

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**LUONNONVALON HYÖDYNTÄMINEN
VALAISTUKSESSA JA ENERGIA TEHOKKUUS**

Utilizing natural light in lighting and energy efficiency

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Mihail Vinokurov

Lappeenrannassa 1.6.2015

Pinja Koskinen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
1.1 Tavoitteet.....	4
1.2 Rajaukset.....	4
2 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS	6
2.1 Kokonaisvaltainen rakennuksen energiatehokkuus	6
2.2 Valaistuksen energiatehokkuus.....	8
3 LUONNONVALON HYÖDYNTÄMINEN	10
3.1 Luonnonvalon vaikutus ihmisiin.....	11
3.2 Rakennusten valaiseminen	11
3.3 Luonnonvalon ohjausmenetelmät	13
3.3.1 Manuaalisesti ohjailtavat sälekaihtimet	14
3.3.2 Automatisoidut sälekaihtimet	15
3.4 Ikkunalasitukset.....	16
3.4.1 Tavalliset lasitukset.....	16
3.4.2 Älylasi	17
3.4.3 Termotrooppiset lasit	18
3.4.4 Selektiivinen lasitus	19
3.4.5 Aerogeeli.....	20
3.5 Valoputket.....	22
3.5.1 Tavalliset valoputket.....	22
3.5.2 Kaksinkertaiset valoputket.....	23
3.6 Kattoikkunat	24
4 TEKNIIKOIDEN VERTAILU	26
4.1 Esimerkkikohde.....	26

4.2	Kolminkertaiset tuloilmaikkunat.....	28
4.3	Luonnonvaloa hyödyntävät lasitukset.....	30
4.4	Valoputket.....	33
4.5	Kattoikkunat.....	34
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	35
6	YHTEENVETO.....	39
	LÄHTEET	41

SYMBOLILUETTELO

Φ	valovirta	[lm]
E	kokonaisenergiankulutus	[kWh/m ²]
E	valaistusvoimakkuus	[lx]
$LENI$	valaistuksen energiatehokkuusindikaattori	[kWh/m ² a]
U	lämmönläpäisy	[W/m ² K]
	väriämpötila	[K]

Alaindeksit

task Työalue

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston ympäristötekniikan koulutusohjelmalle. Työ käsittelee luonnonvalon hyödyntämismahdollisuuksia rakennusten valaistuksessa sekä näiden tekniikoiden vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen.

Sopiva valaistus on tärkeä osa ihmisten viihtymistä sisätiloissa. Työpaikoilla oikeanlainen valo ylläpitää sopivaa vireystilaa ja edistää tehokkaampaa työntekoa. Asuinrakennuksissa sopivaksi suunniteltu valaistus luo tunnelmaa ja lisää muutenkin asumisviihtyisyyttä. (Müeller 2013, 227–228.) Esimerkiksi normaaleissa toimistorakennuksissa kulutetusta sähköenergiasta kolmasosa käytetään valaistukseen (Sisävalaistus 2014). Tätä kulutusta olisi mahdollista pienentää käyttämällä tavallisen valaistuksen rinnalla luonnonvaloa. Luonnonvalosta on paljon hyötyä myös ihmiselle, sillä sen vaihteleva luminanssijakauma on ihmiselle sisätyöympäristössä edullisempi tavalliseen sähkövalaistukseen verrattuna (SFS 12464-1 2010, 34).

Rakennusten energiatehokkuus on nykyaikana suuresti huomioitu tekijä. Valaistuksessa luonnonvalo on energiatehokkuuden kannalta hyvä vaihtoehto, sillä sitä varten ei tarvitse erikseen tuottaa energiaa. (Hu & Olbina 2012, 127–128.) Sen hyödyntäminen saattaa kuitenkin tarkoittaa muutoksia esimerkiksi ikkunalasien materiaaleissa, mikä saattaa omalta osaltaan vaikuttaa esimerkiksi ikkunan eristävyYTEEN. Tämä taas saattaa edelleen vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuteen. Luonnonvalo on kuitenkin ihmisen hyvinvoinnin kannalta parempi vaihtoehto kuin sähkövalaistus. Sen on todettu vaikuttavan positiivisesti muun muassa terveyteen ja mielialaan. (Müeller 2013, 227–228.)

Luonnonvalon hyödyntämisen ongelmana on sen saatavuus. Valoa voidaan käyttää pääasiassa vain päivisin, kun sitä on saatavilla. Huonetiloissa ongelmaksi aiheutuu valon epätasaisuus. Ikkunoiden lähistöllä valoa saattaa olla liikaakin, kun taas kauempana huonetilassa sitä ei saada riittävästi. (RTS 07:36 2007, 2.) Erilaisissa ilmasto-olosuhteissa päivänvalon saatavuus on myös erilainen, mikä osaltaan vaikuttaa valon saatavuuteen. Näistä tekijöistä johtuen, on tässä työssä jouduttu tekemään erilaisia rajauksia muun muassa valittujen luonnonvalon hyödyntämistekniikoiden suhteen. Kausiluonteisen saatavuuden takia on myös selvää, että rakennuksissa tarvitaan myös tavallisia valaisimia luonnonvalon

rinnalle. Luonnonvaloa käytettäessä tulee huomioida myös siitä mahdollisesti aiheutuva häikäisy sekä tilojen lämpeneminen.

1.1 Tavoitteet

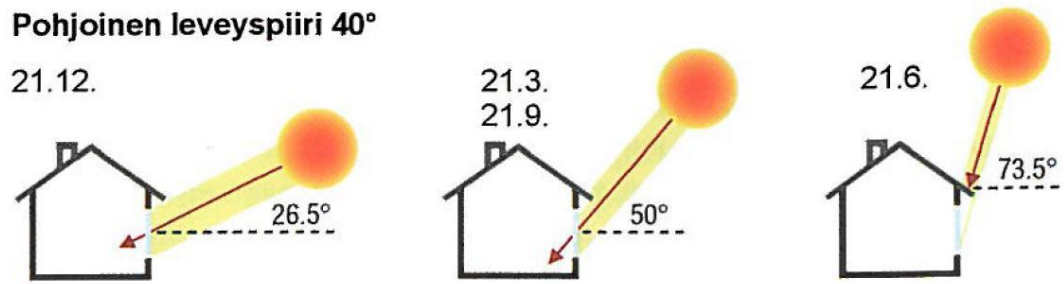
Työn tavoitteena on pohtia ja selventää syitä, miksi luonnonvaloa kannattaisi hyödyntää tavallisen valaistuksen rinnalla ja miksi siihen kannattaisi investoida. Tutkitaan myös, onko luonnonvalon hyödyntäminen todella kannattavaa. Tämä tehdään tutkimalla ja vertailemalla erilaisia keinoja luonnonvalon hyödyntämiseksi rakennusten valaistuksessa.

Työssä kerrotaan, mitä etuja ja haittoja näillä eri keinoilla on ja mitä tekniikkaa olisi mahdollisesti järkevintä käyttää työhön valitussa esimerkkikohteessa. Valittu esimerkkikohte on tyypillinen suomalainen kerrostalo. Tarkastelussa selvitetään myös menetelmien vaikutusta tilojen viihtyisyyteen sekä mahdollisesti niistä aiheutuvia säästöjä tai lisäkustannuksia. Tarkoituksena on myös vertailla tapojen sopivuutta erilaisiin rakennuksiin. Vertailujen lisäksi selvitetään listattujen tekniikoiden vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen.

1.2 Rajaukset

Työssä keskitytään jo valmiiksi rakennettuihin taloihin, ei juurikaan uudisrakentamiseen. Jos tekniikka kuitenkin on kannattavampaa hyödyntää uusissa vasta rakennettavissa tai rakenteilla olevissa rakennuksissa, siitä mainitaan. Tämä rajausta tehdään, koska suurin osa eri päivänvalon hyödyntämistekniikoista sopii jo rakennettuihin rakennuksiin. Jotkin tekniikat saattavat kuitenkin vaatia tilojen saneerausta ja osa valituista menetelmistä kannattaa ottaa huomioon jo rakennusten suunnitteluvaiheessa, jotta niille saadaan varattua sopivasti tilaa.

Työ keskittyy erityisesti Suomen ilmasto-olosuhteisiin, mikä tarkoittaa, että luonnonvaloa on saatavilla pääasiassa vain päivisin. Myös vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaa valon saatavuuteen. Kuvassa 1 on malli auringon säteilystä Suomessa eri vuodenaikojen vaihtelun mukaan. Kuvassa auringon valo säteilee sisään rakennuksen eteläpuolisista ikkunoista.



Kuva 1. Auringon säteily eri vuodenaikoina (Lepistö 2014, 21)

Auringon sijainnin takia valoa ei voida välttämättä hyödyntää yhtä hyvin eri vuodenaikoina, esimerkiksi talvisin luonnonvalon käytettävyys on vähäisempi. Kesällä aurinkoa on tavallisesti enemmän ja se tulee korkeammasta kulmasta talveen verrattuna.

Koska päivänvalon hyödyntämiseen on monenlaisia eri tapoja, ei tässä kandidaatintyössä käydä kaikkia läpi, vaan keskitytään niistä vain muutamaankin, jolloin työn laajuus säilyy kandidaatintyön vaatimissa mitoissa. Valitut menetelmät on poimittu niiden sopivuuden perusteella, sillä osa luonnonvalon hyödyntämistekniikoista ei sovellu Suomen olosuhteisiin kovinkaan hyvin auringonvalon saatavuuden takia.

Työn tutkimusosa koostuu vertailusta, jossa tutkitaan valittujen tekniikoiden käyttökelpoisuutta saneerattavassa kerrostalossa. Kohteeksi on valittu juuri kerrostalo, jotta saadaan selkeä käsitys siitä, miten tekniikat soveltuisivat tavallisiin asuinrakennuksiin. Kerrostalo on tässä tapauksessa 1970 – luvulla rakennettu, jollaisia Suomessa on paljon. Koska osa hyödyntämistekniikoista on hyvin erityyppisiä, ei niiden vertailu onnistu yhden ja tietyn aspektin kautta. Tästä syystä vertailu tehdään yleisluontoisesti, listaamalla eri tekniikoiden etuja ja haittoja.

2 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS

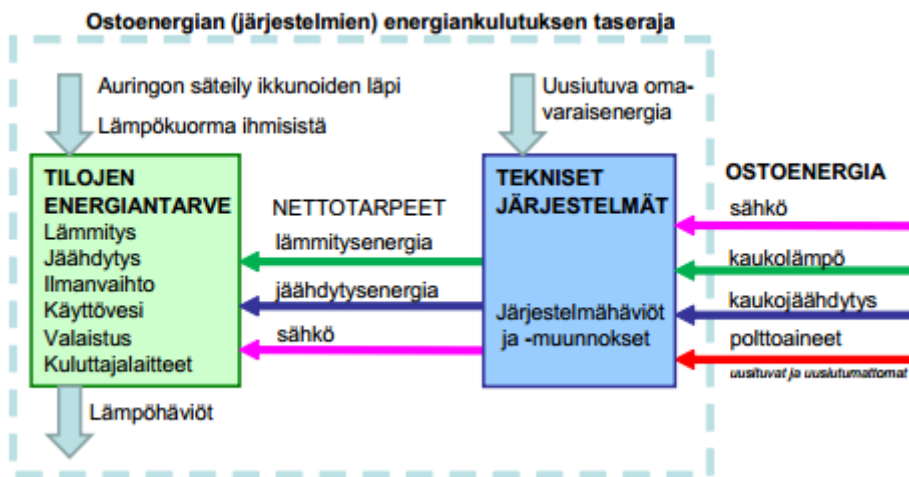
Rakennusten energiatehokkuus koostuu monesta eri tekijästä. Siihen voidaan vaikuttaa jo rakentamiskäytännössä, mutta myös käytön aikana on mahdollista tehdä energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja. Tässä luvussa perehdytään ensin rakennuksen koko energiatehokkuuteen ja sen vaatimiin laskentoihin ja muihin tekijöihin, jonka jälkeen käydään tarkemmin läpi pelkän valaistuksen energiatehokkuutta.

2.1 Kokonaisvaltainen rakennuksen energiatehokkuus

Maaillalla rakennukset aiheuttavat noin 30 – 40 %:n osuuden kaikesta primäärienergian käytöstä, kasvihuonekaasupäästöistä sekä jätteistä. Liikerakennuksissa valaistus vie suurimman osan käyttöenergiasta. (Jung et al. 2013, 522.)

Suomessa energian kokonaiskulutuksesta noin 40 % menee rakennuksiin. Kun rakennusten energiatehokkuutta parannetaan, vaikuttaa se yleensä myös yleiseen asumismukavuuteen ja viihtyvyyteen. Hyvä energiatehokkuus myös pienentää kustannuksia, joita on rakennuksen käytön aikana sekä vähentää energian hinnan nousun aiheuttamien kustannusten nousua. (Ympäristöministeriö 2015.) Koska rakennusten energiankulutus on iso osa yhteiskunnan energian käytöstä, on tärkeää tehdä rakennuksille pitkän aikatahtaimen energiatehokkuuden strategia (Karlsson & Mosfeg 2013, 334–335).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on listattu energiatehokkuuden vaatimukset. Yksi vaatimuksista on, että rakennukselle lasketaan ostoenergiankulutus. Rakennuksen ostoenergialla tarkoitetaan energiaa, joka saadaan hankittua rakennukselle esimerkiksi kaukolämpö-, sähkö- tai kaukojäähdytysverkosta sekä uusiutuvan tai fossiilisen polttoaineen sisältämää energiaa. Kuvassa 2 on selvennetty miten ostoenergiankulutuksen taseraja määräytyy. (RakMK 2012, 6–8.)



Kuva 2. Rakennuksen ostoenergian taseraja. (RakMK D3 2012, 6)

Rakennuksille tulee laskea myös kokonaisenergiankulutus, eli E-luku [kWh/m^2]. Osassa D3 E-luvulle annetaan seuraavanlainen määritelmä: ”E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.”. Kokonaisenergiankulutus lasketaan summaamalla ostoenergian ja ostoenergiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. (RakMK D3, 2012. 8.)

Rakennuksien huonetilojen on oltava sellaisia, että ne eivät kuumene liikaa kesäaikoina. Tämä voidaan toteuttaa rakennusvaiheessa tai myöhemmin tehokkaan ilmanvaihdon avulla. Jotta voidaan saavuttaa hyvä energiatehokkuus, tulee rakennuksen lämpöhäviöitä rajoittaa mahdollisimman paljon. Lämpöhäviö saa maksimissaan olla yhtä suuri kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman antamat vertailuarvot, jotka riippuvat tilasta sekä tarkasteltavasta huoneen pinnasta. (RakMK D3, 2012. 9 – 12.)

Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden rakennusosan läpi. Lämmönläpäisykerroin kuvaa siis sitä, kuinka paljon tehoa tarvitaan pinta-alaa kohti, jotta voidaan saavuttaa tietty lämpötilaero eristerakenteen yli. Lämmönläpäisykerroinille käytetään myös nimikettä U-arvo ja sen yksikkö on $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. (RakMK C4, 2003. 3, 20.) Taulukossa 1 on esitetty arvoja rakennuksen rakenneosien lämmönläpäisykerroimille.

Taulukko 1: Rakennusosien lämmönläpäisykertoimia (RakMK D3, 2012. 11)

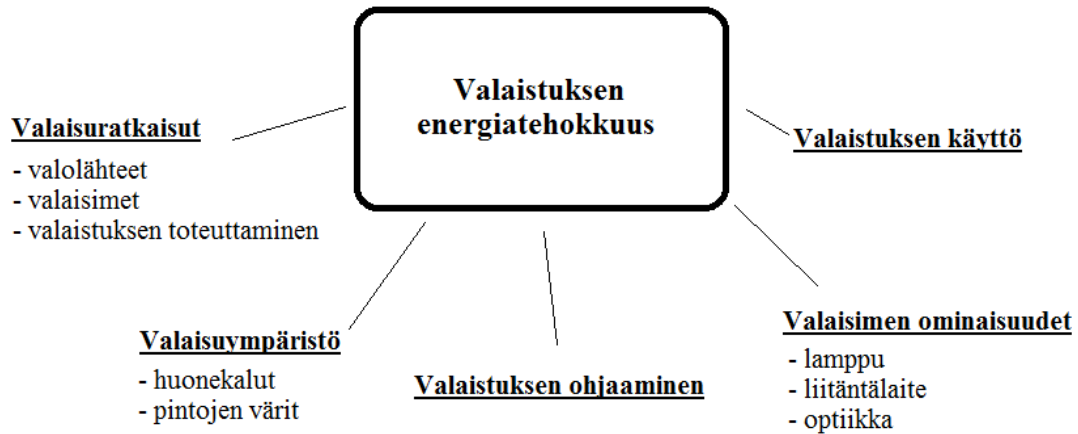
Rakennusosa	U-arvo enintään [W/m²K]
Vaippaan kuuluva <ul style="list-style-type: none"> • seinä • yläpohja • alapohja 	0,60
Puolilämpimään tilaan rajoittuva rakennusosa	0,60
Lämpimän tilan <ul style="list-style-type: none"> • ikkuna • ovi • umpinainen savunpoisto- ja uloskäyntiluukku 	1,8
Puolilämpimän tilan <ul style="list-style-type: none"> • ikkuna • ovi • umpinainen savunpoisto- ja uloskäyntiluukku 	2,8
Lämpimän tilan <ul style="list-style-type: none"> • kattovalokupu • kupumallinen savunpoistoikkuna 	2,0
Puolilämpimän tilan <ul style="list-style-type: none"> • kattovalokupu • kupumallinen savunpoistoikkuna 	2,8

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa C4 on annettu ohjeet eri tilojen ja kappaleiden lämmönläpäisykertoimen laskemiseksi. (RakMK D3, 2012. 11.)

2.2 Valaistuksen energiatehokkuus

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa valaisuratkaisut; valonlähteet, valaisimet ja valaistuksen toteuttaminen. Myös valaistuksen käytöllä on vaikutuksensa. Itse valaisimen energiatehokkuuteen vaikuttaa lamppu, liitäntälaitte sekä optiikka. Ympäristö, johon valaistus suunnitellaan, vaikuttaa energiatehokkuuteen merkittävästi. Tilan huonekalujen sekä pintojen väri vaikuttaa myös valaistustehoon. Vaaleammat värit heijastavat valoa paremmin ympäri huonetilaa kuin tummat värit. Tärkein energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä on kuitenkin valaistuksen ohjaaminen. Kun valaistusta voidaan säädellä läsnäolon ja

päivänvalon mukaisesti, voidaan energiankulutuksessa säästää suuriakin määriä. (Alppilux.)
Kuvassa 3 on esitetty selkeämmin valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät.



Kuva 3: Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät (Alppilux)

Normaaleissa toimistorakennuksissa kulutetusta sähköenergiasta kolmasosa käytetään valaistukseen. Tarvittava valaistuksen määrä riippuu siitä, millaista työtä tehdään sekä jonkin verran myös yksilöstä, joka työtä tekee. (Motiva 2014.) Taulukossa 2 on esimerkkinä taulukoitu joidenkin toimiston tilojen valaistusvaatimuksia.

Taulukko 2: Toimiston valaistusvaatimukset. (SFS-EN 12464-1: 2010, 54)

Tila, tehtävä tai toiminta	Valaistusvoimakkuus lx	Häikäisyindeksin maksimiarvo lx	Valaistusvoimakkuuden tasaisuus
Arkistointi, kopiointi jne.	300	19	0,4
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,6
Kirjoittaminen, konekirjoitus, tietojenkäsittely, lukeminen	500	19	0,6

Neuvotteluhuoneiden kohdalla toivottavaa olisi, että huoneen valaistusta voitaisiin säädellä. Kun tiloja verrataan toisenlaisiin tiloihin, niin esimerkiksi opetustiloissa, kuten

luokkahuoneissa tai luentosaleissa, on samankaltaisia vaatimuksia valaistukselle. Näissäkin tiloissa säätelyn mahdollisuus olisi toivottavaa. (SFS 12464-1: 2010, 54–60.)

Valaistuksen tulee aina olla tarpeeksi tehokas näköolosuhteiden kannalta. Siitä ei tule energiankulutuksen pienentämisen takia tinkiä. Euroopan Unionin määrittelemässä valaistusstandardissa on kerrottu valaistusvoimakkuustasojen vähimmäisvaatimukset. Kun kyseessä on tavallinen toimistorakennus, riippuu luonnonvalon voimakkuus sisätiloissa siitä, miten kaukana ikkunoista ollaan. Valo vähenee mitä kauemmas ikkunoista mennään. (SFS 12464-1: 2010, 32–34.)

Valaistuksessa energiatehokkuutta voidaan määrittää joko laskemalla tai mittaamalla. Laskettaessa energiatehokkuutta Euroopan Unioni antaa Standardissaan SFS-EN 15193 käytettäväksi valaistuksen energiatehokkuusindikaattorin, LENI-luvun (Lighting Energy Number Indicator, yksikkö kWh/(m²*a)). LENI-luvulla kuvataan rakennuksen vuotuista valaistusenergiaa. Lukua käytetään sertifiointitarkoituksiin ja se soveltuu sekä saneeraukseen että uudisrakentamiseen. (SFS-EN 15193: 2008, 8–10.)

Asuinrakennuksille ei luonnollisestikaan ole määritelty tarkkoja valaistusvaatimuksia, vaan valaistus toteutetaan oman maun mukaan. Eri käyttötarkoituksiin tarkoitettut huoneet tarvitsevat kuitenkin erilaisen valaistuksen. Esimerkiksi keittiössä tarvitaan tavallisesti kirikkaampi valaistus kuin makuuhuoneessa.

3 LUONNONVALON HYÖDYNTÄMINEN

Luvussa käydään läpi ensin millaisia vaikutuksia luonnonvalolla on ihmisiin jonka jälkeen kerrotaan rakennusten yleisestä valaistuksesta. Tämän jälkeen käydään läpi yleisimmät luonnonvalon ohjausmenetelmät. Lopuksi perehdytään eri tekniikoihin, joilla luonnonvaloa voidaan hyödyntää valaistuksessa.

3.1 Luonnonvalon vaikutus ihmisiin

Luonnonvalolla on todettu olevan paljon positiivisia vaikutuksia ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille. Sillä on vaikutus ihmisen mielialaan, tunteisiin ja vireystilaan. Myös kellonajan mukaan luonnollisesti vaihteleva valotasoa voi lisätä ihmisen hyvinvointia. (SFS 12464-1 2010, 34.) Vuodenaikojen vaihtelu muuttaa jonkin verran päivänvalon saatavuutta Suomessa ja onkin todettu, että esimerkiksi keväisin valon lisääntyessä sillä on selkeä vaikutus ihmisiin. Kun valaistuksessa on hyödynnetty myös luonnonvaloa, ovat ihmiset tunteneet itsensä vähemmän stressaantuneiksi kuin silloin, kun valaistus hoidetaan pelkällä keinotekoisella valolla. Luonnonvalon hyödyntäminen työpaikoilla auttaa parantamaan työnteon tehokkuutta. Kun valaistus on päivisin sopiva, vaikuttaa se positiivisesti myös ihmisten unen laatuun. (van Bommel 2006, 461–464.)

Valon päivärytmillä on todettu olevan säätelevä vaikutus myös ihmisen hormonien erittymiselle sekä ruumiin lämpötilan vaihtelulle. Ihmisten normaali päivärytmi määräytyy useimmiten valon vaihtelun mukaan. Vuorokausirytmien muuttaminen esimerkiksi vuorotyön vaikutuksesta saattaa aiheuttaa ihmiselle haitallisia vaikutuksia, kuten lisääntynyttä sydän- ja verisuonitautien riskiä, mielenterveysongelmia ja vatsavaivoja. (Webb 2006, 722–723.)

3.2 Rakennusten valaiseminen

Vaikka luonnonvaloa käytettäisiinkin valaistukseen, tulee aina huomioida, että kokonaisvalaistusvoimakkuus on tarpeeksi suuri. Valaistusta esimerkiksi toimistotiloihin suunniteltaessa yksi huomioitava asia on, että työpaikoille on määritelty EU-maissa valaistusstandardit, joita tulee noudattaa. Luonnonvaloa voidaan siis hyödyntää, mutta on samalla huolehdittava, että sähkövalaistus pysyy tarpeeksi tehokkaana. Valaistuksessa tulee täyttää seuraavat kolme perustarvetta: näkömukavuus, näkötehokkuus ja turvallisuus. (SFS-EN 12464-1: 2010, 14.) Suomessa rakennusten valaistuksen suunnittelussa täytyy käyttää myös Suomen Rakentamismääräyskokoelman antamaa ohjetta valaistusolosuhteille. Rakentamismääräyskokoelmassa ohjeistetaan seuraavanlaisesti: ”Rakennus on

suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä voidaan ylläpitää näkötehtävän edellyttämä valaistus käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti” (RakMK D2 2012, 8).

Valaistusta suunniteltaessa otetaan huomioon valon erilaisia ominaisuuksia. Erilaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi valaistuksen kelvin-, lumen- tai luksiarvot. Kelvinillä (K) tarkoitetaan valaistuksesta puhuttaessa värielämpötilaa eli lampun sävyä. Mitä korkeampi arvo on, sitä sinertävämmän ja kylmemmän väristä valo on. Julkisissa tiloissa on tavallisesti käytössä lamppuja, joista saadaan juuri sinertävämpää valkoista valoa. (Lampputieto a.) Lumenilla (lm) tarkoitetaan säteilevän valon määrää. Koska lamppuja on nykyään erityyppisiä (halogeenit, ledit, hehkulamput ja energiansäästölamput), ei niiden tehoa pystytä vertailemaan enää wattien avulla. Wateilla voidaan myös vertailla vain sähkönkulutusta, ei tuotettua valon määrää. (Lampputieto b.) Lukseilla (lx) mitataan valaistusvoimakkuutta. Sen arvo riippuu esimerkiksi lampun lämpövirrasta sekä valaisimen optisista ominaisuuksista. Yksi lux kertoo valaistusvoimakkuuden, jonka yhden lumenin valovirta antaa, kun se jakautuu tasaisena yhden neliömetrin alalle. Jos valonlähde on kaukana pinnasta, on valaistusvoimakkuuskin pieni. Valaistusvoimakkuudelle annetaan erilaisia ohjearvoja eri huonetiloihin, esimerkiksi makuuhuoneen valaistusvoimakkuudeksi suositellaan arvoja 300–500 luksia. (Lampputieto c.)

Valaistus pyritään suunnittelemaan sellaiseksi, että se olisi mahdollisimman tasainen koko huonetilassa. Voimakkuuden vaihtelu saattaa aiheuttaa ihmisille silmien väsymistä sekä epämukavuuden tunnetta. Standardissa SFS-EN 12464-1 (2010) määritetään työalueen valaistusvoimakkuuden perusteella sen välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden minimiarvot. Välittömällä lähiympäristöllä tarkoitetaan tässä tapauksessa ihmisen näkökentässä olevaa aluetta, joka on vähintään 0,5 metrin levyinen. Nämä arvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Työalueen ja sen lähiympäristön valaistuksen voimakkuus. (SFS-EN 12464-1: 2010, 20)

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

Taulukosta nähdään, että valaistusvoimakkuuden ollessa työalueella pieni (< 150 luksia), täytyy välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden olla vähintään työalueen valaistusvoimakkuuden suuruinen.

Jos työpaikalla tehtävä työ on toimistotyötä, jossa istutaan pääasiassa tietokoneen ääressä, tulee valaistuksen olla siihen sopivaa. Samalla valaistuksella pitäisi pystyä lukemaan tietokoneen näyttöä ja kirjoittamaan näppäimistöllä sekä lukemaan myös painettua tekstiä ja kirjoittamaan käsin. Näytön aiheuttamat heijastukset on otettava huomioon koneita sijoitettaessa, sillä näistä saattaa aiheutua häiritsevää häikäisyä. (SFS-EN 12464-1: 2010, 30.)

3.3 Luonnonvalon ohjausmenetelmät

Tärkeänä osana luonnonvalon hyödyntämismenetelmiä on myös huomioida luonnonvalon ohjailemisen mahdollisuus. Vaikka sälekaihtimet eivät niinkään ole luonnonvalon hyödyntämistekniikka, ovat ne kuitenkin oleellinen osa sen hyödyntämistä. Kaihdinten avulla voidaan tehokkaasti säädellä valon pääsyä huonetilaan. Se on usein myös halvin tapa esimerkiksi estää valon pääsy huonetilaan. Kaihtimia on sekä manuaalisesti ohjaittavia että automaattisesti ohjaittavia. Seuraavissa alakappaleissa käsitellään näitä kahta edellä

mainittua tyyppiä juurikin sälekaihtimina, sillä ne ovat yleisimmät kaihdintyyppit. Muita tyyppejä ovat esimerkiksi rulla- ja pystylamellikaihtimet.

3.3.1 Manuaalisesti ohjailtavat sälekaihtimet

Liian kirkas, suoraan ikkunan läpi tuleva auringonvalo voi lämmittää rakennusta huomattavasti. Toimistoissa se saattaa aiheuttaa näyttöpäätteille häikäisyä ja siten haitata työntekoa. Sälekaihtimilla voidaan helposti kontrolloida näitä tekijöitä ja siten parantaa ihmisten työskentelymukavuutta. (Hu & Olbina 2011, 786.) Kaihtimilla voidaan myös estää näköyhteys ulos, jolloin saadaan aikaiseksi tarvittaessa yksityisyyttä (Hu & Olbina 2012, 127).

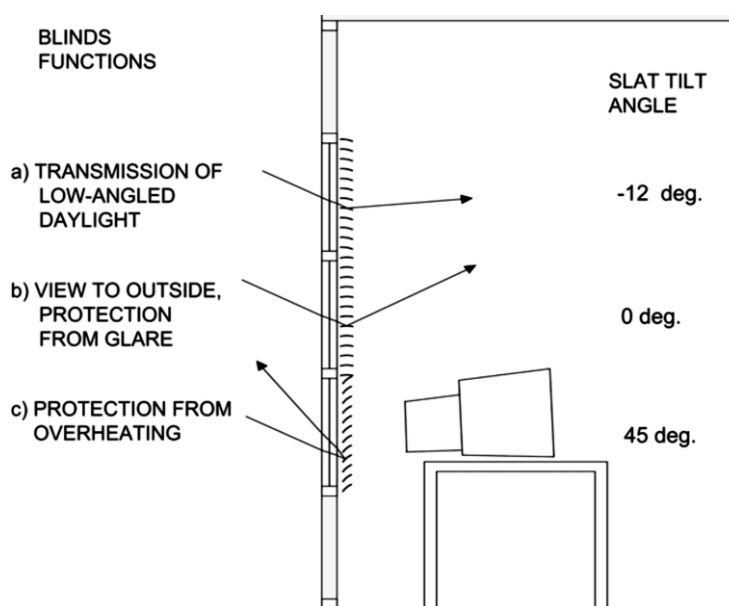
Suurimmassa osassa tapauksia kaihtimilla pyritään estämään ulkoa tulevan valonsäteilyn aiheuttama häikäisy. Häikäisyksi kutsutaan tunnetta, jonka aiheuttaa kirkas kohde näkökentässä, esimerkiksi ikkuna tai kattoikkuna. Sitä pitäisi pyrkiä estämään mahdollisimman paljon väsymisen, virheiden sekä tapaturmien välttämiseksi. (SFS 12464-1: 2010, 24.)

Kaihdinten käytössä huomioitavaa ovat sääolosuhteet ja ulkoa saatavan valon saatavuus. Kaihtimia tulisikin säädellä sekä avata tai sulkea näiden tekijöiden mukaan. Esimerkiksi pilvisellä säällä kaihdinten kannattaisi olla kokonaan auki, jotta päivänvalo saadaan hyödynnettyä kaikkein parhaiten. (Hu & Olbina 2011, 795.) Manuaalisten kaihdinten suurin heikkous onkin niiden säätelemisessä. Ihmiset asettavat kaihtimet usein tiettyyn kulmaan oman mieltymyksensä mukaan eivätkä tämän jälkeen enää koske niihin, jolloin ne ovat useimmiten väärällä tavalla säädetyt luonnonvalon hyödyntämisen kannalta. Monissa tapauksissa kaihtimet myös suljetaan kokonaan, jolloin sähkövalaistuksen käyttöä joudutaan lisäämään, mikä taas lisää energiankulutusta. Jos kaihtimet ovat oikeanlaisessa asennossa, voidaan niiden avulla helposti estää liian kirkas ja suora päivänvalon pääsy huonetilaan. Tällöin voidaan tehokkaasti hyödyntää luonnonvaloa. Oikeanlaisella säätelyllä voidaan vähentää valaistuksen sähkönkulutusta ja lämmitys- ja viilennyskustannuksia. (Hu & Olbina 2012, 127.)

3.3.2 Automatisoidut sälekaihtimet

Tavallisten kaihdinten lisäksi on myös sälekaihtimia, joita voidaan ohjailta automatiikan avulla. Tällaisilla kaihtimilla voidaan tehostaa luonnonvalon hyödyntämistä valaistuksessa, sillä kaihtimet voi ohjelmoida kääntymään auringon liikkeiden mukaan, jolloin ne ovat aina parhaassa mahdollisessa asennossa. Automatisoidut kaihtimet kehiteltiin ratkaisuksi manuaalisten kaihdinten rajoituksille. Niiden avulla voidaan parantaa rakennuksen lämpö- ja päivänvalo-olosuhteita. Kaihdinten avulla voidaan vähentää energiankulutusta ja parantaa ihmisten näkömukavuutta. (Hu & Olbina 2011, 786.)

Automatisoidut kaihtimet voidaan ohjelmoida esimerkiksi säätämään sisään pääsevän valon tuloa siten, että ne päästävät lävitseen mahdollisimman paljon päivänvaloa, mutta samalla estävät suoran valonsäteilyn pääsyn huonetilaan työntekijän toiveiden mukaan. Tällöin saadaan maksimoitua työpisteen valaistusvoimakkuus ja samalla pitämään näkyvyys ulos hyvänä. Tavallisten kaihdinten heikkoutena on usein se, että niitä voi säädellä vain kokonaisuutena. Automatisoiduissa kaihtimissa on mahdollista säätää erikseen esimerkiksi niiden alaosa, jolloin voidaan estää lämpösäteilyn pääsyä huoneeseen. (Hu & Olbina 2011, 786–787.) Kuvassa 4 on esitetty yksi malli siitä, kuinka kaihtimia voidaan säätää useassa osassa ja tällöin parantaa luonnonvalon hyödyntämistä.



Kuva 4. Esimerkki automatisoitujen kaihdinten käytöstä. (Hu & Olbina 2011, 787)

Säätelyllä voidaan tällä tavoin maksimoida kaihtimista saatava hyöty ja parantaa työskentelyolosuhteita.

3.4 Ikkunalasitukset

Kaikkein yleisin luonnonvalon hyödyntämisen tapa ovat ikkunat. Mitä isommat ikkunat tilassa on, sitä enemmän valoa huoneeseen pääsee. Tällöin ongelmaksi saattaa kuitenkin muodostua kylmällä ilmalla huoneen viilentyminen ja aurinkoisella säällä huoneen liiallinen kuumeneminen. Näitä ongelmia voidaan kuitenkin välttää erilaisten ikkunoiden lasitusten avulla. Seuraavissa alakappaleissa on käyty läpi erilaisia vaihtoehtoja ikkunoille.

3.4.1 Tavalliset lasitukset

Ikkunat ovat tavallisesti yksi-, kaksi- tai kolmilasisia. Suomessa yleisin tyyppi on kolmilasinen, joka sopii hyvin viileään ilmanalaan, koska niiden lämpöeristys on yksi- ja kaksilasisia parempia. (Tiede 3/2015, 18.) Suurempi lasitusten määrä kuitenkin huonontaa valon pääsyä huonetilaan. Kun ikkunoissa käytetään matalaemissiivistä lasitetta, joka päästää ”viileämpää” valoa sisään, voidaan säästää sekä valaistuksessa, viilennyksessä että energiassa. (Alghoul et al., 2015. 324–326.) Kun laseja on kolme, voivat ne olla eripaksuisia siten, että uloimmat lasit ovat paksumpia kuin keskellä oleva lasi. Niiden välissä on yleensä kaasua, kuten argonia tai kryptonaa, joskus myös muuta jalokaasua. Kaasu lasitusten välissä parantaa energiatehokkuutta, sillä jalokaasut johtavat lämpöä ilmaa kolmanneksen vähemmän. Kaasuilla on myös ikkunan sisäisiä ilmavirtauksia hillitsevä vaikutus, joka parantaa lämmönpitävyyttä ja vähentää äänen kuuluvuutta ikkunan toiselta puolelta toiselle. Kaasut kuitenkin vuotavat ikkunoissa olevissa raoista ajan myötä, mikä johtaa siihen, että pitävyydet vähenevät vuosien varrella. (Tiede 3/2015, 18.)

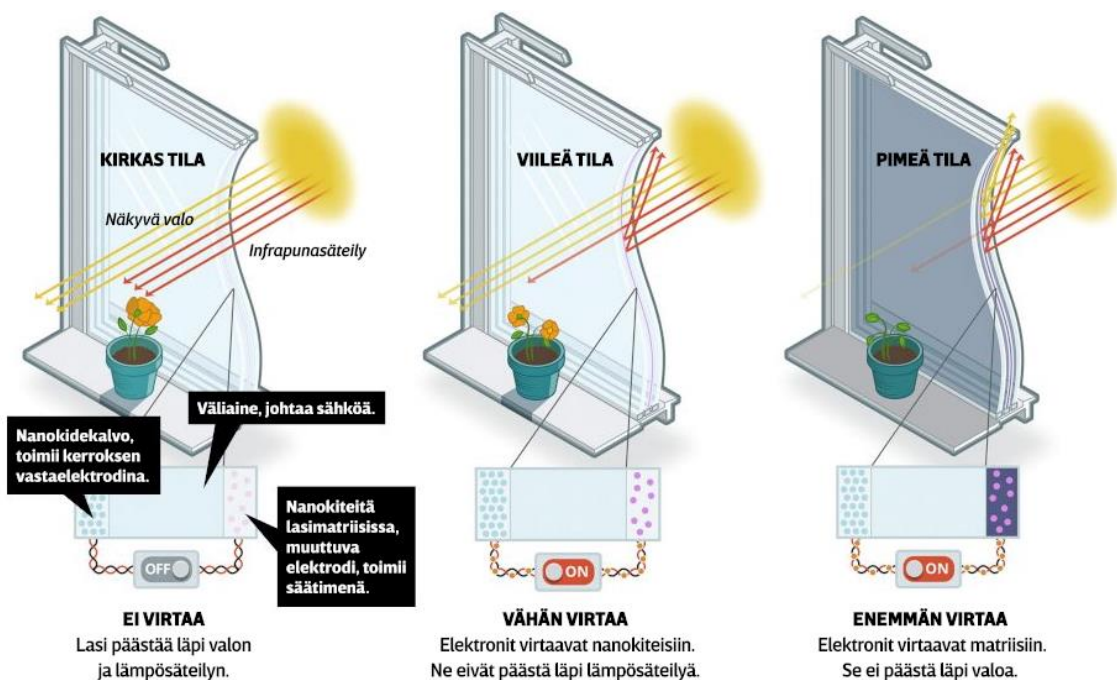
Kun rakennuksessa on useita kerroksia, on siihen yleensä valittu erilaisia laseja eri korkeuksille. Yleensä alakerroksissa käytetään paksumpia lasituksia, jotta huonetiloihin

saadaan paremmat äänieristykset. Ylemmissä kerroksissa lasitukselta vaaditaan hyvää kestävyyttä tuulta vastaan, jolloin se tarvitsee omanlaisensa rakenteen. Seinustoilla, joihin paistaa useammin aurinko, käytetään lasia, jossa on heijastavampi pinta verrattuna varjoisimpiin puoliin. (Tiede 3/2015, 18.)

3.4.2 Älylasi

Älylasi on lasia, jossa lasin kirkkautta voidaan säätää sähköllä. Lasitus sisältää pieniä nanokokoisia kiteitä, jotka reagoivat sähkövirtaan. Useimmissa tapauksissa lasitus on sellaista, että siihen sähköä johdettaessa se kirkastuu. Tällainen lasi on perustilassaan läpinäkyvää. Toisaalta lasitus voi olla myös normaalitilassaan kirkasta ja tummentuu sähkövirran vaikutuksesta. (Tiede 3/2015, 18.)

Uutena kehityksen alla olevana tekniikkana ovat ikkunoiden lasit, jotka kykenevät erottelemaan auringon säteilyn valoon ja lämpöön. Ikkunan toimintaa on esitetty kuvassa 5.



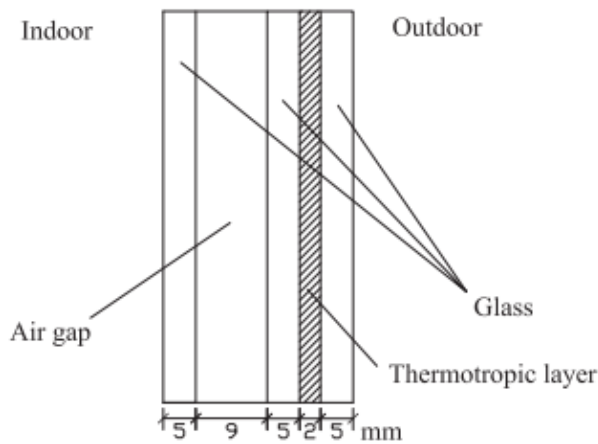
Kuva 5: Älylasin toimintaperiaate (Tiede 3/2015, 19).

Tällainen ikkuna voidaan säätää esimerkiksi infrapunavaihteelle, jolloin lasitus suodattaa huonetilaan valon, mutta jättää lämpösäteilyn ulkopuolelle. Tällöin saadaan huonetila pidettyä viileämpänä, mutta samalla saadaan hyödynnettyä luonnonvaloa valaistuksessa. Joissain tapauksissa lasi voidaan säätää myös himmenemään siten, että se ei juuri päästä valoa lävitseen. Tällaisessa lasissa on sisällä ihmissilmälle näkymättömiä rullattuja mikrolastuja, jotka voidaan sähkövirran avulla oikaista tai saada vetäytymään rullalle. Kun rullat oikaistaan, ikkunapinta pimenee. Tekniikasta käytetään nimitystä mikrokaihtimet. (Tiede 3/2015, 18.)

Tällä hetkellä tutkitaan mahdollisuutta tehdä lasitteen pinnasta sellaista, että sillä saataisiin kerättyä auringonsäteilyä ja tuottamaan siitä edelleen energiaa. Saatu energia olisi mahdollista hyödyntää lasin toiminnassa, jolloin se ei välttämättä tarvitse muuta sähköenergiaa. (Tiede 3/2015, 18.)

3.4.3 Termotrooppiset lasit

Termotrooppiset lasitukset (thermotropic glazings) ovat ikkunoiden laseja, joiden toiminta perustuu lämpötilan muutokseen eivätkä ne tarvitse toimiakseen sähköä. Kun lämpötila lasin pinnalla nousee tietyn suuruiseksi, lasitus käy läpi muutoksen. Lasituksen ominaisuudet muuttuvat sellaisiksi, että se kykenee sirottamaan tai absorboimaan tulevaa valoa. Koska lasin fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat, saattaa se aiheuttaa jotain valon spektrien häviämistä, mikä saattaa johtaa huonontuneeseen näkyvyyteen ikkunassa. (Alghoul et al. 2015, 335.) Kolmilasisen termotrooppisen lasin rakenne on esitetty kuvassa 6. Kuvasta huomataan, että termotrooppinen lasitusosa sijoitetaan tavallisesti kahden tavallisen lasin välissä.

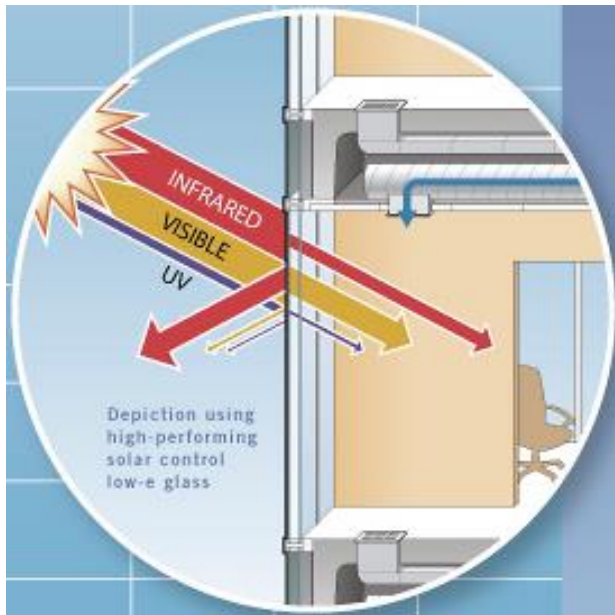


Kuva 6. Termotrooppisen lasin rakenne. (Yao & Zhu 2012, 285)

Termotrooppiset lasitukset vähentävät huomattavasti ihmisiin vaikuttavia epämukavia olosuhteita, kuten liian lämmintä huoneilmaa, tavallisiin ikkunoiden lasituksiin verrattuna. Lasituksen avulla saadaan huonetilaan myös tasaisempi ja viihtyisämpi valaistusvoimakkuus sekä yhtenäisempi valaistus verrattuna normaaleihin lasituksiin. (Alghoul et al. 2015, 335.)

3.4.4 Selektiivinen lasitus

Selektiivilasi on lasia, joka on pinnoitettu läpinäkyvällä ohuella metalli- tai metallioksidikerroksella. Sen säteilynläpäisy ja heijastusominaisuudet riippuvat säteilyn aallonpituudesta. Pinnoitekerros vähentää lasien välistä lämpösäteilyä ja tällöin parantaa ikkunan lämmöneristävyyttä. Selektiivisestä lasista voidaan käyttää myös nimeä matalaemissiviteetipinnoitettu lasi (low-e-glass). Mitä paksumpi metallikerros on, sitä paremmin se heijastaa lämpöä ja tällöin parantaa ikkunan energiatehokkuutta. Tosin samalla se pienentää valon pääsyä huonetilaan. (Heimonen & Hemmilä 1999, 13.) Tästä syystä pinnoitekerros kannattaa pitää melko ohuena luonnonvaloa hyödyntäessä. Kuvassa 7 esitetään selektiivi-ikkunan toimintaperiaate.



Kuva 7. Matalan emissiviteetin omaava ikkuna. (Glass Education Center)

Selektiivisellä lasituksella voidaan tehokkaasti pitää turha lämpösäteily ikkunan ulkopuolella. Tällöin ikkunoista voidaan tehdä suurempia, jolloin luonnonvaloa voidaan käyttää paremmin hyödyksi. (Glass Education Center).

3.4.5 Aerogeeli

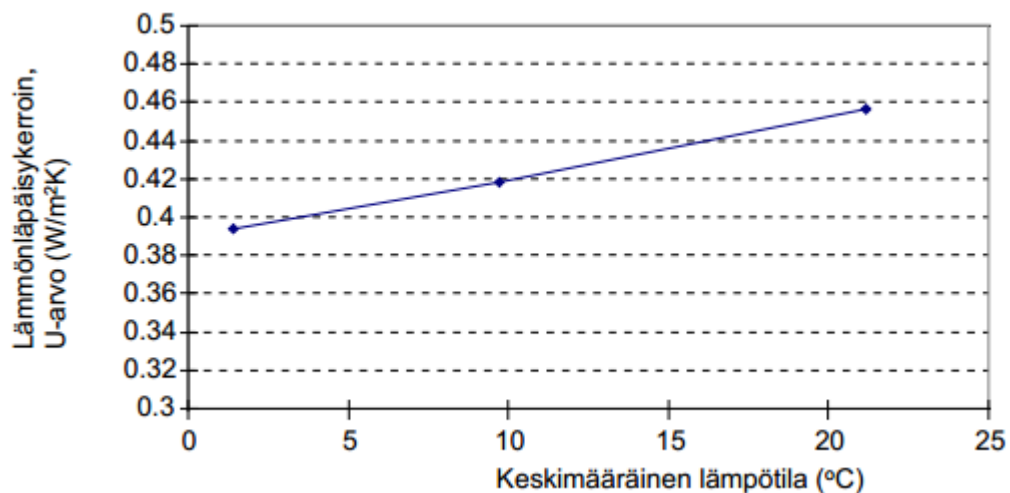
Aerogeeli, josta käytetään myös nimitystä ”kiinteä savu”, on hyvä eriste. Se valmistetaan tavallisesti piioksidista, mutta sen tekemisessä voidaan käyttää myös alumiinioksidia, siirtymämetallien ja lantanoidien oksideja, epäorgaanisia ja orgaanisia polymeerejä sekä hiiltä. Nämä aineet ovat kiinteitä aineita, joilla on pienin kiintotiheys ja ne ovat tyypillisesti 90 – 99,8 % ilmaa. (Alghoul et al. 2015, 337.) Aerogeeliä valmistetaan vaahdottamalla sula lasimassa seosnesteen ja paineilman avulla, jolloin siihen muodostuu paljon todella pieniä ja ohutseinäisiä kuplia ja kanavia, joihin jää ilmaa. Valmistusmenetelmä kehiteltiin jo 1930-luvulla, mutta valmistus onnistuu vasta nykyään teollisessa mittakaavassa. (Varteva 2005.) Kuvassa 8 on pala aerogeeliä.



Kuva 8. Aerogeeli. (Ecofine)

Kevyimmillään kuutio aerogeeliä voi painaa vain kolme kiloa. Se on myös hyvä eristämään ääntä, sillä äänen nopeus aerogeelissä on vain noin 100 metriä sekunnissa. (Varteva 2005.)

Ikkunoissa, joissa on käytetty aerogeeliä, on yleensä paljon pienemmät U-arvot verrattuna tavallisiin lasituksiin. (Alghoul et al. 2015, 337.) Kuvassa 9 on aerogeeli-ikkunan keskimääräisiä lämmönläpäisykertoimia eri lämpötiloissa.



Kuva 9. Aerogeeli-ikkunan U-arvoja. (Heimonen et.al 1999, 18)

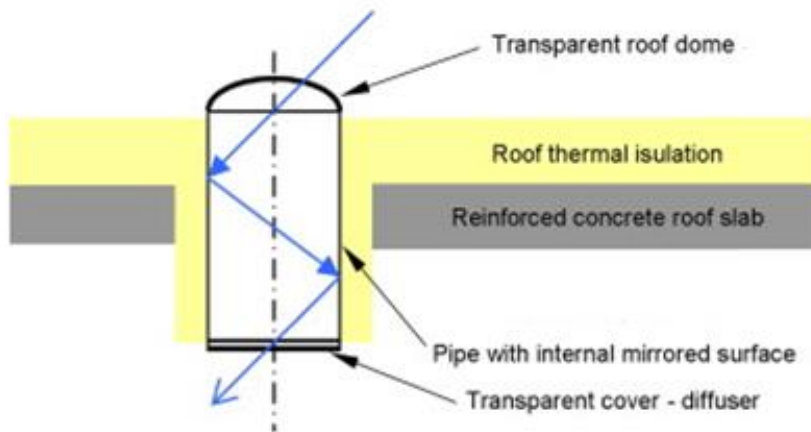
Aerogeeleillä on vahva puristuslujuus ja heikko vetolujuus. Ne vaurioituvat helposti joutuessaan kosketuksiin veden kanssa. Aerogeeeli soveltuu hyvin lasitukseen ikkunoissa. Sitä voidaan valmistaa joko levymäisenä (monolithic) tai raemaisena (granular). (Heimonen et al. 1999, 18.) Aerogeeeli on toistaiseksi vielä melko kallis materiaali, joten sen käyttäminen ikkunoissa ei ainakaan vielä ole kovinkaan kannattavaa. Toisaalta sen kehitys on edennyt nopeasti ja tuotantokustannukset pienentyneet, joten aerogeeeli tulee luultavasti yleistymään lähiaikoina. (Alghoul et al. 2015, 337.)

3.5 Valoputket

Valoputket ovat kattoikkunoiden kaltaisia, mutta niillä voidaan johtaa luonnonvaloa huoneeseen pitempiä matkoja. Putkia voidaankin käyttää kattoikkunoiden tilalla. Kappaleessa käsitellään yksinkertaisten sekä kaksinkertaisten valoputkien rakenne ja toiminta sekä selvitetään niiden kannattavuutta.

3.5.1 Tavalliset valoputket

Valoputket ovat nimensä mukaisesti putkia, joilla kuljetetaan ulkoa tulevaa valoa sisätiloihin. Ne soveltuvat erityisesti tiloihin, joissa ei ole lainkaan ikkunoita. Toiminta perustuu valon heijastumiseen pitkin putken pintaa. Putket sijoitetaan rakennuksen katolle, jossa auringon säteily kulkee putkea pitkin alas rakennuksen huonetiloihin. Katto voi olla tasainen tai vino. Putkia asetetaan yleensä katolle useita. Putken toiminta on esitetty kuvassa 10. (Plášek et al. 2014. 436–437.)



Kuva 10. Valoputken toimintaperiaate. (Plášek et al. 2014, 438)

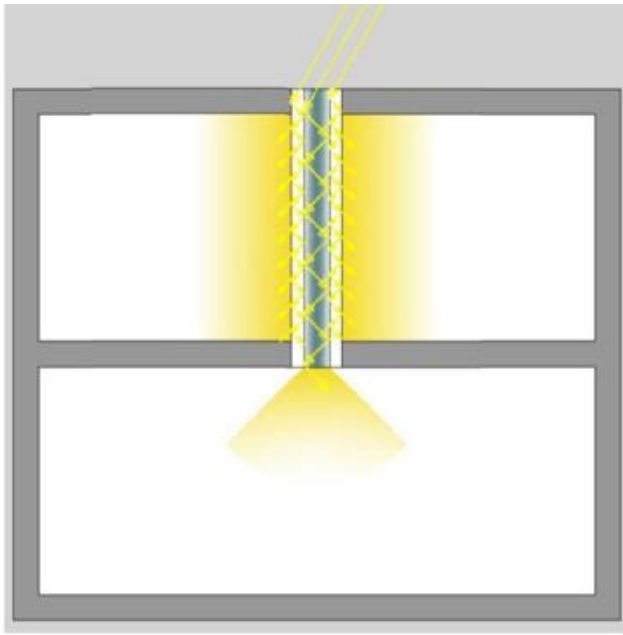
Valoputken sisäosa on päällystetty kalvolla, joka johtaa valoa tehokkaasti. Kalvo muuttaa valon spektriä, jolloin huonetilassa oleva valo on tällöin hieman eriväristä luonnollisen valon väriin verrattuna. Valoputkia varten tarvitaan rakennuksen katolle kupu, joka kerää valonsäteitä itseensä ja heijastaa niitä eteenpäin pitkin putkea. Kupu myös suojaa putkea likaantumislta. Se voi olla myös neliön muotoinen, jolloin suojus muistuttaa enemmänkin kattoikkunaa. Putken toiseen päähän, joka on huonetilan katossa, tarvitaan valon hajotin eli diffuusori, joka hajottaa valon tasaisesti ympäri huonetilaa. (SFS 15193: 2008, 118.) Putken halkaisija vaihtelee riippuen siitä, kuinka paljon valoa halutaan huonetilaan saada. Tavallisesti halkaisijat ovat välillä 200–1000 millimetriä. (Monodraught.)

Jos putket ovat pitkiä tai niissä on mutkia, luonnonvalosta saatava hyöty heikkenee. Tällaisia tilanteita varten on kehitetty katolla olevan kuvun tilalle laitettavia erillisiä keräimiä, joilla valo saadaan keskitettyä tehokkaasti putkeen. Keräimet ovat kalliita, joten niitä ei kannata käyttää silloin, kun valoputki on suora tai se on pituudeltaan melko lyhyt. (Chaiwiwatworakul et al. 2014, 818–819.)

3.5.2 Kaksinkertaiset valoputket

Valoputkia voidaan käyttää myös rakennuksiin, joissa on kaksi kerrosta. Tällaisista putkista käytetään nimitystä kaksinkertaiset valoputket (Double light pipes). Putki koostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta. Ulompi putki on valmistettu läpinäkyvästä materiaalista, kuten

esimerkiksi polykarbonaatista. Materiaali on kuitenkin sellaista, että kaikki luonnonvalosta ei pääse sen läpi, vaan osa heijastuu pitkin putken pintaa alemmas. Sisempi putki on yleensä alumiinia, joka on päällystetty kummaltakin puolelta kalvolla, jolla on hyvä heijastavuus. Putkien välissä on tilaa, jotta osa valonsäteistä pääsee heijastumaan sisemmän putken sisällä. Putken toiminta on selvitettynä kuvassa 11. (Boccia et al. 2014. 377–378.)



Kuva 11. Kaksinkertaisen valoputken toimintaperiaate. (Boccia et al. 2014, 377)

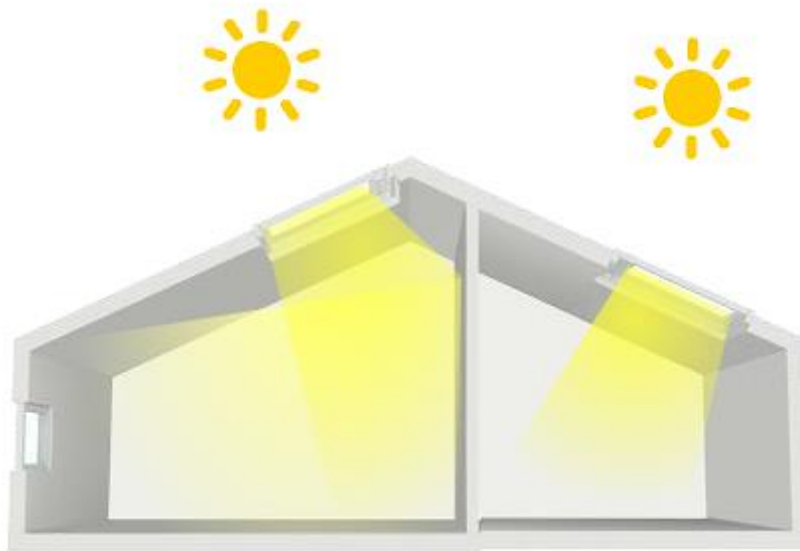
Muilta osin kaksinkertaiset valoputket toimivat kuten tavallisetkin valoputket. Valoputkia on myös muunlaisia näiden kahden tyyppin lisäksi, mutta niiden käyttö kaupallisella sektorilla on vähäistä. Ne ovat myös melko kalliita.

3.6 Kattoikkunat

Kattoikkunoiden lasituksina voidaan hyödyntää edellä lueteltuja lasitustyyppisiä. Esimerkiksi toimistotiloissa kattoikkunoilla voidaan saavuttaa tasaisemmat valaistusolosuhteet luonnonvalon osalta, sillä niiden avulla valo saadaan jakautumaan

tasaisemmin huonetilaan. Kuitenkin huomioitava on, että kattoikkunoilla valoa saadaan vain ylimmässä kerroksessa, alemmissa kerroksissa niistä ei ole hyötyä.

Kattoikkunoita asennettaessa tulisi huomioida erityisesti niiden sijainti auringon kiertorataan nähden. Mikäli ikkunoita halutaan hyödyntää lämmitysenergian hankkimiseen, kannattaa ne sijoittaa etelään tai länteen. (Velux a.) Eteläisistä ja läntisistä kattoikkunoista säteilevän valon kannattaa antaa heijastua esimerkiksi seinärakenteesta, jolloin se pehmenee hieman ja soveltuu näin paremmin valaistukseen. Harjakattoisissa rakennuksissa tämä voidaan tehdä sijoittamalla kattoikkuna kattorakenteen yläosaan. Jos kattoikkunoita halutaan käyttää luonnonvalon hyödyntämiseen, soveltuvat pohjoisesta ja idästä päin paistava auringonvalo paremmin. Tällöin auringosta saatava valo on viileämpää ja valaistuksessa toimivampaa. Jos talo on harjakattoinen, kattoikkunat kannattaa sijoittaa matalalle. Silloin esimerkiksi aamuisin säteilevä valo virtaa huoneeseen paremmin itään avautuvista kattoikkunoista. (Velux b.) Kuvassa 12 havainnollistetaan auringosta tulevan valon kulkua eri ilmansuunnissa sijaitsevilla huoneilla.



Kuva 12. Auringon säteily kattoikkunasta huonetilaan. (Velux b)

Kuvassa vasemman puoleinen huone avautuu etelään tai länteen päin ja oikean puolimmainen taas pohjoiseen tai itään.

Jotta saadaan maksimoitua kattoikkunoiden hyödyt ja samalla pitämään rakennus mahdollisimman energiatehokkaana, täytyy ikkunoihin asentaa verhot. Eteläisistä ja läntisistä kattoikkunoista tuleva auringon säteily on usein melko voimakasta ja lämmittää huonetilaa toisinaan liikaakin. Jos kattoikkunoita on useita, huoneilman lämpötila seuraa herkemmin ulkoilman lämpötilaa. (Velux a.) Verhoilla voidaan pienentää näitä ongelmia ja säätää auringon valoa sopivaksi. Esimerkiksi sälekaihtimilla voidaan suojata huonetilaa liialta lämpenemiseltä, mutta myös antaa eristystä kylmää vastaan. Erilaisia kaihtimia voidaan taas käyttää valon pehmentämiseen. Toinen tekijä kattoikkunoiden hyödyntämiseksi on käytön ohjelmoiminen ja automatisointi. Verhojen käyttöä voidaan säädellä ja ne voidaan esimerkiksi ajastaa aukenemaan tiettyinä aikana. (Velux c.)

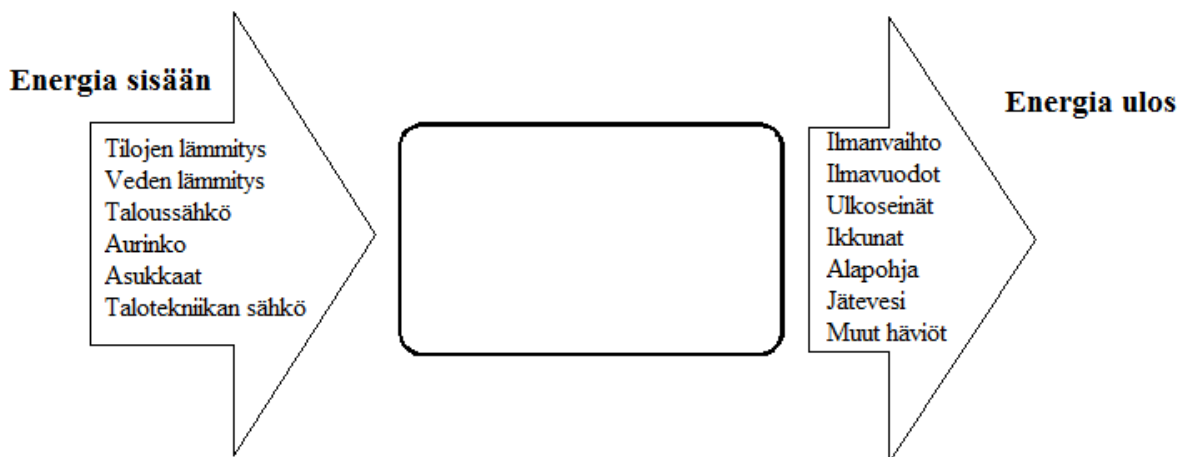
4 TEKNIKOIDEN VERTAILU

Jotta saataisiin käsitys eri tekniikoiden hyödyllisyydestä, on tässä kandidaatintyössä tehty vertailu niiden välillä. Vertailu tehdään esimerkkikohteen avulla, jossa luonnonvalon hyödyntämistapoja voitaisiin käyttää. Vertailussa selvitetään eri menetelmien hyviä ja huonoja puolia sekä sopivuutta kohteeseen.

4.1 Esimerkkikohde

Työssä tarkasteltava kohde on kuvitteellinen 1970-luvulla betonista rakennettu tasakattoinen kolmikerroksinen asuinkerrostalo. Rakennus sijaitsee Etelä-Suomessa. Talossa ei ole ullakkoa, mutta siinä on kellarikerros ja kaksi porraskäytävää. Rakennuksen korkeus on noin 10 metriä. Talossa tehdään julkisivusaneerausta, jonka yhteydessä on tarkoitus vaihtaa ikkunat. Alkuperäisessä tapauksessa ikkunat ovat kaksilasisia puuikkunoita ja ne olisi tarkoitus vaihtaa kolmilasisiin tuloilmaikkunoihin. Tämä ikkunatyypin valittiin työssä siksi, että se on yleisimmin Suomessa käytetty ikkunatyypin. Näihin kolmilasisiin ikkunoihin vertaillaan edellisessä kappaleessa käytyjä tekniikoita. Vertailuja tehdessä on tehty oletus, että ikkunoiden koko ei muutu vaihdossa. Oletetaan myös, että ikkunoiden karmien materiaalina käytetään aina samaa materiaalia, esimerkiksi alumiinia. Kuvassa 13

on kerrostalon energiankulutuksen tase, josta nähdään kaikki rakennuksen sisään menevät energiavirrat ja ulos kulkeutuva energia.



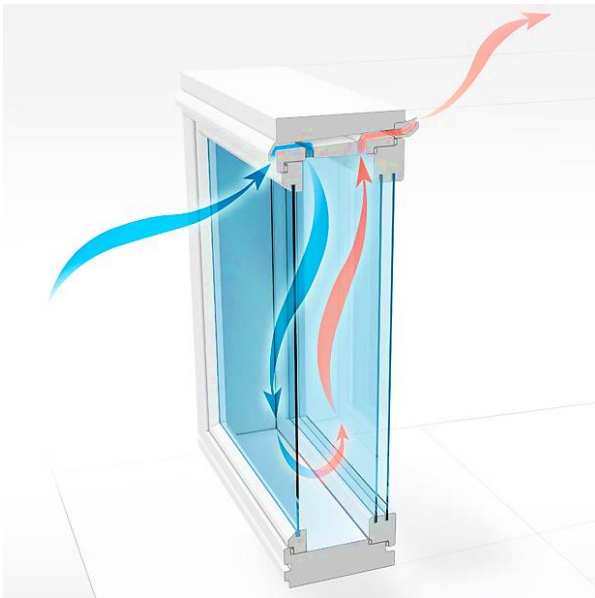
Kuva 13. Kerrostalon energiataase. (Tiedot: Nieminen 2010, 9)

Kuvasta nähdään, että tällaisissa rakennuksissa on runsaasti erilaisia häviöitä, jotka näin ollen pienentävät rakennuksen energiatehokkuutta. Ikkunat päästävät noin 23 prosenttia kaikesta ulos menevästä energiasta (Nieminen 2010, 9). Pelkillä kaksilasisten ikkunoiden kolmilasisiin vaihtamisella ei siis välttämättä ole kovinkaan suurta vaikutusta energiatehokkuudessa, mutta koska koko julkisivu on tarkoitus saneerata, voidaan olettaa muutoksia myös seinärakenteisiin. Tällöin voidaan pienentää lämmitysenergian kulutusta.

Suomessa annettiin uudet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamiseen kesällä 2013. Määräyksissä on annettu energiatehokkuuden minimivaatimukset muun muassa ikkunoille ja ulko-oville. Ikkunoille annetaan lämmönläpäisykertoimen minimiarvoksi 1,0 W/m²K. Ikkunoita vaihdettaessa tulee ottaa huomioon uusien ikkunoiden lämmöneristävyys, huolellinen asentaminen, korvausilmaratkaisut ja aurinkosuojaus. (Pylsy 2014, 34–35.) Vaihtamalla ikkunat tavallisiin kolmilasisiin ikkunoihin voidaan saavuttaa noin 10 %:n lämmityskustannusten pieneneminen (Vesilahti 2013, 36). Saneerauksessa säästöt näkyvät ensin asumiskustannuksissa ja myöhemmin yhteiskunnan energia- ja energiantuotantokustannuksissa ja ympäristössä (Pylsy & Virta 2011, 5).

4.2 Kolminkertaiset tuloilmaikkunat

Perustapauksessa kerrostalon ikkunoiksi vaihdettaisiin siis kolminkertaiset tuloilmaikkunat. Tuloilmaikkunalla tarkoitetaan ikkunaa, jolla voidaan tuoda ulkoa korvausilmaa sisätiloihin ikkunarakenteiden kautta. Ikkunat on tarkoitettu rakennuksille, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto, sillä ne tarvitsevat kokoaikaisen alipaineen toimiakseen. (Ikkunawiki a.) Kuvassa 14 on yksinkertainen esitys tuloilmaikkunan toiminnasta., josta voidaan nähdä ilmavirran kulkeutuminen ulkoa sisälle huoneeseen.



Kuva 14. Tuloilmaikkunan toimintaperiaate. (Ikkunawiki b)

Tuloilmaikkunan etuna on se, että tuotava korvausilma voidaan esilämmittää ikkunoiden välitilassa hukkalämmön avulla. Tällä tavoin voidaan lämpöhäviöitä pienentää jopa 15 – 30 % verrattuna esilämmittämättömän ilman tuontiin. Jos ikkunan tuloilman lämmittämistä halutaan tehostaa, voidaan ikkunan kautta tulevan ilman virtausta säätää venttiileillä. Kun virtausta hidastetaan, ehtii ilma lämmitä paremmin ennen huonetilaan pääsyä. Uusissa ikkunoissa venttiilit sijaitsevat ikkunan karmin läpi viedyssä aukossa. (Ikkunawiki a.)

Tuloilmaikkunan avulla voidaan säästää energiaa. Muutoin hukkaan menevä, ikkunan läpi johtuva lämpö, nostaa ulkoa tulevan ilman lämpötilaa noin kymmenen astetta. Venttiilejä

säätämällä voidaan virtausta myös rajoittaa esimerkiksi talvisin, jolloin tarvitaan enemmän lämmitystä. Venttiilejä ei kuitenkaan saisi koskaan sulkea kokonaan. Koska ikkunat tarvitsevat jatkuvan alipaineen, saattaa rakennuksen ilmanvaihto huonontua esimerkiksi lämpimällä tai tuulettomalla säällä. Myös rakenteilla on suuri vaikutus ilmanvaihdon tehokkuuteen. (Saarinen 2014.)

Useimmissa kolmilasisissa ikkunoissa vähintään yksi lasi on tehty selektiivisestä lasista. Selektiivisiä laseja käytetäänkin jo yleisesti ympäri Suomea. Selektiivinen lasitus saattaa kuitenkin estää esimerkiksi matkapuhelinsignaaleja. Jos matkapuhelimen tukiasema ei ole tarpeeksi lähellä, voi ikkuna aiheuttaa sen, että puhelu katkeaa kesken kaiken. (Yle 2012.) Kolmilasisten ikkunoiden hinnat eivät ole kovinkaan suuria, ne riippuvat jonkin verran valmistajasta. Kuitenkin yhden normaalikokoisen ikkunan hinta on tavallisesti alle 200 euroa. Ikkunoiden käyttöikä on myös melko pitkä, ne voivat kestää jopa 60 vuotta oikeanlaisella käytöllä. (Pylsy & Virta 2011, 76.) Taulukkoon 4 on koottu kolmi-lasi-tuloilmaikkunan hyviä ja huonoja puolia.

Taulukko 4. 3-lasisen tuloilmaikkunan etuja ja haittoja.

3-lasinen tuloilmaikkuna	
Edut	Haitat
Energiansäästö esilämmityksellä	Ilmanvaihto ei tehokas joka säällä
Ikkunalla saadaan myös tuloilma huonetilaan	Ikkunoiden venttiilit täytyy muistaa puhdistaa, jotta ilmanvaihto pysyy hyvänä
Selektiivilasilla hyvä lämmöneristävyys	Liian paksu metallikerros selektiivilasissa haittaa valon pääsyä huonetilaan
Pitkä käyttöikä	

Taulukosta nähdään, että kolmilasisella tuloilmaikkunalla on hyviä ominaisuuksia, varsinkin jos ainakin yksi laseista on selektiivilasi. Nykyään sen avulla voidaan myös parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Kuitenkin jos luonnonvaloa halutaan hyödyntää, ei se ole kaikkein sopivin vaihtoehto. Paksu metallikerros selektiivilasissa heikentää luonnonvalon pääsyä huonetilaan.

4.3 Luonnonvaloa hyödyntävät lasitukset

Älylaseissa on paljon hyviä ominaisuuksia verrattuna tavalliseen lasitukseen. Se on kuitenkin sen verran uusi keksintö, että sen käyttö kaupallisessa mielessä ei ole vielä todellista. Suurin osa lasituksista on vielä kokeiluasteella, esimerkiksi mikrokaihtimia ei ole vielä myynnissä, sillä niiden kehittäminen on vielä täysin kesken. Koska lasit ovat vielä niin uusi keksintö, ei niiden käyttäjästä ole vielä tarkkaa tietoa. Jos rakennukseen siis hankittaisiin jonkinlaiset älylasit, ei niiden kestosta pystyittäisi sanomaan mitään. Lasitukset ovat myös kalliita. (Tiede 3/2015, 18.) Taulukossa 5 on listattuna älylasin hyviä ja huonoja puolia.

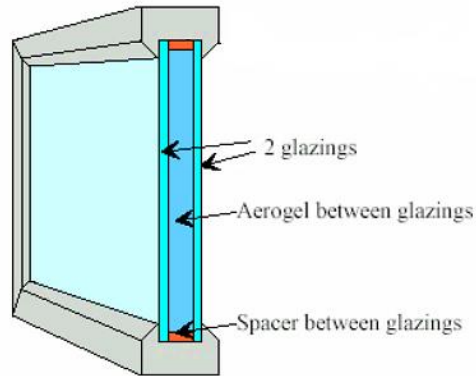
Taulukko 5. Älylasin etuja ja haittoja.

Älylasi	
Edut	Haitat
Sisään tulevan säteilyn säädeltävyys	Vielä kehittäjasteella
Kaihdinten integrointi lasitukseen	Ei tietoa pitemmän aikavälin kestävydestä
Voidaan tuottaa energiaa auringon säteilystä	Kuluttaa sähköä

Älylasin käyttö tässä tapauksessa ei siis ole mahdollista. Lasien hintaluokka olisi myös luultavasti sen verran suuri verrattuna tuloilmaikkunoihin, ettei niiden käyttöä kannattaisi harkita, vaikka niitä olisikin saatavilla. Älylaseja voisi harkita uudisrakentamiseen, sillä niillä voidaan kuitenkin parantaa viihtyisyyttä merkittävästikin ja samalla parantaa rakentamisen energiatehokkuutta. Jos lasin pinnalle suunnitellut aurinkokennomateriaalit saadaan toteutettua, ei lasin toimintakaan vaadi ylimääräistä energiaa, vaan sen tarvitsema sähkö voidaan tuottaa kennojen avulla.

Aerogeelistä valmistetut ikkunalasit ovat huomattavasti kevyemmät verrattuna tavallisiin kolmilasisiin ikkunoihin. Lasien välissä ei myöskään ole kaasua, joka voisi ajan kuluessa valua ulos pienentäen ikkunan lämmöneristävyyttä. Aerogeelilasituksilla on parempi

äänieristävyys muihin lasituksiin verrattaessa. (Aspen aerogels.) Ikkunoissa aerogeeliosa on yleensä kahden lasin välissä niiden sisäpuolella. Tämä on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Aerogeeli-ikkuna. (Aspen aerogels)

Luonnonvalon hyödyntämisen kannalta aerogeeli on hyvä materiaali, sillä sen avulla lasitusten valon läpäisykyky kasvaa, eikä laseihin tarvita matalan emissiviteetin omaavia lasituksia. Kun lasituksen paksuus on noin 12 millimetriä, on sen läpinäkyvyys yhtä hyvä kuin tavallisen lasin. Vaikka aerogeeli onkin melko kallis materiaali vielä, on sen hinta tullut koko ajan halvemmaksi tuotantotekniikoiden kehittyessä. Tästä syystä aerogeeliä voidaan nykyaikana käyttää myös tavalliseen rakentamiseen, vaikkakin se on vielä melko harvinaista. (Aspen aerogels.) Aerogeelin heikkoutena ikkunalaseissa on se, että läpinäkyviä ikkunoita ei juuri ole saatavilla. Läpinäkyvät lasitukset heijastavat paljon, joten niitä kannattaa käyttää vain pohjoiseen suuntautuvissa ikkunoissa. Suurin osa myynnissä olevista laseista on läpinäkymättömiä, ne ainoastaan päästävät valoa lävitseen. (Efficient Windows Collaborative 2014.) Aerogeelin hyviä ja huonoja puolia on listattu taulukossa 6.

Taulukko 6. Aerogeelilasin etuja ja haittoja.

Aerogeelilasi	
Edut	Haitat
Hyvä lämmöneristävyys	Toistaiseksi kallis vaihtoehto
Voidaan vaihtaa suoraan tavallisen lasituksen tilalle ikkunoihin	Kaupallinen saatavuus melko huono
Hyvä äänieristävyys	Läpinäkyvyys huono useimmissa malleissa
Hyvä valon läpäisykyky	
Energiatehokas	
Kevyt materiaali	

Suomessa aerogeelilasituksia ei ole juuri saatavilla, niitä voi kuitenkin tilata ulkomailta. Niiden hinnat ovat vielä korkeita, joten niiden käyttäminen tällaisessa saneerausprosessissa ei ole kannattavaa. Jos ikkunat vaihdettaisiin aerogeelilaseihin, niiden takaisinmaksuaika saneerauksessa olisi noin 43 vuotta (E3T 2014). Aerogeelilasituksia voitaisiin kuitenkin hyödyntää esimerkiksi kattoikkunoissa, joista ei välttämättä vaadita näkyvyyttä ulos. Jos aerogeelilasitukseen kuitenkin päädyttäisiin, saataisiin niillä pienennettyä rakennuksen lämpöhäviöitä tehokkaasti. Aerogeelistä voitaisiin kuitenkin tehdä esimerkiksi pieniä osia julkisivun seinärakennetta. Näin rakennukseen saataisiin lisää luonnonvaloa vähentämättä rakennuksen energiatehokkuutta. Tämä kuitenkin vaatisi reikien tekemisen seinärakenteeseen, mikä tuottaisi hieman lisäkustannuksia.

Termotrooppisia lasituksia ei ole vielä kovinkaan paljoa kaupallisessa käytössä, sillä niitä kehitellään ja tutkitaan vielä. Niillä kuitenkin voidaan pitää tehokkaasti turha lämpösäteily poissa huonetilasta ja tällöin parantaa viihtyisyyttä erityisesti kesäisin. Parhaiten lasituksen toimivat ikkunoissa, joihin kohdistuu voimakas auringon säteily. Tämä tarkoittaa, että laseja kannattaa käyttää erityisesti lännen ja etelän puolella olevissa ikkunoissa. (Alghoul et al. 2015, 335.) Taulukkoon 7 on listattu joitain termotrooppisen lasituksen etuja ja haittoja.

Taulukko 7. Termotrooppisen lasin etuja ja haittoja.

Termotrooppinen lasitus	
Edut	Haitat
Tehokas lämmöneristävyys	Ei kaupallisessa käytössä
Tasainen ja viihtyisä valaistusvoimakkuus	Huonontunut näkyvyys joissain tapauksissa
Sopii kylmille ilmastoille	
Estää tilan ylikuumentumisen	

Koska termotrooppista lasitusta ei ole vielä saatavilla, ei sitä kohteessa voida käyttää. Jos kuitenkin oletettaisiin, että lasia olisi kaupallisessa käytössä, voitaisiin sitä hyödyntää juuri lännen ja etelän puoleisissa ikkunoissa. Muihin ikkunoihin voitaisiin asentaa toisenlaisia lasituksia kuten tavalliset lasitukset.

4.4 Valoputket

Koska auringonvalo tulee tavallisesti putkeen jonkinasteisessa kulmassa, se menettää aina uuden heijastumisen jälkeen osan energiastaan eli toisin sanoen valoisuudestaan. Yhden heijastuman aiheuttama energiahäviö on 5 – 10 %. Energiahäviö valoisuudessa aiheuttaa putken lämpenemistä, mikä saattaa edelleen lämmittää huonetilaa. Putken kalvopäällyste kellastuu yleensä ajan myötä, mikä heikentää heijastumista ja tällöin vähentää sen energiansiirtoa ja tehokkuutta. Mitä pienemmästä kulmasta auringonsäteily tulee, sitä huonommin valoputki toimii. Asiaan vaikuttaa siis myös millainen katto rakennuksessa on: tasainen vai vino. Vinossa katossa säteet tulevat kupuun erilaisessa kulmassa. Suomessa auringonvalo tulee tavallisesti noin 30–50 asteen kulmassa, mikä tarkoittaa sitä, että heijastumista pitkin valoputken pintaa tapahtuu paljon. Suomessa putket eivät siis ole kovinkaan kannattavia ja niiden rinnalle tarvittaisiin aina muitakin valaisuratkaisuja. Putken lisäksi myös diffuusori aiheuttaa valon energiahäviötä noin 15 – 20 %. (Helenius 2000.) Valoputkien etuja ja haittoja on listattu taulukkoon 8.

Taulukko 8. Valoputkien etuja ja haittoja.

Valoputket	
Edut	Haitat
Luonnonvaloa myös ikkunattomiin tiloihin	Joudutaan tekemään muutoksia rakenteisiin
Toimivat tarvittaessa kattoikkunoiden korvaajina	Vievät tilaa rakennuksessa
Saa myös Suomesta	Melko hankala jälkiasentaa
Luonnonvaloa voidaan hyödyntää pilviselläkin säällä	Valon täytyy tulla sopivassa kulmassa optimaalisen tilan saavuttamiseksi
Soveltuu kaikille ilmastotyypeille	Saattaa aiheuttaa ylikuumenemistä huonetilassa
Kaksinkertaisilla valoputkilla voidaan valoa saada useampaan kerrokseen	

Valoputkia varten täytyy itse putkien lisäksi rakentaa kuilut rakennuksen katolta alaspäin. Tämä lisää rakennuskustannuksia jonkin verran, mikä saattaa olla tekniikan käyttöä vähentävä tekijä. Valoputkien käytön päättäminen kannattaisikin tehdä jo rakennuksen rakennusvaiheessa, vaikka ne voidaan asentaa myös saneerauksessa.

Valoputket soveltuvat paremmin matalemmille rakennuskorkeuksille, koska putken valaistustehokkuus vähenee mitä enemmän heijastusta putkesta tulee. Koska esimerkkikohde on kolmikerroksinen, voidaan valoputkia käyttää ilman, että niiden valaistusteho huononee liikaa. Niitä voi hyödyntää erityisesti kellaritiloissa, joissa ei välttämättä ole lainkaan ikkunoita. Valoputkia myydään myös Suomessa. Niiden hinnat ovat n. 380 – 600 € / putki, riippuen putken mallista ja siitä, millaiselle katolle se asennetaan. (Velux 2015.) Kustannuksissa ei ole huomioitu putken asentamiskustannuksia.

4.5 Kattoikkunat

Kattoikkunat soveltuvat parhaiten esimerkiksi asuinrakennuksen käytävätiloihin. Huoneistoissa kattoikkuna hyödyttää vain ylimmän kerroksen asukkaita. Monissa vanhemmissa rakennuksissa on myös usein ullakkokerros, jossa saattaa olla esimerkiksi

varastotiloja. Kattoikkunat soveltuisivat hyvin tällaiseen tilaan. Taulukkoon 9 on listattu kattoikkunoiden hyötyjä ja haittoja.

Taulukko 9. Kattoikkunoiden etuja ja haittoja.

Kattoikkunat	
Hyödyt	Haitat
Voidaan hyödyntää myös lämmitykseen	Voi aiheuttaa tilojen ylikuumentumista
Saadaan hyvin luonnonvaloa tilaan	Vaatii aukon kattoon
Tasainen ja viihtyisä valaistus	Toimii vain ylimmässä kerroksessa

Koska kohteessa ei ole ullakotilaa, kannattaisi kattoikkunoita käyttää juurikin käytävätiloissa. Tällöin luonnonvaloa voidaan hyödyntää erityisen hyvin, sillä käytävä on avara tila, jossa ei tarvita tarkkaa valaistusta. Kattoikkunoiden lisääminen lisää saneerauksen kustannuksia, sillä ne tarvitsevat aukon kattoon. Kattoikkunoiden hinnat vaihtelevat muutamasta sadasta eurosta yli tuhanteen euroon riippuen niiden koosta ja mallista (Velux 2015).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vaikka monilla tekniikoilla on paljon hyviä puolia, eivät ne välttämättä vielä ole taloudellisesti kovinkaan kannattavia. Varsinkin saneerauksessa tekniikoiden käyttö ei ole erityisen kannattavaa, sillä vaikka ne lisääisivät rakennuksen arvoa, eivät ne maksa itseään takaisin kovinkaan nopeasti.

Suurin osa uusista lasituksista on vielä melko kehitysasteella ja niiden tutkiminen ei ole vielä loppunut. Niitä ei juuri saa kaupallisesta käytöstä, joten niiden hankkiminen on hankalaa ja kallista. Tämä tarkoittaa sitä, ettei niitä tavallisissa rakennuksissa kannata käyttää ainakaan vielä vähään aikaan. Kuitenkin tulevaisuudessa ne voivat olla hyviäkin tekijöitä luonnonvalon hyödyntämiseen siten, että rakennuksen energiatehokkuus joko pysyy samana

tai jopa paranee. Koska monista uusista ikkunoiden lasituksista ei ole vielä pitkän aikavälin tietoja, ei voida tarkkaan tietää, kuinka kauan ne kestävät. Tällöin ei voida tarkkaan sanoa, kuinka paljon säästöjä voidaan tehdä. Kun rakennusten valaistuksessa hyödynnetään päivänvaloa, kannattaa aina muistaa myös kaihdinten tai muiden vastaavien valon ohjausmenetelmien käyttö. Niillä voidaan turha lämpösäteily pitää ulkona, jos ikkunan lasituksessa ei sellaista ominaisuutta itsessään ole.

Aerogeeli on tehokas lämmöneriste ja sopii tällä hetkellä hyvin erityisesti kattoikkunoiden lasitukseen. Tulevaisuudessa sitä tullaan varmasti käyttämään enemmänkin luonnonvalon hyödyntämiseen. Kun läpinäkyvää lasitusta kehitetään vielä enemmän, voidaan aerogeeliä käyttää paremmin normaaleissakin ikkunoissa. Myöhemmin sitä voi olla kannattavaakin käyttää myös saneerauksessa, vaikka aluksi sitä luultavasti käytetään enemmän uudisrakentamiseen.

Ikkunoissa kannattaa siis toistaiseksi vielä käyttää tavallisia kolmilasisia tuloilmaikkunoita, kunnes muut tekniikat kehittyvät tarpeeksi ja niiden hintoja saadaan pienennettyä. Vanhoissa rakennuksissa on muunlaisiakin häviöitä sen verran paljon, että pelkkien ikkunoiden vaihtaminen ei paranna energiatehokkuutta kovinkaan suurilla määrillä. Uudisrakentamisessa muunlaisia lasitustyyppisiä voisi kyllä harkita, jos rakentamisbudjetilla ei ole kovinkaan matalaa rajaa. Menetelmät kuitenkin maksavat itsensä takaisin pikkuhiljaa, kun energiaa voidaan säästää.

Kaikkien lasitusten kohdalla tulee pohtia miten ilmanvaihto hoidetaan kussakin tapauksessa. Koska luonnonvaloa hyödyntävissä lasituksissa ei huoneeseen tulevan ilman ottoa ole huomioitu, voi sisäilman laatu kärsiä. Näissä tapauksissa saatetaan joutua asentamaan erillisiä korjausilmaventtiileitä, joista tarvittava tuloilma saadaan.

Valoputkia voidaan esimerkkikohteessa hyödyntää tavallisten ikkunoiden rinnalla. Niillä voidaan saada valoa kellarikerrokseen sekä mahdollisesti myös asuinhuoneistoihin. Valoputkia ei kannata ottaa liian suurina, jotta ne eivät aiheuta paljoa lämpenemistä tiloissa. Valoputkien hinnat ovat melko korkeita, mutta niillä voidaan luoda huomattavasti viihtyisämmät valaistusolosuhteet tiloihin. Kaksinkertaisia valoputkia on hankalampaa käyttää asuinrakennuksissa, ne soveltuisivat paremmin julkisiin tiloihin. Tavallisten valoputkien ongelmana onkin se, että niillä ei oikein voi tuottaa valoa ylintä kerrosta pitemmälle huoneistoissa. Muuten jokaiselle asunnolle täytyisi tehdä omat putkensa, mikä

johtaisi siihen, että katto tulisi täyteen valoputkien pääteosia. Parhaiten valoputket sopivat joko julkisiin rakennuksiin tai omakotitaloihin.

Kattoikkunoita kannattaa kohteessa hyödyntää käytävätiloissa. Tilaan saadaan tällöin luonnonvaloa, jolloin aina ei ole tarvetta käyttää käytävän sähkövalaistusta. Siten voidaan säästää hieman energiaa. Koska kattoikkunoilla voidaan myös lämmittää tiloja, saadaan käytävän lämmityskustannuksia pienennettyä ja tätä myöten energiakustannuksia parannettua. Asuintiloissa kattoikkunoita ei välttämättä kannata käyttää, ellei joku ylimmän kerroksen asunnon haltija välttämättä haluaisi sellaista asuntoonsa.

Taulukkoon 10 on koottu yhteenveto kaikista läpikäydyistä tekniikoista.

Taulukko 10: Yhteenveto tekniikoista

	Saatavuus	Hinta	Näkyvyys	Valonläpäisy	Vaikutus energiatehokkuuteen
Kolmilasinen tuloilmaikkuna					
▪ tavallinen lasi	Yleisesti saatavilla	Ei kovinkaan kallis (yksi kokonainen ikkuna alle 200 €)	Hyvä	Hyvä	Ei juuri vaikuta
▪ selektiivilasi	Yleisesti saatavilla	Jonkin verran tavallista lasia kalliimpaa	Hyvä	Huonontunut	Paranee hieman
Aerogeelilasi	Melko huono saatavuus	Kallis materiaali	Yleensä huono	Erittäin hyvä	Paranee paljon
Äylasi	Ei vielä markkinoilla	-	Voidaan säätää halutunlaiseksi	Voidaan säätää halutunlaiseksi	Paranee
Termotrooppinen lasitus	Ei vielä markkinoilla	-	Saattaa huonontua	Hyvä	Paranee
Valoputket	Melko yleisesti saatavilla	Pelkkä putki n. 380 - 600 €	Ei näkyvyyttä ulos	Riippuu heijastumista	Paranee hieman
Kattoikkunat	Yleisesti saatavilla	Asentamiskustannukset + valittu lasitus	Riippuu lasituksesta	Riippuu lasituksesta	Riippuu lasituksesta

Taulukosta nähdään, että tekniikoilla on vaikutusta energiatehokkuuteen ja niillä voidaan parantaa sitä paljonkin. Kuitenkin vanhoissa taloissa on paljon muitakin tekijöitä, jotka vaikuttavat energiatehokkuuteen. Tällöin yksittäisten tekniikoiden käyttö, esimerkiksi lasituksen vaihtaminen, ei paranna energiatehokkuutta niin paljoa, että sitä olisi kannattavaa käyttää tässä esimerkikohteessa.

Monet tekniikat tarvitsevat vielä lisätutkimuksia ja kehittelyä, ennen kuin niitä voidaan käyttää normaalissa rakentamisessa. Tekniikat ovat kuitenkin tehokkaita luonnonvalon hyödyntämisen kannalta ja niitä voidaan varmasti hyödyntää tulevaisuudessa niin valaistuksen avustamisessa kuin rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa. Esimerkikohteessa kannattaa käyttää tavallisia lasituksia, jollei tahdo maksaa suuria summia ylimääräistä. Tavallisten ikkunoiden rinnalla kuitenkin kannattaa käyttää myös kattoikkunoita ja/tai valoputkia, joilla voidaan parantaa luonnonvalon pääsyä yleisiin tiloihin.

Jotta tekniikoista saataisiin suurin hyöty, kannattaisi niitä käyttää useita yhtä aikaa. Esimerkiksi ikkunoita ja valoputkia voidaan käyttää kumpiakin ja siten luoda optimaalisemmat valaistusolosuhteet. Koska Suomessa valon kulma ja voimakkuus vaihtelevat eri vuodenaikoina suurestikin, soveltuvat eri tekniikat hieman eri tilanteihin. Esimerkiksi kesäisin valon tullessa suurimmaksi osaksi korkeasta kulmasta, voitaisiin kattoikkunoita hyödyntää paremmin kuin tavallisia ikkunoita. Vastaavasti talvella, kun auringonvalo tulee suurimmaksi osaksi matalammalta, voidaan tavallisia ikkunoita hyödyntää paremmin.

Kaikkein vaikuttavin tekijä tekniikan käyttöön on loppujen lopuksi saneerauksen budjetti. Jos budjetin suuruudella ei ole mitään väliä, kannattaa erilaisia tekniikoita ehdottomasti käyttää energiatehokkuuden ja asumisviihtyisyyden parantamiseksi. Jos saneeraukselle on kuitenkin annettu tarkka kustannusten yläraja, eivät tekniikat ole kovinkaan käytettäviä kalliiden hintojensa takia. Ne eivät tässä tapauksessa tule maksamaan itseään takaisin kovinkaan nopeasti.

6 YHTEENVETO

Luonnonvaloa voidaan hyödyntää monella tavalla rakennusten valaistuksessa. Sen rinnalla tulee kuitenkin aina käyttää sähkövalaistusta kunnollisten valaistusolosuhteiden saavuttamiseksi. Luonnonvalon avulla voidaan myös säästää jonkin verran energiaa, säästön suuruus riippuu paljon vuodenajasta ja käytetystä hyödyntämistekniikasta. Energiansäästön ja energiatehokkuuden parantamisen lisäksi luonnonvaloa kannattaa valaistuksessa hyödyntää ihmisen hyvinvoinnin takia. Luonnonvalolla on paljon hyviä vaikutuksia ihmisen fyysiseen sekä henkiseen hyvinvointiin.

Suomessa luonnonvalon saatavuus riippuu pääasiassa vuodenajoista. Talvella valoa on vähemmän, joten sen hyödyntäminen vaikeutuu. Kesällä taas saattaa valoisaa olla vuorokaudenkin ympäri. Aurinkoisella säällä auringon säteilystä saattaa aiheutua tilojen liiallista lämpenemistä, jota täytyy pystyä luonnonvaloa hyödyntäessä torjumaan. Tämä voidaan tehdä erilaisilla kaihtimilla ja verhoilla. Näillä voidaan valoa muutenkin säädellä tehokkaasti.

Suurin osa lasituksista, joiden avulla luonnonvaloa voidaan hyödyntää valaistuksessa, on vielä vasta kehitysasteella. Kaikkia niiden ominaisuuksia ei vielä tarkalleen tiedetä ja koska ne ovat sen verran uusia tekniikoita, ei niiden kestävyyttä tavallisessa käytössä ole voitu vielä täysin tutkia. Tulevaisuudessa niiden käyttö tulee kuitenkin lisääntymään varmasti, sillä niiden avulla rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa ja samalla mukavoittaa valaistusolosuhteita.

Valoputkia käytetään nykyään vielä melko vähän. Niillä voitaisiin kuitenkin saada luonnonvaloa tiloihin, joissa ikkunoiden käyttäminen ei ole mahdollista. Suomessa valoputkien käyttö on kannattavaa, vaikka Suomessa auringon säteily tuleekin melko matalassa kulmassa ja aiheuttaa näin enemmän heijastusta putken pintaa pitkin. Valoputket toimivat kuitenkin aina pelkkänä sähkövalaistuksen lisänä, sillä niistä ei saa tarpeeksi valaistustehoa yksinään.

Kattoikkunoita hyödynnetään valaistuksessa nykyään jo melko paljon. Niitä on erityisesti kerrostalojen käytävätiloissa ja julkisissa rakennuksissa, mutta myös omakotitaloissa

luomassa viihtyisämpää valaistusta. Kattoikkunoita hyödyntäessä tulee aina niissä käyttää jonkinlaisia kaihtimia tai verhoja, joilla voidaan estää epämukavat olosuhteet huonetilassa.

Vanhassa saneerattavassa kerrostalossa työssä käytyjä tekniikoita ei välttämättä kannata käyttää niiden kalliiden hintojen takia. Vaikka tekniikoilla voidaankin parantaa rakennusten energiatehokkuutta, on vanhoissa rakennuksissa paljon muita häviöitä. Tästä aiheutuu se, että esimerkiksi pelkkien ikkunoiden vaihtaminen ei vaikuta kovinkaan paljoa rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuden parantamiseksi. Jos kuitenkin halutaan parantaa valaistusolosuhteita ja saneerauksen budjetilla ei ole niinkään väliä, soveltuvat tekniikat hyvin myös tavallisiin asuinrakennuksiin.

LÄHTEET

Alghoul, M.A. Bakhtyar, B. Elayeb, OmKalthum. et al. 2015. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volyymi 42. 324–326, 335, 337 ISSN 1364-0321.

Alppilux. Energiätehokkuus. Valaistuksen energiätehokkuus. [Verkkosivu]. [Viitattu: 1.3.2015]. Saatavissa: <http://www.alppilux.fi/fi/energiatehokkuus/energiatehokkuus>

Boccia, Oreste. Zazzini, Paolo. 2014. Daylighting in buildings equipped with traditional or innovative sources: A critical analysis on the use of the scale model approach. *Energy and Buildings*. Volyymi 86. 377–378. ISSN 0378-7788.

Chaiwiwatworakul, Pipat. Chirarattananon, Surapong. Exell, Robert H.B.. Taengchum, Thanyalak. 2014. Tracing of daylight trough circular light pipes with anidolic concentrators. *Solar Energy*. Volyymi 110. 818–819. ISSN 0038-092X

E3T. 2014. Aerogel Insulated double-glazed windows. Washington State Universityn ylläpitämä verkkosivu. [Viitattu: 30.3.2015]. Saatavissa: <http://e3tnw.org/itemdetail.aspx?id=290>

Ecofine nanotechnologies. [Kuva]. Ecofinen verkkosivu. [Viitattu: 27.2.2015]. Saatavissa: <http://www.ecofine.it/allegati/upload/20120414/20120414113052aer9.jpg>

Efficient Windows Collaborative. 2014. Emerging glass Technologies. [Verkkosivu]. Windows for high-performance commercial buildings:in verkkosivu.[Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: http://www.commercialwindows.org/adv_glass.php

Glass Education Center. What is low-E Glass? [Verkkosivu]. PPG:n verkkosivu. [Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: http://educationcenter.ppg.com/glasstopics/how_lowe_works.aspx

Heimonen, Ismo. Hemmilä, Kari. 1999. Eristyslasin täytekaasun ja lasien toimivuus ja toteaminen. [Verkkajulkaisu]. VTT:n tiedote. [Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1963.pdf>

Heimonen, Ismo. Hemmilä, Kari. Saarni, Risto. 1999. Tulevaisuuden ikkunoiden kehityspäruusteet ja valinta. [Verkkajulkaisu]. VTT:n tiedote. [Viitattu: 27.2.2015]. Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1939.pdf>

Helenius, Tapio. 2000. Onko SunPipe tuttu juttu? [Viestikeskustelu]. Googlen ryhmäkeskustelu rakentamisesta. [Viitattu: 28.2.2015]. Saatavissa: <https://groups.google.com/forum/#!msg/sfnet.keskustelu.rakentaminen/DBmkyItr-OU/jKv2ZCPp0LgJ>

Hu, Jia. Olbina, Svetlana. 2011. Illuminance-based slat angle selection model for automated control of blinds. *Building and Environment*. Volyymi 46. Numero 3. 786–787, 795. ISSN 0360-1323.

Hu, Jia. Olbina, Svetlana. 2012. Daylighting and thermal performance of automated split-controlled blinds. *Building and Environment*. Volyymi 56. 127–128. ISSN 0360-1323.

Ikkunawiki a. Tuloilmaikkunat. [Verkkosivu]. [Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: <http://www.ikkunawiki.fi/ilmanvaihto/tuloilmaikkuna/>

Ikkunawiki b. Tuloilmaikkunat [Kuva]. Ikkunawikin verkkosivu. [Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: <http://www.ikkunawiki.fi/ilmanvaihto/tuloilmaikkuna/>

Jung, H. J. Lee, J.B. Lee, J.W. Yoon, Y. 2013. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing heat gain and daylighting elements. Renewable Energy. Volyyymi 50. 522. ISSN 0960-1481.

Lampputieto a. Kelvin - värilämpötila. [Verkkosivu]. Motivan ylläpitämä verkkosivu. [Viitattu: 26.2.2015]. Saatavissa: <http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-varilampotila/>

Lampputieto b. Lumen - valon määrä. [Verkkosivu]. Motivan ylläpitämä verkkosivu.[Viitattu: 26.2.2015]. Saatavissa: <http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/lumen-valon-maara/>

Lampputieto c. Luksi - Valaistusvoimakkuus. [Verkkosivu]. Motivan ylläpitämä verkkosivu. [Viitattu: 26.2.2015]. Saatavissa: <http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus/>

Lepistö, Juho. 2014. Auringonsuojausjärjestelmien vertailu määräysten, viihtyvyyden ja kustannusten näkökulmasta asuinrakennuksissa. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 57 sivua.

Monodraught. Natural Daylight. [Verkkosivu]. [Viitattu: 15.2.2015]. Saatavissa: <http://www.monodraught.com/natural-daylight/#productsTab>

Motiva. 2014. Sisävalaistus. [Motivan verkkosivuilla]. [Viitattu: 24.2.2015] Saatavissa: http://motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/valaistus/sisavaalaistus

Müeller, Helmut F. O. 2013. Chapter 9 – Daylighting. Teoksessa: Sayigh, Ali. Sustainability, Energy and Architecture. 227–228. ISBN 978-0-12-397269-9.

Nieminen, Jyri. 2010. Eko- ja energiatehokkuus alueiden ja rakennusten uudistamisessa. [Power Point – esitys]. VTT:n verkkosivu. [Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: http://www.vtt.fi/Documents/nieminen_eko_energiatehokkuus_vtt2010.pdf#search=energi_atehokkuus

Plášek, Josef. Mohelníková, Jitka. Ondřej, Šikula. 2014. Thermal analysis of light pipes for insulated flat roofs. Energy and Buildings. Volyymi 85. 436–438. ISSN 0378-7788.

Pyly, Petri. 2014. Uudet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamisessa – Opas taloyhtiöille. 1. Painos. Kiinteistöalan Kustannus. 112. ISBN 978-951-685-352-2.

Pyly, Petri. Virta, Jari. 2011. Taloyhtiön energiakirja. 1. Painos. Kiinteistöalan Kustannus. 192. ISBN 978-951-685-276-1.

RTS 07:36. 2007. Päivänvalo ja auringonsuojaus. [RT-ohjekortti]. Rakennustiedon verkkojulkaisu. [Viitattu: 5.4.2015]. Saatavissa: http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/attachments/5fIPeDhrH/5s8MxmRBX/Files/CurrentFile/rt-lausunnoteksti07_36.pdf

Saarinen, Kari. 2014. Miten tuloilmaikkuna toimii. [Blogikirjoitus]. Ikkunablogin verkkosivu. [Viitattu: 1.4.2015]. Saatavissa: <http://www.ikkunablogi.fi/2014/12/miten-tuloilmaikkuna-toimii.html>

Karlsson, Fredrik. Mosfeg, Bahram. 2013. Chapter 12 – A Low-Energy Building Project in Sweden – the Lindås Pilot Project. Teoksessa: Sayigh, Ali. Sustainability, Energy and Architecture. 334–335. ISBN 978-0-12-397269-9.

SFS-EN 12464-1. 2010. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. [SFS Standardi] Suomen standardoimisliitto. [Viitattu: 19.2.2015].

SFS-EN 15193. 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. [SFS Standardi]. Suomen standardoimisliitto. [Viitattu: 19.2.2015].

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C4. 2003. Lämmöneristys, ohjeet. [Verkkojulkaisu]. Ympäristöministeriön verkkosivu. [Viitattu: 19.2.2015]. Saatavissa: <http://www.ymp.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. [Verkkojulkaisu]. Ympäristöministeriön verkkosivu. [Viitattu: 19.2.2015]. Saatavissa: <http://www.ymp.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. [Verkkojulkaisu]. Ympäristöministeriön verkkosivu. [Viitattu: 2.3.2015]. Saatavissa: <http://www.ymp.fi/rakentamismaaraykset>

Forsell, Petri. 2015. Ikkuna viisastuu. Tiede. Volyymi 3.18 – 19. ISSN 1457-9030.

van Bommel, Wout J. M. 2006. Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting in work. Applied Ergonomics. Volyymi 37. Numero 4. 461–464. ISSN 0003-6870.

Varteva, Risto. 2005. Aerogeeli avaruuteen ja arkipäivään. [Verkkoartikkeli]. Tiede-lehden verkkosivu. [Viitattu: 27.2.2015]. Saatavissa: http://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/aerogeeli_avaruuteen_ja_arkipaivaan

Velux. 2015. Tuotteet ja hinnat. [Tuotehinnasto]. Velux:in tuotesivu. [Viitattu: 31.3.2015]. Saatavissa: http://www.velux.fi/fi-FI/all_lists/Documents/VELUX_hinnasto%202015_web.pdf

Velux a. Energiatehokkuus; Pehdy ilmansuuntiin. [Verkkosivu]. Velux – kattoikkunoiden tuotesivu. [Viitattu: 29.3.2015]. Saatavissa: http://www.velux.fi/kuluttaja/kestava_asuminen/energiatehokkuus/huomioi_auringon_kiertorata

Velux b. Kodin sisäilma; Hyödynnä päivänvaloa oikein. [Verkkosivu]. Velux – kattoikkunoiden tuotesivu. [Viitattu: 29.3.2015]. Saatavissa: http://www.velux.fi/kuluttaja/kestava_asuminen/kodin_sisailma/hyodynnna_paivanvaloa_oikein

Velux c. Kodin sisäilma; Säädä valoa ja lämmitystä verhoilla. [Verkkosivu]. Velux – kaihdinten tuotesivu. [Viitattu: 29.3.2015]. Saatavissa: http://www.velux.fi/kuluttaja/kestava_asuminen/kodin_sisailma/saada_paivanvaloa_ja_lammitysta_verhoilla

Vesilahti, Antti. 2013. 1970-luvun pientalojen korjauskonseptit. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 53 sivua.

Webb, Ann R. 2006. Considerations for lighting in the built environment: Non visual effects of light. *Energy and Buildings*. Volyymi 38. Numero 7. 722–723. ISSN 0378-7788.

Yao, Jian. Zhu, Neng. 2012. Evaluation of indoor thermal environmental, energy and daylighting performance of thermotropic windows. *Building and Environment*. Volyymi 49. 285. ISSN 0360-1323.

Yle. 2012. Energiapihit ikkunat katkaisivat kännykkäyhteydet. [Verkkouutinen]. Ylen verkkosivu. [Viitattu: 3.4.2015]. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/energiapihit_ikkunat_katkaisivat_kannykkayhteydet/5060395

Ympäristöministeriö. 2015. Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö. [Ympäristöministeriön verkkosivu]. [Viitattu: 2.3.2015]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto