

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Elektroniikkatuotanto

2015

Mika Laiho

AURINKOENERGIAKERÄIMEN OHJAINPIIRIN SUUNNITTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Elektroniikkatuotanto

2015 | 28 sivua

Ohjaaja ins. (YAMK) Yngvar Wikström

Mika Laiho

KUUMAILMAKERÄIMEN OHJAINPIIRIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa ilmakiertoisen aurinkolämpökeräimen tuulettimen ohjaukseen soveltuva ja lämpöolosuhteiden mukaan toimiva säädin. Säätimen suunnitteluun käytettiin Micro-cap simulointiohjelmistoa ja piirilevysuunnitteluun EAGLE-ohjelmistoa. Säätimen suunnittelun lähtökohtana oli käytön helppous, rakenteen yksinkertaisuus ja toimintavarmuus riippumatta ulkoisista tekijöistä. Testaus suoritettiin laboratorio-olosuhteissa ajankohdan riittävän auringonpaisteen puuttuessa.

Ohjainpiirin valmistuksen tueksi koottiin selvitys Auringon hyödyntämisestä lämmitystarkoituksiin. Tavoitteena oli tuoda esiin erilaisia lämmitys- ja esilämmitysratkaisuja, joilla päivittäinen energiantarve saadaan pienemmään asuin-, varasto- ja teollisuusrakennuksissa. Työssä keskityttiin myös Suomen säteilyolosuhteisiin ja niiden vaikutukseen auringon hyödyntämisessä lämmitystarkoituksiin, olosuhteiden huomattiin soveltuvan aurinkolämmitystarkoituksiin.

Esiin tuotiin vaihtoehtoja sekä korjaus- että uudisrakentamiseen soveltuvista aurinkolämmitysvaihtoehtoista ja näiden liittämistä jo olemassa oleviin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiin.

ASIASANAT:

aurinkolämpö, aurinkoenergia, käyttövesi, aurinko, keräin, lämmitys, säädin, ilmanvaihto, ohjaus, micro-cap, EAGLE

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics production

2015 | Total number of pages 28

Instructor: Yngvar Wikström M.Eng.

Mika Laiho

Designing a controller for a solar energy air collector

The goal of this thesis was to design and manufacture a controller for a solar air collector that would control the fan used to transfer the hot air from the collecting cabinet to its destination. The controller would adjust itself according to temperatures inside the collector and the location to be heated. Micro-Cap was used as the tool to design and simulate the controller. The baseline for designing the controller was ease of use, simplicity and reliability regarding environmental factors.

In addition to manufacturing the controller, a comprehensive report of utilising the sun for heating purposes was composed. The objective was to highlight different heating and preheating solutions to support the daily energy needed for heating. Solar radiation conditions were also explored and found suitable for solar heating in Finland.

KEYWORDS:

Solar heating, Solar energy, Domestic hot water, Sun, Solar collector, Regulated ventilation, Fan controller, Micro-Cap, EAGLE

SISÄLTÖ

1 Johdanto	1
2 Aurinkoenergia	2
2.1 Auringon säteily Suomessa	4
2.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen	6
2.2.1 Passiivinen hyödyntäminen	6
2.2.2 Trombe-seinä	8
2.2.3 Parvekkeet ja kasvihuoneet	9
2.2.4 Ikkunat	10
2.3 Aktiivinen hyödyntäminen	11
2.3.1 Aurinkokeräimet	11
2.3.2 Lasi	11
2.3.3 Tasokeräimet	13
2.3.4 Tyhjiöputkikeräimet	14
2.3.5 Kuumailmakeräimet	18
2.3.6 Käyttö lämmitysjärjestelmissä	19
3 Säädin	21
3.1 Suunnittelu	21
3.2 Toteutus	21
3.3 Valmistus	23
Yhteenveto	25
LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa ilmakiertoiseen aurinkolämpökieraimen säädin, jolla voidaan ohjata sen lämmönsiirtoa rakennukseen. Säätimen suunnittelun tarkoituksena oli helpottaa ja automatisoida rakennuksen lämmittämistä haluttuun lämpötilaan. Säädin haluttiin saada mahdollisimman yksinkertaiseksi, helppokäyttöiseksi ja edulliseksi vaihtoehdoksi kaupallisille malleille. Lähteinä käytettiin Internet-lähteitä ja tutkittiin kaupallisten säätimien ominaisuuksia. Vastaavia opinnäytetöitä ei löytynyt tietoa hankittaessa.

Säätimen valmistuksen tueksi on laadittu selvitys aurinkolämmityksen hyödyntämismahdollisuuksista rakennusten lämmitys- ja esilämmitysratkaisuihin, sekä käyttöveden lämmitykseen. Selvityksessä keskitytään rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen sekä tilan- ja vedenlämmityskustannusten pienentämiseen. Esiin tuodaan vaihtoehtoja, jotka soveltuvat uudis- ja korjausrakentamiseen sekä sellaisenaan käyttöön otettaviksi. Vastaavanlaisen selvityksen on tehnyt Timo Silomaa diplomityössään "Aurinkolämpö ja korjausrakentaminen"

Selvityksessä käydään läpi myös tavallisimpia tapoja liittää erilaisia aurinkolämmitysratkaisuja jo olemassa oleviin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiin. Huomiota kiinnitetään myös Suomessa vallitseviin säteilyolosuhteisiin ja niiden vaikutukseen auringon hyödyntämisessä.

2 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergialla tarkoitetaan auringon sähkömagneettisensäteilyn hyödyntämistä energiantuotantoon. Auringon säteily sisältää näkyvän valon lisäksi infrapunasäteilyä ja ultraviolettisäteilyä, joista suurin osuus on näkyvällä valolla ja pienin ultraviolettisäteilyllä. Säteilyn muuttamiseen energiaksi on useita tapoja, joista yleisimpiä ovat aurinkokennot, joissa säteily muutetaan sähköksi ja aurinkokeräimet, joissa säteily absorboituu lämmöksi.

Nykymaailmassa energiaa käytetään niin teollisuudessa kuin yksityisten ihmisten arjessakin. Energian tarve kasvaa yhä ja uusia energiantuotantomuotoja sekä sovelluksia kehitetään jatkuvasti. Kehityksestä huolimatta ihmiskuntaa vaivaa huoli energiasta, joka suurelta osin saadaan tällä hetkellä fossiilisista polttoaineista, jotka jäävät riittämättömäksi yhä tehokkaammista hyödynnyskeinoista ja uusista sovelluksista huolimatta. Uusiutuvia energiavaroja onkin alettu hyödyntää entistä paremmin, vaikka käytetystä energiasta vain pieni osa tuotetaan pitkällä tähtäimellä kestävästi uusiutuvista lähteistä. Yksi näistä uusiutuvista lähteistä on aurinko. Auringon hyödynnettävyyttä kuitenkin huonontaa tarvittavien laitteiden hinta verrattuna muihin tarjolla oleviin vaihtoehtoihin sekä ihmisten huono perustieto tavoista, joilla sitä voidaan hyödyntää niin arkiseen elämiseen kuin teollisuuteenkin.[1]

Aurinkoteknologiassa on kuitenkin päästy pisteeseen, jossa auringosta saatavalla energialla voidaan saavuttaa jo merkittäviä säästöjä niin tuotantoprosesseissa kuin asumiskustannuksissakin.

Aurinkoenergian hyödyntäminen on yleistynyt ja sen käyttömahdollisuuksia on alettu ymmärtää aikaisempaa paremmin. Käytön yleistymiseen on vaikuttanut vahvasti olemassa olevan aurinkoteknologian kehittyminen ja uusien sovelluskohteiden löytyminen. Useat maat ovatkin asettaneet tavoitteita lisätäkseen aurinkoenergian entistä laajempaa hyödyntämistä. [1]

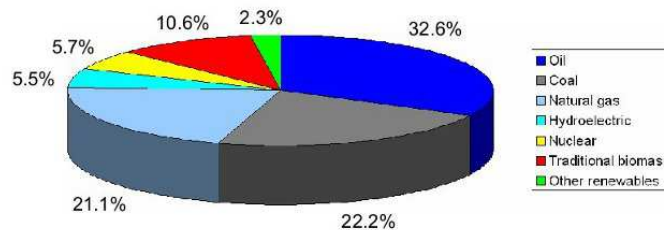
Suhteessa globaaliin energiankäyttöön on auringon hyödyntäminen vielä varsin pientä. Aurinko tarjoaa jatkuvaa noin 120 000 TW maapalloon suuntautuvaa tehoa säteilyllään, josta noin puolet sijoittuu spektrissä näkyvän valon ja hieman alle puolet infrapunasäteilyn puolelle, ultraviolettisäteilyn osuuden jäädessä pieneksi. Tästä säteilystä hyödynnetään vain pieni murto-osa, vaikka globaali energiantarve oli jo vuonna 2005 noin 15 TW. Näitä lukuja tarkastellen voidaan todeta auringon tarjoavan lähes rajattoman potentiaalisen energianlähteen. Päivittäinen energiankulutus kasvaa jatkuvasti ja globaalin energian tarpeen odotetaan, vähintään kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä. Vuoden 2005 energiankulutus jaettuna energiamuodoittain ja kulutusennusteet vuosille 2050 ja 2100 on esitetty kuvassa 1. [1,30]

Global Energy Consumption

Current energy consumption (2005): **15.1 TW** (4.77×10^{20} Joule/year)

Projected: 2050: 30 TW
2100: 46 TW

Energy Mix (2002):



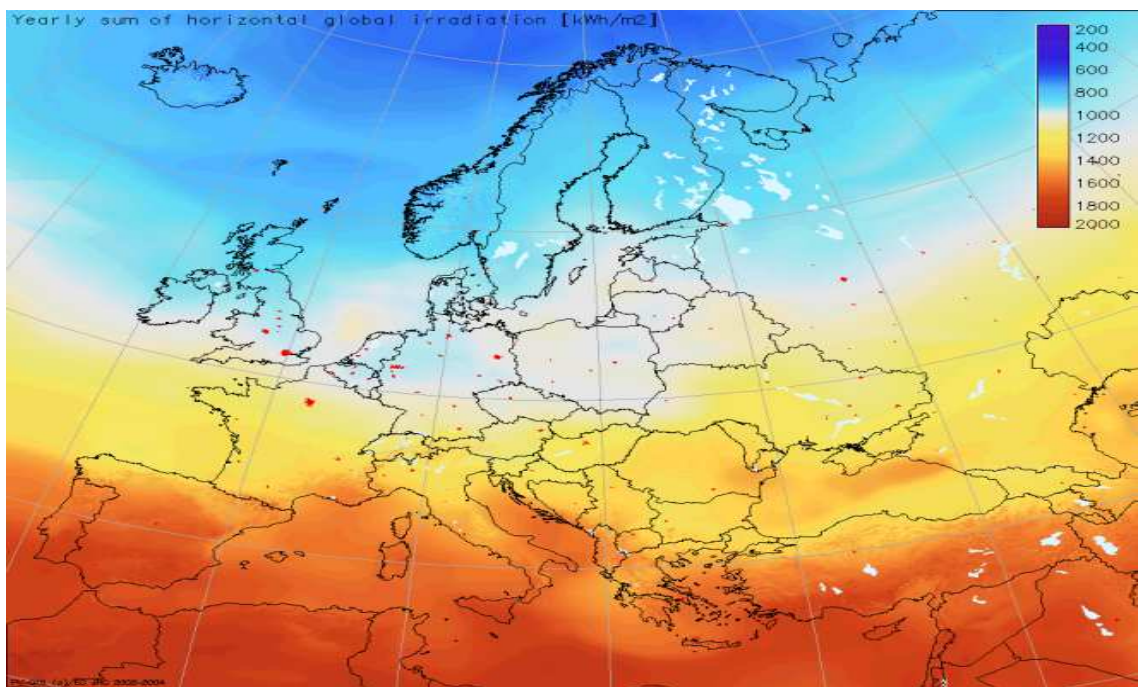
Boyle, "Renewable energy - power for a sustainable future" (2004)

Kuvio 1. Globaali energiankäyttö (2005). [7]

2.1 Auringon säteilymäärät Suomessa

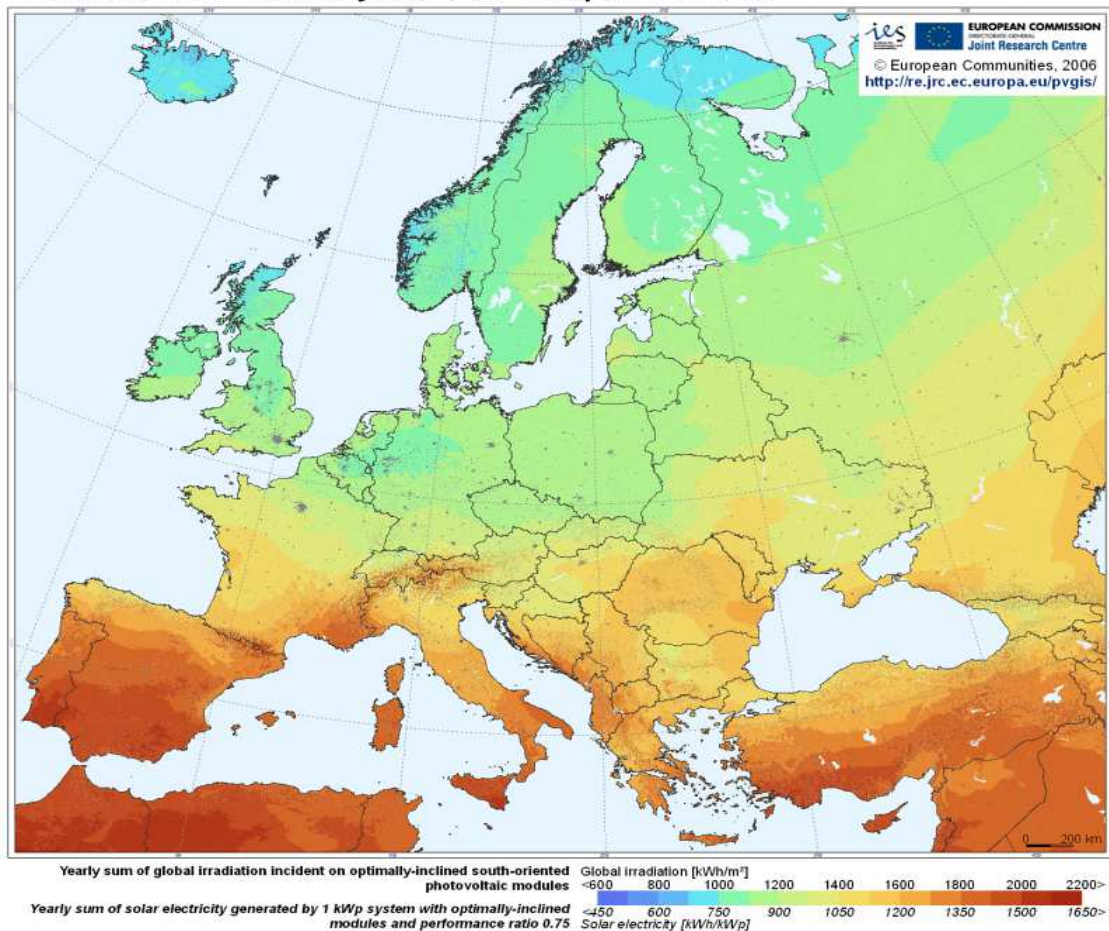
Varsin yllättäen Suomessa auringosta saatavan säteilyn määrä ei ole niin pieni kuin moni ajattelee. Monet tahot ajattelevat, että sijoitus aurinkoenergiaan on kannattamaton ja soveltuu vain kohteisiin, joissa muuta ei ole saatavilla. Nämä ajatukset perustunevat vanhentuneisiin mielikuviin ja tietoihin aurinkoenergiasta tehottomana ja epäluotettavana energianlähteenä.

Eteläsuomessa päästään kokonaissäteilymäärässä vuositasolla jopa 1 000 kWh/m² lukemiin horisontaalitasolla mitattuna ja optimikallistuksella yli 1 100 kWh/m². Edellä mainitut lukemat eivät jää paljoakaan Euroopan aurinkosähkön huippumaihin kuuluvista Saksasta ja Luxemburgista, vaikka aivan Espanjan tasolle ei päästäkään. Kuvasta 1 käyvät ilmi eri alueiden säteilymäärät horisontaalitasolla ja kuvasta 2 optimikulmassa saatava säteilymäärät. [2]



Kuva 1. Säteilymäärän vuosittainen jakautuminen horisontaalitasolla vuosilta 2002–2004 (kWh/m²). [2]

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Kuva 2. Optimikulmassa saatavan säteilyn määrän vuosittainen jakaantuminen vuodelta 2006 (kWh/m²). [2]

Huippumaista Suomi eroaa säteilyn jakaantumisensa suhteen, vaikka kokonaisuus onkin aivan niiden tuntumassa. Suomen sijainnin vuoksi säteily jakautuu vahvemmin vuodenaikojen mukaan ja täällä saadaan suurempi osa säteilystä valoisimpina kuukausina. [2,3]

Vuodenaikojen lisäksi saatavan säteilyn määrään vaikuttavat huomattavasti myös sääolot, joista voimakkaimmin pilvisyys. Pilvet haittaavat säteilyn pääsyä maahan ja heijastavat osan siitä takaisin. Pilvipeitteen vaikutus säteilyyn riippuu sen korkeudesta ja paksuudesta sekä tiheydestä, mitä matalammalla pilvet ovat, sitä suurempi takaisinheijastus on. Heijastuksen suuruuteen vaikuttaa myös pilvien sisältämän veden määrä, joka vähentää saatavaa säteilyä. [3,4]

Pilvisyys vähenee siirryttäessä kohti rannikkoa, joten liikuttaessa Suomen lounaisosaan pienenee pilvipeitteen vaikutus säteilymäärään. Pilvipeitteen vaikutus selittääkin osin pohjoissuomessa saatavan säteilyn pienempää määrää, joka jää alle 900 kWh/m² lukemiin. [2,4]

Pimeimpinä kuukausina, joului- ja tammikuussa aurinkoenergiasta saatava hyöty on lähes merkityksetöntä ja on iso tekijä, joka mietityttää montaa Auringon hyödyntämistä suunnittelevaa. [3]

2.2 Aurinkoenergian hyödyntäminen

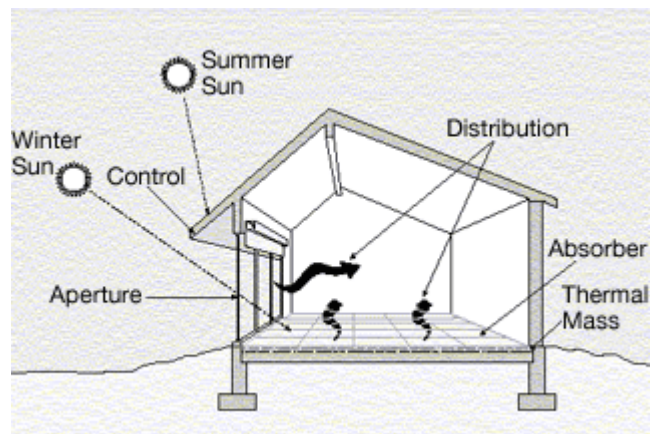
Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti ja passiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen sisältää jokapäiväisen valon ja lämmön, jota jokainen meistä hyödyntää kiinnittämättä asiaan sen kummempaa huomiota. Aktiivisesta hyödyntämisestä puhuttaessa käytetään apuna erillistä laitetta esim. tasokeräintä, joista kerrotaan luvussa 2.3. [12]

2.2.1 Passiivinen hyödyntäminen

Passiivista hyödynnystä voidaan tehostaa huomattavasti arkisesta käytöstä, jossa auringonsäteilyn vaikutuksia hyödynnetään vain valon ja suoran lämmittävän vaikutuksen osalta. Helppimmin hyödynnystä voidaan tehostaa esimerkiksi talon rakennusvaiheessa, jolloin voidaan valita rakennuspaikka auringolle suotuisaksi. Talo on hyvä sijoittaa paikalle jossa auringonpaisteelle ei ole esteitä. Ikkunat suunnataan etelään, jolloin saatavilla olevasta auringonpaisteesta saadaan mahdollisimman paljon käyttöön. Etelään suunnatussa talossa ikkunoista ja muista mahdollisista aukoista, kuten kattoikkunoista saadaan mahdollisimman paljon valoa sekä lämpöä taloon. Myös tuulensuojaukseen kannattaa kiinnittää huomiota, jotta auringosta saatu lämpö saadaan pysymään talossa ja sen rakenteissa. Tuulensuojaksi voidaan istuttaa harvoja lehtipuita, jotka eivät kuitenkaan häiritse merkittävästi auringon saantia. Puut auttavat myös kesällä mahdollisen yllämpenemisen kanssa varjostamalla ikkunoita. Yllämpenemistä

voidaan estää myös kaihtimilla sekä erilaisilla räystäs- ja tuuletusratkaisuilla. Räystäitä hyödynnettäessä ne rakennetaan niin, että kesällä auringon paistaessa korkealta, on sisään pääsevän auringonpaisteen määrä pienempi. Talvella auringon paistaessa matalammalta päästävät räystäät enemmän säteilyä sisään. Talon väriä valittaessa voidaan vaikuttaa rakenteisiin imeytyvän energian määrään valitsemalla tummempi väri, jolloin pois heijastuneen säteilyn määrä pienenee. [6]

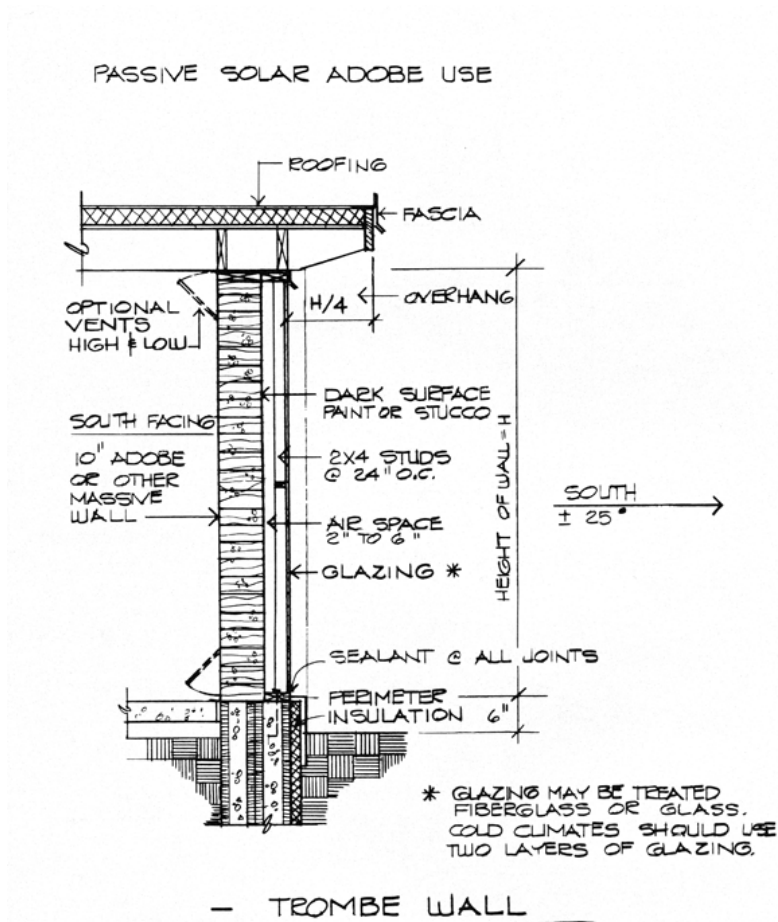
Rakennusvaiheessa voidaan lisätä talon kykyä varastoida lämpöä kiinnittämällä huomiota rakennusmateriaaleihin. Talvea silmälläpitäen on hyvä käyttää lämpöä varaavia materiaaleja ja riittävää lämmöneristystä energiatehokkuuden lisäämiseksi. Perinteinen ratkaisu lämmön varaamiseksi on sydänmuuri, joka päivän lämpimämpänä aikana kerää ja kylmempänä luovuttaa lämpöä. Sydänmuuri toimii kesällä myös vastaavasti yllilämpenemistä hidastavana elementtinä. [5] Kuvasta 3 nähdään tavanomaisen rakennuksen passiivista auringon hyödynnystä.



Kuva 3. Auringon passiivinen hyötykäyttö perinteisessä rakennuksessa. [7]

2.2.2 Trombe-seinä

Trombe-seinän rakenne on yksinkertainen ja helposti toteutettava. Yksinkertaisimmillaan rakennuksen seinään asennetaan lasi, jonka takana on ilmarako. Toiminta perustuu lasin läpäisemän säteilyn varastoitumiseen takana olevaan seinään, joka luovuttaa lämpöä rakennukseen. Kuvasta 4 nähdään trombe-seinän rakenne.



Kuva 4. Trombe-seinän rakenne. [8]

Ulommaisena osana oleva lasi läpäisee erinomaisesti aallonpituuksia, joilla aurinko säteilee lämpöä. Lämmön imeytyttyä seinään muuttuu sen aallonpituus pidemmäksi, jolloin lasin kyky läpäistä sitä huonontuu, tämä johtaa lämmön kertymiseen. Lasin takana olevan seinän rakennusmateriaaleiksi käyvät esimerkiksi tiilet ja betoni tms. materiaalit, joilla on hyvä kyky varata lämpöä. Haluttaessa trombe-seinästä voidaan rakentaa esim. vain puolen seinän korkuinen, jolloin

on mahdollista sijoittaa ikkunoita samalle seinälle. Tämä parantaa esteettistä soveltuvuutta asuinrakennuksiin ja sallii luonnollisen valaistuksen paremman hyödyntämisen. [2,5,8]

Seinän kykyä absorboida lämpöä voidaan parantaa maalaamalla se mustaksi tai aallonpituusselektiivisellä pinnoitteella. Aallonpituusselektiiviset pinnoitteet säteilevät vähemmän lämpöä kuin absorboivat sitä. Lasikerroksen paksuntaminen tai lisääminen edistää myös seinän toimintaa, mutta lisää samalla kustannuksia ja pienentää lasin läpäisemän säteilyn määrää. [2,8]

Trombe-seinän etuja ovat sen yksinkertainen rakenne ja hyvä kyky absorboida lämpöä, jonka se vapauttaa hitaasti päivän viilennyttyä. Sellaisenaan trombe-seinän soveltuvuus Suomen oloihin on huonohko, sillä sen optimaalinen toiminta edellyttää eristeettömyyttä sisäpuolella, joka taas ei sovellu talveen tai kylmään ilmanalaan. Seinän rakennetta muokkaamalla voidaan soveltuvuutta suomeen parantaa. Muokatun seinän sisäpuolella on eristekerros, mutta se on aukotettu ylä- ja alareunastaan, jotta lasin alle kerääntyneitä lämpöä voidaan johtaa rakennukseen. Tällöin toiminta perustuu ilmankiertoon seinän kautta, jolloin alareunan aukot imevät rakennuksesta kylmempää ilmaa ja yläreunasta saadaan tilalle seinässä lämmennettyä ilmaa. Toimintaa voidaan tehostaa erilaisilla tuuletin- tai venttiiliratkaisuilla, jotka lisäävät kustannuksia ja vaativat suunnittelua. [2,8]

2.2.3 Parvekkeet ja kasvihuoneet

Olemassa olevien parvekkeiden lasittaminen auttaa vähentämään lämmönhukkaa ja tarjoaa myös mahdollisuuden hyödyntää lasitettuun tilaan kertyvää lämpöä pienentämään lämmityskustannuksia. Kertyvää lämpöä varastoituu tilan rakennusta vasten olevaan seinään, josta se vapautuu lämpötilan laskiessa. Lasitetusta tilasta voidaan myös johtaa esilämmitettyä korvausilmaa huoneistoon. Mukavuustekijänä lasituksen ansiosta parvekkeen tarjoaman lisätilan käyttömahdollisuudet ja aika lisääntyvät. Suunniteltaessa parvekkeen rakentamista onkin hyvä ottaa huomioon sen tarjoamat mahdollisuudet energiansäas-

töön ja harkita esim. mahdollisen kasvihuoneen rakentamista asuin- tai muun kiinteistön yhteyteen. [9]

2.2.4 Ikkunat

Pienellä muokkauksella myös perinteisiä ikkunoita voidaan hyödyntää rakennuksen lämmöntuotantoon, tällaista ratkaisua kutsutaan ikkuna-aurinkokeräimeksi tai tuloilmaikkunaksi. Tuloilmaikkuna-ratkaisussa korvausilmaa ohjataan lasien väliin, jossa se kerää itseensä lämpöä auringon säteilystä, josta se edelleen johdetaan joko ikkunan yläreunasta huoneistoon tai olemassa oleviin ilmanvaihtokanaviin. Ikkuna-aurinkokeräimestä puhuttaessa, on ikkunan sisään asennettu kaihdin-tyylinen säleikkö, joka kerää itseensä lämpöä.



Kuva 5. Ikkuna-aurinkokeräin [10]

Ulkonäöltään tällainen ikkuna ei juuri eroa normaalista kaihdinikkunasta, lukuun ottamatta kaihdinten tummaa tai mustaa ulkopintaa kuten voidaan kuvasta 5 nähdä. Toimintaa voidaan tehostaa johtamalla lämpöä varastoitumaan rakenteisiin tai mahdollisiin ilmanvaihtokanaviin.[11]

2.3 Aktiivinen hyödyntäminen

Tavallisimpia auringon aktiivisen hyödyntämisen apuvälineitä ovat aurinkopaneelit, joilla auringonsäteily muutetaan sähköksi sekä aurinkokeräimet, joilla säteily muutetaan lämmöksi. Tyypillinen aurinkopaneeli muuttaa n. 15 % säteilystä sähköksi, kun taas aurinkokeräimellä vastaava kyky muuttaa säteilyä lämmöksi on n. 25 – 35 %. Hyötysuhteet ovat riippuvaisia käytetyn laitteen tyyppistä, suuntauksesta, värityksestä ja sijainnista. Todelliseen hyötykäyttöön saatavan energian määrää riippuu myös sen varastoinnista ja siirtomekanismista. [12]

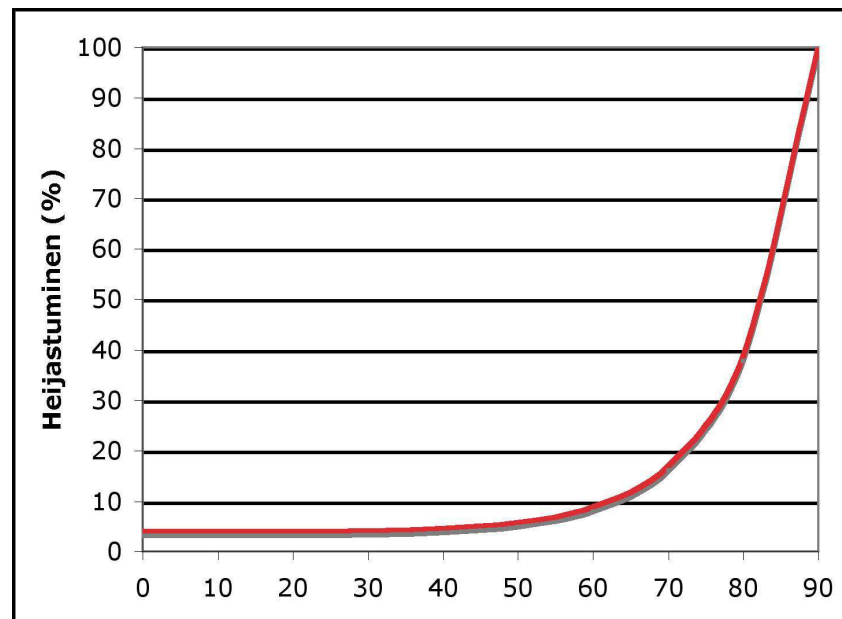
2.3.1 Aurinkokeräimet

Keräinten päätyyppejä ovat tasokeräimet, tyhjiöputkikeräimet ja kuumailmake-
räimet. Kahdelle ensimmäiselle yhteistä on, että ne siirtävät säteilystä kerää-
mänsä lämmön nesteeseen, joka yleisesti on veden ja glykolin seosta. Tämän
nesteeseen avulla kerätty lämpö johdetaan haluttuun käyttökohteeseensa tai varas-
toitavaksi esim. lämminvesivaraajaan. Kuumailmakeräimissä lämpöä ei sidota
nesteeseen, vaan keräimeen kertynyt lämmennyt ilma johdetaan sellaisenaan
esim. talon ilmanvaihtoon tai varastoitumaan rakenteisiin, josta lämpö siirtyy
ilman viiletessä huoneistoon. Keräimet ovat pääsääntöisesti muodoltaan laatik-
komaisia ja niiden uloin pinta on lasia, joka toimii laitteen suojana ja estää ker-
tyvän lämmön karkaamisen. [13]

2.3.2 Lasi

Useimmissa keräimissä on jokin valoa lävitseen päästävä uloin kerros, joka
yleensä on lasia. Lasi on valikoitunut katemateriaaliksi ominaisuuksiensa ansi-
osta, joihin kuuluvat tärkeimpinä kyky läpäistä näkyvää valoa sekä infra-
punasäteilyä erinomaisesti. Yhtä tärkeää on myös lasin heikko kyky päästää
lämpösäteilyä ulospäin, joksi auringon säteily muuttuu imeytyessään keräimen
absorptio-pintaan. Tämä lasin keräimessä aikaansaama ilmiö tunnetaan ylei-

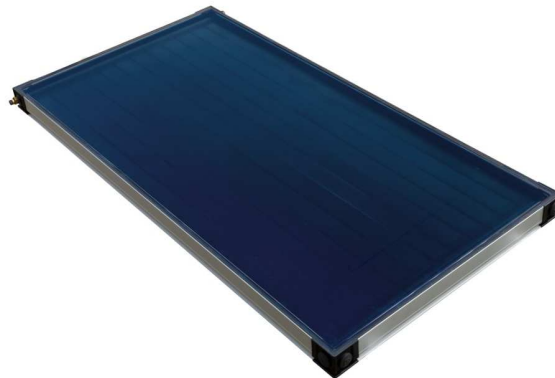
sesti kasvihuoneilmionä. Hyvien ominaisuuksiensa lisäksi lasilla on myös keräimen toimintaa heikentäviä puolia, kuten valon heijastus ja sen absorboiminen. Valon heijastuminen on riippuvainen kulmasta, jolla se lasiin saapuu, joten keräimen tehokkuuden kannalta merkityksellistä on sen oikea suuntaus. Saapuvan säteilyn kulman pienentyessä vähenee pois heijastuvan osuuden määrä sekä sen kulkema matka lasissa, joka taas vähentää lasiin absorboituvan osuuden määrää. Kuvasta 6 nähdään, että heijastuman määrä kasvaa voimakkaasti,



Kuva 6. Auringonvalon heijastuminen lasista [14]

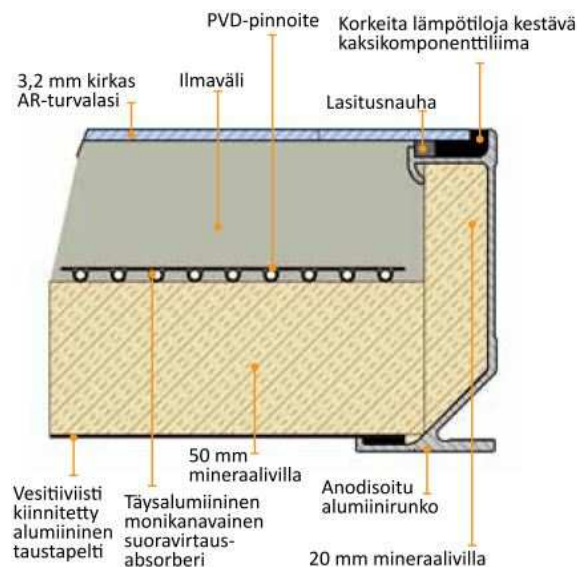
kun valon tulokulma ylittää 60° kohtisuoraan verrattuna. Suomessa aurinko ei kuitenkaan paista yli 55° :n kulmasta, joten kulman merkitys täällä ei ole niin merkittävä kuin etelämpänä. [14]

2.3.3 Tasokeräimet



Kuva 7. Tasokeräin [15]

Tasokeräin on useimmiten rakenteeltaan ohut, kuvan 7 mukainen, eristeellä vuorattu laatikko, jonka pinnalla on lasi. Pinta saattaa olla tavallista lasia, muovia tai tarkoitukseen parhaiten soveltuvaa erikoislasia, jossa rautapitoisuus on pienempi. Vähärautaisen lasin hyvä soveltuvuus johtuu sen normaalilasiin verrattuna paremmasta aurinkosäteilyn läpäisykyvystä, sekä huonommasta lämmönläpäisystä, jolloin keräimen absorptio pinnan varaamasta lämmöstä suurempi osa heijastuu takaisin, eikä karkaa ulos. Muovien käyttö keräimen pintana ei ole yleistä, sillä niillä on useimmiten huomattavasti huonompi lämmöneristyskyky sekä taipumus suurempaan lämpölaajenemiseen. Kuvasta 8 nähdään sisäosan rakenne.



Kuva 8. Tasokeräimen rakenne [16]

Tasokeräimen pinnan alla sijaitsee putkisto, jossa kiertää lämmönsiirtoon soveltuva neste, joka useimmiten on veden ja glykolin seosta eli jäähdytinnestettä. Lämmönsiirtoputkiston alle on sijoitettu absorptiopinnaksi levy, joka on maalattu mustaksi tai pinnoitettu aallonpituusselektiivisellä materiaalilla, joka imee itseensä hyvin säteilyä auringosta, mutta luovuttaa huonosti keräämäänsä lämpöä. Levyn materiaali on useimmiten jokin metalli, kuten alumiini, rauta tai kupari. Absorptiolevyn alla ja putkiston sivuilla on eristekerros, joka estää lämpöhäviöitä, eristeen materiaaliksi käy esim. vuorivilla, lasivilla tai suulakepuristettu polystyreeni. Keräimen kuori on useimmiten alumiinia, joka kestää hyvin sääntävaihteluita ja suojaa hyvin eristeitä ja putkistoa, sekä on kevyttä. Alumiinin etuna on myös, että se ei tarvitse välttämättä eloksoinnin tai pulverimaalauksen lisäksi muuta pintakäsittelyä ja on myös esteettisesti miellyttävä. [17]

2.3.4 Tyhjiöputkikeräimet



Kuva 9. Tyhjiöputkikeräin [18]

Tyhjiöputkikeräin perustuu nimensä mukaisesti putkiin, joiden sisällä on tyhjiö, johon auringon säteilyä absorboivat pinnat on sijoitettu, keräimiä on kahden tyyppisiä: heat pipe ja U-pipe. Tyypillinen tyhjiöputkikeräin näyttää kuvan 9 kal-

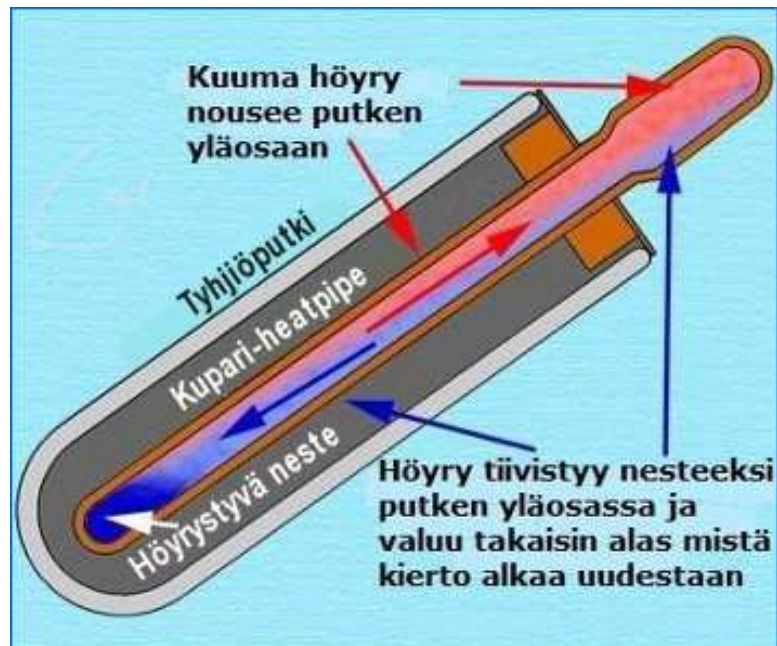
taiselta. Tyhjiö on muodostettu kahden päällekkäisen lasiputken väliin, joista ulompi on kirkas, hyvin auringon säteilyä läpäisevä ja sisempi hyvin absorboiva. Tyhjiöputkien etuna on keräimen konvektiosta johtuvien häviöiden pienuus tai jopa olemattomuus, jolloin ainoat häviöitä aiheuttavat tekijät ovat lämmön johtuminen ja säteily, myös putkien materiaalina käytetty lasi aiheuttaa pieniä häviöitä. Putket voidaan tehokkuuden parantamiseksi ympäröidä heijastavilla pinnoilla. Tyhjiöputkien sisällä ovat kupariputket, joihin säteily absorboituu, näitä putkia kutsutaan heat pipeiksi tai u-pipeiksi. Putket on pinnoitettu aallonpituus-selektiivisellä pinnoitteella, joka parantaa kuparin soveltuvuutta lämmön keräämiseen ja sen siirtämiseen putkien sisällä kiertävään nesteeseen. Kuvasta 10 nähdään tyhjiöputken rakenne. [17]



Kuva 10. Tyhjiöputken rakenne [19]

Heat pipe-tyyppisen keräimen toiminta perustuu suljettujen kupariputkien sisällä olevan nesteen olomuodon muutokseen. Lämpötilan noustessa neste höyrystyy ja kohoaa putken yläosaan, josta lämpö siirtyy lämmitysjärjestelmässä kiertävään nesteeseen. Höyryn viilennyttyä yläosassa se tiivistyy nesteeksi, jolloin se valuu painovoiman vetämänä takaisin putken alaosaan, jossa se taas höyrystyy.

tyy. Kuvasta 11 selviää heat pipen toiminta, jossa näkyvän putken ylin, paksumpi osa on upotettuna lämmitysjärjestelmässä kiertävään nesteeseen. [17]



Kuva 11. Heat pipen rakenne.[20]

U-pipe-tyyppisissä keräimissä jokaisen tyhjiöputken sisällä on u-mallinen putki, jossa lämmitettävä neste kiertää pumpun avustamana koko järjestelmän läpi, toisin kuin heat pipe-mallissa, putkien nesteitä ei ole eristetty. U-putket on ympäröity alumiinisilla profiileilla, joista tyhjiöputkiin absorboituva lämpö siirtyy kupariputkiin ja edelleen niissä kiertävään nesteeseen. Kuvasta 12 näemme u-pipe-keräimen rakenteen, jossa alumiiniprofiiliin upotetusta putkesta neste saapuu lämmitettäväksi keräimeen ja poistuu profiilin sisällä (alempi putki kuvassa) kulkevasta putkesta lämmitettynä. Oikealla näkyvän putken pää on liitetty lämmitysjärjestelmän lämminvesipuolelle ja vasemmassa reunassa on vastaavanlainen putki kylmäpuolelle.[17]



Kuva 12. U-pipe-keräimen rakenne [21]

Taso- ja tyhjiöputkikeräimet on usein yhdistetty jo olemassa olevaan nestekiertoiseen lämmitysjärjestelmään, jossa on lämminvesivaraaja. Tällöin varaajaan asennetaan aurinkolämmitysjärjestelmälle oma lämpökierukka, jossa keräimien lämmönsiirtoneste kiertää pumpun avustamana. Pumpulla kierrätetään nestettä varaajassa, kunnes toivottu lämpötila saavutetaan. Tämä lämpötila voi olla esim. varaajaan asetettu maksimilämpötila tai keräimen nesteen lämpötila.

Tyhjiöputkikeräimien hyötysuhde on korkeampi kuin tasokeräimien, ja ne tuottavat kokoonsa nähden enemmän lämpöä. Kesäaikana saadaankin usein enemmän lämpöä kuin voidaan normaaleissa lämmitysjärjestelmissä hyödyntää, joten keräimet on hyvä asentaa melko pystyyn, jotta kerätyn säteilyn määrä saadaan pienemmään. Asennettaessa keräin n. 40°:n optimikulmaa pystympään osuu siihen pienempi osa kesäauringosta, joka paistaa korkeammalta, näin voidaan ylikuumenemisen aiheuttamien haittojen riskiä pienentää. Pystympi asennus on myös edullisempi talven, syksyn ja kevään lämmöntuottoa ajatellen, kun tarve on suurempi. Kylmempinä vuodenaikoina matalammalta paistava aurinko osuu pystyyn asennettuun keräimeen pidempään, jolloin suurimman tarpeen aikaan keräimistä saadaan mahdollisimman suuri hyöty irti tarjolla olevasta säteilystä. Suomen ilmastoa ajatellen on myös syytä ottaa huomioon talvella sata-

va lumi, joka häiritsee tai pahimmillaan estää keräimen toimintaa, mikäli keräin on asennettu loivempaan kulmaan, on syytä varautua puhdistamaan keräintä lumisena aikana. Puhdistusta silmällä pitäen keräin kannattaa asentaa paikkaan, jossa mahdollinen puhdistus ei aiheuta ongelmia. [17,22]

2.3.5 Kuumailmakeräimet

Kuumailmakeräimissä lämmönsiirron mediana toimii veden sijasta ilma. Keräimet ovat yleensä muodoltaan litteitä laatikoita, joiden pinnalla on lasi. Rakenteeltaan kuumailmakeräimet ovat melko yksinkertaisia ja perusmallin rakennus onnistuukin monelta itse. Kuvasta 13 nähdään tyypillinen itse valmistettu kuumailmakeräin, jossa materiaaleina on käytetty vanhoja ikkunoita ja puutavaraa, absorptiopinnaksi käy esim. musta kattopelti.



Kuva 13. Omavalmisteinen kuumailmakeräin [23]

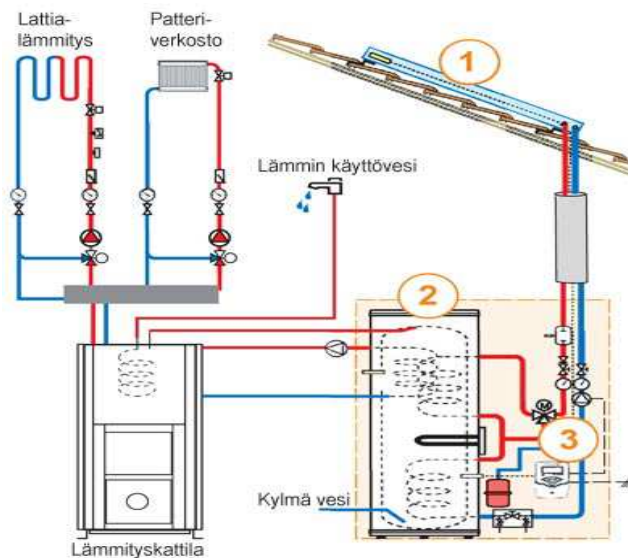
Kaupallisille malleille ulkokuoreksi on usein valittu alumiini, joka kestää hyvin sään vaihteluita ja korroosiota sekä on kevyttä. Kuori on eristetty sisäpuolelta esim. mineraalivillalla, polystyreenivaadolla tai polyuretaanivaahdolla, jotta sisälle kertynyt lämpö ei karkaa keräimestä. Eristettyyn tilaan on asennettu absorptiopinta, johon keräimeen saapuva auringonsäteily varastoituu ja siirtyy lopulta ilmaan, joka ohjataan käyttöön. Absorptiopinnaksi kelpaa esim. mustaksi maalattu metallilevy, joka voi kuoren tavoin olla alumiinia. Materiaaliksi soveltuu

myös pelti tai erilaiset putket, joita käytettäessä ilma ohjataan niiden läpi tai loimitse. Lämmitetyn ilman käyttöön ohjaus toteutetaan yleisesti tuulettimilla tai passiivisesti, jolloin lämpimän ilman poistoaukko sijaitsee keräimen yläreunassa, josta kerätty lämpö siirtyy lämmenneen ilman kohotessa luonnollisesti. [24]

2.3.6 Käyttö lämmitysjärjestelmissä

Aurinkoenergian hyödynnettävyys Suomessa on vuodenaajoista riippuvainen ja tarpeen ollessa suurimmillaan talvisin sitä saadaan vähiten. Tämä jaksollisuus tarkoittaa useimmissa käyttökohteissa toisen lämmitysjärjestelmän tarpeellisuutta aurinkolämmitysjärjestelmän rinnalle. Taso- ja tyhjiöputkilämmitysjärjestelmien yhdistäminen onnistuu useimpiin lämmitysmuotoihin, joista parhaimmin se soveltuu vesikiertoisiiin järjestelmiin, kuten puu- tai öljylämmitykseen.

Vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään yhdistäminen tapahtuu esimerkiksi kuvan 14 osoittamalla tavalla, jossa keräin (1) on yhdistetty olemassa olevaan lämmitysjärjestelmän lämpövaraajaan (2).



Kuva 14. Vesikiertoisen keräimen yhdistäminen lämmitysjärjestelmään [25]

Taso- tai tyhjiöputkikeräin soveltuu erinomaisesti juuri lämminvesivaraajaan yhteyteen, jolloin järjestelmät voidaan yhdistää saumattomasti lisäämällä keräimelle oma kuumavesikierukka varaajaan. Tällöin olemassa olevaan järjestelmään ei tarvitse tehdä suuria muutoksia ja keräimen kapasiteettia voidaan hyödyntää parhaiten. Vesikiertoiset keräimet soveltuvat erityisesti lattialämmitykseen, sillä siinä kiertolämpötila on matalampi ja keräimestä voidaan hyötyä jo alhaisilla n. 30 C lämpötiloilla verraten käyttöveteen tai esim. vesikiertoiseen patterilämmitykseen, johon vaaditaan n. 40 – 60 C. Suomen olosuhteissa huomiota on kiinnitettävä lämmönsiirtoputkistoihin, jotka on syytä pitää mahdollisimman lyhyinä ylimääräisten häviöiden välttämiseksi. Putkiston eristyksen on myös syytä on riittävä, jotta vältetään jäätymiseltä talvisin, sekä edelleen muilta lämpöhäviöiltä. Putkien tulee mahdollisuuksien mukaan kulkea rakennuksen sisäpuolella, jotta väistämätön häviölämpö ei karkaa ulkoilmaan ja häviöstä voidaan hyötyä lämmön jäädessä rakenteisiin. Mikäli järjestelmässä ei ole ennestään lämminvesivaraajaa, on se mitoitettava mahdollisimman pieneksi, jotta turhilta häviöiltä vältytään, kuitenkin niin että vettä riittää arki tarpeisiin. [27]

Kuumailmakeräimet soveltuvat parhaiten tilalämmitykseen, jolloin ne voidaan yhdistää joko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään tai lämmittämään tilaa suoraan. Kuumailmakeräimet soveltuvat hyvin myös parantamaan esim. poistoilmalämpöpumpun tai ilmalämpöpumpun hyötysuhdetta esilämmittämällä näiden käyttämää ilmaa, jolloin pumppujen käyttämän energian määrä pienenee suhteessa saatuun lämpöön. Varsinaisen lämmityksen lisäksi kuumailmakeräintä voidaan käyttää esim. kesämökin kuivanapitoon käyttökauden ulkopuolella, jolloin keräin pitää sisälämpötilaa hieman ulkolämpötilaa korkeampana, joka estää kosteuden kertymistä sisätiloihin. Säästöjä voidaan saavuttaa myös tuotantoprosesseissa, joissa vaaditaan kuivattamista tai lämmitystä. [27,28,29]

3 SÄÄDIN

Työn lähtökohtana oli ohjainpiirin suunnittelu ja valmistus. Laitteella voidaan ohjata kuumailma-aurinkokeräimen lämmönsiirtoa rakennukseen. Kohde keräimessä lämmönsiirto oli toteutettu 12 V tuulettimella, jota suunniteltava piiri tulisi ohjaamaan. Tavoitteena oli suunnitella piiristä mahdollisimman yksinkertainen, toimintavarma ja helppokäyttöinen. Ohjainpiirin käyttöjännitteeksi haluttiin 12 V, jotta toiminta saataisiin täysin automaattiseksi myöhemmin mahdollisesti lisättävällä aurinkokennolla, jolloin lämmönsiirto toimisi aina Auringon paistaessa.

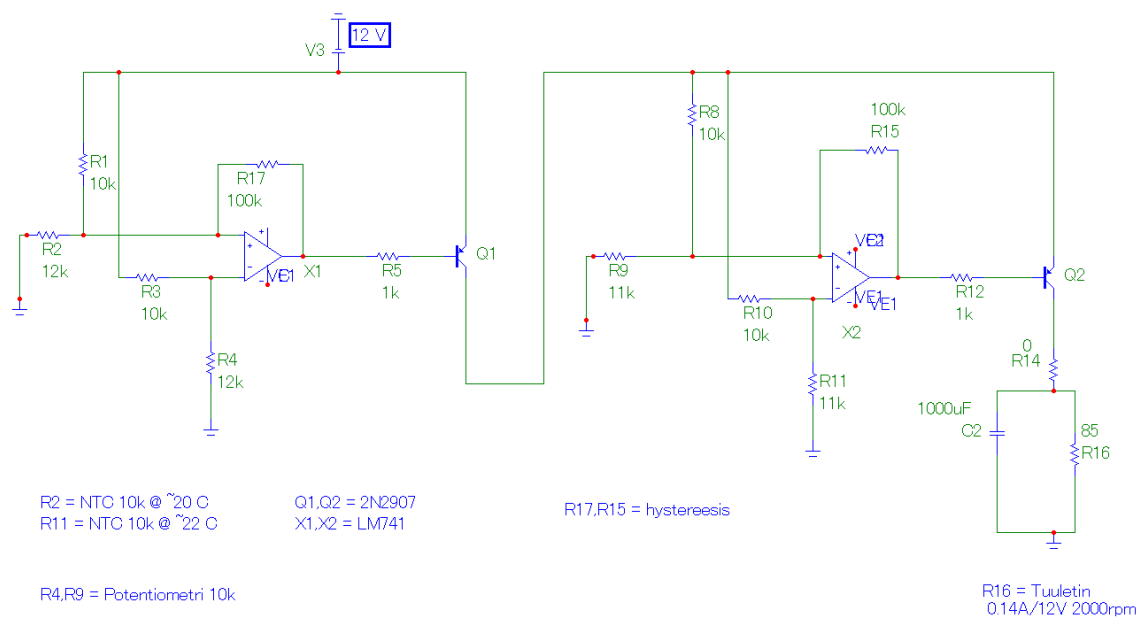
3.1 Suunnittelu

Suunnittelun lähtökohtana oli säätimen reagoiminen lämpötilanmuutoksiin automaattisesti vaatimatta käskyä käyttäjältä. Tämän aikaansaamiseksi päätettiin yksinkertaisuuden nimissä käyttää NTC-vastuksia, joiden resistanssi muuttuu lämpötilan mukaan, jotta säätimen toiminta olisi ulkopuolisista tekijöistä riippumaton. Ohjattavan tuulettimen haluttiin puhaltavan aina kun kuumailmakeräimen sisällä oleva lämpötila ylittää rakennuksen sisällä olevan tason ja lopettavan kun tavoitelämpötila rakennuksessa saavutetaan.

3.2 Toteutus

Säätimen toimintaa lähdettiin hahmottelemaan Micro-cap-simulointiohjelmistolla, jolla oli mahdollista kokeilla erilaisia kytkentöjä ja tarkkailla niiden toimintaa esim. erilaisissa lämpötiloissa. Simulointi mahdollisti erilaisten toteutustapojen vertailun toteuttamatta niitä fyysisesti. Säätimen toiminnalle asetettiin seuraavanlaiset reunaehdot: puhallus saa kytkeytyä päälle kun keräimen sisäinen lämpötila on suurempi kuin lämmitettävän tilan ja puhallus loppuu, joko huoneen lämmitettyä tavoitelämpötilaan tai keräimen lämpötilan laskettua alle huoneenlämmön.

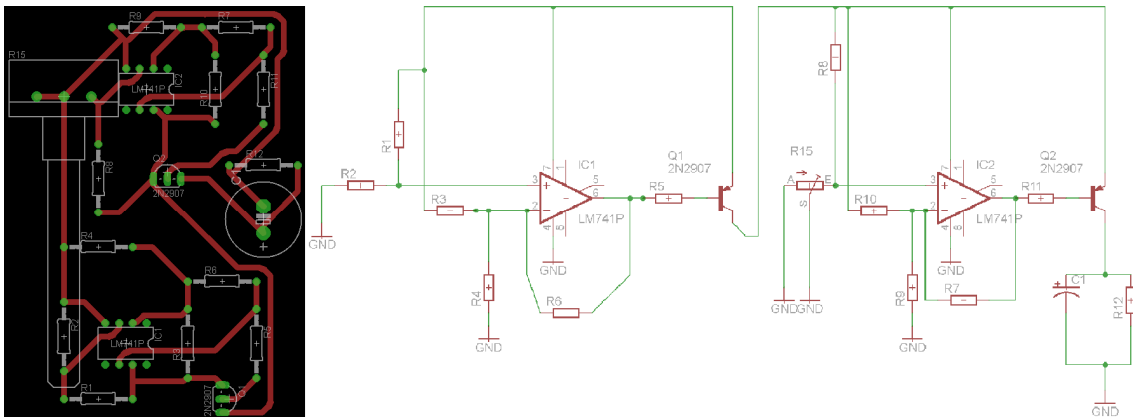
Ehtojen toteuttamiseksi päätettiin käyttää kahta peräkkäistä transistoria kytkimänä, kuvan 15 osoittamalla tavalla, jotka ohjaavat puhalluksen päälle- ja poiskeytymistä. Ensimmäinen kytkin ohjaa toisen virransaantia, joko sallien sen kun keräimen lämpötila ylittää huoneenlämmön tai estäen kun lämpötila alittaa huoneenlämmön. Jälkimmäisellä kytkimellä ohjataan puhalluksen lopettamista kun tavoitelämpötila saavutetaan. Lämpötilojen vertailu suoritetaan Schmitt-liipaisimiksi kytketyillä operaatiovahvistimilla, jotka vertaavat NTC-vastuksien yli olevaa, lämpötilasta riippuvaa jännitettä. Tavoitelämpötilan säätämiseksi jälkimmäisen liipaisimen NTC-vastus korvattiin potentiometrillä, jotta haluttu lämpötila olisi säädettävissä tarpeiden mukaan. Potentiometrillä saavutettiin myös riippumattomuus ulkoisista tekijöistä ja soveltuvuus esimerkiksi talvikaudella kesämökin kuivanapitoon.



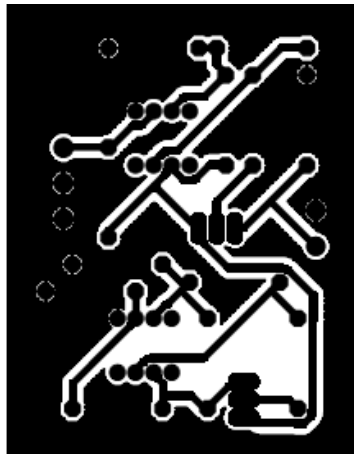
Kuva 15. Micro-Cap luonnos säätimen piiristä.

3.3 Valmistus

Kytkenän toimivuutta testattiin ensin kytkentäalustalla lämmittämällä ja viilentämällä NTC-vastuksia sormin, sekä puhaltamalla lämmintä ja viileää ilmaa niiden päälle. Säätimen toiminnan varmistuttua käytännössä, siirryttiin suunnittelemaan piirilevyä. Suunnitteluun käytettiin Cadsoft EAGLE- piirilevyn suunnitteluohjelmistoa. Valmis suunnitelma näkyy kuvasta 16. Levynä päätettiin käyttää yksipuolista valoherkällä lakalla pinnoitettua piirilevyä.

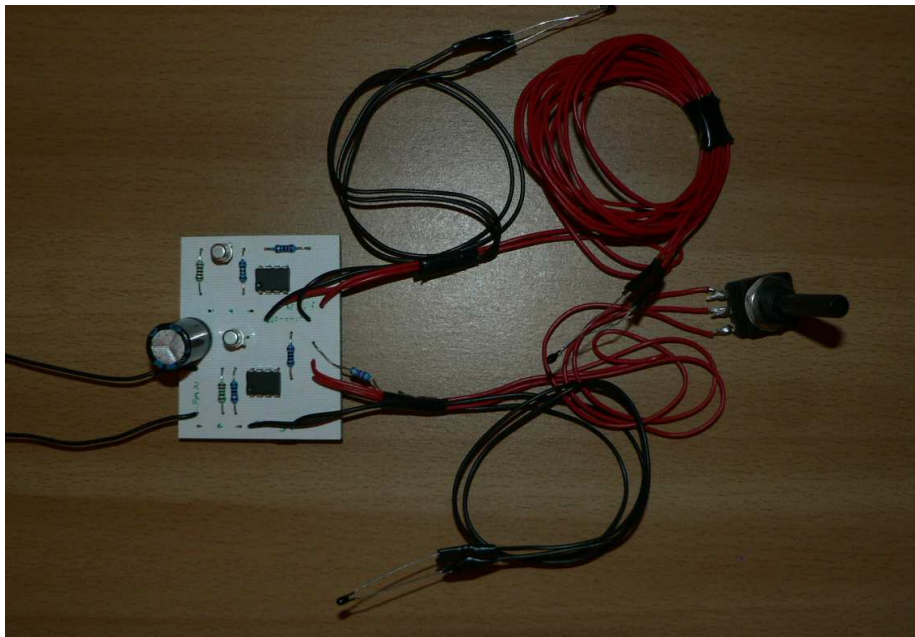


Kuva 16. EAGLE- luonnos piirilevystä.



Kuva 17. Piirilevyn valotukseen käytetty kalvokuvio

Valmiista piirilevykaaviosta tulostettiin kuvan 17 mukainen kuva piirtoheitinkalvolle, jonka läpi piirilevyn pinnalla oleva valoherkkää lakka valotettiin UV-valon alla. Filmillä suojaamattomien osien lakkapinta voitiin tämän jälkeen liuottaa natriumhydroksidilla suojaamasta kuparia. Lakan liuotuksen jälkeen levytä syövytettiin ylimääräinen kupari pois natriumpersulfaattikylvyssä, jonka jälkeen levy puhdistettiin jäljelle jääneestä lakasta. Syövytettyyn levyyn porattiin tämän jälkeen reiät läpiladottavia komponentteja varten. Komponentit juotettiin paikalleen lyijyttömällä tinalla ja lopputulokseksi saatiin kuvan 18 mukainen laite.



Kuva 18. Kuva valmiista säätimen piirikortista

Keräin, jolle säädin suunniteltiin sijaita kaukana, joten lopullinen testaus suoritettiin sijoittamalla laite tietokoneen koteloon, jonka lämpötilaa oli helppo säädellä. Valmis laite osoittautui toimivaksi ja reagoi lämpötiloihin ja niiden eroihin odotetulla tavalla. Kohdelämpötilan säätöön tarkoitettuna 10 k Ω potentiometrin kanssa päätettiin kytkeä sarjaan 4,7 k Ω vastus jolla saatiin laajennettua säädettävää hyödyllistä lämpötila-aluetta, joksi muutoksen jälkeen saatiin n. 15 – 42°C. Tuulettimen maksimi virrankulutuksen rajaksi asetettiin noin 200 mA, jolla voidaan ohjata esimerkiksi tietokonetuuletinta, jollaista sijoituskohteessa oli käytetty.

YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin yksinkertainen, varmatoiminen ja helppokäyttöinen säädin, jolla voidaan ohjata kuumailmakeräimen lämmönsiirtoa rakennukseen. Prosessi käydään läpi suunnittelutavoitteista valmiiseen tuotteeseen, työvaiheet selostaen. Johdatukseksi laadittiin selvitys aurinkolämmityksen tarjoamista mahdollisuuksista uusien ja vanhojen rakennusten lämmitykseen soveltuvista ratkaisuista.

Valmistettu säädin saatiin vastaamaan toiminnaltaan sille asetettuja tavoitteita. Säädin helpotti huomattavasti kuumailmakeräimen hyödyntämistä lämmitykseen ja mahdollisti aiempaa laajemmat käyttömahdollisuudet esim. talvikauden kuivanapitolämmitykseen. Säädin omaa erinomaisen soveltuvuuden monenlaisien ilmakiertoisten lämmitysratkaisujen ohjaukseen ja soveltuukin sellaisenaan käyttöön otettavaksi kelle tahansa. Säädin on suunniteltu sijoitettavaksi sisätiloihin, ja mikäli se haluttaisiin sijoittaa sääälle alttiisiin oloihin se on sijoitettava suojaavaan koteloitiin. Säänkestävyyttä voitaisiin lisätä myös poistamalla potentiometri, joka on kosteissa oloissa epäluotettava, jolloin se korvattaisiin kiinteillä vastuksilla. Potentiometri poistettaessa joudutaan luopumaan lämpötilansäädöstä.

Aurinkolämmityksestä laaditussa selvityksessä havaittiin hyödynnys mahdollisuuksien runsas määrä, sekä toteutustapojen joustavuus erilaisiin tarpeisiin. Erityisesti yksityishenkilöitä hyödyttävänä seikkana havaittiin että olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää ei tarvitse rakentaa uudestaan, jotta auringosta voidaan hyötyä, vaan se voidaan liittää vanhan järjestelmän tueksi.

LÄHTEET

- [1] Stanford university, "Solar Energy 101 | GCEP Symposium 2010" [Videoluento.] Saatavilla: <http://www.youtube.com/watch?v=9yNj1zEh-nM> (luettu 2.3.2014).
- [2] European Commission, "Solar energy resource in Europe" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solreseurope.htm> (Luettu 8.3.2014).
- [3] Silomaa T, "Aurinkolämpö ja korjausrakentaminen" [www-dokumentti.] Saatavilla: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/20642> (Luettu 12.3.2014).
- [4] Burgess P, "Variation in light intensity at different latitudes and seasons, effects of cloud cover, and the amounts of direct and diffused light" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.ccfg.org.uk/conferences/downloads/P_Burgess.pdf (luettu 12.3.2014).
- [5] Energy.gov, "Passive solar home design" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://energy.gov/energysaver/articles/passive-solar-home-design> (luettu 16.3.2014).
- [6] Wikimedia commons, "Passive solar heating illustration" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illust_passive_solar_d1.gif (luettu 16.3.2014).
- [7] Boyle G, "Renewable energy - power for a sustainable future" [www-kuva.] Saatavilla: <http://www.techthefuture.com/wp-content/uploads/2010/05/afdruk.jpg> (katsottu 16.3.2014).
- [8] Saadatian O, Sopian K, Lim C.H, Asim N, Sulaiman M.Y, "Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development" [www-dokumentti.] Saatavilla: www.researchgate.net (luettu 20.3.2014).
- [9] Hilliaho K. "Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset." [www-dokumentti.] Saatavilla: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6765/hilliaho.pdf?sequence=3> (luettu 15.5.2014).
- [10] The green products company, "Solar choice heater" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.thegreenproductscompany.com/storm_windows/solar_blinds.htm (luettu 15.5.2014).
- [11] Rustad T, Sahli M, Bushey M, Kertes R. "Solar choice blinds" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.solarchoiceheat.com/pdf/umd-study.pdf> (luettu 15.5.2014).
- [12] Motiva, "Aurinkoenergia" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia (luettu 10.3.2014).
- [13] Motiva, "Aurinkolämpö" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo (luettu 10.3.2014).

- [14] Suntekno, "Aurinkoenergia ABC- opas" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf> (luettu 22.3.2014).
- [15] Kaukomarkkinat, "KAUKO Solar TF" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.kaukomarkkinat.com/portal/fi/tuotteet+kuluttajille/aurinkolampo_tasokeraimet/kauko+solar+tf/ (luettu 18.3.2014).
- [16] Ympäristöenergia, "Y-energia 100-03" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www.y-energia.com/aurinkolampo/aurinkokerain/Y-energia_100-03/y-energia_100-03.html (luettu 22.3.2014).
- [17] Kalogirou S.A, "Solar thermal collectors and applications" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/eBook/heat%20pump/HP%20for%20desalination/Solar%20thermal%20collectors%20and%20applications.pdf> (luettu 25.3.2014).
- [18] Kylpyhuonemarket, "Tyhjiöputkikeräin 2,2M2" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.kylpyhuonemarket.fi/Tyhjiöputkikeräin-22M2> (luettu 20.4.2014).
- [19] Suomen tuontiliike, "Aurinkolämpöjärjestelmä 7,5kW" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://tuontiliike.fi/aurinkolampojarjestelma-500l.html> (luettu 20.4.2014).
- [20] Energia-auringosta, "Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate> (luettu 21.4.2014).
- [21] Shentai Solar Inc, "U-pipe solar collector SU series" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://www.suntasksolar.com/en/showproduct.asp?id=72> (luettu 21.4.2014).
- [22] European commission, "Photovoltaic geographical information system - interactive maps" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (luettu 25.4.2014).
- [23] 24Volt, "Luftsolfångare 2" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://24volt.eu/solfangare2.php> (luettu 19.5.2014).
- [24] Garg H.P, "Solar Energy: Fundamentals and applications" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://books.google.fi/books?id=-v_LfclJxIC&pg=PA92&dq=solar+air+heater&hl=fi&sa=X&ei=WHOVU9fPAYf-4QS-_4CoCg&ved=0CEEQ6AEwAQ#v=onepage&q=solar%20air%20heater&f=false (luettu 28.4.2014).
- [25] Juttuja Blog, "Aurinkolämmitysjärjestelmät" [www-dokumentti.] Saatavilla: <http://kodinkoneet.wordpress.com/2009/04/02/aurinkolammitysjarjestelmat/> (luettu 15.5.2014).

- [26] Holloway D.R, "A simple desing methodology for passive solar houses" [www-dokumentti.] Saatavilla:
<http://www.dennishollowayarchitect.com/simpledesignmethodology.html> (luettu 20.3.2014)
- [27] U.S Department of energy, "Active solar heating" [www-dokumentti.] Saatavilla:
<http://energy.gov/energysaver/articles/active-solar-heating> (luettu 28.5.2014).
- [28] U.S Department of energy, "Solar preheaters for outdoor ventilation air" [www-dokumentti.] Saatavilla: http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/fta_trans_coll.pdf (luettu 29.5.2014).
- [29] Singh S.P, Jairaj K.S, Srikant K, "The development of solar dryers used for grape drying" [www-dokumentti.] Saatavilla:
http://www.researchgate.net/publication/210244362_The_development_of_solar_dryers_used_for_grape_drying/file/4c3ff19c5a989e3e67f199ac6e5b0065.doc (luettu 1.6.2014).
- [30] Ilmatieteenlaitos, "Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut" [www-dokumentti.] Saatavilla:
<http://ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut> (luettu 25.3.2015).