



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Niko Lahti

# Helsingin Musiikkitalon energiatehokkuus

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö  
Diplomityö  
Energiatekniikka

Vaasa 2022

## Alkusanat

Tämä diplomityö on kirjoitettu Vaasan yliopiston yksikössä Teknika ja Innovaatiojohtaminen osana energiatekniikan diplomi-insinööri tutkintoa. Diplomityö on kirjoitettu Helsingin Musiikkitalolle.

Aluksi haluan kiittää koko Musiikkitalon organisaatiota tästä mahdollisuudesta. Erityinen kiitos kuuluu työni ohjaajalle diplomi-insinööri Marko Kiviniemelle, joka mahdollisti työn tekemisen heille ja omalla ammattitaidollaan auttoi diplomityön valmistumisessa. Lisäksi haluan kiittää yliopiston puolelta työni valvojaa professori Seppo Niemeä, sekä työn ohjaajaa tohtori Anne Mäkirantaa tuesta ja tärkeästä avusta matkan varrella.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani, isovanhempiani, naisystävääni, sekä enoani ja hänen perhettään tuesta ja kannustuksesta läpi diplomityö projektin, sekä yliopisto opintojen.

Vaasa,

Niko Lahti

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Niko Lahti		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Helsingin Musiikkitalon energiatehokkuus		
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri		
<b>Oppiaine:</b>	Energiatekniikka		
<b>Työn valvoja:</b>	Seppo Niemi		
<b>Työn ohjaajat:</b>	Anne Mäkiranta & Marko Kiviniemi		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2022	<b>Sivumäärä:</b>	60

---

**TIIVISTELMÄ:**

Energiatehokkuus on termi, jolla tarkoitetaan energian vähentämistä tai parempaa tehokkuutta samalla energiamäärällä. Energiatehokkuuden kehittämällä pyritään vähentämään syntyviä kasvihuonepäästöjä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Hyvä energiatehokkuus on tärkeää, koska sen avulla voidaan turvata energian saatavuutta, vähentää tuontienergiatarvetta, alentaa energiakustannuksia ja suojella ympäristöä.

Tässä diplomityössä paneudutaan Helsingin Musiikkitalon energiatehokkuuteen. Työn tarkoitus on tarkastella Musiikkitalon järjestelmiä ja niiden energiatehokkuutta ja tältä pohjalta arvioida miten ne vastaavat kirjallisuudessa esitettyjä. Lopuksi käytiin läpi erilaisia vaihtoehtoja, joiden avulla Musiikkitalon energiatehokkuutta voitaisiin parantaa ja millaisia toimenpiteitä se vaatisi.

Musiikkitalon uudet järjestelmät ovat osoittautuneet hyväksi investoinneiksi, kun tarkastellaan niitä hinta-laatusuhteeltaan. Järjestelmät ovat tähänastisessa käytössä toimineet moitteettomasti ja niistä saatava energia on jopa ylittänyt odotukset. Musiikkitalon energiatehokkuus on nyt hyvällä tasolla, mutta vuosien kuluessa tulee energiatehokkuutta parantaa käyttäen eri vaihtoehtoja, sillä energiatehokkuus huonontuu vuosi vuodelta.

---

**AVAINSANAT:** Energiatehokkuus, Musiikkitalo, lämpöpumppu, aurinkopaneeli, aurinkosähköjärjestelmä

---

**UNIVERSITY OF VAASA****School of Technology and Innovations**

**Author:** Niko Lahti  
**Title of the Thesis:** Energy efficiency of Helsinki Music Centre  
**Degree:** Master of Science  
**Programme:** Energy Technology  
**Supervisor:** Seppo Niemi  
**Instructors:** Anne Mäkiranta & Marko Kiviniemi  
**Year:** 2022                      **Pages:** 60

---

**ABSTRACT:**

Energy efficiency is a term that refers to the reduction or better efficiency of energy with the same amount of energy. The aim of developing energy efficiency is to reduce greenhouse gas emissions as cost-effectively as possible. Maintaining energy efficiency is very important, as it helps to secure energy supply, reduce the need for imported energy, reduce energy costs and protect the environment.

In this thesis, more attention was paid to the energy efficiency of the Helsinki Music Centre. The purpose of the work was to examine photovoltaic and heat pump systems in general in the literature and on this basis to examine the systems of the Music Centre and their energy efficiency. In addition, the new systems of the Music Centre and their energy efficiency were discussed in detail. Finally, various options were discussed to improve the energy efficiency of the Music Centre and what measures it would require.

New systems are so far an excellent investment when it comes to value for money. The systems used so far have worked well and the energy they provide has even exceeded expectations. The energy efficiency of the Music Centre is still at an excellent level for the time being, but over the years, the energy efficiency must be improved with using different options, as the energy efficiency decreases year by year.

---

**KEYWORDS:** Energy efficiency, Music Centre, Heat pump, Solar panel, Photovoltaic system

## Sisällys

1	Johdanto	10
1.1	Helsingin Musiikkitalo	10
1.2	Tutkimuskysymykset	12
1.3	Tutkimuksen rakenne	12
2	Aurinkopaneelien kirjallisuuskatsaus	14
2.1	Rakenne	14
2.2	Toiminta	15
2.3	Kustannukset ja takaisinmaksuaika	16
2.4	Tuotto ja tehokkuus	17
3	Lämpöpumpujärjestelmien kirjallisuuskatsaus	20
3.1	Rakenne ja toimintaperiaate	20
3.1.1	Pääkomponentit ja toimintaperiaate	20
3.1.2	Muut komponentit	21
3.2	Kustannukset ja takaisinmaksuaika	22
3.3	Tuotto ja tehokkuus	23
4	Tutkimusmenetelmät	24
5	Tutkimus	25
5.1	Musiikkitalon aurinkovoimala	25
5.1.1	Aurinkovoimalan vähittäisvaatimukset	25
5.1.2	Aurinkopaneelien tekniset tiedot ja asennus	27
5.1.3	Ohjauskeskus huone	29
5.1.4	Virran optimoijat	31
5.1.5	Aurinkovoimalan kustannukset	32
5.2	Musiikkitalon energiankierrätysjärjestelmä	33
5.2.1	Lämpöpumput	35
5.2.2	Varaajasäiliöt	38
5.2.3	Muut laitteet	40
5.2.4	Jäähdytyspalkkiverkosto	41

5.2.5	Energiankierrätysjärjestelmän kustannukset	42
5.3	Aurinkovoimalan energiatehokkuus	43
5.3.1	Aurinkovoimalan todellinen tuotto	45
5.3.2	Aurinkovoimalan avulla saavutetut säästöt	48
5.3.3	Musiikkitalon aurinkovoimala verrattuna kirjallisuuteen ja arvioihin	48
5.4	Energiankierrätysjärjestelmän energiatehokkuus	50
5.5	Musiikkitalon energiatehokkuuden kehittäminen	52
5.5.1	Lämmitysverkon säätö ja huolto	52
5.5.2	Seinien lisäeristäminen	53
5.5.3	Yläpohjan lisäeristäminen	53
5.5.4	Lämmitysjärjestelmän ulkoinen hallinta	54
6	Johtopäätökset	55
7	Yhteenveto	57
	Lähteet	59

## Kuvat

- Kuva 1.** Helsingin Musiikkitalo (Rakennusfakta 2012).
- Kuva 2.** Musiikkitalon organisaatio rakenne (Musiikkitalo 2021).
- Kuva 3.** Aurinkopaneelin rakenne yksinkertaistettuna (Kulmala 2014).
- Kuva 4.** Aurinkosähköjärjestelmän toiminta yksinkertaistettuna (Keravanenergia 2022).
- Kuva 5.** Kylmäteknisen kiertoprosessin toimintaperiaate (Mero 2019).
- Kuva 6.** Lähikuva Jolywood JW-HD144N paneelista Musiikkitalon katolla.
- Kuva 7.** Aurinkopaneeleita asennettuna Musiikkitalon yläkatolla.
- Kuva 8.** Ilmakuva aurinkopaneeleiden asettelusta Musiikkitalon yläkatolla.
- Kuva 9.** Yksinkertaistettu kuva aurinkopaneeleiden kiinnityksestä ja mitoista.
- Kuva 10.** Kuva Musiikkitalon ohjauskeskuksesta.
- Kuva 11.** SE82.8K invertteri.
- Kuva 12.** Aurinkovoimalan invertterit ja niiden paneelientät.
- Kuva 13.** Solar Edge P401 virran optimoija (Solar Edge 2022).
- Kuva 14.** Aurinkovoimala projektin kokonaiskustannukset.
- Kuva 15.** Kuvassa esitettynä energiankierrätysjärjestelmän rakenne yksinkertaistettuna.
- Kuva 16.** Thermia Mega XL lämpöpumppu 1 asennettuna Musiikkitalolla.
- Kuva 17.** Kuvassa esitettynä kaikki kolme Thermia Mega XL lämpöpumppua.
- Kuva 18.** Musiikkitalon Gebwell G-Energy Puskurivaraaja DN65.
- Kuva 19.** Yksi käyttövesivaraajan kierukoista.
- Kuva 20.** Vasemmalla Musiikkitalon käyttövesivaraaja ja taustalla puskurivaraaja.
- Kuva 21.** Kuva IV-konehuoneesta, jossa suurin osa paisunta-astioista sijaitsee.
- Kuva 22.** Kuvassa oikealla jäähdytyspalkkiverkosto ja vasemmalla suodattimet.
- Kuva 23.** Imutila, jossa suodattimet oikealla seinällä.
- Kuva 24.** Ennuste aurinkovoimalan tehoista ja tuotoista.
- Kuva 25.** Musiikkitalon aurinkovoimalan tuotanto eri ajanjaksoilla 3.10.2022.
- Kuva 26.** Kuva aurinkovoimalan CO<sub>2</sub>-päästöjen säästöistä 10 kuukauden ajalta.
- Kuva 27.** Järjestelmän huipputeho.

## **Kaaviot ja taulukot**

**Kaavio 1.** Suurempien aurinkosähköjärjestelmien hintavertailu (Hiilineutraalisuomi 2020).

**Kaavio 2.** 120–160 kW kokoisten lämpöpumppujen kustannukset (Niemelä 2020).

**Kaavio 3.** Kaaviossa esitettynä eri kokoisten järjestelmien elinkaarikustannukset (Niemelä 2020).

**Kaavio 4.** Aurinkovoimalan kuukausikohtainen tuotto ennuste.

**Kaavio 5.** Aurinkovoimalan järjestelmähäviökaavio.

**Kaavio 6.** Aurinkovoimalan päiväkohtainen tehojakauma viikon ajalta.

**Kaavio 7.** Aurinkovoimalan tuntikohtainen tehojakauma päivän ajalta diagrammina.

**Taulukko 1.**P401 virran optimoijan tärkeimmät tunnusluvut.

**Taulukko 2.** Energiankierrätysjärjestelmän säästöt.

## Lyhenneluttelo

<b>COP</b>	Coefficient of Performance, tehokerroin
<b>dm<sup>3</sup>/s</b>	Kuutiodesimetriä sekunnissa
<b>kPa</b>	Kilopascal
<b>kW</b>	Kilowatti
<b>kWh</b>	Kilowattitunti
<b>kWp</b>	Kilowattipiikki
<b>MWh</b>	Megawattitunti

# 1 Johdanto

Helsingin Musiikkitalon omistava Kiinteistöosakeyhtiö Mannerheimintie 13a päätti vuonna 2020 investoida Musiikkitaloon ja päivittää sen energijärjestelmät nykyaikaisemmiksi. Uudistuksen seurauksena Musiikkitalon katolle asennettiin yli 800 uutta aurinkopaneelia, sekä kolme uutta lämpöpumppua oheislaitteineen. Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia ja analysoida uutta järjestelmää, sekä tarkastella ovatko uudistetut energiaratkaisut toimineet niin kuin kirjallisuudessa luvataan. Lisäksi työssä havainnointiin mahdollisia uusia ratkaisuja, joiden avulla Musiikkitalosta saataisiin entistäkin energiatehokkaampi ja kuinka energiaan kuluvat kustannukset saataisiin mahdollisimman pieniksi.

## 1.1 Helsingin Musiikkitalo

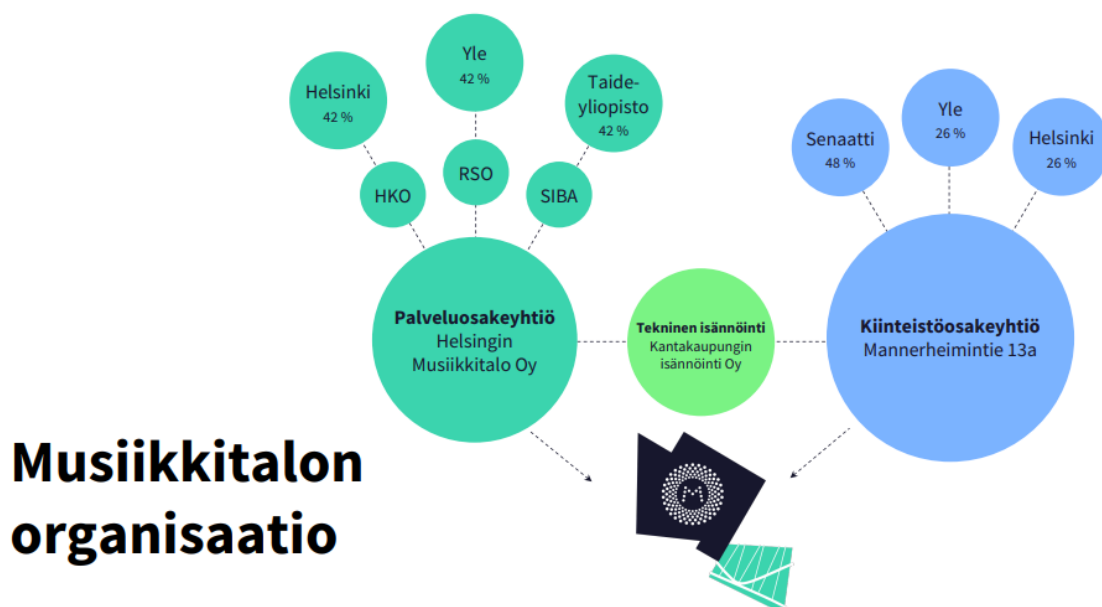
Musiikkitalo on Helsingin keskustassa sijaitseva kulttuurikeskus, jonka rakennustyöt aloitettiin vuonna 2008. Musiikkitalo valmistui vuonna 2011, ja se otettiin käyttöön samana vuonna. Musiikkitalon neliömäärä on 38 600 m<sup>2</sup> ja tilavuus on 254 000 m<sup>3</sup>. Musiikkitalo on kahdeksassa eri kerroksessa, mutta maanpinnan yläpuolella näistä on vain viisi. Todellisuudessa musiikkitalosta 2/3 sijaitsee maanpinnan alapuolella. Musiikkitalon rakentamiseen käytettiin 2,2 miljoonaa kiloa terästä ja betonia rakentamiseen kului 23 000 m<sup>3</sup> (Kuva 1.) (Holmila 2011).



**Kuva 1.** Helsingin Musiikkitalo (Rakennusfakta 2012).

Suuren kokonsa seurauksena myös Musiikkitalon lämmön- ja sähkönkulutus on suurta. Ennen energiatehokkuuteen painottuvia päivityksiä oli Musiikkitalon sähkönkulutus noin 5350 MWh/vuosi. Kiinteistön vuosittainen kaukolämmön tarve on noin 3500 MWh ja kaukokylmän 1000 MWh. Kaukokylmää käytetään Musiikkitalon viilentämiseen kesäaikaan. Ennen järjestelmien asennusta Musiikkitalo osti kaiken sähkön ja lämmön, jota se tarvitsi. Energiatehokkuus päivityksen jälkeen Musiikkitalon sähkön- ja lämmöntarve pysyi täysin samana kuin ennen päivitysten tekemistä. Aurinkovoimalan ja energiankierrätysjärjestelmien päivitysten myötä Musiikkitalo pyrkii kohti suurempaa omavaraisuutta. Lisäksi Musiikkitalo pyrkii olemaan energiaystävällisempi kiinteistö ja säästämään luontoa omilla valinnoillaan.

Helsingin Musiikkitalon omistaa Kiinteistöosakeyhtiö Mannerheimintie 13a. Kiinteistöosakeyhtiön suurin omistaja on Senaatti-kiinteistöt, jonka omistuksessa on 48 % Musiikkitalosta. Lisäksi Yleisradio ja Helsingin kaupunki omistavat molemmat Musiikkitalosta 26 %:n osuuden. Musiikkitalon ympärille on luoto erillinen Palveluosakeyhtiö, joka vuokraa Musiikkitalon tiloja sen päävuokralaisille. Päävuokralaisia ovat Helsingin kaupunginorkesteri, Radion sinfoniaorkesteri ja Sibelius-Akatemia (Kuva 2.) (Musiikkitalo 2021).



Kuva 2. Musiikkitalon organisaatio rakenne (Musiikkitalo 2021).

## 1.2 Tutkimuskysymykset

Tämän projektin tarkoitus oli auttaa Musiikkitalon omistajia, ja johtoporrasta näkemään ovatko Musiikkitalon uudet energiaratkaisut olleet kannattavia ja miten tulevaisuudessa energiajärjestelmiä olisi vielä mahdollista kehittää. Projektin keskeiset tutkimuskysymykset ovat:

1. Millaisia ovat nykyajan aurinkopaneelit ja lämpöpumput yleisesti kirjallisuudessa?
2. Miten energiatehokkuus on toteutettu Musiikkitalossa?
3. Miten Musiikkitalon energiatehokkuus vastaa kirjallisuudessa esitettyä energiatehokkuutta?
4. Miten Musiikkitalon energiatehokkuutta voisi kehittää?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastataan työssä kirjallisuuskatsauksen avulla. Toiseen, kolmanteen ja neljänteen tutkimuskysymykseen työssä vastataan empiirisen tutkimuksen pohjalta.

## 1.3 Tutkimuksen rakenne

Johdannon jälkeen tutkielmassa tehdään kirjallisuuskatsaukset aurinkopaneeli- ja lämpöpumppujärjestelmiin. Katsauksissa käsitellään järjestelmien rakennetta sekä yleistä toimintaa. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa perehdytään kustannuksiin ja takaisinmaksu-aikoihin. Katsauksen lopussa tarkastellaan myös tuottoa ja tehokkuutta molemmissa tapauksissa. Kirjallisuuskatsausten jälkeen perehdytään työssä käytettyihin tutkimusmenetelmiin ja tarkastellaan, kuinka niiden avulla on onnistuttu vastaamaan johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

Kirjallisuuden ja tutkimusmenetelmien jälkeen siirrytään itse työn pääasialliseen aiheeseen eli Helsingin Musiikkitaloon. Varsinaisessa tutkimus osiossa tarkastellaan Musiikkitalon uudistettuja energiaratkaisuja ja esitellään ne. Tämän jälkeen

tutkimusosiossa verrataan Musiikkitalon energiaratkaisuja kirjallisuudesta saatuun informaatioon. Lopussa pyritään keksimään keinoja, miten Musiikkitalon energiajärjestelmistä saataisiin vieläkin tehokkaammat. Työn lopussa tehdään johtopäätökset saaduista tuloksista ja kootaan tärkeimmät asiat yhteenveto osiossa.

## 2 Aurinkopaneelien kirjallisuuskatsaus

Aurinkosähkö on yksi vanhimmista maapallolla olleista energiamuodoista, mutta sitä on osattu hyödyntää vasta melko lyhyt aika maapallon historiassa. Sen tuottaminen perustuu auringon säteilyenergian hyödyntämiseen. Keskeinen idea perustuu fotoneihin, jotka kuljettavat säteilyenergiaa maapallolle, jossa ne osuvat aurinkokennoihin. Törmäyksen yhteydessä ne luovuttavat niissä olevan energian aurinkokennoissa oleville elektroneille (Motiva 2021).

### 2.1 Rakenne

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu useista komponenteista aurinkopaneelien lisäksi. Aurinkopaneelien lisäksi järjestelmän osia ovat tasasähkö- ja vaihtosähkökaapeloinnit, vaihtosuuntaajat eli invertterit, erotuskytkimet, sähkökeskus, johon järjestelmä liitetään ja sähkömittari, joka kykenee kaksisuuntaiseen mittaamiseen (Tukes 2020).

Aurinkosähköjärjestelmän tärkein yksittäinen komponentti on aurinkopaneeli. Aurinkopaneelien rakenne koostuu lasilevystä, alumiinikehyksestä sekä aurinkokennoista. Aurinkopaneelin voidaan katsoa muodostuvan sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Tämän lisäksi paneelissa on kaksi erillistä kapselointi foliota, sekä taustalevy ja kytkentärasia (Kuva 3.) (Erat ym. 2008).

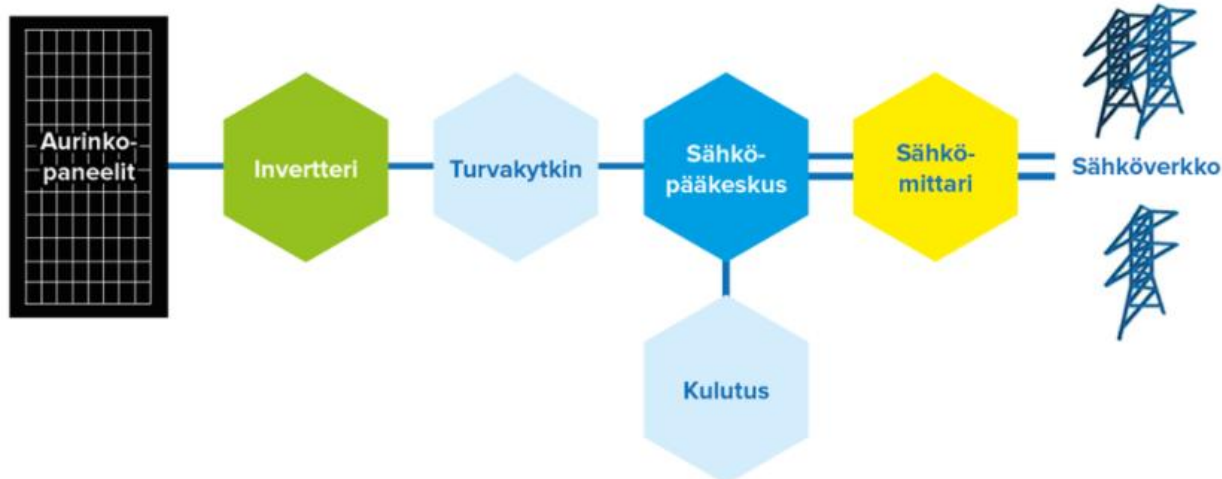


**Kuva 3.** Aurinkopaneelin rakenne yksinkertaistettuna (Kulmala 2014).

Aurinkokennot, joista aurinkopaneelit muodostuvat ovat nykyisin valmistettu piistä (Si) lähes poikkeuksetta. Tämä johtuu sen yleisestä käytöstä puolijohdetekniikan saralla. Aurinkokenno on siis puolijohdekomponentti, jonka rakenne muodostuu kahdesta eri tavoin valmistetusta piirilevystä. Aurinkokenno voidaan jakaa p-puoleen ja n-puoleen. Yleisesti p-puolella seosaineena toimii boori (B) ja n-puolella vastaavasti fosfori (F) (Satakari 2018).

## 2.2 Toiminta

Aurinkopaneelissa sijaitsevat aurinkokennot saavat auringosta tulevista fotoneista energiaa. Tämän seurauksena aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa. Rakennus, jossa aurinkopaneelit sijaitsevat ei kuitenkaan voi käyttää saamaansa tasavirtaa suoraan, vaan virta tulee muuttaa vaihtoviraksi käyttäen järjestelmässä olevia invertterejä. Saatu vaihtovirta syötetään turvakytimen kautta sähköpääkeskukseen. Sähköpääkeskuksesta vaihtovirta voidaan, joko ottaa kuluttajan omaan käyttöön tai se voi jatkaa matkaansa sähkömittarin kautta kansalliseen sähköverkkoon (Kuva 4.) (Keravan energia 2022).

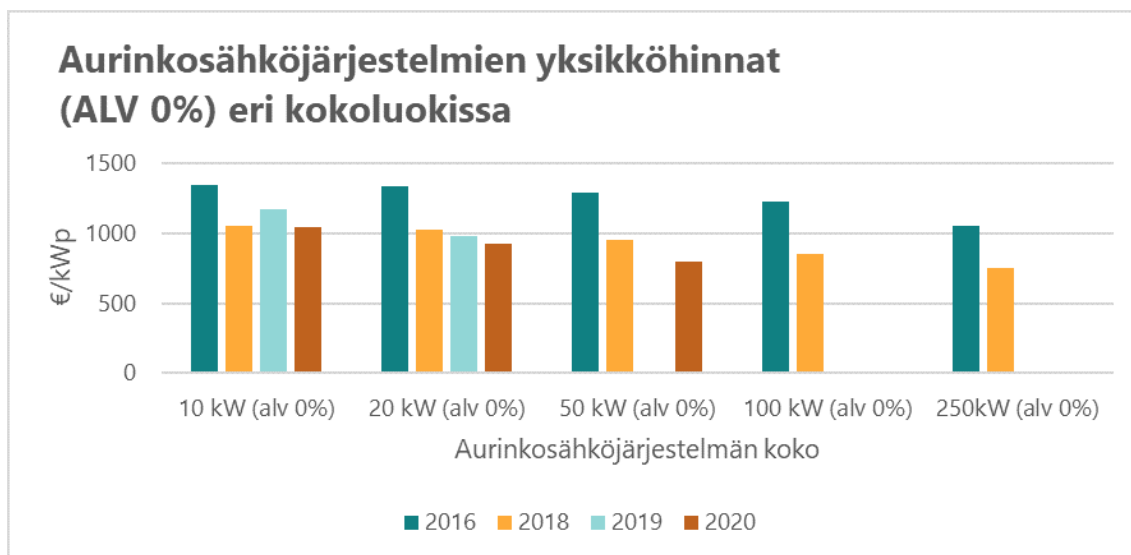


**Kuva 4.** Aurinkosähköjärjestelmän toiminta yksinkertaistettuna (Keravan energia 2022).

## 2.3 Kustannukset ja takaisinmaksuaika

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat alkaneet putoamaan tasaisesti 2010-luvun alkupuolelta selvästi. Syynä hintojen laskuun on ollut aurinkopaneelien valmistamisen halventuminen ja tästä johtuva aurinkopaneelien hintojen lasku (Motiva 2021). Suuremmat aurinkosähköjärjestelmät ovat suhteessa halvempia kuin pienempikokoiset voimalat. Mitä suurempi voimala on kyseessä, sitä halvempi on sen yksikköhinta aurinkosähköjärjestelmän kokoon huipputehona €/kWp (kilowatt peak) suhteutettuna (Kaavio 1.) (Hiilineutraalisuomi 2020).

Taulukosta 1 voidaan nähdä, että 10kW kokoluokassa hinnat ovat vuonna 2016 olleet noin 1400 €/kWp. Hintojen laskeminen on kuitenkin ollut merkittävää, sillä vuonna 2020 10kW hinta on ollut vain hieman yli 1000 €/kWp. Kokoluokkaa 20kW ero vuoden 2016 ja 2020 välillä on ollut vieläkin suurempi. Vuonna 2016 hinta on ollut noin 1400 €/kWp, kun vuonna 2020 hinta on ollut jo alle 1000 €/kWp. Suurempien (100kW ja 250kW) aurinkosähköjärjestelmien hinnoista vuosilta ei ole tarkkaa dataa, mutta hintojen oletetaan olevan noin 650–700 €/kWp paikkeilla (Kaavio 1.) (Hiilineutraalisuomi 2020).



**Kaavio 1.** Suurempien aurinkosähköjärjestelmien hintavertailu (Hiilineutraalisuomi 2020).

Aurinkosähköjärjestelmän oikeanlainen mitoitus on elinehto sen kannattavuudelle. Aurinkosähköjärjestelmien keskiverto takaisinmaksuaika on noin 15 vuotta. Kun järjestelmälle tehdään kannattavuuslaskelmaa pitää huomioon ottaa koko järjestelmän investointihinnan lisäksi mahdollinen korkokanta, sähkön hinnan kehitys, mahdollisen ostosähkön hinta, aurinkopaneeliston tuotannon heikkeneminen, sekä itse tarvittu sähkön osuus suhteessa kansalliseen verkkoon myydystä (Salminen 2017).

## 2.4 Tuotto ja tehokkuus

Aurinkosähköjärjestelmän tehokkuus on riippuvainen monista eri tekijöistä. Aurinkosähköjärjestelmää ja erityisesti aurinkopaneeleita asentaessa tulee ottaa huomioon niiden sijainti, katon lappeen ilmansuunta, katon mahdollinen kaltevuus, sekä muut esteet kuten puut ja muiden lähellä olvien rakennusten varjot (Keravan energia 2022).

Aurinkosähköjärjestelmän huipputeho ilmoitetaan piikkiwatteina, jonka yksikkö on kWp. Yksittäisten paneelien teho ilmoitetaan watteina (W). Sähköntuotto ja -kulutus ilmoitetaan kilowattitunteina (kWh). Yksittäisen aurinkopaneelin wattimääräinen nimellisteho lasketaan yleisesti laboratorioissa  $1000 \text{ kWh/m}^2$  – säteilyteholla. Tällä tarkoitetaan auringon säteilevän neliömetrin kokoiselle alueelle 1000 kilowattitunnin teholla vuoden aikana (Lumoenergia 2020).

Yleisesti käytössä olevan yksittäisen 300W-tehoisen aurinkopaneelin tuottama sähkömäärä edellä mainituissa laboratorio olosuhteissa on 300 kWh vuodessa. Tämän perusteella kahdenkymmenen 300-wattisen paneelin teoreettinen vuosituotto olisi noin 6000 kWh. Kaksikymmentä 300-wattista paneelia voidaan myös merkata järjestelmänä, jonka koko on 6kWp (Lumoenergia 2020).

Suomessa pitkien kesäpäivien ansiosta säteilymäärät ovat noin  $800\text{--}1000 \text{ kWh/m}^2$  eteläisessä Suomessa ja pohjoisessa noin  $600 \text{ kWh/m}^2$ . Säteilymäärän suuruudesta kertoo se, että maailman suurin aurinkoenergian hyödyntäjä Saksa on samoissa lukemissa säteilymäärän kanssa. Edellä mainitun 6kWp- kokoisen järjestelmän laskennallinen tuotto

on noin 5400 kWh (Lumoenergia 2020). Rahallisesti 6 kWp-kokoinen järjestelmä säästää sähkölaskuissa noin 400–700 euroa vuodessa riippuen millaiseen paikkaan järjestelmä on asennettu. Sijoitetun pääoman tuotto on parhaimmillaan jopa 10 % (Keravan energia 2022).

Aurinkopaneeleista saatavaan tuottoon vaikuttaa suuresti niiden asennuskulmat, sekä ilmansuunta, johon ne osoittavat. Aurinkopaneelit ovat tehokkaimmillaan, jos niiden suuntaus on suoraan aurinkoa kohden. Auringon säteilyn ja aurinkopaneelin välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Paras mahdollinen tulokulma on 0°. Yleisimmin paras mahdollinen sähköntuotanto saadaan paneeleilla, jotka on suunnattu etelään, koska aurinko on korkeimmillaan paistaessaan etelästä. Itä-länsi akselille asennetut paneelit tuottavat keskimäärin vähemmän kuin eteläänpäin suunnatut. Niiden etuna on kuitenkin suuri tuotto aamuisin ja iltaisin, vaikka ne jäävätkin keskimääräisessä tuotossa etelään suunnatuille paneeleille kakkoseksi. Pohjoiseen suunnatut paneelit ovat selkeästi muita heikompi vaihtoehto (Toivola 2019).

Suomessa paras mahdollinen sähköntuotanto saadaan paneelin ollessa 30 - 90° kallistuskulmassa. Kallistuskulman valintaan vaikuttaa se milloin järjestelmän halutaan tuottavan parhaiten. Kesäaikaan parhaan sähköntuotannon saa 30° kallistuskulmassa, mutta talvella taas 75 - 90°. Keskiarvallisesti 45° kallistuskulma on paras mahdollinen, sillä sen avulla pystytään maksimoimaan ympäri vuotinen tuotanto. Kallistuskulmassa tulee ottaa huomioon myös se, että alle 15° asennetut paneelit keräävät helposti esimerkiksi pölyä ja lunta, jonka seurauksena niiden toiminta kärsii. Mikäli paneelit asennetaan tasaiselle pohjalle käytetään usein aurinkopaneeleita varten kehitettyjä telineitä, joiden avulla saadaan niiden kallistuskulmat säädettyä optimaaliseksi. Huomioon tulee ottaa myös muiden panelien aiheuttamat varjot, jonka seurauksena paneelit tulee asentaa tietyin välimatkoin toisistaan. Toinen aurinkopaneelien tehokkuuteen vaikuttava termi on suuntakulma eli atsimuutti. Tällä tarkoitetaan kuinka paljon suunta eroaa etelästä asteina. Atsimuutin määritelmän mukaan suuntaus etelään

on  $0^\circ$ , länteen  $+90^\circ$  ja itään  $-90^\circ$ . Kun maapallo kiertää osuu auringon säteily paneeliin aina eri kulmasta (Toivola 2019).

Yleisesti aurinkopaneelit asennetaan kiinteäkulmaisena. Kiinteän asennuksen etuna on sen helppous ja luotettavuus. Kiinteä asennus ei kuitenkaan kykene hyödyntämään kaikkea auringosta tulevaa säteilyä, koska auringonsäteiden tulokulma on suurempi kuin optimaalinen  $0^\circ$ . Nykyään on kuitenkin mahdollista asentaa aurinkopaneeliin seurantalaitteita, jotka seuraavat auringon liikettä taivaalla. Malleja on erilaisia, mutta keskeinen tarkoitus on kääntää paneeleita niin, että maksimaalinen auringon säteily saadaan talteen. Teoreettisesti seurantalaitteiden avulla voidaan sähkön tuottoa parantaa jopa 60 % kesäaikana, mutta todellisuudessa lukema on lähempänä 40 %. Seurantalaittejärjestelmien heikkoutena on kuitenkin pidemmät takaisinmaksuajat, sillä järjestelmät vaativat huomattavasti enemmän huoltoa kuin kiinteät ratkaisut (Toivola 2019).

### **3 Lämpöpumppujärjestelmien kirjallisuuskatsaus**

Lämpöpumput kasvattavat suosiotaan jatkuvalla syötöllä vuosi vuodelta enemmän. Lähes kaikki lämpöpumput mallista riippumatta ottavat lämpöenergiaa ulkoilmasta, rakennuksen ilmanvaihtoputkiston poistoilmasta, vedestä, kalliosta tai maasta. Yleisesti talon ulkopuolelta otettava lämpö on pääasiallisesti peräisin auringosta (Motiva 2020).

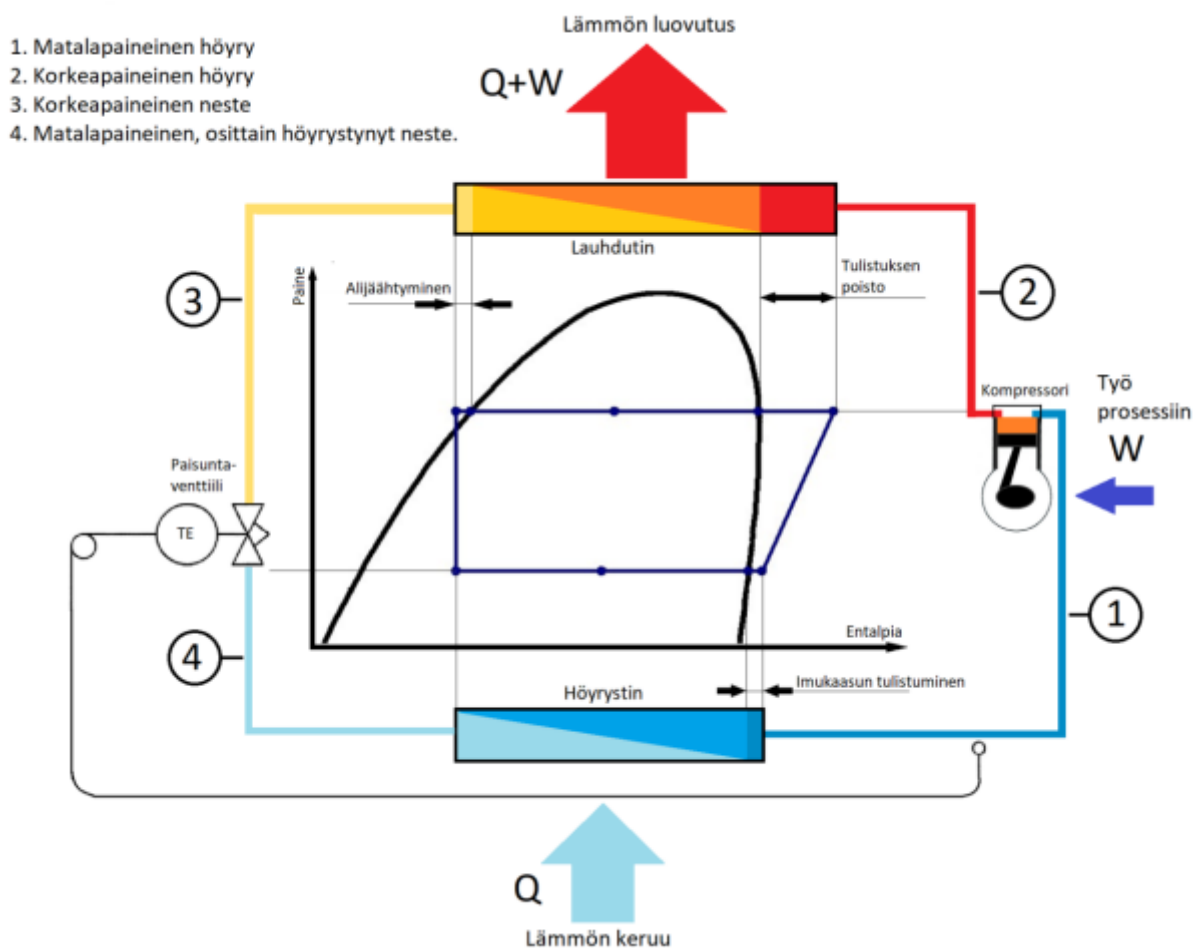
#### **3.1 Rakenne ja toimintaperiaate**

Lämpöpumppujärjestelmien toiminta perustuu pohjimmiltaan kylmätekniseen kierto-prosessiin. Tällä tarkoitetaan lämmön siirtymistä matalammasta lämpötilasta korkeampaan prosessiin tehdyn työn seurauksena. Prosessissa käytetään apuna kylmäainetta, jonka välityksellä prosessissa tehty työ välittyy (Mero 2019).

##### **3.1.1 Pääkomponentit ja toimintaperiaate**

Kaikissa kylmlaitoksissa, johon myös eri lämpöpumputkin kuuluvat koostuvat aina vähintään neljästä eri pääkomponentista. Nämä pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntalaite. Aluksi höyrystimisessä matalapaineinen ja alhaisessa lämpötilassa oleva kylmäaine sitoo energiaa fluidista, joka toimii prosessissa lämmönsiirtoaineena. Yleisempiä lämmönsiirtoaineita käytöstä riippuen ovat ilma tai vesi, joiden lisäksi on käytössä myös eri vesiliuoksia. Tämän jälkeen lämpöpumpussa oleva kompressori imee höyrystimen höyrystämää kylmäainetta ja nostaa samalla sen paineta. Paineen nostamisen yhteydessä kylmäaineen lämpötila nousee. Korkeassa lämpötilassa ja paineessa oleva kylmäainehöyry jatkaa matkaansa kompressorilta lauhduttimeen. Lauhduttimessa kylmäainehöyry luovuttaa lämpöenergiansa lämmityspuolen lämmönsiirtoaineeseen, jonka seurauksena lauhtuu eli tiivistyy nestemäiseen olomuotoon. Lämpöpumpuissa lämmönsiirtoaineena käytetään yleisesti ilmaa ja vettä. Lauhduttimesta korkeapaineinen nestemäinen kylmäaine ohjataan paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen painetta lasketaan. Paineen laskeessa osa kylmäaineesta höyrystyy, jonka seurauksena kylmäaineen paine laskee. Paisuntalaitteen jälkeen osittain

höyrystynyt kylmäaine jatkaa matkaansa höyrystimeen, jonka jälkeen prosessi alkaa uudelleen (Kuva 5.) (Kaappola, ym. 2012).



Kuva 5. Kylmäteknisen kiertoprosessin toimintaperiaate (Mero 2019).

### 3.1.2 Muut komponentit

Kylmäteknisissä kiertoprosesseissa on pääkomponenttien lisäksi käytössä useita muitakin komponentteja riippuen laitetypistä. Tällaisia ovat esimerkiksi näkölasi, kuivainsuodatin, 4-tieventtiili, takaiskuventtiili, painelähtettä, magneettiventtiili, sekä korkeapaine- ja matalapaineessostaatti (Mero 2019).

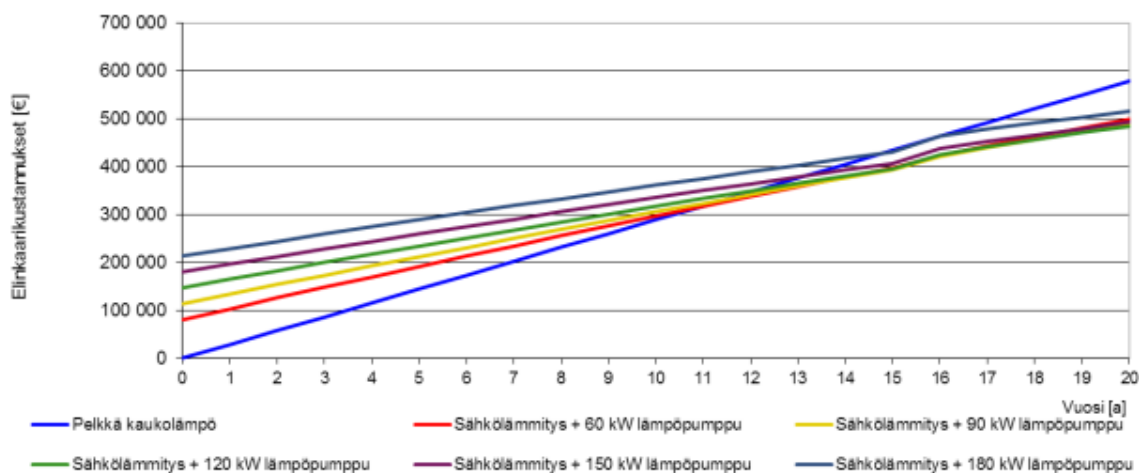
### 3.2 Kustannukset ja takaisinmaksuaika

Lämpöpumppujen osalta niiden hinta määräytyy lähes poikkeuksetta järjestelmän koon mukaan. Myös asennuspaikka saattaa vaikuttaa järjestelmän kustannuksiin. Yleisin kiinteistölämpöpumpun koko on noin 100 kW. Kirjallisuudessa esitetyt 120 kW järjestelmät maksavat noin 230 000–250 000 €. Kolmenkymmenen vuoden aikajanalla sijoitetun pääoman tuotto tällaiselle järjestelmälle on 10–12 %. Vuosittainen nettosäästö 120 kW järjestelmälle on yleisesti 15000–21000 €. Pidemmällä 30 vuoden aikatahtimella järjestelmällä voidaan säästää 640 000–820 000 €, kun huomioon otetaan järjestelmän laadun heikkeneminen. Tällaisen järjestelmän tyypillinen takaisinmaksuaika on noin 10–11 vuotta. Käytännössä mitä suurempi järjestelmä on kyseessä, sitä suurempi on investoitava summa, jolloin myös sijoitetun pääoman tuotto kasvaa. Luonnollisesti järjestelmän koon kasvaessa vuosittainen nettosäästö kasvaa, jonka seurauksena myös pidemmän aikavälin säästöt ovat selvästi suuremmat kuin pienissä järjestelmissä. Kuten edellä mainitusta voi päätellä myös takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin pienemmissä yksiköissä. Järjestelmien sijoituksella ja laadulla on suuri merkitys, sillä saman tehoisilla laitteillakin voi keskenään olla suuria eroja kustannuksissa ja tulevaisuuden säästöissä (Kaavio 2.) (Niemelä 2020).

Optimaalinen mitoitus-teho, maalämpö, kW	Investointi-kustannus	Sijoitetun pääoman tuotto, 30 vuotta	Vuotuinen netto-säästö alussa, €/a	Nettosäästö yhteensä, €/30 a*	Takaisinmaksuaika, vuotta*
120	230 000	10 %	16 000	646 000	11
120	240 000	12 %	21 000	813 000	10
160	350 000	13 %	31 500	1 269 000	9
160	340 000	12 %	28 000	1 105 000	10

**Kaavio 2.** 120–160 kW kokoisten lämpöpumppujen kustannukset (Niemelä 2020).

Järjestelmää valittaessa on myös tärkeää huomata tulevat elinkaarikustannukset. Vaikka suuremmalla järjestelmällä säästää teoreettisesti enemmän rahaa tulevaisuudessa on myös suuremmalla järjestelmällä suuremmat elinkaarikustannukset kuin pienemmillä (Kaavio 3.) (Niemi 2020).



**Kaavio 3.** Kaaviossa esitettynä eri kokoisten järjestelmien elinkaarikustannukset (Niemi 2020).

### 3.3 Tuotto ja tehokkuus

Lämpöpumppujärjestelmien tehokkuutta kuvataan tehokertoimella COP. Kyseinen lyhenne tulee englannin kielen sanoista Coefficient Of Performance. Kyseinen yksikkö kertoo kuinka paljon lämpöä lämpöpumppu tuottaa kyseisellä hetkellä vallitsevissa olosuhteissa suhteessa lämpöpumpun käyttämään sähköenergiaan (Motiva 2018).

Kiinteistölämpöpumppuja löytyy monista eri teholuokista alkaen muutamasta kilowattista, jopa 2 megawattiin asti. Suurin osa järjestelmistä pyörii kuitenkin 50–200 kW alueella. Lämpöpumpuille pätee melko yksinkertainen sääntö, mitä suurempi lämpöpumppu kilowatteina on, sitä enemmän se tuottaa. On tietenkin poikkeustapauksia, jossa useampi lämpöpumppu saattaa olla järjestelmänä suurempi kuin yksi lämpöpumppu, mutta tuottaa silti vähemmän (Niemi 2020).

## 4 Tutkimusmenetelmät

Diplomityössä käytettiin kahta eri tutkimusmenetelmää, jotka olivat teoreettinen tutkimus ja empiirinen tutkimus. Teoreettinen tutkimus perustui kirjoista ja internetistä löytyviin lähteisiin. Teoreettisen tutkimuksen tarkoituksena oli löytää diplomityön ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastauksia ja kerätä tiedoista hyvä kokonaisuus. Diplomityön teoreettisen tutkimuksen alue ei varsinaisesti liittynyt työn varsinaiseen aiheeseen vaan sen avulla luotiin eräänlainen pohja, jota käytettiin vertailuun myöhemmässä vaiheessa.

Tutkimuksen varsinaisesti Helsingin Musiikkitaloon liittyvä osuus on empiirisen tutkimuksen osuus. Diplomityön empiirinen osuus koostuu pääasiallisesti valmiista aineistoista, joita tutkimalla tulokset osuus on luotu. Lisäksi empiirisessä tutkimisessa on käytetty sille ominaista itse kerättyä aineistoa. Kolmeen viimeiseen tutkimuskysymykseen on siis valmiiden aineistojen lisäksi vastattu käyttäen apuna havainnointia Musiikkitalolla.

## 5 Tutkimus

Tämän osion on tarkoitus vastata kolmeen viimeiseen tutkimuskysymykseen empiirisen tutkimuksen avulla. Tiedot on kerätty Musiikkitalolta saaduista dokumenteista, sekä paikan päällä tehdystä tutkimuksesta.

### 5.1 Musiikkitalon aurinkovoimala

Musiikkitalon aurinkovoimalan urakkaohjelmasta sovittiin huhtikuussa 2020. Aurinkovoimalan varsinainen rakentaminen alkoi elokuussa 2020 ja sen luovutus valmiina käyttöön tapahtui kesäkuussa 2021. Projektin suunnittelusta vastasi monien eri alojen osajia, jotta kokonaisuus olisi turvallinen ja toimiva. Aurinkovoimalan pääsuunnittelusta vastasi LPR-Arkkitehdit Oy, rakennussuunnittelusta Vanhanen Suunnittelupalvelut Oy, LVI-suunnittelun teki Granlund Oy ja sähkösuunnittelusta vastasi Rejlers Finland Oy. Itse kohteen rakennustehtävästä vastasi A-insinöörit Rakennuttaminen Oy.

Suunnitteluvaiheessa huomioon tuli ottaa erilaisia standardeja, sekä lakipykälä. Aurinkovoimalan kohdalla tuli noudattaa aurinkosähköjärjestelmien tärkeimpiä standardeja, joista ensimmäinen oli IEC 62548:2016 Photovoltaic (PV) arrays. Design requirements. Tämä standardi määrittää aurinkosähköpaneeliston suunnitteluvaatimukset. Tarkemmin vaatimukset kattavat kaikki aurinkosähköpaneeliston osat ja niiden toimivuuden. Toinen tärkeimmistä standardeista oli SFS 6000-7-712:2017. Tämä standardi koskee aurinkosähkögeneraattorin sähköasennuksia.

#### 5.1.1 Aurinkovoimalan vähittäisvaatimukset

Tärkeimpiin standardeihin liittyen, sekä niiden lisäksi on olemassa muitakin teknisiä vähittäisvaatimuksia, jotka aurinkovoimalan tulee täyttää. Aurinkosähkövoimalaan liittyen tärkeimpiä vähittäisvaatimuksia ovat:

1. Käyttövalmiin aurinkosähkövoimalan tulee toimia täysin kaikissa olosuhteissa kaikkina vuodenaikoina Suomessa.
2. Verkkojännitteen katketessa tulee katkaista järjestelmän syöttö automaattisesti verkkoon päin.
3. Turvakytkimet asennetaan helposti saavutettavaan ja turvalliseen paikkaan.
4. Aurinkosähkövoimalassa tulee olla inverttereitä niin paljon, että inverttereiden nimellisteho on 90–95 % voimalan paneelien nimellistehosta.

Aurinkovoimalan lisäksi myös aurinkopaneeleilla on erikseen omat vähittäisvaatimuksensa, joista tärkeimpiä ovat:

1. Paneelien tulee tuottaa sähköä vähintään 90 prosenttia nimellistehostaan kymmenen vuoden kuluttua niiden asennuksesta, sekä vähintään 80 prosenttia 25 vuoden kuluttua niiden asennuksesta.
2. Aurinkopaneelien tulee täyttää standardien EN 61265, EN 61730, EN 61215, sekä ympäristöministeriön antama SFS-EN 1991-1-4 vaatimukset.
3. Lumikuorman kesto tulee olla vähintään 5,4 kN/m<sup>2</sup>.
4. Paneelien kytkentäkotelon suojaus tulee olla vähintään IP65-tasoa.

Lisäksi myös inverttereillä oli omat vähittäisvaatimuksensa. Invertterien hyötysuhteen tuli olla vähintään 96 % ja niiden tehdastakuun pituus 10 vuotta. Myös inverttereiltä vaadittiin IP65 luokituksen suojausta, sekä saarekesyötön estoa. Inverttereiden tulee olla kolmivaiheisia, sekä ylijännitesuojattuja.

### 5.1.2 Aurinkopaneelien tekniset tiedot ja asennus

Kun aurinkovoimalan vähittäisvaatimukset oli selvitetty, valittiin aurinkopaneeleiksi Jolywoodin JW-HD144N paneelit. Kyseisissä paneeleissa on optimaalinen moduuli ilmanvaihto, sekä esiasennettu rakennussuojamatto (Kuva 6.).

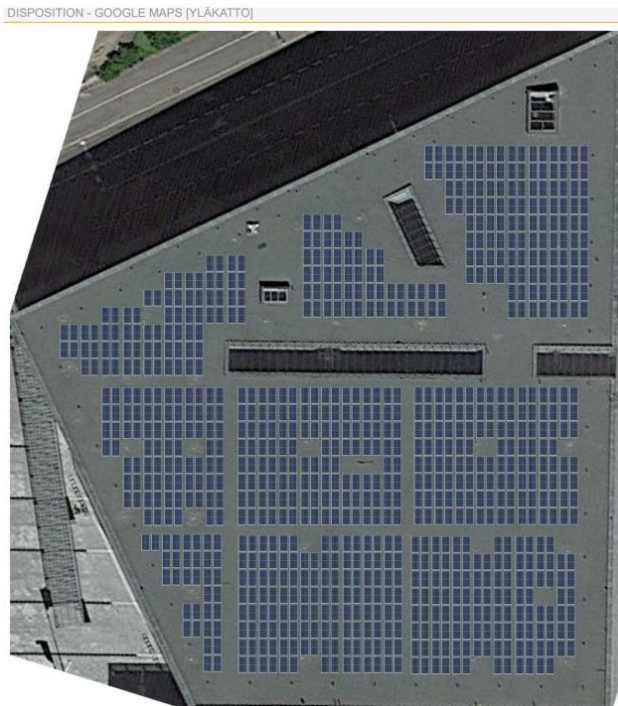


**Kuva 6.** Lähikuva Jolywood JW-HD144N paneelista Musiikkitalon katolla.

Aurinkopaneelit jaettiin kahteen eri lohkokoon, jotka olivat pohjoispääty ja eteläpääty. Eteläpäätyyn paneeleista asennettiin 520 kappaletta ja järjestelmän koko on 208 kWp. Pohjoispäätyyn asennettiin vastaavasti 320 paneelia ja järjestelmän koko on 128 kWp. Näin ollen järjestelmän yhteenlaskettu koko on 336 kWp. Eteläpäädyyn ja pohjoispäädyyn paneelit ovat täysin samanlaisia ja niiden asennus on toteutettu samalla tavalla molemmissa päädyissä. Musiikkitalon yläkaton kokonaispinta-ala on noin 3900 m<sup>2</sup>. Tästä pinta-alasta noin 1700 m<sup>2</sup> täyttyi aurinkopaneelien seurauksena. Yhteensä paneeleita asennettiin 840 kappaletta 21 metrin korkeuteen. Asennustyötä helpotti huomattavasti se, että Musiikkitalon yläkatossa ei ole kallistuksia eri suuntiin vaan kyseessä on täysin tasainen katto (Kuvat 7. & 8.).



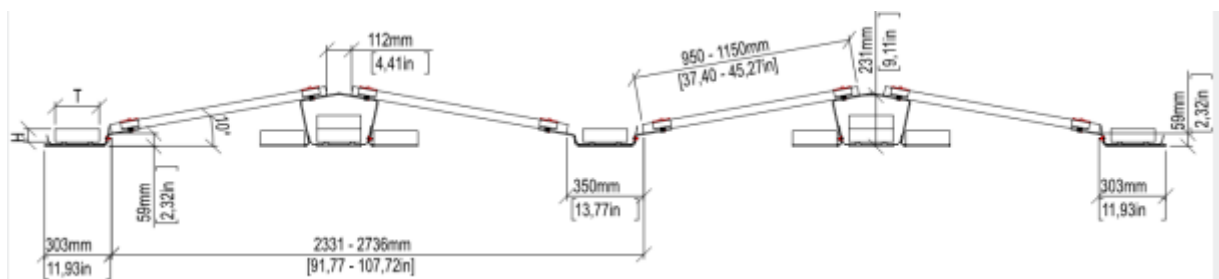
**Kuva 7.** Aurinkopaneeleita asennettuna Musiikkitalon yläkatolla.



**Kuva 8.** Ilmakuva aurinkopaneelien asettelusta Musiikkitalon yläkatolla.

Jollywoodin paneelien leveys on 99,6 cm, korkeus 201,6 cm ja paksuudeltaan ne ovat 3 cm. Yhden paneelin paino on 30 kg ja nimellisteho 400 wattia. Paneelien

lämpötilakerroin on  $-0,32 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ . Paneelien lähtövirta on  $9,64 \text{ A}$  ja niiden lähtöjännite  $41,5 \text{ V}$ . Paneelien oikosulkuvirta on noin  $10 \text{ A}$  ja avoimen piirin jännite  $50 \text{ V}$ . Aurinkopaneelijärjestelmän maksimi jännitemäärä Euroopan alueella on  $1500 \text{ V}$  ja yhden paneelin maksimi vastavirta on  $20 \text{ A}$ . Aurinkopaneelien kiinnikkeen kallistus on  $10^{\circ}$  ja rivien välinen etäisyys keskenään on  $35 \text{ cm}$ . Eteläpään aurinkopaneelille asennettiin painolastilohkot joiden korkeus oli  $6 \text{ cm}$ , pituus  $3 \text{ cm}$  ja leveys  $2 \text{ cm}$ . Painolastilohkojen etäisyys katon reunasta oli  $57 \text{ cm}$  (Kuva 9.).



**Kuva 9.** Yksinkertaistettu kuva aurinkopaneelien kiinnityksestä ja mitoista.

### 5.1.3 Ohjauskeskus huone

Musiikkitalon aurinkovoimaohjauskeskus on huone, jossa sijaitsee aurinkosähköjärjestelmän pääkytkimet, sekä invertterit (Kuva 10.).



**Kuva 10.** Kuva Musiikkitalon ohjauskeskuksesta.

Aurinkovoimalan inverttereiksi eli tutummin vaihtosuuntaajiksi valittiin Solar Edgen SE82.8K ja SE55K invertterit. Kolme neljästä invertteristä on SE82.8K mallia ja yksi SE55K mallia. Aurinkovoimalan jokainen invertteri on asennettu erikseen toisistaan ja ne on yhdistetty toisiinsa kaapeleilla. Tämä mahdollistaa niiden yksilökohtaisen säätämisen, mutta myös kaikkien samanaikainen säätötyö on täten mahdollista.

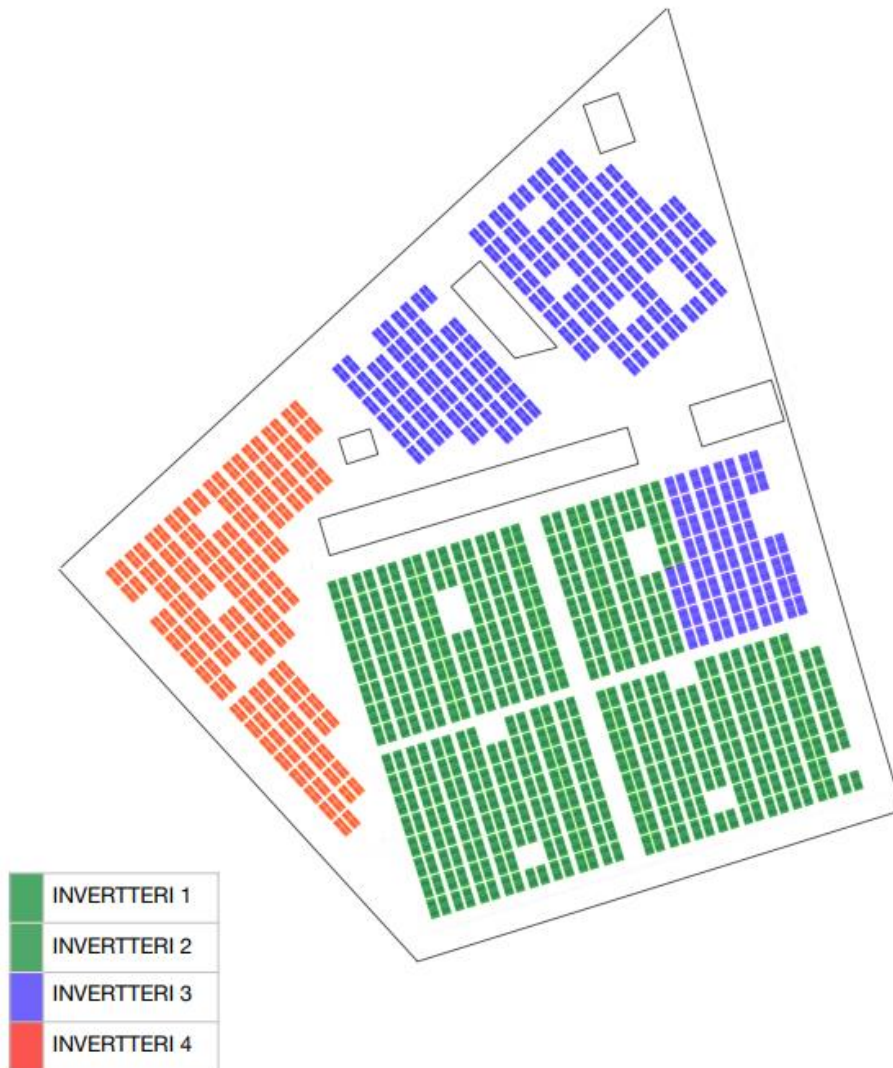
SE55K invertterin suurin mahdollinen vaihtovirtalähtö on suuruudeltaan 55000 VA. Invertteri operoi 400 /230 vaihtolähtöjännitteellä. Suurin mahdollinen jatkuva lähtövirta invertterille on 80 A ja suurin jäännösvirran injektio on 250 mA per yksikkö. Suurin tasavirtateho, jota invertterille saadaan, on 74500 W. Suurin tulojännite mallille on 1000 V ja suurin tulovirta 80 A tasavirralla.

SE82.8K mallille vastaavasti suurin mahdollinen vaihtovirtalähtö on nimensä mukaan 82800 VA. Vaihtojännite on sama kuin pienemmässä mallissa, mutta suurin mahdollinen jatkuva lähtövirta on 120 A. Jäännösvirran injektio myös tässä mallissa on 250 mA per yksikkö. Suurin tasavirtateho yhtä invertteriä kohden on 111750 W. Suurin mahdollinen tulojännite on SE82.8K mallille on myös 1000 V ja suurin tulovirta 120 A tasavirralla (Kuva 11.).



**Kuva 11.** SE82.8K invertteri.

Musiikkitalossa käytetyt invertterit asennettiin neljään eri ryhmään. Jokaisella invertterillä on siis oma paneelikenttensä, jolla se operoi. Tämän johdosta yhden invertterin sammuttaminen johtaa vain yhden paneelikentän sammumiseen eikä näin vaikuta muiden paneelien toimintaan (Kuva 12.).



**Kuva 12.** Aurinkovoimalan invertterit ja niiden paneelikentät.

#### 5.1.4 Virran optimoijat

Aurinkovoimalan paneeleille virran optimoijiksi valittiin Solar Edgen P401 malli. Virran optimoijia järjestelmälle tarvittiin 840 kappaletta eli yhtä paljon kuin aurinkopaneeleita, sillä jokaista paneelia kohden on yksi optimoija. Optimoijat on suunniteltu toimimaan

suoraan Solar Edgen inverttereiden kanssa. Lisäksi P401 mallin optimoijien avulla voidaan tuottaa jopa 25 % enemmän energiaa. Optimoijien hyötysuhde onkin 99,5 %, joten häviöt ovat hyvin minimaalisia (Kuva 13.).



**Kuva 13.** Solar Edge P401 virran optimoija (Solar Edge 2022).

<b>Syöttö</b>	
Nimellistulon tasavirta	400 W
Suurin tulojännite	60 V (tasavirta)
Suurin lyhytvirta	11,75 A (tasavirta)
<b>Lähtö</b>	
Suurin lähtövirta	15 A (tasavirta)
Suurin lähtöjännite	60 V (tasavirta)

**Taulukko 1.** P401 virran optimoijan tärkeimmät tunnusluvut.

### 5.1.5 Aurinkovoimalan kustannukset

Aurinkovoimalan toteutuksen kustannukset koostuivat pääasiallisesti itse aurinkovoimalasta, joka oli kokonaiskustannuksista noin 65 %. Tämän lisäksi kustannuksiin lukeutuivat rakennuttajan kustannukset ja valmistelevat työt. Valmisteleviin töihin kuuluu

rakennustekniset työt, LVIA-työt ja sähkötyöt. Tämän lisäksi kustannuksia nostivat myös hankevaraukset projektin ympärillä. Projektin kokonaiskuluja saatiin kuitenkin hieman matalammiksi energiatukiavustuksen seurauksena, joka on 20 % kokonaiskustannuksista (Kuva 14.).

## KUSTANNUKSET

	€ (alv 0 %)	%
1.0 Rakennuttajan kustannukset	70 000 €	15
2.0 Valmistelevat työt		
2.1 rakennustekniset työt	15 000 € (ei sis. porraskotusta katolle)	3,2
2.2 LVIA-työt	15 000 €	3,2
2.3 sähkötyöt	21 000 €	4,5
3.0 Aurinkovoimalatoimitus	300 000 €	64,4
4.0 Hankevaraukset	45 000 €	9,7
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>466 000 €</b>	<b>100</b>
5.0 Energiatukiavustus 20 %	- 60 000 €	
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>406 000 €</b>	

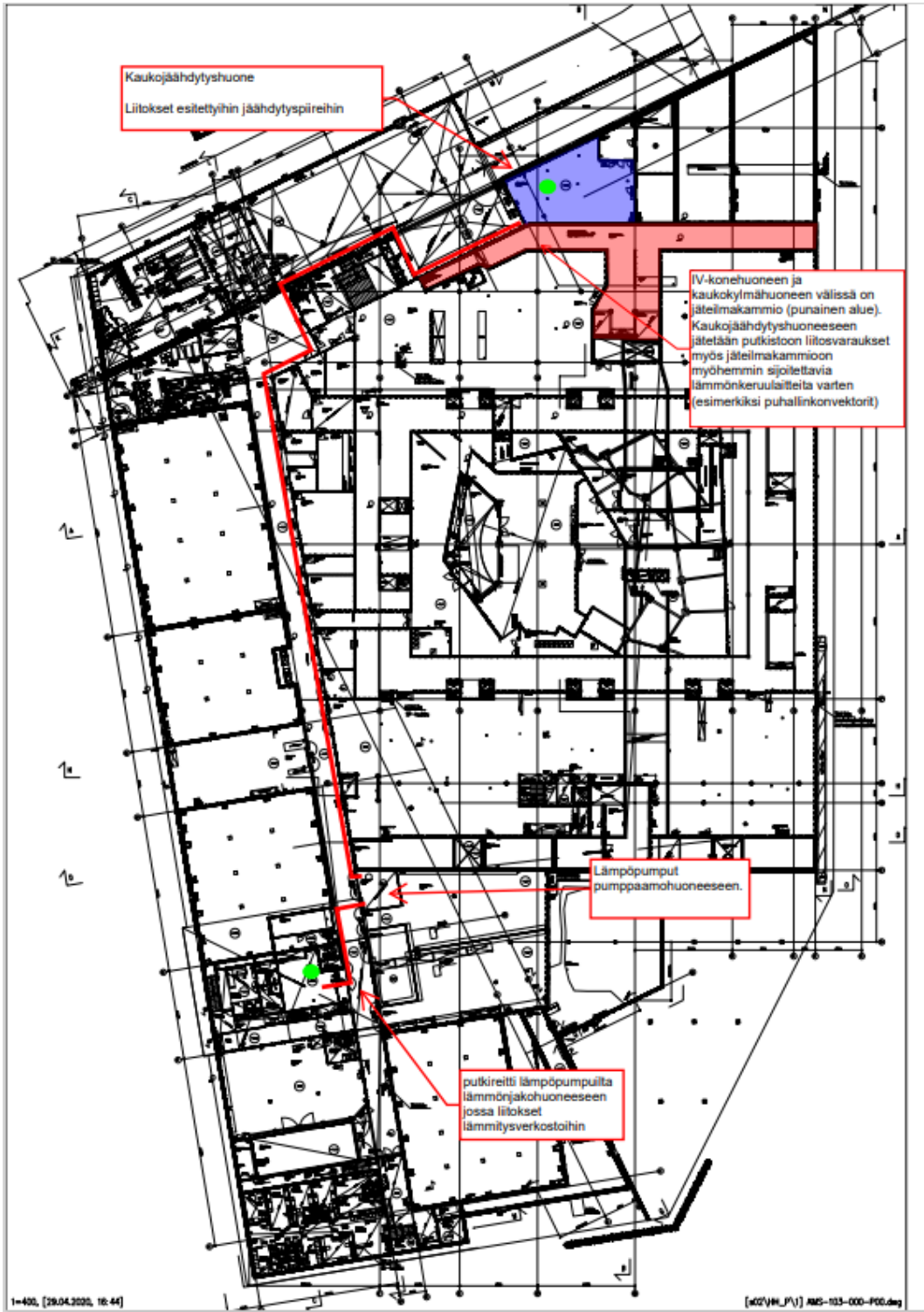
Kuva 14. Aurinkovoimala projektin kokonaiskustannukset.

## 5.2 Musiikkitalon energiankierrätysjärjestelmä

Musiikkitalon energiankierrätysjärjestelmän rakennuttaminen aloitettiin tammikuussa 2021 ja se valmistui huhtikuussa 2021. Projektista vastasi Granlund Oy. Kyseessä on lämpöpumppuratkaisuun perustuva energiankierrätysratkaisu. Musiikkitalo päätti investoida itse koko projektin hinnan eikä mukaan otettu palveluntoimittajia. Näin ollen kaikki investoinnista syntyvät säästöt Musiikkitalo saa hyödyksi täysimääräisenä.

Energiankeräysjärjestelmä kerää energiaa pääasiallisesti kiinteistön puhallinkonvektori- ja jäähdytyspalkkiverkostoista, joissa esiintyy jatkuvaa jäähdytystehoa myös lämmityskaudella. Kerätty energia johdetaan lämpöpumpuille, jotka nostavat lämpötilan riittävän korkealle ja täten tuottavat lämmitystä kiinteistön lämmitysverkostoihin lämmitystarpeen mukaisesti. Järjestelmä on asennettu lämmönjakohuoneen lähellä sijaitsevaan varastotilaan, josta kulkeutuvat putket lämmönjakohuoneeseen, josta ne yhdistyvät

kaukolämmön alajakokeskukseen. Lämmönkeruuverkoston puskurivaraaja asennettiin samaan tilaan kaukokylmän alajakokeskuksen kanssa (Kuva 15.).



**Kuva 15.** Kuvassa esitettynä energiankierrätysjärjestelmän rakenne yksinkertaistettuna.

Musiikkitalon projektissa oli tärkeää, että laitteet, joita projektissa käytettiin ovat Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusten nro 305/2011 mukaisesti CE-merkittyjä. Mikäli tuotteet eivät olleet CE-merkittyjä niiden tuli olla tuotehyväksyntälain 2012/954 tai vastaavan asetuksen mukaisesti varmennettuja.

### 5.2.1 Lämpöpumput

Projektissa lämpöpumpuiksi valikoituivat Thermia Mega XL lämpöpumput, joita kiinteistöön asennettiin kolme kappaletta. Lämpöpumput numeroitiin yhdestä kolmeen, joista lämpöpumppu numero yksi eroaa hieman kahdesta muusta. Jokaisen lämpöpumpun käyttötapa on kuitenkin samanlainen neste-neste, lämmitys ja tulistus periaate.

Lämpöpumppu 1 on Thermia Mega XL, jonka lämmitysteho on 100 kW. Lämpöpumpun sähköteho on 26 kW ja tulistusteho on 7 kW. Jäähdytysteho on 74 kW, joka koostuu lämmönkeruupiiristä, johon kuuluvat lämmitysteho, sähköteho ja tulistusteho. Kylmäaineena pumpussa on käytössä R410A, joka on difluorimetaanin ja pentafluorietaanin seos. Kyseisessä pumpussa tehoa voidaan säätää kahden eri portaan välillä riippuen tehon tarpeesta. Lämpöpumpun lämmityspiiriin neste virtaa sisään 58 °C ja ulostullessaan neste on 65 °C. Lämmityspiirin nestevirtaus on 3,5 dm<sup>3</sup>/s ja painehäviö pumpussa on maksimissaan 40 kPa. Tulistusvesipiiriin neste virtaa sisään 70 °C ja ulostullessaan sen lämpötila on noussut 90 °C. Tulistuspiirissä nestevirta on vain 0,18 dm<sup>3</sup>/s ja painehäviö maksimissaan on vain 10 kPa. Lämmönkeruupiirissä käytettävä neste on etanolia ja sen sisäänmeno lämpötila on 9 °C. Lämmönkeruupiiristä ulostulevan nesteen lämpötila on 2 °C. Nestevirta lämmönkeruupiirissä on 4,2 dm<sup>3</sup>/s ja painehäviö 125 kPa suurimmillaan. Lämpöpumpun liitântäteho on 35kW 400V käyttöjännitteellä (Kuva 16.).



**Kuva 16.** Thermia Mega XL lämpöpumppu 1 asennettuna Musikiitalolla.

Lämpöpumput 2 ja 3 olivat täysin samanlaiset. Lämpöpumput 2 ja 3 ovat myös Thermia Mega XL lämpöpumppuja, mutta niiden ominaisuudet eroavat silti hieman lämpöpumpusta 1. Näiden lämmitysteho on 90kW, sähköteho 35kW ja tulistusteho 10kW. Lämmönkeruupiirin yhteenlaskettu jäähdytysteho on 65kW. Myös näissä pumpuissa jäähdytysaineena on käytössä R410A ja niiden tehonsäätö tapahtuu kahden portaan välillä. Lämmityspiirin, tulistusvesipiirin ja lämmönkeruupiirin osalta lämpöpumput ovat täysin samanlaiset ensimmäisen lämpöpumpun kanssa (Kuva 17.).



**Kuva 17.** Kuvassa esitettyä kaikki kolme Thermia Mega XL lämpöpumppua.

Varsinaisten lämpöpumppujen lisäksi jokaiseen lämpöpumppuun kuuluu kolme erillistä pumppua, joista kaksi on siihen integroituja ja yksi erillään omalla sähkökytkennällä. Kaikissa kolmessa lämpöpumpussa lisäpumput ovat malliltaan ja ominaisuuksiltaan täysin samanlaisia.

Pumppu 1 on lämpöpumpun sisäinen keruupumppu, jossa käytetään nesteenä 15 % etanolia, sekä vettä. Mitoitustuotto tälle pumpulle on  $4,6 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja sen mitoitusnostokorkeus on 125 kPa. Mitoituslämpötila kyseiselle pumpulle on  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  ja se on integroitu varsinaiseen lämpöpumppuun.

Pumppu 2 on lämpöpumpun sisäinen lauhdepumppu, jossa käytetään nesteenä pelkästään vettä. Tämän pumpun mitoitustuotto on  $3,5 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja mitoitusnostokorkeus 40 kPa. Mitoituslämpötila on  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  ja myös pumppu 2 on integroitu lämpöpumppuun.

Pumppu 3 on lämpöpumpun tulistuksen poistopumppu, joka on malliltaan WILO YONOS PARA 25/6. Myös tässä pumpussa on käytössä nesteenä vesi. Mitoitustuotto tälle pumpulle on  $0,25 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja sen mitoitusnostokorkeus on 50 kPa. Mitoituslämpötila on  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tämä pumppu on lämpöpumpun ulkopuolinen ja se toimii omalla sähkökytkennällään. Sen liitântäteho on 0,034 kW 230 V käyttöjännitteellä.

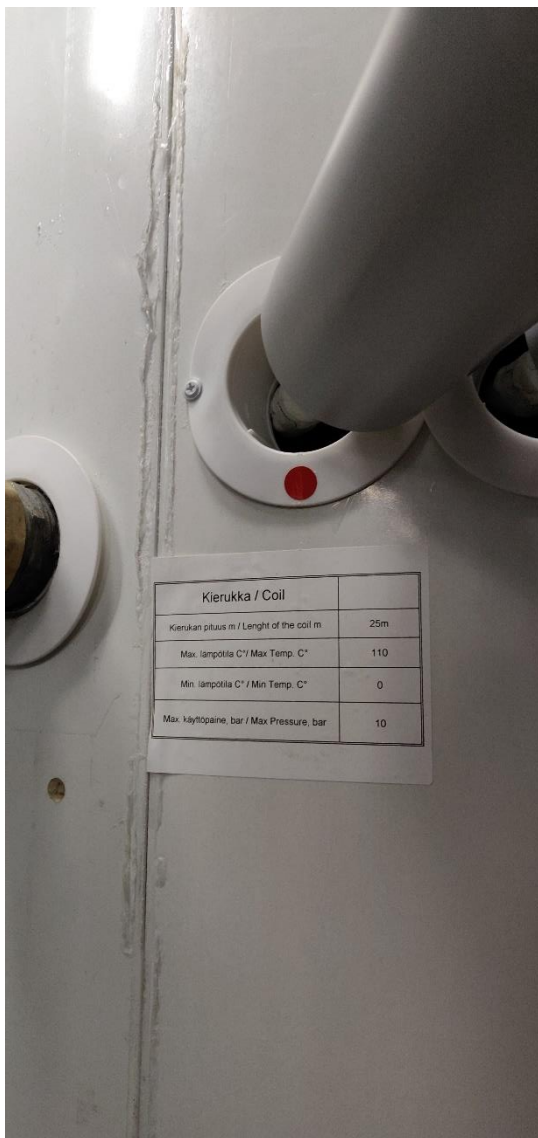
### 5.2.2 Varaajasäiliöt

Olellinen osa energiankierrätysjärjestelmää ovat varaajasäiliöt, jotka asennettiin lämpöpumppujen kanssa samaan tilaan. Varaajasäiliöitä on kaksi kappaletta ja niiden käyttötarkoitus on hieman erilainen. Ensimmäisen varaajan käyttötarkoitus on olla lämmityksen työsäiliö. Tähän tehtävään varaajaksi valittiin Gebwell G-Energy Puskurivaraaja DN65, joka on tilavuudeltaan 2 m<sup>3</sup> eli 2000 litraa. Materiaaliltaan säiliö on valmistettu raudasta. Säiliölle olellainen rakennepaine on 600 kPa, kuten myös sen suunnittelu-  
paine. Suunnittelulämpötila varaajalle on 65 °C, jonka seurauksena lämmityksen sisäänmenevän veden lämpötila on 65 °C ja ulostulevan 40 °C (Kuva 18.).



**Kuva 18.** Musiikkitalon Gebwell G-Energy Puskurivaraaja DN65.

Toinen Musiikkitalon uudistusprojektissa tullut varaaja on tarkoitettu käyttövesivaraajaksi ja sen malli on G-Energy Custom 2000–10. Kyseinen varaaja on varustettu kymmenellä Cu22 kierukalla, josta vesi johdetaan eteenpäin (Kuva 19.).



**Kuva 19.** Yksi käyttövesivaraajan kierukoista.

Käyttövesivaraajan tilavuus on myös 2 m<sup>3</sup> ja sen materiaali on rautaa. Käyttövesivaraajassa nimensä mukaan nesteenä toimii vesi ja sen rakenne- ja suunnittelupaine ovat molemmat 400 kPa. Suunnittelulämpötila on 60 °C. Käyttövesivaraajan käyttövesipatterille vesi syötetään sisään 5 °C ja ulos tullessaan se on 55 °C. Käyttövesipatterin vesivirta on 2,15 dm<sup>3</sup>/s ja sen lämpöteho on 400 kW.

Käyttövesipatterin painehäviö on vain 25 kPa. Itse käyttövesivaraajaan vesi syötetään 60 °C ja ulos tullessaan se on 53 °C (Kuva 20.).



**Kuva 20.** Vasemmalla Musiikkitalon käyttövesivaraaja ja taustalla puskurivaraaja.

### 5.2.3 Muut laitteet

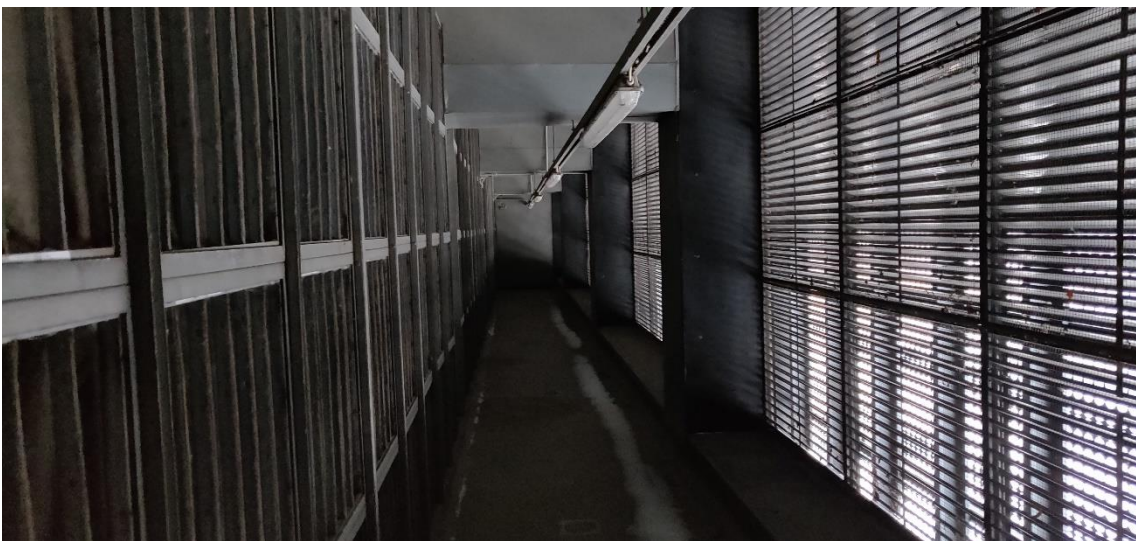
Varsinaisten lämpöpumppujen ja varaajien lisäksi järjestelmään kuuluu lukematon määrä erilaisia venttiilejä, suodattimia, lämpömäärälaskureita ja lämmönsiirtimiä. Näiden lisäksi järjestelmään lukeutuu useita paisunta-astioita (Kuva 21.).



**Kuva 21.** Kuva IV-konehuoneesta, jossa suurin osa paisunta-astioista sijaitsee.

#### 5.2.4 Jäähdytyspalkkiverkosto

Musiikkitalon jäähdytyspalkkiverkosto on käytännössä yksi iso huone, jossa tapahtuu suurin osa kaukokylmän talteenotosta lämpöpumpuille. Tila sijaitsee Musiikkitalon ylimmässä kerroksessa luonnollisesti, sillä mitä korkeammalla ollaan, sitä korkeampi on tuulen viima. Tarkoituksena on imeä ilmaa jäähdytyspalkkiverkoston läpi Musiikkitalon sisään, josta se kulkeutuu ilmasuodattimille, jotka puhdistavat ilman ennen sen jatkoa hormien kautta alakertaan lämpöpumpuille (Kuva 22.).



**Kuva 22.** Kuvassa oikealla jäähdytyspalkkiverkosto ja vasemmalla suodattimet.

Suodattimien jälkeen ilma saapuu imu huoneeseen, joka on suuri tyhjä tila, jonka toisessa päässä sijaitsee suurella imuteholla varustettu hormi. Hormi luo tilaan kovan viiman ja imee samalla ilmaa hormiin, josta se kulkeutuu alakertaan jatkokäyttöä varten lämpöpumpuille (Kuva 23.).



**Kuva 23.** Imutila, jossa suodattimet oikealla seinällä.

### 5.2.5 Energiankierrätysjärjestelmän kustannukset

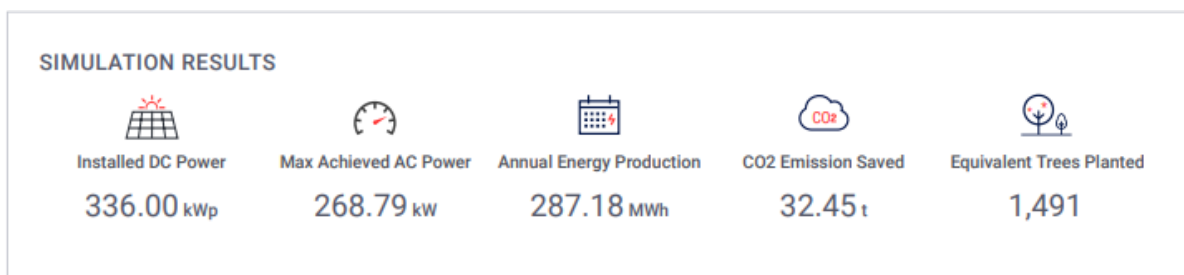
Musiikkitalon energiankierrätysjärjestelmän alkuinvestointi oli 290 000 €. Lisäksi huomioon tuli ottaa vuosihuoltoarvio, joka on 2500 € per vuosi, sekä uusimiskustannukset kuten kompressorit, kiertovesipumput, säätö- ja automaatiolaitteet yms. Uusimiskustannusten hinnaksi arvioitiin yhteensä 80000 €. Myös kaukolämmön perusmaksu 34000 € tulee laskuihin mukaan. Näiden yhteissummasta voitiin kuitenkin vähentää Business Finlandilta saatava energiatuki (20%), jolloin kokonaisinvestoinniksi saatiin 232 800 €.

Vähennysten jälkeen projektin kokonaisinvestointi oli siis 232 800 €. Granlund Oy toimitti Musiikkitalolle laskelmat järjestelmän tuotosta, joissa todettiin seuraavia rahasummia. Vuosittainen säästö lämmitysenergiassa tulee olemaan 74000 € ja säästö sähköenergiassa 31000 €. Säästöä jäähdytysenergiasta tullaan saamaan nykyisellä

järjestelmällä 33000 €. Kun tähän lisätään huoltokustannukset, jotka ovat 4400 € vuodessa saadaan kustannussäästöksi 71600 € vuodessa. Tämä tarkoittaa, että järjestelmän tulisi täysin toimiessaan maksaa itsensä takaisin 3,3 vuodessa. Kun lukemiin otetaan vielä huomioon sisäinen korkotuotto 34 % seuraavan 20 vuoden ajanjaksolla saadaan elinkaarikustannussäästöiksi 1 047 000 €.

### 5.3 Aurinkovoimalan energiatehokkuus

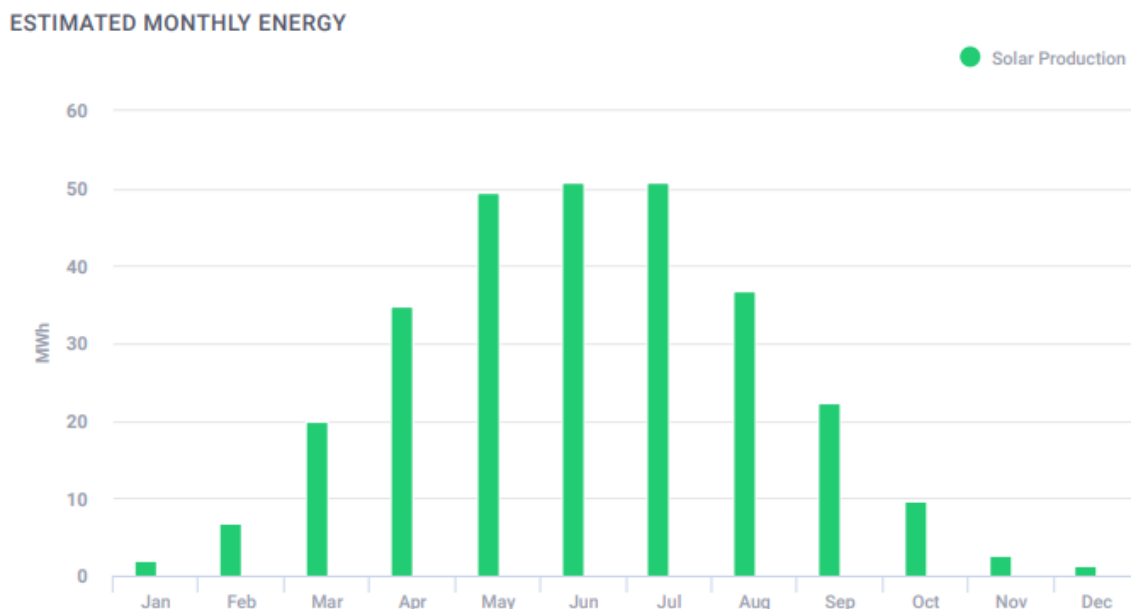
Ennen varsinaisen urakan aloittamista Solar Edge toimitti Musiikkitalolle tuottoennusteen, missä kerrottiin lukemista, joita aurinkovoimala tulisi tuottamaan ja mitä sillä saavutettaisiin. Järjestelmän 840 aurinkopaneelia tarkoittaisi noin 336 kWp tasavirta tehoa ja suurin saavutettu vaihtovirta teho olisi noin 270 kW. Arvion mukaan vuosittainen energiantuotanto olisi noin 290 MWh. Järjestelmän asennuksella säästettäisiin hiilidioksidipäästöjä jopa 32 tonnia. Ennusteen mukaan kyseisellä määrällä voitaisiin istuttaa jopa 1491 uutta puuta (Kuva 24.).



**Kuva 24.** Ennuste aurinkovoimalan tehoista ja tuotoista.

Ennusteen mukana tuli myös katselmus kuukausikohtaisista tuotoista, jota aurinkovoimala tulisi Suomen oloissa tuottamaan. Katselmuksen mukaan selvästi tuottoisimmat kuukaudet tulisivat olemaan toukokuusta heinäkuuhun, jolloin arvioidusta 290 MWh tuotosta syntyisi pelkästään noin 150 MWh. Lisäksi huhtikuussa ja elokuussa tuotanto olisi vielä melko hyvää, sillä näiden yhteenlaskettu tuotto olisi hieman yli 70 MWh.

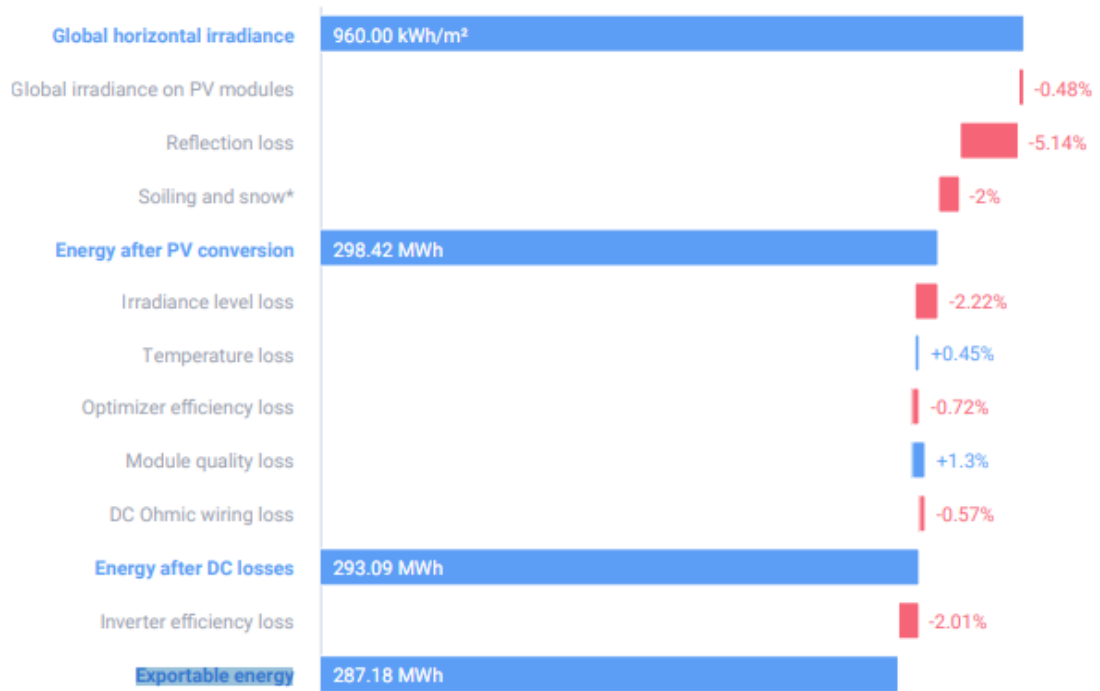
Loppuina seitsemänä kuukautena tuotto on selvästi heikompi, mutta hyvät kesäkuukaudet kompensoivat tilanteen niin, että aurinkovoimala olisi kannattava sijoitus (Kaavio 4.).



**Kaavio 4.** Aurinkovoimalan kuukausikohtainen tuotto ennuste.

Ennusteessa oli esitettyä myös aurinkovoimalan järjestelmän ”tappiokaavio”. Taulukon mukaan globaali horisontaalinen säteilyvoimakkuus olisi 960.00 kWh/m<sup>2</sup>. Kun tästä vähennetään globaali säteilyvoima aurinkopaneeleissa, sekä likaisuus ja lumihaitat saadaan energiaksi 298 MWh. Tämän jälkeen lukemasta vähennetään säteilyvoimatason menetys ja optimoijan tehokkuuden menetys. Tehoa saadaan kuitenkin takaisin lisää, kun laskelmiin otetaan mukaan moduulin laadun heikkeneminen, sekä lämpötilahäviöt. Kun vielä vähennetään tasavirta johdotuksissa tapahtuva häviö, saadaan energiaksi tasavirtahäviöiden jälkeen 293 MWh. Kun tästä lukemasta vielä vähennetään inverttereillä tapahtuva häviö saadaan laskennallisesti vuosittaiseksi energiantuotoksi edellä mainittu 287 MWh eli noin 290 MWh (Kaavio 5.).

## SYSTEM LOSS DIAGRAM



**Kaavio 5.** Aurinkovoimalan järjestelmähäviökaavio.

### 5.3.1 Aurinkovoimalan todellinen tuotto

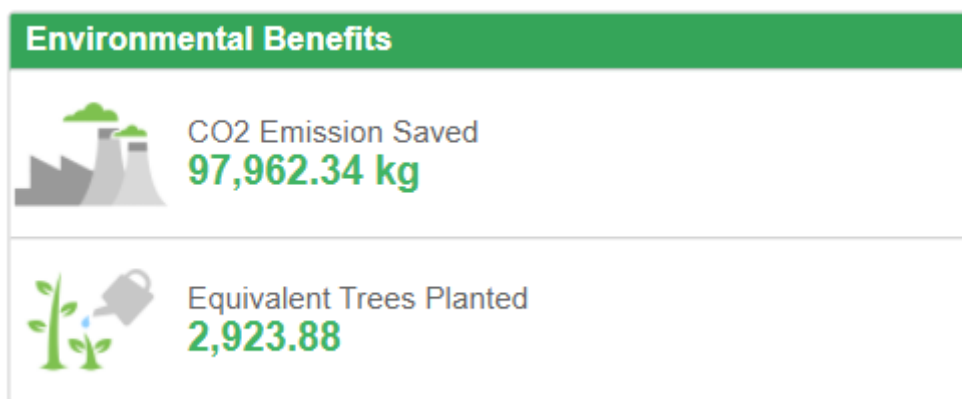
Musiikkitalolla on käytössään Solar Edgen ylläpitämä verkkosivu, josta voidaan reaaliajassa seurata aurinkovoimalan tuottoa päiväkohtaisesti tai pidemmältä aikaväliltä. Aurinkovoimala otettiin virallisesti käyttöön kesäkuussa 2021 ja se on ollut nyt käytössä noin 10 kuukautta. Verkkosivun mukaan tähänastinen aurinkovoimalan tuotto on ollut 250 MWh. Maaliskuussa vuonna 2022 kymmenen päivän aikana voimala on tuottanut 4,3 MWh. Sivun mukaan maaliskuun 10. päivä kello 13 mennessä voimala oli tuottanut 130,1 kWh (Kuva 25.).

## System Performance

Current Power <b>61.37 kW</b>	Energy today <b>130.1 kWh</b>	Energy this month <b>4.3 MWh</b>	Lifetime energy <b>249.9 MWh</b>
----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

**Kuva 25.** Musiikkitalon aurinkovoimalan tuotanto eri ajanjaksoilla 3.10.2022.

Kymmenen kuukauden käytön aikana järjestelmän avulla on onnistuttu tähän mennessä säästämään noin 98000 kg hiilidioksidi päästöjä. Kyseisellä määrällä voitaisiin pystyttää lähes 3000 uutta puuta. Aurinkovoimala on siis ollut erittäin ympäristöystävällinen ratkaisu tehokkuutensa lisäksi (Kuva 26.).



**Kuva 26.** Kuva aurinkovoimalan CO<sub>2</sub>-päästöjen säästöistä 10 kuukauden ajalta.

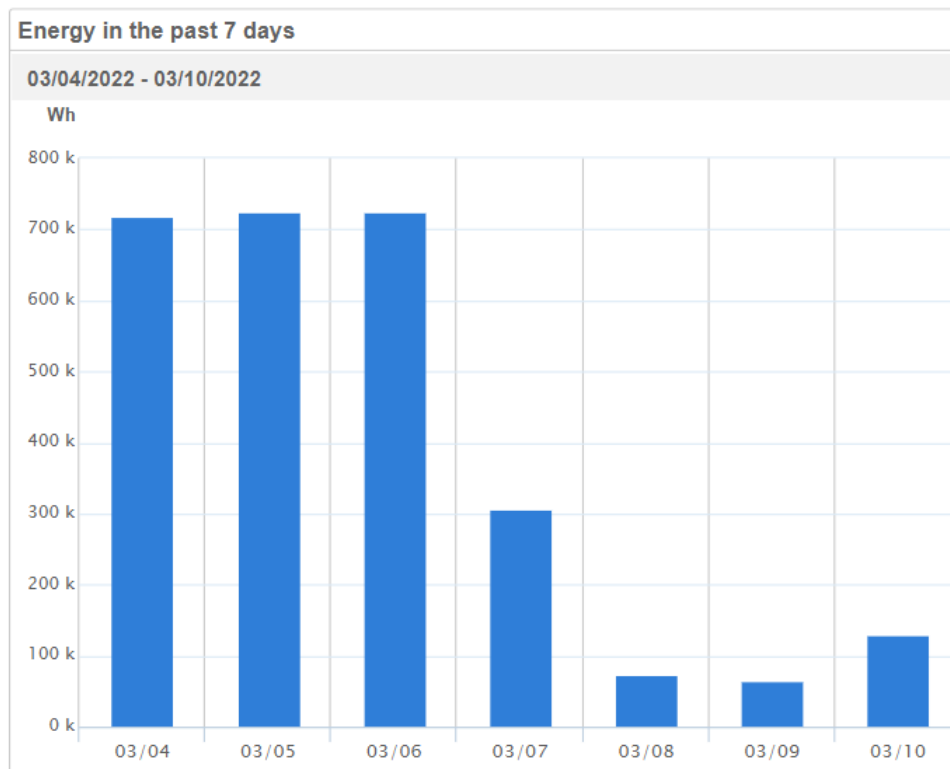
Järjestelmän yhden päivän huipputeho kuluneen kymmenen kuukauden aikana on ollut 336 kWp. Järjestelmästä ei kuitenkaan selviä, koska kyseinen lukema on saavutettu (Kuva 27.).

**Musiikkitalo | Peak Power: 336 kWp**

**Kuva 27.** Järjestelmän huipputeho.

Verkkosivu on siis helppokäyttöinen ja Musiikkitalon väki saa jatkuvasti informaatiota aurinkovoimalan toiminnasta. Verkkosivu myös päivittyy aina, kun sen käyttäjä päivittää sivua. Verkkosivujen avulla saatavan datan perusteella Musiikkitalo voi halutessaan säätää aurinkovoimalan käyttöä. Diagrammien avulla voidaan nähdä mihin kellonaikaan päivästä tehon saanti on suurinta ja miten viikkokohtaisesti tehot jakautuvat (Kaavio 6.).

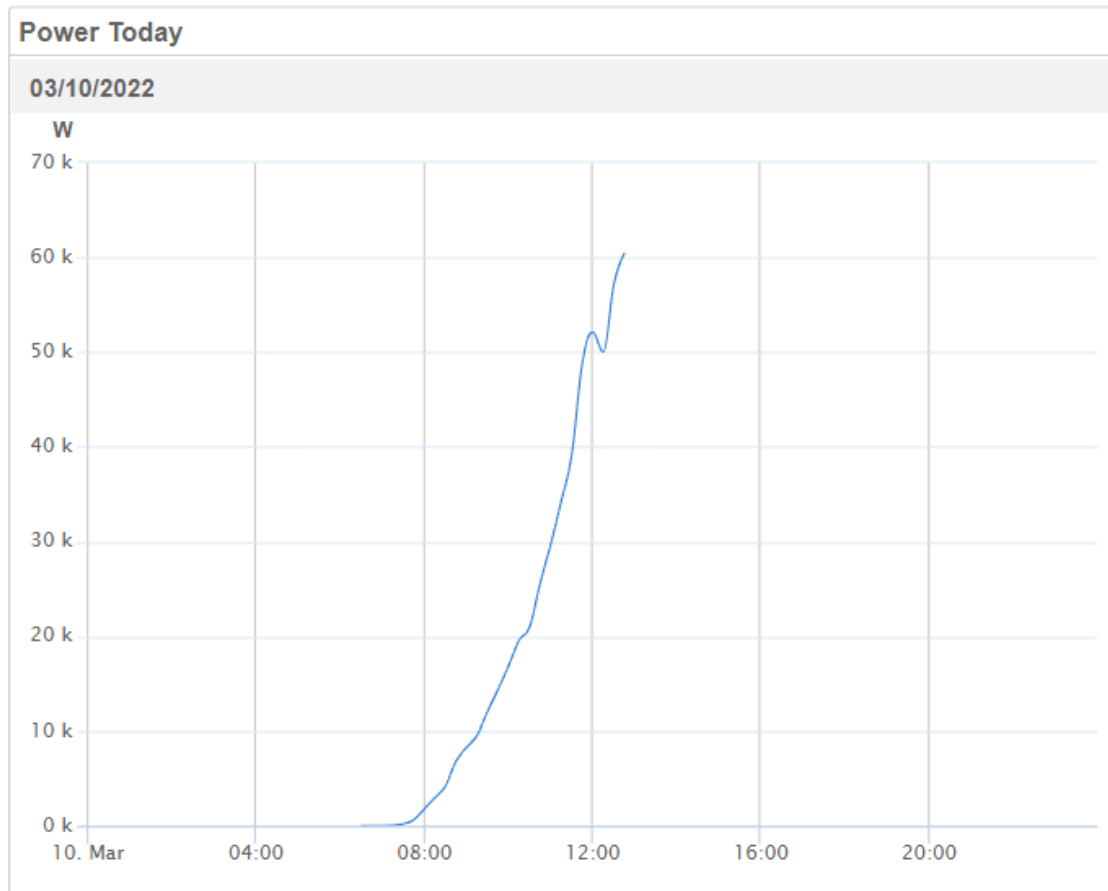
## Power and Energy



**Kaavio 6.** Aurinkovoimalan päiväkohtainen tehojakauma viikon ajalta.

Kaaviosta 7 voidaan nähdä, että järjestelmän tuottama teho nousee kello 8:n jälkeen, jolloin Musiikkitalo avataan. Kello 9:n aikaan tuotto on vielä noin 8 kW, kun kello 12 se on jo yli 50 kW. Keskipäivän jälkeen tuotto pysyy vielä hyvänä, mutta iltaa kohden tuotto vähenee luonnollisesti (Kaavio 7.).

## Power and Energy



**Kaavio 7.** Aurinkovoimalan tuntikohtainen tehojakauma päivän ajalta diagrammina.

### 5.3.2 Aurinkovoimalan avulla saavutetut säästöt

Sähkön hinta oli vuonna 2021 keskimäärin noin 80 €/MWh. Aurinkovoimala on tähän mennessä tuottanut noin 250 MWh. Yksinkertaisella laskutoimituksella saadaan säästetyksi rahamääräksi 10 kuukauden ajalta 20000 €. Koko vuoden säästö arvioidulla 335 MWh tulisi olemaan noin 27000 €. Tämän mukaan järjestelmän takaisinmaksuaika tulisi olemaan noin 15 vuotta.

### 5.3.3 Musiikkitalon aurinkovoimala verrattuna kirjallisuuteen ja arvioihin

Solar Edgen antaman arvion mukaan aurinkovoimalan vuosittainen tuotto tulisi olemaan noin 287 MWh. Aurinkovoimala on kuluneen 10 kuukauden aikana tuottanut 249 MWh,

joka tarkoittaa keskiarvallisesti noin 25 MWh per kuukausi. Kun otetaan huomioon jäljellä olevat kuukaudet eli huhtikuu ja toukokuu voidaan kuvan 18 perusteella todeta, että todellinen vuosituotto tulee olemaan selkeästi suurempi. Tällä hetkellä voidaan arvioida ensimmäisen vuoden vuosituotoksi noin 335 MWh, joka olisi selkeästi suurempi määrä mitä arvioissa järjestelmälle luvattiin. Järjestelmän huipputehoksi luvattiin 336 kW ja se on saavutettu jo varsinaisessa käytössäkin. Hiilidioksidipäästöjen osalta järjestelmä on ylittänyt odotukset selvästi, sillä hiilidioksidipäästöjen osalta säästö on ollut lähes kolminkertainen teoreettiseen määrään.

Musiikkitalon aurinkosähköjärjestelmän rakenne on identtinen kirjallisuudessa esitettyjen järjestelmien kanssa. Itse aurinkopaneelit ovat rakenteeltaan samanlaisia, niin kuin lähes kaikki käytössä olevat aurinkopaneelit. Kirjallisuuskatsauksen kuvassa 4 on esitettyä aurinkosähköjärjestelmän toiminta yksinkertaistettuna. Kun verrataan Musiikkitalon järjestelmää ja kyseistä kuvaa voidaan todeta, että kirjallisuudessa esitetty malli ja Musiikkitalon järjestelmä ovat identtiset. Tämä ei ole kuitenkaan suuri yllätys, sillä lähes kaikki aurinkosähköjärjestelmät toimivat samalla periaatteella, joka myös on valikoitunut Musiikkitalon käyttöön.

Kirjallisuudesta löytyneiden aurinkosähköjärjestelmien kustannusten vertaaminen Musiikkitalon järjestelmään on melko hankalaa. Tämä johtuu Musiikkitalon järjestelmän suuresta koosta ja siitä, että kirjallisuudesta löytyvä informaatio koskee pääasiallisesti pienemmän luokan aurinkovoimaloita. Kirjallisuudesta saadun tiedon perusteella voidaan kuitenkin tehdä yleistä perspektiiviä antavaa havainnointia liittyen aurinkovoimaloiden kustannuksiin ja takaisinmaksu-aikaan. Taulukosta 1 voidaan tarkastella 250 kW kokoista aurinkosähköjärjestelmää. Kyseisen järjestelmän yksikköhinta on tällä hetkellä noin 650–700 €/kWp. Laskennallisesti kirjallisuudessa suuren 250 kW järjestelmän hinta olisi noin 175 000 €. Musiikkitalon aurinkovoimala maksoi kuitenkin ilman muita kuluja huomioon ottaen 300 000 €. Tämä yli 100 000 € heitto johtuu järjestelmän laadukkuudesta, sekä siihen kuuluvista kuljetusmaksuista Musiikkitalolle. Järjestelmän laadusta kertoo esimerkiksi se, että se on ylittämässä selvästi paneeleille

luvatun tuottomäärän ja sen takaisinmaksuaikakin on selvästi lyhyempi kuin mitä kirjallisuudessa yleisesti luvataan.

Kirjallisuudessa 6 kWp kokoisen järjestelmän vuosituotoksi luvataan noin 6000 kWh eli teoriassa 1 kWp tarkoittaa 1000 kWh. Musiikkitalon järjestelmä on suuruudeltaan 336 kWp eli teorian mukaan sen tuoton pitäisi olla vuositasona noin 336 000 kWh eli 336 MWh. Kuten aiemmin mainittiin, arvioidaan Musiikkitalon järjestelmän ensimmäisen vuoden tuotoksi 335 MWh. Tämän tiedon perusteella voidaan todeta, että Musiikkitalon järjestelmä ja kirjallisuudessa esitetyt järjestelmät kohtaavat ja tehoiltaan Musiikkitalon järjestelmä on juuri sitä mitä nykypäivän järjestelmien tuleekin olla. Musiikkitalon järjestelmän arvioitu takaisinmaksuaika on noin 15 vuotta eli täysin sama mitä kirjallisuudessa luvataan suuremmille järjestelmille.

#### **5.4 Energiankierrätysjärjestelmän energiatehokkuus**

Musiikkitalon energiankierrätysjärjestelmälle ei ole olemassa samanlaista verkkosivua tai palvelua kuin aurinkovoimalalle oli. Lämpöpumpuista on saatu tähän mennessä 10 kuukauden aikana 650 MWh kaukolämpöön ja kaukokylmään. Tämän perusteella vuosittainen tuotto olisi noin 780 MWh, joka tarkoittaa noin 17 % osuutta vuosittaisesta kulutuksesta. Loput 83 % Musiikkitalo joutuu ostamaan ulkoisesti energiayhtiöiltä.

Musiikkitalolla käytetyt kiinteistölämpöpumput ovat rakenteeltaan ja toiminnaltaan samanlaisia kuin kirjallisuudessa yleisimmin esitetyt lämpöpumput. On tietenkin selvää, että Musiikkitalolla käytetyt järjestelmät ovat mittakaavaltaan suuria ja täten monia kirjallisuudessa esitettyjä komponentteja löytyy Musiikkitalon järjestelmistä useita. Vaikka komponentteja on useita, toimii peruseriaate järjestelmässä samalla tavalla kuin esimerkiksi yhdellä lämpöpumpulla. Musiikkitalon tapauksessa energiatehokkuudessa tulee ottaa huomioon juuri useat komponentit, jolloin myös häviöt kasvavat.

Musiikkitalon energiankierrätysjärjestelmän kokonaisinvestoinniksi tuli lopulta 232 800 € Business Finlandin tukien jälkeen. Järjestelmän kokonaiskoko on 280 kW, joka

tarkoittaa, että yhtä kilowattia kohden järjestelmän hinta on noin 830 €. Ilman Business Finlandin rahallista avustusta järjestelmän alkuinvestointi olisi ollut 290 000 €. Tällöin yhden kilowatin hinnaksi olisi saatu noin 1035 €, joten Business Finlandin avulla yhden kilowatin hinta on jopa 200 € alhaisempi. Kirjallisuudessa esitettyjen 120 kW järjestelmien investointikustannukset olivat 230 000 € ja 160 kW järjestelmän 350 000 €. Yhteen laskettuna nämä saadaan järjestelmän kooksi 280 kW, joka on sama kuin Musiikkitalon tämänhetkinen järjestelmä. Hinnaksi kuitenkin tällaiselle järjestelmälle tulee jopa 580 000 €. Tästä seurauksena kirjallisuudessa esitettyjen järjestelmien yhden kilowatin hinta on noin 2070 €. Tämän perusteella voidaan todeta, että kirjallisuudessa esitetyn esimerkin alkuinvestointi on yli kaksi kertaa yhä suuri kuin Musiikkitalon alkuinvestointi ilman tukea, jonka seurauksena myös yhden kilowatin hinta on yli kaksi kertaa suurempi kirjallisuudessa. Lisäksi kirjallisuudesta kerätty informaatio koskee pääasiallisesti maalämpöpumppuja, jotka ottavat energiansa maaperästä. Musiikkitalo sen sijaan hyödyntää energiaa kiinteistön puhallinkonvektori- ja jäähdytyspalkkiverkostosta, joissa lämpötilat ovat selvästi korkeammat kuin maaperässä. Tästä johtuen COP arvo on paljon parempi, jolloin energiantuotto on tehokkaampaa ja säästöjä syntyy enemmän. voidaan vetää johtopäätös, että Musiikkitalon ratkaisu on ollut rahallisesti erittäin kannattava ja edullinen.

Edullisen hintansa lisäksi Musiikkitalo säästää myös huomattavasti enemmän rahaa vuosittain kuin kirjallisuudessa esitetystä tilanteesta. Musiikkitalon vuosittainen kustannussäästö on hieman yli 70000 €, kun kirjallisuudessa samankokoisen järjestelmän vuosisäästö on vain 48000 €. Kun vuosittainen säästö on jo noin 22000 € suurempi tarkoittaa se 20 vuoden aikajanaalla yli 400 000 € enemmän säästettyä rahaa kuin kirjallisuudessa esitetystä ratkaisusta. Säästettyjen rahojen lisäksi Musiikkitalon takaisinmaksuaika on myös selkeästi pienempi kuin kirjallisuudessa. Kirjallisuudessa tämankokoisen järjestelmän yhteenlaskettu takaisinmaksuaika olisi noin 10 vuotta, kun Musiikkitalon järjestelmän tulisi maksaa itsensä takaisin 3,3 vuodessa.

	Musiikkitalo	Kirjallisuus	Erotus
Säästö vuodessa	70000 €	48000 €	22000 €
Säästö 20 vuodessa	1,4 milj. €	960 000 €	440 000 €
Takaisinmaksuaika	3,3 vuotta	10 vuotta	6,7 vuotta

**Taulukko 2.** Energiankierrätysjärjestelmän säästöt.

## 5.5 Musiikkitalon energiatehokkuuden kehittäminen

Musiikkitalon tämänhetkiset aurinkovoimala ja energiankierrätysjärjestelmä ratkaisut ovat nykyaikaisia ja ne on toteutettu erinomaisesti. Pitkällä aikataululla nykyiset järjestelmät säästävät Musiikkitalolle merkittäviä kustannuseriä, jonka lisäksi ne ovat melko ympäristöystävällinen ratkaisu verrattuna moniin muihin menetelmiin. Musiikkitalon energiatehokkuutta on tämän hetken laitteistot huomioon ottaen mahdotonta parantaa kovinkaan paljoa, mutta pieniä parannuksia on mahdollista tehdä. Kehittämisehdotukset on tehty siltä pohjalta, että nykyiset uudistetut järjestelmät pysyisivät ennallaan ja muutokset tehtäisiin niiden ympärille tai kokonaan uusia menetelmiä käyttäen.

### 5.5.1 Lämmitysverkon säätö ja huolto

Oletusarvona voidaan pitää, että Musiikkitalon lämmitysverkon komponentit ovat vielä hyvässä kunnossa. Lämmitysverkolle on kuitenkin olennaista, että myös sen säätö on tehty oikealla tavalla. Lämmitysverkosto säädetään oikealle mitoitukselle ja järjestelmän paine optimoidaan oikeanlaiseksi, jotta maksimaalinen energiatehokkuus voidaan saavuttaa. Lämmitysverkoston säätäminen optimaaliseksi voi tiputtaa kiinteistön energiankulutusta jopa 10–15 % riippuen kiinteistön koosta. Musiikkitalon tulisi siis mahdollisimman usein tarkastaa järjestelmän toimivuus ja tarvittaessa säätää järjestelmä oikeanlaiselle mitoitukselle, mikäli heittoa on tullut alkuperäisestä säädöstä. Järjestelmän paineen tarkkailu on myös tärkeää, sillä esimerkiksi vähänkin liian alhaiseksi laskenut paine näkyy Musiikkitalon kokoisessa rakennuksessa melko nopeasti.

Pattereiden kunnan tarkastaminen tietyin väliajoin on myös oleellinen tapa parantaa kiinteistön energiatehokkuutta. Tärkeä yksittäinen asia on varmistaa, että Musiikkitalon patterit lämpenevät tasaisesti yksilökohtaisesti, sekä keskenään toistensa kanssa ympäri kiinteistöä. On siis tärkeää, että Musiikkitalon patterien toimivuus ja kunto tarkastetaan tietyin väliajoin.

### **5.5.2 Seinien lisäeristäminen**

Vaikkakin Musiikkitalo on otettu käyttöön vuonna 2011 ja on edelleen uusi kiinteistö voi lämpövuotoja ilmetä melko nopeallakin aikataululla suurissa rakennuksissa. Musiikkitalo voisi tilata kiinteistön ympäri kattavan lämpökuvauksen, jonka avulla pienetkin viat voitaisiin paikantaa helposti ilman, että kiinteistön rakenteisiin tarvitsisi koskea. Samalla saataisiin varmuus, mikäli kaikki kiinteistön rakenteet olisivat kunnossa. Jos rakenteellisia vikoja löytyisi voitaisiin harkita ulkoseinien lisäeristämistä. Koska aikaa on kuitenkin rakennusvaiheesta ehtinyt kulua jo reilut 10 vuotta voisi lisäeristämällä varmistaa jo nyt kiinteistön laadun pysyminen hyvänä ja täten myös energiatehokkuus pysyisi kiinteistössä hyvällä tasolla. Lisäeristäminen voidaan suorittaa joko talon ulkopuolella lisäämällä vanhan eristeen lisäksi uusi kerros eristettä esimerkiksi levyvillaa. Mikäli Musiikkitalolla ei ole mahdollista tehdä ulkoeristystä voidaan eristäminen tehdä myös sisällä esimerkiksi polyuretaanilevyllä. Mikäli Musiikkitalo ei halua alkaa investoimaan eristykseen voidaan energiatehokkuutta parantaa myös seinien liittymärakenteiden ja ikkunoiden uudelleen tiivistyksellä.

### **5.5.3 Yläpohjan lisäeristäminen**

Yläpohjan hyvä eristys on erittäin tärkeää, sillä jopa 20 % lämmitysenergiasta poistuu sen kautta. Yläpohjan eristäminen voidaan suorittaa samoin kuin seinien eli asentamalla lisäeristys tai vaihtamalla kokonaan uudet eristeet. Musiikkitalon tilanteessa kokonaan uusien eristeiden asentaminen tuskin kuitenkaan on tarpeellista, mutta lisäeristeiden asentaminen toisi varmuutta tulevaan ja eristyksen laadusta voitaisiin olla varmoja

pidemmällä aikavälillä. Myös yläpohjalle voitaisiin suorittaa lämpökuvaus, jolloin mahdolliset ongelmakohdat huomattaisiin ja niihin voitaisiin tarttua.

#### **5.5.4 Lämmitysjärjestelmän ulkoinen hallinta**

Viimeinen energiatehokkuuden parantamisen keino on sen ulkoinen hallinta. Musiikkitalo voisi ulkoistaa sen lämmönjakohuoneen toiminnan siihen erikoistuneelle yritykselle. Tarkoituksena on asentaa antureita rakennuksen lämmönjakotiloihin, sekä kiinteistön eri tiloihin. Näiden avulla ulkoiseen hallintaan erikoistuneet ammattilaiset kykenevät ohjaamaan Musiikkitalon kulutusta mahdollisimman pienellä energiatarpeella, mutta kuitenkin niin, että Musiikkitalon olosuhteet pysyisivät hyvinä. Tällä menetelmänä etuna on myös se, että mikäli järjestelmä havaitsee ongelman tai poikkeavaisuuksia normaalista tulee siitä ilmoitus ulkoistetulle hallitsijalle. Tämän seurauksena mahdolliset vikatilat saadaan nopeasti korjattua ja energiatehokkuus palaa hyvälle tasolle huomattavasti nopeammin kuin ilman ulkoista valvontaa. Käyttämällä ulkoista energiatehokkuuden hallintaa voidaan vuositasolla säästää energiakustannuksista parhaillaan jopa 10 %.

## 6 Johtopäätökset

Diplomityön tavoitteena oli tarkastella Helsingin Musiikkitalon energiatehokkuutta uuden aurinkovoimalan ja energiankierrätysjärjestelmän kautta. Tämän tueksi otettiin kirjallisuudesta esimerkkejä aurinkovoimaloista ja lämpöpumppujärjestelmistä. Näiden välillä tehdyn vertailun jälkeen oli tavoitteena löytää mahdollisia keinoja, joilla Musiikkitalon energiatehokkuutta voitaisiin parantaa.

Työn alussa esitettiin neljä keskeistä tutkimuskysymystä, jotka olivat:

1. Millaisia ovat nykyajan aurinkopaneelit ja lämpöpumput kirjallisuudessa?
2. Miten energiatehokkuus on toteutettu Musiikkitalossa?
3. Miten Musiikkitalon energiatehokkuus vastaa kirjallisuudessa esitettyä energiatehokkuutta?
4. Miten Musiikkitalon energiatehokkuutta voisi kehittää?

Työn tuloksena voidaan todeta seuraavaa:

1. Nykyajan lämpöpumput ja aurinkopaneelit ovat tehokkaita. Niiden kustannukset ovat myös melko alhaisia ottaen huomioon niiden avulla saavutettavat säästöt ja lyhyen takaisinmaksuajan. Järjestelmiä löytyy nykyaikana mihin vain kohteeseen, sillä valikoimaa riittää aina pihavajan kokoisista rakennuksista suuriin teollisuuskiinteistöihin.
2. Musiikkitalon energiatehokkuus on toteutettu kerralla kunnolla periaatteella. Energiatehokkuus on laitteistojen osalta toteutettu käyttäen uusia ja tehokkaita malleja aurinkovoimalan ja energiankierrätysjärjestelmän osalta. Vaikkakin järjestelmät ovat suuria ei niiden avulla pystytä kattamaan kuin pieni osa Musiikkitalon vuosittaisista lämpö- ja sähkökuluista. Järjestelmät onkin asennettu ajatellen pidemmällä aikatahtaimella, minkä seurauksena Musiikkitalo kykenee olemaan omavaraisempi vuosikymmenten päästä.

3. Aurinkovoimalan osalta Musiikkitalon järjestelmä oli lähes identtinen kirjallisuudessa esitettyjen järjestelmien kanssa. Musiikkitalon käyttämälle aurinkovoimalalle asetetut arviot ovat kuitenkin ylittyneet selvästi, mikä on ollut positiivinen yllätys. Järjestelmä on tuottanut enemmän kuin osattiin arvioida, minkä lisäksi sen avulla saavutetut hiilidioksidisäästöt ovat olleet selkeästi suuremmat kuin ennustettiin.

Lämpöpumppujärjestelmien tilanne on toisenlainen. Järjestelmä on toiminut juuri niin kuin sen on kuulunutkin, eikä siinä ole ollut eroja kirjallisuudessa esitettyihin järjestelmiin. Kustannuspuolella Musiikkitalon järjestelmä on selkeästi parempi verrattuna kirjallisuudessa esitettyihin järjestelmiin. Musiikkitalon järjestelmä maksoi vain puolet siitä mitä kirjallisuudessa esitetyt samankokoiset järjestelmät. Tämän seurauksena Musiikkitalon järjestelmän tuotot ovat selvästi suuremmat. Takaisinmaksuaika on lähes seitsemän vuotta lyhyempi kuin kirjallisuudessa esitetyissä järjestelmissä.

4. Vaikkakin Musiikkitalolle tehtiin suuri energiapäivitys ja se on vielä uusi rakennus, voidaan sen energiatehokkuutta parantaa jo nyt. Järjestelmien jatkuva huoltaminen ja säätö ovat ehtoja sen hyvälle energiatehokkuudelle.

Musiikkitalo voisi myös harkita erinäisten lisäeristysten asentamista. Seinien ja yläpohjan lisäeristämällä voidaan taata parempi energiatehokkuus pitkäksi aikaa. Myös ikkunoiden ja liittymäkohtien lisäeristämällä voidaan ehkäistä syntyviä lämpöhäviöitä ja parantaa energiatehokkuutta.

Ulkoisen energiatehokkuuden hallinta on myös hyvä vaihtoehto, jolla Musiikkitalo voisi ideaalitulanteessa säästää noin 10 %. Lukema kuulostaa melko pieneltä, mutta Musiikkitalon kustannusten ollessa suuria olisi myös säästö suuri. Tämän vaihtoehdon suurin etu rahallisten säästöjen lisäksi olisi nopea reagointi vikatiloihin, sekä jatkuva olosuhteiden optimointi.

## 7 Yhteenveto

Energiatehokkuus on termi, joka on noussut vasta hiljattain suurempaan valoon yksittäisissä pienemmän kokoluokan rakennuksissa. Yritysmaailmassa ja suuren koko luokan kiinteistöissä energiatehokkuuteen on kiinnitetty huomiota jo pidemmän aikaa sen tuottamien rahallisten hyötyjen vuoksi. Myös ilmastonmuutos on ollut suuri syy, miksi energiatehokkuus on nykyajan rakentamisessa niin suuressa merkityksessä.

Tämä diplomityö käsitteli Helsingin Musiikkitalon energiatehokkuutta ja tarkemmin sinne vuosi sitten asennettua aurinkovoimalaa ja lämpöpumppujärjestelmää. Tarkoituksena oli tarkastella yleisesti kirjallisuudesta löytyviä aurinkopaneelijärjestelmiä, sekä energiankierrätysjärjestelmiä.

Musiikkitalon uudistettujen järjestelmien tarkoitus ei ollut kattaa koko lämmön- ja sähköntuotantoa kiinteistössä, vaan tehdä Musiikkitalosta hieman omavaraisempi. Musiikkitalon aurinkovoimala kattaa vuosittaisesta sähkönkulutuksesta noin 5 % eli 300 MWh. Loput 95 % Musiikkitalo joutuu ostamaan sähköyhtiöiltä. Lämpöpumppujärjestelmä tuottaa vuosi tasolla noin 650 MWh, joka on 17 % vuosittaisesta kaukolämmön ja kaukokylmän käytöstä. Loput 83 % Musiikkitalo ostaa suoraan energiayhtiöiltä. Aurinkovoimalan takaisinmaksuaika on noin 15 vuotta ja energiankierrätysjärjestelmän vain hieman yli kolme vuotta. Tämä tarkoittaa, että 15 vuoden kuluttua järjestelmät ovat maksaneet itsensä takaisin ja Musiikkitalo säästää vuositasolla sähkökuluissa 27000 € ja lämmityskuluissa 70000 € olettaen, että hinnat pysyvät entisellään. Mikäli sähkö- ja lämmityskulut nousevat tulevaisuudessa tarkoittaa tämä Musiikkitalolle vieläkin suurempia säästöjä vuositasolla.

Kirjallisuudessa esitettyihin järjestelmiin verrattuna Musiikkitalon järjestelmät ovat joko samanvertaisia tai jopa parempia vaihtoehtoja. Aurinkovoimala järjestelmä on hieman kalliimpi kuin mitä kirjallisuudessa esitetyt vastaavankokoiset järjestelmät, mutta tehokuolella järjestelmä on ollut tehokkaampi kuin vastaavat kirjallisuudessa. Tästä

seurauksena Musiikkitalon järjestelmän takaisinmaksuaika on täysin sama kuin mitä kirjallisuudessa luvataan samankokoisille järjestelmille.

Musiikkitalon lämpöpumppujärjestelmä on selkeästi parempi kuin kirjallisuudessa esitetyt. Eron syy liittyy Musiikkitalon alkuinvestointiin, joka oli yli puolet pienempi kuin kirjallisuudessa esitetyt. Alkuinvestoinnin pienen hinnan seurauksena Musiikkitalon kohdalla yhden kilowatin hinta on yli puolet pienempi, jolloin Musiikkitalon saama teho on selvästi halvempaa kuin kirjallisuudessa. Musiikkitalon järjestelmä säästää vuodessa yli 20000 € enemmän kuin kirjallisuudessa esitetyt saman kokoluokan järjestelmät. Tämän seurauksena Musiikkitalon lämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuaika on lähes seitsemän vuotta lyhyempi kuin vastaavilla kirjallisuudessa.

Musiikkitalon energiatehokkuus näyttää tällä hetkellä hyvältä ja mikäli järjestelmistä tullaan pitämään huolta ja mahdollisia työssä esitettyjä kehitysideoita tullaan suosimaan, on Musiikkitalo energiatehokas kiinteistö myös vuosikymmenien päästä.

## Lähteet

- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. (2008). Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry
- Hiilineutraalisuomi. (2020). Aurinkosähköjärjestelmien hinnat laskussa. Noudettu 05.01.2022 osoitteesta [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien\\_hinnat\\_laskuss\(56958\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss(56958))
- Holmila. (2011). Musiikkitalo kirja.
- KAAPPOLA, Esko, HIRVELÄ, Aulis, JOKELA, Matti ja KIANTA, Jani (2012). Kylmätekniiikan perusteet. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Keravan energia. (2022). Hyödyllistä tietoa aurinkopaneeleista. Noudettu 10.01.2022 osoitteesta <https://www.keravanenergia.fi/blog/artikkeli/tietoa-aurinkopaneelit/>
- Kulmala, V. (2014). Aurinkosähköjärjestelmä omakotitalossa. Noudettu 08.01.2022 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77911/kul-mala\\_ville.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77911/kul-mala_ville.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lumoenergia. (2020). Kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmä tuottaa? Noudettu 11.01.2022 osoitteesta <https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ostajan-opas/aurinkosahkojarjestelman-tuotto/>
- Mero, T. (2019). Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelun ja laitevalinnan perusteet. Noudettu 17.01.2022 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/174662/Mero\\_Teemu.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/174662/Mero_Teemu.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Motiva. (2021). Auringosta sähköä. Noudettu 07.01.2022 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)
- Motiva. (2020). Lämpöpumput. Noudettu 12.01.2022 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput)
- Motiva. (2018). Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. Noudettu 17.12.2021 osoitteesta [https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen\\_hankintaopas\\_kunnat\\_ja\\_taloyhtiot.pdf](https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf)

- Niemelä, T. (2020). Lämpöpumppu- ja energiatehokkuusinvestointien kannattavuus ja optimointi asuinkerros- ja rivitalojen peruskorjauksissa. Noudettu 10.02.2022 osoitteesta <https://energianeuvonta.fi/wp-content/uploads/2020/11/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu-ja-energiatehokkuusinvestointien-kannattavuus-ja-optimointi-Tuomo-Niemel%C3%A4-Granlund-Oy.pdf>
- Rakennusfakta. (2012). Helsingin Musiikkitalo. Noudettu 08.12.2021 osoitteesta <https://www.rakennusfakta.fi/musiikkitalo-koy-mannerheimintie-4/project.html>
- Salminen, A. (2017). Aurinkosähköjärjestelmä kerrostalossa. Noudettu 04.01.2022 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130842/Salmi-nen\\_Arttu.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130842/Salmi-nen_Arttu.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Satokari, J. (2018). Taloyhtiön aurinkosähköjärjestelmä. Noudettu 04.01.2022 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147541/Satokari\\_Jussi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147541/Satokari_Jussi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Toshiba. (2021). Ilmalämpöpumpun sähkönkulutus – kuinka paljon lämmittäminen ja viilentäminen maksaa? Noudettu 13.01.2022 osoitteesta <https://www.toshibasuomi.fi/ilmalampopumpun-sahkonkulutus-kuinka-paljon-lammittaminen-ja-viilentaminen-maksaa/>
- Tukes. (2020). Aurinkosähköjärjestelmät. Noudettu 19.12.2021 osoitteesta <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>