

Jessika Leskelä

AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄN HARJOITUSTYÖ

AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄN HARJOITUSTYÖ

Jessika Leskelä
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Jessika Leskelä

Opinnäytetyön nimi: Aurinkokeräinjärjestelmän harjoitustyö

Työn ohjaaja(t): Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 40 + 5 liitettä

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella lämmitystekniikan opintojaksolle etänä suoritettava harjoitustehtävä, jossa hyödynnetään Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmää. Tehtävässä oli määrä laskea aurinkokeräinten teoreettinen tuotto ja verrata sitä todelliseen tuottoon. Tehtävän yhteyteen kuului lisäksi kirjoittaa hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmän toimintakuvaus, yleinen teoriaosuus aurinkokeräinjärjestelmistä, harjoitustehtävän ohjeistus ja Excel-pohjat.

Työssä käytettiin perustana aiempaa harjoitustehtävää ja VTT:n julkaisemaa Aurinko-opasta, jossa esitellään aurinkokeräinjärjestelmän lämpöenergiantuoton ja järjestelmän energiantarpeen laskentamenetelmä. Oamkin aurinkokeräinten todellinen tuotto saadaan SQL-tietokannasta. Työhön kuului lisäksi tutustuminen hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmään.

Todellinen tuotto oli pienempää verrattuna teoreettisesti laskettuun tuottoon. Syynä tähän on varjostusten sekä pilvisyyden vaikutus. Näistä tekijöistä pilvisyyttä on vaikea huomioida laskelmissa. Teoreettisilla laskelmilla keräinten takaisinmaksuaika on 25–27 vuotta, ja todellisella tuotolla laskettuna huomattavasti pidempi.

Asiasanat: aurinkolämmitys, aurinkokeräimet, harjoitukset

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme Energy technology

Author(s): Jessika Leskelä
Title of thesis: Solar Collector System Exercise
Supervisor(s): Jukka Ylikunnari
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021
Number of pages: e.g. 40 + 5 appendices

The purpose of this thesis was to create exercise about solar heating system. This system is located at hybrid laboratory at Oulu University of Applied Sciences. The exercise is about calculating theoretical and real energy production of the system. In addition to the exercise this thesis included writing theoretical information about solar heating system, functional description of the hybrid laboratory and instructions for the exercise.

In this thesis was used the guide made by VTT. The guide is for calculating the heat production and energy consumption of solar collector systems. The real heat production is given in SQL database.

As a result the real heat production of the system was lower than theoretical calculations. Reasons of these differences are shading and cloud factors. For theoretical production collectors payback time is 25–27 years and for real production considerably longer.

Keywords: solar heating, solar collectors, exercises

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄT	7
2.1	Nestekiertoiset keräimet	8
2.1.1	Tasokeräimet	8
2.1.2	Tyhjiöputkikeräimet	9
2.2	Ilmakiertoiset keräimet	11
2.3	Aurinkolämpö Suomessa	12
3	OAMKIN HYBRIDILABORATORION AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄ	14
3.1	Kytkentäkaavio	15
3.2	Keräimet	15
3.3	Pumppuyksikkö	16
3.4	Energiavaraaja	17
3.5	Täyttölaitteisto ja lämmönsiirtoneste	18
3.6	Säätimet	20
3.7	Säätimen parametrit	21
3.8	Järjestelmän toimintakuvaus	21
4	LÄMMITYSTEKNIIKAN OPINTOJAKSON HARJOITUSTEHTÄVÄ	22
4.1	Harjoitustehtävä 1: Teoreettinen tuotto	22
4.1.1	Tehtävänanto	22
4.1.2	Lähtöarvot	23
4.1.3	Keräimet	24
4.1.4	Säteilytiedot	24
4.1.5	Laskenta	25
4.1.6	Laskennan tulokset	29
4.2	Harjoitustehtävä 2: Todellinen tuotto	31
4.2.1	Tehtävän laadinta	32
4.2.2	Tiedonkäsittely	32
5	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	41

1 JOHDANTO

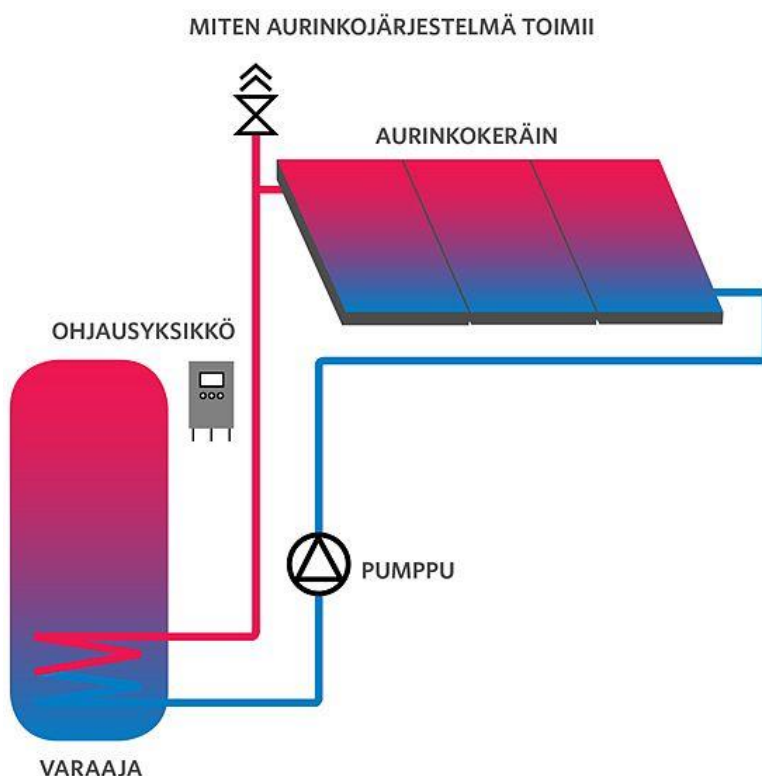
Aurinkolämmön potentiaaliin kohdistuva kiinnostus kasvaa koko ajan ja järjestelmiä kehitellään parhaillaan. Oulun ammattikorkeakoulun (Oamkin) Linnanmaan kampuksen hybridilaboratorioon on vastikään rakennettu hybridilämpöjärjestelmä, jossa aurinkolämpö on osana. Lämmitystekniikan opintojakson yhtenä aiheena on tutustuminen aurinkolämpöön, mutta nykyinen harjoitustehtävä ei hyödynnä kampuksen järjestelmää. Tavoite olisikin saada tämä järjestelmä osaksi harjoitusta, ja erityisesti niin, että tehtävän voisi suorittaa täysin etänä.

Opinnäytetyössä on tarkoitus laatia etätyöskentelynä suoritettava uusi harjoitustehtävä, jossa selvitetään Oamkin aurinkokeräinjärjestelmän todellinen energiantuotto ja verrataan tätä teoreettisen laskennan tulokseen. Harjoitustehtävän yhteyteen kootaan tämän lisäksi lyhyt teoriaosuus, Oamkin aurinkokeräinjärjestelmän esittely, tehtävän materiaali ja ohjeet. Työn tilaaja on Oulun ammattikorkeakoulu, jonka uuden Linnanmaan kampuksen hybridilaboratorio koostuu energia-, talo-, sähkö- ja automaatiotekniikan laboratorioista.

2 AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄT

Aurinkokeräinjärjestelmät muuttavat auringon säteilyä lämmöksi ja varastoivat sen käyttöön. Aurinkolämpöä käytetään tyypillisesti käyttöveden, teollisuuden prosessiveden ja tilojen lämmittämiseen. Sitä käytetään Suomen olosuhteissa usein osana hybridijärjestelmää eli rinnakkain jonkin toisen lämmitysmuodon kanssa. Aurinkokeräimiä on olemassa kahdenlaisia, nestekiertoisia ja ilmakeirottoisia keräimiä. (1; 2.)

Aurinkokeräinjärjestelmät koostuvat aurinkokeräimistä, lämpövarastosta, pumppuyksiköstä, ohjauskeskuksesta ja lämmönsiirtoverkostosta (kuva 1). Auringonsäteily lämmittää lämmönsiirtoainetta, joka kulkee keräimiltä putkistoa pitkin lämmönvarajaan. Pumppuyksikköön sisältyvät järjestelmän turvalaitteet ja paisunta-astia. Varaaja on tyypillisesti vesivaraaja, jonka avulla lämpöä saadaan käyttöön aurinkoisina vuodenaikoina myös sateisina tai pilvisinä päivinä. Varastointi voi tapahtua myös maa- tai kallioperään, lämpökaivoon tai talon rakenteisiin. (1; 3.)



KUVA 1. Aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate (1)

2.1 Nestekiertoiset keräimet

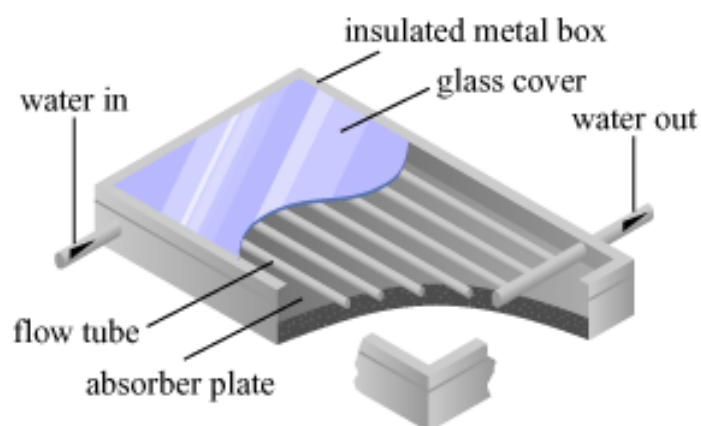
Nestekiertoisessa keräimessä järjestelmässä kiertää lämmönsiirtonestettä, joka kuljettaa lämpöenergian suoraan kohteeseen tai varaajaan. Nesteinä voidaan käyttää vettä sellaisissa järjestelmissä, jossa ei ole jäätymisvaaraa, mutta ympärivuotisissa järjestelmissä veteen sekoitetaan propyleeniglykolia putkiston suojaamiseksi. Tällaisia nesteitä ovat esimerkiksi Tyfocor ja DC2. Seosuhde nesteessä on usein 40 %, jolloin sillä on optimaalisin lämmönsiirtokyky ja viskositeetti. Nestekiertoisten keräinten etuja ovat hyvä lämpökapasiteetti, järjestelmän säädettävyyden ja lämmönsiirron helppous. Nestekiertoisen keräimen voi olla taso- tai tyhjiöputkikeräin. (4; 5.)

2.1.1 Tasokeräimet

Tasokeräimellä säteilyä kerätään tumman keräinelementin avulla. Lähes koko keräinpinta ottaa säteilyä vastaan, absorboi sen ja kuumenee. Elementin materiaali koostuu yleensä metallista, tai kattamattomissa keräimissä myös lämmönkestävistä muoveista. (6.)

Tasokeräin päällystetään yleensä läpinäkyvällä katteella lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Katteita voi olla useampiakin kerroksia, mutta kerrosten lisääminen nostaa keräimen hintaa ja pienentää absorboituvaa säteilyenergiaa. Tavallisin kateeratkaisu on erikoislasi, joka kestää keräimen lämpötilaerot -30 ja $+210$ °C:n välillä ja läpäisee yli 90 % auringonsäteilyä. Myös muovi voi olla katteen materiaalina kestävä ja edullinen, mutta sillä on suurempi mahdollisuus likaantua, ja se vaatii lämpölaajenemisen takia liikkumavaran. (6.)

Kuvan 2 poikkileikkauksessa lasikatteen ja absorboivan pinnan välissä sijaitsee putkia, joissa lämmönsiirtoneste virtaa. Joissain malleissa lämmönsiirtoputket voi olla integroitu suoraan lämpöä absorboivaan pintaan. (6.)

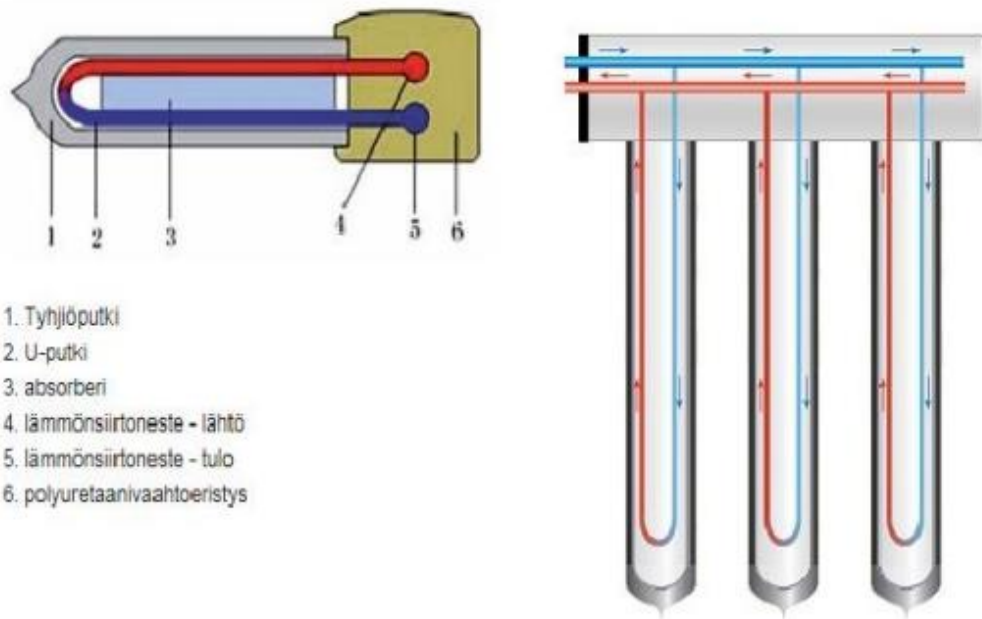


KUVA 2 Tasokeräimen poikkileikkauskuva (7)

2.1.2 Tyhjiöputkikeräimet

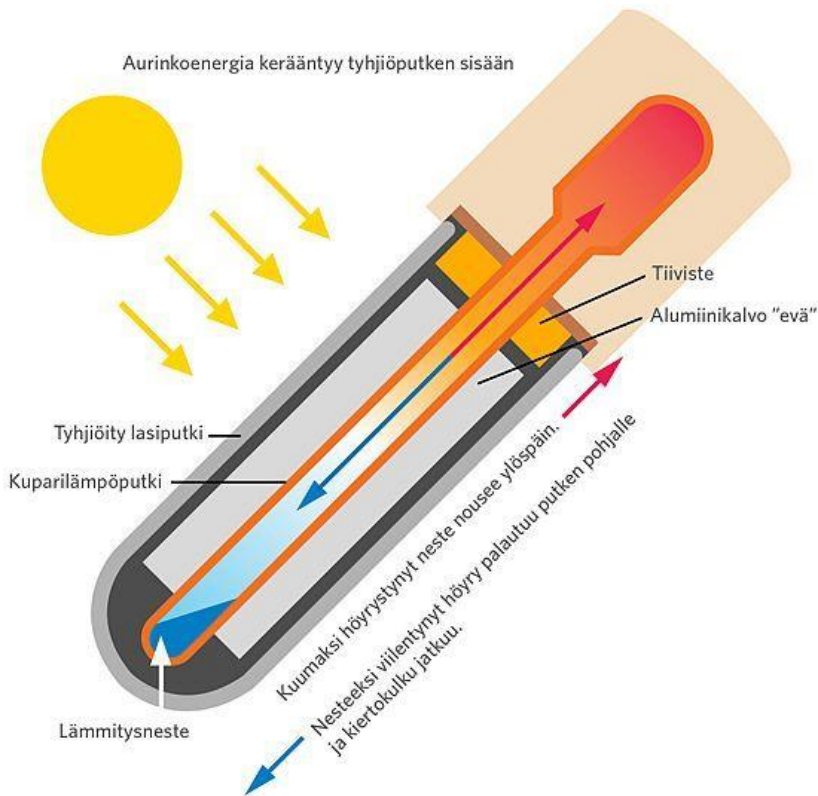
Tyhjiöputkikeräimissä ilma on poistettu lähes kokonaan johtumishäviöiden pienentämiseksi. Hyötysuhde on korkeissa lämpötiloissa parempi kuin tasokeräimissä. Lasiputken tyhjiö on hyvä lämmöneriste, joka estää lämpöä karkaamasta takaisin ulkoilmaan, jolloin suurempi osa siitä pystytään hyödyntämään. Pintalämpötilan pysyessä viileämpänä voi sisäosan lämpötila olla jopa 250 °C. Tyhjiöputkikeräimiä on kahta tyyppiä. Lämmönsiirtoneste voi kiertää u-muotoisessa putkistossa absorptiopinnan alla. Toinen vaihtoehto on tyhjiön sisällä oleva erillinen suljettu putki, jossa neste siirtää lämpöä höyrystyneessä muodossa järjestelmän putkistoon. (8.)

U-putkityyppisessä keräimessä ulommaisena on tyhjiöputki, jonka sisällä on absorbaattorilevy tyhjiössä. U-putki sijaitsee levyn alapuolella ja siinä kiertää lämmönsiirtoneste. Lämpö siirtyy alumiinilevyjen välityksellä u-putkien sisällä kiertävään nesteeseen. Jos kyseessä on kaksilasinen tyhjiöputki, tyhjiö sijaitsee uloimman ja sisemmän lasipinnan välissä, ja tällöin lämpö siirtyy johtumalla sisemmän lasin absorbaattoripinnasta sylinterimäiseen metallipintaan, joka on kiinni lämmönsiirto-putkessa. Kuvassa 3 havainnollistetaan yksilasisen tyhjiöputken rakenne. (8; 9.)



KUVA 3. U-muotoinen tyhjiöputkikeräin (9)

Heat pipe -tyyppisessä keräimessä tyhjiöidyn lasiputken sisällä on erillinen suljettu kuparinen lämpöputki, jossa on sisällä helposti höyrystyvää nestettä. Höyrystynyt neste nousee lämpöputken yläosaan ja kondensoituu ja luovuttaa lämmön keräimen yläosan putkistossa liikkuvaan lämmönsiirtonesteeseen. Luovutettuaan lämmön neste jäähtyy ja valuu nestemäisenä putken pohjalle. Heat pipe -putken sisällä oleva neste on alkoholia tai vettä, jolloin sen sisällä on normaalia ilmanpainetta pienempi paine. Kuvassa 4 on Heat pipe -putki ja sen toimintaperiaate. (8;9.)

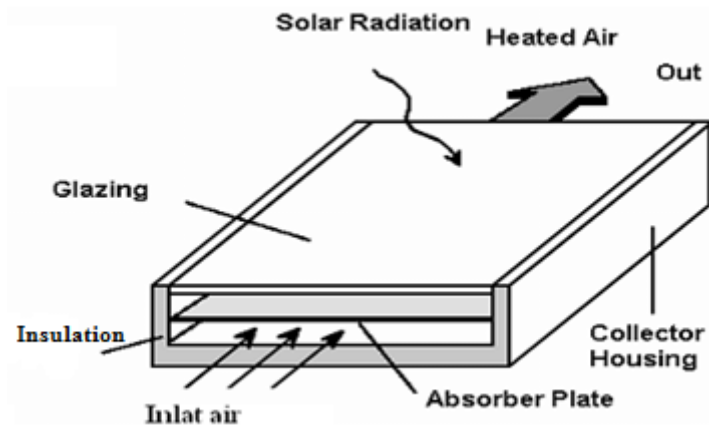


KUVA 4. Lämpöputki (Heat pipe) -tyyppinen tyhjiöputkikeräin (8)

2.2 Ilmakiertoiset keräimet

Lämmönsiirtoaine on ilmakeräimissä nimensä mukaisesti ilmaa. Ilman lämmönsiirtokyky on huomattavasti pienempi kuin nesteen, joten keräimissä on absorptioelementtejä, joissa on suuri lämmönsiirtopinta. Ilman johtumishäviöt voidaan estää imemällä ilmaa päinvastaiseen suuntaan, jolloin ilma ei nouse elementistä takaisin kanteeseen. Ilmaa tarvitaan noin 4 000-kertainen määrä kuin vettä siirtämään sama lämpömäärä, joten tarvitaan suuremmat kanavat kuin nestekiertoisilla keräimillä. Ilmakiertoisten keräinten etuna on se, ettei ilma aiheuta korroosiota, jäätymistä tai ylikuumenemisongelmia, ja se lämpenee nopeasti ja turvallisesti. (10.)

Kuvassa 5 on ilmakeräimen toimintaperiaate. Ilmakiertoisessa keräimessä on lasinen kate, jonka alla on absorptiolevy. Ilma lämpenee kulkiessaan absorptiolevyn läpi. Lämmennyt ilma siirretään puhaltimella kohteeseen. (10.)

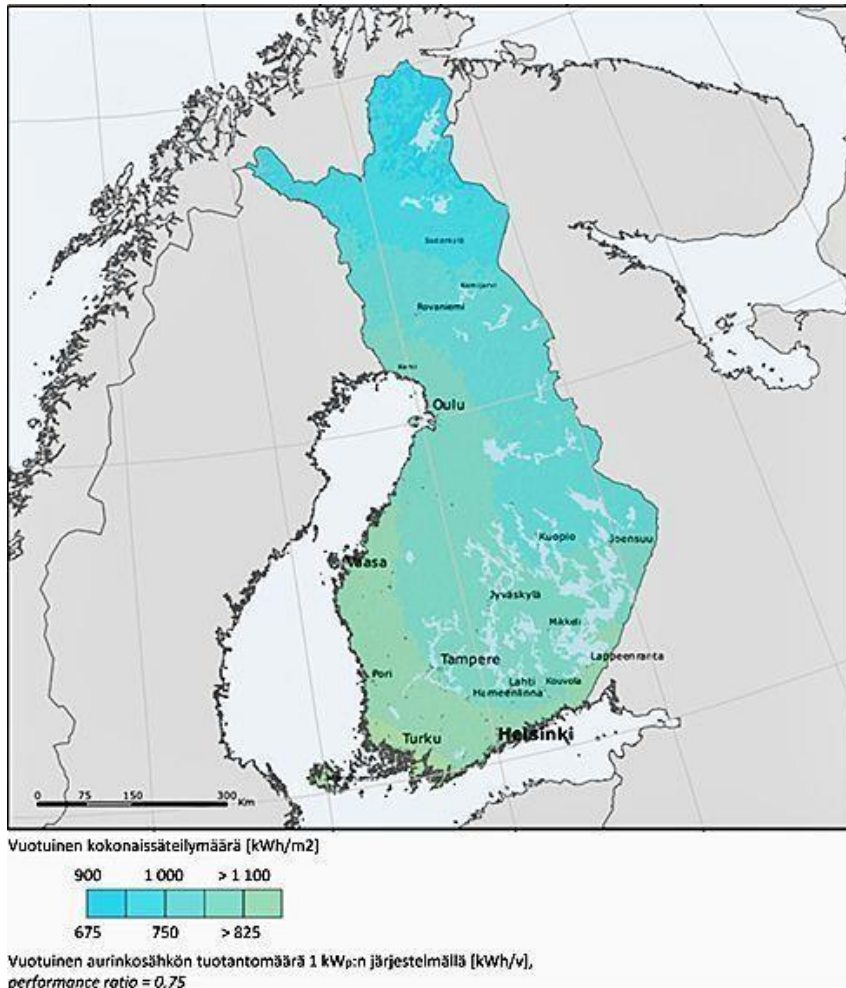


KUVA 5. Ilmakiertoisen keräimen toimintaperiaate (11)

2.3 Aurinkolämpö Suomessa

Aurinkolämmöllä on Suomessakin pitkästä talvesta huolimatta mahdollista lämmittää käyttövettä 8–10 kuukautena vuodessa. Energiaa pystytään tuottamaan vuodessa tehokkaalla keräinjärjestelmällä noin 300–500 kWh/m². Aurinkoenergian tuottoon vaikuttavat sijainti, kallistuskulma ja suuntaus. Optimaalinen asennuskulma Suomessa on keräimen kannalta 30–60° etelän suuntaan. Aurinkolämpö hyödynnetään Suomessa usein jonkin toisen lämmitysmuodon, kuten sähkölämmityksen, maalämmön tai kaukolämmön rinnalla. (12; 13; 5.)

Suomessa suurin osa säteilystä on hajasäteilyä, minkä takia käytössä ei ole juurikaan aurinkoa seuraavia järjestelmiä, jotka perustuvat suoran säteilyn tehokkaaseen hyödyntämiseen. Vuotuinen säteily on suurin piirtein samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksassa, mutta säteily on keskittynyt kesäkuukausille, jolloin lämmityksentarve on pienempi kuin talvella. Kuvassa 6 on nähtävissä auringon säteilyn määrä optimaalisesti kallistetuille pinnoille Suomessa. Säteily on suurinta Etelä- ja Länsi-Suomessa. (14.)



KUVA 6. Vuotuinen kokonaissäteily määrä (kWh/m²) Suomessa (14)

Aurinkolämpöjärjestelmän käyttö- ja hoitokustannukset ovat pienet. Järjestelmän toiminta ja käyttöpainne tarkistetaan pari kertaa vuodessa ja perusteellisempi huolto, joka sisältää liitosten, eristeiden, kiinnityksen ja lämmönsiirtonesteen tarkistuksen, suoritetaan viiden vuoden väli. Kuluvat osat, joita ovat kiertopumppu ja paisuntasäiliö, uusitaan 10–15 vuoden välein. (5.)

3 OAMKIN HYBRIDLABORATORION AURINKOKERÄINJÄRJESTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmään kuuluu taso- ja tyhjiöputkikeräin. Molempiin keräimiin kuuluu oma kiertojärjestelmänsä, johon sisältyy pumppuyksikkö säätimillä ja varolaitteella. Keräimiltä tuleva lämpö kulkee putkistossa lämmönvaraajan läpi luovut- taen lämmön, joka varastoituu varaajan sisällä olevien aurinkokierukoiden välityksellä veteen. Jäähdytynyt neste jatkaa kiertoa pumppuyksikön läpi takaisin keräimille. Järjestelmään kuuluu myös täyttölaitteisto, josta propyleeninestettä voidaan lisätä tai vähentää kierrosta. Kuvassa 7 on aurin- kolämpöjärjestelmän energiavaraaja, täyttölaitteisto, pumppuyksiköt ja putkisto.



KUVA 7. Aurinkokeräinjärjestelmä kokonaisuudessaan lukuun ottamatta keräimiä

3.1 Kytöntäkaavio

Kytöntäkaaviossa keräimet ovat vasemmassa yläreunassa. Tasokeräimeltä lämmin propyleenineste kulkeutuu punaista putkea pitkin energiavaraajaan, jossa se luovuttaa lämmön aurinkokierukoiden kautta ja kuljettaa nesteen sinistä putkea pitkin tasokeräimen pumppuryhmän kautta takaisin keräimelle. Tyhjiökeräimen vastaava kiertopiiri toimii samalla tavalla.

Täyttölaitteistosta voidaan tarvittaessa täyttää nestettä molemmista tai vain toisesta keräinpiiristä pumppuryhmän kautta punaisia putkia pitkin. Tarvittaessa nestettä voidaan myös poistaa kierrosta sinisiä putkia pitkin. Kytöntäkaavio löytyy liitteestä 5.

3.2 Keräimet

Aurinkokeräinjärjestelmän tyhjiöputki- ja tasokeräin sijaitsevat hybridilaboratorion ulkoseinässä (kuva 8). Loput aurinkokeräinjärjestelmästä sijaitsee sisällä hybridilaboratoriossa. Käytössä olevat keräimet ovat Onnline-tasokeräin ja NN10-tyhjiöputkikeräin.



KUVA 8. Hybridilaboratorion seinustan tyhjiöputki- ja tasokeräimet (15)

Tasokeräin on Onninen OY:n Onnline -keräin ja sen hyötysuhde on 0,75. Keräin on pinnoitettu Eta plus pinnoitteella, jolla on korkea lämmön imukyky (16; 17). Tasokeräimen korkeus on 1,940 metriä ja leveys 1,9 metriä ja pinta-ala 3,7 m². Keräimen asennuskulma on 63,4°.

NN10-tyhjiöputkikeräin on heat pipe -tyyppinen tyhjiöputkikeräin, jonka hyötysuhde on 0,849 ja siinä on rakeita kestävä erikoislasi, lähes heijastamaton lasipinta ja tehokas absorbaatiopinta. Keräimen korkeus on 1,955 m ja leveys 2,455 m. Pinta-ala on 4,8 m². Keräimessä on 30 tyhjiöputkea.

3.3 Pumppuyksikkö

Järjestelmän pumppuyksikkö kierrättää nestettä keräinten ja varaaja välillä. Yksikköön kuuluu virtaussäädin, pumppu, lämpömittari, painemittari ja ylipaineventtiili sekä erillinen ohjausyksikkö ja paisuntasäiliö. Ohjausyksikkö käynnistää ja pysäyttää pumpun, seuraa järjestelmän lämpötiloja anturien avulla ja estää varaajan ylikuumenemisen pysäyttämällä tarvittaessa kiertopumpun. (18.)

Kuvassa 9 vasemmalla on tasokeräimen pumppuyksikkö ja oikealla tyhjiöputkikeräimen. Pumppuyksiköiden takaa alhaalta löytyvät paisuntasäiliöt. Lämpötila- ja painemittarien anturit on sijoitettu varaajan ja aurinkokeräinten sisälle. Pumput ovat pumppuyksikköjen eristettyjen kuorten sisältä. (19.)



KUVA 9. Taso- ja tyhjiöputkikeräinten pumppuyksiköt

Tyhjiö- ja tasokeräinjärjestelmissä käytetään kiertovesipumppuja. Niiden ohjauksessa käytetään eri menetelmiä. Tyhjiökeräimen pumppu käyttää mekaanista relelähtöä ja PWM-ohjauslähtöä. (20.)

Tyhjiökeräinjärjestelmän pumpun rele käynnistetään ja suljetaan automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattikäynnistys on turvallisempi, sillä se ottaa huomioon järjestelmän lämpötilan ja asennetut parametrit. Manuaalista käynnistystä käytetään vain lyhyillä toimivuustestauksilla. Tasokeräinjärjestelmän pumpun PWM-ohjauslähtöä käytetään pumpun nopeuden hallintaan. Pumpun ollessa kiinni PWM-signaali on suljettu, ja asetusravon 20 °C ylittyessä pumppu käynnistyy ja nopeus kasvaa tasaisesti. (20.)

3.4 Energiavaraaja

Lämpö kulkeutuu suoraan aurinkokeräimiltä energiavaraajaan ja varastoituu sen alaosassa sijaitsevien aurinkokierukoiden kautta käyttöveteen. Vesivaraajan käyttö aurinkoenergian varastoinnissa on yleisin ratkaisu. Kuvan 10 varaaja, joka on käytössä hybridilaboratoriossa, on malliltaan Akvatermin Akva Geo Solar -varaaja. Tämä varaaja soveltuu kaikkiin lämmönlähteisiin ja niiden yhdistelmiin. Varaajassa on aiemmin mainittujen varusteiden lisäksi myös kaksi käyttövesikierukaa. (21; 22)



KUVA 10. Energiavaraaja

3.5 Täyttölaitteisto ja lämmönsiirtoneste

Nestettä voidaan lisätä kiertoon täyttölaitteistosta molempiin tai vain toiseen kiertopiiriin. Vastavasti nestettä voidaan poistaa molemmista tai vain toisesta kiertopiiristä tarvittaessa. Kuvassa 11 on täyttösäiliö. Sinisellä nuolella on kuvattu putkisto, jolla lämmönsiirtonestettä voidaan lisätä molempiin keräinpiireihin. Sininen putki haarautuu taso- ja tyhiiöputkikeräimelle. Punaisella nuolilla on merkitty putket, joita pitkin nestettä voidaan vähentää kierrosta. (4.)



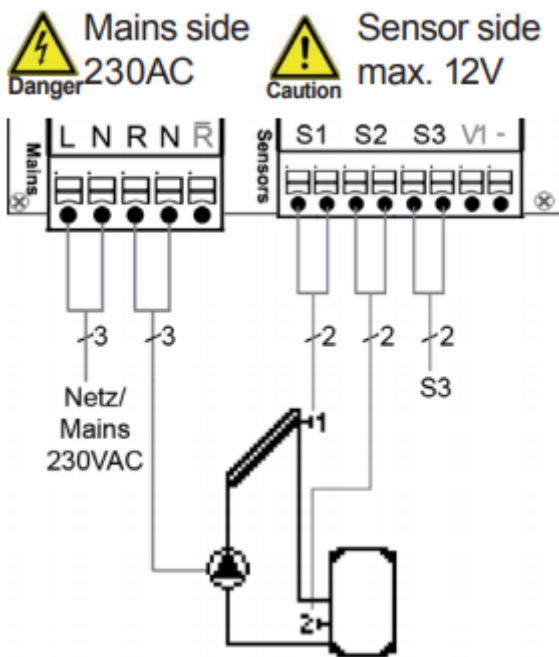
KUVA 11. Täyttölaitteisto

Järjestelmässä kiertävä neste koostuu propyleeniglykolin ja veden sekoituksesta. Pelkkää vettä ei voida käyttää nesteenä, koska kyse on ympärivuotisesti käytettävästä järjestelmästä, johon tarvitaan pakkasenkestävä lämmönsiirtoneste. Koska neste koostuu osittain vedestä, on huomioitava mahdollisuus legionella-bakteerin esiintymiseen. Bakteerin mahdollisia kasvupaikkoja ovat vesijärjestelmät, jossa on 20–45-asteista vettä. Jos legionella-bakteerin pitoisuus on vedessä suuri tai sitä leviää hengitysilmaan, voi se aiheuttaa pahimmillaan keuhkokuumeen kaltaisia oireita. (4; 23; 24.)

3.6 Säätimet

Lämpöverkkoon kuuluu kaksi säädintä, tyhjiöputkikeräimelle versio V1 ja tasokeräimelle versio V3. Niissä on molemmissa kaksi Pt1000-lämpöanturia, jotka sijaitsevat keräimen yläosassa (anturi S1) ja varaajalta tulevassa paluuputkessa (anturi S2). Tyhjiöputkikeräimen säätimessä on relelähtö kiertovesipumppua varten. Tasokeräimen säätimessä on PWM-ohjauslähtö kiertovesipumpulle. Säätimien asetukset tulisivat olla identtiset molemmille keräintyypille, jotta tuottoa pystytään vertaamaan keskenään. (25;20.)

Kuvassa 12 on esitelty säätökaavio molemmille keräimelle. S1 on keräimissä oleva sensori ja S2 varaajassa oleva. R on pumpun vaihe ja N on pumpun nolajohdin.



KUVA 12. Lämpöverkon säätökaavio (20)

Säätimen toiminta riippuu kahdesta lämpötila-anturista. Ensimmäinen anturi S1 seuraa aurinkokeräimen lämpötilaa ja käynnistää pumpun, kun lämpötila on yli 20 °C, ja vastaavasti lämpötilan las-
kiessa minimiarvon alle pumppu pysähtyy. Säädin seuraa myös toista, varaajassa olevan anturin S2 lämpötilaa, jonka tulee olla alle 60 °C. Näiden kahden anturin välinen lämpötilaero tulee olla lisäksi yli 10 °C. Pumppu pysähtyy, kun lämpötilaero on alle 3 °C. (25;20.)

3.7 Säätimen parametrit

Säätimeen asetetaan parametrit, joilla pumppu käynnistyy ja pysähtyy. Näiden anturien lämpötilaero on lisäksi määritetty, ja tämän lämpötilaeron toteutuessa pumppu käynnistyy, ja lämpötilaeron ollessa tarpeeksi pieni pumppu pysähtyy. Säätimessä on jumiutumisen, jäätyamisen ja ylikuumenemisen varalta suojaus. Osaa toiminnoista hoidetaan Fidelix-automaatiikalla, joten niitä ei ole säätimen asetuksissa käytössä. Tästä esimerkkinä on toiminto legionellabakteerin ehkäisemiseen, jolloin lämpötila käy 70 asteessa. (20.)

3.8 Järjestelmän toimintakuvaus

Aurinkokeräinjärjestelmän esittely on erillinen osa harjoitustehtävän materiaalia, ja sen tarkoitus on havainnollistaa opiskelijalle laitteisto tutustumalla siihen etänä. Esittely oli alussa ajatuksena toteuttaa videoesittelyinä, mutta vaihtoehtona oli myös tehdä se selkeiden kuvien avulla.

Esittelyssä on aluksi kuva koko järjestelmän aurinkokeräinosuudesta, ja siitä on kerrottu yleisesti. Tämän jälkeen kytkentäkaavion avulla esitellään järjestelmän toiminta. Laitteisto ja putket on selkeyden vuoksi numeroitu kytkentäkaavioon, ja järjestelmän osat on esitetty taulukossa. Järjestelmään kuuluvat osat eli keräimet, pumppuryhmät, täyttölaitteisto ja energiavaraaja on esitelty lyhyesti kuvien ja kertomalla niiden toiminnasta. Toimintakuvaus on liitteessä 4.

4 LÄMMITYSTEKNIIKAN OPINTOJAKSON HARJOITUSTEHTÄVÄ

Lämmitystekniikan opintojaksoon kuuluu harjoitustehtävä, jolla voidaan laskea aurinkokeräinjärjestelmän teoreettinen tuotto. Tämän olemassa olevan tehtävän lisäksi laadittiin toinen harjoitustehtävä, jossa laskentaa sovelletaan hybridilaboratorion keräinjärjestelmään ja selvitetään sen todellinen tuotto.

4.1 Harjoitustehtävä 1: Teoreettinen tuotto

Ensimmäisessä harjoitustehtävässä lasketaan aurinkokeräinten teoreettinen tuotto. Laskennan apuna käytetään Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opasta, joka käsittelee Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaista laskentaa. Oppaassa esitetään laskentamenetelmä aurinkokeräinjärjestelmän lämpöenergiantuoton sekä järjestelmän kuluttaman energian laskemiseksi. Aurinko-oppaan on laatinut VTT:n erikoistutkija Ismo Heinonen. (26.)

Oppaassa aurinkolämpöjärjestelmä määritellään järjestelmäksi, joka koostuu aurinkolämpökeräimistä, lämpövaraajasta sekä näihin liittyvästä energiansiirtojärjestelmästä. Oppaan laskentamenetelmä perustuu EN-standardiin SFS EN 15316-4-3:2007. Laskentaa varten on tiedettävä keräimen hyötysuhde, joka on mitattu standardin EN 12975-2 mukaisesti ja joka saadaan yleensä valmistajalta. Lisäksi on tiedettävä keräinpinta-ala, auringon säteilyenergiatiedot ja lämpöenergian tarve. Oppaan taulukoissa on esitetty Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän kuukausittainen auringon säteilyenergia vaakasuoralle pinnalle sekä korjauskertoimet, joiden avulla voidaan laskea säteilyenergia kallistetulle pinnalle. Oppaassa on ohjeet omavaraisenergian ja järjestelmän käyttämän sähkönkulutuksen laskemiseen. (26.)

4.1.1 Tehtävänanto

Tehtävää varten on tehtävänannossa mainittu muutamia laskentaan tarvittavia lähtöarvoja eli keräinten mitat ja asennuskulmat, lämpimän veden kulutus ja lämpötila, varaajan ja varaajan tukilämmitetyn osan nimellistilavuus. Työ on määrä tehdä aurinko-oppaan kaavojen ja esimerkkien avulla.

Tarkoituksena on laskea kiertopumpun energian tarve ja laatia laskennasta taulukko Exceliin. Tämän jälkeen lasketaan järjestelmän kannattavuus suoralla takaisinmaksuajalla Oulun Energian ta-
loussähkön hintojen ja laitteiston investointikustannusten mukaan. (27.)

Aiemmassa tehtävässä henkilökohtaiset lähtöarvot saatiin taulukosta. Nämä lähtöarvot olivat sä-
teilykulma, asukkaiden lukumäärä, taso- ja tyhjiökeräinten mallit sekä varjostuksen pinta-ala. Pää-
dyttiin kuitenkin käyttämään vertailtavissa olevan tuloksen saamiseksi Oamkin keräinten mittoja.

4.1.2 Lähtöarvot

Aiemmassa harjoitustehtävässä käyttöpaikka on Helsinki. Se vaihdettiin Ouluun, jotta vertailu olisi
todenmukaisempaa. Henkilökohtaiset lähtöarvot, eli kulma, henkilöiden määrä, käytettävät keräi-
met ja varjostuksen pinta-ala oli määritetty erikseen taulukossa. Nykyisessä laskennassa vaihdet-
tiin keräinten kulmat ja mitat, ja henkilöiden määrä on 2. Varjostuksia ei ole tiedossa. Keräimet on
vaihdettu markkinoilla oleviin, Oamkissa käytössä oleviin keräimiin. Muut lähtöarvot pysyvät ennal-
laan. Keräinten mitat liitettiin kuvina lähtötietoihin.

Käyttöpaikkana on Oulu ja aurinkolämpöä käytetään vain käyttöveden lämmittämiseen. Taso- ja
tyhjiöputkikeräimiä on molempia yksi kappale. Lämpimän veden kulutus on 50 l/hlö veden lämpö-
tilan ollessa 58 °C ja säiliön nimellistilavuus 75 l/m²_{keräin}. Lisälämmitetty osuus on 1/3 säiliön nimel-
listilavuudesta, ja lisälämmitystä käytetään yöaikaan, jolloin käyttötavasta riippuva kerroin $x = 0,7$
saadaan Aurinko-oppaasta. Varaaja- tai putkistohäviöitä ei huomioida. Keräinten asennuskulma
on 60°, ja varjostusta ei huomioida laskennassa. Lämpimän käyttöveden minimilämpötila 40 °C ja
kylmän veden keskilämpötila 5 °C saadaan Aurinko-oppaasta. Lämpimän käyttöveden siirron vuo-
sihyötysuhde $\eta_{\text{kv,siirto}}$ saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelmasta taulukosta 6.3. Raken-
nuksen ollessa pientalo, jonka jakojohdo on perustasoisesti eristetty, $\eta_{\text{kv,siirto}}$ on 0,89. Varaajatyypin
korjauskertoimet c_{tyyppi} , a, b, c, d, e ja f löytyvät Aurinko-oppaasta. Keräinpiirin hyötysuhteena käy-
tetään Aurinko-oppaan oletusarvoa 0,8. (26; 28.)

4.1.3 Keräimet

Alkuperäisessä tehtävänannossa mainittuja Savosolarin SF100-03-tasokeräimiä on myyty 2010-luvun alkupuolella, mutta enää niitä ei ole myynnissä. Yrityksen nykyiset keräinmallit ovat suuremman kokoluokan keräimiä, joiden pinta-alat ovat jopa 12–15 m², eli ne eivät tässä tapauksessa sovellu laskentaan. Tasokeräimenä päädyttiin käyttämään siis Onnline-keräintä, joka on myös käytössä Oamkin aurinkokeräinjärjestelmässä. Laskentaa varten valmistajalta saatu arvo optiselle hyötysuhteelle η_0 on 0,75, lämpöhäviökertoimelle a_1 on 4,3 W/m²K ja häviökertoimelle a_2 on 0,012 W/m²K² ja yhden keräimen pinta-ala on 3,7 m². Asennuskulma on 63,4°. Keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin IAM saadaan Aurinko-oppaasta, ja sen arvo on 0,94, sillä kyseessä on lasikatteinen tasokeräin. (26;29.)

Tehtävänannossa tyhjiöputkikeräimeksi oli merkitty Lämpöputki cs -keräin. Tämän nimistä keräintä ei löydy suoraan mistään, joten se saattaa viitata City Solar -nimiseen yritykseen, josta löytyy vain vähän mainintoja, tai vaihtoehtoisesti johonkin toiseen yritykseen, joka ei ole toiminnassa tai jonka paneeleja ei enää valmisteta tai myydä. Tehtävässä päätettiin siis käyttää lähtöarvona Oamkin aurinkokeräinjärjestelmän NN10-tyhjiöputkikeräintä. Sen optimaalinen hyötysuhde on 0,849 ja keräinpinta-ala 4,8 m². Asennuskulma tyhjiöputkikeräimellä on 56,7°. Häviö- ja lämpöhäviökerrointa ei saada valmistajalta, joten ne otetaan Aurinko-oppaasta. Lämpöhäviökertoimen a_1 arvona käytetään tyhjiöputkikeräimille tarkoitettua arvoa 3 W/m²K ja häviökertoimen a_2 arvona käytetään 0 W/m²K². Kohtauskulmakertoimelle IAM käytetään arvo 1,0, joka on tarkoitettu tyhjiöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta. (30; 26; 17)

4.1.4 Säteilytiedot

Aurinko-oppaassa on taulukoitu säteilytiedot Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän alueelle. Realisemman tuloksen saamiseksi harjoitustehtävässä säteilytiedot haetaan Ilmatieteen laitoksen havaintojen latauksista. Oulua lähin säteilytietoa keräävä havaintoasema on Siikajoella ja lämpötilatietoja keräävä asema Oulussa Pellonpäässä. Säteilymäärää haettiin myös PVGIS-työkalun avulla. Laskennassa on käytetty Ilmatieteen laitokselta saatuja säteilyn arvoja, sillä ne havaittiin laskennassa tarkemmaksi. Tuloksissa esitellään kuitenkin myös PVGIS:n avulla saatuja tuloksia. (31;32)

4.1.5 Laskenta

Ilmatieteen laitokselta saadut säteily- ja lämpötilatiedot vuodelta 2020 on esitetty taulukossa 1 kuukausittain, ja alimmalla rivillä on säteily määrä vuoden aikana yhteensä sekä vuoden keskimääräinen ulkolämpötila. Säteilyenergia vaakatasolle on laskettu kertomalla joka kuukauden säteilyteho kuukaudessa olevien tuntien määrällä. Korjauskertoimenä 60°:n kulmaan asennetuille keräimille käytetään Aurinko-oppaasta löytyviä Jyväskylän kertoimia, koska Jyväskylä ja Oulu sijaitsevat samalla säävyöhykkeellä III (26). Vaakatasolle tulevan säteilyn ja korjauskertoimen avulla lasketaan säteilyenergia kallistetulle pinnalle.

TAULUKKO 1. Säteilyenergia laskettuna 60° kallistetulle pinnalle

Koko vuosi	Säteilyn määrä (Ilmatieteen laitokselta) (W/m ² /kk)	Tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila (°C)	Säteily vaakatasolle (kWh/m ² /kk)	Korjauskertoimen 60 ° (Käytetään Säävyöhykkeen III kertoimia)	Säteily kallistetulle pinnalle 60 ° (kWh/m ² /kk)
Tammikuu	2,944564	-2,11	2,190755	1,75	3,833822
Helmikuu	26,45144	-3,92	17,77537	2,27	40,35008
Maaliskuu	84,10739	-1,84	62,5759	1,75	109,5078
Huhtikuu	141,5725	0,48	101,9322	1,3	132,5119
Toukokuu	231,8251	6,74	172,4779	1,07	184,5514
Kesäkuu	322,8917	16,87	232,482	0,99	230,1572
Heinäkuu	185,3897	14,99	137,9299	1,01	139,3092
Elokuu	183,5829	14,27	136,5857	1,11	151,6101
Syyskuu	82,71667	10,10	59,556	1,33	79,20948
Lokakuu	27,77876	5,67	20,6674	1,62	33,48119
Marraskuu	5,322083	1,63	3,8319	1,33	5,096427
Joulukuu	-0,3582	-1,95	-0,2665	1	-0,2665
Vuosi	1294,225	5,04	947,7385	1,26	1194,151

Lämpimän käyttöveden häviötön lämmöntarve lasketaan jokaiselle kuukaudelle kaavalla 1. (26.)

$$Q_{LV} = \frac{V_{LV,d} * t_d * 1 \text{ kg/l} * c_p * (T_{LV} - \theta_{cw})}{3600}$$

KAAVA 1

jossa

Q_{LV} = lämpimän käyttöveden lämmöntarve, kWh/kk

$V_{LV,d}$ = lämpimän käyttöveden kulutus, l/vrk

t_d = vrk lukumäärä/kk

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti kJ/kg*K

T_{LV} = lämpimän veden lämpötila, °C

θ_{cw} = kylmän veden lämpötila, °C

Lämpimän käyttöveden kuukausittainen lämmöntarve, jossa häviöt on huomioitu, saadaan kaavalla 2 (26).

$$Q_{tarve,A} = \frac{Q_{LV}}{\eta_{LKV-siirto}}$$

KAAVA 2

jossa

$Q_{tarve,A}$ = lämpöjärjestelmään kohdistuva lämmöntarve, kWh/kk

$\eta_{LKV-siirto}$ = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin voidaan laskea kaavalla 3 (26).

$$U_L = 5 + 0,5 A \text{ W/K}$$

KAAVA 3

jossa

U_L = keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin, W/K

A = keräinpinta-ala, m²

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin U_C lasketaan kaavalla 4 (26).

$$U_C = a_1 + 40 a_2 + \frac{U_L}{A}$$

KAAVA 4

jossa

U_C = keräinpiirin lämpöhäviökerroin, W/m²K

a_1 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin, W/m²K

a_2 = keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin, W/m²K²

Apulämmityksen osuus saadaan laskettua kaavalla 5 (26).

$$f_{apu} = x * \frac{V_{TL}}{V_{nim}}$$

KAAVA 5

jossa

f_{apu} = osuus varaajasta, missä apulämmitys on käytössä

x = lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin

V_{TL} = varaajan tukilämmitysosien tilavuus, dm³

V_{nim} = varaajan nimellistilavuus, dm³

Varaajan todellinen suunniteltu ominaistilavuus saadaan kaavalla 6 (26).

$$V_{tod} = V_{nim} * (1 - f_{apu})$$

KAAVA 6

jossa

V_{tod} = varaajan suunniteltu ominaistilavuus, dm³/keräin-m²

Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavalla 7 (26).

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25}$$

KAAVA 7

jossa

V_{ref} = referenssitilavuus dm³/keräin-m²

Sovelluksesta ja varastotyyppistä riippuva vertailulämpötila lasketaan joka kuukaudelle erikseen kaavalla 8 (26).

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,18 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad \text{KAAVA 8}$$

jossa

θ_{ref} = vertailulämpötila, °C

θ_{hw} = lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

θ_e = tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, °C

Referenssilämpötilaero lasketaan joka kuukaudelle kaavalla 9 (26).

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad \text{KAAVA 9}$$

Häviöt/tarve -suhde lasketaan jokaiselle kuukaudelle kaavalla 10 (26).

$$X = \frac{A * U_c * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * C_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad \text{KAAVA 10}$$

jossa

η_{kierto} =keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutuksen ja keräinpiirin lämpöhäviöt

IAM = keräintyyppin liittyvä kohtauskulmakerroin

Tuotto/tarve -suhde lasketaan jokaiselle kuukaudelle kaavalla 11 (26).

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_0 * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad \text{KAAVA 11}$$

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto tarkastelujaksolla lasketaan lopuksi joka kuukaudelle erikseen kaavalla 12 (26).

$$Q_{tuotto,A} = C_{tyyppi} * (a * Y + b * X + c * Y^2 + d * X^2 + e * Y^3 + f * X^3) * Q_{tarve,A} \quad \text{KAAVA 12}$$

Huom. Jos $Q_{\text{tuotto, A}} < 0$, $Q_{\text{tuotto, A}} = 0$ tai $Q_{\text{tuotto, A}} > Q_{\text{tarve}}$, niin $Q_{\text{tuotto}} = Q_{\text{tarve}}$

jossa

$Q_{\text{tuotto, A}}$ = aurinkolämmön tuotto, kWh/a

c_{tyyppi} = varaajatyypin korjauskertoimen

a, b, c, d, e, f = varaajatyypistä riippuvat korjauskertoimet

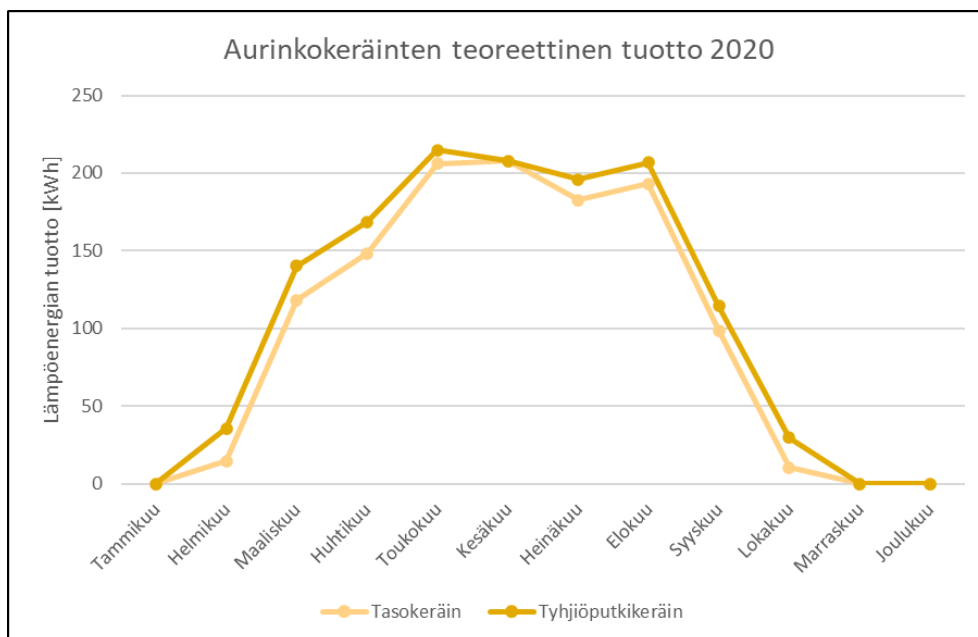
Suora takaisinmaksuaika, jolloin ei huomioida hintatason vuosittaista muutosta, lasketaan kaavalla 13 (33).

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Inv.kust.}}{\text{sähkön hinta}}$$

KAAVA 1

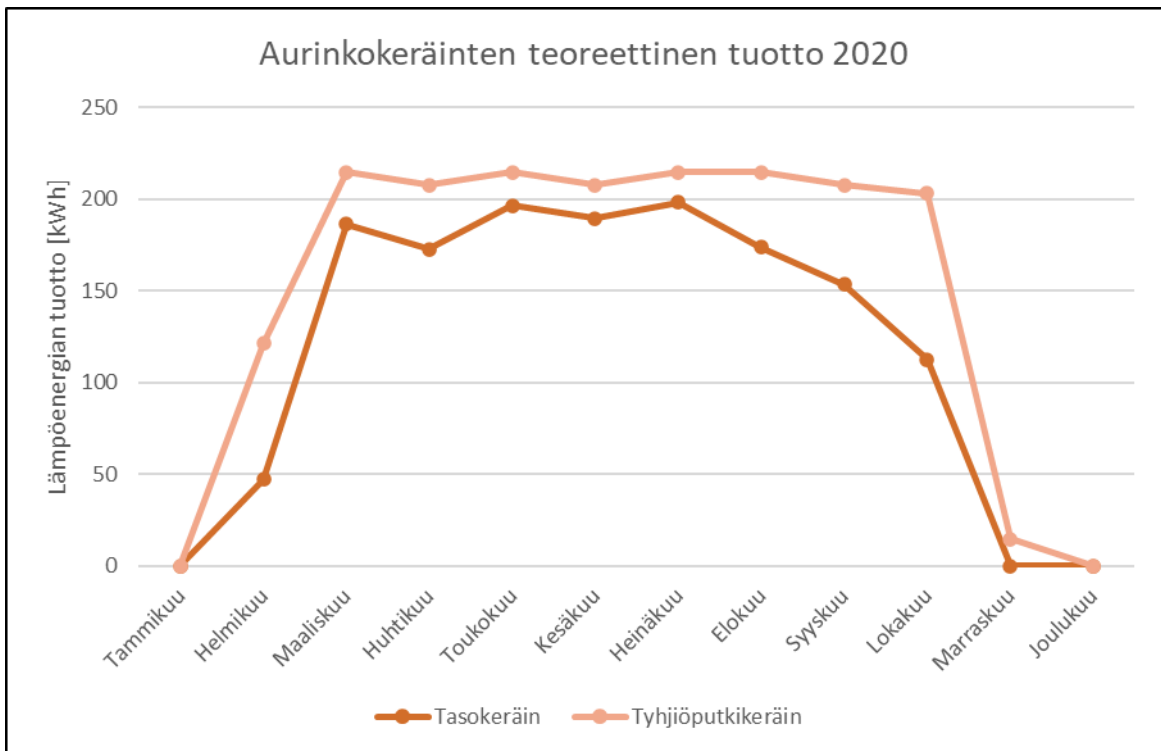
4.1.6 Laskennan tulokset

Lämmöntarpeeksi saatiin molemmilla keräimillä 2529,8 kWh vuodessa. Tasokeräimen nettotuotoksi saatiin 1180,1 kWh vuodessa ja tyhjiöputkikeräimellä 1314,0 kWh vuodessa. Kuukausittainen tuotto on nähtävillä kuvassa 12.



KUVA. 12. Taso- ja tyhjiöputkikeräimen teoreettinen tuotto 2020

Ilmatieteen laitoksen lisäksi säteilytiedot haettiin PVGIS-työkalun avulla, jonka viimeisin data on vuodelta 2016. Tällöin saatiin säteilytiedot suoraan siltä paikalta, jossa tyhjiökeräimet ovat. Lämpötarpeeksi saatiin molemmille keräimille 2 529 kWh vuodessa. Nettotuotoksi saatiin tasokeräimellä 1 430 kWh vuodessa ja tasokeräimellä 1 822 kWh vuodessa. PVGIS:llä saatiin suuremmat tulokset kuin Ilmatieteen laitoksen datan avulla. Verrattuna todelliseen tuottoon Ilmatieteen laitoksen säteilytiedoilla laskeminen antaa totuudenmukaisemmat tulokset. Kuvassa 13 on PVGIS:n säteilytietojen avulla laskettu teoreettinen tuotto.



KUVA 13. PVGIS-työkalulla laskettu teoreettinen tuotto

Takaisinmaksuaika on aika, jolloin järjestelmällä tuotetun energiakustannussäästöt ylittävät investointikustannukset (33). Tätä varten on selvitetty järjestelmien investointikustannukset laskennassa käytetyille keräimille ja tämänhetkinen energian hinta Oulun energian sivuilta.

Online-keräimestä ei ollut saatavilla hinta-arvioita, eikä niitä enää myydä. Vastaava tuote on Bioottorissa myytävä Sundial SF5, joka on kooltaan 2 m², ja se maksaa 499,00 euroa (34). NN10-tyhjiöputkikeräintä myydään myös Bioottorin nettikaupassa, ja yhden keräimen hinta on 899,00 euroa (35). Lisäksi molempiin järjestelmiin on hankittava useita komponentteja, joita löytyi Bioottorin nettikaupasta hintoineen. Järjestelmään tarvittavan pumppuryhmän hinta on 560,00 euroa, 18

litran paisunta-astian 64,00 euroa. Lämmönsiirtonestettä myydään 10 litran kanisterissa, jonka hinta on 65,50 €. 300 litran hybridivaraajan hinta on 1 820 euroa. Muut tarvittavat osat, kuten liitäntäputket ja kiinnittimet hinnoitellaan kappalemäärän mukaan. (36; 37; 38)

NN10-keräimelle on olemassa paketti, jossa myydään 2 keräintä ja muut järjestelmän komponentit lukuun ottamatta varaajaa, lämmönsiirtonestettä ja kerääjän ja pumppuryhmän välistä putkea. Tämän paketin hinta on 2 559 euroa. Laskennassa käytetään tätä tuotepakettia. (39)

Sähkön hinta koostuu siirtomaksusta, perusmaksusta ja sähköverosta. Oulun energian sivujen mukaan määritetään siirtomaksun hinnaksi 3,52 snt/kWh, perusmaksun 63,54 €/kWh ja sähköveron 2,79 snt/kWh. (40.)

Tasokeräimen investointikustannukset olivat siis yhteensä 3 507,50 euroa ja tyhjiökeräimen 4 483,00 euroa. Sähkön hinta oli Oulun energian hintojen mukaisesti laskettuna vuodessa tasokeräinjärjestelmälle 141,12 euroa ja tyhjiökeräinjärjestelmälle 149,63 euroa. Tuloksena saatiin suoran takaisinmaksuajan kaavan 15 mukaisesti siis tasokeräinjärjestelmän takaisinmaksuajaksi 25,4 vuotta ja tyhjiökeräinjärjestelmän takaisinmaksuajaksi 27,3 vuotta. Tasokeräimen laskelmat ovat kokonaisuudessaan nähtävillä liitteessä 2 ja tyhjiökeräimen laskelmat liitteessä 3.

4.2 Harjoitustehtävä 2: Todellinen tuotto

Uuden harjoitustehtävän idea oli selvittää Oamkin hybridilaboratorion taso- ja tyhjiöputkikeräimiltä saadun datan perusteella keräimien todellinen vuosituotto. Kyseessä on etänä suoritettava tehtävä, jota varten tuotot saadaan suoraa opiskelijalle SQL-tietokannasta. Tiedoista piirretään Exceliin kaavio kuukausittaisesta energiantuotosta molemmilla keräintyypeillä, ja niitä verrataan keskenään. Tuottoa verrataan myös ensimmäisessä harjoitustyössä saatuihin tuloksiin.

Tehtävän yhteyteen tehtiin esittely Oamkin aurinkokeräinjärjestelmästä, lyhyt teoriaosuus yleisesti aurinkokeräimistä sekä tehtävän toteutusohje. Ohje löytyy liitteestä 1 ja toimintakuvaus liitteestä 4.

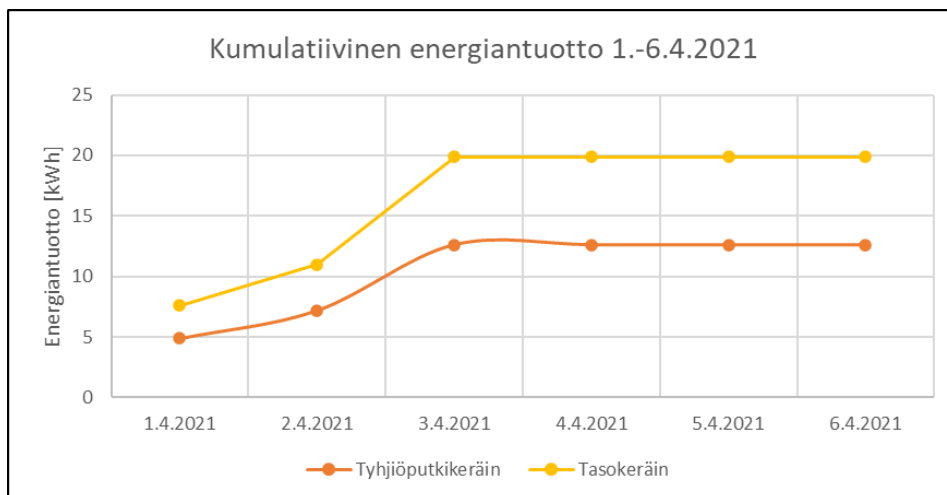
4.2.1 Tehtävän laadinta

Tehtävän laadinta alkoi tutustumisesta SQL-tietokantaan. Sen toiminnan kuuluisi onnistua VPN-yhteyden avulla tai koulun verkossa, mutta opiskelijoilla ei ole mahdollista saada tietoja suoraan tietokannasta käyttöoikeuksien takia. Päädyttiin siihen, että opiskelija saa datan määritellyltä aikaväliltä suoraan opettajalta Excel-tiedostona tehtävän yhteydessä.

Tehtävässä on tarkoitus verrata keräinten energiantuottoa määritetyllä aikavälillä, joka voi olla esimerkiksi kuukausi tai vuosi. Vertailua havainnollistetaan Excelissä piirrettävillä kaavioilla. Vertailu tehdään taso- ja tyhjiökeräinten energiantuoton sekä teoreettisella laskennalla saatujen tulosten välillä. Tehtävässä pohditaan myös teoreettisen laskennan ja todellisen tuoton vertailukelpoisuutta ja erojen mahdollisia syitä.

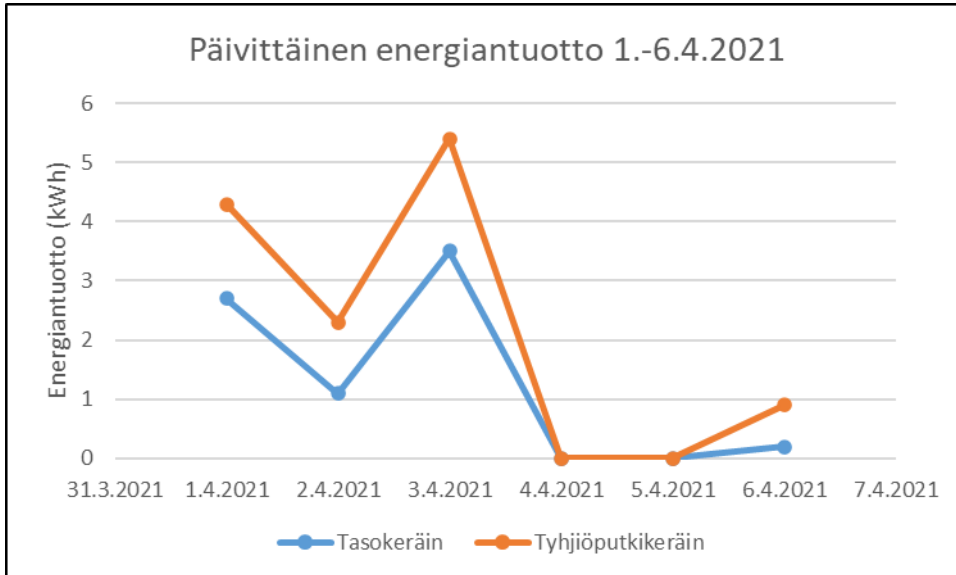
4.2.2 Tiedonkäsittely

Keräindataa alkoi kertyä huhtikuussa, joten tarkastelu aloitettiin huhtikuun ensimmäisen viikkojen ajalta. Energiaa keräimet alkoivat tuottaa 1.4.2021 puolenpäivän jälkeen, jolloin tyhjiökeräimen tuotto oli 4,9 kWh ja tasokeräimen tuotto 2,7 kWh. Kuuden päivän kuluttua tuottoa oli kertynyt tyhjiökeräimellä 12,6 kWh ja tasokeräimellä 7,3 kWh. (Kuva 14.)



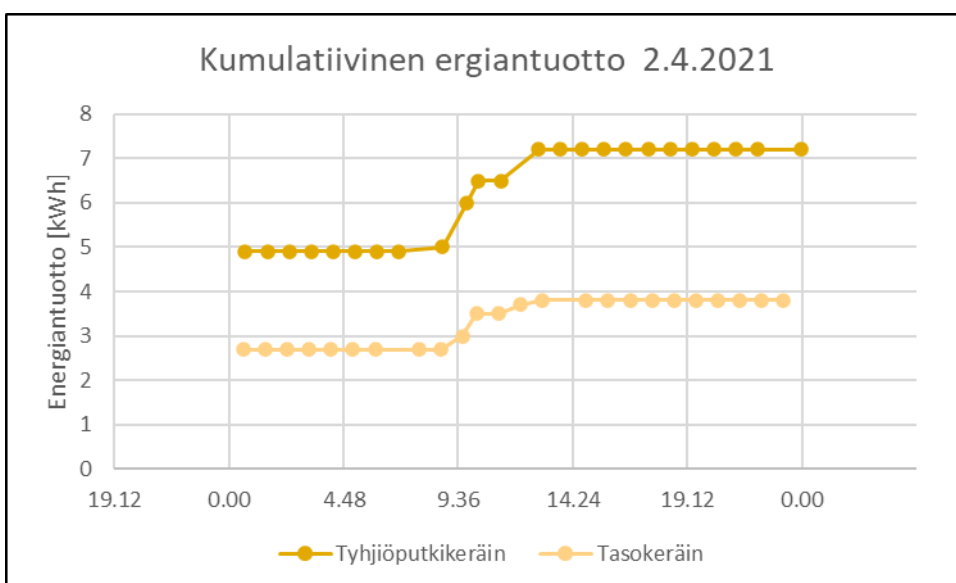
KUVA 14. Taso- ja tyhjiökeräimen kumulatiivinen tuotto 1.–6.4.2021

Kaaviossa kuvassa 15 nähdään päivittäinen energiantuotto. 3.4. päivittäinen tuotto oli tyhjiökeräimellä korkeimmillaan eli 5,4 kWh, ja 4.4. tuotto oli laskenut 0 kWh:iin. Tasokeräimen tuotto oli korkeimmillaan 3,5 kWh.



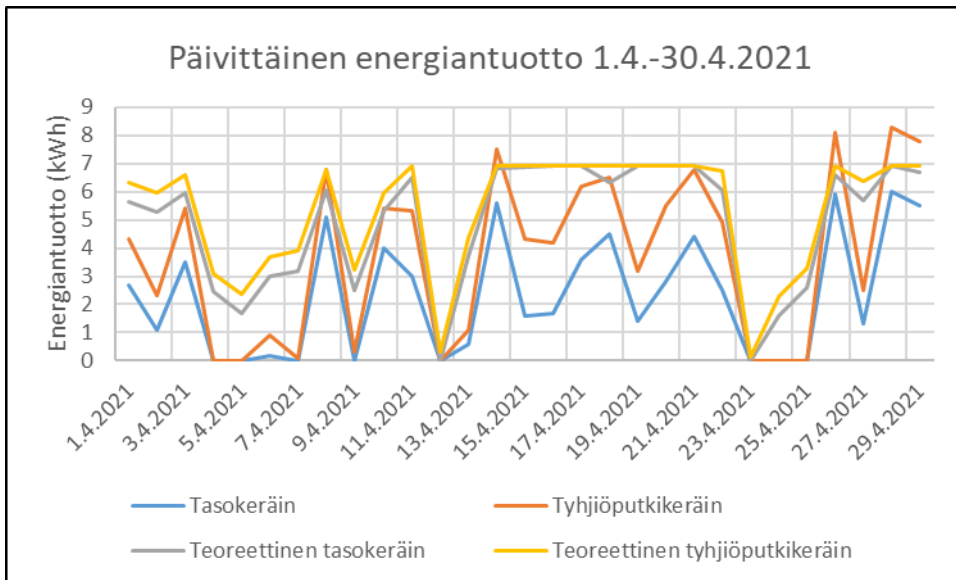
KUVA 15. Taso- ja tyhjiökeräimen päivittäinen energiantuotto

Energiantuottoa tarkasteltiin myös tunneittain. Kaaviosta kuvassa 16 nähdään, että 2.4. keräimet ovat tuottaneet energiaa noin kello 9:n ja 13:n välillä. Korkeimmillaan tuotto on tällöin ollut 7,2 kWh tyhjiökeräimellä ja tasokeräimellä 3,8 kWh. Energiaa tällöin on tuotettu päivässä 2,3 kWh tyhjiökeräimellä ja tasokeräimellä 1,1 kWh.



KUVA 16. Taso- ja tyhjiökeräimen tuntien energia 2.4.2021.

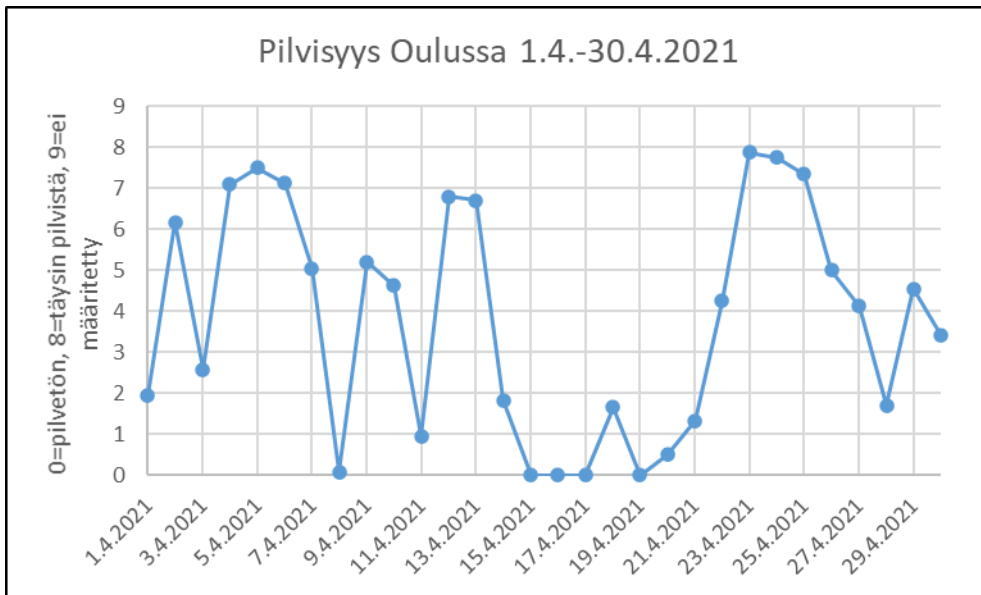
Koko kuukauden data huhtikuun energiatuotostasaatiin energialaboratorion sivuilta. Sen avulla voitiin tutkia koko kuukauden energiantuottoa. Huhtikuun 2021 ajalta tehtiin myös teoreettinen laskelma ensimmäisen harjoitustehtävän mukaisesti. Kuvassa 17 on vertailtu keräinten teoreettisia ja todellisia tuottoja kaaviossa huhtikuussa 2021.



KUVA 17. Taso- ja tyhjiöputkikeräinten teoreettinen ja todellinen energiantuotto huhtikuussa 2021

Yllä olevista kaavioista voidaan selvästi huomata, että tyhjiöputkikeräimen tuotto on suurempaa kuin vieressä olevan tasokeräimen. Teoreettisella laskennalla voi hyvin nähdä samankaltaisuutta todelliseen tuottoon. Huiput ovat nähtävissä samoissa kohdissa. Todellinen tuotto jää kuitenkin teoreettista pienemmäksi varjostuksen ja pilvisyyden takia.

Pilvisyyttä voidaan mitata asteikolla 0–9, jolloin 0 on pilvetön, 8 on täysin pilvistä ja 9 ei määritetty. Pilvisyystiedot Oulussa löytyvät Ilmatieteen laitoksen havaintojen latauksesta. Todellisen tuoton ollessa huomattavasti pienempää kuin teoreettisen eli 4.–8.4., 12.–14.4. ja 24.–26.4 pilviä on ollut paljon (kuva 18). Siikajoen havaintoasemalla pilvisyyttä ei mitata. Voidaan vain arvioida, että Oulussa on ollut enemmän pilviä tuolloin. Täysin pilvisellä säällä voidaan selittää nollatuotot. (31)



KUVA 18. Pilvisyys Oulun alueella huhtikuussa 2021 (31)

Varjotukset, varsinkin jos ne aiheutuvat rakennuksista, vaikuttavat suuresti säteilyn määrään. Puusta aiheutuvat varjot ovat pehmeämpiä, kun taas rakennukset aiheuttavat kovaa varjostusta. Keräinten asentaminen ei kannata, jos varjostuksia on yli 20 %. Kun tunnetaan varjostuksen pinta-ala, voidaan sen vaikutus huomioida laskettaessa säteilyn määrää kallistetulle pinnalle kaavalla 13. (26; 41; 42.)

$$k * \left(1 - \frac{A_{\text{varjostus}}}{A_{\text{keräin}}}\right)$$

KAAVA 13

jossa

k = korjauskerroin etelään suunnatulle keräimelle, joka riippuu kallistuskulmasta, paikkakunnasta ja tarkastelujaksosta

$A_{\text{varjostus}}$ = Varjostuksen pinta-ala

$A_{\text{keräin}}$ = koko keräimen pinta-ala

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli luoda lämmitystekniikan kurssille etänä suoritettava harjoitustehtävä, jossa hyödynnettäisiin Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmää. Tehtävässä oli määrä laskea teoreettinen tuotto ja verrata sitä todelliseen tuottoon. Harjoitustehtävän lisäksi tarkoitus oli kirjoittaa teoriaosuus aurinkokeräinjärjestelmistä, tehtävän ohje sekä hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmän toimintakuvaus kuvineen ja kytkentäkaavioineen.

Opinnäytetyöhön kuului tutustuminen annettuun materiaaliin, johon kuului Lämmitystekniikan kurssin tehtävä, jolla lasketaan aurinkokeräinten teoreettinen tuotto. Tämä olemassa olevan harjoitustyö muutettiin vertailtavammaksi todellisen tuoton kanssa, eli laskennassa käytettiin lämpötiloja ja säteilytietoja Oulun alueella sekä myös samoja aurinkokeräimiä. Oulun ammattikorkeakoulun aurinkokeräinjärjestelmään tutustuminen oli oleellinen osa työtä ja toimintakuvauksen tekemistä. Toimintakuvaus sisältää kytkentäkaavion lisäksi kuvia ja selostusta järjestelmästä. Todellisen tuoton selvittämiseen kuului SQL-tietokantaan tutustuminen. Tietokannasta saatiin tunnitista dataa aurinkokeräimiltä. Verrattuna teoreettiseen laskelmaan todellinen tuotto oli vaihtelevampaa ja myös vähäisempää, sillä teoreettinen laskenta ei huomioinut pilvisyytilannetta eikä varjostustekijöitä olut tiedossa.

Haasteena opinnäytetyössä oli se, että keräimet alkoivat tuottaa vasta huhtikuun aikana. Tietokantaan oli myös käyttöoikeuksien takia mahdoton päästä opiskelijana, joten päädyttiin siihen, että harjoitustyön tekevät opiskelijat saavat keräindatan opettajalta. Harjoitustyön tavoite, eli se että opiskelijat pystyvät suorittamaan sen sekä tutustumaan järjestelmään tarvittaessa myös etänä, kuitenkin saavutettiin.

LÄHTEET

1. Motiva 2020. Aurinkolämpöjärjestelmät. Hakupäivä 29.1.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat.
2. Auvinen, Karoliina 2016. Finsolar. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Hakupäivä: 29.1.2021. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja%20kannattavuus-suomessa/>.
3. Energiatehokas koti 2020. Aurinkolämmön varastointi. Hakupäivä 29.1.2021. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/aurinkoenergia/aurinkolammon_varastointi.
4. Motiva 2020. Nestekiertoiset keräimet. Hakupäivä 29.1.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet.
5. (Aurinkolämpöjärjestelmät, Perustietoa. Kysymykset ja vastaukset. Ympäristöenergia OY Word-tiedosto.)
6. Motiva 2020. Tasokeräimet. Hakupäivä 29.1.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet.
7. Solar Tribune 2011. Flat plate Solar Collector. Hakupäivä 20.3.2021. <https://solartribune.com/solar-flat-plate-collector/>.
8. Motiva 2020. Tyhjiöputkikeräimet. Hakupäivä 29.1.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet.
9. El-Bash, Jasmin 2015. Aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelu. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 20.3.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/96111/El-Bash_jasmin.pdf?sequence=2.
10. Motiva 2020. Ilmakiertoiset keräimet. Hakupäivä 29.1.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet.
11. ResearchGate 2017. Typical Solar air collector. Hakupäivä: 20.3.2021. https://www.researchgate.net/figure/Typical-solar-air-collector_fig2_317609634.
12. Aurinkovoima. Aurinkokeräimet – usein kysyttyä. Hakupäivä 2.2.2021. <http://aurinkovoima.fi/fi/usein-kysyttya/aurinkokeraimet-usein-kysyttya>.

13. Sundial. Auringon säteily Suomessa. Hakupäivä 2.2.2021. <https://www.sundial.fi/category/3/aurinkolampo>.
14. Motiva 2020. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Hakupäivä 12.2.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa.
15. Mielityinen, Mikko 2021. Valokuva.
16. Onninen. Onnline-aurinkokeräin. Hakupäivä 2.2.2021. <https://www.onninen.fi/online-aurinkolammitus-onnline-aurinkokerain-2m2/p/AJB123>.
17. Onnline keräimen sertifikaatti 2013. Hakupäivä 20.3.2021. https://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/IMG_1794677.pdf.
18. Motiva 2020. Järjestelmän muut osat. Hakupäivä 30.3.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/jarjestelman_muut_osat.
19. Tulituote Oy. S1 -pumppupaketti aurinkokeräimille. Hakupäivä 30.3.2021. https://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/aurinkokeraimet/s1_latauspumppu/.
20. Sorel. STDC. Hakupäivä 20.3.2021. [stdc installation manual 2012 2.pdf](https://www.sorel.com/STDC/installation_manual_2012_2.pdf).
21. Akvaterm. Akva-käyttövesikierukat. Hakupäivä 30.3.2021. <https://akvaterm.fi/tuote/akva-kayttovesikierukat/>.
22. Akvaterm. Energiavaraajat. esite. Hakupäivä 30.3.2021. https://akvaterm.fi/wp-content/uploads/sites/2/2019/09/AKVATERM_0919_ver4_web.pdf.
23. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2020. Legionellabakteerit vesijärjestelmissä. Hakupäivä 30.3.2021. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoverveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa>.
24. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos 2020. Legionella. Hakupäivä 30.3.2021. <https://thl.fi/fi/web/infektioaudit-ja-rokotukset/audit-ja-torjunta/audit-ja-taudinaiheuttajat-a-o/legionella>.
25. Lyhennetty ja sovellettu Aurinkokeräimen säätimen ohje. Word-tiedosto.
26. Heimonen, Ismo 2011. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opas. Hakupäivä 14.1.2021. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096.
27. Lämmitystekniikan Harjoitustyö nro 3. Aurinkokeräinharjoitus. Word-tiedosto.

28. Ympäristöministeriö 2021. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Hakupäivä 20.2.2021. https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf.
29. Savosolar. Savosolar aurinkokeräin SF100-03-DS /SF100-03-DE. Hakupäivä 24.5.2021. <http://www.energiakauppa.com/WebRoot/vilkasfi01/Shops/2014082005/MediaGallery/pdf/Savosolar-SF-100-03-esite-FIN-WEB.pdf>.
30. Northern Nature Energy. Tyhjiöputkikeräin NN10. Hakupäivä 2.2.2021. <http://www.nn-energy.fi/tuotteet/aurinkokeraimista/nn10.php>.
31. Ilmatieteen laitos. Havaintojen lataus. Hakupäivä: 15.4.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.
32. Photovoltaic geographical information system 2019. Hakupäivä 15.4.2021. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR.
33. Motiva 2018. Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus. Laskentatyökalu – ohje työkalun käyttöön. Hakupäivä 12.2.2021. https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf.
34. Bioottori. Aurinkokeräin Sundial SF5. Hakupäivä 12.4.2021. <https://www.biottori.fi/tuote/aurinkolampokerain-onnline-2m2-aurinkolammitukseen>.
35. Bioottori. Aurinkokeräin NN10. Hakupäivä 12.4.2021. <https://www.biottori.fi/tuote/tyhjioputkikerain-nn10>.
36. Bioottori. Paisunta-astia. Hakupäivä 15.4.2021. <https://www.biottori.fi/tuoteryhma/paisunta-astiat-solar>.
37. Bioottori. Fermox s1 solar -lämmönsiirtoneste. Hakupäivä 15.4.2021. <https://www.biottori.fi/tuote/fernox-s1-solar-lammonsiirtoneste-tyhjioputkikerain-aurinkolammitys-hinta-oulu>.
38. Bioottori. Hybridivaraaja 300 litraa kahdella kierukalla. Hakupäivä 15.4.2021. <https://www.biottori.fi/tuote/hybridivaraaja-300-litraa-kahdella-kierukalla>.
39. Bioottori. Aurinkokeräinpaketti 2 kpl NN10 -tyhjiöputkikeräintä. Hakupäivä 15.4.2021. <https://www.biottori.fi/tuote/aurinkopaketti-2-kpl-nn10-tyhjioputkikerainta>.
40. Oulun Energia. Yleissähköhinnasto. Hakupäivä 12.2.2021. <https://www.ouluenergia.fi/sahko/sahkonsiirto/verkkopalveluhinnasto/sahkon-siirtohinnoista/yleissahkon-siirtohinnoista>.
41. Motiva 2021. Aurinkopaneelien asentaminen. Hakupäivä 12.5.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen.

42. Energiaa 2018. Kuinka paljon varjo aurinkopaneelissa vie tuotosta pois. Artikkel. Hakupäivä 12.5.2021. <https://energiaa.pks.fi/kuinka-paljon-varjo-aurinkopaneelissa-vie-tuotosta-pois/>.
43. Oulun ammattikorkeakoulu 2020. Lämpöverkon yleiskuvaus. Hybridilaboratorion lämpöverkko. Hakupäivä 18.5.2021. http://anttikolus.oamk.fi/hybridi/ene_lvi/yleiskuvaus.pdf.
44. Kytentäkaavio aurinkokeräinjärjestelmän osalta. Valokuva hybridilaboratorion kytentäkaaviosta.
45. Motiva 2020. Varastointi vesivaraajaan. Hakupäivä 12.5.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan.

LIITTEET

Tehtävän ohjeet LIITE 1

Tehtävä 1: Teoreettinen tuotto tasokeräimellä LIITE 2

Tehtävä 1: Teoreettinen tuotto tyhjiökeräimellä LIITE 3

Toimintakuvaus LIITE 4

KytKentäkaavio LIITE 5

Aurinkokeräimen teoreettisen ja todellisen vuosituoton selvittäminen

1. Aurinkokeräinjärjestelmät

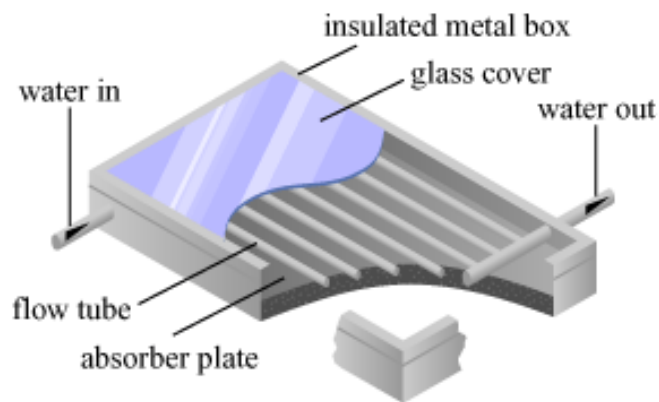
Aurinkokeräinjärjestelmät muuttavat auringon säteilyä lämmöksi ja varastoivat sen käyttöön. Aurinkolämpöä käytetään tyypillisesti käyttöveden, teollisuuden prosessiveden ja tilojen lämmittämiseen. Suomen olosuhteissa käyttöveden lämmitys aurinkoenergialla onnistuu 8–10 kuukautena vuodessa. Suurin osa aurinkokeräimen keräämästä säteilystä on hajasäteilyä. Aurinkokeräimiä käytetään osana hybridijärjestelmää, eli rinnakkain jonkin toisen lämmitysmuodon kanssa. Optimaalinen asennuskulma keräimillä on 30–60 astetta etelän suuntaan. Aurinkokeräimiä on olemassa kahdenlaisia, nestekiertoisia ja ilmakiertoisia keräimiä. (1; 2; 12.)

1.1 Nestekiertoiset keräimet

Nestekiertoisissa keräinjärjestelmissä kiertää lämmönsiirtonestettä, joka kuljettaa lämpöenergian kohteeseen tai varaajaan. Käytettävä neste on veden ja propyleeniglykolin seos, jonka seossuhde on tyypillisesti 40 %, jolloin sillä on optimaalisin lämmönsietokyky ja viskositeetti. Nestekiertoisten keräinten etuja ovat hyvä lämpökapasiteetti, järjestelmän säädettävyyden ja lämmönsiirron helppous. Nestekiertoiset keräimet jaetaan taso- ja tyhjiöputkikeräimiin. (4; 5.)

1.1.1 Tasokeräin

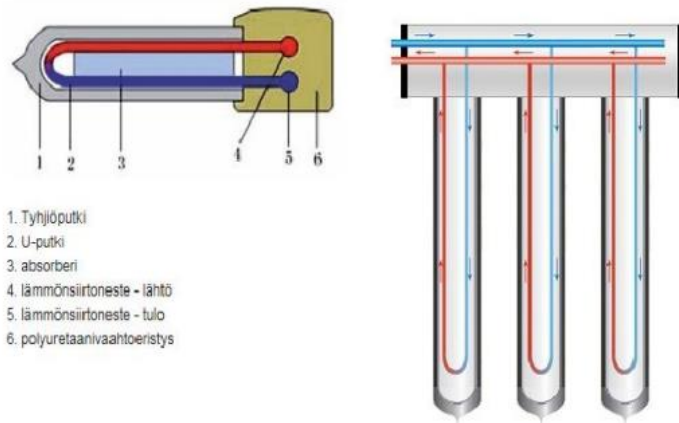
Tasokeräimellä säteilyä kerätään tumman keräinelementin avulla. Lähes koko keräinpinta on absorboivaa ja säteilyä vastaanottavaa. Elementin materiaali on metallia, tai kattamattomissa keräimissä lämmönkestävää muovia. Yleensä keräin päällystetään läpinäkyvällä katteella lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Kuvassa 1 on poikkileikkauskuvaa tasokeräimestä. Absorboivan pinnan ja lasikatteen välissä kulkee putkia, joissa lämmönsiirtoneste virtaa. (6.)



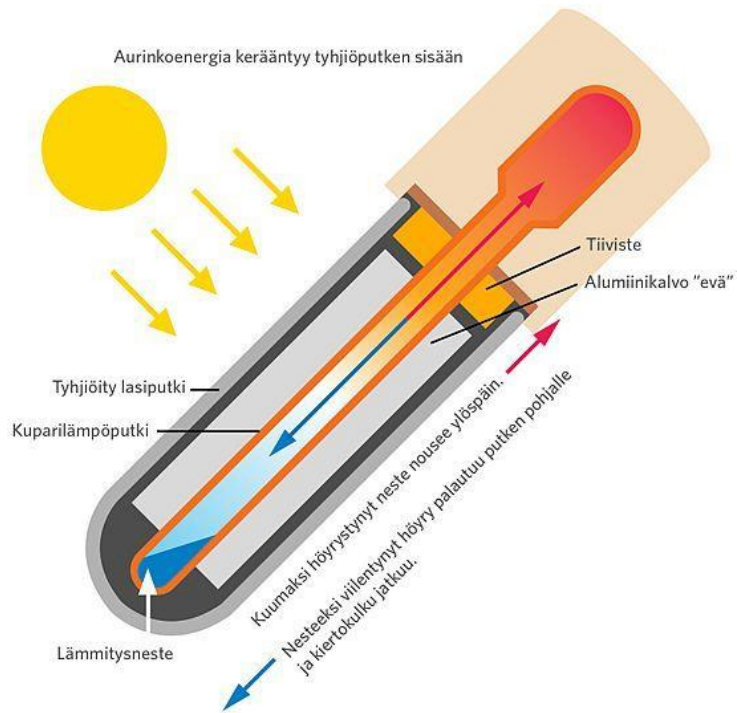
Kuva 1. Tasokeräimen poikkileikkauskuva (11)

1.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimessä ilma on poistettu putken sisältä lähes kokonaan johtumishäviöiden pienentämiseksi, jolloin tyhjiö toimii eristeenä. Hyötysuhde on korkeissa lämpötiloissa parempi kuin tasokeräimillä. Tyhjiöputkikeräimiä on kahta tyyppiä. Lämmönsiirtoneste voi kulkea u-muotoisessa putkistossa uloimman tyhjiöputken sisällä absorbaattorilevyn alapuolella. Toinen tyhjiöputkikeräimen tyyppi on heat pipe -putki, jossa tyhjiöputken sisällä on suljettu kuparinen lämpöputki, jossa helposti höyrystyvä neste johtaa lämmön keräimen yläosassa liikkuvaan lämmönsiirtonesteeseen. Kuvassa 2 u-putki-tyyppinen keräin ja kuvassa 3 heat pipe -keräin. (8;9.)



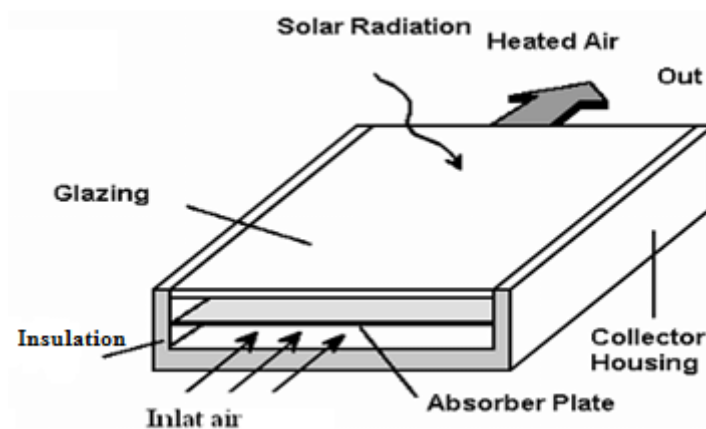
Kuva 2. U-mallinen tyhjiöputkikeräin (9)



Kuva 3. Heat pipe -tyhjiöputkikeräin (8)

1.2 Ilmakiertoiset keräimet

Lämmönsiirtoaine on ilmakiertoisissa keräimissä ilmaa. Lämmönsiirtokyky ilmalla on huonompaa kuin nesteen, joten keräimissä on absorptioelementtejä, joilla on suuri lämmönsiirtopinta. Ilmaa tarvitaan 4 000 kertainen määrä siirtämään sama määrä lämpöä. Etuna ilmakeräimissä on se, että ilma ei aiheuta korroosiota, jäähtymistä tai ylikuumenemista ja se lämpenee nopeasti ja turvallisesti. Keräimissä on lasikate, jonka alla on absorptiolevy. Ilma kulkee levyn läpi ja lämpenee, minkä jälkeen se siirretään puhaltimella kohteeseen. (10.)



Kuva 4. Ilmakiertoisen keräimen toimintaperiaate (12)

Tehtävä 1:

Tehtävässä lasketaan aurinkokeräinjärjestelmän energian tarve sekä teoreettinen tuotto Oulussa, säävyöhykkeellä III. Laskenta tehdään taso- ja tyhjiöputkikeräimille. Laskennan tuloksista laaditaan kaavio, jossa vertaillaan molempien keräinten kuukausittaista tuottoa viimeisen vuoden ajalta ja lisäksi tuottoa yhden kuukauden ajalta. Lisäksi lasketaan järjestelmän kannattavuus suoralla takaisinmaksuajalla.

Työ tehdään Aurinko-opaan 2012 laskentaesimerkin mukaisesti. Aurinko-opas löytyy tiedostona harjoitustehtävän kansioista.

Keräimet ovat taso- ja tyhjiöputkikeräimiä, joita on molempia 1 kpl. Laskennassa henkilömääränä käytetään 2 henkilöä. Lämpimän veden kulutus on noin 50 l/hlö/vrk (veden lämpötila 58 °C). Säiliön

nimellistilavuus on noin 75 l/keräineliö. Säiliön lisälämmitetty osuus on noin 1/3 säiliön nimellistilavuudesta. Varaaja- ja putkistohäviöitä ei huomioida. Aurinkolämpöä käytetään vain käyttöveden lämmittämiseen.

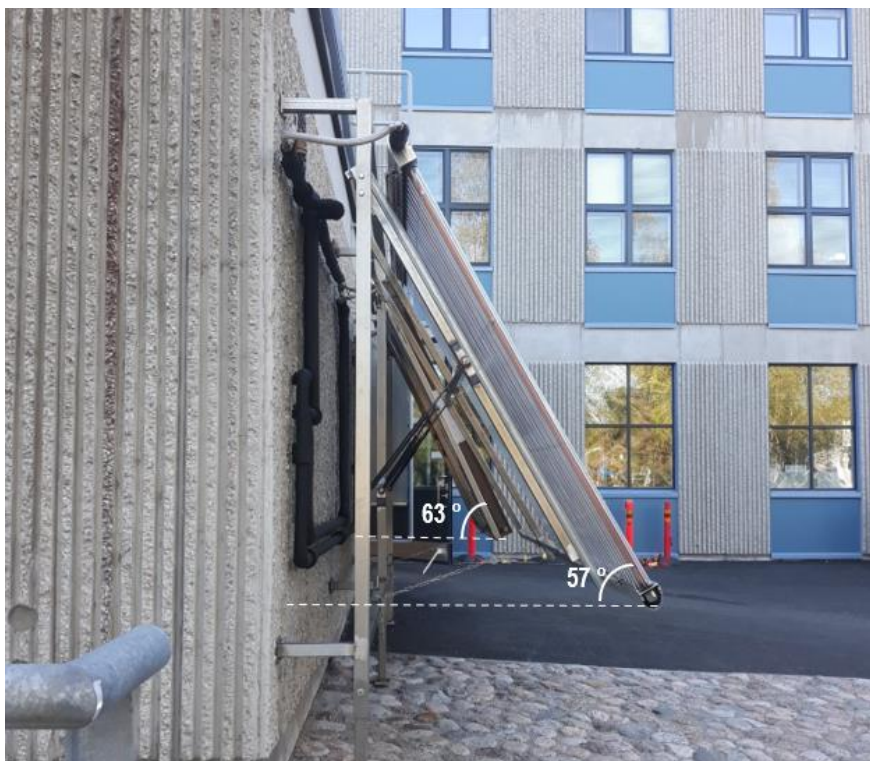
Käytössä olevat keräimet ovat Onnline-tasokeräin ja NN10-tyhjiöputkikeräin, ja niiden keräinpinta-alan mitat löytyvät kuvista 5 ja 6. Tasokeräimen tiedot löytyvät Harjoitustehtävän kansiossa "Aurinkokeräin taso perustietoja"-tiedostosta ja tyhjiökeräimen tiedot "Aurinkokeräin tyhjiö perustietoja" -tiedostosta. Harjoitustehtävän kansiossa on myös "stdc_installation_manual_2012_2"-tiedostossa perustietoa säätimestä. Säätimen ohjevideo SorelSaadinSimulointi.mp4 on katsottavissa Moodlessa.

Järjestelmän takaisinmaksuaika lasketaan Oulun Energian taloussähkön hintojen ja netistä saatavien vastaavien laitteiden investointikustannuksen mukaan, asennuskustannuksia ei huomioida. Lämpötilatiedot Oulun alueelta löytyvät Ilmatieteen laitoksen sivuilta. Auringon säteilytehot löytyvät myös Ilmatieteen laitoksella, ja voidaan käyttää lähintä havaintoasemaa eli Siikajokea.

Laskennassa käytetään valmista Excel-taulukkoa, joka löytyy harjoitustehtävän kansiossa "Harjoitustehtävä pohja" -tiedostosta. "Harjoitustehtävä Esimerkki" -tiedostosta löytyy esimerkkivastaus. "Oamkin hybridilaboratorion esittely" -tiedostosta löytyy aurinkokeräinjärjestelmän toimintakuvaus.



KUVA 5. Tyhjiöputki- ja tasokeräimen mitat (15)



KUVA 6. Tyhjiöputki- ja tasokeräinten asennuskulmat (15)

Tehtävä 2: Todellinen tuotto

Aurinkokeräinten todellinen tuotto selvitetään Oamkin hybridilaboratorion taso- ja tyhjiöputkikeräinten tuottaman datan perusteella. Keräindata määritetyltä ajalta löytyy tietokannasta, joka saadaan opettajalta.

Tietokannasta saadaan taso- ja tyhjiökeräimen kumulatiivinen arvo eli mittarin lukema päivän ja tunnin tarkkuudella määritetyllä aikavälillä. Niiden perusteella lasketaan tuotettu päivä- ja tuntienergia. Päivittäisestä energiantuotosta tehdään kaavio, jossa on taso- ja tyhjiökeräimen tuotto. Kaavioon lisätään myös teoreettisen laskennan tulokset. Toisessa kaaviossa voidaan vertailla energiantuottoa tuntitasolla yhden päivän aikana.

Todellisia tuottoja verrataan taso- ja tyhjiökeräinten välillä sekä teoreettisiin laskelmiin ja pohditaan mistä erot näiden välillä johtuvat.

Paikka Oulu
 Säilytyspaikka III
 Hlö 2 kpl

Keräimen tiedot:

η_0	75 %	Optinen hyötysuhde valmistajalta
a_1	4,3 W/m ² K	Lämpöhäviökerroin valmistajalta
a_2	0,012 W/m ² K ²	Häviökerroin valmistajalta
Suunta	E	
Kulma	60 °	
A	2 m ² /hlö	Keräinten pinta-ala/henkilö
A	4 m ²	Keräinten pinta-ala
IAM	0,94	Kohtauskulmakerroin keräintyyppin mukaan (s. 12 Aurinko-opas)

Lämmön käyttövesi:

LKV:n tarve	50 l/hlö/vrk	Lämpimän käyttöveden tarve/henkilö
LKV:n tave	100 l/vrk	Lämpimän käyttöveden tarve
T_{LKV}	58 °C	Lämpimän käyttöveden keskilämpötila
θ_{hw}	40 °C	LKV:n minimilämpötila (s.13 Aurinko-opas)
$\theta_{cw} = T_{KV}$	5 °C	Kylmän veden keskilämpötila
η_{LKV} -siirto	0,89	LKV:n siirron vuosihyötysuhde (D5 taulukko 6.3)

Varaajan tiedot:

V_{nim}	75 l/m ²	Säiliön nimellistilavuus/keräin m ²
V_{nim}	300 l	Säiliön nimellistilavuus
V_{LL}	100 l	Lisälämmitetty osuus
TLL Käyttö	YÖ-S	Lisälämmitysosan käyttöaika
x	0,7	Lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin (s.13 Aurinko-opas)

$$V_{LL} = \frac{1}{3} V_{nim}$$

Kuukausittaiset keskimääräiset ulkolämpötilat ja auringon säteilytiedot

saadaan Ilmatieteen laitokselta
 Kokonaissäteilyenergia lasketaan:

$$Q_{sät,0^\circ} = \phi * t$$

Kuukausi	θ_e	Φ	Päiviä/kk	Tunteja/kk	Qsät,0°
	Keskimääräinen ulkolämpötila	Kokonaissäteilyteho vaakatasolle			Kokonaissäteilyenergia vaakatasolle
	°C	W/m2/kk	d	h	kWh/m2/kk
Tammikuu	-2,11009	2,944564	31	744	2,19075544
Helmikuu	-3,91624	26,45144	28	672	17,7753655
Maaliskuu	-1,84145	84,10739	31	744	62,5759
Huhtikuu	0,479861	141,5725	30	720	101,9322
Toukokuu	6,743069	231,8251	31	744	172,4779
Kesäkuu	16,87145	322,8917	30	720	232,482
Heinäkuu	14,99152	185,3897	31	744	137,92992
Elokuu	14,27376	183,5829	31	744	136,5857
Syyskuu	10,09514	82,71667	30	720	59,556
Lokakuu	5,267026	27,77876	31	744	20,6674
Marraskuu	1,631389	5,322083	30	720	3,8319
Joulukuu	-1,95262	-0,3582	31	744	-0,2665
Yhteensä	5,0444	1294,225	365	8760	947,738541

Korjauskertoimet etelään suunnatulle 60 astetta kallistetulle pinnalle

(Taulukko 5 Aurinko-opas)

Korjauskertoimen avulla lasketaan säteilyenergia kallistetulle pinnalle:

Keskimääräinen teho pinnalle lasketaan säteilyteho kallistetulle pinnalle

(s. 28 Aurinko-opas)

$$\Phi = \frac{Q_{keräin} * t_h}{1000}$$

Kuukausi	k	Qsät60°	Φ
	Korjauskerroin 60 (Käytetään Sodankylän)	Säteilyenergia kallistetulle pinnalle	Keskimääräinen säteilyteho kallistetulle pinnalle
		kWh/kk	W/m2
Tammikuu	1,75	3,833822	5,152987
Helmikuu	2,27	40,35008	60,04476
Maaliskuu	1,75	109,5078	147,1879
Huhtikuu	1,3	132,5119	184,0443
Toukokuu	1,07	184,5514	248,0529
Kesäkuu	0,99	230,1572	319,6628
Heinäkuu	1,01	139,3092	187,2436
Elokuu	1,11	151,6101	203,7771
Syyskuu	1,33	79,20948	110,0132
Lokakuu	1,62	33,48119	45,0016
Marraskuu	1,33	5,096427	7,078371
Joulukuu	1	-0,2665	-0,3582
Yhteensä	1,26	1194,151	1516,901

Lämpimän käyttöveden häviötön tarve (s. 29 Aurinko-opas)

Lämpimän käyttöveden tarve häviöineen (s.29 Aurinko-opas)

$$Q_{LV} = \frac{V_{LV,d} \left(\frac{l}{d}\right) * t_d \left(\frac{d}{kk}\right) * 1 \left(\frac{kg}{l}\right) * 4,19 \left(\frac{kWs}{kg^{\circ}C}\right) * (T_{LV} - \theta_{cw})(^{\circ}C)}{3600}$$

$$Q_{tarve,A} = \frac{Q_{LV}}{\eta_{kvs\text{-siirto}}}$$

Kuukausi	Q _{LV}	Q _{tarve,A}
	LKV häviötön lämmön- tarve	LKV lämmön- tarve häviöi- neen
	kWh/kk	kWh/kk
Tammikuu	191,2269	214,8617
Helmikuu	172,7211	194,0687
Maaliskuu	191,2269	214,8617
Huhtikuu	185,0583	207,9307
Toukokuu	191,2269	214,8617
Kesäkuu	185,0583	207,9307
Heinäkuu	191,2269	214,8617
Elokuu	191,2269	214,8617
Syyskuu	185,0583	207,9307
Lokakuu	191,2269	214,8617
Marraskuu	185,0583	207,9307
Joulukuu	191,2269	214,8617
Yhteensä	2251,543	2529,824

U _L	7	W/K
U _c	6,53	W/m ² K
f _{apu}	0,233333	
V _{tod}	230	l
V _{ref}	300	l/keräin m ²
c _{cap}	1,068682	

(s.12-13. Aurinko-opas)

Putkiston lämpöhäviökerroin

Koko keräinpiirin lämpöhäviökerroin

Apulämmityksen osuus varaajassa

Varaajan suunniteltu ominaistilavuus

Varaajan referenssitilavuus

Varaajakapasiteetin korjauskerroin

$$U_L = 5 + 0,5 * A$$

$$U_C = a_1 + 40 * a_2 + \frac{U_L}{A}$$

$$f_{apu} = x * \frac{V_{TL}}{V_{nim}}$$

$$V_{tod} = V_{nim} * (1 - f_{apu})$$

$$V_{ref} = 75 \frac{l}{keräin m^2} * A$$

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25}$$

Lasketaan referenssilämpötila ja referenssilämpötilaero (s.13 Aurinko-opas)

Kuukausi	θ_{ref}	ΔT
	Referenssi- lämpötila	Referenssiläm- pötilaero
	°C	°C
Helmikuu	83,26943	87,18567
Maaliskuu	80,53072	82,37217
Huhtikuu	77,46658	76,98672
Toukokuu	69,19915	62,45608
Kesäkuu	55,82969	38,95824
Heinäkuu	58,31119	43,31967
Elokuu	59,25864	44,98489
Syyskuu	64,77442	54,67928
Lokakuu	71,14753	65,8805
Marras- kuu	75,94657	74,31518
Joulukuu	80,67746	82,63009

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,18 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e$$

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e$$

Varaajatyypin korjauskertoimet (s.11 Aurinko-opas):

C_{tyyppi}	1
a	1,029
b	-0,065
c	-0,245
d	0,0018
e	0,0215
f	0

η_{kierto} 0,8 Keräinpiirin hyötysuhde huomioiden lämmönvaihdin ja häviöt (s.12 Aurinko-opas)

Häviöt/tarve suhde (s.11 Aurinko-opas)

Tuotto/tarve-suhde (s. 12 Aurinko-opas)

$$X = \frac{A * U_c * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * C_{cap}}{Q_{tarve,A}}$$

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_0 * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}}$$

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto (s.11 Aurinko-opas)

$$Q_{tuotto,A} = C_{tyyppi} * (a * Y + b * X + c * Y^2 + d * X^2 + e * Y^3 + f * X^3) * Q_{tarve,A}$$

Kuukausi	X	Y	$Q_{tuotto,A}$	$Q_{tuotto,A}$	$Q_{tuotto, A}$ hyöty
	häviöt/tarve -suhde	tuotto/tarve -suhde	Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla	jos $0 < Q_{tuotto,A}$ muuten 0	jos $Q_{tuotto,A} < Q_{tarve,A}$ muuten $Q_{tuotto,A}$
			kWh/a	kWh/a	kWh/a
Tammikuu	6,417701	0,040254	-64,8857	0	0
Helmikuu	6,741716	0,46906	14,47302	14,47302	14,4730249
Maaliskuu	6,369508	1,149808	118,3758	118,3758	118,375804
Huhtikuu	5,953073	1,437723	148,4055	148,4055	148,405455
Toukokuu	4,829477	1,937748	205,9451	205,9451	205,945138
Kesäkuu	3,012484	2,497152	248,9181	248,9181	207,930712
Heinäkuu	3,349736	1,462716	182,7823	182,7823	182,782289
Elokuu	3,4785	1,591872	193,2893	193,2893	193,289342
Syyskuu	4,228128	0,859404	98,63678	98,63678	98,6367754
Lokakuu	5,094274	0,351545	10,30927	10,30927	10,3092664
Marraskuu	5,746493	0,055295	-53,6314	0	0
Joulukuu	6,389452	-0,0028	-74,0651	0	0

Vuosituotto: Netto **1180,148 kWh/a**

Kustannukset:

Keräimet:	998	€
Varaaja:	1820	€
Pumppuryhmä:	560	€
Lämmönsiirtoneste	65,5	€
Paisunta-astia	64	€
<u>Yhteensä</u>	<u>3507,5</u>	€

Sähkö:

	3,52	
Siirtomaksu:	snt/kWh	
Perusmaksu:	63,54	€/v
	2,79	
Sähkövero:	snt/kWh	
<u>Yhteensä</u>	<u>138,0073</u>	€/v

$$Takaisinmaksuaika = \frac{Inv. kust.}{sähkön hinta}$$

Suora takaisinmaksuaika: 25,42 vuotta Kustannukset/säästö

TEHTÄVÄ 1: TEOREETTINEN TUOTTO TYHJIÖPUTKIKERÄIMELLÄ LIITE 3 sivu 1/6

Paikka	Oulu
Säilytyspaikka	III
Hlö	2 kpl

Keräimen tiedot:

η_0	84,9 %	Optinen hyötysuhde valmistajalta
a_1	3 W/m ² K	Lämpöhäviökerroin valmistajalta
a_2	0 W/m ² K ²	Häviökerroin valmistajalta
Suunta	E	
Kulma	60 °	
A	3,286 m ² /hlö	Keräinten pinta-ala/henkilö
A	6,572 m ²	Keräinten pinta-ala
IAM	1	Kohtauskulmakerroin keräintyyppin mukaan (s. 12 Aurinko-opas)

Lämmön käyttövesi:

LKV:n tarve	50 l/hlö/vrk	Lämpimän käyttöveden tarve/henkilö
LKV:n tave	100 l/vrk	Lämpimän käyttöveden tarve
T_{LKV}	58 °C	Lämpimän käyttöveden keskilämpötila
θ_{hw}	40 °C	LKV:n minimilämpötila (s.13 Aurinko-opas)
$\theta_{cw} = T_{KV}$	5 °C	Kylmän veden keskilämpötila
η_{LKV} -siirto	0,89	LKV:n siirron vuosihyötysuhde (D5 taulukko 6.3)

Varaajan tiedot:

V_{nim}	75 l/m ²	Säiliön nimellistilavuus/keräin m ²
V_{nim}	492,9 l	Säiliön nimellistilavuus
V_{LL}	164,3 l	Lisälämmitetty osuus
TLL Käyttö	YÖ-S	Lisälämmitysosan käyttö-aika
x	0,7	Lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin (s. 13 Aurinko-opas)

$$V_{LL} = \frac{1}{3} V_{nim}$$

Kuukausittaiset keskimääräiset ulkolämpötilat ja auringon säteilytiedot

saadaan Ilmatieteen laitokselta

Kokonaissäteilyenergia lasketaan:

$$Q_{sät,0^\circ} = \phi * t$$

Kuukausi	θ_e	Φ	Päiviä/kk	Tunteja/kk	Qsät,0°
	Keskimmääräinen ulkolämpötila	Kokonaissäteilyteho vaakatasolle			Kokonaissäteilyenergia vaakatasolle
	°C	W/m2/kk	d	h	kWh/m2/kk
Tammikuu	-2,11009	2,944564	31	744	2,19075544
Helmikuu	-3,91624	26,45144	28	672	17,7753655
Maaliskuu	-1,84145	84,10739	31	744	62,5759
Huhtikuu	0,479861	141,5725	30	720	101,9322
Toukokuu	6,743069	231,8251	31	744	172,4779
Kesäkuu	16,87145	322,8917	30	720	232,482
Heinäkuu	14,99152	185,3897	31	744	137,92992
Elokuu	14,27376	183,5829	31	744	136,5857
Syyskuu	10,09514	82,71667	30	720	59,556
Lokakuu	5,267026	27,77876	31	744	20,6674
Marraskuu	1,631389	5,322083	30	720	3,8319
Joulukuu	-1,95262	-0,358199	31	744	-0,2665
Yhteensä	5,0444	1294,225	365	8760	947,738541

Korjauskertoimet etelään suunnatulle 60 astetta kallistetulle pinnalle

(Taulukko 5. Aurinko-opas)

Korjauskertoimen avulla lasketaan säteilyenergia kallistetulle pinnalle:

Keskimmääräinen teho pinnalle lasketaan säteilyteho kallistetulle pinnalle

Kuukausi	k	Qsät60°	Φ
	Korjauskertoimen 60 (Käytetään Sodankylän)	Säteilyenergia kallistetulle pinnalle	Keskimmääräinen säteilyteho kallistetulle pinnalle
		kWh/kk	W/m2
Tammikuu	1,75	3,833822	5,152987
Helmikuu	2,27	40,35008	60,04476
Maaliskuu	1,75	109,5078	147,1879
Huhtikuu	1,3	132,5119	184,0443
Toukokuu	1,07	184,5514	248,0529
Kesäkuu	0,99	230,1572	319,6628

(s. 28 Aurinko-opas)

$$\Phi = \frac{Q_{keräin} * t_h}{1000}$$

Heinäkuu	1,01	139,3092	187,2436
Elokuu	1,11	151,6101	203,7771
Syyskuu	1,33	79,20948	110,0132
Lokakuu	1,62	33,48119	45,0016
Marraskuu	1,33	5,096427	7,078371
Joulukuu	1	-0,2665	-0,3582
Yhteensä	1,26	1194,151	1516,901

Lämpimän käyttöveden häviötön tarve (s. 29 Aurinko-opas)

Lämpimän käyttöveden tarve häviöineen (s.29 Aurinko-opas)

$$Q_{LV} = \frac{V_{LV,d} \left(\frac{l}{d}\right) * t_d \left(\frac{d}{kk}\right) * 1 \left(\frac{kg}{l}\right) * 4,19 \left(\frac{kWs}{kg^{\circ}C}\right) * (T_{LV} - \theta_{cw})(^{\circ}C)}{3600}$$

$$Q_{tarve,A} = \frac{Q_{LV}}{\eta_{LKV-siirto}}$$

Kuukausi	Q _{LV}	Q _{tarve,A}
	LKV häviötön lämmöntarve	LKV lämmöntarve häviöineen
	kWh/kk	kWh/kk
Tammikuu	191,2269	214,8617
Helmikuu	172,7211	194,0687
Maaliskuu	191,2269	214,8617
Huhtikuu	185,0583	207,9307
Toukokuu	191,2269	214,8617
Kesäkuu	185,0583	207,9307
Heinäkuu	191,2269	214,8617
Elokuu	191,2269	214,8617
Syyskuu	185,0583	207,9307
Lokakuu	191,2269	214,8617
Marraskuu	185,0583	207,9307
Joulukuu	191,2269	214,8617

Yhteensä	2251,543	2529,824
----------	----------	----------

U_L	8,286	W/K	(s. 12-13 Aurinko-opas) Putkiston lämpöhäviökerroin
U_c	4,260803	W/m ² K	Koko keräinpiirin lämpöhäviökerroin
f_{apu}	0,233333		Apulämmityksen osuus varaajassa
V_{tod}	377,89	l	Varaajan suunniteltu ominaistilavuus
V_{ref}	492,9	l/keräin m ²	Varaajan referenssitilavuus
C_{cap}	1,068682		Varaajakapasiteetin korjauskerroin

$$U_L = 5 + 0,5 * A$$

$$f_{apu} = x * \frac{V_{TL}}{V_{nim}}$$

$$V_{ref} = 75 \frac{l}{keräin\ m^2} * A$$

$$U_c = a_1 + 40 * a_2 + \frac{U_L}{A}$$

$$V_{tod} = V_{nim} * (1 - f_{apu})$$

$$C_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25}$$

Lasketaan referenssilämpötila ja referenssilämpötilaero (s.13 Aurinko-opas)

Kuukausi	θ_{ref}	ΔT
	Referenssi- lämpötila	Referenssiläm- pötilaero
	°C	°C
Tammikuu	80,88532	82,99542
Helmikuu	83,26943	87,18567
Maaliskuu	80,53072	82,37217
Huhtikuu	77,46658	76,98672
Toukokuu	69,19915	62,45608
Kesäkuu	55,82969	38,95824
Heinäkuu	58,31119	43,31967
Elokuu	59,25864	44,98489
Syyskuu	64,77442	54,67928
Lokakuu	71,14753	65,8805
Marraskuu	75,94657	74,31518
Joulukuu	80,67746	82,63009

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,18 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e$$

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e$$

Varaajatyyppien korjauskertoimet (s.11 Aurinko-opas):

C _{tyyppi}	1
---------------------	---

a	1,029
b	-0,065
c	-0,245
d	0,0018
e	0,0215
f	0

η_{kierto}	0,8
-----------------	-----

Keräinpiirin hyötysuhde huomioiden lämmönvaihdin ja häviöt
(s.12 Aurinko-opas)

Häviöt/tarve suhde (s.11 Aurinko-opas)

Tuotto/tarve-suhde (s. 12 Aurinko-opas)

$$X = \frac{A * U_c * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * C_{cap}}{Q_{tarve,A}}$$

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_0 * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}}$$

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto (s.11 Aurinko-opas)

$$Q_{tuotto,A} = C_{tyyppi} * (a * Y + b * X + c * Y^2 + d * X^2 + e * Y^3 + f * X^3) * Q_{tarve,A}$$

Kuukausi	X	Y	$Q_{tuotto,A}$	$Q_{tuotto,A}$	$Q_{tuotto,A}$ hyöty
	hä- viöt/tarve - suhde	tuotto/tarve - suhde	Aurinkolämpöjär- jestelmän tuotto tarkastelujaksolla	jos $0 < Q_{tuotto,A}$ muuten 0	jos $Q_{tuotto,A} <$ $Q_{tarve,A}$ muuten $Q_{tuotto,A}$
			kWh/a	kWh/a	kWh/a
Tammikuu	6,88011	0,079647	-60,5028	0	0
Helmikuu	7,227471	0,928077	74,79267	74,79267	74,7926723
Maaliskuu	6,828444	2,275	207,5952	207,5952	207,595198
Huhtikuu	6,382004	2,844666	228,3061	228,3061	207,930712
Toukokuu	5,177451	3,834011	272,2753	272,2753	214,861735
Kesäkuu	3,229539	4,940844	312,9965	312,9965	207,930712
Heinäkuu	3,591091	2,894117	265,7664	265,7664	214,861735
Elokuu	3,729133	3,149665	271,7861	271,7861	214,861735
Syyskuu	4,532774	1,70041	184,9313	184,9313	184,931289
Lokakuu	5,461326	0,695564	65,13274	65,13274	65,1327369
Marraskuu	6,16054	0,109406	-46,2534	0	0
Joulukuu	6,849825	-0,005536	-78,744	0	0

Vuosituotto: Netto 1592,899 kWh/a

Kustannukset:

Laitteisto:	2599 €
Lämmönsiirtoneste:	64 €
Varaaja	1820 €
<u>Yhteensä</u>	<u>4483 €</u>

Sähkö:

	3,52	
Siirtomaksu:	snt/kWh	
Perusmaksu:	63,54	€/v
	2,79	
Sähkövero:	snt/kWh	
<u>Yhteensä</u>	<u>164,0519</u>	<u>€/v</u>

$$Takaissinmaksuaika = \frac{Inv. kust.}{sähkön hinta}$$

Suora takaisinmaksuaika:

27,33 vuotta Kustannukset/säästö

Oamkin hybridilaboratorion toimintakuvaus

Oulun ammattikorkeakoulun energia- ja lvi-laboratorion aurinkokeräinjärjestelmään kuuluu taso- ja tyhjiöputkiaurinkokeräin. Molempiin keräimiin kuuluu oma kiertojärjestelmänsä, johon sisältyy pumppuyksikkö säätimillä ja varolaitteella. Keräimiltä tuleva lämpö kulkee putkistoa pitkin suoraa lämmönvaraajaan. Varaajassa lämpö varastoituu aurinkokierukoihin, ja jäähtynyt neste jatkaa kiertoa pumppuryhmän läpi takaisin keräimille. Järjestelmään kuuluu lisäksi myös täyttölaitteisto, josta propyleeniestettä lisätään tai vähennetään kiertoon. Kuvassa alla on aurinkolämpöjärjestelmä putkistoineen. (43.)

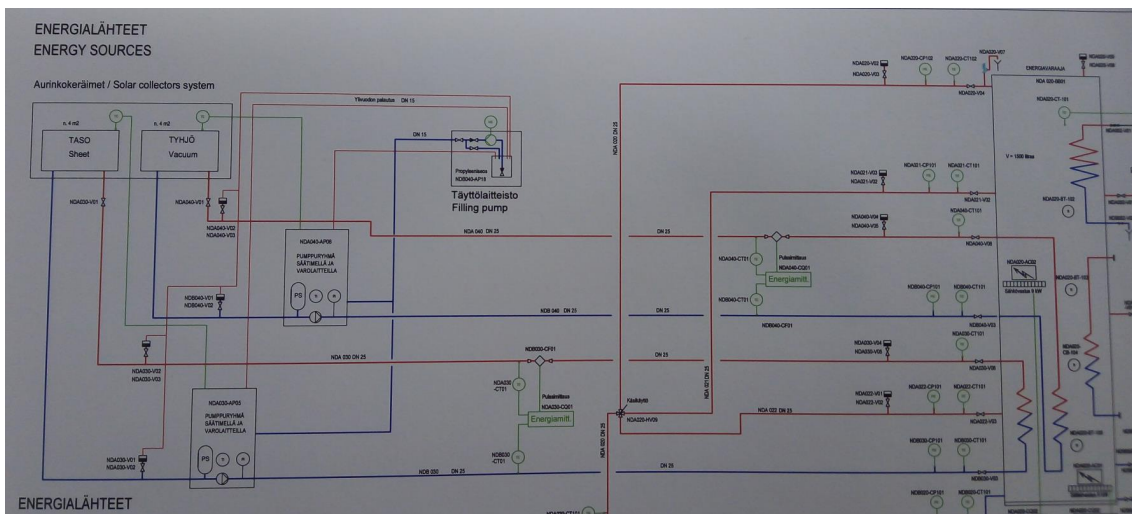


Kuva 1. Oamkin hybridilaboratorion aurinkokeräinjärjestelmä

Kytkentäkaavio

Kuvassa 2 on aurinkolämpöjärjestelmän kytkentäkaavio. Aurinkokeräimet näkyvät vasemmassa yläreunassa. Tasokeräimeltä lämmin propyleenineste kulkeutuu punaista putkea pitkin energiava-
raajalle. Luovutettuaan lämmön neste kulkeutuu sinistä putkea pitkin pumppuryhmälle. Pumppu-
ryhmältä putki kulkee takaisin keräimelle. Vastaavasti tyhjiökeräimeltä neste kulkee punaista put-
kea pitkin varaajaan, jossa se luovuttaa lämmön ja kulkeutuu sinistä putkea pitkin pumppuryhmälle.
Pumppuryhmältä neste kulkeutuu takaisin tyhjiökeräimelle putkea pitkin.

Täyttölaitteistosta voidaan täyttää tarvittaessa nestettä molemmista tai vain toisesta keräinpiiristä
pumppuryhmän kautta sinisiä putkia pitkin. Tarvittaessa nestettä voidaan myös poistaa kierroista.



Kuva 2. Aurinkojärjestelmän kytkentäkaavio (44)

Järjestelmän osat

Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet sijaitsevat hybridilaboratorion ulkoseinässä. Ne ovat nestekiertoisia tyhjiöputki- ja tasokeräimiä. Tyhjiöputkikeräin on NN10-keräin, ja tasokeräin on Onnline-keräin. Molempien keräinten pinta-ala on noin 4 m².

Tyhjiöputkikeräimet ovat nestekiertoisia, eli niissä kiertää nestettä, joka kuljettaa lämpöenergian varaajaan. Tyhjiöputkikeräin koostuu nimensä mukaisesti lämmönsiirtoputkesta, jonka sisällä on tyhjiö. Tyhjiö toimii tehokkaana lämmöneristeenä ja estää absorboitunutta lämpöä karkaamasta ulkoilmaan. Lämmönsiirto tyhjiöputkesta lämmönsiirtonesteeseen tapahtuu läpivirtausperiaatteella tai erillisen lämpöputken avulla. (8.)

Tasokeräimet ovat tyhjiöputkikeräinten tavoin nestekiertoisia keräimiä. Niissä auringon säteilyä kerätään tumman keräinelementin avulla. Keräinelementin koko pinta vastaanottaa suurimman osan siihen osuvasta säteilystä ja kuumenee. Tasokeräimessä on päällä läpinäkyvä erikoislasista valmistettu kate, joka estää suuret lämpöhäviöt. Myös muovinen kate on mahdollinen ja usein edullisempi ja helpompi vaihtoehto. (6.)



Kuva 3. Aurinkokeräinjärjestelmän tyhjiöputki- ja tasokeräimet (15)

Pumppuyksikkö

Järjestelmän pumppuyksikkö kierrättää nestettä keräinten ja varaajan välillä. Yksikköön kuuluu virtaussäädin, pumppu, lämpömittari, painemittari ja ylipaineventtiili sekä erillinen ohjausyksikkö ja paisuntasäiliö. Ohjausyksikkö käynnistää ja pysäyttää pumpun, seuraa järjestelmän lämpötiloja anturien avulla ja estää varaajan ylikuumentumisen pysäyttämällä tarvittaessa kiertopumpun. (18.)

Kuvassa 4 vasemmalla on tasokeräimen pumppuyksikkö ja oikealla tyhjiökeräimen. Pumppuyksiköiden takaa alhaalta löytyvät paisuntasäiliöt. Lämpötila- ja painemittarien anturit on sijoitettu varaajan ja aurinkokeräinten sisälle. Pumput löytyvät pumppuyksikköjen eristetyn kuoren sisältä. Sisäiset nuolet kuvaavat putkistoja, jotka kulkevat pumppuyksiköiden kautta keräimille. (19.)



Kuva 4 Taso- ja tyhjiökeräinten pumppuyksiköt

Täyttölaitteisto

Aurinkokeräinjärjestelmän putkiston täyttö tapahtuu manuaalisesti (43). Molemmilta pumppuyksiköiltä kulkee omat putkensa täyttölaitteistolle. Säiliöstä lisätä nestettä molempiin, tai vain toiseen keräinkiertoon ja vastaavasti voidaan vähentää nesteen määrää kierrosta kuvassa näkyviä kuparisia putkia pitkin. Täyttölaitteisto on sijoitettu pumppuyksiköiden alapuolelle.

Lämmönsiirtonesteen on oltava ympärivuotisesti käytettävissä järjestelmissä pakkasenkestävää, joten yksistään vettä ei voida käyttää. Tavallisimmin neste koostuu propyleeniglykoliin pohjautuvan jäänestoaineen ja veden sekoituksesta. Propyleeniglykolin osuus on 40 %. Nestetilavuus pyritään keräimissä pitämään pienenä, alle 1 l/m², kun virtausnopeus on 30–60 l/m²/h. (4; 43)



Kuva 5. Täyttölaitteisto

Energiavaraaja

Oamkin energiavaraajassa on erilliset lämmönsiirtimet taso- ja tyhjiökeräimille. Varaajassa on useita lämpötilamittareita, ja siitä on liitännät kaukolämpö- sekä muuhun putkistoon. (43.)

Lämpö kulkeutuu energiavaraajan yläosaan putkea pitkin suoraan aurinkokeräimeltä. Lämpö varastoituu varaajaan sen alaosassa sijaitsevien aurinkokierukoiden kautta. Vesivaraaja on yleisin ratkaisu aurinkolämmön varastointiin. Varaaja on yleensä vuorokausivaraaja, jolloin lämpöä on käytettävissä aurinkoisina vuodenaikoina myös pilvisinä ja sateisina päivinä. Varaajaa käytetään tavallisesti lämpimän käyttöveden tuottamiseen, jolloin sen yläosaan sijoitettu lämminvesikierukka valmistaa lämmintä käyttövettä. (45.)

Kuvassa 6 on hybridilaboratorion 1500 litran energiavaraaja. Punaiset putket varaajan alaosassa vasemmalla kuljettavat lämmön aurinkokeräimiltä, ja lämmön luovuttanut neste palaa takaisin kiertoon ylempänä näkyviä sinisiä putkia pitkin.

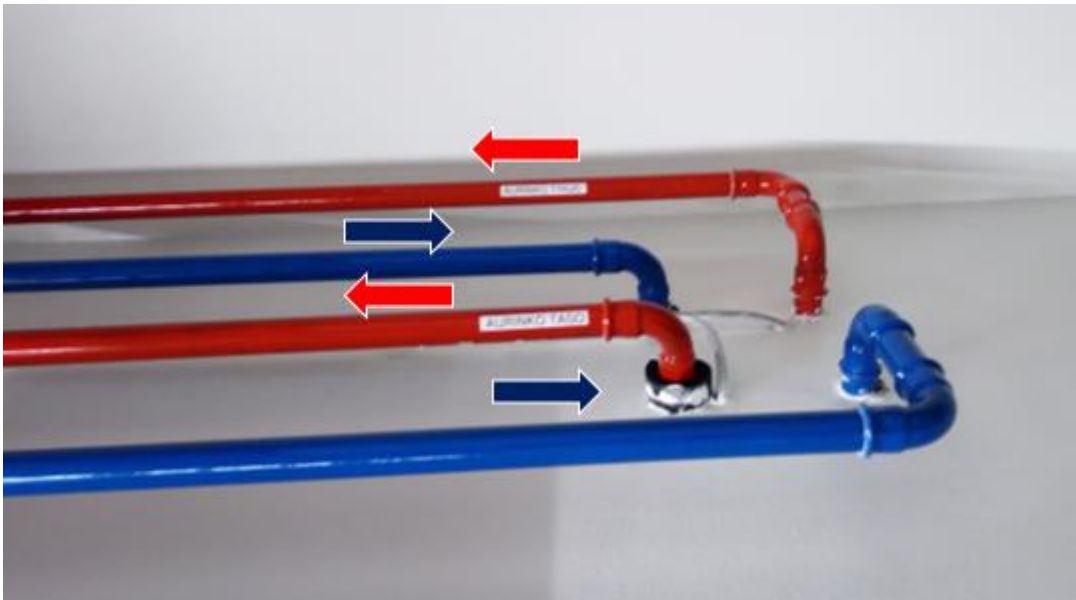


Kuva 6. Energiavaraaja

Putkistot

Aurinkokeräinjärjestelmän putkisto on yleensä kuparista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettu. Putkisto on eristetty mineraalivillalla tai lämmönkestävällä solumuovilla. (18.)

Kuvassa 7 on esitetty putkisto keräinten ja muun järjestelmän välillä. Ylimmässä punaisessa putkessa virtaa lämmin neste tyhjiökeräimeltä ja alimassa sinisessä putkessa lämmön luovuttanut neste virtaa takaisin tyhjiökeräimelle. Vastaavasti toiseksi alin eli punainen putki kuljettaa lämpöä tasokeräimeltä ja toiseksi alin eli sininen putki virtaa takaisin tasokeräimelle.



Kuva 7. Keräimiltä tulevat punaiset putkistot ja menevät siniset putkistot

Aurinkokeräinjärjestelmän kytkentäkaavio (44).

