

Ville Laitinen

Nestejäähdyttimen hyödyntäminen energiakaivon keruupiirin jälkilämmityksessä

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikka

2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Ville Laitinen
Työn nimi	Nestejäähdyttimen hyödyntäminen energiakaivon keruupiirin jälkilämmityksessä
Toimeksiantaja	MYE, Geoenergialoikka-hanke
Vuosi	2025
Sivut	32 sivua
Työn ohjaaja(t)	Tuomo Pimiä, Timo Juusola

TIIVISTELMÄ

Energiakaivo on syvä maahan porattu reikä, tutkitussa kohteessa 800 metriä. Kaivoa käytetään maalämpöpumpun lämmönlähteenä. Energiakaivon asennetaan keruupiiri, jossa keruuneste kiertää keräämässä lämpöä maaperästä. Energiakaivo on tehokas tapa tuottaa energiaa, mutta sen hyötysuhdetta olisi mahdollista parantaa nestejäähdyttimen avulla. Tässä työssä tutkittiin nestejäähdyttimen vaikutusta energiakaivon energian tuottoon.

Opinnäytteen tavoitteena oli selvittää nestejäähdyttimen vaikutusta energiakaivon toimintaan. Lisäksi tarkasteltiin maalämpöpumpun tuottamaa lämpötehoa ilman nestejäähdytintä sekä vertailua lämpötehoon nestejäähdyttimen kanssa. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon koko järjestelmän vuosihyötysuhde muuttuisi ja kuinka paljon nestejäähdytin tuottaisi lämpöenergiaa. Tarkoituksena oli pohtia myös, mitä haasteita nestejäähdyttimen käyttäminen voisi pitää sisällään tässä käyttötarkoituksessa.

Työssä syvennettiin maalämpöjärjestelmän kannalta keskeisiin asioihin, kuten energiakaivon, maalämpöpumpun ja nestejäähdyttimen toimintaan. Lisäksi syvennettiin teoreettisesti lämmön siirtymiseen, mikä liittyy olennaisesti tutkittavaan järjestelmään. Tutkitun kohteen nestejäähdytintä ja maalämpöpumppua esiteltiin myös ja kerrottiin niistä olennaiset tiedot. Kaivossa käytettyä keruuliosta ja kylmäainetta tarkasteltiin ja vertailtiin hieman, mitä muita vastaavia käytetään.

Työssä selvitettiin, kuinka paljon nestejäähdytin teoreettisesti voi tuottaa lämpöenergiaa ja kuinka paljon siitä jää energiakaivon lataamiseksi. Maalämpöpumpun tuottama lämpöenergia voitiin mitata nestejäähdyttimen kanssa ja ilman nestejäähdytintä sekä vertaamaan tuloksia toisiinsa. Tuloksista huomattiin, että SCOP paranee nestejäähdyttimen puhaltimen oikealla optimoinnilla. Lisäksi nestejäähdyttimen avulla voidaan lähes kaksinkertaistaa järjestelmän lämmöntuotanto. Työssä tunnistettiin riskejä nestejäähdyttimen jäätymisvaaran kanssa.

Asiasanat: maalämpöpumppu, nestejäähdytin, energiakaivo, SCOP

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Ville Laitinen
Thesis title	Utilizing a liquid cooler for post-heating in a geothermal borehole's collector circuit
Commissioned by	MYE, geoenergy leap project
Time	2025
Pages	32 pages
Supervisor	Tuomo Pimiä, Timo Juusola

ABSTRACT

A borehole heat exchanger or energy well, is a deep hole drilled into the ground. In the studied case the borehole is 800 meters deep. An energy well is used as the heat source for a ground source heat pump. A collector loop is installed in the borehole, where a heat transfer fluid circulates to collect heat from the ground. An energy well is an efficient way to produce energy. However, its efficiency could be improved with the help of a fluid cooler, which was examined in this study.

The objective of the thesis was to investigate the impact of the fluid cooler as part of the energy well system. Additionally, the heat output of the ground source heat pump without the fluid cooler was examined and compared with the output when the fluid cooler was in use. The goal was to determine how much the seasonal coefficient of performance (SCOP) of the entire system would change and how much thermal energy the fluid cooler could generate. The purpose was also to consider the potential challenges associated with using a fluid cooler in this application.

The study delved into key aspects of ground source heat systems, including the operation of the energy well, the ground source heat pump and the fluid cooler. Theoretical aspects of heat transfer, which are central to the system being studied, were also examined. The fluid cooler and ground source heat pump used in the studied site were presented along with essential technical details. The heat transfer fluid and refrigerant used in the well, were examined with brief comparisons to other similar alternatives.

The study successfully determined how much thermal energy the fluid cooler theoretically produces and how much of it could be used to recharge the energy well. The thermal energy output of the ground source heat pump was measured both with and without the fluid cooler allowing for a comparison. The results showed that SCOP improves with the proper optimization of the fluid cooler's fan and that the use of a fluid cooler can nearly double the system's total heat output. The study also identified risks, particularly the potential for freezing in the fluid cooler.

Keywords: ground-source heat pump, fluid cooler, energy well, SCOP

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIAA.....	5
2.1	Lämmönsiirtymisen periaatteet.....	6
2.1.1	Johtuminen.....	6
2.1.2	Konvektio.....	7
2.1.3	Säteily.....	7
2.2	Maalämpö ja energiakaivo.....	8
2.3	Energiakaivon regenerointi.....	10
2.4	Keruunesteet.....	11
2.5	Kylmäaineet.....	11
2.6	Maalämpöpumppu.....	12
2.7	Nestejäähdytin peruseriaate.....	16
2.8	EC-moottori.....	17
3	TUTKITTAVA PROSESSI.....	18
4	LASKENTA-EXCEL.....	20
4.1	Nestejäähdyttimen tuottama energia.....	20
4.2	Maalämpöpumpun tuottama energia.....	25
4.3	Kulutetut energiat.....	27
4.4	SCOP.....	30
5	YHTEENVETO.....	31
	LÄHTEET.....	32

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Geoenergialoikka-hanke. Työssä on tarkoituksena tutkia Kotkan Sunilaan tulevan energiakaivon toimintaa. Energiakaivon rinnalle asennetaan nestejäähdytin, jonka avulla pyritään säästämään energiaa ja tutkimaan yleisesti, miten nestejäähdytin vaikuttaa maalämpöpumpun ja energiakaivon toimintaan sekä energiatuotantoon.

Normaalitilanteessa järjestelmä tuo energiakaivosta noin 5 °C:n lämpöistä keruunestettä, josta maalämpöpumppu tuottaa sähköllä tarpeiden mukaista lämmintä nestettä. Lämmintä nestettä voidaan käyttää esimerkiksi lattia- tai patterilämmitykseen sekä käyttövedeksi. Maalämpöpumpun hyötysuhteeseen vaikuttaa pumpulle tulevan keruunesteen lämpötila ja se kuinka lämpimäksi neste lämmitetään. Tätä hyötysuhdetta pyritään parantamaan nestejäähdyttimen avulla, lämmittämällä keruunestettä ulkoilman avulla. Tämä toteutetaan kierrättämällä keruunestettä nestejäähdyttimen kautta, silloin kun ulkolämpötila on yli 5 °C ja tätä alhaisemmilla lämpötiloilla keruuneste kulkee suoraan energiakaivolta maalämpöpumpulle.

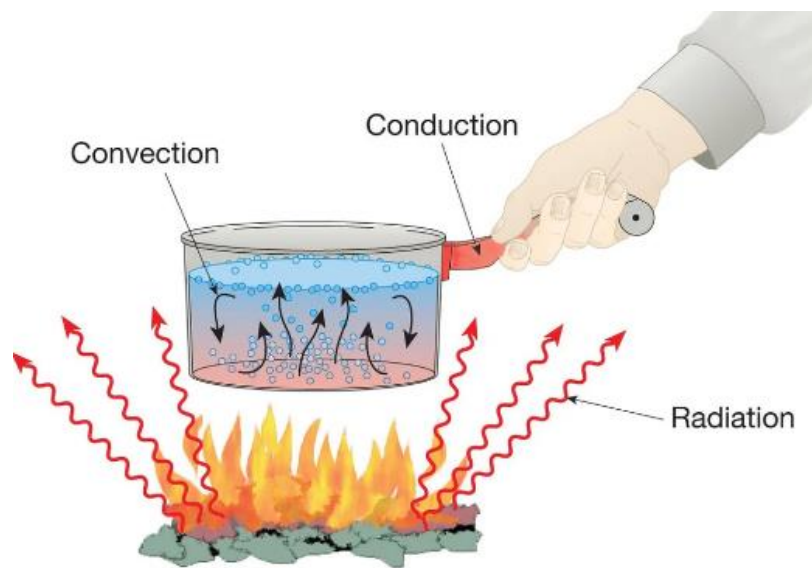
Opinnäytteessä on painopisteenä nestejäähdyttimen toiminta. Maalämpöpumppua tutkitaan työssä myös sen vuoksi, koska se liittyy olennaisesti prosessiin ja nestejäähdyttimeen. Nestejäähdyttimeen liittyvät laskelmat ja tutkimus tehdään teoreettisella tasolla, jolloin valmiin prosessin mittauksia ei tässä työssä tehdä. Nestejäähdyttimen toiminnasta halutaan tutkia, kuinka paljon lisätuotantoa sillä saadaan ja miten koko järjestelmän hyötysuhde muuttuu. Lisäksi selvitetään nestejäähdyttimen vahvuudet ja heikkoudet prosessissa.

2 TEORIAA

Seuraavassa osiossa syvennyttään tutkimaan prosessissa keskeisiä asioita ja käsitteitä, jotka ovat esimerkiksi lämmönsiirtyminen, maalämpökaivo eli tässä tapauksessa energiakaivo, maalämpöpumppu ja nestejäähdytin sekä COP ja SCOP.

2.1 Lämmönsiirtymisen periaatteet

Lämpöä voi siirtyä kolmella eri tavalla: johtumisella, konvektiolla ja säteilyllä, kuten kuvassa 1 nähdään. Näistä energiakaivossa tapahtuu kahta, jotka ovat johtuminen ja konvektio. Lämmön siirtyminen johtumisella tarkoittaa, että lämpö siirtyy maasta kohti kaivoa. Konvektio tarkoittaa, että putken sisällä käytettävällä keruunesteellä siirretään lämpöä kohti lämpöpumppua. (Wagner 1994, 15, 51, 117.)



Kuva 1. Lämmönsiirtymisen periaatteet (Science Ready s.a.)

2.1.1 Johtuminen

Johtuminen (konduktio) on molekyylien välittämää ja lämpötilaeroista tulevaa lämmönkuljetusta. Johtumista tapahtuu kiinteässä aineessa, nesteessä sekä kaasussa. Lämmönjohtumisen tavallisin tapaus tekniikassa tapahtuu niin, että lämpö siirtyy jatkuvalla ylläpidolla tuomalla lämpöä, esimerkiksi lämmönsiirtimissä. Johtuminen onkin merkittävä lämmönsiirtotapa esimerkiksi juuri maaperässä. (Wagner 1994, 15.)

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad (1)$$

jossa	Q	Siirtynyt lämpöenergia	[W]
	k	Lämmönjohtavuus	[W/m·K]
	A	pinta-ala	[m ²]
	T	Lämpötila	[°C]

d materiaalin paksuus [m]

2.1.2 Konvektio

Lämmön kuljetus eli konvektio tarkoittaa lämmön siirtymistä nesteen tai kaasun virratessa. Konvektiossa lämpö kulkeutuu aineen mukana ja konvektio jaetaan kahteen, jotka ovat luonnollinen- ja pakotettu konvektio. Luonnollisessa konvektiossa virtaus tapahtuu sanan mukaisesti luonnollisesti ja pakotetusti hyödyntämällä erillistä laitteistoa esimerkiksi pumppua tai puhallinta. Virtauksen ollessa turbulenti, lämpö siirtyy paljon paremmin kuin johtamalla, koska silloin neste sekoittuu voimakkaasti. (Wagner 1994, 51.)

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

jossa	Q	Siirtynyt lämpöteho	[W]
	h	konvektiivinen lämmönsiirtokerroin	[W/m ² ·K]
	A	siirtopinta-ala	[m ²]
	T	Lämpötila	[°C]

2.1.3 Säteily

Säteily on kolmas lämmön siirtymisen muoto, jossa lämpö siirtyy sähkömagneettisena säteilynä. Säteily eroaa muista prosesseista lainmukaisuuksiltaan johtumisesta ja konvektiosta. Johtumisessa energia siirtyy värähtelyjen avulla ja konvektiossa liikkuvan aineen mukana. Säteily ei tarvitse väliainetta. Kaikki kappaleet, jotka ovat yli absoluuttisen nolapisteen, säteilevät lämpöenergiaa. Korkeissa lämpötiloissa säteilystä tulee näkyvää ja sen energia kasvaa huomattavasti. Kappaleeseen osuvalle säteilylle on kaksi lopputulemaa, se joko absorboituu eli imeytyy tai menee sen läpi. (Wagner 1994, 117.)

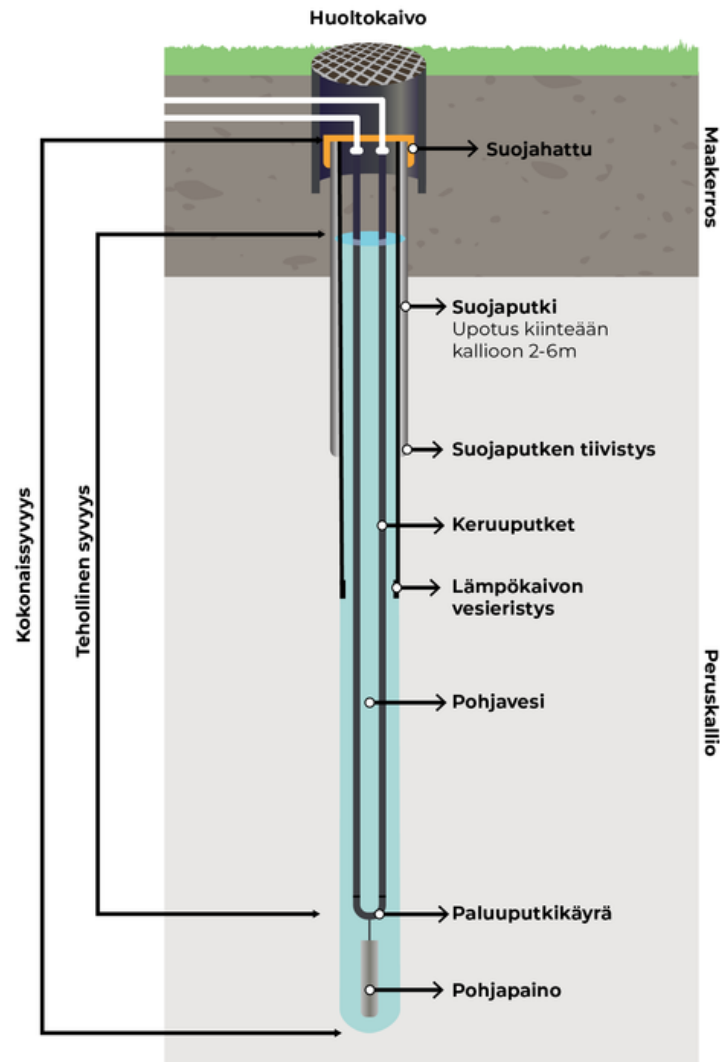
$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_{ymp}^4) \quad (3)$$

jossa	Q	Siirtynyt lämpöteho	[W]
	ε	emissiivisyys	[-]
	σ	Stefan-Boltzmannin vakio	[W/m ² ·K ⁴]
	A	Pinta-ala	[m ²]

T	Pinnan lämpötila	[K]
T_{ymp}	Ympäristön lämpötila	[K]

2.2 Maalämpö ja energiakaivo

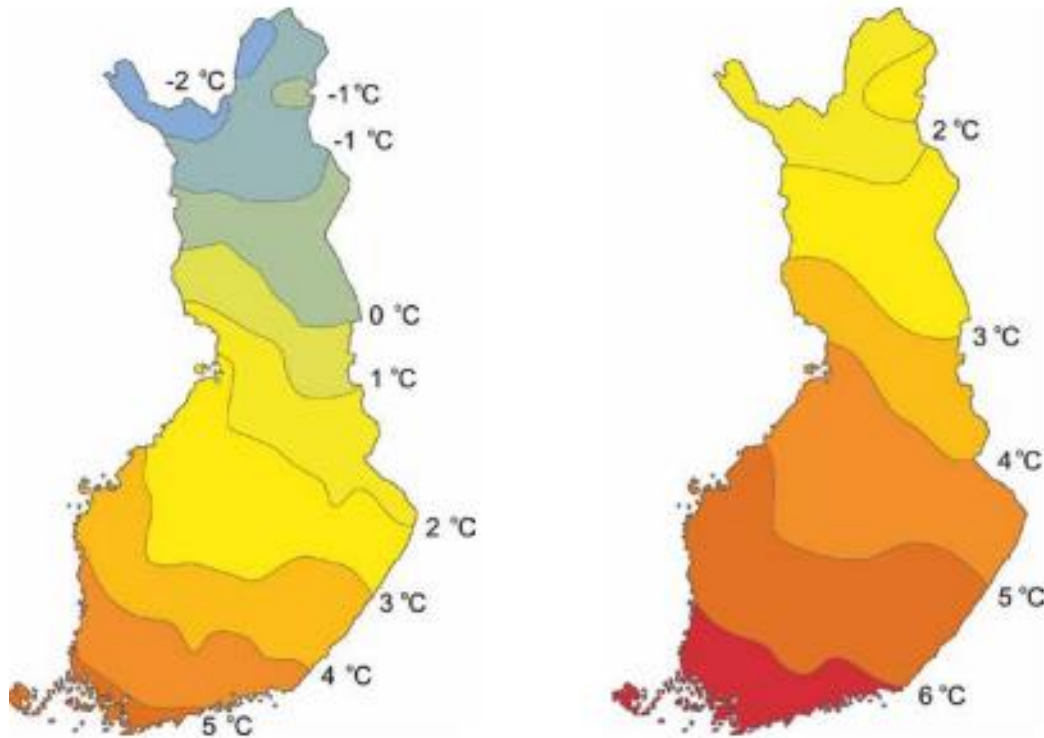
Maalämpö eli geoenergia on lämpöä, joka on maankuoren sisällä syntyvää ja siten siellä olevaa lämpöä. Maalämpöä syntyy myös toisella tavalla auringon lämmittäessä maaperän pintaosia. Suurin osa maalämmöstä on peräisin auringon säteilystä, joka on varastoitunut maaperään. Maalämpöä voidaan hyödyntää siis maalämpökaivona, johon tarvitaan maalämpöpumppu puristamaan keruunesteen lämpötila korkeammaksi. Maalämpökaivon etuna on hyvä hyötysuhde sekä toiminta ympäri vuoden. (Hellgren ym. 1992, 41, 42.)



Kuva 2. Lämpökaivo (Motiva 2024)

Maalämpöä on mahdollista kerätä kahdella eri tekniikalla, joista toinen on maaperän pintakerrokseen asennettava vaakasuuntainen lämmönkeruupiiri ja toinen, jota tässä opinnäytteessä tutkitaan eli kallioperään porattavat energiakaivot, joiden sisällä lämmönkeruupiirit kulkevat pystysuoraan. Tämä pystysuora maalämpökaivo on kuvassa 2. Näin toteutetut energiakaivot vievät vähemmän tilaa. Tavallisesti pystysuuntaiset kaivot ovat 200-400 metriin porattuja ja sisältävät lämmönkeruuputkiston. Putkiston sisällä kulkee lämmönkeruuneste, jolla kerätään lämpöä maa- ja kallioperästä. Maanpinnalle ei tule näkyviin muuta kuin energiakaivon suojahattu, muuten se jää maanpinnan alle piiloon. 80 huoneiston uudiskohde tarvitsee esimerkiksi 13 kappaletta 300 metriin porattuja energiakaivoja, jos lämmitysenergian tarve on 500 MWh vuodessa. (Isohookana 2021.)

Suomessa maan pintaosien lämpötila on keskimäärin ilman lämpötilaa korkeampi noin kahdella asteella. Lämpötiloihin vaikuttaa jonkun verran sijainti Suomessa. Pohjoisessa on 3-4 °C viileämpää maanpinnan kerroksissa etelään verrattuna, kuten kuvassa 3 on esitetty. Mitä syvemmälle kallioperään mennään, sitä korkeammaksi lämpötila nousee, koska geotermien energia vaikuttaa lämpötilaan. Etelässä esimerkiksi 300 metrin syvyydessä saavutetaan noin 6,5-9 °C:n lämpötila. Kallioperän lämpöominaisuuksiin vaikuttaa maantieteellisen sijainnin lisäksi kallioperän koostumus, rikkonaisuus ja pohjavesi. Pohjavesi ja kallioperän rikkonaisuus tehostavat lämmön siirtymistä, mutta toisaalta rikkonaisuus vaikeuttaa porausta. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 9.)



Kuva 3. Ilmalämpötilan ja maanpinnan vuotuiset keskiarvot, vasemmalla ilmalämpötila (Juvenen & Lapinlampi 2013 Kuva: Nina Leppäharju)

2.3 Energiakaivon regenerointi

Regenerointi tarkoittaa energiakaivon takaisin ajettua lämpöä, kun puhutaan energiakaivosta, jolla lämmitetään rakennusta tai rakennuksia. Jos energiakaivoja on useampia lähekkäin samassa kallioperässä, saattaa kallioperä vuosien saatossa jäähtyä tai jopa jäätyä. Tämä tarkoittaisi maalämpöpumppujärjestelmän hyötysuhteen heikkenemistä tai jopa koko järjestelmän käytön lopettamista. Tämän takia energiakaivoa ideaalitulanteessa ladattaisiin yhtä paljon kuin kulutetaan. Tässä tilanteessa lämpöenergiaa lämpiminä aikoina palautettaisiin kaivon sen, mitä sieltä on kylminä aikoina käytetty, jolloin energiakaivon lämpötila vaihtelee vain vuoden lämpötilavaihtelun takia. (Ranta-Korpi 2018, 23, 24.)

Energiakaivo voi regeneroitua luonnollisesti tai pakotetusti. Luonnollista regeneroitumista ovat auringon säteily, ulkoilman lämpötilan vaikutus maaperään ja geoterminen lämpö. Kun energiakaivon lämpötila laskee, alkaa ympäristöstä siirtymään lämpöä kohti kaivoa. Pakotetusti lämpö siirretään auringon säteilystä, ulkoilmasta tai rakennuksen hukkalämmöstä energiakaivon läm-

mittäen sitä. (Ranta-Korpi 2018, 25, 26.) Tutkitussa kohteessa regeneroitumista voidaan tehdä nestejäähdyttimen avulla, jolloin hyötysuhde vuosien varrella pysyisi maalämpöjärjestelmässä hyvänä.

2.4 Keruunesteet

Keruunesteet toimivat energiakaivossa lämmön kerääjänä ja sen välittäjänä. Keruunesteitä on erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Neste kiertää siis pumpun avulla putkistossa niin, että kaivossa se kerää lämpöä siirtäen ja luovuttaen lämmön maalämpöpumpulle. Keruunesteet ovat yleisesti vesipohjaisia nesteitä, joihin on lisätty pakkasenestävää nestettä, esimerkiksi Naturet-maalämpöneresteet ovat etanolilla vahvistettuja. (Anora s.a.)

Kohteen keruuneste

Gebwell käyttää lämmönkeruunesteenä noin 25-30-prosenttista etanolia, joka on denaturoitu eli tehty juomakelvottomaksi. Lämmönkeruunesteenä ei voida käyttää vettä sen herkän jäätymisen vuoksi, minkä takia nesteenä on pakasta kestävä neste. Lämmönkeruuneste kestää jäätymättä alle -15 °C:n lämpötiloissa. Vastaavanlaista maalämpöpumpulle soveltuvaa keruunestettä käytetään myös tutkitussa kohteessa, mutta sitä on täytynyt vahvistaa lisäämällä etanolia suuremman pakkasenkestävyyden saavuttamiseksi, ettei se jäädy matalissa lämpötiloissa. (Maalämpösanasto s.a.)

2.5 Kylmäaineet

Kylmäaine on kemiallinen neste, jonka tarkoitus on lämmön siirtäminen. Sen tehtävänä on kerätä lämpöä toisesta paikasta ja siirtää sitä seuraavaan, jolloin prosessista riippuen jäähdytetään tai lämmitetään. Esimerkiksi jääkaapeissa ja ilmastointilaitteissa kylmäaine jäähdyttää ja energiakaivossa, kuten tutkitussa kohteessa se lämmittää. Kylmäaineet kiertävät suljetussa piirissä muuttuen esimerkiksi lämpöpumpussa ensin nesteestä kaasuksi höyrystimessä sitouttaen lämpöenergiaa. Kompressori puristaa höyrymäisessä muodossa olevan kylmäaineen kokoon, jolloin paine ja lämpötila kasvavat. Kuuma kaasu kulkee lauhdyttimen läpi luovuttaen lämmön ja muuttuen takaisin nesteeksi.

Lopuksi vielä neste menee paisuntaventtiin läpi, jolloin paine putoaa ja neste on valmis uuteen kiertoon. (MV-jäähdytys s.a.)

Kylmäaine ja keruuneste toimivat tietyllä tapaa samalla logiikalla keräten lämpöä ja siirtäen sitä eteenpäin, mutta energiakaivossa keruuneste kiertää keräteen lämmön kaivosta siirtäen sen maalämpöpumpulle. Kylmäaine taas kiertää maalämpöpumpun sisällä toistaen aiemmin mainittua kiertoa, johon tarvitaan esimerkiksi kompressoria ja lauhdutinta.

Kohteen kylmäaine

Gebwellin käyttämiä kylmäaineita ovat esimerkiksi R407C, R513A, R410A ja kohteessa käytetään R290:tä eli propaania, joka on hiilivetyihin kuuluva kylmäaine. Lisäksi se on ympäristön kannalta huomattavasti parempi vaihtoehto verrattuna perinteisiin HFC-kylmäaineisiin (Gebwell 2025.)

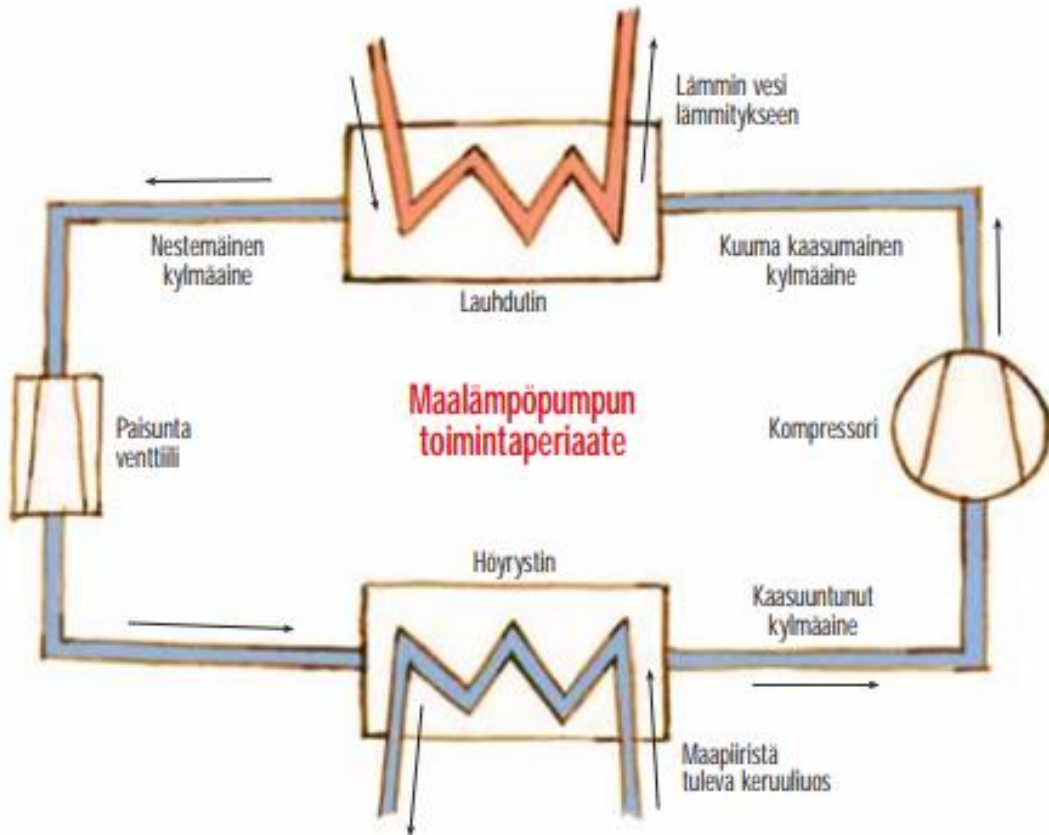
R290 kylmäaineen GWP on vain 0,02 ja ODP on 0. GWP tarkoittaa kasvihuonevaikutusta ja ODP otsonikerroksen vahingoittamisen arvoa. Kuten aiemmin mainittiin niin luvut näyttävät, miten vähän ympäristöä se vahingoittaa. On kuitenkin huomioitavaa, että kylmäaine on helposti syttyvä, mikä rajoittaa sen käyttöä joissakin sovelluksissa. (MV-jäähdytys s.a.)

2.6 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu hyödyntää pintamaasta, energiakaivosta tai vedestä saatavaa lämpöenergiaa. Kaikissa tapauksissa laitetta kutsutaan maalämpöpumpuksi. Syvemmissä lämpökaivoissa osa lämmöstä on peräisin maapallon ytimestä kallioon johtuvasta fissioenergiasta sekä lämpimistä pohjavesivirtauksista. Lämmönsiirtimillä voidaan parantaa lämpöpumpun käytettävyyttä ja hyötysuhdetta. (Alanne ym. 2024, 151, 152.)

Esimerkiksi tutkitussa kohteessa nestejäähdytintä käytetään siirtämään lämpöä ilmasta keruunesteeseen. Tällä tekniikalla keruunestettä saadaan kesällä lämmitettyä. Kun lämpöpumpulle tuleva neste on lämpimämpää, saadaan lämpöä tuotettua vähemmällä sähköllä. Lisäksi tämän ansiosta hyötysuhde paranee. Nestejäähdyttimen avulla voidaan myös lämmittää itse kaivoa, jolloin

lämpöä voidaan hyödyntää tarvittaessa. Lämpöpumpun käytettävyys paranee myös tässä tapauksessa samalla logiikalla.



Kuva 4. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva 2012)

Maalämpöpumpulla yksinkertaisesti siirretään esimerkiksi energiakaivosta saatava lämpö sähkön avulla rakennusten käyttöön. Keruupiirissä maaperästä talteen otettu lämpö siirtyy lämmönkeruunesteessä pumpun avulla lämpöpumpun höyrystimelle. Höyrystimessä lämpö siirtyy lämmönkeruunesteestä kylmäaineeseen. Lopuksi kompressorin avulla kylmäaine kiertää lauhduttimelle luovuttaen energian lämmityspiiriin. Tämä maalämpöpumpun toimintaperiaate esitettyä kuvassa 4. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12.)

Maalämpöpumppu on huoleton valinta lämmitysjärjestelmäksi, koska se ei vaadi paljoa huoltoa. Maalämpöpumput ovat nykyään toimintavarmoja. Mikäli tapahtuu toimintahäiriö, lämpöpumpun automatiikka viestii vikatilanteesta. Maalämpöpumppu sopiikin hyvin pientalojen lämmitykseen. Maalämpöpumpun tuottamasta energiasta noin 66 % on uusiutuvaa energiaa. (Motiva 2012)

Jotkin maalämpöpumput toimivat vuorottain lataavina malleina, joissa käyttövesi lämmitetään kaksoisvaippavaraajan ulommassa osassa. Tämä tarkoittaa, että laite vuoroin lämmittää vettä tilojen lämmitystä varten ja vuoroin käyttövedeksi. Käyttöveden lämmitys tapahtuu hieman heikommalla hyötysuhteella, koska tarvittava lämpötila on yleensä korkeampi kuin lämmönjakoverkossa. Heikommasta hyötysuhteesta huolimatta käyttöveden lämmitys priorisoidaan aina, kun se on mahdollista. Vuoroittain lataavat mallit sopivat sekä lattia- että patterilämmitysjärjestelmiin. (Motiva 2024.)

Toinen maalämpöpumpputyyppejä on tulistinmaalämpöpumppu, jossa kompressorin ja lauhduttimen välissä on erillinen lämmönvaihdin. Tämä lämmönvaihdin hyödyntää kaikkein kuumimman kylmäainehöyryn lämpöä käyttöveden kuumentamiseen. Tulistinmaalämpöpumpuissa on usein käyttövesikierukka ja niitä käytetään erityisesti käyttöveden lämmitykseen. (Motiva 2024.)

Lisäksi on olemassa kahden kompressorin laitteita, joissa erilliset kylmäainepiirit ja lämpötila-alueet. Näillä malleilla voidaan tuottaa yli 70 °C:n lämpötiloja pelkästään kompressorien avulla, tämä parantaa järjestelmän tehokkuutta ja soveltuvuutta korkeaa lämpötilaa vaativiin käyttökohteisiin. (Motiva 2024.)

Kohteen maalämpöpumppu

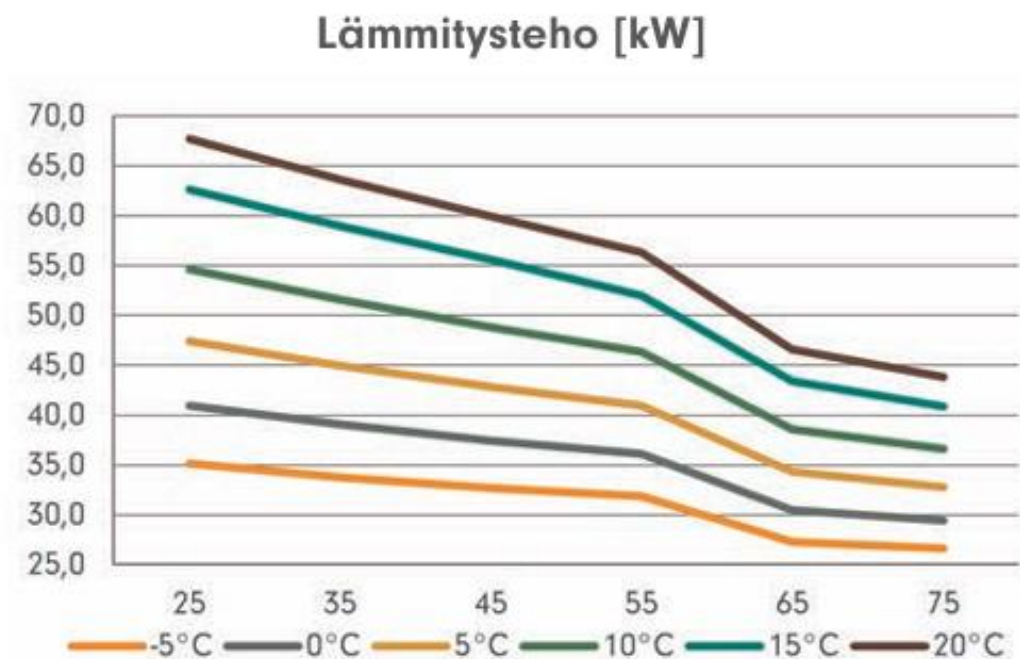
Sunilan maalämpöpumppuna toimii Gebwell G-Eco Core 40, joka on siis maalämpöpumppu invertteriohjauksella (kuvassa 5). Tämän lämpöpumpun sähköteho on esitteessä ilmoitettujen arvojen perusteella, lämpötiloilla 0°/35° 10,9 kW ja lämpötiloilla 0° /55° 14,9 kW.



Kuva 5. Maalämpöpumppu Gebwell G-Eco Core 40 (Gebwell 2025)

Lämpötehoa se pystyy tuottamaan näille $0^{\circ}/35^{\circ}$ ja $0^{\circ}/55^{\circ}$ lämpötiloille 39 kW ja 36,1 kW, jolloin se sopii hyvin korkean energiatarpeen kohteisiin. COP on 3,8 ja 2,5 kyseisillä lämpötila alueilla sekä SCOP on 3,9 ja 3,2.

COP-luku eli lämpökerroin kuvaa lämpöpumpun tehokkuutta. Se kertoo siis, kuinka paljon energiaa saada tuotettua suhteessa kulutettuun energiaan, eli tarkalleen kerrottuna, kuinka monta yksikköä lämpöenergiaa saadaan yhdellä yksiköllä sähköenergiaa. SCOP kertoo koko lämmityskauden tehokkuuden, minkä takia se on luotettavampi näistä kahdesta. (Gebwell s.a.) Hyötysuhde on sitä parempi, mitä pienemmällä lämpötila erolla lämpöä tuotetaan. Hyötysuhteeseen vaikuttaa, kuinka korkea lämpötilaa lämpöpumpulla tehdään tai kuinka lämmintä nestettä keruupiiriltä lämpöpumpulle tulee. (Gebwell 2022, 7.)



Kuva 6. Suoritusarvokuvaaja (Gebwell 2025)

Kuvassa 6 on näytettyä kohteen maalämpöpumpun Gebwell G-Eco Core 40 lämmitysteho, kun maalämpöpumpulle tulevan keruunesteen lämpötila (kuvassa olevat eri väriset käyrät) ja lämpötila, johon neste halutaan lämmitettävän muuttuu (kuvan alapuolella olevat lämpötilat). Esimerkiksi, kun maalämpöpumpulle tulee 5 °C:n keruuneste ja halutaan lämmitellä neste 35 °C:een on maalämpöpumpun lämmitysteho noin 45 kW.

2.7 Nestejäähdytin peruseriaate

Nestejäähdyttimien peruseriaate on jäähdyttää sen sisällä kiertävää nestettä ilman avulla. Järjestelmässä kiertää neste, joka kerää lämpöä esimerkiksi moottorista ja siirtää sen järjestelmän toiseen osaan, jossa lämpö siirtyy ilmaan. Tämä toistuu koko ajan uudestaan jäähdyttäen järjestelmää.

Kohteen nestejäähdytin

Tässä kohteessa oleva nestejäähdytin toimii konvektiojäähdytyksellä, mutta tässä kohteessa päinvastaisesti, koska järjestelmässä kulkevaa nestettä lämmitetään ulkoilmalla. Lämmönvaihtimissa kulkevaa keruunestettä lämmitetään

puhaltamalla lämmintä ilmaa lämmönvaihtimien läpi, jolloin lämpimästä ilmasta siirtyy lämpö keruunesteeseen ja tätä kautta maalämpöpumppuun. Tämän jälkeen kylmennyt neste kiertää taas energiakaivon kautta nestejäähdyttiin, joka lämmittää nestettä. Tämä kierto toistuu yhä uudelleen. (Dry Coolers: Complete Guide to Industrial Air Cooling 2023.)



Kuva 7. Kohteen nestejäähdytin kuvattuna talvella (Kuva: Timo Juusola)

Kohteen nestejäähdytin on siis Güntnerin pöytämallinen kuivajäähdytin, joka on kuvattuna talvella kuvassa 7. Siinä kiertävää nestettä lämmitetään puhaltamalla ulkoilmaa lämmönvaihtimiin. Jäähdyttimen jäähdytysteho on 181,3 kW. Mitoitusarvoilla tuleva neste on 70 °C ja ulos 25 °C, jossa ulkoilma 20 °C.

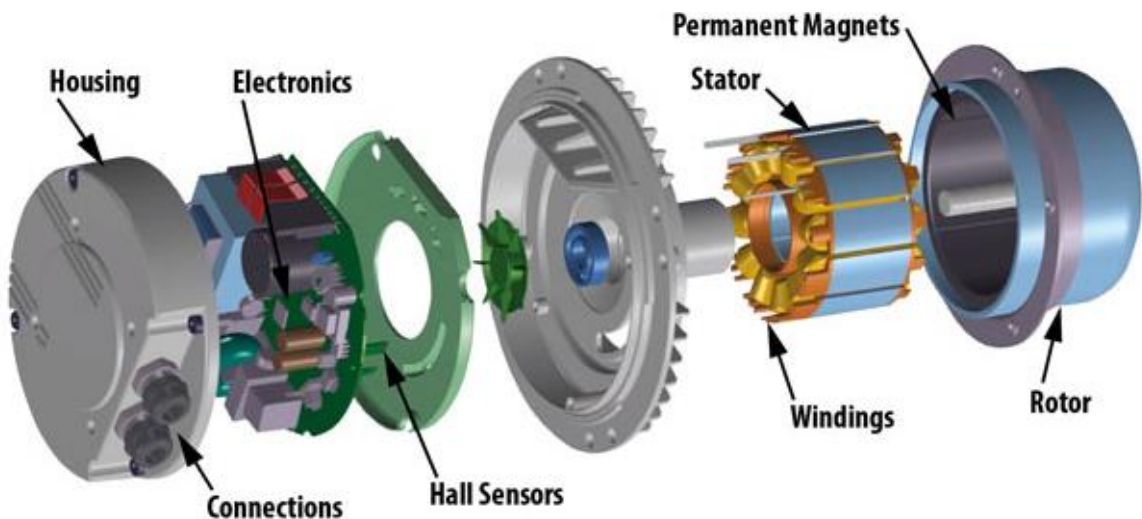
2.8 EC-moottori

Sunilan kohteen nestejäähdyttimen puhaltimet toimii EC-moottorilla, joka on automaation takia energiatehokas ratkaisu. EC-moottorissa vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi sen elektroniikalla, jolloin puhaltimien kierrosnopeutta saadaan säädettyä muutamalla moottorin saamaa virtaa. Puhallin saadaan siis toimimaan vain tarvittavan ajan ja optimaalisella tehoalueella. Puhaltimien EC-moottoreita ohjataan 0-10 v jänniteviestillä. (Puhaltimien hankintaopas 2020.)

EC-moottori on tasavirtamoottori, joka on elektronisesti kommutoitu sekä useimmiten kestopagneettimoottori. EC-moottoreita käytetään enimmäkseen

erilaisiin puhallustarkoituksiin. Esimerkiksi kiinteistöjen ilmanvaihtopuhaltimissa, jäähdytysjärjestelmien lauhdutinpuhaltimissa ja niin kuin tässä kohteessa nestejäähdyttimessä. Moottorin ohjauselektronikka muuntaa vaihtovirran tasavirraksi ja ohjaa moottorin kierrosnopeutta säätämällä virransyöttöä. (Motiva 2020, 10.)

EC-moottorin keskeisiä etuja ovat pieni koko, helppo integrointi puhaltimiin sekä alhainen melutaso. Lisäksi sen nopeutta voidaan säätää suoraan ilman taajuusmuuntajaa. EC-moottoreiden eduksi on todettu myös hyötysuhde alle 5 kW:n puhallinsovelluksissa, verrattuna induktiomoottoriin ja taajuusmuuttajan yhdistelmään. EC-moottorin komponentit esitettynä kuvassa 8. (Motiva 2020, 10, 18.)

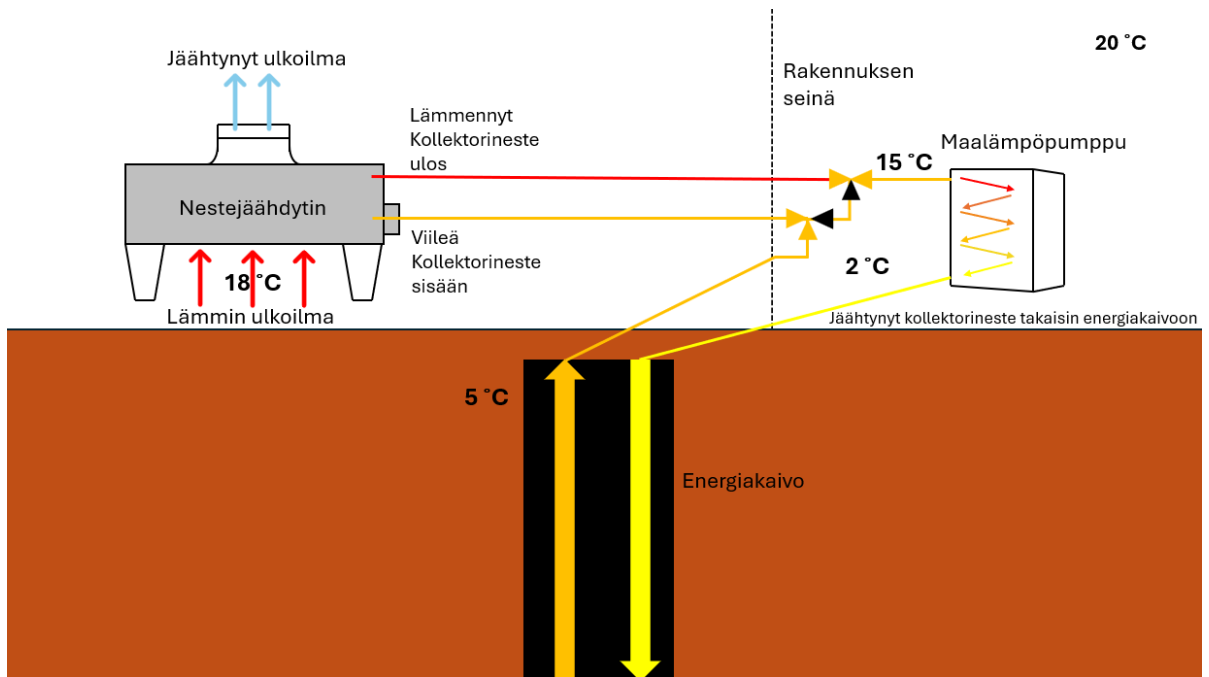


Kuva 8. EC-moottori räjäytyskuva. (Continental Fan 2019 Kuva: Rosenberg)

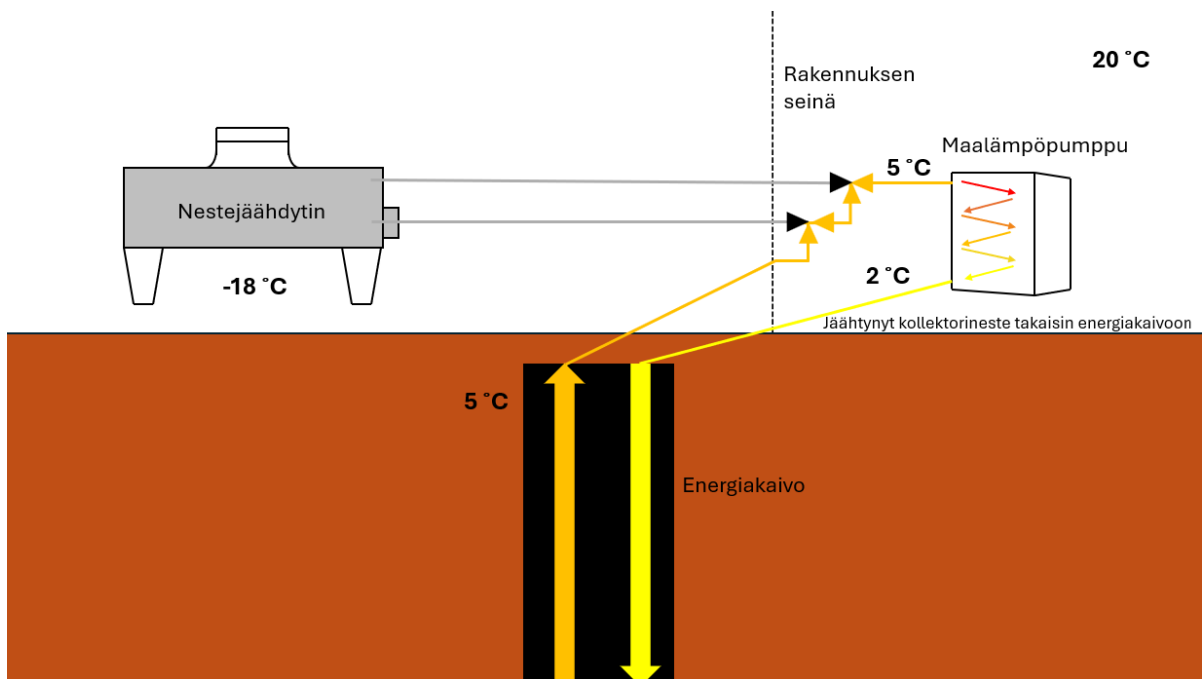
3 TUTKITTAVA PROSESSI

Tutkimuksen kohteena on Kotkan Sunilaan porattu 800 metrin energiakaivo, jossa kaksois-u-kollektorit. Näistä toinen ulottuu 800 metriin asti ja toinen ensimmäiselle 200 metrille. Niitä voi ajaa rinnan ja sarjassa. Prosessissa nestejäähdyttimessä lämmitetään keruuneste ja tämän jälkeen se ohjataan lämmitettynä maalämpöpumpulle. Lämmitysprosessi vaatii, että ulkolämpötila on yli keruunesteen lämpötilan eli yli 5 °C, mutta todellisuudessa noin 10 °C, jolloin on vasta energiatehokasta käyttää nestejäähdytintä keruunesteen lämmittämiseen. Ulkolämpötilan ollessa yli 10 °C:n keruuliuos kierrätetään nestejäähdyttimen kautta. Tämä tilanne näytetty kuvassa 9. Mikäli lämpötila on alle 10 °C,

siitä ei hyödytä, jolloin neste menee suoraan maalämpöpumpulle (kuvassa 10). Tätä kollektorinesteen kierrätystä säätelee kolmitieventtiilit.



Kuva 9. Prosessi kesätilanteessa



Kuva 10. Prosessi talvitilanteessa

Vaihtoehtoinen ratkaisu on ajaa keruuneste suoraan kaivoon nestejäähdyttimeltä. Tällöin kaivo ladataan eli lämpöä kerätään kaivoon, jolloin saatua lämpöä voidaan hyödyntää, kun sitä tarvitaan. Tutkittavana on kuinka paljon nestejäähdytin parantaa maalämpöpumpun ja siten koko prosessin hyötysuhdetta, kun ulkoilman lämpötilaa hyödynnetään lämmityksessä kesäaikaan.

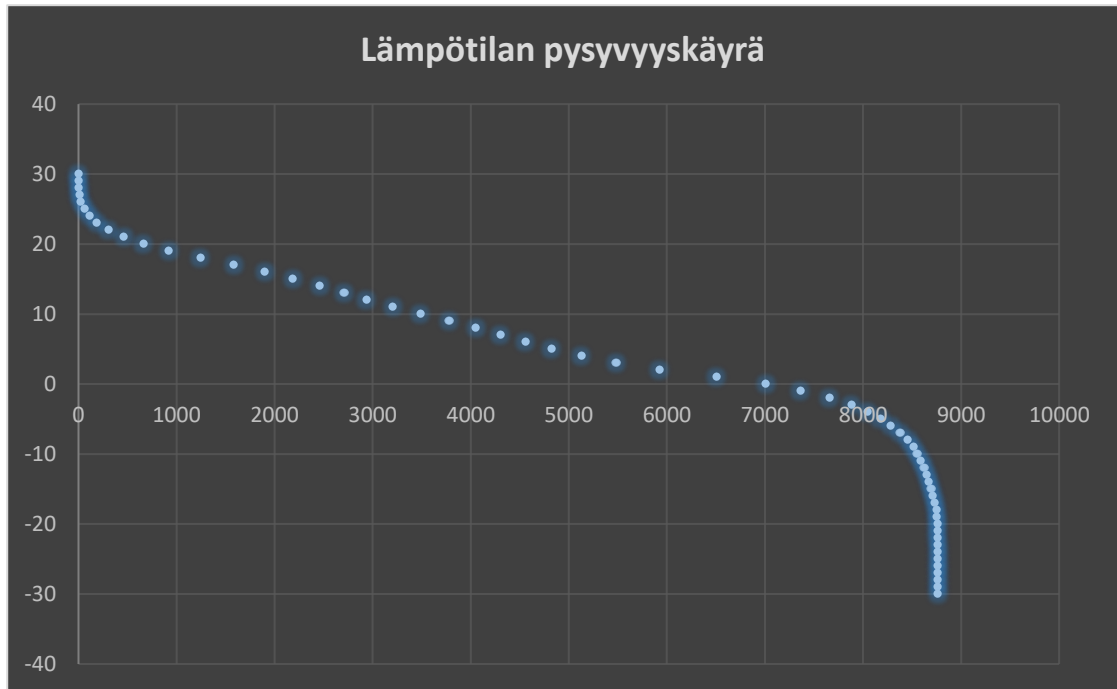
Maalämpöpumpun toisella puolella on nestekierto. Varaajasta menee lämpöä konttiympäristöön ja ylimääräinen lämpö ajetaan vaihtimen kautta nestejäähdyttimelle. Nestejäähdytintä voidaan käyttää latauksessa. Passiivinen lataus on tässä yksi vaihtoehto. Maalämpöpumpun lämmitysteho on 38 kW ja nestejäähdytin on mitoitettu 181 kW jäähdytysteholle. Yleisesti maalämpönesteenä käytetään naturet 28 -nesteitä, mutta sen pakkasenkestävyys on vain -17 °C , minkä takia kohteen maalämpönestettä täytyy vahvistaa lisäämällä etanolin pitoisuutta niin, että se kestää -30 °C .

4 LASKENTA-EXCEL

Laskennat nestejäähdyttimen vaikutuksesta energiakaivolle ja maalämpöpumpun toiminnalle on toteutettu Excelissä. Laskennalla oli tarkoitus selvittää, kuinka paljon nestejäähdytin pystyy tuottamaan kesäaikaan energiaa ja paljonko tästä maalämpöpumpu saa hyödynnettyä rakennuksen käyttöön. Näiden laskelmien perusteella haluttiin selvittää nestejäähdyttimen vaikutus koko energiakaivon SCOPiin.

4.1 Nestejäähdyttimen tuottama energia

Nestejäähdyttimen laskennassa käytetään Ilmatieteenlaitoksen lämpötiladataa Kotkan Rankin havaintoasemalta. Tilanteen pysyvyyssäyrä kuvassa 11. Lämpötiladatasta on eroteltu jokaisen lämpötilan esiintyvyydet tunteina 1 °C :n välein, minkä perusteella on laskettu energiat. Lämpötiladata on viiden vuoden keskiarvo, minkä perusteella saadaan luotettavammät arvot, kun vain yhden vuoden perusteella. Pysyvyyssäyrästä näkee ulkolämpötilojen esiintyvyydet Kotkan Rankin havaintoasemalta.



Kuva 11. Kotkan Rankin lämpötilan pysyvyyskäyrä

Lämpötehon laskentaan tarvitaan väliaineen massavirta ja ominaislämpökapasiteetti. Nestejäähdyttimen maksimimassavirta, jota käytetään koko kaivolle, on laskettu kaavalla 4:

$$m = p \cdot V \quad (4)$$

jossa	m	Massavirta	[kg/s]
	p	Tiheys	[kg/m ³]
	V	Tilavuusvirta	[m ³ /s]

Nestejäähdyttimen esitteen arvoista saadaan lämmönsiirtonesteen maksimi tilavuusvirta 3,83 m³/h, joka muunnettuna SI-yksikköön on:

$$q_v = \frac{3,83 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}} = 0,001064 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

Energiakaivon keruunesteen täytyy olla 50-prosenttinen etanoliliuos kestääkseen matalat lämpötilat, joten tiheys on laskettu painotetulla keskiarvolla etanolin 789 kg/m³ ja veden 997 kg/m³ tiheyksistä. Tiheydeksi etanoliliuokselle saadaan:

$$\rho_{\text{liuos}} = \frac{(789+997) \text{ kg/m}^3}{2} = 893 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

Kaavalla 4 massavirraksi energiakaivoon nestejäähdyttimen vaatimilla rajoilla saadaan:

$$m = 0,001064 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 893 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0,9501 \text{ kg}/\text{s} \quad (7)$$

Lämpötehon pystyy laskemaan, kun tiedossa on massavirta ja ominaislämpökapasiteetti. Lämpöteho nestejäähdyttimelle jokaisella lämpötilalla on laskettu kaavalla:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (8)$$

jossa	Q	Lämpöteho	[kW]
	m	Massavirta	[kg/s]
	Cp	Ominaislämpökapasiteetti	[kJ/(kg°C)]
	T	Lämpötila	[°C]

Kyseistä kaavaa varten pitää laskea ominaislämpökapasiteetti, joka on laskettu painotetulla keskiarvolla etanolin 2,43 kJ/(kg°C) ja veden 4,19 kJ/(kg°C) ominaislämpökapasiteettien perusteella. Tällöin 50 % etanoliliuoksen ominaislämpökapasiteetti on:

$$c_p = \frac{2,43 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \cdot 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})}{2} = 3,31 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Lämpötilaero syntyy nestejäähdyttimelle tulevan keruunesteen lämpötilasta 5 °C (kuva 1), jota verrataan hetkelliseen ulkolämpötilaan. Ulkolämpötilasta on vähennetty 3 °C, mikä perustuu arvioon siitä, kuinka hyvin nestejäähdytin pystyy siirtämään ilmasta lämpöä keruuliukseen.

$$E = Q \cdot t \quad (10)$$

jossa	E	Energia	[kWh]
	Q	Lämpöteho	[kW]
	t	Aika	[h]

Energia lasketaan kaavan 6 mukaisesti kertomalla lämpöteho ajalla tunneissa. Taulukossa 1 on laskettu jokaiselle lämpötilalle nestejäähdyttimen tuottama energia. Energiat summaamalla saadaan nestejäähdyttimen teoreettinen vuosituotanto 88 067 kWh.

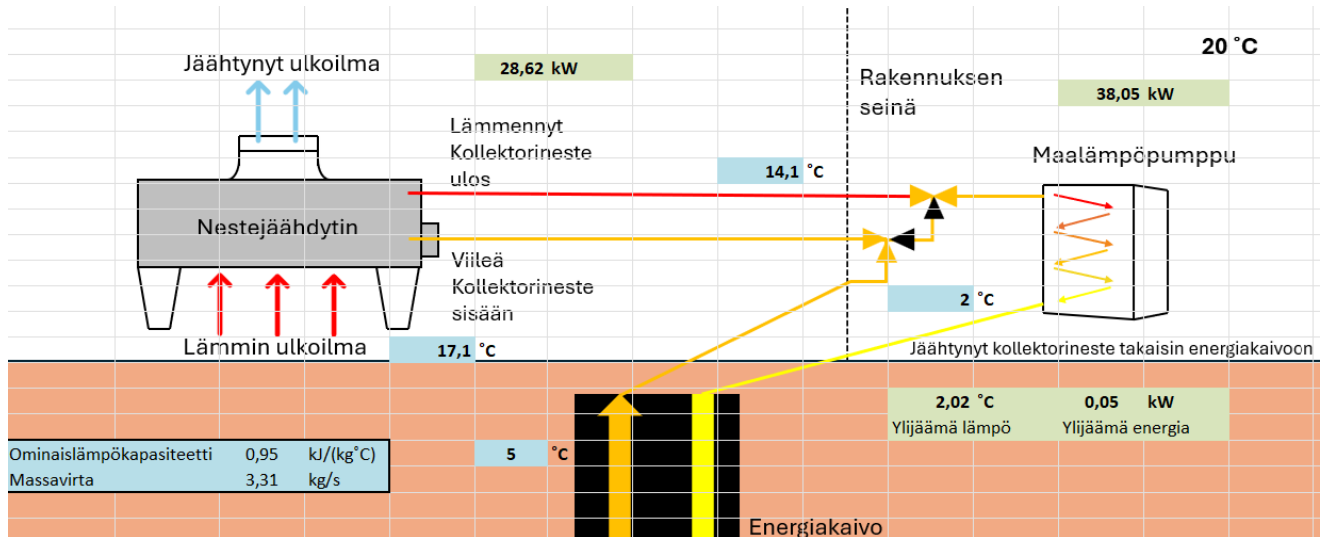
Taulukko 1. Nestejäähdyttimen energiat

Keruuneste (°C)	Ulkolämpötila (°C)	Tunnit (h)	Lämpöteho (kW)	Energia (kWh)
5	30	0,6	69,18	41,5
	29	1,6	66,04	105,7
	28	2,2	62,89	138,4
	27	7,6	59,75	454,1
	26	15,4	56,60	871,7
	25	38,6	53,46	2063,5
	24	53,4	50,31	2686,8
	23	73,4	47,17	3462,3
	22	113,8	44,03	5010,1
	21	157,8	40,88	6451,0
	20	200,4	37,74	7562,3
	19	257,2	34,59	8896,9
	18	323,6	31,45	10176,2
	17	338,6	28,30	9583,1
	16	317,6	25,16	7990,0
	15	287,2	22,01	6322,1
	14	274,4	18,87	5177,4
	13	247,6	15,72	3893,1
	12	230	12,58	2893,1
	11	266,6	9,43	2515,1
	10	281,8	6,29	1772,3

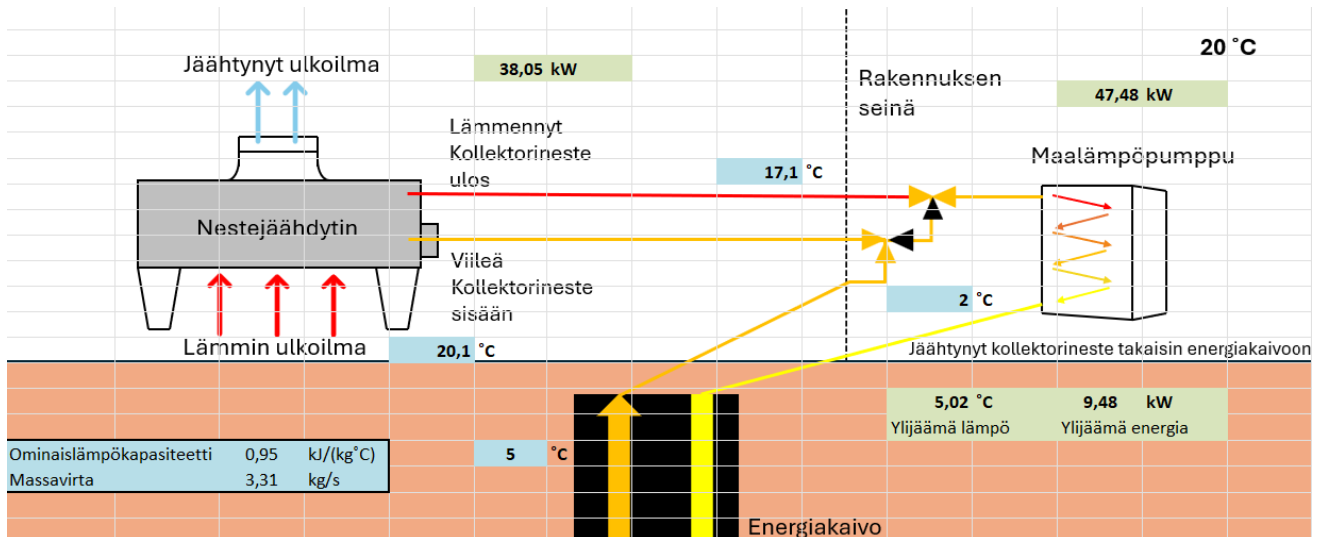
Taulukko 2. Nestejäähdyttimen yli maalämpöpumpun kapasiteetin tuottama energia

Ylijäämä teho	Ylijäämä energia	Yhteensä
31,18	18,7	8405
28,04	61,7	kWh
24,89	109,5	
21,75	261,0	
18,60	509,8	
15,46	1020,3	
12,31	1470,4	
9,17	1768,0	
6,03	1847,4	
2,88	1337,8	
kWh	kWh	

Maalämpöpumppu pystyy hyödyntämään Gebwellin esitteen mukaan 38 kW, jolloin tästä yli menevä lämpöteho jää energiakaivon lataamiseksi. Yli maalämpöpumpun maksimitehon jää taulukon 2 mukaisesti ylijäämätehoa, minkä perusteella on laskettu kaivon lataamiseksi jäävä vuotuinen ylijäämäenergia 8405 kWh.



Kuva 12. Energiakaivo ylijäämä lämpö



Kuva 13. Energiakaivon ylijäämä lämpö 2

Ylijäämälämpöä energiakaivon lataamiseksi syntyy, kun ulkolämpötila ylittää 17 °C ja yli energiakaivon tuottaman 5 °C:n maalämpöpumpulta tuleva ylijäämälämpö menee, kun ulkolämpötila ylittää 20 °C (kuvat 11 ja 12). Tätä yli 20 °C:n ulkolämpötilaa esiintyy vuodessa 464 tuntia, milloin kaivoa pystytään lataamaan maalämpöpumpun ylijäämäenergialla. Myös 17 °C:n ja 20 °C:n välillä tuotettu 2-5 °C:n ylijäämälämpöä helpottaa kaivon työtä, jolloin kaivo ei jäähdy yhtä paljoa, kuin normaalisti.

4.2 Maalämpöpumpun tuottama energia

Maalämpöpumpun tuottama energia ilman nestejäähdytintä on laskettu kaavoilla (8) ja (10). Tässä tilanteessa maalämpöpumpulle tuleva keruuneste on 5 °C ja maalämpöpumpulta kaivolle lähtevä 2 °C eli lämpötila ero on 3 °C (kuva 10). Tätä kiertoa tapahtuu vuoden ympäri, joten maalämpöpumpun tuotettu energia vuodessa on:

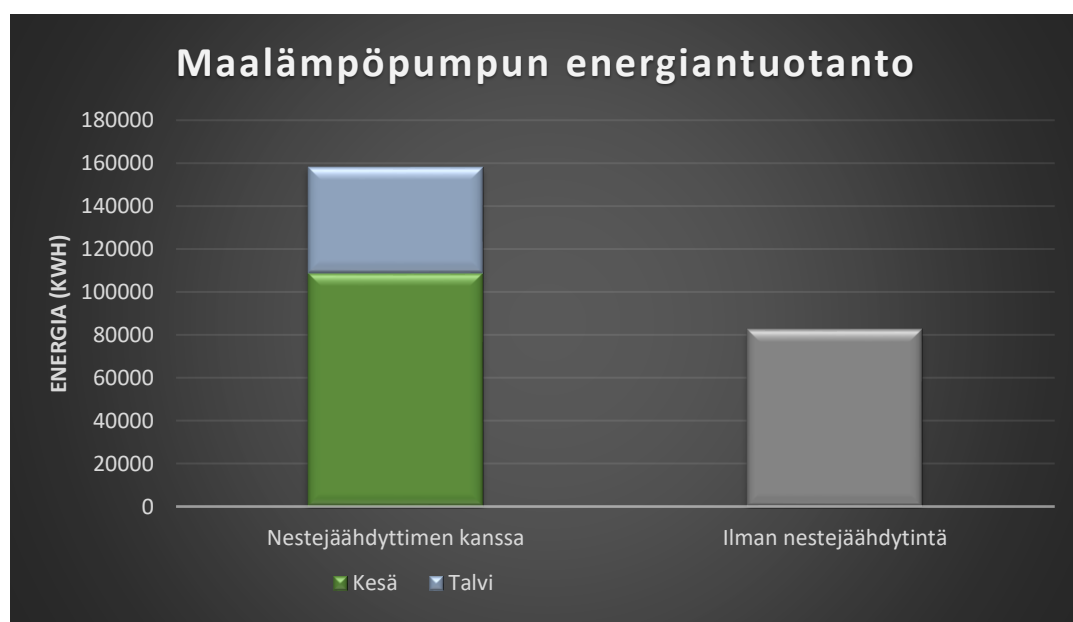
$$Q = 0,9501 \text{ kg/s} \cdot 3,31 \text{ kJ/(kg°C)} \cdot 3 \text{ °C} \cdot 5271 \text{ h} = 49\,723 \text{ kWh} \quad (11)$$

Toisessa tilanteessa nestejäähdyttimen kanssa tällä 3 °C:n lämpötila erolla tuotetaan 5271 tuntia eli aika, milloin ulkolämpötila on alle 10 °C, näin ollen ei ole energiatehokasta vielä ajaa keruunestettä nestejäähdyttimen kautta. Tätä alle 10 °C:n energiaa syntyy kaavalla 11, mutta 5271 tunnilla 49 723 kWh. Aikaa milloin ulkolämpötila on 10-30 °C on yhteensä 3489 tuntia.

Taulukko 3. Maalämpöpumpun tuottama energia kesällä

MLP:lta lähtevä neste (°C)	MLP:lle tuleva neste (°C)	Tunnit (h)	Lämpöteho (kW)	Energia (kWh)
2	30	0,6	38,00	22,8
	29	1,6	38,00	60,8
	28	2,2	38,00	83,6
	27	7,6	38,00	288,8
	26	15,4	38,00	585,2
	25	38,6	38,00	1466,8
	24	53,4	38,00	2029,2
	23	73,4	38,00	2789,2
	22	113,8	38,00	4324,4
	21	157,8	38,00	5996,4
	20	200,4	38,00	7615,2
	19	257,2	38,00	9773,6
	18	323,6	38,00	12296,8
	17	338,6	37,74	12777,4
	16	317,6	34,59	10986,2
	15	287,2	31,45	9031,5
	14	274,4	28,30	7766,1
	13	247,6	25,16	6229,0
	12	230	22,01	5062,9
	11	266,6	18,87	5030,2
	10	281,8	15,72	4430,8

Tämä 3489 tuntia jakautuu 10-30 °C:n välille taulukossa 3 näkyvällä tavalla. Tällöin jokaiselle ulkolämpötilalle on laskettu oma lämpöteho, joka rajautuu maalämpöpumpun 38 kW maksimitehoon. Näillä laskelmilla saadaan kaavojen 8 ja 10 tavalla energiat ulkolämpötiloille, mitkä summaamalla saadaan kesäajan energia 108 647 kWh. Kesä- ja talviaikojen energiat summaamalla saadaan nestejäähdyttimen kanssa maalämpöpumpun vuoden teoreettinen energiamaksimi 158 370 kWh. Molempien tilanteiden energiantuotannot esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Maalämpöpumpun tuottamat vuosittaiset energiat

4.3 Kulutetut energiat

Prosessissa kulutetut energiat on laskettu molemmille tilanteille nestejäähdyt-
timen kanssa ja ilman sitä. Ilman nestejäähdytintä energiaa kuluttaa pääasi-
assa keruunesteen pumppu ja maalämpöpumpun kompressori, jotka on las-
kettu seuraavilla kaavoilla:

$$P = \frac{\Delta\rho \cdot V}{\eta} \quad (12)$$

jossa	P	Pumpun sähköteho	[W]
	p	Paine-ero	[Pa]
	V	Tilavuusvirta	[m ³ /s]
	n	Hyötysuhde	[-]

$$E = \frac{Q}{COP} \quad (13)$$

jossa	E	Kompressorin kuluttama energia	[kWh]
	Q	Pumpun tuottama lämpöenergia	[kWh]
	COP	Hetkellinen hyötysuhde	[-]

Kiertoaineen pumppausenergia on laskettu kaavalla (12), jossa tilavuusvirta
on mitoitettu nestejäähdyttimen mukaan koko kaivolle 0,001064 m³/s (laskettu
kaavalla 5). Painehäviö on laskettu virtauksen mukaan seuraavalla kaavalla:

$$\Delta\rho = \left(\frac{0,95}{2,4}\right)^2 \cdot 700\,000\,Pa = 109\,691\,Pa \quad (14)$$

Hyötysuhteeksi on arvioitu 60 %. Näillä arvoilla kulutettu energia vuodessa
pumpulle on 1704 kWh.

(15)

$$P_{pumppu} = \frac{109\,691\,Pa \cdot 0,001064\,m^3/s}{0,6} \cdot 8760\,h = 1\,703\,806\,Wh$$

$$= 1704\,kWh$$

Maalämpöpumpun kompressorin kulutus on laskettu kaavalla (13) pumpulla tuotetun lämpöenergian perusteella, joka oli 82 642 kWh. Kompressorin kuluttamaksi sähköenergiaksi saadaan:

$$E = \frac{82\,642\text{ kWh}}{3,97} = 20\,817\text{ kWh} \quad (15)$$

Yhteensä kulutettu energia ilman nestejäähdytintä on kiertoaineen pumppausenergian ja maalämpöpumpun kompressorin kuluttaman sähkön summamalla 22 520 kWh.

Nestejäähdyttimen kanssa kiertoaineen pumppausenergian ja maalämpöpumpun kompressorin lisäksi energiaa kuluttaa puhallin. Kiertoaineen pumppausenergia on aiemmin laskettu 1704 kWh. Maalämpöpumpun kompressorin COP eri ulkolämpötiloilla paranee, koska tuleva neste on lämpimämpää. COP eri lämpötiloille on laskettu maalämpöpumpun esitteen arvojen mukaisesti ja saatu COP jokaiselle ulkolämpötilalle, joten on voitu laskea kompressorin kuluttama energia nestejäähdyttimen kanssa.

Kompressorin kuluttama energia nestejäähdyttimen ollessa prosessissa kesäaikana taulukon 4 mukaan on 20 577 kWh. Talviaikana eli normaalisti ilman nestejäähdyttimen kautta kierrättämistä kompressorin kuluttaa 12 525 kWh, jolloin yhteensä nestejäähdyttimen kanssa vuodessa kuluu 33 101 kWh.

Taulukko 4. Kompressorin kuluttama energia nestejäähdyttimen kanssa

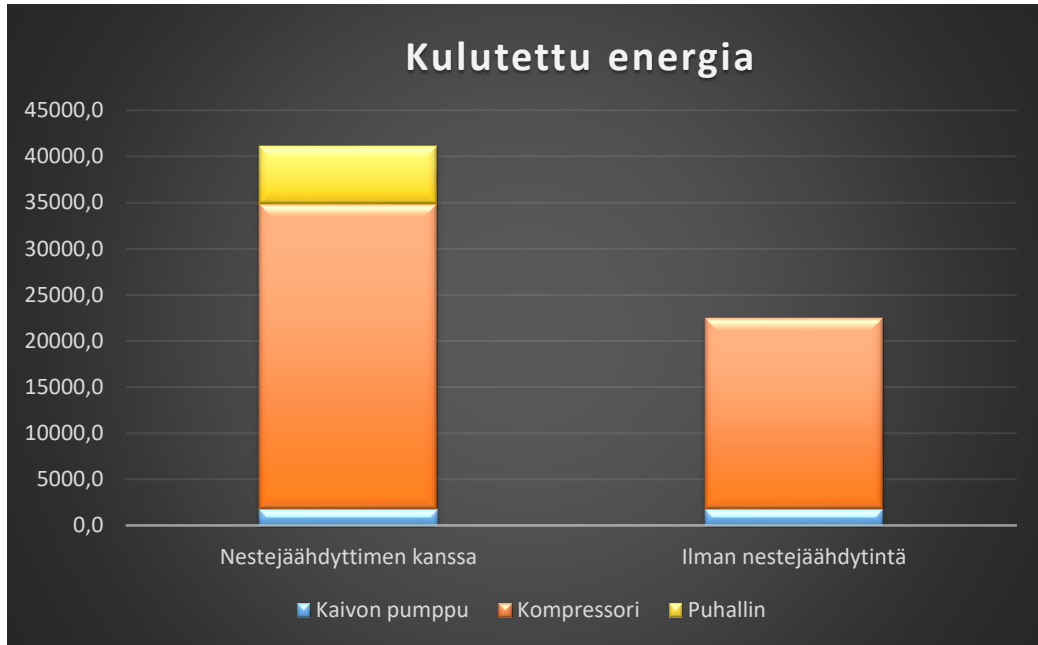
COP	Esähkö	Kesä	Talvi	Yhteensä
6,97	3,3	20577	12525	33101
6,83	8,9			
6,69	12,5			
6,55	44,1			
6,41	91,3			
6,27	233,9			
6,15	330,0			
6,03	462,6			
5,91	731,7			
5,79	1035,6			
5,67	1343,1			
5,55	1761,0			
5,43	2264,6			
5,31	2406,3			
5,19	2116,8			
5,07	1781,4			
4,97	1562,6			
4,87	1279,0			
4,77	1061,4			
4,67	1077,1			
4,57	969,6			

Puhaltimen energia on laskettu kaavalla 10, johon puhaltimen maksimiteho saadaan nestejäähdyttimen esitteen arvoista 3,95 kW. Puhaltimen kuluttama energia on 50 % puhaltimen teholla, kun yli 10 °C:n tunteja kertyy 3489 on:

$$E_{\text{puhallin}} = 1,975 \text{ kW} \cdot 3489 \text{ h} = 6891 \text{ kWh} \quad (16)$$

Tällöin siis keruuneste kiertää nestejäähdyttimen kautta, jolloin puhallinta käytetään. Yhteensä prosessissa kulutetaan 41 697 kWh nestejäähdyttimen kanssa, kun puhallin on puoliteholla.

Nestejäähdyttimen kanssa lämpöteho nousee huomattavasti, mutta myös kulutus kasvaa sen myötä (kuva 15), kun laskennan periaatteena on tuottaa niin paljon energiaa kuin mahdollista. Jos haluttaisiin tuottaa vain tietty määrä energiaa vuodessa, niin silloin myös kulutus vähenisi.



Kuva 15. Kulutettu energia

4.4 SCOP

Lämpö- ja sähkötehojen perusteella saadaan selville nestejäähdyttimen vaikutus SCOPiin. Taulukkoon 5 on laskettu vertailuksi kulutuksia eri nestejäähdyttimen puhaltimen tehoilla. Täydellä teholla SCOP heikkenee 11,8 %, mutta puolella teholla ja sitä pienemmällä SCOP nousee 3,5-10,8 %. Tästä voidaan huomata, että puhaltimen käytön optimointi on tärkeää. Kohteessa käytettävä EC-puhallin onkin todella hyvä valinta energiatehokkuuden kannalta, jotta saadaan parhaat tulokset nestepuhaltimen käytöstä. Näin hyötysuhteet paranevat, kun täydellä teholla ajetaan järjestelmää. Pitää kuitenkin huomata, että SCOP:n parannuksen lisäksi kaivon lataamiseksi jää energiaa, mitä maalämpöpumppu ei pysty käyttämään. Tämä vuosien mittaan parantaa järjestelmän hyötysuhdetta lisää, kun kaivoa ei päästetä jäähtymään. Tällä kaivon lataamisella voidaan lämpötilaa kaivossa jopa kasvattaa ja käyttää hyödyksi myöhemmin, kun sille on tarvetta.

Taulukko 5. SCOP muutos

Lopputulokset	Lämpö (kWh)	Sähkö (kWh)	SCOP	SCOP Muutos
Ilman jäähdytintä	82642	22520	3,67	-
Jäähdyttimen kanssa	158370	48588	3,26	-11,2 %
Jäähd. Puhallin 50% teho	158370	41697	3,80	3,5 %
Jäähd. Puhallin 30% teho	158370	38940	4,07	10,8 %

5 YHTEENVETO

Voidaan todeta, että nestejäähdytin lisää huomattavasti kaivolla tuotettua lämpöenergiaa, kun nestejäähdyttimen kanssa saadaan tuotettua 75 728 kWh enemmän ja samalla kaivon lataamiseksi saadaan lämpöenergiaa kesäaikana noin 8405 kWh. Lämpöenergian noustessa myös kulutus kasvaa reilusti. Kulutus kasvaa 18 620 kWh, jos halutaan tuottaa maksimiteholla energiaa. SCOP nousee oikealla puhaltimen käytöllä 3,5-10,8 %. Laskelmista eroaa myös keruuneste, joka vaihdettiin etanoliliuoksesta erilaiseen keruunesteeseen, jonka tiheys on korkeampi. Korkeamman tiheyden keruunesteellä saadaan korkeammat teoreettiset lämpötehon maksimit kuin laskelmissa.

SCOP on vielä laskelmia parempi todellisuudessa pitkällä tähtäimellä, kun kaivoa voidaan ladata ylijäämälämmöllä, jolloin energiakaivo ei jäähdy vuosien varrella yhtä paljon tai ollenkaan riippuen kulutuksen ja latauksen määrästä. Energiakaivon ylikulutus jäähdyttää kaivoa varsinkin, jos kaivoja on useita samalla kallioperällä. Tämä ylikulutus saadaan nestejäähdyttimen avulla hallittua.

Nestejäähdyttimellä voi olla haasteita kondenssiveden kanssa. Se voi aiheuttaa talvella rakenteiden jäätymistä tai homeetta, jos kondenssivettä ei käsitellä oikein. Nestejäähdytintä täytyy myös käyttää optimaalisesti, koska jos sitä käytetään väriin aikoihin eli liian vähäisellä ilman- ja kaivolla tuotetun keruunesteen lämpötilan erolla sekä liialla kulutuksella SCOP voi jopa laskea.

LÄHTEET

Alanne, K., Holopainen, R. & Hyvärinen, J. 2024. Rakennusten energiatekniikka. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.

Anora s.a. Ympäristöystävällistä ja kotimaista maalämpöä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://anora.com/fi/vastuullisuus/ymparistoystavallista-ja-kotimaista-maalampoa> [viitattu 27.5.2025].

Continental Fan. 2019. What is an Electronically Commutated EC Motor? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://continentalfan.com/what-is-an-electronically-commutated-ec-motor/> [viitattu 21.5.2025].

Dry Coolers: Complete Guide to Industrial Air Cooling s.a. Mita cooling technologies. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mitacoolingtechnologies.com/en/sources/technical-articles/dry-cooler-complete-guide-to-industrial-air-cooling/> [viitattu 26.4.2025].

Gebwell. 2022. Näin onnistut maalämpöprojektissa. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://gebwell.fi/app/uploads/2022/03/Maalampoopas-2.pdf> [viitattu 27.5.2025].

Gebwell s.a. SCOP vai COP? Ota tehon vertailun keskeiset termit haltuun!. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://gebwell.fi/ajankohtaista/scop-vai-cop-ota-tehonen-vertailun-keskeiset-termit-haltuun/> [viitattu 20.5.2025].

Gebwell. 2025. Tehokas ja ympäristöystävällinen ratkaisu kiinteistöjen lämmitykseen. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://gebwell.fi/app/uploads/2025/01/Gebwell-G-Eco-lampopumput-1-5-2025.pdf> [viitattu 24.4.2025].

Hellgren, M., Heikkinen, L. & Suomalainen, L. 1992. Energia ja ympäristö. Helsinki: VAPK-kustannus.

Isohookana, J. 2021. Miten maalämpötoimii. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.helen.fi/artikkelit/2021/miten-maalampo-toimii> [viitattu 23.3.2025].

Juvonen, J & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Helsinki: Ympäristöministeriö. E-kirja. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 21.5.2025].

Maalämpösanasto s.a. Gebwell. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://gebwell.fi/maalampo/maalamposanasto/> [viitattu 24.4.2025].

Motiva. 2020. Kirjallisuusselvitys sähkökäyttöistä. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/18149/Kirjallisuusselvitys_sahkokaytoista.pdf [viitattu 21.5.2025].

Motiva. 2012. Lämpöä omasta maasta. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf [viitattu 27.5.2025].

Motiva. 2024. Maalämpöpumppu (MLP). WWW-dokumentti. Päivitetty 29.7.2024. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu [viitattu 26.3.2025].

MV-jäähdytys s.a. Kylmäaine – Olennainen tehtävä lämmönsiirrossa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mv-jaahdytys.fi/kylmatekniikka/kylmaaine/> [viitattu 22.5.2025].

Puhaltimien hankintaopas. 2020. Motiva. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/18151/Puhaltimien_hankintaopas.pdf [viitattu 8.4.2025].

Ranta-Korpi, M. 2018. Aurinko- ja ilmalämmön hyödyntäminen maalämpöjärjestelmän energiatehokkuuden parantamisessa. Aalto-yliopisto. Energiatekniikka. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/d305a778-310c-4fb7-985a-0ccd09ddf8b8/content> [viitattu 27.5.2025].

Science Ready s.a. Heat Transfer: Conduction, Convection and Radiation. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://scienceready.com.au/pages/conduction-convection-and-radiation> [viitattu 21.5.2025].

Wagner, W. 1994. Lämmönsiirto. Helsinki: Painatuskeskus.