa.

Tässä tutkimuksessa on vertailtu subjektiivisia kokemuksia LED-tekniikalla ja loisteputkivalonlähteillä toteutetusta epäsuorasta valaistuksesta erilaisilla ympäröivän valon voimakkuuksilla perinteisissä toimistoympäristöissä. Testiin osallistui 50 iältään 18-68-vuotiasta henkilöä. Tutkimuksen tähtäimenä oli tutkia kokevatko ihmiset kirkkaampana 4000 K LEDeillä vai 4000 K loisteputkilla valaistun tilan. Tutkimustiloja oli kaksi, toinen oli valaistu LED-valonlähteillä ja toinen T5-valonlähteillä. Ympäröivän valon määrä oli molemmissa tiloissa tutkimustilanteesta riippuen seinä- ja kattopinnoilla joko 100 cd/m² tai 300 cd/m².

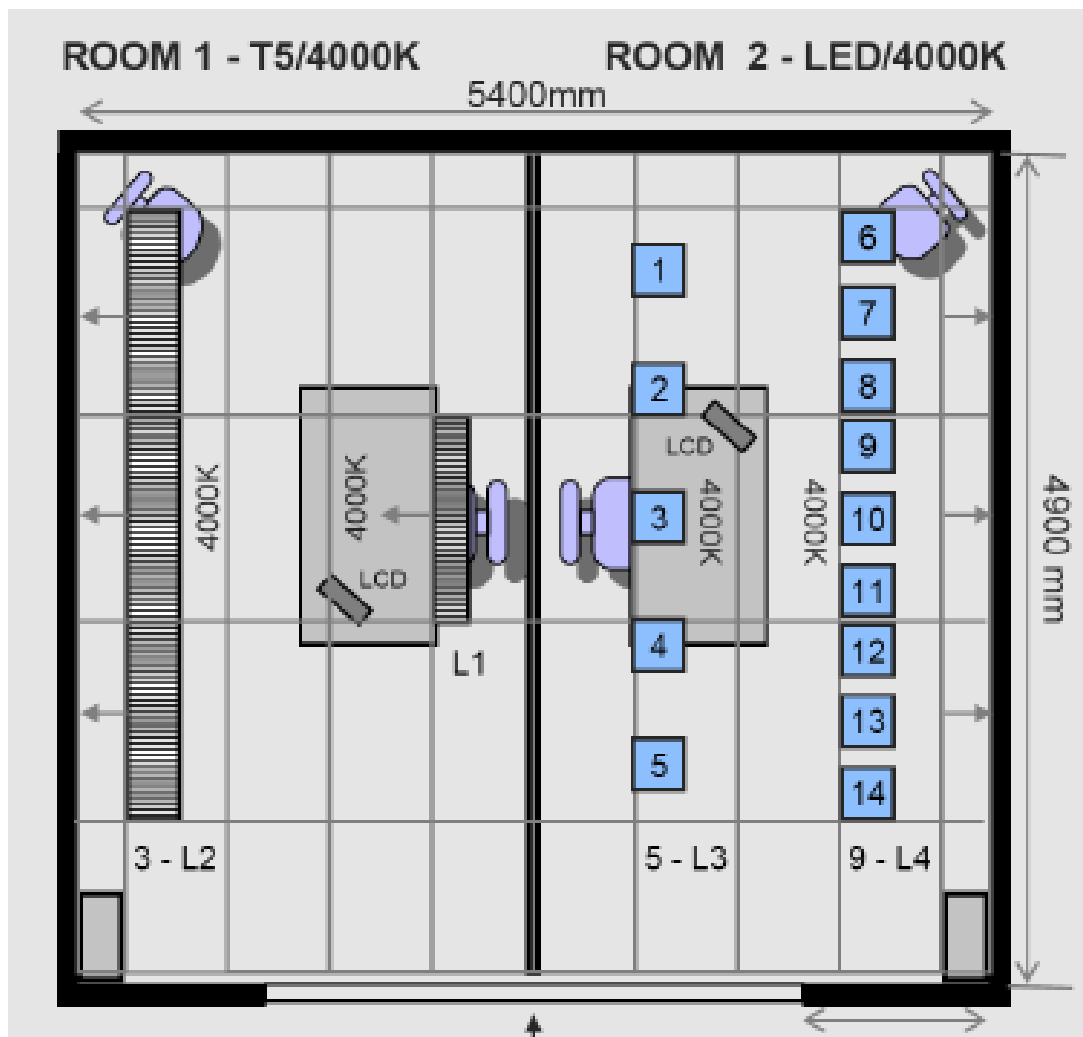
Havaintoja tutkittiin neljästä eri näkökulmasta:

- millaisena tila koettiin
- tilan kirkkausvaikutelma
- millaisena valaistus koettiin
- biologiset vaikutukset – hormonianalyysi kortisolin osalta

5.2.1 Tutkimuksen järjestely ja tutkimusmenetodit

Tutkimukset toteutettiin kahdessa yhtäläisesti varustetussa huoneessa. Tilojen koko oli pituudeltaan 4900 mm, leveydeltään 2700 mm ja korkeudeltaan 2700 mm.

Molemmissa huoneissa oli työpöytä tuoleineen, LCD-näyttö, erillinen tuoli sekä muutamia lehtiä luettavaksi. Kello oli sijoitettu seinälle tilan yläkulmaan. Muita objekteja huoneissa ei ollut. Kuvioista 17 selviää objektien sijoittelu tutkimushuoneissa.



Kuvio 17. Objektien sijoittelu tutkimushuoneissa

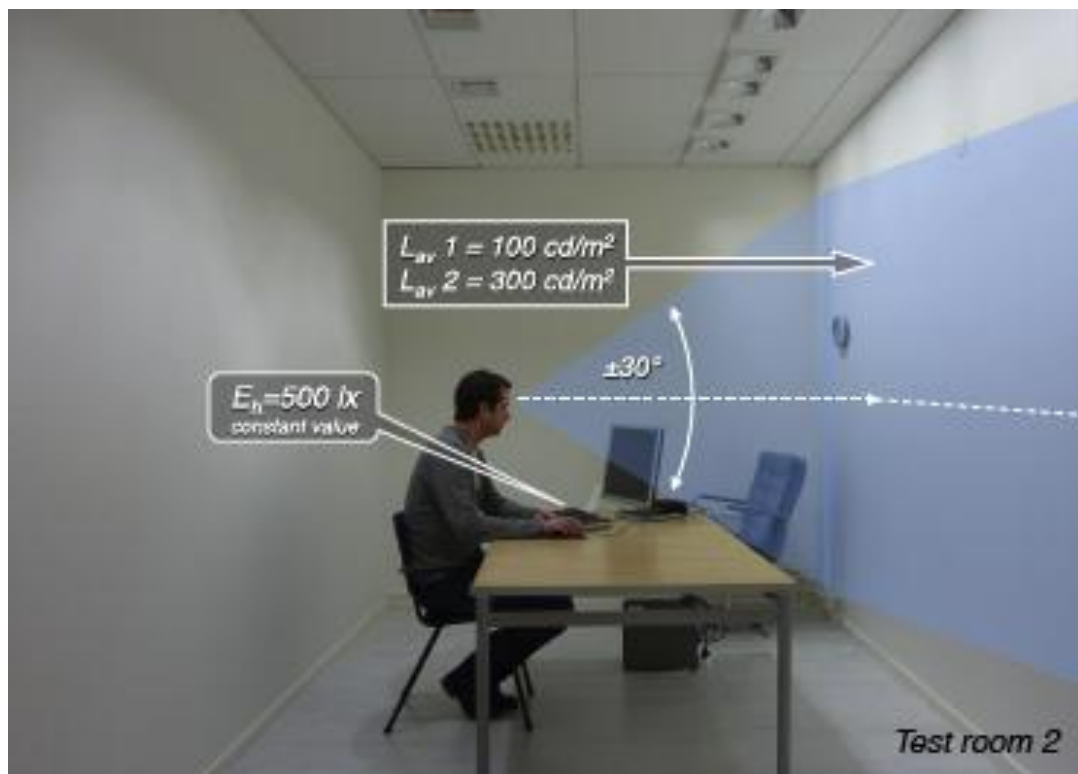
Huoneiden katto oli valkoinen, heijastussuhteeltaan 82 %. Seinät olivat valkoiseksi maalattuja (NCS 0502-Y), heijastussuhteeltaan 84 %. Huoneet olivat ikkunattomia ja ne oli suojattu ulkoa tulevalta valolta. Valoa heijastettiin epäsuorasti kohdehenkilön normaaliin näkökenttään.

Testihuone 1 oli valaistu 4000K värilämpötilan T5-loisteputkilla. Upotettu himmennettävä valaisin oli asennettu työpisteen päälle pöydän etureunan tasalle. Valaisimessa oli 2 kpl 54-wattisia loisteputkia. Epäsuora valaistus oli toteutettu kolmella wallwasher-tyyppisellä epäsymmetrisen valonjaon valaisimella. $\sim 100 \text{ cd/m}^2$ ympäröivän valon määrä näkökentässä saatiin aikaan $3 \times 28 \text{ W}$ teholla ja $\sim 300 \text{ cd/m}^2$ tapauksessa käytettiin kolmea valaisinta $2 \times 54 \text{ W}$ teholla.

Testihuone 2 oli varustettu 4000K värilämpötilan LED-valonlähteillä seuraavasti:

Viisi upotettavaa himmennettävää LED-valaisinta oli sijoitettu työtason yläpuolelle samaan linjaan pöydän etureunan kanssa. Nämä symmetrisen valonjaon valaisimet sisälsivät 4000K Philips Fortimo 1000lm LED-moduulin.

100 cd/m^2 ja 300 cd/m^2 ympäröivän valon määrä näkökentässä saavutettiin yhdeksällä himmennettävällä upotettavalla wallwasher-tyyppisellä epäsymmetrisen valonjaon valaisimella. Näissä valaisimissa oli 4000K Philips Fortimo 2000lm LED-moduuli. Kuvassa 4 on esitetty testihuoneen 2 valaistustasot.

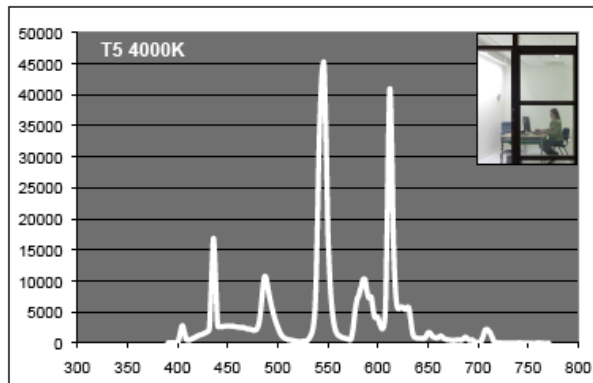


Kuva 4. Testihuoneen 2 valaistustasot

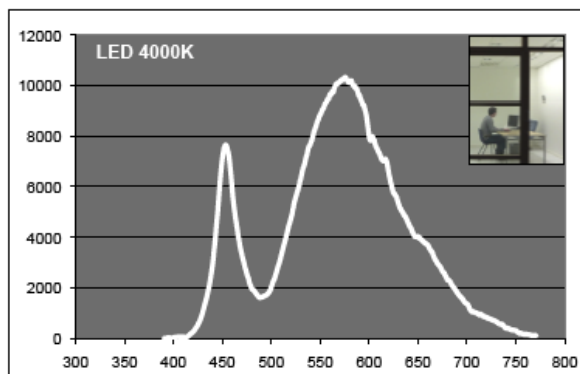
Ennen testien aloittamista valonlähteitä poltettiin vähintään 100 tuntia ja valonlähteet olivat päällä vähintään tunnin ennen testitilanteita.

Spektrijakaumat eri valonlähteistä ja epäsuorasti heijastuvasta valosta mitattiin Avaspec 2048 Avantes fotospektrometrillä.

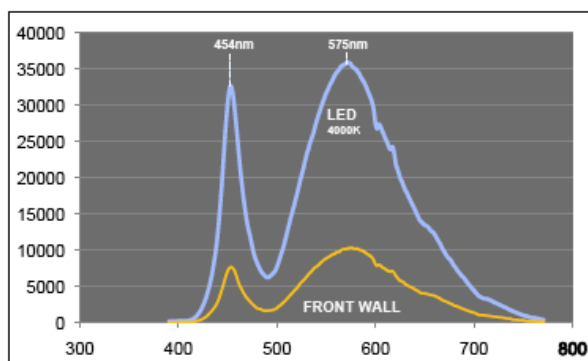
Kuviot 18-20 esittävät valonlähteiden sekä seinäpinnoilta heijastuvan valon spektrijakaumat.



Kuvio 18. 4000K T5-loisteputken spektrijakauma



Kuvio 19. 4000K LED-valonlähteen spektrijakauma



Kuvio 20. Spektrijakauma suoraan LED-valonlähteestä ja seinältä mitattuna

5.2.2 Testihenkilöt

Tutkimukseen valittiin 50 henkilöä seulontakriteerien perusteella, jotta saatiin sopiva jakautuma iän ja sukupuolen mukaan. 8 henkilöä jouduttiin jättämään kokeen ulkopuolelle eri syiden vuoksi. Jäljelle jäänyt ryhmä koostui 19 naisesta ja 23 miehestä, iältään 18-68 vuotta. Ryhmä edusti eri yhteiskuntaluokkia tavallisista työläisistä ylempiin toimihenkilöihin. 31 henkilöllä oli silmälasit ja 5 käytti piilolinssettä.

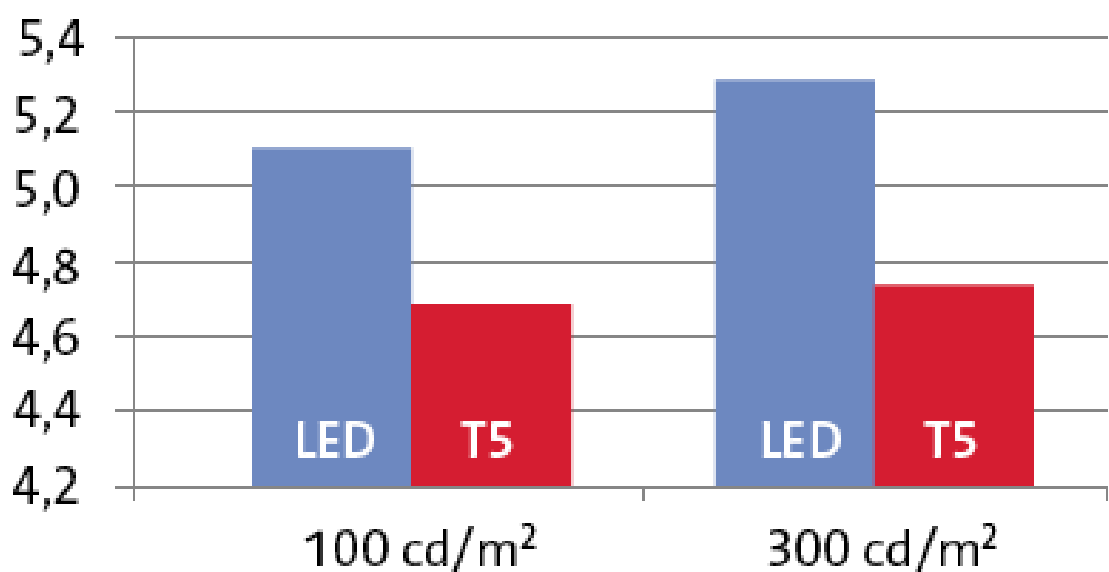
5.2.3 Tulokset

5.2.4 Millaisena tila koettiin

Molemmat koehuoneet molemmilla ympäröivän valon määrillä koettiin suhteellisen neutraaleiksi. Koehenkilöiden tuntemukset tiloista olivat erilaisia, merkittävää eroa ei kuitenkaan ollut sillä, kummilla valonlähteillä valaistus oli toteutettu.

5.2.5 Kirkkausvaikutelma

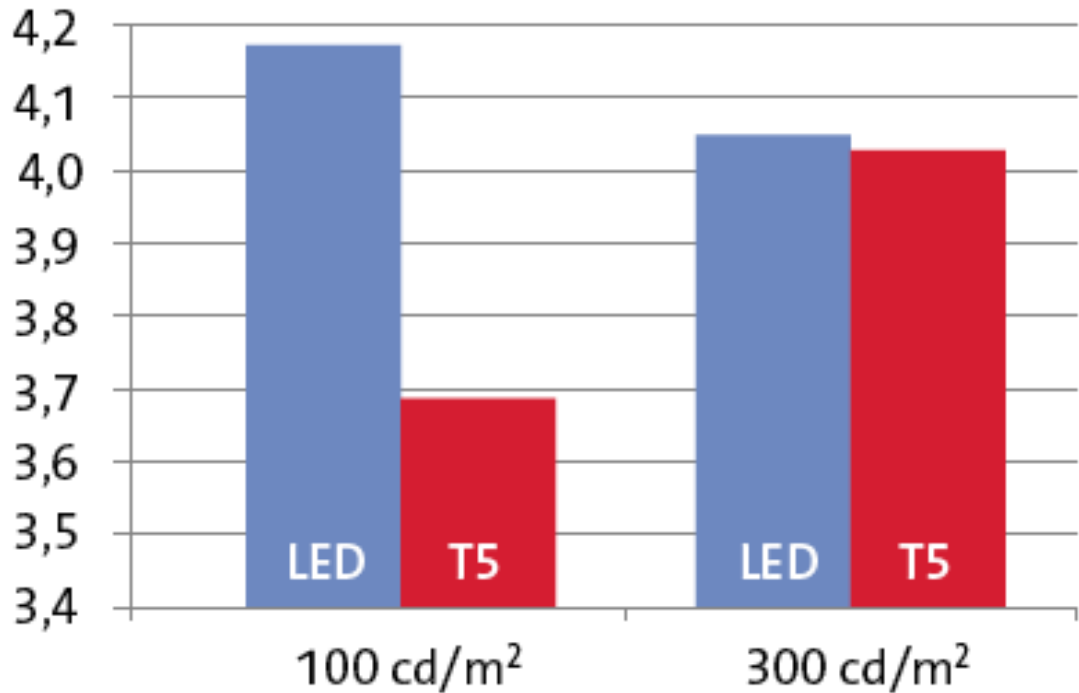
Yleisesti tulokset osoittavat sen, että LED-valonlähteillä valaistu tila koetaan molemmilla ympäröivän valon määrillä kirkkaampana kuin T5-valonlähteillä valaistu tila. Ilmiö korostui entisestään 300 cd/m² tapauksessa (kuvio 21).



Kuvio 21. Koettu kirkkausvaikutelma etuseinällä

5.2.6 Valon laatu

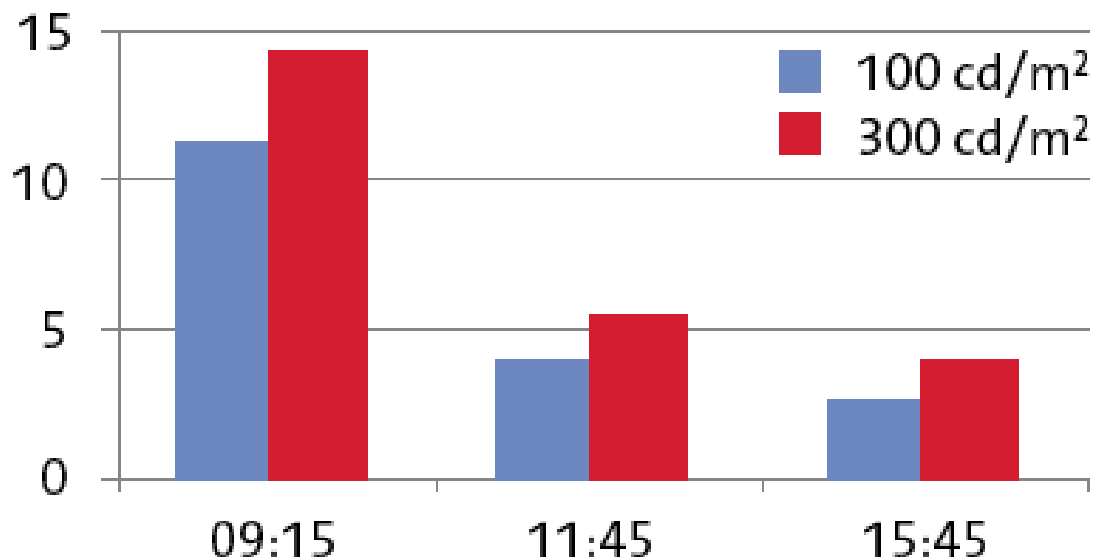
Tuloksista oli havaittavissa suuntaus siihen, että valo LED-valonlähteestä koetaan parempana kuin T5-valonlähteestä 100cd/m^2 tapauksessa. Ero tasoittui suuremmilla valaistusvoimakkuuksilla (kuvio 22).



Kuvio 22. Koettu valon laatu

5.2.7 Biologinen näkökulma – vaikutukset hormonituotantoon

Kortisolihormonin tasoissa havaittiin selkeä kasvu kun ympäröivän valon määrää seinäpinoilla kasvatettiin 100cd/m^2 tasosta 300cd/m^2 tasolle. Ilmiö toistui eri aikaan päivästä suoritetuilla mittauksilla. Selkeää eroa valonlähteiden välillä ei ollut havaittavissa (kuvio 23).



Kuvio 23. Kortisolitasot eri ympäröivän valon määrillä ja eri kellonaikoina.

5.2.8 Johtopäätökset

Valaistuksen laatu ja energiatehokkuus tulevat olemaan olennainen osa tulevaisuuden valaistussuunnittelua. Laadukkaan valaistuksen toteuttamisessa ympäröivän valon määrä nousee tärkeään rooliin. Useat tutkimukset osoittavat, että ympäröivä valo vaikuttaa ihmisiin positiivisella tavalla ja se on olennainen osa tulevaisuuden energiatehokasta valaistussuunnittelua (Loe, 2003, Govén et al, 2011). Tämä tutkimus osoittaa, että LED-tekniikalla toteutettu epäsuora valaistus saattaa olla perinteisiä valonlähteitä tehokkaampi tapa valaista valaistuksen laadun siitä kärsimättä.

Tulokset osoittavat, että kohdehenkilöt kokivat LED-valonlähteiden tuottaman valon kirkkaampana kuin saman varilämpötilan T5-valonlähteiden valon. Tämä johtuu todennäköisesti LED-valonlähteen erilaisesta spektrijakaumasta lyhyemmillä aallonpituuksilla. Ilmiö on syytä tiedostaa, kun vertaillaan mitattuja valaistusteknisiä tuloksia perinteisten valonlähteiden ja LEDien välillä.

Otettaessa huomioon valaistuksen laatu, LED- valaistus koettiin miellyttävämmäksi 100 cd/m², kuin 300 cd/m² valaistusvoimakkuudella. T5-valonlähteellä vaikutus oli päinvastainen. 300 cd/m² valaistusvoimakkuudella LED-valonlähteet ja T5-valonlähteet koettiin yhtä miellyttävinä.

Tuloksissa ei havaittu eroja siinä, millaisena itse tila koettiin. Tulokset kuitenkin osoittavat, että LED-valaistus koetaan kirkkaampana ja näkemisen kannalta parempana kuin loisteputkivalonlähteillä toteutettu valaistus. 300 cd/m^2 ympäröivän valon tasoa ei kummallakaan valonlähteellä koettu häikäiseväksi. Tulosten pohjalta voi olettaa, että LED-tekniikalla toteutetulla valaistuksella voitaisiin käyttää pienempiä valaistusvoimakkuuksia verrattuna perinteisiin valonlähteisiin.

6 Pohdinta

Työssä oli tarkoitus tutkia valon ei-visuaalisia vaikutuksia, painottuen sen vaikutuksiin kronobiologisen järjestelmän toimintaan sekä hyvinvointiin. Tavoite oli saada kattava kokonaiskuva aiheesta, jotta ilmiö pystyttäisiin ottamaan paremmin huomioon valaistus suunnittelussa. Aihe on ollut enenevässä määrin esillä mediassa, ja tutkimuksia on tehty runsaasti niin lääketieteen kuin valaistusalan toimijoidenkin toimesta, joten lähteaineistoa oli saatavilla runsaasti.

Aiheeseen perehtyminen toi ilmi sen, miten suuria vaikutuksia luonnonvalolla ja keinovalolla on ihmisten jokapäiväiseen elämään. Ilmiö on syytä ottaa huomioon valaistus suunnittelijan työssä siinä mittakaavassa, kun se kussakin kohteessa on mahdollista.

Vaikka tutkimuksia aiheen tiimoilta on viime aikoina valmistunut runsaasti, ovat ilmiö ja siihen vaikuttavat mekanismit vielä osittain tuntemattomia. Työn tekeminen toi vastauksia siihen, miten valo vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin ja vireystilaan. Aiheeseen perehtyminen toi myös vastauksia siihen, miten silmä toimii, mitkä ovat sen eri osat ja miten niiden toiminta linkittyy kronobiologisen järjestelmän toimintaan. Vaikka työn sisältöön aihealueen rajaamisen vuoksi mahtuivat vain valon kronobiologiset ja hyvinvointiin vaikuttavat tekijät, tulivat aihealueeseen perehtyessä tutuiksi myös monet muut valon biologiset vaikutukset. Ilmiöön tutustuminen toi paljon uusia ajatuksia käytännön työelämään, sekä antoi hyvän pohjan tulevaisuudessa valmistuvien tutkimuksien seuraamiseen sekä ymmärtämiseen.

LÄHTEET

Akuutti. 2010. Iirisanalyysilta puuttuu tieteellinen pohja. Luettu 7.4.2013. Saatavissa: http://ohjelmat.yle.fi/akuutti/arkisto/iirisanalyysilta_puuttuu_tieteellinen_pohja

AP Psychology. 2003. The Retina. Luettu 19.3. 2013. Saatavissa: <http://www.rhsmpsychology.com/Handouts/retina.htm>

Aschoff J, Wever R. 1962. Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluss aller Zeitgeber. Die Naturwissenschaften. 49, 337-342.

Berson, DM, Dunn FA, Takao M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. PDF. Luettu 30.3.2013. Saatavissa: http://biosci.usc.edu/courses/2003-spring/documents/bisc221-swanson_jc_Berson2002.pdf

Callaway et al. (2005). Structure and function of parallel pathways in the primate early visual system. J Physiol. 566(1):13-19

CNRS. 2011. The Many Roles of Melanopsin. Luettu 11.4.2013. Saatavissa: <http://www2.cnrs.fr/en/1637.htm>

Duodecim. Matti Huttunen. 2012. Kaamosmasennus. WWW-dokumentti. Luettu 16.4.2013. Saatavissa: http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00377

Foster RG. 2002. Keeping an eye on the time: the Cogan Lecture. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 43:1286–1298.

Govén T, Laike T, Raynham P, Sansal E. 2011. Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children.

Govén T, Laike T. 2012. The experience of ambient light from common light sources with different spectral power distribution – Light emitting diodes (LED) vs. 3-phosphorus fluorescent tubes (T5).

Halonen, L. & Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Otatieto Oy.

Healthy-ojas. 2010. Presbyopia. Luettu 1.4.2013. Saatavissa: <http://healthy-ojas.com/eye/presbyopia.html>

HYKS. 1996-1998. Lasiaisen tutkiminen. WWW-dokumentti. Luettu 27.4.2013. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/~tekivela/opetus/vitreous.html>

Hyvärinen, L. 2001. Näkeminen. WWW-dokumentti. Luettu 14.4.2013. Saatavissa: <http://www.lea-test.fi/su/silmat/nakemine.html>

Juslén H & Rautkylä E. 2012. User experiences on SchoolVision lighting concept at Vesala elementary school in Helsinki, Finland.

Kallioharju Kari. 2011. TAMK Valaistustekniikka-kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Nissilä et al. 2012. The Abundance and Distribution of Melanopsin (OPN4) Protein in the Human Brain. PDF. Saatavissa:
<http://www2.valkee.com/uk/wp-content/uploads/2012/08/OPN4-human.pdf>

Näkövammaisten keskusliitto. 2013. WWW-dokumentti. Silmän rakenne. Luettu 14.4.2013. Saatavissa: <http://www.nkl.fi/fi/etusivu/tietoa/rakenne>

Roberts, J. 2010. Circadian Rhythm and Human Health. Fordham University. Department of Natural Sciences.

Rosbash M, Takahashi JS. 2006. Clockwork genes, Discoveries in biological time. Teacher's guide. Howard Hughes Medical Institute. PDF. Saatavissa:
<http://www.hhmi.org/biointeractive/clocks/clockwork.pdf>

SAP. 2012. Vision and Visual Disabilities – An Introduction. Luettu 20.3.2013. Saatavissa:
http://www.sapdesignguild.org/resources/accessibility_res/vision_physiology.asp

SFS-EN 12464-1. 10.10.2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Luku 4.13: Valon vaihtelevuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Siry's Ecology Forum. 2003. Visual Cortex. Luettu 1.4.2013. Saatavissa:
http://myweb.rollins.edu/jsiry/Visual_Cortex.html

Solunetti. 2013. Iris eli värikalvo. WWW-dokumentti. Luettu 7.4.2013. Saatavissa:
<http://www.solunetti.fi/fi/histologia/varikalvo/>

Teikari, P. 2006. Biological effects of light. Helsinki University of Technology. Diplomityö.

Terveystalo. 2013. Sidekalvontulehdus. WWW-dokumentti. Luettu 16.4.2013. Saatavissa:
<http://www.terveystalo.com/fi/Palvelut/Klinikat/SilmaKlinikka/SilmaKlinikka/Silmasairaudet/Sidekalvontulehdus/>

WJM van Bommel and GJ van den Beld. 2004. Lighting for work: a review of visual and biological effects. Philips Lighting.

Yamazaki S, Goto M, Menaker M. 1999. No evidence for extraocular photoreceptors in the circadian system of the Syrian hamster. University of Virginia.