

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
SELVITYS

# **Päivänvalo-olosuhteiden arviointi- ja ohjausmenetelmät**

Hanna Vikberg, Kimmo Lylykangas, Francesco De Luca





# Sisällysluettelo

SELVITYKSEN TAUSTA JA SISÄLTÖ .....	6
KÄSITTEET .....	8
LYHENTEET .....	10
1 PÄIVÄNVALON ARVO.....	11
1.1 Päivänvalon vaikutus käyttäjäkokemukseen.....	11
1.2 Päivänvalon vaikutus terveyteen .....	11
1.3 Päivänvalon arkkitehtoninen arvo .....	12
1.4 Päivänvalon vaikutus energiankulutukseen.....	13
2 PÄIVÄNVALAISTUKSEN ARVIOINNISSA HUOMIOITAVAT SEIKAT .....	14
2.1 Maantieteellinen sijainti .....	14
2.2 Ulkopuolinen este.....	14
2.3 Rakennuksen aiheuttamat esteet.....	15
3 PÄIVÄNVALAISTUKSEN ARVIOINTIMENETELMIÄ.....	17
3.1 Nyrkkisäännöt.....	18
3.2 Päivänvalosuhte .....	19
3.3 Ilmastoperusteinen päivänvalon mallintaminen (CBDM) .....	20
3.3.1 Päivänvaloautonomia, Daylight autonomy (DA) .....	21
3.3.2 Jatkuva päivänvaloautonomia, Continuous Daylight Autonomy (DA <sub>con</sub> ) .....	21
3.3.3 Tilallinen päivänvaloautonomia, Spatial Daylight Autonomy (sDA).....	21
3.3.4 Hyödyllinen päivänvalaistusvoimakkuus, Usefull daylight illuminance (UDI).....	22
3.4 Suora auringonvalo.....	22
3.4.1 Vuotuinen auringonvalon altistus, Annual Sunlight Exposure ASE .....	23
3.5 Häikäisyn mittaaminen .....	23
3.6 Ihmislähtöiset arviointimenetelmät .....	24
4 PÄIVÄNVALO-OLOSUHTEIDEN SÄÄNTELY JA OHJAUS.....	25
4.1 Suomessa.....	25
4.2 Määräykset ja ohjausmenetelmät muissa maissa .....	26
4.2.1 Ruotsi .....	26
4.2.2 Tanska .....	27
4.2.3 Norja.....	27
4.2.4 Viro.....	28

4.3 Eurooppalainen standardi EN17037:2018 Päivänvalo rakennuksissa.....	28
4.4 Vapaaehtoiset ohjausmenetelmät.....	33
4.4.1 BREEAM.....	33
4.4.2 LEED.....	34
4.4.3 RTS-Ympäristöluokitus .....	35
4.4.4 EU:n ympäristöä säästäviä julkisia hankintoja koskevat kriteerit –toimistorakennusten suunnittelu, rakentaminen ja hallinta .....	35
 YHTEENVETO .....	 36
 5 LÄHDELUETTELO.....	 37

## Selvityksen tausta ja sisältö

Tämä on Suomen Ympäristöministeriön toimeksiantona laadittu selvitys ajankohtaisista päivänvalon ohjaus- ja arviointimenetelmistä. Selvityksessä esitellään päivänvalaistuksen kannalta olennaisia käsitteitä, kansainvälisesti tutkittuja arviointimenetelmiä sekä Pohjoismaisia (Ruotsi, Norja ja Tanska) ja Viron uudisrakentamisen päivänvalo-olosuhteita koskevia ohjausmenetelmiä. Tämän lisäksi avataan uuden eurooppalaisen päivänvalostandardin EN 17037:2018 *Daylight in buildings* asettamia vaatimuksia päivänvalaistukselle.

Päivänvalon huomioiminen rakentamisessa on muuttunut tärkeämmäksi tiivistyvän kaupunkirakenteen ja korkean rakentamisen myötä. Tunnistamme valon tarpeen laadukkaan asuintilan ja riittävän valon määrän suhteen, mutta päivänvalolla on myös huomattavia terveysvaikutuksia. Viime vuosikymmenen aikana on tutkittu paljon valon ei-visuaalisia vaikutuksia ja tiedämme, että päivänvalo vaikuttaa ihmisen vuorokausirytmiiin, hormonituotantoon sekä unenlaatuun toisin kuin keinovalo. Pohjoismaissa vietämme noin 90 % ajastamme sisätiloissa, joten päivänvalon huomioiminen rakennusten suunnittelussa on oleellista.

Kansainvälisesti rakennusten päivänvalaistusta on tutkittu hyvin paljon. Viime vuosina tutkimus- ja arviointimenetelmät ovatkin kehittyneet valtavasti. Suomessa rakennusten päivänvalaistusta koskeva tutkimus on kuitenkin lähes olematonta. Päivänvalotutkimuksen puute ja numeeristen tavoitteiden vähäinen käyttö suunnittelussa ovat johtaneet siihen, että keskeisille käsitteille on vaikea löytää suomenkielistä vastinetta tai määritelmää. Esimerkiksi *daylight autonomy (DA)* tai *useful daylight index (UDI)* –käsitteille ei tunneta yleisesti käytettäviä suomenkielisiä vastineita. Jopa päivänvalo-termin käyttö *daylight*-sanana vastineena on horjuvaa (toisinaan esimerkiksi ”luonnonvalo”, RT-kortin esittämä suositus on ”päivänvalo”). Selvityksessä listataan eri maiden päivänvalo-olosuhteita koskevassa regulaatiossa ja kansainvälisessä päivänvalotutkimuksessa esiintyvät keskeiset käsitteet ja esitetään niille suomenkieliset vastineet. Näin mahdollistetaan, että aiheesta voidaan ylipäänsä käydä keskustelua Suomessa.

Monessa maassa rakennusten päivänvalaistusta koskevat määräykset ja ohjaus kehittyvät nopeassa tahdissa. Selvityksessä on tutkittu Suomen naapurimaiden, Ruotsin, Norjan, Tanskan ja Viron, päivänvaloa koskevia määräyksiä ja standardeja. Näissä maissa on käytetty neljää eri laskentaperustetta: päivänvalosuhdetta, ikkunapinta-alan suhdetta lattiapinta-alaan, ilmastoperusteista päivänvalonmallintamista sekä suoran auringonsäteilyn tuntimäärää. Suomessa päivänvaloa koskevat määräykset eivät juurikaan ole kehittyneet vuosien varrella, ja käytössä on yksinkertaisin määräys lattian ikkunapinta-alan suhteesta lattiapinta-alaan. Vähimmäispinta-alana asetettava vaatimus ei kuitenkaan aina riitä takaamaan sisätilan hyvää päivänvalo-olosuhdetta. Esimerkiksi syvärunkoinen rakennus tiiviissä kaupunkirakenteessa tuottaa maantasokerrokseen valottomia asuntoja, vaikka lattia-alaan suhteutettu vähimmäisvaatimus täytettäisiin. Kun päivänvalo-olosuhteelle asetetaan vaatimus vähimmäisalan kautta, energiatehokkuustavoite ohjaa suunnitteluprosessia kohti tätä ikkuna-alan minimiä.

Rakennuksen sisätilojen päivänvalo-olosuhteiden arviointiin on kehitetty uusia menetelmiä ja laskentatyökaluja. Yleisin päivänvalo-olosuhteiden arviointimenetelmä lienee päivänvalosuhte (daylight factor DF), joka on käytössä mm. Norjan rakentamismääräyksissä ja Viron standardissa. Ruotsissa päivänvalosuhdetta koskeva laskentastandardi laadittiin jo 1970-luvulla. Dynaaminen olosuhdesimulointi on yleistynyt energiatehokkuuteen ja sisälämpötilojen hallintaan liittyvien tarkastelujen vakiintumisen myötä. Myös päivänvaloa voidaan simuloida dynaamisesti, ja kansainvälisesti ollaankin siirtymässä staattisesta päivänvalosuhteesta dynaamiseen ilmastoperusteiseen päivänvalonmallintamiseen. Suomessa tästä ei ole vielä tutkimustietoon perustuvaa, vakiintunutta käytäntöä.

Vuoden 2018 lopussa on astunut voimaan uusi eurooppalainen standardi SFS-EN 17037:2018 *Daylight in buildings*. Standardi on myös vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi, mutta sitä ei käytetä säädösohjauksessa toisin kuin esimerkiksi Ruotsin standardia. EN-standardi nostaa päivänvaloarvioinnin aivan uudelle tasolle, käsittäen neljä osa-aluetta; päivänvalon saatavuus, suora auringonvalon säteily, näkymä ja häikäisyiltä suojautuminen. Standardin laskentatavat ohjaavat siirtymään ilmastoperusteiseen päivänvalonmallintamiseen.

Suomessa päivänvaloarvioinnit perustuvat yleensä suoran auringonsäteilyn arviointiin. Suomi on kuitenkin pilvinen maa, jossa taivaan hajavalon on tärkein päivänvalon lähde. Hajavaloa ei voida arvioida samoilla menetelmillä kuin suoraa auringonvaloa. Kehittyvä kerrostalo hankkeen raportissa *Energiatehokas ja valoisa kaupunkikerrostalo* esitellään hyvin huolestuttavia lukuja asuntojen päivänvalaistuksesta suomalaisessa tiiviissä kaupunkirakenteessa. Onkin ilmeistä, että Suomessa on tarvetta päivänvaloa koskevalle tutkimukselle ja kirjallisuudelle.

Selvityksen ovat laatineet arkkitehdit Hanna Vikberg, Kimmo Lylykangas ja Francesco De Luca Tallinnan teknillisestä yliopistosta. Hankkeen vastuullisena johtajana on toiminut professori Kimmo Lylykangas ja

toteuttajana tohtorikoulutettava Hanna Vikberg. Työtä on ympäristöministeriön puolesta ohjannut rakennusneuvos Pekka Kalliomäki. Ohjausryhmään on lisäksi kuulunut tekniikan lisensiaatti Mika Vuolle Equa Simulation Finland Oy:stä.

## Käsitteet

Päivänvalotutkimusta on julkaistu suomen kielellä hyvin vähän, ja monien aihepiiriin kuuluvien käsitteiden suomenkieliset vastineet ovat vakiintumattomia. Tämän huomaa esimerkiksi termien *päivänvalo* ja *luonnonvalo* rinnakkaisesta käytöstä. Kirjoittaja on aiemmin suosinut termiä *luonnonvalo*, sillä se soveltuu myös Suomen valoisiin öihin. Monissa muissa maissa käytetään termiä päivänvalo (*daylight*, *dagsljus*, *dagslys*). Virossa käytetään käsitettä *loomulik valgustus*, jonka suora käänös on *luonnollinen valaistus*. Tässä raportissa käytetään RT-kortin (RT 07-10912, 1) suosittamaa termiä *päivänvalo*.

Auringon atsimuutti (suuntakulma)	Horisontaalinen kulma maantieteellisen pohjoisen lävistävän vertikaalisen tason ja auringon keskipisteen lävistävän vertikaalisen tason välillä. Mitataan pohjoisesta kellon mukaisesti myötäpäivään, 0°-360°. (EN 17037:2018)
Auringon korkeuskulma	Vertikaalinen kulma auringon keskipisteen lävistävän linjan ja vaakatason välillä, mitattuna viite-/ havaintopiisteestä. (EN 17037:2018)
Auringonvalo	Näkyvä osa auringon säteilystä (CIE ILV 17-1281)
Ei maanäkymää-linja	Päivänvalo-olosuhteiden arviointia varten pohjapiirustuksesta määriteltävä linja, joka osoittaa kuinka kaukana ulkoseinästä istuva henkilö voi vielä suoraan nähdä maanpinnan. (EN 17037:2018)
Ei taivasnäkömää-linja	Päivänvalo-olosuhteiden arviointia varten pohjapiirustuksesta määriteltävä linja, joka osoittaa kuinka kaukana ulkoseinästä istuva henkilö voi vielä suoraan nähdä taivaan. (EN17037:2018)
Ei-visuaaliset vaikutukset	Valon vaikutukset, jotka eivät liity näköön. Valolla on vaikutuksia ihmisen fysiologiaan, mieleen ja käytökseen. Näitä vaikutuksia kutsutaan valon ei-visuaalisiksi vaikutuksiksi ja ne ovat riippuvaisia valon spektristä, intensiteetistä, kestosta, ajoituksesta sekä valoaltistuksen lähihistoriasta. (CIE 2015, s.1 – 3)
Este	Mikä tahansa rakennuksen ulkopuolella sijaitseva, rakennukseen kuulumaton kiinteä pinta tai objekti, joka estää suoran näkymän. (CIE ILV 17834)
Hajasäteilyn valaistusvoimakkuus vaakapinnalle	Taivaanvalon tuottama valaistusvoimakkuus maapallon vaakatasolle (CIE ILV 17-302)
Kiusahäikäisy	Epämukavuutta aiheuttava häikäisy, joka ei välttämättä heikennä kohteen näkemistä (EN12665:208, 3.2.23, CIE ILV 17-333)
Häikäisy	Luminanssijakaumasta tai tasosta tai jyrkistä kontrasteista johtuva näköhavainnon tilanne, joka aiheuttaa epämukavuutta tai heikentää kykyä havaita kohteita tai yksityiskohtia. (EN 12665:2018, 3.1.8, CIE ILV 17-492)
Käytössä oleva ala	Osa tilasta, joka on tarkoitettu käytettäväksi. Alaan ei kuulu liikennetilat, eivätkä tekniset tilat. (EN 17037:2018)
Ilmastoperusteinen päivänvalon mallintaminen	Standardisoituun ilmastoaineistoon, joka perustuu realistisiin aurinko- ja taivasolosuhteisiin, perustuva päivänvalon arviointia. Se mahdollistaa absoluuttisten päivänvalon tasojen esim. valaistusvoimakkuuksien laskemisen, tietyssä suunnitelmassa, tietyssä maantieteellisessä sijainnissa, suuntauksen ja rakennuksen muodon huomioiden. (Mardaljevic 2011)



Näkymä	Rakennuksen ulkovaipassa olevan aukon kautta ympäristöön avautuva visuaalinen yhteys, joka tarjoaa mahdollisuuden havainnoida ympäristöä, kokea sään vaihtelut ja seurata ajan kulkua päivän mittaan. (EN 17037:2018)
Näkymäaukko	Mikä tahansa rakennuksen ulkovaipan osa, joka mahdollistaa näkymän (esimerkiksi lasiseinät, lasiset ovet, ikkunat). (EN 17037:2018)
Näkymän ulkopuolinen etäisyys	Etäisyys näkymäaukon sisäpuolisesta pinnasta vastapäiseen merkittävään esteeseen, joka sijaitsee aukon edessä. (EN 17037:2018)
Näkymän tarkastelupiste	Sijainti, josta näkymä arvioidaan. (EN 17037:2018)
Päivänvalaistus	Tila, joka on ensisijaisesti valaistu päivänvalolla ja joka yhdistää korkean asukastyytyväisyyden visuaaliseen ympäristöön ja lämpöoloihin, joiden valaistuksen, lämmityksen ja jäähdytyksen kokonaisenergiankulutus on matala. (Reinhart 2011)
Päivänvalo	Koostuu suorasta auringonvalosta ja taivaalta sironneesta (auringon) hajavalosta. (RT 07-10912)
Päivänvalon saatavuus	Osalla tilan viitealaa, osan päivänvalotunneista, saavutettu valaistusvoimakkuuden taso (EN 17037:2018)
Päivänvalon valaistusvoimakkuus vaakapinnalle	Päivänvalon aiheuttama valaistusvoimakkuus vaakatasolle maapallon pinnalla (CIE ILV 17-495)
Suora valo	Valo, joka tulee suoraan valonlähteestä eikä epäsuorasti heijastamalla tms. tavalla (RT 07-10912)
Taivaanvalo	Osa taivaan säteilystä, joka voi aiheuttaa näköhavainnon. (VIE ILV 17-1194)
Valaistusvoimakkuus (lx)	Pinnalle kohdistuvan valovirran määrä pinta-alaa kohden. SI-järjestelmän mukainen yksikkö valaistusvoimakkuudelle on lux (Beck 2011).
Valoaukko	Mikä tahansa rakennuksen ulkovaipan osa, joka voi päästää päivänvaloa sisätiloihin. (EN 17037:2018)
Tarkastelutaso	Pinta-ala, jolla valaistusvoimakkuuksia tai/ja päivänvalosuhteita lasketaan, määritellään tai mitataan. (EN 17037:2018)

## Lyhenteet

ASE	Vuosittainen auringonvalon altistus (annual sunlight exposure)
CBDM	Ilmastoperusteinen päivänvalon mallintaminen (climate-based daylight modelling)
DA	Päivänvaloautonomia (daylight autonomy)
DA <sub>con</sub>	Jatkuva päivänvaloautonomia (continuous daylight autonomy)
DGP	Päivänvalon häikäisytodennäköisyys (daylight glare probability)
DF	Päivänvalosuhte (daylight factor)
DF <sub>ave</sub>	Keskimääräinen päivänvalosuhte (average daylight factor)
sDA	Tilallinen päivänvaloautonomia (spatial daylight autonomy)
$\theta$	Taivaskulma
LT	Lasituksen valonläpäisevyys
UDI	Hyödyllinen päivänvalaistusvoimakkuus (usefull daylight illuminance)
WWR	Ikkunapinta-alan suhde ulkoseinän pinta-alaan (window-wall-ratio)

# 1 Päivänvalon arvo

Päivänvaloa arvioidaan pitkälti numeerisin keinoin, jolloin keskitytään pääosin valon määrään. Tämä johtaa helposti kaaviomaiseen käsitykseen päivänvalosta, vaikka valon laadukkuuteen vaikuttaa myös moni muu tekijä. Näköhavaintojen mahdollistamisen lisäksi päivänvalolla on vaikutuksia käyttäjäkokemukseen, terveyteen, tilakokemukseen ja energiankulutukseen.

## 1.1 Päivänvalon vaikutus käyttäjäkokemukseen

Päivänvalo on muuttuvaa, ja sen vaihtelut kuuluvat sen luonteeseen. Tätä on pidetty haittana sisätilojen valaistuksessa 1920-luvulta lähtien, ja tasainen valaistus on koettu olevan hyvän sisävalaistuksen perusta. Viime aikoina on kuitenkin usein todistettu, että ihmiset pitävät päivänvalosta. Emme osaa vielä sanoa, miksi koemme päivänvalon niin tärkeäksi, mutta todisteet viittaavat siihen, että juuri valon vaihtelut stimuloivat meitä. Tregenza ja Wilson (2011, ss. 5, 10) väittävät, että päivänvalon välittämä informaatio ulkomaailmasta on vähintään yhtä tärkeä kuin siitä saatu säteily, ja että tätä päivänvalon välittämää tietoa ei tulisi häivyttää keinovaloilla. Informaatio välittyy, kun päivänvalo pääsee huoneeseen, vaikka suora näkymä ulos olisi estetty. Valoisuuden muutoksista osaamme päätellä, onko ulkona aurinkoista tai pilvistä, sekä aistia kellonajan.

Tutkimukset asukkaiden valotoiveista kuvastavat sitä, miten erilaisia toiveet ovat. Esimerkiksi hongkongilaisen valontarpeen on todettu olevan huomattavasti pienempi kuin länsieurooppalaisen, ja toisaalta kalliissa ja moderneissa asunnoissa asuvat vaativat enemmän päivänvaloa kuin halvemmillä alueilla asuvat. Kysymys on myös pitkälti siitä mitä odotamme; esimerkiksi mökin valaistus voi olla huomattavasti pimeämpi kuin modernin asuintalon. Todennäköisesti odotukset myös vaihtelevat ajan ja trendien myötä. (Tregenza & Wilson, 2011, ss. 16–17)

Tutkimustulokset osoittavat, että toimistotiloissa käyttäjän sietoraja hämäryydelle on 200–300 luksia ja tätä pimeämmässä tilassa käyttäjät syyttävät keinovalon (Lindelöf & Morel, 2006, s. 798). Tehtävän suorittamiseen vaadittu valaistusvoimakkuus voi yleensä olla päivänvalolla tuotettuna matalampi kuin keinovaloilla. Syytä tähän ei kuitenkaan tiedetä ja syynä voikin olla se yleisesti tiedossa oleva, että ihmiset pitävät enemmän päivänvalosta ja se motivoi heitä. (Tregenza & Wilson, 2011, s. 20) Kenttätutkimukset osoittavat, että asukkaat sietävät paremmin häikäisyä taivaalta kuin keinovaloista. Myös miellyttävä näkymä voi lisätä häikäisyntietokykyä. Ihmiset uskovat päivänvalon vaikutusten heihin olevan parempia kuin sähkövalojen. He kokevat varsinkin työskentelyn päivänvalossa aiheuttavan vähemmän stressiä ja väsymystä kuin keinovalossa työskentelyn. (Galasiu & Veitch, 2006, ss. 728–729, 740; Borisuit;Linhart;Scartezini;& Munch, 2015, s. 204) Toimistoissa käyttäjät ovat todettu lukevan nopeammin ja tarkemmin olosuhteissa, joissa on päivänvaloa saatavilla kuin keinovalossa (Heydarian;Pantazis;Carneiro;Gerber;& Becerik-Gerber, 2016, s. 212)

## 1.2 Päivänvalon vaikutus terveyteen

Ruotsalaisen kansanterveyslaitoksen yhteenveto tutkimuksista valon ja terveyden yhteydestä osoittaa, että päivänvalolla on selkeitä terveyshyötyjä. Mitä enemmän päivänvaloa henkilö kokee, sitä vähemmän raportoidaan terveyshaittoja. Ihmiset viettävät enenevässä määrin aikaa sisätiloissa, eurooppalainen työikäinen 80–90 % ajastaan (EU Commission 2004, s.132), jolloin tilojen valaistuksella on vaikutusta terveyteemme. Sähköinen valo ei ainakaan vielä pysty korvaamaan päivänvalon terveysvaikutuksia. Huomiota tulisi kiinnittää etenkin tiloihin, joissa oleskelee ihmisiä, jotka viettävät vähän aikaa ulkona, kuten vanhustenhoidossa, sairaaloissa sekä mielenterveyspotilailla. Myös tavalliset asuinrakennukset saattavat estää riittävän valonsaannin johtuen kaupungin muotoutumisesta, ikkunoiden sijainnista ja koosta sekä kaupunkien tiivistymisestä. (Folkhälsomyndigheten, 2017, ss. 10–12)

Valo määritellään elektromagneettisena säteilynä, joka vaikuttaa näköön. Nykyään tiedämme kuitenkin, että valolla on vaikutuksia myös ihmisen fysiologiaan, mieleen ja käytökseen. Näitä vaikutuksia kutsutaan valon ei-visuaaliseksi vaikutukseksi, ja ne ovat riippuvaisia valon spektristä, intensiteetistä, kestosta, ajoituksesta sekä valoaltistuksen lähihistoriasta. Tutkimus aiheesta lisääntyi vuosituhannen alussa, kun silmästä löytyi valoon reagoiva fotoreseptiivinen solu, joka ei aiheuta visuaalista vaikutusta. Nämä solut vaikuttavat vuorokausirytmimme lisäksi moneen muuhun prosessiin ihmisessä. Valon ei-visuaaliset vaikutukset voivat muuttaa käsitystämme hyvästä valaistuksesta, joka tänä päivänä perustuu ihmisen visuaalisiin tarpeisiin. (CIE, 2015, ss. 1–3; Webb, 2006, s. 723)

Ei-visuaalisista vaikutuksista huomattavin, tai ainakin eniten tutkittu, on valon vaikutus vuorokausirytmiiin. Häiriöt uni- ja vuorokausirytmissä liitetään taas pitkäaikaisiin terveysriskeihin kuten diabetes, ylipaino, sydän- ja verisuonitaudit ja syöpä (van Cauter;Spiegel;Tasali;& Leproult, 2008, ss. 23–26;

Leprout;Holmback;& van Cauter, 2014, ss. 1860–1868; Stevens, 2009, s. 987). Vuorokausirytmää ohjaa melatoniini, joka on herkkä valolle. Se on kaikkein herkin lyhyille aalloille (n. 460 nm), eli siniselle valolle kun taas visuaalinen järjestelmä on herkin näkyvän spektrin keskipitkille aalloille (n. 555 nm). Päivänvalo on luultavasti paras lähde vuorokausirytmien ohjaukseen huomioiden sen välittämän valon määrän, spektrin, jakautuminen, kesto ja ajoitus (Brainard, 2001, s. 6405; Guido, ym., 2010, s. 498; Acosta;Leslie;& Figueiro, 2017, s. 50).

Tutkimukset osoittavat, että valaistuksella voidaan tuottaa positiivisia vaikutuksia ihmisten terveyteen ja suorituskykyyn. Ihmiselle edullinen valaistus perustuu hyvin yksinkertaisiin periaatteisiin: valaistustasoja tulisi nostaa ja valon spektrin tulisi olla muuttuva päiväsaikaan. Iltaisin valon määrää tulisi vähentää palautumisen mahdollistamiseksi. (CIE, 2015, ss. 1–3)

Väestön vanhetessa valon määrään rakennuksissa tulisi kiinnittää entistä suurempaa huomiota. Ihmisten vanhentuessa he tarvitsevat korkeampia valon määriä visuaalisen tehtävän suorittamiseen. Samalla mahdollisuus liikkua ulkoilmassa usein heikentyy ja näin ollen päivänvaloa tulisi saada sisätiloissa. Vanhemmilla henkilöillä kontrastien havaitseminen vähenee, näköala pienenee ja häikäisyherkkyys lisääntyy. International Commission on Illumination, CIE, on tehnyt käsikirjan seniori- ja vammaisusumiseen suositeltavasta valo- ja visuaalisesta ympäristöstä (International Commission on Illumination (2011) CIE Guide to increasing accessibility in light and lighting: Vision Data and Design Considerations for Better Visibility and Lighting for Older people and People with Disabilities).

Useat tutkimukset osoittavat, että päivänvalo ja sen oikea rytmittäminen voi lyhentää potilaan aikaa sairaalan osastolla tai helpottaa oireita. Tämä pätee hyvin erilaisiin tapauksiin kuten masennuspotilaisiin (Beauchemin & Hays, 1996, s. 50; Benedetti;Colombo;Barbini;Campori;& Smeraldi, 2001, ss. 222–223) ja erilaisiin leikkauspotilaisiin (Walch, ym., 2005, ss. 161–162; Park;Chai;Lee;Moon;& Noh, 2018, s. 6). Kyle Konis (Konis, 2018, s. 122) on todennut, että dementiaipotilaiden säännöllinen pääsy päivänvalaistuihin tiloihin, varsinkin kolmen metrin päähän ikkunasta, voi ylläpitää terveellistä vuorokausirytmää. Huonot valo-olosuhteet sairaalaosastolla vaikuttavat potilaan uneen negatiivisesti ja näin myös hänen parantumiseensa (BaHammam, 2006, s. 10; Wakamura & Tokura, 2001, s. 350).

Suomalaisessa tutkimuksessa (Leppämäki;Partonen;& Lönnqvist, 2002, s. 143) huomattiin, että kirkkaalla valolla ja liikunnalla yhdessä on huomattava vaikutus terveiden, työikäisten ihmisten mielialaan ja terveyteen liittyvään elämänlaatuun. He totesivat, että liikunta kirkkaassa valossa tunnin verran kolme kertaa viikossa tuotti tulosta.

### 1.3 Päivänvalon arkkitehtoninen arvo

Arkkitehtuurin mestarit läpi aikojen ovat hallinneet päivänvalon hyödyntämisen arkkitehtuurin hyväksi. Päivänvalaistuksen tutkijat väittävät kuitenkin että keinovalot ovat vähentäneet suunnittelijoiden taitoa hyödyntää päivänvaloa (Baker;Fanchiotti;& Steemers, 1998, s. 27). Jotta päivänvaloa pystyy hallitsemaan, tulee suunnittelijan tuntea sen ominaisuudet. Oikein käytettynä päivänvalolla voidaan luoda tunnelmia ja funktionaalisuutta, ja se voi määrittää tilan rajat ja avautumisen. Päivänvalaistusta ei voida liimata rakennuksen päälle suunnittelun loppuvaiheessa vaan se tulee olla osa kokonaisuutta suunnittelun alusta lähtien.

Päivänvalo toimi rakennusten tärkeimpänä valaistuksen lähteenä aina 1920-luvulle asti, jolloin keinovalot alkoivat kehittyä voimakkaasti. Ennen 1920-lukua rakennukset olivat kuitenkin usein pimeitä, eikä tilan valoisuutta pidetty yleisesti tärkeänä. Valoisuuden tarve syntyi oikeastaan vasta 1920-luvulla, jolloin haluttiin eriytyä vanhasta yhteiskunnasta pimeine rakennuksineen. Hygieenikoilta lainattiin iskulause; ”*valo, ilma, aurinko*” ja modernistiset arkkitehdit keskittyivät valon ja auringon saattamiseen rakennuksiin. Samoihin aikoihin asuntojen koot pienenevät huomattavasti ja huonekorkeutta madallettiin säästösyistä, jolloin valolla pyrittiin kompensoimaan tilan pienenemistä. Halvan energian ja loisteputkivalaisimien keksimisen myötä päivänvalo osittain unohdettiin sotien jälkeisenä aikana. 1970-luvun energiakriisin aikana kiinnostuttiin uudelleen päivänvalosta pääosin siitä syystä, että sillä voitaisiin vähentää energiankulutusta toimistoissa, kouluissa ja tehtaissa. Kaksinkertaisen lasituksen ja parempien lasitustekniikoiden myötä ikkunat eivät enää tuottaneet yhtä suurta lämpöhäviötä kuin ennen. Tänä päivänä on taas herännyt kiinnostus rakennusten päivänvalaistukseen. Kiinnostuksessa on osittain kyse energian säästämisestä mutta pääosin kyse on siirtymisestä asukaslähtöiseen näkökulmaan, jossa pyritään tyydyttämään asukkaan terveyden ja mukavuuden tarpeet. (Corrodi & Spechtenhauser, 2008, ss. 33,181; Reinhart;Mardaljevic;& Rogers, 2006, s. 715; Fontoynt, 2002, s. 83)

Tasapaino pimeän ja valoisian välillä vaikuttaa voimakkaasti kokemaamme tilaan, sen syvyyteen, rajoihin ja tunnelmaan. Kontrasteilla ja valon monipuolisuudella voimme vaikuttaa tilan visuaaliseen ilmeeseen ja päivänvaloa hyödyntämällä voimme luoda tilan, joka on muuttuva ja elävä. Vastakohta staattisen rakenteen

ja liikkuvan valon välillä vahvistaa katsojan havaintoa vuorokauden, vuodenaikojen ja sään vaihtelusta, ja tuo tällä tavalla ulkotilan sisälle ja lisää asukkaana ymmärrystä maailmasta, samalla kuin se muokkaa staattisen rakenteen eläväksi. Päivänvaloa on käytetty varsinkin uskonnollisissa rakennuksissa tunnelman luomiseen. Päivänvalon vaikutus tilakokemukseen on kuitenkin hyvin yksilöllinen. Päivänvalaistuksen mittaamiseen on kehitetty useita keinoja mutta valon vaikutusta tilakokemukseen ei osata mitata. Vaikka tätä aihetta tutkitaan parhaillaan, on arkkitehdin intuition ja kokemukseen perustuva osaaminen tärkein suunnittelutyökalu tällä hetkellä. (Andersen;Gochenour;& Lockley, 2013, s. 2750)

Valolla voidaan muotoilla ja selvittää sekä konkreettista muotoa että tilan tunnelmaa ja rajoja. Useat tutkimukset ovat todistaneet monelle sen itsestään selvän ajatuksen, että valoisuus lisää tilan koettua kokoa ja avaruutta. Todella pimeässä tilan rajat kuitenkin hälvenyvät ja tila vaikuttaa loputtomalta. Vertikaalinen valo korostaa tilan korkeutta kun taas horisontaalinen laajentaa tilan leveyttä. Myös sivuseinien valaiseminen lisää huoneen koettua leveyttä. Kirkkaasti valaistu objekti taas vaikuttaa suuremmalta ja lähemmältä kuin hämärästi valaistu. Tämän vuoksi kirkkaasti valaistu päätyseinä pimeässä tilassa voi myös pienentää tilan tuntua tuomalla päätyseinän visuaalisesti lähemmäksi. Samalla syvältä huoneen perältä tuleva valo luo vetoa tunnetta ja voi lisätä syvyyden tunnetta. Etualan voimakas valaisu saattaa taas tuottaa visuaalisen esteen, joka estää näkyvyyden syvälle ja pienentää näin tilan visuaalista ilmettä. (Wänström Lindh, 2012, ss. 87–97; Descottes, 2011, ss. 34–35)

Korkea kontrasti kiinnittää katsojan huomion ja helpottaa muodon lukemista mutta liian voimakas kontrasti voi estää näkyvyyttä. Epämiellyttäviä kontrasteja tulisi välttää tiloissa, joissa ihminen ei voi liikkua vapaasti ja jossa hän viettää paljon aikaa. Esimerkiksi työpisteellä on hyvä varmistaa keskivertainen tai matala kontrasti, sillä työntekijä joutuu siirtämään katseensa usein eri pinnoille ja silmä väsy jos se joutuu koko ajan sopeutumaan uusiin valaistusvoimakkuuksiin. (Descottes, 2011, ss. 34–35)

#### 1.4 Päivänvalon vaikutus energiankulutukseen

Päivänvalon käyttö rakennuksissa kytkeytyy erottamattomasti rakennuksen aurinkoenergian passiiviseen hyödyntämiseen ja lämpökuorman hallitsemiseen. Yleensä lämmitys- ja jäähdytystarvetta tutkivat kuitenkin eri suunnittelijat, toisilla arviointikeinoilla kuin valoa tutkittaessa. Näiden asioiden erottaminen toisistaan voi johtaa siihen, että jokin sisäolosuhteiden laatutekijöistä jää liian vähälle huomiolle. Liian suuret lasipinnat voivat kasvattaa tarpeettomasti lämpöhäviöitä ja vaikeuttaa sisälämpötilojen hallintaa, kun taas näiden optimointi tyypillisesti pienentää valoaukkoja, tehden tiloista pimeitä. Voll ja Seinre (2014, ss. 714–722) pyrkivät yhdistämään nämä tekijät tutkimuksessaan, jossa he määrittivät optimaaliset ikkuna-julkisivunpinta-alojen suhteet eri suuntauksille, perustuen lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen, päivänvalosuhteeseen ja päivänvalon tasaiseen jakautumiseen pohjoisessa ilmastossa. Myöhemmissä tutkimuksissaan Vollin tutkimusryhmä (2016, s. 939) on huomannut, miten Viron vaatimukset suorasta auringonpaisteesta rakennuksissa, saattaa johtaa huomattavaan energiankulutuksen kasvuun, jäähdytystarpeen lisääntyessä. Tutkimusryhmän mielestä täytyy ottaa käyttöön passiiviset keinot ilmanvaihdossa tai liikkuvat ulkopuoliset varjostukset, jotta voidaan saavuttaa lähes nollaenergiarakennuksia ja täyttää hyvän päivänvalaistuksen kriteerit. Virossa työtä on jatkettu tutkimuksilla, joissa on pyritty löytämään tasapaino sisälämpötilan ja päivänvalaistuksen välille (De Luca;Dogan;& Kurnitski, 2018, ss. 63–69).

Päivänvalaistuksesta johtuvat suorat energiansäästöt liittyvät keinovalaistuksen tarpeen vähenemiseen. Keinovalot ovat kuitenkin kehittyneet huomattavasti, ja esimerkiksi valaistuksen sähkönkulutus Suomessa on pienentynyt 31 % vuosina 2010–2015 (Tilastokeskus, 2015, s. 2). Valaistussähköön kuluu noin 2,5 % suomalaisten asuntojen kokonaisenergiankulutuksesta (Tilastokeskus, 2017, s. 2). Sähkönkulutuksesta (muun kuin lämmityssähkö) asuntojen valaistukseen kuluu vajaa 30 % kun taas toimistoissa määrä on jo 50 % ja liikerakennuksissa yli 90 % (Mattinen;Heljo;& Savolahti, 2016, s. 20). Suomen pimeiden talvikuukausien vuoksi on kuitenkin mahdotonta toteuttaa toimiva valaistus pelkällä päivänvalolla. Päivänvalo-ohjatulla keinovalaistuksella voidaan kuitenkin säästää jopa noin 60 % valaistuksen energiankulutuksesta verrattuna manuaaliseen valaistuksen ohjauksjärjestelmään. Päivänvalo-ohjauksen hyöty vähenee kuitenkin, mikäli aukotus on vähäistä, tilan pinnat tummia ja ulkoinen este varjostaa tilaa liikaa. (Ympäristöministeriö, 2015, ss. 18–19)

## 2 Päivänvalaistuksen arvioinnissa huomioitavat seikat

Tilan päivänvalaistukseen vaikuttaa moni seikka. Ennen kuin tehdään päivänvaloarviointeja, tulisi suunnittelijan tunnistaa olennaisimmat päivänvalaistukseen vaikuttavat osatekijät, jotta tulokset vastaisivat lopputulosta. Usein ei huomioida esimerkiksi maantieteellisen sijainnin ja sen aiheuttamien olosuhteiden vaikutusta tai rakennuksen ympäristön aiheuttamaa esteitä päivänvalolle. Myös rakennus itse voi aiheuttaa oleellisia esteitä päivänvalolle erilaisilla ulokkeilla kuten parvekkeilla ja räystäillä.

### 2.1 Maantieteellinen sijainti

Tärkein päivänvalon ominaisuus, joka tulee tuntee, on sen erilainen luonne riippuen maantieteellisestä sijainnista. Suomessa on turha kopioida etelässä hyödynnettyjä, suoran auringonvalon luomia vahvoja varjoja ja suuria kontrastieroja. Pohjoisen pehmeä ja hajaantunut valo on harvinaisuus, jota arvostetaan suuresti ja jota voidaan hyödyntää tilojen ja tunnelmien luomiseen. Pohjoisessa meillä on mahdollisuus hyödyntää, ei vaan kirkasta ja pimeää, vaan kaikkia valon eri sävyjä.

Määriteltessä päivänvalon olosuhteita on tärkeää huomioida auringonvalon ja taivaanvalon suhdetta. Pilvisissä olosuhteissa taivaan hajaantunut valo on tärkein valonlähde kun taas selkeissä olosuhteissa suora auringonvalo on yleisempi. Täysin pilvisenä päivänä maanpintaa valaisee 25–30 % selkeän päivän valaistusvoimakkuudesta. Suomessa suora auringonvalo on voimakkaimmillaan noin 70 000 luksia ja taivaan hajavallo 10 000–20 000 luksia. Kokonaisvalaistusvoimakkuus on näiden kahden summa ja Etelä-Suomessa voidaan saavuttaa jopa 85 000–90 000 luksin valaistusvoimakkuus ulkotiloissa. Pilvisenä talvipäivänä päivänvalon valaistusvoimakkuus Suomessa voi olla vain pari tuhatta luksia. (Tregenza & Wilson, 2011, s. 62; RT055.30, 1976, s. 4; RT07-10912, 2008, s. 2)

Pilvisiksi päiviksi lasketaan päivät, jolloin vähintään 80 % taivaankannesta on pilvien peitossa. Suomessa esiintyy kaikkina kuukausina enemmän pilvisiä päiviä kuin selkeitä tai osittain pilvisiä päiviä. Ilmatieteen laitoksen mukaan pilvisuus ei tule vähenemään tulevaisuudessa. Tämä tarkoittaa, että Suomessa taivaan hajavallo on pääasiallinen päivänvalaistuksen lähde. Valo-olosuhteiden ennakointi on helpompaa paikoissa, joissa vallitsee selkeä taivas kuin pilvisissä olosuhteissa, joissa ennakointi voidaan tehdä ainoastaan tilastollisin menetelmin. Erilaisilla taivasmalleilla on kuvailtu tietyn maantieteellisen sijainnin taivaan valaistusta. Pohjoismaihin sopiva mallin on CIE:n Standard Overcast Sky model, eli pilvisten taivaiden malli, joka kuvastaa matalaa ja tasaisen päivänvalon tasoa. (Ilmatieteenlaitos, 2019; Anselmo & Mardaljevic, 2013, ss. 15–16; Baker;Fanchiotti;& Steemers, 1998, s. 29)

Pilvisissä olosuhteissa taivaan hajavallo saapuu kaikista suunnista, jopa pohjoisesta, toisin kuin suora auringonvalo. Pilvisissä olosuhteissa taivas on kirkkain zenitissä, eli suoraan yläpuolellamme. Etelään suunnattuihin ikkunoihin osuu huomattavasti enemmän valoa kuin pohjoiseen suunnattuihin myös pilvisissä olosuhteissa. (Tregenza & Wilson, 2011, s. 62; Baker & Steemers, 2002, ss. 31,34)

Auringon sijaintia on kuitenkin tärkeä tutkia myös pilvisissä ilmastoissa. Tietoa tarvitaan varsinkin aurinkoenergian passiivisen hyödyntämisen kannalta sekä toimivien aurinkosuojausten suunnittelemiseksi. Auringon sijainti ja liike suhteessa maantieteelliseen sijaintiin tunnetaan tarkasti ja voimme määritellä auringon korkeusaseman horisontin ja atsimuutin nähden. Leveysasteen, pituusasteen, päivämäärän ja kellonajan avulla voidaan piirtää graafisia esityksiä auringon tarkasta sijainnista.

Suomen maantieteellinen sijainti tuottaa meille neljä vuodenaikaa. Vuodenajat vaikuttavat sähän ja pilvisyyteen mutta myös päivän pituuteen. Vuotuinen määrä päivänvalotunteja on sama ympäri maapalloa mutta niiden jakautuminen eri vuodenojoille on riippuvainen maantieteellisestä sijainnista. Päivän aikana tapahtuvat vaihtelut ovat suurimpia päiväntasauksen aikana ja pienimmät keskikesällä ja -talvella. Rakennusta suunniteltaessa on tärkeää huomioida muuttuvat olosuhteet, eikä valoa Suomessa saisi koskaan käsitellä stattsena suurena. (Baker & Steemers, 2002, s. 33; Tregenza & Wilson, 2011, s. 63)

### 2.2 Ulkopuolinen este

Kaupungistuminen, tonttien hinnat ja ilmastotavoitteet ovat johtaneet Suomessakin kaupunkien tiivistymiseen. Uudet rakennukset ovat entistä korkeampia ja vanhoja rakennuksia korotetaan. Rakennusten päivänvalaistuksen suunnittelu on pitkään perustunut yksittäisen rakennuksen optimointiin riippumatta ympäristöstä, jossa rakennus sijaitsee. Tarkasteltaessa strategioita aurinkoenergian passiivisesta hyödyntämisestä on huomattu, että vain harvat käsittelevät rakennusta ympäröiviä olosuhteita (Stevanovic, 2013, ss. 179–184). Päivänvaloa ei kuitenkaan voida lisätä sinne missä sitä ei alunperinkään ole ollut. Anne Iversenin (2013, ss. 16–17) väitöskirjassa on tarkasteltu useita tutkimuksia, joiden mukaan kaupunkirakenteen

ja sen muodostaman ulkoisen esteen vaikutus tilan päivänvalaistukseen on huomattava. Tämän tiesivät jo muinaiset kreikkalaiset ja roomalaiset, jotka vaativat minimivalaistusstandardeja kaupunkeihinsa.

Esteen vaikutus on erityisen suuri pohjoisessa, missä aurinkokulmat ovat talvisin hyvin pieniä ja matalatkin esteet voivat vaikuttaa rakennuksen päivänvalon ja aurinkoenergian saantiin huomattavasti. Pahimmassa tapauksessa etelään aukeavan rakennuksen edessä on korkea este. Este estää matalan auringonvalon talvella, jolloin myös auringosta saatava lämpöhyöty jää puuttumaan. Kesällä korkealta tuleva aurinko osuu rakennukseen ja rakennuksen sisälämpötilat voivat nousta hallitsemattomasti. Tämä on tuttua kaupunkisuunnittelijoille, mutta esteet vaikuttavat myös Suomessa tärkeään hajavaloon, jonka määrittävä tekijä tietyssä pisteessä on näkyvä taivaalle. Näin ollen myös pohjoispuolella oleva este voi vähentää huoneeseen saapuvan taivaan hajavalon määrää huomattavasti.

Brittiläinen Building Research Establishment Trust on julkaissut professori Paul Littlefairin (2011, ss. 178–179, 182) *Site Layout Planning for Daylight and Sunlight – A guide to good practice*, jossa käydään läpi mm. esteen vaikutusta taivaan hajavaloon. Littlefair suosittelee tiettyjä leveysasteesta riippuvia kriittisiä esteen kulmia. Tämän mukaan Suomessa, jossa liikutaan 59-70 leveysasteen välillä, esteen yläpinta ei saisi olla yli 20°:n kulmassa ikkunaan. (Littlefair, 2011, ss. 178–179) Nämä luvut ovat yhteneväisiä Iversenin (2013, s. 31) esittelemien kriittisten kulmien kanssa, jotka soveltuvat tilanteisiin, jossa este on jatkuva. Iversen suosittelee myös tietyille estetyille kulmille ikkunapinta-alan suhdetta julkisivupinta-alaan (window-wall ratio, WWR), jolla voidaan saavuttaa hyvä päivänvalaistus. Esteen pintamateriaali vaikuttaa siihen miten paljon valoa heijastuu esteen pinnalta vastapäiseen asuntoon. Iversenin asettamat kriittiset esteen kulmat vastaavat tilannetta, jossa vastapäisen julkisivun heijastusarvo on 0,2. Arvo kuvastaa tyyppillistä julkisivun keskimääräistä heijastusarvoa. Korkeampi heijastusarvo (esim. valkoiset seinät) vaikuttaa mahdollisiin kriittisiin kulmiin, eli mitä vaaleampia kapunkeja teemme, sen tiiviimmin voimme rakentaa. (Iversen;Nielsen;& Svendsen, 2011, s. 459) Jo kaupunkisuunnitteluvaiheessa voidaan siis tunnistaa ulkopuoliset esteet ja löytää päivänvalaistuksen kannalta heikossa asemassa olevat julkisivut. Näihin kohteisiin voidaan esimerkiksi asemakaavassa määrittellä esteen julkisivumateriaaliksi vaalea pinta tai että päivänvalaistus tulisi huomioida muilla keinoilla rakennusta suunniteltaessa.

Kaupunkisuunnittelulle ei ole löytynyt konsensusta sopivasta päivänvalaistuksen arviointimenetelmästä. Olemassa olevat arviointimenetelmät perustuvat pitkälti päivänvalosuhteeseen eikä ilmastoperusteiseen päivänvalon mallintamiseen (CBDM). Iversen tutkimusryhmineen (2011, s. 457) toteaa, että päivänvalosuhteen käyttö on helpommin yleistettävissä, eikä rakennusten käyttötarkoitusta, jota yleensä tarvitaan CBDM:ään, tiedetä kaupunkisuunnitteluvaiheessa. Saratsis, Dogan ja Reinhart (2017, s. 490) ovat kuitenkin kehittäneet kaupunkitilaan soveltuvan ilmastoperusteiseen päivänvalomallintamiseen perustuvan työkalun. Tallinnan teknillisessä yliopistossa taas on kehitetty menetelmä (De Luca;Dogan;& Kurnitski, 2018, ss. 63–69; Voll;De Luca;& Pavlovas, 2016, ss. 634–648) päivänvalon ja varjostuksen optimointiin lähes nollaenergiarakennuksille kylmissä ilmastoissa. Tähän tutkimukseen on liittynyt myös kaupunkitilan optimointi sekä päivänvalon että energiankäytön kannalta. Suomessa käytössä on pääosin varjostusanalyysit, jotka kuvastavat ainoastaan suoran auringonvalon saatavuutta, eikä kirjoittaja ole kohdannut hajavaloa tutkiviin arviointeihin kaupunkisuunnittelun yhteydessä.

### 2.3 Rakennuksen aiheuttamat esteet

Parvekkeet ja räystäät vähentävät huomattavasti alapuolisten ikkunoiden valonsaantia estämällä näkymän taivaalle ja varjostamalla suoraa auringonvaloa (Littlefair, 2012, s. 4). Parvekkeet ovat nykyään suuria ja usein myös syviä. Tavallisesti ne sijaitsevat asuntojen olohuoneen ikkunoiden edessä, usein myös koko asunnon julkisivun mittaisina. Parvekkeiden vaikutus on merkittävä varsinkin tiiviissä rakentamisessa, jossa vastapäinen rakennus estää suuren osan näkymästä taivaalle. Heikoimmassa asemassa ovat matalalla sijaitsevat asunnot kaupunkirakenteessa. (Lylykangas, 2017, s. 1)

RT-kortin 93-10544 *Asunnon ulkotilat* -ohjeen mukaan, käytännölliset parvekesyvyyydet vaihtelevat 1,8 metristä 2,4 metriin. 1,8 metriä syvä parveke voi pienentää näkyvän taivaan kulmaa 70 % ja 2,4 metriä syvä parveke 80 %, riippuen ikkunan korkeudesta. Jos edessä on ulkopuolinen este, voi parveke estää näkymän taivaalle kokonaan. Korkealla sijaitsevilla asunnoilla, joissa näkymää taivaalle ei ole estetty ja häikäisy ja ylikuumenemisen riski on suuri, voidaan parvekkeiden varjostavaa vaikutusta käyttää hyväksi. (Vikberg, 2014, s. 69)

Tregenza ja Wilson mainitsevat (2011, ss. 4–5) parvekkeen yhtenä mahdollisuutena tyydyttää ihmisen tarve altistua kirkkaalle valolle talvikuukausien aikana. Lasitetun parvekkeen käyttöaika Suomessa

on kuitenkin vain huhtikuun puolesta välistä syyskuun puoleen väliin (+-1 kk) ja lasittamattoman parvekkeen käyttöaika on 1–2,5 kuukautta lyhyempi. Näin ollen edes lasitetun parvekkeen käyttöaika Suomessa ei ulotu talveen, eikä parveke toimi lisähuoneena suurena osana vuodesta. (Hilliaho, 2010, s. 101) Lasitus voi kuitenkin vähentää parvekkeelle avautuvan huoneen päivänvalonsaantia 30–45 % (Wilson & Brotas, 2001, s. 3). Parvekekaiteet, rakenteet ja lasitukset ovat todettu puolittavan parvekkeen takana olevan tilan päivänvalosuhteen. Ellei tilaan saada valoa myös suoraan ulkotilaan avautuvista ikkunoista, jää tiiviissä kaupunkirakenteessa, lasitetun parvekkeen takana sijaitsevan tilan päivänvalosuhte heikoksi. Myös tummat pintamateriaalit parvekkeilla voivat pienentää sisätilan päivänvalosuhdetta jopa 30 % verrattuna valkoisiin. (Lylykangas, 2017, ss. 1, 23, 30)



### 3 Päivänvalaistuksen arviointimenetelmiä

Vuosien varrella on kehitelty useita päivänvalaistuksen arviointimenetelmää. Näistä suurin osa on jäänyt tutkijoiden käyttöön, ilman että ne olisivat varsinaisessa suunnittelukäytössä. S.Carlucci, F. Causone, F. De Rosa ja L. Pagliano (2015, s. 1019) ovat listanneet 34 arviointimenetelmää perustuen aiheesta kirjoitettuun tieteiskirjallisuuteen ja valaistusstandardeihin. Yleistä kaikille menetelmille on, että ne keskittyvät vain yhteen visuaalisen viihtyvyyden osatekijään. Suurin osa arviointimenetelmistä liittyvät häikäisyn mittaamiseen (50 %). Valon määrää mittaavia menetelmiä on neljännes (26 %) ja valon laatua viidennes (21 %). Tänä päivänä ei ole vielä olemassa yhtä arviointimenetelmää, joka kattaisi yleisesti visuaalista viihtyvyyttä tietyssä valaistusympäristössä.

Vuosikymmenien ajan päivänvalon määrän mittaamiseen on suositeltu suhteellisia arvoja absoluuttisten arvojen sijaan (luksit). Tämä on liittynyt silmän sopeutumiseen, jossa silmä sopeuttaa herkkyytensä näkökentän keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen. Suhteellisilla arvoilla on myös pyritty välttämään päivänvalon jatkuvaan muuttuvuuteen liittyvät ongelmat. On suositeltu, ettei tiloille määriteltäisi tarkkoja valaistusvoimakkuuksia vaan ennemminkin tilan ääripäiden ja keskimäärän suhdetta. Päivänvalon ollessa voimakkaampaa kuin keinovalo, on ikkuna useimmiten huoneen kirkkain kohta ja tämän vuoksi huoneen päivänvalaistusta tulisi suhteuttaa aina samalla hetkellä ulkona vallitsevaan valaistustilanteeseen. Yleensä arviointimenetelmänä on käytetty huoneen päivänvalosuhdetta (Baker & Steemers, 2002, s. 170).

Päivänvalosuhteeseen perustuvaa suhteellista päivänvalon mittaamista on kyseenalaistettu jo aikaisemmin mutta vasta viime vuosina on alettu suosia absoluuttisiin määreisiin perustuvaa arviointia. Nämä arvioinnit perustuvat koko vuoden kattaviin laskelmiin, joissa käytetään standardisoituja ilmastotietokantoja (Mardaljevic;Andersen;Roy;& Christoffersen, 2011, s. 2; Mardaljevic & Christoffersen, 2017, s. 202). Tutkijat ovat jo jonkin aikaa väitelleet siitä, mikä ns. ilmastoperusteinen päivänvalon mallinnukseen (climate based daylight modelling, CBDM) perustuva arviointimenetelmä korvaisi pitkään käytössä olleen päivänvalosuhteen (Mardaljevic;Andersen;& Christoffersen, 2012, s. 189). Tutkimuksissa on huomattu vahvempi korrelaatio käyttäjien arvioinneissa päivänvalon riittävydestä suhteessa absoluuttisiin arvoihin kuin päivänvalosuhteeseen. Päivänvalosuhteen korrelaatio käyttäjien arviointeihin eroaa varsinkin ääripäiden välissä ja päivänvalosuhteen käyttö määrittelevänä arviointimenetelmänä voi johtaa valoaukkojen liioitteluun. On huomattu, että 300 luksin arvo vastaa parhaiten käyttäjien mieltymykseen riittävästi päivänvalaistusta tilasta. (Heschong & Mahone, 2012, ss. 81–82; Reinhart & Weissman, 2012, s. 163) Tutkijat ovatkin jo jonkin aikaa käyttäneet ilmastoperusteista päivänvalon mallintamista (CBDM). Tämän vahva puolestapuhuja on ollut professori John Mardaljevic, joka on aikoinaan kehittänyt CBDM:n ja ollut yksi päätekijöistä uuden eurooppalaisen päivänvalostandardin kehittämisessä (EN 17037:2018, 2018). EN-standardin myötä ollaan siirtymässä suhteellisista valon arvoista, jotka perustuvat yhteen taivastyyppiin, vuotuisiin absoluuttisiin valaistusvoimakkuuden arvoihin. Nämä arvot perustuvat ilmastotietokannoista saatuihin tietoihin kumulatiivisen hajavalon saatavuudesta. (Mardaljevic & Christoffersen, 2017, s. 203)

Realistiset arviointimenetelmät lisäävät huomattavasti simulaatioiden monimutkaisuutta ja vaativat tekijältään ymmärrystä aiheesta. Line Roeseth Karlsen (2016, s. 41) ehdottaa väitöskirjassaan, että eri suunnitteluvaiheissa käytettäisiin erilaisia arviointimenetelmiä ja -työkaluja. Luonnossuunnitteluvaiheessa voisi hyödyntää Reinhartin ja Verson kehittämää nyrkkisääntöjen sarjaa selvittääkseen minimilasilusalueita. Tässäkin vaiheessa Karlsen kuitenkin suosittelee simulointityökalun käyttöä varmistaakseen, että lasitusalue täyttää vuosittaiset päivänvalovaatimukset sekä lämpöviihtyvyyden ja energiankäytön osalta. Kaaviovaiheessa tulisi jo käyttää ilmastoperusteista päivänvalon mallintamista ja arviointimenetelmänä hyödyllistä päivänvalaistusvoimakkuutta, UDI:a. Detaljisuunnitteluvaiheessa tulisi tehdä tarkkoja ilmastoperusteisia mallinnuksia.

Päivänvalosimulaatioihin liittyy aina epätarkkuuksia. Tietokonemallintamiselle ominaiset virheet ovat vain osa virhearviointeja. Eri ohjelmistoissa esiintyviä matemaattisia virheitä on tutkittu ja ohjelmistoja on kehitetty. Rakennusten päivänvalaistukseen liittyy myös sille ominainen arvaamattomuus. Professori emeritus Peter Tregenza (2017, ss. 829, 841) listaa tähän kaksi pääasiallista syytä. Joitakin päivänvaloon liittyviä parametrejä voidaan kuvailla vain todennäköisyyksinä. Tällaisia ovat mm. luminanssin jakautuminen pilvisellä taivaalla tai lasituksen likaantuminen. Myös tulevaisuudessa tapahtuvien muutosten huomioiminen on epäselvää, mm. miten huomioidaan kasvava kasvillisuus tai tilan käyttötarkoituksen muutokset. Käyttäjien käytöstä ja rakennuksen ylläpitoa on myös vaikea arvioida. Yksittäisissä päivänvalaistusvoimakkuuden laskelmissa esiintyy usein 20 % ero keskiarvoihin. Tregenza huomauttaa, että näitä epävarmuuksia huomioidaan harvoin tieteen keinoin käytännön päivänvaloennusteissa. Tregenzan mielestä tulokset tulisi aina esittää muodossa, josta selviää tarkkuus. Erilaiset oletukset laskelmissa tulisi aina esittää ja eri parametriarvot

listata. Arvioon kuuluu myös arvio mahdollisista muutoksista. Kun tehdään vertailevia laskelmia erilaisille vaihtoehtoilta, tulisi aina käyttää standardoituja keinoja.

### 3.1 Nyrkkisäännöt

Luonnosteluvaiheessa suunnittelijat luottavat pääosin nyrkkisääntöihin ja aikaisempiin kokemuksiin. Nyrkkisäännöt ovat houkuttelevia, sillä ne ovat helposti opittavia ja nopeita käyttää. Monet suunnitteluryhmät eivät omaa taitoja, aikaa tai resursseja tehdä päivänvalosimulaatioita ja tämän vuoksi monet suunnitteluprosessit tehdään täysin perustuen nyrkkisääntöihin.

Yksi käytetyimmistä nyrkkisäännöistä on ikkunan yläreunan suhde huoneen syvyyteen. Tästä nyrkkisäännöstä löytyy useita versioita. Mikäli huoneessa on normaali ikkuna ja sälekaihtimet, voidaan olettaa, että huoneen päivänvalaistuksen syvyys on 1-2 kertaa ikkunan yläreunan korkeus. Tarkka syvyys riippuu lasituksen tyypistä ja toivotusta valaistusvoimakkuudesta. Mikäli huone ei tarvitse varjostusta, voi syvyys olla 2,5 kertainen. Sääntö ei huomioi kattoikkunoita, valohyllyjä, sälekaihtimia tai sisäisiä ja ulkoisia esteitä. Näiden voidaan olettaa vaikuttavan huomattavasti tulokseen. (Reinhart, 2005, s. 7) Nyrkkisäännön on kuitenkin todettu korreloivan käyttäjäkokemusten kanssa. Tämän validoiminen vaatisi kuitenkin suurempia otantoja ja eri muotoisten rakennusten tutkimista. (Reinhart & Weissman, 2012, ss. 161–162)

Valoaukon suhdetta lattian pinta-alaan käytetään monen maan määräyksissä, myös Suomessa. Se on kuitenkin hyvin epätarkka arviointimenetelmä tilan päivänvalaistukselle. Suhde ei huomioi maantieteellistä sijaintia, ulkoisia ja sisäisiä esteitä sekä valon jakautumista tilassa. Tanskassa ja Ruotsissa tälle arviointimenetelmälle on asetettu vaatimukset tai kertoimet koskien lasin ominaisuuksia, esteitä yms. Mikäli Ruotsin standardin vaatimukset täyttyvät, vastaa 10 % valoaukon koko suhteessa lattiapinta-alaan, 1 % päivänvalosuhteesta. Pohjoismaissa on pitkälti käytössä 10 % sääntö mutta esimerkiksi Ranskassa suhde on suurempi; 17 %. (R20111-2; TBB18, s. 7; BFS2014:3, s. 6:322) Riippuen siitä, miten ikkunan pinta-ala on jakautunut tilassa, voidaan samalla suhteella saavuttaa valaistukseltaan hyvin eritasoisia tiloja. Alla olevista kuvista voi nähdä, miten sama 10 % valoaukko suhteessa lattian pinta-alaan, tuottaa hyvin erikokoisia aloja, jotka saavuttavat Helsingille suositellut minimipäivänvalosuhteet koko tilassa ( $DF > 0,7$  %) ja minimipäivänvalosuhteet puolessa tilassa ( $DF > 2,2$  %).

Professori Christoph Reinhart ja Valerio M.LoVerso (2010, ss. 8, 11–12, 20, 25–26) ehdottivat vuonna 2010 julkaistussa artikkelissaan nyrkkisääntöjen sarjan, jota voidaan hyödyntää päivänvalaistuksen arvioinnissa, varsinkin suunnittelun alkuvaiheissa. Hekin painottavat, että metodia tulisi käyttää vain silloin, kun päivänvalosimulaatioita ei voida suorittaa osaamisen, ajan tai rahallisten resurssien puuttumisen vuoksi. Metodi soveltuu ainoastaan kuvaamaan hajavalon saatavuutta tilassa ja johtaa helposti ikkunakokojen liioitteluun, jos muita täydentäviä arviointeja ei tehdä. Tämän vuoksi metodi soveltuu parhaiten tiloihin pilvisissä ilmastoissa.

Ensimmäisessä vaiheessa rakennuksen alat jaetaan päivänvaloalueisiin, joita kuvastaa päivänvalotarve sekä avautuminen eri taivasolosuhteisiin. Metodin toinen askel perustuu päivänvalosuhteeseen, ja sillä voidaan arvioida valoaukon koon minimi suhteessa seinäpintaan, kun tiedetään toivottu päivänvalosuhte:

$$WWR > \frac{0,88 \times DF}{LT} \times \frac{90^\circ}{\theta}$$

*WWR (window-wall-ratio), ikkunapinta-alaan suhde seinän pinta-alaan*

*LT lasituksen valonläpäisevyys*

*$\theta$  taivaskulma (asteissa)*

*DF päivänvalosuhte*

Kolmannessa askeleessa määritetään päivänvalaistun tilan syvyys käyttäen keskimääräisiä heijastusarvoja, tilan leveyttä ja ikkunan yläreunan korkeutta.

$$\text{Päivänvalaistun tilan syvyys} < \text{minimi} \frac{2}{1R_{mean}} / \frac{1}{w} + \frac{1}{h}$$

*w = huoneen syvyys*

*h = etäisyys lattiasta ikkunan yläreunaan*

*R<sub>mean</sub> = tilan kaikkien pintojen (myös lasitus) keskimääräinen heijastavuus*

Kaava on tarkoitettu käytettävän eri vaihtoehtojen iterointiin, kunnes saavutetaan riittävä päivänvalaistus.

Viimeisessä askeleessa etsitään lasituksen pinta-alalle minimiarvo

$$A_{\text{lasitus}} = \frac{DF \times A_{\text{total}} (1 - R_{\text{mean}})}{L T_{\text{vis}} \times \theta}$$

jossa  $A_{\text{total}}$  lasketaan kohdassa kolme määritetyllä huonesyvyydellä. Tässä vaiheessa tulokset ja lasin valonläpäisevyys tulisi verrata muihin vaatimuksiin auringonlämpösaannista ja häikäisyn hallinnasta. (Reinhart & LoVerso, 2010, ss. 8, 11-12, 20, 25-26)

### 3.2 Päivänvalosuhte

Huoneen päivänvalaistusta mitataan kansainvälisesti useimmiten ulkotilan valaistusvoimakkuuden suhteena huoneen valaistusvoimakkuuteen eli päivänvalosuhteena (daylight factor, DF). Voidaan sanoa, että päivänvalosuhte on määre sisätilan ja ulkotilan väliselle kontrastille. Päivänvalosuhte on vanha arviointimenetelmä, joka esiteltiin ensimmäistä kertaa 1800-luvun lopulla (Carlucci;Causone;De Rosa;& Pagliano, 2015, s. 1022). Päivänvalosuhdetta käytetään Suomessa harvoin ja termille ei ole vakiintunutta käännöstä; sekä päivänvalotekijää, päivänvalokerrointa että päivänvalosuhdetta käytetään. Tässä selvityksessä käytämme jatkossa termiä päivänvalosuhte, sillä se kuvastaa parhaiten menetelmän suhteellista luonnetta.

Päivänvalosuhdetta on käytetty useassa standardissa ja määräyksessä sekä laskentaohjelmistossa tilojen päivänvalaistuksen arviointiin. Absoluuttisia arvoja, kuten valaistusvoimakkuutta (luksi), on pidetty huonoina mittayksikköinä silmän sopeutumisen vuoksi. Ulkotilan valaistusvoimakkuus voi vaihdella 2000 luksista pilvisenä päivänä 50 000 luksiin aurinkoisena kesäpäivänä. Silmä sopeutuu aina tilan voimakkaampaan valaistusvoimakkuuteen, eli yleensä ikkunaan, ja tämän vuoksi suhteellisia arvoja on pidetty parempina kuin absoluuttisia. (Baker & Steemers, 2002, ss. 61,66; Tregenza & Wilson, 2011, ss. 133–134, 139)

Yleensä päivänvalosuhte on hyvin pieni, esimerkiksi kirkaasti valaistun huoneen keskimääräinen päivänvalosuhte on 5 % ja asunnolle suositellaan minimissä 1,5 % keskimääräistä päivänvalosuhdetta. Monet määräykset ja suositukset määrittelevät, että huoneen päivänvalosuhte tulisi olla vähintään 2 %, sillä huoneet, joissa päivänvalosuhte on alle 2 %, koetaan todennäköisesti synkiksi ja niissä käytetään usein keinovaloja. Toimistoille suositellaan yleensä korkeampaa minimipäivänvalosuhdetta (1-2,5 %) kuin asunnoille (0,5-1,5 %) mutta jo 0,5 % päivänvalosuhte koetaan usein liian pimeäksi. Yli 6 % keskimääräiset päivänvalosuhteet saattavat aiheuttaa ylikuumentumista kesäisin ja suuria lämpöhävikkejä talvella. Matalista päivänvalosuhdesuosituksista huomaamme miten suuri ero on sisätilojen ja ulkotilan valaistuksessa. Emme kuitenkaan yleensä pysty havaitsemaan tätä eroa, koska silmämme sopeutuvat eri valaistusvoimakkuuksiin. (Littlefair, 2011, ss. 3–4; Voll & KöivT-A., 2010, s. 48; Baker & Steemers, 2002, s. 61)

Suositukset päivänvalosuhteesta tulisi kuitenkin kasvaa leveysasteen mukaan, sillä päivänvalon voimakkuus vähenee korkeilla leveysasteilla. Kohteissa, jotka sijaitsevat 54 leveysasteen pohjoispuolella päivänvalosuhteen suositukseksi on esitetty vähintään 4,5 %, jolla voidaan saavuttaa 200 luksin valaistus suurimman osan päivästä. (DeKay, 2010, s. 40) Uudessa eurooppalaisessa päivänvalostandardissa EN 17037:2018 on otettu huomioon tämä. Standardin tekijät suosittelevat valaistusvoimakkuuteen perustuvaa laskentatapaa, mutta päivänvalosuhteen käyttö on mahdollistettu, jotta siirtymä uuteen standardiin olisi helpompi. Päivänvalosuhteen tavoitearvot perustuvat absoluuttisiin määriin päivänvalon saatavuudesta ja kasvavat siis mitä pohjoisemmassa ollaan. (Mardaljevic & Christoffersen, 2017, ss. 202, 205–206)

Päivänvalosuhte lasketaan tiettyssä pisteessä, mutta siihen lisätään usein sääntöjä, jotka mahdollistavat tietyn tilan tai alueen keskimääräisen päivänvalon laskemisen. Useimmat määräykset ovat laadittu keskimääräiselle päivänvalosuhteelle osittain, koska se on helpompi laskea. (Tregenza & Wilson, 2011, s. 147; Baker & Steemers, 2002, ss. 61, 134)

Toinen tapa on ilmoittaa päivänvalosuhte pisteiden mittaustulosten mediaanina. Professori John Mardaljevic (2017, s. 201) kritisoi keskimääräisen päivänvalosuhteen käyttöä sen epätarkkuuksien vuoksi. Yhdeltä sivulta valaistussa tilassa keskimääräinen päivänvalosuhte on aina suurempi kuin mediaani. Keskimääräinen päivänvalosuhte mahdollistaa ”keplottelun” kun taas mediaaniin vaikuttaa vähemmän erilaiset suositukset (esim. miten tila rajataan laskelmissa). Mediaani myös kertoo valon jakautumisesta tilassa, antaen paremman arvon tasaisesti jakautuneelle valolle kuin keskimääräinen päivänvalosuhte. Keskimääräinen päivänvalosuhte ei esimerkiksi muutu, jos sama ikkunapinta-ala jaetaan yhdelle tai kahdelle sivulle. Tasaisesti valaistuu tila koetaan kuitenkin valoisampana kuin suuret kontrastit omaava tila. Useat ohjelmistot osaavat myös

piirtää päivänvalosuhteen ääriiviivat. Niillä voidaan kuvastaa valon jakautumista huoneessa ja antaa enemmän tietoa kuin keskimääräisellä päivänvalosuhteella.

Keskimääräinen päivänvalosuhte voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$DF_{ave} = \frac{W \times \theta \times LT \times M}{A(1-R^2)}$$

$DF_{ave}$  = keskimääräinen päivänvalosuhte (%)

$W$  = aukon koko m<sup>2</sup> työskentelytason (80 cm) yläpuolella

$\theta$  = taivaskulma ikkunan keskiosasta (astetta)

$LT$  = lasituksen valonläpäisevyys

$M$  = lasituksen ylläpitoteijä (lian kerääntymisestä aiheutuva lasien läpäisykertoimen alenema)

$A$  = kaikkien sisäpintojen pinta-ala (myös ikkuna)

$R$  = keskimääräinen sisäinen heijastus (myös ikkuna)

$R = (a_1r_1 + a_2r_2 \dots) / (a_1 + a_2 \dots)$

$a$  = pinnan pinta-ala

$r$  = pinnan heijastavuus

(Baker & Steemers, 2002, s. 66; Mardaljevic & Christoffersen, 2017, s. 201)

Päivänvalosuhte on kehitetty ennen tietokoneita manuaaliseen laskentaan ja sen vuoksi sen laskemiseen käytetään yksinkertaistettuja oletuksia, mm. että huone on tyhjä ja pinnat heijastavat valoa hajaantuneesti. Tämän vuoksi päivänvalosuhte ei ole mikään tarkka suure. Päivänvalosuhdetta määriteltäessä käytetään yleensä taivasmallia CIE Standard Overcast Sky, jossa suoraa auringonvaloa ei huomioida. (Iversen, 2013, s. 14)

Päivänvalosuhteeseen liittyy monta rajoittavaa tekijää. Se kuvastaa huonosti pilvettömien olosuhteiden tilannetta ja se ei kuvasta absoluuttisia valonvoimakkuuksia. Pohjoismaissa on totuttu pitämään päivänvalosuhdetta sopivana arviointimenetelmänä, sillä täällä vallitsee pilviset olosuhteet. Kuitenkin myös pilvisessä ilmastossa päivänvalonvoimakkuuksissa on suuria eroja, riippuen mihin suuntaan tila avautuu. Päivänvalosuhteen maksimoiminen johtaa suuriin lasitettuihin pintoihin, jotka vaikuttavat tilojen lämpöviihtyvyyteen ja -häviöön. (Mardaljevic;Heschong;& Lee, 2009, s. 263; Iversen, 2013, s. 14; Reinhart;Mardaljevic;& Rogers, 2006, ss. 4–5)

Professori Christoph Reinhart tutkimusryhmineen (2006, s. 3) uskovat, että päivänvalosuhteen suosio johtuu siitä, että se on helppo laskea ja se on laajalti tunnettu, jolloin se on helpommin kommunikoitavissa suunnitteluryhmän kanssa. Professori John Mardaljevicin (2017, ss. 201–203) mukaan puolen vuosisadan kritiikitön päivänvalosuhteen käyttö on johtanut siihen, että useat sekoittavat todelliset päivänvalo-olosuhteet päivänvalosuhteen antamaan arvoon. Päivänvalosuhte ei anna informaatiota siitä, miten valo-olosuhteet muuttuvat ajan myötä tilan eri kohdissa, eikä se varmista todellista oleskeluviihtyvyyttä. On jopa väitetty, että syy siihen, että päivänvaloa hyödynnetään niin vähän, on päivänvalosuhteen epärealistisuus (Nabil & Mardaljevic, 2006, s. 905).

### 3.3 Ilmastoperusteinen päivänvalon mallintaminen (CBDM)

Standardisoituun ilmastoaineistoon, joka perustuu realistisiin aurinko- ja taivasolosuhteisiin, pohjautuva päivänvalon arviointia kutsutaan ilmastoperusteiseksi päivänvalon mallintamiseksi (Climate-based daylight modelling, CBDM). CBDM mahdollistaa laskemaan ajan vuoden aikana, jolloin tietty valaistusvoimakkuuden taso saavutetaan tietyssä suunnitelmassa, tietyssä maantieteellisessä sijainnissa. CBDM huomioi sekä avautumissuunnan, että rakennuksen muodon. CBDM huomioi kaikki taivastyypit ja kuvastaa tilassa esiintyvää valaistusvoimakkuuden jakautumista sen yleisesti käytettävissä olevien tuntien ajan. Toisin sanoen CBDM antaa realistisemmän kuvan päivänvalotilanteesta kuin päivänvalosuhte. Kuvatakseen päivittäistä ja vuodenaikojen mukaan muuttuvaa päivänvaloa tehdään CBDM-arviointit yleensä tunneittain kokonaisen vuoden ajalta. (Reinhart;Rakha;& Weissman, 2014, s. 193; Mardaljevic;Andersen;Roy;& Christoffersen, 2011, s. 2; Reinhart;Mardaljevic;& Rogers, 2006, s. 21)

CBDM-arvioinnit kehitettiin 1990-luvun lopulla mutta olivat pitkään vain tutkijoiden käytössä. Nykyään CBDM-arviointeja vaaditaan mm. the UK Education Funding Agency (EFA) ensisijaisesti korjaustarpeessa olevissa kouluissa (Priority School Building Programme) (EFA, 2015, s. 1) ja amerikkalaisessa LEED:ssä (USGBC b., 2019, ss. 135–136). Mardaljevicin (2017, ss. 203, 208) mukaan EFA:n päätös on johtanut siihen, että CBDM-arvioinnit ovat valtavirtaa Isonsa-Britanniassa. Viimeistään EN-standardi johtaa suunnittelijat CBDM:n suuntaan, vaikka se ei vielä vaadi täysmääräistä CBDM-arviointia.

Ilmastoperusteisissa arviointimenetelmissä oleellista on ollut määritellä arvot ”riittäville päivänvaloolosuhteille”. Tutkijat ovat väitelleet tästä siitä lähtien kun CBDM on esitelty. Nykyiset tavoitearvosuositukset, esim. 300 luksia, perustuvat käyttäjien preferensseihin päivänvalaistuissa tiloissa. Kun kiinnostuksen kohteena on päivänvalon saatavuus, voidaan määritellä minimiarvot, kuten muitakin arviointimenetelmiä käytettäessä. Kun saatavuuden lisäksi ollaan kiinnostuneita häikäisystä ja ylikuumenemisesta, tulee tavoitearvoille asettaa minimi- ja maksimiarvot.

CBDM-simuloinnit suoritetaan validoidulla ohjelmistolla, eikä manuaalinen laskenta ole mahdollista. Usein ohjelmistojen pohjalla on monimutkaisia simulaatiomooottoreita kuten Radiance, joiden hallitseminen vaatii erityistä perehtyneisyyttä. Onneksi markkinoille tulee jatkuvasti uusia ohjelmia, joiden takana on näitä monimutkaisia simulaatiomooottoreita, mutta joiden käyttöliittymä on helpommin opittavissa ja linkitettävissä muihin mallintamistyökaluihin. (Mardaljevic, 2015, s. 7)

### 3.3.1 Päivänvaloautonomia, Daylight autonomy (DA)

Päivänvaloautonomia kuvastaa kuinka usein vuoden aikana tietty valaistusvoimakkuus (esim. 300 luksia) saavutetaan (Mardaljevic; Andersen; & Christoffersen, 2012, s. 192). Päivänvaloautonomia määritellään prosenttiosuudeksi käytössä olevista tunteista vuoden aikana, jolloin valaistusvoimakkuus ylittää tietyn tavoitearvon. Illuminating Engineering Society of North America’s (IES) Lighting Measurement #83 (LM-83) määrittelee, että piste tilassa on päivänvalaistua, mikäli DA siinä pisteessä ylittää 300 luksin tavoitearvon yli 50 % käyttöajalle 8-18 eli  $DA_{300lux}[50\%]$ . (IES, 2012, s. 3)

DA:lle voidaan tavoitearvon lisäksi määritellä minimiarvo, esim.  $DA_{300lux}[50\%]/DA_{150lux}[50\%]$ , jolloin tilat voidaan jakaa päivänvalaistuihin ja ei-päivänvalaistuihin tiloihin. Reinhart kutsuu tätä minimi- ja tavoitearvon välille asettuvaa tilaa osittain valaistuksi. Tällöin suunnittelijat voivat keskittyä tiloihin, joissa ei ole riittävästi päivänvaloa.  $DA_{300lux}[50\%]/DA_{150lux}[50]$  korreloi hyvin käyttäjäarvioiteihin hyvin valaistusta tilasta. Samalla vaivalla kun tehdään tavoitearvolle  $DA_{300lux}[50\%]$ -arvio saadaan myös minimiarvolle  $DA_{150lux}[50\%]$ -arvio, joten tämän toisen arvon sisällyttäminen ei aiheuta lisätyötä. Arvio ei toimi yhtä luotettavasti hyvin voimakkaasti suoralla auringonvalolla valaistuissa tiloissa. (Reinhart & Weissman, 2012, s. 163; Reinhart; Rakha; & Weissman, 2014, ss. 194, 203–205)

DA on täysin riippuvainen tehtäväkohtaisesti määritellyistä tavoitearvoista. Näiden etu on, että erilaisia valaistusvoimakkuuden tavoitearvioita on jo määritelty (esim. IESNA Lighting Handbook, SFS-EN 12464-1 Sisätilojen työkohteiden valaistus). (Reinhart; Mardaljevic; & Rogers, 2006, s. 21)

### 3.3.2 Jatkuva päivänvaloautonomia, Continuous Daylight Autonomy ( $DA_{con}$ )

Jatkuva päivänvaloautonomia ( $DA_{con}$ ) on vuonna 2006 esitelty mittaumenetelmä.  $DA_{con}$  perustuu DA:han mutta toisin kun DA se antaa osittaisia pisteitä aikaväleille, jolloin valaistusvoimakkuuden minimiarvo ei täyty. Tilanteissa, joissa vaaditaan 500 luksia, mutta saavutetaan vain 400 luksia, annetaan osittainen piste  $400 / 500 = 0,8$  kyseessä olevalle aikavälille. Tarkoituksena on pehmentää vaatimustason rajapintaa ja nostaa esille, että pienikin määrä päivänvaloa on parempi kuin täysi pimeys. Tämän arviointimenetelmän perusteena ovat tutkimukset, joiden mukaan subjektiiviset preferenssit hyvästä päivänvalon määrästä vaihtelee ja että monet toimistotyöntekijät työskentelevät matalammassa päivänvalon tasoissa kuin 300 ja 500 luksia, joihin usein viitataan. Pohjimmiltaan kyse on huomioida, että myös vaillinaisen päivänvalo on hyödyllinen tilan valaisemiseksi. (Reinhart; Mardaljevic; & Rogers, 2006, ss. 10–11, 21)

### 3.3.3 Tilallinen päivänvaloautonomia, Spatial Daylight Autonomy (sDA)

Tilallinen päivänvaloautonomia (sDA) kuvastaa sisätilojen päivänvalontason vuosittaista riittävyttä. sDA kuvataan prosentteina tarkastelutasosta, joka saavuttaa tietyn valaistusvoimakkuuden tavoitearvon, tietyn osuuden arviointiajasta. Illuminating Engineering Society of North American (IES) mukaan sDA:n raja-arvoina tulisi pitää 300 luksia 50 % arviointiajasta. Arviointiaika on 10 tuntia päivässä klo 8–18. Arvioinnissa huomioidaan ikkunoiden sälekaihtimet ja varjostukset. IES suosittelee, että sDA-arvioiden yhteydessä tehdään arviointi vuosittaisesta auringonvalontistuksesta (ASE). (IES, 2012, ss. 2–5)

IES:n mukaan vaaditaan yli 55 %  $sDA_{300/50\%}$ , jotta tila olisi muodollisesti riittävän päivänvalaistua.  $sDA_{300/50\%}$ , joka ylittää 75 % olisi suositeltavaa. IES huomauttaa, että arviointitasot ovat kehitetty Pohjois-Amerikassa (leveysasteilla  $37^\circ - 48^\circ$ ) ja tarvitaan lisää tutkimuksia, jotta voidaan varmistaa, että raja-arvot pätevät myös muilla leveysasteilla. (IES, 2012, s. 3) Useassa tutkimuksessa on osoitettu, että  $sDA_{300/50\%}$  olisi suositeltava päivänvalokriteeri.  $sDA_{300/50\%}$  on korreloinut asukkaiden kokemukseen hyvin päivänvalaistusta tilasta. (Reinhart;Rakha;& Weissman, 2014, s. 204) Uudessa eurooppalaisessa päivänvalostandardissa käytetään tilallista päivänvaloautonomiamia, vaikka termiä  $sDA_{300/50\%}$  ei käytetä (EN 17037:2018, s. 13).

### 3.3.4 Hyödyllinen päivänvalaistusvoimakkuus, Usefull daylight illuminance (UDI)

Nabil ja Mardaljevic (2005, s. 261) määrittivät hyödyllisen päivänvalaistusvoimakkuuden, UDI, olevan osa ajasta vuoden aikana, jolloin sisätilan horisontaalinen päivänvalonvoimakkuus pysyy tietyn vaihteluvälin sisällä. Vaihteluväli rajautuu hyödylliseen valaistusvoimakkuuteen, eli liian pimeään (100 luksia) ja liian kirkkaaseen (2000 luksia). Vaihteluväli perustuu yleiskatsaukseen tutkimuksista, jotka käsittelevät käyttäjien mieltymyksiä ja käytöstä päivänvalaistuisissa toimistotiloissa, joissa on käyttäjien kontrolloimat varjostuslaitteet. Toimistotiloissa häikäisyllä on suurempi vaikutus käyttäjien preferensseihin kuin asuintiloissa (johtuen näyttöpäätteistä) ja tämä on vaikuttanut tuloksiin. Mardaljevicin tutkimusryhmä (2012, s. 191) huomauttikin, että ylärajoja tulisikin tutkia varsinkin asuinrakennuksissa. He ehdottavat ylärajaksi asuinrakennuksissa 3000 luksia.

Päivänvalosuhteen käyttäminen suunnittelun ohjaamiseen voi johtaa liioitellun suuriin lasituspintoihin. Cantin ja Dubois (Cantin & Dubois, 2011, s. 304) esittävätkin, että päivänvalosuhte korvattaisiin UDI:lla, jotta välttyttäisiin tältä ”enemmän on paremmin” ajattelulta. Line Roeseth Karlsen (2016, ss. 30-31) nostaa väitöskirjassaan esiin UDI:n antaman poikkiteollisen informaation mahdollisuudet suunnitteluprosessissa. Tällä hän viittaa siihen, miten UDI:a voidaan käyttää keinovalojen tarpeen arviointiin. UDI voidaan jakaa neljään kategoriaan sen mukaan, miten päivänvalo vaikuttaa keinovalojen käyttöön:

UDI\_fell short (UDI-f, 0-100 luksia): aika, jolloin vaadittu valaistusvoimakkuus täytyy ylläpitää keinovaloilla

UDI\_supplementary (UDI-s, 100-300 luksia): aika, jolloin päivänvalaistusta täytyy täydentää keinovaloilla saavuttaakseen vaaditun valaistusvoimakkuuden

UDI\_autonomous (UDI-a, 300-3000 luksia): aika, jolloin valaistuksen taso voidaan ylläpitää pelkällä päivänvalolla

UDI\_exceed (UDI-e, > 3000 luksia): aika, jolloin tarvitaan auringonvarjostusta estämään häikäisyä ja ylikuumenemista.

UDI:lla on nähty olevan yhteyksiä häikäisyn arviointiin ja päivänvalon häikäisytodennäköisyyteen, DGP. (Mardaljevic;Andersen;& Christoffersen, 2012, s. 195) Erittäin korkeilla valaistusvoimakkuuden arvoilla (yli 2500 luksia) on myös huomattu olevan hyödyllisiä terveysvaikutteita, ja tämän vuoksi näitä ei tulisi täysin poissulkea suunnittelun keinoin. UDI-e määrää tulisi kuitenkin huomioida tarkkaan, kun mietitään ylikuumenemista ja häikäisyä. Varsinkin asuinrakennuksissa yllämpeneminen on todennäköisesti rajoittavampi tekijä kuin päivänvalon määrä.  $DA_{300\%}$ -arvot ja UDI-arvot ovat usein hyvin lähellä toisiaan. UDI:ssa arvoja rajoittaa yläraja UDI-e, joten  $DA_{300\%} = UDI-a + UDI-e$ . (Mardaljevic;Andersen;& Christoffersen, 2012, s. 191; Mardaljevic;Andersen;Roy;& Christoffersen, 2011, s. 6)

## 3.4 Suora auringonvalo

Päivänvalon ja passiivisen lämpökuorman määrittelemiseksi ja toimivien aurinkosuojauksien suunnittelemiseksi on tärkeää tuntea auringon sijainti ja suoran auringonvalon suunta myös pilvisissä olosuhteissa. Auringon sijainti ja liike suhteessa maapalloon tunnetaan tarkasti ja voimme määrittellä auringon korkeusaseman horisontin ja atsimuutin nähden. Suoran auringonvalon saanti määritellään usein tunteina tietyn ajanjakson aikana, esimerkiksi EN 17037:2018 standardissa. Leveysasteen, pituusasteen, päivämäärän ja kellonajan avulla voidaan piirtää graafisia esityksiä auringon tarkasta sijainnista. Stereograafisessa tai ns. kalansilmäprojektiossa esitetään koko taivaankupoli, jossa keskusta kuvastaa zeniittiä ja ympyrän ulkoraja horisonttia. Projektioon voidaan liittää auringonsäteen suunta ja varjojen pituus. Esitystapa vastaa ns. kalansilmävalokuvaa, joka on otettu ylöspäin makaamalla maassa. (Baker & Steemers, 2002, s. 31) Uusi EN 17037:2018 -standardi suosittelee tämäntyyppistä arviointimenetelmää suoralle auringonvalolle. Käytännössä tänä päivänä suoran auringonvalon arviointi tehdään arkkitehdin tai iv-suunnittelijan mallinnustyökaluilla. Tällöin olennaista on, että ympäristö ja

rakennuksen omat varjostavat rakenteet, kuten parvekkeet yms. ovat mallinnettu tarkasti. Suomalaiselle ilmastolle tyypillistä pilvistä säästä ei yleensä huomioida suoran auringonvalon arvioinnissa (EN 17037:2018, 2018, s. 39), joten arvioinnin lopputulos voi poiketa huomattavasti todellisista auringonpaistetunneista.

### 3.4.1 Vuotuinen auringonvalon altistus, Annual Sunlight Exposure ASE

Vuotuinen auringonvalon altistus (ASE) mittaa työtiloissa koettua epämukavuuden tunnetta, joka johtuu suoran auringonvalon aiheuttamasta häikäisystä. ASE määritellään prosentteina tarkastelualasta, jossa ylittyy tietyn suoran auringonvalon valaistusvoimakkuuden taso useammin kuin määritellyn määrän tunteja vuodessa. ASE lasketaan ilman sälekaihtimia tai muita liikuteltavia varjostuskeinoja. Kiinteät varjostukset tulee huomioida analyysissä. ASE huomioi pilvisyyttä vuosittaisten meteorologisten aineistojen kautta, ulkoiset esteet (myös kasvillisuus) sekä sisäiset esteet. Yleensä ASE:n raja-arvona pidetään alueita, joihin kohdistuu yli 1000 luksia suoraa auringonvaloa enemmän kuin 250 tuntia vuodessa ( $ASE_{1000,250h}$ ). 250 tunnin raja-arvo ei ole tarkoitettu absoluuttiseksi vaan ennemminkin vertailuarvoksi. (Hraška, 2018, s. 3) Amerikkalainen Illuminating Engineering Society of North America (IES, 2012, ss. 10-12) määrittelee tarkasteluajaksi 10 tuntia päivässä klo 8-18 paikallista aikaa. Analyysi tehdään siis 3650 tunnille vuodessa. IES:n mukaan yli 10 %  $ASE_{1000,250h}$  johtaa epämiellyttävään visuaaliseen kokemukseen. Tätä raja-arvoa on myös käytetty LEED v4 rajana. IES kuitenkin huomauttaa, että tutkimus aiheesta ei ole ollut riittävän monipuolista, jotta raja-arvo olisi pätevä kaikissa tilanteissa.

## 3.5 Häikäisyn mittaaminen

Pyrimme yleensä maksimoimaan valon määrää huoneessa. Häikäisy asettaa kuitenkin esteitä tälle, tuottaen helposti epämiellyttävän näköaistikkokokemuksen. Sanotaankin, että häikäisy on valaistussuunnittelijan pahin vihollinen (Descottes, 2011, s. 36). Kenttätutkimukset osoittavat, että asukkaat sietävät paremmin häikäisyä taivaalta kuin keinovaloista. Yleensä ihminen sietää myös enemmän häikäisyä, mikäli näkymä koetaan miellyttäväksi. (Galasiu & Veitch, 2006, s. 740) Häikäisy voi johtua suorasta auringonvalosta tai kontrastieroista. Silmän sopeutuminen aiheuttaa häikäisyä, jos kontrasti yksittäisen valonlähteen ja ympäristön välillä on liian suuri. Tämäntyyppistä häikäisyä, joka ei heikennä näköä mutta joka johtaa epämukavaan näkökokemukseen, kutsutaan kiusahäikäisyksi (Ahponen, 1976, s. 10). Koemme kiusahäikäisyä päivittäin; esimerkiksi ikkuna saattaa aiheuttaa häikäisyä sisätiloissa, vaikka ulkona sama valo ei häiritse. Toinen häikäisytyyppi on estohäikäisy, joka johtaa näkyvyyden ja näkökyvyn heikkenemiseen. (Mardaljevic; Andersen; & Christoffersen, 2012, s. 192)

Häikäisyn arvioinnin kriteerit, kuten mittaustekniikat, standardisoidut kyselyt, ilmasto-olosuhteiden huomioiminen sekä tilakonfiguraatiot, eivät ole systemaattisesti kategorisoitu. Olemassa olevissa arviointimenetelmissä on ristiriitoja eikä subjektiivisten tekijöiden merkitystä huomioida riittävästi. CIE:n häikäisyindeksi (CGI, CIE glare index) ja kiusahäikäisyindeksi (UGR, unified glare rating,) ovat kehitetty keinovaloja varten. Päivänvalon häikäisy indeksi (DGI, daylight glare index) kehitettiin funktiona ikkunan koosta ja näkyvän taivaan kirkkaudesta, sekä käänteisenä funktiona huoneen kirkkaudelle. DGI:tä on pyritty kehittämään vuosien varrella mutta menetelmä ei ole saavuttanut laajaa suosiota käytännössä.

Päivänvalon häikäisytodennäköisyys (DGP, daylight glare probability) kehitettiin vastauksena häikäisyn arviointimenetelmien huonoon korrelaatioon käyttäjäkokemusten kanssa. DGP perustuu keinovaloille kehitettyyn CGI-arviointimenetelmään ja empiiriseen lähestymistapaan. DGP on funktio vertikaalisesta valaistusvoimakkuudesta silmän korkeudella sekä häikäisyn lähteen luminanssista ja sijainnista. DGP:llä saavutettiin parempi vastaavuus käyttäjäkokemuksiin, kun siinä käytettiin vertikaalista valaistuksen voimakkuutta silmän korkeudella yleisen luminanssipinnan lisäksi. (Wienold & Christoffersen, 2006, s. 743)

$$DGP = 5,87 \times 10^{-5} E_v + 9,18 \times 10^{-2} \log (1 + \sum_i (L_{s,i}^2 \omega_{s,i}) / (E_v^{1,87} P^2)) + 0,16$$

$E_v$  = valaistusvoimakkuus silmän tasolla [luksi]

$L_s$  = lähteen luminanssi [ $cd/m^2$ ]

$\omega_s$  = lähteen avaruuskulma. Näkyvän taivaan koko katsojan näkökentässä kuvastaa avaruuskulman kokoa.

$P$  = sijainti-indeksi, joka kuvastaa häikäisyn aistimista suhteessa lähteen kulmasiirtoon käyttäjän näkymäksesta. Näkyvän taivaan sijainti näkökentässä kuvastaa sijainti-indeksin kokoa päivänvaloaukkoja tutkittaessa; mitä kauempana näkymän keskipisteestä, sitä matalampi indeksi.

$i$  = häikäisylähteiden määrä (Wienold & Christoffersen, 2006, s. 755; EN 17037:2018, 2018, ss. 43–44)

DGP toimii parhaiten tilanteissa, joissa ei esiinny häikäisyä tai häikäisy on sietämätöntä. Näiden ääripäiden välissä se ei vastaa käyttäjien kokemusta yhtä hyvin. DGP myös aliarvioi häikäisyä, kun taas CGI yliarvioi sitä. DGP:tä suositellaan usein käytettävän arvioidessa kiusahäikäisyä. Kuitenkin DGP:tä on myös kritisoitu, eikä sitä tulisi käyttää ainoana arviointimenetelmänä varmistettaessa visuaalista viihtyisyyttä. DGP:n käyttö vuotuisissa tarkasteluissa on aikaa vievää ja tämän vuoksi on kehitetty yksinkertaistettuja menetelmiä kuten DGP simplified ( $DGP_s$ ). Koska menetelmä perustuu pelkästään vertikaaliin valaistusvoimakkuuteen silmän tasolla, voidaan se laskea yleisillä päivänvalaistusohjelmistoilla, kuten DAYSIM, käyttäen vain yhtä laskentapistettä. Arviointimenetelmän validoinnin tulokset ovat olleet rohkaisevia, kunhan hyvin korkean valaistusvoimakkuuden häikäisyntilanteita ei ole lähettyvillä. (Karlsen, 2016, ss. 31–33; B&Eeditorial, 2017, ss. 1–4)

$DGP_s = 6,22 \times 10^{-5} E_v + 0,184$  (Wienold, 2009, s. 946)

### 3.6 Ihmislähtöiset arviointimenetelmät

Tunnistamme valon tarpeen laadukkaan asuintilan ja riittävän valon määrän suhteen, mutta päivänvalolla on myös huomattavia terveysvaikutuksia. Viime vuosikymmenen aikana on tutkittu paljon valon ei-visuaalisia vaikutuksia ja tiedämme, että päivänvalo vaikuttaa ihmisen vuorokausirytmiiin, hormonituotantoon sekä unenlaatuun toisin kuin keinovalo. Päivänvalo on ensisijainen ärsyke ihmisen fotobiologisen vuorokausirytmiiin tahdistamiseen. Keinovalo ei ainakaan vielä pysty korvaamaan päivänvalon terveysvaikutuksia. Pohjoismaissa vietämme noin 90 % ajastamme sisätiloissa, joten päivänvalon huomioiminen rakentamisessa on oleellista (EUC, 2004, s. 132). Vuorokausirytmiiin perustuvat päivänvalaistuksen arviointimenetelmät (circadian daylighting) eivät ole standardisoituja. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että normaalit, standardeissa esiintyvät, sisätilan valaistustasot eivät riitä vuorokausirytmiiin ärsykeiksi, varsinkin iäkkäille henkilöille. Tällä hetkellä ilmastoperusteiset päivänvalon mallintamisen tavoitetasot perustuvat käyttäjien preferensseihin. Nämä tasot ovat liian matalia tukemaan vuorokausirytmiiä ja voikin olla, että päivänvalon tavoitetasot tulisi perustua lääketieteellisiin lähtökohtiin. Tällä hetkellä ei ole minimivaatimuksia päivänvalon saatavuudelle, joka tukee vuorokausirytmiiä. Lisätarvetta tutkimukselle on ja asiaa tutkitaankin kiivaasti tällä hetkellä. (Hraška, 2018, ss. 3–4; Konis, 2017, s. 22)

Valaistuksen spektri ja intensiteetti tulisi olla oikea, jotta valaistus toimisi ärsykeenä vuorokausirytmiiille. Rakennuksessa olevia alueita, jotka eivät säännöllisesti täytä vaatimuksia vuorokausirytmiiin ärsykeelle, voidaan kutsua biologisesti pimeiksi. Pitkäaikainen oleskelu näillä alueilla voi aiheuttaa häiriöitä vuorokausirytmiiin. Rakennusten suunnittelu vaikuttaa ainakin seuraaviin vuorokausirytmiiä kontrolloiviin valaistustekijöihin: ajoitus, teho, kesto, aallonpituus ja altistuksen lähihistoria. Vuorokausirytmiiin kannalta on oleellista, että valon tulisi olla voimakasta aamuisin ja vähentyä iltaa myöten. Vielä ei tiedetä, kuinka usein ihminen tarvitsee vuorokausirytmiiin ärsykeitä ja tulisiko tätä mittaavan päivänvalaistuksen arviointimenetelmän ottaa huomioon altistuksen säännöllisyys. Tällä hetkellä käytössä olevat CBDM-menetelmät kuten sDA eivät kuvasta valon ajoitusta. sDA lasketaan horisontaaliselta tasolta, kun taas vuorokausirytmiiin vaikuttaa vertikaalinen valo silmän korkeudella. sDA:n kriteerien täyttyminen vaatii yleensä, että esim. 55 % alueesta täyttää päivänvalonvoimakkuuden vaatimustason, eli se sallii myös suurien alueiden olevan pimeitä. Nämä alueet voivat olla kriittisiä vuorokausirytmiiin häiriintymiselle, varsinkin tilanteissa, joissa käyttäjä on sidottu tiettyyn pisteeseen, kuten työpaikoilla ja sairaaloissa. Uusia vuorokausirytmiiin stimulointia mittaavia arviointimenetelmiä on esitelty ja kehitellään edelleen (esim. Equivalent Melanopic Lux (EML), Circadian Effective Area (CEA)). Yksi ongelma on, miten niistä saatu tieto välitetään ymmärrettävällä ja hyödyllisellä tavalla suunnittelijoille. Odotettavissa on kuitenkin taas uusi arviointimenetelmä rakennusten päivänvalaistukselle. (Amundadottir;Lockley;& Andersen, 2017, ss. 673–677; Andersen;Gochenour;& Lockley, 2013, ss. 138–139; Konis, 2017, ss. 23–27)



## 4 Päivänvalo-olosuhteiden sääntely ja ohjaus

### 4.1 Suomessa

Toisin kuin monessa muussa eurooppalaisessa maassa, Suomessa ei juurikaan säännellä päivänvalaistusta sisätiloissa. Rakennustietokortiston mukaan: *”Selvät määräykset päivänvalon saannista ovat niukkoja”* (RT07-10912, 2008, s. 3). Voidaan sanoa, että määräysten kehitys on jakautunut eri maiden välillä. Eräissä maissa päivänvalomääräyksiä on aktiivisesti päivitetty (esim. Viro ja Tanska), mutta monessa maassa, kuten Suomessa, asetukset päivänvalosta ovat olleet pitkään hyvin samanlaiset. Vuoden 1959 rakennusasetuksen (266 /1959 §83 Rakennusasetus) vaatimus ikkunoista asuin- ja työhuoneissa on hyvin samantapainen kuin tämän päivän asetus. Ympäristöministeriön asetus vuodelta 2018 määrittelee valoaukon koon suhteessa huoneen lattiapinta-alaan sekä etäisyyden vastapäiseen rakennukseen suhteessa vastapäisen rakennuksen korkeuteen. Viimeisen voi kuitenkin ohittaa asemakaavan avulla. Uusien asetusten astuessa voimaan, tästä poikkeamismahdollisuudesta käytiin kiivas keskustelu. Alkuperäisestä asetusversiosta tämä kohta oli poistettu mutta se palautettiin pian. Näin ollen asetus päivänvalosta ei juurikaan ole muuttunut edellisistä versioista.

*”5 §*

*Asuin-, majoitus- ja työtilan ikkuna*

*Asuin- ja, majoitustilan ikkunan valoaukon on oltava vähintään 1/10 huonealasta. Ikkunan sijoituksen ja muun järjestelyn on varmistettava huoneen valoisuus, näkymä ulos huoneesta sekä huoneen kalustettavuus. Asuinhuoneen ja majoitustilan ikkunan tai sen osan on oltava avattavissa. Jos työtilassa on oltava ikkuna, valoaukon on oltava vähintään 1/10 työtilan huonealasta.*

*Etäisyyden asuinhuoneen pääikkunan edessä samassa tai naapurikiinteistössä olevaan vastapäiseen rakennukseen on oltava vähintään yhtä suuri kuin vastapäisen rakennuksen korkeus huoneen lattiatasolta mitattuna, ellei asemakaavasta muuta johdu. Pääikkunan edessä on kuitenkin oltava vähintään 8 metrin etäisyyteen asti rakentamatonta tilaa.*

*Pientalossa voi mainittu etäisyys tontilla tai rakennuspaikalla olla viihtyisyyden vaatimukset huomioon ottaen pienempikin, kuitenkin siten, että 45 asteen valokulma huoneen lattiatasoon nähden täyttyy.”*

(127/2018 Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista annetun ympäristöministeriön asetuksen 5 §:n muuttamisesta, tästedes YMA 127/2018)

Myös sisäilmastoa koskeva asetus antaa suunnittelijoille hyvin vapaat kädet koskien päivänvaloa.

*”Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti otettava huomioon rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen sisäilmasto, kun:*

*1) suunnitellaan rakennuksen lämmön- ja kosteudeneristystä sekä ikkunoiden ominaisuuksia ja aurinkosuojausta;*

*...*

*5) suunnitellaan tilojen valaistusta ja päivänvalon hyödyntämistä;”*  
(1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta)

Maankäyttö- ja rakennuslaki jopa mahdollistaa huoneen valaisemisen toisen tilan kautta:

*”Asuin-, majoitus- ja työtilassa on oltava ikkuna luonnonvalon saamiseksi. Työtilan ja yhden asuinhuoneistossa olevan asuinhuoneen valaistus saadaan järjestää myös toisen tilan kautta tulevalle välillisellä luonnonvalolla. Työtilan valaistus voidaan työn luonteen niin edellyttäessä järjestää osaksi tai kokonaan keinovalolla.”*  
(MRL 117 j §)

Professori John Mardaljevicin mukaan vasta viime vuosikymmeninä on alettu taas arvostamaan hyvää päivänvalosuunnittelua. Vuosikymmenien väheksyminen on kuitenkin johtanut monien päivänvalostandardien kyyvyttömyyteen huomioida todellista päivänvalon saatavuutta. (Mardaljevic,Christoffersen,& Raynham, 2013, s. 1) Suomen asetus ei juurikaan ota kantaa päivänvalaistuksen kannalta oleellisiin asioihin kuten ulkoisen esteen kokoon ja heijastusominaisuuksiin, rakennuksen aiheuttamaan esteeseen (esim. parvekkeet) tai lasituksen

ominaisuuksiin. Asetus ei myöskään huomioi rakennuksen suuntaa, valoaukon sijoitusta suhteessa valaistavaan tilaan tai häikäisyä. Oleellista on myös, miten asetuksia valvotaan.

## 4.2 Määräykset ja ohjausmenetelmät muissa maissa

### 4.2.1 Ruotsi

Ruotsissa haluttiin varmistaa päivänvalon saatavuus määräyksillä, kun energiavaatimuksia kiristettiin vuonna 1975. Määräyksissä vaaditaan, että yhdessä asuinhuoneiston huoneessa tai huoneen osassa tulee olla saavutettavissa suoraa auringonvaloa. Tämän lisäksi määräyksen mukaan huoneessa, jossa ihmiset oleskelevat tulee olla mahdollisuus saavuttaa hyvä suora päivänvalaistus. Suoralla päivänvalolla tarkoitetaan, että valo saapuu ikkunasta, joka avautuu suoraan ulkoilmaan. Määräyksessä annetaan yleiset ohjeet, miten tämä saavutetaan. Ohjeen mukaan valoaukon pinta-alan tulisi olla 10 % lattian pinta-alasta, mikäli standardin SS 91 42 01 edellytykset täyttyvät. Tällöin saavutetaan noin 1 %:n päivänvalosuhte. (BFS2014:3, 2014, s. 6:322)

Standardi SS 91 42 01, joka on kirjoitettu vuonna 1988, määrittelee edellytykset, jolloin 10 % sääntöä ei saa käyttää:

- estetty kulma on yli 30 astetta
- huoneen syvyys on yli 6 metriä
- ikkunalasi ei ole kirkasta
- ikkunat on sijoitettu epäsymmetrisesti.

Tämän päivän tiivis rakentaminen ja auringonsuojalasiat johtavat pääsääntöisesti siihen, että 10 %:n -laskutapaa ei voida käyttää. Määräyksen ohje antaa vaihtoehdoisen laskentatavan niihin tilanteisiin, joissa edellytykset eivät täyty. Tuolloin tulisi todistaa, että päivänvalosuhte tietyssä pisteessä huoneessa on yli 1 %. Ohjeen mukaan laskentatapa ja pisteen määrittäminen määritellään standardin liitteessä. Standardin liitteessä taas viitataan vuonna 1987 kirjoitettuun kirjaan *”Räkna med dagsljus”*, jossa määritellään, miten päivänvalosuhte voidaan laskea käsin. (SS:914201, 1988, s. 1)

Svenska byggbranschen utvecklingsfond (SBUF) on kahdessa julkaisussaan (*En genomgång av svenska dagsljuskrav ja Moderniserad dagsljusstandard*) kritisoinut voimassa olevia määräyksiä. Julkaisuissa nostetaan esille, miten määräys antaa ymmärtää, että 1 % DF takaisi hyvän päivänvalaistuksen, vaikka tämän päivän tutkimuksen mukaan tämä on ehdoton minimi ja hyvän valaistuksen saavuttamiseksi arvo tulisi olla vähintään kaksinkertainen. Standardi on myös vanhentunut. Tämän lisäksi julkaisussa kuvataan, miten tietystä pisteestä laskettava päivänvalosuhdetta koskeva standardi on keinottelulle. SBUF on teettänyt laajan mallinnuksen ruotsalaisista asuinrakennuksista vuodesta 1875 tähän päivään ja huomannut, että vain murto-osa niistä täyttää määräyksessä mainitun yleisen ohjeen. Parhaiten tähän yltyvät rakennukset 1930–50 luvulta, jolloin määräystä ei vielä ollut olemassa. 2000-luvullakin rakennetuista asunnoista vain kolmannes täyttää ohjeen vaatimukset. Tästä syystä rakennusala toivoo määräyksen pikaista päivittämistä. (Rogers;Dubois;Tillberg;& Östbring, 2018, ss. 1-2, 14-19, 24) (Rogers;Tillberg;Bialecka-Colin;Österbring;& Mars, 2015, s. 21) SBUF:n julkaisun *Moderniserad dagsljusstandard* kirjoittajat antavat ehdotuksen tulevaksi päivänvalostandardiksi:

*”Oleskelualalla oletetaan olevan hyvä päivänvalosaatavuus, mikäli puolet alasta saavuttaa vähintään päivänvalosuhteen 1,0 %. Oleskelualalla tarkoitetaan kaikkien oleskelutilojen /-huoneiden yhteistä alaa. Tämän lisäksi tulisi oleskeluhuoneiden ikkunapinta-ala olla yli 10 % lattian pinta-alasta.”* (Rogers;Dubois;Tillberg;& Östbring, 2018, s. 3, kirjoittajan käännös)

Ehdotus on muotoiltu asuntoja varten, mutta sitä voidaan soveltaa myös muissa tapauksissa. Kirjoittajat perustelevat ehdotusta sillä, että se varmistaa saman määrän valoa asunnossa kuin tämän hetkiset vaatimukset, mutta asuntokohtainen vaatimus antaa suuremman joustavuuden pohjaratkaisun suunnittelulle. Kaupunkien tiivistyminen helpottuu, kun valoisimmat tilat voivat kompensoida pimeämpiä. Vaatimuksia noudatetaan paremmin, kun vaatimustaso on selkeämpi. Kirjoittajat myös mainitsevat ehdotuksen olevan mukautettu uuteen eurooppalaiseen päivänvalostandardiin (Rogers;Dubois;Tillberg;& Östbring, 2018, ss. 3, 24). Kirjoittajat eivät kuitenkaan perustele miten heidän ehdotuksensa on yhteensopiva EN-standardin kanssa, jossa Tukholmalle suositellaan minimipäivänvalosuhte 2,5 % puolessa tilan alasta ja minimipäivänvalosuhte 0,8 %, koko alalla (95 %). Standardin mukaan laskelmat tulee tehdä kaikille tiloille, joissa oleskellaan pitkäaikaisesti, eikä asuntokohtaisesti. (EN 17037:2018, 2018, ss. 5, 14)

#### 4.2.2 Tanska

Tanskassa uudet rakentamismääräykset ovat astuneet voimaan vuonna 2018 (Byggningsreglementet 2018, BR18, § 377 – § 384). Jo aikaisemmissa määräyksissä (Byggningsreglementet 2015, BR15) Tanska asetti tiukemmat vaatimukset päivänvalolle kuin muissa pohjoismaissa. Tuolloin huoneen keskimääräisen DF:n tuli olla yli 2 %. Uusissa määräyksissä Tanska on huomionut uuden eurooppalaisen päivänvalostandardin EN 17037:2018. Määräysten lisäksi Tanskassa on koottu ohjeet, miten määräyksiä tulee tulkita ja tuloksia dokumentoida (*Byggningsreglementets vejledning om lys og udsyn sekä Byggningsreglementets vejledning om korrektioner til 10 pct.-reglen for dagslys*, Trafik-, bygge-, og boligstyrelsen (TBB18)). Rakennuslupaa hakiessa tulee dokumentoida laskelmat kriittisimpien huoneiden osalta. (TBB18, 2018, s. 24)

Työhuoneissa, oleskeluhuoneissa, opetustiloissa ja asuinhuoneissa tulee olla ikkunat, jotka ovat sijoitettu niin, että huoneessa olevat henkilöt voivat nähdä ulos ympäristöön. Ikkunat ja auringonsuojaus tulee suunnitella niin, että varmistetaan näköyhteys ympäristöön tyydyttävän osan käyttäjasta. (BR18, 2018, s. §378) Ikkunat tulee toteuttaa, sijoittaa ja mahdollisesti suojata niin, että suora auringonvalo ei aiheuta huoneen ylikuumentumista ja kiusahäikäisyä voidaan välttää. (BR18, 2018, s. §381)

Työhuoneiden, laitosten oleskeluhuoneiden, opetustilojen, ruokailutilojen sekä asuinhuoneiden ja keittiöiden valoaukkojen korjattu pinta-ala tulee olla 10 % huoneiden lattia-alasta.

Valoaukkojen korjattu pinta-ala lasketaan kertoimilla, jotka huomioivat:

- lasin valonläpäisevyyden
- seinän paksuuden
- ympäristön varjostuksen
- rakennuksen ylä- ja sivuvarjostuksen
- kiinteät aurinkosuojat
- avautumisen atriumiin
- huoneen syvyyden
- kattoikkunat.

Asuinhuoneiden vaihtelevan päivänvalotarpeen vuoksi riittää, että makuuhuoneiden valoaukon pinta-ala on 10 % lattiapinta-alasta, ilman korjauskertoimia. Tuolloin huoneiston kaikkien huoneiden yhteenlaskettu valoaukkojen korjattu pinta-ala tulee kuitenkin olla 10 % huoneiden lattia-alasta. (TBB18, 2018, s. 7)

Vaihtoehtoisesti voidaan todistaa, että sisätilan päivänvalon aiheuttama valonvoimakkuus on 300 luksia tai enemmän vähintään puolessa huoneen lattiapinta-alasta, puolet päivänvalotunneista. Tämä vaihtoehtoinen tapa juontaa juurensa uuteen eurooppalaiseen standardiin EN 17037:2018. Myös muita todistuskeinoja voidaan käyttää dokumentoidakseen, että huoneessa on riittävä päivänvalaistus. (BR18, 2018, s. §379)

#### 4.2.3 Norja

Norjan määräyksissä vaaditaan, että huoneissa, joissa oleskellaan, tulee olla riittävä mahdollisuus päivänvaloon. Ohjeistuksessa kerrotaan, että vaatimus täyttyy, mikäli huoneen keskimääräinen päivänvalosuhte on vähintään 2,0 %. Määräystenmukaisuus todetaan laskelmilla kaikkein kriittisimmistä huoneista. Laskelmat tulee tehdä laskentatyökaluilla, jotka on validoitu CIE 171:2006 mukaan sekä edellytyksin, jotka on annettu standardissa NS-EN 12464-1:2011 kapittel 4.4.

Asunnoissa voidaan määräyksenmukaisuus todentaa seuraavalla laskentakaavalla:

$$A_g \geq \frac{0,07 \times A_{BRA}}{LT}$$

$A_g$  = lasin pinta-ala ulospäin, joka sijaitsee vähintään 0,8 metriä lattian yläpuolella ja joka ei ole "valohaudassa" (lysgrav).

$A_{BRA}$  = huoneen hyötyala, sisältäen yläpuolisen parvekkeen tms. ulokkeen alla olevan alan, joka sijaitsee ikkunan ulkopuolella.

$LT$  = lasin valonläpäisevyys

Metodi edellyttää, että näkymää horisontille ei saa olla estettynä yli 45 asteen kulmassa horisontaalitasolta. Koska ulokkeet huomioidaan jo pinta-alassa, ei niitä tarvitse huomioida 45 asteen kulmaa tarkisteltaessa.

Vapaa-ajan asunnolle lasin pinta-ala voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$A_g \geq 0,1 \times A_{BRA}$$

Käyttötarkoituksen muutoksissa päivänvalovaatimus täyttyy, jos jokaisella huoneella on ikkuna ulos ja ikkunan korkeus tulee olla vähintään 0,6 m ja leveys 0,5 m. Leveyden ja korkeuden yhteenlaskettu summa tulee olla vähintään 1,5 m.

Määräysten mukaan huoneissa, joissa oleskellaan pitkäaikaisesti, tulee olla riittävä näkymä. Ohjeistuksen mukaan riittävä näkymä saavutetaan, kun asunnon olohuoneessa ja työ- tai julkisissa tiloissa on yksi ikkuna, jonka alareuna on enintään 1,0 metriä lattiapinnan yläpuolella. Näin mahdollistetaan hyvä näkymä sekä istualtaan että seisten. (TEK17, 2017, ss. §13-7, §13-8)

Norjan määräyksien mukaan rakennuksen sijainti tulee valita niin, että se huomioi valo- ja aurinkoolosuhteet. Ohjeistuksen mukaan asuntojen ulkoilualueet tulee saada viisi tuntia auringonvaloa kevät- ja syyspäiväntasauksella. Myös etäisyydestä naapurirakennuksiin annetaan ohjeita. (TEK17, 2017, ss. §8-10)

#### 4.2.4 Viro

Virossa on voimassa oma päivänvalaistuksen standardi EVS 894:2008/A2:2015 *Loomulik valgustus elu- ja büroorumides*. Standardi määrittelee kaksi päivänvaloon liittyvää määrettä; suoran auringonpaistetuntien määrän ja keskimääräisen päivänvalosuhteen tietyissä huoneissa. Tällä hetkellä Virossa pohditaan, miten suhtaudutaan osittain ristiriitaiseen eurooppalaiseen päivänvalaistuksen standardiin EN 17037:2018 ja uusi standardi saatetaan ottaa sellaisenaan käyttöön. Pääosin ristiriita koskee suoran auringonvalon säteilyä.

Virossa huoneiden sijainti ja suuntaus tulee valita niin, että varmistetaan riittävä suora auringonpaiste 22. huhtikuuta–22. elokuuta. Riittävä kesto asuinrakennuksissa on 2,5 tunnin katkeamaton paiste tai 3 tunnin pätkittäinen paiste, kolmen huoneen asunnossa vähintään yhdessä huoneessa ja neljän tai enemmän huoneen asunnossa kahdessa huoneessa. Huoneiksi lasketaan myös keittiöt ja tupakeittiöt. Kesto on myös riittävä, mikäli 2–3 huoneen asunnossa paistetta on kaksi tuntia kahdessa huoneessa ja neljän tai enemmän huoneen asunnossa kolmessa huoneessa. Tämä vastaa uudessa eurooppalaisessa standardissa annettuja arvoja, ja arviointi tehdään vastaavasti kuin standardissa pisteestä ikkunan pinnalla. Paikalliset viranomaiset voivat antaa luvan poiketa säännöstä puoli tuntia, mikäli tiivis kaupunkirakenne vaatii sitä.

Uusia rakennuksia suunniteltaessa tulee taata olemassa olevien asuntojen riittävä auringonpaiste. Uusi rakennus ei saa vähentää suoraa auringonpaistetta yli 50 % naapurin olemassa olevassa huoneessa. Jos määrä ei alun perin ole ollut riittävä, sitä ei saa vähentää ollenkaan.

Hoitolaitoksissa, sairaaloissa ja päiväkodeissa tulee suoraa auringonpaistetta olla saatavilla 3 tuntia vähintään 60 % huoneista tai osastoista. Myös päiväkodin pihat, koulujen liikuntakentät ja virkistysalueiden oleskelupaikat tulisi saada kolme tuntia auringonpaistetta 50 % alastaan.

Viron standardissa on myös asetettu vähimmäismäärät keskimääräiselle päivänvalosuhteelle tietyissä tiloissa:

Makuuhuoneet	1 %
Olohuone	1,5 %
Keittiö	2 %
Toimistotilat	2 %
Päiväkotien leikkihuoneet	2 %
Koulujen luokkahuoneet	2 %.

(EVS984:2008/A2:2015, ss. 4–5)

Virossa on huomattu, että ylläampemistä koskevat määräykset (Estonian Government Ordinance No.68, 2012) voivat olla ristiriidassa päivänvalostandardin kanssa. Viron vaatimukset suorasta auringonpaisteesta rakennuksissa, saattaa johtaa huomattavaan energiankulutuksen kasvuun, jäähdytystarpeen lisääntyessä. Vollin tutkimusryhmän (2016, s. 939) mielestä koneellisen ilmanvaihdon lisäksi, täytyy ottaa käyttöön ilmanvaihdon passiiviset keinot tai liikkuvat ulkopuoliset varjostukset, jotta voidaan saavuttaa lähes nollaenergia rakennuksia ja täyttää hyvän päivänvalaistuksen kriteerit.

### 4.3 Eurooppalainen standardi EN17037:2018 Päivänvalo rakennuksissa

Ensimmäistä eurooppalaista standardia päivänvalosta on valmisteltu pitkään. EN 17037:2018 on eurooppalainen standardi, joka on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Eurooppalainen

standardisoimiskomitea (CEN), jonka jäsen Suomi on, hyväksyi standardin heinäkuussa 2018 ja standardi julkaistiin joulukuussa 2018. Standardin mukaan ristiriitaiset kansalliset standardit tulee poistaa käytöstä kesäkuun 2019 aikana.

Standardi jakautuu normatiiviseen osaan ja suosituksiin. Normatiivisessa osassa käydään läpi terminologia, arviointimenetelmät ja todentamiskeinot sekä yleisellä tasolla se, mitä tarkoitetaan hyvin päivänvalaistulla tilalla. Normatiivisessa osassa viitataan liitteinä oleviin suosituksiin. Suosituksissa esitetään tarvittavat tavoitearvot ja laskentaohjeet. Standardilla ei ole virallista sääntelyasemaa Suomessa ja tämän vuoksi emme ole erotelleet normatiivisia osia suosituksista tässä selvityksessä. Tarkoituksena on sen sijaan luoda kokonaiskäsitelmä standardin ohjeistuksesta.

Standardissa käsitellään neljä päivänvaloon liittyvää osa-aluetta: päivänvalon saatavuus, näkyvä, suoran auringonvalon säteily ja häikäisyltä suojautuminen. Standardissa annetaan määritelmät näille osa-alueille, vaatimukset sekä suositukset kolmessa tasossa; minimi, keskitaso ja korkea. Standardin mukaan ei arvioida kokonaisia rakennuksia, vaan suositukset ovat laadittu tilakohtaisiksi ja ne koskevat kaikkia tiloja, joissa oleskellaan pitkäaikaisesti. Standardi esittelee erilaisia laskentatapoja ja verifikaatiokeinoja, joiden oletetaan helpottavan standardin käyttöönottoa. (EN 17037:2018)

Lähtökohtana standardille on ollut, että päivänvalosäätely tulisi perustua ilmastotietokantoihin. Vastaavaa lähtökohtaa on esitetty jo 1970-luvulla. Standardi voidaan nähdä askeleena kohti arviointia, joka perustuu täysmääräiseen ilmastoperusteiseen päivänvalon mallintamiseen. Tekijöiden mielestä menetelmä on yksinkertainen ja selkeä, eikä se jätä juurikaan mahdollisuutta lopputuloksen manipulointiin. Heidän mielestään menetelmä vaatii vain pieniä muutoksia käytössä oleviin päivänvalon arviointimenetelmiin. (Mardaljevic;Christoffersen;& Raynham, 2013, ss. 1, 13) Tekijät eivät kuitenkaan huomioi sitä, että monessa maassa päivänvaloarvioinnit perustuvat täysin suunnittelijoiden kokemukseen ja nyrkkisääntöihin. Näissä tilanteissa laskentaohjelmiston käyttöönotto voi vaatia suuriakin ponnistuksia.

### **Kriteerit päivänvalon saatavuudelle**

Standardin mukaan tila on asianmukaisesti valaistu, jos puolet tilan tarkastelutasosta saavuttaa valaistusvoimakkuuden tavoitearvot vähintään puolet päivänvalotunneista. Tämän lisäksi tilassa, jossa valoaukot ovat pystysuorat tai kallistetut, tulee tietty valaistusvoimakkuuden minimitaso saavuttaa koko (95 %) tarkastelutasolla. Tarkastelutaso sijaitsee 0,85 m lattiapinnan yläpuolella. Pieni osa tarkastelutasoa voidaan jättää huomioimatta erikoistilanteissa.

### **Päivänvalon saatavuuden laskentatavat**

Päivänvalon määrän arviointia varten annetaan kaksi laskentatapaa; päivänvalosuhteelle perustuva laskentatapa ja absoluuttisiin valaistusvoimakkuuksiin perustuva laskentatapa. Tutkijat suosittelevat valaistusvoimakkuuteen perustuvaa laskentatapaa mutta päivänvalosuhte on mahdollistettu, jotta siirtyminen uuteen standardiin olisi helpompaa. Päivänvalosuhteen tavoitearvot perustuvat absoluuttisiin määriin päivänvalon saatavuudesta (Mardaljevic & Christoffersen, 2017, ss. 202, 205–206).

Ensimmäisessä laskentatavassa lasketaan päivänvalosuhte tarkastelutasolla. Standardin liitteeseen on listattu tavoite päivänvalosuhteelle ( $D_T$ ) ja minimitaso päivänvalosuhteelle ( $D_{TM}$ ), jotka riippuvat sijainnista. Päivänvalosuhteen laskenta tulisi toteuttaa, jollain luotettavalla menetelmällä, joka perustuu ISO 15469:2004 standardin pilviseen taivastyyppiin (TYPE 1 tai TYPE 16).

Toinen tapa on laskea valaistusvoimakkuuden tasot tarkastelutasolla käyttäen ilmastotietoja tietyille sijainnille ja tarkoituksenmukaista aikaväliä. Tällöin lasketaan joka tuntinen valaistusvoimakkuus tilassa keskiarvovuonna, käyttäen tietoa joka tuntisista taivas- ja aurinko-olosuhteista. Taivas- ja aurinko-olosuhteet saadaan kohteen ilmastotietokannoista. Tavoitearvot tulisi saavuttaa 2190 tuntia vuodessa, eli puolet päivänvalotunneista.

Laskennassa tulisi huomioida taivaan valon jakautuminen, ulkopuolinen ympäristö, päivänvaloaukot (niiden materiaalit, osat ja likaantuminen) ja sisäinen heijastus. Liikuteltavat aurinkosuojat (esim. sälekaihtimet) tulisi huomioida simulaatiossa. Mikäli tarkkoja tietoja ei ole saatavissa, tulee käytetyt oletukset dokumentoida. Laskenta tulisi suorittaa validoidulla ohjelmistolla.

### **Tarkastelutaso**

Laskenta tulisi suorittaa tarkastelutason moduulilinjaston soluista. Solun pituuden suhde leveyteen tulee olla välillä 0,5 ja 2.

Solun maksimikoko on:

$$p = 0,5 \times 5^{\log_{10}(d)}$$

d = laskettavan alan pidemmän sivun mitta (m)

Pisteiden määrä lasketaan kokonaisarvona  $\geq d/p$

Moduulipisteiden ala tulisi laskea 0,5 m etäisyydeltä seinästä, mikäli muuta ei todeta.

### **Päivänvalon saatavuuden tavoitearvot**

Suosituksot tavoitearvoille perustuvat valaistusvoimakkuuteen (luksi). Arvot vastaavat tutkimuksissa todettuihin käyttäjäpreferensseihin (Reinhart & Weissman, 2012, s. 163; Reinhart;Rakha;& Weissman, 2014, ss. 193–194). Valaistusvoimakkuuden tavoitearvot ovat samat riippumatta sijainnista mutta suhteelliset päivänvalosuhteen tavoitearvot perustuvat absoluuttisiin määriin päivänvalon saatavuudesta. Tarkoitus on, että sijainnista riippumatta, valaistusvoimakkuuden tulisi saavuttaa hyväksi koetut arvot. Esimerkiksi Suomessa päivänvalon saatavuus vaihtelee suuresti maantieteellisesti pitkässä maassa. Saavuttaakseen saman valaistusvoimakkuuden vaaditaan muuttuva päivänvalosuhte. Näin ollen voidaan laskea eri päivänvalosuhteen tavoitearvot esimerkiksi Ivalolle ja Helsingille.

Päivänvalosuhteen tavoitearvot eri sijainneille voidaan laskea kaavalla:

$$D_T = \frac{\text{valaistusvoimakkuuden tavoitearvo (luksi)}}{E_{v,d,med}}$$

$E_{v,d,med}$  = horisontaalinen taivaan hajavalon mediaaniarvo. Arvo vastaa maan horisontaaliselle pinnalle osuvaa taivaanvalon määrää, joka saavutetaan puolet päivänvalotunneista (2190 h). Arvo saadaan standardoiduista ilmastotietokannoista (esim. EnergyPlus Weather file; Meteorom weather file; Satel-Light).

Tavoitearvot valaistuksen voimakkuudelle ja vastaavat päivänvalosuhteet Helsingissä (valmiiksi annettu standardissa):

#### 50 % viitealalle:

	valaistusvoimakkuus	päivänvalosuhte $D_T$
	a)	b)
Minimi:	300 luksia	2,2 %
Keskitaso:	500 luksia	3,7 %
Korkea:	750 luksia	5,6 %

#### 95 % viitealalle (pystysuorat ja kallistetut aukot):

	valaistusvoimakkuus	päivänvalosuhte $D_{TM}$
Minimi:	100 luksia	0,7 %

- a) (sekä horisontaalit, vertikaalit että kallistetut aukot)
- b) (ei horisontaalit aukot himmeällä lasilla)

### **Päivänvalon saatavuuden todentaminen**

Arviointi voidaan tehdä joko laskemalla tarkoituksen mukaisilla ohjelmistoilla tai mittaamalla paikan päällä. Ohjelmistoilla laskemalla tulee olla käytössä tilaa edustava tilamalli, jossa parametrit kuten ympäröivät esteet, pinnan heijastusominaisuudet ja lasin valonläpäisevyys vastaavat oikeaa valmistunutta rakennusta. Paikan päällä mittaus tulee tehdä valaistusvoimakkuusmittareilla valmistuneesta rakennuksesta. Mittaus tulee tehdä moduuliverkoston pisteissä tarkastelutasolla. Todentamisen menetelmät ovat kuvailtu standardin liitteessä. Oikean tilan päivänvalosuhte mitataan vertailemalla sisätilan ja ulkotilan valaistusvoimakkuuden tasoja. (EN 17037:2018, ss. 9–10, 13–16, 18–21)

### **Näkymä ulos**

Standardin mukaan näkymä ulos voi vähentää väsymystä, joka liitetään pitkiin oleskeluihin sisätiloissa. Näkymä antaa informaatiota paikallisesta ympäristöstä, sään vaihtelusta ja kellonajasta. Kaikilla tilassa oleskelevilla tulisi olla mahdollisuus hyödyntää näkymän antamia mahdollisuuksia. Näkymää tulee arvioida tietyissä tarkastelupisteissä riippuen siitä, missä ihmiset sijaitsevat käytössä olevalla alalla.

Jokaisessa tarkastelupisteessä näkymän laatu riippuu:

- Valoaukon koosta
- Näkymän leveydestä (horisontaalinen näkymäkulma)
- Näkymän ulkopuolinen etäisyys
- Tasojen määrä.

Näkymän ympäristöä kuvaavan tiedon laatu

Näkymän muodostaa kolme tasoa:

1. Osa taivasta
2. Osa maisemaa. Maisema voi koostua rakennuksista, luonnosta tai / ja horisontista.
3. Osa maanpintaa. Maanpinta voi sisältää informaatiota toiminnoista.

### Kriteerit näkymälle

Näkymää koskevat kriteerit koskevat käytössä olevaa pinta-alaa. Jotta saavutetaan riittävä näkymä ulos, tulisi seuraavat kriteerit täyttyä:

- Lasituksen tulee hahmottua kirkkaaksi, olla ilman vääristymiä ja neutraalisti väritetty
- Käytössä olevalla alalla näkymäaukkojen tulisi sijaita niin, että minimiarvot horisontaaliselle näkymäkulmalle tarkastelupisteestä täyttyvät
- Näkymän ulkopuolisen etäisyyden tulisi olla suurempi kuin minimiarvo
- Tasojen minimimäärän tulisi olla nähtävissä käytössä olevalla alueella.

Näkymäaukon arvioinnissa voidaan lähemmäs sijaitsevat aukot katsoa yhdeksi aukoksi.

Suositus näkymälle	Horisontaalinen näkymäkulma	Näkymän ulkopuolinen etäisyys	Tasojen määrä nähtynä vähintään 75 % hyötyalasta
Minimi	$\geq 14^\circ$	$\geq 6,0$ m	Sisältää vähintään maisematason
Keskitaso	$\geq 28^\circ$	$\geq 20,0$ m	Sisältää maisema- ja toisen tason samassa aukossa
Korkea	$\geq 54^\circ$	$\geq 50,0$ m	Kaikki tasot sisältyvät samaan aukkoon

Tilassa, jonka syvyys on yli 4 m, suositellaan, että jokaisen näkymäaukon koko on vähintään 1,0 m x 1,25 m (leveys x korkeus).

Näkymän yleisluokitus tulisi tehdä huonoimman kolmesta arviointiperusteesta (näkymäkulma, etäisyys, tasot) mukaan. Standardin suosituksissa esitetään myös, että näkymän esteettinen arvo ja kompositio voitaisiin sisällyttää arvioon.

Tilassa, jossa on useampi valoaukko, tulee ainakin yhden sisältää tason mukainen näkymä. Myös atriumiin avautuva näkymä kelpaa. Tällöin suositellaan, että atriumin vastakkainen seinä olisi vähintään 20 metrin päässä valoaukosta.

### Näkymän todentaminen

Näkymän todentamiselle esitellään kaksi tapaa. Yksi tapa on yksinkertaistettu versio ja toinen, kehittyneempi tapa, soveltuu monimutkaisten valoaukkojen ja / tai usean valoaukon kohteisiin. Yksinkertaistetussa versiossa tasojen määrittelyssä voidaan hyödyntää ei-taivasnäköä-linjaa ja ei-maanäköä-linjaa. Istumakorkeudella näkymä arvioidaan korkeudelta 1,2 metriä ja seisten korkeudelta 1,7 metriä, mikäli muuta ei määritellä. Kehittyneemmässä versiossa tehdään kalansilmäprojektiio joko kameralla, tietokoneohjelmistolla tai käsin piirtäen.

(EN 17037:2018, ss. 10–11, 16, 22, 27–28)

### Suora auringonvalon säteily

Standardi määrittelee, että suoran auringonsäteilyn vähimmäismäärä säteily tulee varmistaa sairaaloiden potilashuoneissa, päiväkotien leikkihuoneissa ja vähintään yhdessä asunnon asuttavassa tilassa. Tätä tarkastellaan minimimääränä tunteja, jolloin tilaan osuu suoraa auringonvaloa, tietyinä pilvettömänä tarkastelupäivänä vuodessa.

Suositus on, että valittuna päivänä 1.helmikuuta–21. maaliskuuta, suoraa auringonvaloa tulisi saada vähintään 1,5 tuntia. Keskitason saavuttamiseksi määrä on kolme tuntia ja korkean tason saavuttamiseksi neljä tuntia.

### Suoran auringonvalon todentaminen

Huomionarvoista suoran auringonvalon arvioinnissa on, että standardi ei aseta vaatimuksia siitä kuinka syväle tilaan valon tulee osua. Arviointi tehdään pisteestä P valoaukon sisäpinnalla. Piste sijaitsee leveys suunnassa keskellä aukkoa. Pystysuunnassa piste sijaitsee minimissään 1,2 m lattiapinnan yläpuolella ja 0,3 m ikkunalaudan yläpuolella. Mikäli aukossa ei ole ikkunalautaa, sijaitsee piste vähintään 1,2 m lattiapinnan yläpuolella. Tilassa, jossa on useampi aukko eri julkisivuilla, voidaan suoran auringonvalon saatavuus laskea kumulatiivisesti, mikäli tämä ei ajoitu samanaikaisesti eri aukoissa. Eri tilanteita on kuvattu kuvissa.

Suora auringonvalon saatavuutta voidaan arvioida käyttämällä ohjelmistoa, jotka pystyvät luomaan kuvan aukosta näkyvästä näkymästä. Kuva on ns. kalansilmäkuva eli kuvaa näkymää 180:n kulmassa. Kuvaa verrataan aurinkoprojektioihin. Arviointi voidaan tehdä myös manuaalisesti vertailemalla pienintä käytettävää auringon kulmaa horisontin yläpuolella,  $\gamma_{s,min}$  esteen korkeuteen  $\gamma_a$  tutkitussa atsimuutin pisteessä  $\alpha_a$ . Standardissa annetaan kaava auringon sijainnin laskemiselle funktiona sijainnille, päivälle ja kellonajalle. Standardissa on annettu kulmat  $\gamma_{s,min}$  Euroopan pääkaupungeille (Helsinki 8°). Tätä matalampia auringonsäteitä ei saa huomioida laskennassa. Pilvisyyttä ei huomioida arvioinnissa.

Altistuksen kesto voidaan arvioida paikan päällä. Helpoiten tämä tehdään kalansilmälinsillä varustetulla kameralla. Kuva otetaan suoraan ylöspäin pisteessä P ja verrataan aurinkoprojektioon arviointipäivänä.

(EN 17037:2018, ss. 11, 17, 31–42)

### Häikäisyltä suojautuminen

Standardin mukaan häikäisy aiheuttaa epämiellyttävän tunteen tai huonontaa näköä johtuen korkeamman luminanssin pinnasta kuin mihin silmä on sopeutunut. Standardissa suositellaan, että jokaisessa päivänvalaistuksessa tilassa, tulisi käyttää varjostuskeinoja häikäisyn estämiseksi.

Standardin mukaan häikäisyyden tulisi kiinnittää huomiota tiloissa, joissa voidaan olettaa olevan lukemiseen, kirjoittamiseen tai näyttöpäätetyöhön verrattavaa toimintaa ja jossa käyttäjä ei voi vapaasti valita sijaintiaan ja katselusuuntaa.

### Häikäisyn laskentatavat

Häikäisyn arviointiin käytetään päivänvalon häikäisytodennäköisyyttä (DGP). Menetelmä arvioi tyytymättömien henkilöiden osuutta ja perustuu empiirisiin tutkimustuloksiin. Se huomioi sekä valaistusvoimakkuuden silmän korkeudella että yksittäiset korkean luminanssin häikäisyn lähteet. Menetelmä soveltuu ainoastaan sivulta valaistuille tiloille (ei kattoikkunoille).

DGP-arvo lasketaan kaavalla:

$$DGP = 5,87 \times 10^{-5} E_v + 9,18 \times 10^{-2} \log \left( 1 + \sum_i (L_{s,i}^2 \omega_{s,i}) / (E_v^{1,87} P^2) \right) + 0,16$$

$E_v$  = valaistusvoimakkuus silmän tasolla [luksi]

$L_s$  = lähteen luminanssi [cd/m<sup>2</sup>]

$\omega_s$  = lähteen avaruuskulma. Näkyvän taivaan koko katsojan näkökentässä kuvastaa avaruuskulman kokoa kun tutkitaan päivänvalaistusta.

$P$  = sijainti-indeksi, joka kuvastaa häikäisyn aistimista suhteessa lähteen kulmasiirtoon käyttäjän näkymäkselista. Näkyvän taivaan sijainti näkökentässä kuvastaa sijainti-indeksin kokoa päivänvaloaukkoja tutkittaessa; mitä kauempana näkymän keskipisteestä, sitä matalampi indeksi.

$i$  = häikäisylähteiden määrä

Erilaisille auringonvarjostuslaitteille on standardissa määritelty omat yksinkertaistetut laskentatavat.



### Häikäisyn tavoitearvot

Standardin suositusten mukaan maksimi-arvot eivät saisi ylittyä yli 5 % käyttöajasta (DGPE<sub><5%</sub>). Tarkasteluaikana käytetään klo 8–18 maanataista perjantaihin koko vuoden ajalta, vaikka oikea käyttöaika eroaisi tästä. Standardissa kuitenkin mahdollistetaan muutkin käyttöajat, mikäli ne eroavat huomattavasti tarkasteluajasta ja tilan käyttötarkoitus tulee pysymään samana. Näitä arvoja ei voida verrata vakiotarkasteluaajoilla laskettuihin tuloksiin.

Mikäli voidaan olettaa, että tilassa on useampi sijainti toiminnoille, tulisi tutkia pahin tilanne. Nämä sijainnit ovat usein lähellä julkisivua tai missä voidaan olettaa olevan näköyhteys matalaan aurinkoon.

Suosittelut maksimi-arvot ovat:

	DGPE <sub>&lt;5%</sub>
Minimi	0,45
Keskitaso	0,40
Korkea	0,35

Arvot perustuvat empiirisiin tutkimuksiin, joiden perusteella on asetettu seuraavat raja-arvot:

DGP ≤ 0,35	Yleensä häikäisyä ei koeta
0,35 ≤ DGP ≤ 0,40	Häikäisyä koetaan mutta pääasiallisesti ei ole häiritsevää
0,4 ≤ DGP ≤ 0,45	Häikäisyä koetaan ja on usein häiritsevää
DGP ≥ 0,45	Häikäisyä koetaan ja on yleensä sietämätöntä

(EN 17037:2018, ss. 11–12, 43–46)

## 4.4 Vapaaehtoiset ohjausmenetelmät

Vapaaehtoiset ympäristösertifikaatit ja -luokitukset ovat yleistyneet viime aikoina myös Suomessa. Monet näistä antavat pisteitä päivänvalaistuksen huomioimisesta erilaisten vaatimusten perusteella. Kirjoittajan kokemuksen mukaan päivänvalaistuksesta saatava pistemäärä on kuitenkin niin pieni, että vaatimukset lähinnä todetaan täyttyvän tai ei jo suunnitellussa rakennuksessa, kuin ohjaavan suunnittelua.

### 4.4.1 BREEAM

BREEAM-ympäristöluokituksen arvioinnissa on osio visuaalisesta viihtyvyydestä, jossa saa pisteitä mm. häikäisyn hallitsemisesta (1 pisteen), päivänvalaistuksesta (1–2 pistettä) ja näkymästä ulos (1–2 pistettä).

Saadakseen pisteen häikäisyn hallitsemisesta, tulisi kaikille olennaisille alueille tehdä suunnitelma häikäisyn hallinnasta. Häikäisynesto ei saa lisätä keinovalojen käyttöä, eikä se saa estää päivänvalaistusta pilvisellä säällä tai silloin kun aurinko ei osu julkisivulle. Suunnitelman tulee huomioida sekä kesän korkealta paistava aurinko että talven matalat auringonsäteet. Häikäisyä voidaan estää joko rakennuksen muodolla ja pohjaratkaisuilla tai/ ja käyttäjien ohjaamalla laitteilla kuten sälekaihtimilla. Verhoja ei katsota häikäisy-suojiksi. Häikäisynesto ei saa olla ristiriidassa keinovalaistuksen ohjausjärjestelmien kanssa.

Saavuttaakseen pisteet päivänvalaistuksesta, tulee päivänvalonsuhteen tavoitearvot sekä vaatimukset päivänvalaistuksen tasaisesta jakautumisesta täyttyä rakennuksen oleellisilla alueilla. Riippuen tilan käyttötarkoituksesta, tulee keskimääräinen päivänvalosuhte olla 2–3 %, 60–80 % tarkastelualueesta. Päivänvalaistuksen tasaista jakautumista tutkitaan vertailemalla päivänvalosuhteita tietyssä pisteissä tai varmistamalla, että 80 % tilasta saavuttaa taivasnäköalan. Tämän lisäksi asetetaan vaatimukset huoneen syvyyden suhteelle verrattuna leveyteen ja ikkunan yläreunan korkeuteen. Päivänvalosuhteen ja päivänvalaistuksen tasaisen jakautumisen sijaan voidaan tutkia keskimääräistä ja minimivalaistusvoimakkuutta tietyssä pisteessä. Valaistusvoimakkuuden tavoitearvot määräytyvät tilan käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi terveydenhuollon vuodeosastoilla tulisi 80 % alasta saavuttaa 300 luksin keskimääräisen valaistusvoimakkuuden 2650 tuntia vuodessa, ja minimivalaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään 90 luksia 2650 tuntia vuodessa huonoiten valaistussa pisteessä.

Pisteen näkymästä ulos saa, mikäli 95 % lattiapinta-alasta 95 % tiloista, sijaitsee 8 m säteellä seinästä, jossa on ikkuna tai muu aukko, josta on näköyhteys ulos. Asuinrakennusten olohuoneissa ja palveluasumisen oleskelutiloissa ja makuuhuoneissa etäisyys näköyhteysaukkoon tulee olla alle 5 m. Näköyhteysaukon koko tulee olla ≥ 20 % sitä ympäröivästä seinästä. Sairaaloiden potilasosastoilla voidaan saavuttaa lisäpiste, mikäli näköyhteys ulkopuolinen etäisyys on ≥ 10 m. (BREEAM, 2018 3.0, ss. 75–79, 86)

#### 4.4.2 LEED

Amerikkalaisen U.S. Green Building Councilin (USGBC) kehittämä LEED-ympäristösertifikaatissa on mahdollista kerätä enintään 110 pistettä. Asuinrakennuksissa (paitsi omakotitalot) voi päivänvalaistuksesta ja näkymän laadusta kerätä yhden pisteen, kun taas muissa uudisrakennuksissa päivänvalaistuksesta voi saada 1-3 pistettä (terveydenhuollon rakennukset 1-2 pistettä) ja näkymän laadusta 1 pistettä (terveydenhuollon rakennukset 1–2 pistettä).

Asuinrakennuksissa voi saada pisteen joko päivänvalaistuksesta tai näkymän laadusta. Päivänvalaistuksesta saatava piste vaatii, että päivänvalon tuottama minimivalaistusvoimakkuus on 10 luksia vähintään 90 % lattiapinta-alalla jokaisen asunnon kaikissa säännöllisesti käytössä olevissa tiloissa. Vähintään puolessa lattiapinta-alaa tulee myös olla 150–5000 luksin valaistusvoimakkuus. Tällöin lattiapinta-ala lasketaan kokonaisprosenttina kaikista rakennuksen säännöllisesti käytössä olevista tiloista. Tiloissa, joissa on häikäisy suoja, täytyy todistaa ainoastaan alaraja (150 luksia). Laskenta tehdään päivantasauksena kello 9 ja 15, selkeällä säällä. Näkymän laadusta saa pisteen, jos puolessa jokaisen asunnon säännöllisesti käytössä olevissa tiloissa on ikkuna, josta joko näkyy kasvillisuutta / taivasta tai ulkoinen este on vähintään 7,6 m etäisyydellä ikkunan ulkopinnasta. Ikkuna tulee olla kirkas ja väritön. (USGBC a., 2019, s. 93)

Muissa uudisrakennuksissa tulee kaikissa säännöllisesti käytössä olevissa tiloissa olla häikäisy suoja järjestelmä. Tämän lisäksi voidaan joko laskea sDA ja ASE (1.), laskea valaistusvoimakkuudet (2.) tai mitata valaistusvoimakkuus (3.). Ensimmäisessä vaihtoehdossa (1.) tulee tehdä IES LM-83-12 (IES, 2012) mukaiset simulaatiot. Jos ASE<sub>1000,250</sub> on yli 10 %, tulee esittää, miten häikäisyä on estetty. Pisteet jaetaan seuraavan mukaan:

<u>Keskimääräinen sDA<sub>300/50%</sub> säännöllisesti käytössä olevalla lattiapinta-alalla</u>	<u>Pisteet</u>
≥ 40 %	1
≥ 55 %	2
≥ 75 %	3 (ei terveydenhuolto)

Mikäli vain 1–2 yläpuolella olevaa kohtaa täyttyy, voi lisäpisteen saada, jos jokaisen säännöllisesti käytössä olevan tilan sDA<sub>300/50%</sub> on ≥ 55 %.

Toisessa vaihtoehdossa (2.) tehdään simulaatiot valaistusvoimakkuuksista, jokaiselle säännöllisesti käytössä olevalle tilalle, päivantasauksena klo 9 ja 15, selkeällä säällä. Tilan valaistusvoimakkuudet tulee olla 300–3000 luksia. Mikäli tilassa on näkymän säästävä automaattinen häikäisy suoja järjestelmä, riittää, että todistetaan tilassa olevan vähintään 300 luksin valaistusvoimakkuus. Pisteet jaetaan seuraavan mukaan:

<u>Osuus säännöllisesti käytössä olevasta lattiapinta-alasta, jossa 300–3000 luksia</u>	<u>Pisteet</u>
55 %	1
75 %	2
90 %	3 (ei terveydenhuolto)

Mitatessa valaistusvoimakkuuksia (3.) tulisi jokaisen säännöllisesti käytössä olevan tilan saavuttaa valaistusvoimakkuuden tasot 300–3000 luksia moduuliverkon pisteissä, työtason korkeudella. Mittaukset tehdään kello 9 ja 15, joko kerran tai kaksi kertaa vuoden aikana. Toinen mittauspäivä on 4-8 kuukautta ensimmäisestä. Mikäli ensimmäinen mittaus tehdään maalisi- tai syyskuussa, tulee toinen mittaus tehdä joko 3–4 kuukautta tai 8–9 kuukautta ensimmäisestä. Jos tilassa on näkymän säästävä automaattinen häikäisy suoja järjestelmä, riittää, että todistetaan tilassa olevan vähintään 300 luksin valaistusvoimakkuus. Pisteet jaetaan seuraavan mukaan:

<u>Osuus säännöllisesti käytössä olevasta lattiapinta-alasta, jossa 300–3000 luksia</u>	<u>Pisteet</u>
55 % kerran vuodessa	1
75 % kaksi kertaa vuodessa	2
90 % kaksi kertaa vuodessa	3 (ei terveydenhuolto)

(USGBC b., 2019, ss. 135–138)

Yhden pisteen näkymän laadusta voi saada, jos 75 %:sta säännöllisesti käytössä olevasta lattiapinta-alasta voi nähdä suoraan ulos ikkunasta, jonka lasitus on kirkas ja väritön, ja näkymä täyttää vähintään kaksi seuraavasta laatutekijästä:

- Näkymäaukolle on useita näkymäakseleita vähintään 90 asteen erolla;
- Näkymä sisältää vähintään kaksi seuraavasta: kasvillisuutta tai taivasta, liikettä tai ulkoinen este sijaitsee vähintään 7,6 m etäisyydellä ikkunan ulkopinnasta;
- Esteetön näkymä, joka sijaitsee etäisyydellä  $\leq 3$  x näkymäaukon yläreuna;
- Näkymä täyttää erikseen määritellyn laatutekijän (määritellään erillisessä dokumentissa). (USGBC b., 2019, s. 139)

#### 4.4.3 RTS-Ympäristöluokitus

RTS-Ympäristöluokituksessa maksimipistemäärä on 110 pistettä, joista neljä annetaan päivänvalaistuksesta. Nämä pisteet saavutetaan, jos asuinrakennusten olo- ja makuuhuoneiden valoaukkojen kokonaispinta-ala on 15 % tilan lattiapinta-alasta. (RTS a, 2018, ss. 3, 66) Toimitila- ja palvelurakentamisessa pisteet voi saavuttaa, jos työskentelytilojen päivänvalosuhte on vähintään 2 %, 80 %:ssa tilan pinta-alasta tai työskentelytilojen valoaukkojen kokonaispinta-ala on vähintään 15 % tilan lattiapinta-alasta ja vähintään 80 % työskentelyalueen tiloista tulee olla tietyllä etäisyydellä seinästä, jossa on valoaukko. Etäisyys lasketaan kaavalla  $2 \times$  valoaukon yläreunan korkeus lattiasta, kun käytetään tyypillisiä ratkaisuja. Tyypillisen ratkaisun vaatimukset ovat; pintamateriaalit tulee olla vaaleita, ikkunan LT-arvo on yli 55 % ja ikkunassa ei ole merkittäviä ulkopuolisia varjostuksia, esim. lähellä sijaitsevaa rakennusta. (RTS b, 2018, ss. 3, 74–75)

#### 4.4.4 EU:n ympäristöä säästäviä julkisia hankintoja koskevat kriteerit –toimistorakennusten suunnittelu, rakentaminen ja hallinta

Euroopan komissio on laatinut vapaaehtoiset hankintakriteerit toimistorakennuksille. Tarkoitus on, että yksittäinen viranomais voi halutessaan sisällyttää ne tarjousasiakirjoihinsa. Kriteerit on jaettu perus- ja lisäkriteereihin. Lisäkriteerit ovat tarkoitettu viranomaisille, jotka haluavat tukea voimakkaammin ympäristö- ja innovointitavoitteita. Peruskriteerinä on, että 80 % käytettävän toimistotilan lattiapinta-alalla on keskimääräinen päivänvalosuhte 1,5 % ulkopuolisten julkisivujen osalta ja 0,7 % sisäpihan julkisivujen osalta. Häikäisyn rajoittamiseksi on määriteltävä toimenpiteitä niissä tiloissa, joissa tunnustetaan riski häikäisylle. Lisäkriteerinä tulee käytettävän toimistotilan saavuttaa seuraavat vaatimukset 55 % työajasta vuoden aikana:

- $DA \geq 300$  luksia
- $DGP \leq 40$  % tiloissa, joissa valaistusvoimakkuus on yli 1000 luksia (siltoin, kun aurinkoenergian säädintä ei ole asennettuna.)

Nämä arvot on osoitettava dynaamisella mallintamisella. (Dodd, 2016, s. 115)

## Yhteenveto

Päivänvalon merkitys sisätiloissa kasvaa, kun aiheeseen liittyvä tutkimus paljastaa lisää päivänvalon hyötyjä sekä ihmisten tilakokemukselle, terveydelle että tehokkuudelle. Tiivistyvä kaupunki, energiatehokkuus ja erilaiset rakentamisen trendit asettavat päivänvalaistukselle entistä vaikeampia olosuhteita, ja näiden hallitseminen vaatii suunnittelijoilta perehtymistä aiheeseen. Suomessa rakennetun ympäristön päivänvalaistusta koskeva tutkimus on kuitenkin hyvin vähäistä.

Monimutkaiset tilanteet, varsinkin kaupunkirakenteessa, tekevät nyrkkisääntöjen ja intuition käytön ainoana päivänvalosuunnittelun lähtökohtana haastavaksi. Kansainvälisesti on pitkään käytetty numeerisia keinoja rakennusten päivänvalaistuksen arvioinnissa. Tämä on pääosin tarkoittanut tilojen staattisen päivänvalosuhteen laskemista. Dynaamisten simulointikeinojen lisääntyessä on alettu suosia ilmastotietokantoihin perustuvaa, ilmastoperusteista päivänvalonmallintamista, jossa voidaan huomioida maantieteelliset olosuhteet, kohteen suuntaus sekä suoran auringonvalon ja taivaan hajavalon yhteisvaikutus. Uuden mielenkiintoisen tutkimusaiheen muodostavat ihmislähtöiset päivänvalaistuksen arviointimenetelmät, joilla pyritään määrittelemään ihmisen terveyden kannalta olennaiset päivänvalaistuksen laskentatavat ja tavoitearvot.

Suomen määräykset koskien tilojen päivänvalaistusta ovat pitkään pysyneet samoina ja perustuvat pitkälti huoneen ikkunapinta-alan suhteeseen lattiapinta-alaan. Tämä ei huomioi päivänvalon kannalta oleellisia asioita kuten suuntausta, ulkoista estettä, pintamateriaaleja tai huoneen muotoa. Muissa Pohjoismaissa, joissa vastaava määräys on voimassa (Tanska ja Ruotsi), on ikkunapinta-alalle asetettu ehtoja tai laskentakertoimia, joiden avulla nämä seikat ovat pyritty huomioimaan. Myös kaikissa selvityksessä mukana olleissa maissa (Tanska, Norja, Viro ja Ruotsi) tunnustetaan päivänvalosuhte ohjauksen laskentaperusteena. Tanskassa voidaan riittävä päivänvalon saatavuus todistaa myös ilmastoperusteisella päivänvalonmallintamisella. Virossa taas pohditaan, miten uusi eurooppalainen standardi SFS-EN 17037:2018 *Daylight in buildings* otettaisiin huomioon maan jo aika tiukkojen päivänvalostandardien päivittämisessä. EN-standardi nostaa päivänvaloarvioinnin aivan uudelle tasolle, käsittäen neljä osa-aluetta; päivänvalon saatavuus, suora auringonvalon säteily, näkyvä ja häikäisyltä suojautuminen. Päivänvalon saatavuuden osalta standardin myötä otetaan askel kohti ilmastoperusteisten päivänvalon mallintamisen arviointikeinojen käyttöä. Standardi mahdollistaa vielä päivänvalosuhteen käytön, mutta päivänvalosuhteen tavoitearvot perustuvat absoluuttisiin valaistusvoimakkuuden tasoihin ja muuttuvat maantieteellisen sijainnin mukaan.

Suomessa rakennetaan jatkuvasti tiheimmin ja korkeammin mutta päivänvalaistukseen kiinnitetään hyvin vähän huomioita. Meillä ei tehdä kattavia päivänvaloarviointeja toteutuneista tai toteutumaisillaan olevista kohteista, vaikka yksittäiset tehdyt arvioinnit esittävät huolestuttavia arvoja. Tähän ei myöskään ohjaa tämän hetkinen regulaatio toisin kuin monessa muussa maassa. Päivänvalon merkitystä tilojen kokemuksellisuuden, ihmisten terveyden tai käytettävyyden kannalta tuskin kukaan kuitenkaan kyseenalaistaa.

## 5 Lähdeluettelo

- Acosta, I.;Leslie, R.;& Figueiro, M. (2017). *Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms*. Lighting Research Technology, 49, ss.49-61.
- Ahponen, V. (1976). *Päivänvalon käyttö valaistustarkoituksiin*. Espoo: Sähkötekniikan laboratorio, Tiedonanto 21, Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Amundadottir, M.;Lockley, S.;& Andersen, M. (2017). *Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health*. Lighting Research Technology, 49, ss.673-696.
- Andersen, M.;Gochenour, S.;& Lockley, S. (2013). *Modelling 'non-visual' effects of daylighting in a residential environment*. Building and Environment, 70, ss.138-149.
- Anselmo, F.;& Mardaljevic, J. (2013). *Daylight Mapping- Planet Earth*. D/A, 19, ss.12-21.
- B&Eeditorial. (2017). *Editorial: Advances on daylighting and visual comfort research*. Building and Environment 113, s.1-4.
- BaHammam, A. (2006). *Sleep in acute care units*. Sleep and Breathing, 10/1, ss.6–15.
- Baker, N.;& Steemers, K. (2002). *Daylight Design of Buildings*. London: James & James.
- Baker, N.;Fanchiotti, A.;& Steemers, K. (1998). *Daylighting in architecture : a European reference book*. London: James & James.
- Beauchemin, K.;& Hays, P. (1996). *Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions*. Journal of Affective Disorders, 40, ss. 49–51.
- Benedetti, F.;Colombo, C.;Barbini, B.;Campori, E.;& Smeraldi, E. (2001). *Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression*. Journal of Affective Disorders, 62, ss.221-223.
- BFS2014:3. (2014). *Boverkets författningssamling*.
- Borisuit, A.;Linhart, F.;Scartezini, J.-L.;& Munch, M. (2015). *Effects of realistic office daylighting and electric lighting conditions on visual comfort, alertness and mood*. Lighting Research Technology 47, ss.192-209.
- BR18. (2018). *Byggningsreglementets vejledning om lys og udsyn*. Tanska.
- Brainard, G. (2001). *Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor*. Journal of Neuroscience.
- BREEAM. (2018 3.0). *BREEAM UK New Construction. Non-domestic buildings (United Kingdom). Technical manual*. Saatavilla: [https://www.breeam.com/NC2018/content/resources/output/10\\_pdf/a4\\_pdf/print/nc\\_uk\\_a4\\_print\\_mono/nc\\_uk\\_a4\\_print\\_mono.pdf](https://www.breeam.com/NC2018/content/resources/output/10_pdf/a4_pdf/print/nc_uk_a4_print_mono/nc_uk_a4_print_mono.pdf), viitattu: 4.8.2019.
- Cantin, F.;& Dubois, M. (2011). *Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity*. Lighting Research and Technology, 43/3, ss.291-307.
- Carlucci. (2015). *A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design*.
- Carlucci, S.;Causone, F.;De Rosa, F.;& Pagliano, L. (2015). *A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47, ss.1016-1033.
- CIE. (2015). *Recommending proper light at the proper time, Position Statement on Non-Visual Effects of Light*. s.1-3.
- Corrodi, M.;& Spechtenhauser. (2008). *Illuminating – Natural Light in Residential Architecture*. Basel: Birkhäuser.
- De Luca, F.;Dogan, T.;& Kurnitski, J. (2018). *Methodology for determining fenestration ranges for daylight and energy efficiency in Estonia*. Conference Paper: Simaud 2018.
- De Luca, F.;Kiil, M.;Kurnitski, J.;& Murula, R. (2019). *Evaluating Daylight Factor Standard through Climate Based Daylight Simulations and Overheating Regulations in Estonia*. Building Simulation 2019, Proceedings of the 16th IBPSA Conference, Rome, Italy.
- DeKay, M. (2010). *Daylighting and urban form: an urban fabric of light*. Journal of Architectural and Planning Research 27:1, ss.35-56.
- Descottes, H. (2011). *Architectural Lighting: Designing with Light and Space*. Princeton Architectural Press.
- Dodd, N. G. (2016). *Green Public Procurement Criteria for Office Building Design, Construction and Management. Technical background report and final criteria*. European Commission: Saatavissa: [https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/criteria/office\\_building\\_design/FI.pdf](https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/criteria/office_building_design/FI.pdf).
- EFA. (2015). *Daylight lighting strategy. Baseline guidance*. Priority School Building Programme. Education Funding Agency.
- EN 17037:2018. (2018). *Daylight in Buildings*. European Committee for Standardization.
- Estonian Government Ordinance No.68. (2012). *Energiatõhususe miinimumnõuded*. Vabariigi Valitsus. Saatavilla: <https://www.riigiteataja.ee/akt/124012014007>, viitattu: 20.6.2019.

- EUC. (2004). *How Europeans spend their time. Everyday life of women and men*. Luxembourg: 2:nd ed. Office of Official Publications of the European Communities. EU Commission.
- EVS984:2008/A2:2015. (2015). *Eesti standard.Loomulik valgustus elu- ja buroorumides*. Viro: EVS - Eesti standardikeskus.
- Folkhälsomyndigheten. (2017). *Ljus och hälsa. En kunskapsammanställning med fokus på dagsljusets betydelse i inomhusmiljö*. Artikkelnummer: 03573-2017.
- Fontoynt, M. (2002). *Perceived performance of daylighting systems*. Solar Energy, 73, ss.83-94.
- Galasiu, A. D.;& Veitch, J. A. (2006). *Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review*. Energy and Buildings 38, ss.728-742.
- Guido, M.;Garbarino-Pico, E.;Contin, M.;Valdez, D.;Nieto, P.;Verra, D.;. . . Rosenstein, R. (2010). *Inner retinal circadian clock and non-visual photoreceptors: Novel players in the circadian system*. Progress in Neurobiology, 92, ss.484-504.
- Heschong;& Mahone. (2012). *Daylight Metrics*. C.A, USA: PIER Daylighting Plus Research Program, Final Report to the California Energy Commission.
- Heydarian, A.;Pantazis, E.;Carneiro, J.;Gerber, D.;& Becerik-Gerber, B. (2016). *Light, building, action: Impact of default lighting settings on occupant behaviour*. Journal of Environmental Psychology 48, s.212-223.
- Hilliaho, K. (2010). *Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Hraška, J. (2018). *New Daylighting Metrics*. VII. Lighting Conference of the Visegrad Countries, Lumen V4, ss.1-5.
- IES, L.-8. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. Illuminating Engineering Society of North America. ISBN # 978-0-87995-272-3.
- Ilmatieteenlaitos. (2019). *Suomen nykyilmasto*. Saatavilla: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomenmuuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuodenkeskiarvot.html>, viitattu: 27.7.2019.
- Iversen, A. (2013). *Development of a simple framework to evaluate daylight conditions in urban buildings in the early stages of design*. Phd Thesis. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- Iversen, A.;Nielsen, T.;& Svendsen, S. (2011). *Illuminance level in the urban fabric and in the room*. Indoor Built Environment 20:4, ss.456-463.
- Karlsen, L. (2016). *Design methodology and criteria for daylight and thermal comfort in nearly-zero energy office buildings in Nordic climate*. PhD Thesis. Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet.
- Konis, K. (2017). *A novel circadian daylight metric for building design and evaluation*. Building and Environment, 113, ss.22-38.
- Konis, K. (2018). *Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylight and non-daylight spaces in dementia care facilities*. Building and Environment, 135, ss. 112–123.
- Leppämäki, S.;Partonen, T.;& Lönnqvist, J. (2002). *Bright-light exposure combined with physical exercise elevates mood*. Journal of Affective Disorders, 72, ss.139–144.
- Leproult, R.;Holmback, U.;& van Cauter, E. (2014). *Circadian misalignment augments markers of insulin resistance and inflammation, independently of sleep loss*. Diabetes 2014, ss.1860-1869.
- Lindelöf, D.;& Morel, N. (2006). *A field investigation of the intermediate light switching by users*. Energy and Buildings 38, ss.790-801.
- Littlefair, P. (2011). *Site layout planning for daylight. A guide to good practice*. Watford: IHS BRE Press.
- Littlefair, P. (2012). *Site layout planning for daylight*. Watford: Information Paper IP23/12, IHS BRE Press.
- Lylykangas, K. (2017). *Energiatohokas ja valoisa kaupunkikerrostalo*. Kehittyvä kerrostalo (luonnos).
- Mardaljevic, J. (2015). *Climate-based daylight modelling and its discontents*. . London, UK: CIBSE Technical Symposium, 16-17 April.
- Mardaljevic, J.;& Christoffersen, J. (2017). *Climate connectivity' in the daylight factor basis of building standards*. Building and Environment, 113, ss.200-209.
- Mardaljevic, J.;& Christoffersen, J. (2017). *Climate connectivity' in the daylight factor basis of building standards*. Building and Environment, 113, ss.200-209.
- Mardaljevic, J.;Andersen, M.;& Christoffersen, J. (2012). *Daylighting metrics: Is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?* Loughborough, England: BSO12, First Building Simulation and Optimization Conference, IBPSA .
- Mardaljevic, J.;Andersen, M.;Roy, N.;& Christoffersen, J. (2011). *Daylighting metrics for residential buildings*. Sun City, South Africa: Proceedings of the 27th Session of the CIE. 11-15 July 2011.
- Mardaljevic, J.;Christoffersen, J.;& Raynham, P. (2013). *A proposal for a European standard for daylight in buildings*. Krakow, Poland: Conference Lux Europa 2013 12th European Lighting Conference.

- Mardaljevic, J.;Heschong, L.;& Lee, E. (2009). *Daylight metrics and energy savings*. Lighting Research Tehnology. 41/3, ss.261-283.
- Mattinen, M.;Heljo, J.;& Savolahti, M. (2016). *Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2015*. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 35 / 2016.
- Nabil, A.;& Mardaljevic, J. (2005). *Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings*. Lighting Research Technology, 37/1, ss.41-57.
- Nabil, A.;& Mardaljevic, J. (2006). *Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors*. Energy and Buildings, 38/7, ss.905-913.
- Park, M.;Chai, C.-G.;Lee, H.-K.;Moon, H.;& Noh, J. (2018). *The effects of natural daylight on length of hospital stay*. Environmental Health Insights. 12, ss.1–7.
- R20111-2. (ei pvm). *du code de la construction et de l'habitation*. Saatavilla: [https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2010/10/26/DEVU1026270A/jo/article\\_20](https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2010/10/26/DEVU1026270A/jo/article_20), 25.5.2019.
- Reinhart, C. (2005). *A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule of thumb*. Montreal, Canada: Proceedings of Buildings Simulation. IBPSA.
- Reinhart, C.;& LoVerso, V. (2010). *A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight*. Lighting Research & Technology, 42/1, ss.7-31.
- Reinhart, C.;& Weissman, D. (2012). *The daylit area - correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics*. Building and Environment, 50, ss.155-164.
- Reinhart, C.;Mardaljevic, J.;& Rogers, Z. (2006). *Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design*. Energy and Buildings, 38, ss.905-913.
- Reinhart, C.;Rakha, T.;& Weissman, D. (2014). *Predicting the Daylit Area—A Comparison of Students Assessments and Simulations at Eleven Schools of Architecture*. LEUKOS, 10/4, ss.193-206.
- Rogers, P.;Dubois, M.-C.;Tillberg, M.;& Östbring, M. (2018). *Moderniserad dagsljusstandard*. SBUF, Svenska byggnadsbranschens utvecklingsfond.
- Rogers, P.;Tillberg, M.;Bialecka-Colin, E.;Österbring, M.;& Mars, P. (2015). *En genomgång av svenska dagsljuskra*. SBUF - Svenska byggnadsbranschens utvecklingsfond.
- RT055.30. (1976). *Ilmasto, säteily*. Rakennustieto Oy.
- RT07-10912. (2008). *Päivänvalon hallinta sisätiloissa*. Rakennustieto Oy.
- RTS a. (2018). *Asuinrakennukset. Arviointikriteeristö. v1.11. RTS GLT Rakennushankkeen ympäristöluokitus*. Helsinki, Finland: Rakennustietosäätiö RTS sr, ss.1–73.
- RTS b. (2018). *Toimitila- ja palvelurakennukset. Arviointikriteeristö. v1.11. RTS GLT Rakennushankkeen ympäristöluokitus*. Helsinki, Finland: Rakennustietosäätiö RTS sr, ss.1–84.
- Saratsis, E.;Dogan, T.;& Reinhart, C. (2017). *Simulation based daylighting analysis procedure for developing urban zoning rules*. Building Research & Information, 45:5, ss.478-491.
- SS:914201. (1988). *Svensk standard. Byggnadsutförning - Dagsljus - Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea*. SIS - Standardiseringskommissionen i Sverige.
- Stevanovic, S. (2013). *Optimization of passive solar design strategies: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, ss.177-96.
- Stevens, R. (2009). *Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence*. International Journal of Epidemiology, 38, ss.936-970.
- TBB18. (2018). *Byggningsreglementets vejledning om korrektioner til 10 pct. -reglen for dagslys*. Tanska: Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen.
- TBB18. (2018). *Byggningsreglementets vejledning om korrektioner til 10 pct.-reglen for dagslys*. Trafik-, bygge-, og boligstyrelsen.
- TEK17. (2017). *Byggeteknisk forskrift*. Norja.
- Tilastokeskus. (2015). *Asumisen energiakulutus 2015*.
- Tilastokeskus. (2017). *Asumisen energiakulutus 2017*.
- Tregenza, P. (2017). *Uncertainty in daylight calculations*. Lighting Research and Technology, 49/7, ss.829-844.
- Tregenza, P.;& Wilson, M. (2011). *Daylighting : Architecture and Lighting Design*. London: Routledge.
- USGBC a. (2019). *LEED v4.1. Residential BD+C. Multifamily houses*. U.S. Green Building Council.
- USGBC b. (2019). *LEED v4.1. Building design and construction*. U.S Green Building Council.
- van Cauter, E.;Spiegel, K.;Tasali, E.;& Leproult, R. (2008). *Metabolic consequences of sleep and sleep loss*. Sleep Medicine, 9, ss.23-28.
- Vikberg, H. (2014). *Valoisa asuintalo. Luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisissa kerrostaloasunnoissa*. Diplomityö. Arkkitehtuurin laitos, Aalto-yliopisto.

- Voll, H.;& KõivT-A., S. M. (2010). *Direct Solar and Diffuse Daylight Analysis for Apartment Buildings in Urban Planning*. Corfu: 3rd WSEAS International Conference on Urban Planning and Transportation (UPT'10), ss.48-53.
- Voll, H.;& Seinre, E. (2014). *A method of optimizing fenestration design for daylightin to reduce heating and cooling loads in offices*. Journal of Civil Engineering and Management. 20/5, ss. 714–723.
- Voll, H.;De Luca, F.;& Pavlovas, V. (2016). *Analysis of the insolation criteria for nearly-zero energy buildings in Estonia*. Science and Technology for the Built Environment 22, ss.939-950.
- Voll, H.;Thalfeldt, M.;De Luca, F.;Kurnitski, J.;& Olesk, T. (2016). *Urban planning principles of nearly zero-energy residential buildings in Estonia*. Management of Environmental Quality, 27/6, ss 634-648.
- Wakamura, T.;& Tokura, H. (2001). *Influence of bright light during daytime on sleep parameters in hospitalized elderly patients*. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 20/6, ss. 345–351.
- Walch, J.;Rabin, B.;Day, R.;Williams, J.;Choi, K.;& Kang, J. (2005). *The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: A prospective study of patients undergoing spinal surgery*. Psychosomatic Medicine, 67/1, ss.156–163.
- Wänström Lindh, U. (2012). *Light Shapes Spaces. Experience of Distribution of Light and Visual Spatial Boundaries*. PhD Thesis. Faculty of Fine, Applied and Performing Arts, University of Gothenburg.
- Webb, A. (2006). *Considerations for lighting in the built environment: Non-visual ffects of light*. Energy and Buildings 38.
- Wienold, J. (2009). *Dynamic daylight glare evaluation*. Glasgow, Scotland: Eleventh International IBSA Conference.
- Wienold, J.;& Christoffersen, J. (2006). *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*. Energy and Buildings 38/7, ss.743-757.
- Wilson, M.;& Brotas, L. (2001). *Daylight and Domestic Buildings*. XIth national conference on lighting Bulgaria 13-15 June 2001, Light'2001, ss.27-32.
- Ympäristöministeriö. (2015). *D3 laskentaopas. Valaistuksen tehontiheyden ja tarpeenmukaisuuden erillistarkastelut E-luvun laskennassa. RAKMK D3 2012 mukaan*.



