

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2018

Arto Tahvanainen

LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI SKANSSIN TORNISSA

– Energiapaalujen käyttö lämmönvarastoinnissa

Arto Tahvanainen

LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI SKANSSIN TORNISSA

– Energiapaalujen käyttö lämmönvarastoinnissa

Tämän opinnäytetyön aihe tuli LÄMPÖÄ-hankeelta ja toimeksiantajana toimi Turun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan lehtori Rauli Lautkankare. Opinnäytetyön tavoitteena on kuvata lämpöenergian varastointia Skanssin Tornissa energiapaalujen avulla sekä sitä, millaisiin ratkaisuihin päädyttiin ja miten projekti toteutettiin. Lisäksi arvioidaan valitun lämpöenergian varastointitekniikan kannattavuutta. Opinnäytetyön tarkoituksena on toimia esimerkkinä muille vastaaville projekteille. Skanssin Tornin kannalta oleellinen tieto saatiin haastatteleamalla LÄMPÖÄ-hankkeessa mukana olevia osapuolia.

Skanssin Tornin kohdalla päädyttiin optimoituun ilmanvaihtoon. Lämpöenergia varastoidaan kesällä hyödyntäen huoneistokohtaisia esilämmitys- ja viilennyspattereita, jotka keräävät lämpöenergiaa kesäisin ilmanvaihtokoneelle tulevasta ilmasta samalla viilentäen huoneistoon tulevaa ilmaa. Energiapaalujen avulla lämpöenergia saadaan siirrettyä lämmönkeruunesteestä maaperään, jota voidaan talvella hyödyntää ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityksessä.

Energiapaalutekniikka on kehittynyt paljon, ja sen käyttö on jossain tapauksissa kannattavampaa verrattuna esimerkiksi energiakaivoon. Kehittämisen varaa on vielä energiapaalujen huollettavuudessa. Energiapaalutekniikan vaikutuksia maaperään ja pohjavesieliöistöön tulee vielä tutkia lisää. Lämpöenergian varastointitekniikat kehittyvät jatkuvasti, ja tulevaisuudessa on odotettavissa läpimurtoja lämpöenergian varastoinnissa.

ASIASANAT:

energiapaalu, lämpöenergia, varastointi, maalämpö

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental engineering

2018 | 44 pages

Arto Tahvanainen

THERMAL ENERGY STORING IN THE SKANSSIN TORNI

– Thermal energy storing via energy piles

The topic for this thesis is part of the LÄMPÖÄ project and was commissioned by Rauli Lautkankare who is a lecturer of civil engineering. The goal of this thesis was to describe thermal storing in Skanssin Tornin via energy piles, the technical solutions that were chosen, how the project was executed and how profitable it was. The purpose for this thesis was to be an example for similar projects. Technical data was obtained from people that were part of the LÄMPÖÄ project.

The chosen solution for Skanssin Tornin was optimized ventilation. In the summer time thermal energy is collected via preheating and cooling heaters that collect thermal energy from the air before ventilation and simultaneously it cools the air entering the apartments. Via energy piles thermal energy moves to the soil that can be utilized during the winter when preheating air that flows to ventilation.

The technology of energy pile has improved, and in some occasions, it is more profitable compared to energy well. However, there are details that need attention, for example improving maintenance. Further research is needed to examine how using energy piles influences soil and the organisms living in the groundwater. The technology of thermal energy storing is developing continuously and in the future, there will probably be some breakthroughs in thermal energy storing.

KEYWORDS:

energy pile, thermal energy, storing, geothermal heating

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 LÄMPÖÄ-HANKE	7
3 LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI MAAHAN	8
3.1 Maalämpö	8
3.2 Varastointi maahan	9
3.3 Varastoinnin vaikutus maaperään	10
4 ENERGIAPAALU	12
4.1 Rakenne	12
4.2 Asennus	14
4.3 Asennuksessa huomioitavaa	15
4.4 Toiminta	17
4.5 Lämmitysteho	18
4.6 Lämmitystehoon vaikuttavat tekijät	18
4.7 Vertaaminen energiakaivoon	19
5 LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI SKANSSIN TORNISSA	21
5.1 Kuvaus kohteesta	21
5.2 Suunniteltu ratkaisu	22
5.3 Valintaperusteet	23
5.4 Mitoitusperusteet	23
5.5 Lämpöenergian varastointi	24
5.6 Lämpöenergian hyödyntäminen	24
5.7 Toteutus	25
5.8 Kohdatut vaikeudet ja muuta huomioitavaa	28
5.9 Lämpöhäviöt ja lämmityksen tarve	29
5.10 Kustannukset	31
6 ENERGIAPAALUJEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT HYÖDYT JA HAASTEET	33
6.1 Hyödyt	33
6.2 Haasteet	34
7 SKANSSIN TORNIN ENERGIAPAALUJEN SEURANTA	37

8 VASTAAVAT HANKKEET	38
8.1 Suomessa	38
8.2 Ulkomailla	39
9 VASTAAVIEN PROJEKTIEEN KANNATTAVUUS	40
10 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	42
LÄHTEET	43

KUVAT

Kuva 1. Lämmön lataus varastoon ja purku myöhempää käyttöä varten

Kuva 2. Teräspankipaalu

Kuva 3. Betonipaalu

Kuva 4. Porapaalu

Kuva 5. Mallinnus tulevasta Skanssin asuinalueesta

Kuva 6. Skanssin Tornin paalutus

Kuva 7. Lämmönkeruuputken asennus betonipaaluun

Kuva 8. Pohjapiirustus energiapaalujen sijainneista

Kuva 9. Skanssin Tornin lämpöhäviöt

TAULUKOT

Taulukko 1. Yksityiskohtainen taulukko eri ratkaisujen vuosikustannuksista

KAAVIOT

Kaavio 1. Kaukolämpöliittymän koko eri ratkaisujen kohdalla

Kaavio 2. Kokonaiskustannukset 20 vuoden ajalta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on kuvata lämpöenergian varastointia Skanssin Tornissa energiapaalujen avulla ja tarkoituksena toimia esimerkkinä muille vastaaville projekteille. Aihe on ajankohtainen erityisesti siksi, että Suomi on sitoutunut parantamaan rakennusten energiatehokkuutta saavuttaakseen nollaenergiatason vuoteen 2020 mennessä.

Energiapaalujen käyttö lämmön varastointiin ja hyödyntämiseen on melko uusi ja innovatiivinen tekniikka, ja siksi se on aiheena mielenkiintoinen. Opinnäytetyö tehtiin LÄMPÖÄ-hankkeelle, ja toimeksiantajana toimi Turun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan lehtori Rauli Lautkankare.

Opinnäytteessä kuvataan erityisesti energiapaaluja lämpöenergian varastointitekniikkana, käytettävän tekniikan valintaperusteita, projektin kannattavuutta, sekä energiapaalujärjestelmän toteuttamista Skanssin Tornin kohdalla. Aluksi käsitellään yleisesti lämmönvarastointia maaperään ja energiapaalun tekniikkaa, jonka jälkeen siirrytään Skanssin kohteen käsittelyyn.

Lähteinä teoriaosuudessa on käytetty erityisesti alan verkkosivuja, opinnäytetöitä ja kirjallisuutta. Toimeksiantoon liittyvää materiaalia on saatu haastattelemalla useita LÄMPÖÄ-hankkeessa mukana olevia osapuolia.

2 LÄMPÖÄ-HANKE

LÄMPÖÄ-hanketta koordinoi Turun ammattikorkeakoulu, ja projektipäällikkönä toimii rakennustekniikan lehtori Rauli Lautkankare. Hankkeen aikana tutkitaan eri lähteistä saatavan lämpöenergian varastointia maaperään ja etsitään keinoja tuottaa energiaa kestävästi ja tehokkaasti. Pilottikohteina toimivat Skanssiin valmistuva asuinrakennus ja Kupittaaalle rakentuva Turun ammattikorkeakoulun kampusrakennus. (Komulainen 2017.) Hanke aloitettiin huhtikuussa 2017, ja se on tarkoitus saada päätökseen vuoden 2019 loppuun mennessä. Hanketta rahoittaa Euroopan aluekehitysrahasto. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

Energiapaalu on hankkeen tutkimuskohde, jonka avulla lämpöenergiaa voidaan varastoida. Hankkeessa tutkitaan lämpöenergian ympärivuotista varastointia energiapaalujen avulla maaperään ja keinoja hyödyntää varastoja lisäenergiälähteenä. LÄMPÖÄ-hanke on erityisen ajankohtainen Turun seudulla, sillä maaperä on savimaista, minkä vuoksi paalutuksia joudutaan muutenkin tekemään. (Komulainen 2017.)

LÄMPÖÄ-hanke tuottaa uutta mittaustietoa maan tai pohjaveden lämpenemisen tai jäätyneen vaikutuksista maaperän ominaisuuksiin ja rakennuksen kosteusoloihin (Komulainen 2017). Maaperän lämpötilan mittaamiseen käytetään armeerrattua kuitukaapelia. Lämpötilan mittaamiseen tarkoitettua kuitukaapelia on asennettuna tai jälkiasennetaan useampaan energiapaaluun ja kahteen tavalliseen paaluun. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018.)

Lämpöenergian varastoinnin hyötyjä havainnollistetaan mobiilisovelluksen ja 3D-animaation avulla, johon yhdistyvät energiankulutustietojen näyttö, seuranta ja hallinta. Tavoitteena on myös laatia lämpöenergian varastoinnin RT-kortti sekä asennusohjeistus. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018; Turun AMK Oy 2018.)

3 LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI MAAHAN

Lämpöenergiaa varastoidaan siksi, että se on uusiutuvan energian laajamittaisen käytön edellytys (Tekes 2017). Lämpöenergian varastoinnin avulla on mahdollisuus saavuttaa säästöjä alentamalla tuotantohuippua. Säästöjä tulee siitä, että osa tarvittavasta lämpöenergiasta varastoidaan tuotantohuipun aikana myöhempää käyttöä varten. Lämpöenergian varastointi voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä rakennuksen alle asennettavia energiapaaluja. (Turku AMK Oy 2018.)

Esimerkiksi aurinkolämpöä on mahdollista varastoida maa- ja kallioperään käyttämällä maalämpöpumppua. Talvella lämmönkeruuputkisto jäähdyttää usein ympäröivää maaperää. Varastoimalla lämpöenergiaa maahan voidaan lämmönkeruupiirin toimintakykyä elvyttää parantaen samalla maalämpöpumpun tehoa ja hyötysudetta. (Motiva Oy 2017.)

Kun maalämpöpumppu on käytössä, maahan varastoitua lämpöenergiaa voidaan hyödyntää vesikiertoisessa lattialämmityksessä, ilmalämmityksessä ja patterilämmityksessä. Maalämpöpumpulla maahan varastoitua lämpöenergiaa voidaan hyödyntää myös käyttöveden lämmityksessä. (Juvonen ym. 2013, 10.) Ilman lämpöpumppua lämpöenergiaa voidaan hyödyntää muun muassa esilämmitys- ja viilennyspatterien avulla ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityksessä (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018).

3.1 Maalämpö

Lämpöenergiaa varastoituu maa- ja kallioperän pintaosiin etupäässä auringon vaikutuksesta, kun taas syvemmällä kallioperässä syntyy geotermistä energiaa radioaktiivisten aineiden hajoamisen seurauksena. Maantieteellinen sijainti vaikuttaa maa- ja kallioperän pintaosien vuotaiseen keskilämpötilaan, joka Suomessa on noin kaksi astetta korkeampi vuotaiseen ilman keskilämpötilaan verrattuna. Lämpötila voi olla myös useita asteita korkeampi rakennetuilla alueilla kuin esimerkiksi luonnonvaraisessa metsässä. (Juvonen ym. 2013, 7.)

Vaikka maanpinnan keskilämpötila muuttuu ilman lämpötilan mukaan, vakiintuu Etelä-Suomessa lämpötila 5–6 asteeseen noin 14–15 metrin syvyydessä. Syvemmällä kallioperässä geotermisen energian seurauksena lämpötila nousee keskimäärin 0,5–1 astetta sataa metriä kohden. Täten Suomen eteläosissa kallioperän lämpötila 300 metrin syvyydessä on arviolta 6,5–9 °C. (Juvonen ym. 2013, 7.)

3.2 Varastointi maahan

Lämmön varastoimisessa maahan on kyse maan lämmittämisestä latausvaiheessa ja viilennyksestä purkuvaiheessa. Yleisimmin lämpöenergiaa varastoidaan maahan porareikiä tai putkistoja hyödyntäen. Ne sijoitetaan pystysuoraan, vaakasuoraan tai tiettyyn tarkoin määrättyyn kulmaan. (Ojala 2014, 14.)

Maahan varastoitava lämpö sopii pääasiassa kausivarastointiin. Kun lämpöenergiaa varastoidaan vain lyhytaikaisesti, tarvitaan varastoon esimerkiksi puskurivarastona toimiva terässäiliö. Maahan varastoitava lämpöenergia tarvitsee suuremman tilavuuden veteen verrattuna, koska maan lämpökapasiteetti on pienempi. Maata on toisaalta tilavuudeltaan paljon, mikä tekee siitä houkuttelevan keinon varastoida lämpöenergiaa. (Ojala 2014, 14.)

Puhuttaessa korkeiden lämpötilojen varastoista tyypillisen tehokkuuden saavuttaminen voi kestää pitkänkin aikaa, kunnes maa saavuttaa tavoitellun varastointilämpötilan. Varastointilämpötilan saavuttaminen kestää arviolta 3–5 vuotta. (Ojala 2014, 14.)

Lämpöenergiaa voidaan kerätä muun muassa aurinkokeräimillä tai kiinteistön omilla rakenteilla, kunhan ne on suunniteltu lämmön keruu huomioiden. Rakenteiksi sopivat kiinteistön katto-, seinä- ja asfalttipinnat. Lisäksi kerääminen onnistuu esimerkiksi ilmanvaihdosta, teollisuuden prosesseista tai serveritiloista. Tarkoituksena on hyödyntää erilaisia hukka- tai ilmaislämmön lähteitä myöhempänä ajankohtana. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018.)

Se, mihin lämpöenergiaa kannattaa varastoida, riippuu paljolti kohteesta. Lämpöteknisiltä ominaisuuksiltaan lämpöenergian varastoiminen kallioperään on parempi vaihtoehto verrattuna maaperään. Kallion lämpöteknisissä ominaisuuksissa on kuitenkin myös eroavaisuuksia. Maaperässä lämmön varastoimiseen soveltuu erityisesti hienorakenteiset savikerrostumat. Savikerroksessa veden liike on vähäistä, minkä ansiosta pohjaveden liikkeellä ei ole kovin merkittävää roolia lämmön kulkeutumisessa muualle. (T. Arola, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

Karkearakenteiset hiekka- ja sorakerrostumat eivät ole myöskään huonoja vaihtoehtoja lämmön varastoimiseen, mutta silloin lämpö varastoidaan pohjaveteen, jota pumpataan maasta ja palautetaan takaisin. Rakenteeltaan karkearakenteinen ja kuiva maaperä soveltuu huonosti lämmön varastoimiseen. (T. Arola, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

Maaperässä oleva vesi vaikuttaa pääasiassa vain siihen, miten lämmön varastointi kannattaa toteuttaa. Energiapaaluissa lämpö siirtyy talteen johtumalla ja pohjanveden virtaus voi aiheuttaa, että maahan varastoitu energia kulkeutuu pohjavesivirtauksien mukana muualle aiheuttaen sen, ettei lämpöä saada myöhemmin hyödynnettäväksi. Pohjaveteen varastoitu lämpö voidaan kuitenkin ottaa talteen pumppaamalla, ja kun tarvittava lämpö on saatu talteen, vesi pumpataan takaisin maahan. (T. Arola, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

3.3 Varastoinnin vaikutus maaperään

Lämpöenergian lataaminen maaperään tai kallioon nostaa vuosien mittaan maan keskilämpötilaa. Se, kuinka paljon maa- tai kallioperä voi lämmetä, riippuu täysin siitä, kuinka paljon lämpöä varastoidaan, ja sen myötä lämmön nousulle ei ole varsinaista ylärajaa. (T. Arola, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

Maaperän ominaisuudet voivat muuttua, kun maaperään ladataan liikaa lämpöä. Erityisesti saven koostumus voi muuttua täysin maaperän lämpötilan noustessa liian korkealle ja johtaa esimerkiksi painumien syntymiseen, mikä ei ole suotavaa asutuilla alueilla. (T. Arola, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

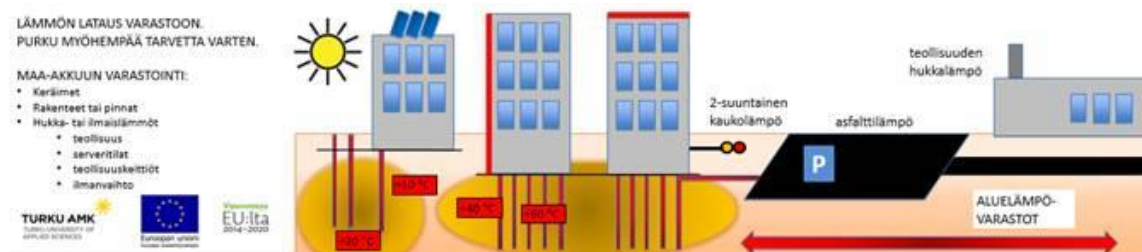
Ennen kuin lämmön varastointia alueella aletaan toteuttamaan, olisi hyvä tehdä simulointi kyseisestä kohteesta ja tutkia, mitä geologisia vaikutuksia maan lämmittämisellä voisi olla. Lämmittäminen vaikuttaa mahdollisesti myös maaperään tai pohjavesieliöistöön. Vaikutuksia maaperään tai eliöistöön on toistaiseksi kuitenkin tutkittu vähän. (T. Arola, henkilökohtainen tiedonanto 2.3.2018.)

4 ENERGIAPAALU

Paalutus on erikokoisissa rakennuksissa käytetty perustamistapa. Paalujen tarkoitus on tukea rakennusta altpäin ja näin estää rakennuksen vajoaminen. Siksi paaluja käytetään erityisesti rakennuksissa, jotka rakennetaan pehmeään maaperään päälle. (Lehikoinen 2014.)

Energiapaalu saa nimensä paaluperustuksiin asennetusta lämmönkeruuputkistosta. Energiapaalun avulla lämpöenergiaa voidaan varastoida maahan. Varastoitua energiaa voidaan hyödyntää lämmityskaudella lämmityksessä sekä jäähdytyskaudella viilennyksessä. (Aurime Oy 2018.)

Lämpöenergiaa voidaan ottaa talteen esimerkiksi aurinkokeräimiä, rakenteiden pintoja, hukka- tai ilmaislämpöä hyödyntäen (kuva 1). Teollisuuden prosesseissa syntyy vuositasolla runsaasti hukkalämpöä, samoin kuin rakennusten ilmanvaihdon kautta. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)



Kuva 1. Lämmön lataus varastoon ja purku myöhempää käyttöä varten. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

4.1 Rakenne

Paaluina voidaan käyttää muun muassa teräsputki- (kuva 2) tai betonipaaluja (kuva 3). Kumpiakin paaluja on mahdollisuus jatkaa. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.) Varusteet ovat samat lukuun ottamatta lämmönkeruuputkiston läpiviennin varten tarvittavaa reikää paaluhatussa tai betonipaaluissa. Paalun minimikoko on halkaisijaltaan 115 mm. Teräspaaluissa käytettävän paaluhatus läpiviennin täytyy olla samankokoinen aktivoitavan paalun kanssa.

(R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018; Uponor Suomi Oy 2015.)
Lämmönkeruujärjestelmä koostuu lämmönkeruuputkista, liitososista, jakotu-
keista tai jakokaivoista riippuen siitä, mihin ne kerätään yhteen (J. Brandt, henki-
lökohtainen tiedonanto 19.1.2018).



Kuva 2. Teräsputkipaalu (Uponor Suomi Oy 2015).



Kuva 3. Betonipaalu (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

4.2 Asennus

Energiapaalun asennus aloitetaan lyömällä tarvittava määrä teräsputki- tai betonipaaluja maahan (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018). Teräsputkipaalut voidaan asentaa myös poraamalla tilanteen sitä vaatiessa, mutta lyöntipaalut ovat kuitenkin eniten käytetty ratkaisu, jossa paalut lyödään maahan paalutuskonetta käyttäen (Rytmi Rakennus Oy 2018).

Erytisesti savi- ja pehmeikköalueilla lyötävät teräsputki- ja betonipaalut ovat paras ja edullisin vaihtoehto kantavan maakerroksen ollessa syvällä (Mantila 2018; Rakentaja.fi 2018). Lyötävät betonipaalut vaativat kuitenkin sen, että paalujen asentaminen lyömällä on mahdollista (Rakentaja.fi 2018).

Poraamalla asennettavat erikoispaalut sopivat vaikeisiin pohja- ja ympäristöolosuhteisiin. Porattavia paaluja käytetään kallion ollessa lähellä maanpintaa tai kun maaperässä on kiviä ja lohkareita, jotka vaikeuttavat paalujen asennusta lyömällä. (Rakentaja.fi 2018.)



Kuva 4. Porapaalu (P. Paju, henkilökohtainen tiedonanto 15.4.2018).

Energiapaalujen asentamiselle ei ole minimisyvyyttä, mutta lämmityskäyttöön asennettavien paalujen suositeltu minimisyvyys on 10–12 metriä (Aurime Oy 2018).

Paalutuksen jälkeen paaluissa oleviin reikiin asennetaan lämmönkeruuputkisto. Lämmönkeruuputkisto painotetaan alapäästä, jonka tarkoitus on estää ylösnousu paalua betonoitaessa, sillä betoni aiheuttaa lämmönkeruuputkistoon nostetta. (Rakentaja.fi 2013.) Lämmönkeruuputkistoon jätetään varaa vaakaputkiston asentamista varten, koska anturat valetaan betonilla. Lämmönkeruuputkien pitäisi ylettyä 1–1,5 metriä anturoiden yläpuolelle, jotta anturoiden valun jälkeen putkien jatkotyöstö onnistuu vaivattomasti. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.) Putket voidaan kiinnittää myös raudoitukseen ennen raudoituksen asentamista (Uponor Suomi Oy 2018).

Paalut täytetään juotosbetonilla rakennusliikkeen toimesta, ja samalla anturat betonoidaan. Anturoiden betonoinnin jälkeen tiedossa tulisi olla seuraavaksi reitit, joita pitkin vaakaputkistoa lähdetään viemään. Betonoinnin jälkeen asennetaan vaakaputkisto, jonka asennus aloitetaan katkaisemalla tarvittava määrä ja pituus putkea paalujen välille ja hitsataan muovihitsausosat toisiinsa kiinni. Tämän jälkeen vaakaputkisto johdetaan suunniteltuja reittejä pitkin jakotukille, johon kaikki energiapaalujen piirit yhdistetään. Ammattilaisilta työaikaa lämmönkeruuputkiston asennukseen menee arviolta kolme päivää. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

4.3 Asennuksessa huomioitavaa

Energiapaalujen suunnittelua varten tarvitaan seuraavat asiat (Uponor Suomi Oy 2015):

- kohteen energialaskelma
- paalutuskuva ja siihen liittyvät detail-kuvat
- rakennekuvat, jotta anturoiden läpiviennit voidaan suunnitella
- paalupöytäkirja, josta selviää todelliset paalupituudet

- työmaan asennustekniset ja aikataulutukseen liittyvät asiakirjat
- varaukset järjestelmän jakotukkikaapeille
- runkoputkistojen tilavaraukset
- läpiviennit paaluhattuihin, jotta lämmönkeruuputkistot saadaan asennettua

Energiapaalujärjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi asuinkerrostaloissa, toimistorakennuksissa ja teollisuushalleissa, kunhan kohteessa käytetään perustamistapana paalutusta. Erityyppisten rakennusten käyttökelpoisuus tulisi selvittää, ja selvitys tulisi tehdä analyyseillä, testikentille asennetuilla koepaaluilla ja simuloinnilla. Hyödyntämisen kohteeksi sopisivat esimerkiksi lattialämmitys ja -viilenys, jotka ovat matalalämpötilaan perustuvia lämmönjakotapoja. Energiapaalut sopivat käytettäväksi myös aluerakentamisessa. (Grönman 2015.)

Energiapaalujen suunnitteluvaiheessa pitää ottaa huomioon, etteivät paalujen kanto-ominaisuudet heikkene lämpöenergian talteenoton myötä. Energiapaalujen käyttö on perusteltua pääasiassa kohteissa, joissa on muutenkin tarve paalutukselle. Tällöin energiapaalujen hyöty voidaan ottaa huomioon esirakentamisvaiheessa, ja näin saadaan vähennettyä investointikustannuksia. (Ojala 2014, 19.) Kohteessa, jossa ei ole tarvetta paalutukselle, lämpöenergiaa voidaan varastoida hyödyntämällä porareikiä (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018).

Teräspaalujen käyttö energiapaaluina on kannattavaa lämpöenergian keräämiseen paalusyvyyden ollessa 15 metristä ylöspäin. Lyhyempiä paaluja voidaan käyttää hybridiratkaisussa, jossa teräspaalujen ohella maaenergian keräämiseen käytetään kalliolämpökaivoja. (Rautaruukki Oyj 2011.) Paalut olisi hyvä asentaa tarpeeksi etäälle toisistaan. Suositeltu etäisyys olisi vähintään 3,5 metriä. (Uponor Suomi Oy 2015.)

Teräspaalutyypin valitaan perustamisolosuhteiden mukaan ja lämmönkeräintyyppi valitun paalun mukaan. Eri valintoihin vaikuttavat rinnakkaiset energianlähteet, kuinka iso osa energiasta voidaan kattaa energiapaaluja hyödyntäen, ja rakennuksen muoto sekä kerrosluku. Paaluja on rakennustilavuutta kohden

enemmän käytettävissä matalissa rakennuksissa. Paras hyöty energiapaaluista saadaan suunnittelemalla rakennus sopivaksi lämpöenergian keräämiseen maaperästä. (Rautaruukki Oyj 2011.)

Mitoituksen kanssa on oltava tarkkana, sillä huonosti mitoitettu energiapaalujärjestelmä voi tulla kalliiksi. Kohteesta on siksi tehtävä simulointi, jotta vältetään arvailulta. Mitoituksessa tulisi olla erityisesti tarkkana siinä, että maasta ei oteta liikaa lämpöenergiaa, koska maa energiapaalujen ympärillä voi jäätyä. Pahimmassa tapauksessa maa jäätyy paalun alapäähän asti. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Piirien välisten painehäviöiden olisi hyvä olla yhtä suuret. Tällöin piirejä mitoittaessa pitää ottaa huomioon, että voidaan joutua tekemään ylimääräinen vaakaputkikaari. Olisi hyvä pyrkiä mitoittamaan putket kerralla oikein ja noudattamaan suunnitelmaa. Oikein mitoitetuilla putkilla vältetään linjasäätöventtiileiltä. Linjasäätöventtiilin avulla voidaan säätää putkissa kulkevaa virtaamaa, mutta oikein mitoitetulla putkistolla sellaiselle ei ole tarvetta. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

4.4 Toiminta

Energiapaalun sisällä kulkee happidiffuusiosuojattua muoviputkea, jonka kautta lämpöenergia kerätään maasta käyttämällä jäätymätöntä lämmönkeruunestettä (Lehikoinen 2014, 8). Lämmönkeruunesteenä käytetään veden ja eri aineiden muodostamaa liuosta, joiden tarkoituksena on estää veden jäätyminen alle nollan asteen lämpötilassa. Yleisimmin käytetty aine on tällä hetkellä etanoli, mutta käytössä on myös betaiinia ja kaliumformiaattia. Mikään näistä ei ole ihmiselle tai ympäristölle haitallista. (Juvonen 2013, 46.)

Vaakaputkituksen avulla päästään tiettyyn kohtaan, johon paalujen lämmönkeruuputkistot kerätään yhteen. Tätä keräyspistettä kutsutaan *jakotukiksi*, jossa on yksi jakotukki meno- ja paluusuuntaan. Jakotukista jaetaan lämmönkeruuneste haluttuun paikkaan, esimerkiksi esilämmityspattereille tai maalämpöpumpulle. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Lämmönkeruuputkistossa kiertävä lämmönkeruuneste lämpenee lämmityskaudella ja viilenee viilennyskaudella. Esimerkiksi lämpöpumpun avulla liuoksen lämpötilan muutos hyödynnetään rakennuksen lämmityksessä ja viilennyksessä, mutta energiapaaluja voidaan hyödyntää viilennyksessä ilman lämpöpumppua. Lämmityksessä hyödynnetään kesän aikana maahan varastoitunutta lämpöenergiaa ja itse maassa varastoituneena olevaa geotermistä energiaa. Jäähdytyksessä painvastoin hyödynnetään maan luontaisesti matalaa energiaa. (Rakentaja.fi 2018.)

4.5 Lämmitysteho

Karkeasti ottaen saatava tehokkuus on suoraa verrannollinen ympäröivän maan ja liuoksen lämpötilaeroon. Erityisesti lämpöpumppusovelluksissa hyöty laskee jyrkästi, kun lämpötila laskee selvästi alle nollan. (Tompuri 2010.)

Uponorin mukaan energiapaaluilla olisi mahdollisuus yltää 40–60 W/m huipputehoon, kun taas keskimääräisen lämpöenergian saanti metriltä olisi 60 kWh (Uponor Suomi Oy 2015). Aurimen asentamista Elli-energiapaaluista energiaa olisi mahdollisuus saada parhaimmillaan 30 W/m (Aurime Oy 2018).

4.6 Lämmitystehoon vaikuttavat tekijät

Energiapaaluista saatavaan lämmitystehoon vaikuttaa se, kuinka paljon maata pystytään lataamaan. Maahan pystytään lataamaan paljonkin lämpöä, mutta lämpöenergia kulkeutuu, johtuu ja haihtuu jatkuvasti ympäristöön. Riippuu paljolti kohteesta, kuinka paljon maata voidaan ladata. Esimerkiksi kohteissa, joissa on keskitetty ilmanvaihto, voidaan ilmanvaihdon yhteyteen asentaa jätelämpöpatteri, jolla kerätään energiaa talteen. Tätä energiaa voidaan käyttää myös maan lataamiseen. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Tuotantopotentiaaliin vaikuttavat muun muassa paalujen pituus, määrä, maaperän koostumus, pohjaveden korkeus ja rakennuksen lämmitettävä pinta-ala (Au-

rime Oy 2018). Lisäksi merkittävä vaikutustekijä on sijainti pohjois- ja eteläsuunnassa. Maaperässä olevan lämpöenergian määrä pienenee sitä mukaa, mitä pohjoisemmaksi mennään. (Lehikoinen 2014, 15.) Energiapaaluteknologiaa harmitessa tulisi ottaa huomioon rakennuksen energiankulutuksen profiili, kuten lämmityksen ja jäähdytyksen jakauma (Oulun kaupunki 2014).

Maaperään on ladattava enemmän energiaa kuin sieltä on tarkoitus ottaa seuraavan purkukauden aikana. Energiavaraston lämpötilaa voidaan nostaa muun muassa hukkaenergian avulla sen verran, että lämpöenergian määrä ylittää seuraavalla purkukaudella käytetyn lämpöenergian määrän. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Parhaillaan pyritään löytämään vastausta sille, kuinka korkealle maaperän lämpötila voi nousta. Maaperän lämpeneminen vaikuttaa energiapaalujen tuottavuuteen, koska vuosien mittaan lämpöenergiaa on enemmän tarjolla verrattuna alkutilanteeseen. Tämän vuoksi on perusteltua mitoittaa energiapaalujärjestelmä tarkoin, jotta vältetään ylimitoitukselta. Tarkoin mitoitettu järjestelmä tuottaa paremman hyötysuhteen. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Tulevaisuudessa vastaavien projektien kohdalla käytössä on entistä tarkempaa dataa varaston lämpötilojen kehityksestä, jotta varaston koko pystytään mitoittamaan tarkemmin. Lämmönkeruujärjestelmällä on myös rajansa, kuinka lämmintä nestettä se voi hyödyntää, mutta maaperän lämpötila tuskin nousee riittävästi aiheuttaakseen kyseisen ongelman. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

4.7 Vertaaminen energiakaivoon

Energiapaalun toiminta ei eroa juurikaan perustoiminnoiltaan maalämpökaivosta tai maalämmön vaakakeruuputkista. Energiakaivot ovat rakennuksen ulkopuolelle tehtyjä porakaivoja, kun taas energiapaalut ovat talon alla olevia rakenteita. Energiapaalussa olevan reiän koko on myös pienempi, ja ne täytetään lopuksi betonilla. Energiakaivoja on näin myös helpompi huoltaa. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Energiapaaluun asennettavan lämmönkeruuputkiston pituus on energiakaivoon verrattuna lyhyempi ja niitä on määrällisesti enemmän. Energiapaalujen alkukustannukset ovat pienemmät, sillä porakaivojen poraamiselle ei ole tarvetta. Energiakaivon lämpöhäviöt ovat suuremmat, sillä energiapaaluista poiketen energiakaivolla ei ole rakennusta estämissä lämpöhäviöiden johtumista ylöspäin. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Oikein suunniteltuna energiapaalu on myös vuosikustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto. Energiapaalullisen maalämpöjärjestelmän maalämpöpumpun hyötysuhde (COP) on tavanomaisissa maalämpöjärjestelmissä 3–4 välillä. Kohteissa, missä hyödynnetään energiapaaluja ja ladataan kesä kautena lämpöä maaperään, hyötysuhde voi olla välillä 5–6. Suurempi COP-luku johtuu siitä, että energiapaalut hyödyntävät korkeampaa maassa olevaa lämpötilaa. Sähkön kulutus myös pienenee luvun suuretessa. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

5 LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI SKANSSIN TORNISSA

5.1 Kuvaus kohteesta

Torni sijaitsee Turun Skanssin kaupungin osassa osoitteessa Skanssinkatu 22. Se on Skanssin kauppakeskuksen välittömässä läheisyydessä Turun ja Kaarinan kuntien rajalla, noin viiden kilometrin päässä Turun keskustasta. Skanssin Torni on yksi LÄMPÖÄ-hankkeen pilottikohteista ja osa alueelle suunnitella olevaa uutta ekologista ja energiatehokasta kaupunginosaa. (YH Kodit Oy 2018.)

Tornin kerrosluku on 10, ja pinta-ala on 3 450 krs-m², 2 917 as-m² ja 13 900 m³ (L. Harmoinen, henkilökohtainen tiedonanto 24.4.2018). Skanssin Tornin päätoiteuttajat ovat rakennuttaja YH Kodit Oy ja rakentaja Pohjolan Rakennus Oy Länsi-Suomi. Hankkeeseen osallistuvat myös Turun ammattikorkeakoulu ja Geologian tutkimuskeskus. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2018.)

Alueelle rakennetaan omistusasuntoja sekä vuokra-asuntoja ja suunnitteilla on noin 600 asunnon asuinkortteli. Tulevaisuudessa asuinalueella tulee olemaan tilaa noin 8 000 asukkaalle. Kattavien kaupan alan palveluiden lisäksi alueelle toteutetaan esimerkiksi päiväkotia sekä koulukeskus. (YH Kodit Oy 2018.)



Kuva 5. Mallinnus tulevasta Skanssin asuinalueesta (YH Kodit Oy 2018).

5.2 Suunniteltu ratkaisu

Skanssin Torniin on suunniteltu optimoitu ilmanvaihto, johon sisältyy energiapaa-
lut, huoneistokohtaiset esilämmitys- ja viilennyspatterit ilmanvaihtokoneille, ilmaa
veteen sekoittavat Mora-suihkupaketit, 70 kW:n kaukolämpöliittymä ja muita
energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä (N. Salomaa, henkilökohtainen tie-
donanto 16.2.2018).

Esilämmitys- ja viilennyspattereita on tarkoitus asentaa yhteensä 71 kappaletta,
yksi jokaista huoneiston ilmanvaihtokonetta kohden (N. Salomaa, henkilökohtai-
nen tiedonanto 16.2.2018).

Mora-suihkupaketit ovat myös merkittävä toimenpide muiden toimenpiteiden
ohessa, niillä lämpöenergian määrää ja veden kulutusta on saatu pienennettyä.
Ne suihkuttavat ilmaa suihkuveteen, jota suihkun käyttäjä tuskin huomaa. Pyrki-
myksenä on ollut säästää kuluissa siten, että asumismukavuuteen ei vaikuteta.
(N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Alun perin kohteeseen oli tulossa puhdas kaukolämpöliittymä, jonka koko olisi
ollut 565 kW, mutta uuden ratkaisun avulla kaukolämpöliittymän kokoa oli saatu
laskettua 70 kilowattiin (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018).

5.3 Valintaperusteet

Merkittävin syy valintaan oli kustannustehokkuus verrattuna puhtaaseen kaukolämpöön. NollaE esitti myös muita kokonaiskustannuksiltaan pienempiä ja käyttökustannukset sisältäviä ratkaisuja. Alkuinvestoinnit olivat kuitenkin muiden ratkaisujen kohdalla liian suuria Skanssin kohteen ollessa ARA-kohde. ARA-kohteille on annettu tietty määrä rahaa alkuinvestointeja varten. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Skanssin Torniin oli alun perinkin tulossa paalutus, sillä rakennuksen alla on savea 15–20 metriä. Tämän vuoksi paalujen käyttö osana energijärjestelmää oli perusteltua. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

Asumismukavuudesta ei jouduttu tinkimään, ja näin ollen lämpötila huoneistoissa on sama verrattuna alkuperäiseen ratkaisuun. Asumismukavuus oikeastaan paranee ilmaisen viilennyksen myötä, ja siitä on hyötyä erityisesti kesällä. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.) Alkuperäisen suunnitelman mukaan viilennys ei olisi kuulunut mukaan (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018).

5.4 Mitoitusperusteet

Mitoitukseen vaikuttaa paljolti se, mihin lämpöä käytetään. Skanssin Tornista tehtiin simulointi, jonka avulla saatiin tietoa siitä, kuinka paljon ja milloin rakennus tarvitsee energiaa. Skanssin Tornin kaikki tekniset yksityiskohdat syötettiin simulointiohjelmaan, joka kertoi kaikki kilowattitunnit, mihin rakennus kuluttaa lämpöenergiaa kunakin hetkenä vuoden aikana ja paljonko se tarvitsee kylmää. Mitoituksen avulla saatiin tieto, kuinka paljon kilowattitunteja tarvitaan vuoden aikana, ja ne hetket vuodesta, milloin lämpö- ja viilennysenergiaa tarvitaan eniten. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.) Etelä-Suomessa mitoituslämpötila lämmitykselle on -26 astetta. (Ilmatieteen laitos 2018.)

NollaE-simulointiohjelma simuloi lämpöenergian käyttäytymistä SFS-EN 13790 -standardin mukaisesti. Ohjelmisto simuloi lämmön käyttäytymistä rakennuksessa läpi vuoden pohjautuen paikallissäästä ja rakennuksen teknisistä yksityiskohdista saataviin tietoihin. Ohjelmisto simuloi myös monien erilaisten energiaratkaisujen elinkaaren aikaisia kustannuksia, mikä auttaa löytämään parhaan mahdollisen energiaratkaisun. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

5.5 Lämpöenergian varastointi

Lämpöenergiaa ladataan maahan viilennyskaudella. Lämpöenergia otetaan ilmanvaihtokoneelle tulevasta ilmasta esilämmitys- ja viilennyspatterin avulla lämmönkeruunesteeseen. Lämmönkeruunesteenä on käytetty veden ja etanolin sekoitusta. Veteen on sekoitettu 92-prosenttista etanolia, jonka osuus seoksessa on 28 %. Lämmönkeruuneste johdetaan paluupuolen jakotukin kautta energia-paaluun, jonka kautta lämmönkeruunesteeseen varastoitunut lämpöenergia johdetaan maaperään. Lämpöenergian keruu prosessin ollessa käynnissä ilmanvaihtokoneelle tulevaa ilmaa viilennetään. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

5.6 Lämpöenergian hyödyntäminen

Maaperään varastoitua energiaa käytetään lämmityskaudella ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmittämiseen. Lämpöenergia siirtyy lämmönkeruunesteestä esilämmitys- ja viilennyspatterin kautta ilmanvaihtokoneelle tulevaan ilmaan. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Kylmä ulkoilma voi aiheuttaa ilmanvaihtokoneessa olevien lämmöntalteenotto-kennojen huurtumisen. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmittämisellä vältetään lämmöntalteenotto-kennojen huurtumiselta. Normaalisti esilämmitys tehdään sähkövastuksella, mutta Skanssin Tornissa maahan varastoidulla lämpöenergialla. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa -26 astetta esilämmityksen avulla ilmanvaihtokoneelle tuleva ilma saadaan lämpenemään nollian asteeseen maaperän lämpötilan ollessa neljä astetta. Ilmanvaihdon kautta poistuvalla jäteilmalla esilämmitetyn ilman lämpötilaa saadaan nostettua lisää. Ilmanvaihtokoneessa olevan lämmöntalteenottokennon avulla nolli-asteinen ilma saadaan lämmitettyä jäteilman avulla +18 asteeseen. Loppu lämpöenergia saadaan nostettua kaukolämmön avulla haluttuun +21 asteeseen. Tämän kaltaisella ratkaisulla vältytään suuremmilta lämpöhäviöiltä ilmanvaihdon kautta. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

5.7 Toteutus

Kohteeseen lyötiin aluksi betonisia energiapaaluja yhteensä 28 kappaletta noin 15–16 metrin syvyyteen. NollaE Oy- ja HTM-yhtiöt kehittivät yhdessä betonipaalun, jonka tarkoitus on toimia energiapaaluna. Nimenomaiseen käyttöön suunniteltu betonipaalu suunniteltiin siten, että sillä pystytään keräämään energiaa vastaavasti kuin teräspaalulla. Betonipaaluihin asennettiin elementtitehtaalla valuvaiheessa 100 millimetriä halkaisijaltaan oleva galvanoitu ilmanvaihtoputki. Putki muodostaa reiän paalun keskelle. Reikä mahdollistaa lämmönkeruuputkiston asentamisen paaluihin. Betonipaalujen käyttöön vaikuttavia tekijöitä olivat myös niiden halvempi hinta, ja niitä oli tarkoitus käyttää kohteessa muutenkin. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018; R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017)



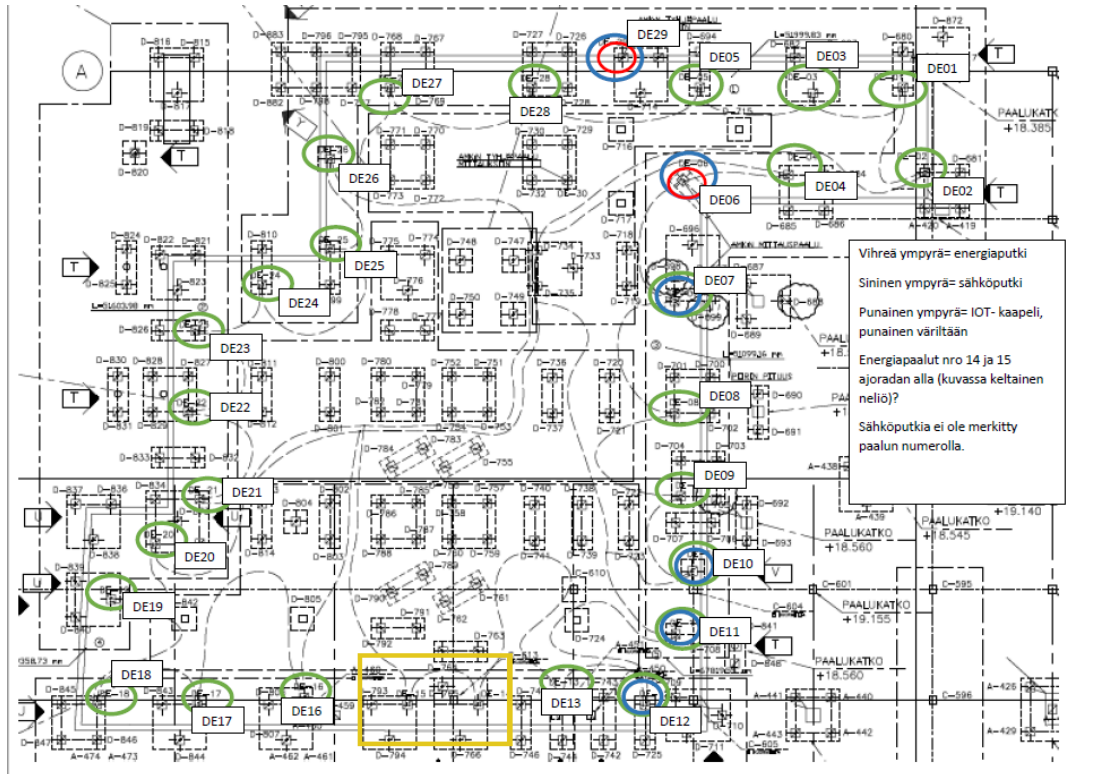
Kuva 6. Skanssin Tornin paalutus (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

Paaluihin asennettiin lämmönkeruuputket ennen anturoiden raudoitushäkkien ja muottien asennusta. Lämmönkeruuputkiin jätettiin metri varaa paalujen yläpuolelle, ja niitä jatkettiin muovihitsaamalla kulmat. Ennen varsinaista anturabetonointia energiapaaluissa olevat reiät valettiin juotosbetonilla. Juotosbetonoinnista aiheutui 8 tuntia lisätyötä perustusurakoitsijalle. Raakatäytön jälkeen ennen kapillaaritäyttöä alapohjaan asennettiin kahden työpäivän aikana runkopiirit. Kolmas työpäivä kului koeponnistusta tehdessä, ja sen jälkeen kapillaaritäyttö päästiin aloittamaan. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)



Kuva 7. Lämmönkeruuputken asennus betonipaaluun (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2018).

Energiapaalut sijoitettiin rakennuksen reunoille (Kuva 7). Energiapaalujen sijoitus on kohdekohtaista. Energiapaalut on jaettu piireihin siten, että kolmessa piirissä on kuusi ja kahdessa viisi energiapaalua. Piirit ovat keskenään rinnan, josta ne on yhdistetty jakotukkiin. Jakotukkeja asennettiin yhteensä kaksi, yksi paluu- ja toinen menopuolelle. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018, N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)



Kuva 8. Pohjapiirustus energiapaalujen sijainneista (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

5.8 Kohdatut vaikeudet ja muuta huomioitavaa

Betonipaalujen käyttö energiapaaluina aiheutti kiireen, sillä paalut täytyi tilata energiapaalujen lämmönkeruuputkistoa varten erikseen reiällisinä ja niiden toimitusaika oli pitkä. Kun lämmönkeruuputkisto oli saatu työnnettyä reikään, betonipaaluissa olevien reikien täyttö juotosbetonilla aiheutti nostetta lämmönkeruuputkistoon ja tämän vuoksi lämmönkeruuputkistoon laskettiin vettä, jotta putket saatiin pysymään betonipaaluissa olevan reiän pohjalla. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018.) Putkessa olevaa vettä ei tarvittu poistaa, sillä se otettiin myöhemmin huomioon lämmönkeruunesteen sekoitussuhteessa (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018).

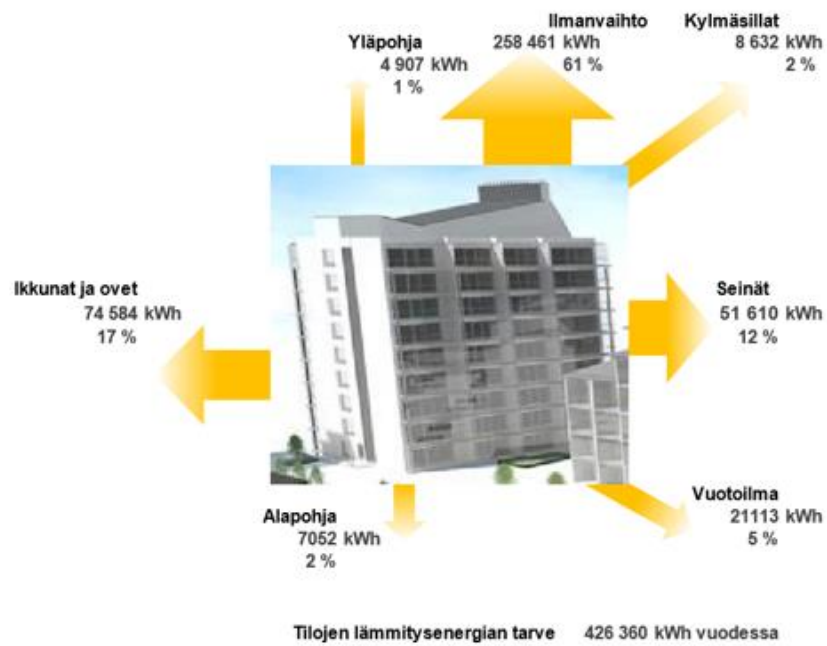
Yksi lämmönkeruuputki oli katkaistu liian lyhyeksi siinä uskossa, että se oli saatu tarvittavaan syvyyteen, mutta myöhemmin huomattiin sen jääneen viisi metriä vajaaksi (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018). Tämä johtui siitä,

että energiapaaluja asennettaessa yksi betonipaalu oli katkennut, koska energia-paalun liitoskohdat eivät olleet osuneet kohdalleen. Asian johdosta oli jouduttu olemaan yhteydessä paalun valmistajaan ja varmistamaan, että paalujen liitoskohdat osuvat jatkossa kohdakkain. Lämmönkeruuputki on tärkeää saada tarpeeksi syväälle paaluun, sillä katkennut paalu ei mahdollista täysmittaisen lämmönkeruuputken asentamista. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Asennuksessa oli huomioitava myös jakotukin paikka. Skanssin Tornissa se on osittain anturan vieressä ja osittain anturan päällä. Osa piireistä tulee suoraan pystyyn jakotukille ja osa tulee anturan päältä. Anturan päältä tulevat jouduttiin kääntämään pystyyn, minkä vuoksi tarvittiin ylimääräisiä yhdeksänkymmenen asteen kulmia, jotta piirit saatiin käännettyä nätisti jakotukille. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

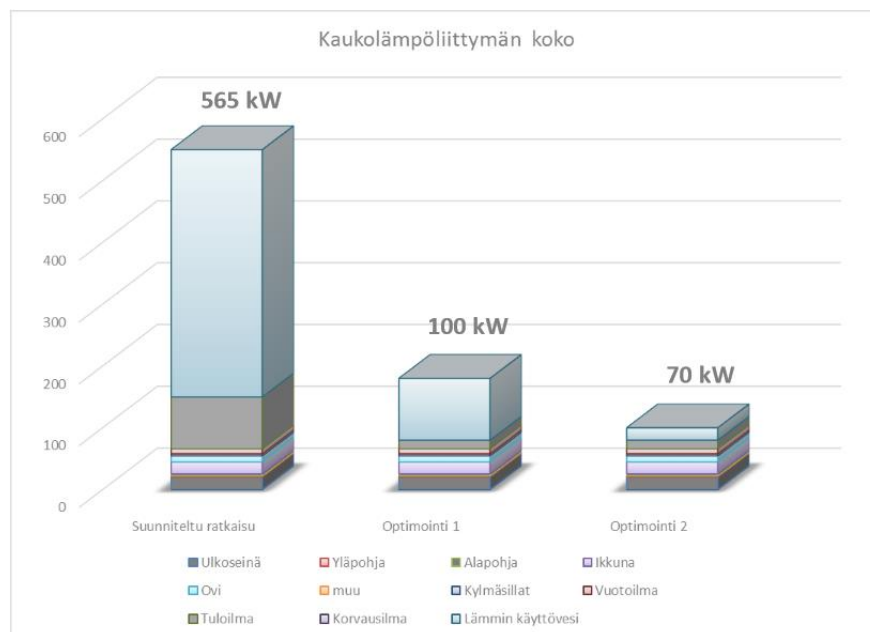
5.9 Lämpöhäviöt ja lämmityksen tarve

Lämpöhäviöitä aiheuttavat rakennuksen yläpohja, alapohja, seinät, ilmanvaihto, kylmäsillat, vuotoilma, ikkunat ja ovet. Skanssin Tornissa lämpöhäviöitä syntyy energiakonsulttitoimisto NollaE:n laskelmien mukaan arviolta 426 360 kWh vuodessa. Eniten lämpöhäviöitä aiheuttaa ilmanvaihto (258 461kWh), seuraavaksi eniten ikkunat, ovet ja seinät (Yht. 126 194kWh). Kuvassa 9 havainnollistetaan lämpöhäviöiden määrää ja alkuperää. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)



Kuva 9. Skanssin Tornin lämpöhäviöt (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

Kaaviossa 1 optimointi 1- ja optimointi 2 -pylväät kuvaavat kaukolämpöliittymän kokoa eri ratkaisujen kohdalla. Optimointi 2 kuvaa optimoitua ilmanvaihtoa. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

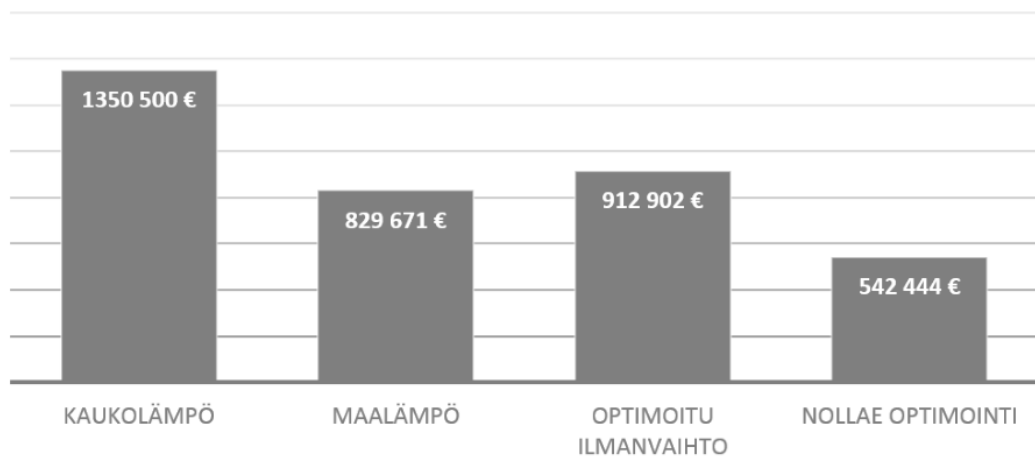


Kaavio 1. Kaukolämpöliittymän koko eri ratkaisujen kohdalla (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

5.10 Kustannukset

Kaaviossa 2 näkyy eri investointien kokonaiskustannukset seuraavan 20 vuoden ajalle. Optimoidun ilmanvaihdon kokonaiskustannukset 20 vuoden ajalle ovat 912 902 euroa ja kaukolämmölle 1 350 500 €. Kustannuksia saatiin laskettua optimoidun ilmanvaihdon avulla 437 598 euroa. Kokonaiskustannuksissa on huomioitu laitteisto, energiakulut, vanhenemisesta koituvat kustannukset, rahan arvo ja energian hinnan nousu. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

Kokonaiskustannukset 20 vuotta (investoinnit jyvitetty laitteiston eliniälle)



Kaavio 2. Kokonaiskustannukset 20 vuoden ajalta (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

Arvioitujen kokonaiskustannuksien lisäksi taulukossa 1 on tarkempi kuvaus 20 vuoden aikana syntyvistä kustannuksista. Kustannukset on jyvitetty vuosittaisiksi. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Rakennuttamiseen oli tarjolla tietty määrä rahaa, eikä saatu summa riittänyt NollaE:n suosittelemaan optimointiin. Investointi NollaE-optimointiin olisi maksanut

itsensä takaisin melko nopeasti. Verrattuna optimoituun ilmanvaihtoon NollaE-optimoinnilla olisi säästetty arvion mukaan noin satatuhatta euroa enemmän kymmenessä vuodessa. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

Energian hinnan nousu vaikuttaa merkittävästi vuosikustannuksien nousuun. Energian hinta on noussut keskimäärin 10 % vuodessa viimeisen 20 vuoden aikana. Vuosikustannuksissa energian hinta näkyy 3 %:n nousuna, koska samaan aikaan palkat ovat nousseet, joka näkyy erotuksena energian hinnassa. Energian hinta on siis kasvanut 3 % enemmän kuin palkat ja muut kulut. (N. Salomaa, henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2018.)

	Kaukolämpö	Maalämpö	Optimoitu ilmanvaihto	NollaE optimointi
Investointi	43 200 €	228 457 €	75 695 €	130 445 €
Kustannukset vuosi 1	50 628 €	32 824 €	34 458 €	21 021 €
Kustannukset vuosi 2	52 104 €	33 580 €	35 435 €	21 554 €
Kustannukset vuosi 3	53 624 €	34 359 €	36 441 €	22 103 €
Kustannukset vuosi 4	55 189 €	35 161 €	37 478 €	22 668 €
Kustannukset vuosi 5	56 802 €	35 988 €	38 545 €	23 250 €
Kustannukset vuosi 6	58 462 €	36 839 €	39 645 €	23 850 €
Kustannukset vuosi 7	60 173 €	37 716 €	40 778 €	24 468 €
Kustannukset vuosi 8	61 935 €	38 619 €	41 944 €	25 104 €
Kustannukset vuosi 9	63 750 €	39 549 €	43 146 €	25 759 €
Kustannukset vuosi 10	65 619 €	40 507 €	44 383 €	26 434 €
Kustannukset vuosi 11	67 545 €	41 494 €	45 658 €	27 129 €
Kustannukset vuosi 12	69 528 €	42 510 €	46 971 €	27 845 €
Kustannukset vuosi 13	71 570 €	43 557 €	48 323 €	28 583 €
Kustannukset vuosi 14	73 674 €	44 635 €	49 716 €	29 342 €
Kustannukset vuosi 15	75 841 €	45 746 €	51 151 €	30 125 €
Kustannukset vuosi 16	78 073 €	46 889 €	52 629 €	30 931 €
Kustannukset vuosi 17	80 372 €	48 068 €	54 151 €	31 761 €
Kustannukset vuosi 18	82 740 €	49 281 €	55 719 €	32 616 €
Kustannukset vuosi 19	85 179 €	50 531 €	57 333 €	33 497 €
Kustannukset vuosi 20	87 691 €	51 819 €	58 997 €	34 404 €
Yhteensä	1 350 500 €	829 671 €	912 902 €	542 444 €
10 vuotta	621 485 €	593 598 €	467 949 €	366 656 €
Ostoenergia, kWh/a	639 598	315 108	420 464	222 002

Taulukko 1. Yksityiskohtainen taulukko eri ratkaisujen vuosikustannuksista (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

6 ENERGIAPAALUJEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT HYÖDYT JA HAASTEET

Energiakustannusten kasvaessa ja ympäristösäädösten kiristyessä geotermisten energiaratkaisujen suosio on kasvanut. EU:n tavoitteena, Suomi mukaan lukien, on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. (Talotekniikka-Julkaisut Oy 2016.) Suomi on asettanut tavoitteeksi saavuttaa nollaenergia tason vuoteen 2020 mennessä (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017).

Energiapaalujen käyttö on todettu tehokkaaksi energian varastointimenetelmäksi Suomessa vallitsevissa olosuhteissa (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017). Energiapaalut tarjoavat tavan tuottaa vähäpäästöistä energiaa hyödyntäen geotermistä ja varastoitua energiaa. Tekniikka on taloudellinen ja ympäristöystävällinen energiantuotantomenetelmä. (Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2017; Talotekniikka-Julkaisut Oy 2016.)

6.1 Hyödyt

Energiapaalu hyödyntää paikallista ja uusiutuvaa energiaa parantaen rakennuksen ympäristötehokkuutta (Rautaruukki Oyj 2011). Maalämpöjärjestelmää varten tehtävän porakaivon porauksesta syntyy hiilidioksidipäästöjä. Energiapaalujen lämmönkeruuputket asennetaan paalutuksen yhteydessä ja näin säästytään porauksen yhteydessä syntyviltä hiilidioksidipäästöiltä. Energiakaivoon verrattuna myös pohjavesien pilaantumisriski on pienempi. (Aurime Oy 2018.)

Energiapaalut ovat taloudellisesti kannattavia, koska ne palvelevat rakennusta kahdessa roolissa. Energiapaalut ovat samaan aikaan osa rakennuksen energijärjestelmää, toimien samalla rakennuksen kantavana rakenteena. (Talotekniikka-Julkaisut Oy 2016.) Samalla mahdollisuus hyödyntää energiapaaluja usean rinnakkaisen energialähteen kanssa lisää tekniikan kannattavuutta. Rinnakkaisen energialähteen vaihto uuteen on mahdollista. (Rautaruukki Oyj 2011.)

Energiapaalujen käyttökelpoisuutta on tutkittu erilaisille rakennuksille hyödyntäen analyysijä, testikentille rakennettuja koepaaluja ja simuloiteja. Eräiden tutkimusten mukaan energiapaaluilla voisi kattaa noin 71 prosenttia lämmitysenergiasta ja jopa 100 prosenttia jäähdytysenergiasta yksikerroksisessa kaupan rakennuksessa. (Rautaruukki Oyj 2011.)

Energiapaalut maksavat itsensä takaisin parhaimmillaan 5 – 8 vuodessa ja oikein asennettuna niiden elinikä kestää läpi rakennuksen elinkaaren, eivätkä ne aiheuta huoltokustannuksia. Laadukkaalla lämmitysjärjestelmällä voidaan myös nostaa kiinteistön arvoa ja ympäristötehokkuudella vuokrausastetta. (Grönman, H. 2015.) Erillisiä lupia energiapaalujen asentamiselle ei vaadita (Aurime Oy 2018).

Menetelmällä voi olla kysyntää perustusten vahvistamista koskevissa korjausrakennuskohteissa, kunhan tietoisuus energiapaaluista kasvaa (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018).

Energiapaalujen kustannukset verrattuna kaukolämpö- ja kompressoriratkaisuun olivat erään 25 vuoden tarkastelujakson aikana 32 prosenttia alemmat ja siihen sisältyivät investointi- ja energiakustannukset. Energiapaalujen kustannukset ovat pienemmät verrattuna energiakaivojen kustannuksiin, sillä erillisille porakairoille ei ole tarvetta. (Rautaruukki Oyj 2011.)

Huomioitavaa on, että tällä hetkellä varastointiratkaisut kehittyvät nopeasti. Siksi melko uudetkin tutkimustulokset, laskelmat ja kokeilut voivat perustua vanhoihin tai vanhoillisiin ratkaisuihin. Varastointi elää parhaillaan kasvun kynnyksellä ja hakee läpimurtoa. Osa kokeiluista epäonnistuu ja osa onnistuu. Kaikki yritykset vievät kuitenkin kehitystä eteenpäin. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018.)

6.2 Haasteet

Energiapaalujärjestelmien haasteena on huollettavuus, koska lämmönkeruuputkistot ovat sijoitettuna rakennuksen alle. Vaikka muovisille lämmönkeruuputkille

luvataan käyttöikäksi 100 vuotta, ongelmia saattaa aiheuttaa liitoksissa havaitut vuodot ja työn aikana syntyneet vauriot. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018; R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017.)

Energiakaivoon asennetut lämmönkeruuputket voidaan vaihtaa, mutta energiapaalujen kohdalla lämmönkeruuputket ovat valettuna betoniin, eikä sama toimenpide onnistu. Käyttöikä voi kuitenkin parhaimmassa tapauksessa vastata talon ikää. Asiaa on hyvä tutkia, että onko keräimien vaihtamiselle todellista tarvetta. Syy putken vaihtamiselle voisi olla materiaalivirhe. Tilanne olisi mahdollista ratkaista rakennuksen viereen asennetulla energiakaivolla. Hyötysuhde heikentyisi, mutta järjestelmän toimivuus säilytettäisiin. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Vuodon sattuessa järjestelmään yksi mahdollisuus olisi käyttää järjestelmään laitettavia kemiallisia aineita, jotka korjaisivat vuotokohdan. Yhden piirin pudotessa järjestelmästä yksi piiri voidaan sulkea jakotukista, jos tilanne tulisi vastaan useamman vuoden päästä asennuksen jälkeen. Yhden piirin sulkeminen ei välttämättä vaikuttaisi kovin merkittävästi energiapaalujen hyödynnettävyyteen, jos maan lämpötila olisi kerennyt vuosien mittaan nousta tarpeeksi. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Haittaa rakenteille vuodosta ei välttämättä koidu, koska putkisto ei kulje lattiarakenteiden sisällä ja lämmönkeruuneste ei sinänsä ole ihmiselle tai ympäristölle vaarallista. Energiapaalut kulkevat lattiarakenteiden alla ja vuodon sattuessa neste pääsee imeytymään maaperään. Keruunestettä ei todennäköisesti ehdi valumaan suuria määriä, sillä vuodot havaitaan todennäköisesti ajoissa. (Lehikoinen 2014, 22.)

Vuoto aiheuttaa paineiden putoamisen lämmönkeruuputkistossa, aiheuttaen järjestelmän toimimattomuuden. Käytännössä paineen putoaminen aiheuttaa nesteen kierron heikkenemisen ja näin kierto esilämmityspattereille tai muulle vastaavalle ei onnistu. Toimimattomuus näkyy mahdollisesti huoneistojen lämpötilan laskuna. Järjestelmässä olevan lämmönkeruunesteen kokonaistilavuus on sen

verran pieni, että se ei aiheuta haittaa rakenteille. (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018.)

Ongelmia saattaa myös aiheuttaa maan routiminen paalujen ympärillä lämmönkeruuprosessin ollessa käynnissä. Haitan ilmeneminen on todennäköisempää maanpinnan läheisyydessä, mutta roudan yltäminen paalun alapäähän ei ole pois suljettu vaihtoehto. Liian tiheästi asennetut paalut voivat koitua routimisen vuoksi ongelmalliseksi. Pahimmassa tapauksessa routa saattaisi vahingoittaa paalun rakenteita ja vaikuttaa suoraan järjestelmän tehoon, sillä routa heikentää maaperän lämmönsiirtokykyä. Lämpölaajeneminen voi myös eritavoin väsyttää paalun rakenneosia ja aiheuttaa murtumia betoniin tai teräkseen. (Lehikoinen 2014, 22.) Kesällä jäädytyksen aikana maahan siirretty lämpö auttaa lämpötaseen pitämisessä energiantuottoon sopivana ja samalla välttämään maan jäätymiseltä (Rautaruukki Oyj 2011). Ongelma voidaan välttää myös oikeanlaisella mitoituksella (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018).

Energiapaalujen ideana on varastoida kesällä lämpöenergiaa maahan, joten maaperä ei pysy yhtä vakaana kuin energiakaivoa käytettäessä (J. Brandt, henkilökohtainen tiedonanto 19.1.2018). Paaluihin kytkettävä lämpöpumppujärjestelmä vaikuttaa lämpötilan vaihteluun paaluissa sekä niitä ympäröivässä maaperässä. Vaikutus saattaa näkyä paalujen ja maaperän lämpömekaanisissa, rakenteellisissa sekä geotermisissä ominaisuuksissa. (Talotekniikka-Julkaisut Oy 2016.) Vaikka energiapaalu ei tiedettävästi vaikuta maaperään, puuttuvat vielä pitkän aikavälin tutkimukset ja havainnot nykyisiä tekniikoita käytettäessä. Kyseistä asiaa pitääkin vielä tutkia geologisista ja ympäristöön liittyvistä syistä. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 13.11.2017)

7 SKANSSIN TORNIN ENERGIAPAALUJEN SEURANTA

Geologian tutkimuskeskukselta hankittiin maaperän lämpötilojen mittaamiseen kuitukaapelia ja mittauslaitteisto. Lisäksi Geologian tutkimuskeskus koulutti mittajia käsittelemään mittauslaitteistoa ja saatavia tuloksia. Paaluihin asennettujen mittauskuitujen avulla pystytään mittaamaan energiapaalun lämpötilaa sen toiminnan aikana ja saada informaatiota maaperän käyttäytymisestä. Kuitukaapeli asennettiin keruuputkien asennuksen yhteydessä ja käytettävä mittaus on lyhenteeltään DTS (distributed thermal sensing). (Arola.) DTS-mittauksen avulla saadaan lämpötilaan liittyvää dataa koko mittauksessa käytettävän optisen kuidun pituudelta (Ekström 2017, 7).

LÄMPÖÄ -hankkeen aikana on tarkoitus tuottaa lisää mittaustietoa maan tai pohjaveden tai jäätyneen vaikutuksista maaperän ominaisuuksiin ja rakennuksen kosteusoloihin DTS-mittauksen avulla. Lisäksi tarkoitus on hyödyntää 3D-animatiota ja mobiilisovellusta, joiden avulla pystytään havainnollistamaan lämpöenergian varastoinnin hyötyjä. Näihin yhdistyvät energiankulutustietojen näyttö, seuranta ja hallinta. (R. Lautkankare, henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2018; Turun AMK Oy 2018.)

8 VASTAAVAT HANKKEET

8.1 Suomessa

Energiapaaluja on hyödynnetty Jyväskylän Lutakossa sijaitsevassa Technopolis Innova 2 - toimistorakennuksessa lämmityksessä sekä jäähdytyksessä (Tolvanen 2015). Rakennukseen asennettiin noin 30 metrin pituisia energiapaaluja 38 kappaletta. Esiitettyjen arvioiden mukaan energiapaalut kattavat noin 68–79 % lämmitystarpeesta ja noin 33–40 % jäähdytystarpeesta. (Ojala 2014, 21.) Saadut säästöt ovat kuitenkin olleet ennakkolaskelmiin verrattuna hiukan pienemmät verrattuna kaukolämpöön, mutta hiilijalanjälki on saatu puolitettua (Tolvanen 2015).

Tekniikkaa on hyödynnetty myös Joensuun Niskaparkissa ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityksessä ja viilennyksessä. Aktivoitavia paaluja oli 115, jotka antoivat lämmitystehoa 34 kW ja viilennystehoa 21 kW. (Rakentaja.fi 2017.)

Porissa sijaitseva kauppakeskus Puuvilla hyödyntää maalämpöä, hukkalämpöä ja maajäähdytystä. Lämmitys tapahtuu maasta saatavalla lämpöenergialla. Kesällä konejäähdytyksen avulla talteen otettu lauhdelämpö varastoidaan maahan, eli vastaavasti kuin Skanssissa. Alun perin arvioitiin, että lämpöpumppujärjestelmä kattaisi 80 prosenttia lämmityksen- ja jäähdytyksen tarpeesta, mutta myöhemmin huomattiin sen kattavan noin 98 prosenttia. Ilmaisenergian osuus on osoittautunut myös suuremmaksi. Tavoite oli saada 60 prosenttia lämmitys- ja jäähdytysenergiasta ilmaisenergiana maasta sekä hukkalämmöstä, mutta tavoite ylittyi. Osuus oli käyttövuosien aikana noin 73 prosenttia. Käytösähkön osuus jäähdytyksen tuotannosta on ollut vain 4 prosenttia. (Koskiahde 2017.)

Energiapaaluja on käytetty onnistuneesti Hämeenlinnassa tutkimus- kehitys ja opetuskäyttöön rakennetussa hallissa. Kyseistä hallia käyttävät Hämeen ammattikorkeakoulu ja Ruukki. Rakennus on Suomen ensimmäinen nollaenergiahalli ja se on osoittautunut taloudellisesti kannattavaksi. Hallissa käytetään lämpöenergian keräämiseen aurinkoenergiaa, jota kerätään Ruukin Classic solar -katteilla.

Auringonvalosta kerätty lämpöenergia johdetaan energiapaalujapitkin maaperään, josta sitä voidaan ottaa hyötykäyttöön talvella. Lisäksi ratkaisuun kuului monia muita toimenpiteitä, joiden avulla nollaenergiahalli saatiin toteutettua. (www.hamk.fi 2015.)

8.2 Ulkomailla

Ulkomailla hyviä tuloksia energiapaalujen käytöstä on saatu muun muassa Itävallassa, missä erään ostoskeskuksen alle sijoitettiin 800 paalua ja niistä 650 sisälsi lämmönvaihtimet. Rakennuksen alla oleva maaperä oli pääosin savea noin 40 m syvyydeltä. Energiapaaluja ladattiin kesäisin ostoskeskuksesta talteen otetulla hukkalämmöllä ja ne toimivat maalämmöllä. Energiapaaluja hyödynsi käyttäen Itävallassa sijaitseva ostoskeskus on pystynyt säästämään huomattavia määriä fossiilista polttoainetta ja sähköä. (Ojala 2014, 20–21.)

Sveitsissä energiapaaluja on hyödynnetty Zürichin lentokentän terminaalirakennuksessa osana energijärjestelmää. Rakennukseen on asennettuna 440 paalua, joista energiapaaluiksi on muutettu yli 300. Energiapaaluja käytetään terminaalirakennuksen lämmitykseen ja viilennykseen. Vuonna 2004 aloitetut mittaukset, joita jatkettiin kaksi vuotta, osoittivat suunniteltujen lämmitys- ja viilennyskulojen vastaavan tarvetta. Viilennyskaudella 39% vuotuisesta lämpöenergian tarpeesta saadaan varastoitua maahan. (Pahud 2018.)

Tanskaan Braedstrupin kaupunkiin on rakennettu tuhansien neliömetrien kokoinen aurinkopaneeleista koostuva kenttä, jonka rinnalle on rakennettu porareikiä kausivarastointia varten. Aurinkopaneelikentän ja kausivarastoinnin kautta saadaan paikallisen kaukolämpöverkon avulla välitettyä lämpöenergiaa 1200 kodille. Tavoitteena on kasvattaa aurinkopaneelikentän kokoa 50 000 neliömetriin asti ja porareikien määrää neljäänsataan, joiden avulla olisi mahdollista kattaa 50% vuosittaisesta lämpöenergian tarpeesta. (solar-district-heating.eu 2012.)

9 VASTAAVIEN PROJEKTIEEN KANNATTAVUUS

Skanssin Tornin lämpöenergian varastoinnin onnistumista on vielä vaikea arvioida, sillä projekti on vielä parhaillaan käynnissä. Erityisesti mielenkiintoa herättää se, kuinka hyvin mitoitus on lopulta onnistunut ja vastaako mitoitus laskelmia ja miten paljon lämpöenergian varastointi vaikuttaa lämpöenergian saatavuuteen, kun maaperän lämpötila vuosien mittaan nousee.

Vastaavia projekteja on Suomessa ja muualla maailmassa tehty jonkin verran ja myös positiivisin kokemuksin. Riippuen kohteesta energiapaalu on myös varteenotettava kilpailija energiakaivoille. Kannattavuuteen vaikuttaa paljon se tuleeko kohteeseen paalutus.

Optimoitu ilmanvaihto oli alkuinvestoinniltaan halvempi verrattuna maalämpöön ja NollaE optimointiin. Kustannukset tulevat olemaan kuitenkin merkittävästi suuremmat, kun tarkastellaan kahdenkymmenen vuoden ajan jaksoa. Eniten säästöä olisi kertynyt NollaE optimoinnista. Tulevaisuudessa vastaavien projektien kohdalla olisi syytä harkita kokonaiskustannuksiltaan halvempaa ratkaisua.

Skanssin Torniin asennetun energiapaalu järjestelmän merkittävimmistä heikkouksista on huollettavuus, sillä energiapaaluihin on hyvin vaikea päästä tekemään korjauksia, jos jossain energiapaalussa ilmeni vuoto tai jokin muu vika. Jos vika aiheuttaa järjestelmän toimimattomuuden, joudutaan yksi energiapaalu piiri pudottamaan järjestelmästä. Asiasta olisi hyvä saada lisätietoa, miten suuri vaikutus yhden piirin putoamisella olisi vaiheessa, kun on saavutettu haluttu varastointi lämpötila.

Energiapaalujen tekniikka ja lämpöenergian varastointi on vuosien mittaan kehittynyt ja erityisesti varastoinnin suhteen on odotettavissa läpimurtoja tulevaisuudessa. Millaisia läpimurtoja tulevaisuudessa asian tiimoilta syntyy jää nähtäväksi. Tulevaisuudessa kannattaa seurata, mitä tuloksia LÄMPÖÄ -hankkeen kautta syntyy liittyen lämpöenergian varastointiin maaperään.

Lämpöenergian varastoinnilla maahan voi olla vaikutuksia maaperän koostumukseen ja pohjaveden eliöstöön. Siksi kumpaakin asiaa on syytä tutkia vielä tarkemmin tulevaisuudessa. Lämpöenergian varastointi erityisesti savisilla mailla voi vaikuttaa merkittävästi saven ominaisuuksiin, mutta maa tuskin lämpenee Skanssin Tornin tapauksessa riittävän korkeaksi, jotta niin sattuisi tapahtumaan.

Näillä näkymin energiapaalun käyttö lämpöenergian varastoinnissa näyttäisi olevan kuitenkin joissain tapauksissa kustannustehokas ratkaisu, mutta useampi asia tarvitsee vielä huomiota. Tekniikan käyttöä on ainakin hyvä harkita koh-teissa, jotka on tarkoitus paaluttaa.

10 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata lämpöenergian varastointia Skanssin Tornissa energiapaalujen avulla. Samalla pyrkiä tuomaan esille yksityiskohtaisemmin, millaiseen ratkaisuun Skanssin Tornin kohdalla päädyttiin, miten kannattava projekti oli ja kuinka sitä valvotaan tulevaisuudessa. Idea opinnäytetyöhön tuli LÄMPÖÄ -hankkeelta ja haastateltavat olivat osa kyseistä hanketta ja meneillä olevaa Skanssin Torni -projektia. Kohde sijaitsee Skanssin kaupunginosassa Turun alueella, ja se on toinen LÄMPÖÄ-hankkeen pilottikohteista.

Skanssin Torniin valittiin ratkaisuksi optimoitu ilmanvaihto, johon kuului useampia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Valittuun ratkaisuun kuului esimerkiksi esilämmitys- ja viilennyspatterit, joiden avulla lämpöenergian talteenotto onnistuu viilennyskaudella ja lämmityskaudella talteen otettua lämpöenergiaa voidaan hyödyntää ilmanvaihtokoneille tulevan ilman esilämmityksessä.

Skanssin Tornin lämmönvarastointiratkaisun onnistumista on toistaiseksi vaikea arvioida, koska opinnäytetyön aikana Skanssin Torni oli vielä rakennusvaiheessa. Vastaavia projekteja on tehty kuitenkin useampia ja kokemukset niistä ovat olleet osittain positiivisia. Kyseinen tekniikka ei ole kuitenkaan täysin uusi, vaan vanhan tekniikan hyödyntämistä uudella tavalla. Energiapaalun tekniikka vastaa energiakaivon tekniikkaa.

Energiapaalu on lämmön varastointia ajatellen joissain tapauksissa kustannustehokas keino hyödyntää maahan talteen otettua lämpöenergiaa varsinkin oikein mitoitettuna, ja samalla se on ekologinen vaihtoehto lämpöenergian hyödyntämiseen.

Vastaavien projektien kohdalla olisi syytä miettiä, voidaanko energiapaalujen huollettavuutta mahdollisesti parantaa, jos tilanne nykyisin vaatii pahimmassa tapauksessa yhden tai useamman energiapaalupiirin pudottamista pois järjestelmästä. Enemmän tutkimusta vaatii myös vaikutukset maaperään ja pohjavedessä elävään eliöstöön. Vaikutuksista maaperään on tulossa lisää tietoa LÄMPÖÄ-hankkeen kautta.

LÄHTEET

- Aurime Oy 2018a. Aurime Elli energiapaalu. Viitattu 6.2.2018 <http://www.energiapaalu.fi/>.
- Aurime Oy 2018b. Usein kysytyt kysymykset. Viitattu 9.2.2018 <http://energiapaalu.fi/usein-kysytyt-kysymykset>.
- Pahud, D. 2018. Measured thermal performances of the Dock Midfield energy pile system at Zürich airport. Viitattu 5.5.2018 <http://repository.supsi.ch/3638/1/116-Pahud-2006-StatusSeminar.pdf>.
- Ekström, T. 2017. DTS-mittalaitteen käyttöönotto energiakaivoissa.
- Grönman, H. 2015. Energiapaalut tuottavat kestäväää, kustannustehokasta lähienergiaa. Viitattu 6.2.2018 <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/ajankohtaista/arkisto/2015/06/energiapaalut-tuottavat-kestavaa-kustannustehokasta-lahienergiaa/>.
- Hämeen ammattikorkeakoulu 2015. Suomen ensimmäinen lähes nollaenergiahalli valmistunut – HAMKIN ohutlevykeskus-tutkimusyksikölle uudet tilat korkeakoulukeskukseen. Viitattu 29.5.2018 <http://www.hamk.fi/uutiset/Sivut/Suomen-ensimmainen-lahes-nollaenergiahalli-valmistunut.aspx>.
- Ilmatieteen laitos 2018. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Viitattu 29.5.2018 <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>.
- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Ympäristöopas 2013. Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Komulainen, M. 2017. Lämpö talteen energiapaaluilla. Viitattu 8.2.2018 <https://www.turkuamk.fi/fi/artikkelit/1478/lampo-talteen-energiapaaluilla/>.
- Koskiahde, P. 2017. Valtakunnallinen ympäristötunnustus Puuvillan kauppakeskukselle. Satakunnan kansa 23.3.2017 Viitattu 20.3.2018 <https://www.satakunnankansa.fi/satakunta/valtakunnallinen-ymparistotunnustus-puuvillan-kauppakeskukselle-14112579/>.
- Lehikoinen, E. 2014. Energiapaalu pientalon energian kerääjänä. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Mantila, A. 2018. Paalut. Viitattu 13.3.2018 <https://betoni.com/betonirakentaminen/paalut/>.
- Motiva Oy 2017. Aurinkolämmön varastointi. Viitattu 17.6.2018 https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/aurinkoenergia/aurinkolammon_varastointi
- Ojala, M. 2014. Aurinkolämmön varastointi Östersundomin aluerakennuskohteessa. Oulu: Oulun yliopisto.
- Oulun kaupunki 2014. Energiapaalut. Viitattu 6.2.2018 <https://www.tulevaisuudentalot.fi/energiapaalut/>.
- Rakentaja.fi 2017. Cace: Joensuun Niskaparkki – Aurime Energiapaalu. Viitattu 8.2.2018 https://www.rakentaja.fi/artikkelit/14639/case_joensuun_niskaparkki_energiapaalut_ssab.htm.
- Rakentaja.fi 2013. Energiapaalut lämmittävät kotia. Viitattu 8.2.2018 https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11101/energiapaalut_ruukki_ssab.htm.
- Rakentaja.fi 2018. SSAB:n teräspaalaus pientalorakentajalle. Haettu 9.2.2018 osoitteesta https://www.rakentaja.fi/tuoteinfo/TM_175_rrterasperustusteraspaalut.htm.

Rautaruukki oyj 2011. Energiapaaluilla energiatehokkaita rakennuksia. Viitattu 6.2.2018 http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/News%20and%20events/White%20papers/Ruukki_Energiapaaluilla_energiatehokkaita_rakennuksia.pdf.

Rytmi Rakennus Oy. 2018. Paalutus. Viitattu 12.2.2018 <http://www.rytmirakennus.fi/uudisrakentaminen/paalutus/>.

Solar-district-heating.eu 2012. Extension of the Braedstrup solar district heating plant. Viitattu 5.5.2018 [g.eu/NewsEvents/News/tabid/68/Artsolar-district-heatinicleId/175/Extension-of-the-Braedstrup-solar-district-heating-plant.aspx](http://www.solar-district-heating.eu/NewsEvents/News/tabid/68/Artsolar-district-heatinicleId/175/Extension-of-the-Braedstrup-solar-district-heating-plant.aspx).

Talotekniikka-Julkaisut Oy 2016. Väitös: maaperän lämpöenergia hyödyksi energiapaaluilla. Viitattu 6.2.2018 <https://talotekniikka-lehti.fi/vaitos-maaperan-lampoenergia-hyodyksi-energiapaaluilla/>.

Tekes 2017. Lämpöenergian varastointi. Viitattu 22.4.2017 <https://tapahtumat.tekes.fi/tapahtuma/energia>.

Tolvanen 2015. Innovan energiapaalut lähes puolittaneet rakennuksen hiilijalanjäljen. Viitattu 6.2.2018 <https://yle.fi/uutiset/3-8219157>.

Tompuri, V. 2010. Energiapaalu on varjeltu salaisuus.

Turun AMK Oy 2018. LÄMPÖÄ -lämpöenergian varastoinnista liiketoimintaa. Viitattu 8.2.2018 <https://www.turkuamk.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hae-projekteja/lampoa-lampoenergian-varastoinnista-liiketoimintaa/>.

Uponor Suomi Oy 2015. Energiapaalut tuotekortti. Viitattu 8.2.2018 www.uponor.fi.

YH Kodit Oy 2018. Skanssin Ravelliini ennakkomarkkinoinnissa. Viitattu 9.2.2018 <https://www.yhkodit.fi/skanssi/>.