

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Talotekniikan koulutusohjelma

Malkki Eeki

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUDEN  
TUTKIMINEN SAIRAALAJÄÄHDYTYKSESSÄ

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2020



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Maaliskuu 2020**  
**Talotekniikan koulutusohjelma**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Eeki Malkki

Nimeke  
Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden tutkiminen sairaalajäähdytyksessä

Toimeksiantaja  
Itä-Savon sairaanhoitopiirin kuntayhtymä

#### Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön oli tarkoitus tutkia, onko kannattavaa tuottaa osa Savonlinnan keskussairaalassa käytettävästä jäähdytysenergiasta aurinkosähköjärjestelmän avulla. Tutkittavaa aurinkosähköjärjestelmää on tarjottu investoitavaksi Itä-Savon sairaanhoitopiirille. Opinnäytetyössä keskityttiin tutkimaan energiantuottoa ja -kulutusta sekä niiden kohtaavuutta.

Opinnäytetyössä selvitettiin aurinkosähköjärjestelmän energiantuoton sekä jäähdytysenergiantarpeen tuntikohtainen kohtaaminen. Tämä selvitys tehtiin energiasimuloinnin avulla. Jäähdytysenergian tuntikohtainen kulutus selvitettiin IDA ICE -simulointiohjelman avulla ja aurinkosähköjärjestelmän tuntikohtainen energiantuotto SAM-mallinnusohjelman avulla. IDA ICE-simulointia varten luotiin tarkka 3D-malli simuloitavasta sairaalakiinteistön osasta. Kun energiantuoton- ja kulutuksen kohtaamiset saatiin selvitettyä, pystyttiin selvittämään, onko kyseiseen aurinkosähköjärjestelmään investoiminen kannattavaa. Tämän lisäksi selvitettiin, olisiko tarjottua suuremman kokoluokan aurinkosähköjärjestelmä kannattava.

Energiasimulointien perusteella kyseiseen aurinkosähköjärjestelmään investoiminen olisi taloudellisesti kannattavaa. Tuntikohtaisten tarkastelujen avulla saatiin selvitettyä eri kokoisten aurinkosähköjärjestelmien omakulutusasteet sekä taloudellinen kannattavuus. Saatujen tulosten perusteella kannattaisi myös harkita investoimista suurempaan aurinkosähköjärjestelmään, mikäli ylijäämäenergia ohjattaisiin rakennuksen muuhun käyttöön.

Kieli  
suomi

Sivuja 15  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 4

#### Asiasanat

Jäähdytys, aurinkoenergia, simulointi



**THESIS**  
**March 2020**  
**Degree Programme in Building**  
**Services Engineering**

Tikkarinne 9  
FI-80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 13 260 600

Author  
Eeki Malkki

Title  
Investigation of the Profitability of a Photovoltaic System in Hospital Cooling

Commissioned by  
The East Savo Hospital District

**Abstract**

The aim of this thesis was to investigate if it is profitable to produce some of the cooling energy consumed by the Savonlinna Central Hospital using a solar power system. The investigated photovoltaic system (PV system) is offered for The East Savo Hospital District to invest in. This thesis concentrated on investigating power production and consumption, and their incidence.

The thesis looked into a PV system's power production and a cooling energy's consumption need, and their hourly matching. This clearance was made using energy simulation. Cooling energy's hourly consumption rates were found out with the IDA ICE simulation tool and the PV system's hourly energy production with the SAM simulation tool. For IDA ICE simulation, exact 3D models were created, based on the simulated part of the hospital. When energy production's and consumption's needs were found out, it was possible to determine whether it is cost-effective to invest in that PV system. Additionally, it was studied if a larger than offered PV system would be profitable.

The results of the energy simulations indicate that it would be profitable to invest in this PV system. The hourly inspections showcased the different sizes PV system's own rate of consumption and financial profitability. By gained results it is worth to consider investing in a larger PV system if the surplus energy was channeled to the building's other usage.

Language

Finnish

Pages 15

Appendices 2

Pages of Appendices 4

Keywords

cooling, solar power, simulation

## Sisältö

1. Johdanto .....	1
2. Lähtökohdat .....	1
3. Olosuhdesimulointi.....	2
3.1 Energiasimulointi .....	2
3.2 IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE).....	3
3.3 System Advisor Model (SAM).....	3
3.4 Standardi SFS-EN 15265 .....	3
4. Aurinkoenergia.....	4
5. Aurinkosähköjärjestelmä.....	6
6. Säädata .....	7
7. Energiasimuloinnin toteutus.....	9
8. Tulokset .....	10
9. Pohdinta.....	14
9.1 Tulosten luotettavuus.....	14
9.2 Yhteenveto.....	16

### Liitteet

Liite 1	Simulointitulokset ja ohjelmistonäkymä IDA ICE
Liite 2	Ohjelmistonäkymä System Advisor Model (SAM)

## 1. Johdanto

Opinnäytetyössä tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmän soveltuvuutta jäähdytysenergiantuotantoon sairaalakiinteistössä, Savonlinnan keskussairaalassa. Tarkastelu toteutettiin IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) -energiasimulointiohjelman sekä System Advisor Model (SAM) -aurinkosähkön simulointiohjelman avulla. Työn tarkoituksena oli tarkastella, kuinka aurinkosähköjärjestelmän energiantuotto ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutus kohtaavat tuntikohtaisesti.

Tutkimuskohteena oli vuonna 1955 valmistunut Savonlinnan keskussairaalan B-osa, joka sisältää yhteensä viisi jäähdytettyä kerrosta. Jäähdytykset on toteutettu ilmanvaihtojärjestelmien tuloilman jäähdytyksellä, sekä puhallinkonvektorein.

Työ on tehty toimeksiantona Itä-Savon sairaanhoitopiirin kuntayhtymälle, Sosterille. Toimeksiantajalla on olemassa oleva tarjous aurinkosähköjärjestelmästä, jonka soveltuvuutta kohteeseen haluttiin selvittää. Tämä selvitys toteutettiin energiasimuloinnin avulla. Lisäksi selvitettiin, olisiko suuremman kokoluokan aurinkosähköjärjestelmään investoiminen kannattavaa.

## 2. Lähtökohdat

Tutkittavasta rakennuksesta puuttui yksityiskohtaiset, osastoidut energiankulu-  
tustiedot jäähdytysjärjestelmän osalta. Tällaisessa tapauksessa puuttuva kulu-  
tustieto voidaan selvittää energiasimuloinnin avulla.

Energiasimuloinneissa käytettiin yhdenmukaista säädataa simulointiohjelmisto-  
jen välillä, jotta tuntikohtainen vertailu olisi mahdollisimman tarkka. Tämän lisäksi,  
aurinkosähköjärjestelmä simuloitiin eri paikkakunnan säädatalla, jota vertailtiin  
alkuperäiseen jäähdytyssimulointiin. Täten pyrittiin osoittamaan, kuinka herkkä  
simulointityö on lähtöarvojen epätarkkuuksille.

Pohjamateriaalina energiasimuloinnissa käytettiin Itä-Savon sairaanhoitopiiriltä saatuja arkkitehtikuvia ja aurinkosähköjärjestelmän tietoja sekä Rejlers Oy:ltä saatuja LVI-suunnitelmia.

Arkkitehtikuvien avulla luotiin IDA ICE -ohjelmistossa 3D-malli simuloitavasta sairaalan osasta. Tämän mallin avulla saatiin selvitettyä simuloimalla kohteen todelliset jäähdytysenergiankulutukset.

### **3. Olosuhdesimulointi**

#### **3.1 Energiasimulointi**

Energia- ja olosuhdesimuloinnilla tarkoitetaan rakennuksen energiankäytön laskentaa erilaisilla tietokoneohjelmilla mallintamisen avulla. Mallintaa voidaan esimerkiksi energiankulutusta, jäähdytystehontarvetta ja valaistusta. [1.]

Jäähdytystehontarpeeseen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen fysikaaliset ominaisuudet, kuten eristetasot, ikkunat ja niiden suuntaus, auringon paiste ja sisäiset lämpökuormat sekä ilmansuunta ja varjostukset. Simulaatiossa rakennuksesta luodaan 3D-malli rakennuksen arkkitehti- ja rakennesuunnitelmien pohjalta. 3D-malli sovitetaan todelliseen ympäristöön hyödyntäen säädataa, joka sisältää muun muassa lämpötila-, varjostus-, tuuli- ja auringonsäteilytiedot. [2.]

### **3.2 IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE)**

IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) on ruotsalaisen EQUA Simulation AB:n kehittämä simulointityökalu. Sen avulla voidaan tehdä dynaamista monivyöhykemallinnusta sekä tutkia rakennusten energiankulutuksia.

IDA-ICE on käytössä monilla suunnittelu- ja konsultointiyrityksillä, kuten esimerkiksi Rejlers Oy:llä.

Simulointityökalu on käytettävissä maailmanlaajuisesti ja siitä on saatavilla eri kielisiä versioita. Lisäksi siitä löytyy erilaisia standardeja, säätiedostoja sekä materiaali- ja tuotetiedostaja vastaamaan kunkin maan tarpeita. [3.]

### **3.3 System Advisor Model (SAM)**

System Advisor Model (SAM) on National Renewable Energy Laboratory (NREL) ja Yhdysvaltojen energiaviraston kehittämä uusiutuvien energialähteiden simulointityökalu. Ohjelmisto on ladattavissa ilmaiseksi SAM:in internet-sivuilta, ja sitä voi käyttää esimerkiksi koulutuksellisissa tai mainonnallisessa käytössä.

Ohjelmiston avulla voidaan mallintaa useita erityyppisiä uusiutuvia energiajärjestelmiä, kuten aurinkosähköjärjestelmiä, tuulivoimaloita ja geotermistä sähköntuotantoa. Lisäksi ohjelman avulla voidaan mallintaa erilaisten järjestelmien taloudellisia vaikutuksia. [4.]

### **3.4 Standardi SFS-EN 15265**

SFS-EN 15265 on eurooppalaisen standardijärjestö CEN vahvistama standardi, joka määrittää rakennusten lämpötekniisiä ominaisuuksia sekä dynaamisen las-

kennan eli tuntikohtaisen energialaskennan raja-arvoja, oletuksia ja validointimenetelmiä. Standardissa on lueteltu perusoletukset dynaamisen laskennan menetelmille.

Standardissa myös määrätään, että energiatarvelaskentaan vaaditaan muun muassa seuraavanlaisia tietoja: tunnitainen ilmastodata kohteesta kokonaiselle testivuodelle, rakennuksen vaipan tiedot kylmäsiltoineen, tunnitaiset lämpökuormatiedot valaistuksesta, asukkaista ja laitteista. Lisäksi standardissa on määritelty säädataa koskevat vaatimukset, josta tulee löytyä muun muassa ilman lämpötila, auringonsäteilyn intensiteetit, säteilylämpötilat ja heijastumiset. Standardissa myös määritellään validointitesti, jonka mukaan mallinnusohjelmat testataan. [5.]

Tutkimuksessa käytetty IDA ICE -simulointiohjelmisto noudattaa tätä SFS-EN 15265 -standardia ja on läpäissyt standardin validointitestin. Laadunvarmistusmenetelmänä validointi on tärkeä mallinnusohjelmiston kannalta. Validointitesteillä voidaan varmistaa, että verrattuna mitattuun dataan tai toisiin ohjelmistoihin, ohjelmiston mallit antavat hyväksyttäviä arvoja. Myös ohjelmistovirheet on mahdollista havaita testeillä. [6.]

#### **4. Aurinkoenergia**

Aurinkoenergiaa hyödynnetään paljon esimerkiksi Pohjois-Saksassa, jossa auringonsäteilyn määrä on Etelä-Suomen kanssa samaa luokkaa. Etelä-Suomessa saadaan auringonsäteilyä noin 1000 kilowattituntia vuodessa neliometriä kohden. Joulu-tammikuussa Suomessa ei ole juurikaan auringonsäteilyä, joten vaihtelut vuodenaikojen mukaan ovat merkittäviä. Oikeanlaisella mitoituksella ja sijoittelulla tähän voi kuitenkin varautua. Säteilyn määrään vaikuttaa myös vallitsevat sääolosuhteet. Esimerkiksi pilvisellä säällä suora auringonsäteily on lähes olematonta. Tällaisissa tapauksissa voi hyödyntää auringon hajasäteilyä.



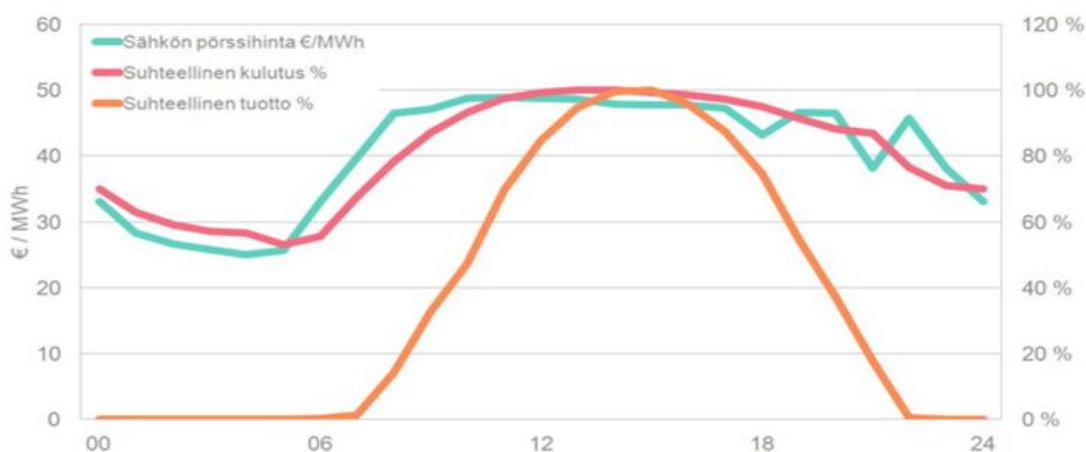
Aurinkosähköpaneeli muodostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Nämä kennot vastaanottavat auringonsäteilyn sisältämän energian ja saavat aikaan valosähköisen ilmiön. Aurinkosähköpaneeli tuottaa jatkuvaa tasavirtaa, ja tämä on muunnettavissa invertterin eli vaihtosuuntaajan avulla kiinteistöissä käytettäväksi vaihtovirraksi.

Aurinkosähköpaneeli sijoitetaan mahdollisimman aurinkoiselle paikalle, esimerkiksi rakennuksen katolle. Sähköntuotantoon ja sen ajoitukseen voi vaikuttaa kallistuskulman säädöllä sekä huomioimalla varjostukset.

Aurinkosähkötekniikka on sähköenergian tuotantotapana päästötön, polttoainetön ja äänetön. Aurinkoenergian avulla voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä säästää energiakustannuksia. [7.]

Suomessa aurinkoenergia toimii erinomaisesti muuta energiantuotantoa täydentävänä sähkön, jäähdytyksen ja lämmön lähteenä. Auringonpaiste on Suomessa kesäisin juuri oikea-aikaista. Kuvasta 1 nähdään, kuinka aurinkovoimalan tuoton, sähkönkulutuksen ja sen pörssihinnan huiput osuvat samalle ajalle aurinkoisena kesäpäivänä. [8.]

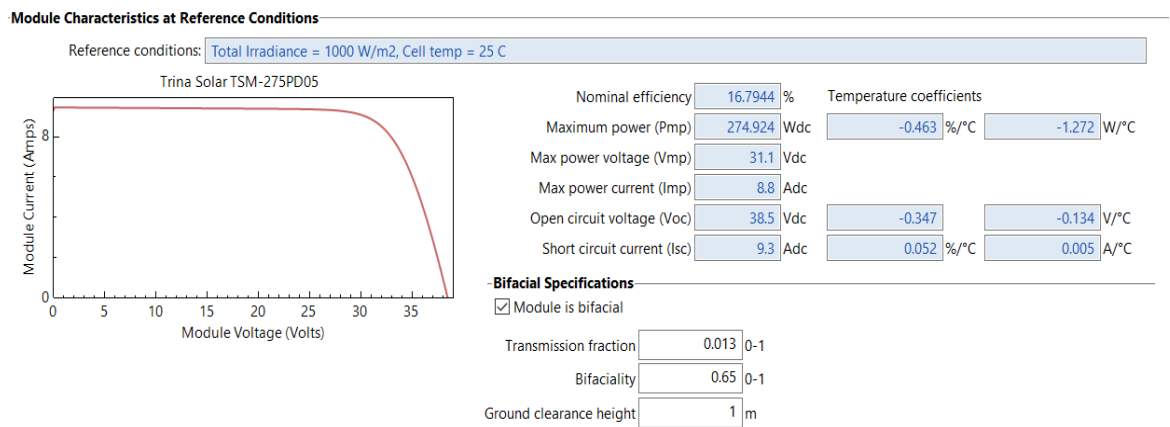
Vastaavasti jäähdytysenergian tarve on suurimmillaan kesäkuukausina, joten oli hyödyllistä tutkia, olisiko aurinkosähkön hyödyntäminen kannattavaa jäähdytyksen energiantuotossa.



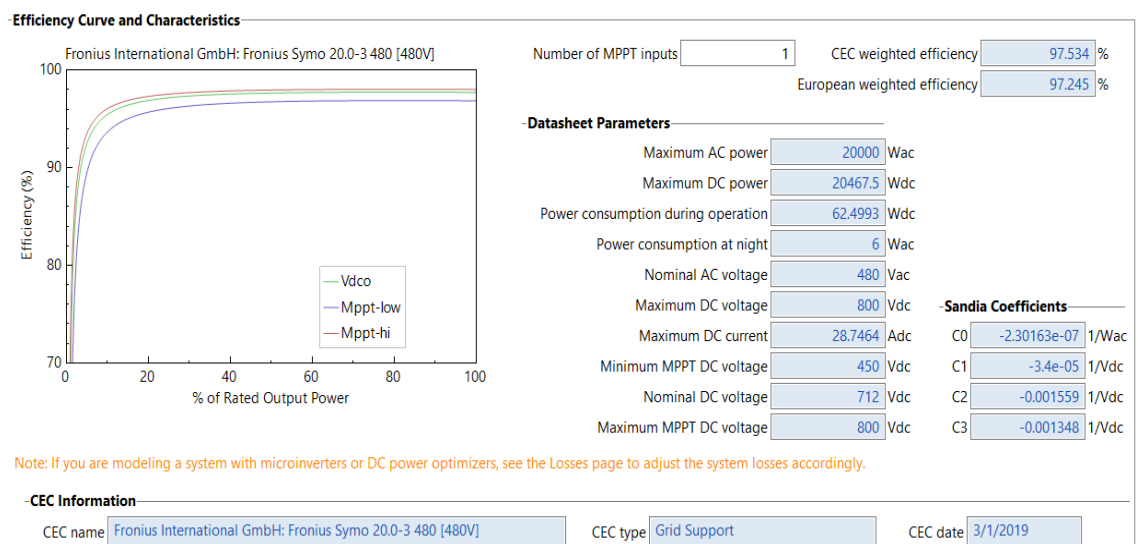
Kuva 1. Sähkön pörssihinnan ja suhteellisen kulutuksen sekä tuoton kohtaus. [8.]

## 5. Aurinkosähköjärjestelmä

Tutkimusta varten toimeksiantajalla Sosterilla oli olemassa oleva tarjous 19,8 kWp:n suuruisesta aurinkosähköjärjestelmästä. Järjestelmän pinta-ala on 117,9 m<sup>2</sup> ja se koostuu 72 kappaleesta Trina Solar -merkkisestä aurinkopaneelistä (kuva 2), sekä Fronius Internationalin valmistamasta invertteristä (kuva 3). Lisäksi tarjouksesta kävi ilmi muun muassa varjostukseen, hyötysuhteeseen ja arvioituun energian vuosituotantoon liittyviä tietoja, joita hyödynnettiin aurinkosähköjärjestelmän energiasimuloinnissa.



Kuva 2. Aurinkopaneelin tiedot System Advisor Model -ohjelmassa.



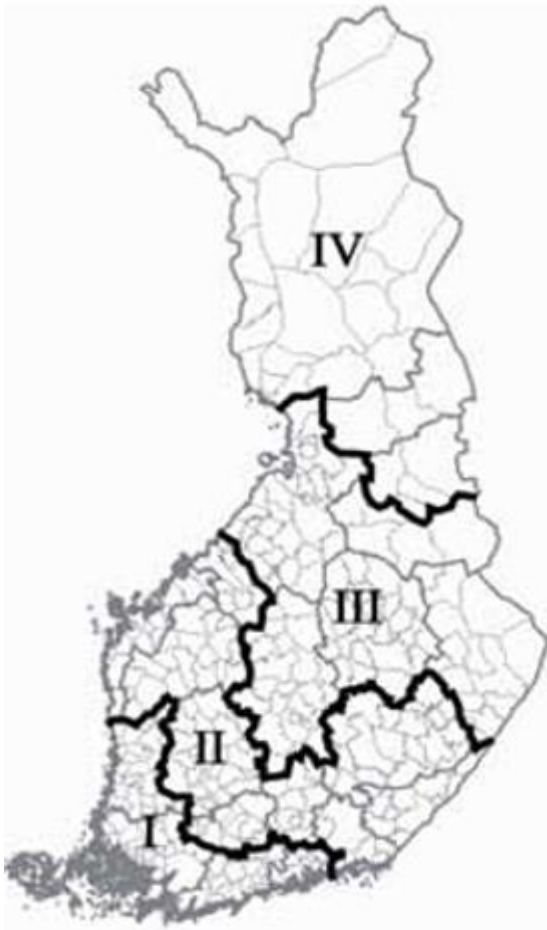
Kuva 3. Inverterin tiedot System Advisor Model -ohjelmassa.

Tarjotun järjestelmän lisäksi luotiin SAM-ohjelmistossa kaksi suurempaa, 30 kWp:n ja 40 kWp:n järjestelmät. Näiden järjestelmien avulla tutkittiin, olisiko suurempi PV-järjestelmä kannattavampi kyseiseen kohteeseen. Tehokkaammissa järjestelmissä käytettiin samoja paneeleja ja inverteriä, kuin alkuperäisessä. Järjestelmän kokoa kasvatettiin moduulien lukumäärää lisäämällä. Lisäksi simuloinnissa käytettiin samoja kaltevuuksia (30°) sekä suuntauksia (202°, etelä) kuin alkuperäisessä tarjouksessa.

## 6. Säädata

Energiasimuloinnissa käytetään eri testivuosina kerättyjä säätietoja sekä määräysten asettamia arvoja. Säädata on luotu yhdistelemällä eri vuosien säätietoja, ja näin on saatu luotua tyypillinen vuosi Suomessa säätietojen osalta. IDA ICE -ohjelmisto hyödyntää eri testivuosien tuntikohtaista säädataa sekä määräyksiä.

Suomi on jaettu ympäristöministeriön määräyksissä neljään eri säävyöhykkeeseen (kuva 4). Energiasimuloinneissa käytettiin ympäristöministeriön vyöhykkeen 1 säädataa, jonka mittausasema on Helsinki-Vantaan lentoasemalla (kuva 5). Opinnäytetyön kohde, Savonlinnan keskussairaala, sijaitsee vyöhykkeellä 2. Energiasimuloinneissa vyöhykkeet 1 ja 2 käyttävät samaa säädataa. Tässä työssä käytettiin Vantaan TRY 2012 säädataa, joka on Ilmatieteen laitoksen keräämä energialaskennan testivuosi. Säädata TRY 2012 noudattaa luvussa 3.4 mainittua standardia SFS-EN 15625. Samaa säädataa käytettiin sekä IDA ICE -simuloinneissa sekä aurinkosähköjärjestelmän SAM -simuloinneissa. Saman säädatan käyttäminen on ensiarvoisen tärkeää luotettavan lopputuloksen aikaansaamiseksi.



Kuva 4. Suomen säävyöhykkeet (Ympäristöministeriö 2018).

*Taulukko LI.2. Säätiiedot kuukausittain säävyöhykkeellä I Helsinki-Vantaa.*

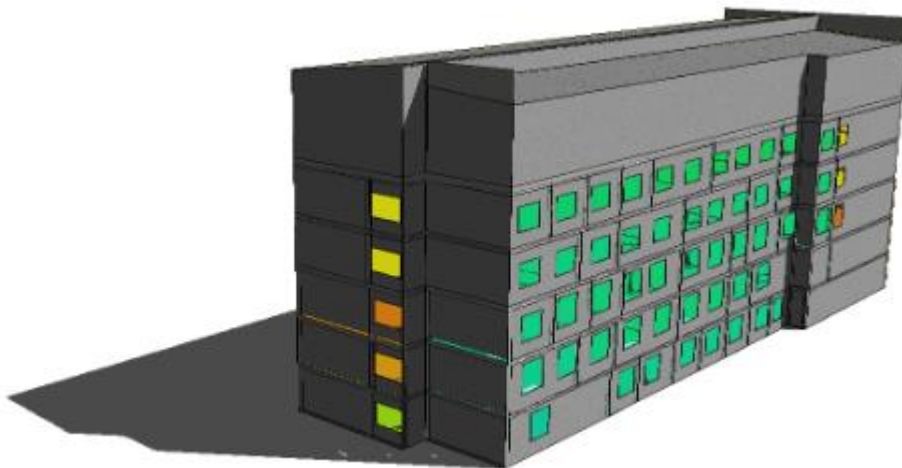
Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u$ , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{säteily, vaakapinta}$ , kWh/m <sup>2</sup>
Tammikuu	-3,97	6,2
Helmikuu	-4,50	22,4
Maaliskuu	-2,58	64,3
Huhtikuu	4,50	119,9
Toukokuu	10,76	165,5
Kesäkuu	14,23	168,6
Heinäkuu	17,30	180,9
Elokuu	16,05	126,7
Syyskuu	10,53	82,0
Lokakuu	6,20	26,2
Marraskuu	0,50	8,1
Joulukuu	-2,19	4,4
Koko vuosi	5,57	975

Kuva 5. Helsinki-Vantaan säätiiedot kuukausittain (Ympäristöministeriö 2018).

## 7. Energiasimuloinnin toteutus

Energiasimulointi toteutettiin yhteistyössä Rejlers Finland Oy:n kanssa. Simulointi aloitettiin luomalla 3D-malli (kuva 6) simuloitavasta rakennuksen osasta arkkitehtikuvien perusteella. Malliin määriteltiin seinät, ovet ja ikkunat vastaamaan todellisia rakennetietoja vastaavilla paksuuksilla, materiaaleilla ja lämmönläpäisy tiedoilla. Lisäksi rakenteisiin määriteltiin kattojen, lattioiden sekä ylä- ja alapohjien tiedot.

Rakennetietojen jälkeen määriteltiin vielä ilmanvaihtojärjestelmät, joita tuli yhteensä viisi kappaletta. Jokaiseen tilaan määriteltiin myös todellisuutta vastaavat ilmamäärät kohteen ilmanvaihtosuunnitelmien perusteella. Osissa tiloista oli erillinen huonejäähdytys puhallinkonvektoreilla toteutettuna, joten nämä määriteltiin erikseen tilatietoihin mahdollisimman luotettavan olosuhdesimuloinnin saavuttamiseksi.



Kuva 6. Valmis 3D-malli.

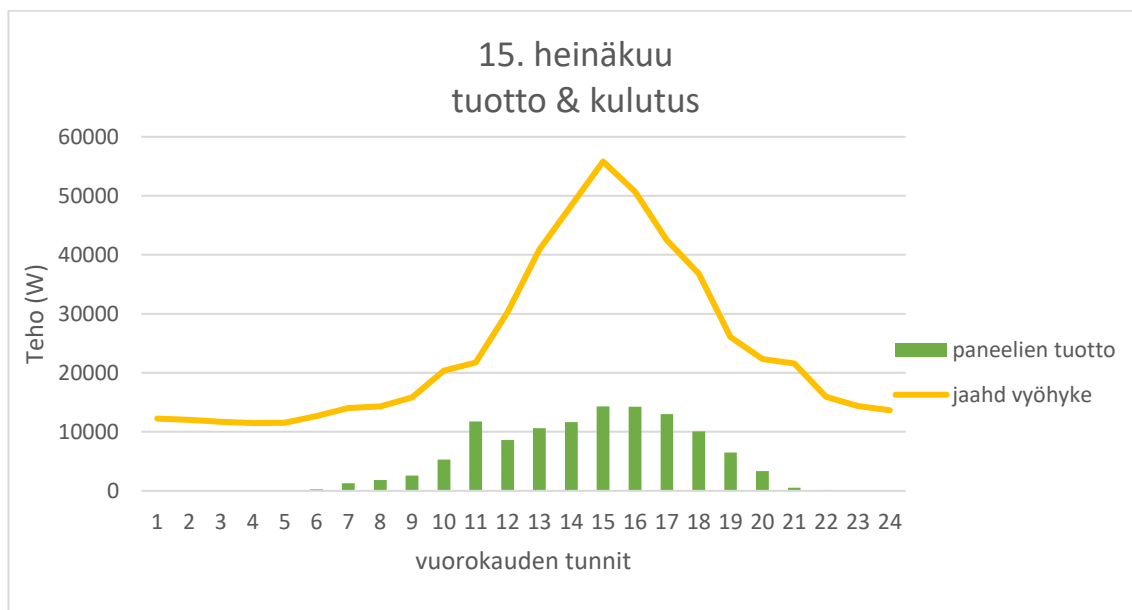
## 8. Tulokset

Rakennuksen vuosittaiseksi jäähdytystehon kokonaistarpeeksi saatiin 64,6 kWh. Simuloitavaa sairaalanosaa palvelee yhteensä viisi ilmanvaihtokonetta, joista neljässä tuloilma jäähdytetään jäähdytyspatterin avulla. Tämän lisäksi, osissa toimisto- ja potilashuoneista on puhallinkonvektorijäähdytys.

Sairaalan sisäilmaolosuhteet noudattavat Suomen ympäristöministeriön määräyksiä ja lakeja, joten sisälämpötilojen on pysyttävä 20°C ja 25°C välillä. Pääasiallinen lämpökuorma tulee kesäisin auringon aiheuttamasta lämmöstä. Lisäksi lämpökuormaa aiheuttavat sairaalan sähkö- ja telelaitteet, valaistus, potilaat sekä henkilöstö.

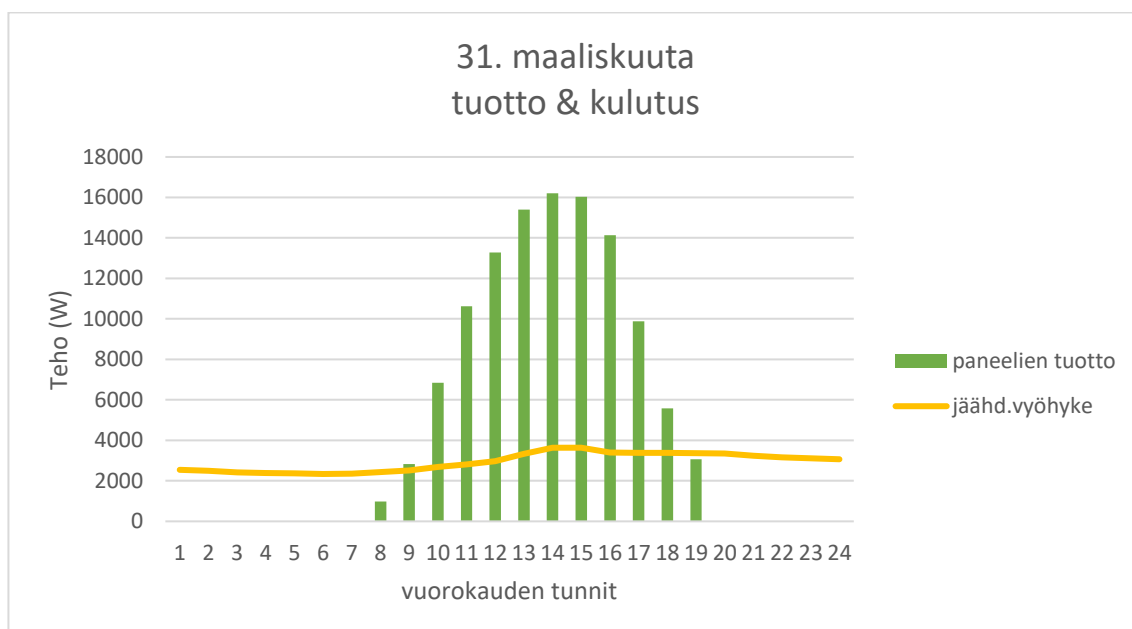
Kuten yllä olevasta kuvasta 5 huomataan, Suomessa on lämpimintä kesäkuukausina. Näin ollen, myös suurin jäähdytystehon tarve ajoittuu kesälle, kuten simulointien tuloksista voidaan todeta (kuvio 3). Lisäksi vuorokauden kierto vaikuttaa jäähdytysenergian tarpeeseen, varsinkin kesäkuukausina (kuvio 1). Vertailemalla kuvioita 1 ja kuviota 2, huomataan että aurinkoenergian tuotto on lähes samalla tasolla, mutta jäähdytysenergian tarve on huomattavasti suurempi heinäkuussa. Tästä voidaan päätellä, että vaikka auringon kokonaissäteily on samalla tasolla molempina kuukausina, on ulkolämpötilan oltava heinäkuussa suurempi. Maaliskuussa jäähdytysenergian tarve on myös vuorokausikohtaisesti samalla tasolla, joten rakennuksen jäähdytys onnistunee viileän tuloilman avulla.

Kuviosta 1 huomataan, että aurinkosähköjärjestelmän tuottama energia saadaan kulutettua täysin jäähdytykseen. Kyseessä on kuitenkin vain yksittäisen vuorokauden tarkastelujakso.



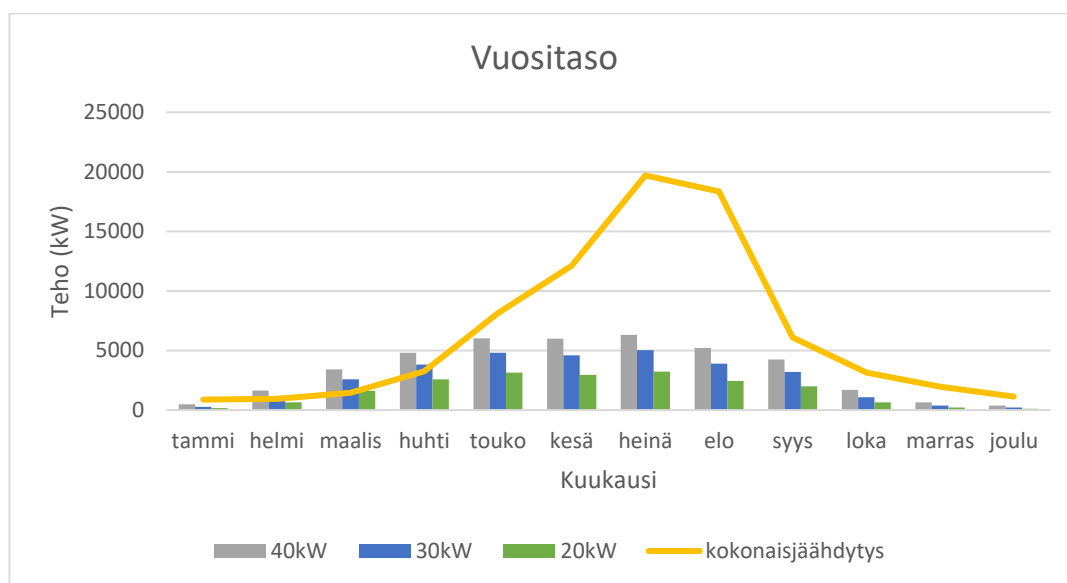
Kuvio 1. Jäähdytysenergian kulutus ja PV-sähköntuotto 15. heinäkuuta.

Ylituotantoa sen sijaan syntyy keväisin ja joinakin päivinä syksyllä. Ylituotannon määrä nähdään vertaillen kulutuksia tuntikohtaisesti. Esimerkiksi maaliskuun 31. päivänä ylituotantoa syntyy 20 kW:n järjestelmällä runsaasti (kuvio 2).



Kuvio 2. Jäähdytysenergian kulutus ja PV-sähköntuotto 31. maaliskuuta.

Kuviosta 3 huomataan, että kesäaikana rakennuksen jäähdytystehon tarve on suurimmillaan. PV-järjestelmien sähköntuotanto painottuu myös kesäkuukausiin, joten tuotto saadaan kulutettua täysin jäähdytykseen PV-järjestelmän koosta riippumatta.



Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmien tuoton kohtaavuus jäähdytysenergian kulutuksen kanssa koko vuoden ajalta.

Itä-Savon sairaanhoitopiirille tarjotun nimellisteholtaan 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmän lisäksi luotiin SAM-simulointiohjelmassa kaksi suurempaa, nimellistehoiltaan 30 kW ja 40 kW PV-järjestelmät. Näiden simulointien ja IDA ICE -olosuhdesimuloinnin tulokset yhdistettiin Excel-taulukoksi, jossa simuloinnissa saatuja tuntiakohtaisia kulutuksia vertailtiin keskenään.

Excel-taulukossa luotiin funktio, jonka avulla saatiin selvitettyä kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmästä saatua sähköenergiaa voi ohjata jäähdytysjärjestelmien käyttöön vuoden jokaisena tuntina. Sähköenergia, jota ei tarkasteltavan tunnin aikana voinut käyttää jäähdytysjärjestelmissä eriteltiin ylijäämäsihköksi. Näin saatiin selvitettyä jokaisen PV-järjestelmän omakulutusaste.



Taulukko 1. Eri järjestelmien tuotot ja omakulutusasteet.

Jäähdytystehon tarve vuodessa, kWh	Järjestelmäkoko, kWp	Tuotto vuodessa, kWh	Omakulutusaste, %
64,6	20	19,7	74
64,6	30	31,0	63
64,6	40	40,9	55

Tämän lisäksi Excel-taulukossa selvitettiin eri järjestelmien taloudellista kannattavuutta. Tämä toteutettiin takaisinmaksuajan menetelmällä, eli laskettiin saatava sähkösäästö kullekin järjestelmälle verrattuna sähköyhtiöltä ostettuun sähköenergiaan. Lisäksi arvioitiin investoinnin vuosituottoa säästetyn ostosähkön osalta. Laitteiston käyttöikä voidaan pitää 30 vuotta, joten sitä käytettiin investoinnin kannattavuuden laskelman ajanjaksona. Takaisinmaksuaikoja laskettaessa otettiin myös huomioon järjestelmien hinnat asennuksineen, sähkön hinnan kehitys, järjestelmän vuosittaiset huoltokustannukset sekä inverterin uusiminen 15 vuoden käyttöiän täytyttyä. Sähkön hintana käytettiin 0,15 euroa kilowattitunnille. Investointikustannuksissa ei huomioitu yleistä korkotason kehitystä.

Taulukko 2. Järjestelmien takaisinmaksuajat.

Järjestelmäkoko, kW	Takaisinmaksuaika, vuotta
20	11,4
30	13,7
40	15,0

Taulukko 3. Järjestelmien säästöt vuodessa 30 vuoden laskenta-ajalle.

Järjestelmäkoko, kW	Säästö vuodessa, €
20	1490
30	2190
40	2670

## 9. Pohdinta

### 9.1 Tulosten luotettavuus

Kohteesta ei ollut saatavilla kyseisen sairaalan osan jäähdytysenergian kulutustietoja. Tämän vuoksi rakennuksesta tehtiin IDA ICE -olosuhdesimulointimalli, jolla kohteen kulutustietoja voitiin simuloida. Olosuhdesimulointia voidaan pitää yleisesti luotettavana tapana selvittää energiankulutuksia. Se on yleisesti käytettävä työväline muun muassa suunnittelutoimistoissa ja energiatodistusten laadinnassa. Olosuhdesimuloinneissa käytettiin luvussa 3.4 mainittua standardia SFS-EN 15265 noudattavaa IDA ICE -simulointiohjelmaa. SAM-simulointiohjelmassa käytettiin standardin mukaista säädataa.

Olosuhdesimuloinnin tulosten luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi simulointiohjelmaan syötettävät lähtötiedot ja -arvot. Simulointiohjelmasta löytyy valmiita arvoja eri rakennusmateriaaleille, sekä niitä voidaan luoda ja muokata itse.

Kohteena oli vanha, jo olemassa oleva rakennus, jonka rakennetiedoista oli heikosti tietoa saatavilla. Tästä johtuen työssä käytettiin soveltuvilta osin vanhojen rakennusmääräyskokoelmien tietoja muun muassa seinien, ylä- ja alapohjien sekä ikkunoiden lämmönläpäisykertoimien eli U-arvojen osalta. Malli on luotu hyödyntämällä todellisia arkkitehti- ja LVI-suunnitelmia, sekä ilmanvaihtojärjestelmät määriteltiin vastaamaan todellisuutta IV-kojeiden sekä ilmamäärien osalta. 3D-malli itsessään luotiin kokeneen LVI-suunnittelijan kanssa yhteistyössä, joten valmista mallia voidaan pitää luotettavana.

Rakennetietojen ja muiden lähtöarvojen lisäksi olosuhdesimuloinnissa on keskeisessä roolissa säädata. Säädataksi valittiin tässä työssä ympäristöministeriön määräykset täyttävä TRY2012-testivuosiaineisto. Samaa säädataa käytettiin sekä IDA ICE -ohjelmistossa, että SAM-ohjelmistossa. Eri säädatojen käyttömitätöisi tulosten vertailukelpoisuuden. Tutkimuksen kohde sijaitsee lämpötilavyöhykkeellä kaksi, joka käyttää samaa säädataa vyöhykkeen yksi kanssa. Vyöhykkeiden 1 ja 2 mittauspiste sijaitsee Helsinki-Vantaan lentoasemalla, joka on maantieteellisesti melko kaukana tutkimuksen kohteesta, Savonlinnan keskussairaala. Käytettävissä olisi ollut myös Savonlinnan säädataa, joka olisi voinut tuoda tarkemman lopputuloksen. Kyseinen säädata olisi kuitenkin ollut hankalasti sovitettavissa IDA ICE -ohjelmistoon eikä se olisi täyttänyt Suomen ympäristöministeriön määräyksiä. Työ haluttiin tehdä virallisina menetelmin, joten käytettiin virallista säädataa.

Todelliset sääolosuhteet auringonsäteilyin määrineen vaihtelevat vuosittain huomattavastikin testivuosiaineistoon verrattuna, joten simuloinnilla saadut tulokset ovat suuntaa antavia, eivät absoluuttisia. Lisäksi esimerkiksi lumikuormat ja todelliset varjostukset (puut, vesikaton päätelaitteet, toiset rakennukset) vaikuttavat aurinkosähköjärjestelmästä saataviin tehoihin. Lisäksi rakennuksen sijainti ja asento aurinkoon nähden vaikuttaa tarvittavaan jäähdytystehon tarpeeseen sekä aurinkopaneeleista saatavaan energian määrään. Näihin pyrittiin myös simuloiteja tehdessä kiinnittämään huomiota.

Aurinkosähköjärjestelmien simulointi suoritettiin SAM-ohjelmistolla, jonka aiemmasta käytöstä ei ollut kokemusta. Tulosten luotettavuuden analysointi näiltä osin on hieman haastavaa, mutta jotain luotettavuudesta kertoo, että ohjelmalla saatiin hyvin lähelle samanlaisia tuloksia kuin alkuperäisessä aurinkosähköjärjestelmän tarjouksessa.

## 9.2 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää olosuhde- ja energiasimulointien avulla, onko aurinkosähkön hyödyntäminen jäähdytyksessä kannattavaa. Lisäksi työn tarkoituksena oli osoittaa, että kannattavuuden selvittäminen onnistuu simulointien avulla.

Tuloksena saatiin, että tarjottuun 20 kW:n järjestelmään investoiminen olisi kannattavaa. Tämän lisäksi huomattiin, että myös suurempia simuloituja järjestelmiä kannattaisi ainakin vakavasti harkita investoitavaksi. Suuremmissa järjestelmissä omakulutusaste on heikompi ja takaisinmaksuaika hieman pidempi, mutta jos järjestelmien tuottama ylijäämäenergia saataisiin ohjattua järkevästi rakennuksen muuhun energiankulutukseen, kuten käyttöveden lämmitykseen, olisi suurempaan aurinkosähköjärjestelmään investoiminen kannattavampaa. Kannattavuuslaskelmien luotettavuuteen vaikuttaa sähkön hinnan kehityksen hankala arviointi. On kuitenkin huomioitava, että onko suuremman PV-järjestelmän asentaminen sairaalan katolle mahdollista tilavarausten puolesta.

Sairaalakiinteistöstä löytyy varmasti runsaasti kulutuskohteita, joihin ylijäämäenergian voisi ohjata. Tässä olisikin yksi vaihtoehto jatkotutkimukselle, kuinka suuritehoisen aurinkosähköjärjestelmän täysi potentiaali saataisiin hyödynnettyä.

Työ suoritettiin tuntikohtaisen vertailun avulla, jossa vertailtiin energiantuottoa ja -kulutusta tunti tunnilta vuoden mittaisessa ajanjaksossa. Simuloinnissa saatuja tuloksia vertailtiin pääasiassa Excel-taulukkolaskentaohjelmassa. Menetelmä todettiin käyttökelpoiseksi ja vertailu toteutettiin Excel-funktioiden ja kaaviotyökalujen avulla.

Aiempaa kokemusta energiasimuloinneista oli Karelia-ammattikorkeakoulun *Jäähdytysjärjestelmät* -opintojakson osalta, jossa tosin käytettiin eri olosuhdesimulointiohjelmaa (Riuska). Aurinkosähköjärjestelmistä ei juurikaan aiempaa kokemusta ollut, varsinkaan simuloinnin tai kannattavuuden selvittämisen osalta.

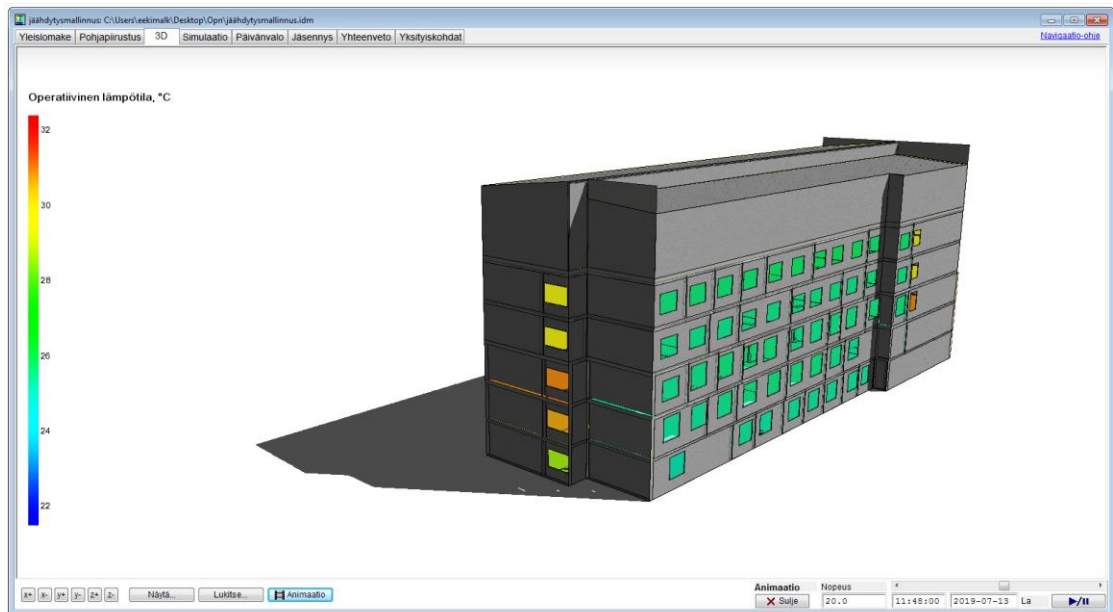
Näin ollen, aikaa simulointeihin ja tulosten vertailuun kului arviolta noin 80 tuntia työaikaa.

Suurimpia haasteita olivat 8760-rivisten Excel-taulukoiden käsittely, TRY2012-säädätön tuominen SAM-ohjelmistoon sekä tulosten analysointi. IDA ICE -olosuhdesimulointi oli mielekästä ja onnistui hyvin, tästä kiitos Rejlers Finland Oy:lle.

## Lähteet

1. Forstén, E. 2015. Energiatohokkuussuunnittelua simuloinnilla ja optimoinnilla. Sähköala. [http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/energiatohokkuus/fi\\_FI/energiasimulointi/](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/energiatohokkuus/fi_FI/energiasimulointi/). 19.12.2019.
2. Itula. 2019. Energiatodistukset ja simulointi. HC-Engineering Oy. [https://www.itula.fi/files/8514/9441/8569/HC\\_esite.pdf](https://www.itula.fi/files/8514/9441/8569/HC_esite.pdf). 10.12.2019.
3. Equa. 2020. IDA Indoor Climate and Energy. Equa Simulation AB. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>. 15.3.2020
4. NREL. 2019. <https://sam.nrel.gov/>. System Advisor Model. 15.3.2020
5. SFS-EN 15265 Standardi. Suomen Standardoimisliitto SFS. 2007.
6. Equa. 2020. <https://www.equa.se/fi/ida-ice/validation-certifications>. Validointi ja sertifikaatit. 24.3.2020
7. Motiva Oy. 2016. Auringosta lämpöä ja sähköä. [https://www.motiva.fi/files/13518/Auringosta\\_lam-poa\\_ja\\_sahkoa\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/13518/Auringosta_lam-poa_ja_sahkoa_2016.pdf). 20.11.2019
8. Auvinen, K. 2015. Soveltuvuus energiajärjestelmään. Finsolar. <https://finsolar.net/aurinkoenergia/soveltuvuus-energiajarjestelmaan/> 20.11.2019

## Simulointitulokset ja ohjelmistonäkymä IDA ICE



Kuva 1. Valmis 3D-malli IDA ICE-ohjelmistossa.

**Energy - Viihtyykkeet**

#	Maksimi postioim. [aer./m <sup>2</sup> ]	Maksimi aurinko [W/m <sup>2</sup> ]	Min RH[%],%	Maks RH[%],%	Maks CO <sub>2</sub> pito- [ppm]	Maks PPD[%]	Maks ilmav. ikä [h]	Käytössä [h]	Aika(h) T <sub>op&gt;25</sub> [h]	Aika(h) T <sub>op&gt;27</sub> [h]	Läsnäolo, h <sub>av</sub>	POH, h	tunnit, ittam. jaähdytys	tunnit, ittam. lämmitys	LOCAL-F ritam., [DEG, h]	Viihtyyke
0.4968	0.0	11.46	62.48	905.6	72.48	1.352	8760.0	3380.5	1964.8	11122.0	1497.0	2685.3	0.0	8974.4	Viihtyyke 2	
1.991	11.08	5.183	75.74	536.1	12.6	0.3578	8760.0	1441.9	0.0	9587.0	598.9	0.0	0.0	1.3	Viihtyyke 1	
1.991	12.97	5.141	77.54	533.8	12.4	0.3494	8760.0	866.0	0.0	8031.0	487.5	0.0	0.0	0.8	Viihtyyke 3	
1.991	12.07	5.162	77.35	535.0	12.37	0.3536	8760.0	840.1	0.0	8714.0	528.1	0.0	0.0	0.8	Viihtyyke 4	
1.991	7.905	5.235	75.55	539.1	12.27	0.3685	8760.0	725.2	0.0	13781.0	838.8	0.0	0.0	1.1	Viihtyyke 5	
3.982	0.0	3.878	80.41	482.1	15.3	0.1574	8760.0	106.9	0.0	3230.0	178.9	27.13	0.0	64.9	Viihtyyke 6	
1.991	11.59	5.218	77.23	538.1	12.29	0.3656	8760.0	678.5	0.0	9345.0	561.0	0.0	0.0	0.7	Viihtyyke 7	
3.982	0.0	3.837	81.19	459.8	14.4	0.1495	8760.0	97.2	0.0	2386.0	131.9	19.38	0.0	53.5	Viihtyyke 8	
3.982	0.0	3.835	81.14	459.7	14.43	0.1491	8760.0	98.0	0.0	2355.0	130.2	20.11	0.0	54.1	Viihtyyke 9	
3.983	0.0	3.898	79.15	463.4	17.16	0.1615	8760.0	141.2	0.0	3909.0	218.7	42.83	0.0	98.0	Viihtyyke 10	
3.981	0.0	3.999	79.93	469.0	15.76	0.1811	8760.0	119.5	0.0	10486.0	585.9	34.84	0.0	83.7	Viihtyyke 11	
3.983	0.0	3.853	80.18	460.7	15.62	0.1526	8760.0	111.5	0.0	2739.0	152.3	31.82	0.0	75.8	Viihtyyke 12	
1.991	0.0	5.162	78.28	535.0	11.99	0.3537	8760.0	411.6	0.0	8714.0	514.1	0.0	0.0	0.3	Viihtyyke 13	
1.985	0.0	4.904	76.51	536.9	12.16	0.3595	8760.0	961.8	0.0	12110.0	714.6	0.0	0.0	0.8	Viihtyyke 14	
3.983	0.0	3.989	81.38	468.4	14.33	0.1795	8760.0	101.5	0.0	6008.0	334.0	22.07	0.0	60.9	Viihtyyke 15	
3.982	0.0	3.92	82.24	464.4	13.08	0.1654	8760.0	85.0	0.0	3756.0	207.4	0.9142	0.0	40.3	Viihtyyke 16	
2.986	0.0	4.398	78.39	491.5	11.92	0.24	8760.0	134.1	0.0	11926.0	670.8	0.0	0.0	0.4	Viihtyyke 17	

**Rakennus - Järjestelmien energia**

	kWh
Tilalämmitys	36891.7
Tilajaähdytys	64857.6
Lämmitys IV-k.	26596
Jaähdytys IV-k.	12472.6
Lämm. käytt.	22693.2
Jaähdytys	77330.2
Lämmitys	53269

**Energiatase (vain luhusta)**

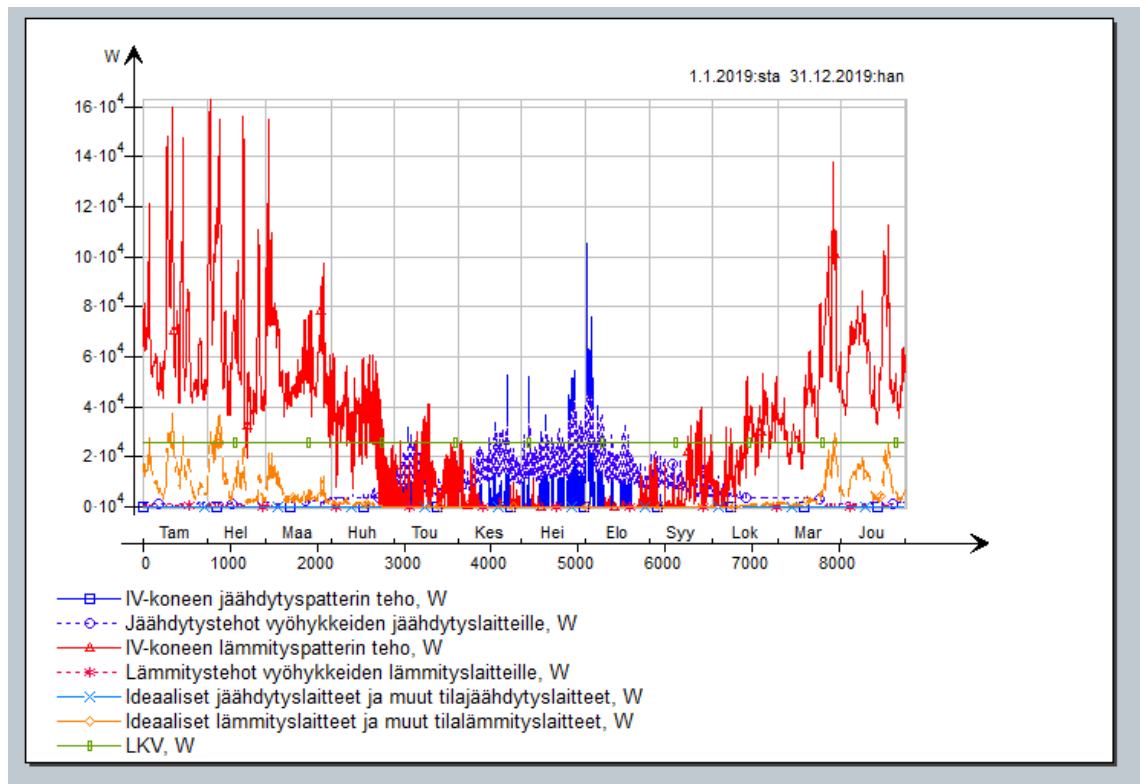
	Vapaa ja kylläisill at, kWh	Sisäisen siirto, kWh	Ikkunat & aukiot, kWh	Kon- tuloita, kWh	Vuotoilm & sakkot, kWh	ihmiset, kWh	Laitteet, kWh	Valaistus, kWh
Yhteensä	-2509	-565.2	-2210	-2963	-3712	18988	23291	18115
Lämmityksen	-1163	15316.4	-3282	-6717	-1642	55993.5	67859.2	52777.8
Jaähdytyksen	-1003	-2018	16862.3	-1650	-1574	10214	12705	98022.8
Muuna aikana	-3422	4303.9	-6140.7	-6312	-4967.7	31743.8	37996.4	29552.4

**Osioenergiat**

Meter	Yhteensä kWh	m <sup>2</sup> kohti kWh/m <sup>2</sup>	Tarve, kWh	Kustannus	CO <sub>2</sub> -pää- stöt, kg	Kokonais- energia, kWh
Valaistus, kin...	18114	33.77	20.68			21737
Jaähdytys	25776.1	4.806	47.98			30831.3
IV-sähkö	13993	26.09	17.68			16791
Lämmitys, ka...	31621	58.77	205.7			15760
LKV, kaukoka...	23396	43.62	26.71			11698
Laitteet, asukas	23291	43.42	26.59			27845
Yhteensä	11289	210.5	345.3	0.0	0.0	97031

Kuva 2. IDA ICE-ohjelmiston perusnäky.

## Simulointitulokset ja ohjelmistonäkymä IDA ICE



Kuva 3. IDA ICE-simulaation tulokset.

## Simulointitulokset ja ohjelmistonäkymä IDA ICE

Sisäänsyöttötiedot: tulostusobjekti jäädytysmallinnus:ssa				
			tilavuuteen	
<b>Kiinteä vuotoilmamäärä</b>			179.945 l/s	
<b>Rakennuksen vaippa</b>	<b>Ala [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [W/(K m<sup>2</sup>)]</b>	<b>U*A [W/K]</b>	<b>% kokon.</b>
<b>Seinät maanp. yläpuol.</b>	<b>2777.80</b>	<b>0.40</b>	<b>1106.00</b>	<b>50.81</b>
D3 2012 ulkoseinä(betoni),lammin tila1OMA	2777.80	0.40	1106.00	50.81
<b>Seinät maanp. alapuol.</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Katto</b>	<b>830.69</b>	<b>0.35</b>	<b>290.90</b>	<b>13.36</b>
D3 2012 yläpohja(betoni),lammin tila1OMA	830.69	0.35	290.90	13.36
<b>Maavarainen lattia</b>	<b>908.77</b>	<b>0.18</b>	<b>163.23</b>	<b>7.50</b>
D3 2012 alapohja maata vasten, lammin tila1OMA	908.77	0.18	163.23	7.50
<b>Lattia ulkoilmaan</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Ikkunat</b>	<b>341.40</b>	<b>1.55</b>	<b>529.17</b>	<b>24.31</b>
D3 2012 ikkuna, lammin tila1 OMA	341.40	1.55	529.17	24.31
<b>Ulko-ovet</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Kylmäsiilat</b>			<b>87.51</b>	<b>4.02</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>4858.66</b>	<b>0.45</b>	<b>2176.81</b>	<b>100.00</b>

<b>Kylmäsiilat</b>	<b>Pinta-ala tai pituus</b>	<b>Keskim. lämmönjohtuvuus</b>	<b>Kokonais [W/K]</b>
Ulkoseinä / alapohja	1374.51 m	0.000 W/(m K)	0.000
Ulkoseinä / sisäseinä	711.10 m	0.000 W/(m K)	0.000
Ulkoseinä / ulkoseinä	124.89 m	0.060 W/(m K)	7.493
Ulkoikkunoiden ympärysmitta	850.00 m	0.040 W/(m K)	34.000
Ulko-ovien ympärysmitta	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Katto / ulkoseinät	184.05 m	0.080 W/(m K)	14.724
Alapohja / ulkoseinä	140.79 m	0.240 W/(m K)	33.790
Parvekkeen lattia / ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja / sisäseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkokatto / sisäseinä	51.27 m	0.000 W/(m K)	0.000
Ulkoseinä, sisänurkka	41.70 m	-0.060 W/(m K)	-2.502
Katto / ulkoseinät, sisänurkka	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja / ulkoseinä, sisänurkka	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinät	4441.71 m <sup>2</sup>	0.000 W/(m <sup>2</sup> K)	0.000
Ylimääräiset häviöt	-	-	-0.000
Summa	-	-	87.505

<b>Ikkunat</b>	<b>Ala [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U lasi [W/(K m<sup>2</sup>)]</b>	<b>U karmi [W/(K m<sup>2</sup>)]</b>	<b>U ikkuna [W/(K m<sup>2</sup>)]</b>	<b>U*A [W/K]</b>	<b>g kokonaissäteilyn läpäisykerroin</b>
N	145.83	1.50	2.00	1.55	226.04	0.60
E	2.70	1.50	2.00	1.55	4.19	0.60
S	174.87	1.50	2.00	1.55	271.05	0.60
W	18.00	1.50	2.00	1.55	27.90	0.60
Yhteensä	341.40	1.50	2.00	1.55	529.17	0.60

<b>Ilmanvaihtokone</b>	<b>Paineenkorotus tulo/poisto [Pa/Pa]</b>	<b>Puhaltimen hyötysuhde tulo/poisto [-/-]</b>	<b>Järjestelmän SFP-luku [kW/(m<sup>3</sup>/s)]</b>	<b>Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde / minimi jäteilman lämpötila [-/C]</b>
TK-B.305 fys/neuro	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.60/1.00
TK-B.308 labra	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.60/1.00
TK-2B	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.60/1.00
TK-3B	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.60/1.00
TK-4B	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.60/1.00

<b>LKV</b>	<b>kWh/(lattia-m<sup>2</sup>,vuosi)</b>	<b>Kokonais, [l/s]</b>
	30.000	0.088

Kuva 4. IDA ICE-simulaation rakenne- ja lähtötiedot.



## Ohjelmistonäkymä System Advisor Model (SAM)

The screenshot shows the SAM software interface with the 'Solar Resource Library' and 'Weather Data Information' sections visible. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Location and Resource', 'Module', 'Inverter', 'System Design', etc. The main content area is divided into several sections:

- Solar Resource Library:** A table listing weather files with columns for Name, Latitude, Longitude, Time zone, Elevation, and Station ID. The table contains entries like 'FIN\_Helsinki.029740\_IWEC', 'tmy\_era\_60.321\_24.948\_2006\_2015', 'TRY2012', and 'TRY2012suppea'. Below the table are buttons for 'Add/remove weather file folders...' and 'Refresh library'.
- Download Weather Files:** A section with radio buttons for '60-minute' (selected) and '30-minute', and a checked checkbox for 'Legacy data (advanced)'. A 'Download and add to library...' button is present.
- Weather Data Information:** A section showing the selected weather file path: 'C:\Users\Omistaja\SAM Downloaded Weather Files\TRY2012suppea.csv'. It includes a 'View data...' button.
- Header Data from Weather File:** A section with input fields for Station ID, Data Source (PVGIS V5), Elevation (56 m), Latitude (60.321), Longitude (24.947), and Time zone (GMT 2).

Kuva 5. System Advisor Model -perusnäkö.

The screenshot shows the SAM software interface with the 'AC Sizing' and 'DC Sizing and Configuration' sections visible. The interface includes a sidebar with navigation options like 'Location and Resource', 'Module', 'Inverter', 'System Design', etc. The main content area is divided into several sections:

- AC Sizing:** A section with input fields for 'Number of inverters' (1) and 'DC to AC ratio' (0.99). It includes a checkbox for 'Estimate Subarray 1 configuration'.
- Sizing Summary:** A section showing calculated values: Total AC capacity (20,000 kWac), Total number of modules (72), Total inverter DC capacity (20,467 kWdc), Total number of strings (4), Nameplate DC capacity (19,795 kWdc), and Total module area (117.9 m²).
- DC Sizing and Configuration:** A section with a table for 'Electrical Configuration' across four subarrays. Subarray 1 is enabled, while Subarrays 2, 3, and 4 are disabled. The table shows values for Modules per string, Strings in parallel, Number of modules, String Voc, and String Vmp.
- Tracking & Orientation:** A section with a diagram of a solar panel array and input fields for 'Tilt (deg)' (30), 'Azimuth (deg)' (202), 'Ground coverage ratio (GCR)' (0.3), and 'Tracker rotation limit (deg)' (45). It also includes a checkbox for 'Backtracking' (disabled).

Kuva 6. System Advisor Model.