



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VALAISTUKSEN ENERGIA TEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Valaistuksen mallintaminen COMBI-hankkeessa

Juha-Pekka Aaltonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

AALTONEN, JUHA-PEKKA:

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät
Valaistuksen mallintaminen COMBI-hankkeessa

Opinnäytetyö 31 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2017

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä palvelurakennuksessa. Valaistus on iso osa rakennuksen energiankulutuksesta, viihtyvyydestä ja turvallisuudesta. Näihin asioihin pystytään vaikuttamaan suunnittelulla, valaisimien ja lamppujen valinnalla, sijoittelulla sekä valaistuksen säädöllä ja ohjauksella. Vaikuttavina tekijöinä tässä työssä olivat valaistuksen ohjaus, pintojen vaikutus, huonekoko, päivänvalo, aurinkosuojaus ja valaistuksen sijoittelu. Tutkimuksessa suunnitteluohjelmanä käytettiin DIALux evo 6.2 -ohjelmaa. Valaistuksen ohjaus luotiin ohjelmaan huonekohtaisesti, jolloin ohjelma laski energiasäästön. Ohjelma käyttää laskennassa standardeja EN 15193 ja EN 12464-1.

Tulosten perusteella valaistuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa monella tapaa. Hyvin suunniteltu valaistuksen ohjausjärjestelmä on merkittävä osa valaistuksen energiatehokkuutta. Huoneen pinta-ala ja pintojen värit vaikuttavat valaistuksen energiankulutukseen, ja ne tulisi huomioida lähes nollaenergiarakentamisessa. Tulosten perusteella energiatehokas valaistus on monen tekijän summa, jolla voidaan parantaa käyttäjä koke-musta.

Tutkimustulosten johtopäätöksinä energiatehokas valaistus luodaan käyttämällä mahdollisimman vähän keinovaloa ja hyödyntämällä tilan ominaisuuksia. Isoissa tiloissa valaistaan se osa, mitä käytetään ja työpisteet kohdevalaistaan voimakkaammin. Keinovaloa voidaan vähentää käyttämällä luonnonvaloa tai parantamalla tilan heijastussuhdetta.

ABSTRACT

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

AALTONEN, JUHA-PEKKA:
Factors affecting the energy efficiency of lighting
Modeling lighting in the COMBI project

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 5 pages
May 2017

The objective of this study was to investigate the factors affecting the energy efficiency of lighting. Lighting is a significant part of a building's energy consumption, comfort and safety. These matters can be influenced by design, selection and placement of lights and lamps, and adjustment and control of lighting. The energy factors investigated in this study were lighting control, surfaces, room size, daylight, shading, and placement of lighting. DIALux evo 6.2 was used to create a lighting control program for each room of a building, and to calculate potential energy savings in the process. The program uses standards EN 15193 and EN 12464-1 in calculations.

Based on the results, the energy efficiency of lighting can be influenced in many ways. A well-designed lighting control system is a significant part of the energy efficiency of lighting. The square area of the room and the colors of the surfaces have an effect on the energy consumption of lighting and should be taken into account in almost zero energy construction. Based on the results, energy-efficient lighting is the sum of many factors that can improve the user experience

As a conclusion, it can be said that in good energy-efficient lighting design, as little artificial light as possible should be used to achieve the required lighting power. Workstations and, in large spaces, the parts that are used the most are illuminated. The use of artificial light can be reduced by natural light or by improving reflectance.

Key words: lighting design, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VALO.....	6
	2.1 Mitä valo on.....	6
	2.2 Päivänvalo.....	7
	2.3 Keinovalo.....	8
3	VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	9
	3.1 Manuaaliohjaus.....	9
	3.2 Läsnaölo-ohjaus.....	9
	3.3 Vakiovalo-ohjaus.....	9
	3.4 Aurinkosuojaus.....	10
	3.5 Tilanneohjaus.....	10
	3.6 Pintojen heijastavuuden vaikutus.....	11
4	ENERGIATEHOKKUUDEN LASKENTA.....	12
	4.1 DIALux evo.....	12
	4.2 Standardit.....	12
	4.2.1 Valaistustehon määrittäminen.....	12
	4.2.2 Valaistusvaatimukset.....	13
5	PALVELURAKENNUSTEN VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN.....	14
	5.1 Yleis- ja työpistevalaistus.....	15
	5.2 Ohjauksen vaikutus.....	16
	5.3 Pinnan heijastussuhteen vaikutus.....	18
	5.4 Pinta-alan vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen.....	20
	5.5 Tilanneohjaus.....	21
6	POHDINTA.....	24
	LÄHTEET.....	26
	LIITTEET.....	27
	Liite 1. Laskentapöytäkirja 1(5).....	27

1 JOHDANTO

Hyvän valaistuksen tunnusmerkkejä ovat ympäristöystävällisyys, energiatehokkuus ja muunneltavuus. Valaistuksen energiatehokkuus on moninaisten tekijöiden summa, johon vaikuttaa kaikki rakennuksen kaavoituksesta ja tilasijoittelusta aina valaistustehoon ja valaistushuoltoon saakka. Kolme merkittävää osa-aluetta valaistuksen energiatehokkuudessa ovat ympäristö ja tila, jota valaistaan, tarpeenmukainen käyttö eli valaistuksen ohjaus ja valaistustapa eli lamppu- ja valaisintekniikka (Kallioharju, K. & Harsia, P. 2015, 17). Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää valaistukseen vaikuttavien tekijöiden osuutta energiatehokkuuteen palvelurakennuksissa. Tässä työssä keskitytään pintojen, huone koon, aurinkosuojauksen ja valaistuksenohjauksen vaikutukseen. Työn tarkoitus on lisätä tietoa energiatehokkuustekijöistä valaistussuunnittelussa.

Valaistuksen energiatehokkuuden laskemiseen on useita mallinnusohjelmia. Tässä työssä käytetään DIALux evo 6.2-ohjelmaa, joka perustuu laskennallisesti standardiin SFS-EN 15193 ja valaistuksen vaatimuksen osalta standardiin SFS-EN 12464-1. DIALux evo valittiin mallinnusohjelmaksi, koska haluttiin selvittää sen uusia ominaisuuksia, erityisesti päivänvalon ja aurinkosuojauksen mallintamisen osalta.

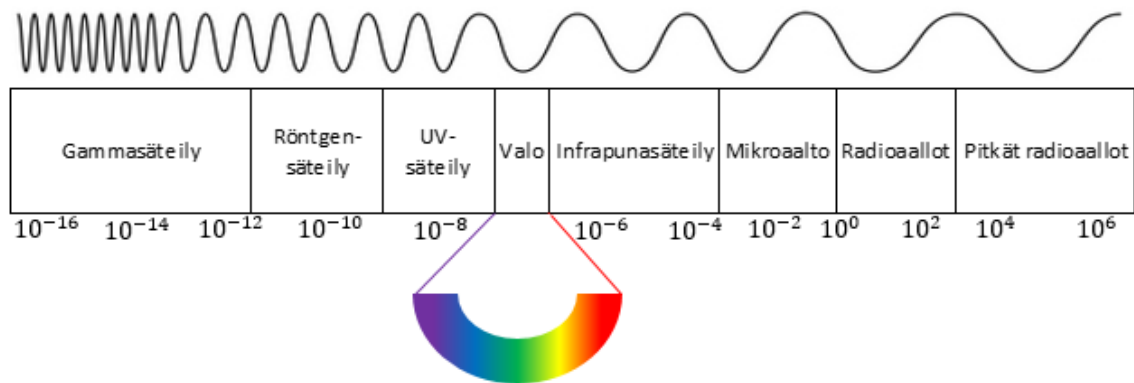
Opinnäytetyö on osa Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings -hanketta (COMBI). COMBI-hanke keskittyy palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien vaikutusten ja ongelmien selvittämiseen ja ratkaisemiseen. Suomessa tavoitteena on rakentaa vuoden 2019 alusta lähtien julkiset rakennukset lähes nollaenergiarakennuksina. Lähes nollaenergiatalo tarkoittaa rakennusta, jonka energiatarpeesta katetaan merkittävä osa rakennuksessa tai sen läheisyydessä tuotettuna uusiutuvana energiana. Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) on hankkeen osatoteuttaja. (COMBI-hanke, 2016)

2 VALO

2.1 Mitä valo on

Valo on sähkömagneettista värähtelyä, joka tuottaa silmiemme kautta aivoissa näköaistimuksen. Ultravioletti- ja infrapunasäteily, röntgensäteet radioaallot ja avaruuden taustasäteily ovat muita sähkömagneettisen energian muotoja. (Arnkil, H. 2007)

Valon osuus sähkömagneettisesta spektristä on kapea. Sähkömagneettisen spektrin aallon pituudet alkava gammasäteilyn millimetrin miljardisosista ja jatkuvat kilometrin pituisiin radioaaltoihin. Ihmisen näkemän valon osuus on aallon pituudeltaan välillä 380 - 760 nanometriä, eli violetista punaiseen valoon (kuva 1).



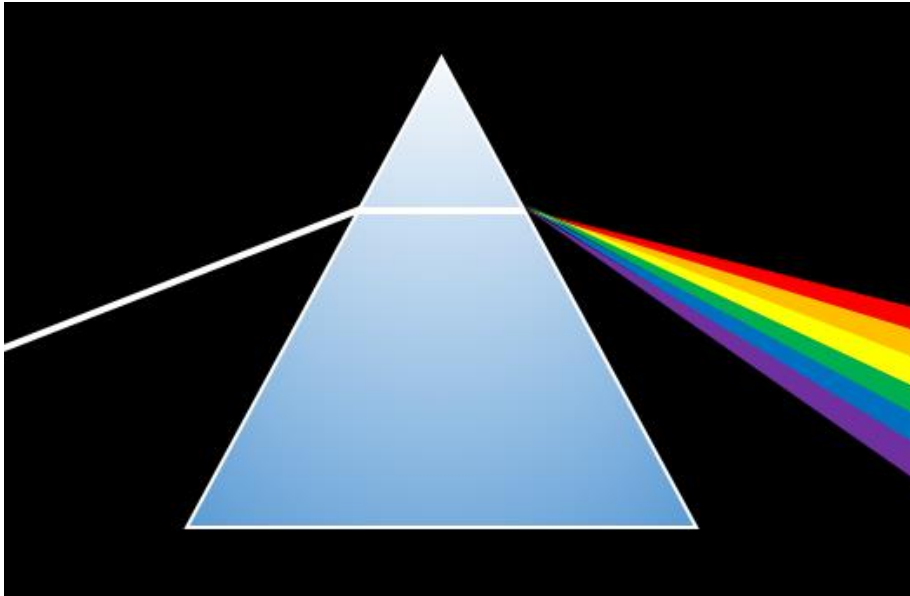
KUVA 1. Valon osuus sähkömagneettisesta spektristä

Valo jakautuu aallonpituuksien mukaan väreihin:

- Violetti 380 – 430 nm
- Sininen 430 – 500 nm
- Syaani 500- 520 nm
- Vihreä 520 – 565 nm
- Keltainen 565 – 590 nm
- Oranssi 590 – 625 nm
- Punainen 625 – 760 nm

Ihmisen näkemä valkoinen valo koostuu kaikista väreistä eli siinä on kaikkia aallonpituuksia väliltä 380 – 760 nm. Valkoisen valon väri sisältö saadaan selville prisman avulla (kuva 2).

Valon värien eri aallonpituudet vaikuttavat sen taittumiseen jolloin valkoisen valon osuessa prismaan pakottaa lasin taitekerroin ulos tulevan valon jakautumaan väreihin. (Simpson R. 2003, 39)



KUVA 2. Prisman taitekerroimen vaikutus valkoiseen valoon.

2.2 Päivänvalo

Päivänvalolla tarkoitetaan samaa kuin termeillä luonnonvalo ja auringonvalo. Auringonvalo sisältää valkoisen valon tapaan kaikkia aallonpituuksia ja sitä kutsutaan neutraaliksi tai värittömäksi valoksi. Oikeasti auringonvalo antaa harvoin neutraalin spektrin, mutta yleisenä normina pidetään keskikesän suoraa auringonvaloa keskipäivällä tai pilvipoudalla. Keinovalon väriominaisuuksia vertaillessa pidetään päivävaloa ideaalina ja täten sopivana yleisvalaistukseen. (Arnkil, H. 2007, 194). Huoneen luonnonvalaistus koostuu kolmesta tekijästä, suoraan taivaalta tulevasta valosta, ulkoa heijastuvasta valosta ja sisäpintoista heijastuvasta valosta (Vikberg, H. 2014, 14).

2.3 Keinovalo

Valon tuottamiseen on nykyisin useita lampputyyppejä, kuten esimerkiksi loistelamppu, halogeenilamppu LED-lamppu ja käytöstä poistuvat hehkulamput. Loistelampuilla pystytään toteuttamaan yleisvalaistus energia- ja kustannustehokkaasti, sekä työtasoille tuomaan lisävalaistusta kuten keittiössä. Halogeenilamppu soveltuu kohdevalaistukseen, koska niiden kapea valokeila on helposti suunnattavissa. Hehkulamput tuottavat valoa 5 prosenttia kuluttamastaan sähköstä ja loput se tuottaa lämmöksi, tämän takia niiden käyttö on vähäistä. Energiatohokkuudessa paras vaihtoehto on LED- valonlähteet. LED on lyhenne sanoista Light Emitting diode eli Hohtodiodi. Nimensä mukaisesti LED on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa sähkövirran johduttua sen läpi. Työssä käsitellään energiatohokasta valaistusta, joten kaikki valaisimet sisältävät LED-valonlähteet.

Valonlähteen ideaalit väriomaisuudet ovat samat kuin auringonvalolla, mutta näiden ominaisuuksien jäljittäminen on vaikeaa, eikä välttämättä tarpeellista. Valonlähteen valintaan vaikuttavat monet tekijät esimerkiksi käyttövarmuus, taloudellisuus, energiatohokkuus, ergonomisuus ja visuaalisuus. Valonlähteiden vaatimukset ovatkin johtaneet kehitykseen, missä väriominaisuuksiltaan auringonvalon tasoista valoa ei suinkaan tuoteta.

Valaistusvoimakkuudella on suuri vaikutus näkemiseen ja ihmiseen. Pitkäkestoinen työskentely alhaisessa valaistuksessa saattaa aiheuttaa väsymystä ja päänsärkyä. Tarkkuutta vaativaan työhön suositellaankin yli 500 luksia ja alueille, jossa oleskellaan pitkiä aikoja, tulee olla vähintään 200 luksia. (Arnkil, H. 2007, 194).

Väriämpötilalla on psykologinen vaikutus viihtyvyyteen ja tunnelmaan. Alhainen väriämpötila (3500 K) ja valaistusvoimakkuus (300 luksia) koetaan rauhoittavaksi ja sitä suositellaan käytettäväksi iltaisin ennen nukkumaan menoa. Yli 5000 K väriämpötila eli neutraali tai sinertävä valaistus koetaan piristäväksi ja viihtyisäksi ja tämän tyylistä valaistusta suositellaankin työpaikoille. Sininen valo katkaisee melatoniini eli unihormonin tuotantoa, joten sillä on piristävä vaikutus ja sitä käytetäänkin kirkasvalolampuissa, joita on hyvä käyttää esimerkiksi aamuisin. (Arnkil, H. 2007, 194).

3 VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Valaistuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa monella tapaa. Valaistuksenohjaus on tärkeimpiä asioita, mutta myös ympäristöllä, johon valaistusta suunnitellaan, on suuri merkitys energiatehokkaaseen valaistusratkaisuun. Tilan pintojen väritys vaikuttaa valaistustehoon. Valaistuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa myös aurinkosuojauksella.

3.1 Manuaaliohjaus

Valaistuksen manuaaliohjaus on kytkimellä toteutettu päälle/pois -ohjaus. Manuaaliohjauksen energiatehokkuus riippuu käyttäjästä, mikä on varsinkin yleisissä tiloissa haastavaa saada toimimaan. Manuaali-ohjauksella tehty valaistus antaa vertailu arvon energiatehokkuudelle. Manuaaliohjaus on kertoimella 0,90 (RakMK D5, 17).

3.2 Läsnaolo-ohjaus

Läsnaolo-ohjaus perustuu erityyppisten liiketunnistimien käyttöön. Ohjaukselle saavutettu energiansäästö on riippuvainen ohjatun tilan käytöstä. Läsnaolo-ohjaus syyttää valot automaattisesti tilassa, jossa on joku paikalla. Valot sammuvat automaattisesti asetetun viiveen jälkeen, kun tilan tunnistin ei huomaa enää henkilöitä. Nykyisin läsnaolotunnistimia saa erilaisilla tunnistustekniikoilla, joita on lämpösäteily, ääni, ultraäänisignaali ja mikroaalto. Tunnistustekniikoilla on omat hyötynsä ja ne kannattaa valita tilan mukaan. Läsnaolotunnistimilla voidaan ohjata useita tai yksittäisiä valaisimia tilan käytön mukaan. Läsnaolo-ohjaus soveltuu etenkin tiloihin, joissa käydään satunnaisesti tai sillä voidaan täydentää laajempaa ohjausta. Läsnaolotunnistimen ohjauskerroin on 0,75 (RakMK D5, 17). (ST 58.32. 2016, 12)

3.3 Vakiovalo-ohjaus

Vakiovalo-ohjauksen tarkoitus on käyttää luonnonvaloa osana valaistusta. Vakiovalo-ohjaus säättää valaistusta asetetun valotason mukaisesti. Kun luonnonvaloa on paljon vähentää vakiovalo-ohjaus keinovalon määrää ja päinvastoin. Silmää miellyttävän ratkaisun saa asettamalla säädön riittävän hitaaksi ja epätarkaksi. Vakiovalo-ohjaus soveltuu parhaiten

ikkunan läheisyydessä olevaan valaistukseen. Hyvin toteutetulla vakiovalo-ohjatulla valaistuksella päästään vertailutasosta riippuen jopa 60 % energiansäästöön. Vakiovalo-ohjaus voidaan toteuttaa yksinkertaisesti valaisimilla missä on sisäänrakennettu elektroninen liitäntälaitte ja valoisuusanturi. Vakiovalo-ohjausta voidaan täydentää läsnäolo-ohjauksella, mikä vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen. Vakiovalotunnistimen ohjauskerroin on 0,80 (RakMK D5, 17). (ST 58.32. 2016, 12)

3.4 Aurinkosuojaus

Aurinkosuojauksella voidaan vaikuttaa merkittävästi huoneen viihtyvyyteen ja energiatehokkuuteen jäähdytys-, lämmitys- ja valaistus-mielessä. Aurinkosuojaus ehkäisee häikäistymistä ja säilyttää näköyhteyden ulos vuodenajasta riippumatta, mikä parantaa viihtyvyyttä. Aurinkosuojauksella on myös parantava vaikutus ikkunan lämmöneristykseen. Työssä tarkoituksena on keskittyä aurinkosuojauksen energiasäästöihin valaistuksen osalta. Aurinkosuojauksen tarkoitus on päästää luonnonvaloa sisään, kun aurinko paistaa jolloin sisätilan keinovaloja voidaan himmentää ja näin päästään kiinni energiansäästöihin. Ihanne-tilanteessa talotekniikan automaatio tarkastelee valon määrää sisällä ja ulkona ja säätää automaattisesti aurinkosuojausta ja sisätilan valaisimia asetetun luksimäärän mukaan eli ohjauksessa on yhdistetty automaattinen aurinkosuojaus ja vakiovalo-ohjaus. (Beck. W, ym. 39).

3.5 Tilanneohjaus

Tilannevalaistuksen ohjauksessa ideana on käyttää valoa siellä missä sitä tarvitaan. Tilanne on valaistusryhmän ennalta määritelty ohjaus, mikä voidaan kutsua tilanepainikkeella. Valaistustilanteisiin on määritelty valaisimien valotasot. Valaistustilanteet nimitään käyttötarkoituksen mukaan. Tilanneohjauksen hyötynä on muunneltavuus ja energiansäästö, sekä visuaalisuus, jota tässä työssä ei ole huomioitu. Visuaalinen hyöty tulee esiin esimerkiksi tiloissa, joissa käytetään projektoria, kuten auditorio- ja neuvottelutiloissa. Tässä työssä tilanneohjattuihin tiloihin on suunniteltu yleisvalaistus, jota voidaan ohjata työpisteiden mukaan, mikä on energiatehokasta isommissa monikäyttöisissä huoneissa. Työssä tarkastellaan enemmän tilanneohjausta energiansäästön näkökulmasta. (ST 58.32. 2016, 12)

3.6 Pintojen heijastavuuden vaikutus

Heijastavan pinnan rakenne ja väri vaikuttavat valon käyttäytymiseen voimakkaasti ja suunnittelijan tulisi huomioida niiden absorptio ja heijastavuus osana valaistussuunnittelua. Pinnoille määritellään heijastussuhde, johon vaikuttaa pinnan väri ja materiaali. Vaaleat pinnat heijastavat yleensä paremmin valoa kuin tummat pinnat. (Vikberg, H. 2014. 57)

Pintojen vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen tutkittiin työssä muuntamalla katto-, seinä- ja lattiapintojen heijastussuhdetta. Työssä normaaleiksi heijastusarvoiksi annettiin katto 70%, seinät 50% ja lattia 20 % standardin EN 12464-1 mukaisesti. Työssä haettiin ääripäitä, joten huoneiden pintojen heijastussuhdetta vaihdettiin tummien tilojen laskennassa arvoihin katto 20%, seinä 20% ja lattia 20% ja vastaavasti vaaleiden tilojen laskennassa arvoihin katto 80%, seinä 80% ja lattia 80%.

4 ENERGIA TEHOKKUUDEN LASKENTA

4.1 DIALux evo

DIALux evo on valaistuslaskentaohjelma, joka keskittyy valaistukseen ja sen ohjaukseen. Ohjelma käyttää laskennassa standardeja EN 15193 ja EN 12464-1. DIALux evo:lla tehdään 3D-mallinnus rakennuksesta, huoneista ja huonekaluista, jonka jälkeen mallinnukseen voidaan luoda valaistus. Ohjelmalla voidaan antaa rakennukselle ja huoneille käyttöprofiilit, sekä sijainti maapallolla. Valaistuksen ohjaus luodaan ohjelmaan huonekohtaisesti, jolloin ohjelma laskee energiasäästön standardin antamilla ohjaukertoimilla. Päivänvalon pystyy mallintamaan ohjelmalla, mutta energiankulutus lasketaan standardin antamilla kertoimilla eikä todellista päivänvalomallinnusta käyttäen. Työssä käytetään ohjelmaversiota DIALux evo 6.2. (DIALux evo-manual. 2016)

4.2 Standardit

4.2.1 Valaistustehon määrittäminen

DIALux evo-ohjelma käyttää laskemiseen standardin EN 15193 sääntöjä. EN 15193 on eurooppalainen standardi rakennusten ja valaistuksen energiatehokkuudesta. Standardin laskentaa voidaan käyttää hetkellisen valaistusenergian laskemiseksi, jota käytetään koko rakennuksen valaistuksen energiakulutuksen arvioimiseksi. Standardi ei huomio laskennassa valaisimiin sisällymätöntä lepokulutusta.

Standardin tarkoitus on asettaa yhtäläiset edellytykset ja menettelyt julkisten rakennusten valaistuksen energiatarpeen määrittämiseksi. Standardi määrittää myös laskentamenetelmän rakennuksen sisävalaistuksen energian kulutukselle numeraalisella valaistuksen energiatehokkuusindikaattorilla eli LENI-luvulla.

LENI tulee sanoista Lighting Energy Numeric Indicator. LENI-luku kuvaa rakennuksen vuotuista valaistusenergian kulutusta neliö kohden (kWh/m²/vuosi). LENI-luvun avulla voidaan vertailla käyttötarkoitukseltaan samanlaisten, mutta kooltaan tai rakenteeltaan erilaisten rakennusten valaistuksen energiakulutusta. (SFS-EN 15193. 2008. 10)

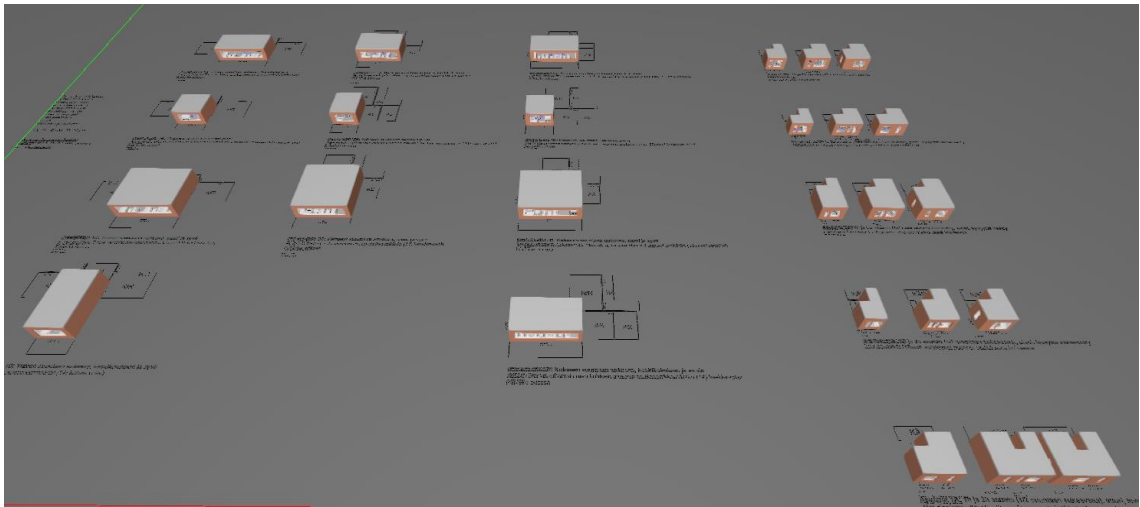
4.2.2 Valaistusvaatimukset

EN 12464-1 on eurooppalainen standardi sisätilojen työkohteiden valaistuksesta. Standardi määrittää sisätilojen valaistusvaatimukset normaalinäkökykyisen henkilön näkötehokkuuden ja näkömukavuuden tarpeisiin. Standardi käsittelee valaistusvaatimuksia lähien ihmisten turvallisuudesta ja terveydestä sisätiloissa. Standardissa käydään läpi näköympäristön tekijät, mitkä jakautuvat valaistusvoimakkuuteen, luminanssijakaumaan, valon suuntaukseen, värinasto-ominaisuuksiin, häikäisyyn ja välkyntään. (SFS-EN 12464-1. 2011. 10)

5 PALVELURAKENNUSTEN VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Tutkimuksen tarkoitus on tarkastella valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus tehtiin DIALux evo:lla, johon mallinnettiin palvelutalon oleskeluhuoneita, sekä asuinhuoneita. Huoneita tuli yhteensä 26 kappaletta (kuva 3.)

Työhön valittiin 26 nykyaikaisten palvelutalojen mallihuonetta. Huoneista 11 on tarkoitettu vanhainkodin oleskelutilaksi ja 15 asuinhuoneistoksi. Huoneet kalustettiin arkkitehtikuvien perusteella ja työpöydille ja muille työalueille asetettiin laskentapinnat. Huoneiden koko ja ikkunallisten seinien määrä vaihtelivat. Työssä huoneet suunniteltiin siten että ikkunoita on yhdellä, kahdella ja kolmella seinällä, ikkuna-alan ja suunnan vaikutuksen tarkastelemiseksi. Huoneiden käyttöprofiiliksi asetettiin päiväkäyttöä 2543 tuntia vuodessa, yö-käyttöä 207 tuntia vuodessa ja poissaolokerroin 0.50. Oleskelutilojen vaa-dittavaksi luksimääräksi asetettiin 500 lx ja asuintiloissa 300 lx.



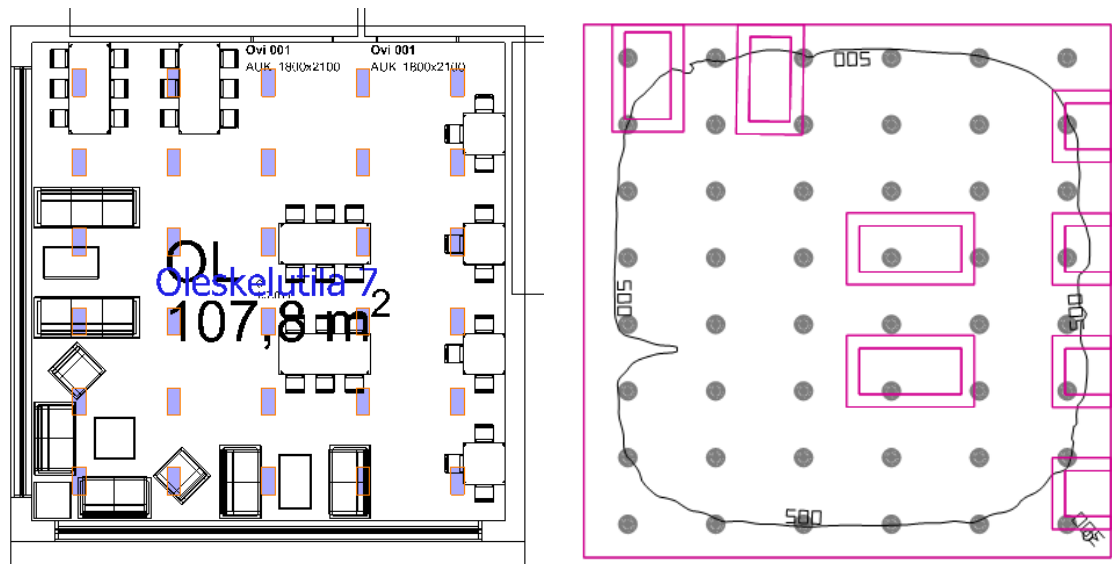
KUVA 3. DIALux evo-ohjelmalla mallinnetut rakennukset

Huoneisiin tehtiin yleis- ja työvalaistus manuaaliohjauksella, mitä pidettiin vertailuarvona energiatehokkuutta tarkastellessa. Kaikki tulokset on lisätty laskentapöytäkirjaan, jonka pohjalta työssä esitellyt kuvat on tehty (liite 1). Huoneiden käyttöprofiili ja valaisimet pidettiin samoina kaikissa tarkasteluissa.

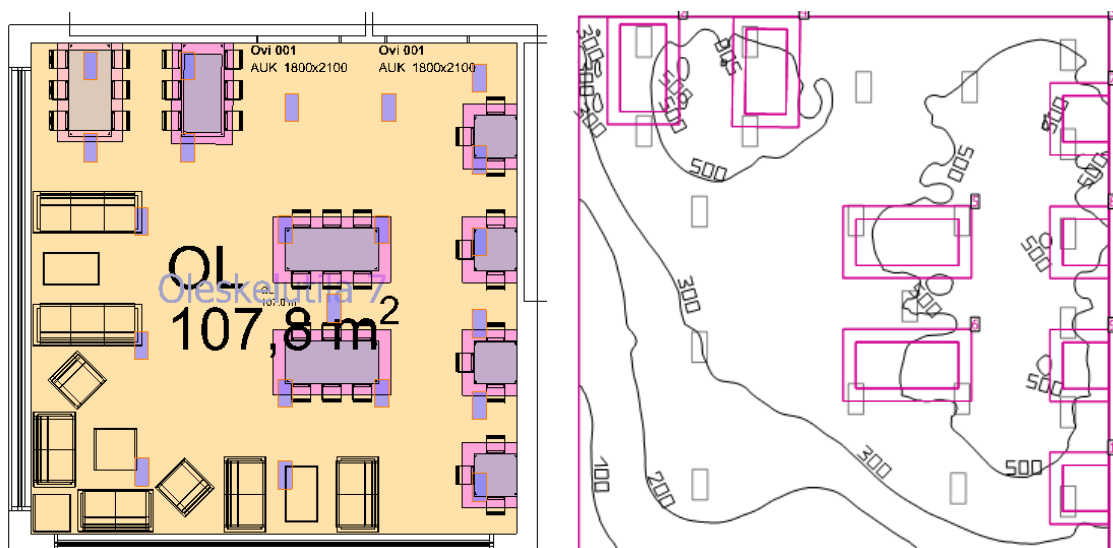
5.1 Yleis- ja työpistevalaistus

Kaikkiin 26 huoneeseen tehtiin yleis- ja työpistevalaistus. Oleskelutiloissa käytettiin Discovery Evo -valaisimia, jotka on teholtaan 14 W. Asuintiloissa käytetään Pozzo Ceiling-valaisimia, jotka on teholtaan 39 W. Molemmat valaisimet on varustettu LED-lampuilla. Valaisimet on otettu Fagerhult:in kotisivuilta.

Yleisvalaistuksen tarkoituksena oleskelutiloissa oli saada huoneeseen tasainen 500 luksin valaistus, mikä on standardin mukainen työpisteille vaadittava luksimäärä. Asuintiloissa yleisvalaistus suunniteltiin 300 luksiin, mikä on yleinen määrä vähäistä työskentelytarkuutta vaativissa tiloissa. Yleisvalaistus luotiin tiloihin asettamalla valaisimet tasaisesti huoneen kattoon (Kuva 4).



KUVA 4. Valaisimien jaotteleminen ja luksin jakauma yleisvalaistuksessa oleskelutilassa.

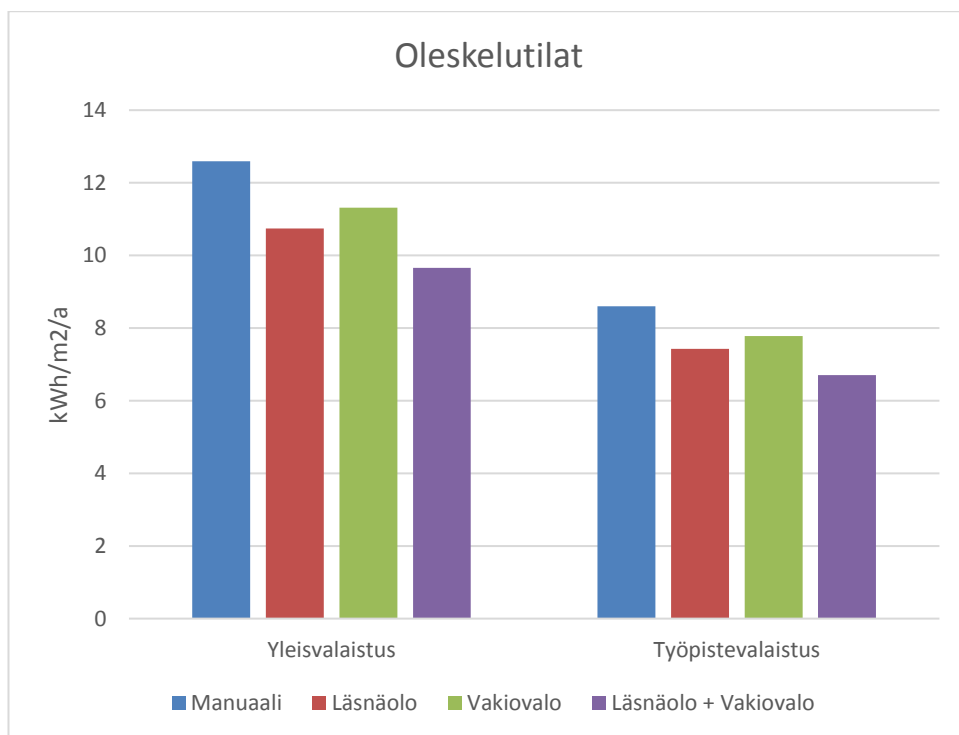


KUVA 5. Valaisimien jaotteleminen ja luksin jakauma työpistevalaistuksessa oleskelutilassa.

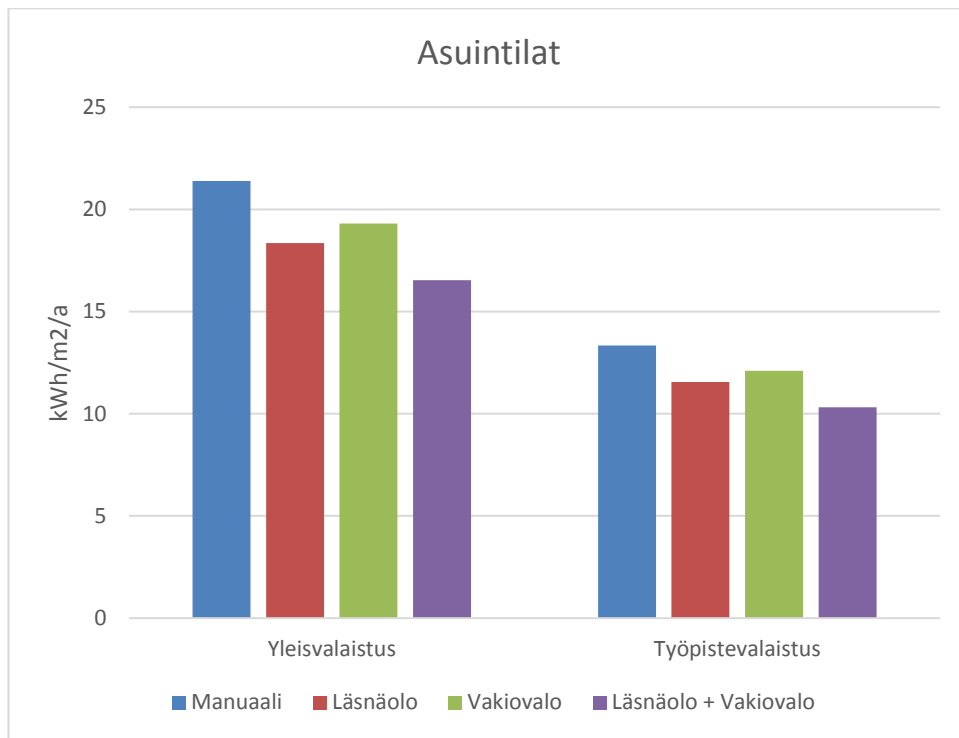
Työvalaistusta varten luotiin erilliset laskentapinnat pöydille, joissa voitaisiin tehdä tarkkuutta vaativaa työskentelyä. Oleskelutiloissa luksivaatimus pidettiin 500 luksissa (kuva 5). ja asuintiloissa 300 luksissa, mutta vain työpisteillä. Valaisimet aseteltiin kattoon työpisteiden päällä huolehtimatta huoneen luksikeskiarvosta.

5.2 Ohjauksen vaikutus

Ensimmäisissä mittauksissa tarkasteltiin ohjauksen vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen. Huoneisiin vaihdettiin läsnäolo- ja vakiovalo-ohjaukset yleis- ja työvalaistukseen, sekä näiden ohjausten yhdistelmä.



KUVIO 1. Ohjauksen vaikutus oleskelutiloissa



KUVIO 2. Ohjauksen vaikutus asuintiloissa

DIALux evo:lla tarkasteltuna valaistuksenohjaus vaikuttaa energiatehokkuuteen ohjaukskertoimen mukaan. Ohjaukskertoimen arvo riippuu valaistuksen ohjaustavasta:

- Manuaaliohjaus 0,90
- Läsnaolotunnistin 0,75
- Vakiovalo-ohjaus 0,80
- Läsnaolotunnistin ja päivänvalo-ohjaus 0,70

Työssä manuaaliohjaus pidetään vertailuarvona, koska se on vähimmäisvaatimus työn huoneisiin. Työssä haluttiin tutkia ikkunoiden sijainnin ja pinta-alan vaikutusta vakiovalo-ohjauksen energiatehokkuus vaikutukseen, mutta tällä ohjelma-versiolla ei sitä voitu tehdä.

Ohjaustapojen vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen tulee suoraan ohjaukskertoimista. Kuvioissa 1 ja 2 kuvataan ohjauksen vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen.

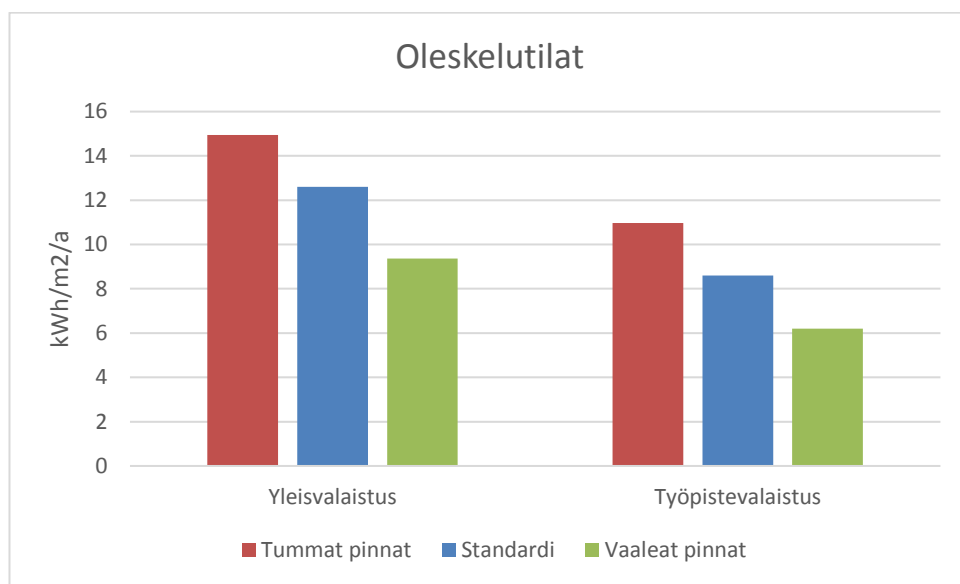
Manuaaliohjauksen vaikutus 0 prosenttia, koska sitä käytetään vertailuarvona:

- Manuaaliohjaus 0 %
- Läsnaolotunnistin - 15 %
- Päivänvalo-ohjaus - 10 %
- Läsnaolotunnistin ja päivänvalo-ohjaus - 25 %

Ohjaustavan vaikutus lasketaan ohjauskertoimella, minkä takia ylhäällä mainitut alenema prosentit pätevät oleskelutiloissa ja asuintiloissa yleisvalaistuksessa ja työpistevalaistuksessa.

5.3 Pinnan heijastussuhteen vaikutus

Pintojen vaikutuksessa katsottiin kahta ääripäätä, pientä ja suurta heijastussuhdetta, ja verrattiin niitä standardin mukaiseen pintojen heijastussuhteeseen. Mittauksissa muutettiin katon, seinien ja lattian heijastussuhdetta, tummassa kaikki pinnat 20 % ja vaaleassa 80 %. Standardin mukaiset heijastussuhteet ovat katto 70 %, seinät 50% ja lattia 20%. Pintojen vaikutusta tarkasteltiin yleis- ja työvalaistuksella manuaali-ohjauksella.



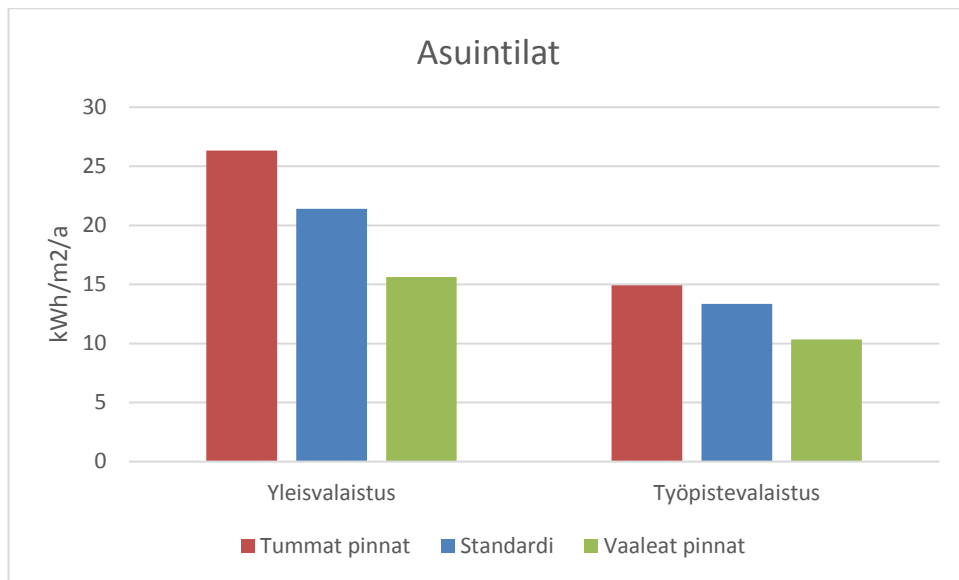
KUVIO 3. Heijastussuhteen vaikutus oleskelutiloissa

Kuviossa 3 on tarkasteltu heijastussuhteen vaikutusta oleskelutiloissa. Yleisvalaistuissa oleskelutiloissa heijastuspintojen vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen:

- Standardi 0 %
- Pieni heijastussuhde (tummat pinnat) + 18 %
- Suuri heijastussuhde (vaaleat pinnat) - 26 %

Työpistevalaistuissa oleskelutiloissa heijastuspintojen vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen:

- Standardi 0 %
- Pieni heijastussuhde (tummat pinnat) + 27 %
- Suuri heijastussuhde (vaaleat pinnat) - 28 %



KUVIO 4. Heijastussuhteen vaikutus asuintiloissa

Kuviossa 4 on tarkasteltu heijastussuhteen vaikutusta asuintiloissa. Yleisvalaistuisissa asuintiloissa heijastuspintojen vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen:

- Standardi 0 %
- Pieni heijastussuhde (tummat pinnat) + 23 %
- Suuri heijastussuhde (vaaleat pinnat) - 27 %

Työpistevalaistuisissa asuintiloissa heijastuspintojen vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen:

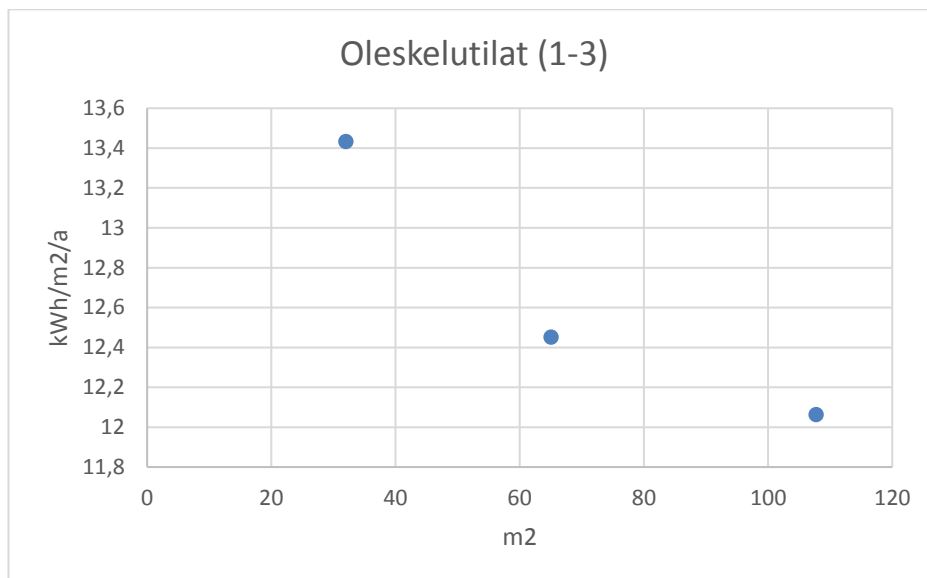
- Standardi 0 %
- Pieni heijastussuhde (tummat pinnat) + 12 %
- Suuri heijastussuhde (vaaleat pinnat) - 22 %

Työssä käytetyt valaisimet ovat suoraan valaisevia, joten vaikutuksen ei odota olevan suuri, koska ohjelmassa tarkasteltuna laskentapinnan ja valaisimen välimatka on lyhyt. Tietenkin työssä käytetyt tumman ja vaalean pinnan heijastussuhteet ovat ääritapauksia, mutta valaistuksen energiatehokkuuden kannalta suuria heijastussuhteita olisi hyvä suosia. Varsinkin tiloissa joissa käytetään epäsuoraa valaistusta on vaaleiden pintojen merkitys suuri, koska heijastussuhteen vaikutus työpinnolle saapuvaan valon määrään on merkittävä.

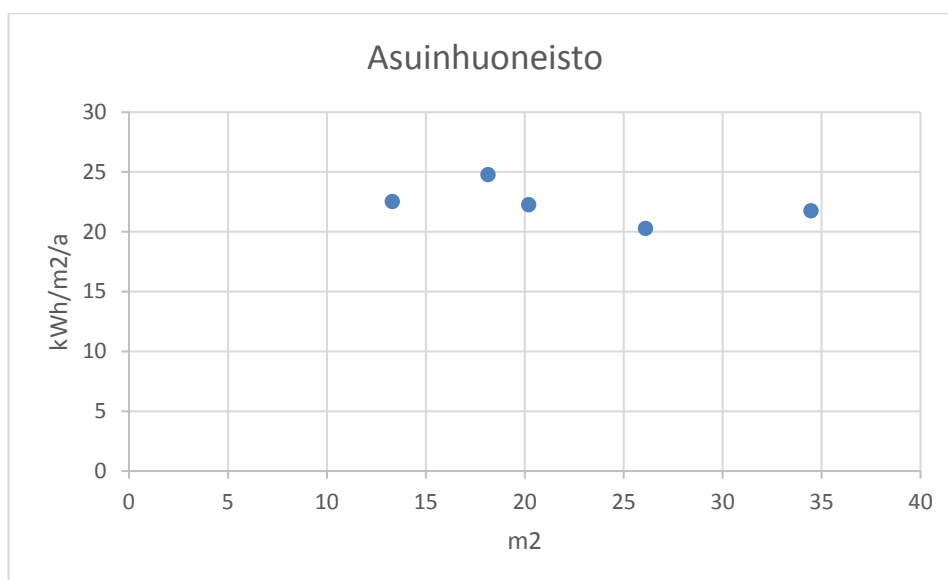
5.4 Pinta-alan vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen

Osa mallitiloissa on pinta-alaltaan erikokoisia. Tarkoitus oli tarkastella pinta-alan vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen. Oleskelutiloissa huoneala vaihteli 32-108 m² välillä ja asuintiloissa 13-35 m². Oleskelutiloista valittiin kolme huonetta ja asuintiloista viisi huonetta tarkasteluun.

Oleskelutiloissa todetaan, että pinta-alan kasvaessa LENI-luku pienenee. Kuviosta 5 voidaan päätellä, että valaistuksen hyötysuhde energiatehokkuuden kannalta paranee huoneen pinta-alan kasvaessa. Oleskelutilat olivat muodoltaan suorakulmaisia, jolloin huoneisiin ei tule vaikeasti valaistavia kulmia. Isompaan tilaan vaaditaan suhteessa vähemmän valaisimia tai valotehoa.



KUVIO 5. Pinta-alan vaikutus LENI-lukuun oleskelutilassa



KUVIO 6. Pinta-alan vaikutus LENI-lukuun asuutilassa

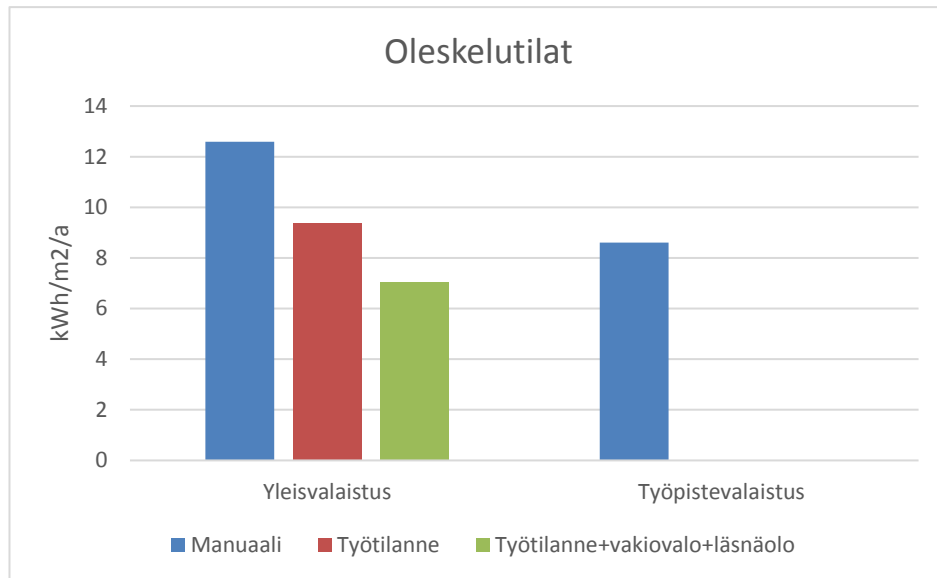
Kuviosta 6 voidaan todeta, että asuutiloissa LENI-luku pysyi samana tai jopa nousi pinta-alan kasvaessa. Asuutilojen huoneet eivät olleet suorakulmaisia, minkä takia valaisimia tarvittiin enemmän tasaisen valaistuksen luomiseksi. Pieni pohjapinta-ala vaikuttaa siihen, että yhden valaisimen lisääminen huoneen muodon takia näkyy merkittävästi tuloksessa.

5.5 Tilanneohjaus

Tilan valaisutapa vaikuttaa energiakulutukseen huomattavasti molemmissa tilatyypeissä. Tilannevalaistuksen ideana on yhdistää yleisvalaistuksen ja työpistevalaistuksen hyödyt ja toteuttaa niillä monipuolinen helposti muokattavissa oleva valaistus. Yleisvalaistuksessa etuna on huoneen joustava käytettävyys eli valoa on tarpeeksi koko huoneessa. Työpistevalaistuksessa selkein etu on energiatehokkuus. Tilanneohjatulla valaistuksella voidaan joustavasti luoda valaistus tilanteen mukaan, mikä tuo huoneelle monikäyttöisyyttä ja valaistukselle energiatehokkuutta. Tilannekohtaisten valaistuksien tueksi voidaan lisätä myös läsnäolo- ja vakiovalotunnistimet, jolloin valaistus saadaan energiatehokkaasti vaadittavaan tilaan. Kuvioissa 7 ja 8 tarkastellaan yleisvalaistuksen, tilannevalaistuksen ja työpistevalaistuksen energiatehokkuutta.

Tilannevalaistus luotiin yleisvalaistuksessa asetettuihin valaisimiin. Työpisteille asetettiin laskentapinnat, jolla voitiin tarkkailla vaadittavaa luksimäärä pöydillä. Työpisteiden

päällä olevat valaisimet pidettiin 100 prosentin valaistusteholla ja siirryttäessä työpisteeltä pois päin valaistusta himmennettiin mahdollisimman jyrkästi, kuitenkin siten että työpisteellä valaistus pysyi vaadittavan voimakkaana. DIALux evo ei laskenut valaistuksen tehoa himmennysten mukaan, joten se laskettiin käsin prosenttien mukaan.



KUVIO 7. Tilannevalaistuksen vaikutus

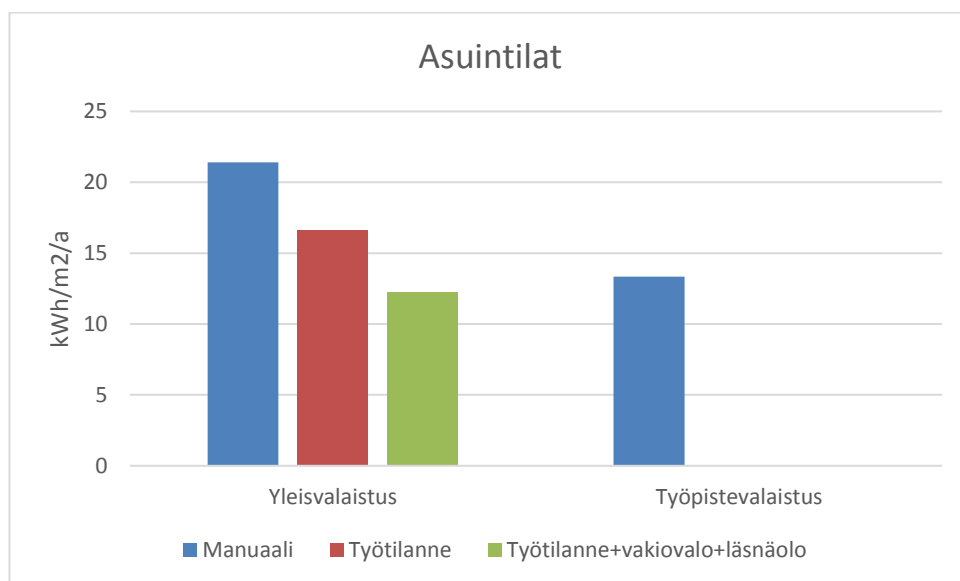
Valaistustavan vaikutus energiatehokkuuteen oleskelutiloissa:

Yleisvalaistus manuaaliohjauksella 0 %

Työtilannevalaistus manuaaliohjauksella 25 %

Työtilannevalaistus vakiovalo- ja läsnäolo-ohjauksella 44 %

Työpistevalaistus manuaaliohjauksella 32 %



KUVIO 8. Tilannevalaistuksen vaikutus

Valaistustavan vaikutus energiatehokkuuteen asuintiloissa:

Yleisvalaistus manuaaliohjauksella 0 %

Työtilannevalaistus manuaaliohjauksella 23 %

Työtilannevalaistus vakiovalo- ja läsnäolo-ohjauksella 43 %

Työpistevalaistus manuaaliohjauksella 38 %

6 POHDINTA

Tutkimus on osa COMBI- hanketta, jonka tarkoitus on palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien vaikutusten ja ongelmien selvittämiseen ja ratkaisemiseen. Opinnäytetyön aihe oli selvittää valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin DIALux evo:lla. Työn tavoitteena on selvittää valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutuksen suuruusluokkaa. Vaikutusten suuruusluokan tutkimisen tarkoitus on asettaa asiat tärkeysjärjestykseen, eli mitä valaistussuunnittelussa kannattaa huomioida ja mitä jättää pienempään arvoon.

Yleisvalaistus manuaaliohjauksella on muodostanut tässä työssä lähtötason (0-arvon), johon muita valaistusratkaisuja on verrattu. Yleisvalaistus manuaaliohjauksella on helppo toteuttaa ja asettaa standardin vaatimusten mukaiseksi. COMBI- hankkeen tarkoitus on selvittää lähes nollaenergiarakennuksen mahdollistava tekniikka, mikä tarkoittaa valaistuksen osalta, että manuaaliohjattua yleisvalaistusta energiatehokkaampia tapoja täytyy kartoittaa.

Työssä yksi mielenkiinnon kohteista oli selvittää, voidaanko DIALux evo:lla tarkastella tarkemmin valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Manuaali- ja läsnäolo-ohjauksen vaikutus energiatehokkuuteen tulee standardista, mikä on ymmärrettävää, koska niiden käyttöä on vaikea tarkasti mallintaa. Uusimpaan versioon kehitetty päivänvalon mallintaminen antoi olettaa, että päivänvalon ja aurinkosuojauksen vaikutuksia energiatehokkuuteen voitaisiin laskea. Päivänvalo pystytään mallintamaan, mutta sen vaikutusta vakiovalo-ohjaukseen ei voida käyttää, mikä vaikuttaa myös aurinkosuojauksien energiatehokkuuden tarkasteluun.

Työssä haettiin heijastussuhteen vaikutuksen suuruusluokkaa valaistuksen energiatehokkuuteen. Verrattaessa suurella heijastussuhteella (vaalea) olevat pinnat ovat energiatehokkaampia kuin pienellä heijastussuhteella (tumma) olevat pinnat. Värien ja pintamateriaalien tulee olla tilan käyttötarkoitukseen sopivat, mutta valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseksi suurella heijastussuhteella olevia pintoja kannattaisi suosia.

Työssä tarkasteltiin huonekoon vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen. Oleskelutilojen osalta voidaan todeta, että pinta-alan kasvaessa valaistuksen energian kulutus ei

kasva samassa suhteessa. Asuintilojen mittauksista voidaan todeta, että monikulmaiset huoneet eivät ole energiatehokkuuden kannalta optimaalisia.

Mittauksissa todettiin energiatehokkuuden kannalta tilannevalaistus paremmaksi kuin yleisvalaistus. Työpistevalaistukseen verrattaessa tilannevalaistus on muunneltavampi huonetilan käyttötarkoituksen vaihtuessa. Tilannevalaistus on joustava, energiatehokas ja sitä kautta kokonaistaloudellinen valaistuksen ohjausratkaisu. Valaistussuunnittelussa tulee siirtyä entistä enemmän pelkästä yleisvalaistuksen ja työpistevalaistuksen suunnittelusta tilojen monikäyttöisyyden huomioivaan tilannevalaistukseen.

Lähes nollaenergiataloja kehitettäessä on valaistussuunnittelussa tärkeä hyödyntää valaistuksen mallinnustyökaluja, jotta voidaan varmistua käyttäjäystävällisistä ja energiatehokkaista ratkaisuisista. Tässä työssä käytetty suunnitteluohjelma DIALux evo 6.2 mahdollisti valaistuksen visuaalisen tarkastelun ja energiatehokkuuden arvioinnin erilaisissa huonetiloissa. Alkuperäisenä tavoitteena oli tutkia päivänvalon vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen, mutta ohjelmasta puuttuu mahdollisuus laskea mallinnetun päivänvalon yhteys energiatehokkuuteen.

Valaistukseen käytettävä energia on merkittävä osa sähkönkulutusta, siksi se tulee suunnitella käytön mukaan joustavaksi ja energiatehokkaaksi. Hyvän energiatehokkaan valaistuksen suunnittelussa pitää huomioida vaadittavan valaistusvoimakkuuden luominen käyttämällä mahdollisimman vähän keinovaloa. Isoissa tiloissa valaistaan se osa, mitä käytetään ja työpisteet kohdevalaistaan voimakkaammin. Keinovaloa voidaan vähentää käyttämällä luonnonvaloa tai parantamalla tilan heijastussuhdetta.

LÄHTEET

Arnkil, H. 2007. Värit havaintojen maailmassa. Helsinki: Taideteollinen korkeakoulu. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino

Beck, W., Dolmans, D., Dutoo, C., Hall, A., Seppänen, O., Rehva, & ES-SO. (2011). Aurinkosuojaus: Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin. Helsinki: Aurinkosuojaus : Suomen LVI-liitto.

COMBI-hanke, 2016. <http://www.tut.fi/fi/tutkimus/tutkimusalat/rakennustekniikka/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/combi/index.htm> . Luettu 10.02.2017.

DIALux evo-manual. 2016. https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALux_downloads/DIALux%20evo%20manual.pdf . Luettu 23.03.2017.

Kallioharju, K. & Harsia, P. 2015. Valaistuksen laadullisten tekijöiden ja energialaskennan määrittely FInZEB-hankkeelle. Tampereen ammattikorkeakoulu. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87613/FInZEBvalaistusselvitys.pdf?sequence=1>

RakMK, D5. 2013. Rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta.

SFS-EN 15193. 2008. Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus, 21.01.2008. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. SFS Verkkokauppa.

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

Simpson, R. S. 2003. Lighting Control: Technology and Applications. Oxford: Focal Press.

ST 58.32. 2016. Valolähteiden säätö ja ohjaus. Sähköinfo Oy.

Vikberg, H. 2014. Valoisa asunto. Luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisissa kerrostaloasunnoissa. Aalto-yliopisto, arkkitehtuurin laitos. Diplomityö.

LIITTEET

Liite 1. Laskentapöytäkirja

1(5)

Rakennus 1 / OT1-N	pohjapinta-ala		65,05								
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	
Manuaali	522	500	6,46	1,24	810	12,45196	4,73	1,22	590	9,0699462	
Läsnäolo					690	10,607225			510	7,840123	
vakiovalo					730	11,222137			530	8,1475788	
läsnäolo + vakiovalo					620	9,5311299			460	7,0714835	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	564		6,46	1,14	620	9,5311299	4,73	1,14	460	7,0714835	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0	
tummat pinnat	517		7,53	1,46	940	14,450423	5,59	1,41	700	10,760953	
vaaleat pinnat	597		5,16	0,86	650	9,9923136	3,23	0,82	400	6,1491161	
Työtilanne	383		4,65	1,21	580	8,9162183					
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					450	6,9177556					
Rakennus 2 / OT1-PL	pohjapinta-ala		32,01								
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	
Manuaali	509	500	7	1,37	430	13,433302	3,94	1,32	240	7,497657	
Läsnäolo					370	11,558888			210	6,5604499	
vakiovalo					390	12,183693			220	6,8728522	
läsnäolo + vakiovalo					330	10,309278			190	5,9356451	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	548		7	1,28	330	10,309278	3,94	1,32	190	5,9356451	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0	
tummat pinnat	524		8,75	1,67	540	16,869728	5,52	1,53	320	9,996876	
vaaleat pinnat	576		5,25	0,91	320	9,996876	3,94	0,91	240	7,497657	
Työtilanne	365		5,07	1,39	390	12,183693					
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					240	7,497657					
Rakennus 3 / OT1-SS	pohjapinta-ala		107,76								
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	
Manuaali	566	500	6,24	1,1	1300	12,063846	3,9	1,02	810	7,5167038	
Läsnäolo					1100	10,207869			690	6,403118	
vakiovalo					1150	10,671863			730	6,7743133	
läsnäolo + vakiovalo					1000	9,2798812			620	5,7535264	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	530		5,46	1,03	870	8,0734967	3,9	0,98	620	5,7535264	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0	
tummat pinnat	561		7,28	1,3	1500	13,919822	4,42	1,18	920	8,5374907	
vaaleat pinnat	528		3,9	0,74	810	7,5167038	2,6	0,68	540	5,0111359	
Työtilanne	373		3,95	1,05	820	7,6095026					
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					630	5,8463252					
Rakennus 4 / OT1-NS	pohjapinta-ala		65,1								
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	
Manuaali	540	500	6,45	1,19	810	12,442396	4,3	1,12	540	8,2949309	
Läsnäolo					690	10,599078			460	7,0660522	
vakiovalo					730	11,213518			490	7,5268817	
läsnäolo + vakiovalo					620	9,5238095			420	6,4516129	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	562		6,45	1,15	620	9,5238095	4,3	1,09	420	6,4516129	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0	
tummat pinnat	519		7,53	1,45	940	14,439324	5,16	1,35	650	9,984639	
vaaleat pinnat	557		4,3	0,77	540	8,2949309	2,58	0,73	320	4,9155146	
Työtilanne	376		4,43	1,17	560	8,6021505					
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					430	6,6052227					
Rakennus 5 / OT2-N	pohjapinta-ala		65,08								
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	
Manuaali	526	500	6,45	1,23	810	12,44622	4,73	1,28	590	9,0657652	
Läsnäolo					690	10,602336			510	7,8365089	
vakiovalo					730	11,216964			530	8,143823	
läsnäolo + vakiovalo					620	9,5267363			460	7,0682237	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	590		6,45	1,09	620	9,5267363	4,73	1,18	460	7,0682237	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0	
tummat pinnat	530		7,53	1,42	940	14,443762	5,59	1,47	700	10,755993	
vaaleat pinnat	590		5,16	0,88	650	9,987074	3,01	0,87	380	5,8389674	
Työtilanne	426		5,38	1,26	670	10,295022					
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					520	7,9901659					
Rakennus 6 / OT2-P	pohjapinta-ala		32,22								
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	
Manuaali	500	500	6,95	1,39	430	13,345748	5,21	1,36	320	9,9317194	
Läsnäolo					370	11,483551			280	8,6902545	
vakiovalo					390	12,104283			290	9,0006207	
läsnäolo + vakiovalo					330	10,242086			250	7,7591558	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	577		6,95	1,39	330	10,242086	5,21	1,24	250	7,7591558	
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0	
tummat pinnat	525		8,69	1,65	540	16,759777	6,52	1,65	400	12,414649	
vaaleat pinnat	509		5,21	1,02	320	9,9317194	3,48	0,96	220	6,8280571	
Työtilanne	341		4,78	1,4	300	9,310987					
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					230	7,1384233					

2(5)

Rakennus 7 / OT2-S	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	557	500	6,23	1,12	1300	12,053778	4,15	1,11	860	7,974038
Läsnäolo					1100	10,199351			740	6,8613815
vakiovalo					1150	10,662958			780	7,232267
läsnäolo + vakiovalo					1000	9,2721372			670	6,2123319
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	537		5,45	1,01	870	8,0667594	4,15	1,05	670	6,2123319
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0
tummat pinnat	563		7,27	1,29	1500	13,908206	5,97	1,3	1250	11,590172
vaaleat pinnat	583		4,54	0,78	940	8,715809	3,38	0,75	700	6,4904961
Työtilanne	439		4,88	1,11	1000	9,2721372				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					780	7,232267				
Rakennus 8 / OT3-N	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	519	500	6,46	1,24	810	12,448133	4,3	1,18	540	8,2987552
Läsnäolo					690	10,603965			460	7,06931
vakiovalo					730	11,218688			490	7,5303519
läsnäolo + vakiovalo					620	9,5282004			420	6,4545874
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	594		6,45	1,09	620	9,5282004	4,3	1,08	420	6,4545874
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0
tummat pinnat	523		7,53	1,44	940	14,445981	6,02	1,42	750	11,526049
vaaleat pinnat	565		5,16	0,91	650	9,9892424	3,23	0,84	400	6,1472261
Työtilanne	368		4,56	1,24	570	8,7597971				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					440	6,7619487				
Rakennus 9 / OT3-PL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	501	500	6,96	1,39	430	13,362337	5,22	1,45	320	9,9440646
Läsnäolo					370	11,497825			280	8,7010566
vakiovalo					390	12,119329			290	9,0118086
läsnäolo + vakiovalo					330	10,254817			250	7,7688005
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	593		6,96	1,17	330	10,254817	5,22	1,22	250	7,7688005
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0
tummat pinnat	532		8,7	1,64	540	16,780609	6,53	1,67	400	12,430081
vaaleat pinnat	498		5,22	1,05	320	9,9440646	4,35	1,05	270	8,3903045
Työtilanne	385		5,57	1,44	340	10,565569				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					270	8,3903045				
Rakennus 10 / OT3-SS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	557	500	6,24	1,12	1300	12,062726	4,16	1,06	860	7,9799573
Läsnäolo					1100	10,206922			740	6,8664749
vakiovalo					1150	10,670873			780	7,2376357
läsnäolo + vakiovalo					1000	9,2790201			670	6,2169435
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	544		5,46	1	870	8,0727475	4,16	0,99	670	6,2169435
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0
tummat pinnat	565		7,27	1,29	1500	13,91853	5,85	1,25	1200	11,134824
vaaleat pinnat	564		4,55	0,81	940	8,7222789	2,47	0,74	510	4,7323003
Työtilanne	409		4,44	1,08	920	8,5366985				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					710	6,5881043				
Rakennus 11 / OT3-NA	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	510	500	6,46	1,26	810	12,448133	4,73	1,2	590	9,0671584
Läsnäolo					690	10,603965			510	7,8377132
vakiovalo					730	11,218688			530	8,1450745
läsnäolo + vakiovalo					620	9,5282004			460	7,06931
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	513		5,38	1,05	520	7,9913939	3,87	1,05	370	5,6861841
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0
tummat pinnat	527		7,53	1,43	940	14,445981	6,02	1,41	750	11,526049
vaaleat pinnat	522		5,16	0,99	650	9,9892424	3,23	0,95	400	6,1472261
Työtilanne	390		4,8	1,23	600	9,2208391				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					440	6,7619487				
Rakennus 12 / AH1-N	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	339	300	12,9	3,8	450	24,807056	8,6	3,61	300	16,538037
Läsnäolo					390	21,499449			260	14,332966
vakiovalo					410	22,601985			270	14,884234
läsnäolo + vakiovalo					350	19,294377			230	12,679162
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	353		12,9	3,65	350	19,294377	8,6	3,52	230	12,679162
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)					0	0			0	0
tummat pinnat	329		15,05	4,58	530	29,2172	8,6	4,45	300	16,538037
vaaleat pinnat	393		10,75	2,74	380	20,948181	6,45	2,64	230	12,679162
Työtilanne	250		9,46	3,78	330	18,191841				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					250	13,781698				

3(5)

Rakennus 13 / AH2A-N	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	329	300	10,61	3,23	530	20,598523	6,06	2,84	300	11,659541
Läsnäolo					450	17,489312			260	10,104936
vakiovalo					470	18,266615			270	10,493587
läsnäolo + vakiovalo					410	15,934707			230	8,9389817
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	340		10,61	3,12	410	15,934707	6,06	2,77	230	8,9389817
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	310		12,13	3,91	600	23,319083	6,06	3,25	300	11,659541
vaaleat pinnat	335		7,58	2,26	380	14,768752	4,55	2,06	230	8,9389817
Työtillanne	261		9,09	3,48	450	17,489312				
Työtillanne+vakiovalo+läsnäolo					350	13,602798				
Rakennus 14 / AH2B-N	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	328	300	10,62	3,23	530	20,598523	6,06	2,84	300	11,659541
Läsnäolo					450	17,489312			260	10,104936
vakiovalo					470	18,266615			270	10,493587
läsnäolo + vakiovalo					410	15,934707			230	8,9389817
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	340		10,61	3,12	410	15,934707	6,06	2,77	230	8,9389817
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	310		12,13	3,92	600	23,319083	6,06	3,26	300	11,659541
vaaleat pinnat	335		7,58	2,26	380	14,768752	4,55	2,07	230	8,9389817
Työtillanne	261		9,09	3,48	450	17,489312				
Työtillanne+vakiovalo+läsnäolo					350	13,602798				
Rakennus 15 / AH1-PS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	307	300	11,72	3,82	300	22,539444	8,79	3,76	230	17,28024
Läsnäolo					260	19,534185			190	14,274981
vakiovalo					270	20,2855			200	15,026296
läsnäolo + vakiovalo					230	17,28024			170	12,772352
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	327		11,72	3,58	230	17,28024	8,79	3,62	170	12,772352
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	349		17,48	5,04	450	33,809166	8,79	4,38	230	17,28024
vaaleat pinnat	315		8,79	2,79	230	17,28024	5,86	2,77	150	11,269722
Työtillanne	222		8,79	3,96	230	17,28024				
Työtillanne+vakiovalo+läsnäolo					170	12,772352				
Rakennus 16 / AH2A-PS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	324	300	11,58	3,58	450	22,277228	7,72	3,24	300	14,851485
Läsnäolo					390	19,306931			260	12,871287
vakiovalo					410	20,29703			270	13,366337
läsnäolo + vakiovalo					350	17,326733			230	11,386139
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	337		11,58	3,44	350	17,326733	7,72	3,15	230	11,386139
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	314		13,51	4,3	530	26,237624	7,72	3,78	300	14,851485
vaaleat pinnat	310		7,72	2,49	300	14,851485	5,79	2,31	230	11,386139
Työtillanne	324		11,58	3,58	450	22,277228				
Työtillanne+vakiovalo+läsnäolo					230	11,386139				
Rakennus 17 / AH2B-PS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	326	300	11,58	3,55	450	22,255193	7,72	3,2	300	14,836795
Läsnäolo					390	19,287834			260	12,858556
vakiovalo					410	20,276954			270	13,353116
läsnäolo + vakiovalo					350	17,309594			230	11,374876
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	337		11,58	3,42	350	17,309594	7,72	3,13	230	11,374876
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	314		13,5	4,3	530	26,211672	7,72	3,78	300	14,836795
vaaleat pinnat	318		7,72	2,42	300	14,836795	6,79	2,27	230	11,374876
Työtillanne	326	300	11,58	3,55	450	22,255193				
Työtillanne+vakiovalo+läsnäolo					230	11,374876				
Rakennus 18 / AH1-SS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
Manuaali	323	300	10,46	3,24	530	20,306513	5,98	3,05	300	11,494253
Läsnäolo					450	17,241379			260	9,9616858
vakiovalo					470	18,007663			270	10,344828
läsnäolo + vakiovalo					410	15,708812			230	8,8122605
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	330		10,46	3,17	410	15,708812	5,98	3,01	230	8,8122605
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	386		14,94	3,87	750	28,735632	7,47	3,64	380	14,559387
vaaleat pinnat	354		7,47	2,11	380	14,559387	4,48	2,06	230	8,8122605
Työtillanne	251		8,07	3,21	410	15,708812				
Työtillanne+vakiovalo+läsnäolo					310	11,877395				

Rakennus 19 / AH2A-SS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a
Manuaali	302	300	8,94	2,96	600	17,196905	5,59	2,69	380	10,891373
Läsnäolo					510	14,617369			320	9,1716824
vakiovalo					540	15,477214			340	9,7449126
läsnäolo + vakiovalo					460	13,184293			290	8,3118372
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	310		8,94	2,89	460	13,184293	5,59	2,66	290	8,3118372
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	347		12,3	3,54	830	23,789051	6,71	3,22	450	12,897678
vaaleat pinnat	392		7,83	2	530	15,190599	4,47	1,99	300	8,5984523
Työtilanne	220		6,48	2,95	440	12,611063				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					310	8,8850674				
Rakennus 20 / AH2B-SS	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a
Manuaali	302	300	8,95	2,96	600	17,216643	5,59	2,7	380	10,903874
Läsnäolo					510	14,634146			320	9,1822095
vakiovalo					540	15,494978			340	9,7560976
läsnäolo + vakiovalo					460	13,199426			290	8,3213773
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	308		8,95	2,9	460	13,199426	5,59	2,67	290	8,3213773
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	347		12,31	3,55	830	23,816356	6,71	3,22	450	12,912482
vaaleat pinnat	392		7,83	2	530	15,208034	4,48	1,99	300	8,6083214
Työtilanne	220		6,48	2,95	440	12,625538				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					310	8,8952654				
Rakennus 21 / AH1-PL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a
Manuaali	352	300	14,54	4,13	380	28,337062	8,72	4,17	230	17,15138
Läsnäolo					320	23,862789			190	14,168531
vakiovalo					340	25,354213			200	14,914243
läsnäolo + vakiovalo					290	21,625652			170	12,677107
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	368		14,54	3,95	290	21,625652	8,72	4,03	170	12,677107
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	341		17,44	5,11	450	33,557047	8,72	4,86	230	17,15138
vaaleat pinnat	324		8,72	2,69	230	17,15138	5,81	2,72	150	11,185682
Työtilanne	352		14,54	4,13	380	28,337062				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					190	14,168531				
Rakennus 22 / AH2A-PL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a
Manuaali	338	300	11,43	3,38	450	21,98339	7,62	3,27	300	14,655594
Läsnäolo					390	19,052272			260	12,701514
vakiovalo					410	20,029311			270	13,190034
läsnäolo + vakiovalo					350	17,098192			230	11,235955
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	352		11,43	3,24	350	17,098192	7,62	3,17	230	11,235955
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	329		13,33	4,05	530	25,891549	9,52	3,94	380	18,563752
vaaleat pinnat	322		7,62	2,37	300	14,655594	5,71	2,22	230	11,235955
Työtilanne	230		7,62	3,31	300	14,655594				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					290	14,167074				
Rakennus 23 / AH2B-PL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a
Manuaali	338	300	11,42	3,38	450	21,972656	7,62	3,28	300	14,648438
Läsnäolo					390	19,042969			260	12,695313
vakiovalo					410	20,019531			270	13,183594
läsnäolo + vakiovalo					350	17,089844			230	11,230469
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	350		11,42	3,27	350	17,089844	7,62	3,17	230	11,230469
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	330		13,33	4,04	530	25,878906	9,52	3,96	380	18,554688
vaaleat pinnat	321		7,62	2,37	300	14,648438	5,71	2,25	230	11,230469
Työtilanne	230		7,62	3,31	300	14,648438				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					290	14,160156				
Rakennus 24 / AH1-SL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a	w/m ²	w/m ² /100lx	kWh/a	kWh/m ² /a
Manuaali	301	300	8,99	2,99	450	17,294389	6	2,93	300	11,529593
Läsnäolo					390	14,98847			320	12,298232
vakiovalo					410	15,75711			340	13,066872
läsnäolo + vakiovalo					350	13,451191			290	11,145273
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	309		8,99	2,92	350	13,451191	6	2,93	230	8,8393543
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	313		11,99	3,83	600	23,059185	6	3,44	300	11,529593
vaaleat pinnat	359		7,5	2,09	380	14,604151	4,5	2,04	230	8,8393543
Työtilanne	218		7,2	3,3	360	13,835511				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					280	10,760953				

5(5)

Rakennus 25 / AH2A-SL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
	339	300	11,33	3,34	750	21,79599	5,67	3,2	380	11,043301
Manuaali					640	18,599244			320	9,2996222
Läsnäolo					680	19,761697			340	9,8808486
vakiovalo					580	16,855565			290	8,4277826
läsnäolo + vakiovalo					580	16,855565	5,67	3,12	290	8,4277826
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	347		11,33	3,26	580	16,855565				
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	313		12,47	3,99	830	24,120895	7,39	3,7	530	15,402499
vaaleat pinnat	355		7,93	2,24	530	15,402499	5,67	2,17	380	11,043301
Työtilanne	205		5,78	2,82	380	11,043301				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					410	11,915141				
Rakennus 26 / AH2B-SL	pohjapinta-ala		yleisvalaistus				työpiste			
	Keskiarvo lx	Tavoite lx	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a	w/m2	w/m2/100lx	kWh/a	kWh/m2/a
	339	300	11,32	3,34	750	21,764364	5,66	3,18	380	11,027278
Manuaali					640	18,572258			320	9,2861288
Läsnäolo					680	19,733024			340	9,8665119
vakiovalo					580	16,831109			290	8,4155543
läsnäolo + vakiovalo					580	16,831109	5,66	3,12	290	8,4155543
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (kaihtimet)	346		11,32	3,27	580	16,831109				
läsnäolo + vakiovalo + automaattinen aurinkosuojaus (verhot)						0				0
tummat pinnat	313		12,45	3,98	830	24,085897	7,92	3,69	530	15,380151
vaaleat pinnat	353		7,92	2,25	530	15,380151	5,66	2,16	380	11,027278
Työtilanne	205		5,78	2,82	380	11,027278				
Työtilanne+vakiovalo+läsnäolo					410	11,897853				