

Fabian Sander, Simo Mäenpää, Janne Pelo, Tuomo Viitala ja Mira Valkjärvi

PILOTTI C ENERGIAN VARASTOINTI

**Varastoinnin mahdollisuudet ja teknologiat juomateollisuudessa, teollisissa maa-
laamoissa ja puutarhoissa.**

Raportti
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
EteVä Pilotti -hanke
Lokakuu 2023

TIIVISTELMÄ

Tässä raportissa esitellään EteVä Pilotti -hankkeen aikana tehtyä tutkimusta ja sen tuloksia. Hankkeen aikana toteutettiin kolme erilaista teemallista pilotointia ja niistä kaikista on tuotettu oma raporttinsa. Tämä on näistä piloteista toinen, joka kulki nimellä ”Sisäisten hukkaenergioiden ja sivuvirtojen hyödyntämispotentiaali”.

Energian varastointi -pilotissa tarkasteltiin kolmea eri toimialaa ja niiden potentiaalia energian varastointiin. Tässä raportissa käydään läpi aikaisemmassa hankkeessa kehitetyn BTES porareikäkaivon toiminnan ja automatisoinnin kehittämisestä sekä hyviä huomioita porareikäkaivo teknologiasta kiinnostuneille. Raportissa esitellään myös hankkeen aikana tehtyjä selvitystöitä eri energian varastoinnin mahdollisuuksista muilla toimialoilla kuten teollisissa maalamoissa sekä puutarhoissa.

EteVä Pilotti – energiatehokkaat ja vähähiiliset pilottiratkaisut -hanke toimi Keski-Pohjanmaan alueella 1.6.2021-30.8.2023 aikana ja hanketta rahoitti Euroopan aluekehitysrahasto, Keski-Pohjanmaan liitto sekä Kokkolan kaupunki, Kannus ja Kaustisen seutukunta. Yrityksiä hankkeessa oli mukana Kokkolan Energia Oy, Boliden Kokkola Oy ja Blaxar Oy.

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

BTES

Borehole thermal energy storage – Lämpöenergian varastointi porareikäkaivoon

LPG

liquified petroleum gas

TIIVISTELMÄ
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 PORAREIKÄKAIVON AUTOMATISOINTI	3
2.1 Introduction to BTES system and automation	3
2.2 Huomioita BTES-menetelmästä	4
3 TEOLLISEN MAALAAMON SÄHKÖN VARASTOINTI AKUSTOON	6
4 PUUTARHAN LÄMMÖNVARASTOINTI	9
4.1 Energy Consumption Data of the Heating System	9
4.2 Monthly Greenhouse Heating Consumption	10
4.3 Technical Details of a Suitable Heat Pump	12
4.4 Heating Costs Comparison: LPG Vs. Ground Source Heat Pump	13
4.4.1 The existing LPG gas burner system	13
4.4.2 A ground source heat pump system.	13
4.5 Payback Time for Heat Pump System	15
4.5.1 The existing LPG gas burner system	15
4.5.2 A ground source heat pump system.	15
4.6 Conclusion: Does It Make Sense to Change to a Heat Pump System?	17
LÄHTEET	19

KUVIOT

KUVIO 1. EteVä Pilotti -hankkeen teemoitetut pilotit	1
KUVIO 2. Piping and instrumentation diagram (P&ID) of the borehole energy storage system.	4
KUVIO 3. Sähkönkulutus valitulla ajanjaksolla	6
KUVIO 4. Sähkön hinta valitulla ajanjaksolla.....	7
KUVIO 5. Sähkönkulutus akun asentamisen jälkeen.	8
KUVIO 6. Monthly heating energy consumption of the greenhouses [MWh].....	10
KUVIO 7. Schematic diagram of the proposed heat pump model.	12
KUVIO 8. Payback time for greenhouse heating systems.....	16

KUVAT

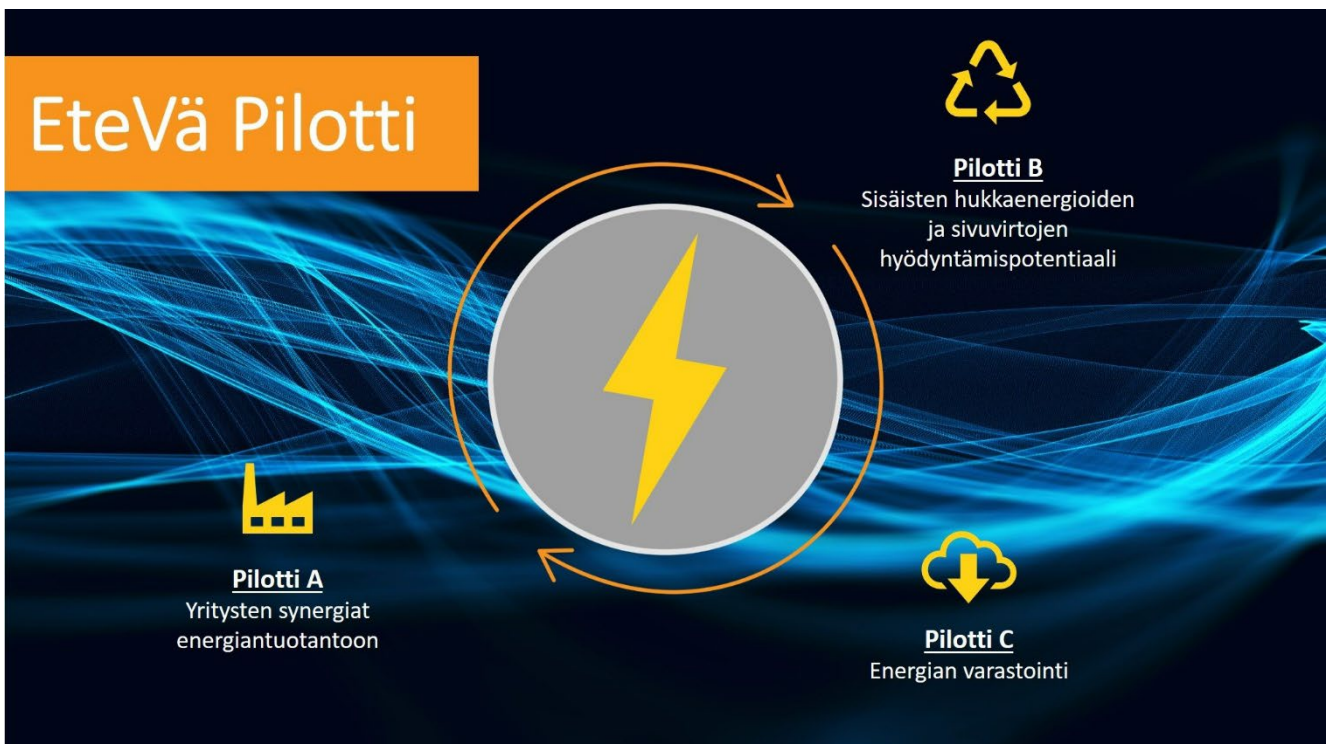
KUVA 1. One of the 13 greenhouses that are heated by the gas burner system.	11
KUVA 2. Aerial view of the project partner's greenhouses.	11

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Monthly gas consumption of the main heating system for 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021	10
TAULUKKO 2. Technical details of a suitable heat pump system.....	12
TAULUKKO 3. Monthly heating costs for the heat pump with different COP and the gas burner system.....	14

1 JOHDANTO

Tässä raportissa esitellään EteVä Pilotti -hankkeen aikana tehtyä tutkimusta ja sen tuloksia. Hankkeen aikana toteutettiin kolme erilaista teemallista pilotointia ja niistä kaikista on tuotettu oma raporttinsa. Tämä on näistä piloteista kolmas, joka kulki nimellä ”Energian varastointi” tai pilotti C. Kuvio 1 esittää hankkeen temaattisen jaon. Hanke toimi Keski-Pohjanmaan alueella ja selvitti alueella olevia hukkaenergian ja sivuvirtojen potentiaalia ja hyödyntämiskohteita sekä tuki vihreää siirtymää.



KUVIO 1. EteVä Pilotti -hankkeen teemoitetut pilotit.

Energian varastointi pilotti keskittyi jatkamaan jo EVAKOT-hankkeessa kehitettyä porareikäkaivon toimintaa ja systeemin automatisointiin sekä selvittämään muiden alueella toimivien alojen potentiaalia hyödyntämään energian varastoinnin erilaisia ratkaisuja. Tässä raportissa käydäänkin läpi nämä kolme energian varastoinnin kohdetta: juomateollisuus, teolliset maalaamot ja puutarhat.

Ensimmäisenä tässä raportissa käydään läpi BTES eli lämmön varastointia porareikäkaivoon sekä tällaisen systeemin automatisointia. Hanke jatkoi aiemmin kehitettyä varastoa, joka oli tehty keräämään talteen juomateollisuuden ja erityisesti käytettyjen kompressoreiden tuottamaa lämpöenergiaa. Tässä raportissa eritellään erityisesti mitä oli kehitetty ja miksi sekä hyviä huomioita ja oppeja hankkeiden

ajalta siitä mitä muiden toimijoiden kannattaa ottaa huomioon ennen kuin lähdetään viemään tällaista energian varastoinnin projektia eteenpäin.

Toisena tässä raportissa tarkastellaan teollisten maalaamoiden hyödyntämien uunien lämmön varastointia lyhytaikaisesti erityisesti hyödynnettäväksi siten että tiloja ei tarvitsi lämmitellä viikonloppuisin muuten kuin kerätyllä lämpöenergialla. Selvitystyön aikana havaittiin, että sähköenergian varastointiin on saatavilla useita erilaisia kaupallisesti muotoiltuja ratkaisuja. Selvitystyön aikana havaittiin myös, että usein sähköenergian varastointiin ja siitä saatavien etujen saamiseen riittää muuhun kulutukseen verrattuna suhteellisen pienenkin akuston hankinta.

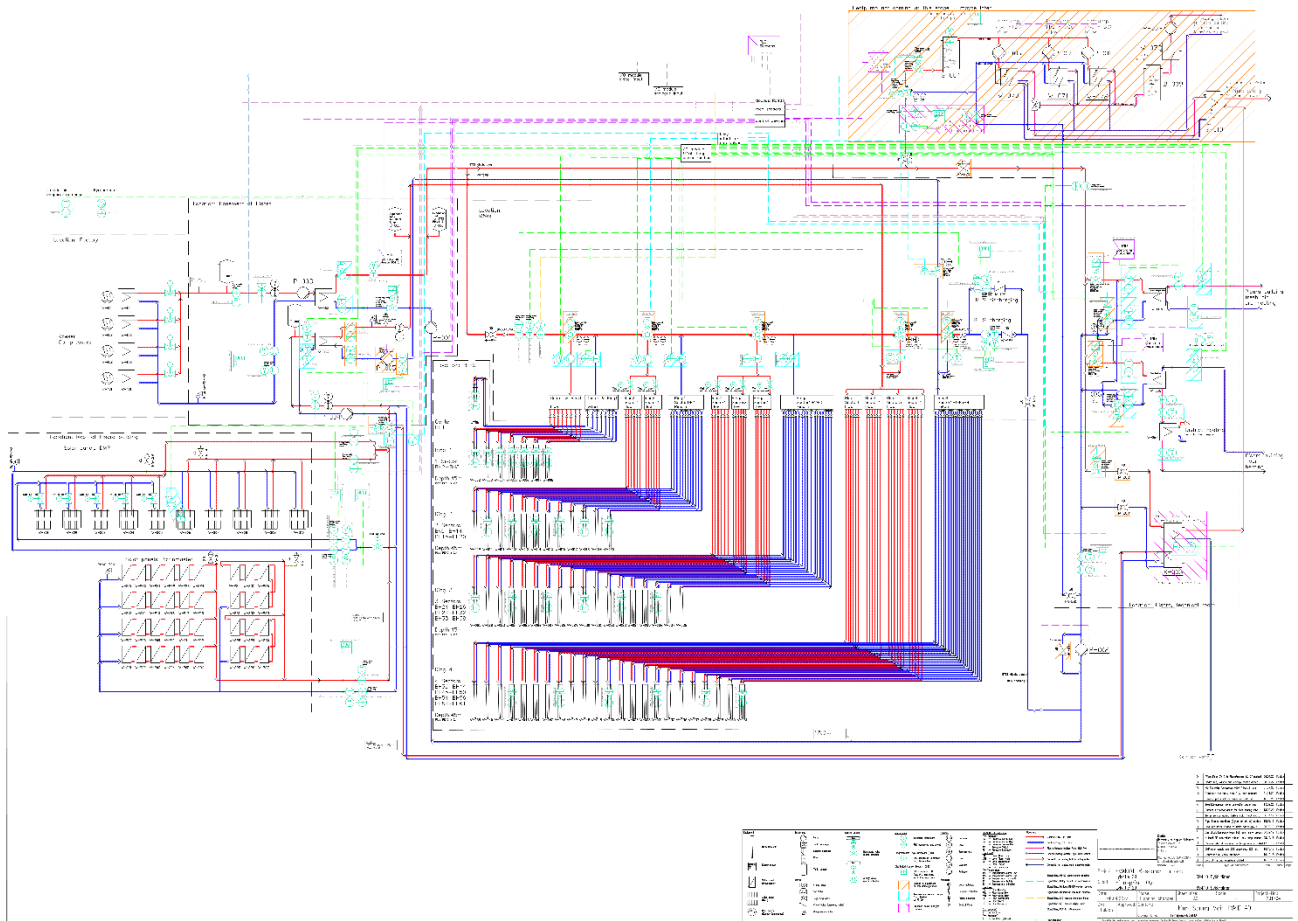
Kolmantena ja viimeisenä varastoinnin mahdollisen kohteena oli puutarhat. Puutarhoihin kerääntyy paljon hukka lämpöä, joka tällä hetkellä vain lasketaan ulos eli menee harakoille. Tässä raportissa selvitettiin mahdollisia uusia ratkaisuja sekä tarkasteltiin puutarhan nykyisellään käyttämää lämmitysmuotoa. Tuloksena huomattiin, että nykyisellä lämmityksen (kaasukattila) muodolla varastointi ei ole mahdollista, sopivin lämmityksen muoto on maalämpö.

2 PORAREIKÄKAIVON AUTOMATISOINTI

2.1 Introduction to BTES system and automation

In a previous project lead by Centria (EVAKOT project), an innovative seasonal thermal energy storage was developed and realized in a large-scale demonstration pilot. This energy storage consisted of a borehole thermal energy storage, BTES, which was implemented at a local factory in Sykäräinen, Toholampi.

Waste heat from compressors is collected and stored inside the energy storage. During the late spring, summer and autumn, this waste heat from compressors has previously been ventilated outside, now with the energy storage in place, the heat is collected and stored over a period of several months. During the heating season, which is late autumn, winter and early spring, this heat is extracted from the energy storage and directed to a building to be used for space heating.



KUVIO 2. Piping and instrumentation diagram (P&ID) of the borehole energy storage system.

2.2 Huomioita BTES-menetelmästä

BTES-menetelmän soveltuvuuteen vaikuttaa erityisesti vallitsevat geologiset olosuhteet. Maaperän lämpöominaisuuksista, lämpökapasiteetti vaikuttaa ympäröivän maaperän kykyyn varastoida lämpöä, lämmönjohtavuus taas maaperän kykyyn ottaa vastaan lämpöä sekä luovuttaa sitä. Suuri lämmönjohtavuus aiheuttaa toisaalta taas suurta lämmönhukkaa, joka ei ole toivottavaa. Pohjaveden virtaus voi maaperän lisäksi vaikuttaa huomattavasti lämpövarastosta aiheutuvaan hukkaan, joten toimivan varaston aikaan saamiseksi perusteellinen tutkimus vallitsevista olosuhteista on paikallaan.

Yleisesti lämpövarastoissa, kuten BTES-järjestelmissäkin varaston koon kasvattaminen kasvattaa lämpövaraston kapasiteettia varastoida lämpöä. Lämmön hukka kasvaa suhteessa vähemmän verrattuna kapasiteetin kasvuun, koska varastoa tilavuus kasvaa suhteessa varastoa ympäröivää vaippaa enemmän.

Varaston kokoa määrittää varastoivan lämmön määrää, joten sen on vastattava varastoitavaan tarpeeseen. Varaston koon ollessa tarpeettoman suuri on siitä ulosvirtaava lämpöteho suurempi verrattuna pienempään varastoon. Suhteessa varaston kokoon lämpöteho on pienempi, mutta varaston koon ollessa ylimitoitettu tarpeeseen, kasvulla ei saavuteta mittakaavan tarjoamaa etua, mutta siitä saatavat haitat saadaan tästä huolimatta.

Mittakaavan kasvattamisesta aiheutuvat haitat ovat mm. seuraavanlaisia.

- Varaston rakentamiseen tarvitaan enemmän materiaalia > investointikulut kasvavat.
- BTES järjestelmässä hyödynnetään kesällä saatavissa olevaa aurinko- tai hukkalämpöä lämmönlähteenä. Varaston riittävän suuren latautumisen aikaansaamiseksi keräysjärjestelmästä on tehtävä laajempi. Järjestelmästä tulee monimutkaisempi. > Investointikulut kasvavat, järjestelmästä tulee vikaherkempi.
- Riittävässä lämpötilatasossa olevaa hukkalämpöä ei muodostu riittävästi. Järjestelmää on täydennettävä muista lähteistä saatavissa olevalla lämmöllä.
- Lämpöenergiaa tuotetaan sähköllä tai polttamalla. Energiankäyttö on korkeampi verrattuna pienemmässä mittakaavassa toteutettuun varastoon.

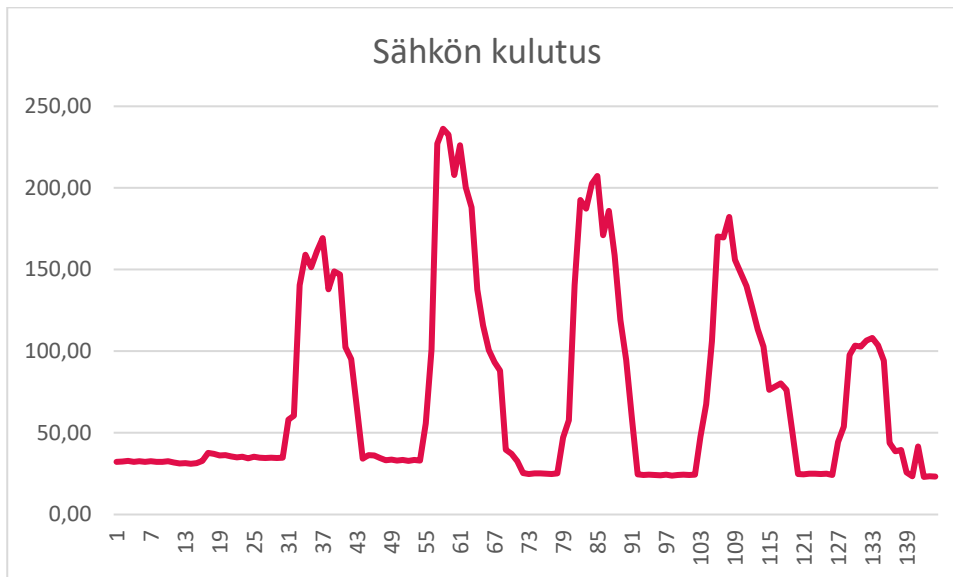
Oikean kokoisen varaston toteuttamiseksi energiankulutus sekä muodostuvan hukkaenergian määrä on selvitettävä tarkasti. Lisäksi on selvitettävä millaista vaihtelua lämmön kulutuksen tai tuotannon tehossa tapahtuu.

Hankkeen aikana muutoksia tehtiin varaston automaatiojärjestelmään. Automaatiojärjestelmää päivitettiin tavalla, joka mahdollistaa järjestelmän integroinnin muihin järjestelmiin aikaisempaa monipuolisemmalla tavalla. Automaation uudistamisen avulla käytetyt komponentit ovat yleisesti saatavilla olevia ja siten huollettavuus ja varaston kunnossapito on helpompaa. Varaston käyttöasteen voidaan myös olettaa kasvavan, paremman ohjattavuuden ja helpomman kunnossapidon kautta.

3 TEOLLISEN MAALAAMON SÄHKÖN VARASTOINTI AKUSTOON

Teollisuuslaitokset voivat ostaa sähköä tunneittain muuttuvalla hinnoittelulla. Sähkösiirrossa teollisuuslaitokset maksavat yleensä lisäksi sähkötehoon perustuvan kuukausikohtaisen maksu. Sähköenergian varastoimisen ohjaus voidaan toteuttaa automaation keinoin leikkaamalla huipputehoja aikaisempaa matalammalle tasolle sekä samalla akkujen lataus ja niistä puron ajoittaminen hetkiin, jotka sähkön hinnan perusteella tukevat kyseistä toimintaa. Sähkön hinnan ollessa korkea akkua käytetään sähköenergian lähteenä ja sähkön tuntikohtaisen hinnan ollessa matala akkua käytetään sähköenergian nieluna.

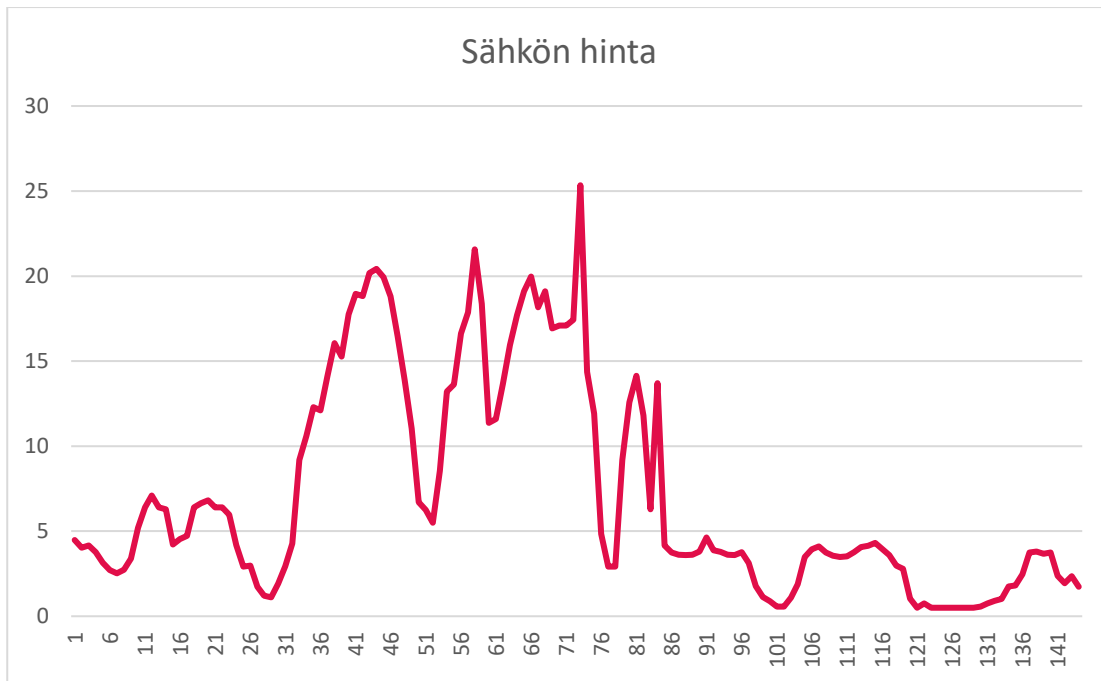
Alla kuviossa 1 on esitetty sähkön kulutus satunnaisesti valitulla viikon mittaisella jaksolla. Kuvaajasta voidaan havaita, että sähkön kulutuksen keskimääräinen tunnin mittainen huipputeho on 236,24 kW. Kokkolan energian siirtoverkon alueella PJ-Tehosähkö siirrossa tehomaksu on 4,95 €/kW/kk. Tällöin, jos oletamme huipputehon osuvan tälle ajanjaksolle, laskea tehomaksun olevan kuukaudessa 1169,39 €. Olettamalla, että kuukaudessa on 4 viikkoa olisi viikkokohtainen kustannus tällöin 292,35 €/viikko.



KUVIO 3. Sähkönkulutus valitulla ajanjaksolla.

Kuviossa 2 on esitetty ylemmässä kuvassa esitetylle ajanjaksolle tunti kohtainen hinnoittelu. Kuvasta voimme havaita, että esitetyllä ajanhetkellä sähkön hinta on vaihdellut voimakkaasti. Sähkö energiasta seuraavan kustannuksen voimme laskea kertomalla jokaisen ajanhetken kulutus, ajankohtaa vastaavan

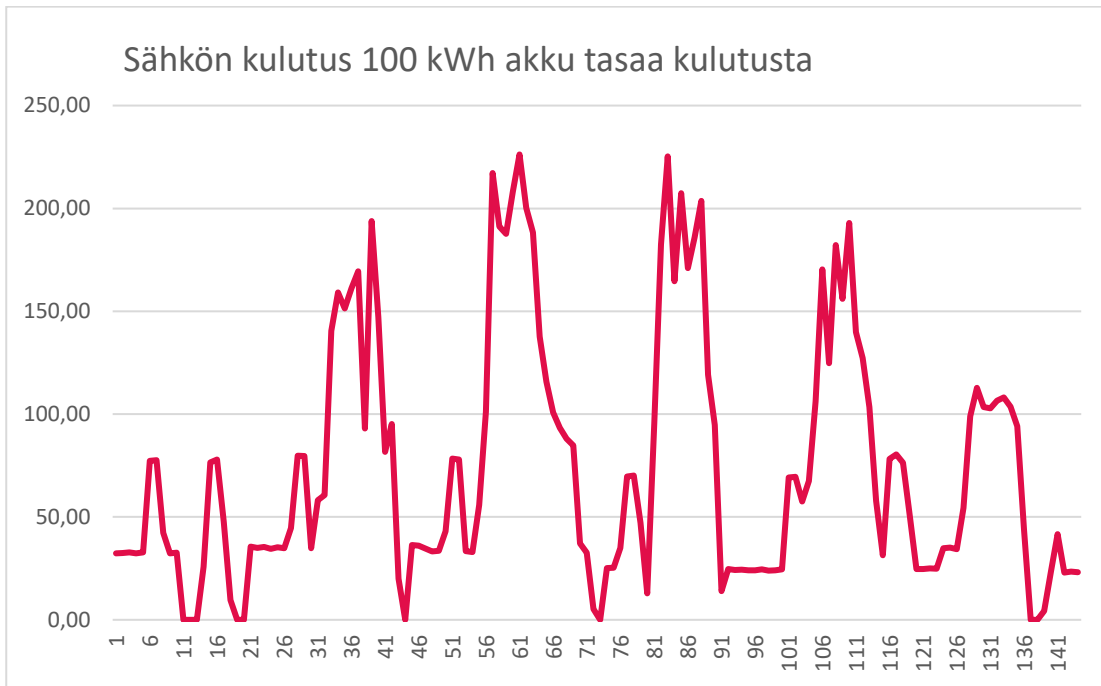
hinta tiedon kanssa ja lopuksi summaamalla tulot yhteen. Sähköenergian kustannukseksi ilman akkuvarastoa saamme tällöin 938,78 €/viikko



KUVIO 4. Sähkön hinta valitulla ajanjaksolla.

Seuraavalla sivulla on kuviossa 3 esitetty sähkön kulutus kiinteistössä akun lisäämisen jälkeen. Akun kapasiteetti on 100 kWh ja akkua voidaan purkaa sekä ladata 45 kW teholla. Akkua ladataan sekä puretaan siten, että teho huiput pyritään leikkaamaan pois sekä samalla tavoitellaan mahdollisimman matalaa sähkön keskihintaa. Kuvaajasta voimme havaita huipputehon olevan 226,24 kW, joten tehomaksu on tällöin 1119,89 €/kk. Viikkokohtaiseksi hinnaksi muutettuna tehomaksu on tällöin 279,98 €/viikko. Sähköenergian uudeksi kustannukseksi saamme taas 876,9 €.

Edellä esitetyistä tiedoista voimme laskea sähkön keskihinnan olevan 93,4 % alkuperäisestä hinnasta, jolloin viikossa syntyy säästöä sähköenergiasta 61,87 €. Tehomaksut ovat taas alkuperäiseen tehomaksuun verrattuna 95,8 %, jolloin säästöjä tehomaksuista saamme viikossa 12,37 €. Yhteensä saamme viikossa säästöjä 74,24 €. Tarkastelemalla ajanhetken aikana tapahtuvaa sähkön kulutusta suhteessa vuosittaiseen sähkön kulutukseen ja ajanhetken pituutta vuoden pituuteen voi kirjoittaja havaita, että ajanjakson aikana on sähkön kulutus ollut hieman keskimääräistä suurempi. Tämän virheen korjaamiseksi viikkokohtaisiin säästöihin käytetään korjauskertoimta, jonka avulla tarkastellaan vuosittaisia säästöjä. Korjauskertoimenä käytetään arvoa 0,9. Laskemalla vuosittaiset säästöt korjauskertoimen avulla sovittaen vuosikustannuksista saadaan säästöjä 3474 €.



KUVIO 5. Sähkönkulutus akun asentamisen jälkeen.

4 PUUTARHAN LÄMMÖNVARASTOINTI

One of our EteVä Pilotti project partners is growing flowers as their main business. These flowers are planted during January and delivered to the customers in May. During this time, the greenhouses in where the flowers are grown, need heating. After the flowers are delivered, the greenhouses are empty until the next growing season starts in January. During the summer a lot of heat is collected inside the greenhouses when the windows are kept shut. This heat is currently ventilated outside, and not utilized at all. The idea came up during the duration of this project to collect this heat during the summer and store the energy in normal geothermal boreholes until the next heating season starts in January. To get an idea of how much heating energy and power is needed in the greenhouses, the existing heating system, which is a liquified petroleum gas burner system, was investigated first. At this moment, the heating system is using liquified petroleum gas, LPG, as the main energy source. This study compares the possible use of a ground source heat pump system as an alternative to the gas burner heating system. Focus is put on the economical aspect of lowering the annual heating costs.

4.1 Energy Consumption Data of the Heating System

The project partner's main nursery, used to grow flowers, is consisting of 13 greenhouses that are all heated up by one central LPG gas burner. The following data was obtained from the supplier of the LPG gas, Teboil Oy.

Raw data obtained from Teboil was given in weight [kg] of delivered LPG.

Energy content (heating value) of 1kg LPG at 15°C: 12.88 kWh = 0,01288MWh.

Example: 18200kg of LPG has an energy content of 234.4MWh.

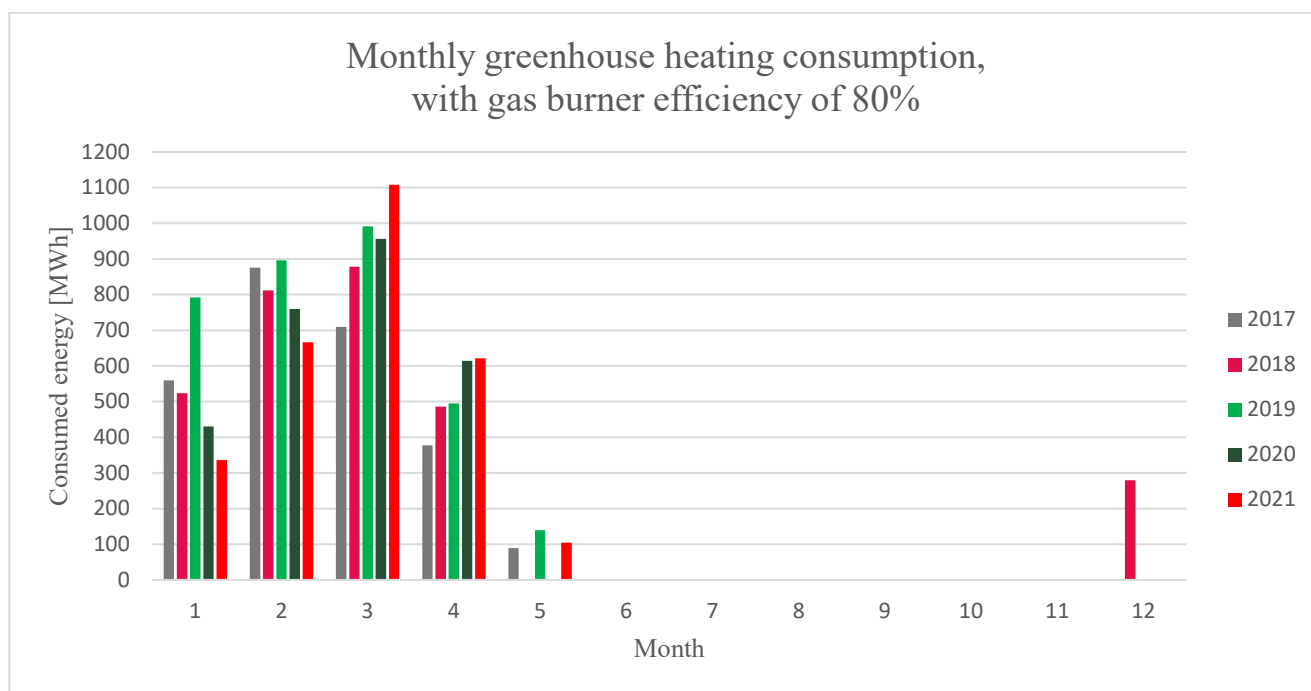
The table below shows the monthly gas consumption of the main heating system for 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021. Numbers are given as energy content [MWh].

TAULUKKO 1. Monthly gas consumption of the main heating system for 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021

LPG consumption per month for the project partner’s gas burner heating system, shown as gas energy content in Megawatt hours [MWh]												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2017	700.0	1094.6	886.9	472.1	111.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	655.0	1014.8	1098.1	607.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	349.0
2019	990.2	1120.4	1239.3	618.2	174.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020	538.2	950.0	1195.9	767.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2021	420.1	832.7	1384.9	777.2	130.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4.2 Monthly Greenhouse Heating Consumption

The greenhouse heating consumption data was calculated from the “monthly LPG consumption”, and taking the efficiency of the gas burner into account. The values are given in Megawatt hours [MWh] per month. A gas burner efficiency of 80% means that 80% of the consumed LPG energy content were transferred to the greenhouses for heating, and 20% of the LPG energy content were lost in the gas burner chimney as losses.



KUVIO 6. Monthly heating energy consumption of the greenhouses [MWh].



KUVA 1. One of the 13 greenhouses that are heated by the gas burner system.

The picture below shows the areal view of the greenhouses. In total, 13 greenhouses need to be heated during the winter.



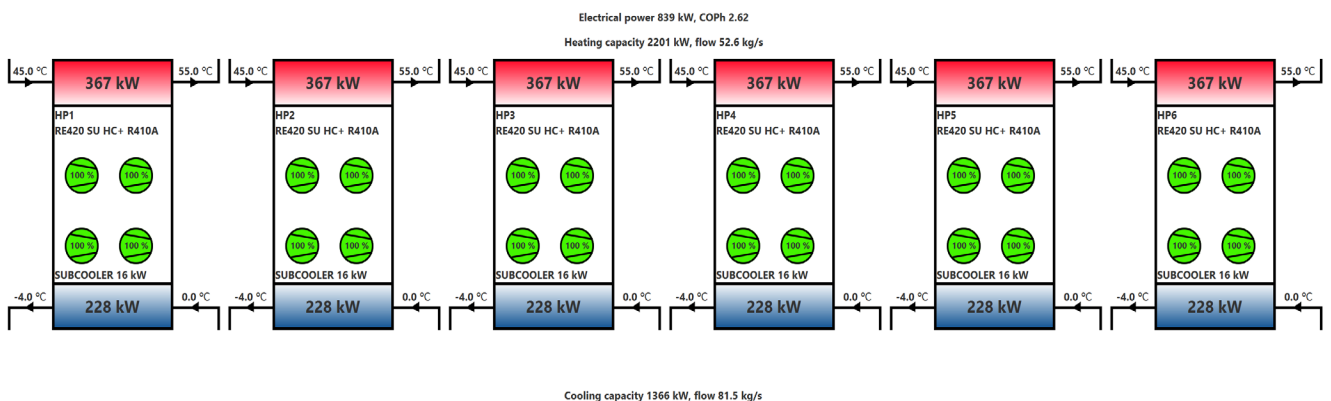
KUVA 2. Aerial view of the project partner's greenhouses.

4.3 Technical Details of a Suitable Heat Pump

The following table lists a possible heat pump system that is suitable to generate the required heating power needed by the greenhouses (Oilon Oy, 2023). The heat pumps will be able to deliver enough heating power until an outdoor temperature of -15°C . If the outdoor temperature drops below, an additional electric boiler is required to cover the peak power.

TAULUKKO 2. Technical details of a suitable heat pump system.

Type	
Heat pumps	6x Oilon RE420 SU HC+ R410A
Heating capacity	2201 kW
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	1366 kW
Power consumption	839 kW
COP	2.62
Heat sink (condenser)	
Type of heating medium	water
Heat sink inlet temperature	45.0°C
Heat sink outlet temperature	55.0°C
Flow	53.3 l/s
Pressure loss in heat exchanger	24 kPa
Heat source (evaporator)	
Type of coolant	water - ethanol (20 %)
Heat source inlet temperature	0.0°C
Heat source outlet temperature	-4.0°C
Flow	85.4 l/s
Pressure loss in heat exchanger	10 kPa



KUVIO 7. Schematic diagram of the proposed heat pump model.

4.4 Heating Costs Comparison: LPG Vs. Ground Source Heat Pump

The following calculation will show the monthly heating costs in Euros [€] for 2 different heating systems.

4.4.1 The existing LPG gas burner system.

Parameters of the LPG gas burner system:

- Cost of LPG in the end of 2021, VAT 0%,[€/kg]:
 - 1,10€
- Cost of LPG, VAT 24%,[€/kg]:
 - 1,364€
- Efficiency of the existing gas burner [%]:
 - 80%
- Heating value of 1kg LPG [MWh]:
 - 0.01288MWh
- Cost of 1MWh heat, generated by LPG, VAT 24% [€]:
 - 102,5€

4.4.2 A ground source heat pump system.

Parameters of the heat pump system:

- Costs of electricity in 2021, including transmission fees and VAT24% [cent/kWh]:
 - 14c/kWh
- Costs of electricity in 2021, including transmission fees and VAT24% [€/MWh]:
 - 140€/MWh
- Heat pump “Coefficient of Performance” (COP), is depending on the output temperature of the heat pump: value varies between 2.5 – 3.5

The following table lists the monthly heating costs for the different heating solutions.

4.5 Payback Time for Heat Pump System

The annual operating costs of a heat pump system were compared against the running costs of the LPG gas burner system.

4.5.1 The existing LPG gas burner system.

Parameters of the LPG gas burner system:

- No investment cost, as the system is already existing.
- Annual costs for LPG gas in 2021 [€]:
 - 291 566€
- Annual inflation, increase of gas prices [%]:
 - 8%

4.5.2 A ground source heat pump system.

Parameters of the heat pump system:

- Annual inflation, increase of electricity prices [%]:
 - 5%
- Investment cost for drilling the boreholes of 35000m. Each borehole has a depth of 300m, thus a total amount of 116 boreholes needs to be drilled on site. Prices and technical calculations obtained from a local geothermal drilling company in 2021, VAT24% [€]:
 - 790 300€
- Heat pump investment cost, VAT 24% [€]:
 - 496 000€

Annual electric costs, VAT24%, for a heat pump system with a COP of 2.5 [€]: 159 319€

Annual electric costs, VAT24%, for a heat pump system with a COP of 3.0 [€]: 132 766€

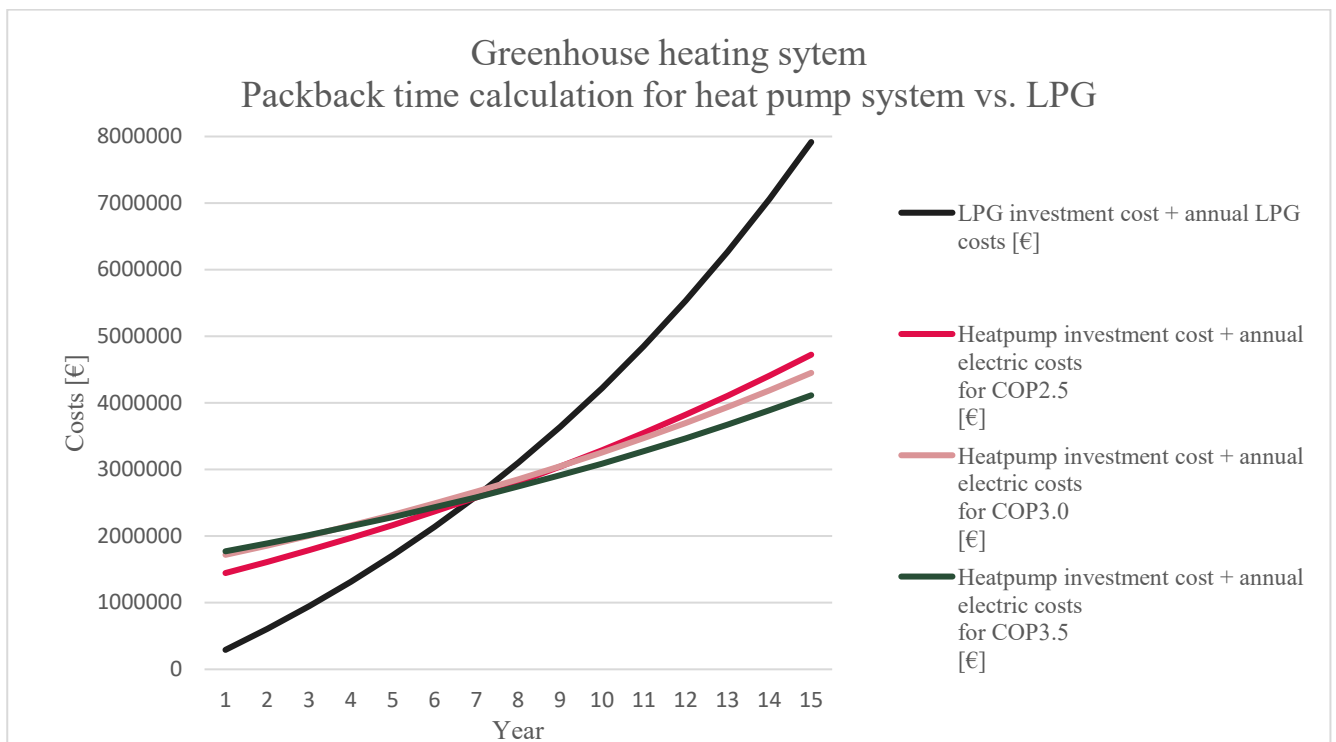
Annual electric costs, VAT24%, for a heat pump system with a COP of 3.5 [€]: 113 799€

Additional investment costs for larger radiators in the greenhouses. This investment is used to reduce the flow temperature of the heat pump output from 95°C down to <55°C, to increase the efficiency COP of the heat pump from 2.5 to 3.5.

Investment costs needed: 372 000€.

Total investment costs for the new heat pump system and drilling the boreholes: 1 658 300€

The following graph compares the payback time for the current gas burner system (LPG investment cost + annual LPG costs) against a ground source heat pump system. The heat pump systems operate at different COP's, due to the need for different flow temperatures in the radiators, to heat up the greenhouses. The lower the flow temperature circulated in the radiators, the higher efficiency the heat pump operates in. However, lower flow temperatures need higher investment costs because the amount of new radiators in the greenhouses would have to be increased substantially to get the same heating power transferred with lower flow temperatures.



KUVIO 8. Payback time for greenhouse heating systems

The payback time for a heat pump system is approximately 6 ½ years, depending on the COP of the heat pump.

Summary for a heat pump with COP 2.5:

A heat pump with a COP of 2.5 has a payback time of 6 ½ years. After 10 years of operation, the heat pump system has saved ~1 100 000€ compared to the LPG gas. After 15 years of operation, the heat pump system with a COP of 2.5 has saved 3 400 000€ compared to the LPG gas.

Summary for a heat pump with COP 3.0:

A heat pump with a COP of 3.0 has a payback time of 6 ½ years. After 10 years of operation, the heat pump system has saved ~1 140 000€ compared to the LPG gas. After 15 years of operation, the heat pump system with a COP of 3.0 has saved 3 730 000€ compared to the LPG gas.

Summary for a heat pump with COP 3.5:

A heat pump with a COP of 3.5 also has a payback time of 6 ½ years. After 10 years of operation, the heat pump system has saved ~1 380 000€ compared to the LPG gas. After 15 years of operation, the heat pump system with a COP of 3.5 has saved 4 140 000€ compared to the LPG gas.

NOTE: The actual investment costs for the ground source heat pump are only estimated at this time of the report state. Once some real quotations from suppliers are received, the payback time calculation should be updated.

4.6 Conclusion: Does It Make Sense to Change to a Heat Pump System?

Looking at the costs of an investment, a new heat pump system is a profitable investment. With a heat pump, the annual heating costs will be 45-65% lower, compared to the current gas burner system.

Future gas prices will likely increase with an annual rate of approximately 8%, and prices of electricity in Finland may increase at only 5% annually in the next upcoming years. This will make a shift towards a heat pump system more attractive.

The possibility to use a ground source heat pump system will also enable a new innovative idea to collect heat during the summer months, and store this heat into the boreholes, thus making it possible to increase the efficiency of the heat pump during the heating season. This idea, however, is experimental and has not been investigated in the project further, due to the complex mathematical simulation required.

This would be a topic of future research.

LÄHTEET

Oilon Oy technical brochure (2023).

Sieppinen, A. 2011. Resurssit osana asiakkaan arvonluontia palveluliiketoiminnassa. Pankkien lainapalvelut kuluttajille. Maisterin tutkinnon tutkielma. Helsinki: Aalto-yliopisto. Saatavissa: http://epub.lib.aalto.fi/fi/ethesis/pdf/12971/hse_ethesis_12971.pdf. Viitattu 18.3.2015.