

Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelu erilaisissa kohteissa

Mikael Kopperoinen

Opinnäytetyö

Maaliskuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Sähkövoimatekniikka

Tekijä(t) Kopperoinen, Mikael	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2020
	Sivumäärä 67	Julkaisun kieli Suomi
	-	Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelu erilaisissa kohteissa		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Vesa Hytönen, Olli Väänänen		
Toimeksiantaja(t) Sitowise Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Sitowise Oy:n Jyväskylän toimipisteellä tarvittiin ohjeita ja suuntaviivoja ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelulle erilaisissa kohteissa. Opinnäytetyön tavoitteiksi asetettiin selvittää ihmiskeskeisestä valaistuksesta olevaa tietoa ja valmiita ratkaisumalleja ja tehdä vertailua toimiston, hoituhuoneen ja luokahuoneen valaistusjärjestelmän suunnitteluprosessin sekä eri tuotteiden välillä. Painopisteeksi valittiin suunnitteluprojektin kuvaaminen.</p> <p>Aiheeseen perehdyttiin teorian kautta, jonka jälkeen mallinnettiin DIALux:lla toimistohuoneen valaistus, ja vertailtiin valaistuslaskennan tuloksia lukuisien eri valaisimien välillä. Valaistuslaskelmia varten luotiin Microsoft Excel-taulukko, johon muodostettiin sopivimman valaisintyyppin löytämiseksi pisteitysjärjestelmä, joka suunniteltiin vastaamaan ihmiskeskeisen valaistuksen vaatimuksia.</p> <p>Selvitystyön pohjalta luotiin toimeksiantajan käyttöön suunnitteluohje, jonka tarkoitus oli helpottaa suunnittelijan ensimmäisiä ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprojekteja.</p> <p>Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelussa on huomioitava valon biologiset vaikutukset. Eri käyttökohteisiin on suunniteltava valaistusvaatimukset täyttävä ja ohjausjärjestelmältään sopiva laitteisto. Eri laitevalmistajien markkinoimat valmiit ratkaisumallit eroavat keskenään sekä kustannusten että muiden ominaisuuksien perusteella.</p> <p>Ilmiönä ihmiskeskeinen valaistus on mielenkiintoinen ja nopeasti kehittyvä. Valon biologiset vaikutukset huomioon ottavan järjestelmän uskotaan kasvattavan suosiotaan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Jokaisen projektin aikana on syytä tarkistaa uusimmat ohjeet ja määräykset.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Ihmiskeskeinen valaistus, ihmislähtöinen valaistus, valaistussuunnittelu		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Kopperoinen, Mikael	Type of publication Bachelor's thesis	Date March 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 67	Permission for web publication: x
Title of publication How to design Human Centric Lighting in various projects		
Degree programme Engineer (Bachelor) Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Hytönen Vesa, Väänänen Olli		
Assigned by Sitowise Oy		
Abstract <p>At Sitowise Ltd's office in Jyväskylä were in need of instructions and guidelines for designing Human Centric Lighting in various projects. The goal of thesis was set to uncover available knowledge about Human Centric Lighting and ready-made solutions and to compare the design processes in offices, treatment rooms and schools as well as various products. Main focus was set to explain the designing project.</p> <p>The subject was explored through the theory. After that the lighting of an office room was modeled by DIALux and results of various illuminators were compared. The Microsoft Excel-file and a scoring system was developed to find the best illuminator. The scoring system was designed to match the requirements of Human Centric Lighting.</p> <p>Based on the factors encountered in the thesis, a design manual for the customer was created. The design manual was made to ease a designer's first Human Centric Lighting designing projects.</p> <p>When designing Human Centric Lighting the biological effects of light must be considered. To different types of applications, one must design a system that fills the requirements of illumination and control units. The ready-made solutions offered by different manufacturers differ by price and other qualities.</p> <p>As a phenomenon Human Centric Lighting is interesting and quickly developing. There is noteworthy belief that a lighting system that considers the biological effects of light can become significantly more popular in the near future. During every project it is reasonable to check the most recent guides and standards.</p>		
Keywords/tags (subjects) Human Centric Lighting, lighting planning		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Toimeksiantaja	4
1.2	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	4
1.3	Työn rajaukset.....	5
2	Tutkimusaineisto ja käytetyt tutkimus- ja kehittämismenetelmät	6
2.1	Tutkimuskysymykset	6
2.2	Tutkimus- ja analyysimenetelmät sekä aineisto.....	6
2.3	Tutkimuksen luotettavuus	8
3	Valaistussuunnittelun lähtökohdat	8
3.1	Työkohteiden valaistus standardin SFS-EN 12464-1:n mukaisesti.....	9
3.2	Valaisimen valinta	11
3.2.1	Asennustapa	11
3.2.2	Valotekniset ominaisuudet.....	12
3.3	Valon biologiset vaikutukset	15
3.3.1	Vuorokausirytmä	16
3.3.2	Biologisten vaikutusten huomiointi suunnittelussa	20
4	Ihmiskeskeinen valaistus	22
4.1	Ihmiskeskeinen valaistus ilmiönä	22
4.2	Ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt.....	24
4.3	Ihmiskeskeinen valaistus eri kohteissa.....	26
4.3.1	Toimistotila	26
4.3.2	Hoituhuone	27
4.3.3	Koulu	29
4.4	Käyttäjän opastus	32
4.5	Valaistusjärjestelmien vertailu	33
4.5.1	Valaistusjärjestelmän kustannukset	33
4.5.2	Ihmislähtöinen valaistus, Glamox	34
4.5.3	Dynaaminen valaistus, Philips	35
4.5.4	Human Centric Lighting, Fagerhult	38

5	Työn toteutus	38
5.1	Toimistohuoneen valaistuksen mallintaminen.....	38
5.2	Suunnitteluohjeen laatiminen	44
6	Tulokset	45
6.1	Valaisinvertailun tulokset	45
6.2	Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprosessi	46
6.3	Käyttökohteiden vaikutus suunnitteluprojektiin.....	47
6.4	Laitevalmistajien ratkaisumallien vertailu	48
7	Johtopäätökset ja pohdinta	49
7.1	Johtopäätökset valaisinvertailusta	49
7.2	Tutkimuksen onnistuminen ja luotettavuus	52
7.3	Tutkimuksen hyödyntäminen ja aiheen kehittäminen	55
	Lähteet	56
	Liitteet	59
	Liite 1. Tilojen, tehtävien ja toimintojen valaistusvaatimukset opinnäytetyössä tutkittavien kohteiden osalta	59
	Liite 2. Valaisinvertailun tulokset	62
	Liite 3. Sitowisen suunnitteluohje.....	63
	Kuviot	
	Kuvio 1. Välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen mitat suhteessa työalueeseen ..	9
	Kuvio 2. Eri värilämpötiloja ja niiden ominaisuuksia	14
	Kuvio 3. Valon spektrin vaikutuksia ja väri	15
	Kuvio 4. Ihmisen sirkadiaanirytmien mekanismi.....	18
	Kuvio 5. Sylinterivalaistusvoimakkuus kasvoilla	22
	Kuvio 6. Ihmiskeskeinen valaistus koostuu valaistuksen eri lähtökohdista	24
	Kuvio 7. Eri valonlähteiden aallonpituuksia.....	28
	Kuvio 8. Esimerkki potilashuoneen päivänvalo-ohjelmasta	29

Kuvio 9. Luokkahuoneen valaisimien sijoittelu	31
Kuvio 10. Esimerkki luokkahuoneen päivänvalo-ohjelmasta	32
Kuvio 11. Philips värilämpötilasäädöllisen järjestelmän rakenne	36
Kuvio 12. Philips Antumbra-käyttöpaneelin vaihtoehdot	37
Kuvio 13. Esimerkki toimistohuone.....	39
Kuvio 14. Valaistuslaskenta 3D.....	41
Kuvio 15. Glamox tuoteperheiden määrittelyt	45
Kuvio 16. Valaisimien sijoittelu.....	50

Taulukot

Taulukko 1 Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde	10
Taulukko 2. Melatoniinin tuotantoon vaikuttavan valon osuus m_v	21
Taulukko 3. Laskennassa käytettyjen pintojen heijastussuhteet	40
Taulukko 4. Käytetyn pisteityksen perusteet	42
Taulukko 5. Valaisimien saamat pisteet valaisintyyppin mukaan	46
Taulukko 6. Glamoxin valaisinten saamat pisteet ja tuoteperheen positiointi	49
Taulukko 7. Valaisimien ja ikkunan sijoittelun, sekä päivänvalon merkitys	52

1 Johdanto

1.1 Toimeksiantaja

Sitowise Oy on 1700 hengen asiantuntijayritys, joka tarjoaa asiakkailleen kaikki rakennetun ympäristön suunnittelu-, asiantuntija- ja digitaaliset palvelut saman katon alta. Sitowisen palvelut kattavat sekä uudis- että korjauskohteiden asiantuntijapalvelut talonrakennusalalla, suunnittelu- ja konsultointipalvelut infrastruktuurin ja elinympäristöjen parissa, kokonaisvaltaiset hankejohtamisen palvelut kiinteistö- ja infrahankkeissa, sekä digitaalisen infrastruktuurin älykkään ja turvallisen elinympäristön takana. Sitowise on Suomen suurimpia rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimistoja. (Sitowise n.d.)

Sitowise sai alkunsa, kun infra- ja talonrakentamisen asiantuntijayritykset Sito Oy ja Wise Group Finland Oy yhdistyivät vuonna 2017. Vaikka yritys on nykyisellä nimellään nuori, löytyy kokemusta ja osaamista suomalaisesta rakentamisesta pitkälti yli 40 vuoden ajalta. Wise Group perustettiin 2010. Yritykseen kerättiin tuolloin talonrakentamisen suunnittelun ja konsultoinnin parhaita toimijoita. Seitsemässä vuodessa Wise Group kasvoi alan viiden suurimman yrityksen joukkoon Suomessa. Sito puolestaan aloitti toimintansa jo 1976 väyläsuunnittelun insinööritoimistona. Yritys on kehittänyt palvelutarjontaansa ja kasvanut tasaisesti läpi historiansa. (Sitowise n.d.)

1.2 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Valaistuksella on suuri vaikutus ihmisten hyvinvointiin ja virkeyteen ja sitä kautta oppimiseen ja työtehokkuuteen. Uusia valaistuksen ohjausjärjestelmiä ja valaisinvaihtoehtoja tulee markkinoille jatkuvasti, ja massasta on haastavaa poimia sopivimmat ratkaisut kuhunkin kohteeseen. Yhtenä mielenkiintoisena trendinä on noussut esiin ihmiskeskeinen valaistus. Suunnittelupalveluja tarjoavan yrityksen, kuten opinnäytetyön toimeksiantajan Sitowise Oy:n, on kyettävä tarjoamaan asiakkailleen nykyaikaisia ja laadukkaita suunnitelmia, joissa käyttäjien tarpeille löydetään riittävät mutta kustannustehokkaat ratkaisut.

Tämän opinnäytetyön painopisteenä oli kehittää ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprojektille yleinen toimintamalli erilaisissa kohteissa. Tutkimuksen aiheeseen perehdyttiin teorian kautta, jonka jälkeen tietoperustaan tukeutuen suoritettiin tyyppillisen toimistohuoneen valaistusjärjestelmän osalta vertailua eri vaihtoehtojen välillä. Tässä opinnäytetyössä tuli selvittää pohjatiedoksi suunnittelua varten

1. suunnitteluprojektin tärkeimmät tehtävät, vaadittavat suunnitelmat ja dokumentit, sekä yhteydenpito eri tahoille
2. eroja erilaisten laite- ja toteutusvaihtoehtojen välillä. Vertailun keskiöön otettiin kustannukset, jotka monesti ovat asiakkaan näkökulmasta merkittävä kriteeri eri valaistusvaihtoehtojen välillä.

Vertailtaviksi laitevaihtoehtoiksi valittiin Glamoxin, Fagerhultin ja Philipsin laitteet, koska näillä yrityksillä löytyy aiheeseen sopivat valmiit ratkaisumallit ja tuotteet. Valmiit tuotepaketit voivat olla hieman kalliimpia, mutta huomattavasti helpompia suunnitella ja toteuttaa. Suurien laitevalmistajien referenssikohteilla on helppo vakuuttaa tilaaja ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyllisistä ominaisuuksista. Lisäksi valmistajien edustajilta saa tarvittaessa tukea suunnitteluun.

Toimeksiantajalle päätettiin tuottaa erillinen suunnitteluohje, jonka tarkoitus on helpottaa suunnittelua ja yhtenäistää toimintatapoja ihmiskeskeistä valaistusta tai jotain sen kaltaista järjestelmää käsittelevissä suunnitteluprojekteissa.

1.3 Työn rajaukset

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä valaistuksen perussuureita ja määritelmiä syvästi, koska niihin liittyvää tietoa on helposti saatavilla. Ne kuitenkin esitellään lyhyesti, sillä ne ovat keskeisessä roolissa valaistuksen suunnittelussa. Valaistukseen liittyviä määräyksiä ja ohjeita on syytä käsitellä, jotta suunnitelmien tuotoksena on vähintään vaaditun tasoinen, muttei kohteeseen nähden yliampuva valaistus. Valaisimen valinnassa vaikuttavia tekijöitä kuten kotelointiluokitukset on rajattu pois, koska vertailtavat kohteet ovat siistejä ja kuivia sisätiloja. Samoilla perusteilla tutkimuksen

ulkopuolelle on jätetty ympäristön lämpötilasta ja muista ympäristötekijöistä aiheutuvat vaatimukset valaisimille.

Kustannusvertailun osalta opinnäytetyöstä on rajattu pois takaisinmaksuaika, koska ihmiskeskeisen valaistuksen tuottamat hyödyt ovat usein pitkäaikaisia ja välillisiä, jolloin niitä on hankala mitata. Korkeampien investointikustannusten lisäksi myös energiakustannukset voivat olla tavanomaiseen valaistusjärjestelmään verrattuna suuremmat, varsinkin jos käyttäjällä on mahdollisuus ohjata valaistusta paikallisesti. Ihmiskeskeisellä valaistuksella ei usein tavoitella suoranaisesti taloudellista hyötyä, vaikka välillisten vaikutusten kautta voidaan vaikuttaa esimerkiksi työtehokkuuteen.

2 Tutkimusaineisto ja käytetyt tutkimus- ja kehittämismenetelmät

2.1 Tutkimuskysymykset

Tällä opinnäytetyöllä kehitettiin toimintamallia ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelulle erilaisissa kohteissa. Tarkoituksena oli löytää vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten ihmiskeskeistä valaistusta suunnitellaan?
 - 1.1. Miten eri käyttökohteet mahdollisesti vaikuttavat suunnitteluprojektiin?
2. Miten eri laitevalmistajien tarjoamat valmiit ratkaisumallit eroavat toisistaan kustannusten perusteella?
 - 2.1. Eroavatko ne merkittävästi muilta ominaisuuksiltaan?

2.2 Tutkimus- ja analyysimenetelmät sekä aineisto

Tämä opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistutkimus, joka liittyy aina käytäntöön. Määritelmän mukaan taustalla on aina jokin ilmiö, prosessi tai asiantila, jota halutaan kehittää. (Kananen 2012, 13.) Tässä opinnäytetyössä haluttiin kehittää yleistä toimintamallia ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelussa. Kehittämisen kohteena olevat asiat muotoiltiin tutkimuskysymyksiksi.

Kehittämistutkimuksessa ongelmien ratkaisu perustuu aina tietoon. Tutkijan tehtävä on määrittää ongelman ratkaisemiseen tarvittava tieto ja sen hankintamenetelmät eli tiedonkeruumenetelmät. Lähteistä kerättävän tiedon määrä voi olla hyvin laaja, ja niistä täytyy muodostaa analyysimenetelmillä työlle luotettava ja sopivan laajuinen tietoperusta. (Kananen 2012, 13.) Tässä opinnäytetyössä käytettiin sekä kvalitatiivisen että kvantitatiivisen tutkimuksen analyysimenetelmiä. Kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmää käytettiin poimiessa työn tietoperustan pohjalta tutkimuskysymyksiin vastauksia. Kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen analyysimenetelmää käytettiin työn toteutusosassa esimerkkikohteen avulla suoritetussa vertailussa.

Laadullinen tutkimus sopii tähän opinnäytetyöhön, koska tuloksiksi haluttiin tutkimuskysymysten asettelun perusteella avoimia vastauksia. Tieto kerättiin pääosin verkossa julkaistuista kirjallisista materiaaleista, standardeista ja ohjeistuksista. Tietoperustan tehtävä on antaa pohjatietoja ja suuntaviivoja ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprojektille.

Määrällisessä tutkimuksessa ilmiötä analysoidaan puhtaasti lukuihin perustuen, joiden avulla saadaan näkyviin tiettyjen tekijöiden vaikutukset tuloksiin. Tulosten tulkittaa auttaa, kun tunnetaan siihen vaikuttavien asioiden syitä ja teoriaa niiden takana. (Kananen 2012, 30.)

Ihmiskeskeinen valaistus on ilmiönä Suomessa suhteellisen uusi. Tutkimuksia ja luotettavaa tietoa löytyy jonkin verran, mutta ei vielä paljoa. Suomenkielinen aineisto koostuu enimmäkseen opinnäytetöistä ja valaisinvalmistajien suomentamista tiedoista. Euroopassa ja Yhdysvalloissa aihetta on käsitelty huomattavasti enemmän, ja englanninkielisiä tutkimustuloksia sekä luotettavia tekniikan alan artikkeleita on julkaistu internetissä. Yksi merkittävä tietolähde ovat valaisinvalmistajat ja heidän tuote-esitteensä. Koska tekniikka on tässä aiheessa suhteellisen uutta ja koko ajan kehittyvää, on eri valmistajilla toisistaan poikkeavia ratkaisu- ja ajatusmalleja.

2.3 Tutkimuksen luotettavuus

Laadullisessa tutkimuksessa tutkimuksen luotettavuus muodostuu tutkijan valintojen perusteella. Tutkijan pitää miettiä kerätystä ja analysoidusta tiedosta, mitä hän työhönsä sisällyttää. (Kananen 2012.) Tästä opinnäytetyöstä pyrittiin saaman tietoperustaltaan todenmukainen ja uskottava tutkimalla kriittisesti käytettyjen lähteiden luotettavuutta ja vertailemalla niiden tietoja keskenään.

Määrällisen tutkimuksen luotettavuus perustuu tutkimuksen huolelliseen suunnitteluun, toteutukseen ja analysointiin (Kananen 2012). Huomiota kiinnitettiin vertailutulosten tarkkaan kirjaamiseen, mittauksen luotettavuuteen ja vertailuun otettujen tuotteiden eli otannan valintaan.

3 Valaistussuunnittelun lähtökohdat

Valaistus suunnitellaan ja valaisinvalinnat tehdään aina tilan tarpeen eli ominaisuuksien ja käyttötavan mukaan. Valaistus kannattaa suunnitella ja toteuttaa yhteistyössä arkkitehdin ja sisustajan kanssa, jotta valaistukselle saadaan haluttu luonne. Valaistuksen tarpeeseen ja vaatimuksiin vaikuttavat mm.

- näkemiseen tarvittava valaistus
- tilan eri osien luonne, työpisteet, kulkuväylät yms.
- huomion kiinnittäminen valolla tärkeisiin kohtiin
- valon käyttö itsenäisenä visuaalisena kohteena.

(ST 58.04 2017, 3, 9.)

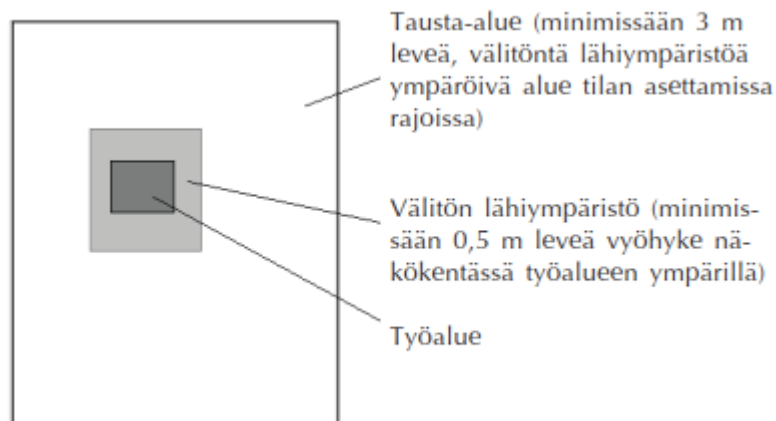
Näkemiseen tarvittava valaistus toteutetaan yleensä yleisvalaistuksella, jolla tarkoitetaan toteutusta, millä saadaan aikaan koko tilaan samankaltainen tasainen valaistus. Tarvittaessa paikallisvalaistus tuotetaan lähelle työskentelytilaa sijoitettavilla rajatun alueen valaisevilla valaisimilla. Paikallistetussa yleisvalaistuksessa valaisimet sijoitellaan keskitettynä työskentelypaikoille. (ST 58.04 2017, 3.)

3.1 Työkohteiden valaistus standardin SFS-EN 12464-1:n mukaisesti

Työalueella ja sitä ympäröivillä alueilla on annettu sisätyötilojen standardissa SFS-EN 12464-1:ssä valaistusvoimakkuuden vähimmäisarvot. Kuviossa 1 on esitetty välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen minimimitat verrattuna työalueeseen. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus ei saa alittaa annettua arvoa koko elinkaaren aikana. Annetut vaatimukset koskevat normaaleja näköolosuhteita ja niissä on otettu huomioon:

- psykologiset ja fysiologiset tekijät, kuten näkömukavuus ja hyvinvointi
- näkötehtävälle asetettavat vaatimukset
- näköergonomia
- käytännön kokemus
- vaikutus toiminnan turvallisuuteen
- taloudellisuus.

(SFS-EN 12464-1:2011, 12,16; ST 58.02, 2017.)



Kuvio 1. Välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen mitat suhteessa työalueeseen (ST 58.02, 2017).

Työalueen koko ja sijainti tulisi määrittellä ja kirjata dokumentteihin. Jos sen kokoa ja sijaintia ei tunneta esimerkiksi avokonttorissa, on koko aluetta käsiteltävä työalueena tai koko alue valaistava tasaisesti suunnittelijan määrittelemään valaistusvoimakkuuteen. Valaistuksen vaatimukseen vaikuttavat mm. työn tyyppi ja mahdollisten virheiden kustannukset. (SFS-EN 12464-1:2011, 20; ST 58.02, 2017.)

Työaluetta ympäröivän välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudelle on myös annettu vähimmäisvaatimukset, jotka on esitelty taulukossa 1. Erot alueiden välillä eivät saa olla suhteettoman suuria, koska suuret vaihtelut saattavat aiheuttaa silmien väsymystä ja epämukavuuden tunnetta. (SFS-EN 12464-1:2011, 22; ST 58.02, 2017.)

Taulukko 1. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde (SFS-EN 12464:2011, 22)

Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Sisätyöpaikoilla suuri osa varsinaisen työalueen ympärillä olevasta alueesta on tarpeellista valaista, etenkin päivänvalon puuttuessa. Tätä aluetta kutsutaan tausta-alueeksi, ja sen pitäisi olla kuvion 1 (sivu 9) mukaisesti vähintään 3 m:n levyinen välitöntä lähiympäristöä ympäröivä vyöhyke tilan asettamissa rajoissa. Tausta-alueen valaistusvoimakkuuden tulee olla 1/3 välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. (SFS-EN 12464-1:2011, 22.)

Standardissa on määritelty vaatimukset valaistusvoimakkuuden, häikäisyn, tasaisuuden ja värinotoindeksin osalta tilojen, tehtävien ja toimintojen perusteella (SFS-EN 12464-1:2011, 24). Nämä vaatimukset on esitelty liitteessä 1 opinnäytetyössä tutkittavien kohteiden eli luokkahuoneen, terveydenhoidon toimisto- ja tutkimustilojen, sekä toimistohuoneen osalta.

3.2 Valaisimen valinta

Projektiin valitaan valaisimet, joiden ominaisuudet ja kustannukset kohtaavat sopivassa suhteessa. Suunnittelijan tehtävä on selvittää projektin vaatimukset valaisimille ja etsiä vaatimukset täyttävät tuotteet. Tyypillisiä vaatimuksia ovat esimerkiksi

- kotelointiluokat
- asennustapa
- valonlähde
- fyysinen koko
- ulkonäkö

(ST 58.04 2017, 7).

Euroopan talousalueella valaisimen valmistaja ja markkinoille saattaja ovat vastuussa siitä, että laite on turvallinen oikein asennettuna eli se täyttää direktiivien ja valaistusstandardien vaatimukset. Ostajan ja suunnittelijan ei siis tarvitse kiinnittää näihin seikkoihin erityistä huomiota. Sen sijaan suunnittelijan on tunnettava asennusympäristö, jotta osataan valita oikeat vaatimukset täyttävä valaisin. (ST 57.45 2019, 1-2.) Kaikki sähkölaitteet on valittava siten, että ne kestävät turvallisesti suunnitelman mukaisella käyttöpaikalla sähkölaitteeseen mahdollisesti kohdistuvat rasitukset ja ulkoisten tekijöiden vaikutukset (SFS-6000:2017, 13).

3.2.1 Asennustapa

Valaisimien yleisimpiä asennustapoja sisätiloissa ovat

- pinta-asennus
- uppoasennus
- ripustus.

Pinta-asennus

Pinta-asennusta käytetään asennustapana yleensä, jos valaisimet asennetaan esimerkiksi suoraan valaisinripustuskiskon alapintaan. Tätä asennustapaa voidaan käyttää myös, jos upottaminen ei jostain syystä ole järkevää, esimerkiksi jos valaisin asenne-

taan suoraan betonielementin alapintaan tai alakattorakenteissa ei ole tilaa upotettavalle valaisimelle. Seinävalaisimet ovat usein pinta-asennettavia. Vaikka valaisin asennetaan pintaan, on kaapelointi mahdollista tehdä myös uppoasennuksena.

Uppoasennus

Uppoasennustapaa käytetään paljon, koska sillä saadaan siistin näköinen lopputulos. Tätä varten tarvitaan uppoasennuksen mahdollistavat rakenteet, kuten alaslaskettu katto.

Ripustus

Ripustusasennus tarkoittaa sitä, että valaisin asennetaan riippumaan katosta erillisten ripustusvaijereiden varaan. Tämän asennustavan hyöty on siinä, että voidaan käyttää epäsuoraa valaistusta tehokkaasti, ja valaisimen korkeutta voidaan helposti säätää haluttuun tasoon. Epäsuoraa valaistusta käyttämällä saadaan kattopintaan tasainen valo, eikä synny epämukavia pimeitä kohtia.

3.2.2 Valotekniset ominaisuudet

Valaisimen tuottamaan valovirtaan vaikuttavat valonlähteen tuottama valovirta ja valaisimen hyötysuhde. Muita tähän vaikuttavia tekijöitä ovat käyttölämpötila, ikään-tymisen aiheuttama valovirran alenema sekä likaantuminen. Valaisimen hyötysuhde kertoo, paljonko valonlähteen tuottamasta valovirrasta saadaan optiikan kautta ulos. Ledivalaisimien kohdalla puhutaan monesti ainoastaan valaisimen valovirrasta, koska varsinaista valonlähdettä ei voida erottaa. (ST 57.45 2019, 4.)

Valaisimia vertailtaessa on oltava tarkkana, koska valmistajien ilmoittamissa arvoissa on eroja. Jotkut ilmoittavat todellisen ulos tulevan valovirran, kun taas toiset ilmoittavat valonlähteen valovirran tai sen perusteella lasketun arvon, johon ei välttämättä ole otettu huomioon mitään alentavia tekijöitä tai hyötysuhdetta. Valonjakokäyrät ja valaistuslaskennassa paljon käytettävä DIALux-ohjelma ovat hyviä työkalu valaisimien vertailussa.

Valovirta

Valovirran (φ) yksikkö on luumen [lm], joka kuvaa valonlähteen lähettämää näkyvän valon määrää tietyllä hetkellä. Sen arvo saadaan useimmiten valaisinvalmistajan antamista tiedoista. Valovirtaa käytetään ilmaisemaan valaisimen valontuottoa ja valaisimen hyötysuhteen arvioinnissa. (ST 57.40 2017, 2.; Valovirta n.d.)

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden (E) yksikkö on luxi [lx], joka kuvaa pinnalle saapuvan valovirran tiheyttä, ja on valovirran avulla sanottuna lm/m². Valaistusmittauksissa mitataan usein lukseja tietyltä tarkastelupinnalta, esimerkiksi pöytätasolta tai kuvitteellisen pystyssä olevan sylinterin pinnalta. (ST 57.40 2017, 2; Valaistusvoimakkuus n.d.)

Valonjako

Erityisesti sisävalaistuksessa valaistustulos syntyy sekä valaisimen synnyttämästä suorana valon, että pinnoista heijastuvan epäsuoran valon yhteisvaikutuksena. Valaisimilla on erilaisia valonjakoja; samallakin valaisintyypillä on usein valittavissa useita eri optiikkavaihtoehtoja. Suunnittelijan on ymmärrettävä valonjaon merkitys parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen pääsemiseksi. (ST 57.45 2019, 4.)

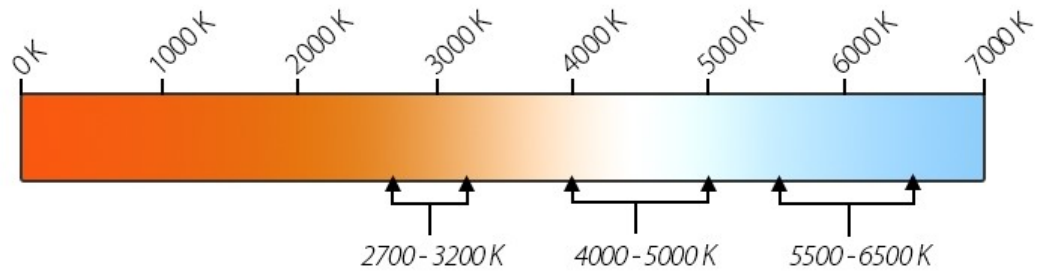
Häikäisy

Häikäisy on ominaisuus, johon on etenkin työpaikoilla kiinnitettävä erityistä huomiota. Sitä voidaan vähentää sijoittamalla valaisimet oikein ja valitsemalla sopiva valonjako. Häikäisyä arvioidaan sisävalaistuksessa kiusahäikäisyindeksin *UGR* avulla. Valaisimen *UGR*-arvo muodostuu sekä itse valaisimesta että valaistavan tilan ominaisuuksista. *UGR*-arvo saadaan yleensä valmistajan ilmoittamana, mutta se voidaan myös laskea. (ST 57.45 2019, 4.)

Väriämpötila

Valaisimien väriominaisuudet vaikuttavat suuresti valaistuksen luomaan vaikutelmaan eli tunnelmaan. Väriämpötila ilmoittaa valon värisävyn Kelvineinä (K), ja useimmiten ne sijoittuvat 2000 K:n ja 7000 K:n välille. (ST 58.04 2017, 3.) Kuviossa 2. on esitetty eri väriämpötilat niitä kuvaavilla väreillä ja esitelty niiden ominaisuuksia ja käyttökohteita. Yleisesti sanotaan, että 3300 K – 5300 K ovat neutraalin valkoisia,

alle 3300 K:n ovat lämpimiä ja yli 5300 K:n ovat viileäsävyisiä värilämpötiloja (ST 58.04 2017, 3). Lämpimiä värilämpötiloja pidetään yleensä kodikkaana, mutta voidaan kokea myös helposti kellertävänä. Neutraalin valkoinen valo muistuttaa päivänvaloa, ja se sopii hyvin työskentelyvaloksi. Kylmä valkoinen valo voi tietyissä olosuhteissa näyttää hieman sinertävältä. (Värilämpötila n.d.).



Kuvio 2. Eri värilämpötiloja ja niiden ominaisuuksia (Värilämpötila n.d.)

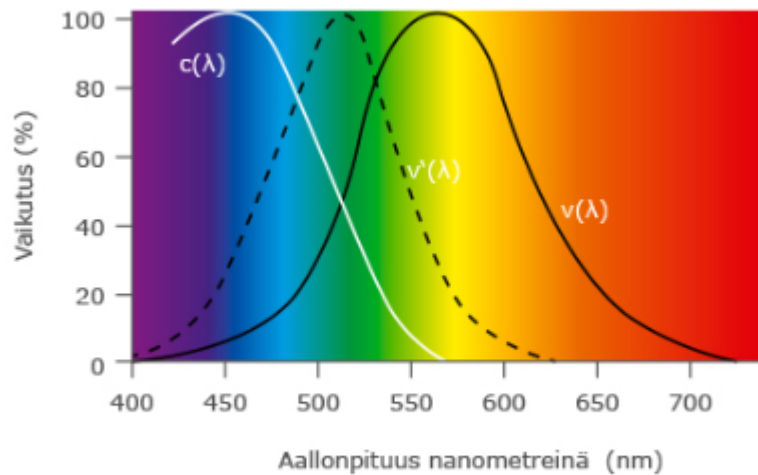
Tunable white -ratkaisu

Tunable white eli säädettävän valkoisen valon ratkaisu tarkoittaa sitä, että valonlähteen valo on aina väriltään valkoista, mutta värilämpötilaltaan yleensä välillä 2700 K – 6500 K vaihtelevaa. Tämä voidaan toteuttaa joko asentamalla valaisimeen eri värilämpötilan ledejä ja sekoittamalla niiden suhteita, tai käyttämällä kalliimpia led-chippejä, jotka tuottavat suoraan halutunlaista valoa. (Kuinka tekniikka toimii käytännössä? N.d.)

Spektri

Valoksi kutsutaan ihmisen silmälle näkyvää, aallonpituudeltaan 380 - 780 nm:n säteilyä. Ihmisen silmässä on kolmenlaisia tappisoluja, jotka reagoivat erivärisen, punaiseen, vihreään tai siniseen, säteilyyn. Biologisesti eniten vaikuttava alue on sininen

spektrin osa, joka on noin 460 nm:n alueella (ks. kuvio 3). (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)



Silmänherkkyyskäyrä päivänvalossa $v(\lambda)$, hämärässä $v'(\lambda)$ ja vuorokausirytmiiin $c(\lambda)$

Kuvio 3. Valon spektrin vaikutuksia ja väri (Ihmislähtöinen valaistus n.d.).

Värintoisto

Värintoistoindeksi kertoo, kuinka paljon valonlähteen keskimääräinen värintoisto poikkeaa vertailulähteen värintoistosta. Hyvin yleisesti värintoistoindeksinä käytetään R_a -indeksiä. R_a -indeksin suurin mahdollinen arvo on 100, joka vastaa täysin samanlaista värintoistoa. Yleensä sisävalaistuksessa R_a -indeksin tulisi olla vähintään 80, ja jos edellytetään hyvää värintoistoa, yli 90. (ST 58.04 2017, 3.) Nämä vaatimukset näkyvät valaisinvalikoimissa siten, että suurimmalla osalla valaisimista R_a -indeksin on ilmoitettu olevan vakiona yli 80, ja erikoistilauksena saatavilla yli 90.

3.3 Valon biologiset vaikutukset

Valo vaikuttaa useaan eri hyvinvoinnin osa-alueeseen, esimerkiksi mielialaan, unen laatuun ja määrään, tuottavuuteen ja visuaaliseen havainnointiin. On yleisesti tiedossa, miten huono valaistus rasittaa silmiä, saa aikaan ärsyyntyneen tunteen ja luo tilaan tietynlaisen rasittavan tunnelman. Koska ihmiset viettävät nykyään suuren

osan ajasta sisätiloissa, on tärkeää ymmärtää keinotekoisien valon eli valaistuksen merkitys hyvinvoinnin kannalta. (Human Centric Lighting 2017; Kloepple 2019, 18.)

Jotta saavutetaan optimaaliset valon biologiset vaikutukset, tulisi noudattaa seuraavia suosituksia valaistusvoimakkuuksista ja värilämpötiloista päivän aktiivisena aikana:

- valaistusvoimakkuus silmän tasolla 300-500 lx
- valaistusvoimakkuus ja värilämpötila päivänvalon kanssa samankaltainen, silloin kun tilassa on päivänvaloa.

Huomioitavaa on se, että jos ulkoa tuleva päivänvalo on värilämpötilaltaan kylmempää kuin keinotekoisella valaistuksella tuotettu valo, syntyy helposti epämiellyttävä kellertävän näköinen valaistus. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Päivän loppuvaiheessa tulisi hyvälaatuisen unen maksimoimiseksi

- vähentää biologisia vaikutuksia aktivoivan sinisen valon aallonpituudet minimiin
- käyttää lämpimiä värilämpötiloja, kuten 2700 K tai enintään 3000K. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

3.3.1 Vuorokausirytmä

Ihminen tarvitsee valoa ensisijaisesti nähdäkseen, mutta myös pitääkseen biologisen kellon, fysiologiset toiminnot ja aktiivisuustason normaalilla tasolla. Valo ohjaa ihmisen luonnollista vuorokausirytmä. Kun sitä häiritään esimerkiksi matkustamalla toiselle aikavyöhykkeelle, sisäänrakennettu vuorokausirytmä ei seuraa heti muutosta ja keho reagoi tähän. (Human Centric Lighting n.d.; Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

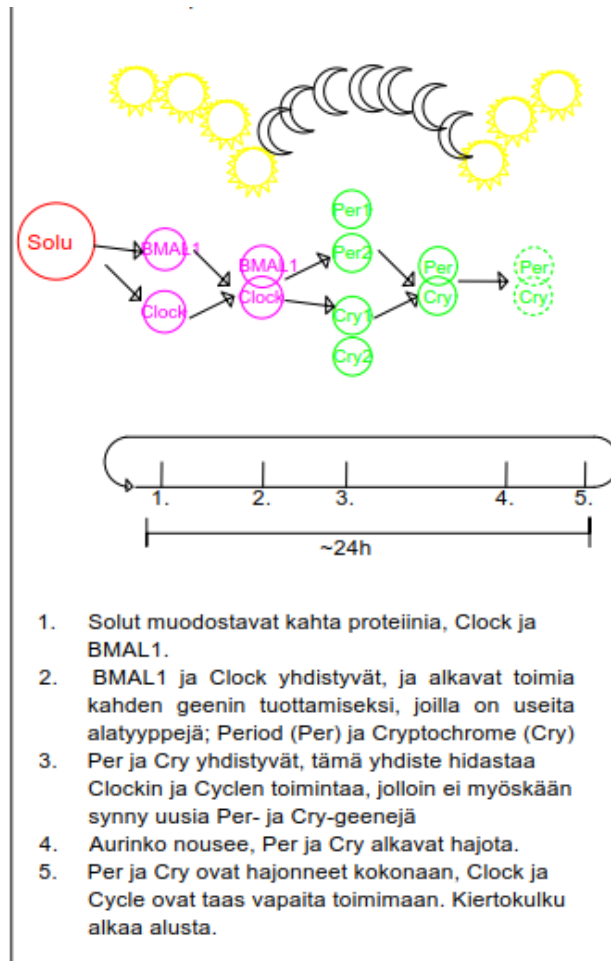
Ihmisen vuorokausirytmän yksi kierros kestää yleensä noin 24 tuntia. Tämä rytmä on evoluution kehittämä, ja perustuu auringonvalon luonnolliseen vaihteluun (Portin 2018). Vuorokausirytmä ohjaa ihmisen sisäinen biologinen kello, joka tarvitsee ulkopuolisia ärsykeitä, jotta ihmisen rytmä kulkee samaan tahtiin ympäröivän maailman suhteen. Tahdistamisprosessi perustuu säännölliselle altistumiselle tietynlaiselle va-

lolle ja pimeydelle. Tutkimusten perusteella tiedetään valoärsykkeiden voimakkuudella, kestolla, ajoituksella ja aallonpituudella olevan vaikutuksia ihmisen biologiseen kelloon ja vuorokausirytmiiin. (Puttonen 2013; Stacy 2019, 32-34.)

Ihmisen sisäinen kello sijaitsee näköhermojen risteyksen yläpuolella olevassa riisinjyvän kokoisessa aivojen osassa, suprakiasmaattisessa tumakkeessa (SCN). Nimitys johdetaan tumakkeen sijainnista; supra tarkoittaa yläpuolella olevaa, ja kiasmaattinen viittaa optisen kiasman eli näköhermojen risteyskohdan läheisyyteen. (Know your brain: Suprachiasmatic nucleus 2016.)

Sirkadiaanisen rytmin eli vuorokausirytmiiin ”keskuskello” toimii monen eri geenin vaikutuksesta, joista keskeisessä roolissa on period-niminen geeni. Period (myöhemmin Per) löydettiin alun perin banaanikärpäselältä, jolla se säätelee esimerkiksi liikunta-aktiivisuuden vuorokausirytmiiä. Näitä geenejä ja sirkadiaanirytmiiin mekanismeja tutkineille banaanikärpästutkijoille Jeffrey C. Hallille, Michael Rosbashille ja Michael W. Youngille myönnettiin vuonna 2017 Nobelin fysiologian ja lääketieteen palkinto. Ihmisellä on todettu olevan samankaltainen vuorokausirytmiiä pyörittävä mekanismi, joskin huomattavasti monimutkaisempi. (Know your brain: Suprachiasmatic nucleus 2016; Portin 2018.)

Molekyyliatasolla vuorokausirytmii on ikään kuin tiettyjen geenien ympärille rakennettu takaisinkytkentämekanismi, jonka kiertokulkua ja yhteyttä vuorokauden kiertoon on havainnollistettu kuviossa 4. Period-geenistä esiintyy ihmisillä kahta kopiota, period1 ja period2. Myös Cryptochrome-geenistä on eri kopioita. Sirkadiaanirytmiiin säätelyn kannalta period2 näyttää olevan tärkeässä roolissa. (Know your brain: Suprachiasmatic nucleus 2016; Portin 2018.)



Kuvio 4. Ihmisen sirkadiaanirytmien mekanismi (Know your brain: Suprachiasmatic nucleus 2016)

Edellä kuvatut tapahtumat ovat hitaita, yksi kierros kestää ihmisillä luonnostaan keskimäärin 24,2 tuntia, vaihdellen henkilön mukaan yleensä välillä 23,5 - 24,6 tuntia. Vuorokausirytmii pysyy suurpiirteisessä tahdissa itsestäänkin, mutta kierron säilymiseksi tarkasti vuorokauden mittaisena ja sopivana esimerkiksi matkustettaessa eri aikavyöhykkeelle, on sitä säädettävä silmän verkkokalvoilla sijaitsevien valoon reagoivien gangliosolujen avulla. (Puttonen 2013; What Are Biological Rhythms?.) Erilaisille luonnollisille ja keinotekoisille valoille altistuminen vaikuttaa biologiseen kelloon, ja etenkin sinisen sävyiset valot (aallonpituus 480 nm) vaikuttavat tehokkaasti vuorokausirytmii ohjaaviin gangliosoluihin, ja saavat aikaan aktivoivia vaikutuksia. Biologisia vaikutuksia aktivoimaan suunniteltuun valkoiseen valoon onkin siksi sisällytetty

huomattava määrä sinisiä aallonpituuksia. Sitä kutsutaan kylmäksi valkoiseksi valoksi, ja sen värilämpötila on ainakin 5000 – 6000 K. (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

Molekyylien takaisinkytkentämekanismi esiintyy monessa (10-15%) kehossa esiintyvässä solussa, ja sen myötä vuorokausirytmii rytmittää solujen toiminnan. Näin keho pitää huolen siitä, että suoriudumme erilaisista tehtävistä oikeaan aikaan päivästä. (Portin 2018; What Are Biological Rhythms? N.d.) Suprakiasmaattisen tumakkeen antamien käskyjen mukaan soluissa tapahtuu asioita, jotka saavat ihmiset tuntemaan vuorokauden eri aikoina itsensä uniseksi tai virkeäksi. Vuorokausirytmii myös vaikuttaa hormonitoimintaan, stressin sietokykyyn, reaktioherkkyyteen- ja nopeuteen, sekä kehon lämpötilaan. (Melatonin and sleep n.d.; Portin 2018.)

Yksi tärkeimmistä biologista rytmii säätelevistä hormoneista on melatoniini, joka aiheuttaa väsymystä, ja helpottaa lepäämistä hidastamalla elimistön toimintaa ja laskeamalla aktiivisuustasoa. Ihminen tuottaa melatoniinia käpyrauhasessa biologisen kellojärjestelmän mukaan. Päivällä käpyrauhasen ei ole aktiivinen, jolloin melatoniinia ei juurikaan erity. Auringon laskiessa ja pimeyden koittaessa suprakiasmaattinen tumake aktivoi käpyrauhasen, ja hormonin tuotanto käynnistyy. Erilaisille luonnollisille ja keinotekoisille valoille altistuminen vaikuttaa tutkitusti melatoniinin tuotantoon, ja etenkin sinisen sävyiset valot vähentävät sen tuotantoa ja vaikuttavat ihmiseen virkistävästi. (Ihmislähtöinen valaistus n.d.; Melatonin and sleep n.d.)

Toinen merkittävä biologista rytmii säätelevä hormoni on kortisoli, joka on virkistävä hormoni. Sen vuorokausirytmii mukainen vaihtelu on tutkimuksissa selvästi havaittavissa. Myös kortisolien tuotanto toimii suprakiasmaattisen tumakkeen ohjaaman biologisen kellojärjestelmän mukaan. Kortisolitasot ovat keskiyöllä hyvin alhaiset, lähes huomaamattomat. Aamun sarastaessa kortisolien erittyminen kiihtyy, ja aamulla muodostuukin korkea piikki sen määrässä. Päivän mittaan taso taas laskee. (Chan & Debono 2010.)

3.3.2 Biologisten vaikutusten huomiointi suunnittelussa

Kun yleensä valaistussuunnittelussa pyritään saamaan tietty valaistusvoimakkuus esimerkiksi työtasolle, ihmiskeskeisessä valaistuksessa pitää saada osumaan riittävästi valoa silmään 0-45 asteen kulmasta. Tämä johtuu siitä, että vuorokausirytmille valon signaaleja vastaanottavat silmän gangliosolut reagoivat tehokkaimmin tällaisesta suunnasta tulevaan valoon. (Ihmislähtöinen valaistus n.d). Ihmisen näkökenttä sisätiloissa muodostuu noin 70° kohdistetun katseen alapuolelle ja noin 50° sen yläpuolelle. Katse ei ole staattinen eli paikallaan pysyvä, mutta keskimäärin ihmiset katselevat työskennellessään hieman alaviistoon. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Valaistus suunnitellaan perinteisesti täyttämään ensisijaisesti valaistusvoimakkuusmääräykset horisontaalisesti. Ei ole kuitenkaan suositeltavaa tavoitella valon biologisia vaikutuksia lisäämällä valaisimien tehoja kohtuuttomasti, vaan energiatehokkaampaa olisi keskittyä valon suuntaan. Samalla kun valoa pitää saada silmän tasolle oikeasta suunnasta, on huolehdittava häikäisyarvojen pysymisestä annetuissa rajoissa. Näiden ehtojen täyttämistä helpottaa, jos seinät ovat vaalean värisiä ja valoa heijastavia. Pitää muistaa, että jokainen tilassa valoa heijastava pinta vaikuttaa valon spektriin. Isommissa huoneissa, tai jos seinät ovat esimerkiksi hyllyjen peittämiä, kannattaa hyödyntää katon kautta heijastuvaa epäsuoraa valaistusta. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.) Valon suuntaan liittyvät ehdot asettavat myös valaisimien optiikalle kovat vaatimukset.

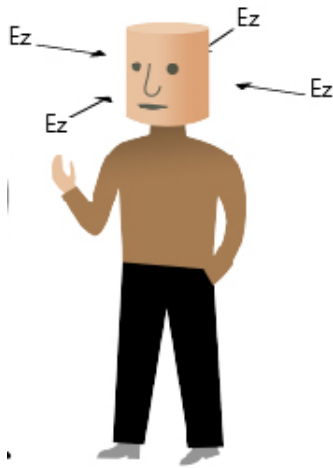
Valon biologisia vaikutuksia kuvaamaan on kehitelty numeerisia arvoja, joiden avulla nähdään helposti, miten tietynlainen valaistus vaikuttaa melatoniinin tuotantoon ja sitä kautta vuorokausirytmiiin. Eurooppalaisen merkittävän valaistusalan yhdistyksen Licht.de:n ohjeistuksessa tätä arvoa kutsutaan nimellä m_v . Se ilmaisee valaistuksen biologisesti vaikuttavien spektrin osien määrää. Arvo on määritelty standardissa DIN SPEC 5031-100, johon tutkijalla ei ollut käyttöoikeutta. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.). Kyseisen arvon esimerkkiarvoja on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Melatoniinin tuotantoon vaikuttavan valon osuus m_v (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d., suomentanut Mikael Kopperoinen)

Valon lähde	Muunnosarvo m_v	Valaistusvoimakkuuden esimerkki silmän tasossa	Melatoniinin tuotantoon vaikuttava valaistusvoimakkuus silmän tasossa
LED, 2700 K	0,41	50 lx	20 lx
LED, 4000K	0,63	380 lx	240 lx
LED, 6500 K	0,80	300 lx	240 lx
Loisteputki, 8000 K	0,96	250 lx	240 lx

Toinen vastaavanlainen arvo on maailman johtavien valaisinvalmistajien ylläpitämän valaistustutkimuskeskuksen esittämä Circadian Stimulus, eli CS. Tämän arvon avulla voidaan suunnitella valaistus siten, että valaistuksella on aktivoiva vaikutus silloin kun sitä halutaan, mutta ei muulloin, kuten illalla. CS-arvon avulla on näytetty, että vuorokausirytmiiin voidaan vaikuttaa muuttamalla vain valaistusvoimakkuutta pitäen väriämpötila samana. (Figueiro, Gonzales, & Pedler 2016.)

Suunnitteluvaiheessa valon biologisten vaikutusten arvioinnissa käytetään apuna sylinterivalaistusvoimakkuutta E_z , joka kuvaa valon määrää kuvitteellisen sylinterin pystysuoralla tasolla mitattuna (ks. kuvio 5.). Laskentapiste pyritään määrittelemään kasvojen kohdalle, istumatyöpisteillä 1,2 m:n ja seisomatyöpisteillä 1,6 m:n korkeuteen. Näissä pisteissä valaistusvoimakkuuden tulisi olla työtilassa keskimäärin vähintään 50 lx ja toimistossa vähintään 150 lx. (SFS-EN 12464-1:2011, 26.) Tutkimusten mukaan olisi syytä tavoitella työpisteillä 250-350 lx:a. (Valaistusvoimakkuus n.d.; Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)



Kuvio 5. Sylinterivalaistusvoimakkuus kasvoilla (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

4 Ihmiskeskeinen valaistus

4.1 Ihmiskeskeinen valaistus ilmiönä

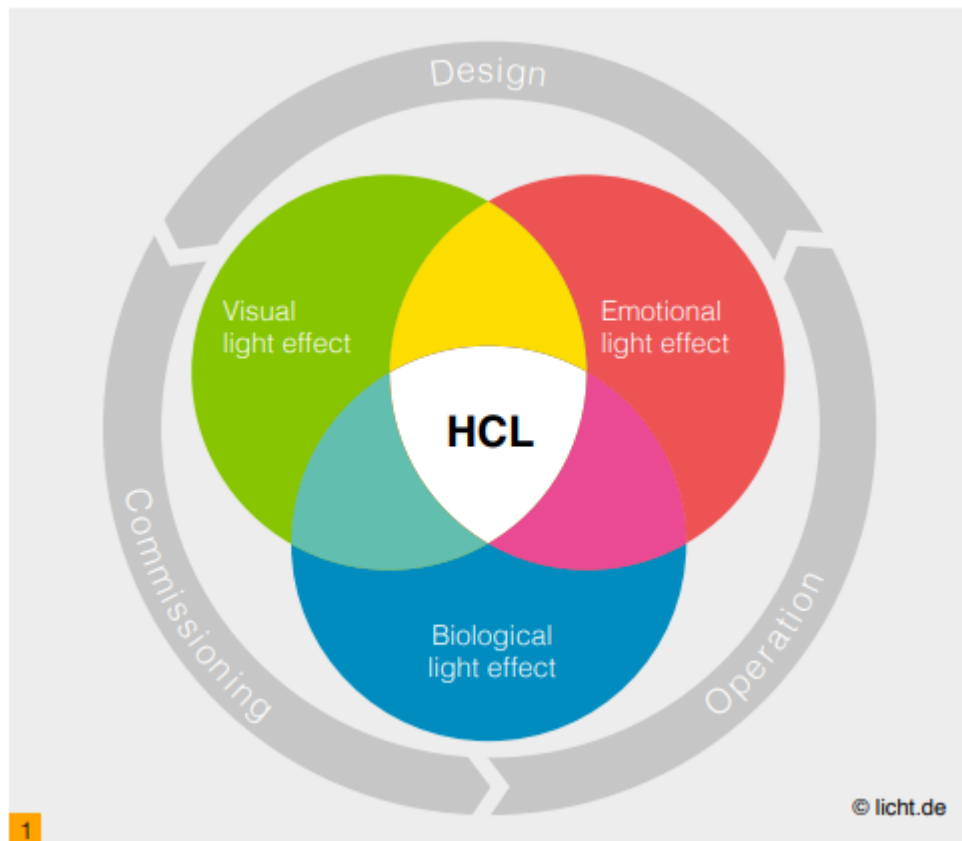
HCL (Human Centric Lighting) eli ihmiskeskeinen tai ihmislähtöinen valaistus on kokonaisvaltainen tapa tarkastella valon vaikutuksia ihmiseen (Human Centric Lighting n.d). Ihmisen reaktio valolle riippuu monista asioista, kuten valon värispektristä, valaistusvoimakkuudesta, altistuksen kestosta ja ajankohdasta. Valo on tärkein yksittäinen tekijä, joka pitää yllä ihmisen sisäistä vuorokausirytmää. (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

Kesäkuussa 2016 media julkaisi Yhdysvaltojen lääkäreiden ammattijärjestö AMA:n (American Medical Association) näkemyksiä siitä, miten valon spektri eli valon sisältämät aallonpituudet ja sen väri vaikuttavat ihmiskehoon. Ihmiskeho on tottunut siihen, että aikaisin aamulla sekä iltaisin valon värilämpötila on lämmintä. Ihmiset yhdistävät tämän heräämiseen tai rentoutumiseen ja nukkumaan menoon valmistautumiseen. Päivällä taas luonnonvalo on kylmempää, jolloin ihmisistä tulee valppaampia ja keskittyneempiä. (Vedvik 2019, 26.)

Valaistus on aihe, josta on tehty paljon tutkimuksia ja tuotekehitys on nopeaa. Ihmiskeskeinen valaistus on tullut mahdolliseksi, kun valon biologisista vaikutuksista on saatu uutta tietoa ja samaan aikaan valaistusteknologiassa on tehty uusia innovaatioita. LEDien kehittymisen myötä pystytään tuottamaan säädettävää valkoista valoa hyvin energiatehokkaasti. Myös ohjausjärjestelmät ovat kehittyneet tarjoten uusia mahdollisuuksia valaistuksen ohjaukseen. (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

Nykyaikaisesta valaistuksesta puhuttaessa on hankala olla törmäämättä ihmiskeskeiseen valaistukseen, jota pidetään suhteellisen uutena tekniikkana. Aiheeseen liittyy paljon oletettuja vaikutuksia ihmisiin, joita ei ole vielä tutkittu riittävän laajasti tieteellisin menetelmin (Zind 2018). Aihetta tutkitaan kuitenkin laajasti, ja eri lähteistä saatujen arvioiden mukaan ihmiskeskeisen valaistuksen maailmanmarkkina nousee 3,5-3,91 biljoonaan Yhdysvaltain dollariin vuonna 2024. Kasvun odotus perustuu aleneviin kustannuksiin sekä lisääntyvien terveydestä ja tuottavuudesta kertovien luotettaviin tutkimustuloksiin. (McHale 2019; Kloepple 2019, 18.) Suomessakin uskotaan ihmiskeskeisen valaistuksen yleistyvän paljon seuraavan viiden vuoden aikana (Puolakka, 2019).

Ihmiskeskeisen valaistuksen määrittely on haastavaa, koska määritelmiä on julkaistu monia. Joissain keskitytään ainoastaan vuorokausirytmiiin, kun taas toisissa keskitytään päivänvaloon tai käyttäjäkokemuksiin. Kattava määritelmä ihmiskeskeisestä valaistuksesta sisältää kuvion 6. mukaisesti kaikki edellä mainitut asiat. (Kloepple 2019, 18; Zind 2018.)



Kuvio 6. Ihmiskeskeinen valaistus koostuu valaistuksen eri lähtökohdista (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

4.2 Ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyt

Ihmiskeskeinen valaistus jäljittelee yön ja päivän valon väriämpötilojen ja kirkkauden luonnollista kiertokulkua, johon ihmiskeho on mukautunut. Tällä tavalla toimiva valaistus vaikuttaa myönteisesti biologiseen kelloon eli vuorokausirytmiiin, lisää hyvinvointia ja pitää mielen valppaana ja virkeänä. Kirkas sininen taivas on luonnonmukainen tapa kertoa keholle, että on päivä, ja saada aikaan aktivoiva vaikutus. Suuret kirkkaat pinnat valaistuna kylmällä valolla saa ihmiset tuntemaan itsensä energisemmiksi, kun taas lämpimät valkoisen sävyt auttavat rauhoittumaan. Biologisten vaikutusten lisäksi, myös visuaaliset ja mielialaan vaikuttavat valon vaikutukset ovat tunnettuja. (Ihmislähtöinen valaistus n.d.; Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Portaattomilla kirkkauden ja sävyjen muutoksilla voidaan luoda hyvinolontunnetta. Ihmisten elämänlaatua ja onnellisuutta voidaan parantaa säätämällä valaistusta joustavasti eri tunnelmiin ja tilanteisiin sopivasti. (Dynaaminen valaistus n.d; Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

Ihmiskeskeisen valaistuksen tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa julkisiin ympäristöihin, kuten kouluihin, terveydenhuoltoon ja terveydenhoitoon. Erityisesti vanhustenhoitossa on havaittu positiivisia tutkimustuloksia eri maissa. Muissa kohteissa, kuten toimistoissa ja teollisuudessa, tarvitaan vielä lisää tieteellisiä tutkimuksia selkeiden todisteiden näkemiseksi. (Human Centric Lighting n.d.)

Vaikka ihmiskeskeisen valaistuksen suosio on jo kasvanut, jotkut valaisinvalmistajat varovat yhä markkinoimasta sen terveysvaikutuksilla johtuen tieteellisten tutkimusten vähäisyydestä (Kloeppele 2019, 20). Tutkimustuloksia kuitenkin on julkaistu, ja niistä on saatu lupaavia tuloksia erilaisissa kohteissa (Ihmislähtöinen valaistus 2019).

Standardissa SFS-EN 12464-1 päivänvaloa käsitellään toistaiseksi pääasiassa energiansäästön kannalta. Valaistuksen vaihtelevuuden todetaan olevan ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille suotuisaa. (SFS-EN 12464-1:2011, 34.) Standardissa esitetyt luonnon valon ja sen kaltaisen keinovalaistuksen hyödyt ja vaikutukset ihmisen terveyteen, hyvinvointiin ja vuorokausirytmiiin ovat samankaltaisia, kuin muista lähteistä saadut tiedot.

Standardissa käsitellään lyhyesti kellonajan mukaan vaihtelevia valaistusolosuhteita:

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.)

Lähitulevaisuudessa voidaan siis odottaa virallisia suosituksia tai jopa määräyksiä ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluun.

4.3 Ihmiskeskeinen valaistus eri kohteissa

Tässä osiossa perehdytään eri kohteiden aiheuttamiin erikoispiirteisiin suunnittelu-prosessissa. Tarkemmin perehdyttäväksi kohteiksi valittiin toimistotila, hoituhuone ja luokkahuone.

4.3.1 Toimistotila

Sisätyötilassa, jossa tehdään näyttöpäätetyötä, valaisimet eivät saa aiheuttaa häiritseviä heijastuksia näyttöihin. Sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa on esitetty suurimmat sallitut keskimääräiset luminanssiarvot yli 65 asteen gammakulmissa valaisimille, jotka voivat kuvastua näytöistä. (ST 57.45 2019, 7.)

Standardissa esitetyt vaatimukset kokonaisuudessaan on esitelty liitteessä 1. Käytännössä aina ihmiskeskeistä valaistusta käytettäessä, suunnitellaan valaistus nykyisen standardin määäämiä arvoja paremmaksi.

Nykyaikainen toimistohuone täytyy suunnitella siten, että siellä voidaan työskennellä mihin vuorokauden aikaan tahansa. Nykyisen ajattelumallin mukaisesti toimistoissa panostetaan työntekijöiden viihtyvyyteen ja hyvinvointiin, ja täten ihmiskeskeinen valaistus on kiinnostava aihe toimistoja suunnitellessa.

Nykyaikaisten toimistojen tilaratkaisut ovat eri tyyppisiä kuin ennen. Toimistoa käsitellään elävänä ympäristönä, jossa on alueita työntekoa, keskusteluja ja virkistäytymistä varten. Valaistuksen on täytettävä sekä näkemiseen että miellyttävyyteen liittyvät vaatimukset. Haasteita suunnitteluun tuovat myös muuttuvat tilat, kuten avotoimisto, jota muokataan kalusteilla tarpeiden mukaan. Seuraavat asiat tulisi aina huomioida toimistovalaistusta suunnitellessa ihmiskeskeisen valaistusjärjestelmän ehdoilla:

- näkökykyä tai keskittymistä vaativat tehtävät, kommunikaatio (neuvotteluhuoneet), työskentely tietokoneella
- joustavat työskentelytilojen järjestykset
- ergonomia ja terveys

- valon säätäminen vuorokauden- ja vuodenajan mukaan
- valon säätäminen käyttäjän yksilöllisten tarpeiden mukaan.

(Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Toimiston valaistusta suunniteltaessa olennaista on tietää tilaa käyttävien henkilöiden määrä ja tilassa tehtävän työn luonne. Esimerkissä käsitellään kahden työntekijän toimistohuonetta ja työskentelyajaksi on määritelty 7-20 välinen aika. Esimerkissä suunniteltua valaistusta voidaan soveltaa myös isompiin toimistohuoneisiin ja avotoimistoihin. Tällöin seinien merkitys pienenee ja katot ja huonekalut ovat tärkeämmässä roolissa (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.).

4.3.2 Hoituhuone

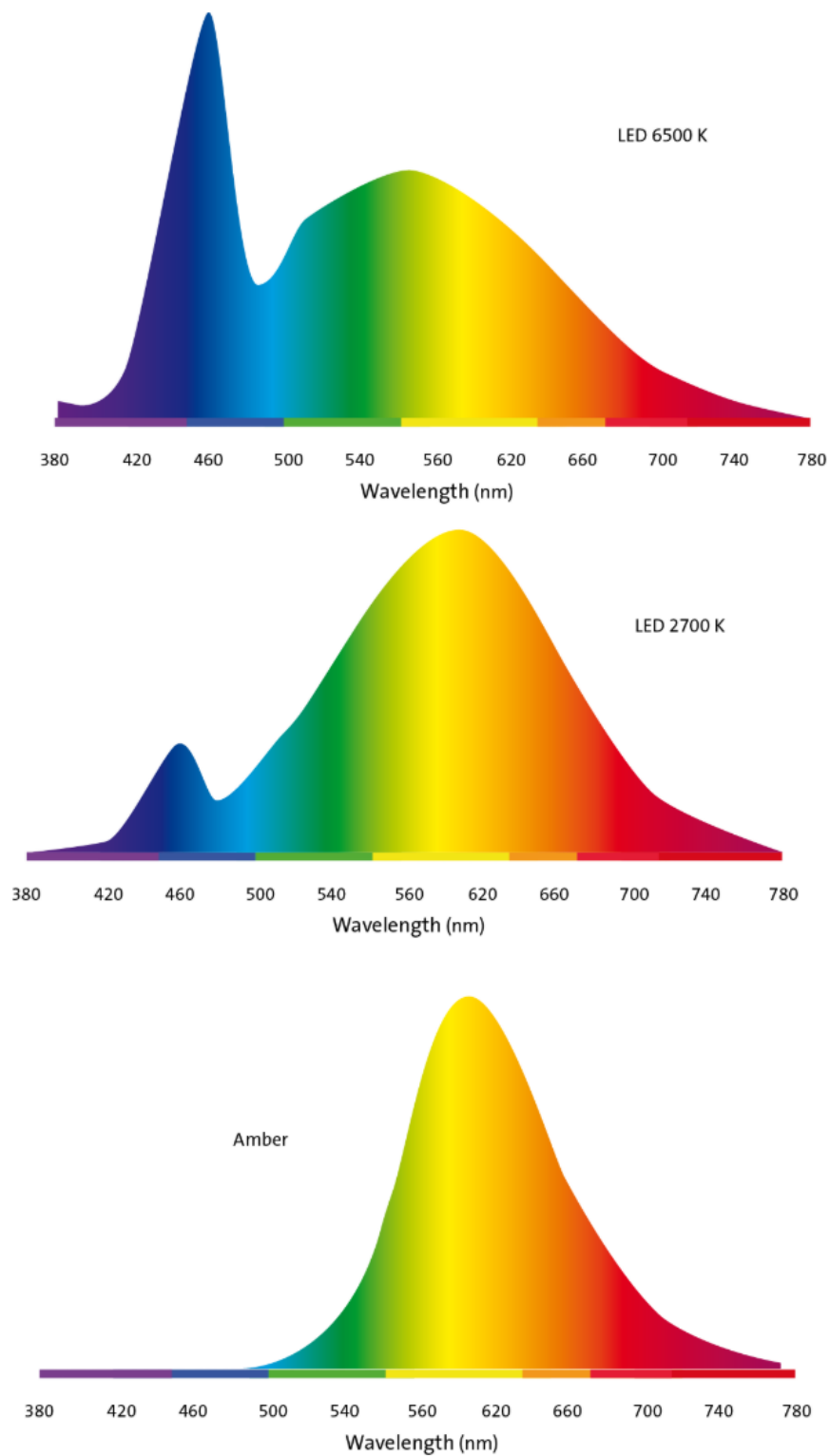
Hoituhuoneen valaistussuunnittelu on tehtävä huolellisesti, koska potilaiden ja hoitohenkilökunnan tarpeet vaihtelevat paljon. Huoneet voivat olla monikäyttöisiä; samaa huonetta voidaan käyttää joskus hoituhuoneena, kun taas joskus toimistohuoneena. Huoneen erilaiset käyttötavat määrittelevät sen, minkälainen valaistusjärjestelmän on oltava.

Sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 on määritelty terveydenhuoltoiltojen valaistusvaatimukset käyttökohteiden mukaisesti. Standardissa esitetyt vaatimukset kokonaisuudessaan on esitelty liitteessä 1. Ihmiskeskeisen valaistuksen etu hoituhuoneissa on sen monipuolinen ohjattavuus.

Amber-valo

Huoneissa, joissa potilaat yöpyvät, käytetään öisin Amber-valoa. Se sisältää vain aallonpituudeltaan 500-780 nm olevaa oranssinpunaista valoa, joka ei häiritse vuorokausirytmää sääteleviä hormoneja, kuten kuvioista 3. (sivu 15) on nähtävissä. Vertailun vuoksi kuviossa 7. on esitetty Amber-valon ja kahden eri värilämpötilan tavallisen led-valonlähteen aallonpituuksia. Amber-valoa voidaan käyttää tunable white -ratkaisuissa. Sitä varten valaisimeen asennetaan erillinen piirilevy, johon tulee vain haluttunlaista valoa tuottavia diodeja. Amber-valo ei häiritse unta eikä melatoniinin tuotantoa, mutta tuottaa kuitenkin tilaan riittävän valaistuksen liikkumista ja potilaiden





tarkkailemista varten. (Amber – oranssinpunainen valo n.d.; Human Centric Lighting n.d.)



Kuvio 7. Eri valonlähteiden aallonpituuksia (Amber – oranssinpunainen valo)

Lähtökohtaisesti potilashuoneessa käytetään useita valaisimia, jotka mahdollistavat sopivanlaisen valaistuksen eri tilanteisiin. Potilashuoneessa voidaan käyttää esimerkiksi eri valaisimia tuottamaan yleisvalaistusta, epäsuoraa valoa, ja valaista seinää ja sängyn päätyä seinänpesijä-tyyppisellä valaisimella. Mitä enemmän potilas voi huoneensa valaistusta säätää, sitä mukavamaksi ja turvallisemmaksi hän yleensä olonsa tuntee. (Human Centric Lighting n.d.)

Potilashuoneessa on usein järkevää käyttää muutamaa etukäteen ohjelmoitua valaistustilannetta, jotka saa valittua painonapeilla tai käyttöpaneelilla. Potilaan pitää pystyä ohjaamaan valaistusta sängyssä ollessaan ja henkilökunnan ovelta käsin. Lisäksi on suositeltavaa käyttää tilanteiden ulkopuolella automaattisesti säätävää päivänvalo-ohjelmaa, joka säätää valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa. (Human Centric Lighting n.d.) Päivänvalo-ohjelma voi olla aseteltu esimerkiksi kuvion 8. mukaisesti.

	Aika	Klo 09.00-15.00	Klo 15.00-20.00
	Syinterivalaistus-voimakkuus E _v	1 200 lx 1,2 m:n tai 1,6 m:n päässä käytävillä	800 lx 1,2 m:n tai 1,6 m:n päässä käytävillä
	CCT	6500 K	2700 - 3000 K
	Missä	Potilashuoneet, käytävät ja yleiset tilat	Potilashuoneet, käytävät ja yleiset tilat

Kuvio 8. Esimerkki potilashuoneen päivänvalo-ohjelmasta (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

4.3.3 Koulu

Koulun valaistuksesta luokahuoneiden valaistus on valon biologisten vaikutusten kannalta tärkein osa-alue, koska siellä vietetään koulun tiloista eniten aikaa. Luokahuoneet ovat monikäyttöisiä tiloja ja siten myös valaistuksen olisi hyvä olla ohjattavissa tilanteiden mukaan. Ihmiskeskeisellä valaistuksella luokahuoneissa voidaan vaikuttaa oppilaiden ja työntekijöiden päivärytmiin, mutta myös parantaa olosuhteita

eri tilanteita varten (Ihmislähtöinen valaistus n.d). Eri tilanteita luokkahuoneessa voivat olla esimerkiksi

- oppitunti, jolloin tarvitaan valoa taululle
 - esitys, jolloin tauluvalo pitää saada pois
 - keskustelua, jolloin pitää olla tasainen ja miellyttävä valaistus
 - koe tai muu keskittymistä vaativa tilanne.
- (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.).

Luokkahuoneessa ihmiskeskeinen valaistusjärjestelmä toimii esimerkiksi automaattisesti päivänvaloa mukaillen, ja lisäksi opettajalla on mahdollisuus valita esiasetettuja tilanteita tai säätää valaistuksen värilämpötilaa ja valaistusvoimakkuutta manuaalisesti painonapeilla tai käyttöpaneelilla (Ihmislähtöinen valaistus n.d.).

Licht.de:n julkaisemassa ohjeessa on määritelty ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelulle luokkahuoneessa seuraavat tavoitteet:

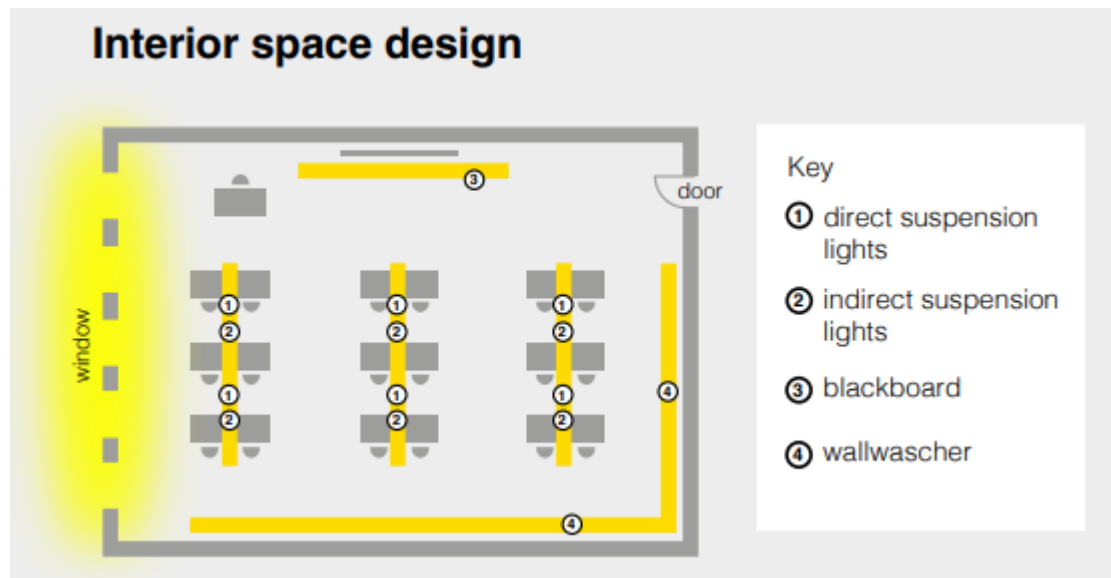
1. visuaaliset
 - valaistusvoimakkuudet standardin EN 12464 mukaisesti
 - o työpisteillä
 - o seinillä ja katossa
 - o sylinterivalaistusvoimakkuus tilassa
2. mielialaan vaikuttavat
 - vaihteleva tunnelma
 - optimaalinen työskentelyn tukeminen valaistuksella (aktivoiva/rauhottava)
 - työskentely-ympäristön suunnittelu luonnon- ja keinotekoisien valon avulla
 - miellyttävä valaistus
3. biologiset
 - tietyn ajan silmään kohdistuvaa oikean aallonpituuden omaavaa valoa vuorokausirytmien tukemiseksi
 - biologisesti vaikuttavat valaistusvoimakkuudet läpi päivän tukemaan aktiivisuutta ja tuottavuutta parhaalla mahdollisella tavalla.

Käytännössä valaistuksen tulisi siis täyttää seuraavat arvot:

1. visuaaliset
 - keskimääräinen ylläpidettävä horisontaalinen valaistusvoimakkuus työpisteillä E_H : 300-500 lx
 - keskimääräinen ylläpidettävä vertikaalinen valaistusvoimakkuus seinillä ja taululla E_V : 500 lx
 - keskimääräinen ylläpidettävä sylinterivalaistusvoimakkuus E_2 : 200-300 lx
2. mielialaan vaikuttavat
 - keskimääräinen ylläpidettävä vertikaalinen valaistusvoimakkuus seinillä ja taululla E_V : 200 lx
3. biologiset

- keskimääräinen ylläpidettävä horisontaalinen valaistusvoimakkuus työpisteillä E_h : 800-1000 lx
- ylläpidettävä valaistusvoimakkuus silmän tasossa, yleensä vertikaalinen E_{eye} : 250 lx. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.).

Ohjeistuksen mukainen valaisimien sijoittelu on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 9. Luokkahuoneen valaisimien sijoittelu (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)





Kyseisen ohjeistuksen mukaan järjestelmässä tulisi olla erilliset ohjaukset

- jokaisen ripustettavan valaisimen suoralle ja epäsuoralle komponentille erikseen
- tauluvalaistukselle
- seinäpesijöille
- verhoille.

Ohjausten inputteina toimivat valoisuusanturi, liiketunnistin ja ohjainyksikkö. Automaattisen säätimen ohjelmointi perustuu päivänvalon kiertokulkuun (ks. kuvio 10.).

Epäsuoraa komponenttia ohjataan valoisuusanturin avulla ja suoraa komponenttia ohjataan liiketunnistimilla ja/tai painonapeilla tai käyttöpaneelilla. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Ohjeistuksen kaltainen valaistus edustaa hyvin korkeatasoista järjestelmää, jollaiseen ei useimmissa kohteissa pyritä. Kohteen mukaan voidaan ohjeista ja suosituksista valita sopivia poimintoja ja niitä soveltaen toteuttaa suunnittelu.

	Aika	Ensimmäinen oppitunti	Loppupäivä	Keskittyneen työn aikana	Rentoutumisen aikana
	Valaistusvoimakkuus E_m (työskentelyalue)		300 lx		300 lx
	Sylinterivalaistus-voimakkuus E_z (1,2 m), 6500 K	350 lx		350 lx	
	CCT	6500 K	3000/4000 K	6500 K	2700 k
	Missä	Luokissa	Luokissa	Luokissa	Luokissa

Kuvio 10. Esimerkki luokkahuoneen päivänvalo-ohjelmasta (Ihmislähtöinen valaistus n.d.)

4.4 Käyttäjän opastus

Käyttöönnotossa varmistetaan, että järjestelmät toimivat halutulla tavalla ja tilan käyttäjälle annetaan käytön opastus (ST 41.06 2015, 1).

Suunnitteluvaiheessa on mietitty valaistusjärjestelmän visuaalisia, biologisia ja tunteita herättäviä vaikutuksia. Koska ihmiskeskeinen valaistusjärjestelmä ja sen toiminta ei ole käyttäjälle välttämättä tuttu, on erityisen tärkeää tarkastaa sen toimivuus erilaisissa tilanteissa ja olosuhteissa. Suositellaan myös, että järjestelmän toimintaa tarkastettaisiin säännöllisin aikavälein. (Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Käyttäjälle kannattaa tehdä kirjalliset ohjeet valaistusjärjestelmästä. Ohjeiden tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat:

- valaistuksen toiminta
 - o Missä sijaitsevat ohjainlaitteet?
 - o Mitä ohjaustapoja on käytettävissä?
 - o Mitä ei voida ohjata manuaalisesti: mitä automaattinen mekanismi tekee?
- valaistuksen käyttäminen
 - o Valaistuksen standardinmukaisten vaatimusten täyttäminen.
 - o Valaistus tukee hyvinvointia muuttamalla valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa vuorokauden ajan mukaan.
 - o Valaistusjärjestelmän tuomat positiiviset vaikutukset tukevat käyttäjän päivittäisiä rutiineja.
 - o Mahdolliset ongelmatilanteet on mainittu asiaankuuluvasti.

(Guide to Human Centric Lighting (HCL) n.d.)

Liitteen 3. lopussa on esimerkki käyttäjälle annettavasta tietolehti-mallista. Malli on tehty osana suunnitteluohjetta ja esimerkki on tehty toimistohuoneen valaistusjärjestelmästä.

4.5 Valaistusjärjestelmien vertailu

4.5.1 Valaistusjärjestelmän kustannukset

Valaistusjärjestelmän kustannukset muodostuvat investointikustannuksista ja käyttökustannuksista. Monesti sijoittamalla enemmän rahaa investointikustannuksiin on tiettyyn rajaan asti mahdollista saada pienemmät käyttökustannukset energiatehokkaampien tuotteiden myötä. (ST 58.04 2017, 8.) Tämä ei kuitenkaan välttämättä päde ihmiskeskeisen valaistuksen kohdalla, etenkin jos käyttäjälle annetaan mahdollisuus säätää valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa paikallisesti tai keskitetysti mielen mukaan.

Merkittävin kuluerä valaistusjärjestelmän osalta on usein valaistusjärjestelmän hankinta- eli investointikustannukset. Niiden osuus kasvaa herkästi käytettäessä uusinta ja monipuolisesti ohjattavissa olevaa tekniikkaa esimerkiksi ihmislähtöistä valaistusta. (ST 58.04 2017, 8.)

Käyttökustannukset jaetaan edelleen energia-, lampunvaihto- ja huoltokustannuksiin. Näistä merkittävin kuluerä on suuressa osassa kohteita energiakustannukset, joka on silti yleensä investointikustannuksia pienempi erä. Yleensä vielä selvästi energiakustannuksia pienempi osuus kustannuksista kohdistuu lampunvaihdoista johdaviin kustannuksiin. Toimistoissa, luokkahuoneissa yms. puhtaissa tiloissa muut huoltokustannukset kuten lamppujen puhdistuksesta aiheutuvat kulut ovat mitättömiä, mutta ne on huomioitava suunniteltavan kohteen ollessa likainen. (ST 58.04 2017, 9.)

4.5.2 Ihmislähtöinen valaistus, Glamox

Glamox käyttää järjestelmästä nimitystä ”Ihmislähtöinen valaistus”. Sen sivustolla kerrotaan järjestelmän toimintaperiaatteista, tutkimuksista ja referenssikohteista. Yritys esittelee esimerkit ihmislähtöisen valaistuksen toteutuksista kouluissa, toimistoissa, terveydenhoidossa ja teollisuudessa. Yrityksen suositukset kohdistuvat pääosin monipuolisiin ja laadukkaisiin aikaohjelmalla toimiviin hyvin yksilöllisesti säädettäviin valaistuksiin.

Glamoxin ihmislähtöisen valaistuksen järjestelmä perustuu kahteen osa-alueeseen. Ensimmäinen keskittyy valaistuksen ohjausjärjestelmään, jolla säädetään valaistusolosuhteita eli valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa automaattisesti suunnitellun aikaohjelman mukaisesti. Toinen osa-alue kattaa valaisimet, joissa on mahdollisuus säätää värilämpötilaa joko RGB- tai tunable white -tekniikalla. (Glamox C95-tuotepihe n.d.) Pääsääntöisesti jokaisessa valaisimessa on erillinen DALI tyyppin 8 -liitäntälaite. Glamoxin valaistusvalikoima ihmislähtöiseen valaistukseen sopivista valaisimista on laaja, ja sillä on tarjota eri vaatimustasoille sopivia vaihtoehtoja.

RGB

RGB-tekniikalla tarkoitetaan punaisesta, vihreästä ja sinisestä led-diodista koostuvaa valonlähdettä. Muuttamalla eriväristen diodien sekoitussuhdetta, saadaan valaisimesta ulostulevan valon väriä vaihdettua. (RGB-LED-lamput n.d.)

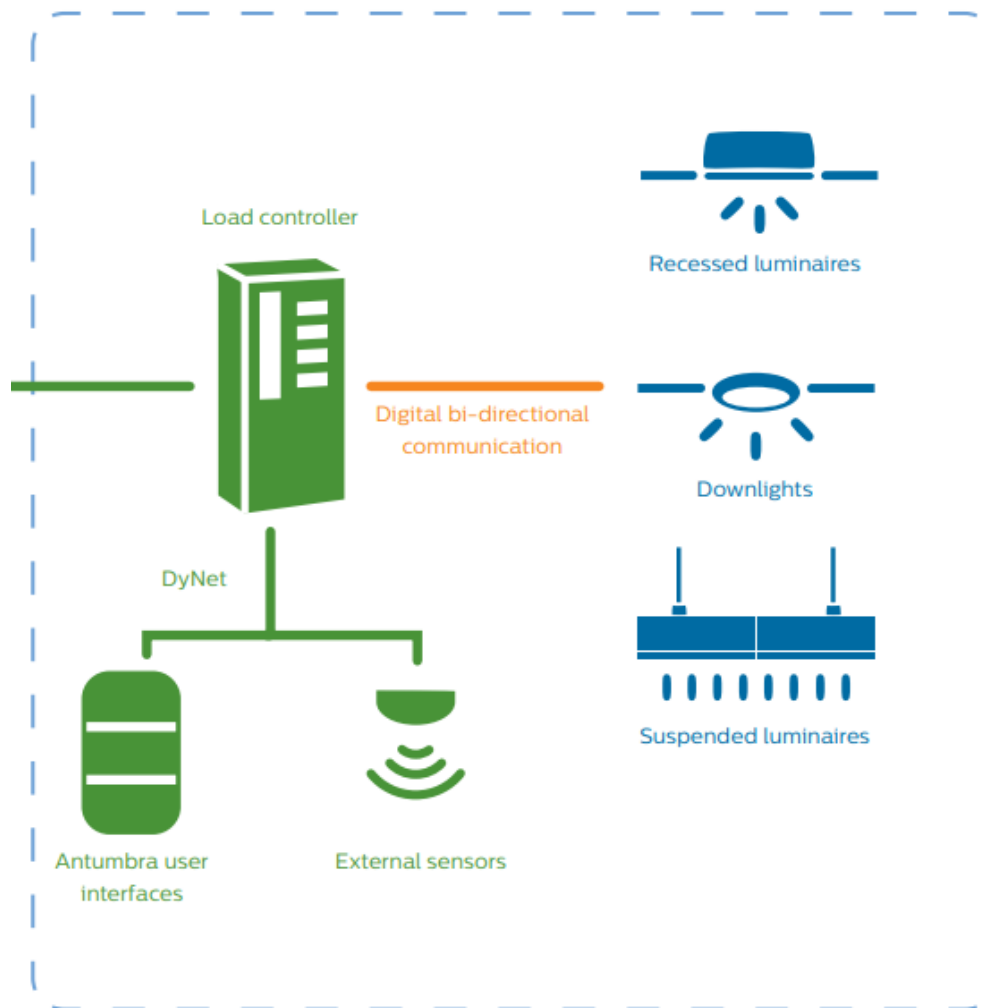
4.5.3 Dynaaminen valaistus, Philips

Philipsin tuotevalikoimasta ihmiskeskeistä valaistusta markkinoidaan nimellä dynaaminen valaistus. Yrityksen suomen kielisillä sivuilla dynaamista valaistusta käsitellään hyvin pintapuolisesti, mutta englannin kieliseltä sivustolta, joka on suunnattu Yhdysvaltojen markkinoille, löytyy paljon kattavampi valikoima tuotteita. Philipsin dynaamisen valaistuksen toiminta perustuu siihen, että sekoitetaan kahdesta eri valonlähteestä peräisin olevaa valoa tähän tarkoitukseen kehitetyn optiikan avulla. Eri suhteita sekoittamalla saadaan aikaan eri väriämpötilan omaavia yhdistelmiä. (Dynaaminen valaistus n.d.)

Philips markkinoi dynaamista valaistusta toimistoon yksinkertaisimmillaan kokonaisuudella, joka sisältää valaisimet ja OccuSwitch DALI -laitteen. OccuSwitch DALI on yhdistetty tunnistin ja valaistuksen ohjausjärjestelmä, jota käytetään läsnäolontunnistukseen, päivänvalonsäätöön ja paikallisohjaukseen. Yksi laite voi ohjata enintään 15:ta DALI-liitäntälaitteella varustettua valaisinta. Lisävarusteena on saatavilla liike-tunnistimia ja painonappiliitäntä. (OccuSwitch DALI n.d.) Näillä laitteilla ei kuitenkaan ole mahdollista säätää väriämpötilaa (Dynaaminen valaistus n.d.).

Jos Philipsin järjestelmällä halutaan säätää väriämpötilaa automaattisesti, siihen pitää sisällyttää valaisimien lisäksi keskusyksikkö, käyttöpaneeli, ja tunnistimet ja/tai painonapit. Järjestelmän rakenne on esitetty kuviossa 11. Kuviossa näkyvä keskusyksikkö (Load controller) sisältää ohjainyksikön ja sijaitsee esimerkiksi sähkökeskuksessa. Läsnäolo- ja päivänvaloanturit, sekä Antumbra-käyttöpaneeli sijaitsevat luonnollisesti käyttökohteessa, esimerkiksi toimistohuoneessa. (Networked Lighting,

Tunable white n.d.)



Kuvio 11. Philips värilämpötilasäädöllisen järjestelmän rakenne (Networked Lighting, Tunable white n.d.)

Antumbra-käyttöpaneeli parantaa käyttäjäkokemusta. Käyttöpaneelistä on saatavilla erilaisia versioita, AntumbraButton, AntumbraDisplay ja Antumbra Touch. Erilaiset vaihtoehdot on esitelty kuviossa 12. Kaikilla käyttöpaneeleilla voidaan ohjata samoja asioita, mutta käytettävyyden kannalta näytöllä varustettu AntumbraDisplay on varmasti helpoin. Käyttöpaneelin avulla tilan käyttäjä voi hallita valaistusta valitsemalla

esiasetettuja tilanteita, tai manuaalisesti säätää värilämpötilaa ja valaistusvoimakkuutta. (Networked Lighting, Tunable white n.d.)

AntumbraButton

The AntumbraButton panels utilize large mechanical buttons.

Dimensions: 4.6" x 2.9" x 0.9" (116 mm x 75 mm x 23 mm)



AntumbraDisplay

The AntumbraDisplay panels utilize mechanical buttons and feature a central LCD display to present multiple pages of functions and system information.

Dimensions: 4.6" x 3.0" x 1.4" (116 mm x 75 mm x 36 mm)



AntumbraTouch

The AntumbraTouch panels have a smooth glass finish and use 'capacitive touch' technology to detect the presence of a finger on various locations of the glass to trigger the button-press action.

Dimensions: 4.6" x 3.0" x 0.9" (116 mm x 75 mm x 22 mm)



Kuvio 12. Philips Antumbra-käyttöpaneelin vaihtoehdot (Networked Lighting, Tunable white n.d.)

Lisävarusteena voidaan järjestelmä yhdistää verkkoon, jolloin valaistusta voidaan hallita mobiilisovelluksella tai samassa verkossa olevalla tietokoneella. Lisävarusteena on saatavilla myös järjestelmä, jolla voidaan ohjata yksittäisiä valaisimia muodostamaan liikkuvia kuvioita suurina kokonaisuuksina. (Networked Lighting, Tunable white

n.d.) Philipsin dynaamisen valaistuksen järjestelmään soveltuvina valaisimina on upotettavia paneelivalaisimia, ripustettavia valaisimia ja upotettavia alasvaloja.

4.5.4 Human Centric Lighting, Fagerhult

Fagerhult esittelee sivustollaan valmiita ratkaisumalleja erityyppisissä tiloissa, kuten toimistohuoneessa, koulussa ja hoitohuoneessa. Yrityksen valaisinvalikoimasta ihmiskeskeiseen valaistukseen käytettäväksi löytyy säädettävällä värilämpötilalla olevia Tunable White -valaisimia. Kyseiset valaisimet on varustettu DALI Device type 8 liitäntälaitteella.

Ohjausjärjestelmä on hyvin skaalautuva. Valaistusta voidaan ohjata esimerkiksi painonapeilla, erilaisilla liike- ja läsnäolotunnistimilla, sekä aikaohjelmalla. Valikoimasta löytyy sopivia ratkaisuja monen eri vaatimustason ja käyttökohteen tarpeille. Valaisimiin on saatavilla lisävarusteena esimerkiksi e-Sense Tune -valonohjausjärjestelmä, jolla voidaan ohjata valon intensiteettiä ja värilämpötilaa puhelimen tai tabletin avulla. Järjestelmän master-valaisin on bluetoothilla yhteydessä käyttäjään, ja RF-signaalilla mahdollisiin orjavalaisimiin. Järjestelmässä on esiasetettuja ihmiskeskeiseen valaistukseen sopivia tilanteita, minkä lisäksi käyttäjä voi tallentaa kaksi omaa tilannetta. (E-Sense Tune, n.d.)

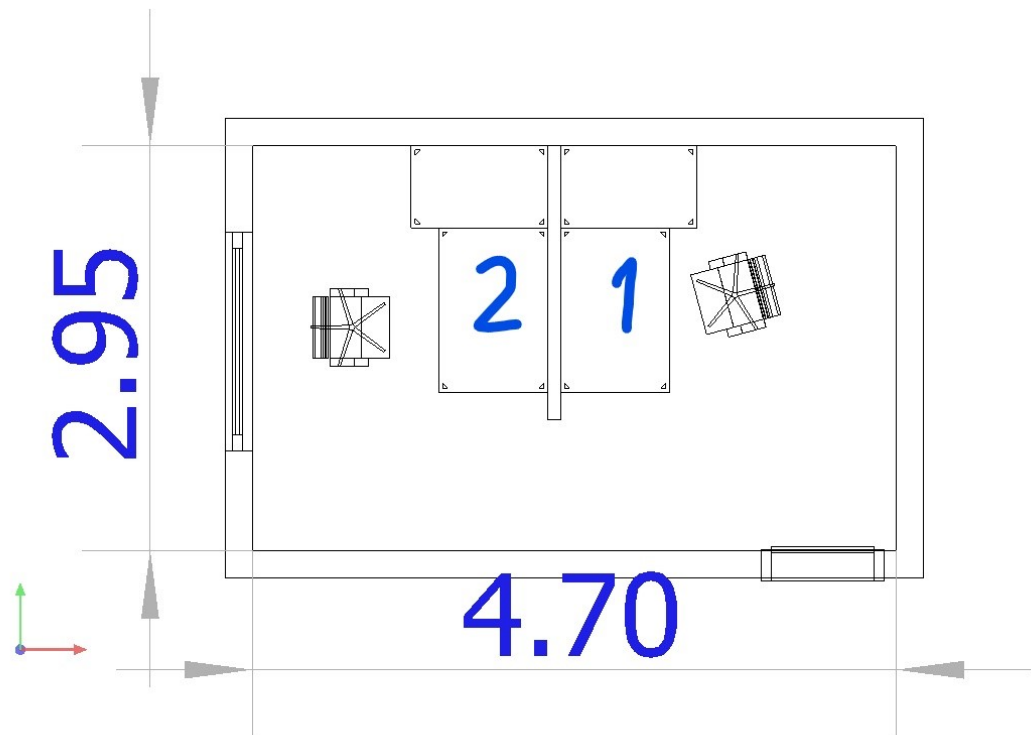
5 Työn toteutus

5.1 Toimistohuoneen valaistuksen mallintaminen

Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprosessiin tutustuttiin käytännönläheisesti mielikuvituksellisen esimerkkikohteen avulla, jonka avulla kehitettiin ratkaisumalleja suunnitteluprojektissa kohdattaviin ongelmakohtiin.

Tutkimukseen valittiin kahden hengen toimistohuone, johon suunniteltiin työkohteen valaistuksen määräykset, ja ihmiskeskeiseen valaistukseen liittyvät suositukset.

Työssä käytettiin DIALux Evo 8.0 -ohjelmaa, jolla tehtiin valaistuslaskennat. Esimerkkihuhuone on esitetty kuviossa 13.



Kuvio 13. Esimerkki toimistohuone

Aluksi tutustuttiin eri valaisinvalmistajien valaisimiin, joissa on säädettävä värilämpötila. Niistä ladattiin valmistajien sivuilta DIALux-mallintamista varten ULD- tai LDT-tiedostot. Vertailuun otettiin mukaan upotettavia alasvaloja, 600x600-paneelivalaisimia, sekä ripustusasennettavia valaisimia eri valonjaolla.

Suosituksen mukaan suunnitellessa kannattaisi tilaan asentaa yleisvalaistuksen lisäksi erilliset työpistevalaisimet, ja tarvittaessa seinien jäädessä pimeäksi seinävalaisimet. Näin saataisiin ihmiskeskeisen valaistuksen vaatimukset täytettyä energiatehokkaasti. Sähkösuunnittelijan kannalta erilliset siirrettävät työpistevalaisimet ovat riskialttiita, koska niiden siirrettävyyden takia suunnittelija ei voi luottaa valaisimien py-

syvän suunnitellussa paikassa. Seinävalaisimet ovat ongelmallisia tiloissa, joissa ei tiedetä täysin varmaksi esimerkiksi kaapistojen ja hyllyjen sijaintia. Näiden perusteiden nojalla esimerkkikohteelle päätettiin suunnitella paikallistettu yleisvalaistus.

Toimistohuoneeseen määriteltiin laskennan kohteet. Laskentaan otettiin eri lähteistä koottujen suositusten mukaan

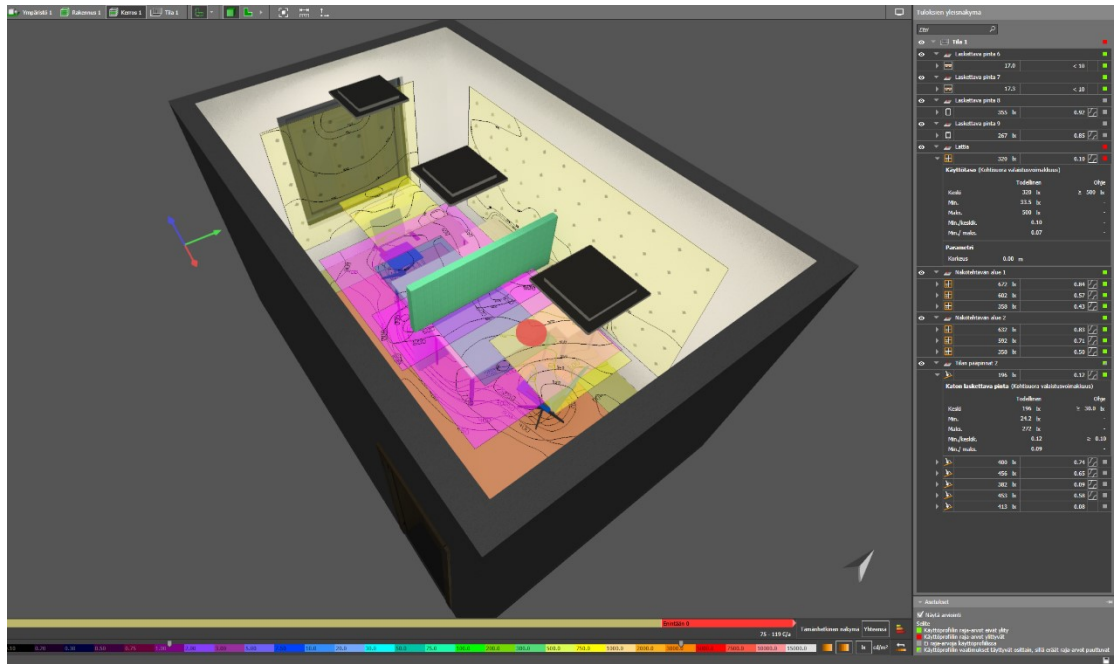
1. UGR-arvo työpisteillä 1 ja 2
2. Sylinterivalaistusvoimakkuus työpisteillä 1 ja 2
3. Valaistusvoimakkuus työalueilla 1 ja 2 (1m x 1m)
4. Valaistusvoimakkuus välittömässä lähiympäristössä
5. Valaistusvoimakkuus tausta-alueella
6. Valaistusvoimakkuus keskimäärin seinillä
7. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus seinillä
8. Valaistusvoimakkuus keskimäärin katossa
9. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus katossa.

Lisäksi ohjelmasta saatiin arvioitu energiakustannus vuositasolla, mikä vaihtelee valitun ohjaustavan ja valaisimien mukaan. Sähköenergian hintana käytettiin 0,40 €/kWh. Laskennassa ei otettu huomioon päivänvaloa, koska valaistuksen on oltava riittävästi mitoitettu myös pimeinä vuorokauden aikoina. Tilan pinnoille valittiin toimistohuoneelle tyyppilliset pintaratkaisut, jotka on esitelty taulukossa 3. Pöydille ei sijoitettu tietokoneita tai muita laitteita, koska ne olisivat aiheuttaneet työtasolle varjostuksia, ja siten virheellisiä tuloksia pöytätaason valaistusvoimakkuuksissa.

Taulukko 3. Laskennassa käytettyjen pintojen heijastussuhteet

Pinta	Materiaali	Heijastussuhde (%)
Seinät	betoni 2	84
Lattia	Carpet, single-coloured, grey	20
Katto	Ceiling panels	70
Ovi	Door, wood, maple	48
Ikkuna	ikkuna, muovi, valkea	6
Pöytä	saarni vaaleanharmaa	50
Tuoli	5003(Sapphire blue)	6
Sermi	matto minttu	27

Laskentaan otettiin yksi valaisintyyppi kerrallaan, ja sijoiteltiin valaisimet tilaan käyttämällä automaattista sijoittelua alueelle. Esimerkki laskentatilanteesta on esitelty kuviossa 14. Osa vertailtavista valaisimista on tarkoitettu sijoitettavaksi poikkeavalla tavalla, esimerkiksi työpisteen kohdalle ja alemmas. Näiden valaisimien kohdalla käytettiin yksittäisen valaisimen sijoittamista, ja tuloksiin kirjattiin huomio poikkeavasta sijoittelusta.



Kuvio 14. Valaistuslaskenta 3D

Laskelmat ajettiin jokaisella vertailuun otetulla valaisintyyppillä erikseen. Tulokset arvioitiin silmämääräisesti, ja kirjattiin Excel-taulukkoon. Excel-taulukkoon luotiin ehdollisen muotoilun sääntöjä, joiden avulla havainnollistettiin tutkijalle, jos jokin aseteltu raja-arvo ei toteutunut. Mikäli jonkin valaisimen kohdalla oli selviä puutteita asetettuihin tavoitteisiin nähden, ei valaisintyyppiä siirretty tarkemmin tarkasteltavien joukkoon.

Kun tarkempaan tarkasteluun saatiin tuloksia riittävä määrä, muodostettiin valaisimille pisteitysjärjestelmä, ja siihen perustuva vertailu. Pisteityksen periaatteet ovat

täysin tutkijan päätettävissä, joten sen painotusta täytyy miettiä aina kohteen mukaisesti. Tällä kertaa esimerkkitilanteessa käytettiin taulukon 4. mukaista pisteitystä. Valaisimien hankintakustannukset ovat vain suuntaa antavia, koska valaisimet ovat useimmiten tilaustuotteita, ja siten valmistajat antavat joka kohteeseen uuden tarjouksen. Siitä syystä hankintakustannuksille annettiin tässä vertailussa vain pieni painoarvo. Kaikille valaisintyypeille ei saatu hinta-arvioita. Tässä tapauksessa valaisintyyppille annettiin tästä osiosta 0 pistettä.

Merkittävimäksi yksittäiseksi osioksi pisteityksen kannalta valittiin työpisteiden sylinterivalaistusvoimakkuudet, joista on mahdollista saada maksimissaan yhteensä 30 pistettä, joka on 18 % kokonaispistemäärästä.

Taulukko 4. Käytetyn pisteityksen perusteet

Muuttuja	Tunnus	Suure	Ehto	Vaatimus	Yksikkö		Pisteet	
P_1	E_{z1}	Sylinterivalaistusvoimakkuus työpiste 1	>	350	lx	=	10	p.
P_2	E_{z1}	Sylinterivalaistusvoimakkuus työpiste 1	>	250	lx	=	5	p.
P_3	E_{z2}	Sylinterivalaistusvoimakkuus työpiste 2	>	350	lx	=	10	p.
P_4	E_{z2}	Sylinterivalaistusvoimakkuus työpiste 2	>	250	lx	=	5	p.
P_5	UGR_1	Kiusahäikäisy työpiste 1	<	19		=	10	p.
P_6	UGR_2	Kiusahäikäisy työpiste 2	<	19		=	10	p.
P_7	E_{task1}	Työalue 1 valaistusvoimakkuus	>	500	lx	=	10	p.
P_8	E_{task2}	Työalue 2 valaistusvoimakkuus	>	500	lx	=	10	p.
P_9	$E_{v-läh1}$	Välitön lähiympäristö 1 valaistusvoimakkuus	>	$0,67 * E_{task}$		=	10	p.
P_{10}	$E_{v-läh2}$	Välitön lähiympäristö 2 valaistusvoimakkuus	>	$0,67 * E_{task}$		=	10	p.
P_{11}	$E_{t-alue1}$	Tausta-alue 1 valaistusvoimakkuus	>	$0,33 * E_{v-läh}$		=	10	p.
P_{12}	$E_{t-alue2}$	Tausta-alue 2 valaistusvoimakkuus	>	$0,33 * E_{v-läh}$		=	10	p.
P_{13}	E_{ms}	Seinä valaistusvoimakkuus	>	50	lx	=	10	p.
P_{14}	U_{0s}	Seinä tasaisuus	\geq	0,1		=	10	p.
P_{15}	E_{mk}	Katto valaistusvoimakkuus	>	30	lx	=	10	p.
P_{16}	U_{0k}	Katto tasaisuus	\geq	0,1		=	10	p.
P_{17}		Energiakustannukset	=	pienin		=	10	p.

		seuraava 9p. jne					
P_{18}		Hankintakustannukset	=	pienin	=	5 p.	
		seuraava 4p. jne					
P_{tot}		Maksimipisteet		max	=	165 p.	

Jos esimerkiksi jonkin valaisimen tuloksiksi saataisiin

- $E_{z1} = 400$ lx
- $E_{z2} = 360$ lx
- $UGR_1 = 16,5$
- $UGR_2 = 16,9$
- $E_{task1} = 750$ lx
- $E_{task2} = 775$ lx
- $E_{v.läh1} = 520$ lx
- $E_{v.läh2} = 540$ lx
- $E_{t.alue1} = 180$ lx
- $E_{t.alue2} = 185$ lx
- $E_{ms} = 60$ lx
- $U_{0s} = 0,2$
- $E_{mk} = 35$ lx
- $U_{0k} = 0,15$
- vertailun pienimmät energiakustannukset
- vertailun pienimmät hankintakustannukset

pisteitä kertyisi kaavan 1 mukaan

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + \dots + P_{18} \quad (1)$$

missä

- $P_1 = 10$ p., koska $E_{z1} > 350$ lx
- $P_2 = 5$ p., koska $E_{z1} > 250$ lx
- $P_3 = 10$ p., koska $E_{z2} > 350$ lx
- $P_4 = 5$ p., koska $E_{z2} > 250$ lx
- $P_5 = 10$ p., koska $UGR_{L1} < 19$
- $P_6 = 10$ p., koska $UGR_{L2} < 19$
- $P_7 = 10$ p., koska $E_{task1} > 500$ lx
- $P_8 = 10$ p., koska $E_{task2} > 500$ lx
- $P_9 = 10$ p., koska $E_{v.läh1} > 0,67 * E_{task1}$
- $P_{10} = 10$ p., koska $E_{v.läh2} > 0,67 * E_{task2}$
- $P_{11} = 10$ p., koska $E_{t.alue1} > 0,33 * E_{v.läh1}$
- $P_{12} = 10$ p., koska $E_{t.alue2} > 0,33 * E_{v.läh2}$

$P_{13} = 10\text{p.}$, koska $E_{ms} > 50 \text{ lx}$

$P_{14} = 10\text{p.}$, koska $U_{0s} \geq 0,10$

$P_{15} = 10\text{p.}$, koska $E_{mk} > 30 \text{ lx}$

$P_{16} = 10\text{p.}$, koska $U_{0k} \geq 0,10$

$P_{17} = 10\text{p.}$, koska energiakustannukset ovat vertailun pienimmät

$P_{18} = 5\text{p.}$, koska hankintakustannukset ovat vertailun pienimmät

$$P_{\text{tot}} = 10\text{p.} + 5\text{p.} + 10\text{p.} + 5\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.}$$

$$+ 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 10\text{p.} + 5\text{p.} = 165 \text{ p.}$$

Laskenta suoritettiin Excelissä jos-lauseella. Kaava syötettiin kerran, minkä jälkeen muiden rivien pisteitys tapahtui automaattisesti.

Pisteityksen jälkeen saatiin tutkimukseen otetut valaisimet järjestettyä paremmuusjärjestykseen. Saatujen tulosten perusteella voitaisiin valita valaisimet todellisessa kohteessa esimerkiksi ehdotussuunnitelmaan.

5.2 Suunnitteluohjeen laatiminen

Suunnitteluohje laadittiin Sitowisen omalle PRO toimintaohje -mallipohjalle. Suunnitteluohje on esitelty liitteessä 3. Sen laadinnassa hyödynnettiin tutkimuksen tietopuustaa ja suoritettua esimerkkituotteen valaisinlaskentaa.

Suunnitteluohje on laajuudeltaan suppea. Suunnitteluohjeen tarkoitus on auttaa suunnittelijaa löytämään oikeat tiedot suunnittelun onnistumiseksi ensimmäisissä ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprojekteissaan. Suunnitteluohjeeseen ei ole sisällytetty kaikkea tarvittavaa tietoa yksityiskohtaisesti.

6 Tulokset

6.1 Valaisinvertailun tulokset

Toimistohuoneen valaisinvertailun tulokset on kokonaisuudessaan esitelty liitteessä 2. Liitteestä on piilotettu hankintakustannukset, mutta niiden järjestyksen mukaan annettavat pisteet ovat näkyvissä. Hankintakustannukset on piilotettu, koska ne eivät ole julkisesti saatavilla olevia tietoja. Suuruusjärjestys ei ole kaikilta osin pätevä, koska valaisimista ei saatu tarkkoja hintoja, ja osalle valaisimista ei saatu edes arvioitua hintaa.

Vertailussa eniten pisteitä sai Glamoxin C95-S 600x600 uppoasennettava paneelivalaisin. Sille pisteitä kertyi yhteensä 154. C95-tuoteperhe on korkeatasoinen ominaisuuksiltaan, ja siten myös hankintahinnaltaan. Glamox on järjestellyt tietyt tavantomaisia valaisimia paremmat tuoteperheet ominaisuuksiensa mukaan kolmeen luokkaan; hyvä, parempi ja paras. Luokkien ominaisuudet on esitelty kuviossa 15. Ohuen ja nykyaikaisen muotoilun ja korkealaatuisen tekniikan vuoksi C95-S-valaisin sopii hyvin korkean vaatimustason toimistotiloihin. (Glamox C95-tuoteperhe n.d.)

Tiettyjen tuoteperheiden positiointi:

HYVÄ



- Tummansininen
- 5 vuoden takuu
- Min. 50 000 h elinikä
- Hinta-/laatusuhde

PAREMPI



- Keskisininen
- + Pidempi elinikä
- + Laajempi valikoima
- + Parempi valon laatu

PARAS



- Vaaleansininen
- + Monipuolisempi valikoima
- + Premium-ominaisuudet

Kuvio 15. Glamox tuoteperheiden määrittelyt (Tuotekartta 2020)

Vertailussa sijoille 2.-4. sijoittui yhden pisteen eroilla Fagerhultin Multilume Flat Delta -paneelivalaisin (145 pistettä), sg:n DiLED TW -paneelivalaisin (144 p.) ja Glamoxin C90-S870 (143 p.) pinta-asennettava valaisin.

Jaetulle 5. sijalle (140 p.) pääsi ripustettavat valaisimet Fagerhultin DTI LED Type 2, ja GreenLEDin Alfa Q.

Sijoille 6.-17. tarkemmassa vertailussa sijoittuneet loput valaisimet ja kaikkien valaisimien tulokset laskennasta löytyvät liitteestä 2. Vertailun tulokset olivat pääasiassa hyvin tasavertaisia. Valaisintyyppin mukaan jaettuna (ks. taulukko 5.) parhaiten pärjäsivät keskiarvoisesti paneelit, käytännössä yhtä hyvin ripustettavat valaisimet, ja heikoiten alasvalo.

Taulukko 5. Valaisimien saamat pisteet valaisintyyppin mukaan

Valaisimen tyyppi	Keskimääräiset pisteet
Paneeli	137,4
Ripustettava valaisin	134,6
Alasvalo	101

6.2 Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprosessi

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, millainen on ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprojekti erilaisissa kohteissa. Tarkemmin tutkittaviksi kohteiksi määriteltiin toimistohuone, terveydenhuollon hoito- ja toimistotila, sekä luokkahuone.

Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluprosessi on hyvin samankaltainen, kuin tavallisen valaistusjärjestelmän. Suunnittelun onnistumisen kannalta avainasemassa on hyvä kommunikaatio suunnittelijalta sekä asiakkaan, että valaisinvalmistajan suuntaan. Hyvällä kommunikaatiolla saadaan kerättyä olennaiset lähtötiedot ja tilaajan tavoitteet, joihin päästään helpoiten tekemällä yhteistyötä valaisinjärjestelmien parissa työskentelevien ammattilaisten kanssa.

Merkittävimpiä eroja ihmiskeskeisen ja tavallisen valaistusjärjestelmän suunnittelun välillä ovat valaistuslaskennassa huomioitavat asiat. Tavallista valaistusjärjestelmää

suunniteltaessa tarkastellaan yleensä enimmäkseen visuaalisia vaatimuksia eli työpisteen ja välittömän lähiympäristön horisontaalista valaistusvoimakkuutta, sekä häikäisyarvoa. Ihmiskeskeisen valaistuksen kanssa täytyy lisäksi huomioida valon biologiset ja emotionaaliset vaikutukset. Biologisia vaikutuksia tarkastellaan sylinterivalaistusvoimakkuudella, sekä värilämpötilan ja valaistusvoimakkuuden yhteisvaikutuksella melatoniinin tuotantoon. Emotionaaliset vaikutukset tarkoittavat niitä ajatuksia, mitä tilan valaistus herättää. Niihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi valaisemalla tilan pinnat tasaisesti jättämättä pimeitä varjopaikkoja.

6.3 Käyttökohteiden vaikutus suunnitteluprojektiin

Eri käyttökohteille on asetettu jo standardissa hyvin paljon toisistaan eroavia vaatimuksia, joten on luonnollista, että käyttökohde vaikuttaa suunnitteluun. Suunnittelu-prosessi on eri kohteissa samankaltainen, mutta suunnitelmien sisältö vaihtelee. Ihmiskeskeisessä valaistuksessa on suuri painoarvo ohjauksella ja säätömahdollisuuksilla, joiden avulla ihminen kokee valaistuksen helpommin miellyttäväksi ja nimensä mukaisesti ihmiskeskeiseksi. Eri kohteisiin on tehty erilaisia ratkaisumalleja niin valaistuksen kuin ohjauksen osalta tutkimuksista saatujen tulosten perusteella.

Luokkahuoneiden valaistussuunnittelussa keskitytään pääasiassa valaistusvoimakkuuden säätämiseen sekä aika- että tilanneohjauksilla. Valaisimet ovat useimmiten kustannustehokkaita, ja ohjauslaitteet sijaitsevat oven lähellä ja opettajan pöydän läheisyydessä ohjauspaneeleilla.

Terveysten hoitolaitosten hoituhuoneet ovat täysin oma maailmansa. Siellä pitää pystyä täyttämään sekä potilaiden, että hoitohenkilökunnan tarpeet. Tämänkaltaisessa käyttökohteessa ihmiskeskeinen valaistus onkin erinomainen ratkaisu ominaisuuksiensa ja etenkin ohjattavuutensa ansiosta.

Terveystieteiden toimistotilat ovat periaatteeltaan, kuin mikä tahansa toimistohuone. Eroja voi syntyä siinä tapauksessa, jos tilat suunnitellaan monikäyttöiseksi, eli tilan käyttötarkoitus voi muuttua.

6.4 Laitevalmistajien ratkaisumallien vertailu

Toinen päätavoite oli vertailla kustannuksia eri valmistajien laite- ja toteutusvaihtoehtojen välillä. Kokonaisvaltaisten ratkaisumallien vertailuun otettiin mukaan ennalta valittujen valmistajien tuotteita. Valinnat perustuivat vähäisiin ennakkotietoihin ja nopeaan selvitykseen siitä, kenellä on tarjota valmiita ratkaisumalleja ihmiskeskeisestä valaistuksesta.

Eroja eri valmistajien valaisimien kustannuksissa esiintyy, olipa sitten kysymys ihmiskeskeisen valaistusjärjestelmän säädettävän värilämpötilan valaisimesta tai yksinkertaisimmasta led-valaisimesta. Suunnittelijan kannalta oleellista hinnan suhteen on tietää valaisimien hintaluokka suurin piirtein, jotta osaa valita kohteeseen sopivat valaisimet.

Ratkaisumallista puhuttaessa tarkoitetaan koko valaistusjärjestelmää ohjain- ja liitäntälaitteineen. Eri valmistajien ratkaisumallit osoittautuivat yllättävän samankaltaisiksi, jos vertailussa on keskenään samankaltaisilla ominaisuuksilla varustetut järjestelmät.

Valmistajilla on tarjolla hyvin eritasoisia järjestelmiä, joten tärkeintä on tietää, mitä tilaaja haluaa. Valaistusjärjestelmä ei saa olla kohteeseen nähden yliampuva, tai se jää monesti suurten kustannusten vuoksi toteuttamatta. Valaisinvalmistajat auttavat luonnollisesti mielellään kertomaan asiakkaille ihmiskeskeisen valaistuksen hyödyistä, ja opastavat suunnittelijaa sopivan järjestelmän suunnittelussa ja laitevalinnoissa.

Ihmiskeskeisen valaistusjärjestelmän kustannuksia vertaillaan usein DALI-valaistusjärjestelmään. Se on hyvä vertailukohde, koska molemmat järjestelmät ovat kilpailukykyisimmillään tiloissa, joissa vaaditaan valaistukselta jotain tavanomaista päälle/pois -ohjausta enemmän. Ihmiskeskeisen valaistusjärjestelmän kustannukset ovat tässä vertailussa yleisesti noin 20-35 % korkeammat. Kaapelointi on sama, liitäntälaitteet samat tai samankaltaiset, ainoastaan valaisimissa ja ohjausjärjestelmässä

on käytetty enemmän tekniikkaa. Suunnittelukustannukset ovat hieman korkeammat, koska valaistuslaskennassa pitää ottaa enemmän asioita huomioon.

Järjestelmien ohjauspuolella eroja on nähtävissä siinä, miten laajaa järjestelmää asiakkaalle lähtökohtaisesti tarjotaan. Valikoimista löytyy kaikilta perinteiset painonapit ja jonkinlainen käyttöpaneeli. Lisäksi monilla valmistajilla on saatavilla langattoman tekniikan ansiosta ohjaus mobiilisovelluksen kautta. Säättömahdollisuuksien puolesta osa tarjoaa valaisimia ilman värilämpötilan säätöä, jolloin ihmiskeskeisen valaistuksen määritelmästä järjestelmä jää vajaaksi. Tällaisellakin järjestelmällä on kuitenkin tutkitusti samankaltaisia, mutta jonkin verran heikompia vaikutuksia.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

7.1 Johtopäätökset valaisinvertailusta

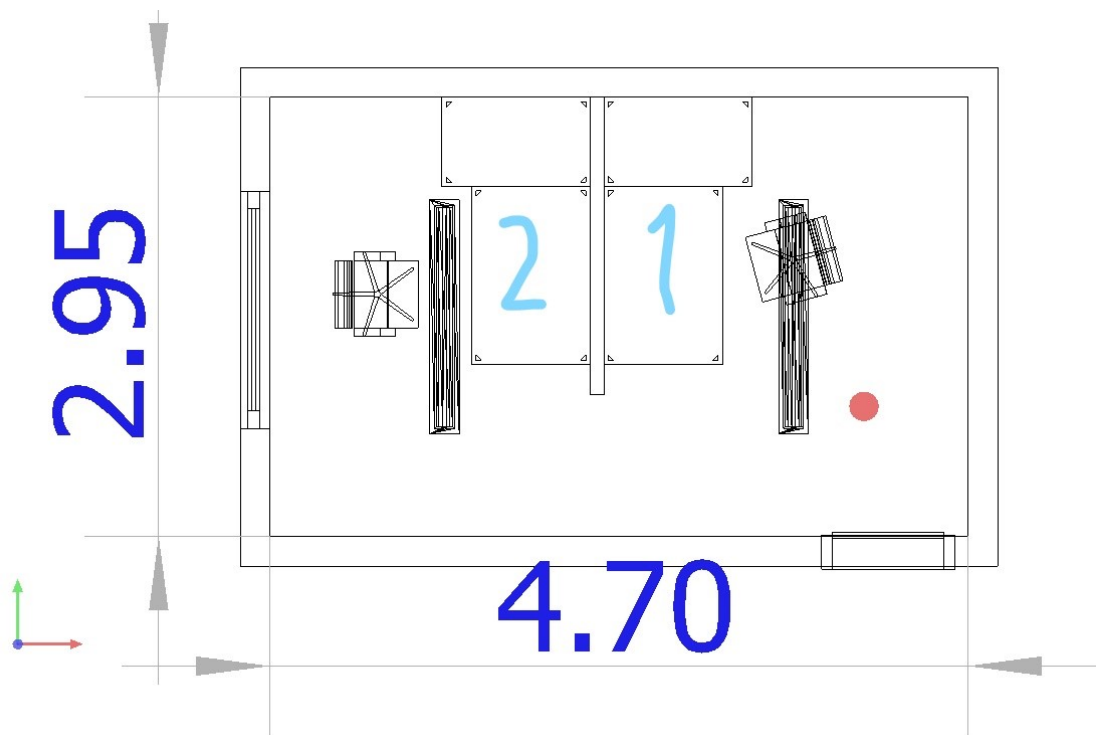
Valaistusvertailun tuloksia pyöriteltiin ja analysoitiin monelta eri näkökulmalta. Taulukossa 6. on esitelty Glamoxin tuoteperheen positioinnin (ks. kuvio 15., sivu 46) ja sijoittumisen vertailussa välistä suhdetta. Taulukosta nähdään, että valaisimen korkea laatu ja hyvät ominaisuudet eivät välttämättä takaa automaattisesti sen soveltumista kohteeseen. Kuitenkin, jos korkealaatuinen tuote valitaan oikeaan paikkaan, se on ylivertainen.

Taulukko 6. Glamoxin valaisinten saamat pisteet ja tuoteperheen positiointi

Valaisin	Pisteet	Sija vertailussa	Tuoteperheen positiointi
C95-S600x600	154	1.	Paras
C90-S870	143	4.	Paras
C92-R600x600	138	7.	Normaali
C91-R600x600	137	8.	Normaali

C20-P4	135	10.	Parempi
C90-R600x600	134	11.	Paras
C95-S240x1200	126	15.	Paras

Vertailua tehdessä havaittiin valaisimien sijoittelulla työpisteisiin nähden olevan erittäin suuri vaikutus saataviin tuloksiin, etenkin sylinterivalaistusvoimakkuuteen ja häikäisyindeksiin. Tämä ilmiö saatiin esille sijoittamalla työpisteet hieman epäsymmetrisesti tilaan nähden. Valaisimet sijoittuivat siten automaattisella sijoitustoiminnolla tilaan nähden symmetrisesti, ja työpisteisiin nähden epäsymmetrisesti. Esimerkki valaisinten sijoittamisesta työpisteisiin nähden on esitelty kuviossa 16.



Kuvio 16. Valaisimien sijoittelu

Kuviossa 16 käytetyllä sijoittelulla havainnollistetaan taulukossa 7. eri työpisteiden sijoittelun, ikkunan läheisyyden ja päivänvalon aiheuttamia eroja. Työpisteet ovat muuten identtiset, mutta sijoittelu valaisimiin nähden on eri, ja työpisteen 2 takana on ikkuna, joka heijastaa valoa eri tavalla kuin seinä.

Ikkunan läheisyys vaikeuttaa tavoitearvoihin pääsemistä, kun laskenta tehdään ilman ulkoa tulevaa päivänvaloa. Taulukossa 7. käsiteltävällä C20-P4 valaisimella päästiin ilman päivänvaloakin kohtuullisen hyviin sylinterivalaistusvoimakkuuksiin, mutta päivänvalo nostaa tätä lukemaa huomattavasti. *UGR*-arvo eli häikäisyindeksi ei muutu *DIALux*:ssa päivänvalon vaikutuksesta, koska ohjelma laskee vain valaisimien aiheuttaman häikäisyn. Omiin kokemuksiin nojaten ikkunasta tuleva valo voi aiheuttaa voimakkaitakin häikäisyjä työpisteellä, tätä voidaan ehkäistä esimerkiksi sälekaihtimilla. Tässä vertailussa nähdään hyvin, että luonnonvaloa kannattaa hyödyntää, mutta ikkunat aiheuttavat myös haasteita. Päivänvalon hyödyntäminen sisätyöpisteillä paitsi auttaa valaistusvoimakkuuksien toteuttamisessa, myös alentaa energiakustannuksia merkittävästi, jos käytössä on vakiovalonsäätö tai himmennys.

Ikkunan ja päivänvalon vaikutusten lisäksi myös valaisimien sijoittelulla suhteessa työpisteeseen on tulosten mukaan huomattava merkitys. Etenkin työtason horisontaalisessa valaistusvoimakkuudessa, kiusahäikäisyssä ja sylinterivalaistusvoimakkuudessa erot ovat isoja. Monen valaisimen kohdalla vertailussa työpisteellä 1 tulokset olivat kaikilta osin kunnossa, mutta työpiste 2 aiheutti ongelmia. Tästä voidaan muodostaa päätelmä, että jos työaluetta ei tunneta tarkasti, ja koko tilaa on käsiteltävä työalueena, valaistukselle asetetaan todella kovat vaatimukset. Vaihtoehtoisesti esimerkiksi avokonttoriin voidaan asentaa kiskosto, jossa valaisinrivejä voi helposti siirtää, lisätä tai poistaa tarpeen mukaan.

Taulukko 7. Valaisimien ja ikkunan sijoittelun, sekä päivänvalon merkitys

	Ei päivänvaloa				Pilvinen taivas		Pilvetön taivas	
	Työ- piste 1	Työ- piste 2	Työ- piste 1 ilman ikkunaa	Työ- piste 2 ilman ikkunaa	Työ- piste 1	Työ- piste 2	Työ- piste 1	Työ- piste 2
E_z	343	289	355	372	369	621	400	621
E_{task}	629	692	643	742	650	896	677	896
$E_{v.läh}$	626	626	649	674	691	839	744	839
$E_{t.alue}$	386	358	412	367	539	379	530	379
E_{ms}	345		369,5		407,75		489,75	
E_{u0s}	0,66		0,66		0,64		0,6075	
E_{mk}	985		1016		1022		1062	
E_{u0k}	0,25		0,26		0,28		0,3	

Lähteestä riippuen sylinterivalaistusvoimakkuuden minimiarvoksi työalueella suositellaan aktivoivien vaikutusten aikaan 250-350 lx. Joidenkin lähteiden suunnitteluohjeiden mukaan sylinterivalaistusvoimakkuutta ei huomioida, vaan huolehditaan perinteisesti työtason riittävästä valaistusvoimakkuudesta ja sen lisäksi tarkkaillaan häikäisyä, lähialueiden ja tilan muiden pintojen valaistusvoimakkuuksia.

Todennäköisesti ja toivottavasti vuonna 2020 julkaistavassa standardissa on aseteltu ristiriitoja poistavia suunnittelun tavoitteita. Tällä hetkellä tavoitteet perustuvat hyvinkin paljon toisistaan eroaviin vapaamuotoisiin ohjeisiin.

7.2 Tutkimuksen onnistuminen ja luotettavuus

Tutkimusta aloittaessa aiempi tietoni aiheesta oli lähes olematonta, mikä hankaloitti tutkimuksen suunnittelua ja tutkimuskysymysten asettelua. Kokeneempi suunnittelija auttoi tutkimuksen aiheen rajaamisessa ja kysymysten asettelussa työn alkuvaiheessa.

Tutkimuksen tietoperustaan tutustumisen ja aineiston keräämisen aloitettiin marraskuussa 2019, ja sain päätökseen maaliskuussa 2020. Alustavan tiedonhaku suunnitelman ja muutaman testihaun tein kesällä 2019. Aiheeseen liittyvää uutta tietoa on julkaistu koko tutkimuksen ajan, ja osa ensimmäisistä lähteistä tuntuu työn valmistuksessa jo osittain vanhentuneilta.

Tutkimusta olisi voinut helposti jatkaa ja laajentaa kaikilla työn osa-alueilla. Etenkin teoriapuolta tutkittaessa löytyi jatkuvasti uutta mielenkiintoista tietoa. Vaikeaa oli rajata teoria siten, että käsiteltäisiin vain toteutuksen kannalta oleellisimpia asioita. Myös valaisinvertailussa oli vaikeaa valita vertailtavat valaisimet. Tutkimuksen laatu ei kuitenkaan kasvaisi merkittävästi suhteessa työmäärän kasvuun, jos valaisimia otettaisiin vertailuun vielä lisää. Vaikka lopulliseen vertailuun päätyi vain yksi alavalotyypin, tehtiin alkuvaiheessa laskelmia huomattavasti useammalla. Niillä oli kuitenkin suuria vaikeuksia täyttää annetut vaatimustasot, joten ne jätin suosiolla pois tarkemmasta vertailusta. Alasvalot voivat olla toimistoissakin hyvä ratkaisu, jos vaatimustasoja asetetaan matalammaksi.

Valaistusvertailussa tutkimuksen luotettavuutta voidaan kyseenalaistaa mielivaltaisen pisteitysjärjestelmän vuoksi. Tutkimuksessa pyrin huomioimaan eri lähteistä poimittuja ohjearvoja, ja painotin niiden perusteella sylinterivalaistusvoimakkuuden merkitystä työpisteillä, millä ainakin on tutkitusti iso vaikutus ihmiseen.

Valaistusvertailua tehdessä kohtasin epäkohdan, joka heikentää olennaisesti laskelmien luotettavuutta. Valaisinvalmistajien sivuilla ei ole kaikkien valaisimien osalta laskentaohjelmaa varten tarvittavia tiedostoja, ja joillain valaisimilla tiedostot voivat olla virheellisiä. Ymmärrettävistä syistä virheellisillä lähtötiedoilla saadaan aikaan virheellisiä tuloksia.

Valaisinten ja valaisinjärjestelmien kustannusvertailu jäi suppealle tasolle, koska järjestelmistä ei ole juurikaan saatavilla julkisesti hinnastoja. Yleisesti on tiedossa hintahaarukka, noin 20-35 % DALI-järjestelmää korkeammat kokonaiskustannukset. Tuotteet ovat pääasiassa tilaustuotteita, ja hinnat perustuvat siten projektikohtaisiin tarjouksiin. Tarjoukseen vaikuttaa tarvittavien valaisimien lukumäärä, toimitusajankohta

ja monet muutkin asiat. Tästä syystä tuotteiden kustannusvertailu oli vaikeaa, eikä onnistunut siinä kunnollisesti.

Käytännön suunnittelukohteessa valaisinten hankintahinta on usein määräävä ominaisuus. Liian korkean investointikustannuksen perusteella jokin tietty valaisintyyppi voidaan rajata suoraan vertailun ulkopuolelle.

Ennako-oletus oli, että ripustettavat valaisimet, joissa on myös epäsuora valonjako, olisivat vertailussa selvästi parhaita vaihtoehtoja. Vertailun paras yksittäinen valaisin, kuten myös paras valaisintyyppi keskiarvoisesti oli paneelivalaisin. Tämä voi johtua monesta syystä, esimerkiksi mukana olleiden paneelivalojen korkea laatu verrattuna ripustettaviin valaisimiin. Toinen merkittävä syy voi löytyä pisteitysjärjestelmästä; pisteityksen painoarvoa muuttamalla päästään eri lopputuloksiin.

Opinnäytetyön myötä tulevaisuudessa toimeksiantajallani on tarjota asiantuntevampaa ja laadukkaampaa suunnittelua ihmiskeskeisen valaistuksen osalta. Toimeksiantaja sai käyttöönsä suunnitteluohjeen, jota voi tarvittaessa tulevaisuudessa päivittää uusien tietojen ja ohjeiden perusteella. Lähtötilanteeseen verrattuna saatiin kehitystä aikaan toimintamallien osalta.

Päivänvalon hyötyjä tavoitteleva keinotekoinen valaistusjärjestelmä on isoine lupauksineen ilmiönä niin mielenkiintoinen ja trendikäs, että hyvin monilla alan vaikuttajilla on aiheeseen omat mielipiteensä ja painopisteensä. Tutkimus pyrittiin pitämään mahdollisimman neutraalina, ei mitään yksittäistä tahoa suosivana tai syrjivänä. Tätä tavoiteltiin käyttämällä monipuolisesti eri lähteitä, ja suosimalla kansainvälisiä standardeja ja ohjeistuksia. Epäkohta syntyy helposti siinä, että tutkimuksen kohteeksi ei otettu ajanpuutteen vuoksi enempää valaisimia.

7.3 Tutkimuksen hyödyntäminen ja aiheen kehittäminen

Tätä tutkimusta voidaan jatkossa hyödyntää muissa aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa ja opinnäytetöissä. Jatkokehitystä työlle voisi olla esimerkiksi ohjausjärjestelmien syvällisempi selvittäminen sekä päivänvalo-ohjelman tutkiminen ja toteuttaminen eri käyttökohteissa. Hyvä lisätutkimuksen paikka olisi myös mitata ihmiskeskeisen valaistusjärjestelmän vaikutusta todellisessa kohteessa.

Mielenkiintoinen aiheeseen liittyvä ilmiö on numeerinen yksikkö vuorokausirytmiiin vaikuttavalle valolle. Tästä löytyi ainakin kahta eri esitystapaa, ja on mielenkiintoista nähdä, miten standardit tämän asian käsittelevät, ja tuleeko esimerkiksi DIALux:iin valmis laskenta tällaiselle lukuarvolle.

Tulevaisuuden valaisintekniikkaa on mahdollisesti ripustusasennettavat valaisimet, joilla on erikseen ohjattavissa olevat ylä- ja alavallo. Tämänkaltaisella valaisimella voidaan suunnitella epäsuoralla valolla toteutettavaksi riittävä yleisvalaistus, ja ohjata työpistekohtaisesti suoraa valoa tarpeen mukaan. Esimerkiksi licht.de:n kouluvalaistus -esimerkissä on käytetty tällaista valaisintyyppiä.

Lähteet

- Amber – oranssinpunainen valo. N.d. Artikkelel Fagerhultin sivustolla. Viitattu 5.3.2020. <https://www.fagerhult.com/fi/Sovellukset/terveydenhuollon-tilat/amber/>.
- Chan, S. & Debono, M. 2010. Replication of cortisol circadian rhythm: new advances in hydrocortisone replacement therapy. Artikkelel US National Library of Medicine (Yhdysvaltain kansallinen terveystietojärjestelmä) -sivuilla. Viitattu 17.12.2019. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3475279/>.
- Figueiro, G., Gonzales, K & Pedler, D. Circadian stimulus. Artikkelel Lighting Research Centerin sivustolla. Viitattu 6.3.2020. https://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/LDA_CircadianStimulus_Oct2016.pdf.
- Dynaaminen valaistus. N.d. Artikkelel Philipsin sivuilla. Viitattu 18.11.2019. <https://www.lighting.philips.fi/ratkaisut/teemat/dynaaminen-valaistus>.
- E-Sense Tune. N.d. Artikkelel Fagerhultin sivuilla. Viitattu 2.3.2020. <https://www.fagerhult.com/fi/valonohjaus/e-sense-tune/miten-se-toimii/>.
- Glamox C95-tuoteperhe. N.d. Esite Glamoxin sivuilla. Viitattu 5.3.2020. <https://glamox.com/fi/products/nogroup/items/c95226252>.
- Guide to Human Centric Lighting (HCL). N.d. Licht.de:n opas. Viitattu 6.2.2020. https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809_lw21_E_Guide_HCL_web.pdf.
- Human Centric Lighting. N.d. Artikkelel Fagerhultin sivuilla. Viitattu 18.11.2019. <http://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/human-centric-lighting/>.
- Human Centric Lighting. 2017. Esite Lighting European sivuilla. Viitattu 13.12.2019. https://www.lightingeurope.org/images/HCL/14_LE_HCL2017.pdf.
- Ihmislähtöinen valaistus. N.d. Artikkelel Glamoxin sivuilla. Viitattu 18.11.2019. <https://glamox.com/fi/ihmislhtinen-valaistus>.
- Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Kloeppele, S. 2019. Human-centric lighting: What you need to know. Cedar Rapids, 113, 4. Viitattu 19.11.2019. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.
- Know your brain: Suprachiasmatic nucleus. 2016. Artikkelel Neuroscientifically challenged -sivustolla. Viitattu 13.12.2019. <https://www.neuroscientificallychallenged.com/blog/know-your-brain-suprachiasmatic-nucleus>.
- Kuinka tekniikka toimii käytännössä? N.d. Artikkelel Fagerhultin sivustolla. Viitattu 6.3.2020. <https://www.fagerhult.com/fi/Tunable-white/Henkilokohtaista-valoa/Kuinka-tekniikka-toimii-kaytannossa/>.

McHale, J. 2019. The global market for human-centric lighting will be worth \$849M in 2019, forecasts memoori research. Viitattu 10.12.2019. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Melatonin and Sleep. N.d. Artikkele National Sleep Foundationin sivustolla. Viitattu 13.12.2019. <https://www.sleepfoundation.org/articles/melatonin-and-sleep>.

Networked Lighting, Tunable white. N.d. Opas Philipsin sivustolla. Viitattu 28.2.2020. https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/United%20States/ODLI20160825_001_UPD_en_US_PLt-16135BR_tunable_white_brochure.pdf.

OccuSwitch DALI. N.d. Tuotteen kuvaus Philipsin sivustolla. Viitattu 28.2.2020. <https://www.lighting.philips.fi/prof/ohjausjaerjestelmaet/tilakohtainen-ohjaus/occuswitch-dali>.

Portin, P. 2018. Nukkumisen genetiikkaa. Artikkele Parkinsonliiton sivustolla. Viitattu 6.2.2020. <https://www.parkinson.fi/artikkelit/nukkumisen-genetiikkaa>.

Puolakka, M. 2019. Ammattilaiset uskovat: Ihmiskeskeinen valaistus on pian valtavirtaa. Sähköala, 62, 11. Viitattu 9.12.2019. https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/valaistus/fi_FI/Ihmiskeskeinen_valaistus/.

Puttonen, M. 2013. Nuku niin opit. Artikkele Tiede-lehden sivustolla. Viitattu 13.12.2019. https://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/uusimmat/nuku_niin_opit.

RGB-LED-lamput. N.d. Artikkele Osramin sivustolla. Viitattu 6.3.2020. <https://www.osram-lamps.fi/led-lamput/kiehtovia-vaeripaletteja-rgb-led-lampuilla/index.jsp>.

Riihimäki, A. 2018. Ihmiskeskeinen valaistus. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutus, sähköinen talotekniikka. Viitattu 11.12.2019. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201805158171>.

SFS-EN 12464-1. 2011. Sisävalaistusstandardi. 2.p. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 19.11.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Sitowise. N.d. Sitowisen kotisivut. Viitattu 5.3.2020. <https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>.

ST 41.06. 2015. Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo val12. Helsinki: Rakennustieto ry. Viitattu 9.12.2019. <http://www.severi.sahkoinfo.fi>.

ST 57.40. Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. Espoo: Sähkötieto ry. Viitattu 21.11.2019. <http://www.severi.sahkoinfo.fi>.

ST 57.45. Valaisimen valinnan perusteet. 2019. Espoo: Sähkötieto ry. Viitattu 21.11.2019. <http://www.severi.sahkoinfo.fi>.

ST 58.02. Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti. 2017. Espoo: Sähkötieto ry. Viitattu 9.12.2019. <http://www.severi.sahkoinfo.fi>.

ST 58.04. Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. 2017. Espoo: Sähkötieto ry. Viitattu 9.12.2019. <http://www.severi.sahkoinfo.fi>.

Stacy, B. 2019. Light and wellness: A circadian approach to lighting design. Consulting – Specifying Engineer, 56, 7. Viitattu 13.12.2019. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Tuotekartta 2020. Glamoxin julkaisema tuotekartta.

Valaistusvoimakkuus. N.d. Opetusmateriaali Enston sivuilla. Viitattu 21.11.2019. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398124022.html>.

Valovirta. N.d. Opetusmateriaali Enston sivuilla. Viitattu 21.11.2019. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398095075.html>.

Vedvik, R. 2019. Human-centric lighting explained. Consulting – Specifying Engineer, 56, 7. Viitattu 19.11.2019. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Väriämpötila. N.d. Artikkelin Limenten sivuilla. Viitattu 9.12.2019. https://www.limente.fi/fi/varilampotila_14.html.

What Are Biological Rhythms? N.d. Artikkelin SRBR:n (Society for Research on Biological Rhythms) sivustolla. Viitattu 13.12.2019. <https://srbr.org/about-chronobiology/what-are-biological-rhythms/>.

Zind, T. 2018. The human-centric lighting debate. Viitattu 9.12.2019. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Liitteet

Liite 1. Tilojen, tehtävien ja toimintojen valaistusvaatimukset opinnäytetyössä tutkittavien kohteiden osalta

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN 12464-1
54

Taulukko 5.26 Toimistot

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_0	R_a	Erityisvaatimukset
5.26.1	Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	0,40	80	
5.26.2	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.26.3	Tekninen piirtäminen	750	16	0,70	80	
5.26.4	CAD-työasemat	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.26.5	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
5.26.6	Vastaanottotiski	300	22	0,60	80	
5.26.7	Arkistot	200	25	0,40	80	

Taulukko 5.27 Liiketilät

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_0	R_a	Erityisvaatimukset
5.27.1	Myyntialue	300	22	0,40	80	
5.27.2	Kassa-alue	500	19	0,60	80	
5.27.3	Pakkauspöytä	500	19	0,60	80	

Taulukko 5.28 Julkiset kokoontumistilat – Yleiset alueet

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_0	R_a	Erityisvaatimukset
5.28.1	Eteiset	100	22	0,40	80	UGR vain soveltuvisissa tapauksissa
5.28.2	Vaatesäilit	200	25	0,40	80	
5.28.3	Odotusaulat	200	22	0,40	80	
5.28.4	Lippuolmuistot	300	22	0,60	80	

Taulukko 5.29 Julkiset kokoontumistilat – Ravintolat ja hotellit

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_0	R_a	Erityisvaatimukset
5.29.1	Vastaanottotiski, kassa	300	22	0,60	80	
5.29.2	Keittiö	500	22	0,60	80	Keittiön ja ravintolan välillä tulisi olla sopeutumisvyöhyke.
5.29.3	Ravintola, ruokasali, monitoimitila	–	–	–	80	Valaistus tulisi suunnitella niin, että se luo sopivan ilmapiirin.
5.29.4	Itsepalveluravintola	200	22	0,40	80	
5.29.5	Tarjoilupöytä	300	22	0,60	80	
5.29.6	Kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.29.7	Käytävät	100	25	0,40	80	Yöaikana pienemmät valaistusvoimakkuudet ovat hyväksyttäviä.

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (sop. nro FinElib 2017 SFS sähköryhmät) 19.11.2019.
Lataaja: K2170@jamk.fi. Vain Jyväskylän ammattikorkeakoulu käyttöön.

Taulukko 5.36 Opetustilat – Opetusrakennukset

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Erityisvaatimukset
5.36.1	Luokkahuoneet, opetustilat	300	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.36.2	Luokkahuoneet iltaikätyössä ja aikuisopiskelijoille	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.36.3	Auditorio, luentosali	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä erilaisiin A/V -tarpeisiin
5.36.4	Liitutaulut ja kirjoitustaulut	500	19	0,70	80	Suuntaheijastumisia on vältettävä Esiintyjä/opettaja on valaistava sopivalla pystysuoralla valaistusvoimakkuudella
5.36.5	Havaintopöytä	500	19	0,70	80	Luentosaleissa 750 lx
5.36.6	Piirustusallit	500	19	0,60	80	
5.36.7	Piirustusallit taidekoulussa	750	19	0,70	90	5 000 K < T_{CP} 6 500 K.
5.36.8	Teknisen piirustuksen salit	750	16	0,70	80	
5.36.9	Harjoitusallit ja laboratoriot	500	19	0,60	80	
5.36.10	Käsityöluokat	500	19	0,60	80	
5.36.11	Teknisen työn opetustilat	500	19	0,60	80	
5.36.12	Musiikkiluokat	300	19	0,60	80	
5.36.13	ATK-luokat (valikko-ohjaus)	300	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.36.14	Kielistudiot	300	19	0,60	80	
5.36.15	Valmisteluhuoneet ja työpajat	500	22	0,60	80	
5.36.16	Sisäänkäyntihallit	200	22	0,40	80	
5.36.17	Kulkuväylät, käytävät	100	25	0,40	80	
5.36.18	Portaat	150	25	0,40	80	
5.36.19	Oppilaiden yhteistilat ja kokoontumistilat	200	22	0,40	80	
5.36.20	Opettajainhuoneet	300	19	0,60	80	
5.36.21	Kirjasto: kirjahyllyt	200	19	0,60	80	
5.36.22	Kirjasto: lukutilat	500	19	0,60	80	
5.36.23	Opetusvälinevarastot	100	25	0,40	80	
5.36.24	Urheiluhallit, voimistelusalit, uima-altaat	300	22	0,60	80	Katso harjoitustilanteita varten EN 12193.
5.36.25	Kouluruokalat	200	22	0,40	80	
5.36.26	Keittiö	500	22	0,60	80	

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (sop. nro FinElib 2017 SFS sähköryhmiä) 10.11.2019.
Lataaja: K2170@jamk.fi. Vain Jyväskylän ammattikorkeakoulu käyttöön.

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (sop. nro FinElib 2017 SFS sähköryhmiä) 10.11.2019.
Lataaja: K2170@jamk.fi. Vain Jyväskylän ammattikorkeakoulu käyttöön.

Taulukko 5.37 Terveystenhoitotilat – Yleiskäyttöhuoneet

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
			–	–	–	Liian suuret luminanssit potilaan näkökentässä tulee estää
5.37.1	Odotushuoneet	200	22	0,40	80	
5.37.2	Käytävät: päivällä	100	22	0,40	80	Valaistusvoimakkuudet lattiatasolla.
5.37.3	Käytävät: siivous	100	22	0,40	80	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
5.37.4	Käytävät: yöllä	50	22	0,40	80	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
5.37.5	Monikäyttöiset käytävät	200	22	0,60	80	Valaistusvoimakkuus tehtävä/toiminta-alueella
5.37.6	Päivähuoneet	200	22	0,60	80	
5.37.7	Henkilökunnan ja vierailijoiden käytössä olevat hissit	100	22	0,60	80	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
5.37.8	Huoltohissit	200	22	0,60	80	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla

Taulukko 5.38 Terveystenhoitotilat – Henkilökunnan tilat

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
			–	–	–	
5.38.1	Toimistot	500	19	0,60	80	
5.38.2	Henkilökuntatilat	300	19	0,60	80	

Taulukko 5.39 Terveystenhoitotilat – Vuodeosastot, synnytysosastot

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
			–	–	–	Liian suuret luminanssit potilaan näkökentässä tulee estää.
5.39.1	Yleisvalaistus	100	19	0,40	80	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
5.39.2	Lukuvalaistus	300	19	0,70	80	
5.39.3	Yksinkertaiset tarkastukset	300	19	0,60	80	
5.39.4	Tutkimus ja hoitotoimenpiteet	1 000	19	0,70	90	
5.39.5	Yövalaistus, huomiovalaistus	5	–	–	80	
5.39.6	Potilaiden kylpyhuoneet ja WC:t.	200	22	0,40	80	

Taulukko 5.40 Terveystenhoitotilat – Tutkimushuoneet (yleis-)

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
			–	–	–	
5.40.1	Yleisvalaistus	500	19	0,60	90	$4\,000\text{ K} \leq T_{CP} \leq 5\,000\text{ K}$
5.40.2	Tutkimus- ja hoitotoimenpiteet	1 000	19	0,70	90	

Taulukko 5.41 Terveystenhoitotilat – Silmätutkimus

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
			–	–	–	
5.41.1	Yleisvalaistus	500	19	0,60	90	$4\,000\text{ K} \leq T_{CP} \leq 5\,000\text{ K}$
5.41.2	Silmän ulkopuolinen tutkimus	1 000	–	–	90	
5.41.3	Näkö- ja värinäkö tarkastus testitauluilla	500	16	0,70	90	

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (sop. nro FinElib 2017 SFS sähköryhmit) 19.11.2019.
Lataaja: K2170@jamk.fi. Vain Jyväskylän ammattikorkeakoulu käyttöön.

Tämä julkaisu on ladattu SFS Online-palvelusta (sop. nro FinElib 2017 SFS sähköryhmit) 19.11.2019.
Lataaja: K2170@jamk.fi. Vain Jyväskylän ammattikorkeakoulu käyttöön.

Liite 2. Valaisinvertailun tulokset

Titelme	lasketava pinta 6 (UGR)	lasketava pinta 7(UGR)	Työkohte 1 sisustomak- tus (lx)	Työkohte 2 sisustomak- tus (lx)	Työkohte 1 välitön läheisyys	Työkohte 1 tausta-alue valaistusvo-imakaus (lx)	Työkohte 2 välitön läheisyys	Työkohte 2 tausta-alue	Seläin Em	Seläin UO	Katto Em	Katto UO	Hankintakust- amukset €/a	Energikust- amukset €/a	Energikust- amukset max €/a	Hankint- kust- pisteet	Energ.kust- pisteet	PISTEEET	SIA		
VALAISINET: 2kpl: CQ-SP70 10000 827-865 CCT OP 4000K	18,7	18,9	343	289	629	626	386	692	626	358	345	0,66	985	0,25	124	200	162	5	0	135	10
VALAISINET: 2kpl: CQ-SP70 10000 827-865 CCT OP 4000K	18,1	18,6	524	413	921	905	551	959	888	528	637,75	0,53	298	0	91	145	118	0	3	143	4
VALAISINET: 3kpl: CQ-6600600 LED 4600 925-970 CCT/RGB OP 7000K	16,9	17,1	353	366	676	607	364	638	598	362	421,25	0,51	192	0	92	146	119	2	2	134	11
VALAISINET: 3kpl: CQ-5280x200 LED 4500 827-865 CCT MP 6500K	17	16,9	344	255	714	631	373	682	627	373	376,5	0,57	171	0,62	84	134	109	0	6	126	15
VALAISINET: 3kpl: CQ-5600x600 LED 4800 827-865 CCT OP 6500K	17	17,3	355	267	672	602	358	632	592	358	422,75	0,52	196	0,12	75	119	97	4	10	154	1
VALAISINET: 3kpl: CQ-6600600 LED 5000 827-865 CCT MP 6500K	16,8	16,9	399	296	876	760	460	830	754	454	435,75	0,56	199	0	80	128	104	0	7	137	8
VALAISINET: 3kpl: CQ-6600600 5000 827-865 CCT OP 6500K	18,4	18,6	447	336	887	774	463	818	761	462	529,75	0,52	261	0	79,9	128	103,95	0	8	138	7
VALAISINET: 3kpl: Alia QTW 50W v1.2 (asennuskorkeus = 2400mm)	16	16,1	366	283	691	595	374	625	601	365	394	0,56	665	0,74	105	166	135,5	0	0	140	5
VALAISINET: 3kpl: Alia G2 52W 840 140	18	16,9	418	285	900	795	441	916	755	444	450,5	0,52	201	0	97	154	125,5	0	1	131	12
VALAISINET: 3kpl: Combilume Di-hind white Delta TW 2700 6500K -4R- 12085 (ASENNUSKORKEUS 2,4m!!!)	15,8	15,9	348	267	658	559	333	590	563	344	381,75	0,54	629	0,69	118	187	152,5	0	0	130	13
VALAISINET: 3kpl: Multilume Flat Delta TW CLO 600x600 23004	16,2	16	358	261	836	717	435	800	713	428	370,25	0,55	219	0,83	88	140	114	0	5	145	2
VALAISINET: 4kpl: DILED TW 600x600 TL 38W 2700-6500K Ra90 CD-DAB Opal 8246091927	15,9	16	399	321	656	663	414	646	652	403	485,25	0,52	304	0,83	90	143	116,5	0	4	144	3
VALAISINET: 4kpl: RL1-600-LED-AG-DALI-TW 93084	12,7	13,3	307	251	517	544	347	533	539	332	337	0,57	208	0,62	112	178	145	0	0	120	16
VALAISINET: 3kpl: EcoLine Office TW 1200 D/141W 2700-6500K Ra90 CD-DAB DP-SM 8246091985	18,7	17,7	315	230	790	631	403	774	630	404	274,5	0,58	703	0,41	77	122	99,5	3	9	137	8
VALAISINET: 6kpl: RaX 150 TW 28W LED 2700-6500K Ra90 LEDIM 506621207	22,3	22,3	345	276	886	795	537	862	822	549	332,25	0,47	171	0	105	166	135,5	1	0	101	17
VALAISINET: 3kpl: KIC48G G2 P50 WIGI60 LEDIM/TMH NO	17,4	16,8	413	297	992	844	509	953	840	501	412,75	0,485	187	0	86	137	111,5	0	0	130	13
VALAISINET: 3kpl: DTL LED Type 2 Beta Opt CLO TW 29489	18,9	18,9	385	284	791	674	400	755	663	398	372,25	0,595	1123	0,25	94	149	121,5	0	0	140	5

Liite 3. Sitowisen suunnitteluohje



**Ihmiskeskeisen valaistuksen
suunnittelu**
Toimintaohje
Soveltamisala: TATE
Luokitus: Sisäinen
9.3.2020

1/5

Omistaja: Mikael Kopperoinen

Versio	Kuvaus

1 Suunnitteluohje

Tämän Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnitteluohjeen tarkoituksena on auttaa suunnittelijoita löytämään oikeat ja ajankohtaiset suunnittelua koskettavat määräykset ja ohjeet, sekä muodostamaan käsitys tarvittavista lähtötiedoista. Suunnitteluohjeen tukena käytetään kappaleessa 2 esiteltyjä asiakirjoja, sekä opinnäytetyötä aiheesta Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelu erilaisissa kohteissa.

Ihmiskeskeinen valaistus voi olla tilaajan esittämä toive, tai suunnittelija voi ehdottaa sitä tilaajalle. On tärkeää tuoda mahdollisimman aikaisessa vaiheessa esiin erot muunlaiseen valaistusjärjestelmään sekä kustannusten, että muiden ominaisuuksien osalta, jotta ei tule yllätyksiä myöhemmässä vaiheessa. Näin toimimalla vältetään turhalta työltä.

2 Noudatettavat asiakirjat

Sisätyötilojen valaistussuunnittelussa noudatetaan standardia SFS-EN 12464-1, joka määrittelee henkilöiden sisätyötilojen valaistusvaatimukset. Standardin sisältöä on käsitelty kortissa ST 58.02.

Ulkotyöpaikkojen valaistussuunnittelussa katso SFS-EN 12464-2.

Turva- ja poistumistievalaistuksen suunnittelussa katso SFS-EN 1838 ja SFS-EN 50172.

Urheilutilojen valaistuksen suunnittelussa katso EN 12193.

Valaistuksen **energiatohokkuuteen** liittyen katso SFS-EN 15193 ja ST 58.31.

Valaistussuunnittelun **tehtävien sisällön ja laajuuden määrittelyyn** tilaajan ja suunnittelijan välillä voidaan tarvittaessa käyttää ST 41.06 Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo VAL12:ta.

3 Työvaiheet

Projektin kulku ja työvaiheet vaihtelevat kohteen laajuuden ja tilaajan tarpeiden mukaisesti. Hankkeessa toteutettavat tehtävät ja niiden tekijät määritetään erikseen jokaisessa projektissa, ja valaistussuunnittelun tehtäväluettelo VAL12:ta voidaan käyttää tässä apuna. Seuraavassa taulukossa on esitelty valaistussuunnitteluprojektin tyyppilliset työvaiheet, ja kunkin työvaiheen tuotokset sekä valaistussuunnittelijan työtehtävät.

Sähkösuunnittelijan kannattaa kiinnittää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektia huomiota valaistusjärjestelmän mahdollisesti vaatimiin keskuslaitteisiin, reitittämiin, ja niiden tilavarauksiin. Lisäksi pitää huomioida, että ihmiskeskeisen valaistusjärjestelmän valaisimet ovat usein

Omistaja: Mikael Kopperoinen

suhteellisen isotehoisia, ja on muistettava tarkistaa valmistajan antamista tiedoista suurimmat sallitut kappalemäärät suojalaitetta kohden.

TEHTÄVÄ	TUOTOS
Tarveselvitys	Hankepäätös
Hankesuunnittelu	Investointipäätös
Ehdotussuunnittelu	Valittu ehdotussuunnitelma
Yleissuunnittelu	Hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset
Rakennuslupatehtävät	Rakennuslupa
Toteutussuunnittelu	Hyväksytyt toteutussuunnitelmat
Rakentaminen	Vastaanottopäätös
Käyttöönotto	Rakennuksen käyttöön ottaminen

3.1 Tarveselvitys

Tarveselvitysvaiheessa valaistussuunnittelijan työtehtävät ovat avustavia tehtäviä, liittyen olosuhde-, käyttö- ja toimintavaatimusten selvitykseen, sekä peruslähtökohtien määrittämiseen. Lisäksi tehtäviin voi kuulua valaistusjärjestelmän kustannusarvio.

3.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitelman perustana on käyttäjän ja tilaajan tavoitteet. Valaistussuunnittelijan työtehtäviin kuuluu esimerkiksi kohteen energiankulutuksen, tavoitteiden ja saneerauskohteessa nykytilanteen selvittäminen.

3.3 Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnittelussa esitetään vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja, joilla asetetut tavoitteet saavutetaan. Ehdotussuunnittelu voidaan tehdä esimerkiksi yhden toimistohuoneen tai koko rakennuksen osalta.

3.4 Yleissuunnittelu

Mahdollinen ehdotussuunnitelma kehitetään toteutettavissa olevaksi yleissuunnitelmaksi.

3.5 Rakennuslupatehtävät

Rakennuslupatehtävissä avustetaan kohteen arkkitehtia lupa-asioihin liittyvissä määrittelyissä. Valaistussuunnittelijan osalta tämä voi käytännössä olla esimerkiksi osallistuminen ulko- ja aluevalaistuksen lupamateriaalin tekemiseen tai koevalaistukseen.

3.6 Toteutussuunnittelu

Mahdollinen yleissuunnitelma kehitetään toteutussuunnitelmaksi, eli työpiirustuksiksi.

Omistaja: Mikael Kopperoinen

3.7 Rakentaminen

Tässä vaiheessa voidaan toimia valvojan roolissa, ja varmistetaan toteutus sopimusten mukaan, tavoitteiden mukainen lopputulos, ja todetaan järjestelmän valmistuminen vastaanotossa. Sopimuksen mukaan käydään työmaakokouksissa.

3.8 Käyttöönotto

Käyttöönotossa varmistetaan valaistusjärjestelmien toiminta kaikilta osin, ja annetaan käytön opastus. Ihmiskeskeinen valaistusjärjestelmä on todennäköisesti käyttäjälle kokonaan tai osittain vieras asia, joten käyttöönottovaiheen merkitystä ei voi korostaa liikaa. Käyttäjän tietoisuus järjestelmän hyödyistä ja toiminnasta lisäävät merkittävästi positiivisia kokemuksia ihmiskeskeistä valaistusta kohtaan.

Käyttäjälle kannattaa tehdä valaistusjärjestelmästä kirjalliset ohjeet, jotka sisältävät ainakin seuraavat asiat:

1. Valaistuksen käyttäminen
 - a. Mistä valaistusta voidaan ohjata tai säätää
 - b. Mitä ohjaustapoja järjestelmä sisältää
 - c. Miten mahdollinen automaattinen valaistuksen säätö toimii
2. Valaistusjärjestelmän hyödyt
 - a. Standardinmukaisten valaistusvaatimusten täytyminen
 - b. Valaistus parantaa viihtyvyyttä, hyvinvointia, oppimista ja työtehokkuutta muuttuvan valaistusvoimakkuuden ja värilämpötilan myötä.
 - c. Valaistusjärjestelmän positiiviset vaikutukset vuorokausirytmien tukevat päivittäisistä rutiineista suoriutumista

Liitteessä 1 on esimerkki käyttäjälle luovutettavasta tietopaketesta. Muokattava Excel-taulukko löytyy erillisestä kansiossa. (Kansiorakenne määritellään myöhemmin.)

4 Lähtötiedot

Suunnittelijan on määritettävä lähtötietoja riittävän kattavasti, jotta suunnittelu voi onnistua. Seuraava lista on tarkoitettu helpottamaan lähtötietojen keräämistä. Kaikkia tietoja ei ole välttämättä hankkia jokaisessa kohteessa.

1. Käyttäjän/tilaajan asettamat tavoitteet
 - a. Visuaaliset ja toiminnalliset tavoitteet
 - b. Hankintakustannukset
 - c. Käyttöikä
 - d. Energiankulutus
 - e. Käyttäjien muut tavoitteet tai toiveet

Omistaja: Mikael Kopperoinen

2. Tilan asettamat vaatimukset

- a. **Työalueen, välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen määrittely ja dokumentointi.**
Jos näitä ei määritellä ja dokumentoida, on koko aluetta käsiteltävä työalueena. (SFS-EN 12464-1.) Määrittelyn voi tehdä esimerkiksi arkkitehdin kanssa yhteistyössä.
- b. Työpisteiden ja muiden alueiden valaistusvaatimukset
- c. Pintamateriaalit, niiden heijastavuus ja väri
- d. Huonekalut, sijoittelu ja pinnat
- e. Ikkunat ja ilmansuunnat
- f. Kulkureitit ja aulat, turva- ja poistumisvalaistus

3. Ohjausjärjestelmä

- a. Tilojen käyttö
- b. Työskentelyajat
- c. Ohjainlaitteiden sijoittelu
- d. Automaattisten ohjelmien tarve
- e. Vakiovalosäädön tarve
- f. Liike/läsnäolotunnistuksen tarve
- g. Henkilökohtaisen valaistuksen ohjauksen tarve
- h. Tilanteet

5 Valaistuslaskenta

Projektiin valitaan valaisimet, joiden ominaisuudet ja kustannukset kohtaavat sopivassa suhteessa. Valaistuslaskenta suositellaan tehtäväksi DIALux-ohjelmalla, koska vaatimustason mukaan laskennalla halutaan tutkia ainakin työpisteen horisontaalista valaistusvoimakkuutta, sylinterivalaistusvoimakkuutta ja häikäisyarvoa. Edellä mainituille arvoille, kuten myös monille muillekin, löytyy kohteen mukaiset vaatimukset standardista SFS-EN 12464-1.

Valaisinvalmistajiin kannattaa olla herkästi yhteydessä, he tarjoavat mielellään apua valaistuksen mitoittamiseen ja suunnitteluun liittyvissä asioissa.

6 Dokumentaatio

Valaistussuunnittelun tuotoksena syntyvät dokumentit määritellään projektikohtaisesti. Suositus on, että asiakas saisi projektin käyttöönoton yhteydessä luovutuspiirustukset, jotka sisältävät seuraavat dokumentit:

1. Tasopiirustukset
2. Valaistuslaskennan tulokset eri tilanteissa
3. Valaisinluettelo
4. Kirjalliset käyttöohjeet

