

TAMK

TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU



KARI KALLIOHARJU &
PIRKKO HARSIA

*Valaistuksen laadullisten
tekijöiden ja energialaskennan
määrittely FInZEB-hankkeelle*

VALAISTUKSEN LAADULLISTEN TEKIJÖIDEN
JA ENERGIALASKENNAN MÄÄRITTELY
FINZEB-HANKKEELLE

KARI KALLIOHARJU & PIRKKO HARSIA

JULKAISIJA TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

© TAMK JA TEKIJÄT

ISBN 978-952-5903-69-0(PDF)

2015

SISÄLTÖ

1	Johdanto.....	5
2	Valaistus osana rakennusten E-lukulaskentaa	6
3	Valo osana rakennuksen sisäolosuhteita	7
3.1	Valo sisäolosuhteena	7
3.2	Valaistuksen energiankulutus	7
3.3	Valaistus osana tulevaisuuden rakennettua ympäristöä	7
4	Ehdotukset määräystasolle	8
4.1	Ehdotukset valosta ja valaistuksesta määräystasolle, laatu	8
4.2	Ehdotukset valosta ja valaistuksesta määräystasolle, energiatehokkuus.....	8
5	Ehdotuksien taustoitus: valaistuksen laatu.....	9
5.1	Valaistuksen laatutekijät	9
5.2	Valaistuksen laadullisten ehdotusten taustat ja perustelut.....	10
6	Ehdotuksien taustoitus: valaistuksen energiatehokkuus	14
6.1	Valaistuksen energiatehokkuustekijät	14
6.2	Valaistuksen energiatehokkuusehdotusten taustat ja perustelut	16
7	Valaistuksen laatu- ja energiatehokkuustekijöiden ristiintaulukointi	22
	LIITE 1. Valo ja valaistus nykyisissä laeissa ja määräyksissä	23
	LIITE 2. Päivänvalon huomiointi (ikkunat ja aukotus) nykyisissä laeissa ja määräyksissä	25
	LÄHTEET	26

1 Johdanto

Tässä raportissa on koottuna tausta-aineistoja ja näkemyksiä valaistuksen merkityksestä rakennusten sisäolosuhteille, energiankulutukselle. Lisäksi on selvitetty menetelmiä, joilla valaistuksen energiakulutuksen määrittely voitaisiin tehdä osana rakennusten energiatehokkuuslaskentaa.

Selvitystyö on tehty FInZEB-hankeeseen erillisselvityksenä ja kehitysehdotukseksi energiatehokkuussäädösten uudistamista varten määritettäessä Suomen lähes nollaenergiarakennuksen vaatimuksia.

Selvityksessä on esitelty lyhyesti valon ja valaistuksen olosuhde- ja energialähtökohdat, jonka jälkeen on listattu toimenpide-ehdotukset tulevaisuuden säädöksiä määritettäessä. Listauksen jälkeen toimenpide-ehdotuksien sisältö on kuvattu tarkemmin ja niitä on taustoitettu ja perusteltu.

Selvityksen liitteissä on koottuna eri säädöksistä valaistusta koskevia vaatimuksia.

2 Valaistus osana rakennusten E-lukulaskentaa

Valo on rakennuksen käyttäjien toiminnan kannalta tärkein sisäolosuhde ja keinovalaistus monessa rakennuksessa suurin yksittäinen sähköenergiankuluttaja. Tämä selvitys esittelee valon ja valaistuksen merkityksen sisäolosuhteiden luojana ja määrittelee, miten se tulisi huomioida osana tulevaisuuden lähes nollaenergiarakentamista. Lisäksi käsitellään valaistuksen energiatehokkuuteen liittyviä tekijöitä ja valaistuksen energialaskentaa osana tulevaisuuden rakentamismääräyksiä.

Selvityksen tarve perustuu nykyisen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuusvaatimusten ja – ohjeiden (RaMK D3, D5) puutteisiin ja muihin haasteisiin valon ja valaistuksen laadun ja energialaskennan määrittelyssä. Merkittävimpiä haasteita ovat:

- Valaistuksen energialaskenta tehdään suunnittelun alkuvaiheessa ensisijaisesti kiinteisiin valaistuksen neliöllisiin keskitehoihin, käyttötunteihin ja käyttöasteisiin perustuen, jolloin valaistusta tai valaistuksen ohjausta parantamalla ei laskennalliseen valaistusenergiaan voida helposti vaikuttaa. Päivänvalon käyttöön ei myöskään oteta kantaa.
- Määräykset antavat mahdollisuuden määrittää kohteeseen D3:n arvosta poikkeavan valaistustehon, jos valaistuksen laadulliset vaatimukset kohteessa täyttyvät ja laskentatulokset perustellaan erikseen. Rakentamismääräykset eivät kuitenkaan määrittele valon tai valaistuksen laadullisia vaatimuksia.
- Valaisintehoa merkittävämpi tekijä valaistuksen energiankulutukselle on valaistuksen ohjaus, joka vaikuttaa valaistuksen keskitehoon, käyttöaikaan ja käyttöasteeseen. Nykyinen energialaskenta määrittelee, että ohjauksella voidaan vaikuttaa ainoastaan valaistuksen keskitehoon, jos valaistuksen laadulliset vaatimukset kohteessa täyttyvät ja laskentatulokset perustellaan erikseen kuten edellisessä kohdassa.
- Valaistuksen laadun määrittelystä D3 ohjeistaa, että poikkeuksia laskettaessa on laadun määrittelyssä mahdollista käyttää esimerkiksi valaistusstandardia SFS-EN 12464-1 *”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”*. Standardi ei kuitenkaan käsittele lainkaan asuinrakennuksien valaistuksen laatua, kuten ei mikään muukaan voimassa oleva valaistusstandardi. Standardi SFS-EN 12464-1 ei myöskään sisällä ohjauksiin liittyviä laskentamenetelmiä, joten ohjauksien vaikutusta keskitehoon on mahdotonta arvioida.
- Valaistustehon poikkeuksien laskenta esimerkiksi standardiin SFS-EN 12464-1 *”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”* perustuen on nykyisessä suunnitteluprosessissa usein hankalaa tai mahdotonta, koska energialaskenta tehdään hyvin varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia.
- Valaistuksen energialaskennan laskentatarkkuus ei vastaa muiden keskeisten energiankulutusosien laskentatarkkuutta. Valaistuksen valaistusenergia ja lämpökuorma vaihtelee merkittävästi vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan, mutta ne lasketaan nykyisessä laskentamallissa aina vuositasolla. Muita energiankulutuksia saatetaan mallintaa ja laskea samaan aikaan jopa tuntitasolla ja käyttää niissä lähtötietoina valaistuksen vuositaso laskentaa.

3 Valo osana rakennuksen sisäolosuhteita

3.1 Valo sisäolosuhteena

Aistimme ympäristötämme jopa 80 % näköaistin välityksellä. Koska vain valo mahdollistaa näkemisen, on se merkittävä olosuhteiden luoja. Valo vaikuttaa jokapäiväiseen toimintaamme ja siihen miten näemme ja koemme ympäristömme. Valo luo olosuhteet työskennellä terveellisesti ja turvallisesti. Toisaalta se myös tahdistaa vuosi- ja vuorokausirytmimme ja säätelee viireystilaamme. Terveysten ja hyvinvoinnin kannalta tärkein valaistuksellisten sisäolosuhteiden luoja on päivänvalo, jota tuetaan käyttäjät ja käyttötarpeet huomioivalla keinovalaistuksella.

3.2 Valaistuksen energiankulutus

Kiinteistöjen sisävalaistus on merkittävä sähköenergiankuluttaja. Kiinteistöissä, joissa valaistus on kiinteistön toiminnalle keskeistä, voi sen osuus olla jopa yli 50 % kokonais sähköenergiankulutuksesta. Tyypillisemmin asuinrakennuksissa valaistusenergian osuus on kuitenkin 10 - 20 % ja palvelurakennuksissa 20 - 40 % kulutusosuuksista. Valaistuksen energiansäästöpotentiaali on hyvin merkittävä - vanhoissa rakennuksissa saneerauksien yhteydessä uusitut valaistus- ja ohjausjärjestelmät voivat aikaansaada yli 80 % säästön valaistuksen sähköenergiankulutukseen. Samalla kohteiden valaistusolosuhteet ja valon laatu paranevat. Myös uusissa kohteissa valaistuksen energiankulutuksen säästöpotentiaali on suuri, mutta energiatehokkuuteen vaikutetaan tekniikan lisäksi merkittävästi esimerkiksi rakennuksen muodolla ja suuntauksella, tilojen sijoittelulla (päivänvalo) sekä tilojen muotojen ja pintamateriaalien valinnoilla (valaistushyötysuhde).

3.3 Valaistus osana tulevaisuuden rakennettua ympäristöä

Tulevaisuuden valaistuksen muutostarpeisiin vaikuttaa energiatehokkuusvaatimusten lisäksi muun muassa rakennusten muuntojoustovaatimusten lisääntyminen, vanheneva väestö ja valon hyvinvointivaikutusten tutkimustiedon lisääntyminen. Tilojen käytön ja käyttäjien muuttuessa valaistukselta vaaditaan mukautuvuutta - esimerkiksi 60-vuotias näkijä tarvitsee keskimäärin noin kolme kertaa enemmän valoa kuin 20-vuotias havainnoidakseen ympäristöään samalla tavalla. Kun tilojen käyttäjät ja käyttötarpeet saattavat muuttua useita kertoja jopa saman vuorokauden aikana, nousevat perinteisen valaistustekniikan rinnalle erilaiset ohjaustekniikat hyvin merkittävään rooliin. Toisaalta myös lähes nollaenergiatasoisen energiatehokkuuden saavuttaminen vaatii valaistukselta ohjattavuutta, joka on merkittävin valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttava yksittäinen tekijä. Valon hyvinvointivaikutusten ymmärryksen lisääntyessä myös valon biologisiin vaikutuksiin aletaan kiinnittää enemmän huomiota, mikä lisää osaltaan valaistusvoimakkuuksien, valon suuntauksen, värilämpötilojen ja päivänvalon hallinnan tarvetta.

4 Ehdotukset määräystasolle

4.1 Ehdotukset valosta ja valaistuksesta määräystasolle, laatu

- A. Valon ja käyttäjät ja käyttötarpeet huomioivan keinovalaistuksen laatutekijät tulee kirjata selkeästi rakentamismääräystasolle tai ohjeistuksiin osaksi muita olosuhteita. Suositeltava vaihtoehto olisi kirjata olemassa olevat sisävalaistuksen laadun määrittelevät standardit velvoittaviksi. Sähköalan säädösmaailmassa velvoittavat standardit ovat olleet käytäntö jo pitkään ([TUKES-ohje S10](#)).
- B. Laadullisissa määräyksissä tulee huomioida myös vanheneva väestö ja tilojen käyttäjien ja käyttötarpeiden muutokset, jotka vaikuttavat valon määrä- ja laatuvaatimuksiin sekä erityisesti valaistuksen ohjaustarpeeseen. Myös valon hyvinvointivaikutusten kirjaaminen osaksi valaistuksen laatuvaatimuksia tulisi arvioida.
- C. Päivänvalon käyttöön tulee kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Päivänvalon huomiointiin liittyvät seikat tulee kirjata asianmukaisesti rakentamismääräyksien osiin.
- D. Tulee arvioida valaistuksen laadullisen lopputuloksen varmentamisen, huolto-ohjeistuksen laatimisen ja käytönopastuksen kirjaamistarve määräystasolle osana muun talotekniikan toiminnan ja käytön-opastuksen varmennusta ja todennusta.

4.2 Ehdotukset valosta ja valaistuksesta määräystasolle, energiatehokkuus

- E. Valaistusratkaisua tulee tarkastella kokonaisuutena, jossa huomioidaan mm. valaisinten asennustehot, käyttöprofiilit, päivänvalo, valaistava ympäristö ja erilaisten ohjausten ja valaistustilanteiden vaikutukset. Rakennuksien valaistuksen energiankulutukselle tulee määrittää raja-arvot muodossa kWh/m²*a, joihin kohteesta tehtyjä energialaskelmia verrataan.
- F. Valaistuksen energiankulutus on moninaisten muuttujien summa, jonka laskenta tulisi tehdä ensisijaisesti mallintaen tai tarkkaan laskentaan perustuen. Laskennassa tarvittavien tilojen käyttöprofiilien ja muiden lähtötietojen määrittämisessä tulisi hyödyntää olemassa olevia valaistuksen energialaskentastandardeja, joita mm. mallinnusohjelmistot jo nykyisellään käyttävät. Suositeltava vaihtoehto olisi kirjata olemassa olevat valaistuksen energialaskentastandardit velvoittaviksi.
- G. Laskentatarkkuus tulisi määrittää samalle tasolle kuin muita olosuhteita mallinnettaessa. Tekijöihin, joissa valaistuksen energiankulutus toimii lähtötietona (esim. jäähdytys), laskentatarkkuus saa olla enintään sama kuin lähtöarvon
- H. Laskentaan voidaan tarvittaessa ottaa tarkkan laskennan / mallinnuksen rinnalle karkea laskentamalli palvelemaan esimerkiksi asuinrakennuksia ja toisarvoisia kohteita. Karkea malli olisi helppokäyttöinen, mutta antaisi mallinnusta huonommat arvot kannustaen sitä kautta aina mallinnukseen. Karkeaan laskentaan on olemassa mallit valaistuksen energialaskentastandardeissa.
- I. Säädöksissä ja ohjeistuksissa tulisi jatkossa korostaa enemmän mm. arkkitehdin valintojen vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen (rakennus/tilasijoittelu, aukotus, pinnat, muodot, aurinkosuojaus ja sen automatisointi, ym.)

5 Ehdotuksien taustoitus: valaistuksen laatu

Tämän ehdotuksen määrittelyillä tavoitellaan käyttäjän ja käyttötarpeen mukaan mukautuvaa terveellistä, turvallista ja laadukasta valaistusta valaistusjärjestelmän koko elinkaaren ajalle, joka yhdessä muun talotekniikan kanssa muodostaa energiatehokkuudeltaan lähes nollaenergiatasoisen kokonaisuuden. Tässä luvussa on käsitelty valon ja valaistuksen laadun määrittelyä osana rakentamismääräyksiä. Ensin esitetään kootusti valaistuksen merkittävimmät laatutekijät ja sen jälkeen perustellaan tarkemmin toimenpide-ehdotusten sisältö.

5.1 Valaistuksen laatutekijät

Osana selvitystyötä taulukoitiin valon ja valaistuksen laadulliset tekijät (taulukko 1, alla) ja energiatehokkuustekijät (taulukko 3, luku 8). Lisäksi tekijöistä tehtiin ristiintaulukointi (taulukko 5, luku 9). Alla on esitetty valon ja valaistuksen laadulliset tekijät (taulukko 1) ja niiden prioriteetti osana lähes nollaenergiarakentamista (* - ***). Lähdeaineistoa tiettyyn laatutekijään löytyy sarakkeesta ”Standardit”. Standardien ja ohjeiden lähdeluettelo on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1. Valon ja valaistuksen laatutekijät ja niiden prioriteetti lähes nollaenergiarakentamisessa (Jokiranta & Kallioharju 2014).

Laatutekijä	FinZEB - Prioriteetti	Vastuu	Standardit
Valaistusvoimakkuus	***	SÄH/VAL (ARK/tilaaja)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, (12)
Värintoisto	***	SÄH/VAL	1, 2, 3, 8, (12), 13
Huoltosuunnitelma	***	SÄH	7, 8, 13
Suunnitteluarvojen ja ohjausjärjestelmän toiminnan todentaminen	***	Urakoitsija	1, 4, 5, 12, 13, 15
Päivänvalo	***	ARK	1, 6, 8, 11, 12, 13, 16
Valaistuksen tasaisuus	**	SÄH/VAL	1, 2, 3, 8, (12)
Häikäisy	**	SÄH/VAL	1, 2, 3, 6, 8, 12, 13
Käyttötarpeen ja käyttäjän mukaan ohjattava	**	SÄH/VAL	6, 12, 13
Väriämpötila	*	SÄH/VAL/ARK	1, 2, 8, (12)
Valon suuntaus, muodonanto, luminanssijakauma	*	SÄH/VAL	1, (12)
Valon vaihtelevuus, biologiset vaikutukset	*	SÄH/VAL	1, 6, 11, (12)

Taulukko 2. Lähdemateriaali valon ja valaistuksen laadullisten tekijöiden määrittelyyn (Jokiranta & Kallioharju 2014).

Lähteet:	
1. SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.	9. RT 10183 Asunnon sähkövalaistus (1982)
2. SFS-EN 12193 Light and Lighting. Sports lighting.	10. ASHRAE
3. EN 1838 Lighting applications. Emergency lighting	11. EN 16791-Quantifying irradiance for eye-mediated non-image forming effects of light in humans
4. Draft prEN 15193-1 rev Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications	12. Breeam
5. Technical Report CEN/TR 15193-2:2013	13. Leed
6. ANSI/IESNA RP-28-07 Lighting and the Visual Environment for Senior Living	14. CIE Guidelines for Accessibility: Visibility and Lighting Guidelines for Older Persons and Persons with Disabilities
7. CIE 97:2005 Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems	15. EN-15232 Energy performance of buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management
8. Valaistussuosukset 1986	16. BS 8206-2:2008 Lighting for buildings. Code of practice for daylighting

Valaistuksen laadullisten tekijöiden taulukon sisältö on avattu tarkemmin alla:

- **valaistusvoimakkuus eli luksitaso** vaikuttaa suoraan näkötehtävän suorittamiseen ja vireystilaan. Tasaisen valaistusvoimakkuuden kasvattaminen parantaa aina näkemistä kaikilla osa-alueilla ja nostaa myös ihmisen vireystilaa. Valaistusvoimakkuuden työalueella ja lähiympäristössä määrittelee yleensä sähkösuunnittelija tai valaistussuunnitte-

lija valaistusstandardien avulla. Lähtötietona tarvitaan arkkitehdin määrittelemä tilan käyttötarkoitus ja tilan työpisteiden sijoittelu.

- **värintoisto** vaikuttaa värien aistimiseen ja sitä kautta tilan havainnointiin. Valaistuksen värintoisto on ensisijaisesti laatutekijä, mutta se saattaa vaikuttaa myös turvallisuuteen (esim. turvavärien toistuminen)
- **huoltosuunnitelma** vaikuttaa valaistuksen laatuun valaistusvoimakkuuden kautta. Valaistus on suunniteltu ja mitoitettu tietyille huoltovälille (puhdistus/lamppujen vaihto), mutta huoltosuunnitelmien laadinta on käytännössä puutteellista. Huoltosuunnitelman tärkeys korostuu LED-tekniikan yleistyessä, koska LEDit eivät enää rikkoudu kuten perinteiset lamput.
- **suunnitteluarvojen ja toiminnan todentaminen** on oleellinen osa laadukasta valaistusta. Valo on yksi tärkeimmistä sisäolosuhteista ja suunnitteluarvojen ja ohjauksien todentaminen käyttöönoton yhteydessä on merkittävässä osassa valaistusolosuhteiden laadunvarmistusta.
- **päivänvalo** on laadukkaan ja hyvinvointia tukevan valaistuksen perusta. Päivänvalon hyvinvointivaikutuksia ei vielä nykyisen tutkimustiedon perusteella voida korvata millään keinovalonlähteellä.
- **valaistuksen tasaisuus** tiloissa liittyy ensisijaisesti näköergonomiaan. Työalueiden läheisyydessä tasainen valaistus auttaa työskentelemään pitkiäkin aikoja tehokkaasti ilman että näköelin väsy.
- **häikäisy** on yksi merkittävimmistä näköaistimuksen häiriötekijöistä ja sen välttäminen on oleellinen osa laadukasta valaistusta.
- **käyttötarpeen ja käyttäjän mukaan ohjattava valaistus** lisää käyttömukavuutta ja antaa käyttäjälle mahdollisuuden toimia aina itselleen ja suoritettavalle työtehtävälle optimaalisessa valaistusolosuhteessa
- **väriämpötila** määrittelee ensisijaisesti näköympäristön tunnelman, eli sen miten ympäristö koetaan, mutta se vaikuttaa myös näöntarkkuuteen. Väriämpötilalla on lisäksi merkittävä vaikutus ihmisen hyvinvointiin ja vireystilaan.
- **valon suuntaus, muodonanto ja luminanssijakauma** vaikuttavat siihen, miten ympäristö koetaan ja miten tasapainoinen ympäristö näköergonomian kannalta on.
- **valon vaihtelevuus, biologiset vaikutukset;** valo vaikuttaa näkemisen lisäksi mm. ihmisen hormonitoimintoihin, sisäiseen kelloon ja vireystilaan. Valon biologisten vaikutusten merkitys tulee lähitulevaisuudessa korostumaan tutkimustiedon lisääntyessä. Biologisten vaikutusten huomiointi valaistuksessa tulee korostamaan valaistusvoimakkuuden ja väriämpötilan ohjauksen sekä päivänvalon merkitystä.

5.2 Valaistuksen laadullisten ehdotusten taustat ja perustelut

Tässä alaluvussa on taustoitettu ja perusteltu valaistuksen laadullisiin tekijöihin liittyvät määräysehdotukset ehdotus kerrallaan.

- A. Valon ja käyttäjät ja käyttötarpeet huomioivan keinovalaistuksen laatutekijät tulee kirjata selkeästi rakentamismääräystasolle tai ohjeistuksiin osaksi muita olosuhteita. Suositeltava vaihtoehto olisi kirjata olemassa olevat sisävalaistuksen laadun määrittelevät standardit velvoittaviksi. Sähköalan säädösmaailmassa velvoittavat standardit ovat olleet käytäntö jo pitkään ([TUKES-ohje S10](#)).**

Valaistuksen laadulliset vaatimukset on kirjattava selkeästi määräystasolle tai ohjeistuksiin, tai määriteltävä nykyään suunnittelukäytössä olevat standardit velvoittaviksi, sillä tällä hetkellä valaistuksen laadullisia mittareita ei ole kirjattu määräystasolle kuin yleisellä tasolla (liite 1). Merkittävä haaste nykyiselle valaistussuunnittelulle on myös tilojen käyttäjien, käyttötarkoituksen ja työalueiden määrittely, jotka on usein jätetty tekemättä tai tehty puutteellisesti. Edellä mainitut tiedot ovat valaistusstandardeissa valaistussuunnittelun perusta - valoa tulisi suunnitella sinne missä sitä tarvitaan ja laadullisesti sen tyyppistä kuin työtehtävä vaatii. Tulevaisuudessa olisikin hyvä pohtia, kenen tehtävä on määritellä tilojen käyttötarkoitus ja työpisteet ja missä kohtaa suunnittelua tämä tehdään.

Käytännössä julkisten kohteiden sisävalaistuksen laatu määritellään nykyään standardin SFS-EN 12464-1 *"Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus"* avulla. Liikuntatilojen valaistukselle on oma standardinsa SFS-EN 12193 *"Light and Lighting. Sports lighting"*. Standardeissa on määritelty valon ja valaistuksen laadulliset suureet ja mm. huoltoon liittyviä asioita. Standardit käsittelevät vain työpaikkoja ja julkisia tiloja, joten asuintilojen valaistuksen laatua ei ole määritelty tällä hetkellä missään käytössä olevassa standardissa. Asuinrakennuksien tilojen valaistuksen laadulliset määrittelyt ovat kuitenkin tulossa standardin SFS-EN 15193 *"Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus"* uuteen versioon, joka on tällä hetkellä lausuntokierroksella (tilanne 01/2015). Turvalaistusvaatimukset löytyvät omasta standardistaan SFS-EN 1838 *"Valaistusovellukset. Turvalaistus"* ja työpaikkojen ulkovalaistusvaatimukset standardista SFS-EN 12464-2 *"Light and lighting. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places"*.

Ellei standardeja haluta sitoa osaksi määräyksiä, voidaan sisäympäristön olosuhteiden määrittelyyn hakea mallia esimerkiksi standardin SFS-EN 15251 *"Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet"* esitystavasta, jossa oleellimmat valaistusvaatimukset on kiinteistö tai tilakohtaisesti taulukoitu osaksi muita olosuhdevaatimuksia (kuva 1).

Taulukko I.1 Luokittelu perustuu energialaskennan kriteereihin		
Sisäympäristön kriteeri	Tämän rakennuksen luokka	Suunnitteluperusteet
Lämpöolot talvella	II	20..24 °C
Lämpöolot kesällä	III	22..27 °C
Ilmanlaadun tunnusluku CO ₂	II	500 ppm korkeampi kuin ulkona
Ilmanvaihto (ilmavirta)	II	1 l/sm ²
Valaistus		E _m > 500 lx; UGR < 19; 80 < Ra
Akustinen ympäristö		Sisätilojen melu < 35 dB(A) Ulkoa tuleva melu < 55 dB(A)

Kuva 1. Standardin SFS-EN 15251 mukainen esimerkkitaulukko kiinteistön tai tilan sisäolosuhteiden lähtötietotaulukosta (SFS-EN 15251 2007).

B. Laadullisissa määräyksissä tulee huomioida myös vanheneva väestö ja tilojen käyttäjien ja käyttötarpeiden muutokset, jotka vaikuttavat valon määrä- ja laatuvaatimuksiin sekä erityisesti valaistuksen ohjaustarpeeseen. Myös valon hyvinvointivaikutusten kirjaaminen osaksi valaistuksen laatuvaatimuksia tulisi arvioida.

Nykyisissä kiinteistöissä tilojen käyttö ja käyttäjät voivat olla hyvin moninaisia ja käyttötarkoitus saattaa myös muuttua melko usein. Tällaisissa tilanteissa tilojen valaistukselta vaaditaan mukautuvuutta ja muunneltavuutta. Eri työtehtäviin ja erilaisille käyttäjille tarvitaan erilaisia valaistusvoimakkuuksia ja valaistustilanteita ja valon hyvinvointivaikutuksia huomioitaessa myös värilämpötilaa saatetaan tiloissa joutua ohjaamaan. Lisäksi on huomattava, että valaistuksenohjaus on merkittävin yksittäinen valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä. Valaistuksenohjaukseen liittyen lisätietoa löytyy esimerkiksi standardista SFS-EN 15193 *”Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus”*.

Suomen väestörakenne muuttuu lähivuosina merkittävästi, kun väestö ikääntyy - Ympäristöministeriön mukaan Suomeen tarvitaan esimerkiksi lähivuosina miljoona esteetöntä asuntoa. Ikääntyneiden henkilöiden kohdalla valoa tarvitaan yleensä normaalia enemmän, sillä esimerkiksi 60-vuotias näkijä tarvitsee keskimäärin noin kolme kertaa enemmän valoa kuin 20-vuotias havainnoidakseen ympäristöään samalla tavalla. Valaistusvoimakkuuden kasvattaminen saattaa tilanteesta riippuen lisätä myös kohteen energiankulutusta, jonka vuoksi esimerkiksi palvelurakentamisen valaistuksen energiankulutuksen raja-arvot tulisi arvioida erikseen. Vanhukset myös viettävät usein hyvin paljon aikaa sisätiloissa, jolloin päivänvalon hyödyntäminen osana valaistusta korostuu entisestään. Vanhusten valaistusta käsitellään mm. julkaisuissa ANSI/IESNA RP-28-07 *”Lighting and the Visual Environment for Senior Living”* ja *”CIE Guidelines for Accessibility: Visibility and Lighting Guidelines for Older Persons and Persons with Disabilities”*.

Valo vaikuttaa näköaistimuksen lisäksi hormonitoimintaamme ja säätelee vuorokausi- ja vuosirytmijämme sekä vireystilaamme. Tutkimustietoa valon ei-visuaalisista vaikutuksista alkaa olla jo sen verran, että lähivuosina niin sanottu dynaaminen valaistus alkaa näkyä yhä enemmän ainakin työpaikoilla. Valon värilämpötilalla ja valaistusvoimakkuudella tullaan rytmittämään vuorokautista vireystilaamme ja yhdessä muiden sisäolosuhteiden kanssa valo tukee yhä vahvemmin hyvinvointiamme rakennetussa ympäristössä. Valon ei-visuaalisista vaikutuksista mainitaan mm. standardissa SFS-EN 12464-1 *”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”* ja standardi EN 16791 *”Quantifying irradiance for eye-mediated non-image forming effects of light in humans”* on kokonaan omistettu asialle. Suunnittelusta ja hyödyntämistarkoituksesta riippuen dynaamisen valaistuksen käyttö saattaa joissain tilanteissa nostaa energiankulutusta, mutta samalla sisäolosuhteet paranevat, jonka vuoksi dynaamisen valaistuksen käyttö ja sen huomiointi esimerkiksi energialaskennassa tulisi pohtia erikseen.

C. Päivänvalon käyttöön tulee kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Päivänvalon huomiointiin liittyvät seikat tulee kirjata asianmukaisiin rakentamismääräyksiin osiin.

Päivänvalo on laadukkaan ja hyvinvointia tukevan valaistuksen perusta. Päivänvalon hyvinvointivaikutuksia ei vielä nykyisen tutkimustiedon perusteella voida korvata millään keinovalonlähteellä. Päivänvalon merkitys myös valaistuksen energiatehokkuudelle on hyvin merkittävä. Päivänvalon hyödyntäminen on nykyisissä määräyksissä jäänyt vähäiselle huomiolle (liite 2), jonka vuoksi määräyksiin sisältyisi ikkunoiden ja aukotuksien osalta arvioida uudelleen ja miettiä myös mahdollisia ohjeistuksia päivänvalon huomioivaan rakennus- ja tilasijoitteluun. Päivänvalon hyödyntämisestä on kerrottu mm. julkaisussa ANSI/IESNA RP-28-07 *“Lighting and the Visual Environment for Senior Living”* ja Iso-Britannian standardissa BS 8206-2:2008 *“Lighting for buildings. Code of practice for daylighting”*.

D. Tulee arvioida valaistuksen laadullisen lopputuloksen varmentamisen, huolto-ohjeistuksen laatimisen ja käytönopastuksen kirjaamistarve määräystasolle osana muun talotekniikan toiminnan ja käytönopastuksen varmennusta ja todennusta.

Valaistussuunnitelmat ja niiden ohjaukset poikkeavat hyvin usein toteutetusta ratkaisusta esimerkiksi urakoinnin aikana tehtyjen valaisin- ja ohjausmuutosten vuoksi. Koska valo on hyvin tärkeä sisäolosuhde, tulisi toteutetun valaistusratkaisun vastaavuus suunnitelmiin aina todentaa - hyvin usein näin ei kuitenkaan tehdä. Valaistuksen todentaminen on ohjeistettu mm. standardissa SFS-EN 12464-1 *“Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”*. Toisaalta toimiva valaistus voi myös olla käyttäjille epäsopeva tai täysin kelvoton, jos valaistusta ei osata käyttää. Tämä johtuu usein väärin toteutetusta valaistuksenohjauksesta tai puutteellisesta ohjeistuksesta ja/tai käytönopastuksesta. Ohjaukseen ja automaatioon liittyviä asioita on määritelty mm. standardissa EN-15232 *“Energy performance of buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management”*.

Valaistuksen huolto on myös hyvin oleellinen osa valaistuksen laatua. Valaistussuunnittelija suunnittelee valaistuksen tiettyihin olosuhteisiin tietyille huoltovälille ja laatii tilaajalle huolto-ohjelman, jota tulee noudattaa. Jollei huolto-ohjelmaa laadita tai noudateta, putoaa tilojen valaistusvoimakkuus ja valaistuksen tasaisuus suunniteltujen arvojen alle eivätkä valaistukselle asetetut laatuvaatimukset enää täyty. Valaistushuollon, eli etupäässä valaisimien puhdistuksen ja lamppujen vaihdon, merkitys korostuu nykyään yhä enemmän, koska uudet LED-valonlähteet ovat pitkäikäisiä eivätkä välttämättä rikkoutu lainkaan perinteisten valonlähteiden tapaan. LED-valonlähteen elinikä on tyypillisesti määritelty siten, että sen valovirrasta on tietyissä olosuhteissa jäljellä 70 %. Äkkinäistä palamista LEDille ei koskaan tapahdu, vaan se himmenee loputtomiin, jonka vuoksi huolto-ohjelman puuttuminen tai noudattamatta jättäminen saattaa johtaa siihen, että katto on täynnä palavia LED-valonlähteitä, mutta valoa ei vain tule lähellekään tarpeeksi. Huoltoon liittyviä asioita on käsitelty standardissa SFS-EN 12464-1 *“Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”* ja julkaisussa CIE 97:2005 *“Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems”*.

6 Ehdotuksien taustoitus: valaistuksen energiatehokkuus

Tämän ehdotuksen määrittelyillä tavoitellaan käyttäjän ja käyttötarpeen mukaan mukautuvaa terveellistä, turvallista ja laadukasta valaistusta valaistusjärjestelmän koko elinkaaren ajalle, joka yhdessä muun talotekniikan kanssa muodostaa energiatehokkuudeltaan FinZEB-tasoisien kokonaisuuden. Tässä luvussa on käsitelty valaistuksen energiatehokkuuden määrittelyä osana rakentamismääräyksiä. Ensin esitetään kootusti valaistuksen merkittävimmät energiatehokkuustekijät ja sen jälkeen perustellaan tarkemmin toimenpide-ehdotusten sisältö.

6.1 Valaistuksen energiatehokkuustekijät

Alla on esitetty valon ja valaistuksen energiatehokkuustekijät (taulukko 3) ja niiden prioriteetti osana lähes nollaenergiarakentamista (* - ***). Lähdeaineistoa tiettyyn energiatehokkuustekijään löytyy sarakkeesta ”Standardit”. Standardien ja ohjeiden lähdeluettelo on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. Valon ja valaistuksen energiatehokkuustekijät ja niiden prioriteetti FinZEB-rakentamisessa (Jokiranta & Kallioharju 2014).

Tekijä	FinZEB-prioriteetti	Vastuu	Standardit
Ohjaukset	***	SÄH	4, 5, 8, 12, 15
Aurinkosuojaus, verhot pimeällä	***	ARK	4, 5, 8, 12, 13, 15, 16
Tilan käyttötarkoitus, työaluemäärittely	***	ARK (SÄH)	1, 2, 4, 5, 8, (12)
Huoltokerroin, huolto-ohjelma	***	SÄH	1, 4, 5, 7, 8, (12), 13
Suunnitteluarvojen ja toiminnan todentaminen	***	Urakoitsija	1, 4, 5, 12, 13, 15
Valaistuksen käytön opastus	***	Urakoitsija	12, 13
Valotehokkuus (lm/W)	***	SÄH (Urakoitsija)	4, 5
Tilasjoittelu	**	ARK	
Tilojen pintojen materiaalit ja sävyt	**	ARK/ SIS	1, 2, 4, 5, 8, (12), 13
Aukotus (määrä, muoto, tyyppitys)	**	ARK/ Viranomainen	4, 5
Kaavoitus	*	Viranomainen, ARK	4, 5
Tilojen muodot	*	ARK	4, 5

Taulukko 4. Lähdemateriaali valon ja valaistuksen energiatehokkuustekijöiden määrittelyyn (Jokiranta & Kallioharju 2014).

Lähteet:	
1. SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.	9. RT 10183 Asunnon sähkövalaistus (1982)
2. SFS-EN 12193 Light and Lighting. Sports lighting.	10. ASHRAE
3. EN 1838 Lighting applications. Emergency lighting	11. EN 16791-Quantifying irradiance for eye-mediated non-image forming effects of light in humans
4. Draft prEN 15193-1 rev Energy performance of buildings – Module M9 – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications	12. Breeam
5. Technical Report CEN/TR 15193-2:2013	13. Leed
6. ANSI/IESNA RP-28-07 Lighting and the Visual Environment for Senior Living	14. CIE Guidelines for Accessibility: Visibility and Lighting Guidelines for Older Persons and Persons with Disabilities
7. CIE 97:2005 Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems	15. EN-15232 Energy performance of buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management
8. Valaistussuosituksen 1986	16. BS 8206-2:2008 Lighting for buildings. Code of practice for daylighting

Valaistuksen energiatehokkuustekijöiden taulukon sisältö on avattu tarkemmin alla:

- **ohjaukset** ja erityisesti ohjauksien automatisointi ovat merkittävin yksittäinen tekijä valaistusjärjestelmän energiatehokkuutta määriteltäessä. Paras energiatehokkuus saavutetaan, kun valoa käytetään siellä missä sitä tarvitaan, silloin kun sitä tarvitaan ja juuri sen verran kun sitä tarvitaan.

- **aurinkosuojaus ja verhot pimeällä;** päivänvalo on energiatehokas ja hyvinvointia lisäävä tapa valaista sisätiloja. Tutkimusten mukaan energiatehokkaimmissa valaistuksenohjausratkaisuissa valaistuksenohjaus ja aurinkosuojaus toimivat yhdessä. Päivällä valoa hyödynnetään ilman häikäisyä ja yöllä verhot pidetään suljettuna, ettei valoa karkaa rakennuksen ulkopuolelle.
- **tilan käyttötarkoitus ja työaluemäärittely;** nykyisissä valaistusstandardeissa valon määrällinen suunnittelu perustuu työaluekohtaiseen suunnitteluun, jossa työalueelle ja lähialueille suunnitellaan työtehtävän vaatima määrä valoa - tällaisessa suunnittelussa ei valaista turhia alueita.
- **huoltokerroin ja huolto-ohjelma** näyttelevät merkittävää roolia valaistuksen energiatehokkuudessa. Huoltokerroin on laskennallinen suure, jolla uusi valaistus ylimitoitetaan siten, että työalueilla on riittävästi valoa vielä silloinkin kun huolto on tulossa (eli valaisimet ovat likaiset ja lamput kuluneet). Huolto-ohjelmaan on määritelty, koska lamput on vaihdettava ja valaisimet puhdistettava, jotta valaistuksen laatu pysyy suunnitelluissa rajoissa. Tiheämpi huoltoväli vähentää valaistuksen asennustehoa ja harvempi lisää asennustehoa (ylimitoitusta).
- **suunnitteluarvojen ja toiminnan todentaminen** on merkittävässä roolissa, kun valaistuksen energiatehokkuutta varmennetaan. Jos valaisimia esimerkiksi vaihdetaan urakointivaiheessa hyötysuhteeltaan huonompiin, voidaan valaistusta joutua käytön aikana lisäämään ja energiatehokkuus on menetetty. Myös ohjauksien oikeanlainen toiminta tulisi todentaa, sillä pienilläkin kalibrointivirheillä esimerkiksi vakiovalo-ohjatun kohteen valaistuksen energiankulutus saattaa kasvaa kymmeniä prosentteja.
- **valaistuksen käytön opastus;** käytön opastuksella varmennetaan, että käyttäjät osaa- vat käyttää aina käyttötarkoituksenmukaista valaistusta ja ymmärtävät esimerkiksi vakiovalo-ohjauksen merkityksen valaistuksen energiatehokkuuden kannalta. Tämä on oleellista, jos esimerkiksi kohteen kaihtimet ovat käsin säädettävissä
- **valotehokkuus (lm/W)** tarkoittaa tässä valaisimen valotehokkuutta (ei pelkän lampun), eli esittää valaisimesta ulos tulevan valon määrän, kun sitä syötetään yhden watin teholla. Arvo riippuu valaisimen optisesta ja sähköisestä (liitäntälaitteen) hyötysuhteesta sekä lampun valotehokkuudesta.
- **tilasijoittelu** rakennuksen sisällä on tärkeää päivänvalon hyödyntämisen kannalta
- **tilojen pintojen materiaalit ja sävyt** eli erilaiset heijastuskertoimet vaikuttavat merkittävästi valaistuksen energiatehokkuuteen. Mitä tummemmat ja huokoisemmat pinnat, sitä enemmän valoa pinnoille hukkuu.
- **aukotus (määrä, muoto, tyyppitys)** vaikuttaa merkittävästi päivänvalon hyödyntämi- seen ja toisaalta yöaikaan valon karkaamiseen, ellei aukkoja peitetä
- **kaavoitus;** rakennuksen sijoittelu tontilla ja rakennuksen muoto vaikuttavat merkittä- västi päivänvalon hyödyntämismahdollisuuksiin
- **tilojen muodot** vaikuttavat päivänvalon hyödyntämiseen ja myös valaistushyötysuh- teeseen

6.2 Valaistuksen energiatehokkuusehdotusten taustat ja perustelut

Tässä alaluvussa on taustoitettu ja perusteltu valaistuksen energiatehokkuustekijöihin liittyvät määräysehdotukset. Ensimmäisenä tarkastellaan yhdistetysti kohdat E ja I ja sen jälkeen kohdat F- H.

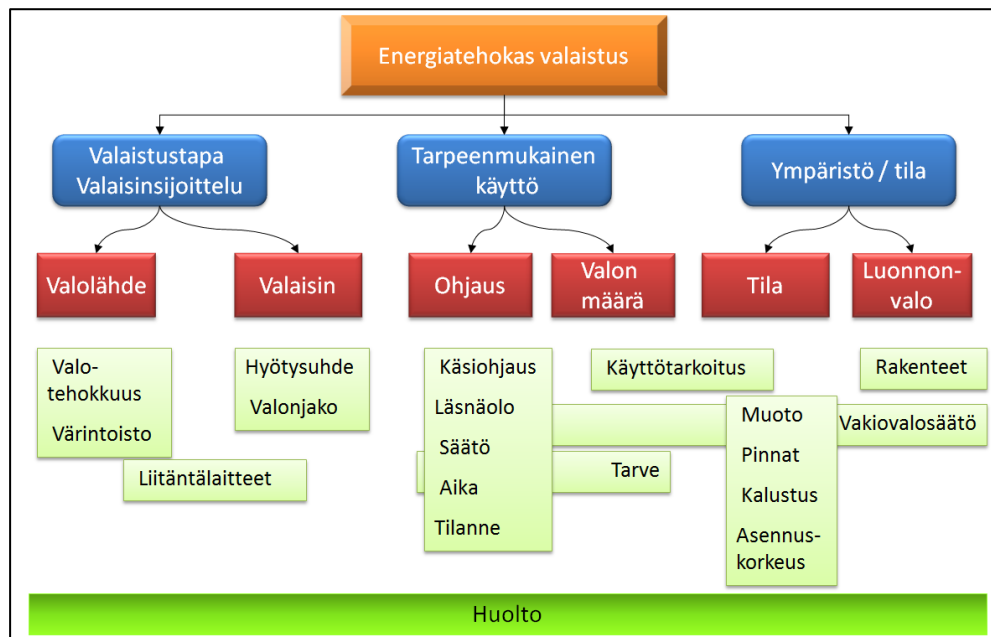
- E. Valaistusratkaisua tulee tarkastella kokonaisuutena, jossa huomioidaan mm. valaisinten asennustehot, käyttöprofiilit, päivänvalo, valaistava ympäristö ja erilaisten ohjausten ja valaistustilanteiden vaikutukset. Rakennuksien valaistuksen energiankulutukselle tulee määrittää raja-arvot muodossa kWh/m^2*a , joihin kohteesta tehtyjä energialaskelmia verrataan.**
- I. Säädöksissä ja ohjeistuksissa tulisi jatkossa korostaa enemmän mm. arkkitehdin valintojen vaikutusta valaistuksen energiatehokkuuteen (rakennus/tilasijoittelu, aukotus, pinnat, muodot, aurinkosuojaus ja sen automatisointi, ym.)**

Valaistusratkaisun energiatehokkuus on laaja kokonaisuus, johon vaikuttaa useat eri tekijät (seuraava kappale). Nykyisten rakennusmääräysten mukaisessa energialaskennassa merkittävimmät ongelmat valaistuslaskennan kannalta ovat:

- Liian varhainen laskenta-ajankohta; E-luku lasketaan niin varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia, ettei kohteelle ole yleensä valittu valaistus- tai sähkösuunnittelijaa, joka pystyisi määrittelemään valaistustarpeen. Tästä johtuen arviointi tehdään tyypillisesti D3/2012 kiinteistökohtaisiin valaistuksen keskitehoarvioihin perustuen
- Valaistuksenohjauksia ei huomioida
- rakennuslupaprosessi edellyttää laskentaa hankkeen varhaisessa vaiheessa

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 (kuva 2).



Kuva 2. Valaistuksen energiatehokkuuden tekijät

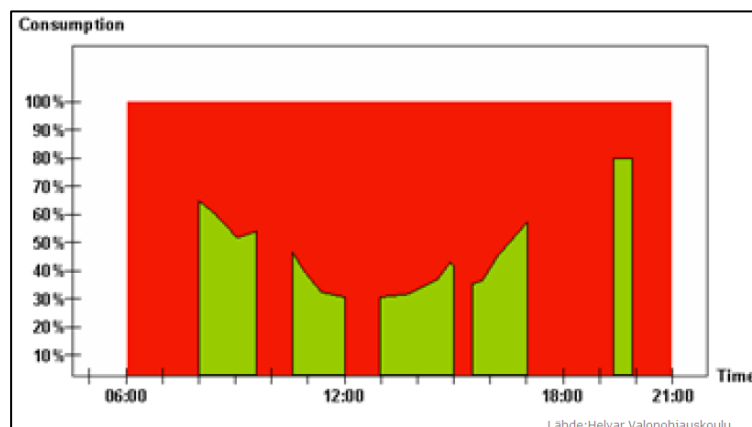
Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat ensimmäiset valinnat tehdään jo kaavoitusvaiheessa, kun rakennusta sijoitellaan tontille. Tämän jälkeen tulevat arkkitehdin tilasijoittelu, aukotukset ja tilojen muotojen luonnostelu sekä aurinkosuojauksien valinta. Kaikki edellä mainitut toimenpiteet vaikuttavat erityisesti päivänvalon saatavuuteen, joka on merkittävä osa valaistuksen energiatehokkuutta ja myös sisäolosuhteita. Aurinkosuojauksien kohdalla tulee myös huomata, että automaattinen aurinkosuojaus yhdistettynä automaattiseen valaistuksenohjaukseen on tutkitusti energiatehokkain valaistuksenohjauksratkaisu, jolla maksimoidaan päivänvalon hyödyntäminen. Automaatisoidussa mallissa kaihtimia, verhoja ja markiiseja ohjataan siten, ettei sisätiloissa havaita häikäisyä, mutta päivänvaloa saadaan hyödynnettyä maksimaalisesti. Pimeällä puolestaan verhot tai kaihtimet suljetaan, jolloin valo ei pääse karkaamaan ikkunoista rakennuksen ulkopuolelle. Päivänvalon ja aurinkosuojauksien vaikutusta energiatehokkuuteen käsitellään mm. standardeissa SFS-EN 15193 ”Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus”, EN-15232 ”Energy performance of buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management” ja BS 8206-2:2008 ”Lighting for buildings. Code of practice for daylighting”.

Seuraava suunnitteluaskel, joka vaikuttaa merkittävästi valaistuksen energiatehokkuuteen, on pintamateriaalien ja värien valinta. Valaistuksen energiatehokkuuden kannalta suositeltuja heijastuskertoimia (väri- ja materiaali riippuvainen suure) löytyy mm. standardista SFS-EN 12464-1 ”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus”, mutta käytännössä valaistussuunnittelija ei voi nykyään kuitenkaan juuri vaikuttaa kohteen pintamateriaalien tai värien valintaan.

Itse valaistusjärjestelmän energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa valaisin- ja lampputekniikalla, ohjauksilla ja valaisinten sijoittelulla, joista ohjauksilla on merkittävin vaikutus valaistuksen energiatehokkuuteen. Valaisimien ja lamppujen kohdalla energiatehokkuutta voidaan tarkastella valotehokkuudella eli lm/W-arvoilla (näkyvän valon

määrä luumenta per watti). Lamppujen lm/W-arvoista puhutaan paljon, mutta käytännössä suunnittelussa tulisi puhua koko valaisinasennuksen lm/W-arvosta, eli valaisimen valotehokkuudesta. Valaisimen valotehokkuuteen vaikuttaa lampun tai valonlähteen valotehokkuus ja valaisimen optinen ja sähköinen (liitäntälaitteen) hyötysuhde. Valaisinasennuksien lm/W-arvoille voitaisiin asettaa määräystasolle minimivaatimuksia, Valaisin- ja lampputekniikka alkaa kuitenkin Suomessa olla niin kehittyntä, ettei sillä välttämättä saavutettaisi merkittäviä hyötyjä. Esimerkiksi Iso-Britanniassa on asetettu nykyisiin energiatehokkuusmääräyksiin valaisinasennusten valotehokkuuden minimiarvoksi 60 lm/W.

Nykyisellään määräyksissä valaistuksen keskitehoa ja valaistusenergiaa arvioidaan ensisijaisesti W/m^2 -arvoilla, jonka kautta tietyllä valmiilla käyttöasteella ja kiinteillä polttotunneilla päädytään valaistuksen vuosienergian kulutukseen. Tästä arviointimallista tulee siirtyä kohti tarkempaa laskentaa useastakin eri syystä, jotka useimmiten liittyvät jollain tapaa kehittyneisiin ohjaustekniikoihin. W/m^2 -tyyppinen laskenta vääristää tulosta esimerkiksi silloin, kun kohteessa käytetään, nykyään hyvin yleistä, vakiovalo-ohjausta. Vakiovalo-ohjauksessa valaistusta ohjataan ikkunoista saapuvan päivänvalon määrän suhteessa. Mitä enemmän päivänvaloa ikkunoista saadaan, sitä vähemmän keinovaloa käytetään. Valaisimet siis palavat osateholla yleensä suurimman osan ajasta. W/m^2 -tyyppinen laskenta soveltuu huonosti myös silloin, jos kohteessa hyödynnetään paljon valaistustilanteita. Valaistustilanteita käytettäessä osa tilan valaisimista saattaa palaa pitkiä aikoja hyvinkin pienellä teholla ja osa olla kokonaan sammutettuna (vaikkapa luokkatilassa ohjaustilanne ”esitys”). Valaistuksen asennusteho ei siis enää kerro juuri mitään todellisesta käytössä olevasta valaistustehosta. Myös valaistuksen käyttöaste ja polttoaika muuttuvat hyvin paljon riippuen ohjaustavasta - valaistuksen polttoaika samantyyppisissä ja samanlaisessa käytössäkin olevissa tiloissa on täysin erilainen käytettäessä käsiohjausta, aikaohjausta tai esimerkiksi automatisoitua läsnäolo- tai poissaolo-ohjausta (kuva 3). Valaistuksen energialaskennasta, päivänvalon ja ohjauksien vaikutuksesta, laskentamalleista sekä käyttöprofiileista ja käyttöasteista löytyy esimerkiksi standardista SFS-EN 15193 ”Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus”.



Kuva 3. Esimerkki aikaohjauksen energiankulutuksen (punainen) ja yhdistetyn läsnäolo- ja vakiovalo-ohjauksen energiankulutuksen (vihreä) eroista avotoimistossa. (Riikkula 2011)

Valaistus tulisi siis mallintaa tai laskea kohteesta riippuen siten, että keskeiset valaistuksen energiankulutukseen vaikuttavat tekijät tulisi otettua huomioon. Valaistuksen energialaskennan suorittaminen riittävällä tarkkuudella vaatisi suunnittelijalta vähintään perustasoista osaamista valaistussuunnittelusta ja ohjaustekniikasta. Lisäksi kohteen suunnittelun tulisi olla niin pitkällä, että tilojen käyttötarkoitukset ja alustavat kustekuvat sekä pinta-materiaalit olisivat valaistuksen energialaskijan saatavilla. Käytännössä tämä tarkoittaisi mallinnusta muiden sisäolosuhteiden kanssa samaan aikaan ja samalla laskentatarkkuudella.

Laskentatuloksien vertailuarvoiksi tulisi valaistukselle määritellä kWh/m²*a -perustaiset raja-arvot kaikille erityyppisille kohteille. Rajoja on määritelty esimerkiksi standardissa SFS-EN 15193 ”Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus”, mutta standardin määrittelemät arvot ovat yleisesti ottaen melko huonoja verrattuna Suomessa jo nykyisellään toteutettaviin valaistusjärjestelmiin. Raja-arvojen tarkka määrittely edellyttäisi syvällisempää selvitystä. Viitteellistä näkemystä valaistuksen raja-arvojen suuruudesta ja tekniikan vaikutuksesta kWh/m²*a -arvoon (LENI-lukuun) saa kuvasta 4. LENI-luvua on selvitetty lisää laskentamenetelmien yhteydessä.

Taulukko 2 – Tilan energiankäytön arviointiasteikko					
Tila	LENI-luku (kWh/m ² /vuosi)				
Käytävät	≤10	10–15	15–20	20–25	>25
Luokkahuoneet	≤15	15–20	20–25	25–30	>30
Toimistot	≤10	10–20	20–30	30–40	>40
Aulat	≤15	15–25	25–35	35–45	>45
Kokoustilat	≤15	15–30	30–40	40–50	>50
Urheiluhallit	≤40	40–50	50–60	60–70	>70
Teollisuustilat	≤40	40–60	60–80	80–100	>100
Tavaratalot	≤75	75–100	100–125	125–150	>150
Marketit	≤75	75–100	100–125	125–150	>150
Energiankäyttö	5	4	3	2	1

Energiankäyttö 5 – Energiatehokkaasti toteutettu valaistusjärjestelmä, jossa valaistus on paikallistettu, siinä käytetään energiatehokkaita valonlähteitä sekä päivänvalo- ja läsnäolo-ohjausta.

Energiankäyttö 4 – Energiatehokkaasti toteutettu valaistusjärjestelmä, jossa valaistus on tyypillisesti paikallistettu, siinä käytetään energiatehokkaita valonlähteitä sekä normaalia ohjausta.

Energiankäyttö 3 – Nykyaikainen valaistusjärjestelmä, jossa ei ole erityisesti pyritty energiatehokkuuteen.

Energiankäyttö 2 – Tehokkuudeltaan heikohko valaistusjärjestelmä.

Energiankäyttö 1 – Tehokkuudeltaan heikko valaistusjärjestelmä. Tyypillinen 70-luvun valaistusratkaisu C-luokan kuristimella.

Kuva 4. LENI-luku ja valaistustekniikan vaikutus LENI-luvun tasoon. Nykyiset rakentamismääräykset määrittelevät sisävalaistuksen noin tasolle 3. (Hakamaa 2011).

- F.** Valaistuksen energiankulutus on moninaisten muuttujien summa, jonka laskenta tulisi tehdä ensisijaisesti mallintaen tai tarkkaan laskentaan perustuen. Laskennassa tarvittavien tilojen käyttöprofiilien ja muiden lähtötietojen määrittämisessä tulisi hyödyntää olemassa olevia valaistuksen energialaskentastandardeja, joita mm. mallinnohjelmistot jo nykyisellään käyttävät. Suositeltava vaihtoehto olisi kirjata olemassa olevat valaistuksen energialaskentastandardit velvoittaviksi.
- G.** Laskentatarkkuus tulisi määrittää samalle tasolle kuin muita olosuhteita mallinnettaessa. Tekijöihin, joissa valaistuksen energiankulutus toimii lähtötietona (esim. jäähdytys), laskentatarkkuus saa olla enintään sama kuin lähtöarvon
- H.** Laskentaan voidaan tarvittaessa ottaa tarkan laskennan / mallinnuksen rinnalle karkea laskentamalli palvelemaan esimerkiksi asuinrakennuksia ja toisarvoisia koh-

teita. Karkea malli olisi helppokäyttöinen, mutta antaisi mallinnusta huonommat arvot kannustaen sitä kautta aina mallinnukseen. Karkeaan laskentaan on olemassa mallit valaistuksen energialaskentastandardeissa.

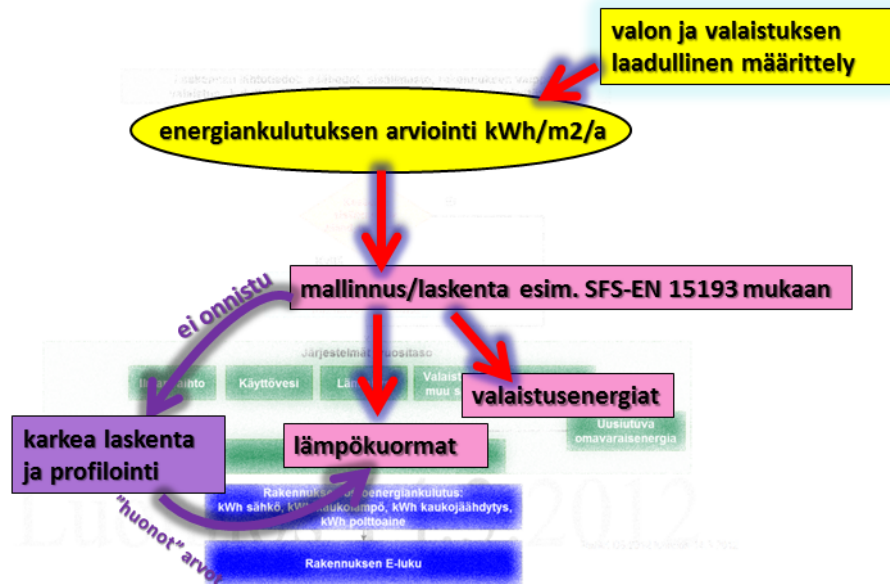
Nykyaikaisen valaistusratkaisun energiankulutusta voidaan enää arvioida millään yksinkertaisella laskentatavalla ainakaan siten, että päästäisiin lähellekään todellista kulusarviota. Ainoa mahdollisuus onkin siis toteuttaa energialaskenta mallintamalla tai jollakin tarkalla laskentamenetelmällä sellaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia, jossa rakennuksen pääsääntöinen tilasuunnittelu käyttötärpeineen ja työpisteineen on tiedossa. Käytännössä tämä tarkoittaa laskentaa muiden sisäolosuhteiden kanssa samaan aikaan ja samalla laskentatarkkuudella. Koska nykyaikaisen valaistusjärjestelmän energianlaskennan suorittaminen on melko monimutkainen prosessi, on mallintaminen yksinkertaisin tapa toteuttaa valaistuksen ja muiden sisäolosuhteiden kattava energialaskenta. Yleisesti käytössä olevat valaistuslaskentaohjelmat kykenevät laskemaan kohteen kuukausi- ja vuositason energiankulutuksen päivänvalon, käyttöprofiilit ja ohjaukset huomioiden. Valaistuslaskentaohjelmien etu verrattuna käsinlaskentaan on erityisesti helppo lähtötietojen syöttäminen ja suuri laskentakapasiteetti, jolloin kohtuullisen pienellä työmäärällä saadaan laskettua maantieteellisen sijainnin, rakennuksen ja tilojen sijoittelun, aukotuksen, käyttäjien, ohjauksien, pintojen, ym. vaikutukset valaistuksen energiankulutukseen. Lisäksi muutosten tekeminen laskentaan valaistuslaskentaohjelmistoa käytettäessä on nopeaa. Suomessa käytetyt valaistuslaskentaohjelmistot (DIALux, DIALux Evo, Relux, ym.) ovat pääosin ilmaisia, jolloin suunnittelijan tai laskijan ei ole välttämätöntä sitoutua mihinkään kaupalliseen toimijaan.

Itse valaistuksen energialaskenta valaistuslaskentaohjelmistojen taustalla perustuu standardin SFS-EN 15193 *”Rakennuksen energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus”* laskentamalliin. SFS-EN 15193 tarjoaa valaistuksen energiankulutuksen laskentaan kaksi laskentamallia, pikalaskentamenetelmän ja tarkan menetelmän, joista laskentaohjelmistot hyödyntävät tarkkaa menetelmää. Laskenta voidaan aina suorittaa myös manuaalisena laskentana. SFS-EN 15193 -standardi määrittelee valaistuksen energiankulutuksen LENI-lukuna ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$). Pikalaskentamenetelmässä standardi ei määrittele kuukausitason kulutusta erikseen, kun taas tarkassa laskentamallissa kuukausitason kulutus lasketaan - tarvittaessa päästään myös vuorokausi tai tuntitasolle. Laskentaohjelmistot eivät tällaiseen tarkkuuteen vielä nykyään pysty.

SFS-EN 15193 -standardin laskentamallit ovat hyvin kattavia ja huomioivat kaikki valaistuksen energiankulutukseen vaikuttavat oleelliset muuttujat, jonka vuoksi standardia käytetään valaistuksen määräysten mukaiseen energialaskentaan mm. Kyproksella, Saksassa, Iso-Britanniassa, Puolassa ja Sloveniassa. Standardista on tulossa uusi versio (nykyinen versio SFS-EN 15193:2007), johon laskentamalleja on entisestään kehitetty. Uuden version luonnos on lausuntokierroksella (tilanne 01/2015), ja sitä on käytetty tämän ehdotuksen taustatyötä tehtäessä.

Esimerkiksi asuinrakennusten ja toisarvoisten kohteiden kohdalla voitaisiin ajatella mallinnuksen rinnalle karkean laskentamenetelmän käyttöönottoa. Karkea laskenta-

malli olisi lähempänä määräysten nykyistä laskentatapaa, mutta huomioisi kuitenkin jollain tasolla esimerkiksi ohjausten ja päivänvalon vaikutukset. Karkean menetelmän tulisi kuitenkin antaa aina mallinnusta huonommat tulokset (kuva 5).



Kuva 5. Ehdotus valaistuksen energialaskennan vaihtoehtoista nZEB-kohteessa.

Standardin SFS-EN 15193 pikalaskentamalli voisi esimerkiksi olla yksi vaihtoehto karkeaan laskentaan, tai laskentaa voisi vielä tästäkin yksinkertaistaa ainakin päivänvalon laskennan osalta. Tutkimuksien perusteella on osoitettu, että standardin SFS-EN 15193 pikalaskentamenetelmä antaa aina suuremman energia-arvion kuin tarkka menetelmä, ja tämä mainitaan myös standardin omissa sisäisissä kommentteissa.

Koska pikalaskentamenetelmät eivät nykyisellään tue valaistuksen energiankulutuksen määrittelyä kuukausitasolle, voitaisiin karkean laskennan valaistusenergian kuukausitason määrittelyä varten luoda tarvittaessa perusprofiili, jolla vuosikulutus jaettaisiin eri kuukausille. Tällainen profiili voitaisiin luoda esimerkiksi nykyisistäkin määräyksistä löytyvien auringonsäteilyn vuosikuvaajien perusteella käänteisesti. Tätä vaihtoehtoa on selvitetty enemmänkin tämän selvityksen yhteydessä ja lisätietoa on tarvittaessa saatavilla.

Energiatehokkuuslaskentaan liittyvien säädösten uudistamisen lisäksi käynnissä on maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuvien suunnittelijapätevyysien uudelleenmäärittely. Näissä säädöksissä tulisi mukana ottaa valaistussuunnittelu yhtenä erityissuunnitteluna joko osana sähkösuunnittelua tai omana erillisenä vaatimuksenaan.

7 Valaistuksen laatu- ja energiatehokkuustekijöiden ristiintaulukointi

Oleellimmat valaistuksen tekijät sekä energiatehokkuuden että laadun kannalta on vielä ristiintaulukoitu ja priorisoitu alla olevaan taulukkoon 5 edellisten lukujen ja taulukoiden perusteella. Tekijöitä ei tässä enää erikseen perustella, koska perustelut on esitetty edellisten taulukoiden yhteydessä (taulukko 1 ja taulukko 3).

Taulukko 5. Valaistuksen oleellimmat tekijät sekä energiatehokkuuden että laadun kannalta sekä niiden prioriteetti FlnZEB-rakentamisessa (Jokiranta & Kallioharju 2014).

Energiatehokkuustekijä	Laatutekijä	FlnZEB-prioriteetti	Vastuu
Ohjaukset	Käyttötarpeen ja käyttäjän mukaan ohjattava, valon vaihtelevuus, valon biologiset vaikutukset	***	SÄH, VAL
Aurinkosuojaus/ verhot pimeällä	Häikäisy, päivänvalo	***	ARK
Tilan käyttötarkoitus, työaluemäärittely	Valaistusvoimakkuus, valaistuksen tasaisuus, käyttötarpeen ja käyttäjän mukaan ohjattava, värinointo, värilämpötila, valon suuntaus (muodonanto), luminanssijakauma, valon biologiset vaikutukset	***	ARK, SÄH, VAL
Huoltokerroin, huolto-ohjelma	Huoltosuunnitelma	***	SÄH
Suunnitteluarvojen ja ohjausjärjestelmän toiminnan todentaminen	Suunnitteluarvojen ja ohjausjärjestelmän toiminnan todentaminen	***	Urakoitsija
Valaistuksen käytön opastus	Käyttötarpeen ja käyttäjän mukaan ohjattava	***	Urakoitsija
Valotehokkuus (lm/W)	-	***	SÄH (Urakoitsija)
Tilasijoittelu	Häikäisy, päivänvalo	**	ARK
Tilojen pintojen materiaalit ja sävyt	Häikäisy, luminanssijakauma	**	ARK/ SIS
Aukotus (määrä, muoto, tyyppitys)	Häikäisy, päivänvalo	**	ARK/ Viranomainen
Kaavoitus	Päivänvalo	*	Viranomainen, ARK
Tilan muoto	Päivänvalo	*	ARK

LIITE 1. Valo ja valaistus nykyisissä laeissa ja määräyksissä

23.8.2002/738, Työturvallisuuslaki

34 § Työpaikan valaistus:

”Työpaikalla tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sopiva ja riittävän tehokas valaistus. Sinne on mahdollisuuksien mukaan päästävä riittävästi luonnonvaloa. Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä työpaikan yleis- ja erityisvalaistuksesta.”

18.6.2003/577, Valtioneuvoston asetus työpaikkojen turvallisuus- ja terveysvaatimuksista

10 §: Työpaikan valaistus :

”Työpaikalla käytössä olevat valaisimet tulee asentaa työtiloihin, käytäviin ja muualle työpaikalla siten, että ne eivät aiheuta lisävaaraa työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle. Työpaikalla tulee olla riittävä ulkovalaistus, jollei päivänvalo ole riittävä.

Työpaikkana käytettävä maanalainen tila, ikkunaton rakennus tai rakennuksen osa tai muu sellainen työpaikka, jossa työntekijät ovat erityisen alttiina vaaralle keinovalaistuksen joutuessa epäkuuntoon, on varustettava riittävällä varavalaisuksella.

Jollei maan alla suoritettavassa tai muussa siihen verrattavassa työssä voida järjestää tai voida kohtuudella vaatia järjestettäväksi muuta valaistusta, voidaan siellä käyttää työntekijän mukanaan kuljettamaa valaistusvälinettä.”

D2 (2012)

”2.5

Valaistusolosuhteet

2.5.1

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä voidaan ylläpitää näkötehtävän edellyttämä valaistus käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.

2.5.1.1

Valaistuksen ryhmittely, energiansyöttö ja ohjaus toteutetaan siten, että valaistusta voidaan vaihdella tehtävien toimintojen ja luonnonvalon määrän mukaisesti.”

F1 (2005) Esteetön ympäristö

2.1.2 ohje: *”...havainnoinnin tehostamiskeinoja ovat valaistuksen kohdistaminen sekä väri-, materiaali- ja pintakuviokonstrastien käyttö.”*

F2 (2001) Rakennuksen käyttöturvallisuus

”3.1 Valoisuus ja valaistus

3.1.1

Rakennuksen ja sen ympäristön tulee olla valaistusolosuhteiltaan siten järjestetty, että valaistus on riittävä ja rakennuksen käyttö sekä huolto on turvallista.

Ohje

Porraskäytäviin ja muihin vastaaviin yhteistiloihin suositellaan järjestettäväksi automaattinen valaistuksen ohjaus liiketunnistimien tai vastaavien laitteiden avulla, jotta niihin saapuminen on turvallista.

Valaisintyyppin valinnassa ja valaisimien sijoituksessa esimerkiksi hoitotilaan on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei lasta saateta alttiiksi kirkkaiden valopistei-

den silmiä vaurioittavalle vaikutukselle. Valaisimien sijoituksessa otetaan huomioon myös niiden turvallinen huollettavuus.

Selostus

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan G1 mukaan asuin- ja työhuoneen ikkunoiden valoaukkojen yhteenlaskettu koko on vähintään 10 % huonealasta.

3.1.2 Rakennuksen pintojen ja valaistuksen tulee olla sellaiset, että saavutetaan havaitsemisen kannalta riittävät vaaleuserot. Valaistus ei saa aiheuttaa turvallisuutta vaarantavaa häikäisyä.

Ohje

Pintojen kontrastit ovat tärkeitä suunnistautumisessa sekä kompastumis- törmäys-, harhaanastumis- ja putoamisvaaran torjumisessa. Kulkureitillä olevat luiskat, askelmat, kynnykset tai tasoerot osoitetaan selvästi valaistuksen ja pintojen vaaleus- tai värierojen avulla."

LIITE 2. Päivänvalon huomiointi (ikkunat ja aukotus) nykyisissä laeissa ja määräyksissä

G1 (2005) Asuntosuunnittelu

”2.3 Ikkunat

2.3.1 Määräys

Asuinhuoneessa tulee olla ikkuna, jonka valoaukko on vähintään 1/10 huonealasta. Ikkunan sijoituksen ja muun järjestelyn tulee olla valoisuuden ja viihtyisyyden kannalta tarkoituksen mukainen. Huoneen ikkunan tai osan siitä tulee olla avattavissa.

Asuinhuoneen ikkunan tulee olla välittömässä yhteydessä ulkoilmaan. Luonnonvalo osaan huoneiston asuinhuoneista saadaan kuitenkin järjestää toisen, valokatteella tai muulla valoa läpäisevällä rakennusosalla rajatun tilan kautta.

2.4 Suhde ympäristön rakennuksiin ja ympäristöön

2.4.1 Määräys

Etäisyyden asuinhuoneen pääikkunan edessä samassa tai naapurikiinteistössä olevaan vastapäiseen rakennukseen tulee olla vähintään yhtä suuri kuin vastapäisen rakennuksen korkeus huoneen lattiatasolta mitattuna, ellei asemakaavasta muuta johdu. Pääikkunan edessä tulee kuitenkin olla vähintään 8 metrin etäisyyteen asti rakentamatonta tilaa. Pientalossa saa mainittu etäisyys tontilla tai rakennuspaikalla olla viihtyisyyden vaatimukset huomioon ottaen pienempikin.

2.4.2 Määräys

Asuinhuoneen suunnittelussa tulee ottaa huomioon ilmansuuntien ja ympäristön mahdollisten häiriöiden vaikutus sekä ikkunanäkymät

Ohje: Asuinhuone tarvitsee käyttötarkoitustaan vastaavasti suoraa auringonvaloa. Asuinhuoneen ikkunasta avautuvilla näkymillä on merkitys viihtyisyyden kannalta.”

LÄHTEET

Hakamaa, S. 2011. Valaistuksenohjaus ja valaistuksen energiatehokkuus; Energiatehokkaat valinnat valaistuksessa. Seminaariesitys 29.9.2011. Tampere.

Jokiranta, A & Kallioharju, K. 2014. FlnZEB-valaistusryhmän työpajaesitys 13.11.2014. Helsinki.

Riikkula, J. 2011. Valaistuksenohjaus ja valaistuksen energiatehokkuus; Valaistuksenohjaus energiansäästöissä. Seminaariesitys 29.9.2011. Tampere.

SFS-EN 15251. 2007. Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet. 1. painos. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto. 82 s.