

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Arkkitehtuurin koulutusohjelma

Timo Silomaa

AURINKOLÄMPÖ JA KORJAUS- RAKENTAMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: Kari Salonen, rakennusopin professori

29.4.2011

TIIVISTELMÄ

AVAINSANAT: Aurinkoenergia, aurinkolämpö, uusiutuvat energianlähteet, korjausrakentaminen, energiatehokkuus, rakennuksen vaippa, ulkoseinärakenteet

Betonilähiöiden korjausrakentaminen on Suomessa tullut ajan-kohtaiseksi. Tässä työssä selvitetään rakennuksen julkisivuun integroitujen aurinkolämpösystemien hyödyntämismahdollisuuksia korjausrakentamiskohteissa. Esimerkkikohteena toimii Tampereen Kaukajärvellä sijaitseva asunto-osakeyhtiö Saarenkuokka.

Työ jakaantuu tutkimus- ja suunnitteluosuuteen. Tutkimusosuudessa selvitetään auringonsäteilyn riittävyyttä Suomessa ja erityisesti sen määrää lämmityskaudella. Auringonsäteilyn määrä jää vähäiseksi, marras – joulukuussa. Mutta kun aurinkokeräimet on rakennettu, ne tuottavat hyötyä myös marras – tammikuussa ja taloudellisesti kannattaviksi ne tekee lämmityskauden muut kuukaudet, jolloin auringonenergiaa saadaan Suomessakin riittämiin.

Sen lisäksi tutkimusosuudessa selvitetään erilaisten aurinkolämpökeräinteknologioiden ominaisuuksia ja erityisesti kiinnitetään huomiota aurinkokeräinten näkyvien osien eli katteiden ja absorptiopintojen erilaisiin väri vaihtoehtoihin. Aurinkokeräinten ei enää tarvitse olla mustia vaan useita eri väri vaihtoehtoja on jo olemassa ja lisää kehitellään jatkuvasti. Aurinkokeräinten arkkitehtonisesti hyväksyttävä integroiminen rakennuksiin tulee jatkuvasti helpommaksi.

Suunnitteluosuudessa esitellään Saarenkuokan alkuperäinen tilanne; suunnitelma, jossa asunto oy:n rakennukset on lisäeristetty ja verhottu julkisivulevyillä; suunnitelma, jossa rakennukset on lisäeristetty, verhottu julkisivulevyillä ja eteläseiniin on integroitu aurinkolämpökeräimet sekä suunnitelma, jossa rakennusten eteläsivut on verhottu valoa läpäisevällä eristeratkaisulla. Suunnitelmissa esitellään ratkaisujen ulkonäkö,

rakenteet ja vaikutus rakennusten energiatalouteen sekä verrataan ratkaisuja keskenään. Suunnitelmien perusteella voidaan todeta, että seinä, johon on yhdistetty aurinkolämpökeräin, on kalliimpi toteuttaa kuin perinteisellä tavalla verhoiltu lisäeristetty seinä. Aurinkokeräinseinä tuottaa kuitenkin niin paljon lämpöä, että se maksaa itsensä takaisin huomattavasti nopeammin.

Diplomityö on osa TTY:n Energiatehokas lähiökorjaaminen (ENTELKOR) tutkimushanketta, jossa etsitään ratkaisuja suomalaisten lähiöiden energiatehokkaaseen korjaamiseen ja lähiöiden uuteen ekologisempaan estetiikkaan.

ABSTRACT

KEYWORDS: Solar Energy, Solar Heating, Renewable Energy, Building Renovation, Energy Efficiency, Building Skin

The renovation of the suburbs that were built in the 1970s is a necessity in today's Finland. This master's thesis examines building skin integrated thermal solar collectors and their utilization possibilities in the renovation of buildings. An existing apartment complex at Kaukajärvi at Tampere was chosen to serve as a basis for the renovation projects.

The thesis is divided into two parts: a research and a design part. In the research part the amount of solar radiation available in Finland is examined particularly in the heating season. The amount of solar radiation is small during the months from November to January. But when the solar collectors have been installed they will produce heat also during those months. Economically viable they become during the rest of the heating period from February to May and from September to October when the solar radiation is sufficient even in Finland.

The research part also examines the properties of different solar heating technologies particularly the visible parts of the solar collectors the cover and the absorption plate. Solar collectors need not to be black anymore. They can be several different colors. The integration of solar collectors into buildings in architecturally acceptable ways is becoming easier.

The design part of this thesis introduces the current situation of the demonstration project; a design to add insulation to the building skins and new cladding; a design to add insulation to the building skins, new cladding and to integrate solar collectors to the south façades and a design to add transparent insulation to the south facades. The physical appearance, structure and effect on the thermal properties of each design are examined and the designs are compared with each other. While integrating solar collectors into the facades is initially more

expensive the payback period is considerably shorter than the payback period of a more conventional design.

This master's thesis is part of the research project ENTEL-KOR at Tampere University of Technology. The goals of the project are to examine innovative solutions to the renovation of the Finnish suburbs consisting of concrete apartment buildings.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 13

1.1 Työn rakenne ja tavoitteet 14

1.2 Tutkimuksen suoritus 15

2. AURINKOENERGIA 17

2.1 Aurinkogeometriaa 18

2.1.1 Auringon kulkureitti 20

2.1.2 Ajantasaus 25

2.3 Aurinkoenergian määrä Suomessa 29

2.3.1 Auringonsäteilyn heijastuminen maanpinnasta 35

2.4 Sään vaikutus aurinkoenergian saatavuuteen 38

2.5 Ympäristön vaikutus aurinkoenergian saatavuuteen 47

2.5.1 Ilmansuuntien vaikutus aurinkoenergian saantiin 47

2.5.2 Varjostavien elementtien vaikutus 48

2.5.3 Vapaa vertikaali auringonpaistekulma 50

2.5.4 Vapaa horisontaali auringonpaistekulma 50

2.5.5 Vapaiden auringonpaistekulmien yhteisvaikutus 52

2.5.6 Aurinkoenergian tarve vs. saatavuus 52

3. AURINKOENERGIASYSTEEMIT 57

3.1 Lasin auringonsäteilyn läpäisykyky 57

3.1.1 Valon heijastuminen lasista 58

3.1.2 Säteilyn absorboituminen lasiin 61

3.1.3 Heijastumisen ja absorboitumisen yhteisvaikutus 62

3.1.4 Auringon kulkureitin vaikutus säteilyn tulokulmaan 63

3.2 Absorptiopinta - Aallonpituus-selektiiviset absorptiopinnat 64

3.2.1 Absorptiopinnan toiminnan fysiikan perusteita 64

3.2.2 Värien vaikutus 64

3.2.3 Maalit 66

3.2.4 Katteet 69

3.3 Keräimen energiantuotanto 71

3.4 Aktiiviset aurinkolämpökeräimet 73

3.4.1 Tyhjiöputkikeräimet 73

3.4.2 Tasokeräimet 76

3.5 Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen 80

3.6 Passiivisia aurinkoenergia ratkaisuja 82

3.6.1 Trombe-seinä 88

3.6.2 Valoa läpäisevät eristeet 89

3.6.3 Ikkuna-aurinkokeräin 95

3.7 Ilmakierto 97

3.7.1 Lasittamaton rei'itetty tasokeräin 97

3.7.2 Katetut ilmakiertoiset tasokeräimet

4. AURINKOENERGIA KORJAUSRAKENTAMISESSA 103

4.1 Korjausrakentamisen yleiset haasteet ja vaatimukset aurinkoenergiaratkaisujen soveltamiselle 106

4.1.1 Haasteet 106

4.1.2 Vaatimukset 106

4.2 Esimerkkikohde 108

4.3 Esimerkkikohteen alkutilanne 110

4.3.1 Periaatepiirustuksia 114

4.3.2 Pohjat ja julkisivut 116

4.4 Esimerkkikohteen olosuhteet 128

4.4.1 Tuulisuusanalyysi 124

4.4.2 Aurinkoanalyysi 129

4.4.3 Aurinkoenergian määrä
esimerkkikohteessa 128

4.5 Aurinkokeräinten hyötysuhde 142

4.5.1 A-rakennus 143

4.5.2 C-rakennus 147

4.5.3 D-rakennus 151

4.6 Vaihtoehtoiset peruskorjaus- suunnitelmat 159

4.7 Perinteinen lisäeristäminen 160

4.7.1 Periaatepiirustuksia 161

4.7.2 Pohjat ja julkisivut 63

4.7.3 Laskelmat 170

4.8 Integroitu aurinkolämpökeräin 172

4.8.1 Periaatepiirustuksia 174

4.8.2 Pohjat ja julkisivut 178

4.8.3 Laskelmat 185

4.9 Valoaläpäisevä eriste 188

4.9.1 Periaatepiirustuksia 190

4.9.2 Pohjat ja julkisivut 192

4.9.3 Laskelmat 194

4.10 Perinteisen lisäeristämisen ja integroitujen aurinko- keräinten vertailu 198

4.10.1 Kustannusarvio 198

4.10.2 Lisäeristämisen ja eriytetyn
julkisivuverhouksen
takaisinmaksuaika 200

4.10.3 Aurinkokeräimien
takaisinmaksuaika 201

4.10.4 Vertailu 204

4.10.5 Kustannusarvioista 205

5. JOHTOPÄÄTÖKSET 207

5.1 Auringonsäteilyn riittävyys Suomessa 207

5.2 Keräinteknologioiden soveltuminen rakennusten julkisivuihin integrointiin 208

5.3 Aurinkokeräinten taloudellisuus 209

5.4 Lopuksi 209

LÄHTEET 210

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Aallonpituusselektiivinen absorptiopinta	Pinta, joka absorboi saapuvasta säteilystä tietyt aallonpituudet ja emittoi tiettyjen aallonpituuksien säteilyä.
Absorptanssi	Materiaalin kyky absorboida auringonsäteilyä itseensä.
Absorptio	Osuus saapuneesta säteilystä, jonka materiaali imee itseensä.
Absorptiopinta	Aurinkokeräimessä pinta, joka absorboi itseensä auringonsäteilyä ja näin muuttaa sen lämmöksi.
Absorptiolevy	Tasokeräimessä oleva levy, joka absorboi itseensä auringonsäteilyä ja näin muuttaa sen lämmöksi.
Aerogeeli	Kiinteä mikrohuukoinen silikaattivaakto, joka on 95 – 99,98 % ilmaa ja jonka tiheys on noin 3 kg/m ³ .
Ajantasaus	Englanniksi: the equation of time. Yhtälö, jolla voidaan laskea kuinka paljon aurinko edistää tai jättää standardi kellonajasta.
Aktiivinen aurinkokeräin	Aktiivisella aurinkokeräimellä tarkoitetaan laitetta, jossa lämmön talteenotto ja siirto tapahtuu koneellisen systeemin avulla.
Albedo	Pinnasta heijastuneen säteilyn suhde saapuneeseen säteilyyn.
Analemma	Kahdeksikko muistuttava kuvio, joka syntyy jos aurinko kuvataan taivaalla vuoden jokaisena päivänä samaan kellonaikaan ja nämä kuvat yhdistetään.
Apheli	Sepiste aurinkoa kiertävän kappaleen radalla kun se on kauimpana auringosta.
ArchiCad	Rakennussuunnittelu tietokoneohjelma.
Atsimuutti	Koordinaatti, joka ilmoittaa taivaalla olevan kappaleen suunnan maata pitkin. Ilmoitetaan ympyrän astelukuna, yleensä alkaen pohjoisesta myötapäivään, mutta PVGIS ilmoittaa atsimuutin alkaen etelästä sekä itään että länteen asteikolla -180° - +180°.
Auringon kulkureitti	Auringon näennäinen reitti taivaankannella vuodenaikojen ja kellonaikojen vaihdellessa.
Auringonpaisteen kynnysarvo	Auringonsäteilyn intensiteetti, joka vaaditaan että pinnalle saapuva auringonsäteily määrä lasketaan auringonpaisteeksi. (120 W/m ²)
Aurinkoenergiateknologia	Teknologia, jolla auringonsäteilyn sisältämä energia muutetaan joko lämmöksi tai sähköksi.
Aurinkoilmalämpökeräin	Aurinkolämpökeräin, jossa lämpöä siirtävänä aineena käytetään ilmaa.
Aurinkolämpökeräin	Auringon säteilyä lämpöenergiaksi muuttava laite.
Aurinkokeräin	Aurinkolämpökeräin.
Aurinkopaneeli	Aurinkosähköpaneeli.
Aurinkosähköpaneeli	Auringonsäteilyn sisältämää energiaa sähköksi muuttava laite.

Aurinkovakio	Auringosta tulevan säteilyn teho pinta-ala yksikköä kohti planeetan kaasukehän ulkorajalla.
Betonisandwichementti	Rakennuselementti, jossa kahden betonikerroksen välissä on eriste.
Cirruspilvi	Yläpilviin kuuluva untuvapilvi.
Cumuluspilvi	Kumpupilvi
Cumulonimbuspilvi	Kuuropilvi
Deklinaatio	Auringon kulmaetäisyys ekvaattoritasosta.
Diffuusi auringonsäteily	Haja-auringonsäteily. Auringonsäteily, joka saapuu kohteeseen heijastumien kautta. Esim. ilmakehän molekyyleistä, vesihöyrystä, saasteista heijastunutta auringonsäteilyä.
EcoDesigner	Rakennusten energiankulutusta simuloiva tietokoneohjelma.
Efektiivinen U-arvo	Rakenteen U-arvo, jossa on otettu huomioon rakenteen auringonsäteilystä kaappaaman lämpöenergian tuoma hyöty.
Ekvaattoritaso	Kuvitteellinen taso, joka halkaisee maan kahtia ekvaattoria eli päiväntasaajaa pitkin.
Emittanssi	Materiaalin kyky emittoida lämpösäteilyä. Aurinkokeräimien tapauksessa pienempi emittanssi on parempi.
Emittoida	Säteillä energiaa tai hiukkasia. Aurinkokeräimien tapauksessa säteillä lämpöä.
ENTELKOR	Tampereen teknillisen yliopiston projekti, jossa tutkitaan energiatehokasta lähiökorjaamista.
Hyötysuhde	Osuus saapuvan auringonsäteilyn energiamäärästä jonka aurinkoenergia-laite muuntaa hyödynnettäväksi lämmöksi tai sähköksi.
Ikkuna-aurinkokeräin	Ikkuna, jonka lasien välisessä tilassa kiertää ilma, joka lämpenee lasien välissä olevan säleikön, joka absorboi auringonsäteilyä, avulla.
Integroiminen	Laitteen tai teknologian liittäminen rakennuksen tai rakenteen olennaiseksi osaksi.
Intensiteetti	Suure, joka ilmoittaa kuinka paljon energiaa kulkee aikayksikössä pinta-alayksikköä kohden.
Linken sameus	Kertoo kuinka paljon ilmassa olevat hiukkaset vaimentavat auringonsäteilyä suhteessa kuivaan ja kirkkaaseen ilmaan.
Lämmitystarveluku	Sisä- ja ulkolämpötilojen erotus, joka kertoo sen kuinka paljon lämmitystä tarvitaan.
Musta kappale	Fysiikassa käytetty termi ideaalisesta kappaleesta, joka absorboi kaiken siihen kohdistuvan säteilyn eikä heijasta sitä lainkaan. Ihanteellinen absorptiopinta.
Optimikallistuskulma	Keräimen pystykulma, jossa se saa maksimi määrän auringonsäteilyä absorptiopinnalleen. Vaaka-asennossa kulma on 0°, pystysuorassa kulma on 90°.

Passiivinen aurinkokeräin	Passiivisessa aurinkokeräimessä lämmön talteenotto ja lämmön siirto eivät tarvitse koneellista apua.
Periheli	Se piste aurinkoa kiertävän kappaleen radalla kun se on lähimpänä aurinkoa.
PVGIS	Karttapohjainen tietojärjestelmä aurinkoenergian saatavuudesta.
Stratuspilvi	Alapilviin kuuluva sumupilvi
Suhteellinen auringon- paiste aika	Potentiaalisen maksimipaisteajan ja mitatun paisteajan suhde.
Suora auringonsäteily	Ilmakehän läpi suoraan pinnalle saapuva auringonsäteily.
Tasokeräin	Litteä, tason muotoinen aurinkokeräin.
Trombe-seinä	Lasin ja ilmaraon takana oleva massiivinen seinä, joka absorboi ja varastoi siihen osuneen auringonsäteilyn energiaa.
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin. Se ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuus-tilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.(W/m2K)
Valoa läpäisevä	Päästää lävitsensä valoa ja auringonsäteilyä, ei välttämättä ole läpinäkyvä esim. opaalilasi, lasitiili.
Vapaa horisontaali auringon- paistekulma	Aurinkoenergiailaitteen edessä oleva vaakasuuntainen alue, joka on vapaa varjostavista elementeistä.
Vapaa vertikaali auringon- paistekulma	Aurinkoenergiailaitteen edessä oleva pystysuuntainen alue, joka on vapaa varjostavista elementeistä.

Kaavoissa käytetyt kreikkalaiset merkit

α	Absorptanssi
α_1	Valon tulokulma
α_2	Valon taitekulma
α_h	Säteilyn tulokulman vaakakomponentti
α_v	Säteilyn tulokulman pystykomponentti
α_{max}	Auringon suurin mahdollinen korkeuskulma tiettyinä vuorokautena vuodessa.
β	Laitteen kallistuskulma
Δ_t	Aurinkoajan kokonaisvaihtelu
Δ_{tk}	Maan kiertoradasta johtuva aurinkoajan vaihtelu
Δ_{tp}	Maan pyörimisakselin kallistuksesta johtuva aurinkoajan vaihtelu
δ	Deklinaatio

ε	Emittanssi
η	Keräimen hyötysuhde
η_{α}	Osuus keräimen absorboimasta energiasta, joka saadaan hyödynnettyä
η_o	Osuus keräimeen osuneesta säteilyenergiasta, jonka keräimen absorptiolevy pystyy absorboimaan
θ_i	Valonsäteen tulokulma suhteessa pinnan normaaliin
θ_t	Taittuneen valonsäteen kulma suhteessa pinnan normaaliin
τ_{α}	Keräimen efektiivinen absorptiokerroin
ρ	Maanpinna albedo
φ	Leveysaste
ω	Auringon kulmanopeus radalla

Kaavoissa käytetyt aakkoset

a^*	Värin sijainti CIE $L^*a^*b^*$ väriavaruudessa punaisen/magentan ja vihreän välillä
A_c	Aurinkokeräimen pinta-ala
b^*	Värin sijainti CIE $L^*a^*b^*$ väriavaruudessa keltaisen ja sinisen välillä
C^*_{ab}	Metriinen värin vahvuus (metric chroma)
d	Vuorokauden järjestysnumero talvipäivänseisauksesta lähtien
FR	Keräimen lämmönpoistokerroin
G	Kokonaissäteilyn tehotiheys
I	Pinnasta heijastuneen säteilyn intensiteetti
I_k	Säteilyn määrä keräintasolla
I_0	Saapuvan säteilyn intensiteetti
L^*	Värin vaaleus CIE $L^*a^*b^*$ väriavaruudessa
LT	Lasin valonläpäisykyvyn arvo
n_1 ja n_2	Aineiden taitekertoimia
Q_u	Aurinkokeräimen lämmöntuotanto
r	Heijastuskerroin polarisoitumattoman valonsäteen amplitudille
r_p	Heijastuskerroin p-polarisoituneen valonsäteen amplitudille
r_s	Heijastuskerroin s-polarisoituneen valonsäteen amplitudille
R	Pinnasta laitteeseen heijastuneen säteilyn tehotiheys
T_a	Keräintä ympäröivän ilman lämpötila
T_f	Keräimessä olevan nesteen keskimääräinen lämpötila
T_{in}	Keräimeen tulevan nesteen lämpötila
T_{out}	Keräimestä tulevan nesteen lämpötila
U_L	Keräimen U-arvo



1 JOHDANTO

Muutaman vuosikymmenen sisällä siitä kun rakennus on valmistunut, sitä pitää peruskorjata. Syyt peruskorjaustarpeeseen voivat olla moninaisia, tarve korjata ulkovaippaan syntyneitä vikoja tai tarve korjata rapistuneita parvekkeita tai ikkunoita. Muita syitä peruskorjaamiseen voivat olla rakennuksen käyttötarkoituksen muuttaminen, rakennuksen ulkonäön uusiminen, rakennuksessa oleskelumukavuuden lisääminen, käyttökustannusten vähentäminen, LVI teknologian uudistaminen tai muu tarve päivittää rakennuksen ominaisuuksia vastaamaan uusia standardeja.

Olipa syynä remontille mikä tahansa sen yhteydessä tarjoutuu mahdollisuus toteuttaa erilaisia aurinkoenergiahankkeita. Aurinkoenergia on puhdas ja uusiutuva energianlähde ja siksi sillä on paitsi taloudellista myös yhteiskunnallista ja ympäristönsuojelullista merkitystä. Rakennuksen korjauksen yhteydessä voidaan taloon lisätä lasitetut parvekkeet ja/tai muita lasitettuja lämmittämättömiä tiloja, rakennukseen integroitua aurinkokeräimiä ja – paneeleja sekä seiniin valoa läpäiseviä eristeitä. Näillä toimenpiteillä voidaan parantaa rakennuksen rakenteita, energiatehokkuutta ja asukasmukavuutta.

Lasitetuilla parvekkeilla ja muilla lämmittämättömillä lasitetuilla tiloilla voidaan vähentää rakennuksen ilmastuvuotoja, konvektiosta johtuvaa lämpöhäviötä sekä kylmäsilloista johtuvia lämpöhäviöitä. Suuri säästö syntyy myös sillä, että korvausilma, joka otetaan lasitetusta tilasta, on tällöin esilämmitetty¹. Samalla tavalla ja jopa tehokkaamminkin erilaiset

1 Hilliaho (2010)

VIEREINEN SIVU

Kuva 1.1: Espanjan joukkueen rakennus vuoden 2009 Solar Decathlon kisoissa. (U.S. Department of Energy)

kaksoisjulkisivurakenteet ja integroidut aurinkokeräimet voivat auttaa rakennuksen energiataloudessa. Valoa läpäisevillä eristeillä voidaan korvata muuta lisälämmöneristystä, samalla valoa läpäisevät eristeet ja niitten takana oleva julkisivu toimivat aurinkokeräiminä.

Lämpö- ja ilmavuodot rakennuksen vaipan läpi ovat yleensä yksi suurimmista energiahukan aiheuttajista korjausta kaipaavissa rakennuksissa. Näitä energiahäviöitä on tavallisesti korjattu rakennuksen vaipan ilmatiiveyttä parantamalla, lisälämmöneristämällä ja uusimalla ikkunoita. Nämä perinteiset ratkaisut vain vähentävät lämpöhäviöitä. Aurinkoenergiaratkaisuilla pystytään paitsi vähentämään lämpöhäviöitä myös tuottamaan lisäenergiaa.

Kaikki nämä toimenpiteet vaikuttavat voimakkaasti rakennuksen arkkitehtoniseen kokonaisuuteen ja niitten suunnitteluun ja toteutukseen tulisi arkkitehtien ottaa kantaa.

1.1 Työn rakenne ja tavoitteet

Vaikuttaa siltä, että Suomessa on yhä edelleen vallalla käsitys, ettei aurinkoenergian määrä Suomessa ole riittävää, että sitä voitaisiin taloudellisesti hyödyntää. Diplomityön ensimmäisessä osassa selvitetään aurinkoenergian määrää, sen vaihtelua eri vuodenaikoina ja vuorokaudenaikoina. Samalla tutustutaan sään ja eri ympäristötekijöiden vaikutukseen eri saatavan auringonsäteilyn määrään.

Tavoitteena on selvittää riittääkö auringonsäteilyn määrä lämmityskaudella siihen, että aurinkolämpökeräimillä kannattaa tuottaa lämpöä Suomen olosuhteissa. Samalla tutkitaan miten auringonkierron vaihtelut tulisi ottaa huomioon aurinkolämpösystemejä suunnitellessa.

Työn seuraavissa osassa tutustutaan erilaisiin aurinkolämpökeräimiin ja niitten toimintaperiaatteisiin. Aurinkolämpökeräimiä tutkittaessa on pyritty kiinnittämään huomiota keräinten soveltuvuuteen rakennuksiin integroitaviksi. Tämän jälkeen on tutkittu keräinten näkyvien osien eli keräinten katteena olevan lasin ja keräinten absorptiopinnan toimintaan ja

vaikutukseen keräinten ulkonäköön. Erityistä huomiota on kiinnitetty vaihtoehtoihin saada aikaan erivärisiä lämpökeräimiä, joitten hyötysuhde on vähintään tyydyttävä.

Seuraavaksi tutustutaan aurinkolämpöteknologioiden soveltuvuuteen korjausrakentamisessa hyödynnettäviksi. Pohditaan, mitä erityishaasteita korjausrakentamiskohteet tarjoavat ja mitä korjausrakentamiskohteilta vaaditaan, että aurinkolämpösystemien rakentaminen niihin on kannattavaa.

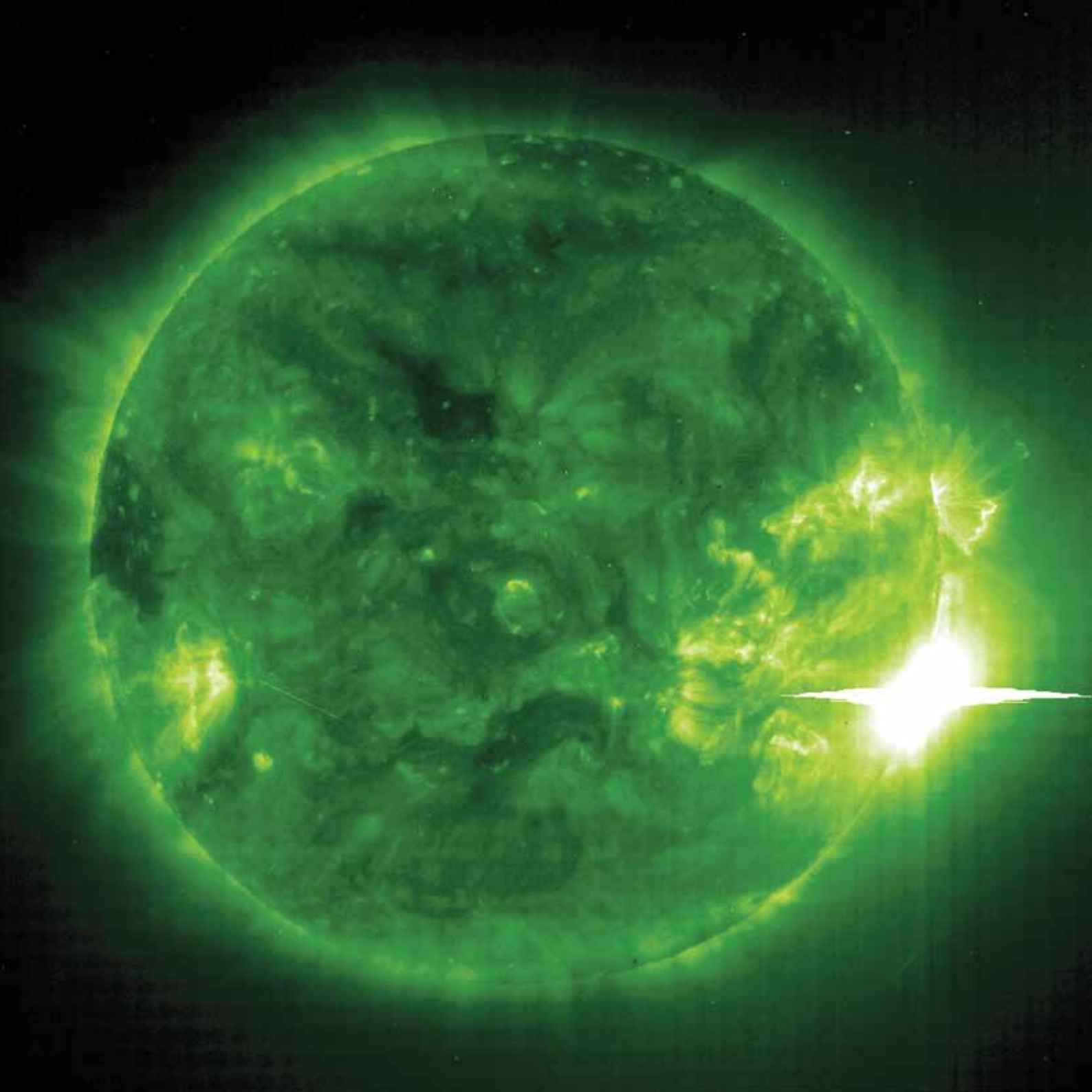
Lopuksi tutkitaan Tampereella sijaitsevaan esimerkkikohteeseen suunniteltujen esimerkkiratkaisujen avulla, mitä erilaisia selvityksiä pitää tehdä selvittäessä aurinkoenergian määrää kohteessa. Selvitysten avulla päätetään missä osissa rakennuksia aurinkokeräimet voivat sijaita ja mikä on niitten potentiaalinen tuotto. Selvitysten perusteella tehtyjen CAD-mallien avulla tutkitaan, miltä eri ratkaisut voisivat näyttää. Viimeiseksi tietokoneella tehtyjen mallinnusten avulla on laskettu kuinka ratkaisuvaihtoehdot vaikuttavat rakennusten lämpötalouteen. Samalla on selvitetty kuinka paljon eri ratkaisut voisivat maksaa ja mikä niitten takaisinmaksuaika voisi olla.

1.2 Tutkimuksen suoritus

Aurinkoenergian saatavuuden selvittämisessä on käytetty PV-GIS ² tietojärjestelmää ja sen webympäristössä käytettävää laskentajärjestelmää sekä NASA:n Applied Sciences Program:in Surface meteorology and Solar Energy ³ websivuston laskentajärjestelmää. Teoreettinen osuus on muutoin tehty kirjallisuusselvityksenä. Esimerkkikohteen mallit ja rakennusten lämmönkulutus laskennat on tehty ArchiCadilla ja ArchiCadin EcoDesigner laajennuksella.

2 Photovoltaic Geographical Information System

3 SSE Release 6.0



2 AURINKOENERGIA

Aurinko on suunnaton fuusioreaktori, jossa 4 miljoonaa tonnia vetyä muuttuu heliumiksi joka sekunti. Näin vapautuneesta energiasta maapallolle saapuu säteilyenergiana $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. Tämä energiamäärä riittäisi kattamaan ihmisten käyttämän energian monikymmentuhatkertaisesti. Auringonsäteilystä maapallolle 47 % muuttuu lämmöksi ilmassa, vedessä ja maassa, 23 % säteilyenergiasta kuluu veden haihduttamiseen ja 30 % säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen. Fotosynteesi käyttää noin 0,02 %. Tuulten, aaltojen ja merivirtojen syntyy kuluu 0,2 %.

Ilmakehän ulkopuolella kohtisuorassa auringonsäteilyä vastaan olevalle pinnalla säteilyn teho on $1,35 - 1,39 \text{ kW/m}^2$, tämä arvo saadaan käsitteestä aurinkovakio. Ilmakehä laskee sitä noin 60 %. Välitön aurinkovakio tarkoittaa sitä energiamäärää, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa sekunnissa tietyn pinta-alan maan pinnalla eli se on noin $0,8 - 1,0 \text{ kW/m}^2$ kirkkaassa auringonpaisteessa ⁴. Mitä pidemmän matkan auringonsäteily joutuu kulkemaan ilmakehän läpi, sitä enemmän välitön aurinkovakio pienenee. Siksi auringonsäteilyn teho on pienempi talvella kuin kesällä ja pienempi illalla ja aamulla kuin päivällä.

Maanpinnalle saapuva säteily on tapana jakaa kahteen ryhmään: suoraan auringonsäteilyyn ja diffuusiin eli hajaauringsäteilyyn. Suoralla auringonsäteilyllä tarkoitetaan ilmakehän läpi suoraan maanpinnalle saapuvaa säteilyä. Hajaauringsäteily on ilmakehän molekyyleistä, ilmakehässä

⁴ Erat et al. (2008)

⁵ Viereisen sivun kuva ©NASA

olevasta vesihöyrystä, saasteista ja pölystä, pilvistä sekä maasta heijastunutta säteilyä. Vastasäteilyä, jota kutsutaan myös kasvihuoneilmiöksi, aiheuttaa ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi, otsoni ja muut ns. kasvihuonekaasut, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. Useimmiten ilmakehän vastasäteily sisällytetään hajasäteilyyn.

Aurinkoisena kesäpäivänä suoran säteilyn määrä on noin 80 % vaakasuoralle pinnalle osuvasta säteilystä. Pilvisenä päivänä taas noin 80 % vaakasuoralle pinnalle osuvasta säteilystä on hajasäteilyä. Suomessa keskimäärin noin 50 % vuotuisesta kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Hajasäteilyn osuus vaihtelee kuitenkin runsaasti eri kuukausina.

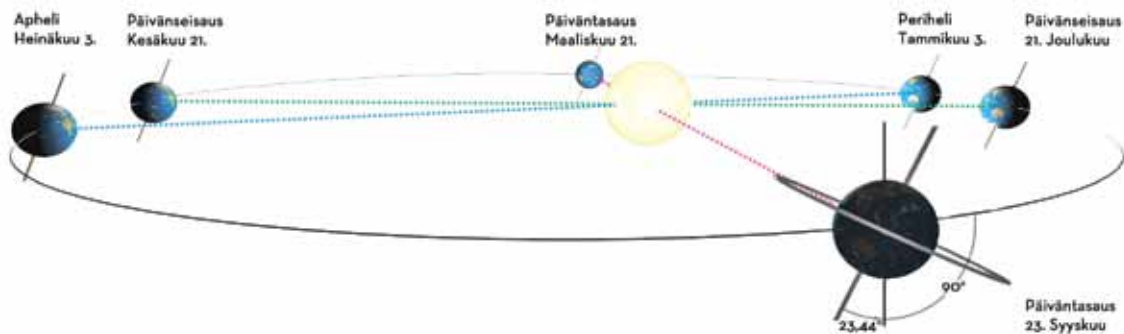
Auringonenergiaa käytetään välillisesti biomassan, tuuli- ja vesivoiman muodossa. Suoraan aurinkoenergiaa voitaisiin hyödyntää sähköä tuottavilla aurinkokennoilla, lämpöä tuottavilla aurinkokeräimillä sekä passiivista aurinkoenergiaa hyödyntävällä rakennus- ja yhdyskuntasuunnittelulla.

2.1 Aurinkogeometriaa

Maapallo kiertää aurinkoa lievästi elliptisellä kiertoradalla, jolla se on lähimpänä aurinkoa n. 147 milj. kilometrin päässä siitä tammikuun toisen ja viidennen päivän välisenä aikana ja kauimpana auringosta n. 152 milj. kilometrin etäisyydellä kesäkuun neljännen ja seitsemännen päivän välillä. Maan etäisyyden muutokset auringosta eivät aiheuta vuodenaikoja, mutta vaikuttavat auringon kulloisenkiin atsimuuttiin. Atsimuutti on suunnan horisontaalinen komponentti eli kompassisuunta, joka mitataan horisonttia pitkin asteissa ($^{\circ}$). Atsimuutti mitataan yleensä alkaen pohjoisesta itään eli myötäpäivään. Se voidaan myös mitata alkaen etelästä. PVGIS ⁵ mittaa atsimuutin alkaen etelästä sekä itään, että länteen asteikolla -180° - $+180^{\circ}$, jossa itä on -90° , etelä on 0° ja länsi on 90° .

Maapallon pyörimisakseli on kallellaan $23,44^{\circ}$ maan rata-tason kohtisuoraa vastaan. Tästä kallistuksesta johtuvat vuodenaajat. Kun pohjoisnapa on kallellaan aurinkoa kohden, auringonsäteily on voimakkaimmillaan ja sitä saadaan pisimpään,

5 Katso luku 2.2 Aurinkoenergian saata-vuuden arviointi.



silloin pohjoisella pallonpuoliskolla on kesä. Talvella pohjoisnapa on kallellaan auringosta poispäin, tästä johtuen päivät ovat pohjoisella pallonpuoliskolla lyhyitä ja aurinko paistaa matalalta.

Auringon korkeus taivaankannella on korkeimmillaan kesäpäivänseisauksena, jolloin aurinko paistaa Tampereella noin 52° kulmassa horisontin tasosta nähden.

Auringon deklinaatiolla tarkoitetaan auringon kulmaetäisyyttä taivaanpallolla ekvaattoritasosta ja vastaa siis leveysastetta maapallolla. Auringon deklinaatio voidaan laskea yhtälöstä

$$\delta = -23,44^\circ \cdot \cos[\omega(d+10)]$$

Kaava 2.1.1

missä δ on deklinaatio, $-23,44^\circ$ on auringonsäteiden kulma ekvaattoritasoon nähden talvipäivänseisauksena, ω on auringon kulmanopeus radalla ja $d+10$ vuorokauden järjestysnumero vuodenvaihteesta laskien, lisättyä vuorokausien määrällä talvipäivänseisauksesta vuodenvaihteeseen.

Koska maapallon kierto auringon ympäri, eli 360° , kestää

Kuva 2.1.1: Maan kiertorata auringon ympäri. Päivänseisauksena päivä on kesällä pisimmillään eli maan akseli on poikittain kiertorataan nähden ja pohjoispää osoittaa lähimmäs aurinkoa, päivänseisauksena talvella on päivä meillä lyhimmillään eli maan akselin eteläpää osoittaa lähimmäs aurinkoa. Päiväntasauksina maan akseli on kiertoradan suuntaisesti ja päivä ja yö ovat samanmittaiset. Maan ollessa aphelissa se on kiertoradallaan kauimpana auringosta, eli noin 152 milj. km etäisyydellä siitä, ja perihelissä ollessaan maa on kiertoradallaan lähimpänä aurinkoa, eli noin 147 milj. km etäisyydellä siitä.

noin 365,25 vuorokautta, voidaan kulmanopeus laskea

$$\omega = 365^\circ / 365,25 \text{ vrk} = 0,986^\circ / \text{vrk}$$

Kaava 2.1.2

Auringon korkeus horisontista keskipäivän aikaan saadaan nyt laskettua tietyllä leveysasteella yhtälöstä

$$\alpha_{\max} = 90^\circ + \delta - \varphi$$

Kaava 2.1.3

missä $\alpha_{\max}$ on suurin mahdollinen korkeuskulma kyseisenä vuorokautena ja φ on leveysaste.

2.1.1 Auringon kulkureitti

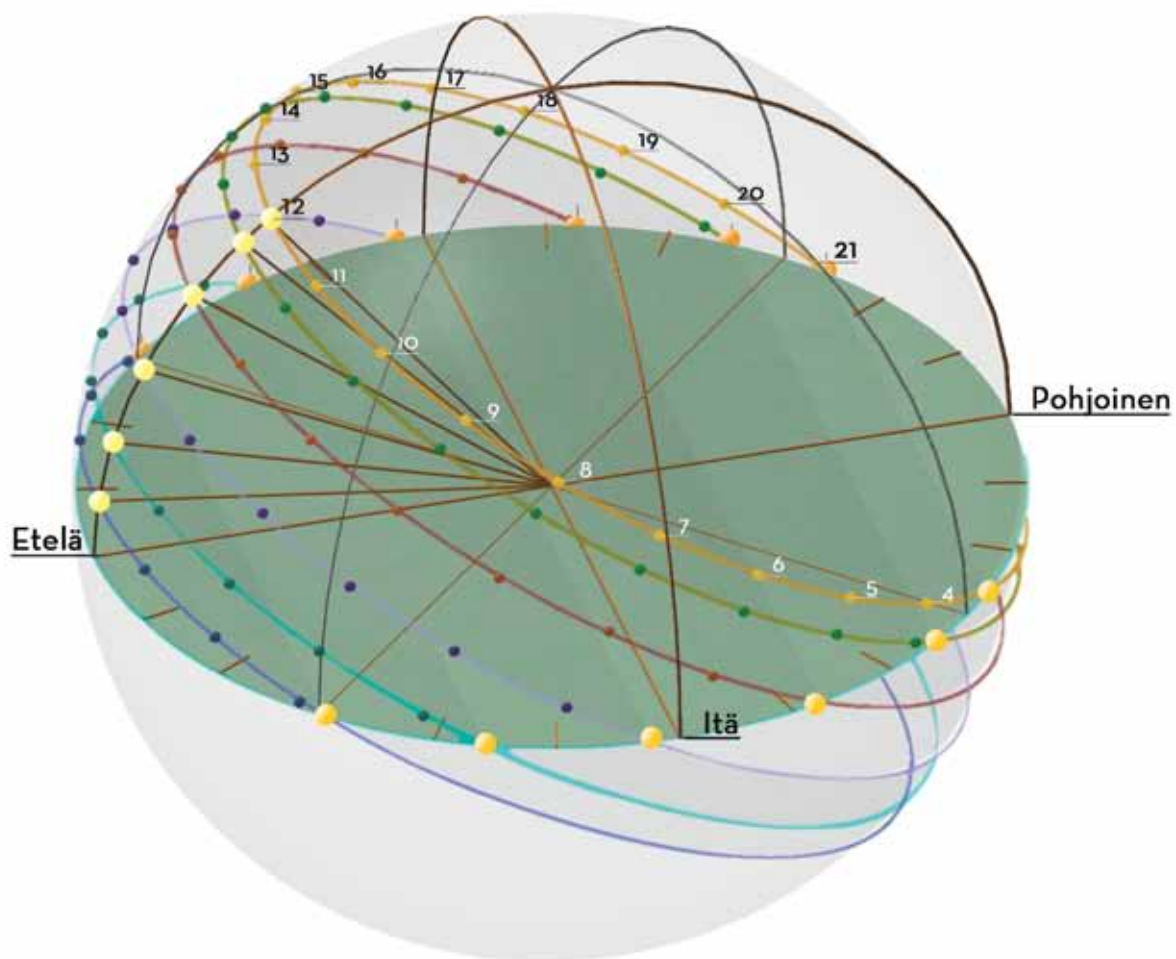
Auringon kulkureitti tarkoittaa auringon näennäistä reittiä taivaankannella vuodenaikojen ja kellonaikojen vaihdellesa. Jotta voitaisiin ymmärtää, miten aurinkoenergalaitteet ja – systeemit kannattaa sijoittaa ja suunnata, tulee tietää, miten auringon kulkureitti vaihtelee. Kulkureitti on erilainen eri leveyspiireillä eli kuten tiedämme esim. Pohjois-Suomessa ja Etelä-Suomessa samana päivänä päivät ovat erimittaisia ja auringon korkeuskulma on eri. Kulkureitissä tapahtuu myös vaihtelua, joka johtuu maan kierrosta auringon ja maan oman pyörimisakselin ympäri.

Kuvassa 2.1.2 havainnollistetaan auringon näennäisiä kiertoratoja kiintopisteen ympäri Tampereen leveyspiirillä. Havaintopiste sijaitsee kuvassa vihreän tason keskipisteessä. Kuvastakin voimme todeta, että auringon nousu- ja laskuajat sekä korkeuskulmat muuttuvat vuodenaikojen vaihtuessa. Voimme myös havaita, että auringon sijainti horisonttiin nähden eri kellonaikoina vaihtelee vuodenaikojen muuttuessa. Esimerkiksi kello yhdeksän auringon atsimuutti vaihtelee tammikuun noin 135° ja kesäkuun noin 120° välillä eli aurinko on horisonttiin nähden suurin piirtein samassa sijainnissa tammikuussa kello yhdeksän kuin kesäkuussa kello kymmenen vaikkakin eri korkeudella.

VIEREINEN SIVU

Kuva 2.1.2: Malli auringon kulkureitistä taivaankannella 61° leveysasteella, eli Tampereen korkeudella, eri kuukausina. Auringon nousu- ja laskuajat sekä keskipäivän auringon korkeuskulmat perustuvat lähteen ⁶ tietoihin.

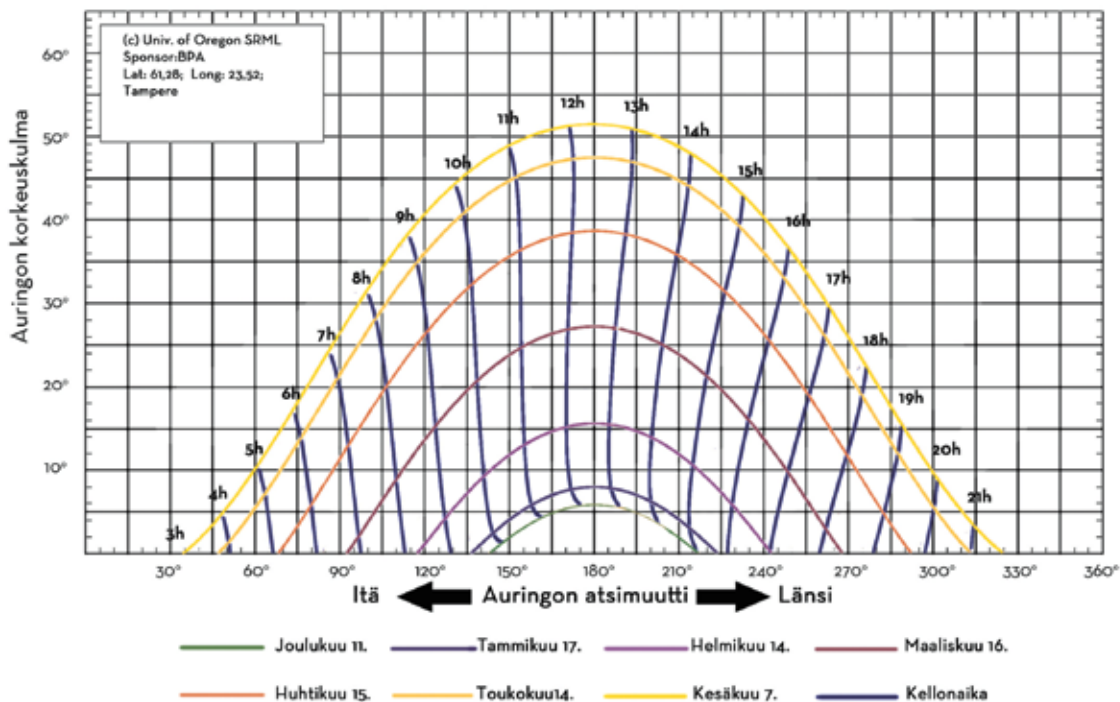
6 NASA (2011)

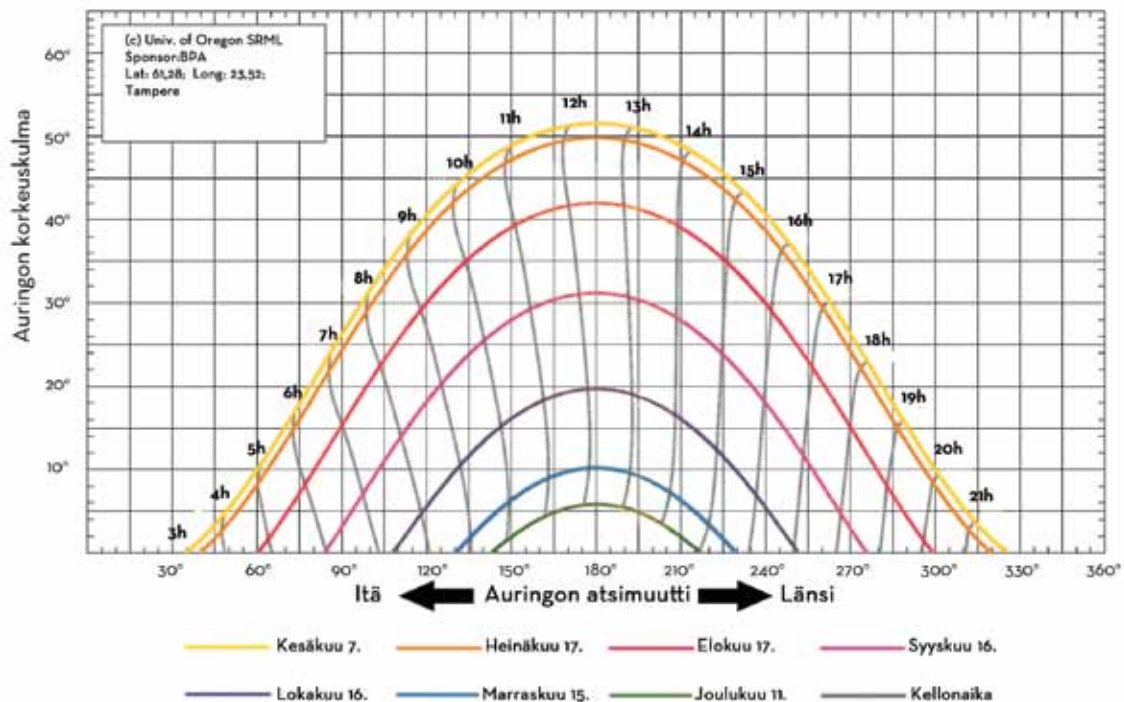


— Tammikuu	— Helmikuu	— Maaliskuu
— Huhtikuu	— Toukokuu	— Kesäkuu

Samalla sektorilla aurinko paistaa eripituiset ajat eri vuodenaikoina. Tästä voidaan päätellä, että eri vuodenaikoina tulee etelään suunnatulle pystysuoralle pinnalle auringonpaistetta eripituiset ajat vaikka aurinko olisikin taivaanrannan yläpuolella. Kuva on yksinkertaistettu, sillä siinä ei huomioida maan kiertoradan lievää elliptisyyttä. Elliptisyydestä seuraa se, ettei maan etäisyys auringosta ole vakio eikä myöskään kiertonopeus ole vakio ympäri vuoden. Kiertoradan epäkeskisyydestä ja kiertonopeuden vaihtelusta seuraa, että aurinko ikään kuin ”edistää” tai ”jätättää”.

Kaavio 2.1.1: Auringon kulkureitti Tampereella kevätkaudella⁷ Kuvaa on selkeyden vuoksi editoitu alkuperäisestä.





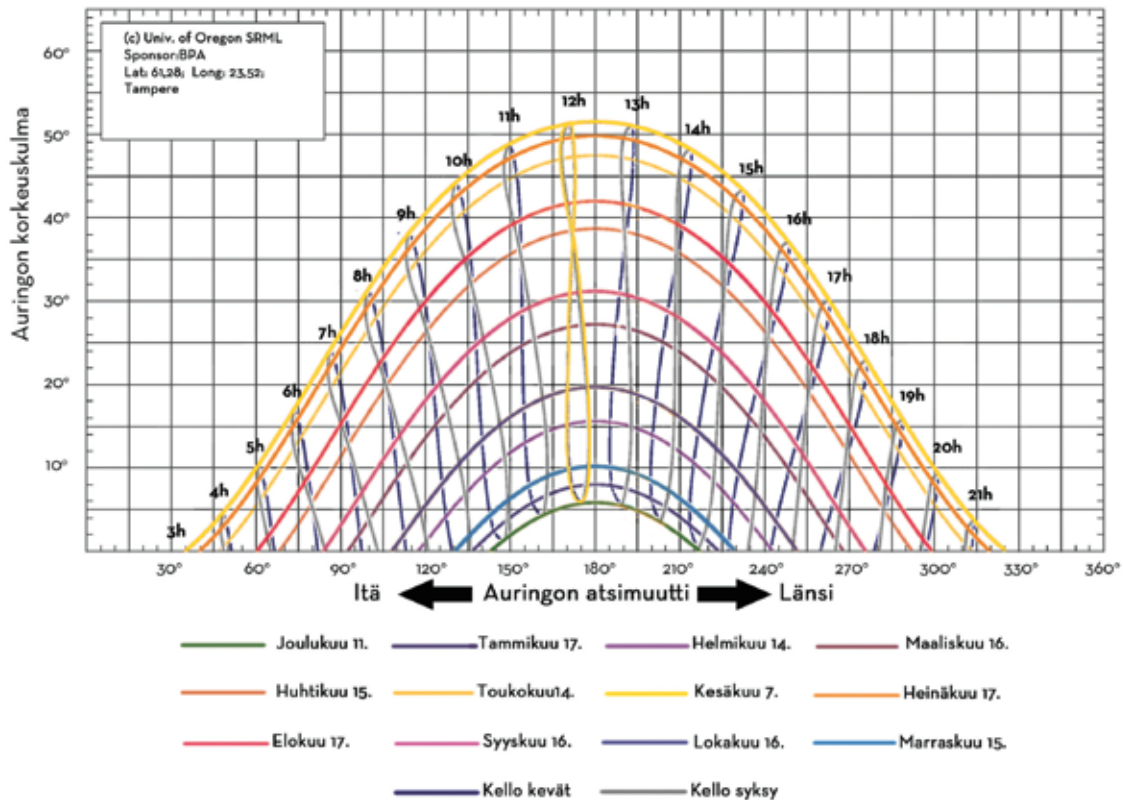
Kaavio 2.1.2: Auringon kulkureitti Tampereella syyskaudella (4) Kuva on selkeyden vuoksi editoitu alkuperäisestä.

Kaavioissa 2.2.1 ja 2.1.2 on esitetty hieman tarkemmin auringon kulkureitti eri kuukausina. Kuten voidaan huomata auringon atsimuutin ja korkeuskulman muutos samana kellonaikana eri päivinä ja kuukausina muodostaa lievästi kallellaan olevan s-kirjaimen muotoisen käyrän. Kevät- ja syyskauden käyrät ovat lähes toistensa peilikuvia. Kun yhdistämme yllä olevat kaaviot, tuntikäyrät muodostavat kahdeksikkoa muistuttavan kuvion⁸. Kuviota kutsutaan analemaksi ja sii-

⁸ Katso kaavio 2.1.3.

tä voidaan todeta, että aurinko ”jätättää” alkuvuodesta ja on enimmillään jäljessä noin 14 minuuttia noin 12. helmikuuta. Enimmillään aurinko ”edistää” n. 3. marraskuuta, jolloin se on noin 16 ja puoli minuuttia edellä. Aurinko on ”oikeassa” ajassa 15. huhtikuuta, 13. kesäkuuta, 1. syyskuuta ja 25. joulukuuta. Noin 14. toukokuuta aurinko ”edistää” noin 3 ja puoli

kaavio 2.1.3: Auringon kulkureitti Tampereella. Kellonaikakäyrät muodostavat analemman, joista kello 12 korostettu keltaisella.



minuuttia ja ”jätättää” noin 6 ja puoli minuuttia n. 26. heinäkuuta. Suurin ero on siis yhteensä hieman yli puoli tuntia.

2.1.2 Ajantasaus

Kuten edellä on todettu, maan kierto auringon ympäri ei ole kauttaaltaan vakio eikä aurinko ole samassa sijainnissa taivaankannella samalla kellonlyömällä joka päivä. Syyt tähän ovat siis maan kiertoradan lievä elliptisyys ja maan pyörimisakselin kallistus. Ajantasaus⁹ ottaa huomioon edellä mainitut tekijät ja kertoo kuinka paljon aurinko ”edistää” tai ”jätättää” kullakin hetkellä.

Seuraavat kaavat ovat hyvä approksimaatio ajantasauksesta. Komponentti jolla huomioidaan kiertoradan elliptisyys, saadaan kaavalla

$$\Delta t_k = 9,873 * \sin(2d + 3,588)$$

Kaava 2.1.4

jossa Δt_k on kiertoradasta johtuva aurinkoajan vaihtelu ja d on päivän järjestysnumero vuodenvaihteesta laskien. Tämä vaikuttaa aurinkoajan vaihteluun 9,873 minuuttia ja sen jakso on puoli vuotta.

Komponentti jolla puolestaan huomioidaan pyörimisakselin kallistus, saadaan kaavalla

$$\Delta t_p = -7,655 * \sin d$$

Kaava 2.1.5

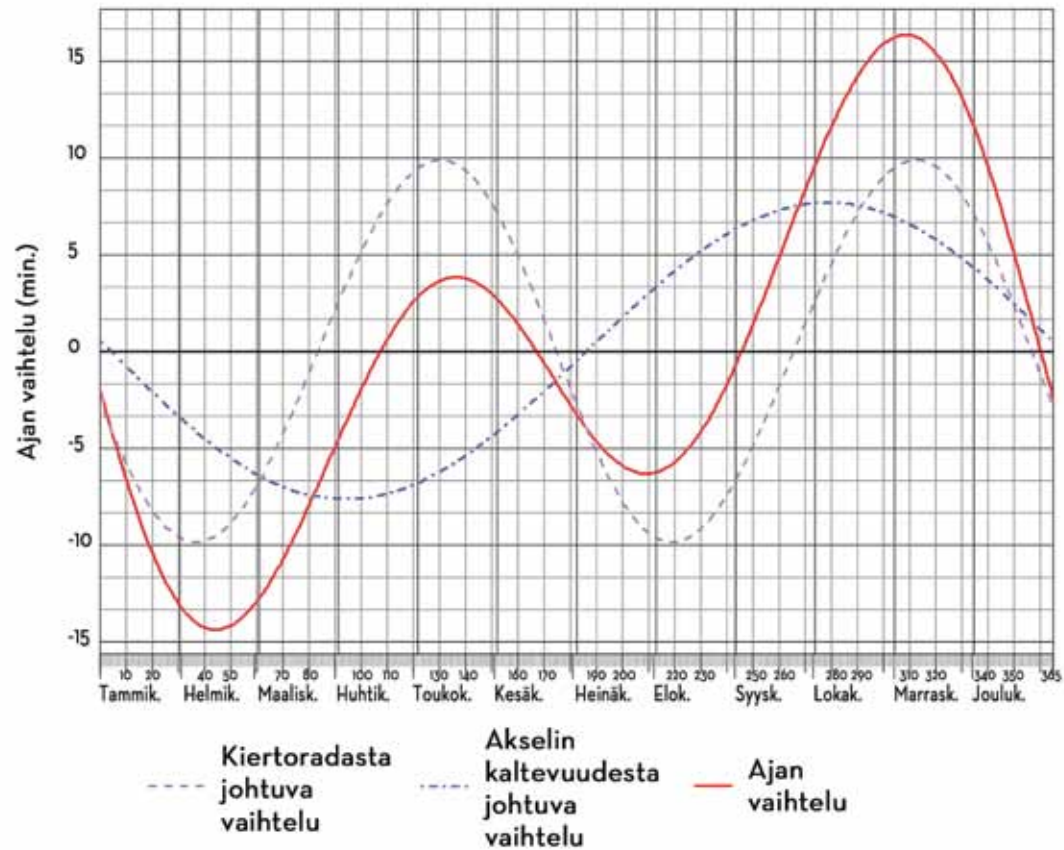
jossa Δt_p on pyörimisakselin kallistuksesta johtuva vaihtelu ja d on päivän järjestysnumero vuodenvaihteesta alkaen. Tämä vuorostaan vaikuttaa vaihteluun 7,655 minuuttia ja sen jakso on vuosi eli 365,25 päivää.

Kun komponentit yhdistetään, saadaan kaava

$$\Delta t = \Delta t_p + \Delta t_k = -7,655 * \sin d + 9,873 * \sin(2d + 3,588)$$

Kaava 2.1.6

⁹ The equation of time



kaavio 2.1.4: Ajantasaus. Kaaviosta voi nähdä kuinka aurinko on standardi kellonajasta jäljessä esim. helmikuun puolessavälissä ja heinä - elokuun vaihteessa. ja kuinka aurinko on edellä esim. loka - marraskuun vaihteessa. Kaaviosta voi huomata kuinka suurimmat aurinkoajan poikkeamat kellonajoista osuvat kohtiin, joissa kiertoradasta ja akselin kaltevuudesta johtuvat vaihtelut osuvat yksiin.

jossa Δt on aurinkoajan kokonaisvaihtelu ¹⁰. Näitä funktioita kuvaa kaavio, josta voidaan nähdä aurinkoajan vaihtelu koko vuonna.

10 Bourne (2010)

2.2 Aurinkoenergian saatavuuden arviointi

Aurinkoenergian saatavuuden arviointiin ja taulukoiden laadintaan on käytetty PVGIS ¹¹ tietojärjestelmää. PVGIS tarjoaa karttapohjaisen tietojärjestelmän aurinkoenergian saatavuudesta sekä sähkön tuotantopotentiaalista valosähköisillä systeemeillä Euroopassa, Afrikassa ja Lounais-Aasiassa. Se on osa Euroopan Unionin SOLAREC toimintaa, joka osaltaan tukee uusiutuvan energian käyttöönottoa unionin maissa.

11 Photovoltaic Geographical Information System

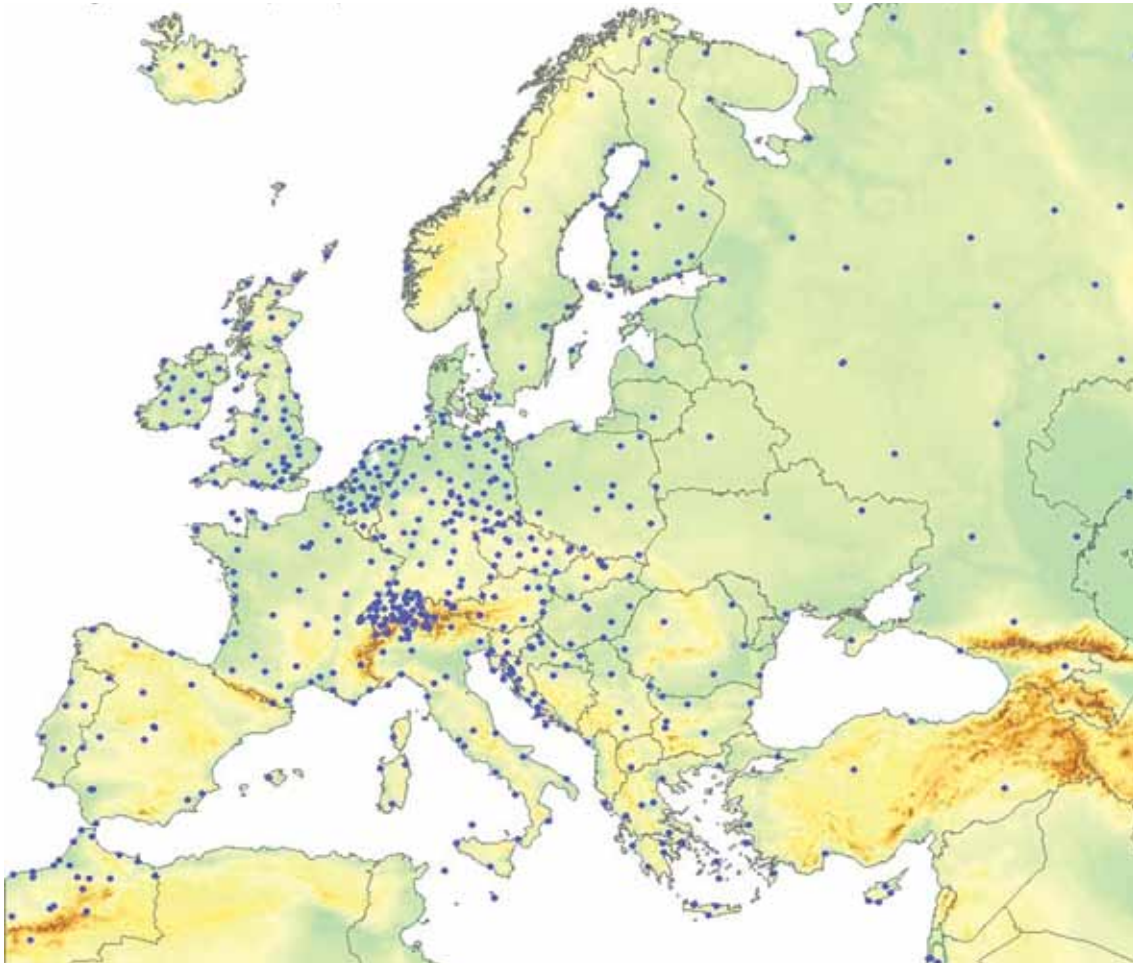
PVGIS sisältää kaksi tietokantaa, joista toinen kattaa koko Euroopan alueen 45 pituuspiiriin asti ja toinen Välimeren alueen, Afrikan sekä Lounais-Aasian. Euroopan alueen globaalin ja diffuusin säteilyn keskiarvot sisältävä tietokanta pohjautuu 566 sääaseman ¹² tietoihin vuosilta 1981 – 1990. Alue on jaettu 1 km * 1 km ruutuihin, joissa on laskettu tulevan auringonsäteilyn määrä horisontaalille tasolle lähimpien sääasemien mitaustietojen, säätilastojen ja maaston ominaisuuksien perusteella.

12 Katso kuva 2.2.1.

PVGIS:n avulla voidaan siis laskea tasoille tuleva säteily eri puolilla Eurooppaa, Lähi-itää ja Afrikkaa. Laskennassa käytettyjen tasojen suunta- ja kallistuskulmaa voidaan säätää ja myös aurinkoa seuraaville aurinkoenergalaitteille voidaan laskea saapuvan säteilyenergian määrät.

Osa aurinkoenergian saantiin ja taulukoiden laadintaan käytetystä tiedosta on saatu NASA:n Applied Sciences Program:in Surface meteorology and Solar Energy ¹³ websivuston avulla. SSE:n tiedot on kerätty NASA Science Mission Directorate:n satelliitti ja uudelleenanalysointi tutkimusprojektien avulla ja ovat todennäköisesti jonkin verran epätarkempia, kuin PVGIS:n maanpinnalla olevien paikallisten sääasemien mittauksiin pohjautuvat tiedot. Tiedot kattavat ajanjakson heinäkuusta 1983 kesäkuuhun 2005. Tietoja on käytetty kun

13 SSE Release 6.0



Kuva 2.2.1 PVGIS tietojärjestelmän
laatimisessa käytetyt
Eurooppalaiset sääasemat¹⁴.
(PVGIS)

14 PVGIS© European Communities
(2008)

vastaavia tietoja ei ole ollut saatavilla PVGIS järjestelmässä, jos PVGIS:n ja NASA:n tietojen välillä on ollut ristiriitaa, olen käyttänyt PVGIS tietoja.

2.3 Aurinkoenergian määrä Suomessa

Useilla arkkitehteilla ja rakennussuunnittelijoilla on sellainen käsitys, ettei Suomessa kannata edes yrittää hyödyntää aurin-gon lämpöenergiaa rakennusten lämmitykseen. Vallalla on sel-lainen käsitys, että auringonsäteilyn määrä varsinkin lämmitys-kaudella on niin vähäistä Suomen pohjoisen sijainnin ansiosta, että aurinkolämpö investoinnit ovat hyödyttömiä.

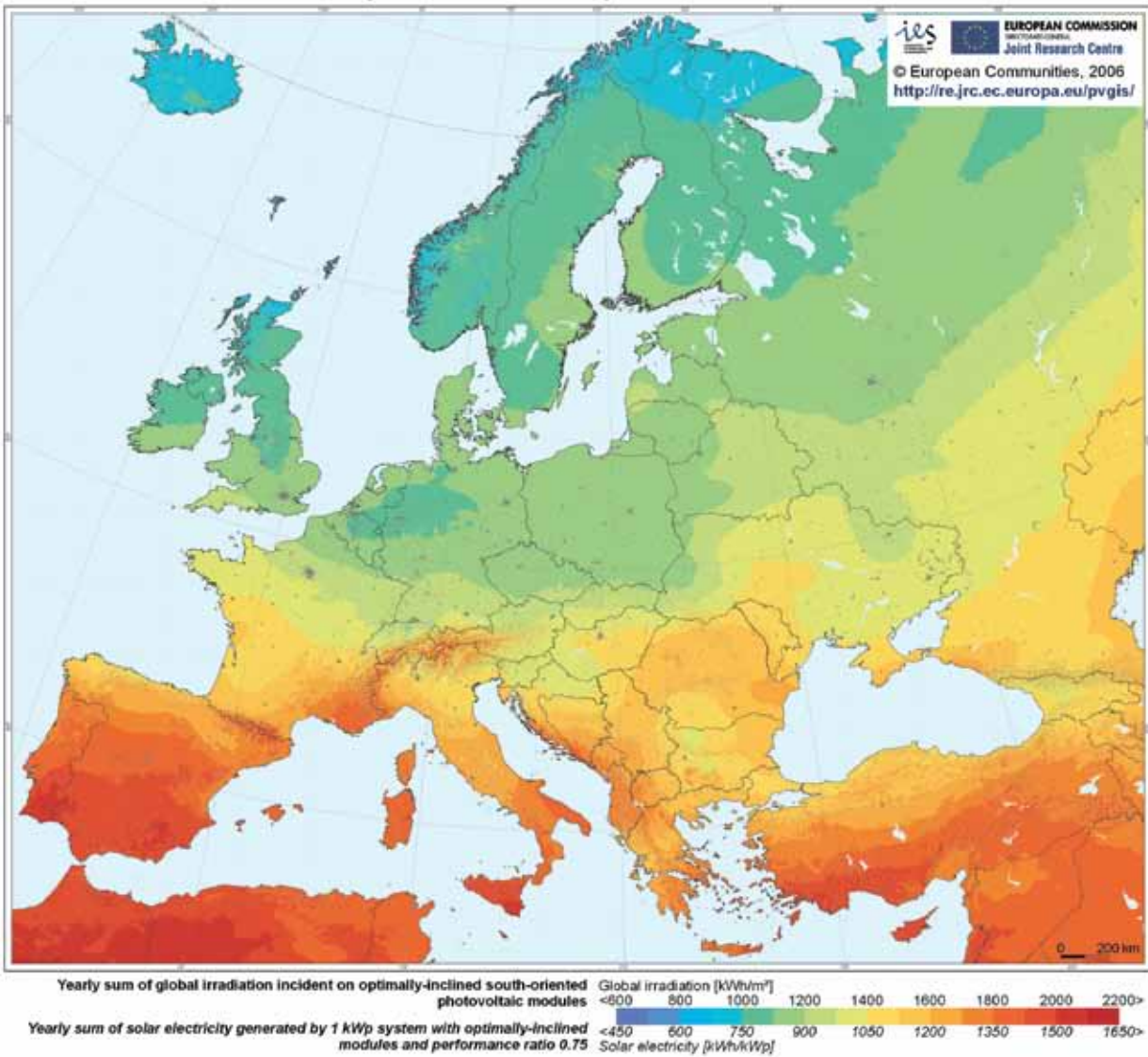
Osittain nämä käsitykset, ettei aurinkoenergian hyödyn-täminen kannata, voivat johtua vanhentuneista tiedoista au-rinkoenergiateknologiasta. Esimerkiksi vanhat aurinkosähkö-paneelit olivat sellaisia, että jos osakin paneelista oli varjossa, koko paneelin tuotanto tippui lähes nollaan. Ehkä suunnitteli-joilla on edelleen mielessä vanhojen teknologioiden rajoitukset ja ehkä heillä on mielikuva, että kyseiset rajoitukset koskevat kaikkia aurinkoenergasysteemejä. Tällöin on ymmärrettäväm-pää, että he uskovat, ettei aurinkoenergia kannata.

Nykyiset aurinkosähköpaneelit ovat kuitenkin usein sellai-sia, että vaikka osa paneelista olisi varjossa, loppu paneeli tuot-taa edelleen sähköä. Paneeleissa käytetty teknologia on muu-tenkin kehittynyt suuria määriä ja niitten sähköntuotantokyky on kasvanut viimeisen vuosikymmenen aikana. Samoin aurin-kolämpöteknologia on edistynyt huomattavasti.

Näyttäisi siis siltä, että näitä käsityksiä aurinkoenergian riit-tämättömyydestä pitää tarkastella uudestaan. Harkinnan jäl-keen voidaan hyvinkin päätyä siihen tulokseen, että hyvin suun-nitelluilla ja toteutetuilla aurinkoenergasysteemeillä päästään hyvinkin kannattaviin ratkaisuihin.

Etelä-Suomessa auringonsäteily vaakatasolle on noin 950 kWh neliömetrille vuodessa ja esimerkiksi Jyväskylässä noin 870 kWh/m²/vuosi. Taulukossa 2.3.1 on lueteltu vuotuiset sä-teilymäärät neliömetrillä sekä horisontaalille että vertikaalille tasolle maakunnittain.

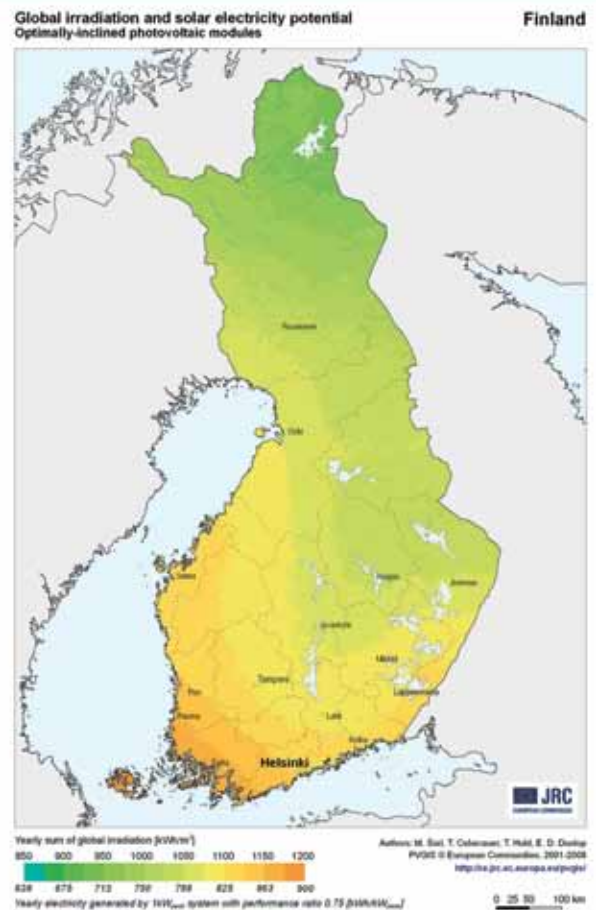
Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries





VIIEINEN SIVU

Kuva 2.3.1: Vuotuinen auringonsäteilyn määrä etelään suunnatulle optimikalistetulle pinnalle Euroopassa (7). Suurin osa suomalaisista asuu vyöhykkeellä, jolla saadaan yhtä paljon auringonsäteilyä kuin yleensäkin Alppien pohjoispuolisessa Euroopassa (PVGIS).



YLLÄ

Kuva 2.3.2: Keskimääräinen vuosien 1981 – 90 auringonsäteilyn määrä Suomessa horisontaalille ja optimaalisesti suunnatulle pinnalle.(PVGIS)

MAAKUNTA	VUOTUINEN SÄTEILY HORISONTAALILLE PINNALLE (kWh/m ² /v)	VUOTUINEN SÄTEILY VERTIKAALILLE PINNALLE (kWh/m ² /v)
AHVENANMAA	963	882
ETELÄ-KARJALA	914	829
ETELÄ-POHJANMAA	883	845
ETELÄ-SAVO	888	811
ITÄ-UUSIMAA	920	821
KAINUU	833	807
KANTA-HÄME	916	825
KESKI-POHJANMAA	871	852
KESKI-SUOMI	873	808
KYMENLAAKSO	910	819
LAPPI	725 - 827	764 - 859
PIRKANMAA	903	827
POHJANMAA	880	854
POHJOIS-KARJALA	854	797
POHJOIS-POHJANMAA	842	840
POHJOIS-SAVO	849	798
PÄIJÄT-HÄME	904	813
SATAKUNTA	921	854
UUSIMAA	933	818
VARSINAIS-SUOMI	952	863

Taulukko 2.3.1: Vuotuinen auringonsäteilyn määrä (kWh/m²/v) maakunnittain. Taulukko perustuu lähteen ¹⁵ tietoihin.

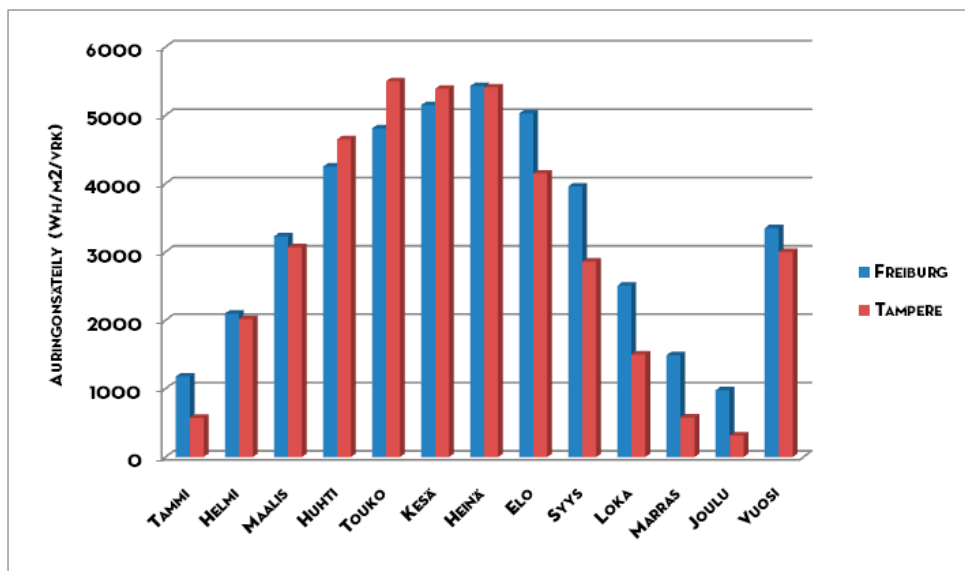
¹⁵ PVGIS© European Communities (2008)

Jos auringonsäteilyn määrää Suomessa verrataan Keski-Eurooppaan, voidaan ehkä hieman yllättäen todeta, että säteilyn määrä vuositasolla on lähes samaa luokkaa. Esimerkiksi ekologisena aurinkoenergia kaupunkina tunnetussa eteläsaksalaisessa Freiburg im Breisgauissa vuotuinen auringon säteilyn määrä on horisontaalille pinnalle noin 21 % suurempi, optimikulmassa olevalle etelään suunnatulle pinnalle vain noin 11 % suurempi ja etelään suunnatulle vertikaalille pinnalle jopa noin prosentin pienempi kuin Tampereella ¹⁶. Rakennukseen integroituja aurinkoenergialaitteita ei juuri koskaan asenneta horisontaaliin asentoon vaan useimmiten pystysuoraan asentoon seinälle tai johonkin kallistuskulmaan esimerkiksi kattolappeelle, joten horisontaalille tulevien säteilymäärien ero voitaneen tässä asiayhteydessä pitää vähämerkityksellisenä.

16 katso kaaviot 2.3.1 ja 2.3.2

Auringonsäteilyn määrä vaihtelee Suomessa voimakkaasti vuodenaikojan vaihdellessa, huomattavasti enemmän kuin Keski-Euroopassa. Säteilymäärien ero pimeimmän talvikauden ja aurinkoisimman kesäkuukauden välillä on kahdeksantoistakertainen. Freiburgissa ero pimeimmän ja aurinkoisimman kuukauden välillä on vain kuusinkertainen. Vaikka auringonsäteilyn määrä on Tampereella selvästi Freiburgia pienempi syksyllä ja tammikuussa, keväällä ja kesäkuussa säteilyn määrä on jopa suurempi. Koska touko- ja syyskuussa on yleensä melko vähän päiviä joina tarvitaan lämmitystä, voitaneen todeta, että Tampere on Freiburgia heikommassa asemassa aurinkoenergian hyödyntämisen suhteen vain kaudella lokakuusta tammikuuhun.

Lokakuussakin auringonsäteilyä saadaan Tampereella riittävästi, että sillä on merkitystä rakennusten energiataloudelle.

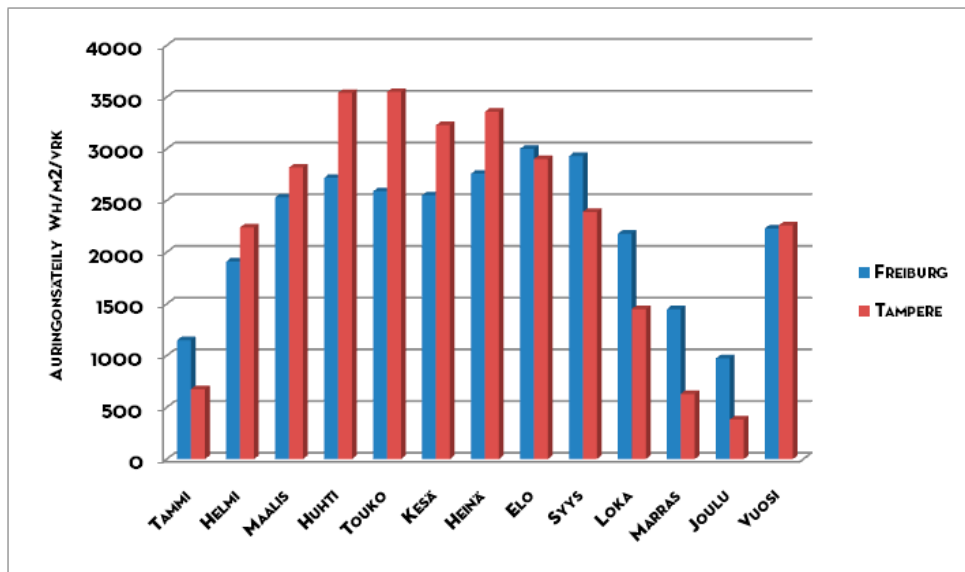


YLLÄ

kaavio 2.3.1: Auringonsäteilyn määrä etelään suunnatulle optimikulmassa olevalle pinnalle Freiburgissa ja Tampereella. Optimikulma Freiburgissa on 32° ja Tampereella 42°.

ALLA

kaavio 2.3.2: Auringonsäteilyn määrä Freiburgissa ja Tampereella etelään suunnatulle pystysuoralle pinnalle. Kaaviot perustuvat lähteen ¹⁷ tietoihin.



2.3.1 Auringonsäteilyn heijastuminen maanpinnasta

Auringonsäteilyn heijastumiseen maanpinnasta vaikuttaa monet asiat, muun muassa maalaji, maapeite, kasvillisuus, maastonmuodot ja rakennettu ympäristö rakennuksineen ja teineen. Maan heijastuvuus määräytyy pitkälti yhden parametrin eli maanpinnan albedon perusteella. Albedo tarkoittaa heijastuneen säteilyn suhdetta saapuneeseen säteilyyn.

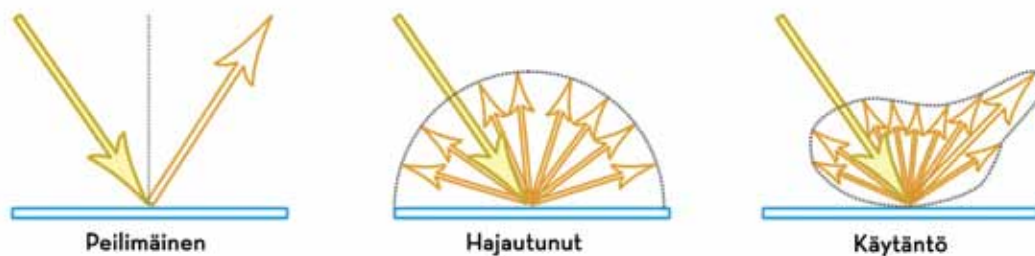
Säteilyn heijastumisen voidaan ajatella tapahtuvan kahden raja-arvon välillä, peilimäisen ja hajaantuneen. Peilimäisessä heijastumisessa valo heijastuu kuten peilistä, tuleva säde ja heijastuva säde muodostavat pinnan normaalin kanssa yhtä suuret kulmat eli tulokulma ja heijastuskulma ovat yhtä suuret. Hajaantuneessa heijastumisessa valon tulokulma ei vaikuta heijastuksen suuntaan, vaan valo heijastuessaan hajautuu tasaisesti kaikkiin suuntiin. Käytännössä valon heijastuminen pinnasta ei ole puhtaasti kumpaakaan vaan tapahtuu näitten kahden raja-arvon välillä¹⁸.

Koska todellinen heijastuminen riippuu niin monista tekijöistä, joista suuri osa on sijainti riippuvaisia, käytetään tässä yksinkertaistettua mallia. Jos maanpinta oletetaan tasaiseksi ja valonsäteiden oletetaan heijastuessaan hajautuvan tasaisesti

17 PVGIS© European Communities
(2008)

18 ja 19 Duffie ja Beckman (1991)

Kuva 2.3.3: Säteilyn peilimäinen, hajautunut ja todelliselta pinnalta tapahtuva heijastuminen¹⁹



joka suuntaan, maasta heijastunut säteily voidaan laskea yhtälön

$$R(\beta)=\rho G (1-\cos\beta)/2$$

Kaava 2.3.1

avulla, jossa R on maasta aurinkoenergalaitteeseen heijastuneen säteilyn tehotiheys (W/m2), β on aurinkoenergalaitteen kallistuskulma, ρ on maanpinnan albedo ja G on kokonaissäteilyn tehotiheys (W/m2) ²⁰.

Taulukossa 2.3.2 on esitetty auringon valon heijastumista ja absorptiota tavallisilla maan pintaa peittävillä aineilla. Lumi heijastaa hyvin auringonsäteilyä, siksi lumi näyttää vaalealta. Vastasatanut lumi heijastaa yli 90 % auringon valosta eli sen albedo on yli 0,9. Vaaleutensa vuoksi lumi ei myöskään sula kovin nopeasti auringon paisteessa. Myös muut vaaleilta näyttävät pinnat heijastavat hyvin auringonsäteilyä, tämä kannattaa ottaa huomioon aurinkoenergalaitteiden sijoittelussa. Vesi, joka on valoaläpäisevää, poikkeaa taulukon muista aineista heijastu-

20 Flinck (2010)

21 Savonia ammattikorkeakoulu (2010)

taulukko 2.3.2: Auringonsäteilyn absorptio (%) sekä heijastuminen eli albedo (%) eri maapeitteillä. Taulukko perustuu lähteiden ²⁰ ja ²¹ tietoihin.

AINE	ABSORPTIO (%)	HEIJASTUMINEN ELI PROSENTUAALINEN ALBEDO (%)
TUORE LUMI	10 - 20	80 - 90
LUMI	20 - 60	40 - 80
VESI*	90	10
MAA	80	20
HIEKKA	80	20
RUOHO	70	30
LEHTIPUUT	82 - 85	15 - 18
HAVUPUUT	85 - 92	8 - 15
ASFALTTI	90	10
BETONI	60	40

vuutensa puolesta, sen heijastuvuuteen vaikuttaa voimakkaasti myös valon tulokulma.

Vesi heijastaa valoa eri tavalla verrattuna tyypilliseen maanpintaan. Kun valonsäde osuu vedenpintaan, osa siitä heijastuu kuin peilistä yhteen suuntaan ja osa taittuu vedenpinnasta ja jatkaa matkaa veden läpi. Vedestä auringonsäteilyn heijastuminen riippuu myös paljon auringonsäteilyn tulokulmasta. Vedenpinta heijastaa kohtisuoraan tulevasta valosta vain kaksi prosenttia ja se heijastaa valoa hyvin heikosti tulokulman ollessa alle 60°, minkä jälkeen heijastuvuus kasvaa jyrkästi. Tulokulman ollessa 70° valon heijastuminen on noin 12 % ja kulman ollessa 80° heijastuminen on jo noin 35 %. Tämä kannattaa huomioida jos rakennus sijaitsee veden äärellä. Jos rakennuksen itäinen tai läntinen sivu on rannan suuntaisesti, veden heijastus voi lisätä säteilyn määrää kohteessa sekä veden ollessa sulana että sen ollessa jäässä. Jos rakennuksen eteläinen sivu on rannan suuntainen, voi veden läheisyys heikentää säteilyn määrää veden ollessa sulana, mutta voimistaa talvella, jolloin vesi on jäässä ja hangen peitossa.

Suomessa on talvella yleensä lumipeite ja se vaikuttaa selvästi maanpinnan albedoon, niinpä maanpinnalle saapuvan säteilyn ja aurinkoenergiälaitteisiin saapuvan säteilyn suhde vaihtelee jonkin verran myös lumipeitteen mukaan. Lumipeitteen vaikutus voidaan todeta taulukossa 2.3.3, jossa keskimääräiset helmi- ja maaliskuun albedot ovat jopa kaksinkertaiset verrattuna kesäaikaan. Talvikauden lumipeite marraskuusta maaliskuuhun lisää siis pystysuorassa olevalle aurinkoenergiälaitteelle tulevan säteilyn määrää keskimäärin noin 7 % siitä kuin mitä se olisi ilman maanpinnan lumipeitettä ja jos aurinkoenergiälaitteen edessä on avointa maastoa voi saapuneen säteilyn määrä olla noin 20 – 40 % suurempi kuin mitä se olisi ilman maanpinnan lumipeitettä.

22 NASA (2011)

taulukko 2.3.3: Vuosien 1983 - 2005 keskimääräinen maanpinnan albedo (%) kuukausittain Tampereella ja sen ympäristössä ²²

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
17	27	28	16	14	14	13	14	14	16	22	17

2.4 Sään vaikutus aurinkoenergian saatuuteen

Auringonsäteilyn määrä on voimakkaasti riippuvainen paitsi vuodenajasta myös sääoloista. Vuodenajat, säätyyppi ja paikalliset tekijät aiheuttavat vaihtelua pilvisyyteen. Pilvisyyden vaihteluista seuraa vaihtelua saatavan säteilyenergian määrässä.

Pilvien määrän lisäksi myös niitten laatu ja paksuus sekä auringonsäteilyn tulokulma vaikuttavat maanpinnalle saapuvan suoran säteilyn määrään. Suora säteily vähenee jo yläpilvikerroksessa ja keskipilvet läpäisevät vain osan säteilystä. Alapilvet vähentävät säteilyn määrää kaikkein eniten.

Pilvien kyky heijastaa auringonsäteilyä takaisin avaruuteen riippuu niitten albedosta joka vaihtelee 20 ja lähes 100 % välillä. Pilvien albedo riippuu monista eri tekijöistä kuten pilven korkeudesta, koosta ja niitten sisältämien vesihukkasten määrästä. Yläpilviin kuuluvien cirruspilvien ²³ albedo vaihtelee 20 – 40 % välillä kun taas alapilviin kuuluvien stratuspilvien ²⁴ albedo on 40 – 65 %, cumuluspilvien ²⁵ noin 75 % ja cumulonimbuspilvien ²⁶ albedo on noin 90 % ²⁷.

Talvisin pilvipeite on monesti tasainen ja laaja. Kevättalvella on usein laaja pilvipeite, mutta melko usein on myös pitkiä pilvettömiä ajanjaksoja. Talvikuukausien ²⁸ keskimääräinen pilvisuus kasvaa Suomessa luoteesta kaakkoon, mutta kesäkuukausien pilvisuus ei ole yhtä säännöllistä.

Kesälle on tyypillisempää rikkonaiset pilvilautat ja konvektiopilvet ²⁹. Sisämaassa erityisesti vähäjärvisillä alueilla syntyy konvektiopilviä tavallisesti puolenpäivän aikaan ja ne hajoavat illemmalla. Itse asiassa pilvisuus on ympäri vuoden keskimääräisesti runsainta juuri puolenpäivän jälkeen ³⁰ ja pienimmillään yöllä ja aamulla. Talvella ei esiinny yhtä selvää vuorokausi rytmiä kuin kesällä. Rannikon suhteellisen kylmän vesimassan päälle ei synny samalla tavalla konvektiopilviä kuin lämpimän maan päälle. Sen lisäksi mantereella syntyneet pilvet usein häviävät tullessaan meren ylle. Tästä johtuen rannikolla on kesäisin keskimäärin vähemmän pilvistä kuin sisämaassa.

Joulu – helmikuussa esiintyy keskimäärin 12 – 20 pilvistä ja 2 – 3 selkeää päivää kuussa. Kesä – elokuussa vuorostaan esiin-

23 untuvapilvi

24 sumupilvi

25 kumpupilvi

26 kuuropilvi

27 Gordeau (2004)

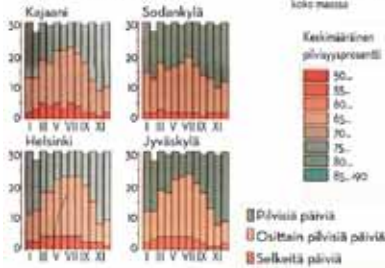
28 Marras - huhtikuu

29 Cumulus- eli kumpupilvet

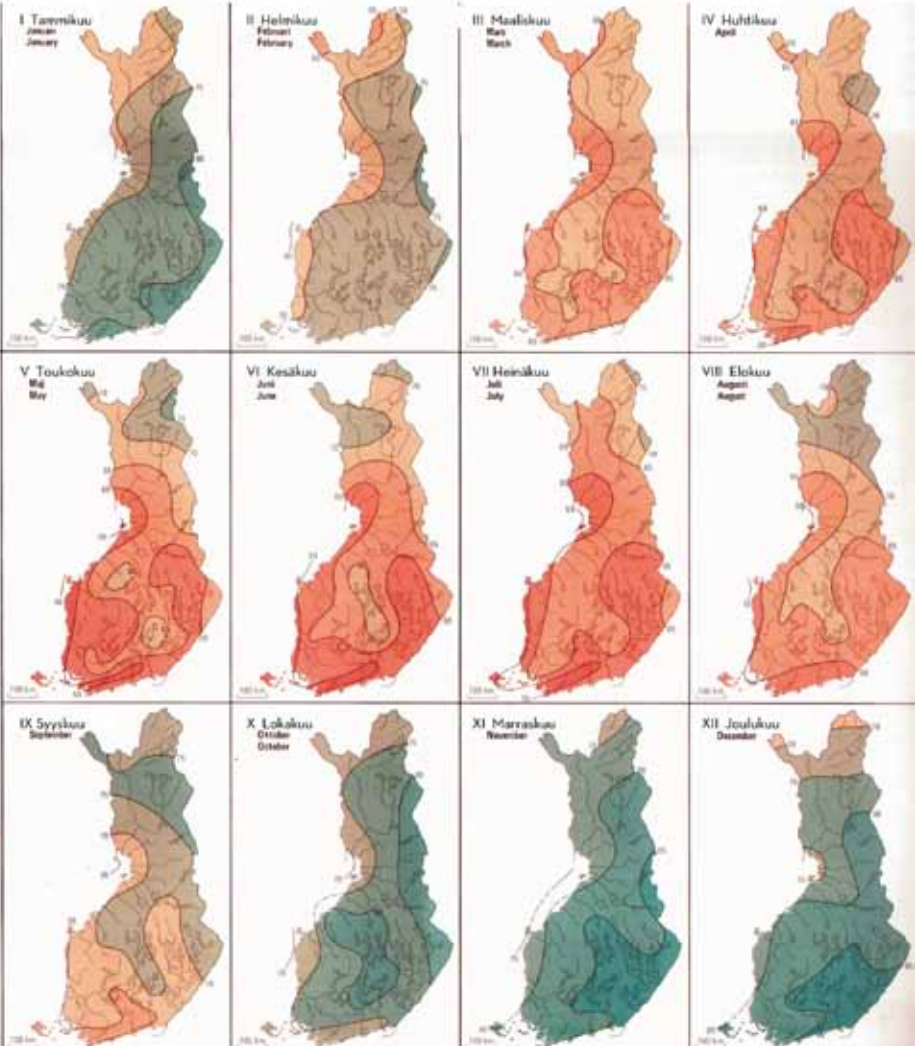
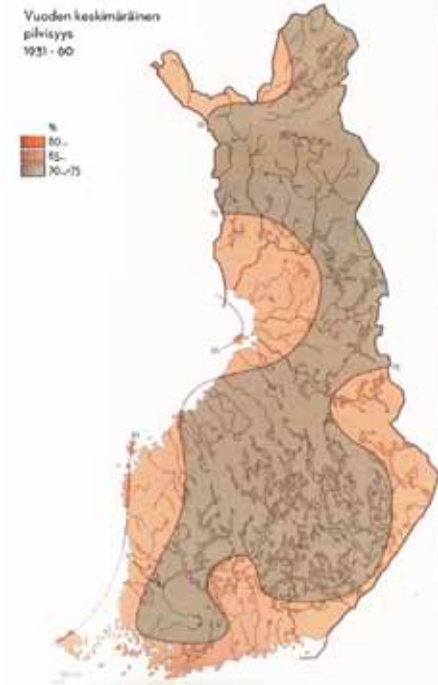
30 Katso kaavio 2.4.1

Pilvisyys kuukausittain 1931 - 60

Eräillä paikkakunnilla



Vuoden keskimääräinen pilvisuus 1931 - 60



Kuva 2.4.1: Keskimääräinen pilvisuus 1931 - 1960 ³¹(Maanmittaushallitus)

³¹ Maanmittaushallitus (1993)

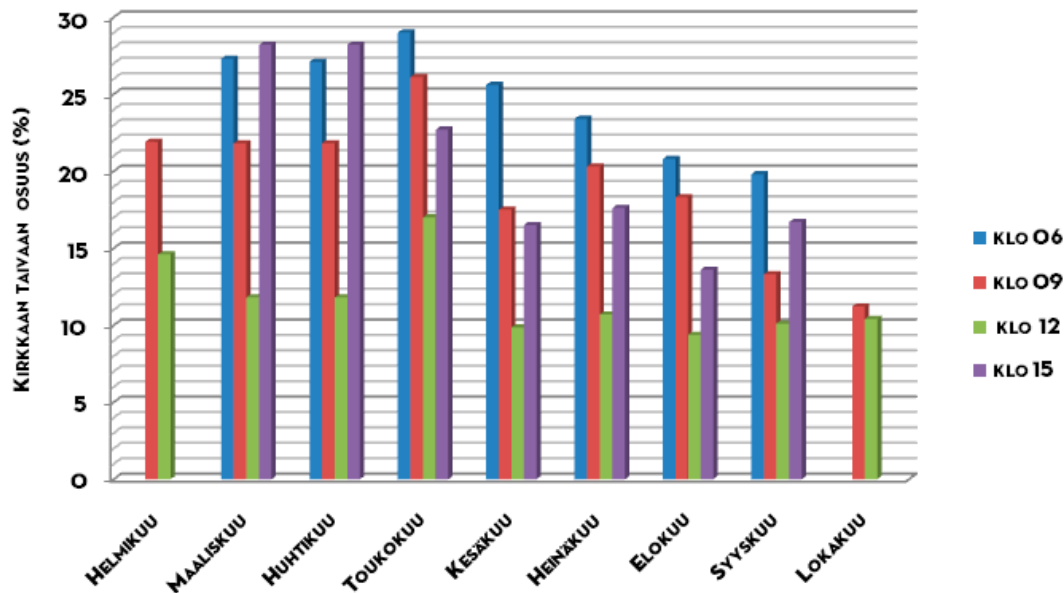
32 Sarkkula (1993)

tyy keskimäärin 7 – 13 pilvistä ja 2 – 5 selkeää päivää kuukaudessa. Päivä on pilvinen kun päivän keskimääräinen pilvisuus on yli 80 % ja selkeä kun sen keskimääräinen pilvisuus on alle 20 %. Päivät, joitten keskimääräinen pilvisuus on 20 – 80 %, ovat osittain pilvisiä ³².

33 NASA (2011)

Pilvisyyttä voi tarkastella myös suhteellisten auringonpaisteajojen avulla. Suhteellinen auringonpaiste aika lasketaan potentiaalisen maksimipaisteajan ja mitatun paisteajan suhteena prosentteina. Napapiirin pohjoispuolella suhteellinen auringonpaiste antaa vääristyneen kuvan, koska kaamoksen aikana

kaavio 2.4.1: Kirkkaiden taivaiden keskimääräinen (%) osuus Tampereella klo 06, 09, 12 ja 15 kussakin kuussa. Suomessa on aamuisin ja iltaisin keskimäärin vähemmän pilvistä kuin iltpäivisin. Kuva perustuu lähteen ³³ tietoihin. Tiedoista puuttuvat Tammi-, marras- ja joulukuut sekä muut kuin kuvassa käytetyt kellonajat.

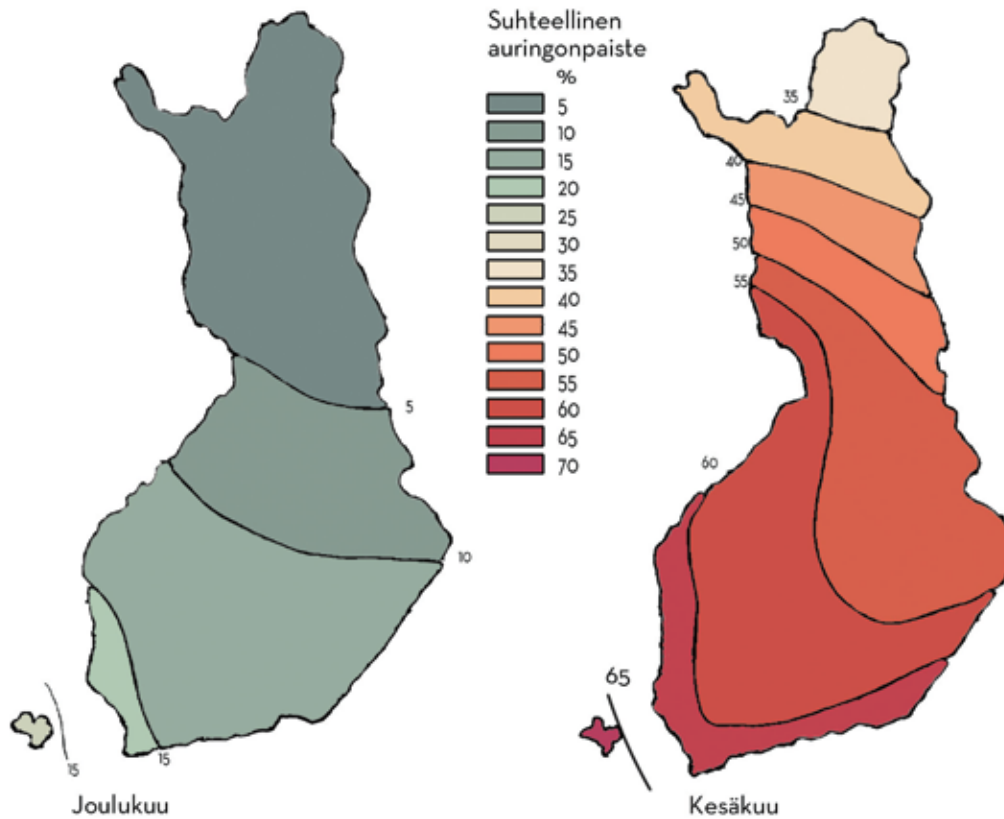


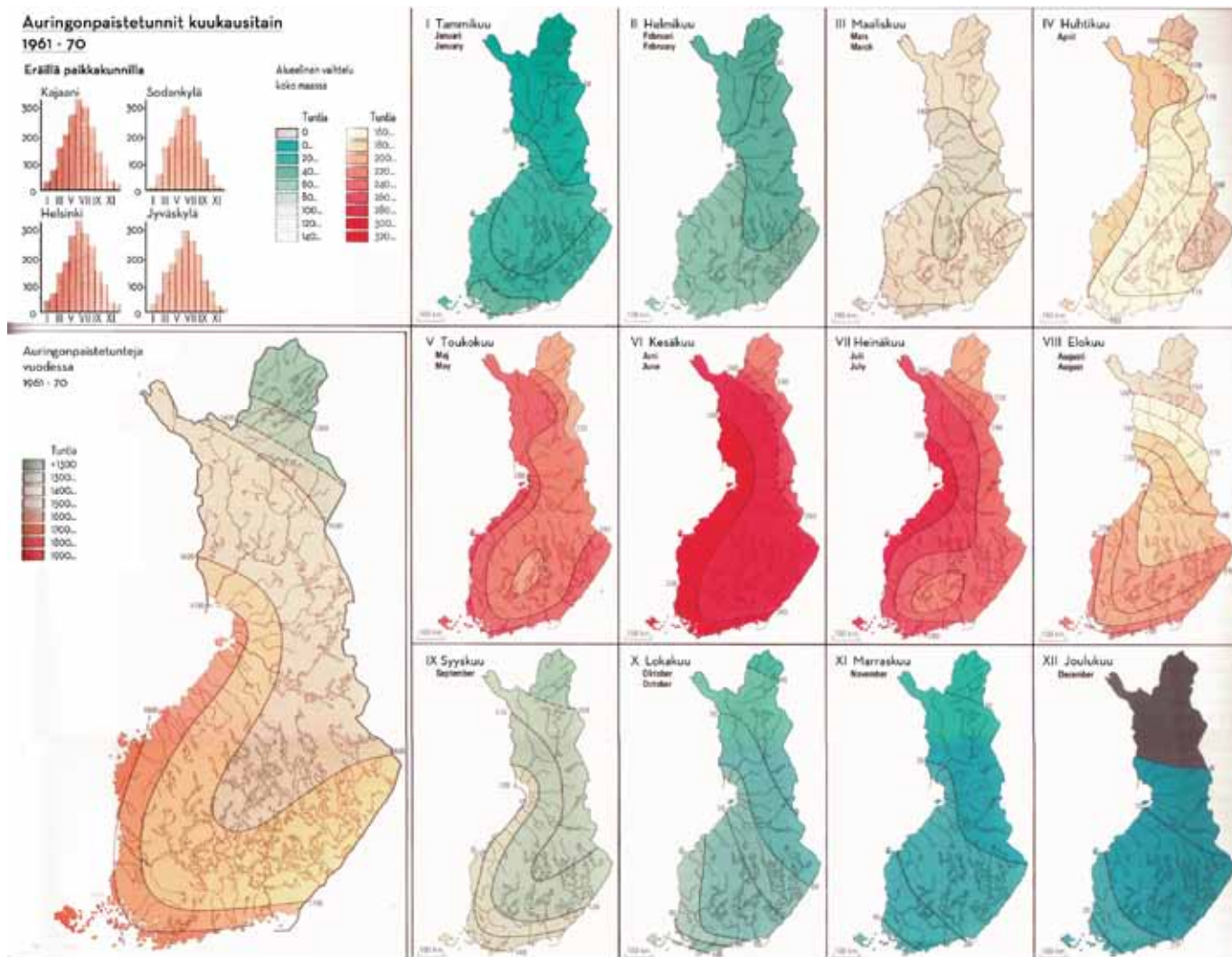
maksimiauringonpaiste on nolla ja kesäyön auringon säteilyn intensiteetti ei ole riittävää auringonpaisteen kynnyksarvon ³⁴ ylittämiseen³⁵. Auringonpaisteen kynnyksarvo tarkoittaa myös sitä, että esimerkiksi jos Tampereella aurinko nousee kirkkaana päivänä tammikuussa kello 9:20, ei säteilyn intensiteetti kuitenkaan riitä ylittämään 120 W/m² kynnyksarvoa kuin vasta noin kello 10:50. Suurimmat suhteelliset auringonpaisteaajat esiintyvät lounaisrannikolla ja siitä ne pienenevät pohjoista kohti mennessä, eli suhteellisten auringonpaisteaika-arvojen perus-

34 120 W/m²

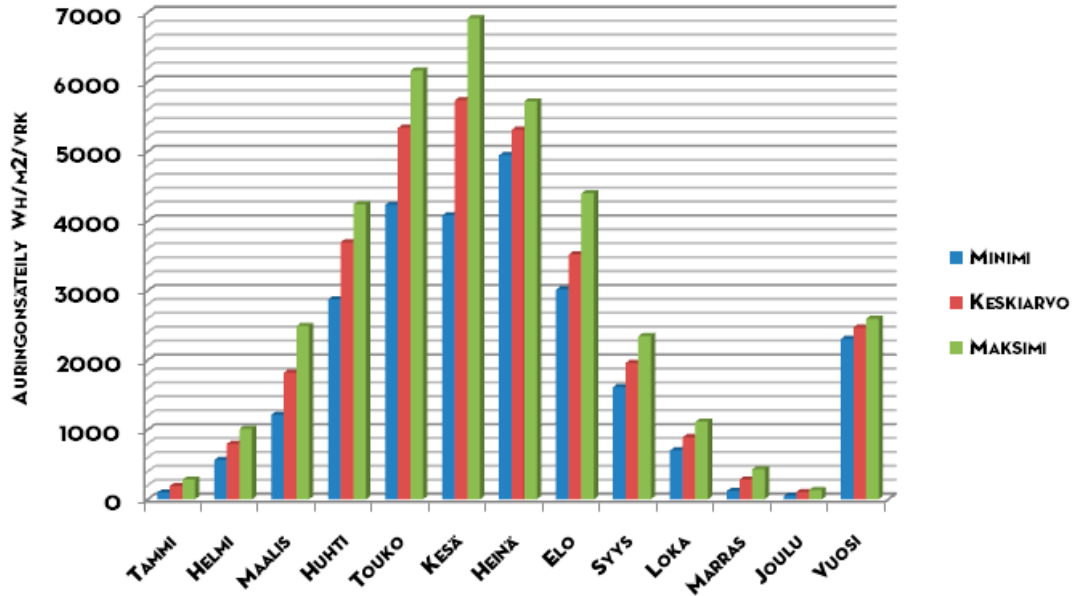
35 Laitinen (1993)

Kuva 2.4.2: Keskimääräinen suhteellinen auringonpaiste Joulukuussa ja Kesäkuussa.





Kuva 2.4.3: Keskimääräinen auringonpaistetuntien määrä 1961 - 1970.
(Maanmittaushallitus 1993)

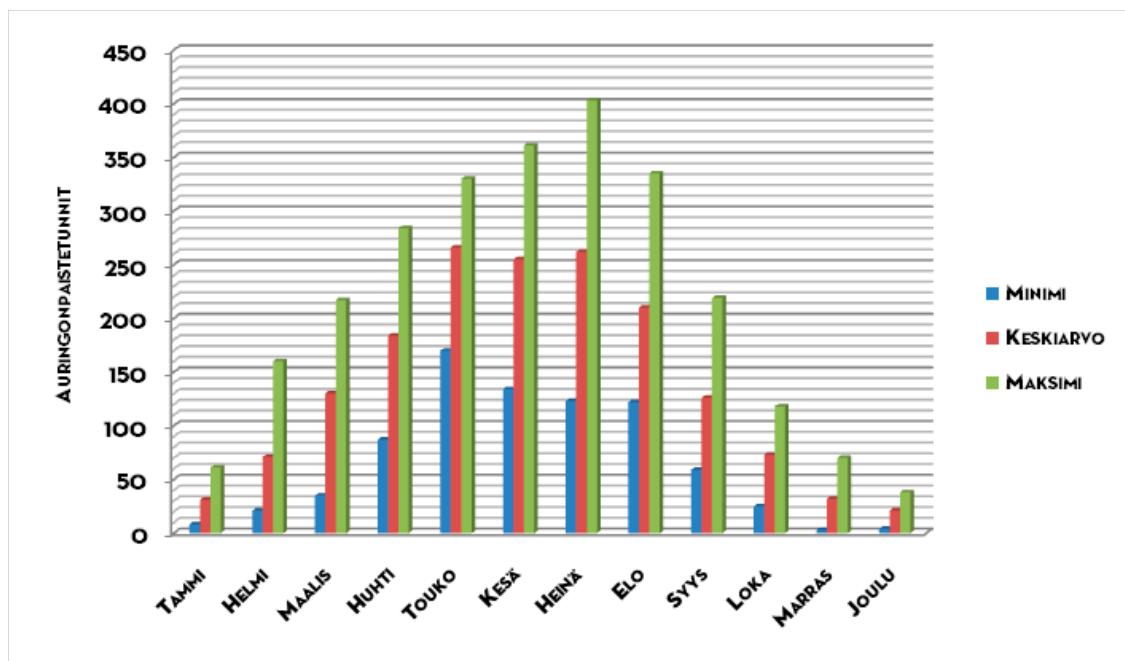


kaavio 2.4.2: Auringonsäteilyn vaihtelu Tampereella horisontaalille tasolle Tampereen Sähkölaitoksen vuosina 1984 – 92 tekemien mittausten mukaan

teella pilvisyys on Suomessa keskimäärin sitä runsaampaa, mitä pohjoisemmaksi mennään. Suurimmat suhteellisten auringonpaisteaikojen erot maan eri osien välillä ovat kesällä ja pienimmillään erot ovat vuodenvaihteen tienoilla ³⁶.

PVGIS tietokannassa on käytetty kymmenen vuoden keskiarvoja vuosilta 1981 – 1990, mutta todelliset vuosittain toteutuneet kuukausien auringonsäteilymäärät vaihtelevat suuresti. Näitä vaihteluja on tarkasteltu kaaviossa 2.4.2, joka perustuu Tampereen Sähkölaitoksen tekemiin mittauksiin vuosilta 1984 – 1992. Taulukosta voidaan huomata, että säteilyn määrän keskihajonta voi syksyllä ja keväällä olla jopa 32 % keskiarvosta. Vaikka kuukausien kohdalla säteilymäärän vaihtelu voi olla suurta vuodesta toiseen, säteilymäärän keskihajonta vuo-

36 Erat et al. (2008)



kaavio 2.4.3: Auringonpaistetunnit Tampereella vuosina 1971 – 2000. Kuva perustuu lähteen ³⁷ tietoihin.

³⁷ Drebs et al. (2002)

³⁸ Drebs et al. (2002)

sien 1984 – 1992 keskiarvosta on vain n. 4 %.

Kaaviossa 2.4.3 on esitetty kuukausittaiset keskimääräiset sekä minimi ja maksimi auringonpaistetuntimäärät Tampere-Pirkkalan lentoaseman säähavaintoasemalla vuosien 1971 – 2000 välillä ³⁸. Verrattaessa kaaviota 2.4.2 ja 2.4.3 voidaan selvästi huomata niiden samankaltaisuus. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että auringonsäteilyä saadaan hyödynnettäviä määriä vain aurinkoisella säällä. Kuten taulukoistakin voidaan todeta, auringonpaistetuntien vaihtelu on huomattavasti voimakkaampaa kuin vaihtelu saadun auringonsäteilyn määrässä. Tämä selittyy sillä, että pilvisenäkin päivänä diffuusin auringonsäteilyn määrä on merkittävää, vaikka se on paljon vähäisempää kuin mitä säteilyn kokonaismäärä on aurinkoisena päivänä.

Pienin yhtenä päivänä saatu auringonsäteilyn määrä Tam-

pereella vuosien 1984 – 2005 välillä on ollut kaksi prosenttia odotetusta keskiarvosta eli vain 1/50 osa. Oletettavasti tuona kyseisenä päivänä on ollut pilvisintä, mitä Tampereella on koko kyseisen 22 vuoden ajanjakson aikana ollut. Pilvisimpänä kolmen vuorokauden ajanjaksona, noiden 22 vuoden aikana, auringonsäteilyä on saatu 20,4 % odotetusta saman ajanjakson keskiarvosta ja seitsemän vuorokauden ajanjakson minimi säteilymäärä on noina vuosina ollut 35,7 % odotetusta keskiarvosta, kuten tauluksta 2.4.1 voidaan todeta. Taulukosta voidaan myös todeta, että mitä pidempi ajanjakso otetaan tarkasteluun, sitä vähemmän pienin saatu auringonsäteilyn määrä poikkeaa pitkäaikaisesta keskiarvosta. Mitattujen arvojen perusteella aurinkoenergiälaitteiden asentamista suunnittelevan ei siis tarvitse pelätä, että ainakaan kovin usein tulisi pitkiä ajanjaksoja, jolloin aurinkoenergiaa saataisiin alle puolet odotetusta.

Taulukkojen 2.4.1 ja 2.4.2 perusteella voidaan myös laskea, että pienin peräkkäisten kolmen vuorokauden aikana saatu

39 NASA (2011)

taulukko 2.4.1: Pienin saatu auringonsäteily Tampereella peräkkäisinä päivinä kussakin kuussa vuosien 1983 – 2005 aikana prosentuaalisena (%) osuutena odotetusta keskiarvoista samanpituisena ajanjaksona. Eli jos keskimääräinen auringonsäteilyn määrä maaliskuussa on 1930 Wh/m²/vrk se vuosien 1984 – 2005 välillä ollut minimissään yhden päivän aikana 4,64 % siitä eli 89,5 Wh/m²/vrk ja minimissään peräkkäisinä 14 päivänä 62,5 % eli keskimäärin 1206 Wh/m²/vrk. Taulukko perustuu lähteen ³⁹ tietoihin.

	MIN/1 VRK	MIN/3 VRK	MIN/7 VRK	MIN/14 VRK	MIN/21 VRK	MIN/KK
TAMMIK.	32,1	35,7	40,8	54,3	69,2	85,7
HELMIK.	2	26	45	55,5	71,5	86
MAALISK.	4,64	31,5	48,7	62,5	65,7	79,7
HUHTIK.	10,4	34,7	51,4	67,6	77,3	81,8
TOUKOK.	9,02	20,4	48,1	65	69,2	82,8
KESÄK.	16,4	38,5	49,4	66,2	69,1	75,8
HEINÄK.	4,38	32,8	54,4	62,4	71,3	85,3
ELOK.	10,9	33,5	49	59	64,4	76,6
SYYSK.	4,36	29,4	35,7	50,7	62,7	80,5
LOKAK.	2,7	28,8	44,1	58	66,4	81
MARRASK.	34	38,6	47,4	58,2	68	88,6
JOULUK.	57,1	57,1	60,2	70,4	79,5	92,8

taulukko 2.4.2: Keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (Wh/m²/vrk) Tampereella horisontaalille tasolle sekä keskimääräinen auringonsäteilyn määrä horisontaalille tasolle jos aurinko paistaisi kirkkaalta taivaalta ja edellisten suhde prosentteina. Taulukko perustuu lähteen⁴⁰ tietoihin.

auringonsäteilyn määrä kyseisenä kautena on ollut noin 13 % siitä, mitä säteilyn määrä olisi ollut jos aurinko olisi paistanut vapaalta taivaalta kyseisinä päivinä. Pienin seitsemän vuorokauden ajanjaksona saatu säteilymäärä on ollut noin 20 % siitä, mitä se olisi ollut vastaavana aikana jos taivas olisi ollut pilvetön.

Taulukko 2.4.2 nähdään myös, että Tampereella saadaan keskimäärin 62 % siitä auringonsäteilyenergiasta, mitä voitaisiin saada jos taivas olisi aina pilvetön. Samoin taulukon sisältämistä tiedoista voidaan päätellä, että lokakuusta tammiukuuhun Tampereella on keskimäärin pilvisempää kuin kevätkuukausina.

	KESKIMÄÄRÄINEN SÄTEILYMÄÄRÄ WH/M ² /VRK	KESKIMÄÄRÄINEN SÄTEILY KIRKKAALTA TAIVAALTA WH/M ² /VRK	SÄTEILYMÄÄRIEN SUHDE
TAMMIKU	219	390	55 %
HELMIKU	868	1424	60 %
MAALISKU	1930	3228	60 %
HUHTIKU	3660	5590	65 %
TOUKOKU	5130	7764	66 %
KESÄKU	5430	8640	63 %
HEINÄKU	5250	7991	66 %
ELOKU	3660	6097	60 %
SYYSKU	2110	3817	55 %
LOKAKU	900	1863	48 %
MARRASKU	285	622	45 %
JOULUKU	112	252	44 %
VUOSI	2470	3973	62 %

2.5 Ympäristön vaikutus aurinkoenergian saatavuuteen

Aurinkoenergian hyödyntäminen onnistuu parhaiten silloin kun aurinkoenergialaite on sijoitettu niin, että mahdollisimman paljon auringonsäteilyä osuu sen aktiiviselle pinnalle kaikkina vuodenaikoina eli laitteen on oltava suunnattu optimaalisesti eikä sen ja auringon välissä ei ole säteilyn perille pääsyn estäviä tekijöitä. Rakennusta tai laitetta ei siis saisi varjostaa mikään.

2.5.1 Ilmansuuntien vaikutus aurinkoenergian saantiin

Todellisuudessa rakennus ei aina ole sellaisessa asennossa ilmansuuntiin nähden, että aurinkoenergian hyödyntäminen olisi optimaalista, mutta jokin julkisivuista on aina varmasti 45° kulmassa tai pienemmässä etelään nähden. Suuntakulman kääntäminen etelästä 45° pienentää tasolle tulevaa keskimääräistä vuotuista auringonsäteilyä vain noin 10 %.

Kesäkuussa kaakkoon (-45°) tai lounaaseen ($+45^\circ$) suunnatuille pystysuorille pinnoille saapuu noin 8 % enemmän auringonsäteilyä kuin etelään (0°) suunnatuille pystysuorille pinnoille. Kaakkoon tai lounaaseen suunnatuille pystysuorille pinnoille saadaan helmikuussa noin 25 % vähemmän ja lokakuussa noin 20 % vähemmän auringonsäteilyä kuin etelään suunnatuille pystysuorille pinnoille. Pystysuorien pintojen suuntakulman ollessa $\pm 22^\circ$ etelästä, pinnoille saadaan helmi- ja lokakuussa noin 7 % vähemmän auringonsäteilyä kuin suoraan etelään suunnatuille tasaille. Iltapäivien keskimäärin suuremman pilvisyyden vuoksi lounaaseen suuntautuvalla pinnalle säteily määrä pienenee enemmän kuin kaakkoon suuntautuvalla.

Koska auringonsäteilystä saatavaa lämpöä kaivataan juuri talvikuukausina, on siis melko tärkeää, että varsinkin lämpöä keräävät aurinkoenergasysteemit voitaisiin suunnata suhteellisen lähelle etelää. Tämä pätee erityisesti melko yksinkertaisissa aurinkolämpösysteemeissä, joissa ei ole pitkäaikaista lämmön-

varastointimenetelmää vaan lämmönvarastointi tapahtuu vain lyhyeksi, 1-2 päivää, ajaksi. Mutta pitää kuitenkin muistaa, että vaikka etelään suuntaaminen ei olisi mahdollista, muihinkin suuntakulmiin sijoitetut aurinkoenergisysteemit saavat hyödynnettäviä määriä auringonsäteilyä ja systeemit toimivat hyvin, vaikkakin pienemmällä hyötysuhteella.

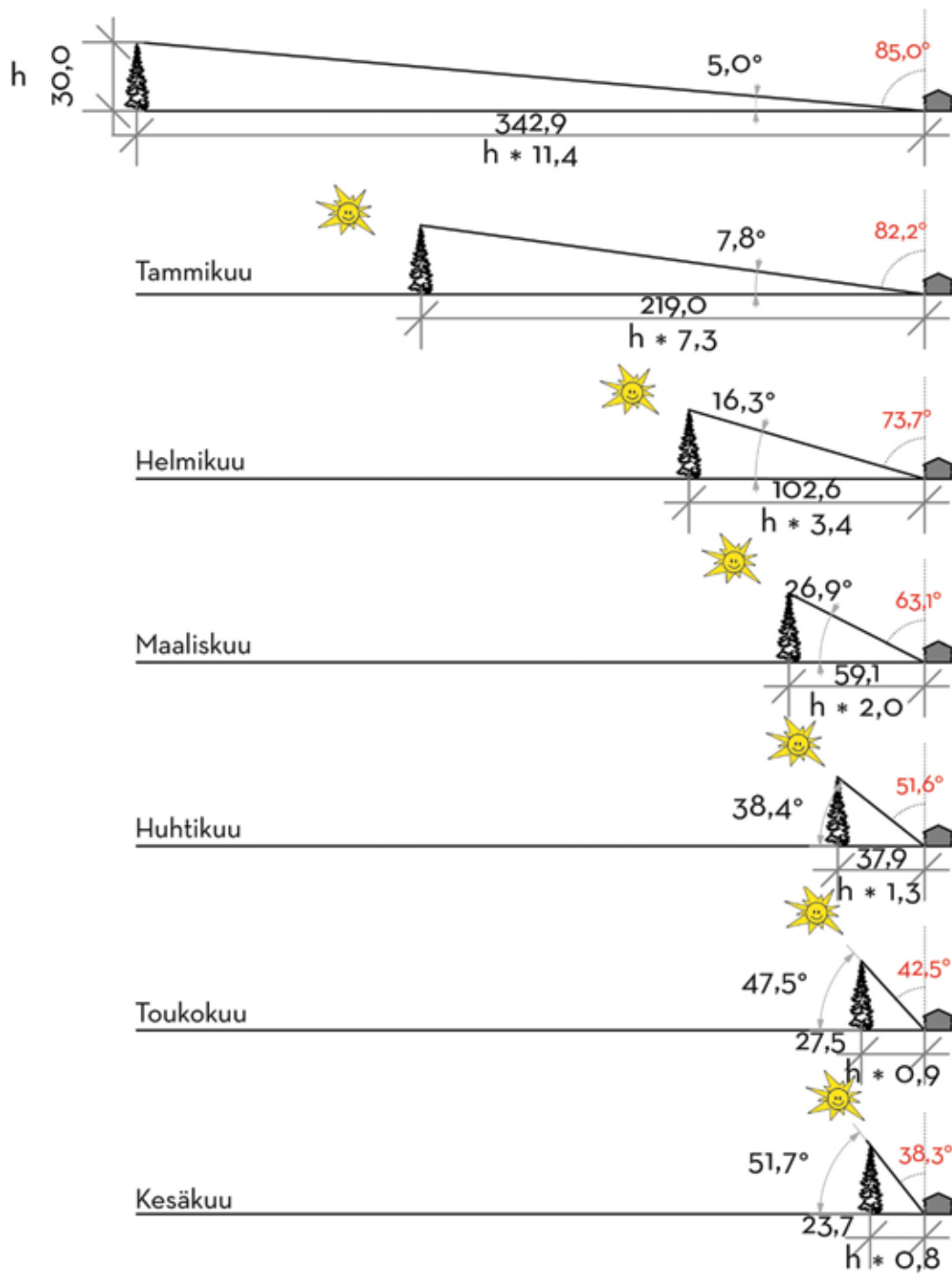
2.5.2 Varjostavien elementtien vaikutus

Useimmiten rakennusten ympäristössä on erilaisia tekijöitä kuten muita rakennuksia, puita tms. ja ne voivat varjostavaa rakennusta tai aurinkoenergisysteemiä varsinkin aamuisin, iltaisin ja talvisin kun auringon korkeuskulma on pieni. Osittainen varjostus ei estä systeemien toimintaa, mutta niitten hyötysuhde kärsii.

Rakennukset, mäet tms. heittävät umpinaisen varjon, joka ei läpäise auringonsäteilyä eikä muutu vuodenaikojen kuluessa eikä niitten sijaintiin, muotoon tai määrään voi juurikaan vaikuttaa. Kasvillisuus sen sijaan läpäisee valoa jonkin verran, niitten valonläpäisy voi muuttua vuodenaikojen tahdissa ja niitä voi luvanvaraisesti kaataa tai istuttaa. Kasvillisuuden varjostavuus riippuu puiden korkeudesta, muodosta, tiheydestä, latvan koosta ja ennen kaikkea valonläpäisevyydestä lämmityskaudella. Tiheät ja korkeat kuuset varjostavat paljon, jotkin männyt melko vähän ja lehtipuut vuodenaajoista riippuen. Aurinkolämpösystemien yhteydessä harvaoksaisten lehtipuut voivat olla hyödyllisiä, sillä talvella lehdettöminä ne eivät juuri varjosta, mutta kesällä, täydessä lehdessä ollessaan, ne voivat varjostuksellaan vähentää yllilämpenemistä.

VIEREINEN SIVU

Kuva 2.5.1: Auringon keskimääräiset maksimikorkeuskulmat ja niitä vastaavat vapaat auringonpaistekulmat kevätkausittain sekä etäisyydet joilla 30m korkea este ei vielä varjosta rakennusta. Kuvassa on myös kertoimet, joilla voi laskea etäisyydet erikorkuisille esteille.



41 vapaa auringonpaistekulma tarkoittaa, aurinkoenergalaitteen alareunassa olevan pystylinjan sekä alareunan ja varjostavan elementin yläreunan välisen linjan, välistä kulmaa, 42 katso Kuva 2.5.1

43 Katso taulukko 2.5.1

2.5.3 Vapaa vertikaali auringonpaistekulma

Aurinkoenergalasysteemin optimaalista toimintaa varten rakennuksen tai systeemin edessä tarvitaan siis mahdollisimman paljon vapaata tilaa, jossa ei ole varjostavia tekijöitä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos halutaan, että systeemi toimii mahdollisimman tehokkaasti ympäri vuoden, systeemin alareunan ja sen edessä olevien varjostavien elementtien yläreunan välisen kuvitteellisen viivan ja vaakasuoran tason välinen kulma saisi olla noin 5° eli ns. vapaa auringonpaistekulma olisi noin 85° ⁴¹. Tämä puolestaan tarkoittaa sitä, että 30 metriä korkean varjostavan elementin tulisi olla vähintään 334 metrin etäisyydellä maantasossa olevasta aurinkoenergalaitteesta, jotta edellä mainittu toteutuisi⁴². Tämä ei tietenkään ole läheskään aina mahdollista.

Jos aurinkoenergalasysteemin vapaa auringonpaistekulma on $75^\circ - 80^\circ$, vuotuisesta auringonsäteilystä saapuu systeemiin vielä noin $85 - 92\%$ ja helmikuunkin keskivertosäteilystä noin 38% . Tällöin ylivoimaisesti suurin osa varjostuksen aiheuttamasta säteilytappiosta sijoittuu marras – tammikuulle, jolloin systeemien tuottama hyöty olisi muutoinkin vähäistä. Vapaan auringonpaistekulman ollessa alle 75° , alkaa auringonsäteilyn tuottama hyöty lämmityskaudella olla suhteellisen vähäistä⁴³. Taulukon 2.5.2 mukaan laskettaessa 75° kulma tarkoittaa sitä, että kolmikerroksisen, 12m korkean, 3+1 kerroksisen kerrostalon tulisi sijaita vähintään $3,7 * 12\text{ m}$ eli 44,4 metrin päässä maantasossa olevasta aurinkoenergalasysteemistä, jottei se varjostaisi systeemiä. Jos aurinkoenergalaitteet on kuitenkin asennettu ylemmäs, etäisyys talojen välillä voi olla pienempikin, esimerkiksi jos aurinkoenergalaitteet on asennettu ensimmäisen kerroksen välipohjan korkeudelle, välimatka pienenee $3 * 3,7\text{ m}$ eli rakennusten välimatkan tulisi olla enää 33,3 m.

2.5.4 Vapaa horisontaali auringonpaistekulma

Luvussa 3.1, Lasin auringonsäteilyn läpäisykyky, todetaan, että katettujen aurinkoenergalasysteemien hyötysuhde pienenee merkittävästi säteilyn tulokulman poiketessa enemmän kuin

Auringonsäteilyn määrä (Wh/m2/vrk) vapailla auringonpaistekulmilla							
	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°
TAMMIKU	664	70	70	70	70	70	70
HELMIKUU	2230	1696	857	212	212	212	212
MAALISKUU	2820	2694	2555	1987	1276	461	461
HUHTIKUU	3530	3530	3453	3381	3230	2954	2612
TOUKOKUU	3550	3550	3550	3532	3462	3338	3167
KESÄKU	3220	3220	3220	3220	3198	3129	3058
HEINÄKU	3350	3350	3350	3350	3305	3249	3125
ELOKU	2900	2900	2883	2849	2765	2644	2430
SYYSKU	2390	2349	2279	2173	1902	1099	556
LOKAKUU	1450	1311	1033	262	262	262	262
MARRASKUU	618	202	96	96	96	96	96
JOULUKUU	367	38	38	38	38	38	38
VUOSI	2260	2076	1949	1764	1651	1463	1341
SUhteellinen säteilyn määrä	100 %	92 %	86 %	78 %	73 %	65 %	59 %

YLLÄ
 taulukko 2.5.1: Vapaan auringonpaistekulman vaikutus auringonsäteilyn (Wh/m2/vrk) määrään etelään suunnatulla pystypinnalla Tampereella. Taulukko perustuu lähteen (PVGIS) tietoihin

ALLA
 taulukko 2.5.2: Taulukossa on vapaan auringonpaistekulman tangenttien arvoja, joilla kerrotaan varjostavan elementin korkeus aurinkoenergiasteeimin alareunasta lukien. Näin saadaan vähimmäis-etäisyys jolla varjostavan elementin tulee olla, jottei se varjosta systeemiä.

85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°
11,4 * h	5,7 * h	3,7 * h	2,7 * h	2,1 * h	1,7 * h	1,4 * h

70° katteen pinnan normaalista. Tämä johtuu katteena käytetyn lasin ominaisuuksista.

Samaa 70° kulmaa voidaan siis ajatella maksimikulmaksi vaakasuunnassa, jolla aurinkoenergiesysteemin edessä tulisi olla varjostavista tekijöistä vapaa alue. Yhteensä vapaa horisontaali auringonpaistekulma olisi siis 140° leveä. Tämän vapaan kulman ulkopuolella ei enää häiritse vaikka siellä olisikin varjostavia rakennuksia, puita tms. Tämän levyinen vapaa kulma vähentäisi vuosittaista pystysuoralle pinnalle tulevaa auringonsäteilyn määrää vain noin 7 % siitä, mitä se olisi jos vapaa kulma olisi täydet 180°. Talvikuukausien säteilyn määrä pienenee vain 0 – 4 % ja kesäkuukausienkin vain 6 – 14 %.

2.5.5 Vapaiden auringonpaistekulmien yhteisvaikutus

Kun otetaan huomioon molemmat vertikaali ja horisontaali vapaa auringonpaistekulma, ne muodostavat auringonpaisteelle ikkunan, josta se pääsee aurinkoenergiesysteemin vastaanottavalle tasolle. Jos vertikaali kulma on edellä mainittu 75° ja horisontaali on 140°, saadaan ikkuna, josta auringonsäteilyä saapuu taulukko 2.5.3:n mukaisesti.

Korkea horisontti siis vaikuttaa pystysuuntaiseen vapaaseen auringonpaistekulmaan ja ennen kaikkea pystysuoralle pinnalle talvikuukausien aikana saapuvan auringonsäteilyn määrään. Kapea vaakatason vapaa auringonpaistekulma vaikuttaa eniten pinnalle kesäkuukausina saapuvan auringonsäteilyn määrään.

2.5.6 Aurinkoenergian tarve vs. saatavuus

Suomen pohjoisen sijainnin vuoksi päivien pituus ja keskilämpötila vaihtelee voimakkaasti vuodenaikojen mukaan. Talvella on paitsi pimeintä myös kylmintä. Tämä merkitsee sitä, että auringonsäteilyenergiaa saadaan vähiten juuri silloin kun energian tarve on suurinta.

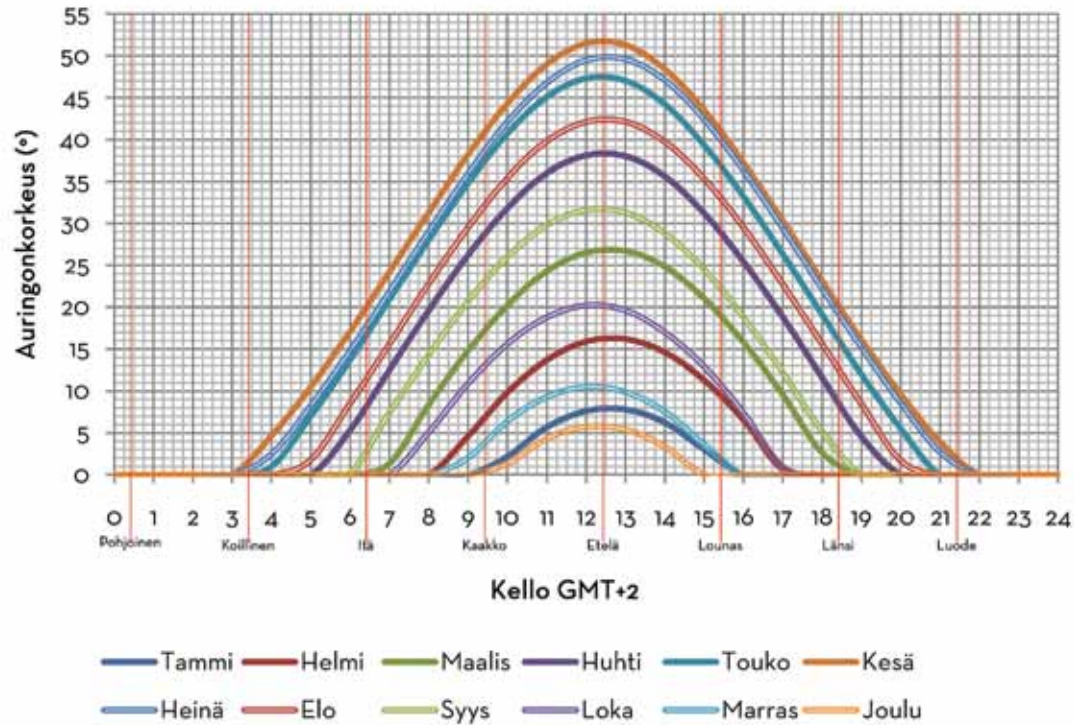
Aurinkoenergiesysteemin hyötysuhde auringonsäteilyyn nähden on sitä parempi, mitä lähempänä systeemin pinnan

	SÄTEILYMÄÄRÄ 75° * 140° VAPAASTA AURINGONPAISTEKULMASTA (WH/M2/VRK)	SÄTEILYMÄÄRÄ 90° * 180° VAPAASTA AURINGONPAISTEKULMASTA (WH/M2/VRK)	SUHDE (%)
TAMMIK.	70	664	11 %
HELMIK.	857	2230	38 %
MAALISK.	2555	2820	91 %
HUHTIK.	3269	3530	93 %
TOUKOK.	3188	3550	90 %
KESÄK.	2785	3220	86 %
HEINÄK.	2955	3350	88 %
ELOK.	2624	2900	90 %
SYYSK.	2243	2390	94 %
LOKAK.	1033	1450	71 %
MARRASK.	96	618	16 %
JOULUK.	38	367	10 %
VUOSI	1809	2260	80 %

normaalia säteilyn tulokulma on. Talvikuukausina, kun auringonsäteilyn tulokulma on matala, pystysuorilla etelään suunnatuilla pinnoilla olevat aurinkoenergialaitteet siis toimivat parhaalla hyötysuhteella.

Säteilyn heijastuminen pinnasta on sitä suurempaa, mitä suurempi säteilyn tulokulma on pinnan normaaliin nähden. Talvikuukausien auringonsäteilyn matalan tulokulman ansiosta siis suurempi osa auringonsäteilystä heijastuu maanpinnasta kuin jos tulokulma olisi korkeampi. Maanpinnasta heijastuvan säteilyn suuruutta lisää vielä lumipeite. Lumi heijastaa auringonsäteilyä todella hyvin ja lisää pystysuoralle pinnalle tulevan säteilyn määrää jopa 20 – 45 %. Pysyvä lumipeite saapuu eteläisimpään Suomeen ja lounaisrannikolle keskimäärin vuoden-

taulukko 2.5.3: Keskimääräinen etelään suunnatulle pystysuoralle tasolle saapuvan auringonsäteilyn määrä Tampereella kun pinnan vertikaali vapaa auringonpaistekulma on 75° ja horisontaali on 140° sekä vertailu säteilymäärään samalle pinnalle kun varjostavia esteitä ei ole.



kaavio 2.6.1: Eri kuukausien keskimääräiset auringonnousu- ja laskuajat sekä auringonkorkeus horisontista (°) eri kellonaikoina Tampereella. Kaavio perustuu lähteen ⁴⁴ tietoihin.

vaihteessa ja pysyy keskimäärin maaliskuu – huhtikuun taitteeseen, eli maanpinnalla on lumipeite eteläisimmässäkin Suomessa noin kolme kuukautta vuodessa. Lumipeite kestää sisämaassa, keski-Suomessa ja pohjoisessa huomattavasti pidempään, esimerkiksi Tampereella keskimäärin joulukuun puolesta välistä huhtikuun puoleen väliin eli noin neljä kuukautta, Jyväskylässä keskimäärin joulukuun alusta huhtikuun jälkipuoliskolle eli yli neljä kuukautta ja Kemissä marraskuun puolesta välistä toukokuun alkuun eli noin viisi ja puoli kuukautta ⁴⁵. Talvisin kylmintä on korkeapaineen aikana, jolloin pilvisyys on vähäi-

⁴⁴ Solantie (1993)

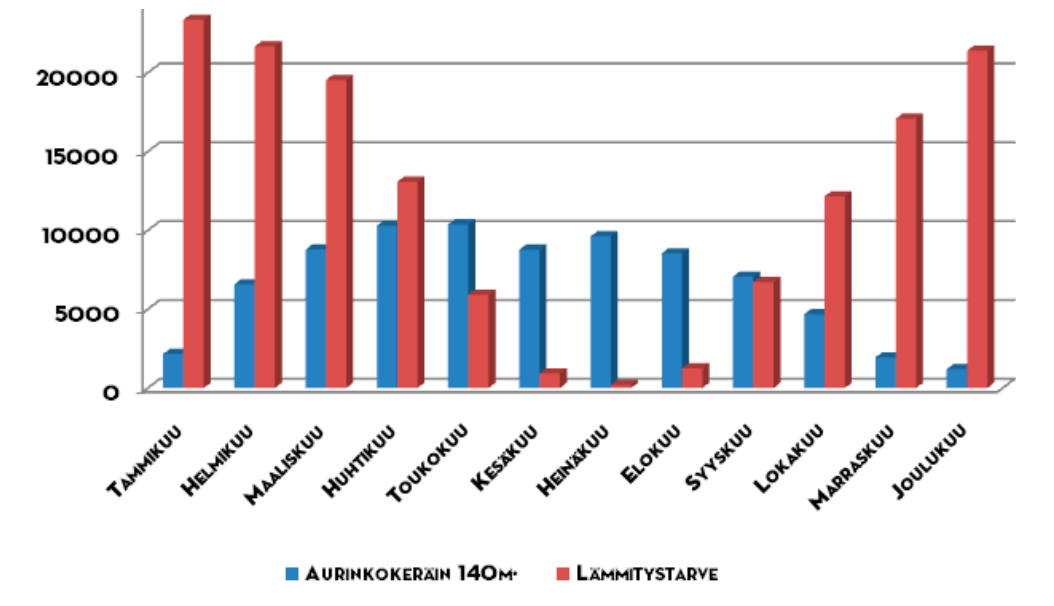
sintä ja auringonsäteily on voimakkainta eli talvisin silloin kun lämmitystarve on suurin, maan pinnalle saapuva auringonsäteilykin on yleensä melko voimakasta.

Suomessa pilvisin kausi on loka – tammikuu ja selvästi pilvisin kuukausi on marraskuu, jonka keskimääräinen pilvisyysprosentti vaihtelee 75 – 85 % välillä riippuen maantieteellisestä sijainnista. Helmikuu on jo edellisiä kuukausia huomattavasti aurinkoisempi ja maaliskuun pilvisyysprosentti on enää 60 – 65 % riippuen maantieteellisestä sijainnista⁴⁶.

46 Sarkkula (1993)

Suurin lämmitystarve on loka – huhtikuussa, näistä kuukausista ainoastaan marras – tammikuussa auringonsäteilyenergiasta ei mielestäni ole taloudellista mahdollisuutta saada kovin suurta osuutta tarvittavasta lämmitysenergiasta (katso kaavio 2.6.2).

kaavio 2.6.2: Esimerkkikohteessa sijaitsevan kerrostalon lämmitystarve kuukausittain kun taloon on tehty rakennuksen vaipan korjaus, jossa vaipan U-arvot on tuotu nykystandardien mukaisiksi sekä samaisen rakennuksen etelänpuoleiseen julkisivuun integroitujen aurinkolämpökeräimien tuotto kun keräimet peittävät noin 30 % julkisivusta eli keräimien yhteenlaskettu pinta-ala on 140m² ja hyötysuhde 75 %.





3 AURINKOENERGIA-SYSTEEMIT

Yleisimmin käytetyt aurinkoenergiesysteemit voidaan jakaa karkeasti kahteen eri tyyppiin, aktiivisiin ja passiivisiin aurinkoenergiesysteemeihin. Aktiiviset aurinkoenergiesysteemit voidaan puolestaan karkeasti jakaa kahtia aurinkosähköjärjestelmiin, jotka muuntavat auringonsäteilyn suoraan sähköksi, ja aurinkolämpöjärjestelmiin, jotka muuntavat auringonsäteilyenergian lämmöksi.

Puhtaasti passiiviset aurinkoenergiesysteemit eivät tarvitse mitään lisälaitteita. Aktiiviset systeemit sen sijaan käyttävät aurinkoenergian keräily-, siirto- ja varastointilaitteita auringonsäteilyn hyödyntämiseen. Erilaisia laitteita voivat olla esimerkiksi tyhjiöputkikeräimet, jotka keräävät auringonsäteilyenergiaa talteen lämpönä ja joista se siirretään käyttöön muualla rakennuksessa, tai aurinkosähköpaneelit, jotka muuttavat säteilyenergian sähköksi, jota voidaan hyödyntää monella tapaa.

Hybridijärjestelmässä passiivista järjestelmää autetaan mekaanisilla laitteilla kuten puhaltimilla, joilla tehostetaan lämmön luonnollista kulkua keräimistä varastointiin ja/tai sisätiloihin. Hybridijärjestelmässä siis käytetään sekä aktiivisia että passiivisia aurinkoenergielementtejä.

3.1 Lasin auringonsäteilyn läpäisykyky

Suurella osalla sekä aktiivisia, että passiivisia aurinkoenergiesysteemiä on valoa läpäisevä kate, joka on useimmiten lasinen. Katteen on tarkoitus paitsi suojata laitteita myös toimia läm-

VIEREINEN SIVU

Kuva 3.1: Cornell Yliopiston Silo House, jolla yliopiston joukkue osallistui vuoden 2009 Solar Decathlon kilpailuun. (U.S. Department of Energy 2009).

47 Ilmiö tunnetaan yleisemmin nimellä kasvihuoneilmiö.

pöeristeenä. Lasinen kate kuitenkin vaikuttaa laitteeseen saapuvan auringonsäteilyn määrään selvästi.

Lasi läpäisee hyvin näkyvää valoa ja melko hyvin lyhytaaltoista infrapunasäteilyä, mutta heikosti pitkäaaltoisempaa lämpösäteilyä. Tämän vuoksi lasi kerää hyvin auringon lämpösäteilyä, mutta estää lämpöä karkaamasta ⁴⁷. Ultravioletti säteilyä lasi läpäisee huonosti.

3.1.1 Valon heijastuminen lasista

Lasin valonläpäisykyky riippuu paitsi siihen tulevan säteilyn aallonpituudesta myös säteilyn tulokulmasta. Mitä jyrkemmässä kulmassa auringonsäteily saapuu lasiin, sitä suurempi osa siitä heijastuu pois tai absorboituu lasiin.

Kun valo tulee lasin rajapintaan, osa valosta heijastuu ja osa valosta jatkaa matkaansa lasiin, mutta muuttaa kulkusuuntaansa eli taittuu. Tuleva säde ja heijastuva säde muodostavat pinnan normaalin kanssa yhtä suuret kulmat eli tulokulma ja heijastuskulma ovat yhtä suuret. Vinosti rajapintaan tulevan säteen suunta muuttuu kun aineilla on erilaiset taitekertoimet. Tulevien ja taittuneiden säteiden välillä pätee yhtälö

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

Kaava 3.1.1

jossa n_1 ja n_2 ovat aineiden taitekertoimet ja α_1 on valonsäteen tulokulma ja α_2 on taitekulma.

Jos valo tulee kohtisuorasti ilman ja lasin rajapintaan, voidaan heijastuneen valon määrä laskea yhtälöllä

$$I = I_0 \frac{\left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)^2}{\left(1 + \frac{n_1}{n_2}\right)^2}$$

Kaava 3.1.2

missä I on pinnasta heijastuneen säteilyn intensiteetti, I_0 on tu-

levan säteilyn intensiteetti ja n_1/n_2 on taitekertoimien suhde. Heijastunut säteily määrä on sitä suurempi, mitä suurempi on taitekertoimien ero ⁴⁸.

48 Savonia ammattikorkeakoulu (2010)

Valo muodostuu s- ja p-polarisoituneesta komponentista, joille on omat heijastuskertoimensa r_s ja r_p . Auringonsäteily on polarisoitumatonta, jolloin siinä on yhtä paljon sekä s- että p-polarisoitunutta komponenttia. Heijastunut valonsäde on s- ja p-polarisoituneelle valonsäteelle laskettujen tehollisarvojen keskiarvo. Tällöin kokonaisheijastuskerroin r^2 on s- ja p-polarisoituneen valon heijastuskertoimien keskiarvo yhtälön

$$r^2 = \frac{r_s^2 + r_p^2}{2}$$

Kaava 3.1.3

mukaisesti. Heijastuskertoimet s- ja p-polarisoituneelle komponentille saadaan Fresnelin yhtälöistä.

$$r_s = \frac{\sin(\theta_t - \theta_i)}{\sin(\theta_t + \theta_i)} = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2}}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2}}$$

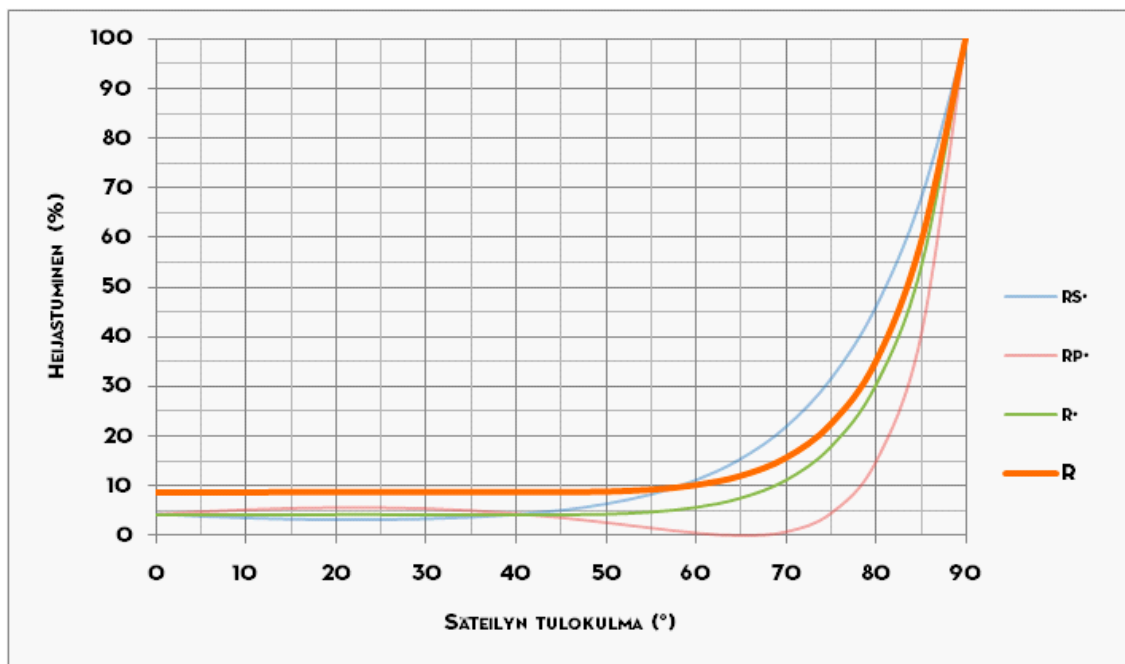
Kaava 3.1.4

$$r_p = \frac{\tan(\theta_t - \theta_i)}{\tan(\theta_t + \theta_i)} = \frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2} - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i\right)^2} + n_2 \cos \theta_i}$$

Kaava 3.1.5

Joissa θ_i on valonsäteen tulokulma suhteessa pinnan normaaliin ja θ_t on taittuneen valonsäteen kulma, n_1 ja n_2 ovat aineiden taitekertoimia ⁴⁹.

49 Flinck (2010)



kaavio 3.1.1: Auringonvalon heijastuminen eri tulokulmilla lasilevystä(R) eli otettaessa huomioon lasin molemmat pinnat sekä auringonvalon heijastuminen lasin etupinnasta s- ja p-polarisoituneilla komponenteilla sekä kokonaisheijastus(r2). Noin 8 % valosta heijastuu säteilyn tullessa kohtisuorasti lasin pintaan (tulokulma 0°). Heijastuminen alkaa kasvaa voimakkaasti tulokulman ylittäessä 60°, eli lasin pinnan ja tulevan valonsäteen kulman ollessa alle 30°.

Ilman taitekerroin on noin 1. Tavallisen lasin sekä aurinkoenergiälaitteissa käytetyn vähärautaisen lasin taitekerroin on noin 1,5, akryylin 1,49 ja muiden muovien 1,5 – 1,7. Ilman ja lasin rajapintaan kohtisuorasti tulevasta valosta heijastuu 4 %. Koska heijastumista tapahtuu aina aineiden rajapinnalla eli sekä lasin etu- että takapinnalla, lasista heijastuu noin 8 % siihen kohtisuoraan osuvasta säteilystä. Lasin läpäisykyvystä puhuttaessa puhutaan yleensä nimenomaan kohtisuoraan tule-

van valon lasin läpäisystä.

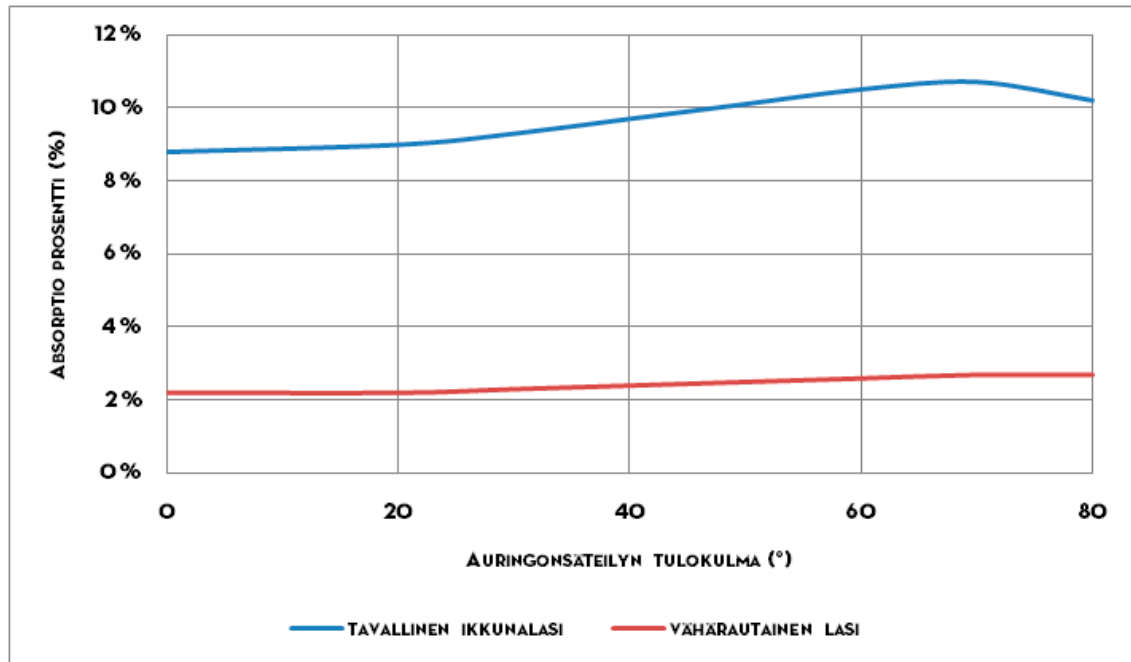
Valon heijastuminen lasista on hyvin heikkoa valonsäteen tulokulman ollessa alle 60° , minkä jälkeen heijastuvuus kasvaa voimakkaasti. Tulokulman ollessa 75° heijastuvuus on jo noin 22 %, tulokulman ollessa 80° heijastuvuus on noin 35 % ja tulokulman ollessa 85° heijastuvuus on noin 59 % (katso kaavio 3.1.1).

3.1.2 Säteilyn absorboituminen lasiin

Pelkkä valon heijastuminen ei vähennä lasin läpi pääsevän säteilyn määrää, osa säteilystä myös absorboituu lasiin. Myös absorboitumisen määrä vaihtelee säteilyn tulokulman mukaan, mitä jyrkemmässä kulmassa valo tulee lasiin, sitä pidemmän matkan valo joutuu kulkemaan lasissa. Valon taittumisen ansiosta tämä on kuitenkin lyhyempi kuin se muutoin olisi. Esimer-

50 Rubin (1985)

kaavio 3.1.2: Auringonsäteilyn tulokulmasta riippuva absorptio 3mm ikkunalasissa. Kuva perustuu lähteen⁵⁰ tietoihin.



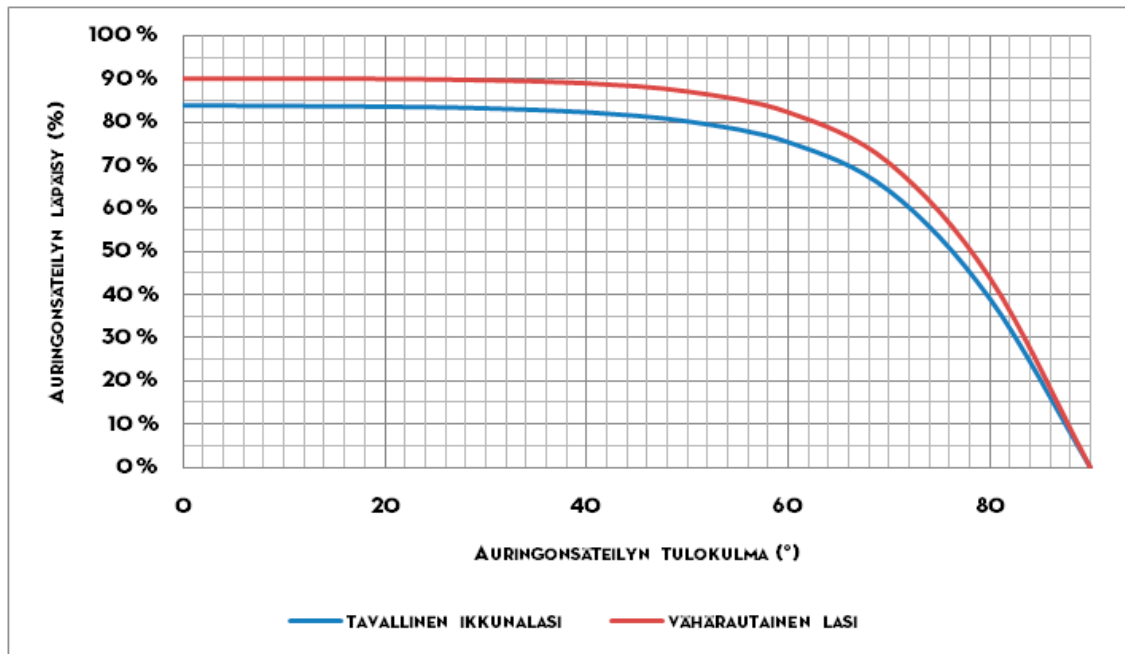
kiksi tulokulman ollessa 80° , valon ikkunan läpäisykulma on vain 56° . kaaviossa 3.1.2 on ikkunalasiin absorboituvan auringonsäteilyn prosentuaalisia osuuksia säteilyn eri tulokulmilla.

3.1.3 Heijastumisen ja absorboitumisen yhteisvaikutus

Kun eri tekijät, jotka vaikuttavat eri kulmissa saapuvan auringonsäteilyn lasin läpäisykykyyn, otetaan huomioon, voidaan huomata, että yleisesti käytetty lasin valonläpäisy LT ei ilmaise läheskään kaikkea. Heijastumisen ja absorption muuttuminen säteilyn tulokulman muuttuessa, vaikuttavat merkittävästi lasin ulkonäköön ja sen toimivuuteen rakennuksen osana. Kaaviossa 3.1.3 on ikkunalasin läpäisevä auringonsäteily prosentuaalisina osuuksina saapuvasta valosta riippuen saapuvan

51 Rubin (1985)

kaavio 3.1.3: Auringonsäteilyn tulokulmasta riippuva läpäisy 3mm ikkunalasissa. Kuva perustuu lähteen⁵¹ tietoihin.



valon tulokulmasta. Tavallisen lasin auringonsäteilynläpäisy-
kyky näyttäisi putoavan noin puoleen kun säteilyn tulokulma
ylittää 75° pinnan normaalista.

3.1.4 Auringon kulkureitin vaikutus säteilyn tulokulmaan

Aikaisemmin kappaleessa 2.5.2 Varjostavien elementtien vai-
kutukset puhuttiin vertikaalista ja horisontaalista vapaasta au-
rinkokulmasta ja päädyttiin käyttämään lasin auringonsäteilyn
läpäisykyvystä johtuen arvoa 70° pinnan normaalista horison-
taalin vapaan aurinkokulman suhteen. Säteilyn tullessa yli 70°
asteen kulmassa alle 70 % siitä pääsee lasin läpi absorptiopin-
nalle eli aurinkoenergialaitteen teho pienenee voimakkaasti.
Sam 70° kulma pinnan kohtisuorasta pätee tietysti silloinkin
kun säteily tulee muusta kuin vaaka tasosta. Kun pystysuoralle
pinnalle saapuvan auringonsäteilyn tulokulman pystykompo-
nentti kasvaa, pitää tulokulman vaakakomponentin pienentyä,
jotta säteilyn tulokulma pinnan kohtisuoraa kohden olisi alle
70°. Jos säteily tulokulman pystykomponentti on 70°, vaaka-
komponentin tulee olla 0°. Pystysuoralle pinnalle saapuvan
auringonsäteilyn tulokulman vaakakomponentin muutos suh-
teessa pystykomponentin muutokseen saadaan kaavalla

$$\alpha_h = \tan^{-1} \sqrt{(\tan 70^\circ)^2 - (\tan \alpha_v)^2}$$

Kaava 3.1.6

jossa α_h on tulokulman vaakakomponentin arvo ja α_v on tulokul-
man pystykomponentin arvo. Jos auringon säteilyn tulokulman
pystykomponentti on 55°, saadaan kaavasta, että vaakakom-
ponentin tulee olla 0°. Tällä ei selvästikään ole juuri vaikutusta
Suomessa, missä aurinko ei nouse missään eikä milloinkaan
tuota korkeammalle. Etelämpänä, missä auringon tulokulma
on kesäisin huomattavasti suurempi, asialla on merkittävää vai-
kutusta. Lähempänä päiväntasaajaa auringon korkea tulokul-
ma on hyödyksi kun voimakkaimman auringonpaisteen aikana

suuri osa auringonsäteilystä heijastuu lasista pois. Tätä voidaan tehostaa kallistamalla ikkunat yläreunastaan ulospäin, jolloin säteilyn ja lasin välinen kulma pysyy jyrkkänä pidempään.

3.2 Absorptiopinta - Aallonpituusselektiiviset absorptiopinnat

Aallonpituus selektiivisillä absorptiopinnoilla pyritään maksimoimaan auringonsäteilyn absorptio ja minimoimaan lämpösäteilyn emissio. Pyritään siis saamaan aikaiseksi absorptiolevy, joka kerää itseensä mahdollisimman paljon aurinkoenergiaa ja päästää keräämäänsä energiaa karkaamaan säteilynä mahdollisimman vähän.

3.2.1 Absorptiopinnan toiminnan fysiikan perusteita

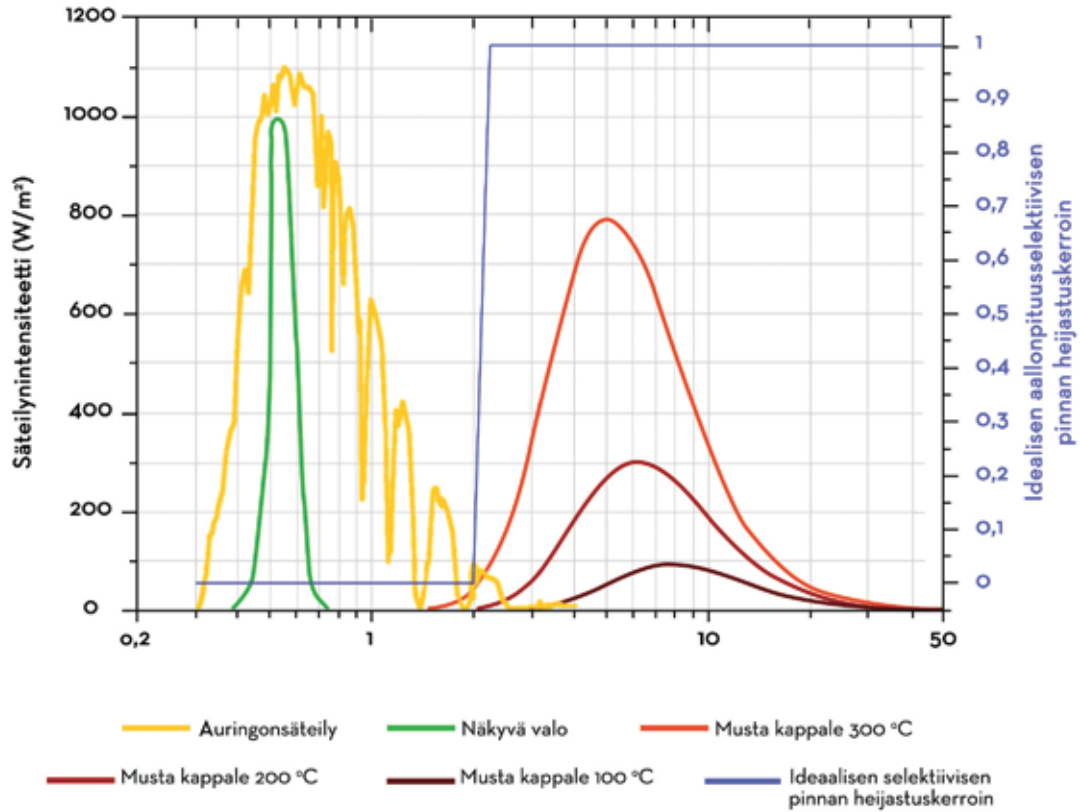
Auringonsäteilyn spektri sisältää hyvin vähän pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Lämmin kappale kuten aurinkokeräimen absorptiopinta sen sijaan säteilee lämpöä pääosin nimenomaan pitkäaaltoisena lämpösäteilynä. Näin ollen auringonsäteilyn spektri ja auringonsäteilyn lämmittämän kappaleen lämpösäteilyn spektreillä ei ole juurikaan päällekkäisyyttä.

100 – 200 °C asteen lämpötilassa musta kappale säteilee eri aallonpituudella kuin aurinko⁵². Korkeammissa 200 – 300 °C lämpötilassa säteilyspektreillä on osittaista päällekkäisyyttä. Musta kappale tässä yhteydessä kuvaa ideaalista absorptiopintaa.

Idealisella absorptiopinnalla auringosta tulevalle alle 2 µm säteilylle heijastuserroin olisi nolla ja absorptiopinnan alla olevasta metallista lähtevälle yli 2 µm säteilylle heijastuserroin olisi yksi⁵³. Eli pinta absorboisi kaiken sille tulevan auringonsäteilyn, mutta heijastaisi sen sisältä tulevan pidempi aaltoisen lämpösäteilyn takaisin sisälle.

52 Musta kappale on fysiikassa käytetty termi ideaalisesta kappaleesta, joka absorboi kaiken siihen kohdistuvan säteilyn eikä heijasta sitä lainkaan

53 Konttinen (2004)



kaavio 3.2.1: Auringonsäteilyn ja mustan kappaleen eli ideaalisen absorptiopinnan emittoiman säteilyn aallonpituusjakaumat sekä ideaalisen aallonpituusselektiivisen pinnan heijastuskerroin⁵³. Auringonsäteilyn ja absorptiopinnan emittoiman lämpösäteilyn aallonpituudet ovat päällekkäisiä vain hyvin kapealla alueella

55 Tämä määritelmä ei pidä kuitenkaan paikkaansa ihmisen havaitsemiin värihin, sillä ihmisen väriäisti on kolmivärinen. Silmissä on kolmenlaisia tappisoluja, joista yhdet ovat herkistyneet näkyvän valon spektrin violettiin, toiset vihreään ja kolmannet punaiseen alueeseen. Lisäksi silmät aistivat valoisuuden eri asteita ja näiden aistimusten yhdistelmät luovat ihmisen kokemukset eri väreistä. Sekä vihreät, että punaiset tappisolut reagoivat keltaiseen väriin, mutta ihminen saadaan näkemään keltaista myös näyttämällä ihmiselle yhtä aikaa sopivaa vihreää ja punaista aallonpituutta eikä lainkaan keltaista aallonpituutta. Tähän perustuu väritelevisiot, kolmiväri painatus jne.

3.2.2 Värien vaikutus

Aurinkokeräimet voivat olla minkä värisiä tahansa kunhan se väri on musta, näin voidaan vääristellä vanhaa lausahdusta T-Fordista. Weissin ja Stadlerin mukaan 85 % arkkitehteista toivoisi, että aurinkokeräinten väri olisi joku muu kuin musta, vaikka se heikentäisi niitten suorituskkyä⁵⁴.

Aurinkoenergiälaitteiden väri on yleensä ollut musta, koska musta väri ei heijasta mitään siihen kohdistuvan näkyvän valon aallonpituuksista juuri ollenkaan, eli musta väri absorboi suurimman osan siihen osuvasta säteilystä ainakin näkyvän valon alueella. Valkoinen väri puolestaan heijastaa kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia tasaisesti. Karkeasti ottaen sininen väri heijastaa sinisen aallonpituuksia ja absorboi muita aallonpituuksia, punainen vuorostaan heijastaa punaisen aallonpituuksia ja absorboi muitten värien aallonpituuksia jne⁵⁵. Auringonsäteilyn spektri on kuitenkin paljon laajempi kuin näkyvän valon spektri. Jos saadaan aikaan pinta, joka absorboi kaiken muun säteilyn paitsi vain kapean alan näkyvän valon aallonpituuksista, jotka se heijastaa, pinnan väri olisi heijastuneen aallonpituuden väri, ilman että pinnan absorboiman energian määrä juurikaan pienenee. Samoin jos saadaan aikaan pinta, joka heijastaa vain osan siihen osuvasta säteilystä joidenkin aallonpituuksien alueella ja absorboi muun säteilyn, pinta on tumma, mutta selvästi jonkin värinen eikä sen absorboiman energian määrä taaskaan kärsi kohtuuttomasti.

Parhaiden teollisesti valmistettavien ja yleisesti saatavilla olevilla aallonpituusselektiivisillä absorptiopinnoitteilla absorptanssi, eli se osuus auringonsäteilyn sisältämästä energiasta, jonka kappale absorboi, on ≥ 95 %. Emittanssi, eli se osuus kappaleen absorboimasta energiasta, jonka se säteilee lämpönä pois, on ≤ 10 %. Jos kuitenkin halutaan laajempi väriskaala kuin musta tai erittäin tumma sininen, joudutaan alentamaan näitä vaatimuksia. Voidaan kuitenkin todeta, että on olemassa erilaisia menetelmiä, joilla saadaan aikaiseksi aallonpituusselektiivisiä absorbointi pinnoitteita joiden väri ei ole musta ja joiden suorituskky on hyväksyttävissä rajoissa eli esim. absorptanssi ≥ 80 % ja emittanssi ≤ 30 %.

3.2.3 Maalit

Tutkimuksessaan ”Spectrally selective solar absorbers in different non-black colours” Orel, Gunde ja Hutchins valmistsivat silikoni maaleja keltaisesta, okran ja tumman okran värisestä, vihreästä ja sinisestä pigmentistä. Parantaakseen näiden maalien absorptanssia niihin lisättiin valmista mustaa maalia eri suhteissa. Tämän jälkeen maaleilla pinnoitettiin alumiini kalvoja spray maalaus tekniikalla erittäin ohuista⁵⁶ kerroksista niin paksuun kerrokseen, ettei heijastuvuudessa enää näkyisi muutoksia vaikka paksuutta vielä lisättäisiin. Näin valmistettujen pintojen auringonsäteilyn absorptanssia ja lämpösäteilyn emittanssia mitattiin ja tutkittiin eri metodein.

Pintojen metrinen väri vahvuus⁵⁷ ja vaaleus (L*) CIE L*a*b* väriavaruudessa laskettiin laajalle katsomiskulmalle normaaleissa päivänvalo olosuhteissa. Metrinen väri vahvuus saadaan kaavasta

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Kaava 4.21

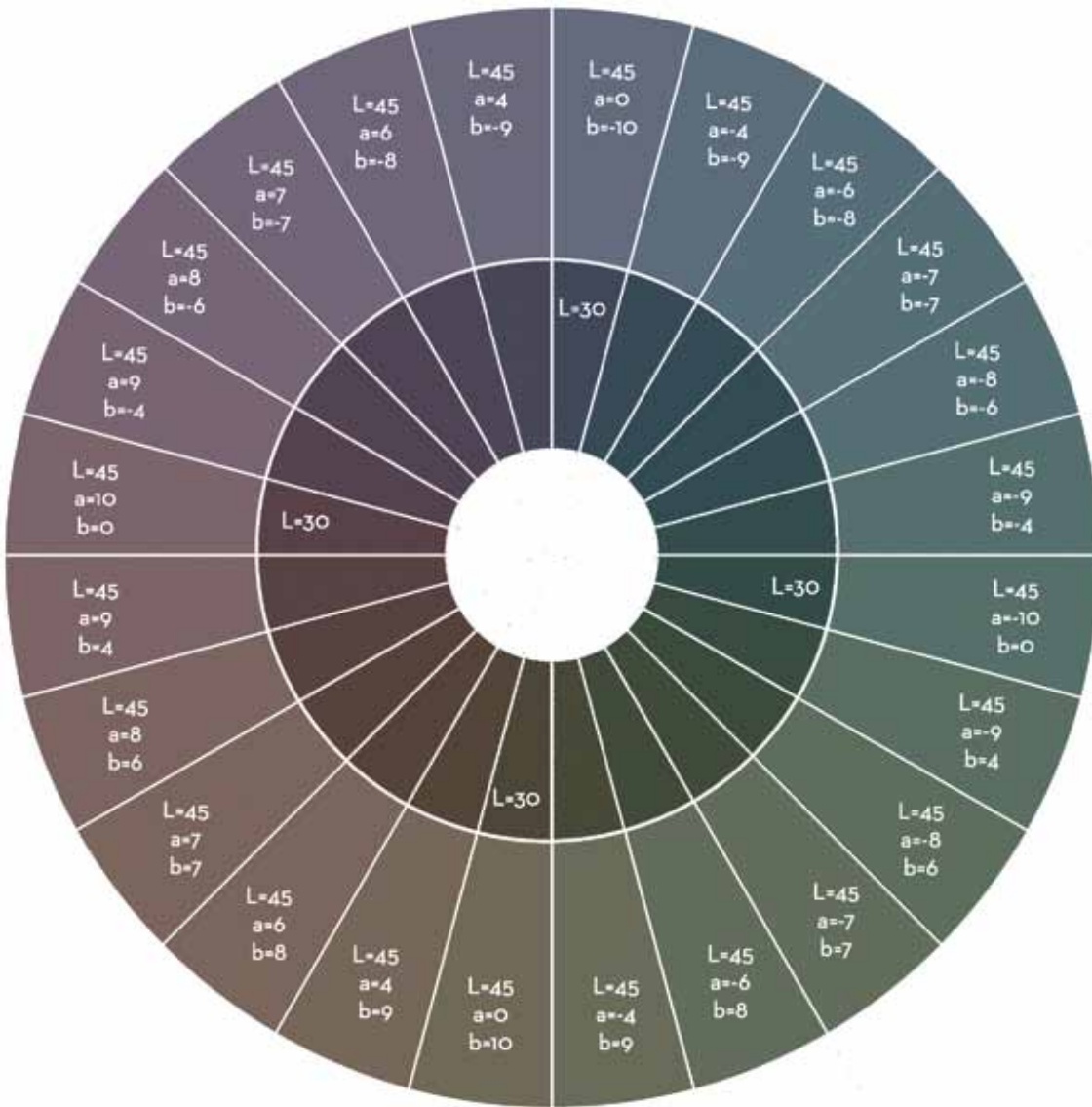
CIE L*a*b* käyttää hyväkseen väriin eri aallonpituuksia ja perustuu väriavaruuteen, jossa punainen⁵⁸/vihreä ja keltainen/sininen sekä valoisuus/tummuus ovat väriin tunnistuksen kannalta merkittäviä muuttujia, CIE L*a*b*:in kolme koordinaattia edustaa näitä kolmea muuttujaa. L* edustaa väriin vaaleutta, jossa L*=0 on musta ja L*=100 on diffuusi valkoinen, kiiltävä valkoinen voi saada suuremman arvon. a* edustaa väriin sijaintia punaisen ja vihreän välillä, negatiiviset arvot edustavat vihreää ja positiiviset arvot punaista. b* edustaa väriin sijaintia keltaisen ja sinisen välillä, negatiiviset arvot edustavat sinistä ja positiiviset keltaista. Tyypillisissä kuvankäsittely ohjelmissa a* ja b* voivat olla vain arvojen -128 ja 128 välillä sopien yhteen sRGB väriprofiilin kanssa, koska perustietokoneen näyttö pystyy esittämään värejä vain tältä väliltä.

Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että kyseisiä pintoja, joitten absorptanssi on > 80 % ja emittanssi on < 30 %, on mahdollista valmistaa muissakin väreissä kuin mustana. Näitten

56 Noin 2 nanometriä

57 Metric chroma

58 Tarkemmin sanottuna magenta



Kuva 3.2.1: Värejä joiden arvot CIE $L^*a^*b^*$ väriavaruudessa ovat vaaleus $L^*=45$ (ulompi kehä) ja $L^*=30$ (sisempi kehä) sekä metrinen värin voimakkuus (metric chroma), jossa . Värit eivät välttämättä ole samoja joita Orel et al. valmistivat tutkimuksessaan, mutta niitten vaaleus/tummuus ja värin voimakkuus ovat samoja kuin tutkimuksen maaleilla.



pintojen vaaleus on $L^* < 45$ ja metrinen värin vahvuus $C^*_{ab} < 10$. Eri väreistä vihreään pigmenttiin pohjautuvilla on paras yhdistelmä auringonsäteilyn absorptanssia ja lämpösäteilyn emittanssia. Vihreä, sininen ja tumma okra pohjaisilla maaleilla on absorptanssi $> 85\%$ ja emittanssi $< 25\%$ ⁵⁹. Näitten värillisten aallonpituusselektiivisien maalien omaamat optiset ominaisuudet tarjoavat arkkitehtonisesti mielekkään vaihtoehdon perus mustille tai tumman sinisille absorptiopinnoitteille ja mahdollistaa rakennuksiin integroitujen aurinkokeräimien laajemman käytön ⁶⁰.

COLOURFACE ⁶¹ projektissa on myöskin tutkittu mahdollisuuksia valmistaa erivärisiä absorptiopintoja aurinkokeräimiin. Tässä projektissa oli tavoitteena tuottaa TISS ⁶², eli aallonpituusselektiivisiä, maaleja, joiden tehoon maalikerroksen paksuus ei vaikuta. Maaleille tässä projektissa hyväksyttiin arvot absorptanssi $> 80\%$ ja emittanssi $< 50\%$ eli emittanssissa hyväksyttiin heikommät arvot kuin Orel et al. tutkimuksessa. Tuloksena projektista saatiin kuvassa 3.2.2 esitetyt värit.

Kuva 3.2.2: COLOURFACE projektin tulosten perusteella väritettyjä metalliprofiileja (COLOURFACE).

⁵⁹ Jos hyväksytään heikommät arvot kuten COLURFACE projektissa saadaan voikkaampia värejä.

⁶⁰ Orel et al. (2004)

⁶¹ Colored collector facades for solar heating and building insulation

⁶² thickness-insensitive selective solar

3.2.4 Katteet

Toinen tapa saada aikaan erivärisiä aurinkokeräimiä on muuttaa katteen väriä absorptiopinnan värin sijaan. Tälläkin metodilla on saatu aikaan hyviä tuloksia.

Katteen ominaisuuksia muutetaan niin, että lasi ei ole enää läpinäkyvä, mutta päästää auringonsäteilyn lävitsensä. Näkyvän valon alueella, joka on melko kapea osuus auringon säteilystä ⁶³,

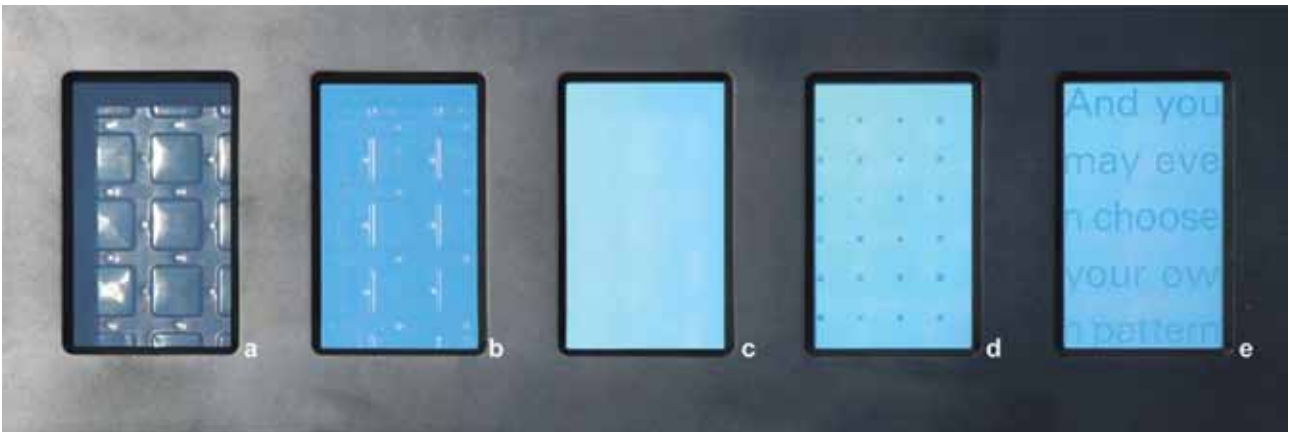


YLLÄ Kuva 3.2.3: Tässä luvussa käsitellyllä menetelmällä aikaan saatuja värejä (Roecker et al. 2007).

ALLA

Kuva 3.2.4: Eri tavoin käsiteltyjä lasia, joiden takana on standardi musta vesikeräimen absorptiopinta: A:

Tavallinen kirkas lasi; B: Sininen selektiivinen pinnoite kirkkaan lasin sisäpinnalla; C: Sininen selektiivinen pinnoite maitolasin sisäpinnalla; D: Sininen selektiivinen pinnoite standardi kuvioidun etsatun lasin sisäpinnalla; E: Sininen selektiivinen pinnoite erikoistilauksena etsatun lasin sisäpinnalla. (Roecker et al. 2007)



heijastetaan vain vielä kapeampi aallonpituusalue ja päästetään loppu auringonsäteilystä läpi. Koska heijastunut osa spektristä on kapea, läpi pääsevän säteilyn häviöt ovat pieniä, mutta heijastuneella osuudella on selkeästi näkyvä väri, joka puolestaan määrittäytyy heijastuneen valon aallonpituuden mukaan. Lopputuloksena on voimakas heijastunut väri näin käsitellystä lasista, joka peittää lasin takana olevan absorptiopinnan näkyvistä.

Menetelmä, jolla haluttu väri saadaan aikaan, perustuu ohuessa kalvossa tapahtuvaan interferenssi-ilmiöön. Ilmiö on sama, jonka ansiosta saippuakupla tai veden pinnalla oleva ohut öljykerros heijastaa valoa sateenkaaren väreissä. Lasin sisäpinta päällystetään ohutkalvoilla joiden paksuutta ja lukumäärää vaihtelemalla saadaan aikaan eri värejä.

63 Katso kaavio 3.2.1 ylempänä

Kuva 3.2.5: Koulu Pully'n kaupungissa Sveitsissä, jonka julkisivuissa on käytetty luvussa 3.2.4 käsiteltyjä erikoislaseja (Roecker et al. 2007)



64 katso Kuva 2.3.3

Menetelmän toimintaperiaatteesta johtuen, osan aikaansaaduista väreistä näkyvyys riippuu katsomiskulmasta. Pinnoitteen kyky peittää takana oleva pinta puolestaan riippuu heijastuvan valon suunnasta ja voimakkuudesta. Mikäli pinnoitteesta ei heijastu valoa suoraan katsojaan, sen takana oleva pinta pysyy näkyvissä. Siksi lasin ulkopinta käsitellään sellaiseksi, että valo heijastuu siitä hajautuneesti eikä peilimäisesti⁶⁴. Näin katsoi lasia mistä suunnasta tahansa lasi säilyttää värin ja läpinäkyvyyden. Aikaansaatu lasi näyttää paljolti samalta kuin tavallinen värillinen etsattu lasi, mutta päästää auringonsäteilyä lävitsensä monta kertaa paremmin.

65 Roecker et al. (2007)

Koska nämä lasilevyt ovat läpinäkyvyyttä kun ne ovat tumman absorptiopinnan tai muun tumman pinnan edessä, niitä voidaan käyttää rakennuksen verhoukseen sielläkin missä keräimiä ei ole ja näin saada rakennukselle yhtenäinen ilme⁶⁵.

66 Hottel-Whillier-(Woertz)-Bliss-yhtälö

3.3 Keräimen energiantuotanto

Keräimen energiantuotanto on absorboituneen energian ja lämpöhäviöiden erotus. Tämä saadaan HWB-yhtälöstä⁶⁶.

$$Q_u = A_c F_R [(\tau\alpha) I_k - U_L (T_f - T_a)]$$

missä Q_u on keräimen lämmöntuotanto (W/m²), A_c on keräimen pinta-ala[m²], $\tau\alpha$ on efektiivinen absorptiokerroin (transmissio-absorptio-tulo), I_k on säteily keräintasolla (W/m²), F_R on keräimen lämmönpoistokerroin, U_L on keräimen U -arvo (W/m²K), T_f on keräimessä olevan nesteen keskimääräinen lämpötila (K), T_a on ilman lämpötila (K).

T_f s a a d a a n k a a v a l l a

$$T_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

missä T_{in} on tulevan nesteen lämpötila (K) ja T_{out} on lähtevän nesteen lämpötila (21)(22). Tässä tapauksessa nesteellä tarkoitetaan myös mahdollista kaasua eli ilmaa, jolla lämpöä kuljetetaan.

3.4 Aktiiviset aurinkolämpökeräimet

3.4.1 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimissä absorptiopinta, jolta lämpö otetaan talteen, sijoitetaan läpinäkyvään tyhjiöputkeen, jolloin konvektiosta johtuva energiahukka vähenee tai poistuu kokonaan. Tyhjiöputkikeräinten tehoa vähentävät vain johtumisesta ja säteilystä aiheutuvat pienet häviöt sekä materiaaleista johtuvat vähäiset optiset tappiot. Tyhjiöputkien tehokkuutta voidaan nostaa heijastuspinoilla, jotka keskittävät auringonsäteilyä

Kuva 3.4.1: Tyhjiöputkikeräin



66 Komulainen (2006)

putkiin. Kun tyhjiöputkiin keskitetään auringonsäteilyä putkien alle asennetulla heijastavalla tasopinnalla, lisääntyy tyhjiöputkiin absorboituvan säteilyn määrää 25 %, säteilyn saapuessa keräimeen kohtisuoraan ja putkien välimatkan toisistaan ollessa putken halkaisijan suuruinen⁶⁶. Tasopintaa tehokkaampia heijastimia ovat esim. paraboliset heijastimet, joita voidaan asentaa putkien sisään tai ulkopuolelle. Heijastuspintojen käyttö myös parantaa keräinten kustannustehokkuutta.

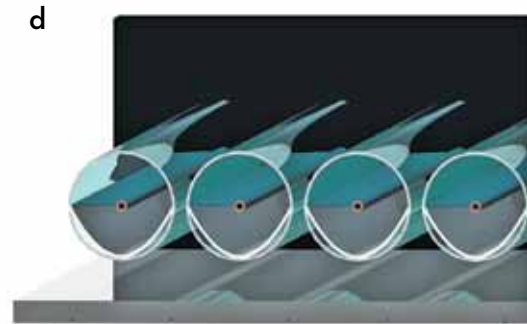
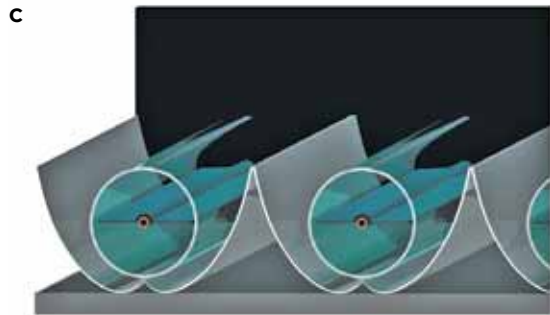
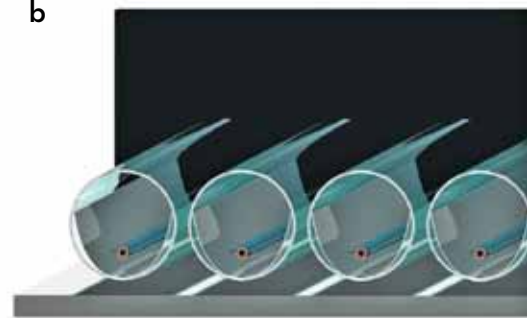
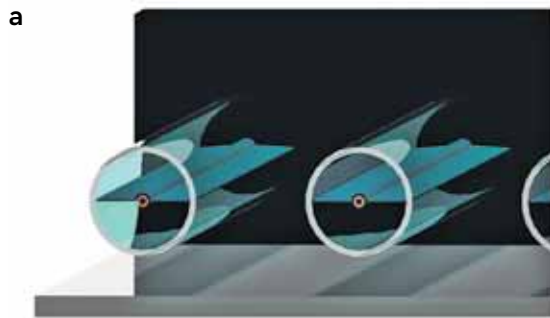
67 Motiva Oy (2009)

Tyhjiöputkikeräimet hyödyntävät auringon hajasäteilyä huomattavasti tehokkaammin kuin esim. tasokeräimet. Tyhjiöputkitekniikkaa käyttävä keräin voi tuottaa energiaa noin 30 % enemmän neliömetriltä kuin tavallinen tasokeräin. Etelä-Suomessa tyhjiöputkikeräimen lämmöntuotto alkaa jo helmikuussa ja siitä saadaan lämpöä vielä marraskuussa⁶⁷. Tyhjiöputkitekniikasta on eniten hyötyä varhain keväällä ja syksyllä, jolloin energiaa tarvitaan paljon, mutta aurinko paistaa lyhyemmän aikaa.

Koska Tyhjiöputkikeräimet koostuvat putken muotoisista komponenteista, voidaan keräimet, joissa putket ovat vaakasuorassa, sijoittaa mihin kulmaan tahansa, missä putket eivät varjosta toisiaan ilman, että teho vähenee. Tämä lisää niitten käyttökelpoisuutta erilaisissa kohteissa.

Tyhjiöputkien toiminnasta lumiolosuhteissa on vielä melko vähän kokemusta. Keski-Euroopassa niitä on kuitenkin ollut käytössä myös lumisilla alueilla eikä suuria ongelmia ole ilmennyt. Voi kuitenkin olla, että lumen takia, vaakasuuntaisten putkien käyttö Suomen olosuhteissa ei ole suotavaa. Tyhjiöputkien pintalämpötila ei nouse niin korkealle, että lumi sulaisi niitten pinnalta, kuten tapahtuu tasokeräimillä. Kun tyhjiöputket asennetaan pystyasentoon, lumi valuu niiden pinnalta eikä ongelmia pitäisi syntyä. On kuitenkin mahdollista että niiden päältä on poistettava lumet manuaalisesti, jotta niiden energiantuotanto jatkuisi.

Tyhjiöputkikeräinten integroiminen rakennuksiin vaatii hieman kekseliäisyyttä, mutta niitten käyttö esim. parvekekaiteina on melko suosittua. Putkikeräinten käyttö erilaisina varjostavina elementteinä on myöskin mahdollista niitten ra-



kenteen ansiosta. Keräimethän eivät välttämättä ole yhtenäisiä levymäisiä elementtejä vaan putkien välisistä raoista valo pääsee kulkemaan.

3.4.2 Tasokeräimet

Tasokeräimet ovat yleisimpiä aurinkolämpökeräimistä. Tasokeräimet koostuvat yleensä rungosta, läpinäkyvästä lasi- tai muovikatteesta, absorptiopinnasta, lämmönsiirtoputkistosta ja eristekerroksesta. Runko on useimmiten alumiinista ja se suojaa absorptiopintaa ja eristeitä säältä ja kosteudelta.

Katteen tarkoitus on olla paitsi suoja myös lämpöeriste. Kate on yleensä vähärautaisesta lasista (esim. Pilkington Sun-plus, Optiwhite tms.), joka päästää auringon lyhytaaltoisen sä-

Kuva 3.4.2: Tyhjiöputkiin auringonsäteilyä keskittäviä heijastuspintoja. a) Putkien alle asennettu heijastava tasopinta. b) Putken sisään asennettu parabolinen heijastin. c) Putkien ulkopuolelle asennettuja parabolisia heijastimia. d) Putken sisään asennettu yksinkertainen heijastin.

teilyn läpi ja heijastaa absorptiotason säteilemän pitkäaaltoisen lämpösäteilyn takaisin keräimeen. Muovikatteet ovat harvinaisempia koska useimmat muovit eivät ole kovin hyviä lämmöneristeitä ja niillä on lasia suurempi lämpölaajenemiskerroin.

Absorptiolevy on yleisimmin metallia eli kuparia, alumiinia tai rautaa. Levy on tavallisesti päällystetty tummalla, usein selektiivisellä, pinnoitteella, joka absorboi auringonsäteilyä tehokkaasti ja lämpösäteilee vain heikosti. Värin ei kuitenkaan tarvitse olla musta, kuten tämän työn luvussa 3.2 kerrotaan tarkemmin.

Tasokeräimet hyödyntävät sekä suora- että hajasäteilyn. Yleensä ne kannattaa suunnata etelään ja kallistaa maantie-

Kuva 3.4.3: Tasokeräin



teellisen sijainnin mukaan optimikulmaan. Taulukko 3.4.1 sisältää optimikulmia eri maakunnissa sekä säteilyn määrän optimikulmassa oleville tasoille. Taulukossa 3.4.2 on optimikulmia kuukausittain Helsingissä. Jos aurinkoenergalaitteen kallistuskulmaa vaihdetaan kahdesti vuodessa niin että kesä- ja talvikaudella on omat optimikallistuskulmansa saavutetaan vain 2 – 4 % hyöty kiinteään asennukseen nähden. Kun aurinkoenergalaitteen kallistuskulma seuraa auringon liikkeitä horisontaalin akselin ympäri, saavutetaan noin 10 – 15 % hyöty. Aurinkokeräimen seuratessa aurinkoa sekä vertikaalin että horisontaalin akselin ympäri voidaan saavuttaa jopa 40 – 50 % hyöty kiinteään optimikulma-asennukseen nähden⁶⁸.

Suomen olosuhteissa, aurinkoenergalaitteiden kallistuskulman muuttamista kaksi kertaa vuodessa, kannattaa kuitenkin harkita lumen takia. Aurinkoenergalaitteen ollessa ympäri vuoden optimikallistuskulmassa eli 41° - 49° asteen kulmassa riippuen leveyspiiristä, sen päälle kertyy talvella lunta. Jollei lunta poisteta, keräin todennäköisesti ei enää ota talteen auringonsäteilyenergiaa. Sen sijaan jos keräin nostetaan 90° kulmaan syksyllä ennen lumen tuloa ja lasketaan takaisin optimikulmaan keväällä, kun aurinkoenergalaitteet todennäköisesti eivät enää kerää päälleen lumipeitettä, ne tuottavat energiaa lähes häiriöttä ympäri vuoden. Koska auringonsäteilyä osuu vertikaalille pinnalle loka – maaliskuussa enemmän tai lähes yhtä paljon kuin optimikallistuskulmassa olevalle pinnalle, ei keräimen asennon muuttaminen vähennä sen tehoa. Itse asiassa jos aurinkoenergalaitte nostetaan 90° kulmaan lokakuun lopussa ja lasketaan maaliskuun lopussa huhti - lokakuuksi laskemaa-ni, 35° optimikulmaan, se tuottaa 1 % enemmän energiaa.

Integroituja keräimiä voi harvemmin asentaa optimikallistuskulmaan, mutta vertikaalit eli seiniin integroidut keräimet toimivatkin Suomen oloissa parhaiten nimenomaan talvella, auringonsäteilyn matalan tulokulman ansiosta, kun lämmönkysyntäkin on suurinta.

68, 69 ja 70 PVGIS© European Communities (2008)

MAAKUNTA	VUOTUINEN SÄTEILY OPTIMIKULMASSA OLEVALLA PINNALLE (kWh/m ² /v)	AURINKOKERÄIMEN OPTIMIKALLISTUSKULMA (HORIZONTAALI 0°, VERTIKAALI 90°)
AHVENANMAA	1171	42°
ETELÄ-KARJALA	1108	42°
ETELÄ-POHJANMAA	1101	44°
ETELÄ-SAVO	1078	42°
ITÄ-UUSIMAA	1109	41°
KAINUU	1042	45°
KANTA-HÄME	1107	41°
KESKI-POHJANMAA	1099	45°
KESKI-SUOMI	1068	43°
KYMENLAAKSO	1101	41°
LAPPI	945 - 1076	45 - 49°
PIRKANMAA	1100	42°
POHJANMAA	1106	45°
POHJOIS-KARJALA	1047	43°
POHJOIS-POHJANMAA	1072	46°
POHJOIS-SAVO	1046	43°
PÄIJÄT-HÄME	1092	41°
SATAKUNTA	1131	43°
UUSIMAA	1102	41°
VARSINAIS-SUOMI	1157	42°

Taulukko 3.4.1: Optimikulmat ja keskimääräinen vuotuinen auringonsäteilyn määrä maakunnittain (kWh/m²/v). Taulukko perustuu lähteen ⁶⁹ tietoihin.

KUUKAUSI	S _H	S _{OPT}	S _V	OPT°
TAMMIK.	218	573	676	78°
HELMIK.	867	2020	2240	73°
MAALISK.	1930	3070	2820	59°
HUHTIK.	3660	4650	3540	44°
TOUKOK.	5120	5500	3550	30°
KESÄK.	5430	5390	3230	22°
HEINÄK.	5250	5410	3360	25°
ELOK.	3650	4150	2900	35°
SYYSK.	2110	2860	2390	51°
LOKAK.	899	1500	1450	64°
MARRASK.	284	578	629	73°
JOULUK.	112	314	382	80°
VUOSI	2470	3000	2260	42°
S _H : SÄTEILY HORISONTAALILLE PINNALLE (Wh/m ² /vrk)				
S _V : SÄTEILY VERTIKAALILLE PINNALLE. (Wh/m ² /vrk)				
S _{OPT} : SÄTEILY OPTIMAALISESTI KALLISTETULLE PINNALLE (Wh/m ² /vrk)				
OPT°: OPTIMIKALLISTUSKULMA				

Taulukko 3.4.2: Kuukausittainen auringonsäteily (Wh/m²/vrk) ja keräinten optimikulmat Helsingissä. Taulukko perustuu lähteen ⁷⁰ tietoihin.

3.5 Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen

Kun auringonsäteilyn energiaa käytetään passiivisesti hyväksi, silloin rakennus kerää energiaa ja lämpö varastoituu sen rakenteisiin. Auringonsäteilyä voidaan sanoa hyödynnettävän passiivisesti myös silloin kun sen avulla valaistaan rakennuksen sisätiloja tehokkaasti eri rakenteiden ja rakennusosien avulla.

Kaikki rakennukset hyödyntävät jonkin verran auringonsäteilyenergiaa, mutta sen määrä vaihtelee rakennuksen sijoituksen, suunnan, muodon, aukotuksen sijoittelun, värin, materiaalien ja rakenneratkaisujen mukana. Oikein sijoitetussa, suunnitellussa ja toteutetussa rakennuksessa voidaan noin viidesosa kokonaislämmöntarpeesta täyttää hyödyntämällä aurinkoenergiaa passiivisesti ⁷¹.

Suotuisin rakennuksen sijaintipaikka aurinkoenergian kannalta on etelärinteessä suojassa tuulelta. Rakennuksen paras suuntaus on suoraan etelään, pienet, alle 20°, poikkeamat eivät kuitenkaan juuri vaikuta energian saantiin. Rakennuksen poikkeama eteläsuunnasta 45° vähentää kuitenkin jo merkittävästi energian saantia varsinkin lämmityskaudella ⁷².

Erityisesti ikkunoiden sijoittelulla on suuri merkitys. Suurimman osan ikkunoista tulisi aueta etelään ja niitten tulisi olla lämmityskaudella varjostamattomia. Ikkunoiden oikealla sijoittelulla voidaan saavuttaa huomattavan suuria energian säästöjä. Kesäkaudella ikkunoita sen sijaan olisi hyvä varjostaa. Tämä voidaan hoitaa esim. istuttamalla harvaoksaisia lehtipuita ikkunoiden eteen tai rakentamalla räystäät tms. niin, että ne varjostavat kesäkaudella, mutta päästävät matalalta paistavan talviauringonsäteilyn sisään. Kun talon omat rakennusosat eivät riitä lämpenemisen kontrollointiin, yllämpenemistä voidaan rajoittaa erilaisten rakennukseen pääsevää säteilyä säätelevien varusteiden esim. kaihtimet, prismat, kalvot jne. avulla.

Rakennuksessa käytettyjen materiaalien lämmönvarastointikyky ratkaisee, kuinka paljon aukotuksen kautta taloon pääsevästä auringonsäteilystä saadaan talteen. Auringonsäteilyn osuessa pintaan osa siitä absorboituu materiaaliin lämmöksi muuntuneena. Mitä suurempi materiaalin lämmönvarastoin-

71 Erat et al. (2008)

72 Katso luku 2.5.1 Ilmansuuntien vaikutus aurinkoenergian saantiin

73 Erat et al. (2008)

74 Blomster (2004-2011)

75 Siikanen (2001)

76 NTP - Normal temperature and pressure

VIEREINEN SIVU

Taulukko 5.31: Muutamien aineiden lämmönvarausrakenteet. Taulukko perustuu lähteiden ^{73,74 ja 75} tietoihin.

	TILAVUUSPAINO KG/M ³	OMINAISLÄMPÖ (LÄMMÖN-VA- RASTOINTIKYKY) KWH/M ³ /°C	KWH/M ³ @ 30 °C	SUhteellinen VARASTOINTI- KYKY
VESI	1000	1,16	34,8	1
ILMA, NTP ⁷⁶	1,293	0,00036	0,01088	0,00031
BETONI, KUIVA	2200	0,53	15,9	0,46
KEVYTBETONI	600	0,15	4,5	0,13
TIILI	1800	0,46	13,8	0,40
GRANIITTI	2750	0,57	17,2	0,49
MÄNTY, KOSTEUS~15 %	~540	~0,23	~6,8	~0,19
KUUSI, KOSTEUS~15 %	~450	~0,19	~5,6	~0,16
KOIVU, KOSTEUS~15 %	~600	~0,25	~7,5	~0,22
ALUMIINI	2700	0,67	20,2	0,58
RAUTA	7860	0,98	29,4	0,84
LASI	2500	0,56	16,8	0,48
SORA, KOSTEUS 2 %	1760	0,41	12,3	0,35
MOREENI, KOSTEUS 7 %	2090	0,66	19,8	0,57
SAVI, KOSTEUS 17 %	1500	0,63	18,9	0,54
GLAUBERSUOLA, (Na ₂ SO ₄)	1500	0,75	22,5	0,65
GLAUBERSUOLA		FAASIMUUTOS	105	

77 PCM – phase change materials

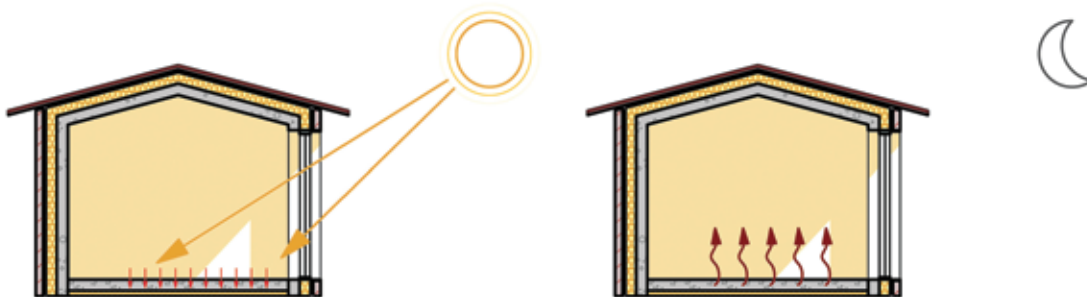
78 Na_2SO_4 - natriumsulffaatti

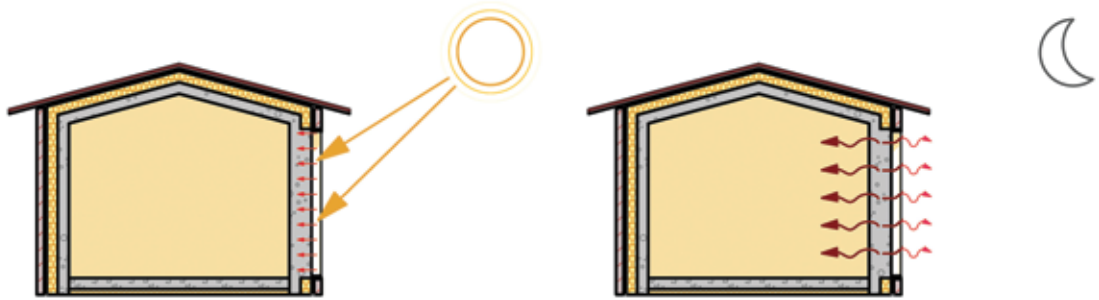
Kuva 3.6.1: Auringonsäteilyn suora hyödyntäminen. Lattia tai seinä varastoi lämpöä päivällä ja vapauttaa sen yöllä

tikyky on, sitä suurempi osa säteilystä voidaan hyödyntää. Kun materiaalilla on suuri lämmönvarauskyky se myös luovuttaa varastoimaansa lämpöä pidempään eli lämpöä varastoinut massiivinen rakenne luovuttaa lämpöä pitkään auringonsäteilyn lakkautua osumasta siihen kun taas pienen lämmönvarauskyvyn omaava kevyt rakenne luovuttaa varastoimansa lämmön samantien. Massiivisilla rakenteilla, joilla on suuri lämmönvarauskyky, siis saadaan myös tasattua rakennuksen auringonsäteilystä johtuvia voimakkaita lämpötilan vaihteluita

Lämmönvarastointikykyä voidaan parantaa lisäksi sijoittamalla rakenteisiin faasimuutosmateriaaleja ⁷⁷ kuten glaubersuolaa ⁷⁸. Faasimuutosmateriaalit voivat sitoa itseensä energiaa faasimuutoslämpötilassa moninkertaisesti esim. kiviaineisiin verrattuna. ja edelleen vapauttamaan sitomansa lämmön kun faasimuutos tapahtuu toiseen suuntaan. Esimerkiksi yksi kuutiometri glaubersuolaa muuttuessaan kiinteästä nesteeksi faasimuutoslämpötilassaan 32°C , sitoo itseensä n. 105 kWh lämpöenergiaa. Eli jos glaubersuolan lämpötila muuttuu 5°C asteesta 35°C asteeseen, se sitoo itseensä n. 125 kWh lämpöenergiaa. Vastaava määrä betonia, kun sen lämpötila nousee 30°C , pystyy sitomaan itseensä n.15.9 kWh lämpöenergiaa.

3.6 Passiivisia aurinkoenergia ratkaisuja



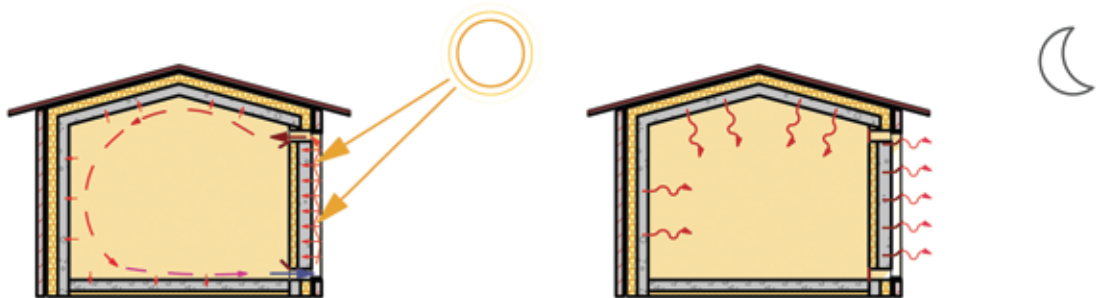


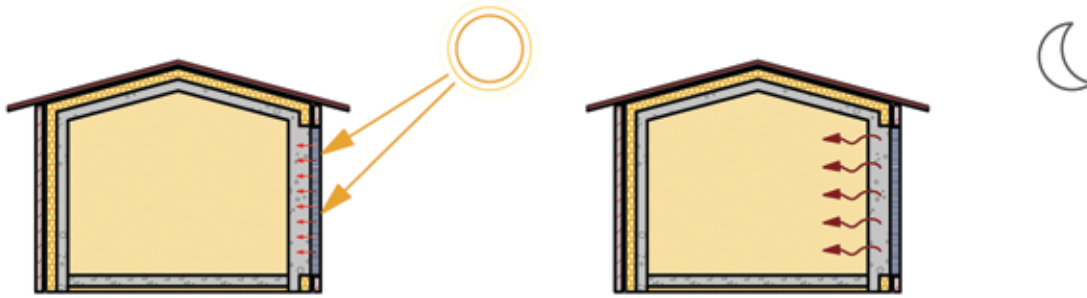
YLLÄ

Kuva 3.6.2: Trombe-seinä. Lasin takan oleva absorboiva massaseinä varastoi lämpöä päivällä ja vapauttaa sen hitaasti yöllä.

ALLA

Kuva 3.6.3: Eristetty massaseinä. Massaseinän sisäpuolella on eriste ja päivällä ilma kiertää seinän ja lasin välissä olevan ilmatilan kautta kuljettaen lämpöä sisätiloihin. Yöllä ilmakierto mahdollista sulkea jos tarpeellista.



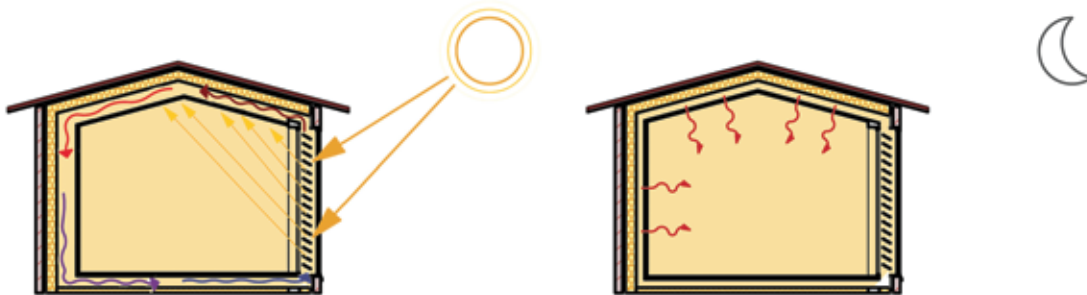


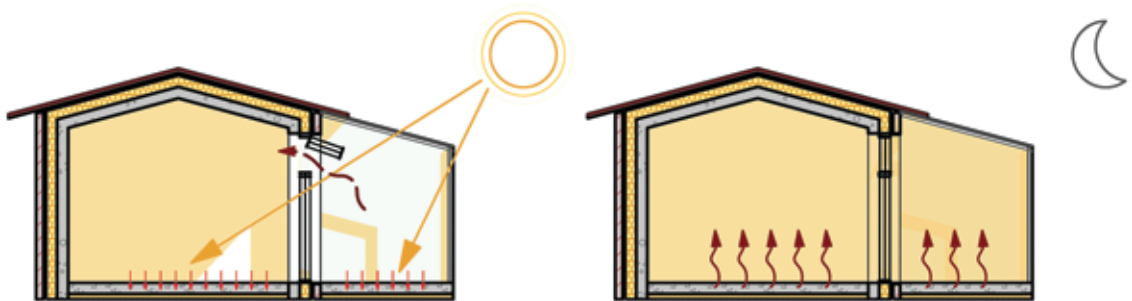
YLLÄ

Kuva 3.6.4: Valoa läpäisevä eriste. Massaseinän edessä on valoa läpäisevä eriste, joka päästää auringonsäteilyn lävitsensä, mutta estää lämpöä karkaamasta. Yöllä massaseinä vapauttaa päivällä varastomaansa lämpöä sisätiloihin.

ALLA

Kuva 3.6.5: Ikkuna-aurinkokeräin. Luonnollinen ilman-kierto lasien välissä kuljettaa säleiden absorboiman lämmön syvemmälle rakennukseen esim. varastoitumaan kattoon tai seiniin.



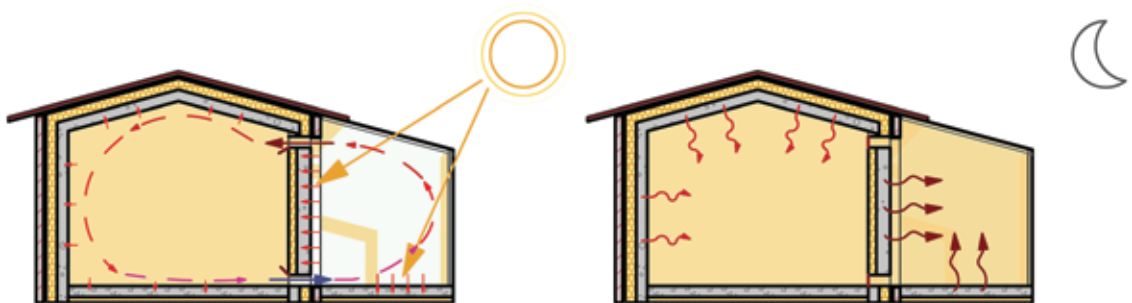


YLLÄ

Kuva 3.6.6: Lasitettu parveke tai viherhuoneen. Päivällä lasitettu tila ja sen takana oleva tila varastoivat lämpöä rakenteisiin. Takan oleva tila ottaa esilämmitetyn raittiin ilman lasitetusta tilasta. Yöllä rakenteet vapauttavat lämmön ja ilman ottoa voidaan tarvittaessa rajoittaa.

ALLA

Kuva 3.6.7: Lasitetun tilan ja eristetyn massaseinän yhdistelmä. Päivällä ilma kiertää lasitetun tilan kautta sisätiloihin kuljettaen lämpöä. Yöllä rakenteet vapauttavat varastoimansa lämmön. Ilmankiertoa voidaan tarvittaessa säädellä.



	SYSTEEMIN KUVAUS	SYSTEEMIN HYÖDYT	SYSTEEMIN HAITAT
SUORA HYÖDYNTÄMINEN KUVA 3.6.1	Suora säteilyn hyödyntäminen ikkunoiden läpi. Lämpöä varaava massa huonetilassa. Varjostusratkaisut tarpeen.	Yksinkertaisuus. Edullisuus. Koko auringonsäteilyn spektri hyödynnettävissä. Ikkunat pysyvät ennallaan.	Lämpöhäviöt suuremmat kuin eristetyllä seinällä. Lämmön varastointikyky pieni. Tarvitsee varjostus ja häikäisyn esto toimia. Systeemin koko rajoitettu.
TROMBE-SEINÄ KUVA 3.6.2	Tumma lämpöä varastoiva massaseinä lasituksen takana. Varastoi lämpöä päivällä ja vapauttaa sen illalla/yöllä lämmönjohutumisen ansiosta.	Yksinkertaisuus. Säteilyn absorboituminen hyvä. Lämpö vapautuu viiveellä.	Suurin osa lämmöstä karkaa lasin läpi. Trombe-seinässä ei ikkunoita. Lämmön vapautumista ei voi säädellä.
ERISTETTY MASSASEINÄ KUVA 3.6.3	Sisäpuolelta eristetty trombe-seinä. Ilma-aukoista luonnollisesti kiertävä ilma kuljettaa lämpöä	Lämmön säätö mahdollista. Ylilämpeneminen hallittua. Vähentynyt lämmön karkaaminen.	Säätely tarpeellista. Tarvitaan yksisuuntaisia ilmanvaihtoventtiileitä.
VALOA LÄPÄISEVÄ ERISTE KUVA 3.6.4	Lämpöä varastoiva massaseinä, jonka edessä valoa läpäisevä eriste. Päästää auringonsäteilyn läpi, mutta pitää lämmön sisällä. Varastoi lämpöä päivällä ja vapauttaa sen illalla/yöllä lämmönjohutumisen ansiosta.	Hyvä hyöty. Pienet häviöt. Lisääntynyt asumismukavuus lämpimän seinän ansiosta. Sallii alhaisemman huoneenlämmön.	Vaatii ylilämpenemisen kontrollin. Korkeampi alkukustannus. Rajoittaa ikkunoiden sijoittelua.

IKKUNA-AURINKOKE- RÄIN KUVA 3.6.5	Ikkuna johon on integroitu aurinkosuoja ja ilmatila, josta ilmakehän lämpö ottaa lämmön talteen. Lämpö siirretään käyttökohteeseen tai varastoon seinään tai kattoon.	Sekä ikkuna että ke- räin. Lämmönvarastointi etäämmällä keräimestä. Integroitu varjostus. Pienet lisäkustannukset tavalliseen ikkunaan verrattuna.	Ylilämpeneminen. Lämmön vapautumista ei voi säädellä. Tarvitsee ilmakehää. Tarvitaan lisälämpövarastointia.
LASITETTU PARVEKE / VIHHERHUONE KUVA 3.6.6	Lasitettu parveke tai muu lasitettu lämmittämätön tila. Lasitetun tilan kautta otettu raitisilma on esilämmitettyä.	Lisä tilaa. Parvekkeen vuotuinen käyttöaika pitenee. Suojavyöhyke ilmastoa vastaan.	Pitää osata käyttää oikein (ei saa lämmittää eikä päästää sisätilojen lämpöä karkaamaan lasitetun tilan kautta). Varjostaa takanaan olevaa tilaa.
LASITETTU PARVEKE / VIHHERHUONE JA ERISTETTY MASSASEINÄ KUVA 3.6.7	Lasitettu lämmittämätön tila. Massaseinä absorboi ja varastoi auringonsäteilyä. Ilma-aukoista luonnollisesti kiertävä ilma kuljettaa lämpöä	Lisä tilaa. Tilan vuotuinen käyttöaika edellistäkin pidempi. Lämmön karkaaminen pienempää.	Pitää osata käyttää. Rajoittaa ikkunoiden sijoittelua. Tarvitaan yksisuuntaisia ilmaventtiileitä.

Taulukko 3.6.1: Erilaisten passiivisten aurinkolämpösystemien vertailua ⁷⁹.

⁷⁹ Schittich et al. (2007)



Kuva3.6.8: Trombe-seinä
huoltorakennuksessa, Princeton,
USA

3.6.1 Trombe-seinä

Trombe-seinän toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Lasin ja kapean ilmaraon takana on tummalla pinnoitteella päällystetty massiivinen seinä. Auringon paistaessa lasin läpi sen säteily absorboituu seinään ja lämmittää sitä, lämpö varastoituu seinään. Kun aurinko ei paista seinään seinä jäähtyy ja vapauttaa varastoimansa lämmön. Osa lämmöstä vapautuu lasin ja seinän väliseen ilmarakoon, jossa se lämmittää ilmaa, joka voidaan ohjata muualle rakennukseen; osa lämmöstä karkaa lasin läpi harakoille ja osa lämmöstä vapautuu seinästä suoraan

sen takana oleviin tiloihin.

Trombe-seinän toimintaa voidaan parantaa lisäämällä sen edessä olevaan lasiseinään lisää lasikerroksia, jolloin vähemmän lämpöä pääsee karkaamaan, mutta lasikerrokset lisäävät kustannuksia ja vähentävät seinään pääsevän säteilyn määrää. Toinen tapa lisätä trombe-seinän tehokkuutta on maalata tai pinnoittaa se auringon puoleiselta pinnaltaan aallonpituusselektiivisellä pinnoitteella, jolloin se absorboi paremmin säteilyä ja säteilee sitä vähemmän takaisin ulos ⁸⁰.

Tällaisen seinän etunaan yksinkertaisuus hyvä absorbointikyky ja se, että varastoitunut energia vapautuu viiveellä. Huonoja puolia vuorostaan on se, ettei lämmön vapautumista voi säädellä; seinässä ei voi olla ikkunoita tai ovia ja Suomen oloissa ennen kaikkea se, ettei seinää ei ole eristetty. Jos seinä eristetään, lämpöenergia ei enää pääse virtaamaan rakenteen läpi sisätiloihin.

Trombe-seinän muunnoksena onkin syntynyt sisäpuolelta eristetty trombe-seinä eli eristetty massaseinä. Tällaisessa versiossa seinä on siis eristetty sisäpuolelta, jolloin seinän varastoima lämpöenergia ei pääse kulkemaan rakenteen läpi sisätiloihin, muttei lämpö sisätiloista myöskään pääse karkaamaan seinän läpi ulos pilvisinä päivinä. Varastoidun lämmön siirto tapahtuu yksinomaan ilmakierron kautta eli lasin ja seinän välistä kierrätetään ilmaa joka kuljettaa lämmön sisätiloihin. Tämä ratkaisu vaatii hieman parempaa ilmankierron suunnittelua ja säätelyä. Huonoina puolina perinteiseen trombe-seinään verrattuna onkin monimutkaisempi rakenne ja korkeammat kustannukset.

3.6.2 Valoa läpäisevät eristeet

Valoa läpäisevät eristeet ⁸¹ päästävät suurimman osan auringonsäteilystä, suorasta ja epäsuorasta, lävitsensä ja niillä on melko hyvät lämmöneristys ominaisuudet. Nämä ominaisuudet mahdollistavat rakennuksen lisälämmöneristämisen, ilmatiiyvyyden lisäämisen ja samalla auringon lämmön kaappaamisen rakennuksen massaan eli valoa läpäisevän eristeiden takaiseen

80 Katso 3.2. Aallonpituusselektiiviset absorptiopinnat.

81 transparent insulation eli TI



Kuva 3.6.9: Makrolon® Multi UV levyjä ja levyillä eristetty rakennus.

massiiviseen seinään. Auringon säteilyenergia absorboituu rakennuksen kuoreen kohottaen sen lämpötilaa, jolloin rakenteen johtumislämpöhäviöt pienenevät tai lämpövirran suunta muuttuu rakenteesta huonetilaan päin.

Normaalissakin rakenteessa auringonsäteily kohottaa ulkokuoren lämpötilaa, mutta lämpö karkaa saman tien ympäristöön. Valoa läpäisevässä eristeessä lämpö sitoutuu rakenteeseen, joka on eristeen takana, jonka ansiosta lämpö ei pääse karkaamaan. Rakenteeseen sitoutunut lämpö siirtyy rakennuksen sisätiloihin hitaasti kuoren läpi. Tämän ansiosta seinään päivällä kertynyt lämpöenergia vapautuu hitaasti illalla ulkoilman jäähtyessä.

Valoa läpäisevän eristeen lämpötaloudellisuutta ei siis voida tarkastella ainoastaan U-arvona vaan tulee ottaa huomioon myös sen lämmönkaappaus potentiaali. Perinteisiä eristeitä käytettäessä asuinmukavuus lisääntyy kun kylmistä seinistä



johtuva vedontunne vähenee. Valoa läpäiseviä eristeitä käyttämällä vedontunne vähenee vieläkin enemmän koska seinien lämpötila nousee enemmän.

Valoa läpäiseviä eristeitä on useanlaisia. Jotkin systeemit on kehitetty perinteisistä eristystyypeistä ja niissä on useita valoa läpäiseviä kerroksia, jotka vuorottelevat ilmakerrosten kanssa ⁸². Koska näissä rakenteissa on monia valon suuntaan nähden kohtisuorassa olevia pintoja, niitten valonläpäisykyky pienenee merkittävästi moninkertaisten heijastusten vuoksi.

Nykyään suosituin valoa läpäisevä eriste tyyppi onkin eriste, jossa lasikuorten välissä on kenno- tai kapillaarirakenne, joka koostuu esim. rakenteen pintaan nähden kohtisuorassa olevista ohuista lasi- tai muoviputkista ⁸³. Näillä rakenteilla on erittäin hyvä valon läpäisykyky johtuen putkimaisten rakenteiden valoa ohjaavasta muodosta. Eristeiden ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi tekniikasta ja valmistajasta riippuen, mutta

Kuva 3.6.10: Okalux Okapane® eristettä ja Okalux elementeillä eristetty rakennus

82 Katso kuva 3.6.9

83 Katso kuva 3.6.10

voidaan sanoa, että valoa läpäisevien eristeiden valonläpäisykyky on parempi kuin 50 %, lämmönjohtavuus on vähemmän kuin 0,12 W/mK ja paino on noin 30 – 100 Kg/m³.

Nanogeeli rakenteet, joissa käytetään valoa läpäisevien levyjen välissä aerogeeli rakeita, ovat kolmas esimerkki tällaisista eristeistä ⁸⁴. Aerogeeli on kiinteää mikrohuokoista silikaattivaahtoa, säikeistä piidioksidia. Aerogeeli on noin 95 – 99,98 prosenttisesti ilmaa ja sen tiheys on vain n. 3kg/m³. Sen lämmöneristyskyky on erinomainen eli sen lämmönjohtavuus on 0,015 – 0,020 W/mK. Aerogeelin valonläpäisysuhde näkyvän valon alueella on 75 %.

Valoa läpäisevät eristeet ovat parhaimmillaan lisättynä massiivisiin eristämättömiin seiniin kuten betoni-, tiili- tai luonnonkiviseiniin, joitten tiheys on enemmän kuin 1200kg/m³ ⁸⁵

84 Katso kuva 3.6.11

85 Boonstra (1997)

Kuva 3.6.11: Nanogel® aerogeeli rakeita ja nanogel rakeilla eristettyä seinää



ja joilla on suuri lämmönvarauskapasiteetti. Hyvä lämmönjohdamiskyky sallii lämmön siirtymisen seinän läpi huoneisiin. Absorptiokyvyn maksimoimiseksi seinän tulisi olla tumma. Kaikki läpinäkyvän eristeen ja rakennuksen sisäpuolen välillä olevat eristeet heikentävät seinän toimintaa aurinkokeräimenä, joten niitä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Ilmasto, jossa valoa läpäisevät eristeet toimivat parhaiten, on kylmä ja aurinkoinen kuten Suomessa kevättalvella.

Valoa läpäisevä eristys vaikuttaa ratkaisevasti rakennuksen ulkonäköön ja rakenteiden toimintaan ja päätös sen ja erilaisten liikalämpenemistä rajoittavien ratkaisujen, kuten varjostimien, käyttämisestä pitääkin tehdä jo aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Riippuen rakenne ratkaisusta ja seinän suuntauksesta valoa läpäisevällä eristeellä toteutetut seinät voivat vaatia varjostusratkaisuja energian säätelyä varten.

Varjostus ratkaisut voidaan karkeasti jakaa kahteen kategoriaan eli kiinteisiin tai säädettäviin sekä rakenteen sisäisiin ja ulkoisiin tyyppeihin. Säädettävät ratkaisut ovat yleensä kiinteitä kalliimpia toteuttaa, huoltaa ja puhdistaa, mutta niitten avulla aurinkoenergian määrä on mahdollista maksimoida kun taas kiinteillä varjostusratkaisuilla saatavan energian määrä lähes aina pienenee. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että erilaisten muuntuvien materiaalien käyttö varjostuksissa, tulee lisääntymään. Nämä materiaalit olisivat esim. termokromaattisia tai elektrokromaattisia eli ne vaihtaisivat valonläpäisykykyään joko lämpötilan tai sähkövarauksen mukaan.

Kun valoa läpäisevää eristettä lisätään kiinteään seinään, useimmiten sen päälle asennetaan lasitus, suojaamaan sitä säältä. Tällöin kosteuden tiivistyminen rakenteeseen on mahdollista ja se tulee ottaa huomioon jo aikaisessa suunnittelu vaiheessa.

Hyvin suunniteltu ja asennettu valoa läpäisevä eristesysteemin auringonsäteilystä keräämä energia lähes aina vastaa seinän läpi johtuviin lämpöhäviöihin ja voi vähentää vuotuista lämmitysenergian tarvetta 65 – 100 kWh asennettua etelään suunnattua eristeneliömetriä kohden verrattuna perinteisesti eristettyyn seinään, jonka U arvo on 0,3 W/m²K⁸⁶. Koska valoa

86 Boonstra (1997)

Taulukko 3.6.2: Korjausrakentamiskohteen soveltuvuus auringonsäteilyä hyödyntävälle valoa läpäisevälle eristeratkaisulle ⁸⁷

	HYVÄ	KOHTALAINEN	HEIKKO
SIJAINTI	Avoimella paikalla. Aurinkoinen lämmityskaudella ja/tai kylmä ilmasto	Kohtalaisesti aurinkoa lämmityskaudella	Vähän aurinkoa (eli yleensä pilvistä tai sumuista lämmityskaudella)
JULKISIVUN SUUNTA	Kaakko, etelä tai lounas	Länsi tai itä	Luode, pohjoinen tai koillinen
YMPÄRISTÖN VARJOT	Ei varjostavia elementtejä	Vähän varjostavia elementtejä	Runsaasti varjostavia elementtejä
RAKENNUKSEN VARJOT	Ei varjostavia elementtejä	Vähän varjostavia elementtejä	Runsaasti varjostavia elementtejä
RAKENNUKSEN MUOTO	Yksinkertainen	Joitain ulkonemia tai syvennyksiä	Monimuotoinen
JULKISIVUJEN AUKOTUS	Suuria pintoja ja vähän/pieniä aukkoja	Kohtalaisen kokoisia pintoja ja kohtuullinen aukotus	Pieniä pintoja ja/tai paljon/suuria aukkoja
JULKISIVUJEN RYTMITYS	Tasainen aukkojen rytmitys	Vain vähän vaihtelua	Vaihteleva aukkojen rytmitys
KOHDESEINIEN ERISTYKSEN MÄÄRÄ	Ei olemassa olevaa eristystä	Vain vähän eristystä	Hyvä eristys
SEINIEN LÄMMÖNVAIRUSKAPASITEETTI	Korkea kapasiteetti: betoni, luonnonkivi jne.	Kohtalainen kapasiteetti: tiili, kevytbetoni jne.	Matala kapasiteetti: kevyet rakenteet, puu jne.
SISÄISET LÄMPÖKUORMAT	Matala kuorma: asunnot jne.	Keskiverto kuorma	Korkea kuorma: toimistot jne.

läpäisevästi eristetty seinä johtaa keräämänsä lämmön seinän läpi viiveellä, seinässä olevat ikkunat eivät lämmitä huonetilaa sen kanssa samaan aikaan. Auringonlämpö jakautuu pidemmälle aikavälille.

Valoa läpäiseviä eristeitä voidaan käyttää myös ikkunoissa joitten käyttötarkoitus on vain tuoda valoa sisälle eikä toimia maisemaikkunoina. Valoa läpäisevät eristeet ikkunoissa voivat parantaa ikkunoiden optisia ja lämpöominaisuuksia. Paremman erityiskyvyn ansiosta lämpöhukka pienenee, mutta hyvän valonläpäisykyvyn ansiosta suora auringonsäteilyn hyödyntämiskyky pienenee vain hiukan tai ei ollenkaan. Tällaiset ikkunat myös suodattavat ja hajottavat valoa, jolloin päivänvalo tulee huoneeseen vähemmän häikäisevänä ja ulottuu tasaisena syvemmälle huoneeseen. Tämä voi vähentää sähkövalaistuksen tarvetta ja näin pienentää talon energiankulutusta

3.6.3 Ikkuna-aurinkokeräin

Ikkuna-aurinkokeräin on samankaltainen ratkaisu kuin tuloilmaikkuna. Rakennukseen tuleva korvausilma otetaan sisään ikkunan karmeista ja ohjataan ikkunalasien väliseen tilaan. Siellä se lämpenee auringonsäteilyn ja rakennuksen sisältä karkaavan lämmön vaikutuksesta, jonka jälkeen se ohjataan sisätilaan tai ilmanvaihtokanaviin ikkunan yläosasta. Kun lämpö ohjataan ilmastointikanaviin, saadaan huoneeseen vapautuvan lämmön määrää säädeltyä paremmin, kuljetettua lämpöä ikkunoista kauempana sijaitseviin tiloihin sekä varastoitua lämpöä kanavia ympäröiviin rakenteisiin.

Ikkuna aurinkokeräin poikkeaa tuloilmaikkunasta siinä, että siinä lasien välissä on myös metallisäleikkö joka absorboi auringonsäteilyä, muuttaa sen lämmöksi ja vapauttaa sen johtumisen ansiosta lasien välissä kiertävään ilmaan. Säleikkö voi olla erityisesti tähän käyttöön muotoiltu, jolloin se myös tehokkaasti ohjaa säleiköstä heijastuvaa valoa syvemmälle huoneeseen.

Yksinkertaisimmillaan voidaan ajatella, että ikkuna-aurinkokeräin on tuloilmaikkuna, jossa on tummat sälekaihtimet,

monimutkaisimmillaan kone, joka reagoi auringonsäteilyn muutoksiin ja rakennuksen lämmitystarpeisiin.

3.7 Ilmakierto

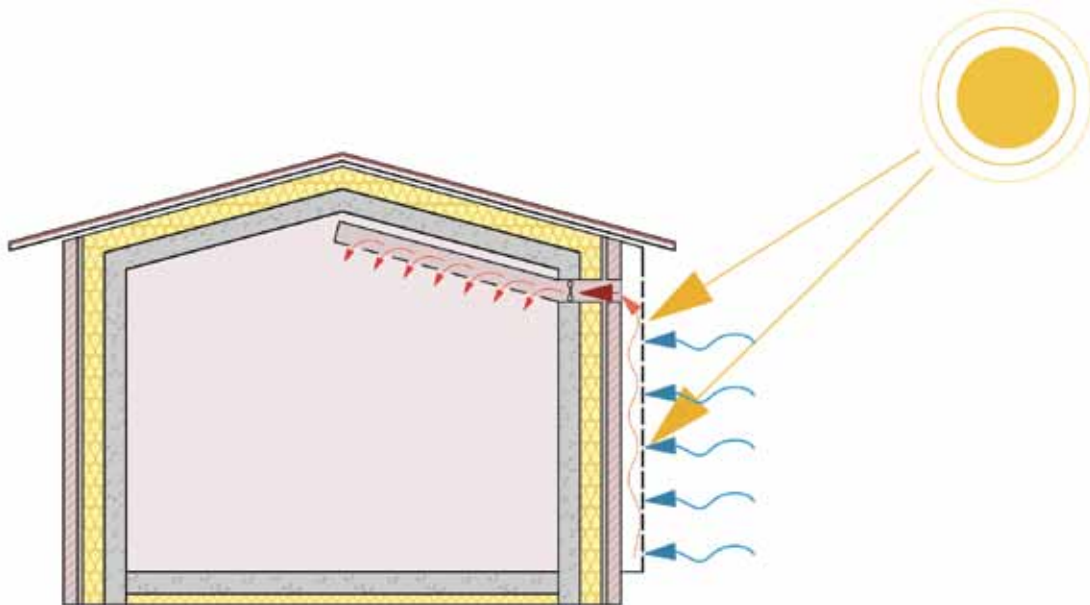
On olemassa useita erityyppisiä aurinkokeräimiä, jotka lämmitävät ilmaa ja käyttävät ilmaa lämmönsiirto mediana. Tässä dokumentissa keskitytään ilmakiertoisiin tasokeräimiin.

88 Englanniksi: unglazed transpired solar collector tai unglazed perforated plate collectors

Kuva 3.7.1: Periaatekuva rei'itetyn tasokeräimen toiminnasta

3.7.1 Lasittamaton rei'itetty tasokeräin

Lasittamaton rei'itetty tasokeräin⁸⁸ on metalliohutlevyistä valmistettujen integroitujen koko katto- tai julkisivupinta-alan kattavista keräimistä tällä hetkellä mahdollisesti menestyk-



sekkäin. Tämä ilmalämmönkeräintyyppi on alun perin Pohjois-Amerikasta ja soveltuu käytettäväksi pohjoisissa ilmastolosuhteissa. Keräinten hyötysuhde on parhaimmillaan lämpötilaerojen ollessa pieniä. Tämän vuoksi rakennuksen koko lämpöjärjestelmä kannattaa suunnitella matalalämpöjärjestelmäksi.

Systeemin idea on yksinkertainen. Ohut noin 0,7 – 1,2 mm vahva profiloitu rei'itetty metallilevy ripustetaan seinärakenteen eteen 150 – 250 mm etäisyydelle seinän pinnasta. Auringsäteily absorboidaan metalliin, joka lämpiää ja lämmittää takanaan olevaa ilmatilaa. Ilmatilasta lämmin ilma johdetaan rakennukseen, jolloin uutta korvaavaa kylmää ilmaa virtaa metallilevyssä olevien reikien kautta. Reikien läpi kulkiessaan kylmä ilma lämpenee ja jatkaa lämpenemistään ilmatilassa. Systeemi vaatii toimiakseen ilmanvaihtosysteemin, jonka avulla ilmatilaan syntyy alipaine, joka vetää korvausilman paneelin rei'ityksen läpi. Jotta ilma kiertäisi systeemissä riittävän voimakkaasti, systeemiin siis asennetaan tuulettimet voimistamaan ilmankiertoa. Saman asian ajaa jos rakennuksessa on koneellinen poistoilma.

Lasittamattomia rei'itettyjä tasokeräin julkisivuja valmistavan SolarWall yhtiön mukaan, tällainen seinä voi tuottaa lämpöä 420 – 970 kWh/m² vuodessa ja jopa 80 % hyötysuhteen. M. Leon ja S. Kumar tilastoivat tutkimusraportissaan ”Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors” samankaltaisia lukuja. Heidän tutkimuksissaan lasittamattomien rei'itettyjen tasokeräinten hyötysuhde on 40 – 80 % riippuen ilman nopeudesta keräimessä, rei'ityksen suhteellisesta osuudesta, rei'ityksen tiheydestä, rei'ityksen koosta sekä keräinlevyn absorptanssista ja emittanssista.

Lasketaan keräimelle tuotto 40 ja 80 % hyödyllä. Tamperreella tuollainen seinään integroitu keräin voisi tuottaa 80 % hyödyllä maksimissaan 660 kWh/m²/v ja lämmityskaudella 445 kWh/m² vuodessa. 40 % hyödyllä keräin voisi tuottaa maksimissaan 330 kWh/m²/v ja lämmityskaudella 223 kWh/m²/vuosi.

Kuva 3.7.2: Lähikuva lasittamattomasta rei'itetystä tasokeräimestä ja keräin integroituna Mary Ann Cofrin Hall, Wisconsinin yliopisto, seinään (S. Windjue).



Voimakkaimmin keräimen ulkonäköön vaikuttavan värin absorptanssi ja emittanssi myös vaikuttavat voimakkaimmin keräimen tehokkuuteen, emittanssi vaikuttaa kuitenkin paljon vähemmän kuin absorptanssi. Kun absorptiopinnan absorptanssi muuttuu 0,95:stä 0,50:een keräimen hyötysuhde pienenee 35 % ja kun emittanssi kasvaa 0,25:stä 0,85:een keräimen tuottama hyöty pienenee 12,5 %⁸⁹. Eli kun keräimen pinnointe vaihdetaan hyvästä aallonpituusselektiivisestä pinnoitteesta ($\alpha=0,95$ ja $\varepsilon=0,25$) tavalliseen melko vaaleaan maaliin, hyötysuhde pienenee 80 prosentista 45 prosenttiin.

Sen ansiosta, että tämän tyyppisillä keräimillä on niin hyvä hyötysuhde ja että absorptiopinnan emittanssilla on niin pieni vaikutus, keräinten väri on helppo sovittaa muun rakennuksen väriin.

89 Leon ja Kumar (2005)

3.7.2 Lasitetut ilmakiertoiset tasokeräimet

Lasitettuja tasokeräimiä⁹⁰, joita käytetään ilman lämmittämiseen, on niitäkin useita eri tyyppisiä. Yksinkertaisin on versio, jossa ilma kulkee lasin ja takapuoleltaan eristetyn absorptiolevyn välistä. Ilma otetaan sisään keräimen toisesta päästä ja otetaan käyttöön toisesta päästä. Absorptiolevyn muodostuva lämpö siirtyy ilmaan ja kuljetetaan siitä sisälle rakennukseen.

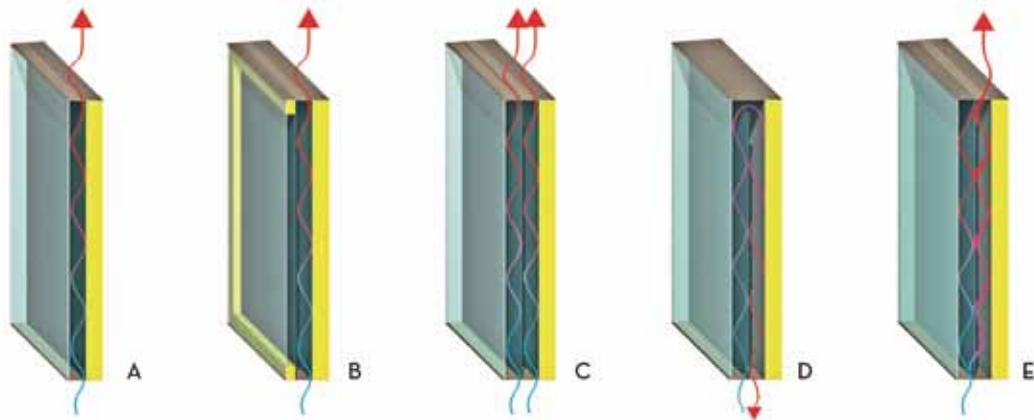
Lähes yhtä yksinkertainen on malli, jossa absorptiolevyn ja eristeen välissä on ilmarako, jonka kautta ilma kulkee. Absorptiolevyn ja lasin välissä oleva ilmarako toimii eristeenä. On myös malleja, joissa ilma kulkee molemmissa ilmaraoissa.

Hieman vaativampi versio on malli jossa ilma otetaan sisään keräimeen toisesta päästä ja otetaan käyttöön samasta päästä. Ilma kulkee lasin ja absorptiopinnan välissä keräimen toiseen päähän ja palaa takaisin absorptiopinnan ja eristeen välissä takaisin aloitus päähän, josta se siis otetaan käyttöön.

Tällaisen keräimen etuna on se, että ilma on pidempään kosketuksissa absorptiolevyn ja kerää siitä suuremman määrän lämpöä itseensä. Usein tällaisessa keräimessä on levyn ja eristeen välissä olevassa raossa jotain huokoista materiaalia, jonka läpi ilma kulkee. Huokoisen materiaalin ansiosta ilmaan

90 Puhuttaessa tasokeräimistä puhutaan yleensä nimenomaan lasitetuista tai kate-
tuista tasokeräimistä.

Kuva 3.7.3: Erilaisia ilmakiertoisia tasokeräimiä: A: Ilma kulkee lasin takana; B: Ilma kulkee absorptiolevyn takana; C: Ilma kulkee absorptiolevyn molemmilla puolilla; D: Ilma kulkee ensin absorptiolevyn edestä ja sitten takaa; E: Ilma otetaan absorptiolevyn edestä, kulkee levyn lävitse ja otetaan käyttöön levyn takaa. Hyötysuhde paranee A:sta E:hen kuljettaessa.



siirtyy vieläkin enemmän lämpöä. Huonona puolena on se, että ilmankierron nopeus hidastuu, joka puolestaan vähentää keräimen tehoa ja voi vaatia tehokkaamman tuulettimen ⁹¹.

Malli, jota käytetään tämän diplomityön esimerkkikohteen tehdyissä suunnitelmissa, on versio, jossa ilma otetaan sisään keräimen toisesta päästä, kulkee lasin ja absorptiolevyn välisestä ilmatilasta levyn ja eristeen väliseen tilaan levyssä olevista tiheässä olevista rei'istä ja otetaan käyttöön keräimen toisesta päästä.

Keräinten hyötysuhde vaihtelee materiaaleista, ilman nopeudesta keräimessä ja olosuhteista riippuen 30 – 80 % välillä, parhaimmillaan voidaan päästä jopa noin 90 % hyötysuhteen. Suurimman vaikutuksen keräinten tehoon aiheuttaa nimenomaan ilman virtausnopeus, mitä suurempi virtausnopeus sitä tehokkaammin lämpö siirtyy absorptiolevystä ilmaan ja sitä parempi on keräimen tehokkuus⁹². Heikoimman hyötysuhteen tarjoavat yksinkertaisimmat versiot ja parhaan monimutkaisimmat. Kaikkien keräinten tehoa voidaan parantaa absorptiopinnan ominaisuuksia muokkaamalla. Absorptiolevyn voidaan esim. hitsata pieniä siivekkeitä, jotka parantavat lämmön siirtymistä levystä ilmaan. Siivekkeet voivat parantaa keräinten tehokkuutta 28 -47 % ⁹³.

91 Aydın (2005)

92 Kumar (2009)

93 Kurtbas ja Tuegut (2006)



4 AURINKOENERGIA KORJAUSRAKENTAMISESSA

Tämän päivän maailmassa, missä jokainen on ainakin kuullut ilmastonmuutoksesta ja energiavarojen hupenemisesta, vaihtoehtoisilla energiaratkaisuilla kuten aurinkoenergian hyödyntämisellä on useille ihmisille selvästi positiivinen imago. Aurinkoenergiesysteemien myös koetaan olevan uutta ja modernia teknologiaa, jolla silläkin on usein positiivinen painoarvo. On muodikasta olla ”eko”.

Näitä aurinkoenergiesysteemejä vanhoihin rakennuksiin integroimalla siis voidaan myös kohentaa rakennusten ja lähiöiden imagoa sekä ekologisuuden että ajankohtaisuuden tasolla. Positiivinen imago puolestaan vaikuttaa ihmisten kiinnostukseen muuttaa rakennuksiin. Imago myös vaikuttaa siihen kuinka ihmiset sitoutuvat rakennukseen ja sen ympäristöön eli ihmisten kiinnostukseen ylläpitää rakennuksia ja osallistua rakennusten ja ympäristön toimintaan. Aurinkoenergiesysteemien käyttö korjausrakentamisessa ei ole siis pelkästään energiataloudellinen kysymys vaan monitahoisempi asia.

Useat aurinkoenergiesysteemit myös lisäävät asukasmukavuutta muutenkin kuin seinien paremman lämmönpitävyyden kautta. Rakenteisiin integroidut aurinkolämpösystemit nostavat rakenteiden lämpötilaa siirtämällä osan kaappaamastaan säteilyenergiasta niihin lämpöenergiana. Rakenteiden kohonnut lämpötila puolestaan näkyy asukasmukavuudessa sisäpintojen lämpenemisellä. Vedontunne johtuu usein kylmistä ikkuna- ja seinäpinnoista eli pintojen lämpötilan nousu tuntuu vedontunteen vähenemisellä. Vedontunteen vähentyessä läm-

VIEREINEN SIVU

Kuva 4.1: Ehdotus 2010 Isover Multi-Comfort House - Renovation opiskelija kilpailuun. Pariisilainen tehdas asuinrakennukseksi.

taulukko 4.1: Peruskorjaustarpeet ja aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuudet⁹⁴.

	INTEGROIDUT KERÄIMET	LASITETUT PARVEKKEET	VALOA LÄPÄISEVÄ ERISTYS	REI'ITETTY TASOKERÄIN	KAKSOIS- JULKISIVU
RAKENNUKSEN TASO					
IMAGO	X	X	X	X	X
ENERGIATALOUS	X	X	X	X	X
PÄIVÄNVALON LISÄYS					
TILAN LISÄYS		X	X		X
ASUINMUKAVUUDEN LISÄYS	X	X	X	X	X
RAKENNUKSEN KORJAUSTARVE					
JULKISIVUT	X	X	X	X	X
AUKOT		X	X		X
KATTO	X				
LAITTEISTOJEN KORJAUSTARVE					
LÄMMITYS	X	X	X	X	X
ILMANVAIHTO	X	X		X	X
LÄMMINVESI	X				

mitystarvekin voi vähentyä ja näin säästää energiaa.
Tässä luvussa lähestytään aurinkoenergia systeemien soveltumista korjausrakentamiseen pääasiassa esimerkkikohteen suunniteltujen rakennusvaipan peruskorjausten avulla. Korjaussuunnitelmissa tutustutaan ensin rakennuksen nykytilaan ja selvitetään sen aurinko-olosuhteet. Sen jälkeen selvitäksistä saatua tietoa sovelletaan kohteeseen integroitaviin aurinkoenergia systeemeihin.

4.1 Korjausrakentamisen yleiset haasteet ja vaatimukset aurinkoenergiaratkaisujen soveltamiselle

4.1.1 Haasteet

Vanhaa rakennuskantaa ei yleensä ole suunniteltu hyödyntämään auringonsäteilyä. Kaavoitustasolla tämä merkitsee sitä, ettei kaikkia rakennuksia ole suunnattu ilmansuuntiin nähden oikein, jotta aurinkoenergian hyödyntäminen olisi kannattavaa. Myöskään rakennusten keskinäiset suhteet eli niitten sijainnit, korkeudet ja muodot eivät aina mahdollista auringonsäteilyn pääsemistä riittävässä määrin rakennuksiin, jotta energian talteenotto olisi hyödyllistä. Usein betonilähiöt on kuitenkin rakennettu niin väljästi, että ainakin osassa rakennuksia perille pääsevän auringonsäteilyn määrä riittää mainiosti aurinkoenergiasysteemien tarpeisiin.

Rakennuksista ja niitten ympäristöstä täytyy vain tehdä melko perusteellinen aurinko- ja varjoanalyysi, joilla selvitetään minne ja milloin aurinko paistaa. Analyysien perusteella voidaan päättää missä ja minkälainen aurinkoenergian hyödyntäminen on kohteessa kannattavaa. Pitää myös muistaa, että erilaiset passiiviset lämpökeräimet eivät tarvitse suoraa auringonpaistetta, jotta niistä on hyötyä vaan ne lämpenevät jonkin verran jo auringon hajasäteilyn vaikutuksesta.

Korjausrakentamiskohteena olevien rakennusten oma ulkoinen geometria ei sekään aina ole kovin hyvä aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta. Vaikka rakennus olisikin sopivasti suunnattu ilmansuuntiin nähden, voi siinä olla ulokkeita, erkkeitä, parvekkeita tms. jotka varjostavat julkisivuja niin paljon, että julkisivuun sijoitettujen aurinkoenergiasysteemien toiminta heikkenee ratkaisevasti. Tällaisissa tilanteissa pitää jälleen varjoanalyysin avulla selvittää minne ja miten aurinkoenergiasysteemien sijoittaminen voisi olla kannattavaa tai minkälaisia muutoksia rakennukseen tulisi tehdä, jotta niitten sijoittaminen olisi kannattavaa.

Vanhojen rakennusten kerrospohjat, sisäseinien, hormien ja

aukotuksen sijoittelu ei tavallisesti myöskään vastaa optimaalisesti aurinkorakentamisen vaatimuksiin. Varsinkin ilmakerainten vaatimien ilmanvaihtokanavistojen sijoittaminen voi osoittautua todella vaativaksi haasteeksi. Nestekiertoa käyttävien aurinkoenergiasysteemien putkistot eivät niinkään aiheuta ongelmia. Tästä johtuen rakennusten sisäinen geometria voi ratkaista sen minkä tyyppistä energiasysteemiä rakennuksissa voidaan hyödyntää.

Suuremmissa korjausrakentamisprojekteissa, missä taloja voidaan purkaa kokonaan tai osittain sekä rakennusten sisäistä geometriaa voidaan muuttaa, edellä mainitut haasteet ovat huomattavasti helpompi ratkaista. Rakennuksia ja rakennusten osia voidaan purkaa ottaen huomioon auringonsäteilyn saanti. Parvekevyöhykkeiden sijaintia tai muotoa voidaan muuttaa vähemmän varjostavaksi. Rakennusten sisäosia voidaan muuttaa niin että lämmityshormien ja muitten rakennuksen sisään tulevien komponenttien rakentaminen tulee mahdolliseksi. Tällaisissa kohteissa aurinkoenergiasysteemien sijoittelu ja niitten vaatima muu laitteisto voidaan pitkälti toteuttaa niin kuin kyseessä olisi uudisrakennuskohde.

4.1.2 Vaatimukset

Päävaatimus siihen, että aurinkoenergia ratkaisuja kannattaa harkita korjausrakentamisessa, on, että suuri osa rakennuksen julkisivuista ja/tai kattolappeista suuntautuu etelään. Myöskään $\pm 45^\circ$ suuntaus etelästä ei merkittävästi vähennä aurinkoenergiasysteemien suoritustehoa. Itse asiassa perinteisessä nelikulmaisessa kerrostalossa kyseinen kaakkoon ja lounaaseen suuntautuva systeemi voi olla jopa suoraan etelään suuntautumista kannattavampi, sillä silloin suurempaa osaa rakennuksen julkisivuista voidaan hyödyntää aurinkoenergian talteenotossa.

Toinen merkittävä vaatimus on, etteivät aurinkoenergian talteenottoon käytettävät julkisivut ole varjostettuja ainakaan lämmityskaudella. Kattolappeelle sijoitetut keräimet kärsivät yleensä vähemmän rakennuksen ympäristön varjostavista tekijöistä.

Aurinkoenergiesysteemejä ei yleensä kannata käyttää yksinään korjausrakentamisessa vaan yhdessä perinteikkäämpien teknologioiden kanssa, kuten lisälämmöneristyksen, parempien ikkunoiden, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton jne. kanssa. Aurinkoenergiesysteemit tulisi suunnitella yhdessä näitten eri osa-alueiden kanssa, jotta saatava hyöty olisi optimaalinen. Esim. joitain aurinkoenergiaratkaisuja voidaan käyttää tuloilman esilämmittämiseen sekä ilmanvaihdon tehostamiseen. Tällainen systeemi tulee ehdottomasti suunnitella yhdessä rakennuksen muun ilmanvaihdon kanssa, jotta ilmanvaihto toimisi mahdollisimman energiataloudellisesti.



Kuva 4.2.1: Ilmakuva Saarenvainionkadusta. (Google maps)

4.2 Esimerkkikohde

Esimerkkikohde, johon olen tehnyt suunnitelmani aurinkolämmön hyödyntämiseksi, sijaitsee Tampereen Kaukajärvellä. Kohde on asunto-osakeyhtiö Saarenkuokka, joka on kolmen kerrostalon ryhmä osoitteessa Saarenvainionkatu 15, talot A, C ja D. Saarenvainionkadulla on kolme muuta lähes samanlaista rakennusryhmää sekä pari kerrostaloa, jotka ovat samanlaisia kuin kohteen talo D.

Kaukajärvi on Tampereen vanhin lähiö, jota alettiin rakentaa 1960-luvulla. As Oy Saarenkuokka on rakennettu 1971 ja kuuluu Kaukajärven ns. kakkosvaiheeseen. Rakennuksissa on kirjahyllyrungot ja ulkoseinät ovat betonisandwichelement-

tirakenteisia. Rakennuksiin A ja C on tehty parvekeremontti 1989, arkkitehtuuritoimisto Mattias Puronniemi. Rakennukseen D on tehty pääsisäänkäynnin osalta julkisivumuutosremontti 2005, Arkkitehtuuritoimisto Ky. Rakennuksille ei ole tehty julkisivusaneerausta eikä niitä ole vielä lisälämmöneristetty. Rakennukset siis sopivat erinomaisesti ENTELKOR projektin kohteiksi.

As Oy Saarenkuokan rakennukset sijaitsevat loivassa etelärinteessä ja niiden eteläpuolella on laaja parkkialue sekä peltoaukio, eikä niitten eteläpuolella ole lähietäisyydellä muita rakennuksia tai korkeaa maastoa, jotka varjostaisivat niitä ja näin vähentäisivät aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia. Kahden matalamman rakennuksen, A ja C, pitkät julkisivut poikkeavat 8,1° eteläistä lounaaseen eli niitten suuntaus on lähes optimaalinen auringonsäteilyn vastaanoton kannalta. Sama koskee D rakennuksen korkeaa yhtenäistä umpipäätyä. Rakennusryhmä sopisi siis mainiosti aurinkoenergian hyödyntämiseen.

4.3 Esimerkkikohteen alkutilanne

As oy Saarenkuokka koostuu siis kolmesta rakennuksesta, jotka alkuperäisissä piirustuksissa on nimetty A, C ja D rakennuksiksi. Rakennuksissa on kirjahyllyrungot, maanvaraiset alapohjat ja maanpäällinen kellarikerros.

Kuva 4.3.1: CAD-ohjelmalla tehty kuva rakennusryhmästä lounaasta nähtä.





Kuva 4.3.2: Saarenvainionkatu maaliskuun 5. 2010

YLIN: Kaikki kolmerakennusta

KESKELLÄ: C-talo idästä

ALIN: A-talon eteläjulkisivua, jossa näkyy nauhasandwich-elementti jako



Kuva 4.3.3:

YLIN: D-talo idästä eli pääsisään-
läynnin puolelta

KESKELLÄ: A-talon pohjoisjulkis-
sivua

ALIN: D-talon itäjulkisivua, jossa nä-
kyy ruutusandwich- elementti jako

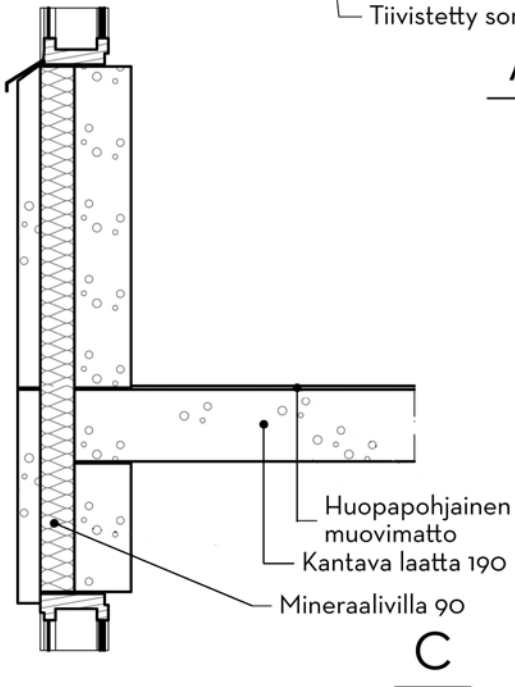
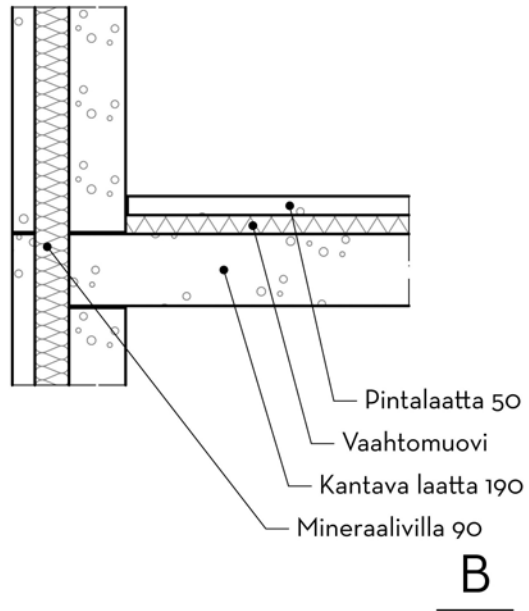
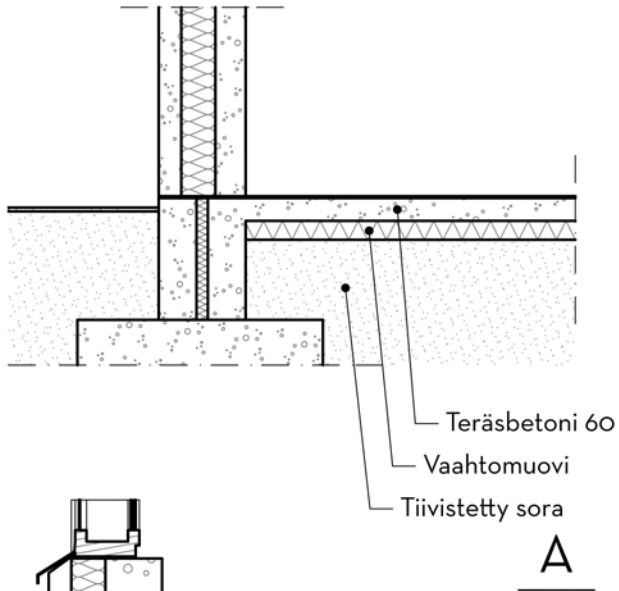


SEURAAVA SIVU: Asemapiirros ja
alueleikkaus 1 : 750





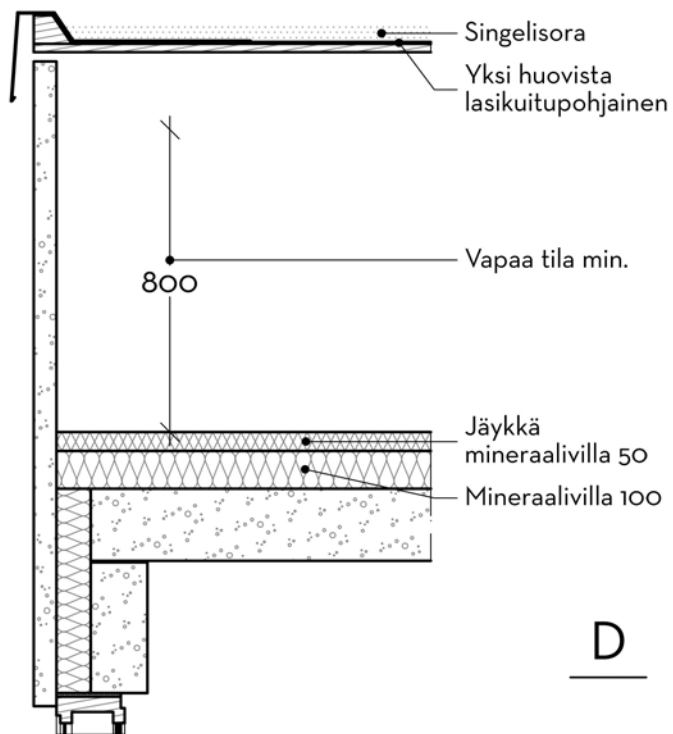
4.3.1 Periaatepiirustuksia



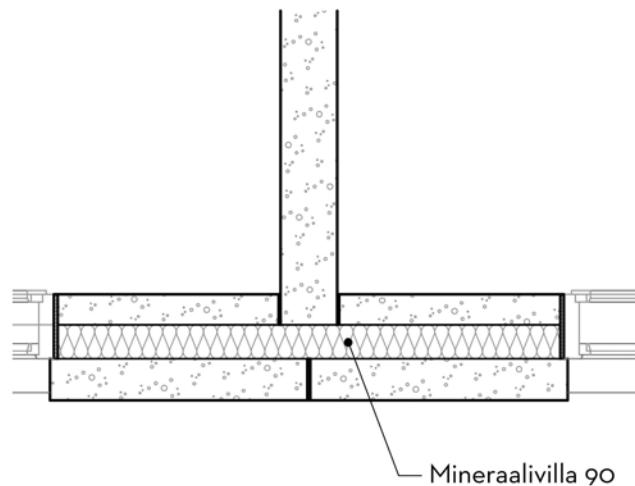
A: Pystyleikkaus alapohjasta 1 : 20

B: Pystyleikkaus pohjakerroksen katosta 1 : 20

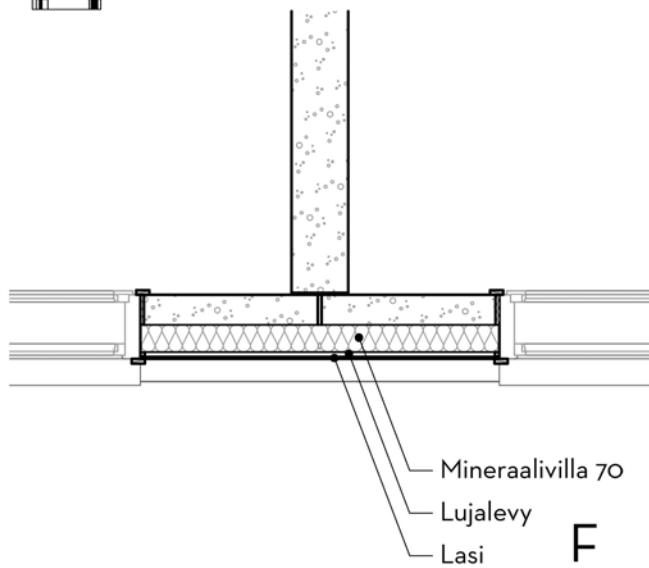
C: Pystyleikkaus normaalista välipohjasta 1 : 20



D



E



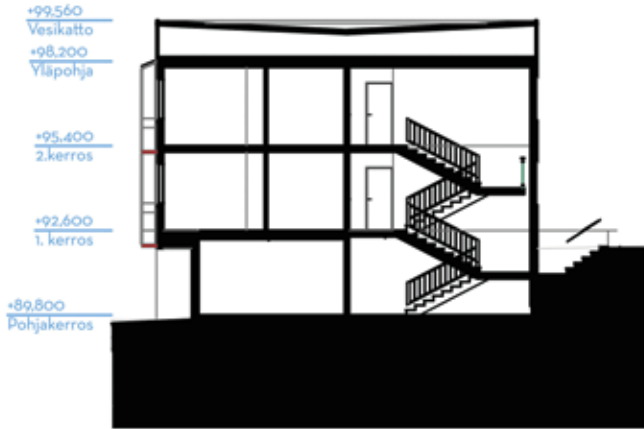
F

D: Pystyleikkaus yläpohjasta 1 : 20

E: Vaakaleikkaus huoneistojen välisestä seinästä ikkunoiden kohdalta 1 : 20

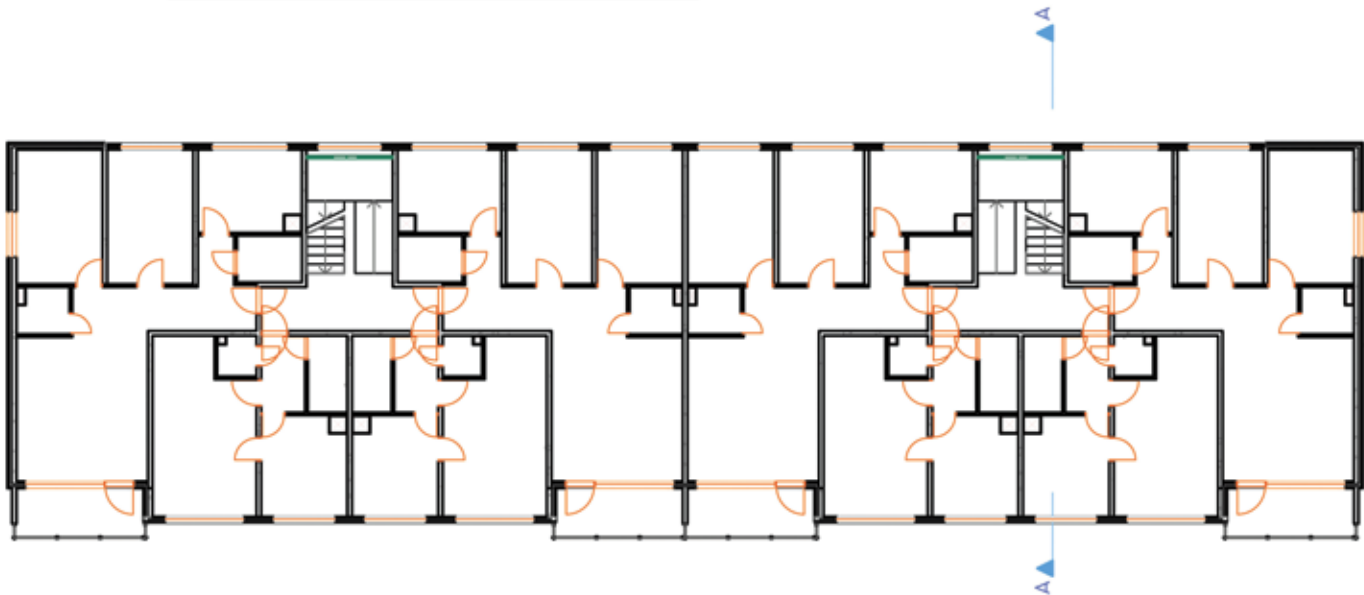
F: Vaakaleikkaus A-talon ikkunoiden välisestä seinästä 1 : 20

4.3.2 Pohjat ja julkisivut

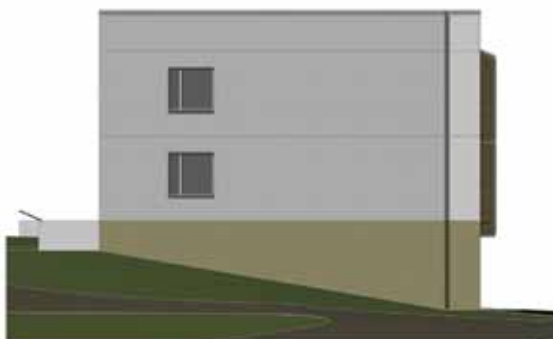


A-rakennus: leikkaus A - A 1:250

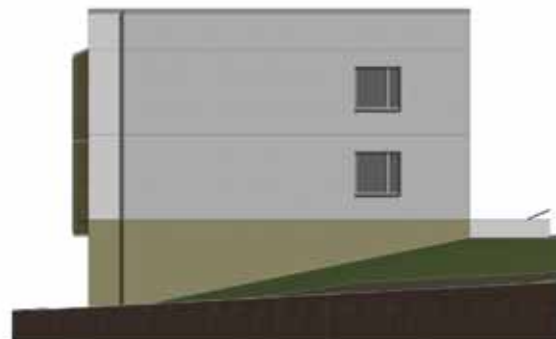
A-talo on kolmikerroksinen eli siinä on maantasokerroksen päällä kaksi asuin-kerrosta. A-talon pitkät ei kantavat ulko-seinät ovat nauhasandwich-elementti ra-kenteisia. A-talon parvekkeet ovat osin sisäänvedettyjä.



A-rakennus: 1. kerros 1:250



A-rakennus: länsijulkisivu 1:250



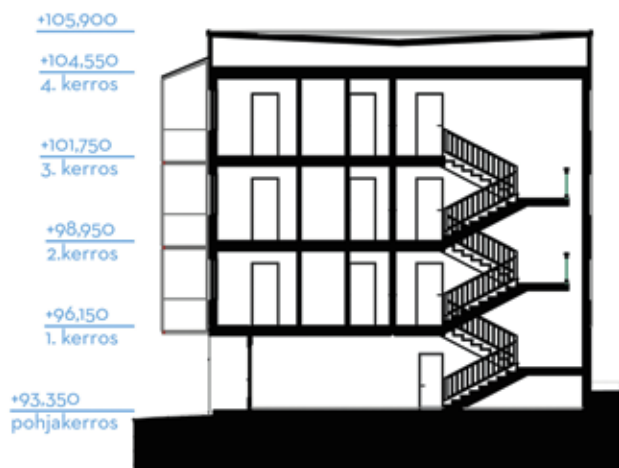
A-rakennus: itäjulkisivu 1:250



A-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250

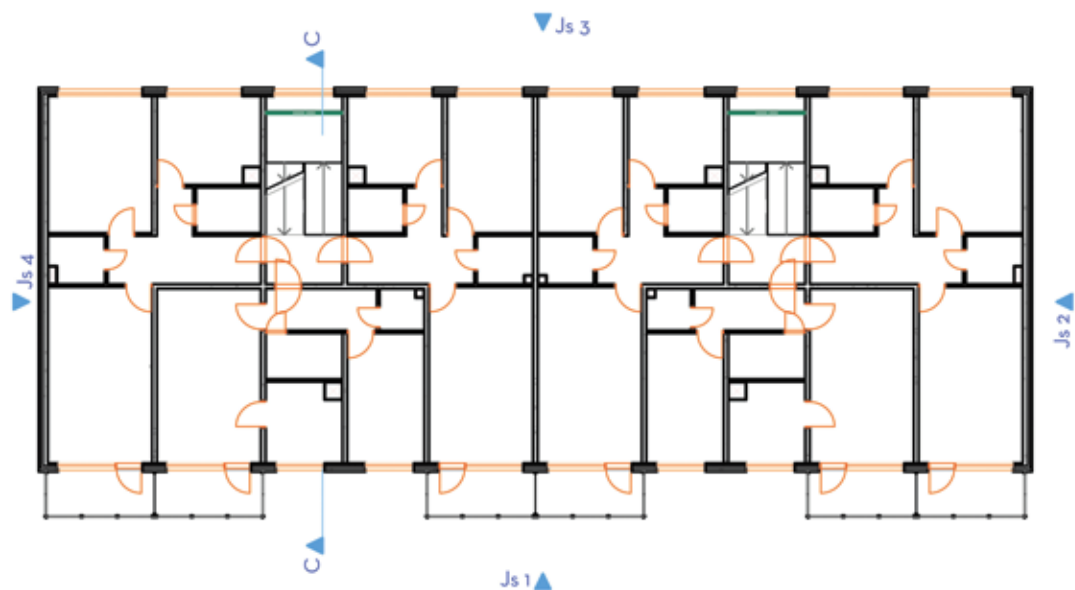


A-rakennus: eteläjulkisivu 1:250

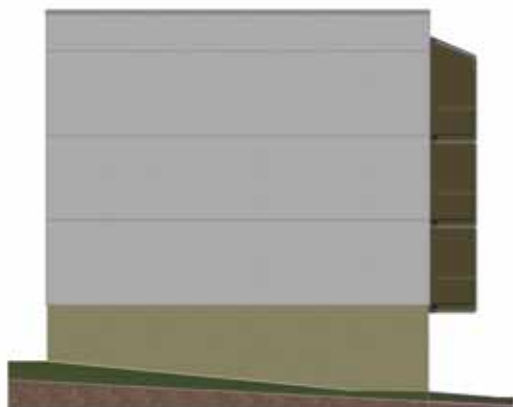


C-rakennus: leikkaus C - C 1:250

C-talossa on kolme asuinkerrosta maantasokerroksen yläpuolella. C-talon ulkoseinät ovat ruutusandwich-elementti rakenteisia ja sen parvekkeet ovat ulko-
nevia.



C-rakennus: 1.kerros 1:250



C-rakennus: länsijulkisivu 1:250



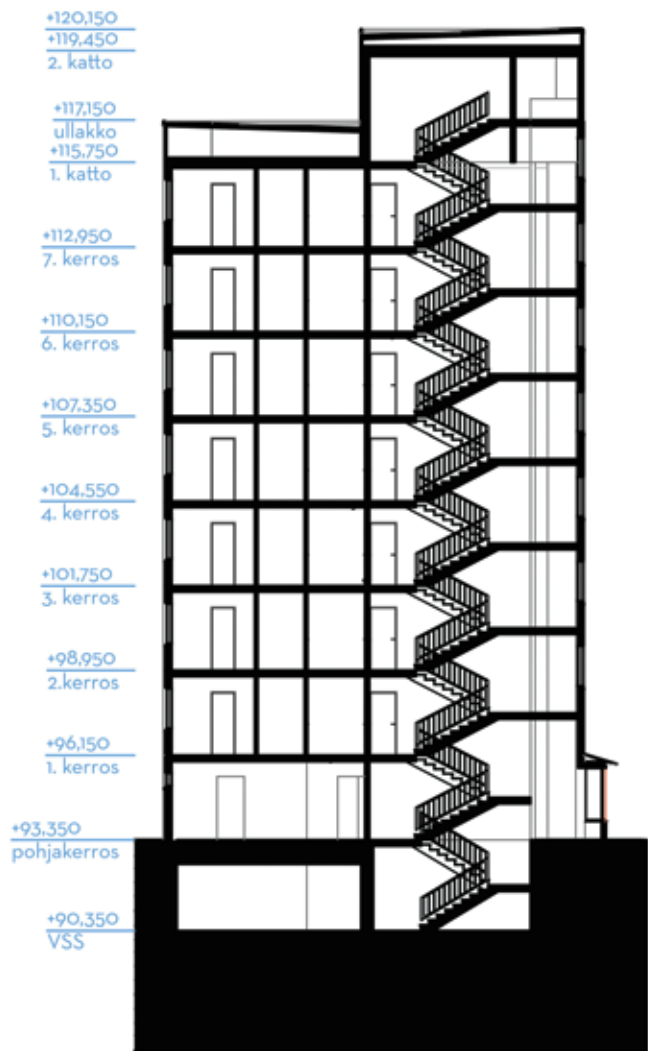
C-rakennus: itäjulkisivu 1:250



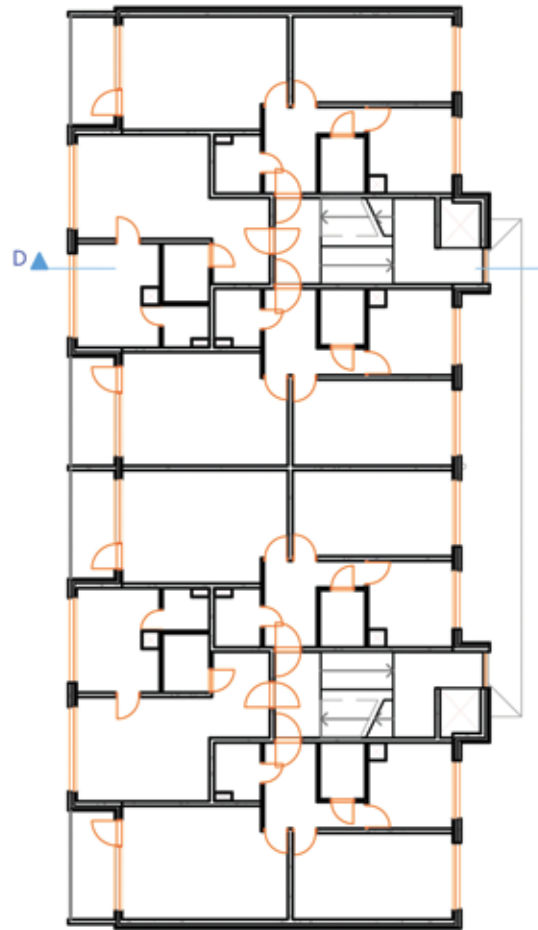
C-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



C-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



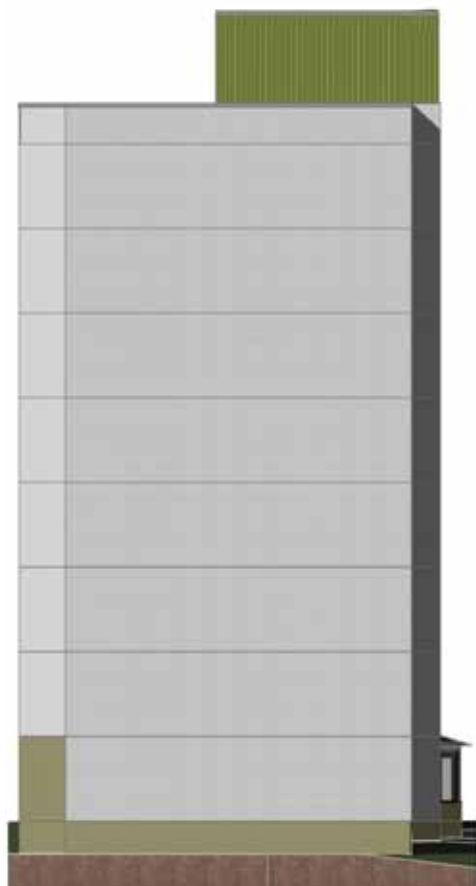
D-rakennus: leikkaus D - D 1:250



D-rakennus: 1. kerros

1:250

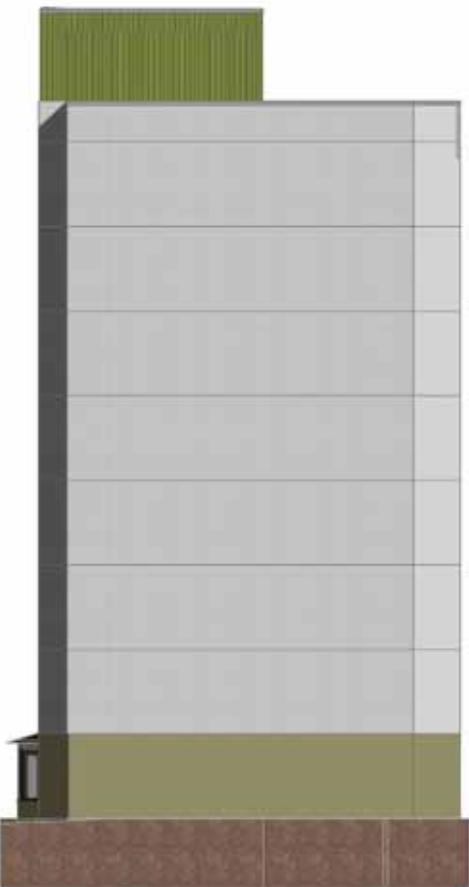
D-talo on rakennuksista korkein ja niistä ainoa, jossa on hissit. D-talossa on maanalainen väestönsuoja, maanpäällinen kellarikerros ja seitsemän asuinkerrosta. D-talon katolla on tuuletustasanne. D-talon julkisivut ovat ruutusandwich-elementti rakenteisia ja sen parvekkeet ovat kokonaan sisäänvedettyjä.



D-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



D-rakennus: länsijulkisivu 1:250



D-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



D-rakennus: itäjäulkisivu 1:250

4.3.3 Laskelmat

Seuraavassa taulukossa on ArchiCad ohjelman EcoDesigner liitännäisellä tekemistäni CAD-mallista lasketut kaikkien kolmen rakennuksen lämmitettävät pinta-alat sekä tilavuudet, eri rakennusosien U-arvot sekä lämmitysenergian kulutus lue-mat. Taulukossa on myös as oy Saarenkuokan isännöitsijältä saamieni tilastojen mukainen toteutunut normeerattu läm-mitysenergian vuosikulutus. Laskennallinen kulutus on 88 % toteutuneesta kulutuksesta. Tuo 12 % virhe on varmaankin monen eri tekijän summa, kuten mahdolliset rakennuksen pii-rustuksista poikkeavat rakenteet, iän myötä tullut kuluminen sekä vuodot ja ennen kaikkea rakennuksen käyttäjien energian kulutukseen vaikuttavat toimet. Tietokoneohjelman antamat luvut vaikuttavat mielestäni kohtuullisen hyviltä.

Taulukko 4.3.1: Saarenvainionkatu 15 rakenteiden keskimääräiset U-arvot ja laskennalliset lämmönkulutukset sekä keskimääräinen toteutunut normeerattu lämmönkulutus.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
LÄMMITETTÄVÄ PINTA-ALA (M2)	1517	1566	3037	6120
LÄMMITETTÄVÄ TILAVUUS (M3)	3960	4087	7927	15974
KATTOJEN U-ARVO (W/M2K)	0,26 - 0,42	0,26	0,26 - 3,05	
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,43 - 0,67	0,39 - 3,27	0,27 - 2,51	
AUKKOJEN U-ARVO	2,7	2,7	2,7	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,84	0,73	0,80	0,79
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	153 072	156 832	453 238	763 142
TOTEUTUNUT KESKIMÄÄRÄINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)				867 863



Kuva 8.4.1: Saarenvainionkatu maaliskuun viides päivä 2010.

4.4 Esimerkkikohteen olosuhteet

4.4.1 Tuulisuusanalyysi

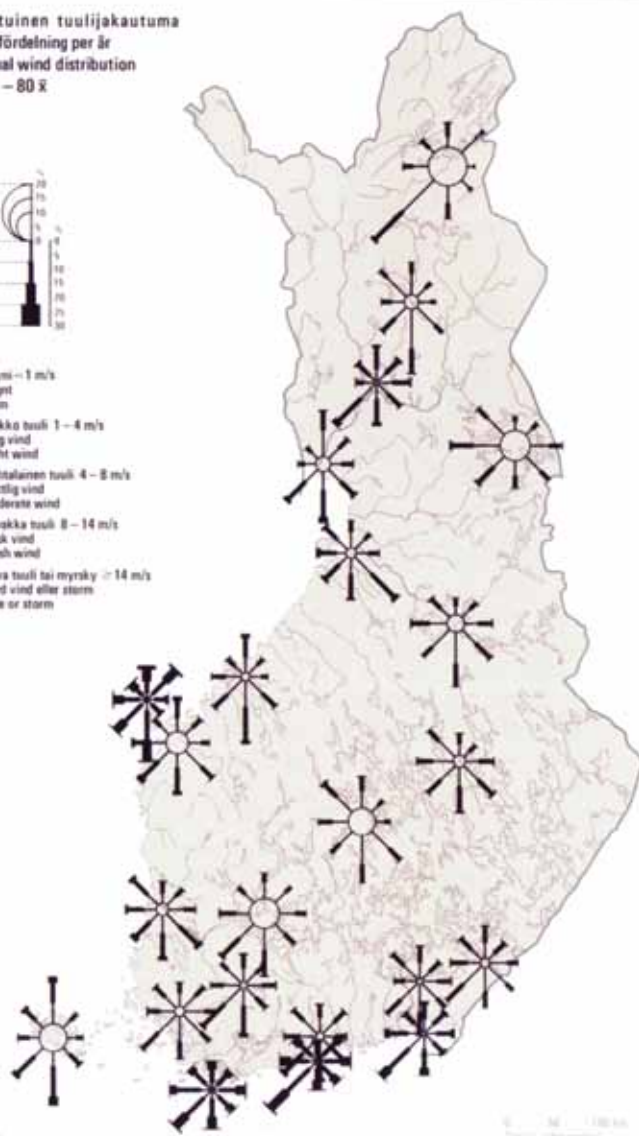
Tuulten vaikutus rakennuksen lämpötalouteen on merkittävä. Tuulisella säällä ilmavirtaus rakennuksen ulkokuorta pitkin jäähdyttää rakennetta tehokkaasti varsinkin jos rakenne on esimerkiksi sateen kastelema. Jos julkisivuverhouksen takana on tuuletusrako, vähentyy rakenteesta ilmavirtaan johtuva lämpö huomattavasti, samalla tällainen rakenne suojaa sisempiä rakenteita kastumiselta. Julkisivuun integroiduissa aurinkoenergisysteemeissä syntyy lähes aina ulkoseinärakenteeseen tällainen ilmarako, joka suojaa rakenteita tuulen jäähdyttävältä vaikutukselta. Tästä johtuen, integroitua aurinkoenergisysteemien taloudellisuutta arvioitaessa, tulee vallitsevat tuuliolosuhteet ottaa huomioon.

Kun tarkastelemme tuulijakaumia koko maan alueella huomaamme, että lähes koko Suomessa suurin osa tuulista sekä voimakkaimmat tuulet tulevat kaakon ja lännen väliseltä alueelta. Sisämaassa on selvästi tyynempää kuin rannikolla vaikkakin alueelliset erot ovat melko voimakkaita.

12e Vuotuinen tuulijakauma
Vindfördelning per år
Annual wind distribution
1961 – 80 x



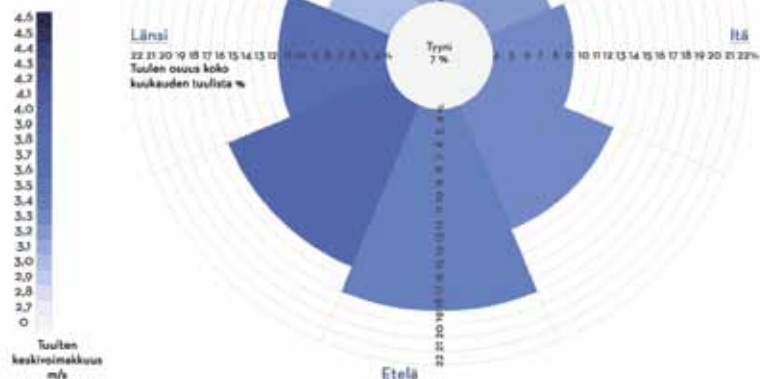
- 1 Tyynä – 1 m/s
Lugnt
Calm
- 2 Heikko tuuli 1 – 4 m/s
Svag vind
Light wind
- 3 Kohtalainen tuuli 4 – 8 m/s
Mättlig vind
Moderate wind
- 4 Raikas tuuli 8 – 14 m/s
Frick vind
Fresh wind
- 5 Kova tuuli tai myrsky > 14 m/s
Hård vind eller storm
Gale or storm



Kuva 4.4.1: Keskimääräinen vuotuinen tuulijakauma koko Suomessa vuosina 1961 – 1980⁹⁴..

94 Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura (1993)

Vuosien 1971 - 2000 tuulten keskiarvot Tampere-Pirkkala lentoasema



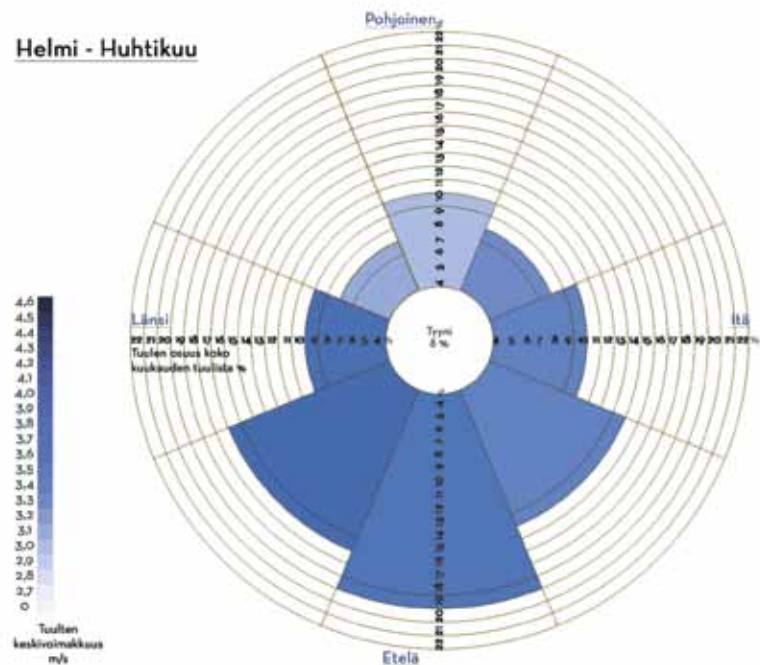
YLLÄ

Kaavio 4.4.1: Vuosien 1971 - 2000 tuulten keskiarvot Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Kaavio perustuu lähteen⁹⁵ tietoihin.

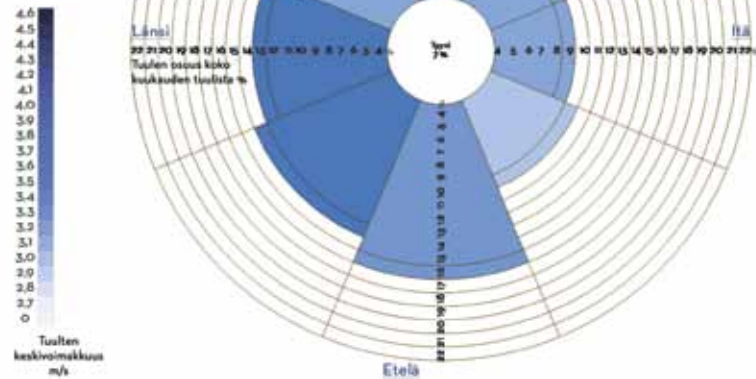
ALLA

Kaavio 4.4.2: Keskimääräinen tuulisuus helmi - huhtikuussa 1971 - 2000 Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Kaavio perustuu lähteen⁹⁶ tietoihin.

Helmi - Huhtikuu



Touko - Heinäkuu



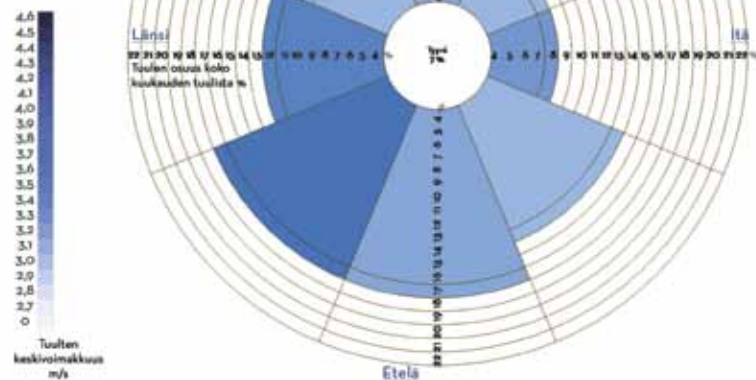
YLLÄ

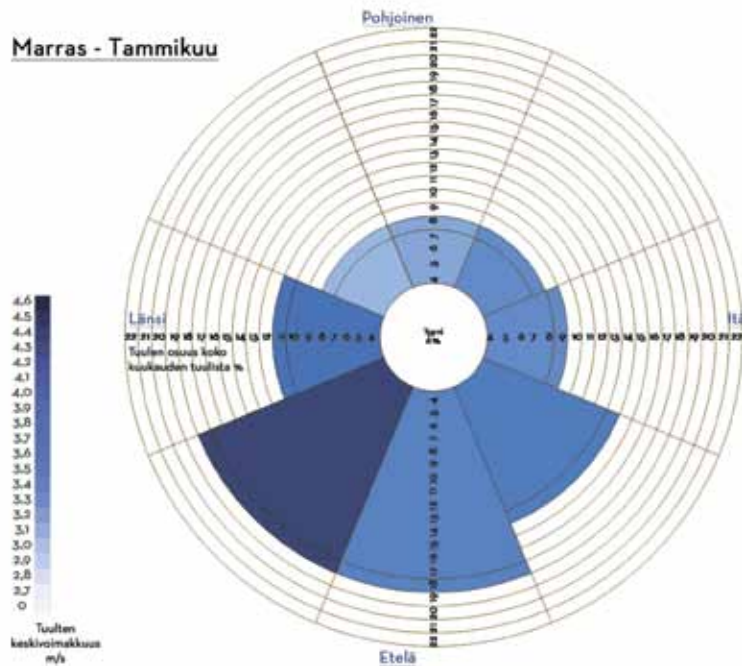
Kaavio 4.4.3: Keskimääräinen tuulisuus touko - heinäkuussa 1971 - 2000 Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Kaavio perustuu lähteen ⁹⁷ tietoihin.

ALLA

Kaavio 4.4.4: Keskimääräinen tuulisuus elo - lokakuussa 1971 - 2000 Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Kaavio perustuu lähteen ⁹⁸ tietoihin.

Elo - Lokakuu





Kaavio 4.4.5: Keskimääräinen tuulisuus marras – tammikuussa 1971 – 2000 Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Kaavio perustuu lähteen⁹⁹ tietoihin.

95 - 99 Drebs et al. (2002)

Kaavioiden perusteella voimme todeta, että Tampereella tuulee useimmiten etelästä ja lounaasta, vähiten luoteen ja koillisen väliltä. Samoin keskimäärin voimakkaimmat tuulet tulevat etelän ja lännen väliltä. Vuodenaikojen välillä on jonkin verran eroa, keskimäärin voimakkaimmat tuulet puhaltavat talvella ja keväällä, heikommin tuulee kesällä. Kaikkein kylmimpänä vuodenaikana siis tuulee siis jonkin verran useammin ja kovempaa. Vallitsevien tuulten suunta Tampereella on siis sellainen, että kaakon ja lännen välisiin julkisivuihin integroidut aurinkolämpökeräimet tuovat myös parhaan hyödyn tuulta vastaan, eli niillä julkisivuilla joihin aurinkoenergiasysteemit muutenkin kannattaa asentaa.

Saarenavainionkadun esimerkikohteessa on alun perin betonisandwichrakenne, joka tuulisella ja sateisella säällä siis jäähtyy voimakkaasti. Rakenteen energiatalous siis paransi merkittävästi jo sillä, että sen ulkopuolelle asennettaisiin tuuletettava verhous. Kun rakenteen eteen asennetaan integroitu aurinkolämpökeräin, saadaan siis kaksinkertainen hyöty. Saadaan talteen auringonsäteilyenergiaa ja saadaan tuulettuvan julkisivun tuomat hyödyt.

4.4.2 Aurinkoanalyysi

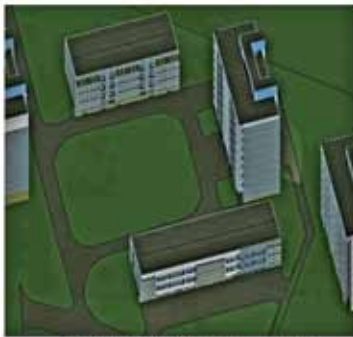
Suomen pohjoisen sijainnin ansiosta muutokset aurinkoenergian saannissa vuodenaikojen vaihtuessa ovat suuria. Samoin auringon sijainnin muutokset taivaankannella ovat suuria. Aurinko paistaa aivan eri paikasta tammikuussa kuin kesäkuussa. Tästä johtuen, kun Suomessa harkitaan aurinkoenergian hyödyntämistä, kohteen aurinkoanalyysin tekeminen on välttämätöntä. Aurinkoanalyysijä täytyy tehdä riittävä määrä, jotta vuodenkulun mukaiset auringonratamuutokset tulee otettua huomioon. Jos aurinko paistaa kohteeseen kesäkuussa kello 10, se ei tarkoita sitä, että se paistaisi kohteeseen myös helmikuussa kello kymmenen. Auringon muuttuneesta sijainnista johtuen, jokin varjostava tekijä on voinut tulla sen ja kohteen väliin.

Seuraavissa ArchiCadillä tehdyissä aurinkoanalyysissä esimerkkikohteesta on pyritty selvittämään kuinka aurinko paistaa kohteeseen eri vuodenaikoina. Analyysikuvia on tehty helmikuun 1. ja marraskuun 11. päivän väliseltä ajalta. Marraskuun alun ja tammikuun lopun välillä aurinko paistaa vuodenaikajasta ja vallitsevasta säästä johtuen niin vähän, ettei sitä välttämättä kannata ottaa arvioinneissa huomioon.

Analyysissä eri kuvien kellonajat vaihtelevat sen mukaan milloin aurinko nousee ja laskee sekä milloin auringonsäteily osuu kohteeseen alle 70° kulmassa suhteessa eteläjulkisivun pinnan normaalista. 70° kulmaa on tässä työssä käytetty raja-arvona lasin valonläpäisykyvyn takia¹⁰⁰. Esimerkiksi helmikuussa sekä auringonnousu ja -lasku osuvat sektorille, joka on $\pm 70^\circ$ pinnan normaalista sisällä, eli 70° raja-arvoa ei tarvitse ottaa huomioon. Sen sijaan kesäkuussa sekä auringonnousu että -lasku sijoittuvat siten, ettei auringonsäteily edes osu noin aikoina kohteen eteläisivulle, tällöin 70° raja-arvoa on käytetty määrittämään aurinkoanalyysin kuvien ajankohtia.

Kuvissa olevaan kompassiin on merkitty auringonnousu ja -laskuajat, auringon sijainti ilmansuuntiin nähden eri kellon aikoina sekä kellonajat milloin aurinko tulee ja poistuu sektorilta, joka on $\pm 70^\circ$ eteläjulkisivun pinnan normaalista. Lisäksi kompassiin on merkitty kellonajat, milloin aurinko on suoraan etelässä ja milloin aurinko on asemassa, josta sen säteilyn vaakakomponentti tulee suorassa kulmassa eteläjulkisivua kohti.

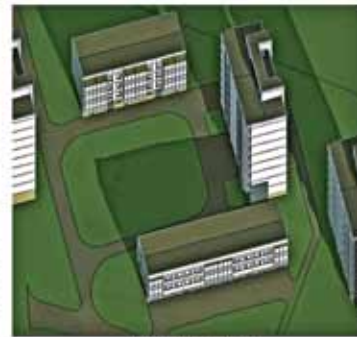
100 Katso luku 3.1: Lasin auringonsäteilyn läpäisykyky.



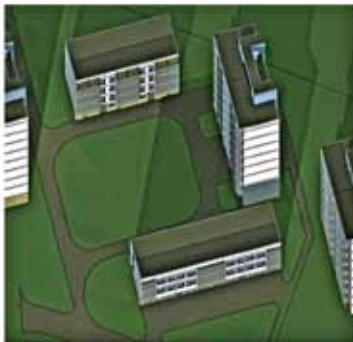
08:56 auringonnousu



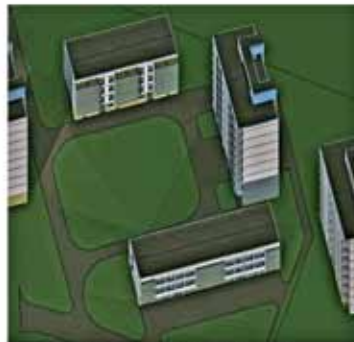
11:30



Etelä 12:37

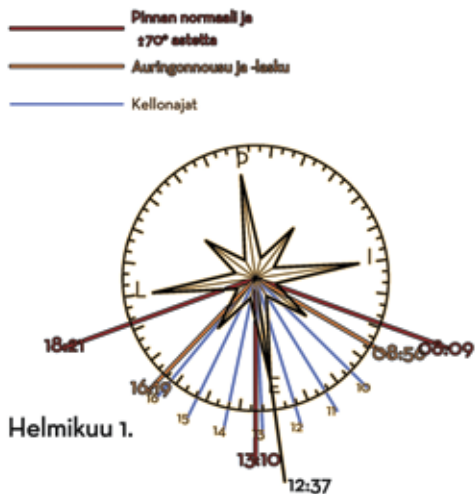


15:00

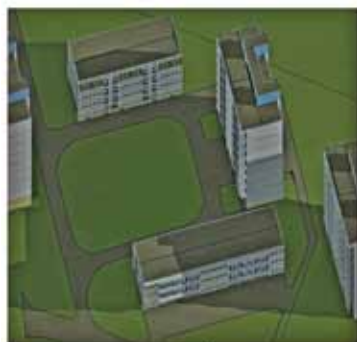


16:19 auringonlasku

HELMIKUU 1. PÄIVÄ



Kuva 4.2.2: Aurinkoanalyysi Saarenvai-
nionkatu 15:sta Helmikuun 1. päivänä,
jolloin vuoden pimeimmästä päivästä eli
talvipäivänseisauksesta on kulunut kuu-
kausi ja 10 päivää ja voidaan sanoa, että
pimein kausi alkaa olla ohi



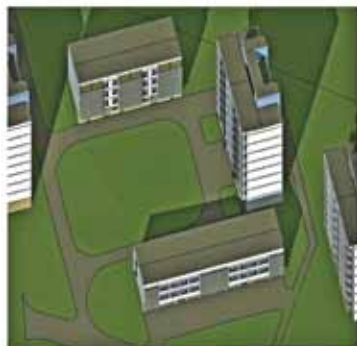
-70° 08:37



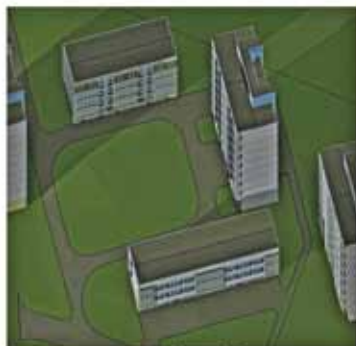
11:15



Etelä 12:32



15:00



+70° 17:38

MAALISKUU 21. PÄIVÄ

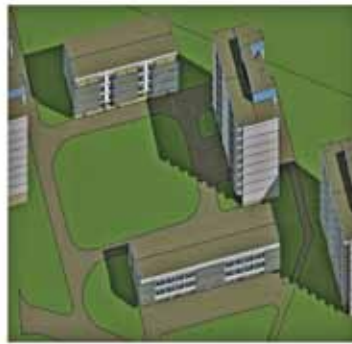
- Pinnan normaali ja $\pm 70^\circ$ astetta
- Aurinkon nousu ja -lasku
- Kellonajat



Kuva 4.2.3: Aurinkoanalyysi Saarenvainionkatu 15:sta Maaliskuun 21. päivä eli kevätpäiväntasauksena, jolloin päivä ja yö ovat yhtä pitkiä.



-70° 08:58



10:30



Etelä 12:21

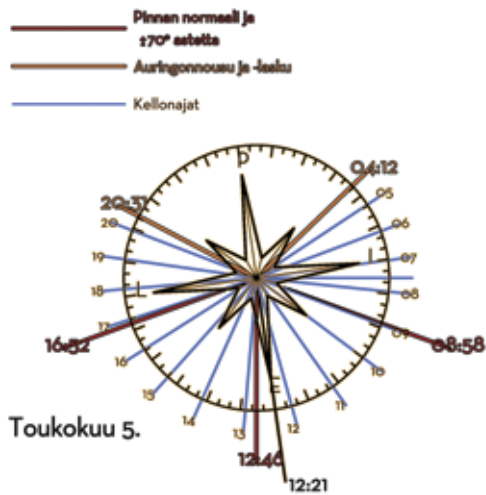


15:00



+70° 16:52

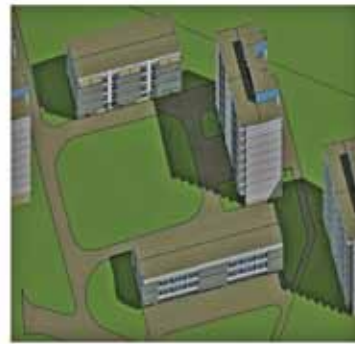
TOUKOKUU 5. PÄIVÄ



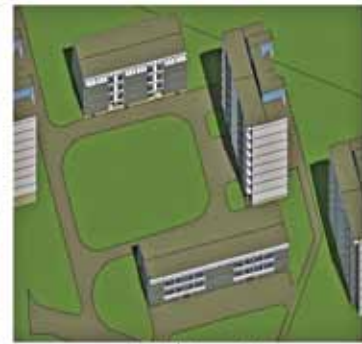
Kuva 4.2.4: Aurinkoanalyysi Saarenvaini-onkatu 15:sta Toukokuun 5., jolloin ollaan puolessa välissä aikaa kevätpäiväntasauksen ja kesäpäivänseisauksen välillä.



-70° 09:18



10:15



Etelä 12:26

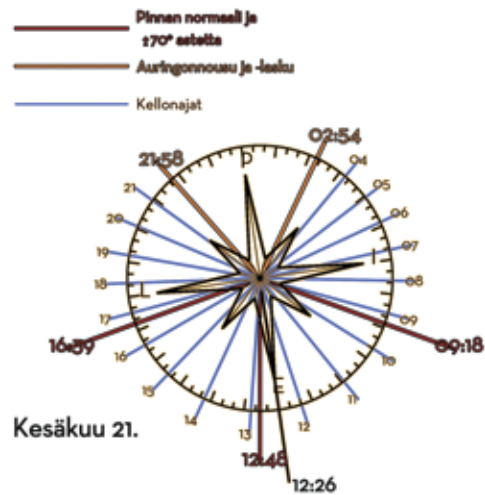


15:00



+70° 16:39

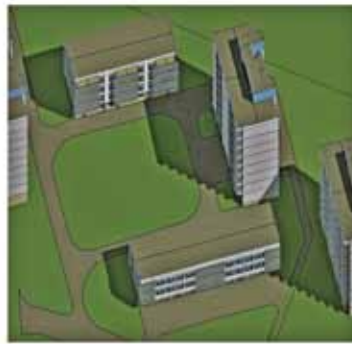
KESÄKUU 21. PÄIVÄ



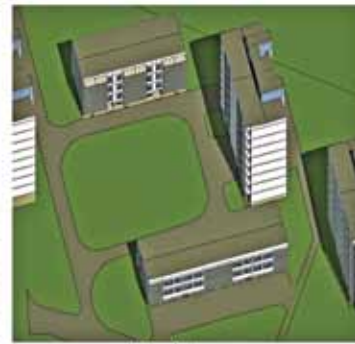
Kuva 4.2.5: Aurinkoanalyysi Saa-renvainionkatu 15:sta kesäkuun 21. päivä eli kesäpäivänseisauksena, jolloin päivä on pisimmillään ja aurinko paistaa korkeimmalta.



-70° 09:08



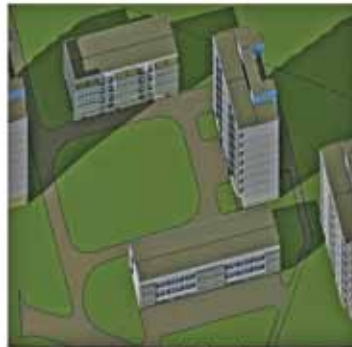
10:30



Etelä 12:30

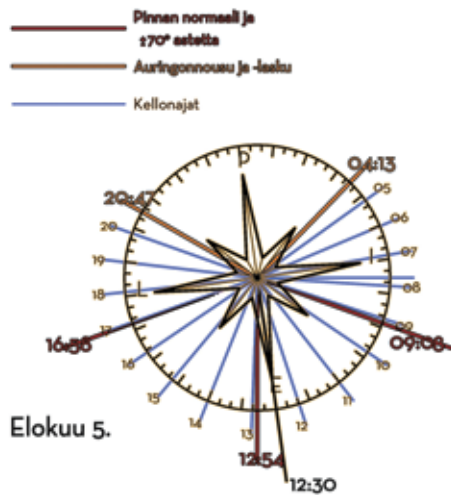


15:00

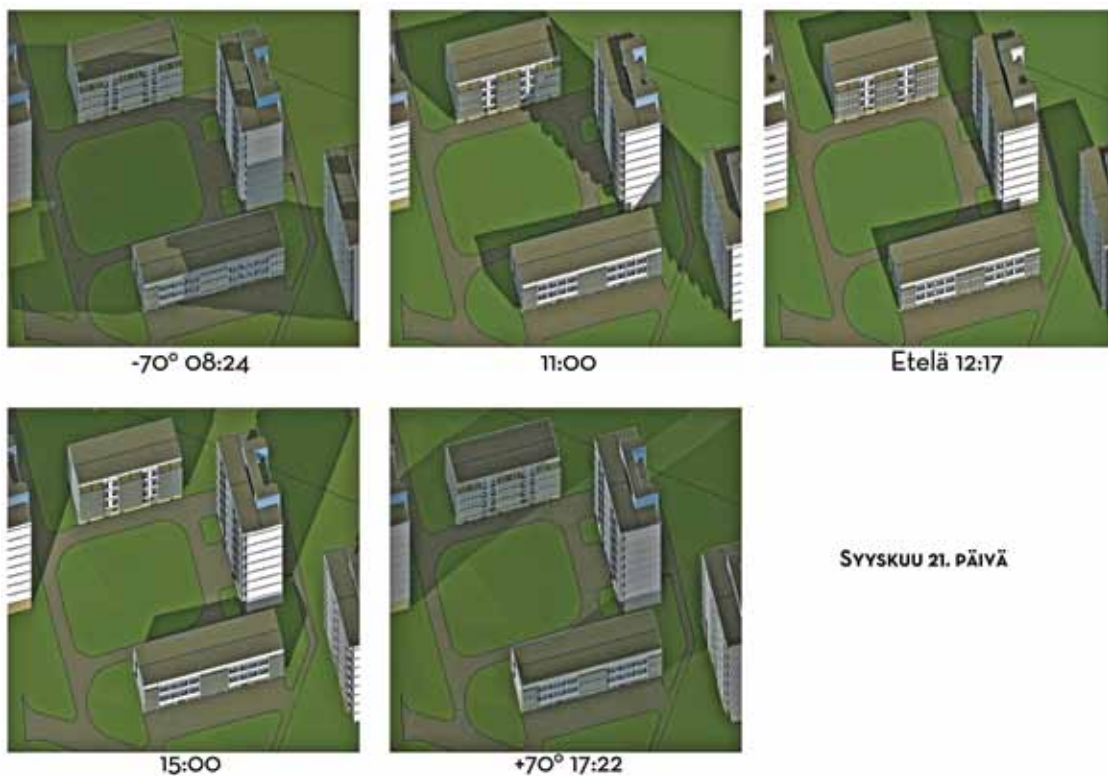


+70° 16:56

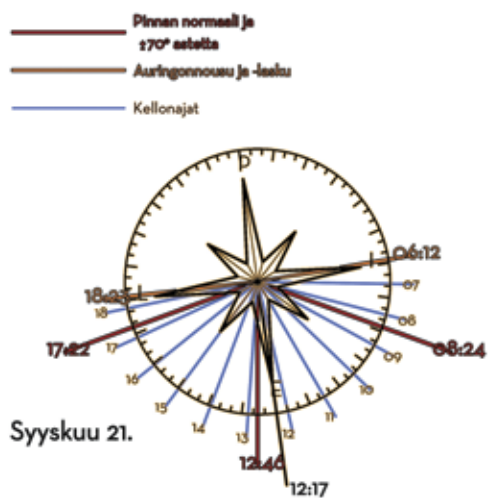
ELOKUU 5. PÄIVÄ



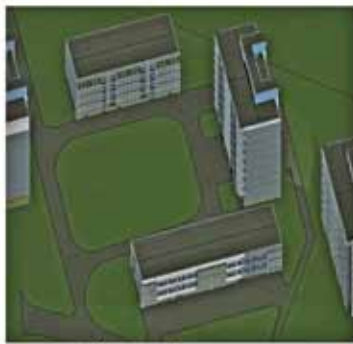
Kuva 4.2.6: Aurinkoanalyysi Saarenvainionkatu 15:sta elokuun 5. päivää, joka on puolessa välissä aikaa kesäpäivänseisauksen ja syyspäiväntasauksen välillä.



SYYSKUU 21. PÄIVÄ



Kuva 4.2.7: Aurinkoanalyysi Saaren-
vainionkatu 15:sta syyskuun 21. päi-
vä eli syyspäiväntasauksena, jolloin
päivä ja yö ovat yhtä pitkiä.



08:31 auringonnousu



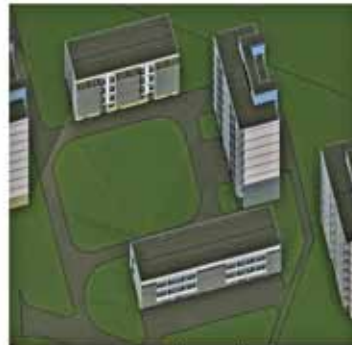
11:00



Etelä 12:10

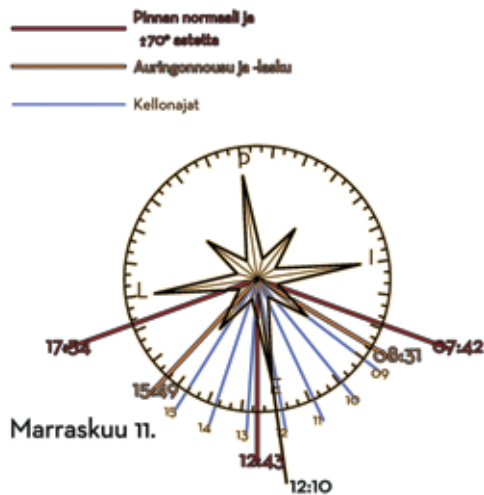


15:00



15:49 auringonlasku

MARRASKUU 11. PÄIVÄ



Kuva 4.2.8: Aurinkoanalyysi Saarenvainionkatu 15:sta marraskuun 11. päivä, jolloin talvipäivänseisaukseen on kuukausi ja kymmenen päivää eli saman verran kuin helmikuun 1. päivästä on talvipäivänseisaukseen.

Kuvien perusteella voimme todeta, että A-rakennus sijaitsee siten, että sen eteläjulkisivuun sijoitetut aurinkolämpösystemit kykenisivät tuottamaan hyödynnettävää energiaa koko sen ajan kun aurinko paistaa. Vain pieni osa julkisivusta on varjostettuna mihinkään kelloaikaan minä vuodenaikana tahansa. Myöskään julkisivussa olevat parvekkeet eivät merkittävästi varjosta parvekkeista vapaata osaa julkisivusta.

D-rakennuksen korkeaan eteläiseen umpipäätyyn aurinko paistaa lähes yhtä hyvin kuin rakennus A:n eteläisivuun. Aamuisin korkea Saarenvainionkatu 17:n rakennus varjostaa seinää osan ajasta, kesällä vähemmän kuin talvella. Myös A-rakennus varjostaa seinää jonkin verran, mutta enimmilläänkin vain alinta kerrosta.

C-rakennus saa vähiten aurinkoa. Sitä varjostaa aamuisin D-rakennus ja iltaisin korkea Saarenvainionkatu 13:n rakennus. Lisäksi C-rakennuksen eteläseinällä olevat ulokeparvekkeet varjostavat sen omaa eteläistä julkisivua. Siitä huolimatta helmikuun alun ja marraskuun alun välisenä aikana myös C-rakennuksen eteläjulkisivuun parvekkeiden väliin integroidut aurinkoenergialaitteet voisivat auringon paistaessa saada suora auringonsäteilyä keskimäärin noin neljä ja puoli tuntia päivässä.

Analyysin perusteella voidaan todeta, että A- ja D-rakennuksen eteläjulkisivut sopivat erinomaisesti aurinkoenergian hyödyntämiseen ja C-rakennuksenkin kohtuullisen hyvin.

Taulukko 4.4.1: Auringonsäteilyn määrä, aurinkokeräimen optimikallistus horisontaalista, hajasäteilyn osuus, keskilämpötilat sekä lämmitystarveluku. Taulukko perustuu lähteiden PVGIS® European Communities (2008) ja Ilmatieteen laitos (2010) tietoihin.

KUUKAUSI	S _H	S _{OPT}	S _V	OPT°	S _L	D/G	T _D	T _{24H}	LTL
TAMMIK.	219	565	664	78	2,9	0,76	-5,3	-5,5	734
HELMIK.	868	2020	2230	73	1,9	0,57	-5,8	-6,3	681
MAALISK.	1930	3070	2820	59	2,3	0,55	-2,2	-3,3	614
HUHTIK.	3660	4640	3530	44	2,4	0,48	6,4	3,6	411
TOUKOK.	5130	5510	3550	30	2,3	0,47	11,1	8,9	186
KESÄK.	5430	5390	3220	22	2,5	0,51	16,4	14,3	29
HEINÄK.	5250	5410	3350	25	2,8	0,49	19,2	17,1	6
ELOK.	3660	4150	2900	35	3,0	0,57	17,7	15,8	39
SYYSK.	2110	2860	2390	51	2,9	0,60	12,2	10,8	211
LOKAK.	900	1500	1450	64	2,7	0,67	3,3	5,2	382
MARRASK.	285	571	618	72	2,6	0,79	0,1	-0,2	537
JOULUK.	112	304	367	80	2,0	0,81	-4,1	-4,4	672
VUOSI	2470	3000	2260	42	2,5	0,53	5,8	4,7	4502
S _H : SÄTEILY HORISONTAALILLE PINNALLE (Wh/m2/vrk)									
S _V : SÄTEILY VERTIKAALILLE PINNALLE. (Wh/m2/vrk)									
S _{OPT} : SÄTEILY OPTIMAALISESTI (42°) KALLISTETULLE PINNALLE (Wh/m2/vrk)									
OPT°: KERÄIMEN OPTIMIKALLISTUS HORISONTAALISTA KYSEISEN KUUKAUDEN AIKANA									
S _L : LINKEN SAMEUS LUKU									
D/G: DIFFUUSIN ELI HAJASÄTEILYN SUHDE GLOBAALIIN SÄTEILYYN									
T _D : KESKILÄMPÖTILA PÄIVÄSAIKAAN									
T _{24H} : VUOROKAUDEN KESKILÄMPÖTILA									
LTL: LÄMMITYSTARVELUKU									

4.4.3 Aurinkoenergian määrä esimerkkikohteessa

Taulukossa 4.4.1 on luetteloitu auringon keskimääräiset säteilymäärät Tampereella vaakapinnalle, 8° etelästä länteen suunnatulle pystypinnalle ja 8° etelästä länteen suunnatulle optimikallistetulle pinnalle (kWh/m²/vrk). Lisäksi taulukossa on optimikallistuskulmat keräintasoille kussakin kuussa sekä keskilämpötilat ja Linken sameus.¹⁰²

Taulukossa on myös Tampere – Pirkkalan vuosien 1971 – 2000 keskimääräinen lämmitystarveluku. Lämmitystarveluvulla ilmoitetaan kuinka suuri on ajankohdan keskimääräinen lämmityksen tarve. Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Mitä suurempi lukujen erotus on, sitä suurempi on lämmityksen tarve. Yleisimmin käytetään lämmitystarvelukua S17, joka lasketaan +17 °C asteeksi oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on vastaavasti kuukaussittaisen lämmitystarvelukujen summa. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli +10 °C ja syksyllä yli +12 °C. Tällöin oletetaan, että kiinteistöjen lämmitys lopetetaan ja aloitetaan päivittäin ulkolämpötilan ylittäessä tai alittaessa mainitut rajat. Vertailuarvona eli normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1971–2000 keskimääräistä lämmitystarvelukua. Kuten taulukon 4.4.1 sarakkeesta Ltl eli lämmitystarveluku voidaan todeta, kesä-elokuussa ei lämmitystä oikeastaan tarvita. Toukokuussa ei yleensä tarvitse lämmittää joka päivä kuten ei syyskuussakaan.

Toukokuussa on ollut Tampereella Ilmatieteen laitoksen vuosien 1981 – 2010 tilastojen mukaan keskimäärin 18 vuorokautta, joiden keskilämpötila on ollut alle 10 °C astetta. Syyskuussa on samojen tilastojen mukaan ollut keskimäärin 22 vuorokautta, joiden keskilämpötila on ollut alle 12 °C astetta.¹⁰³ Taulukossa 4.4.2 on verrattu auringonsäteilyn määrää esimerkkikohteen etelänpuoleisille seinille kirkkaassa au-

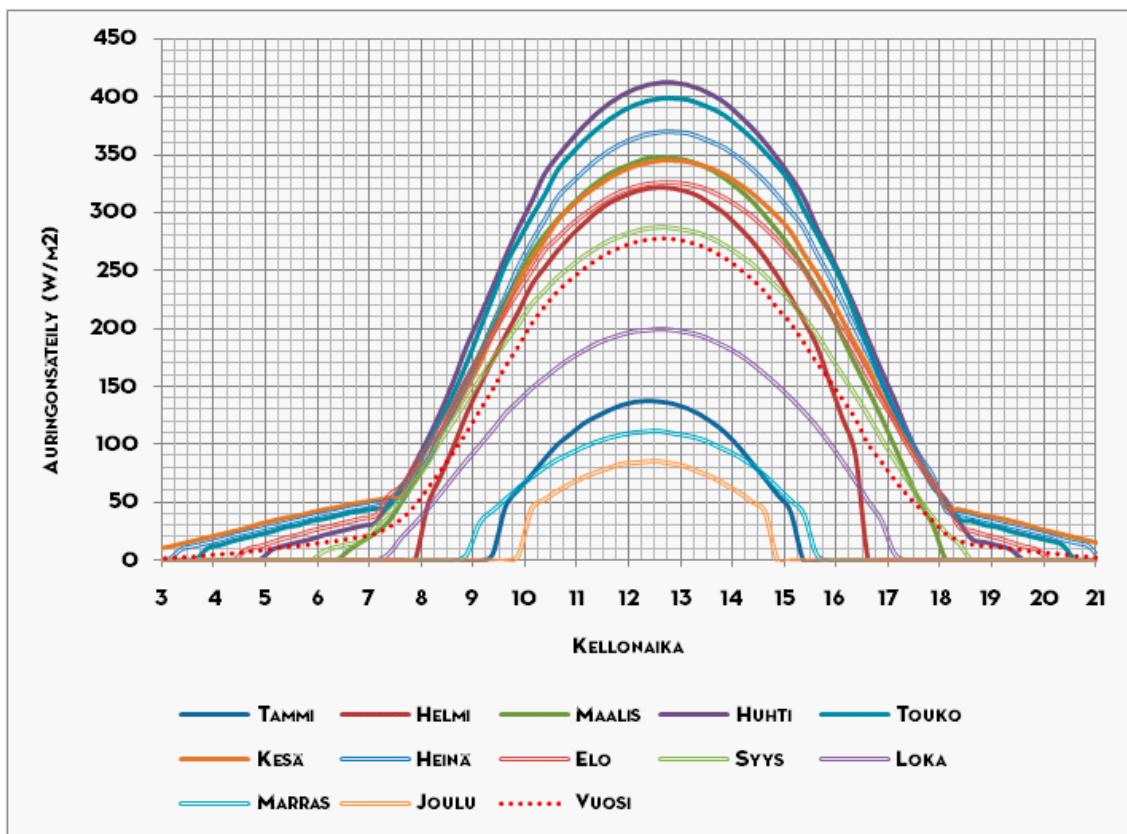
102 Linken sameus on määre kuinka paljon ilmassa olevat hiukkaset vaimentavat auringonsäteilyä. Se osoittaa kuinka suuri sumean ja kostean ilman optinen tiheys on verrattuna kirkkaaseen ja kii-vaan ilmaan.

103 Ilmatieteen laitos - Ilmastokeskus (2011)

Taulukko 4.4.2: Keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (kWh/m2/vrk) kohteen eteläpuoleiselle vähärautaisella lasilla katetulle pystypinnalle kun otetaan huomioon keräimen katteen vaikutus, keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (kWh/m2/vrk) kattamattomalle pystypinnalle jos taivas olisi jatkuvasti kirkas ja näiden keskinäinen suhde (%) ¹⁰⁴.

ringonpaisteessa ja aurinkoenergialaitteen absorptiopinnoille toteutuvan saapuvan säteilyn määrää. Voidaan todeta, että auringonsäteilyä saadaan pinnoille hyödynnettäviä määriä useimmiten silloinkin kun aurinko ei paista suoraan pinnoille. Verrattaessa tämän taulukon 4.4.2 ja edellisen taulukon 4.4.1 vertikaalille pinnalle saapuvan säteilyn määriä voidaan todeta, että keräimien katteena oleva lasi vähentää absorptiopinnalle saapuvan säteilyn määrää keskimäärin 12 – 16 %. Kaaviossa 4.4.1 on kuvattu Saarenavainionkadun esimerkki-kohteen eteläpuoleisiin seiniin integroitujen aurinkokeräinten absorptiopinnoille keskimäärin saapuvan auringonsäteilyn määrää eri kuukausina eri kellonaikoina. Kaaviossa on huomioitu keräimen katteen vaikutus absorptiopinnalle saapuvan sä-

KUUKAUSI	SÄTEILY ABSORPTIOPINNALLE kWh/m2/vrk	SÄTEILY KIRKKAALTA TAIVAALTA ABSORPTIOPINNALLE kWh/m2/vrk	TOTEUTUVAN JA KIRKKAAN TAIVAAN SÄTEILYJEN SUHDE %
TAMMIK.	586	2352	25 %
HELMIK.	1946	5584	35 %
MAALISK.	2419	6421	38 %
HUHTIK.	2991	6188	48 %
TOUKOK.	2984	5542	54 %
KESÄK.	2697	5061	53 %
HEINÄK.	2810	5159	54 %
ELOK.	2476	5617	44 %
SYYSK.	2053	5898	35 %
LOKAK.	1271	5198	24 %
MARRASK.	544	3303	16 %
JOULUK.	324	2430	13 %
VUOSI	1925	4896	39 %



teilyn määrään, eli katteen valonläpäisykyky ja valonläpäisykyvyn säteilyn tulokulmasta aiheutuvat muutokset. Kun kaaviota oikein tarkkaan katsotaan, voidaan huomata, kuinka aamulla ja illalla absorptiopinnalle saapuvan säteilyn määrään vaikuttaa katteesta pois heijastuvan säteilyn määrä. Auringonsäteilyn tulokulman ollessa jyrkkä, katteesta pois heijastuvan säteilyn määrä on ”selvästi” suurempi kuin keskipäivällä säteilyn tulokulman ollessa loivempi.

Kaavio 8.41: Auringon keskimääräiset säteilymäärät kuukausittain kellonaikojen mukaan Tampereella etelänpuoleisiin julkisivuihin integroitujen keräimien absorptiopinnoille (W/m^2). Kaaviossa on huomioitu katteiden vaikutus, muttei ympäristön varjoja, horisontin korkeutta tms.¹⁰⁴

4.5 Aurinkokeräinten hyötysuhde

Esimerkkikohteen etelän puoleisille pystyseinille saadaan auringonsäteilyä noin 2,26 kWh/m²/vrk. Ajetellaan, että rakennuksiin tehdään ikkuna- ja julkisivuremontti, jossa rakenteiden U-arvot saadaan nykyvaatimuksien mukaisiksi. Tällöin esim. C-talon ulkovaipan keskimääräiseksi U-arvoksi tulee 0,29 W/m²K. Näillä arvoilla C-talo kuluttaisi lämmitysenergiaa ArchiCad EcoDesignerin laskelmien mukaan noin 69,7 Wh/m²/vuosi eli keskimääräinen kulutus olisi 191 W/m²/vrk. Näiden lukujen pitäessä paikkaansa yhdelle seinäneliömetrille tulevalla auringonsäteilyn määrällä lämmitettäisiin jopa 12 m² huonealaa. Tuo luku pitäisi siis paikkaansa jos 100 % auringonsäteilystä saataisiin hyödynnettyä lämpönä ja lämmitystä tarvittaisiin myös keskellä kesää, jolloin saadaan eniten auringonsäteilyä.

Tosiasiaa jo keräimen kate ja absorptiopinnan ominaisuudet laskevat absorboitun energian määrää noin 10 % - 45 % keräimeen osuneen säteilyn energia määrästä. Kun vielä otetaan huomioon muut systeemissä tapahtuvat häviöt, voidaan olla tyytyväisiä jos 30 - 80 % keräimeen osuneesta säteilystä saadaan hyödynnettyä lämpönä.

Vaikka aiemmassa luvussa 3.7.2, Lasitetut ilmakiertoiset tasokeräimet, katettujen tasokeräinten hyötysuhteeksi on saatu 30 - 80 %, tässä dokumentissa olen käyttänyt seiniin integroitujen aurinkolämpökeräimien keskimääräisenä hyötysuhteena 30 %. Tähän lukuun olen päätenyt, koska olen käyttänyt suunnitelmassani absorptiopintojen väreinä luvun 3.2.2, Värien vaikutus, väriympyrän värejä. Arvioin, että näin pinnoitettujen värikkien absorptiopintojen absorptanssi olisi 80 % ja emittanssi olisi 30 % eli huonoimmat arvot, jotka Orel et al. olivat tutkimuksissaan saaneet testaamilleen väreille¹⁰⁵.

Katri Komulaisen pro graduussa, Aurinkolämpö - teknologia ja sen mahdollisuudet, käsittelemät tasokeräimet saavat hyödynnettyä keskimäärin 60 % absorptiopinnan absorboimasta energiasta, joten päättän käyttää tuota lukua¹⁰⁶.

105 Orel;Gunde ja Hutchins (2004).

106 Komulainen (2006).

Nämä ominaisuudet sijoitin kaavaan

$$\eta = \eta_{\alpha} * \eta_o$$

Kaava 8.41

jossa η on keräimen hyötysuhde, η_{α} on osuus absorboidusta energiasta, joka saadaan hyödynnettyä eli tuo 60 %. η_o on osuus keräimeen osuneesta säteilystä jonka se absorboi. η_o puolestaan saadaan kaavalla

$$\eta_o = LT * [\alpha - (\alpha * \epsilon)]$$

Kaava 8.42

jossa LT on katteen valonläpäisykerroin, α on absorptiolevyn absorptanssi ja ϵ on sen emittanssi. Katteen valonläpäisykerroinena olen käyttänyt vähärautaisen lasin kerrointa eli 0,9. Lopputulos on tuo 30 %.

Seinään integroidussa ilmalämpökeräimessä suurin osa lämmöstä, joka itsenäisessä vesikiertoon perustuvassa aurinkolämpökeräimessä laskettaisiin häviöksi, päätyy kuitenkin lämpönä rakenteisiin ja tuloilmaan. Eli tällaisessa integroidussa keräimessä hyötysuhde on varmasti merkittävästi parempi kuin tuo 30 %, mutta päätin kuitenkin käyttää sitä, koska, miten suuri tuo korkeampi hyötysuhde voisi olla, olisi lähes puhtaasti arvaus. Alhaisella laskelmissa käytetyllä hyötysuhteella on myös se etu, että saadut tulokset eivät ainakaan ole liian optimistisia.

4.5.1 A-rakennus

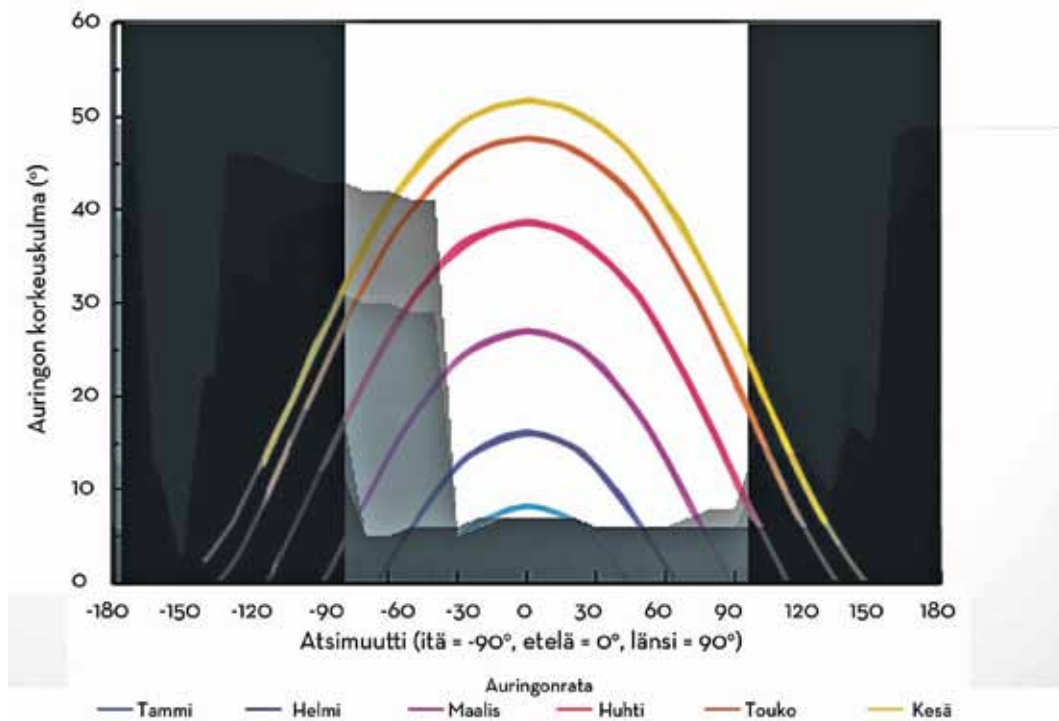
Koska kukin rakennuksista on hieman erilainen ja eri sijainnissa, olen laskenut kunkin rakennuksen saamat auringonsäteilymäärät erikseen.

A-talo on rakennuksista matalin ja alimpana rinteessä, mutta sitä varjostaa naapurirakennukset kaikkein vähiten. Olen laskenut horisontin korkeuden neljästä pisteestä nähden eli A-rakennuksen eteläseinän ensimmäisen kerroksen vasemmasta ja oikeasta alakulmasta sekä eteläseinän vasemmasta ja oikeasta

Kuva4.5.1: A-talon horisontti neljästä eri pisteestä kuvattuna. Mus-timmalla osalla kuvaa kaikki neljä pistettä ovat varjossa ja suoraa auringonsäteilyä ei pääse seinälle ollenkaan, seuraavaksi tummemmalla osalla kolme pisteistä on varjossa, seuraavalla kaksi, sitten yksi ja valkoisella alueella ei yksikään pisteistä ole varjossa. Laaja musta alue on se osa horisontista, joka on keräinseinän takapuolella.

yläkulmasta. Näin olen saanut laskettua eteläseinälle lankeavien varjojen keskimääräisen määrän. Katso kuva 4.5.1, jossa on kuvattuna koko 360° horisontti kohteen ympärillä. Kuvassa tummimmalla kuvion osalla kaikki laadinnassa käytetyt neljä pistettä ovat varjossa ja suoraa auringonsäteilyä ei pääse seinälle ollenkaan, seuraavaksi tummemmalla osalla kolme pisteistä on varjossa, seuraavalla kaksi, sitten yksi ja valkoisella alueella ei yksikään pisteistä ole varjossa. Laaja musta alue on se osa horisontista, joka on keräinseinän takapuolella.

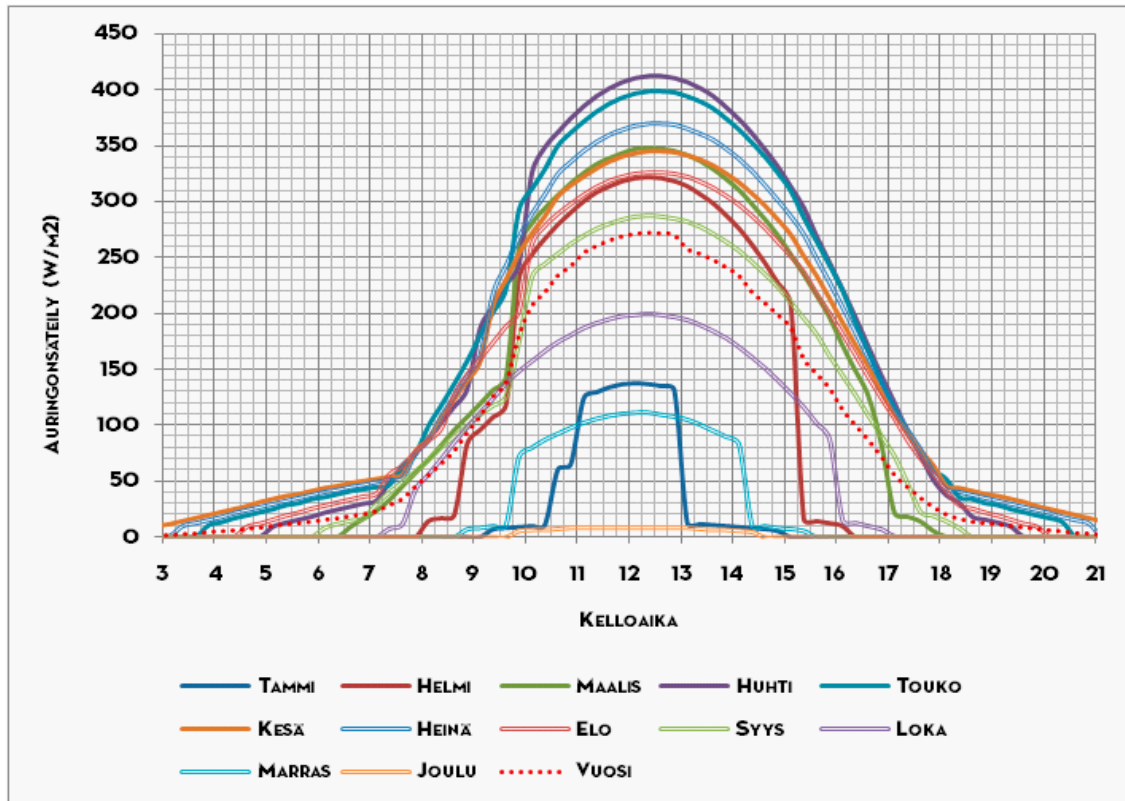
Kävin paikanpäällä mittaamassa horisontin korkeuden rakennusten eteläpuolella käyttäen takymetriä. Maaston muodostama horisontti on rakennusten eteläpuolella melko ma-



Taulukko 4.5.1: Keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (Wh/m²/vrk) A-talon etelänpuoleiseen pystyseinään integroidulle aurinkolämpökeräimelle. Säteilyn määrä lasin takana olevalle absorptiopinnalle. Kyseisen absorptiopinnan absorboima energiamäärä kun pinnan absorptanssi on 80 % ja emittanssi on 30 %, sekä käyttöön saatu energiamäärä kun systeemin hyötysuhde on kokonaisuudessaan keskimäärin 30 %.

	AURINGONSÄ- TEILYMÄÄRÄ A-TALON ETELÄ- SEINÄLLE KESKI- MÄÄRIN Wh/M ² /VRK	SÄTEILY LASIN TAKAISALLE AB- SORPTIOPINNALL- LE KESKIMÄÄRIN Wh/M ² /VRK	ABSORPTIOPIN- NAN ABSORBOI- MA SÄTEILY MÄÄ- RÄ KUN α=80 JA ε=30 Wh/M ² /VRK	KÄYTTÖÖN SAATU ENERGIA KUN KERÄIMEN HYÖTYSUHDE ON 30 % Wh/M ² /VRK
TAMMIK.	359	323	181	108
HELMIK.	1858	1669	934	557
MAALISK.	2527	2244	1257	758
HUHTIK.	3289	2868	1606	987
TOUKOK.	3415	2923	1637	1024
KESÄK.	3150	2667	1493	945
HEINÄK.	3301	2772	1552	990
ELOK.	2754	2397	1342	826
SYYSK.	2165	1921	1076	649
LOKAK.	1376	1230	689	413
MARRASK.	507	457	256	152
JOULUK.	37	34	19	11
VUOSI	2058	1792	1004	617

Kaavio 4.5.1: Auringon keskimääräiset säteilymäärät kuukausittain kellonaikojen mukaan Saarenvainionkatu 15 A-talon eteläpuoleisiin julkisivuihin integroitujen keräimien absorptiopinnoille (W/m²). Kaaviossa on huomioitu naapurirakennusten varjot, horisontin korkeus sekä keräinten katteiden vaikutus.¹⁰⁷



tala, $5,4^{\circ} - 7,0^{\circ}$, tämä on kuitenkin riittävän korkea, ettei joulukuussa aurinko paista suoraan A-talon seinälle juuri ollenkaan. Muina kuukausina aurinko kuitenkin pääsee paistamaan A-rakennukseen melko hyvin. Naapurirakennukset varjostavat eteläseinää vain osan aikaa aamupäivästä.

Taulukossa 4.5.1 ja kaaviossa 4.5.1 on kuvattu A-talon eteläseinään integroitujen aurinkolämpökeräinten absorptiopinnoille saapuva auringonsäteilyn määrä kun otetaan huomioon ympäröivän horisontin korkeuden vaihtelut ja lähellä olevien rakennusten heittämät varjot. Kaaviossa on myös huomioitu katteen vaikutus säteilyn pääsyyn absorptiopinnalle eli katteen läpäisykyky ja sen auringonsäteilyn tulokulman muutoksista johtuvat muutokset

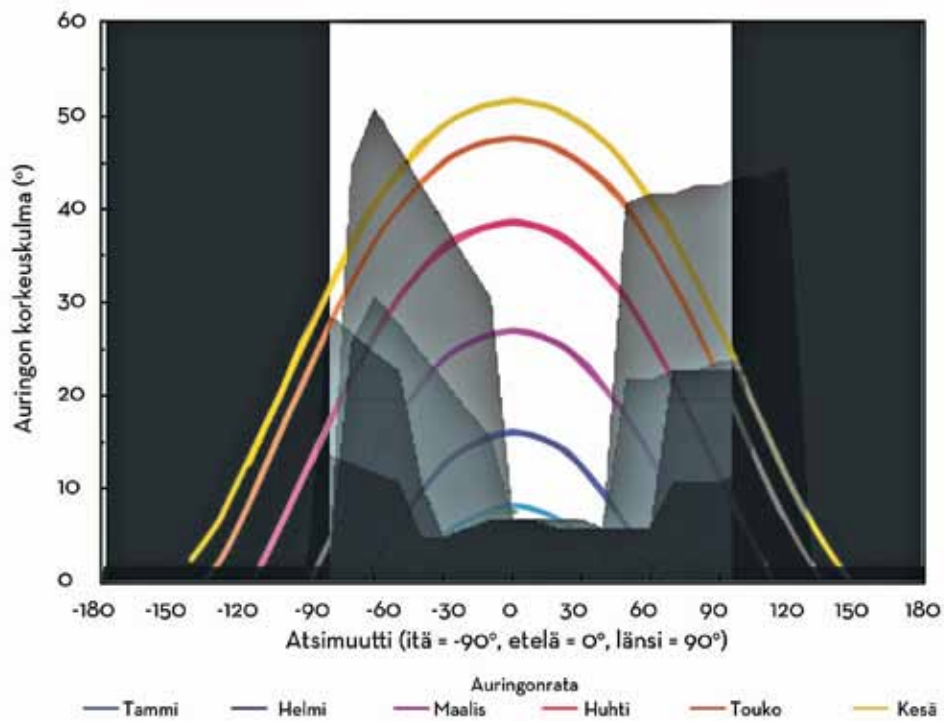
Kaikille kolmelle rakennukselle laaditut aurinkoenergian saatavuutta arvioivat taulukot ja kaaviot perustuvat pääosin PVGIS© European Communities (2008) tietoihin.

4.5.2 C-rakennus

C-rakennus, vaikka silläkin on pitkä eteläpuoleinen julkisivu, on A-rakennusta huomattavasti heikommassa asemassa auringonsäteilyn hyödyntämisen kannalta. Paitsi, että sillä on eteläseinällä ulokeparvekkeet, jotka varjostavat sen omaa julkisivua, sen kaakkois- ja lounaiskulmilla on korkeat tornitalot. Sen eteläpuoleiseen seinään integroidut keräimet saavat siis keskimäärin vain noin 4,5 tuntia suoraa auringonsäteilyä. Mutta kuten Taulukosta 4.5.2 voidaan todeta, keräinten keskimäärin saama auringonsäteily määrä pienenee yllättävän vähän.

C-talolle laskin horisontin myöskin neljästä pisteestä nähdä eli eteläjulkisivun ensimmäisen kerroksen vasemmasta ja oikeasta alakulmasta ja eteläjulkisivun vasemmasta ja oikeasta yläkulmasta.

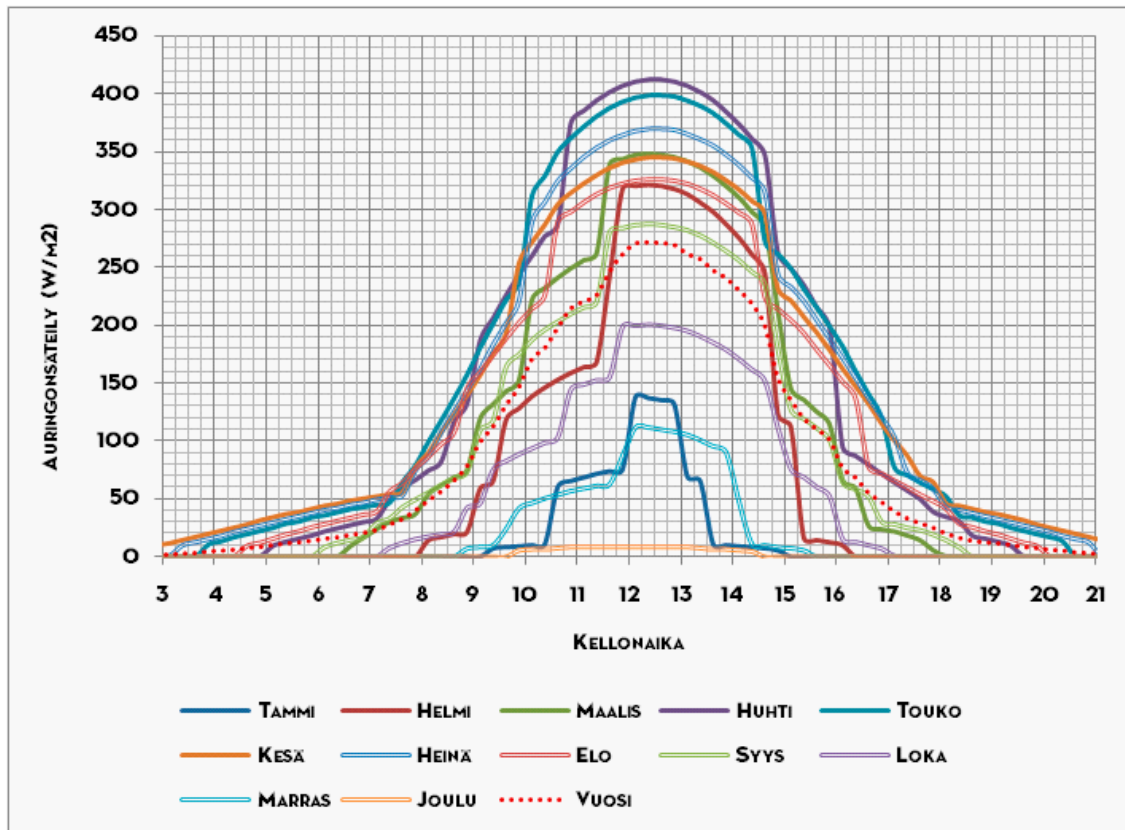
Kuva 4.5.2: C-talon horisontti neljästä eri pisteestä kuvattuna. Mustimmalla osalla kuvaa kaikki neljä pistettä ovat varjossa ja suoraa auringonsäteilyä ei pääse seinälle ollenkaan, seuraavaksi tummemmalla osalla kolme pisteistä on varjossa, seuraavalla kaksi, sitten yksi ja valkoisella alueella ei yksikään pisteistä ole varjossa. Laaja musta alue on se osa horisontista, joka on keräinseinän takapuolell



Taulukko 4.5.2: Keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (Wh/m²/vrk) C-talon eteläpuoleiseen pystyseiniään integroidulle aurinkolämpökeräimelle. Säteilyn määrä lasin takana olevalle absorptiopinnalle. Kyseisen absorptiopinnan absorboima energiamäärä kun pinnan absorptanssi on 80 % ja emittanssi on 30 %, sekä käyttöön saatu energiamäärä kun systeemin hyötysuhde on kokonaisuudessaan keskimäärin 30 %

	AURINGONSÄ- TEILYMÄÄRÄ A-TALON ETELÄ- SEINÄLLE KESKI- MÄÄRIN Wh/M ² /VRK	SÄTEILY LASIN TAKAISALLE AB- SORPTIOPINNALLA KESKIMÄÄRIN Wh/M ² /VRK	ABSORPTIOPIN- NAN ABSORBOI- MA SÄTEILY MÄÄ- RÄ KUN 0,80 JA 0,30 Wh/M ² /VRK	KÄYTTÖÖN SAATU ENERGIA KUN KERÄIMEN HYÖTYSUHDE ON 30 % Wh/M ² /VRK
TAMMIK.	325	292	164	97
HELMIK.	1503	1353	758	451
MAALISK.	2103	1893	1060	631
HUHTIK.	2954	2601	1457	886
TOUKOK.	3240	2781	1557	972
KESÄK.	3032	2568	1438	910
HEINÄK.	3103	2644	1438	931
ELOK.	2556	2236	1252	767
SYYSK.	1857	1665	932	557
LOKAK.	1082	975	546	325
MARRASK.	408	367	206	122
JOULUK.	37	34	19	11
VUOSI	1850	1617	906	555

Kaavio 4.5.2: Auringon keskimääräiset säteilymäärät kuukausittain kellonaikojen mukaan Saarenvainionkatu 15 C-talon eteläpuoleiseen julkisivuun integroitujen keräinten absorptiopinnoille (W/m²). Kaaviossa on huomioitu naapurirakennusten varjot, horisontin korkeus sekä keräinten katteiden vaikutus.



4.5.3 D-rakennus

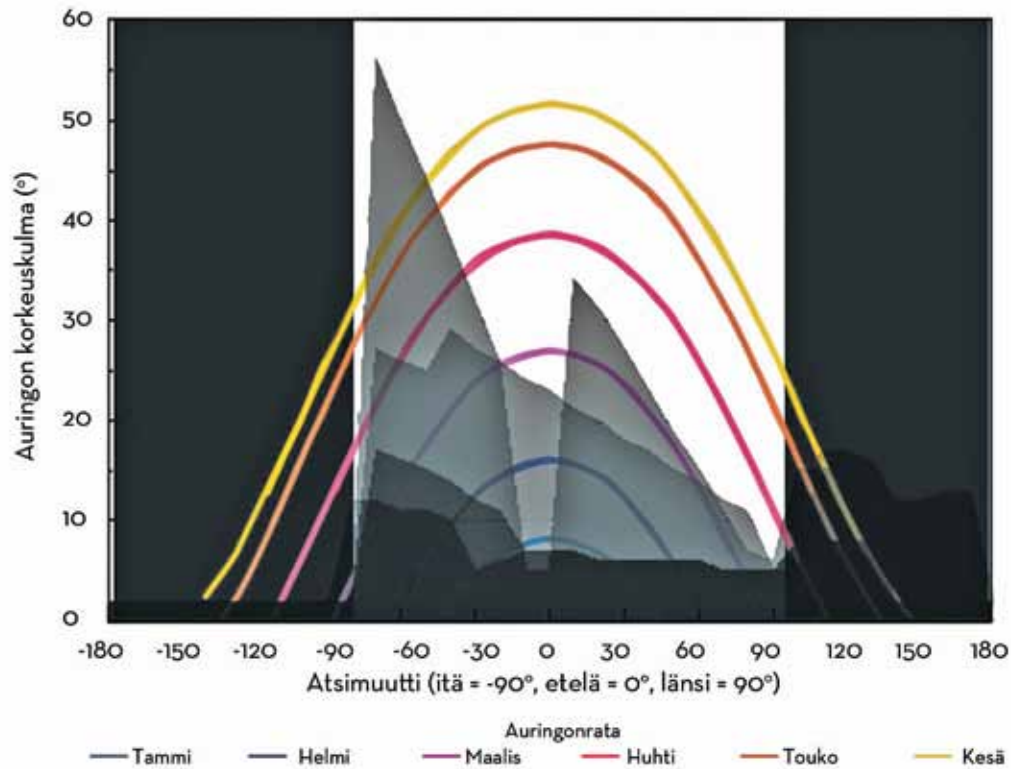
D-rakennus kahta edellistä rakennusta epäedullisemmin suunnattu ilmansuuntiin nähden. Sen pitkät sivut osoittavat itään ja länteen ja lyhyt päätysivu etelään. Toisaalta D-rakennuksen eteläpääty on umpinainen ilman aukotuksia, mikä on keräinten siihen sovittamisen kannalta hyvä asia. Umpipäädyssä ei tarvitse suunnittelussa huomioida aukotuksen jaotusta eivätkä aukot vähennä potentiaalista keräinpinta-alaa. Lisäksi D on muita kahta rakennusta yli kaksi kertaa korkeampi, mikä auttaa sen etelänpuoleista seinää saamaan enemmän aurinkoa.

D-rakennuksen korkeuden takia laskin sille horisontin korkeuden kuudesta pisteestä katsoen eli D-rakennuksen eteläjulkisivun vasemmasta ja oikeasta alakulmasta, julkisivun keskikorkeudelta sekä vasemmasta että oikeasta laidasta ja seinän molemmista ylänurkista. Ylänurkista katsoen horisontin korkeus oli joka suunnassa käytännössä nolla astetta, joten se ei näy kuvassa 4.5.3, mutta on mukana laskelmissa.

4.5.3.1 D-rakennuksen läsijulkisivu

D-rakennukselle laskin myös sen länsiseinälle asennettaville keräimille horisontin. Seinän ilmansuuntahan ei ole kovin edullinen, se poikkeaa 8° lännestä kohti luodetta, mutta D-rakennuksen parvekkeet ovat tällä seinällä ja niitten kaiteisiin olisi hyvin mahdollista asentaa keräimiä ja halusin selvittää, mikä niitten mahdollinen tuotto olisi. Hieman yllättäen jouduin huomaamaan, että länteen suunnatulle pystysuorassa olevalle keräimelle pitää ilmeisesti laskea huonompi hyötysuhde kuin etelään suunnatulle. Koska aurinko paistaa voimakkaimmin ollessaan etelässä, päivän voimakkaimman auringonsäteilyn tulo kulma on länteen suunnatun keräimen katteeseen nähden niin suuri, että suuri osa säteilystä heijastuu pois. Tästä johtuen tällaisen keräimen tuotto jää huomattavasti pienemmäksi kuin vastaavan saman auringonsäteilymäärän saavan etelään suunnatun keräimen tuotto. Tämä korostuu talvella kun aurinko paistaa vain kaakon ja lounaan väliseltä sektorilta.

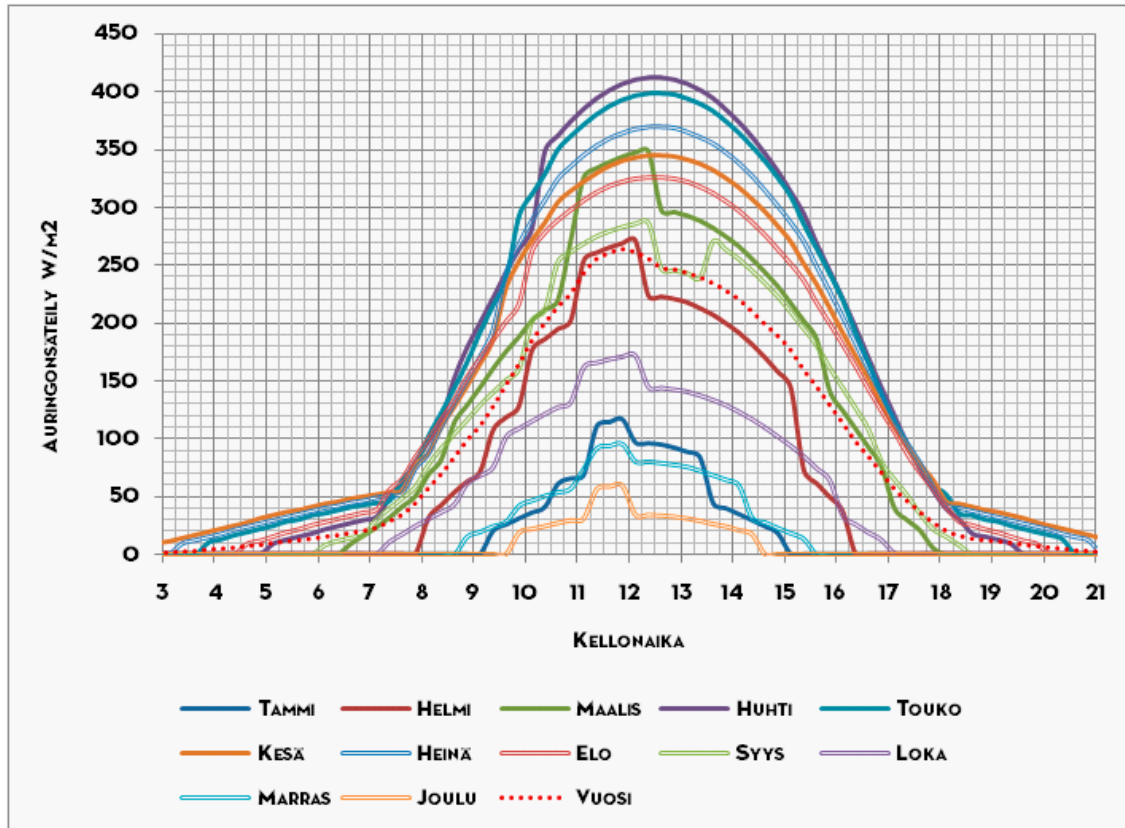
Kuva4.5.3: D-talon horisontti neljästä eri pisteestä kuvattuna. Mustimmalla osalla kuvaa kaikki neljä pistettä ovat varjossa ja suoraa auringonsäteilyä ei pääse seinälle ollenkaan, seuraavaksi tummemmalla osalla kolme pisteistä on varjossa, seuraavalla kaksi, sitten yksi ja valkoisella alueella ei yksikään pisteistä ole varjossa. Laaja musta alue on se osa horisontista, joka on keräinseinän takapuolella.



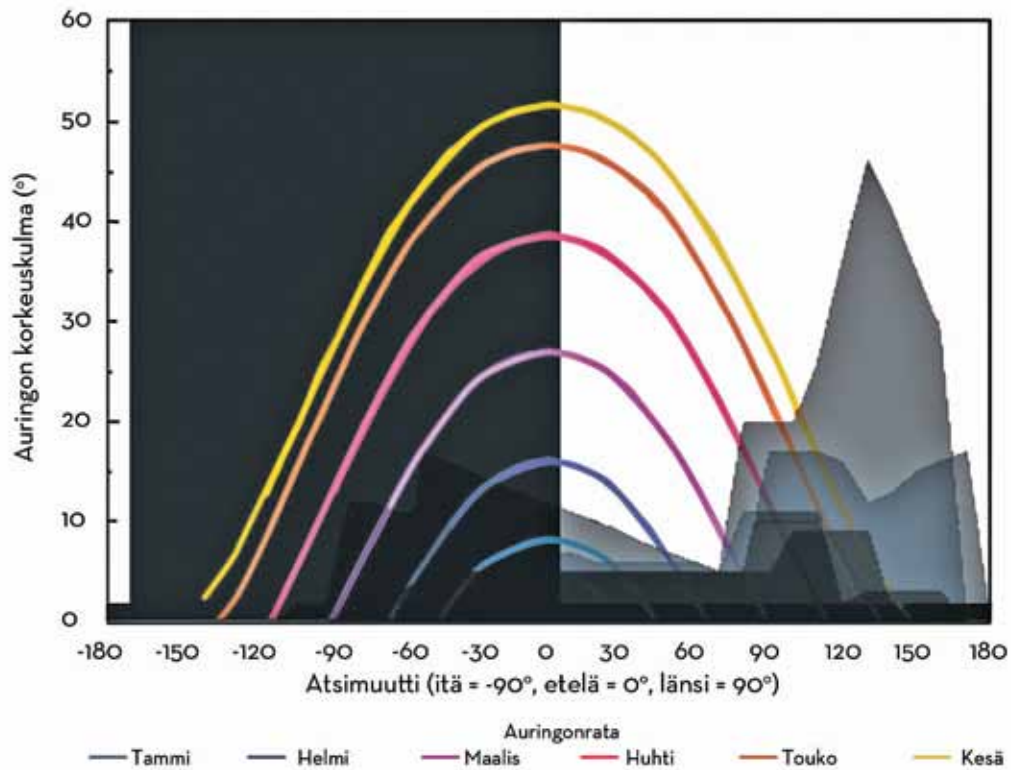
Taulukko 4.5.3: Keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (Wh/m²/vrk D-talon etelänpuoleiseen pystyseinään integroidulle aurinkolämpökeräimelle. Säteilyn määrä lasin takana olevalle absorptiopinnalle. Kyseisen absorptiopinnan absorboima energiamäärä kun pinnan absorptanssi on 80 % ja emittanssi on 30 %, sekä käyttöön saatu energiamäärä kun systeemin hyötysuhde on kokonaisuudessaan keskimäärin 30 %

	AURINGONSÄ- TEILYMÄÄRÄ A-TALON ETELÄ- SEINÄLLE KESKI- MÄÄRIN Wh/m ² /vrk	SÄTEILY LASIN TAKAISALLE AB- SORPTIOPINNALL- LE KESKIMÄÄRIN Wh/m ² /vrk	ABSORPTIOPIN- NAN ABSORBOI- MA SÄTEILY MÄÄ- RÄ KUN $\alpha=80$ JA $\varepsilon=30$ Wh/m ² /vrk	KÄYTTÖÖN SAATU ENERGIA KUN KERÄIMEN HYÖTYSUHDE ON 30 % Wh/m ² /vrk
TAMMIK.	391	351	197	117
HELMIK.	1452	1300	728	436
MAALISK.	2271	2010	1126	681
HUHTIK.	3365	2904	1646	1010
TOUKOK.	3458	2940	1646	1038
KESÄK.	3162	2667	1494	948
HEINÄK.	3273	2772	1552	982
ELOK.	2810	2423	1357	843
SYYSK.	2148	1895	1061	644
LOKAK.	1025	919	515	308
MARRASK.	400	359	201	120
JOULUK.	165	148	83	49
VUOSI	1993	1724	965	598

.Kaavio 4.5.3: Auringon keskimääräiset säteilymäärät kuukausittain kellonaikojen mukaan Saarenvainionkatu 15 D-talon eteläpuoleisen julkisivun keräimien absorptiopinnoille (W/m²). Kaaviossa on huomioitu naapurirakennusten varjot, horisontin korkeus sekä keräinten katteiden vaikutus.



Kuva 4,5,4: D-talon horisontti länteen neljästä eri pisteestä kuvattuna. Mustimmalla osalla kuvaa kaikki neljä pistettä ovat varjossa ja suoraa auringonsäteilyä ei pääse seinälle ollenkaan, seuraavaksi tummemmalla osalla kolme pisteistä on varjossa, seuraavalla kaksi, sitten yksi ja valkoisella alueella ei yksikään pisteistä ole varjossa. Laaja musta alue on se osa horisontista, joka on keräinseinän takapuolella.



Taulukko 4.5.4: Keskimääräinen auringonsäteilyn määrä (Wh/m2/vrk) D-talon lännen puoleiseen pystyseinään integroidulle aurinkolämpökeräimelle. Säteilyn määrä lasin takana olevalle absorptiopinnalle. Kyseisen absorptiopinnan absorboima energiamäärä kun pinnan absorptanssi on 80 % ja emittanssi on 30 %, sekä käyttöön saatu energiamäärä kun systeemin hyötysuhde on kokonaisuudessaan keskimäärin 30 %.

	AURINGONSÄTEILYMÄÄRÄ A-TALON ETELÄSEINÄLLE KESKIMÄÄRIN Wh/m2/vrk	SÄTEILY LASIN TAKAISELLE ABSORPTIOPINNALLE KESKIMÄÄRIN Wh/m2/vrk	ABSORPTIOPINAN ABSORBOIMA SÄTEILY MÄÄRÄ KUN α=80 JA ε=30 Wh/m2/vrk	KÄYTTÖÖN SAATU ENERGIA KUN KERÄIMEN HYÖTYSUHDE ON 30 % Wh/m2/vrk
TAMMIK.	102	71	40	31
HELMIK.	547	391	219	164
MAALISK.	1227	1104	618	368
HUHTIK.	2162	1792	1004	649
TOUKOK.	2959	2508	1404	888
KESÄK.	3080	2598	1455	924
HEINÄK.	2987	2501	1401	896
ELOK.	2033	1680	941	610
SYYSK.	1234	1007	564	370
LOKAK.	535	422	236	160
MARRASK.	142	108	61	43
JOULUK.	48	38	21	14
VUOSI	1421	1185	664	426

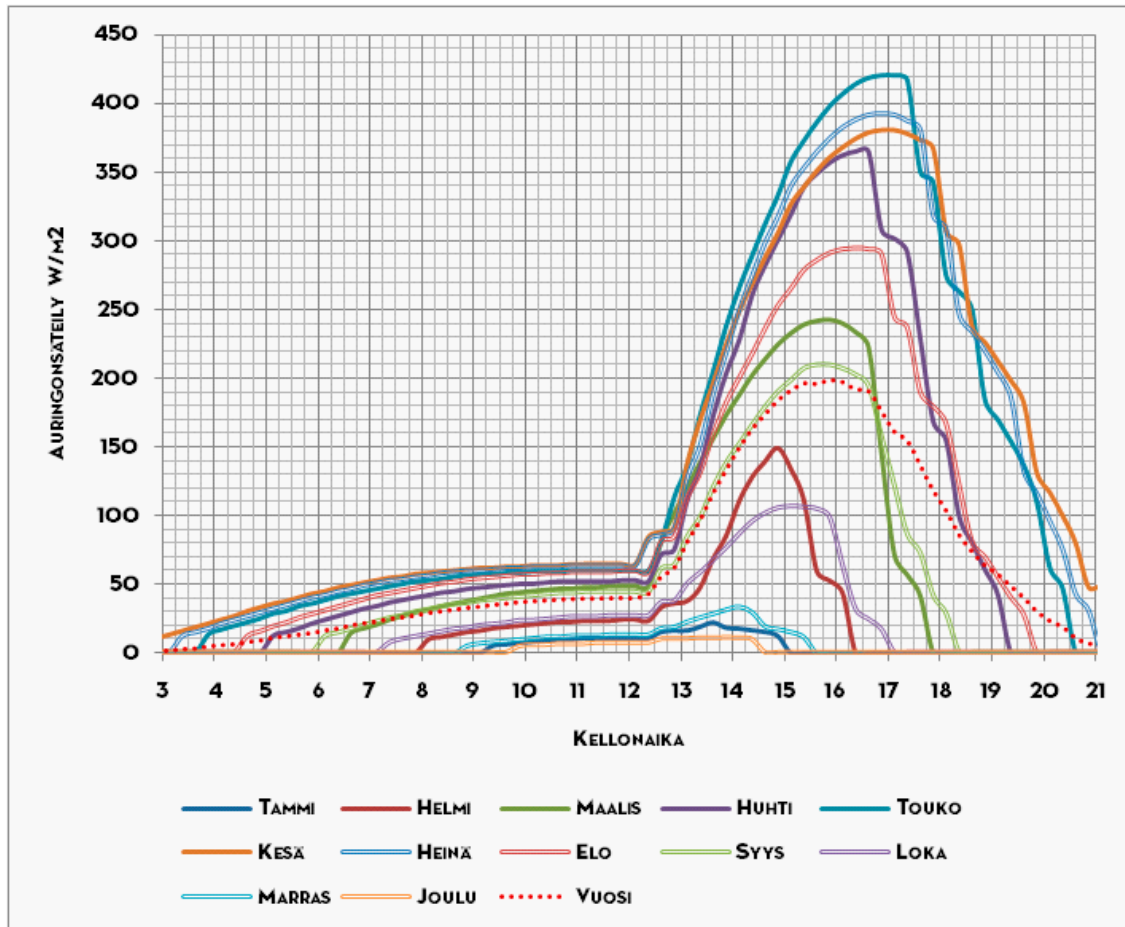
	KÄYTTÖÖN SAATU ENERGIA KUN KERÄIMEN HYÖTYSUHDE ON 60 % ABSORBOIDUSTA SÄTEILYSTÄ Wh/M ² /VRK	KÄYTTÖÖN SAATU ENERGIA KUN KERÄIMEN HYÖTYSUHDE ON 50 % ABSORBOIDUSTA SÄTEILYSTÄ Wh/M ² /VRK
TAMMIK.	24	20
HELMIK.	131	110
MAALISK.	371	309
HUHTIK.	602	502
TOUKOK.	843	702
KESÄK.	873	728
HEINÄK.	840	700
ELOK.	564	470
SYYSK.	338	282
LOKAK.	142	118
MARRASK.	36	30
JOULUK.	13	11
VOUSI	398	332

Taulukossa 4.5.4 on laskettuna länteen suunnatuista keräimistä saatava energia, kun sitä ei ole laskettu prosenttiosuutena keräimeen osuvasta auringonsäteilymäärästä vaan osuutena siitä energiamäärästä, jonka keräimen absorptiopinta on absorboinut. Näissä luvuissa on siis huomioitu ilmansuunnasta johtuvat säteilyn poisheijastumisen suuremmat osuudet. Lukuja vertaamalla voidaan huomata, että näin laskettuna länteen suunnatun keräimen tuotto on kuukaudesta riippuen 7 – 20 % alhaisempi kuin suoraan 30 % hyötysuhteella laskettuna. Vaikka tuohon 30 % hyötysuhteeseen päädyttiinkin luvun 4.5, Aurinkokeräinten hyötysuhde, kuvaamalla tavalla.

Kun verrataan etelä- ja länsisivun graaffeja voidaan huomata suuri ero siinä, miten ja kuinka paljon auringonsäteilyä etelä ja länsi toisiinsa nähden saavat.

Taulukko 4.5.5: D-talon länteen suunnatuista keräimistä saatava energia kun hyötysuhde on laskettu eri prosenttiosuuksilla keräimen absorptiopinnan absorboimasta säteilyenergiasta.

Kaavio 8.45: Auringon keskimääräiset säteilymäärät kuukausittain kellon-
aikojen mukaan Saarenvainionkatu 15 D-talon lännen puoleiseen julki-
sivun integroitujen keräinten absorptiopinnoille (W/m^2). Kaaviossa on
huomioitu naapurirakennusten varjot, horisontin korkeus sekä keräinten
katteiden vaikutus.



4.6 Vaihtoehtoiset rakennuksen vaipan peruskorjaus suunnitelmat

Olen laatinut Saarenvainionkadun esimerkkikohteeseen kolme erilaista julkisivuremontti ratkaisua, joiden tarkoitus on valottaa julkisivuihin integroitujen passiivisten aurinkolämpösystemien mahdollisuuksia.

Yksi ratkaisusta on lisäeristäminen ilman aurinkoenergiaa hyödyntäviä ratkaisuja. Tämän ratkaisun olen laatinut saadakseni vertailukohdan aurinkoenergiaa hyödyntäville ratkaisuil-

Kuva 4.6.1: As oy Saarenkuokka julkisivupaneeleilla verhoiltuna. Kuvakulma sama kuin kuvassa 4.3.1, jossa on mallinnettuna nykytilanne.



le. Koska kaikki rakennukset näissä suunnitelmissa joka tapauksessa lisäeristetään, eivät alkuperäiset energiankulutusluvut riitä.

Seuraavissa ratkaisuissa olen integroinut rakennusten eteläseiniin ja parvekkeenkaiteisiin aurinkolämpösystemejä. Sekä seinärakenteet, että parvekkeenkaiteet olen kehitellyt itse jo olemassa olevien ratkaisujen perusteella. Näillä esimerkeillä olen pyrkinyt osoittamaan, että aurinkoenergian hyödyntäminen lämmitykseen on Suomessa kannattavaa ja myös arkkitehtonisesti kiinnostavaa.

4.7 Perinteinen lisäeristäminen

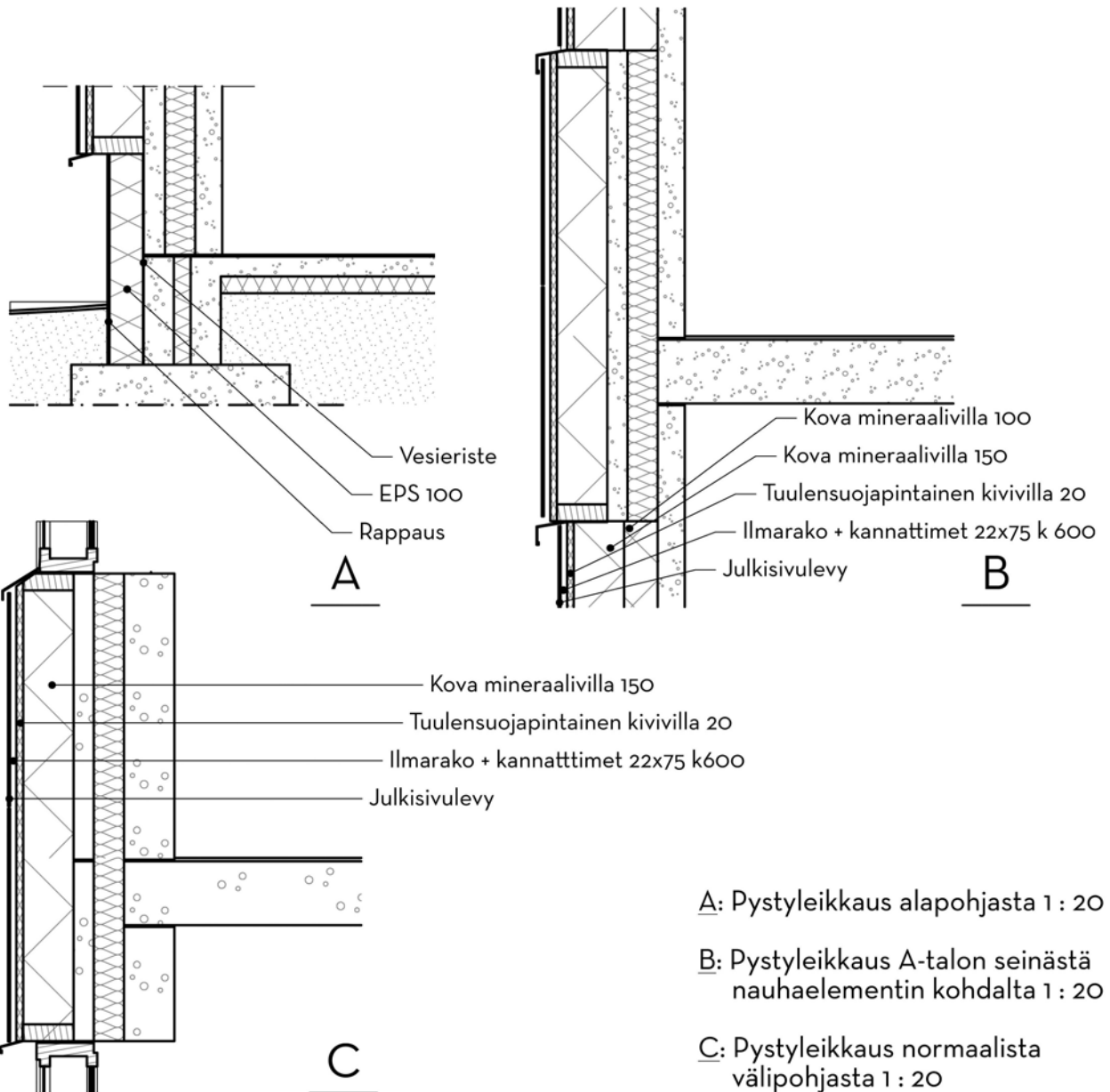
Ensimmäiseksi olen laatinut rakennuksiin lisäeristysratkaisun, jossa rakennusten vanhat ulkoseinät säilytetään. Elementtien saumat avataan ja niitten päälle asennetaan lisäeristys 150 mm mineraalivillasta jonka ulkopinnalle asennetaan 20 mm vahva tuulensuojapintainen kivivilla. Lisäeristyksen päälle vuorostaan tulee tuulettuva ilmarako ja Steni Colour ja Nature julkisivulevyt.

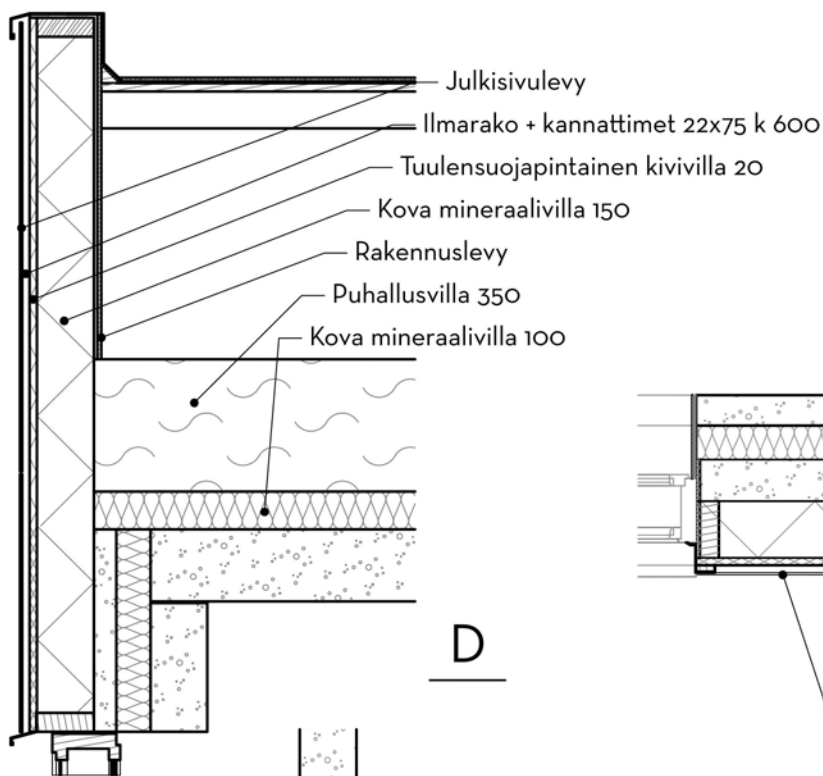
Maantasokerroksissa julkisivulevyt ovat steni nature SN 102 levyjä, jotka ovat 295mm leveitä ja asennettu pystyyn. Ylemissä kerroksissa paneelijako noudattaa sovelletusti aukotuksen ja kerroskorkeuksien jakoa. Paneelit ovat steni SN 320 ja S 1550 tyyppisiä.

Parvekkeet on lasitettu ja parvekekaiteiden materiaalina on maitolasi. Parvekkeita on myös syvennetty, koska lisäeristysten suurentama seinäpaksuus lohkaisee vanhoista vain 1450 mm syvistä parvekkeista niin suuren osan. Samalla parvekkeiden käyttömukavuus paranee.

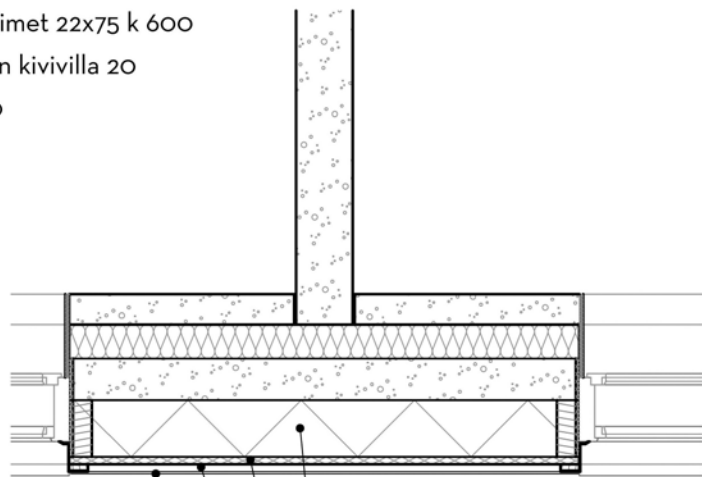
Lisäeristämällä ulkoseinien U-arvot on saatu vastaamaan vuoden 2010 vaatimusten $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ lukua. Katot on lisäeristetty vastaamaan $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoa.

4.7.1 Periaatepiirustuksia



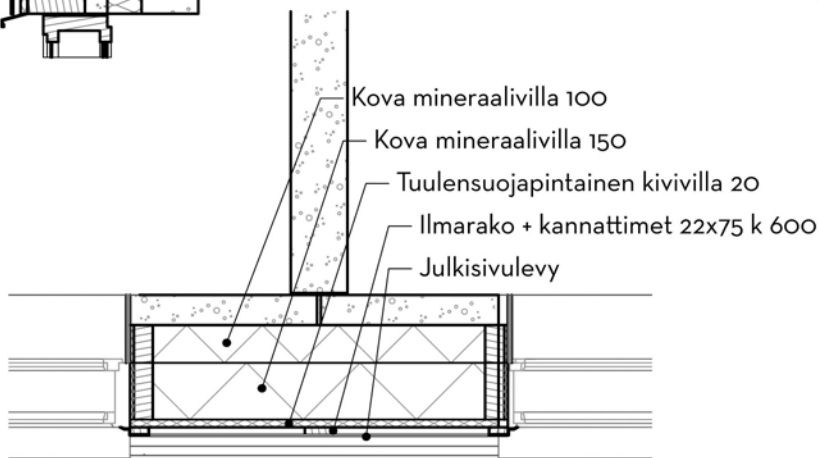


D



E

Kova mineraalivilla 150
 Tuulensuojapintainen kivivilla 20
 Ilmarako + kannattimet 22x75 k 600
 Julkisivulevy



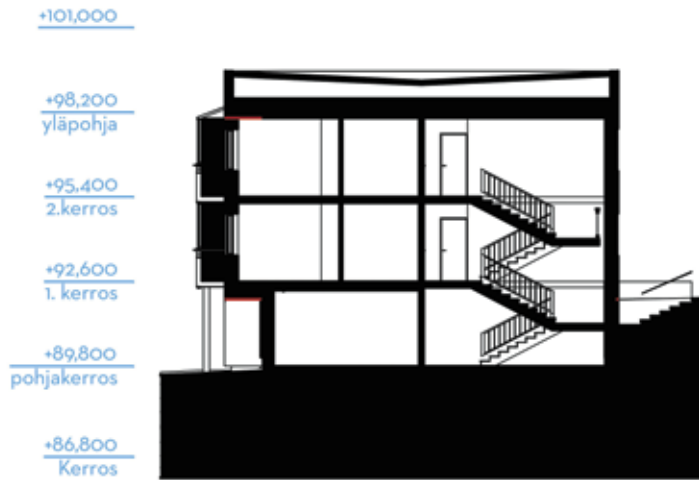
F

D: Pystyleikkaus yläpohjasta 1 : 20

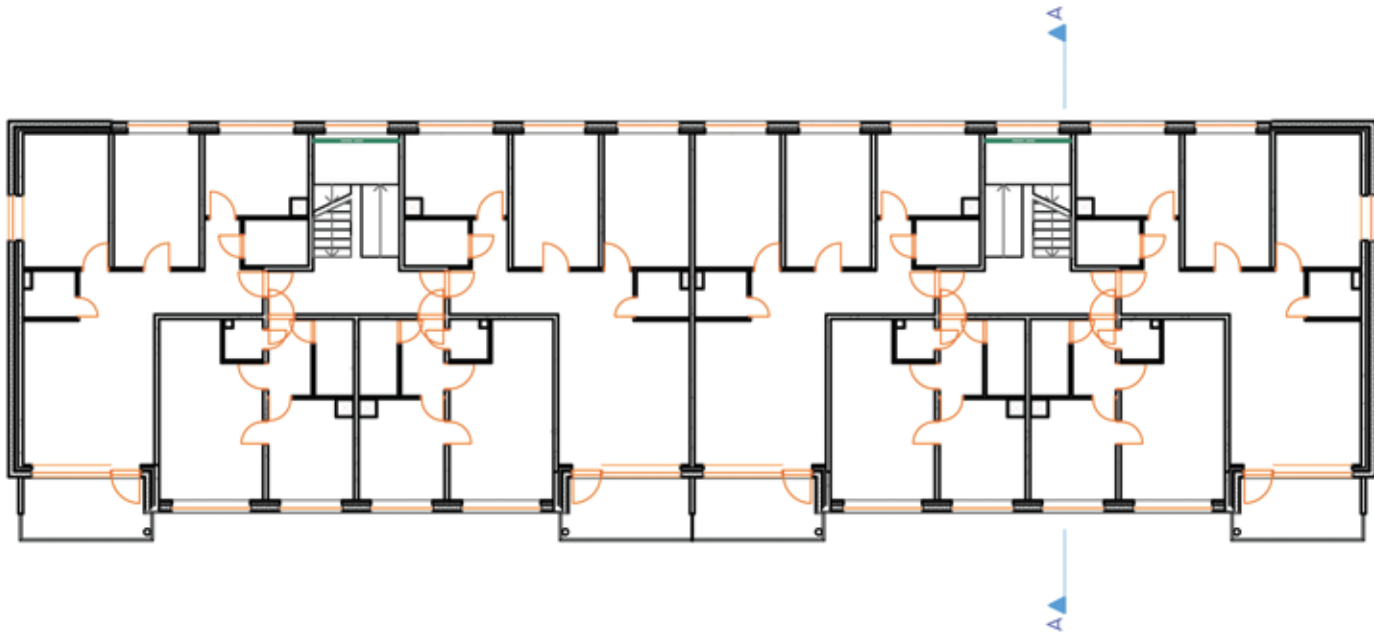
E: Vaakaleikkaus huoneistojen välisestä seinästä ikkunoiden kohdalta 1 : 20

F: Vaakaleikkaus A-talon ikkunoiden välisestä seinästä 1 : 20

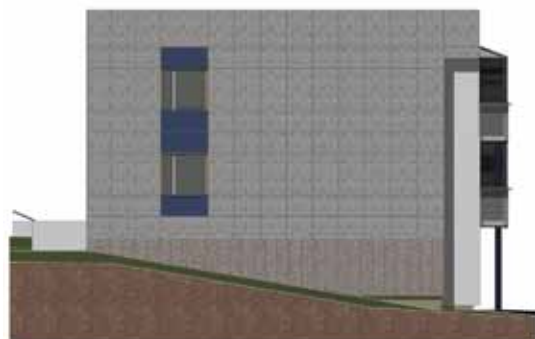
4.7.2 Pohjat ja julkisivut



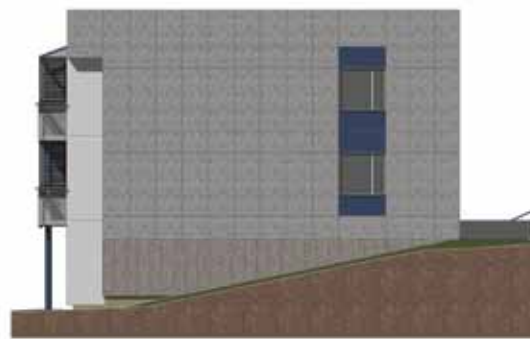
A-rakennus: leikkaus A - A 1:250



A-rakennus: 1. kerros 1:250



A-rakennus: länsijulkisivu 1:250



A-rakennus: itäjulkisivu 1:250



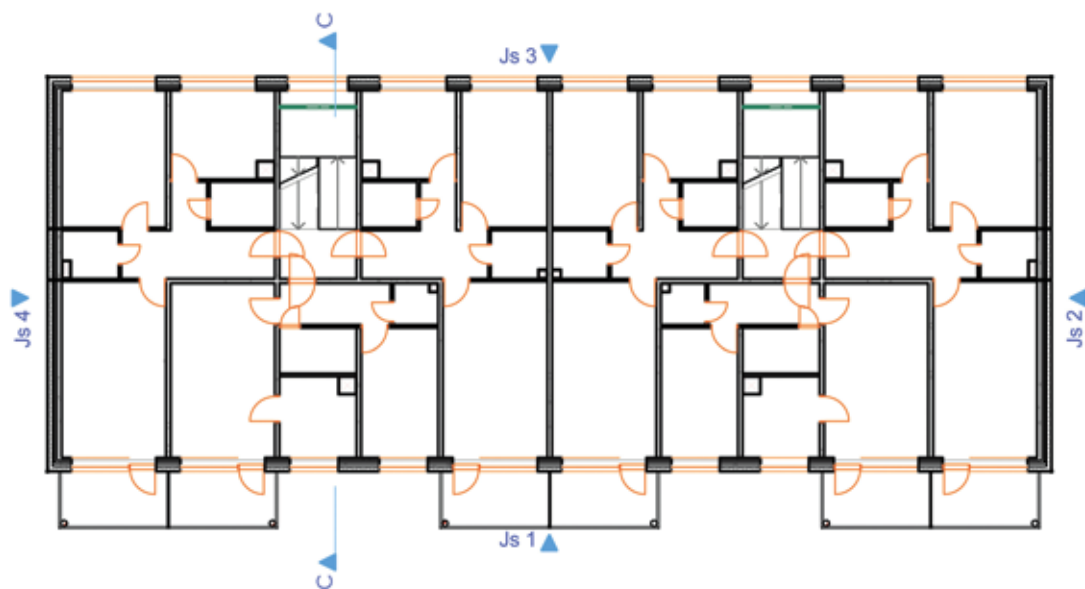
A-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



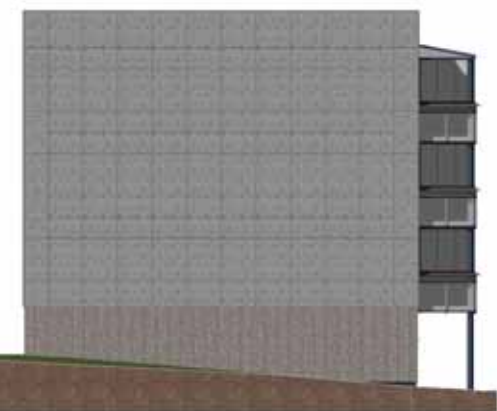
A-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



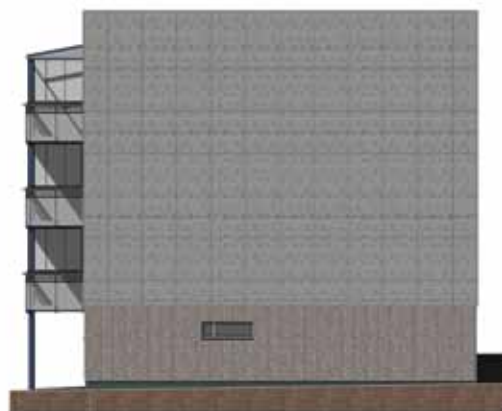
C-rakennus: leikkaus C - C 1:250



C-rakennus: 1. kerros 1:250



C-rakennus: länsijulkisivu 1:250



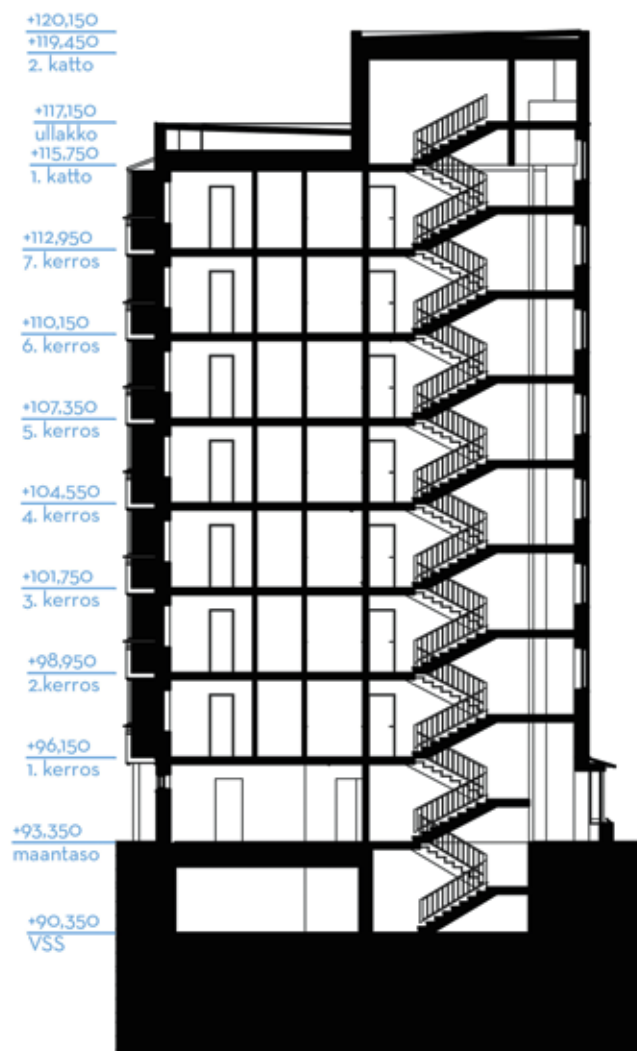
C-rakennus: itäjulkisivu 1:250



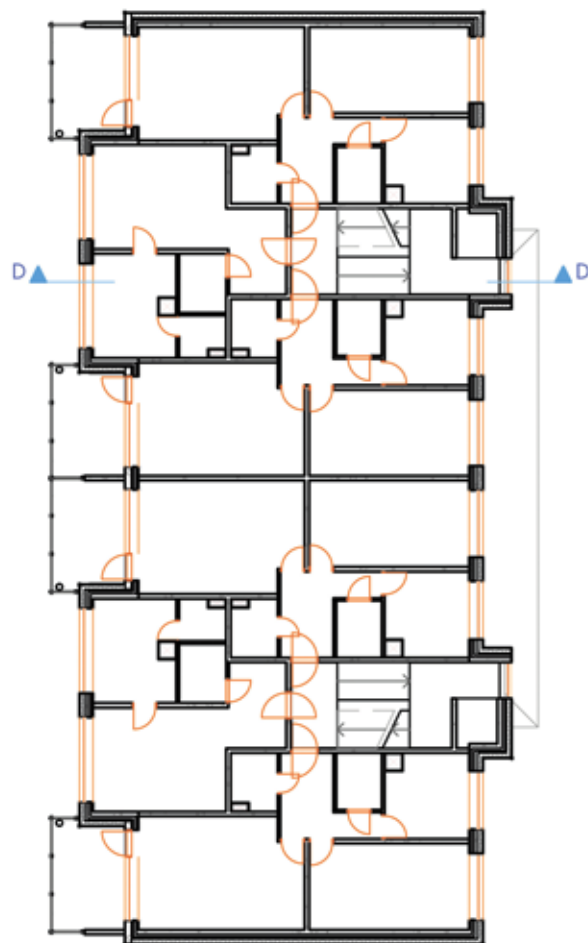
C-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



C-rakennus: eteläjulkisivu 1:250

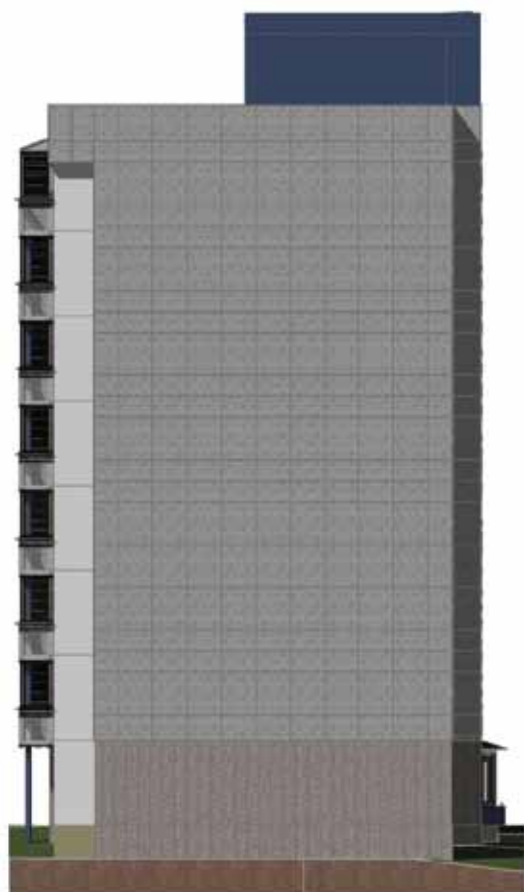


D-rakennus: leikkaus D - D 1:250



D-rakennus: 1. kerros

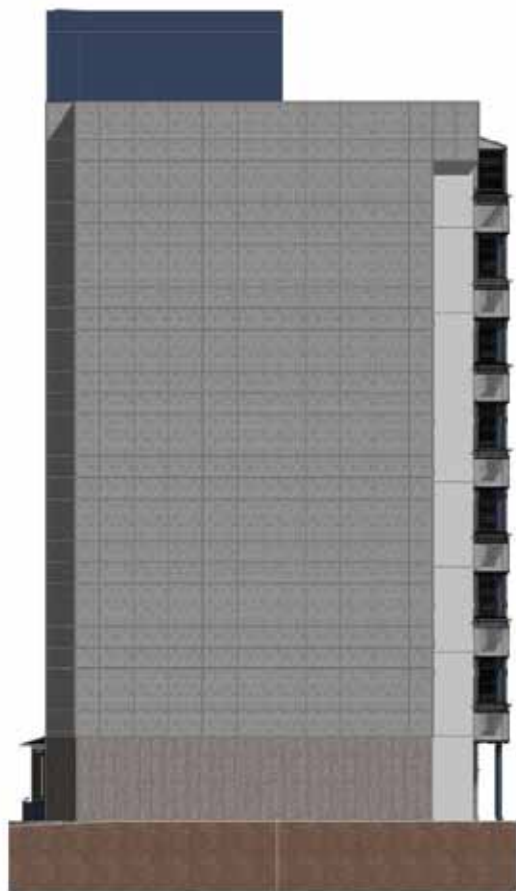
1:250



D-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



D-rakennus: länsijulkisivu 1:250



D-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



D-rakennus: itäjulkisivu 1:250

4.7.3 Laskelmat

ArchiCad EcoDesigneria käyttäen selvitin vertailun vuoksi seuraavien korjaustoimenpiteiden vaikutuksen esimerkkikohteen rakennusten energian kulutukseen. Ensimmäisessä taulukossa on selvitetty, miten energian kulutus muuttuisi jos rakennusten ikkunat ja ovet uusittaisiin vastaamaan nykyisiä määräyksiä eli niitten U-arvo olisi $1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toisessa taulukossa on selvitetty, miten kulutus muuttuisi jos rakennuksen vaippa lisäeristettäisiin vastaamaan muuten nykyisiä vaatimuksia, mutta ikkunat ja ovet jätettäisiin ennalleen. Verrattaessa näitä kahden taulukkoa voidaan todeta, että ikkunoiden ja ovien uusiminen vaikuttaa kulutukseen suurin piirtein saman verran kuin seinien ja katon lisäeristäminen. Tämä on ymmärrettävää kun muistetaan, että rakennusten ikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala on melkoinen ja vanhojen ikkunoiden U-arvo on malleissa asetettu tyypillisten 70-luvun kaksilasisten arvoon eli noin $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Molemmissa tapauksissa rakennusten yhteenlaskettu lämmitysenergiankulutus laskisi noin 15 %.

Kolmannessa taulukossa esitetään luvut, jotka vastaavat tilannetta, jossa koko rakennuksen vaippa eli ikkunat, ovet, seinät ja yläpohja korjattaisiin vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Tällöin rakennusten yhteenlaskettu lämmitysenergiankulutus laskisi noin 33 %, siis hieman enemmän kuin jos edellisten taulukkojen arvot lasketaan yhteen.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
LÄMMITETTÄVÄ PINTA-ALA (M ²)	1517	1566	3037	6120
LÄMMITETTÄVÄ TILAVUUS (M ³)	3960	4087	7927	15974
KATTOJEN U-ARVO (W/M ² K)	0,26 - 0,42	0,26	0,26 - 3,05	
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,43 - 0,67	0,39 - 3,27	0,27 - 2,51	
AUKKOJEN U-ARVO	1	1	1	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,54	0,47	0,53	0,52
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	128 537	136 438	381 808	646 783
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	84	87	84	85

YLLÄ

Taulukko 4.7.1: Saarenvainionkatu 15 rakenteiden keskimääräiset U-arvot ja laskennalliset lämmönkulutukset jos vain rakennuksen ikkunat ja ovet uusittaisiin sekä korjauksen vaikutus lämmönkulutukseen.

ALLA

Taulukko 4.7.2: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus jos rakennuksen seinät ja katto lisäeristettäisiin, mutta ikkunat ja ovet säilyisivät entisellään.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
KATTOJEN U-ARVO (W/M ² K)	0,09 - 0,16	0,09	0,09 - 0,28	
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,17 - 0,23	0,15 - 0,23	0,15 - 0,23	
AUKKOJEN U-ARVO	2,7	2,7	2,7	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,57	0,56	0,59	0,58
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	112 312	135 972	390 948	639 232
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	73	87	86	84

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
KATTOJEN U-ARVO (W/M ² K)	0,09 – 0,16	0,09	0,09 – 0,28	
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,17 – 0,23	0,15 – 0,23	0,15 – 0,23	
AUKKOJEN U-ARVO	1	1	1	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,29	0,29	0,31	0,30
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	91 993	112 649	307 589	512 231
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	60	72	68	67

Taulukko 4.7.3: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus jos rakennuksen seinät ja katto lisäeristettäisiin, ja ikkunat ja ovet uusittaisiin.

4.8 Integroitu aurinkolämpökeräin

Tässä esimerkissä etelänpuoleisiin seiniin ja kaikkiin parvekkeenkaiteisiin, myös D-talon lännenpuoleisiin, olen suunnitellut integroitavaksi aurinkolämpökeräimet. Rakennukset on, kuten edellisessäkin ratkaisussa, lisäeristetty kauttaaltaan. Maantasokerrokset ovat samanlaiset kuin edellisessäkin ratkaisussa. Ylempien kerrosten seinissä on Steni julkisivulevyjen sijaan käytetty metallikasetteja, mutta muuten lisäeristämISRATKAISUT ovat samanlaiset. Metallikasetteihin olen vaihtanut siksi, että ne sopivat paremmin yhteen aurinkoenergiassysteemissä olevien metallilevyjen kanssa kuin edellisen ratkaisun julkisivulevyt.

Sekä metallikasettien että aurinkolämpösystemissä olevien teräslevyjen värit ovat luvussa 4.2, Värien vaikutus, olevasta väriympyrästä¹⁰⁶. Ruskea väri on CIE L* = 45, a* = 6, b* = 8 ja vihreä väri on L* = 45, a* = - 9, b* = 4. Listat, parvekkeenkattojen kannattimet ja orret sekä muut vastaavat detaljit ovat puolestaan L* = 45, a* = - 9, b* = - 4 värisiä.

Keräimissä on uloimpana lasi, jonka läpi auringonsäteily lämmittää lasin ja ilmaraon takana olevaa aallonpituusselektiivisellä pinnoitteella päällystettyä rei'itettyä teräslevyä. Teräs-

106 Katso kuva 3.2.1 sivu 70



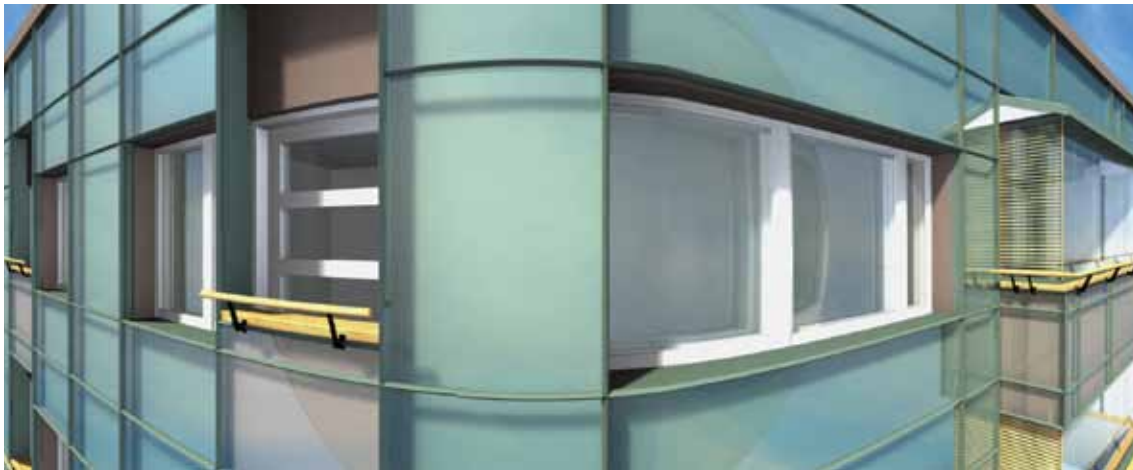
levyn ja lisäeristetyin seinärakenteen välissä on toinen ilmarako, johon on liitetty rakennuksen sisäosiin johtavat raskasrakenteiset betoniset ilmanvaihtokanavat. Ilmaraon ja ilmanvaihtokanavien liittymäkohdassa on yksisuuntaventtiili, joka päästää lämmityskaudella ilman vain ilmaraosta kanaviin, ei toisin päin.

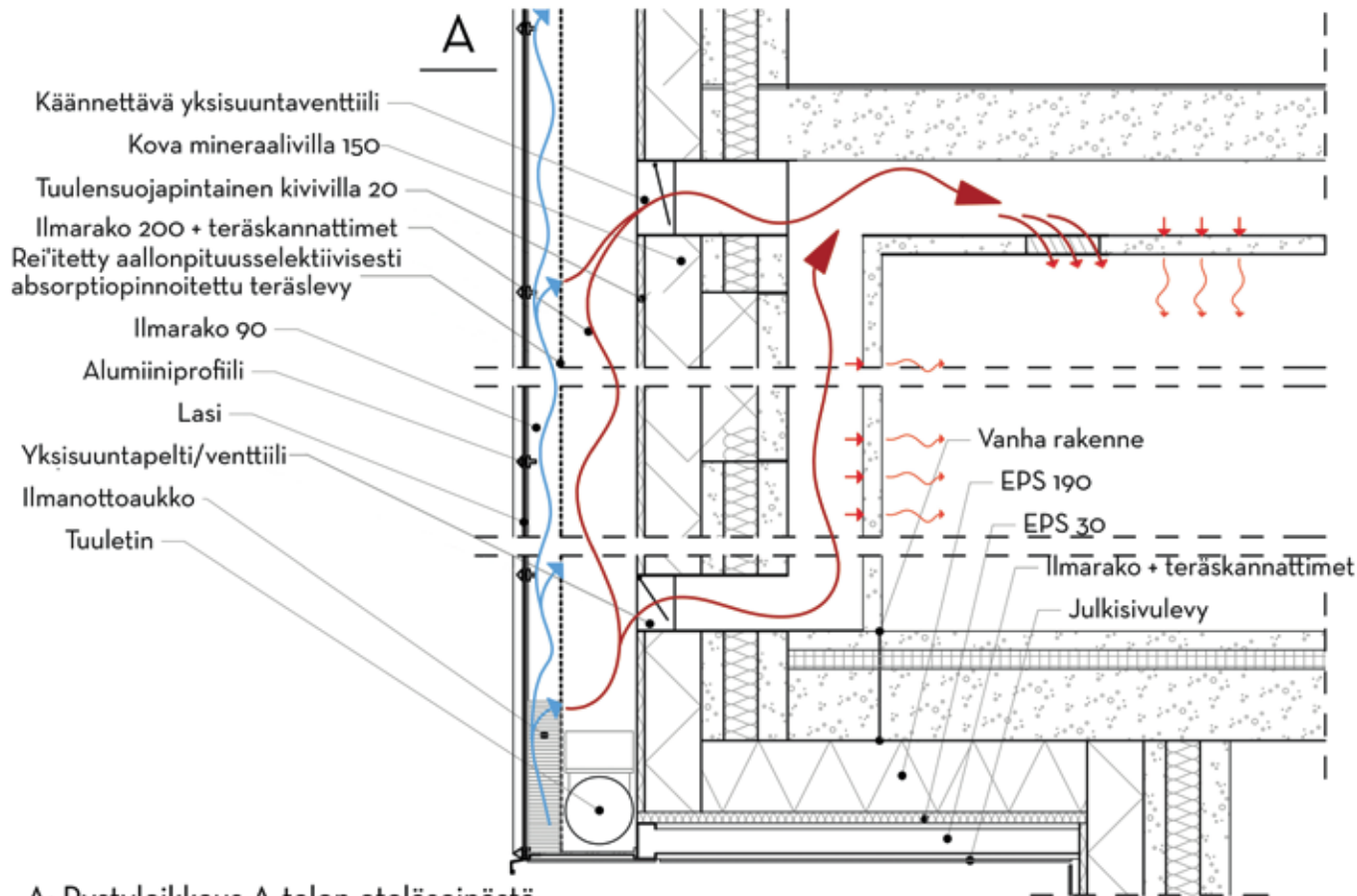
Systeemin toiminta perustuu siihen, että auringonsäteilyn lämmittäessä metallilevyä myös ilma ilmaraoissa lämpenee ja lämmitessään ilma kohoaa. Ulompaan lasin ja metallilevyn välissä olevaan ilmakeenavaan otetaan rakenteen alaosaan raitista

Kuva 4.8.1: As oy Saarenkuokka metallikaseteilla ja integroidulla aurinkoeräinsysteemillä verhoiltuna

Systeemi voi myös tuoda helpotusta kesällä. Kesällä systeemien yksisuuntaventtiilien toiminta käännetään, jolloin ilma virtaa kanavista ilmarakoon. Keräimissä lämpenevä ilma synnyttää voimakkaan nosteen ja kesällä ilma päästetään ulos rakenteen yläosasta. Näin syntyvä voimakas ilmvirtaus vetää viileämpää ilmaa pohjoisenpuolella olevista ilmanottoaukoista kanavistoon, josta se tuodaan sisätiloihin.

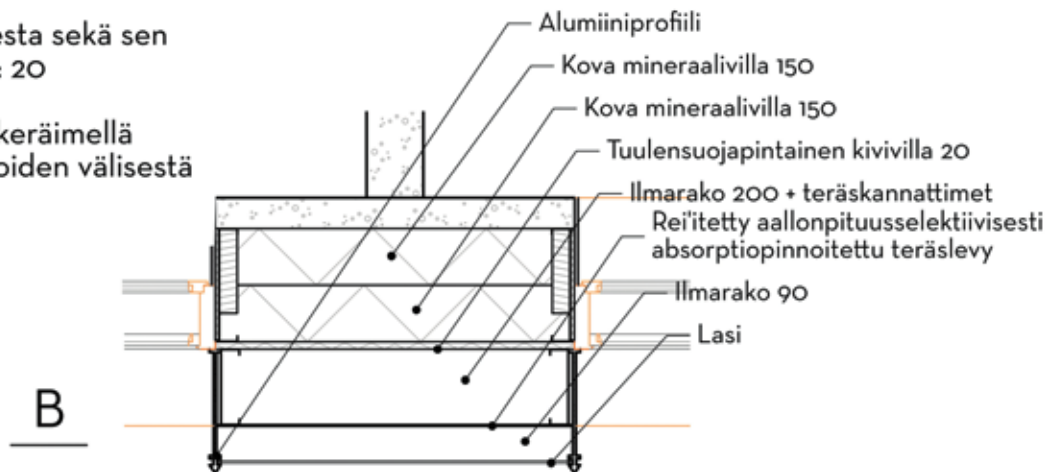
4.8.1 Periaatepiirustuksia

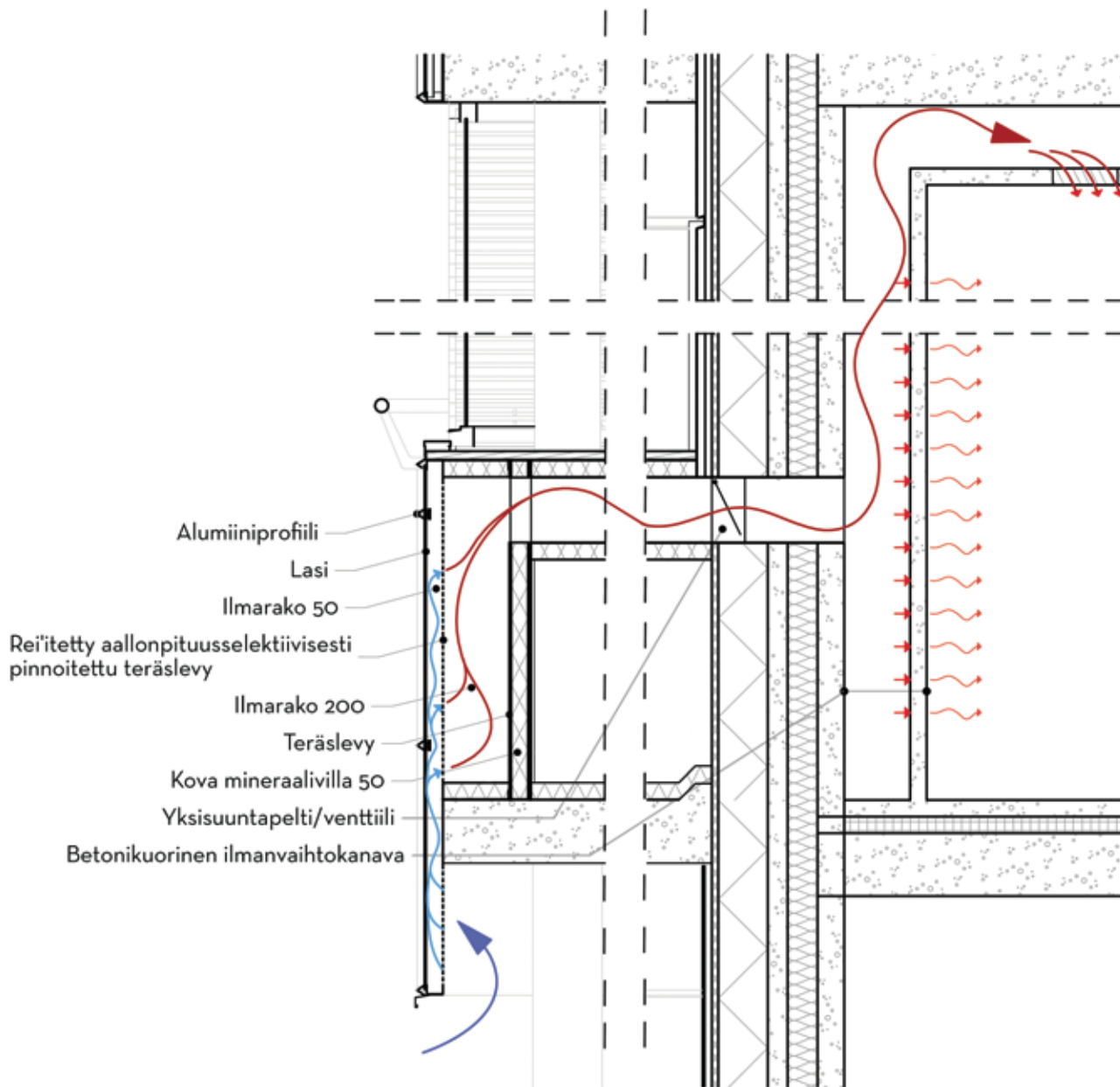




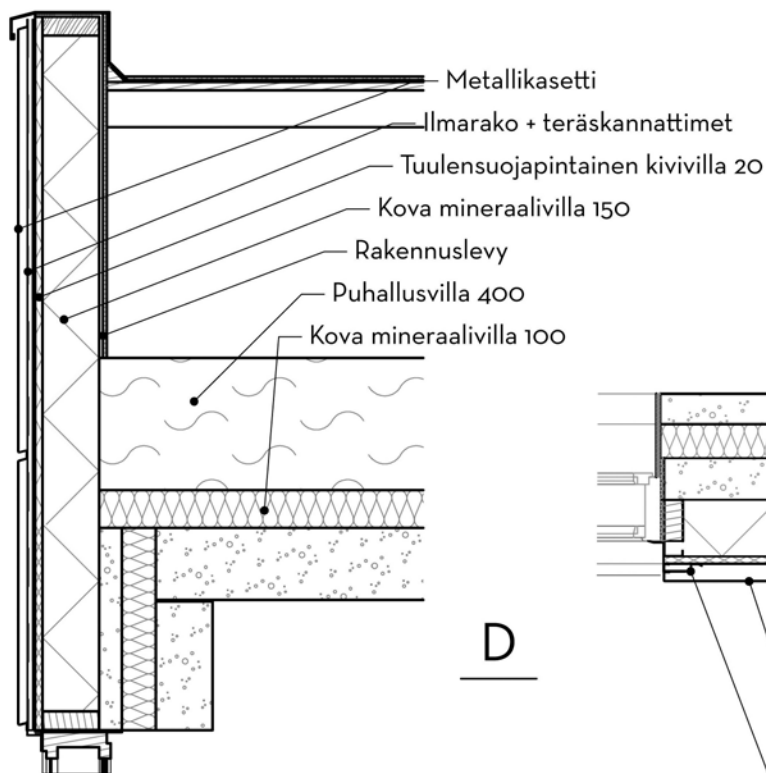
A: Pystyleikkaus A-talon eteläseinästä ja siinä olevasta ilmakeräinrakenteesta sekä sen toimintaperiaate 1 : 20

B: Vaakaleikkaus ilmakeräimellä varustetusta ikkunoiden välisestä seinästä 1 : 20

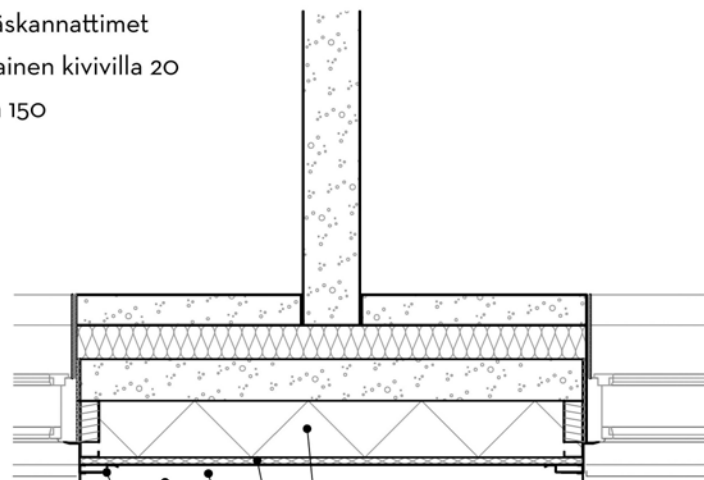




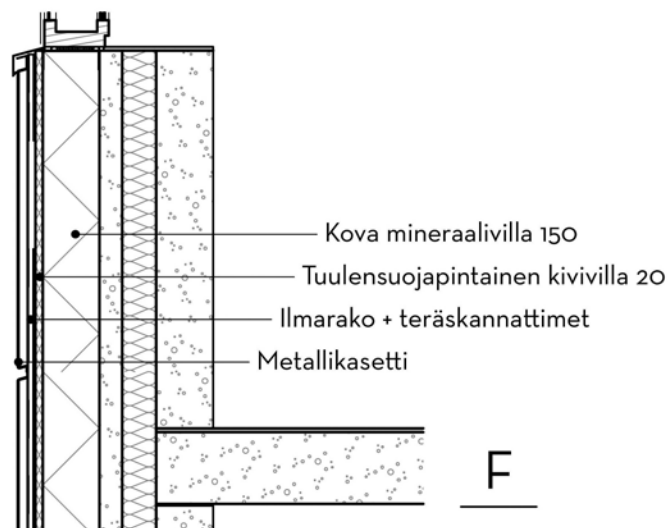
C : Pystyeikkaus ilmakeräimellä varustetusta parvekkeen kaiteesta ja sen toimintaperiaate 1 : 20



D



E

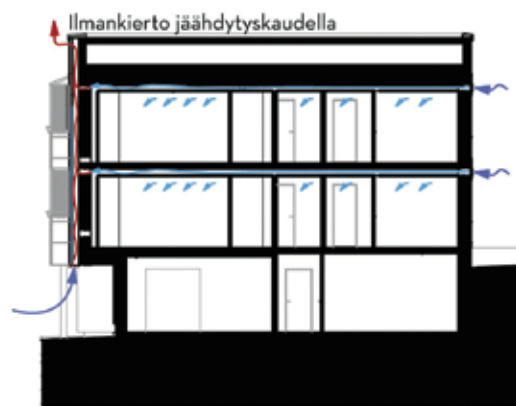
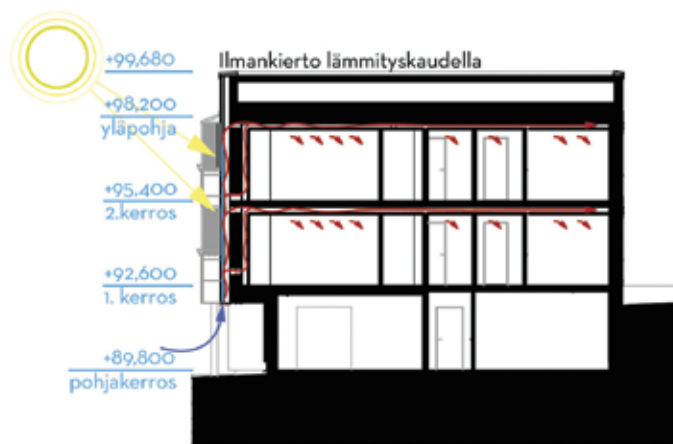


F

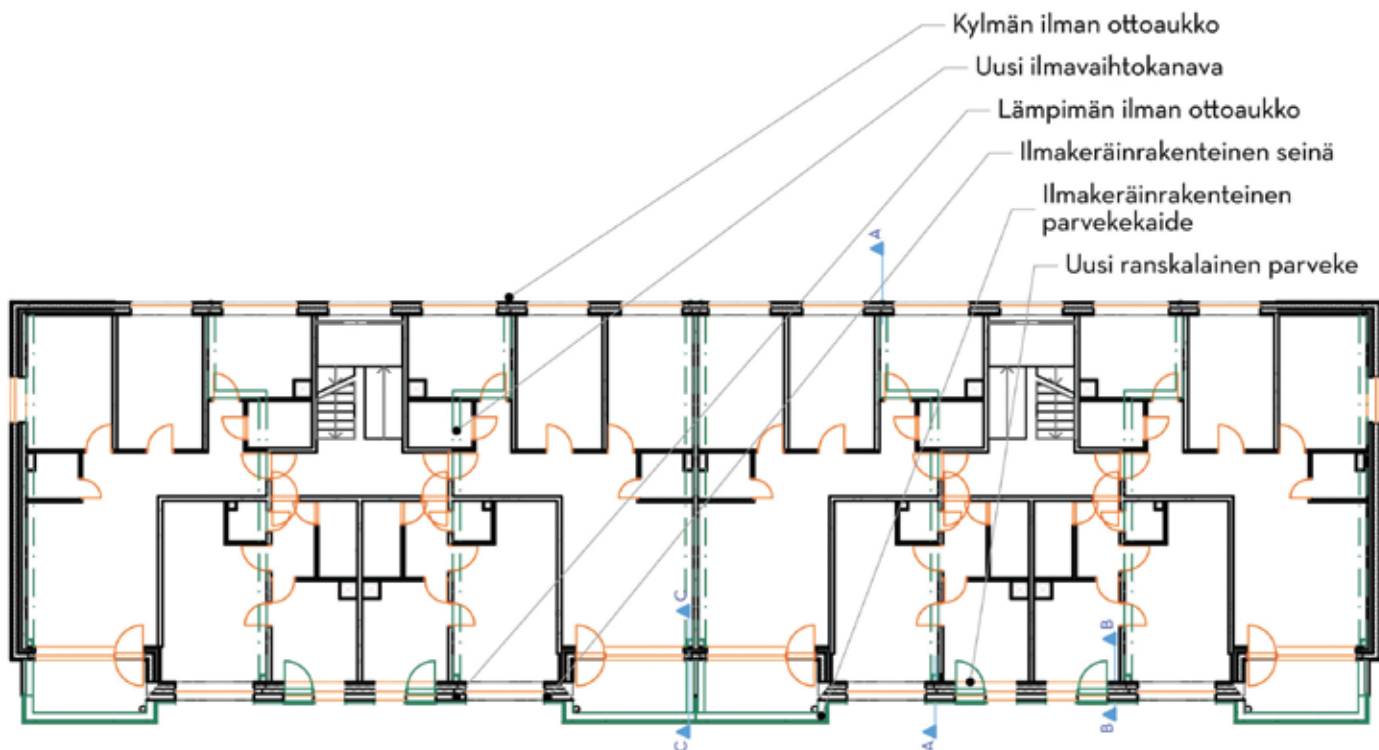
C: Pystyleikkaus yläpohjasta 1 : 20

D: Vaakaleikkaus huoneistojen välisestä seinästä ikkunoiden kohdalta 1 : 20

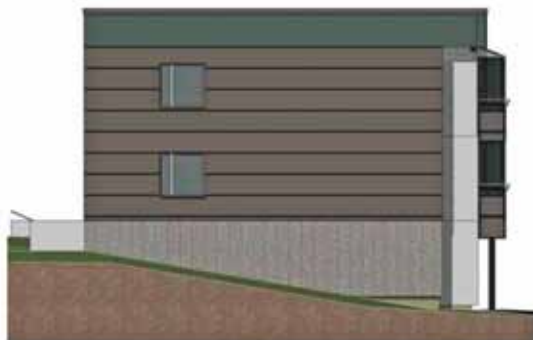
E: Pystyleikkaus normaalista seinästä välipohjan kohdalta 1 : 20



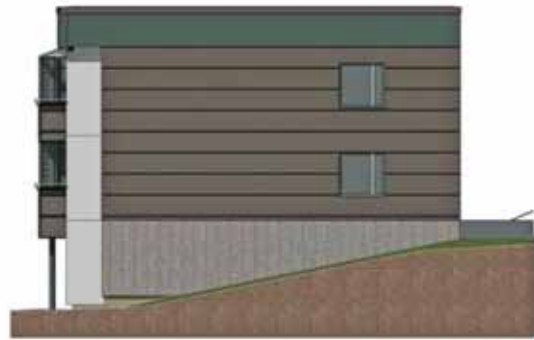
A-rakennus: Leikkaus A - A 1:250



A-rakennus: 1. kerros 1:250



A-rakennus: länsijulkisivu 1:250



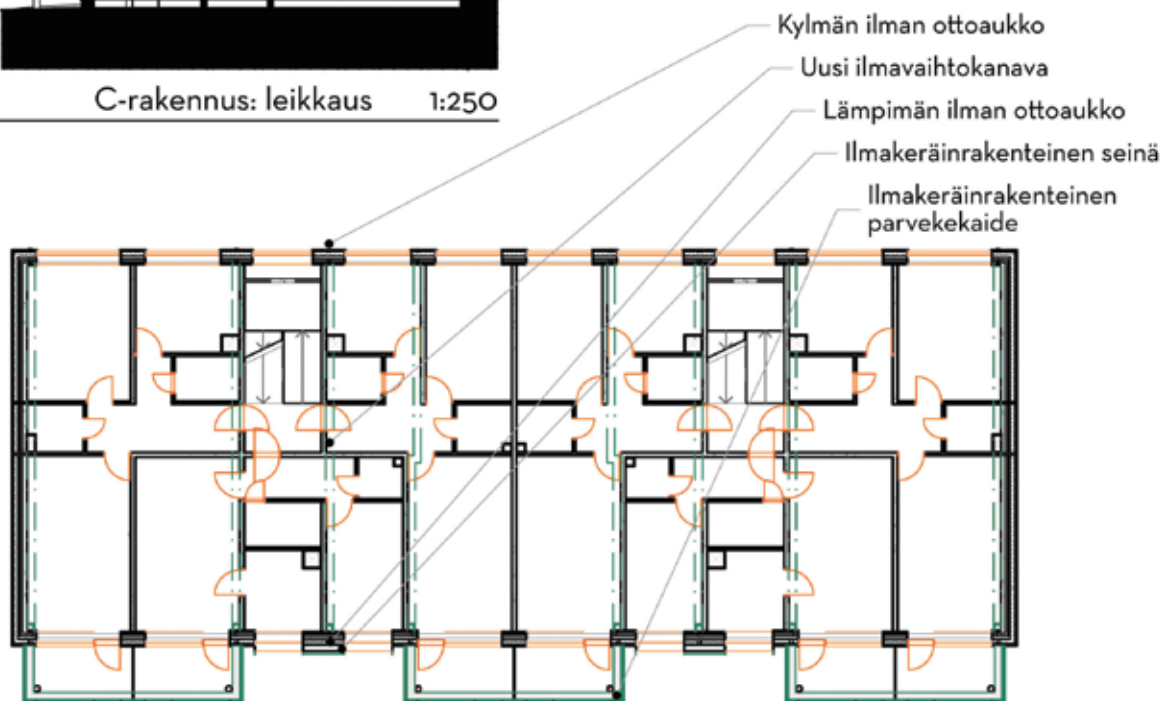
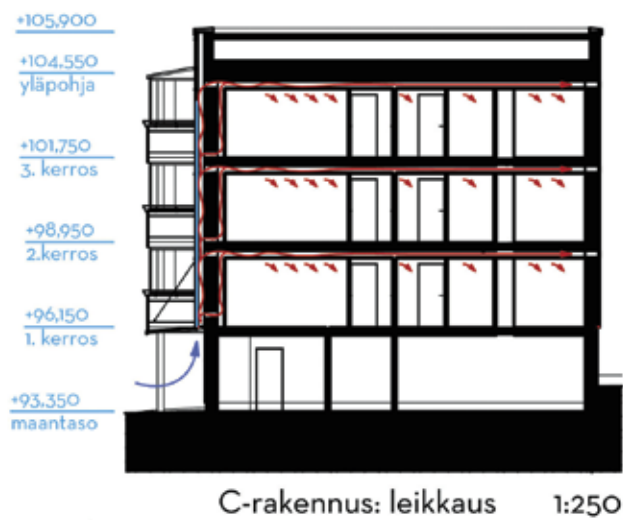
A-rakennus: itäjulkisivu 1:250



A-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



A-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



C-rakennus: 1. kerros 1:250



C-rakennus: länsijulkisivu 1:250



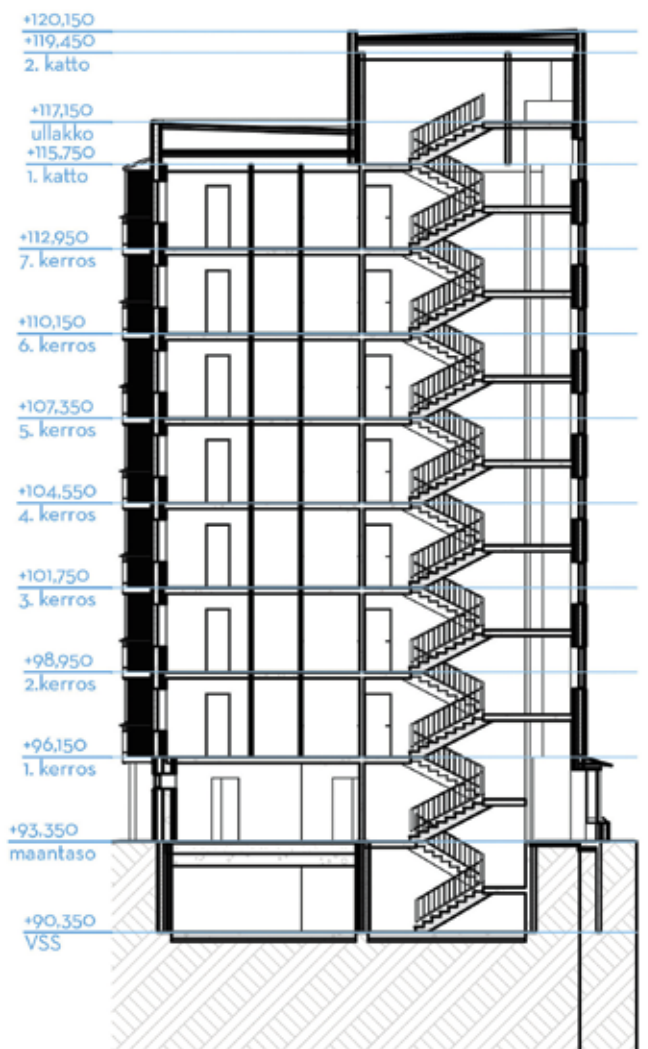
C-rakennus: itäjulkisivu 1:250



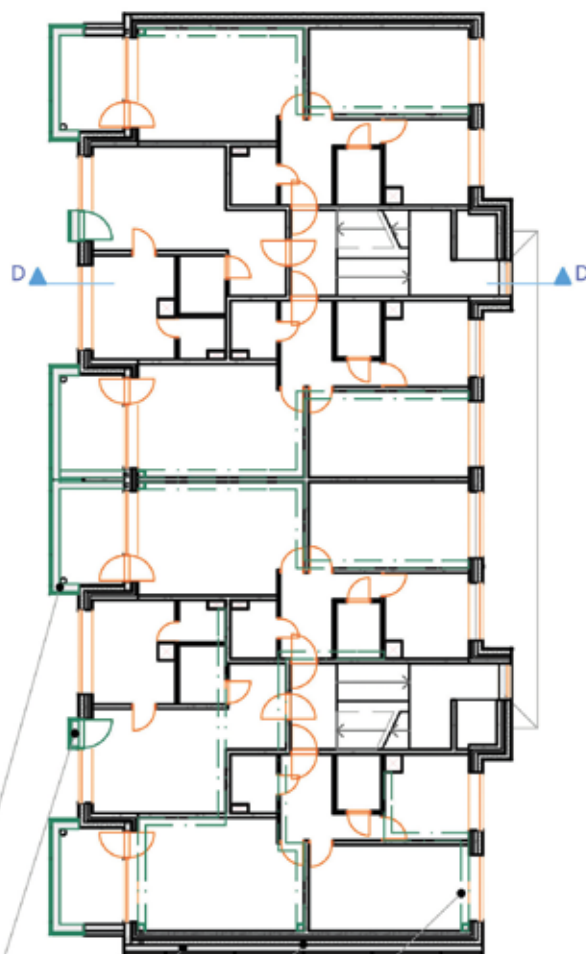
C-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



C-rakennus: eteläjulkisivu 1:250

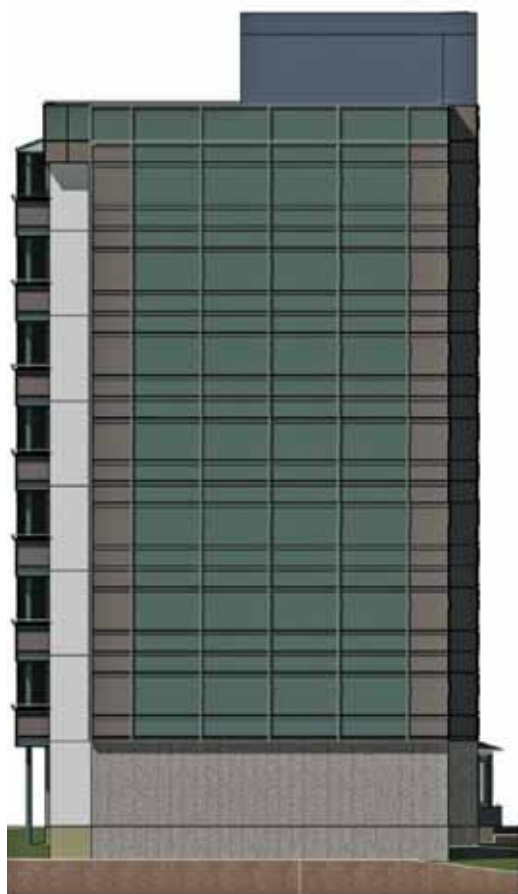


D-rakennus: leikkaus D - D 1:250



D-rakennus: 1. kerros

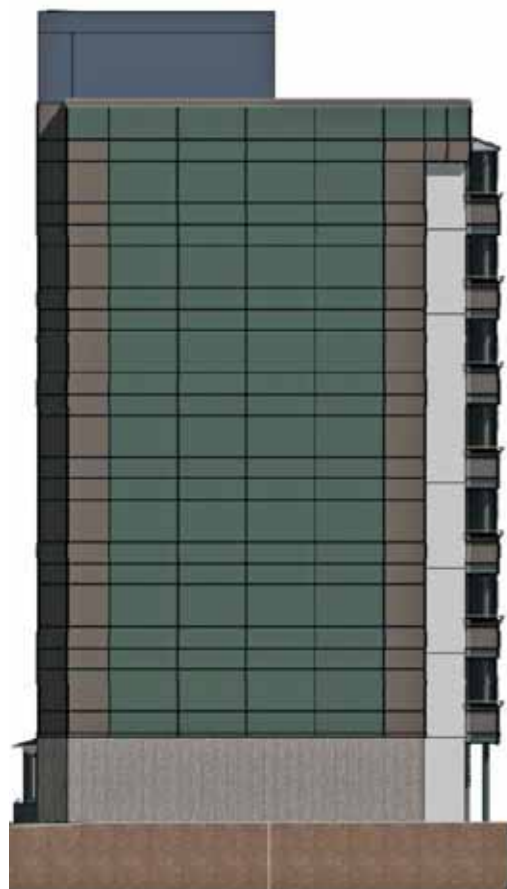
- Ilmakeräinrakenteinen parvekekaide
- Uusi ranskalainen parveke
- Ilmakeräinrakenteinen seinä
- Lämpimän ilman ottoaukko
- Uusi ilmavaihtokanava



D-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



D-rakennus: länsijulkisivu 1:250



D-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



D-rakennus: itäjulkisivu 1:250

4.8.3 Laskelmat

Ensimmäisessä taulukossa on tässä luvussa arvot, joissa on huomioitu vain etelänpuoleisiin seiniin integroitujen aurinkokeräimien vaikutus seinien U-arvoihin. Rakennusten vaiipan eristävyys on hieman parempi kuin edellisessä esimerkissä, mikä selittyy sillä, että eteläseinien rakenteet ovat muuten lähes samat, mutta niihin on tullut yksi ilmarako ja yksi teräslevy lisää, muuttaen seinän U-arvon 0,17:stä 0,13:een. Näin pienen hyödyn saavuttaminen olisi kuitenkin vain resurssien hukkaamista kalliisiin rakenteisiin. Todellinen seinän efektiivinen U-arvo on todennäköisesti tässä mainittua huomattavasti parempi, johtuen tällaisen seinän ulkokuoren korkeammista lämpötiloista.

Toisessa taulukossa on huomioitu EcoDesigner ohjelman laskelma näitten rakennusten ulkoseiniin integroitujen aurinkolämpöilmakeräimien tuottama hyöty. Luvuissa ei ole huomioitu parvekekaiteisiin integroituja keräimiä. A-rakennuksen seinään integroitujen lämpökeräimien pinta-ala on 170m^2 ja niitten vuosituotto on EcoDesignerin mukaan $39\,038\text{ kWh/v}$. C-rakennuksen seinään integroitujen keräimien pinta-ala on 80m^2 ja niitten tuotto olisi $22\,898\text{ kWh/v}$. D-rakennuksen 232m^2 keräinpinta-ala puolestaan tuottaisi $61\,492\text{ kWh/v}$. Yhteensä keräimien pinta-ala on siis 482m^2 ja niitten tuottama lämpöenergiamäärä olisi $123\,428\text{ kWh/vuosi}$.

Kolmannessa taulukossa on laskettuna keräinten tuotto kun olen huomioinut horisontin ja ympäröivien rakennusten varjostuksen sekä auringon tulokulmasta ja katteen heijastumista johtuvat häviöt ArchiCadiä tarkemmin. Taulukon luvuissa on otettu huomioon se, ettei lämpiminä kuukausina kaikkea keräinten tuottamaa lämpöä voida hyödyntää. Ylimääräinen energia on vähennetty keräinten kokonaistuotosta ja näin saadut luvut ovat taulukossa. Kuten voidaan huomata, tässä taulukossa luvut ovat jonkin verran pienemmät kuin CAD-ohjelman laskemat. Erot johtunevat pääosin nimenomaan rakennusten ympäristön varjostavista tekijöistä.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
KATTOJEN U-ARVO (W/m ² K)	0,09 – 0,16	0,09	0,09 – 0,28	
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,13 – 0,23	0,13 – 0,23	0,13 – 0,23	
AUKKOJEN U-ARVO	1	1	1	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,29	0,28	0,31	0,29
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	86032	109154	298242	493428
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	56	70	66	65

YLLÄ

Taulukko 4.8.1: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus jos aurinkoenergiaseinille lasketaan vain U-arvo, muttei mitään tuottoa auringonsäteilystä.

ALLA

Taulukko 4.8.2: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus kun aurinkoenergiaseinille lasketaan tuotto Tampeleen olosuhteissa ArchiCad EcoDesigner ohjelmalla.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
KATTOJEN U-ARVO (W/m ² K)	0,09 – 0,16	0,09	0,09 – 0,28	
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,13 – 0,23	0,13 – 0,23	0,13 – 0,23	
AUKKOJEN U-ARVO	1	1	1	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,29	0,28	0,31	0,29
AURINKOKERÄINSEINIEN TUOTTO (kWh/v)	39038	22898	61492	123428
LASKENNALLINEN OSTOLÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	46994	86256	236750	370000
OSTOLÄMMÖN OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	31	55	52	48

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
SEINIIN INTEGROITUJEN KERÄINTEN ARVIOITU KESKIMÄÄRÄINEN TUOTTO (kWh/v)	37340	15871	49082	102292
PARVEKKEISIIN INTEGROITUJEN KERÄINTEN ARVIOITU KESKIMÄÄRÄINEN TUOTTO (kWh/v)	7321	11572	17142	36035
YHTEENSÄ (kWh/v)	44661	27443	66223	135413

Taulukko 4.8.3: Keskimääräinen seiniin ja parvekkeisiin integroitujen aurinkolämpökeräimien lämmön tuotto. Luvuissa on huomioitu se, ettei kaikkea keräinten tuottamaa lämpöä voida lämpimien kuukausien aikana käyttää.

Kolmannessa taulukossa on myös laskettuna parvekkeenkaiteisiin integroitujen keräinten tuotto. Näiden keräinten hyötysuhteena olen näissä laskuissa käyttänyt arvoa 25 %, koska olen arvioinut, että parvekekaiteisiin integroitujen keräinten häviöt olisivat suurempia kuin seiniin integroitujen joille olen käyttänyt hyötysuhdetta 30 %.¹⁰⁷

107 Katso luku 4.5 Aurinkokeräinten hyötysuhde sivu 143

4.9 Valoa läpäisevä eriste

Tässä esimerkissä olen säilyttänyt edellisen ratkaisun seinä- ja parvekerakenneratkaisut muilta osin paitsi eteläpuoleisilla seinillä. Eteläseinillä olen korvannut edelliset integroidut ilma-keräimet valoa läpäisevällä eristeellä. Tässä esimerkissä valoa läpäisevä eriste on gap-solutions gmbh:n kehittämällä gap-facade paneelia vastaava ratkaisu.

Tällaisessa paneelissa eristeenä toimii pahvinen kennosto, jonka kennot ovat kohtisuorassa julkisivuun nähden. Kennot päästävät matalalta tulevan auringonpaisteen sisään ja lävit-

Kuva 4.9.1: As oy Saarenkuokka valoa läpäisevällä eristeellä



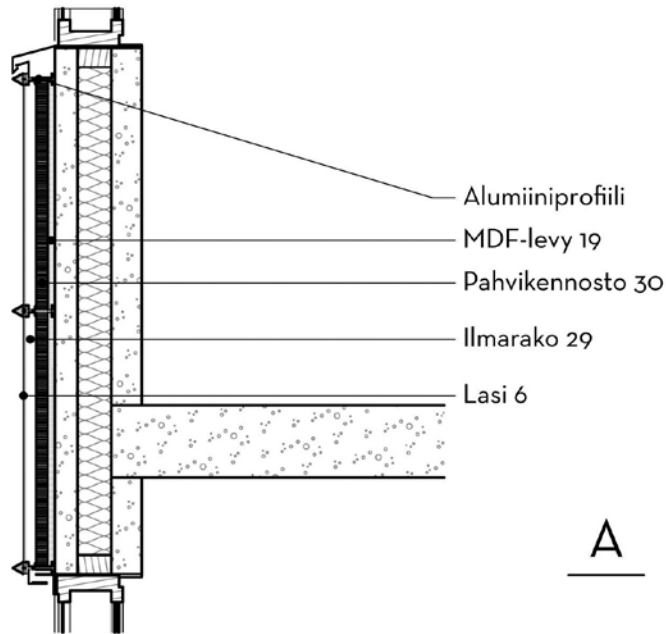
sensä taustaansa näin lämmittäen ne. Keskimääräinen efektiivinen U-arvo voi olla jopa $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kun aurinko paistaa korkealta kennosto varjostaa itseään ja näin vähentää seinän lämpenemistä. Seinän liika lämpenemisen vaaraa ei oikeastaan ole. Ratkaisun etuna on myös se, että kennosto voi olla oikeastaan minkä värinen tahansa ilman, että sen toiminta lämmönkeräimenä lakkaa. Useimmat muut valoa läpäisevät eristeethän on tehty kirkkaan läpinäkyvistä materiaaleista ja ovat ulkonäöltään samean läpinäkyvän lasin kaltaisia.

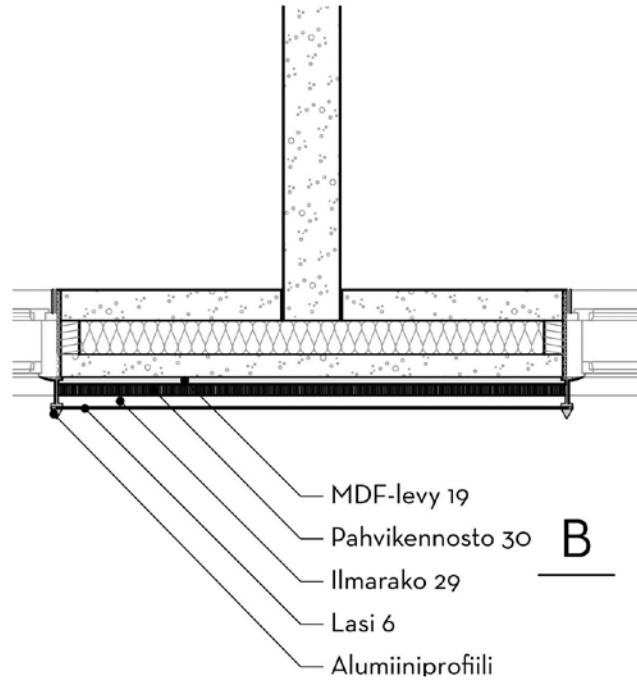
Tässä esimerkissä olen valinnut kennoston väriksi turkooisin. Muut värit rakennukseen olen tässäkin esimerkissä valinnut kappaleessa 4.2.1 olevasta väriympyrästä. Seinät ovat pääosin CIE $L^*=45 \text{ a}^*=0 \text{ b}^*=-10$ värisiä samoin kuin parvekekaiteet. Seinien ylin osa sekä eri detaljien väri on hieman tummempi $L^*=38 \text{ a}^*=0 \text{ b}^*=-10$. Ikkunoiden ala- ja yläpuolella seinät ovat kiiltävän valkoiset. Valoa läpäisevää eristerakennetta on rakennuksien julkisivuihin istutettu saman verran kuin edellisen luvon aurinkolämpökeräimiä eli A-taloon 170 m^2 , C-taloon 80 m^2 ja D-taloon 232 m^2 .

Tällaisen valoa läpäisevän eristerakenne ratkaisun etu esim. edelliseen ilmakeräimeen nähden on sen yksinkertainen rakenne. Se ei myöskään vaadi uusia ilmanavia, johtoja putkistoja tms. vaan toimii itsenäisesti. Myös ratkaisun suhteellinen ohuus ja keveys voi olla etu. Paksuuttahan tällaisella lisärakenteella on vain noin 90mm. Huonona puolena voidaan nähdä se, että rakenne lämmittää vain takanansa olevaa seinää ja sen kautta sen takana olevia tiloja. Lämpöä ei voida johtaa mihinkään.

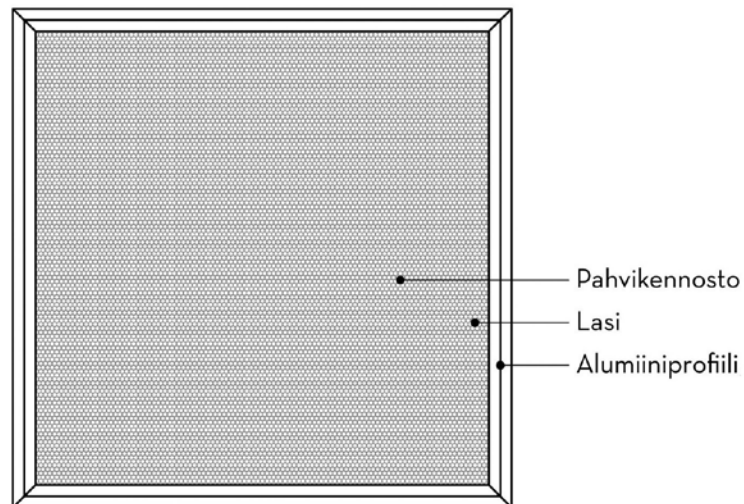
4.9.1 Periaatepiirustuksia



A



B



C

A: Pystyleikkaus valoa läpäisevällä eristerakenteella katetusta seinästä 1 : 20

B: Vaakaleikkaus valoa läpäisevällä eristerakenteella katetusta seinästä 1 : 20

C: Detaljikuva 600 x 600 paneelista 1:10



Kuva 4.9.2: Valoa läpäisevä
pahvikennoeristerakenne eri
kulmista nähtynä.

4.9.2 Julkisivut



A-rakennus: länsijulkisivu 1:250



A-rakennus: itäjulkisivu 1:250



A-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



A-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



C-rakennus: länsijulkisivu 1:250



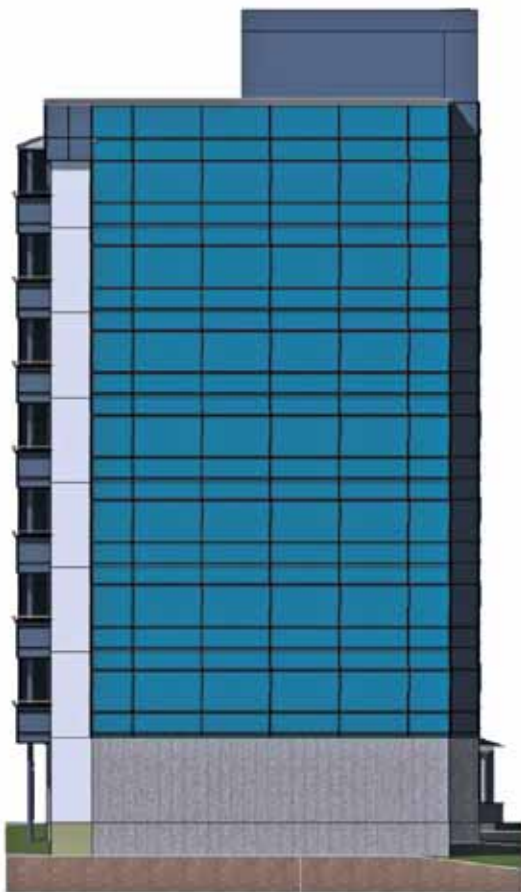
C-rakennus: itäjulkisivu 1:250



C-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



C-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



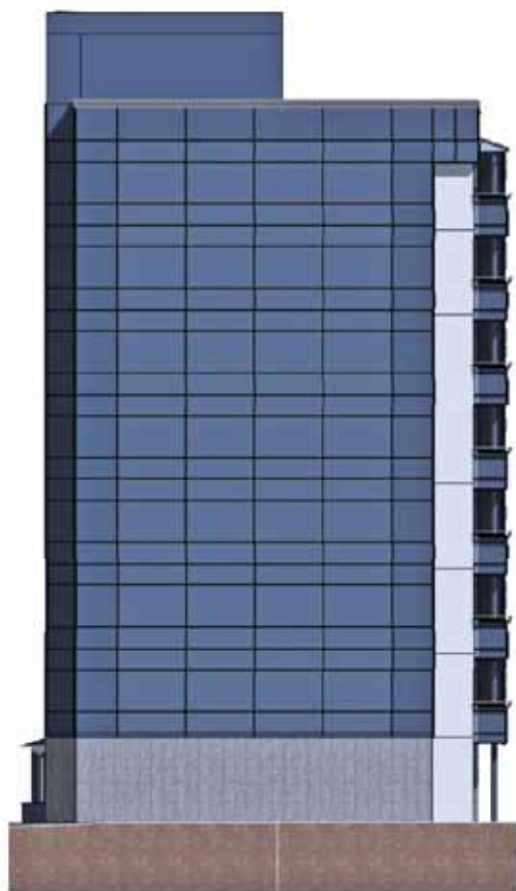
D-rakennus: eteläjulkisivu 1:250



D-rakennus: länsijulkisivu 1:250

4.9.3 Laskelmat

En ole laskenut valoa läpäisevällä eristeellä katetulle seinälle muuta hyötyä kun eristeen vaikutuksen seinän efektiiviseen U-arvoon. Olen tässä käyttänyt seinän efektiivisenä U-arvona 0,10 ja aiemmin mainittua 0,05.



D-rakennus: pohjoisjulkisivu 1:250



D-rakennus: itäjulkisivu 1:250

Ensimmäisessä taulukossa valoa läpäisevällä eristeellä katetulle seinälle on laskettu U-arvo tavalliseen tapaan. Tällöin seinän U-arvoksi saadaan $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä on jo sellaisenaan paljon parempi kuin alkuperäisten betonisandwich seinien keskimääräinen $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toisessa taulukossa valoa läpäiseväl-

Taulukko4.9.1: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus jos valoaläpäisevällä eristerakenteella katetulle seinälle lasketaan vain U-arvo, muttei mitään hyötyä auringonsäteilystä.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,15 – 0,28	0,13 – 0,28	0,13 – 0,28	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,30	0,28	0,31	0,29
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	86417	109641	300402	496460
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	56	70	67	65

Taulukko 4.9.2: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus jos valoaläpäisevällä eristerakenteella katetulle seinälle on annettu efektiivinen U-arvo 0,10 W/m2K.

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,10 – 0,17	0,10 – 0,17	0,10 – 0,17	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,29	0,28	0,29	0,28
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	85901	109189	297606	492696
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	56	70	66	65

	A-TALO	C-TALO	D-TALO	YHDESSÄ
ULKOSEINIEN U-ARVO	0,05 – 0,17	0,05 – 0,17	0,05 – 0,17	
VAIPAN KESKIMÄÄRÄINEN U-ARVO	0,29	0,28	0,29	0,29
LASKENNALLINEN LÄMMÖNKULUTUS (kWh/v)	85 724	109 067	296 841	491 632
OSUUS LASKENNALLISESTA LÄMMÖNKULUTUKSESTA ILMAN REMONTTIA (%)	56	69	65	64

Taulukko 4.9.3: Keskimääräiset U-arvot ja lämmönkulutus jos valoaläpäisevällä eristerakenteella katetulle seinälle on annettu efektiivinen U-arvo 0,05 W/m²K.

lä eristerakenteella varustetulle seinälle on annettu varovaisesti efektiivinen U-arvo 0,10 ja kolmannessa valmistajan antama optimaalinen efektiivinen U-arvo 0,05.

Kuten taulukoista voidaan havaita, se että osan eteläseini- en pinta-alasta U-arvo vaihtelee 0,28 ja 0,05 välillä, ei vaikuta rakennusten lämpöenergian kulutukseen kuin 1 %. Laskelmat eivät kuitenkaan voi arvioida asukasmukavuuden muuttumista seinän lämpöominaisuuksien muuttuessa.

4.10 Perinteisen lisäeristämisen ja integroitujen aurinkokeräinten vertailu

4.10.1 Kustannusarvio

Kaikissa kolmessa ratkaisussa, jotka olen esimerkkikohteeseen suunnitellut, kaikki muut ulkoseinät paitsi etelänpuoleinen ovat käytännössä ratkaisuiltaan, työmäärältään ja kustannuksiltaan samanlaiset. Erottavaksi tekijäksi muodostuu siis etelänpuoleinen seinä, sen rakenteet, kustannukset ja ulkonäkö sekä sen mahdollisesti tuottama hyöty.

Suunnittelin siis etelänpuoleisiin seiniin kolme erilaista ratkaisua, vanhan rakenteen päälle tehty lisälämmöneristys ja tuuletusraollinen julkisivulevy, toisena vanhan rakenteen päälle tehty lisälämmöneristys ja ilmakiertoinen aurinkolämpökeräin ja kolmantena vanhan rakenteen päälle asennettu valoa läpäisevä eriste ratkaisu.

ROK, Rakennusosien kustannuksia 2011 kirjan mukaan arvioitaessa rakennuksen seinään asennettavalle lisäeristykselle hinnaksi noin 79 €/m².¹⁰⁸ Hinta sisältää 150 mm k600 kuumasinkityn teräsrangan, 150 mm mineraalivillan ja tuulensuojapintaisen mineraalivillan sekä työt. Tämä rakennusosuushan tehdään suunnitelmissa kaikkiin seiniin paitsi valoa läpäisevän eristeen alle jäävään seinään. A-talossa ulkoseinää, kun aukotuksen osuus on vähennetty, on 884 m², C-talossa ulkoseinää on 1366 m² ja D-talossa 2095 m². Kun lisäeristäminen tehdään kaikkiin seiniin, tulee sen kustannukseksi noin 343 000 €.

Katot lisäeristetään kaikissa ratkaisuissa samalla tavalla eli vesikatto uusitaan ja yläpohjaan lisätään 400 mm puhallusvillaa. Vesikaton korjauksen kustannusarvioksi sain noin 45 €/m². Hinta sisältää vanhan vesikatteen purkamisen, uuden vesikatteen alustan raakaponttilaudasta, uuden kaksikerroskermikatteen ja suojakiveyksen sekä työt. Puhallusvillan hinta paikalleen puhallettuna on noin 29 €/m³ eli noin 12 €/m². A-rakennuksen vesikatto on noin 600 m² ja sen yläpohja on noin 570 m², C-rakennuksen vesikatto on noin 430 m² ja yläpohja

108 Rakennustieto (2011)

420 m² ja D-rakennuksen noin 420 m² ja 380 m². Tällöin uusin vesikatteiden hinnaksi tulisi noin 65 250 € ja puhallusvillan hinnaksi noin 16 440 €. Yhteensä kattoremonteille tulisi hinnaksi siis noin 82 000 €.

Käyttäen Alavus Ikkunat Oy:n nettisivuilta löytyvää kätevää ikkunalaskuria sain kustannusarvion ikkunoiden ja parvekeovien uusimiselle ¹⁰⁹. Ikkunoita rakennuksissa on yhteensä 245 kpl ja ikkunalaskurin mukaan niitten hinnaksi tulisi noin 187 000 €. Parvekkeen ovia on suunnittelemani ranskalaisten parvekkeiden ovien määrä mukaan luettuna 76 kpl ja niitten yhteishinta olisi laskurin mukaan noin 61 000 €. Ikkuna- ja oviremontin töiden, eli vanhojen poisto ja uusien asennus, hinnaksi tulisi noin 21 400 € Rakennusosien kustannuksia 2011 kirjan mukaan arvioitaessa. Yhteensä ikkuna ja oviremontin hinnaksi voisi arviolta tulla noin 269 400 €.

Kun ikkuna-, seinä ja kattoremontin kulut lasketaan yhteen, saadaan menoiksi laskurien mukaan noin 631 000 €. Tämä luku siis koskee kaikkia suunnittelemani remontti- vaihtoehtoja, sillä tähän ei ole vielä laskettu ulkoverhouksen hintaa.

109 Alavus Ikkunat Oy (2011)

Taulukko 4.10.1: Kaikkiin ratkaisuvaihtoehtoihin tehtävien toimenpiteiden kustannusarvio.

	€/m ²	YHTEENSÄ €
SEINIEN LISÄERISTÄMISEN KUSTANNUSARVIO	79	343 000
KATON LISÄERISTÄMISEN KUSTANNUSARVIO	57	82 000
IKKUNA- JA OVIREMONTIN KUSTANNUSARVIO		269 000
YHTEENSÄ		694 000

4.10.2 Lisäeristämisen ja eriytetyn julkisivuverhouksen takaisinmaksuaika

Tässä dokumentissa on julkisivulevyille annettu Steni yhtiön edustajan antama hinta 42 €/m². Kaikkien kolmen rakennuksen yhteenlaskettu ulkoseinien pinta-ala, kun aukotuksen osuus on vähennetty, on 4345 m². Eli julkisivulevyjen hinnaksi tulee noin 182 500 €. Lisäksi kuluihin tulee julkisivuverhouksen kannatinorret, kiinnikkeet ja työt, eli noin 105 000 €. Yhteensä levyverhouksen hinnaksi tulee siis noin 287 500 €.

Laskettaessa yhteen verhouksen, lisäeristyksen, ikkunaremontin ja kattoremontin kustannusarviot, saadaan koko vaiipan remontoinnin kustannusarvioksi 981 500 €.

Kuten luvussa 9.1.3 todetaan, näillä korjauksilla saadaan syntymään 33 % eli yhden kolmasosan säästöt rakennusten lämmönkulutuksessa. Normitettu keskimääräinen lämpöenergian kulutus on tällä asunto-osakeyhtiöllä ollut, vuosina 2006 – 2010, 867863 kWh/vuosi. Kolmasosa tuosta luvusta on 286 395 kWh/v. Kun tämä luku kerrotaan Tampereen kaukolämpö oy:n nykyhinnalla 56,83 €/MWh, saadaan taloudel-

Taulukko 4.10.2: Julkisivulevyverhouksen kustannusarvio ja takaisinmaksuaika

	€/m²	YHTEENSÄ €	TAKAISINMAKSUAIKA (VUOTTA)
LEVYVERHOUKSEN KUSTANNUSARVIO	66	287 500	
VERHOUS + LISÄERISTYS + KATTO + IKKUNAT JA OVET		981 500	60

Taulukko 4.10.3: Lisäeristyksestä syntynyt lämmitysenergian säästö.

	kWh/VUOSI	€/VUOSI
SYNTYNYT LÄMMITYSENERGIAN SÄÄSTÖ	286 395	16 276

liseksi säästöksi syntymään 16 276 €/vuosi. Tuolla summalla uusien rakenteiden takaisinmaksuajaksi tulee noin 60 vuotta.

Tuo aika kuulostaa pitkältä, mutta pitää muistaa, ettei lu-
vussa oteta huomioon, lisääntynyttä asukasmukavuutta, ra-
kennuksen arvon nousua, rakennuksen käyttöiän kasvua jne.

4.10.3 Aurinkokeräimien takaisinmaksuaika

Gradussaan Aurinkolämpö - teknologia ja mahdollisuudet Katri Komulainen vertaili myös eri tasokeräinten hintoja. Hän mainitsee, että keräinten neliöhinnat vaihtelivat 180 ja 223 €/m² välillä, keskihinnaksi oli tullut 193 €/m².¹¹⁰ Kyseissä keräimissä oli pitkälti samankaltainen rakenne kuin tämän doku-
mentin esimerkkitapauksissa.

Esimerkkitapauksissa on vain hieman yksinkertaisempi rakenne sillä ne eivät tarvitse erillistä eristystä, eristyksen tarjoaa seinärakenne johon ne integroidaan. Perinteisten tasokeräinten vesiputket jäävät myös tarpeettomiksi. Ne eivät myöskään tarvitse erillistä koteloa, mutta kotelon sijaan ne tarvitsevat kehikon jolla absorptiolevyt ja lasikatteet ripustetaan paikoilleen, joka ajanee saman asian. Jos arvioin, että esimerkkirakenteen kaltainen integroitu aurinkoilmalämpökeräin maksaisi tuon 193 €/m², en usko, että olen kohtuuttoman kaukana totuudesta. Tähän pitää tietenkin lisätä asennuskulut. Arvioidaan, että ne olisivat samat kuin metallikasetti julkisivun asentamisessa eli Rakennusosien kustannuksia 2011 kirjan mukaan 10,53 €/m². Lisäksi lasketaan mukaan samat kulut kiinnitysorsille ja ruuveille kuin metallikasettiverhouksessa eli 13,59 €/m². Yhteensä kulutusarvio olisi siis 217,12 €/m².

Varmuuden vuoksi lähestytään kustannusarviot toisesta-
kin suunnasta. Arvioidaan, että aurinkokeräinrakenteen asen-
taminen paikalleen vie kaksinkertaisen työmäärän kuin jul-
kisivulevyverhoilun asentaminen. Korvataan julkisivulevyn
hintaa lasin hinnalla 45 €/m² ja ruostumattoman teräslevyn
hinnalla 50 €/m². Aallonpituusselektiivinen absorptiopinnoi-
te Solkote maksaa noin 1,65 €/m². Arvioidaan, että kiinnitti-
met ja kannatinranka maksavat neljä kertaa niin paljon kuin

110 Komulainen (2006)

metalliverhouksella eli 29 €/jm ja kulutus on 3,6 jm/m² eli 105 €/m². Lisäksi vielä asennuskulut, arvioidaan niiden olevan kaksinkertaiset metallikasettiverhoukseen nähden eli 21,06 €/m². Yhteensä keräimille kertyisi tällöin hintaa 223 €/m². A-rakennuksen seinien keräinpinta-ala on 170 m², C-rakennuksen 80 m² ja D-rakennuksen 232 m² eli yhteensä keräinpinta-alaa on 482 m². Tällöin rakennusten seiniin integroitavat keräinrakenteet maksaisivat yhteensä 107 486 €.

Aurinkokeräinrakenteen maksaessa edellä mainitun 223 €/m² verran, maksaisivat A-rakennuksen seiniin integroidut keräinrakenteet noin 37 900 €, C-rakennuksen noin 17 840 € ja D-rakennuksen noin 51 740 €.

Tampereen Kaukolämpö Oy:n kaukolämmön tämänhetkinen myyntihinta on siis aiemmin mainittu 56,83 €/MWh. Lasketaan keräinten tuottamalle energialle rahallinen arvo käyttäen tuota hintaa. A-rakennuksen keräimet tuottavat silloin lämpöä noin 2240 €, C-talon noin 950 € ja D-talon noin 2940 € verran vuodessa. Yhteensä rakennusten seiniin integroidut keräimet siis tuottavat lämpöä noin 6130 € edestä vuodessa. Tuolla tuotolla keräimet maksavat itsensä takaisin 18 vuodessa.

Jotta integroitujen aurinkokeräinten asentaminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa, tulisi niidenkin takaisinmaksuajan olla 50 vuotta. Niiden pitäisi siis maksaa yli kaksi kertaa enemmän kuin tässä dokumentissa on arvioitu ja tuottaa vähemmän kuin puolet siitä lämpöenergiasta, mitä tässä on arvioitu. Todellisuudessa keräimet lähes varmasti tuottaisivat enemmän lämpöä kuin tässä on arvioitu.

Parvekkeenkaiteisiin rakennetuille keräimille laskin aiemmassa luvussa heikomman hyötysuhteen, joten niitten takaisinmaksuaika on siinä tapauksessa pidempi. A-talon kaiteet maksaisivat noin 9250 € ja tuottaisivat lämpöä noin 440 € edestä vuodessa. C-talon kaiteet maksaisivat noin 16 500 € ja tuottaisivat energiaa noin 700 € edestä vuodessa. D-talon maksaisivat noin 32 500 € ja tuottaisivat noin lämpöä 1030 € edestä vuodessa. Näillä luvuilla A-talon kaiteiden takaisinmaksuaika olisi 21, C-talon 24 ja D-talon 32 vuotta. Kaikkien

parvekekaiteiden hinta olisi yhteensä noin 58 250 € ja ne tuottaisivat lämpöä noin 2170 € edestä vuodessa. Takaisinmaksuaika olisi yhteensä noin 27 vuotta.

Molemmat sekä seinät että parvekekaiteet maksaisivat yhteensä noin 169 500 € ja ne tuottaisivat lämmitysenergiaa noin 8100 € edestä vuodessa. Täten niitten takaisinmaksuaika olisi noin 21 vuotta.

Tässä kappaleessa tähän mennessä esitetyt luvut koskevat ainoastaan sitä osaa julkisivuverhoilusta, joka korvataan aurinkokeräimillä. Verhouksen alla olevien lisäeritysten ja muiden seinien ja vaipan osien korjauskulut säilyvät samoina kuin edellisessä esimerkissä. Kun vähennetään edellisen esimerkin julkisivuverhouksen kustannusarviosta aurinkokeräinten kattaman alan kustannukset, saadaan jäljelle jääneen verhouksen kustannukseksi 249 500 €. Lisätään tuohon lukuun aurinkokeräinten kustannusarvio ja ikkunaremontin, kattoremontin ja lisäeristämisen kustannusarviot. Tällöin saadaan tälle remontille kokonaisarvioksi 1 050 900 € eli 69 400 € enemmän kuin remonti ilman aurinkokeräimiä. Aurinkokeräinsysteemin todellinen hinta-arvio siis on 69 400 €. Tuon summan takaisinmaksuaika aurinkokeräinten tuottamalla hyödyllä olisi noin 11 vuotta.

Taulukko 4.10.4: Aurinkokeräinten kustannusarvio ja takaisinmaksuaika.

	€/M ²	YHTEENSÄ €	TAKAISINMAKSUAIKA (VUOTTA)
AURINKOKERÄINTEN KUSTANNUSARVIO	230	107 486	11 - 18
PARVEKEKAITEIDEN KUSTANNUSARVIO	230	58 250	27
AURINKOKERÄIMET + PARVEKEKAITEET + MUIDEN SEINIEN LEVYVERHOUS + LISÄERISTYS + KATTO + IKKUNAT JA OVET		1 109 000	45

	kWh/VUOSI	€/VUOSI
SYNTYNYT LÄMMITYSENERGI- AN SÄÄSTÖ	286 395	16276
SEINIEN AURINKOKERÄINTEN TUOTTO	102 292	6130
PARVEKKEIDEN AURINKOKE- RÄINTEN TUOTTO	36 035	2170
YHTEENSÄ	424 722	24376

Taulukko 4.10.5: Aurinkokeräimistä ja lisäeristyksestä syntynyt lämmitysenergian säästö.

Lasketaan mukaan vielä parvekekaiteisiin integroitujen keräinten kustannukset ja saadaan rakennusten julkisivuremontin kustannusarvioksi 1 109 000 €. Laskettaessa seinien ja parvekekaiteiden tuottama lämpö ja lisäeristämisen tuottaman lämmitysenergian säästö yhteen saadaan syntyneiksi säästöiksi yhteensä noin 24 400 €/vuosi. Koko rakennuksen vaipparemontin kulujen takaisinmaksuaika syntyneiden lämmitysenergian säästöjen kautta olisi tällöin noin 45 vuotta.

4.10.4 Vertailu

Aurinkolämpökeräimien integroiminen rakennusten eteläjulkisivuihin tässä esimerkkikohteessa siis maksaa noin 7 % enemmän kuin jos julkisivukorjaus tehtäisiin kokonaan julkisivulevyillä, mutta aurinkokeräinten tuottaman säästön ansiosta remontin takaisinmaksuaika lyhenisi 60 vuodesta 45 vuoteen. Aurinkokeräimillä varustettujen seinien itsensä takaisinmaksuaika olisi laskutavasta riippuen 11 tai 18 vuotta. Tämän perusteella voitaneen todeta, että keräimet ovat ainakin taloudellisesti kannattavia.

Mielestäni nykyisillä teräs- ja alumiiniprofiileilla saadaan rakennettua näyttäviä lasijulkisivuja. Nyt kun niiden alla olevien absorptiolevyjen ei enää tarvitse olla vain mustia vaan värejä voi olla muitakin ja absorptiolevyt voivat olla vaikkapa kuvioituja, eikä myöskään keräinten katteiden tarvitse olla kirkkaan läpinäkyviä, ei integroitujen aurinkokeräinrakentei-

den tarvitse hävitä myöskään ulkonäössä muille julkisivuratkaisuille.

4.10.5 Kustannusarvioista

Tässä työssä esitetyt kustannusarviot on tehty kirjallisuuden ja suullisten keskustelujen perusteella ja ne ovat suuntaa antavia. Niillä on vain ollut tarkoitus saada vertailukelpoisia lukuja eri suunnitteluratkaisujen suhteen. Kustannukset on laskettu ilman veroja. Arviot on tarkoitettu vain eri ratkaisujen vertailuun.



5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkolämpösystemit korjausrakentamisessa työn tarkoituksena oli selvittää auringonsäteilyenergian hyödyntämismahdollisuuksia Suomessa yleisellä tasolla ja erityisesti korjausrakentamisessa. Työssä tutustuttiin maanpinnalle saapuvan auringonsäteilyn määrään eri vuodenaikoina ja vuorokaudenaikoina. Tutustuttiin myös erilaisiin tapoihin auringonsäteilyn muuttamiseksi rakennuksissa käytettäväksi lämmöksi ja erilaisten teknologioiden soveltuvuutta korjausrakentamisessa. Esimerkkisuunnitelmien avulla tutustuttiin rakennuksen julkisivuun integroitujen aurinkokeräinten toimivuutta korjausrakentamisessa.

5.1 Auringonsäteilyn riittävyys Suomessa

Tässä työssä tutustuttiin auringonsäteilyn määrään Suomessa, sen vaihteluihin ja syihin vaihteluun. Tarkoituksena oli selvittää riittääkö auringonsäteilyn määrä Suomessa myös lämmityskaudella, jotta sillä lämmittämien kannattaisi taloudellisesti. Samalla tutkittiin, miten auringonkierto ja sen vaihtelut vaikuttavat aurinkolämpösystemien toimintaan ja miten auringonkierto ja sen vaihtelut tulisi ottaa huomioon rakennusten ja aurinkoenergiasysteemien suunnittelussa.

Auringonsäteilyn maanpinnalle saapuva määrä on Suomessa talvella vähäistä, jopa niin vähäistä, että joulukuusta tammikuussa sitä ei oikeastaan saa nimeksikään. Sen sijaan jo helmikuussa auringonsäteilyä saadaan keskimäärin $2230 \text{ Wh/m}^2/\text{vrk}$ Tam-

Kuva 5.1: Hallintorakennus Kronebergissä (inDetail; Hempel, Jörg)

pereen esimerkkikohteen etelänpuoleisille pystysuorille seinäpinnoin. Jos energiasta saadaan hyötykäyttöön vain 30 % tuosta määrästä eli $669 \text{ Wh/m}^2/\text{vrk}$ yhdellä neliömetrillä lämpökeräintä voidaan lämmittää $1,34 \text{ m}^2$ neliometriä esimerkkikohteen tiloista keskiverto helmikuun lämmitystarpeella. Maaliskuussa yksi neliometri keräintä tuottaa jo $846 \text{ Wh/m}^2/\text{vrk}$ ja tuolla lämpöenergialla voidaan lämmittää jo $2,08 \text{ m}^2$ esimerkiksi kohteen tiloista keskiverto maaliskuun lämmitystarpeella. Huhtikuussa vastaavat luvut ovat $1059 \text{ Wh/m}^2/\text{vrk}$ ja $3,77 \text{ m}^2$.

Luvut saattavat tuntua pieniltä, mutta kun otetaan huomioon, että esimerkkikohteessa eteläseiniin integroitujen keräinten yhteispinta-ala on 482 m^2 , niin keräimillä saadaan keskiverto maaliskuussa lämmitettyä 1820 m^2 rakennusten sisätiloista eli 29,7 %.

Vastoin yleistä käsitystä, näyttäisi vahvasti siltä, että aurinkoenergian määrä Suomessa on suurimpana osana lämmityskauttakkin riittävää siihen, että sitä on taloudellisesti kannattavaa hyödyntää rakennusten lämmittämiseen.

5.2 Keräinteknologioiden soveltuminen rakennusten julkisivuihin integrointiin

Tässä diplomityössä on lähinnä keskitytty ilmakiertoisten aurinkokeräinten integrointiin rakennuksiin. Koska nestekiertoiset tasokeräimet näyttävät ja käyttäytyvät hyvin samankaltaisesti, voidaan tässä työssä tehtyjä selvityksiä soveltaa niitten integrointiin melko hyvin.

Keräimiä on ulkonäöltään hyvinkin erilaisia ja niitten ulkonäköä voidaan muuntaa melko paljon. Erilaisia tapoja saada erilaisia värejä on useita ja väriskaala on melko laaja jos hyväksytään vain vähän alentunut absorptiokyky. Keräimien ei myöskään tarvitse olla lasilla tai muulla heijastavalla materiaalilla katettuja vaan on olemassa tehokkaita keräimiä, jotka näyttävät lähes tavallisilta julkisivun osilta. Pelkkä metallikasettiverhous, jonka taakse järjestetään tehokas ilmankierto ja josta lämmennyt ilma otetaan hyötykäyttöön, on melko hyvä aurinkokeräin.

Tulosten perusteella on selvää, että erilaisten aurinkoenergiasysteemien integrointiin rakennusten julkisivuihin ei ole enää arkkitehtonisia esteitä.

5.3 Aurinkokeräinten taloudellisuus

Tässä työssä arvioitiin julkisivuun integroiduille aurinkokeräimille yli kolminkertainen hinta tavalliseen julkisivulevyverhoukseen nähden. Koska keräimiä ei kuitenkaan asennettu esimerkkiratkaisuissa kaikkiin julkisivuihin eivätkä ne peitä niitäkään julkisivuja joihin ne suunniteltiin asennettaviksi kokonaan, koko rakennusten ulkoerhouskulut nousivat vain noin 24 %. Koko rakennusten vaipan remontointikulut nousivat noin 6 %. Aurinkokeräimet maksavat itsensä takaisin laskeutulla erittäin alhaisella 30 % hyötysuhteella jo 11 – 18 vuodessa ja lyhentävät koko vaipparemontin takaisinmaksuaikaa 25 % eli 60 vuodesta 45 vuoteen.

Voidaan todeta, että aurinkolämpökeräinten integroiminen rakennuksiin julkisivuremontin yhteydessä on taloudellisesti ehdottomasti kannattavaa.

5.4 Lopuksi

Lämpöä keräävien aurinkoenergiasysteemien hyödyntämismahdollisuuksiin pohjoisen oloissa tulisi tutkia vielä lisää. Näyttää vahvasti siltä, että niiden rakentaminen ja käyttäminen on Suomessa kannattavaa.

Varsinkin ilman avulla lämmön talteen ottavien ja siirtävien keräinten tutkiminen olisi varmasti kannattavaa. Ilmakeräimet ovat melko huoltovapaita, niissä ei ole vaarallisia kemikaaleja eikä niiden tarvitse pelätä vuotavan. Ilmakeräimet toisin kuin nesteen avulla lämmön talteen ottevat ja siirtävät keräimet eivät myöskään koskaan jäädy ja tuottavat ainakin hitusen lämpöä aina kun niihin osuu valoa.

LÄHTEET

ALAVUS IKKUNAT OY. *Alavus Ikkunat.* 13. Huhtikuu 2011. <http://www.alavusikkunat.fi/> (haettu 25. Huhtikuu 2011).

AYDIN, KAMAL. *Effect of heat absorbing media on thermal performance of air-type solar collectors.* Master's thesis, İzmir: The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, 2005.

BLOMSTER, PEKKA. "Puulajit." PuuProffa. 2004 - 2011. <http://www.puuproffa.fi/arkisto/puulajit.php> (haettu 25. Helmikuu 2011).

BOONSTRA, CHIEL. "Solar Energy in Building Renovation." IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 20. Lontoo: James & James, 1997.

BOURNE, MURRAY. "The Equation of Time." squareCircleZ. 26. Elokuu 2010. <http://www.squarecirclez.com/blog/the-equation-of-time/5039> (haettu 3. Maaliskuu 2011).

DREBS, ACHIM, ANNELI NORDLUND, PIRKKO KARLSSON, JAAKKO HELMINEN, JA PAULI RISSANEN. *Tilastoja Suomen ilmastosta 1971 - 2000.* Helsinki: Ilmatieteen laitos, 2002.

DUFFIE, JOHN A., JA WILLIAM A. BECKMAN. *Solar engineering of thermal processes, second edition.* New York: Wiley-Interscience, 1991.

ERAT, BRUNO, VESA ERKKILÄ, CHRISTER NYMAN, KIMMO PEIPPO, SEPPO PELTOLA, JA HANNU SUOKIVI. *Aurinko-opas : aurinkoenergiaa rakennuksiin.* Porvoo: Aurinkoteknillinen

Yhdistys ry - Soltekniska Föreningen rf, 2008.

FLINCK, JARI-PEKKA. *Uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet Nurmi-Sorilan alueen suunnittelussa.* Diplomityö, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, 2010.

GORDEAU, JUSTINE. "ESPERE Climate Encyclopedia : Clouds & Particles." ESPERE : Enviromental Science for Everybody Round the Earth. 6. Kesäkuu 2004. <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/25w.html> (haettu 15. Helmikuu 2011).

GORDON, J. *Solar Energy – The State of the Art*, ISES position papers. Lontoo: James & James, 2001.

HALLER, ANDREAS, ERNST SCHWEITZER, PETER O. BRAUN, JA KASTEN VOSS. "Transparen Insulation in Building Renovation." Solar Energy in Building Renovation. Lontoo: James & James, September 1997.

HILLIAHO, KIMMO. "Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset." Diplomityö, Rakennustekniikan laitos, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2010, 147. Ilmatieteen laitos - Ilmastokeskus. "Tilastotietoja 1981 - 2010." 15. Helmikuu 2011.

ILMATIETEEN LAITOS. *Lämmitystarveluku eli astapäiväluku.* 25. Marraskuu 2010. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> (haettu 4. Helmikuu 2011).

JOKINEN, JANNE. *"Thermera heat transfer fluid - a natural solution for heat transfer in building technology."* Proceedings of the Industry Workshop of the IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 26. Delft, Alankomaat, 2001. 17 - 20.

KOMULAINEN, KATRI. *"Aurinkolämpö – teknologia ja mahdollisuudet."* Pro gradu tutkielma, Kemian laitos, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä, 2006, 114.

KONTTINEN, PETRI. *Accelerated aging and optical characterization of absorber surfaces for solar collectors.* Lisensiaatintyö, Helsinki: Teknillinen Korkeakoulu, 2000.

TFY-56.4323 AURINKOENERGIA TEKNIikka L. Aalto-yliopisto - Noppa-portaali. 18. Helmikuu 2004. https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/tyf-56.4323/luennot/Tfy-56_4323_luento_4c.pdf (haettu 6. Maaliskuu 2011).

KUMAR, ASHISH. *Mathematical modeling of solar air heater with different geometries.* Master thesis, Patiala: Thapar University, 2009.

KURTBAS, IFRAN, JA EMRE TURGUT. *Experimental Investigation of Solar Air Heater with Free and Fixed Fins: Efficiency and exergy loss.* Tutkimusraportti, International Journal of Science & Technology, 2006.

LAITINEN, LEILA. *"131 Ilmasto : Auringonsäteily ja auringonpaiste."* Teoksessa Suomen Kartasto 1. : 5. laitos, 131/2-4. Helsinki: Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, 1993.

LEON, M., AUGUSTUS, JA S. KUMAR. *Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglezed transpired solar collectors.* Tutkimusraportti, Elsevier, ScienceDirect, 2005.

LUND, PETER. *"Tfy-56.4323 Aurinkotekniikka L - Tasoke-räin- perusteoria."* Aalto-yliopisto - Noppa-portaali. 1999. https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/tyf-56.4323/luennot/Tfy-56_4323_luento_6.pdf (haettu 6. Maaliskuu 2011).

MAANMITTAUSHALLITUS; SUOMEN MAANTIETEELLINEN SEURA. *Suomen kartasto 5. laitos.* Helsinki: Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, 1993.

MATTILA, ERKKA. *SääAsema.* 5. Helmikuu 2011. <http://www.eeki.biz/saahistoria.php> (haettu 5. Tammikuu 2011).

MOTIVA OY. *Tyhjiöputkikeräimet,* Motiva. 10. Helmikuu 2009. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeräimet (haettu 12. Tammikuu 2011).

NASA. *NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables : Latitude 61 / Longitude 23.* 10. Helmikuu 2011. <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/register.cgi> (haettu 10. Helmikuu 2011).

OREL, Z. C., M. K. GUNDE, JA M. G. HUTCHINS. *"Spectrally selective solar absorbers in different non-black colours."* Elsevier - SciVerse - ScienceDirect. 9. Kesäkuu 2004. <http://www.sciencedirect.com> (haettu 7. Maaliskuu 2011).

PORTEOUS, COLIN, JA KERR MACGREGOR. *Solar architecture in cool climates.* London, UK: Earthscan, 2005.

PVGIS® EUROPEAN COMMUNITIES. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, *Interactive access to solar resource and photovoltaic potential, Europe.* 20. Marraskuu 2008. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (haettu 16. Tammi-kuu 2011).

RAKENNUSTIETO. *ROK - Rakennusosien kustannuksia 2011.* Tallinna: Rakennustieto Oy, 2011.

ROECKER, CHRISTIAN, MARIA CRISTINA MUNARI-PROBST, ESTELLE DE CHAMBRIER, ANDREAS SCHUELER, JA JEAN-LOUIS SCARTEZZINI. *Facade integration of thermal solar collectors: a breakthrough?* Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2007.

RUBIN, M. "Optical Constants and Bulk Optical Properties of Soda Lime Silica Glasses for Windows." *Solar Energy Materials (Solar Energy Materials)*, 1985: 275 - 288.

SARKKULA, SEPPÖ. "131 Ilmasto : Pilvisyyys." Teoksessa Suomen Kartasto 1. : 5. laitos, 131/16-17. Helsinki: Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, 1993.

SAVONIA AMMATTIKORKEAKOULU. "Aurinkoenergia." *Savonia ammattikorkeakoulu : Auringonpaiste ja aurinkoenergian tuotto Varkaudessa.* 2010. <http://dmkk.savonia.fi/energiabara/images/stories/aurinkoenergia.pdf> (haettu 10. Helmikuu 2011).

SCHITTICH, CHRISTIAN, GERALD STAIB, DIETER BALKOV, MATTHIAS SCHULER, JA WERNER SOBEK. *Glass Construction Manual.* Altusried-Krugzell: Birkhäuser Verlag AG, 2007.

SIIKANEN, UNTO. *Rakennusaineoppi.* Hämeenlinna: Karisto Oy, 2001.

SOLANTIE, REIJO. "131 Ilmasto : Lumiolot." Teoksessa Suomen Kartasto 1. : 5. laitos, 131/18-22. Helsinki: Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura, 1993.

TALVENMAA, PÄIVI, JA HARRIET MEINANDER. "Esiselvitys faasimuutosmateriaalien mahdollisuuksista työntekijöiden kylmä- ja lämpöhaittojen vähentämiseksi." *Kuitumateriaalitekniikka*, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, 2007, 23.

UNIVERSITY OF OREGON - SOLAR RADIATION MONITORING LABORATORY. *Sun path chart program.* 21. Lokakuu 2008. <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php> (haettu 2. Maaliskuu 2011).

WEISS, W, STADLER, I. "Façade integration – a new and promising opportunity for thermal solar collectors." *Proceedings of the Industry Workshop of the IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 26.* Delft, Alankomaat, 2001. 59 - 63.

