

Tomi Moilanen

**Asuinrakennuksen kuivattaminen ilmaa väliaineena
käyttävän aurinkokeräimen avulla**



Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2017



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä(t): Moilanen Tomi

Työn nimi: Asuinrakennuksen kuivattaminen ilmaa väliaineena käyttävän aurinkokeräimen avulla

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: aurinkoenergia, lämpöenergia, aurinkokeräin, aurinkolämmitys, kuivatus, asuinrakennuksen kuivattaminen, ilmankosteus

Työssä tutkittiin aurinkoenergialla toimivia valmiita ratkaisuja sähköttömän asuinrakennuksen kuivattamiseen. Lisäksi suunniteltiin ilmaa väliaineena käyttävä aurinkokeräinlaite. Asuinrakennuksen lämpöhäviöt selvitettiin, jotta aurinkokeräinlaite voitiin mitoittaa rakennukseen. Mitoituksessa selvitettiin myös rakennuksen sijainnista johtuvat auringon säteilyolosuhteet ja laskettiin auringonpaiste tilaston avulla keskimääräinen energian tuotto kuukausikohtaisesti.

Suunnitellusta ja valmistetusta aurinkokeräin prototyypistä laskettiin tuotettu lämmitysteho ja sen sisätilan lämpenemiseen käytetty aika. Lopuksi pohdittiin prototyypin jatkokehitystä ja sen toimivuutta kuivattamiseen.

Abstract

Author(s): Moilanen Tomi

Title of the Publication: Dehumidifying a Residential Building by Using an Air-based Solar Collector

Degree Title: Bachelor's Thesis, Mechanical and Production Engineering

Keywords: solar collector, solar energy, thermal energy, dehumidifying, heat loss

This Bachelor's Thesis explores solar-powered ready-to-use solutions for dehumidifying a powerless residential building. In addition, a Solar Collector using air as a medium was designed. Heat losses were calculated for the building to allow the Solar Collector to be sized. Solar radiation conditions for the building were investigated to allow average energy yield calculations to be performed for every month. Sunshine statistics were used in calculations.

Designed and manufactured Solar Collector prototype was tested and calculations were performed from test results. Calculations include produced heating power and internal temperature rise per second for the prototype. Finally, further development of the prototype was investigated to allow possible productization.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn tavoite	1
1.2	Lähtötilanne	2
2	AURINKOENERGIA.....	3
2.1	Aurinkoenergia Suomessa	3
2.2	Auringon säteily.....	5
2.3	Aurinkoenergian hyödyntäminen	6
2.3.1	Aurinkokennot.....	7
2.3.2	Aurinkokeräimet.....	7
3	LÄMMITYSTEHON TARPEEN KARTOITTAMINEN	8
3.1	Ilman kuivaamisen teoriaa.....	8
3.2	Asuinrakennuksen ominaisuudet.....	9
3.2.1	Aurinkokeräimien sijoituspaikka	9
3.2.2	Rakennuksen mitat	11
3.2.3	Lämpöhäviöt	11
3.3	Kohteen sijainnin vaikutus	14
4	VALMIIDEN RATKAISUJEN TUTKIMINEN.....	16
4.1	Enean-valikoima.....	16
4.2	SolarVenti-valikoima	17
4.3	Soveltuvuus kohteeseen	17
5	AURINKOKERÄINPROTOTYYPIN SUUNNITTELU	18
5.1	Materiaalien ja komponenttien valinta	18
5.2	Prototyypin mitoitus.....	19
5.2.1	Teholaskelmat	19
5.2.2	Lämpenemisaika.....	21
5.3	3D-mallin tekeminen	22
5.3.1	3D-mallintaminen yleisesti	22
5.3.2	Prototyypin mallintaminen.....	22

6	PROTOTYYPIN VALMISTAMINEN	23
6.1	Komponentit.....	23
6.2	Kokoonpano.....	24
7	TULOKSET.....	28
7.1	Prototyypistä saadut mittaustulokset	29
7.1.1	Lämpenemisajan mittaus	29
7.1.2	Virtaukseton sisälämpötila	31
7.1.3	Prototyypin lämmitysteho.....	32
7.2	Prototyypin valmistuskustannukset.....	32
8	POHDINTA	33
8.1	Prototyypin jatkokehitys.....	33
8.1.1	Huollettavuus	33
8.1.2	Tuulettimen ohjaus	33
8.1.3	Laitteen asentaminen.....	34
8.2	Tuntemattomien tekijöiden vaikutus	34
9	YHTEENVETO.....	35
	LÄHTEET.....	36

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on löytää toimiva ratkaisu asuinrakennuksen kuivaamiseen. Asuinrakennusta käytetään väliaikaiseen asumiseen kevästä syksyyn. Tästä johtuen ratkaisun tulisi olla mahdollisimman huoltovapaa ja autonominen. Kuivattamisen tarkoituksena on ehkäistä rakennuksen rakenteiden ja esineistön kosteusvaurioita sen ollessa asumattomana. Kosteuden seurauksena rakennuksen sisäilmaan myös kehittyy epämiellyttäviä hajuja. Kuvassa 1 nähdään kosteuden tiivistymistä pöydän pinnalle.

Toimeksiantajan pyynnöstä ja omasta mielenkiinnosta johtuen kuivattamista lähdetään suunnittelemaan toimivaksi aurinkoenergialla. Ensin tutkitaan valmiita ratkaisuja ilman lämmittämiseen. Lisäksi suunnitellaan prototyyppilaitte, jolla tuotetaan auringonsäteilyn avulla lämmintä ilmaa.

Prototyyppilaitetta lähdetään suunnittelemaan, koska Suomessa on vain muutamia valmistajia tällä alalla ja ulkomailta saatavia laitteita ei ole suunniteltu Suomen olosuhteita silmällä pitäen. Mielenkiintoa laitteen suunnitteluun on täten paljon.



Kuva 1. Kosteutta tiivistyneenä kylmälle pöytäpinnalle rakennuksen sisällä.

1.2 Lähtötilanne

Asuinrakennus sijaitsee Ristijärvellä, Kainuussa (leveyspiiri 64°). Tontilla ei ole sähköliittymää. Rakennus lämmitetään pääasiallisesti puulla. Kohteessa on asennettuna pieni-muotoinen aurinkopaneelijärjestelmä. Järjestelmä koostuu 80 W aurinkopaneelistä, ajo-neuvon käynnistysakusta ja 10 A lataussäätimestä. Tontilla on myös muita erillisiä rakennuksia, kuten sauna, liiteri ja aitta. Seuraava kuva on otettu asuinrakennukselta itään päin.



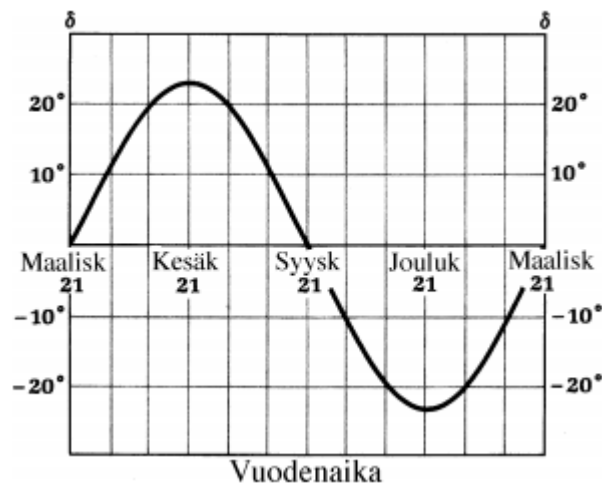
Kuva 2. Keväinen aurinko paistaa tontille.

2 AURINKOENERGIA

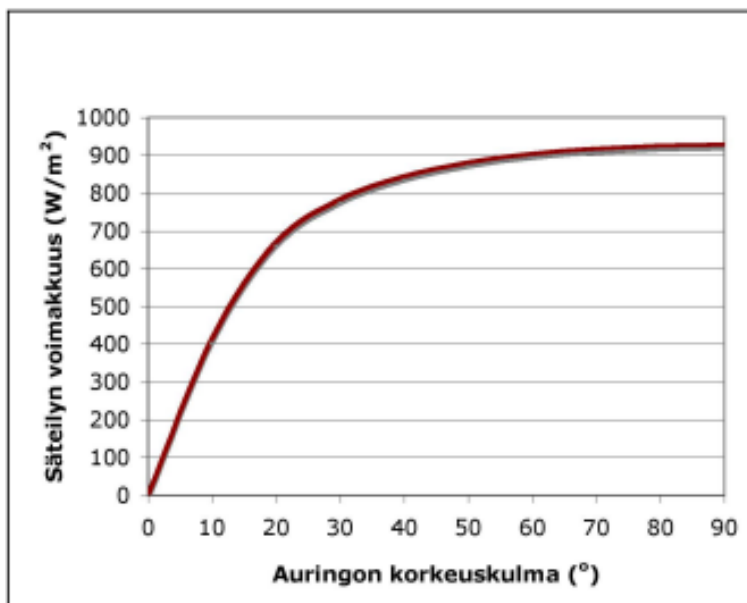
2.1 Aurinkoenergia Suomessa

Maan ilmakehän ulkopuolella aurinko säteilee 1368 W/m^2 kohtisuoraa pinta-alaa kohti. Maanpinnalle asti tästä saapuu noin 60 % eli noin 1000 W/m^2 . Suomessa neliöteho jää suurimmillaan vain noin 800 W tietämille. [1]

Vuodenajat johtuvat maan kiertämisestä auringon ympäri ja pyörimisakselin kaltevuudesta (kuva 3). Suomessa talvella aurinko paistaa matalalta. Auringon paistaessa matalalta on sen säteilyllä enemmän ilmakehää lävistettävänä, joten pintaan kohtisuoraan paistavan auringon neliöteho on tällöin pienempi. Kuvassa 4 nähdään auringon korkeuskulman vaikutus neliötehoon. Kriittinen kulma, jonka jälkeen neliöteho romahtaa jyrkästi, on noin $20\text{--}25^\circ$. [1]



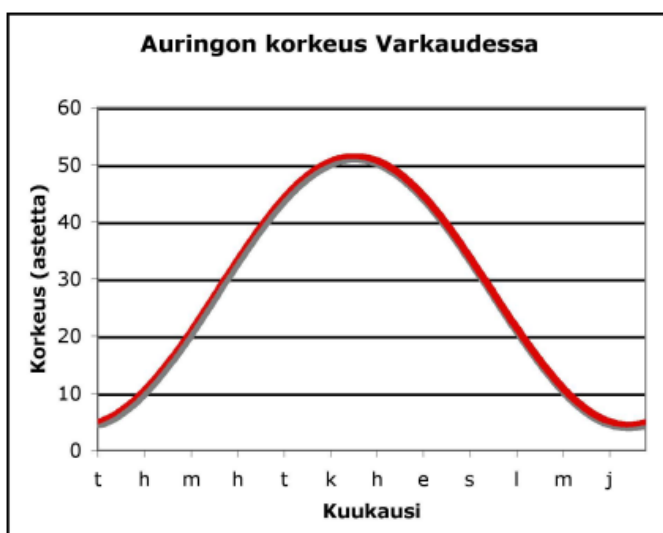
Kuva 3. Auringon deklinaation vaihtelu maasta katsottuna. [1]



Kuva 4. Auringon korkeuskulman vaikutus neliötehoon. [1]

Esimerkiksi Varkaudessa (leveyspiiri 62°) joulukuun aikaan auringon korkeuskulma suurimmillaan on vain noin 5° (kuva 5). Tästä seuraa, että neliöteho jää noin 100 W tasolle. Juhannuksen aikaan keskipäivällä korkeuskulma menee hieman yli 50°. Tällöin neliöteho lähentelee jo 900 W/m². [1]

Auringon säteily voidaan jakaa kolmeen osaan; suoraan säteilyyn, hajasäteilyyn ja heijastuneeseen säteilyyn. Todellinen efektiivinen neliöteho saadaan näiden yhdistelmästä. [1]



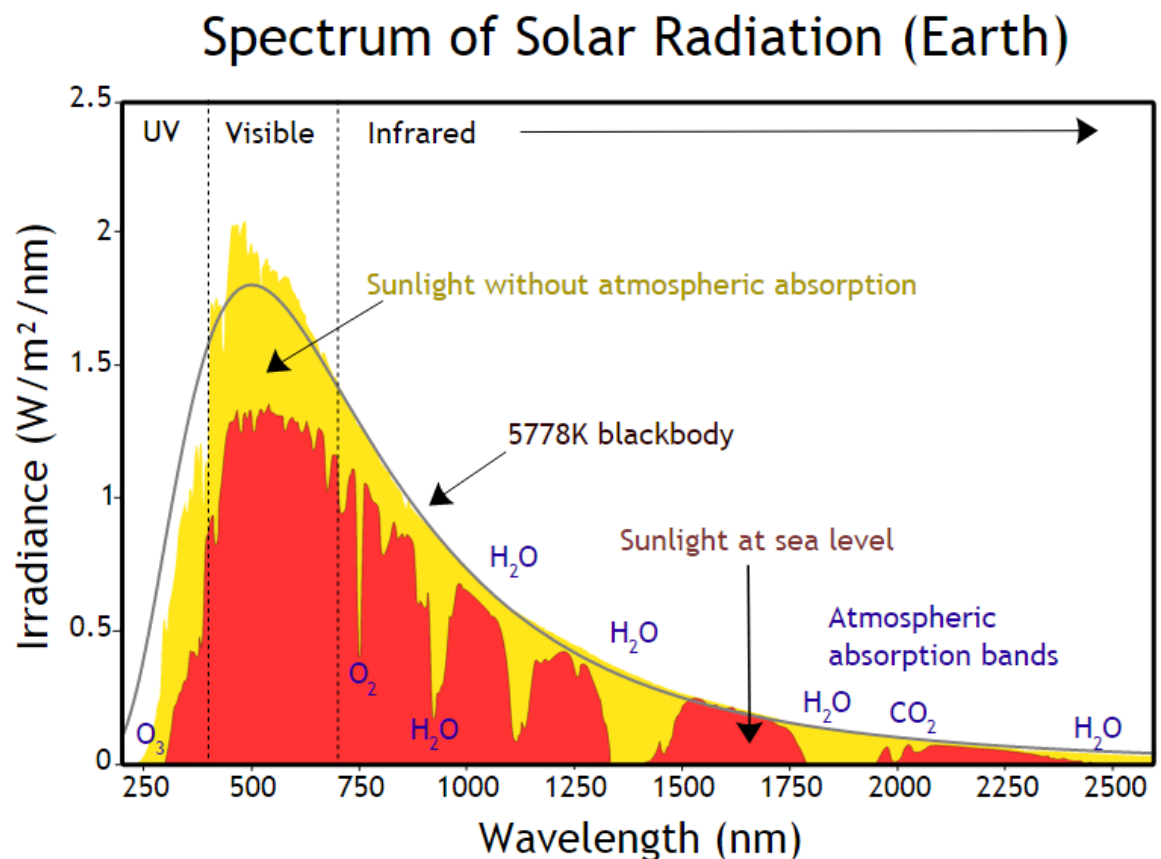
Kuva 5. Auringon suurin korkeuskulma vuoden aikana Varkaudessa. [1]

2.2 Auringon säteily

Maahan saapuu auringon säteilynä vuosittain energiaa noin $5,46 \times 10^{24}$ J. Tästä energiasta noin 30 % heijastuu takaisin avaruuteen. 20 % absorboituu pilviin ja ilman hiukkasiin. Jos maanpinnalle tulleesta säteilystä hyödynnettäisiin edes 0,01 %, riittäisi se tyydyttämään maailman energiantarpeet. [4]

Auringon säteilyn spektri seuraa täydellisesti niin sanottua mustan kappaleen säteilyä. Huoneen lämpöinen (293 K) kappale säteilee infrapuna-alueella, jota ihminen ei näe. Auringon lämpötila on 5778 K ja sen säteilypiikki on näkyvän valon alueella. [4] [5]

Kuvassa 6 esitetään keltaisella auringon säteilyn spektri maan ilmakehän ulkopuolella ja punaisella merenpinnan tasolla. Musta viiva esittää laskennallisen mustan kappaleen spektrikäyrän, joka seuraa Planckin lakia. [5]



Kuva 6. Auringon spektri ilmakehässä ja sen ulkopuolella. [5]

Säteilyenergiasta saadaan lämpöenergiaa absorboimalla sitä. Tummat värisävyt absorboivat näkyvää valoa tehokkaasti, kun taas vaaleat värit heijastavat sitä. Materiaalien pinnan karheudella on myös vaikutuksensa säteilyn absorptioon ja heijastumiseen. [6] [7] Säteilyn absorboitumista voidaan tehostaa muotoilemalla absorptiopinta niin, että siitä mahdollisesti heijastuva säteily saa uuden mahdollisuuden absorboitua. [7]

2.3 Aurinkoenergian hyödyntäminen

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko suoraan tai epäsuorasti. Energian suoralla hyödyntämisellä tarkoitetaan auringon säteilyenergian muuttamista haluttuun muotoon välittömästi. Epäsuora hyödyntäminen tarkoittaa esimerkiksi sitä, että säteilyenergia muutetaan ensin sähköenergiaksi ja vasta sitten lämpöenergiaksi. Energian konversiossa hyötysuhde laskee aina ja tästä johtuen konversioiden määrä tulee minimoida.

Aurinkoenergian tehokas hyödyntäminen riippuu myös halutusta käyttösovelluksesta. Lämmitystä ajatellen energian muutos suoraan lämmöksi olisi tehokkainta. Jos taas tavoitteena olisi sähköistää rakennus täysin aurinkoenergialla, voisi myös lämmityksen toteuttaa sähköllä. Näin tarvitsisi investoida vain yhteen järjestelmään.

2.3.1 Aurinkokennot

Aurinkokennoilla voidaan muuttaa auringon säteilyenergiaa suoraan sähköenergiaksi. Aurinkokennojen hyötysuhde on noin 20–40 %. Kuvassa 7 nähdään useista kennoista koostuva paneeli. Esimerkkinä eräs kaupallinen paneeli, jonka pinta-ala on 1,37 m² ja teho 185 W. [8] [9] Esimerkin teho pitää paikkansa täydellisissä olosuhteissa ja kun paneeli on kohtisuoraan aurinkoon päin. Lisäksi, jotta kyseiseen tehoon päästään oikeissa sovelluksissa, vaatii se MPPT-lataussäätimen. MPPT tulee sanoista Maximum Power Point Tracking.



Kuva 7. Aurinkopaneeli koostuu useista aurinkokennoista. [9]

2.3.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimillä tuotetaan säteilystä lämpöenergiaa. Lämpöenergia varastoidaan väliaineeseen, joka kuljetetaan sitä hyödyntävään käyttökohteeseen. Väliaineena voidaan käyttää esimerkiksi vettä tai ilmaa. Suurissa järjestelmissä käytetään myös öljyä ja nesteistä suolaa. Lämpöenergia voidaan käyttää heti tai tarvittaessa ottaa varastoidusta väliaineesta. [7] Aurinkokeräimien toimintaperiaate on, että laitteen sisälle tuleva säteily absorboidaan. Absorboitu säteily lämmittää absorptiopintaa. Absorptiopinnasta lämpö johdetaan keräimessä käytettyyn väliaineeseen.

Keräimien hyötysuhde määritetään vallitsevan säteilyn neliötehon, keräimen pinta-alan ja keräimen tuottaman lämpötehon avulla. Tyypillisesti keräimien hyötysuhde on väliltä 40–85 %. [7]

3 LÄMMITYSTEHON TARPEEN KARTOITTAMINEN

Lämmitystehon tarve määrittyy rakennuksen mittojen, auringon optimaalisen säteilytehon ja lämmitysajan mukaan. Lämmitysaikaa voidaan arvioida auringon korkeuskulmasta. Auringon korkeuskulman ollessa noin 25° on sen neliöteho suurimmillaan. Optimaaliseksi lämmitysajaksi saadaan se, kuinka kauan aurinko viettää aikaa kyseisen kulman yläpuolella. [1]

Tuotettuun energiamäärään vaikuttaa myös sää. Sään vaikutus tehontarpeeseen voidaan ottaa huomioon riittävällä ylimitoituksella. Tilastoja tutkimalla voidaan ennustaa tietyn aikavälin keskimääräinen auringonpaiste ja laskea tuotettu keskimääräinen energiamäärä.

3.1 Ilman kuivaamisen teoriaa

Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilman todellisen kosteuden ja tietyssä lämpötilassa vallitsevan maksimaalisen kosteuden suhdetta. Kastepiste tarkoittaa lämpötilaa, jossa suhteellinen kosteus on 100 %. Suhteellisen kosteuden ollessa 100 % alkaa vesi tiivistyä pinnoille ja muodostaa sumua, koska ilma ei enää kykene sitomaan enempää vettä. [3]

Ilman suhteellista kosteutta saadaan pienennettyä ilmaa lämmittämällä. 0°C ilman kylläisen vesihöyryn tiheys on $4,85\text{ g/m}^3$. Jos ilmaa lämmitetään 5°C , on kylläisen vesihöyryn tiheys $6,80\text{ g/m}^3$. [2] Kylläisellä vesihöyryllä tarkoitetaan suurinta mahdollista määrää vettä kuutiossa ilmaa tietyssä lämpötilassa. Ilmaa lämmitettäessä absoluuttinen kosteus pysyy vakiona, jos oletetaan, että ympäristöstä ei vapaudu kosteutta. Lämmitetyn ilman kuivaava vaikutus tulee siitä, että se kykenee sitomaan itseensä enemmän vettä. [3]

3.2 Asuinrakennuksen ominaisuudet

3.2.1 Aurinkokeräimien sijoituspaikka

Asuinrakennus on rakennettu 50-luvulla. Rakennus koostuu pääasiassa puusta. Lämpöeristeenä käytetään sahanpurua. Sisäpinta-alaa on 40 m². Aurinko paistaa hyvin länsi- ja eteläseinälle maaliskuun puolivälistä syyskuun puoliväliin, jolloin auringon korkeuskulma on vähintään noin 25° keskipäivällä. [1]

Kuvassa 8 nähdään eteläpuoleinen seinä. Seinälle ei aurinkopaneelista johtuen voida asentaa järkevästi aurinkokeräimiä. Asennuskelpoista pinta-alaa seinällä olisi 5,12 m², jos aurinkopaneeli siirrettäisiin eri paikkaan. Paneelin siirtämisestä seuraisi sähkökaapeloinnin uudelleen asentamista.



Kuva 8. Rakennuksen eteläseinä.

Itäseinällä kerääjille soveltuvaa pinta-alaa on 12 m² (kuva 9). Aurinko paistaa seinälle päivän aikana ensimmäisenä. Puita tai muita esteitä ei ole varjostamassa, joten asennuspaikkana tämä olisi paras mahdollinen.

Länsiseinää varjostavat puut, koska aurinko paistaa silloin liian matalalta. Lisäksi länsiseinällä on iso ikkuna, joka rajoittaa keräimien asennusmahdollisuuksia.



Kuva 9. Rakennuksen itäseinä.

3.2.2 Rakennuksen mitat

Rakennuksella on pituutta 8 metriä, leveyttä 5 metriä ja korkeutta 2,5 metriä sisältä mitattuna. Rakennuksen vaipan pinta-ala on 145 m². Ylä- ja alapohjan pinta-alat ovat 40 m². Seinien pinta-ala ikkunat vähennettynä on 58,2 m². Rakennuksessa on kahden kokoista ikkunaa. Yhden ison ikkunan pinta-ala on 1,9 m² ja neljän pienemmän ikkunan pinta-alat ovat yhteensä 5 m² (kuva 10). Seinien paksuus on noin 170 mm ja ikkunoiden 100 mm.



Kuva 10. Pienempi ikkuna mökin sisältä.

3.2.3 Lämpöhäviöt

Lämpöhäviöt selvitetään, jotta lämmitystehon tarve saadaan määritettyä. Rakennuksen seinä-, pohja- ja kattorakenteille määritetään U-arvot, joiden avulla voidaan määrittää johtumisesta aiheutuvat lämpöhäviöt. Vuotoilman aiheuttama häviö myös arvioidaan. Korvausilma saadaan aurinkokeräimen läpi lämmitettynä, joten ilmanvaihdosta ei synny suuria häviöitä. [14]

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin saadaan laskettua kaavalla 1.

$$U = \frac{1}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3}} \quad [2] \quad (1)$$

U = Lämmönläpäisykerroin (W/m^2K)

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ = Eristekerrosten lämmönjohtavuudet (W/mk)

l_1, l_2, l_3 = Eristekerrosten paksuudet (m)

Rakennuksen ulkoseinät koostuvat sisäseinän lautapaneloinnista, puukuitulevystä, vinolaudoituksesta, purueristeestä ja ulkolaudoituksesta. Materiaalien lämmönjohtavuudet ja ainevahvuudet luetellaan taulukossa 1.

Taulukko 1. Ulkoseinän materiaalien lämmönjohtavuudet ja ainevahvuudet. [2] [15]

	Lämmönjohtavuus W/mk	Ainevahvuus mm
Sisäseinäpaneeli	0,2	15
Puukuitulevy	0,06	15
Vinolaudoitus	0,2	20
Purueriste	0,12	100
Ulkolaudoitus	0,2	20

Taulukon 1 arvoilla saadaan laskettua rakennuksen ulkoseinän U-arvo. U-arvoksi saadaan $0,74 W/m^2K$. Ylä- ja alapohjan U-arvot arvioidaan tyypillisen tämän ikäisen rakennuksen mukaan. Yläpohjalle saatiin arvo $0,47 W/m^2K$ ja alapohjalle $0,33 W/m^2K$. [16] Väliovelle saadaan U-arvo $5 W/m^2K$. Väli-oven ja ulko-oven välinen eteistila toimii lämpöpöuskurina. Johtumisesta aiheutuvat lämpöhäviöt saadaan laskettua kertomalla U-arvot pinta-aloilla ja lämpötilaerolla. Lämpötilaerona voidaan käyttää $5 ^\circ C$, koska se riittää ilman kuivaamiseen.

Ikkunoiden U-arvo saadaan laskettua taulukon 2 arvoilla. Ikkunoiden U-arvoksi saatiin $0,28 W/m^2K$.

Taulukko 2. Ikkunoiden materiaalien lämmönjohtavuudet ja ainevahvuudet. [2]

	Lämmönjohtavuus W/mk	Ainevahvuus mm
Lasi	1,36	4
Ilma	0,026	92
Lasi	1,36	4

Vuotoilmavirta saadaan laskettua kaavalla 2.

$$q_v = \frac{q_{50}}{3600x} A \quad [14] \quad (2)$$

q_v = Vuotoilmavirta (m³/s)

q_{50} = Rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m³/hm²)

A = Rakennusvaipan pinta-ala

x = Kerroin, joka määrittyy rakennusten kerrosten mukaan

Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna voidaan käyttää 4 m³/hm², kun ilmanpitävyyttä ei tunneta. Kertoimena x käytetään 1. [14] Vuotoilmavirraksi saadaan 0,161 m³/s.

Vuotoilmavirrasta aiheutuva lämpöhäviö saadaan laskettua kaavalla 3.

$$Q = \rho_i c_{pi} q_v \Delta T \quad [14] \quad (3)$$

Q = Lämpövirta (W, J/s)

ρ_i = Ilmantiheys (kg/m³)

c_{pi} = Ilman lämpökapasiteetti (J/kgK)

q_v = Vuotoilmavirta (m³/s)

ΔT = Sisä- ja ulkolämpötilan ero (°C)

Ilmantiheydenä käytetään arvoa 1,293 kg/m³. Lämpökapasiteetti on 1000 J/kgK. [2] Lämpötilaerona voidaan käyttää 5 °C. Vuotoilmavirran aiheuttamaksi lämpöhäviöksi saadaan 1,03 kW. Arvoa tulee käsitellä kriittisesti, koska vuotoilmavirta perustuu hyvin teoreettiseen arvioon. Lämpöhäviö tuntuu todella suurelta suhteessa lämpötilaeroon.

U-arvot kertomalla pinta-aloilla ja lämpötilaerolla saadaan johtumalla tapahtuvat lämpöhäviöt laskettua. Seinien lämpöhäviöksi saadaan 214 W, yläpohjalle 94 W, alapohjalle 66 W, välivallalle 25 W ja ikkunoille yhteensä 9,6 W. Yhteensä siis 409 W 5°C lämpötilaerolla.

3.3 Kohteen sijainnin vaikutus

Ristijärvellä (leveyspiiri 64°) maaliskuun puolivälissä auringon korkeuskulma on yli 25° 3,5 tunnin ajan. [13] Kuvasta 4 nähdään, että auringosta saatava suora säteilyn neliöteho on tällöin noin 750 W/m². Tuotettu energiamäärä saadaan laskettua kertomalla neliöteho pinta-alalla ja lämmitysajalla. Esimerkkinä 1 m² aurinkokeräin voisi teoriassa tuottaa 3,5 tunnin aikana 9,45 MJ energiaa eli 2,6 kWh. Juhannuksena aurinko paistaa optimaalisissa olosuhteissa 10 tunnin ajan. [13] Tällöin energiaa voitaisiin teoriassa tuottaa 27,0 MJ eli 7,5 kWh.

Tilastoja tutkimalla voidaan arvioida tuotettua energiamäärää vuositasolla. Taulukossa 3 esitetään Oulun lentoaseman (leveyspiiri 65°) keskimääräiset auringonpaistetunnit vuodesta 1981 vuoteen 2010 olevalta ajanjaksolta. Kyseistä mittauspistettä hyödynnetään, koska se on lähimpänä asuinrakennuksen sijaintia.

Taulukko 3. Oulun lentoaseman tilastoidut auringonpaistetunnit. [19]

Auringonpaistetunnit Duration of sunshine				
Karvo Mean	Absol ylin/max	V/Year	Absol alin/min	V/Year
5401	OULUNSALO OULUN LENTOASEMA			
24	53	2000	2	1993
69	110	1994	36	1990
137	223	2005	56	1986
208	276	1998	144	1983
273	348	2002	177	1991
296	390	1997	174	1993
283	376	1994	194	1984
212	354	1996	107	1992
133	211	1999	61	1992
69	109	1988	33	1984
28	62	1995	6	2009
8	22	2003	0	4/30

Keskimääräisten auringonpaistetuntien ja kuukauden keskimääräisten säteilyn neliötehojen avulla saadaan suurin mahdollinen keskimääräinen energian tuotto neliötä kohti laskettua. Seuraavassa taulukossa esitetään Ristijärvellä vallitsevat neliötehot kuukausittain. Neliötehot kuvaavat aurinkoon kohtisuoraan olevaa pinta-alaa.

Taulukon 4 neliötehoarvot kertomalla taulukon 3 kuukausikohtaisilla auringonpaistetunneilla saadaan keskimääräinen energian tuotto neliötä kohti laskettua jokaiselle kuukaudelle. Taulukossa 5 esitetään keskimääräiset energian tuotot.

Taulukko 4. Ristijärvellä vallitsevat neliötehot kuukausittain. [13] [1]

Ristijärvi		64°30'N - 28°12'E	
	Auringon suurin korkeuskulma kuukauden alussa	Auringon suurin korkeuskulma kuukauden lopussa	Keskimääräinen neliöteho (W/m ²)
Tammikuu	2°48'	8°21'	225 W/m ²
Helmikuu	8°38'	17°45'	475 W/m ²
Maaliskuu	18°08'	29°51'	685 W/m ²
Huhtikuu	30°14'	40°25'	805 W/m ²
Toukokuu	40°44'	47°30'	845 W/m ²
Kesäkuu	47°38'	48°40'	860 W/m ²
Heinäkuu	48°36'	43°41'	855 W/m ²
Elokuu	43°26'	34°02'	825 W/m ²
Syyskuu	33°40'	22°36'	750 W/m ²
Lokakuu	22°13'	11°22'	565 W/m ²
Marraskuu	11°03'	4°00'	315 W/m ²
Joulukuu	3°51'	2°42'	175 W/m ²

Taulukko 5. Kuukausikohtaiset keskimääräiset energian tuotot neliötä kohti.

	Keskimääräinen energia kWh/m ²	Keskimääräinen energia MJ/m ²
Tammikuu	5,40 kWh/m ²	19,44 MJ/m ²
Helmikuu	32,70 kWh/m ²	117,99 MJ/m ²
Maaliskuu	93,84 kWh/m ²	337,84 MJ/m ²
Huhtikuu	167,44 kWh/m ²	602,78 MJ/m ²
Toukokuu	230,68 kWh/m ²	830,46 MJ/m ²
Kesäkuu	254,56 kWh/m ²	916,41 MJ/m ²
Heinäkuu	241,96 kWh/m ²	871,07 MJ/m ²
Elokuu	174,90 kWh/m ²	629,64 MJ/m ²
Syyskuu	99,75 kWh/m ²	359,10 MJ/m ²
Lokakuu	38,98 kWh/m ²	140,34 MJ/m ²
Marraskuu	8,82 kWh/m ²	31,75 MJ/m ²
Joulukuu	1,40 kWh/m ²	5,04 MJ/m ²

4 VALMIIDEN RATKAISUJEN TUTKIMINEN

Suomessa aurinkokeräimiä on saatavilla useilta valmistajilta. Näistä tunnetuimmat ovat Enean ja SolarVenti, jotka valmistavat ilmaa väliaineena käyttäviä aurinkokeräimiä. Enean on suomalainen valmistaja, ja se mainostaa aurinkokeräimiään kuivaamiseen soveltuviksi. SolarVenti on tanskalainen valmistaja, joka on ollut alalla vuodesta 1986 lähtien. [10] [11]

Valmistajien sivuilla ilmoitetaan aurinkokeräimien soveltuvuus rakennuksen pinta-alan mukaan. Lisäksi on ilmoitettu teho, koko, paino ja puhaltimen suorituskyky.

4.1 Enean-valikoima

Enean valikoimasta SH713-mallin ilmoitetaan soveltuvan alle 50 m² tilan lämmittämiseen (kuva 11). Tehoksi ilmoitetaan 1000 W. Koko 130 x 70 cm. Paino 14 kg. Tuotteella on viiden vuoden takuu. Hintaa tuotteella on toimituskulujen kanssa 628 € Eneanin keräin-toimituksessa tulee mukana asennukseen tarvittavat komponentit kuten liitoskaulus ja kiinnikkeet. Enean myy myös kerääjiä erikoismitoin tilauksesta. Keräimen koon pystyisi mitoittamaan tarkalleen halutun seinäpinta-alan mukaan. [11]



Kuva 11. Enean-aurinkokeräin. [11]

4.2 SolarVenti-valikoima

SolarVenti valikoimassa SV7-mallin ilmoitetaan soveltuvan 50 m² tiloihin (kuva 12). Tehoksi ilmoitetaan 500 W. Koko 100,4 x 70,4 x 5,5 cm. Paino 8 kg. Tuotteella on viiden vuoden takuu. Tuotteen ilmoitetaan olevan huoltovapaa, jopa 15 vuoteen asti. Lisävarusteena myydään termostaatti. Suomessa Prisma jälleenmyy kyseistä aurinkokeräintä hintaan 749 € [10]



Kuva 12. SolarVenti aurinkokeräin. [10]

4.3 Soveltuvuus kohteeseen

Kummatkin aurinkokeräimet soveltuvat ominaisuuksiltaan kohteeseen hyvin. Kokojensa puolesta niitä pystyttäisiin asentamaan seinille useampiakin. Keräimet eivät toimintaansa vaadi sähkökytkentää, koska niissä on integroituna aurinkopaneeli, josta saadaan teho tuulettimen pyörittämiseen. Pelkkää hintaa katsomalla Enean olisi paras. SolarVenti on kalliimpi mutta laadukkaamman oloinen. Toisaalta Eneanin ostolla tukisi suomalaista yritystä. SolarVenti mainostaa tuotteitaan huoltovapaiksi, mikä olisi etu sijoituskohdetta ajatellen.

5 AURINKOKERÄINPROTOTYYPIN SUUNNITTELU

5.1 Materiaalien ja komponenttien valinta

Prototyypin suunnittelu aloitettiin tutkimalla saatavilla olevia materiaaleja. Materiaalien perusteella määritetään prototyypin koko. Materiaaleiksi valitaan havupuulautaa seiniksi, filmivaneri pohjalevyksi ja pintalevyksi polykarbonaatti. Absorptiopinnaksi valittiin 20 mm halkaisijalla ja 1 mm ainevahvuudella olevaa alumiiniputkea, koska sen lämmönjohtavuus on hyvä ja muoto edistää säteilyn absorptiota sekä lämmön siirtymistä ilmaan niiden sisällä. [7][2] Alumiiniputket myös maalattiin mattamustalla maalilla absorptio tehostamiseksi. [6] Putket valittiin, koska niiden hinta ja saatavuus ovat kohdallaan suhteessa haluttuihin ominaisuuksiin. 120 mm tuulettimesta saadaan prototyypin lämmönsiirtoon puhallin. Tuulettimelle ilmoitettu kierrosnopeus on 800 rpm ja virtaus 40 kuutiojalkaaminuutissa, joka kuutiometreinätunnissa on noin 68 m³/h [12].

Puun käyttö aurinkokeräimessä on hyödyllistä, koska se toimii luonnostaan hyvänä eristeenä huokoisuutensa vuoksi. Lisäksi puu on uusiutuva raaka-aine. Eristeenä voitiin myös käyttää ilmaa. Ilma toimii hyvänä eristeenä ja samalla on myös auringon valoa läpäisevää. [2] Ilman tulee olla suljetussa tilassa, josta se ei pääse karkaamaan. Tämä vaatii aurinkokeräimen saumojen hyvää tiivistämistä. Tiivistäminen toteutettiin käyttämällä saumoissa tiivistemassaa osien kokoonpanovaiheessa. Tiivistemassaksi valitaan FixAll, koska sitä oli saatavilla riittävästi ja se täyttää tarvittavat vaatimukset kuten veden ja lämmön kestävyiden. Tiivistemassa myös säilyttää elastisuuden kuivumisen jälkeen, mikä on eduksi lämpölaajenemisesta johtuvien mekaanisten rasitusten vuoksi. [17]

5.2 Prototyypin mitoitus

Mitoituksessa määräävät tekijät olivat polykarbonaattilevyn ja filmivanerin koko. Polykarbonaattilevyn mitat olivat 1250 x 600 x 2 mm. Filmivanerin mitat ovat 1250 x 680 x 9 mm. Seinien paksuudeksi tulee lautojen paksuus eli 22 mm, leveys ulkoseinillä on 60 mm ja sisäseinillä 58 mm. Ulko- ja sisäseinien väliin tulee 46 mm ilmarako, joka toimii eristeenä. Ilmarakojen päälle tulee filmivanerista listat. Listakomponentteja tulee 3 kappaletta, ylös ja sivuille. Ylös tulevan listan mitat ovat 680 x 90 mm. Sivuille tulevien listojen mitat ovat 1250 x 90 mm. Filmivanerin, alumiiniputkien ja polykarbonaattilevyn väliin jää myös ilmarako, joka on suuruudeltaan 19 mm. Alumiiniputkea tarvittiin yhteensä 25 metriä. Alumiiniputket sahuutettiin valmiiksi 1 m pituisiksi. Putket eivät yllä aivan ylös asti, koska tuulettimelle pitää jättää tilaa. Tuulettimelle jäävä tila on noin 500 x 160 x 58 mm. Tuuletin voitiin sijoittaa sille varatun tilan sisälle mihin kohtaan vain. Prototyypille tulee paksuutta noin 78 mm.

5.2.1 Teholaskelmat

Prototyypille lasketaan lämpöteho ja lämpöhäviöt. Nämä summaamalla saadaan teoreettinen hyötyteho laskettua. Keräinpinta-alaa prototyypille tulee 0,57 m². Tästä saadaan laskettua 750 W/m² neliöteholla tehontuotoksi 427,5 W. [1]

Lämpöhäviöiden laskeminen aloitettiin määrittämällä U-arvot eli lämmönläpäisykertoimet. U-arvot prototyypille saadaan laskettua kaavalla 1. Taulukon 6 avulla määritetään prototyypin seinien U-arvo. Arvoksi saadaan 0,5 W/m²K.

Taulukko 6. Prototyypin seinien materiaalien lämmönjohtavuudet ja ainevahvuudet. [2]

	Lämmönjohtavuus W/mk	Ainevahvuus mm
Havupuulauta	0,2	22
Ilma	0,026	46
Havupuulauta	0,2	22

Taulukon 7 arvoilla määritetään etu- ja takapuolen U-arvot. Etupuolen U-arvoksi saadaan 1,35 W/m²K. Takapuolelle 1,26 W/m²K. Ilmanoton U-arvoja ei tarvitse huomioida, koska lämpötilaeron voidaan ajatella olevan 0 °C ja täten häviöitä ei merkittävästi pääse synty-
mään.

Taulukko 7. Prototyypin etu- ja takapuolen lämmönjohtavuudet ja ainevahvuudet. [2]

Etupuoli	Lämmönjohtavuus W/mk	Ainevahvuus mm
Pleksilasi	0,19	2
Ilma	0,026	19

Takapuoli	Lämmönjohtavuus W/mk	Ainevahvuus mm
Filmivaneri	0,15	9
Ilma	0,026	19

Määritetyillä U-arvoilla voidaan laskea prototyypin johtumalla tapahtuvat lämpöhäviöt. Lämpötilaerona käytetään 20 °C. Seinien yhteenlaskettu pinta-ala on 0,191 m². Prototyypin etu- ja takapuolen pinta-ala karkeasti 0,85 m².

Lämpöhäviöiksi saadaan seinille 2 W. Etupuolelle 23 W ja takapuolelle 22 W. Yhteensä siis 47 W. Nettoteho saadaan laskettua vähentämällä häviöt laskennallisesta tehosta. Nettotehoksi saadaan 380 W.

5.2.2 Lämpenemisaika

Prototyypin sisäiselle lämpötilalle saadaan laskettua lämpenemisaika. Aikaan vaikuttavat käytettyjen materiaalien lämpökapasiteetit, massat ja käytetty lämpötilaero. Lämpenemisaika otetaan huomioon, koska laitteesta ei saada lämmintä ilmaa heti. Liian pitkä lämpenemisaika esimerkiksi rajoittaa puolipilvisellä säällä tuotettua energiaa. Alumiiniputkien lämpenemisaika t saadaan kaavalla 4.

$$t = \frac{\Delta T}{\left(\frac{qdl}{cV\rho}\right)} \quad [2] \quad (4)$$

t = Lämpenemiseen kulunut aika (s)

ΔT = Lämpötilaero (°C)

q, d, l = Putken projektiopinta-ala kerrottuna neliöteholla q (J/s, W)

c = Aineen ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)

V = Putken ainevahvuuden tilavuus $((\pi r_1^2 - \pi r_2^2)l)$ (m³)

ρ = Aineen tiheys (kg/m³)

Alumiinin tiheys on $2,7 \times 10^3$ kg/m³ ja ominaislämpökapasiteetti 896 J/kgK. [2] Putken ainevahvuustilavuudeksi saadaan $1,31 \times 10^{-4}$ m³. Neliötehona käytetään 750 W/m² ja lämpötilaerona 20 °C.

Arvot syöttämällä kaavaan saadaan lämpenemisajaksi sekunneissa laskettua 365 eli pyöreästi noin 6 minuuttia. Lämpenemiseen tarvittava aika luonnollisesti kasvaa lämpötilan kasvaessa, koska häviöt riippuvat lämpötilaerosta.

5.3 3D-mallin tekeminen

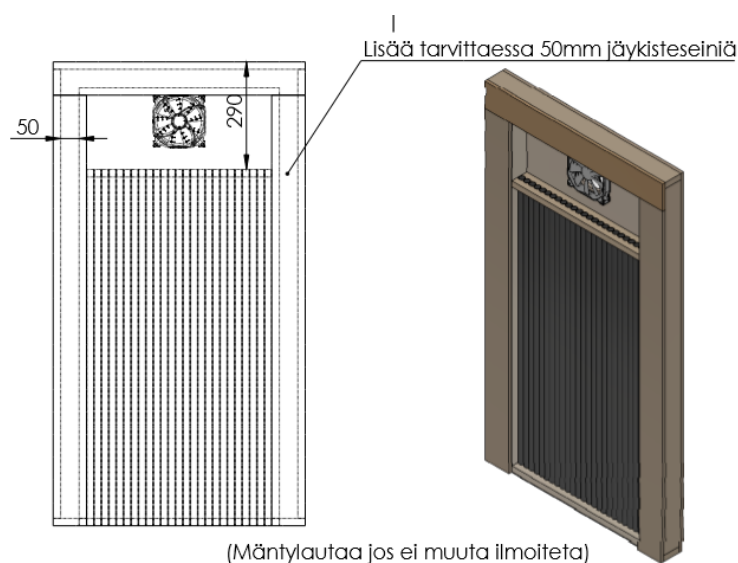
5.3.1 3D-mallintaminen yleisesti

3D-mallintamisella voidaan suunnitella tuotteita tietokoneavusteisesti. 3D-mallintaminen mahdollistaa tuotteen toiminnallisuuden tarkastelun ja valmistusteknisen suunnittelun tehokkaasti. Ohjelmistojen avulla malleista saadaan tulostettua valmistusta tukevia piirustuksia. Piirustuksia voidaan muuttaa nopeasti ja helposti, jos tarvetta syntyy.

5.3.2 Prototyypin mallintaminen

Prototyypistä tehtiin 3D-malli SolidWorks ohjelmistolla. Prototyypin komponentteja tehdessä huomattiin, että saatavissa olevista materiaaleista ei voida tehdä mallin mukaisilla mitoilla olevaa laitetta. Mallin mittoja muutettiin useaan otteeseen. Materiaalien tehokkaan käytön vuoksi seinien pituutta jouduttiin lyhentämään. Prototyyppiä valmistettiin mallin mukaisilla piirustuksilla, jotka tulostettiin ohjelmistosta (kuva 13).

Prototyypin suunnittelu tehtiin lähes täysin 3D-mallintamalla. Mallin tekeminen aloitettiin mallintamalla pohjalevy. Pohjalevyn päälle mallinnettiin seinät ja tuuletin. Seinien päälle polykarbonaattilevy ja listaosat. Mallista saatiin määritettyä laitteen mahdollinen paino ja tarkat mitat. Painoa laitteelle saatiin ohjelmiston avulla noin 13 kg.



Kuva 13. Prototyypistä tehtiin piirustukset.

6 PROTOTYYPIN VALMISTAMINEN

6.1 Komponentit

Prototyypin valmistaminen aloitettiin komponenttien tekemisellä. Polykarbonaattilevy saatiin kaupasta suoraan oikean kokoisena, joten sitä ei tarvinnut leikellä. Filmivaneriaihiosta sahattiin akkukäyttöisellä käsisirkkelillä oikean kokoinen levy. Ulkoseiniä varten laudat sahattiin 60 mm leveyteen. Sisäseinät sahattiin 58 mm leveyteen, jotta 2 mm paksuista polykarbonaattilevyä varten saadaan syvennys. Seinät pätkittiin oikean pituisiksi tämän jälkeen.

Alumiiniputkien kiinnitystä varten tehtiin sisäseinät, joihin porattiin 20 mm reikäsahalla reikiä 25 kappaletta (kuva 14). Reikien poraaminen vaati suurta tarkkuutta, jotta putket asetuvat oikeaan linjaan. Yläpuolelle tuleva lauta menee kahteen osaan. Polykarbonaattilevyn ja seinien päälle tulevat listakomponentit tehtiin 6,5 mm filmivanerista.



Kuva 14. Alumiiniputkia varten tehdyt reiät sisäseinässä.

6.2 Kokoonpano

Laitteen kokoonpaneminen aloitettiin kiinnittämällä sisäseinäkomponentit ja alumiiniputket toisiinsa. Putket aseteltiin pohjalautaan yksi kerrallaan. Tiivistemassaa laitettiin jokaisen putken ympärille ja väliin, jotta saadaan ilmatiivis liitos. Lopuksi seinälaudat kiinnitettiin toisiinsa ruuveilla ja tiivistemassalla. Sisäseinien ja alumiiniputkiston alikokoonpano nähdään kuvassa 15.



Kuva 15. Sisäseinien ja alumiiniputkiston alikokoonpano.

Seuraavaksi ulkoseinät ja sisäseinä-alikokoonpano kiinnitettiin toisiinsa. Kokoonpanon maalaus tehtiin tämän jälkeen. Kokoonpanon maalaukseen käytettiin mattamustaa akryylispraymaalia. Maalin kuivuminen oli heikkoa kylmästä ilmasta johtuen, joten maalin kuivumista jouduttiin tehostamaan lämmittämällä sitä. Lämmityksessä käytettiin 400 W työvalaisinta (kuva 16). Maali kuivui nopeasti lämmityksen seurauksena.



Kuva 16. Alikokoonpano maalattuna.

Seuraavaksi seinäalikokoonpano kiinnitettiin pohjalevyyn. Pohjalevyn kiinnittäminen alikokoonpanoon aloitettiin laittamalla tiivistemassaa seinien saumapintoihin. Tämän jälkeen pohjalevy laskettiin tarkasti alikokoonpanon päälle ja kiinnitettiin ruuveilla (kuva 17).



Kuva 17. Seinäalikokoonpano kiinnitettynä pohjalevyyn.

Seuraavaksi pohjalevyyn tehtiin reikä tuuletinta varten (kuva 18). Tuulettimelle tehtävä reikä oli halkaisijaltaan 114 mm, ja se asetettiin tuulettimelle varatun tilan keskelle. Tuuletin kiinnitettiin pohjalevyyn ruuveilla. Tuulettimen kaapelia varten tehtiin 10 mm reikä. Kaapelin pujottamisen jälkeen reikä täytettiin.



Kuva 18. Tuulettimen reikä tehtiin käyttäen reikäsahaa, kuviosahaa ja puukkoa.

Polykarbonaattilevyn ja listakomponenttien kiinnitys aloitettiin tiivistemassan laitolla seinien saumapintoihin (kuva 19). Tämän jälkeen polykarbonaattilevy laskettiin tarkasti paikoilleen ja sen päälle laitettiin tiivistemassaa niin, että sen päälle tulevat listakomponentit tiivistyvät. Polykarbonaattilevy ja listakomponentit kiinnitettiin ruuveilla. Ruuveille porattiin ensin reiät, koska kiinnittämisessä on vaarana polykarbonaattilevyn vaurioituminen. Kuvassa 20 nähdään valmis prototyypilaite.



Kuva 19. Seinien saumoihin laitettiin tiivistemassaa.



Kuva 20. Valmis prototyypilaite.

7 TULOKSET

Prototyyppiä testattiin mittaamalla lämpötilaa täydessä auringonpaisteessa. Ensin mitattiin lämpenemisaika. Prototyyppi asetettiin kohtisuoraan aurinkoon päin ja lämpömittarin anturi työnnettiin sisään tuuletusaukosta niin, että anturin pää on alumiiniputken suulla. Tuntemalla tuulettimen virtaus ja lämpötila saatiin myös laskettua tuotettu teho. Testaus-tilanteet tallennettiin videoille. Videoista saadaan tiedot, kuten tarkka kellonaika, lämpötila ja käytetty aika. Kaikki mittaukset suoritettiin Kajaanissa (Leveyspiiri 64°).



Kuva 21. Prototyyppilaitte testausympäristössä.

7.1 Prototyypistä saadut mittaustulokset

7.1.1 Lämpenemisajan mittaus

Seuraavissa taulukoissa esitetään mittaustulokset alumiiniputkien lämpenemisajan mitausta varten tehdyistä videoista.

Taulukko 8. Ensimmäisen lämpenemisaikamittauksen tulokset.

Kellonaika ja pvm	Ajankohta videossa s	Lämpötila °C
14.4.2017-8:46:44	0	9,9
	41	11,2
	134	14,7
	229	17,5
	282	18,5

Taulukon 8 arvoilla voidaan laskea, kuinka monta astetta alumiiniputken sisälämpötila nousee sekunnissa. Lämpötila nousi 8,6 °C, ja nousuun käytetty aika on 282 sekuntia. Jakamalla 8,6 °C 282 sekunnilla saadaan 0,0305 °C/s. Haluttu lämpötilaero jaetaan kyseisellä arvolla ja saadaan lämpenemisaika laskettua. Lämpötilaerona käytetään 20 °C. Lämpenemisajaksi saadaan 656 sekuntia eli noin 11 minuuttia.

Päivämäärästä ja kellonajasta voidaan päätellä, että mittaushetkellä vallinnut auringon korkeuskulma on 19°. [13] Kuvasta 4 nähdään, että neliöteho on tällöin ollut noin 650 W/m². [1]

Koe toistettiin myös toisena päivänä. Toisesta kokeesta saadut arvot esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Toisena päivänä toistetun kokeen tulokset.

Kellonaika ja pvm	Ajankohta videossa s	Lämpötila °C
16.4.2017-9:47:02	0	14,9
	31	16,5
	62	18,3
	122	21,6
	192	25,2

Taulukon 9 arvoista saadaan laskettua lämpötilan nousuksi sekunnissa $0,0536 \text{ °C/s}$. Lämpenemisajaksi saadaan 373 sekuntia eli noin 6 minuuttia. Auringon korkeuskulma on 25° ja neliöteho noin 750 W/m^2 . [13] [1]

Sivulla 21 esitetty teoreettinen lämpenemisaika oli 6 minuuttia, mutta siinä laskettiin puhtaasti vain alumiiniputken lämpenemistä ja ei otettu huomioon esimerkiksi ilmaa putken sisällä eikä niiden ympärillä. Mahdollisien häviöiden vaikutus lämpenemiseen jäi myös huomiotta.

7.1.2 Virtaukseton sisälämpötila

Luonnollisesta konvektiosta johtuen mittaustilanne ei ole täysin virtaukseton. Lähes virtaukseton lämpötila mitattiin niin, että lämpöanturi työnnettiin laitteen sisään alumiiniputken suulle. Prototyypilaitte kohdistettiin aurinkoon päin ja jätettiin niin noin puolen tunnin ajaksi. Lämpömittarin arvot esitetään kuvassa 22. Kuva esittää sitä lämpötilaa, jossa häviöt, luonnollinen konvektio ja auringon aiheuttama lämmitysteho ovat tasapainossa.

Auringon korkeuskulma oli 28° . [13] Mittaustilanteessa vallinnut neliöteho oli täten noin 750 W/m^2 .



Kuva 22. Lämpömittarin arvot. (Kuvattu 2017.03.31 14:38:30 Kajaanissa)

7.1.3 Prototyypin lämmitysteho

Prototyypin lämmitysteho laskettiin mitatun lämpötilaeron ja tuulettimelle ilmoitetun tilavuusvirran perusteella. Prototyyppilaitetta testattiin täydellisissä olosuhteissa. Testaustilanteesta kuvattiin video. Testi aloitettiin paljon ennen videointia, ja lämpötilaero pysyi testin ajan lähes vakiona. Taulukossa 10 esitetään videosta saadut arvot.

Taulukko 10. Lämpötilan mittaustulokset.

Kellonaika ja pvm	Ajankohta videossa s	Imuilman lämpötila °C	Pakoilman lämpötila °C
16.4.2017	0	1,2	40,8
11:34:32	80	1,1	41,8

Lämmitysteho saadaan laskettua kaavalla 5.

$$\phi = q_m c \Delta T \quad [2] \quad (5)$$

q_m = Aineen massavirta (kg/s)

c = Aineen ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)

ΔT = Imu- ja pakoilman lämpötilaero (°C)

Massavirta q_m saadaan, kun tiedetään ilman tiheys ja tuulettimen tilavuusvirta. Tuulettimen tilavuusvirraksi valmistaja ilmoittaa 68 m³/h eli 0,0188 m³/s. [12] Tilavuusvirta kerrotaan ilman tiheydellä, joka 40 °C ilmalla on 1,1278 kg/m³. [2] Massavirraksi saadaan täten 0,0212 kg/s. Ilman ominaislämpökapasiteetti on 1000 J/kgK. [2]

Prototyyppilaitteen lämmitystekoksi saadaan 862,8 W.

Auringon korkeuskulma testihetkellä oli 33° ja täten neliöteho oli noin 800 W/m². [13] [1]

7.2 Prototyypin valmistuskustannukset

Prototyypin valmistamisesta ei syntynyt kustannuksia. Toimeksiantaja huolehti materiaalihankinnoista. Suurin osa materiaaleista saatiin toimeksiantajan varastosta. Ainoat materiaalihankinnat syntyivät alumiiniputkista ja polykarbonaattilevystä, jotka toimeksiantaja toimitti. Toimeksiantajan toimittamat alumiiniputket maksoivat 38,75 € ja polykarbonaattilevy 29,90 €

8 POHDINTA

8.1 Prototyypin jatkokehitys

Prototyypin teettäessä syntyi useita erilaisia ajatuksia sen kehitykseen liittyen. Esimerkiksi alumiiniputkien ainevahvuutta kutistamalla voitaisiin lämpenemisaikaa pienentää. Lämpenemisaikaa pienentämällä laite voisi toimia paremmin vaihtelevissa sääolosuhteissa, koska hyödyllistä lämmitystehoa saataisiin pienemmällä auringonpaistämäärällä. Putkien materiaalia vaihtamalla paremmin lämpöä johtavaan voisi olla myös eduksi. Kuparin lämmönjohtavuus on lähes kaksinkertainen alumiiniin nähden. [2] Prototyypin tuulettimen virtausta kasvattamalla voitaisiin ulos tulevan ilman lämpötilaa saada alemmas. Pienemmällä lämpötilaerolla saavutetaan pienemmät häviöt, ja näin ollen hyötysuhde saataisiin paremmaksi. [7] Tuulettimen tulisi myös olla lämmön ja kosteuden kestävä. Parempien eristysmateriaalien käytöllä voitaisiin myös nostaa hyötysuhdetta.

8.1.1 Huollettavuus

Ilmuilman puhtaus voitaisiin varmistaa ilmansuodattimella. Se voitaisiin asentaa alumiiniputkien suulle. Ilmansuodatus olisi tärkeää, koska sillä varmistetaan laitteen toimivuus pitkällä aikavälillä, kun sen sisälle ei kerry pölyä, roskaa ja esimerkiksi kärpäsiä. Ilmansuodattimen tulisi olla helposti vaihdettavissa ja/tai pestävissä. Tuulettimen huollettavuus tulee myös ottaa huomioon. Tuulettimen tulee olla helposti vaihdettavissa, jos siinä ilmenee vikaa.

8.1.2 Tuulettimen ohjaus

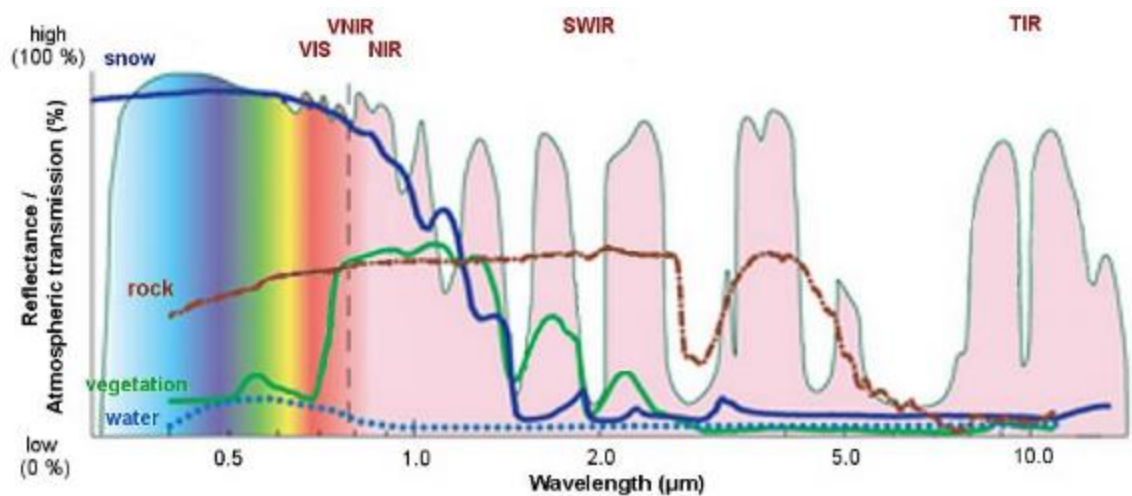
Laitteen tuulettimelle voitaisiin tehdä älykäs ohjaus. Älykkäällä ohjauksella mahdollistetaan tuulettimen pyörintä vain silloin, kun laitteen sisälle on varastoitunut lämpöenergiaa. Asuinrakennuksen kuivattamista ajatellen riittää, että saavutetaan riittävä lämpötilaero. Tuuletin voitaisiin laittaa käynnistymään, kun laitteen sisälle tulevan ilman lämpötilaero ulos tulevaan nähden olisi esimerkiksi 20 °C.

8.1.3 Laitteen asentaminen

Laite tulee asentaa sellaiseen paikkaan, johon aurinko pääsee paistamaan mahdollisimman hyvin ja pitkään päivän aikana. Laitteen voisi asentaa esimerkiksi seinälle pystysuoraan mutta koska auringon säteilyteho on suurimmillaan sen korkeuskulman ollessa yli 25° , voitaisiin se asentaa pieneen kulmaan seinälle. Asennuskulma voisi olla esimerkiksi 20° . [1]

8.2 Tuntemattomien tekijöiden vaikutus

Prototyyppiä testatessa huomattiin, että se toimi odotettua paremmin. Tästä pääteltiin, että suunnittelussa ei ole otettu huomioon kaikkia mahdollisia tekijöitä. Ilmoitetut neliötehöt kuvaavat vain suoraan tulevaa säteilyä eikä esimerkiksi heijastunutta säteilyä. Esimerkiksi lumi heijastaa hyvin näkyvää valoa, ja se voi vaikuttaa positiivisesti efektiiviseen neliötehoon. [18] Tuntemattomien tekijöiden osuutta tehoon on vaikeaa arvioida. Seuraavassa kuvassa esitetään eri pintojen heijastavuuksia.



Kuva 23. Pintojen heijastuskykyjä. [18]

9 YHTEENVETO

Yhteenvetona voidaan todeta, että aurinkoenergian hyödyntäminen kustannustehokkaasti on mahdollista. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää suoraan tai varastoida myöhempää käyttöä varten. Investointien hinta ja monimutkaisuus riippuvat hyödyntävän kohteen ominaisuuksista. Esimerkiksi jos rakennuksessa on vesikiertoinen lämmitys, voidaan aurinkokeräimen tuottama lämpöenergia hyödyntää helposti olemassa olevalla järjestelmällä ilman suuria investointeja.

Asuinrakennuksen kuivattamiseen ilmaa väliaineena käyttävät aurinkokeräimet ovat omiaan niiden yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Ilmaa väliaineena käyttävät aurinkokeräimet ovat helppoja asentaa rakennuksen seinälle ja ne toimivat hyvin rakennuksissa, joissa ei asuta ympärivuotisesti. Niistä voidaan helposti tehdä huoltovapaita ja autonomisia kokonaisuuksia.

Työssä tutkitut valmiit ratkaisut olivat hintavia suhteessa tuotettuun lämmitystehtävään ja hyödylliseen energiamäärään. Valmistamani prototyypin hinta arvio on noin 140 €, jos kaikki materiaalit joudutaan sen valmistamiseen hankkimaan. Itsetehtynä aurinkokeräin on kustannustehokas ratkaisu, vaikka sen tekniset ominaisuudet eivät välttämättä ole huippuluokkaa.

Prototyypin mittaustuloksia tarkastellessa kävi ilmi, että ne ylittivät teoreettiset arvot huomasti. Tämän ajateltiin johtuvan tekijöistä, joita ei huomioita suunnittelussa. Esimerkiksi tuulettimen virtausarvosta aiheutui jonkin verran virhettä.

LÄHTEET

- (1) SavoniaAMK. Aurinkoenergia. 2012; Available at: <http://web.archive.org/web/20121116011830/http://dmkk.savonia.fi/energiabara/images/stories/aurinkoenergia.pdf>. Accessed 11.4.2017.
- (2) Valtanen E, Valtanen E. Tekniikan taulukkirja. 20. p. ed. Jyväskylä: Genesis-Kirjat; 2013.
- (3) Ilmatieteen laitos. Available at: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lamputila-ja-kosteus#15>. Accessed 11.4.2017.
- (4) Physics of Solar Energy. Hoboken: Wiley; 2011.
- (5) KUVA 5. By Nick84 - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_spectrum_ita.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24648395>
- (6) http://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d_1568.html, The Engineering Toolbox, Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications
- (7) Solar Collectors. New York: Nova Science Publishers, Inc.; 2009.

- (8) University of New South Wales. "Milestone in solar cell efficiency achieved: New record for unfocused sunlight edges closer to theoretic limits." ScienceDaily. www.sciencedaily.com/releases/2016/05/160517121811.htm (accessed April 13, 2017).
- (9) <http://www.stratoco.fi/aurinkosahko.html>, Stratco Etelä-Suomen ilmastointi Oy, Vantaa
- (10) <http://www.solarventi.com/index.php>, 2017 SolarVenti, Denmark
- (11) <http://www.enean.com>, 2017 Enean-energiatekniikka, Espoo
- (12) <http://www.scythe-eu.com/en/products/fans/slip-stream-120-db.html>, Scythe EU GmbH, Germany
- (13) Bogdan Marinov, Alexander Wolf, Timothy Reaves, Guillaume Chéreau, Georg Zotti, Marcos Cardinot, Florian Schaukowitsch. Stellarium. 2017 -03-21; 0.14.3.
- (14) D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012; Available at: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf. Accessed 21.4., 2017.
- (15) C4 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA Lämmöneristys ohjeet 2003, <http://www.finlex.fi/data/normit/1931/C4s.pdf>
- (16) Ympäristö.fi, Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058>

- (17) <http://fixall.eu>, Soudal 2017
- (18) http://www.eumetrain.org/data/3/358/print_2.htm, 5.5.2017, Andreas Kaab, University of Oslo.
- (19) Pirinen P, Simola H, Aalto J, Kaukoranta J, Karlsson P, Ruuhela R. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 - 2010. 2012 -08-14.