

Tunne huominen.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

TP6 - Geoenergiakaivon operointi ja mittaukset

Erja Tuliniemi, Markus Ahtiainen, Timo
Juusola
2026



Euroopan unionin
osarahoittama

KYMEN
LAAKSON
LIITTO



KESKI-POHJANMAAN LIITTO
MELLERSTA ÖSTERBOTTENS FÖRBUND



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Työpaketin tavoite ja keskeinen sisältö

- Työpaketin tavoitteena oli kehittää ja optimoida geoenergiakaivon toimintaa mittausten, seurannan, analytiikan ja opeointiolosuhteiden kokeilun sekä yhteistyön avulla kustannustehokkaan ja kestäväen käytön varmistamiseksi.
- **Sisällys**
 - Testiajosuunnitelma
 - Testiajot ja energiakaivon opeointi
 - Testiajojen tulosten analysointi
 - DTS-mittalaite
 - Laitehuolto
 - Opiskelijatyöt

Testiajosuunnitelma

- **Geoenergian tutkimusympäristön prosessiin tehtiin suunnitteluvaiheessa ajotapoja, joilla prosessi voidaan asettaa automaattisesti tiettyyn tilaan. Ajotapoja ovat:**
 - lämpöä varaajaan
 - lämpöä pihalle
 - aktiivilataus
 - passiivilataus kaivoon
 - passiivilataus lämpöpumpulle.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajosuunnitelma

- **Lämpöä varaajaan**

- Maalämpöpumppu hyödyntää energiakaivosta saatavaa lämpöenergiaa ja tuottaa lämpöä, joka siirretään lämpövaraajaan.

- **Lämpöä pihalle**

- Maalämpöpumppu hyödyntää energiakaivosta saatavaa lämpöenergiaa ja tuottaa lämpöä, joka siirretään lämmönvaihtimen välityksellä nestejäähdyttimelle ja lauhdutetaan ulkoilmaan.

- **Aktiivilataus**

- Maalämpöpumpulla tuotettua lämpöenergiaa käytetään keruuliuoksen lämmittämiseen, jolloin energia siirtyy energiakaivoon.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajosuunnitelma

- **Passiivilataus kaivoon**

- Keruuliuosta kierrätetään kaivosta nestejäähdyttimelle, missä sitä lämmitetään ulkoilmalla, kun ilma on riittävän lämmintä. Lämmennyt keruuliuos luovuttaa lämpöenergiaa kaivoon.

- **Passiivilataus lämpöpumpulle**

- Keruuliuosta kierrätetään kaivosta nestejäähdyttimelle, missä sitä lämmitetään ulkoilmalla, kun ilma on riittävän lämmintä. Lämmennyt keruuliuos siirtyy lämpöpumpulle, missä siitä otetaan lämpöenergiaa. Keruuliuksen lämmittäminen voi parantaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajosuunnitelma

- **Testiajosuunnitelmaan kuului:**
 - prosessin testaus
 - pilottikohdetarkastelu
 - keruupiirin painehäviö
 - lämpötehon nosto keruupiirin vakiovirtauksella
 - parhaan COP-arvon tavoittelu
 - energiakaivon suorituskykytesti
 - energiakaivon aktiivilataus lämpöpumpulla
 - varaajan testaus
 - passiivilataus kaivoon
 - passiivilataus lämpöpumpulle.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajot ja energiakaivon operointi

Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Prosessin testaus**

- Testiajossa prosessin suunniteltu toiminta varmistettiin käymällä läpi automaatiojärjestelmässä valmiina olevat ajotavat sekä tarkistamalla, että venttiilit ja pumput säätyvät oikein. Testiajon aikana harjoiteltiin automaatiojärjestelmän käyttöä, tehtiin havaintoja hyvistä säätötavoista sekä valmistauduttiin muihin testiajoihin.
- Testiajosta on hyötyä prosessin käyttäjien perehdyttämisessä ja prosessin kehittämistarpeiden tunnistamisessa.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Pilottikohdetarkastelu**

- Työpaketissa 5 tehtiin Kotkan Asuntojen kerrostalokohteille geoenergian mitoitus- ja kustannuslaskentaa, jota täydennettiin tämän testiajon mittausdatalla.
- Testiajo toteutettiin ajamalla lämpöpumppua eri menoveden lämpötiloilla ja tehoilla ja sen aikana seurattiin energiakaivosta saatavaa tehoa, maalämpöpumpun sähkötehoa sekä COP-arvoa.
- Mittausdataa kerättiin Exceliin, jossa sitä hyödynnettiin laskennan tukena.
- Testiajon tuloksista hyötyä energiakaivon ominaisuuksien sekä maalämpöpumpun ja energiakaivon yhteistoiminnan tarkastelussa ja keskisyvän geoenergian taloudellisessa arvioinnissa.

Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Keruupiirin painehäviö**

- Testiajossa prosessia ajettiin ”Lämpöä pihalle” –ajotavalla.
- Keruupiirin virtausta säädettiin matalimmasta mahdollisesta arvosta suurimpaan ulkoisella keruupiirin pumpulla sekä maalämpöpumpun sisäisellä pumpulla.
- Keruupiirin painehäviötestit tehtiin 810- ja 185-metrisille kollektoreille sekä niiden rinnakkaiskäytölle.
- Testiajosta saatua tietoa voidaan hyödyntää prosessisuunnittelussa, mitoituksessa sekä energiatehokkuuden arvioinnissa.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Lämpötehon nosto keruupiirin vakiovirtauksella**
 - Keruupiirissä pidettiin 1,1 l/s vakiovirtaus ja maalämpöpumpun menoveden lämpötilan asetusarvoa nostettiin vaiheittain välillä 25-75 astetta.
 - Automaatiojärjestelmästä seurattiin höyrystimen lämpötilaeroa, kun maalämpöpumpun automaatio pyrki pitämään lauhduttimen lämpötilaeron 8 °C:ssa.
 - Testiajosta saatua tietoa voidaan hyödyntää suunnittelussa ja mitoituksessa arvioitaessa, miten höyrystimen lämpötilaero vaikuttaa lämpöpumpun COP-arvoon ja keruunesteen lämpötilan muutoksiin.



Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Parhaan COP-arvon tavoittelu**

- Testiajon tarkoituksena oli selvittää parhaat COP-arvot maalämpöpumpulle eri menoveden lämpötiloilla.
- Lämpöpumpun teknisten tietojen mukaan paras COP-arvo saavutetaan, kun keruupiirin lämpötilaero on 3-4 astetta ja lämmityspiirin 5-8 astetta.
- Lämpöpumppua ajettiin menoveden lämpötilan asetusarvoilla 35-75 astetta. Keruupiirin lämpötilaero pyrittiin pitämään 4 °C:ssa ja lämmityspiirin 8 °C:ssa.
- Testiajosta on hyötyä geoenergian mitoituslaskennassa, prosessin säädössä ja energiatehokkuustarkasteluissa.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Energiakaivon suorituskykytesti**

- Testiajo tehtiin Oulun Yliopiston geoenergiakaivon mallinnusta varten.
- Testiajossa energiakaivosta otettiin lämpöä kolmella eri lämpötehotasolla; matala-, keski- ja korkeateho. Jokaista tehoa ajettiin kahdella eri virtauksella.
- Jokaista tehoa ja virtausta pidettiin yllä 72 tuntia.
- Testiajon tuloksia voidaan hyödyntää keskisyvän energiakaivon fysikaalisessa mallinnuksessa, kallioperän geoenergiapotentiaalin arvioinnissa ja teknisessä suunnittelussa.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajot ja energiakaivon operointi

- **Energiakaivon aktiivilataus lämpöpumpulla**

- Testiajossa energiakaivoon ladattiin lämpöenergiaa lämmittämällä keruuliuosta kaivon menopuolella.
- Keruuliuosta lämmitettiin maalämpöpumpulla tuotetulla lämpöenergialla lämmönvaihtimessa, johon on kytketty lämmitys- ja keruupiirit. Lisälämpöä keruuliuokseen saatiin keruupiirin kytketyllä putkikattilalla.
- Testiajosta on hyötyä energiakaivon regeneroinnin arvioinnissa ja mallinnuksessa sekä lämmön varastoinnin suunnittelussa. Testiajon tuloksia voidaan soveltaa myös passiivijäähdytyksen suunnitteluun.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajojen tulosten analysointi

Testiajojen tulosten analysointi

- **Pilottikohdetarkastelu**

- Keskeiset mittaukset prosessista testiajossa olivat keruu- ja lämmityspiirin meno- ja paluulämpötilat ja virtaukset sekä maalämpöpumpun sähköteho.
- Mittausdatan perusteella voitiin laskea eri tilanteissa maalämpöpumpun ja energiakaivon lämpötehot sekä COP-arvo.
- COP-arvojen ja pilot-kohteiden kulutusdatan sekä lämmityksen säätökäyrien avulla voitiin mitoittaa kohteille energiakaivot ja tehdä kustannus- ja kannattavuuslaskelmat.

Menovesi	Keruunesteen tilavuusvirta (l/s)	MLP Lämpöteho (kW)	MLP COP (-)	Toteutunut Kaivoteho (kW)	Toteutunut metriteho (W/m)
35	1,6	17,7	5,0	14,1	17
45	1,6	23,1	4,1	17,4	21
55	1,6	28,8	3,3	20,1	25
65	1,6	34,3	2,6	21,3	26
75	1,6	38,3	2,2	21,0	26

Testiajojen tulosten analysointi

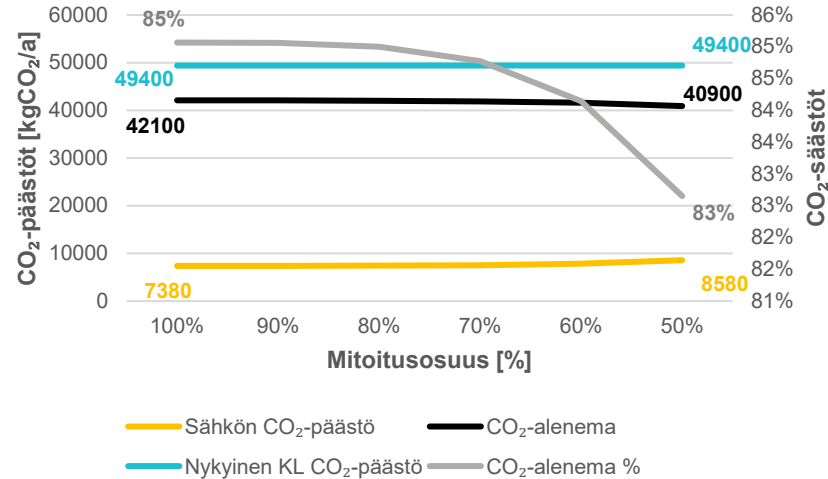
- Testiajon aikaista dataa automaatiojärjestelmästä

- Kaivon paluulämpötila
- Kaivon menolämpötila
- Kaivon virtaus
- MLP menolämpötila
- MLP paluulämpötila
- Lämmityspiiri virtaus

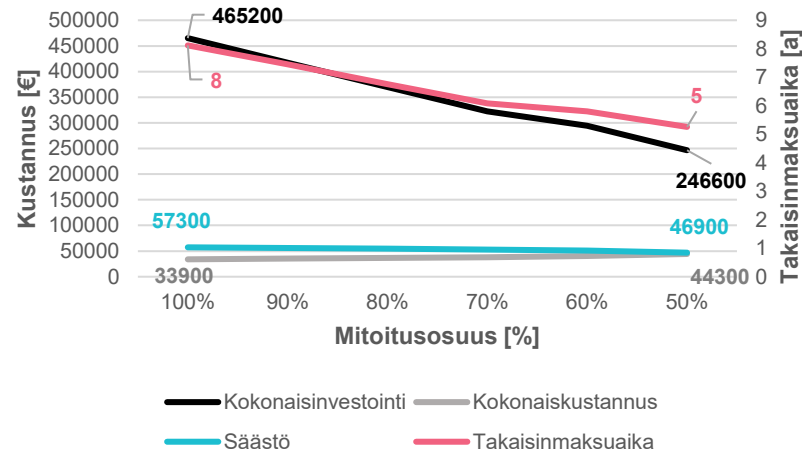


Testiajojen tulosten analysointi

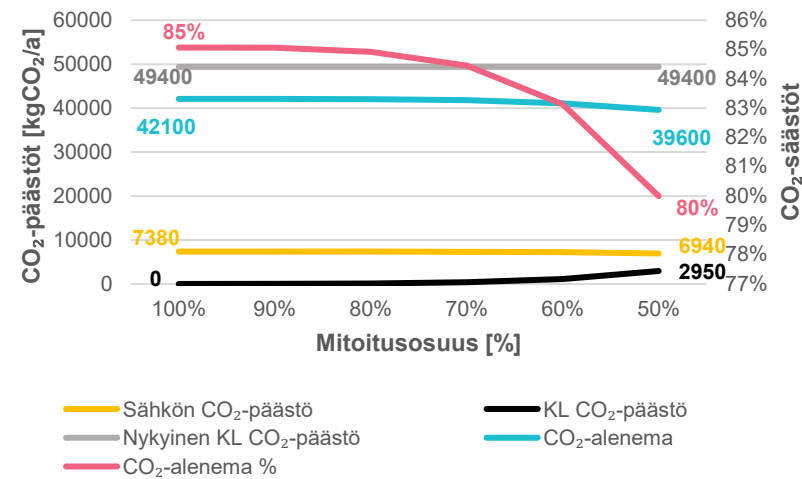
CO₂-päästöt GEO + sähkökattila



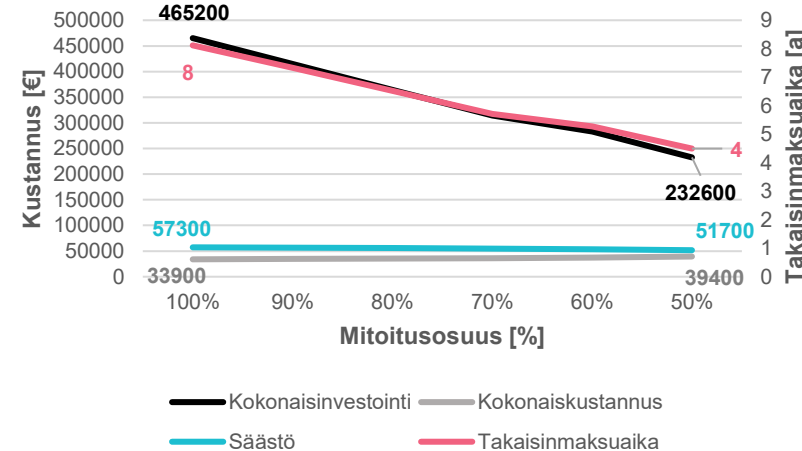
Kustannukset GEO + sähkökattila



CO₂-päästöt GEO + kaukolämpö

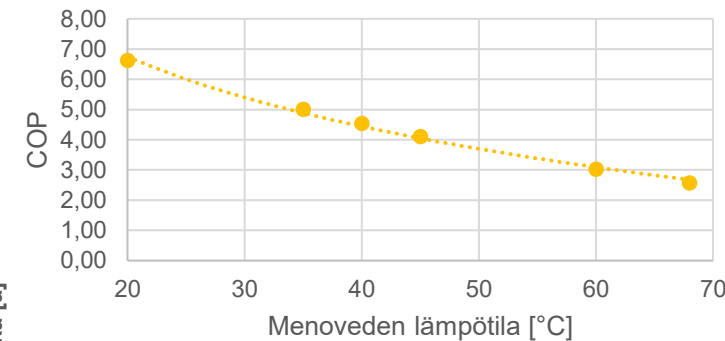


Kustannukset GEO + kaukolämpö



Raportti liitteenä

Menoveden lämpötilaa vastaava COP



Testiajojen tulosten analysointi

- **Keruupiirin painehäviö**

- Keruupiiriä ajettiin 810-metriseen kollektoriin tilavuusvirralla 0,42-1,81 l/s ja 185-metriseen 0,33-1,52 l/s.
- Paine-ero 810-metrisessä kollektorissa oli 0,2-5,4 bar ja 185-metrisessä 0,3-5,2.
- Testiajossa laskettiin lämpötehoja kaivosta ja maalämpöpumpulta, minkä avulla voitiin tarkastella virtauksen vaikutusta COP-arvoon eri menoveden lämpötiloilla ja -tehoilla sekä painehäviön vaikutusta sähkön kulutukseen.
- Testiajon tuloksena saatiin tilavuusvirrasta riippuvaiset painehäviökuvaajat molemmille kollektoreille.

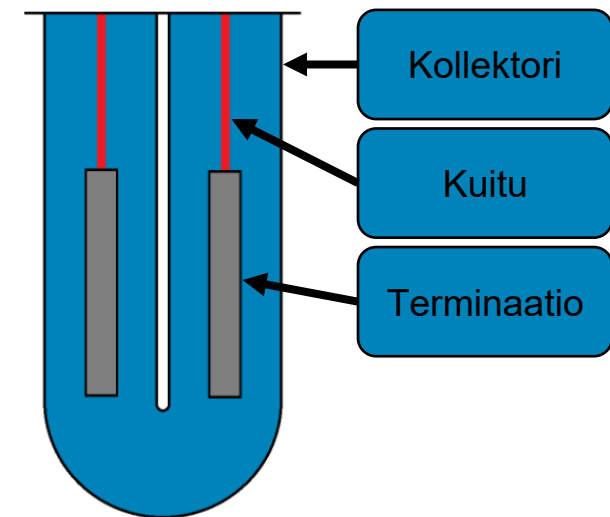


Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajojen tulosten analysointi

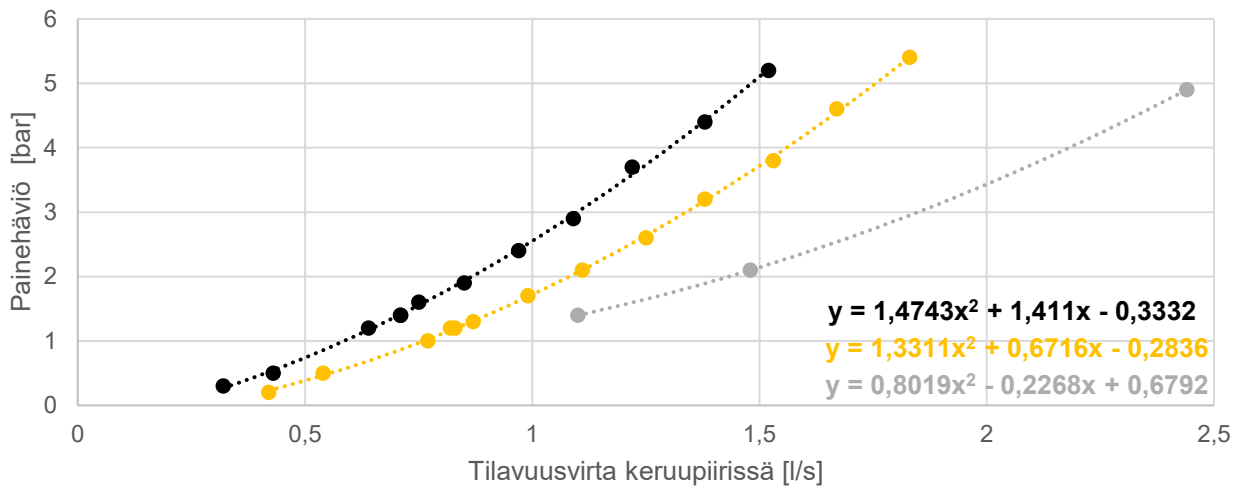
- **Keruupiirin painehäviö**

- Kollektoreiden lämpötiloja mitataan optisilla kuitukaapeleilla, jotka ulottuvat kollektorien pohjalle asti ja niiden päissä on terminaatiot.
- Terminaatio koostuu noin 300 mm pitkästä, halkaisijaltaan noin 20 mm paksusta teräsputkesta, jonka sisään kuitukaapelin päät on hitsattu.
- Terminaatiot voivat aiheuttaa virtausvastusta kollektorien sisällä, mikä voi vaikuttaa mittaustuloksiin jonkin verran.



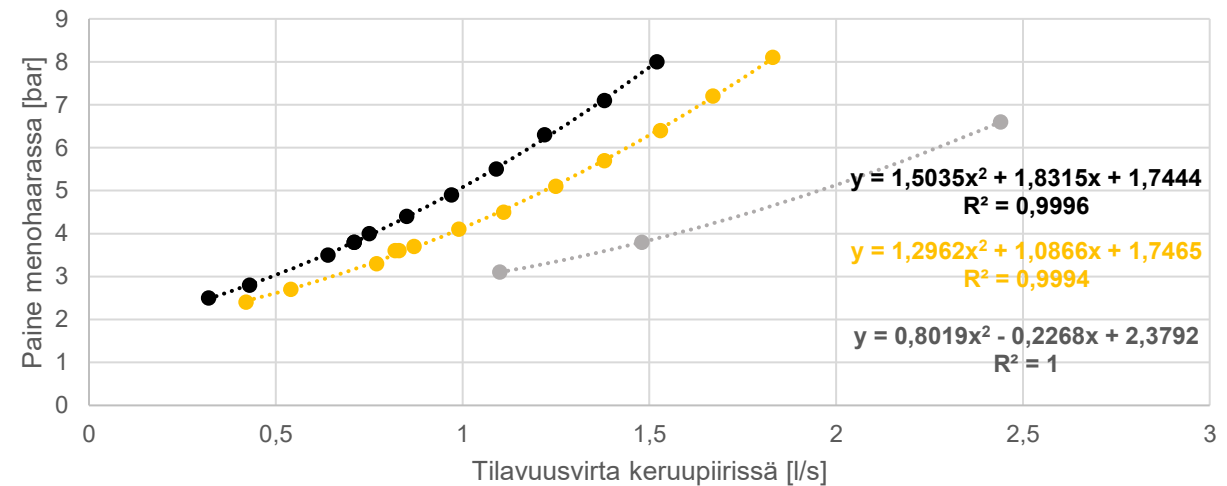
Testiajojen tulosten analysointi

Painehäviö



● 810 m painehäviö 55 mm kollektori ● 185 m painehäviö 40 mm kollektori ● Tupla-U painehäviö

Menopaine



● 810 m menopaine 55 mm kollektori ● 185 m menopaine 40 mm kollektori ● Tupla-U menopaine

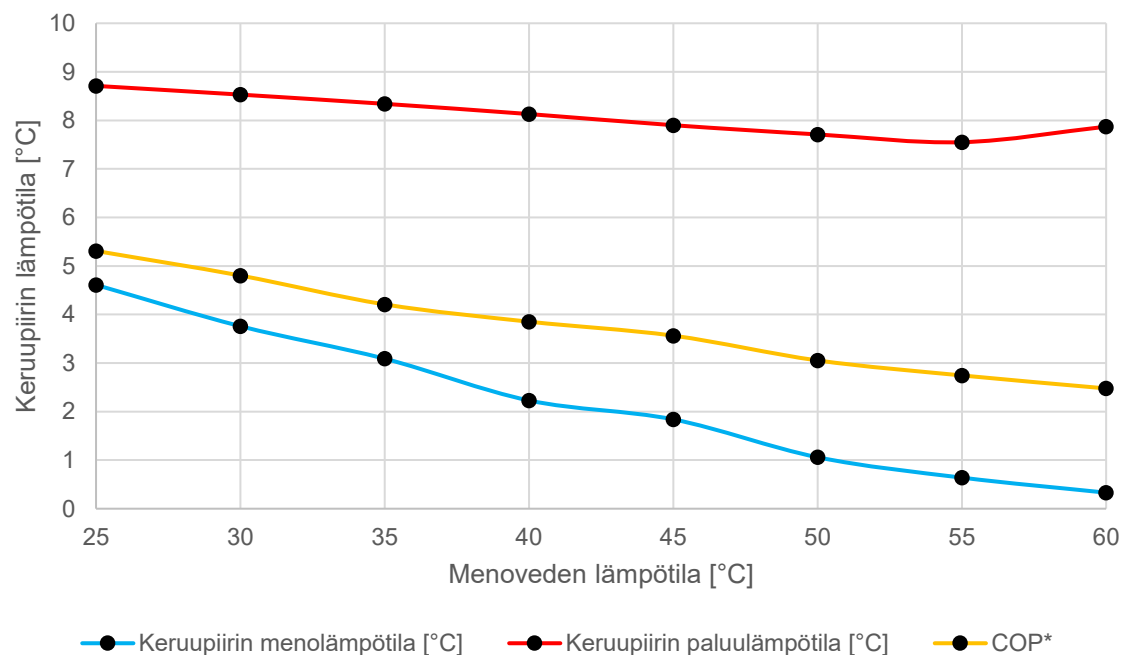
Testiajojen tulosten analysointi

- **Lämpötehon nosto keruupiirin vakiovirtauksella**

- Testiajo kesti yhteensä neljä tuntia ja mittapisteitä saatiin 10. Menoveden lämpötila saatiin viiden asteen välein välillä 25-70 astetta, kun maalämpöpumpun teho nousi välillä 18,5-34,7 kW.
- Testiajon tuloksena saatiin dataa, miten höyrystimen lämpötilaero muuttuu maalämpöpumpun menoveden lämpötilan ja –tehon noustessa. Samalla pystyttiin seuraamaan, miten paljon keruuneste lämpenee energiakaivossa tietyllä virtauksella.
- Testiajon tulosten analysoinnissa tärkeää oli myös COP-arvon laskeminen eri tilanteissa, sillä höyrystimen lämpötilaero oli suurimman osan testistä korkeampi, kuin suunnitteluarvo.

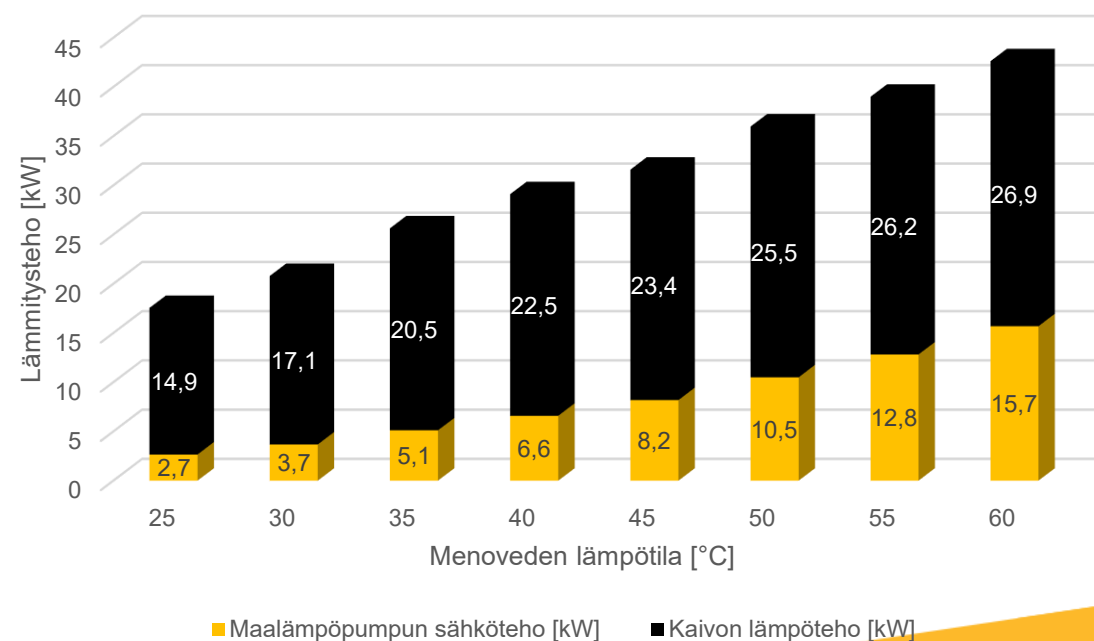
Testiajojen tulosten analysointi

Testiajo 11



* Ulkoisen keruupumpun sähköteho huomioitu

Testiajo 11



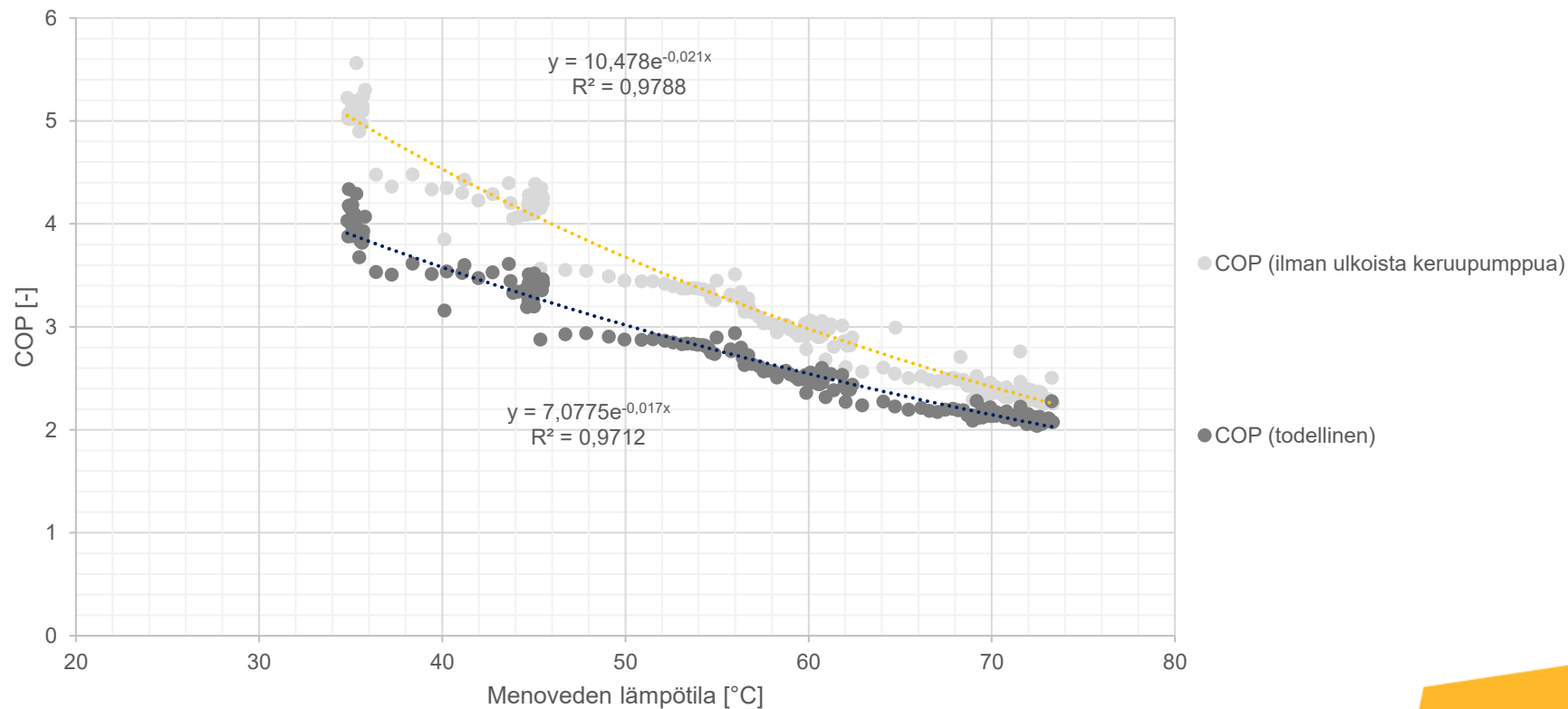
Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajojen tulosten analysointi

- **Parhaan COP-arvon tavoittelu**

- Testiajon neljän tunnin mittausdata interpoloitiin lineaarisesti. Menoveden hetkellisiksi lämpötiloiksi saatiin 35, 45, 55, 60 ja 70 astetta.
- Mittaustuloksista laskettiin maalämpöpumpun hetkelliset COP-arvot, kun höyrystimen lämpötilaero oli noin 4 astetta ja lauhduttimen 8 astetta. Laskennasta saatiin menoveden lämpötilasta riippuvat COP-arvon suoranyhtälöt ilman ulkoista keruupiirin pumppua ja sen kanssa.
- Tuloksista huomattiin, että suurella lämmitysteholla ulkoisen kiertopumpun vaikutus COP-arvoon on pieni, mutta matalilla tehoilla vaikutus korostuu.

Testiajojen tulosten analysointi



Testiajojen tulosten analysointi

- **Energiakaivon aktiivilataus lämpöpumpulla**

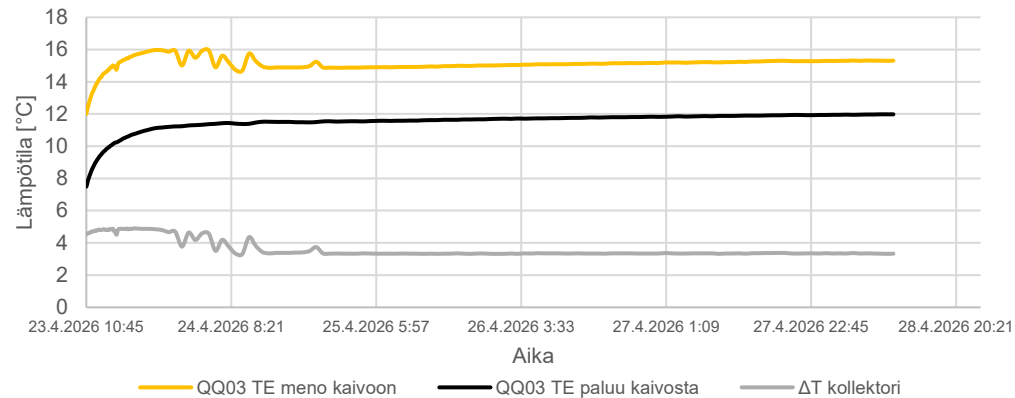
- Ensimmäisessä vaiheessa energiakaivoa ladattiin +15 °C keruuliuksella viiden päivän ajan 0,8 l/s virtauksella.
- Mittausdataan sisältyy keruupiirin meno ja paluulämpötilat ja laskettuja arvoja ovat: latausteho, lämpötilaero, mittausvälin ladattu energia, kumulatiivinen energia ja kokonaisenergia.
- Latauksen alkuvaiheessa mittauksia otettiin viiden minuutin välein, josta se nostettiin ensin 15:een minuuttiin ja lopuksi tuntiin.
- Latauksen toisessa vaiheessa keruuliuksen menolämpötila nostettiin 17,3 °C:een, mistä se nousi 18,3 °C:een. Latausjakso kesti noin viikon ja mittaukset sekä laskenta toteutettiin samalla tavalla, kuin ensimmäisessä vaiheessa.



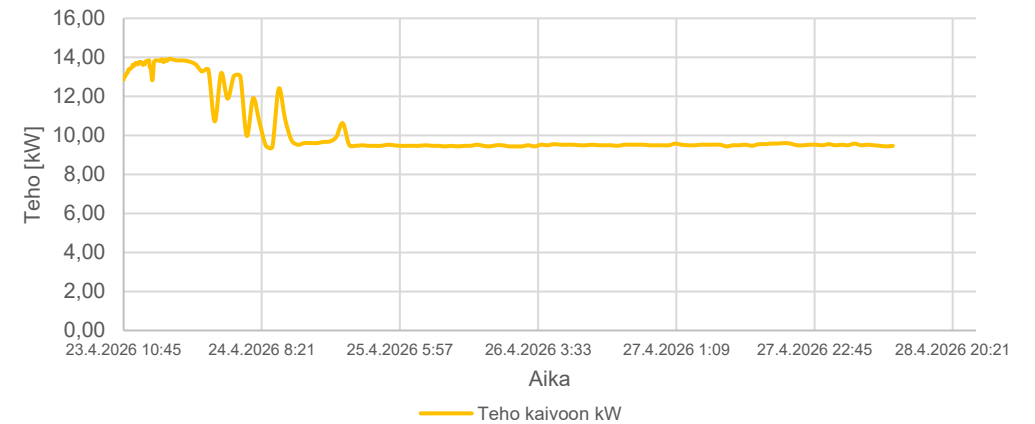
Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajojen tulosten analysointi

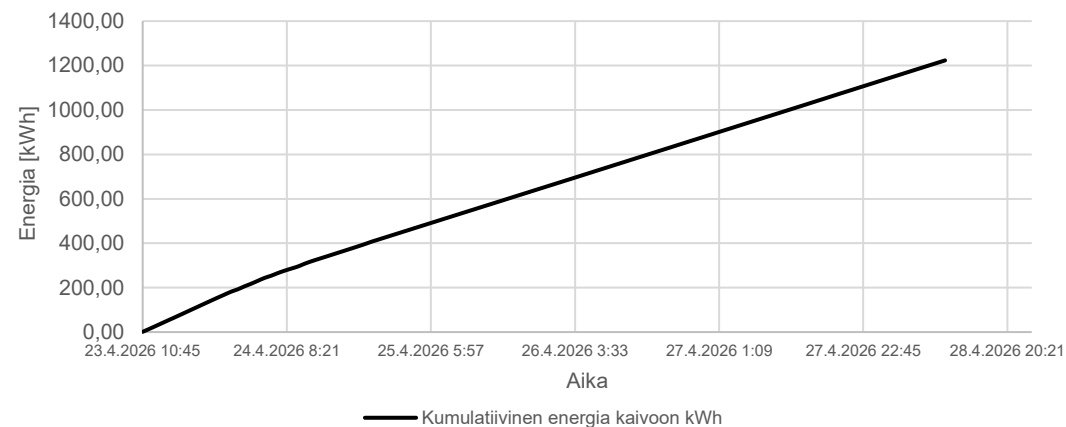
Keruunesteen lämpötila kaivon latauksen aikana, lataus 1



Teho kaivoon kW, lataus 1



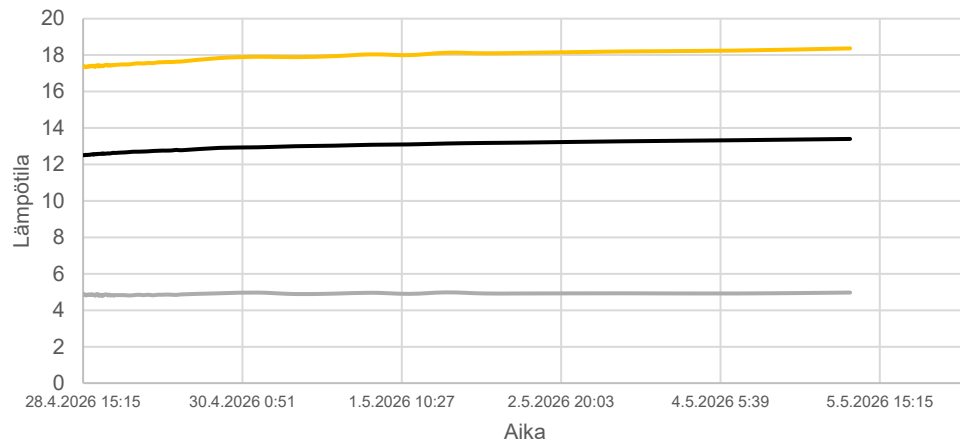
Kumulatiivinen energia kaivoon, lataus 1



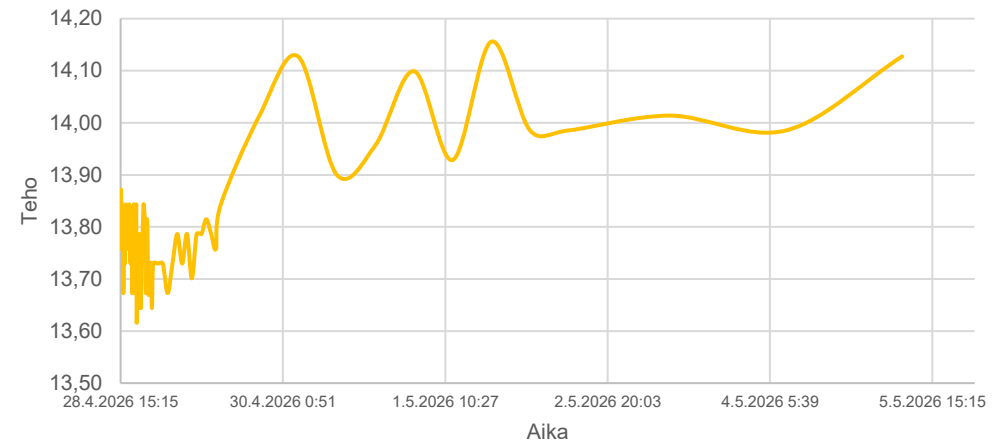
Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Testiajojen tulosten analysointi

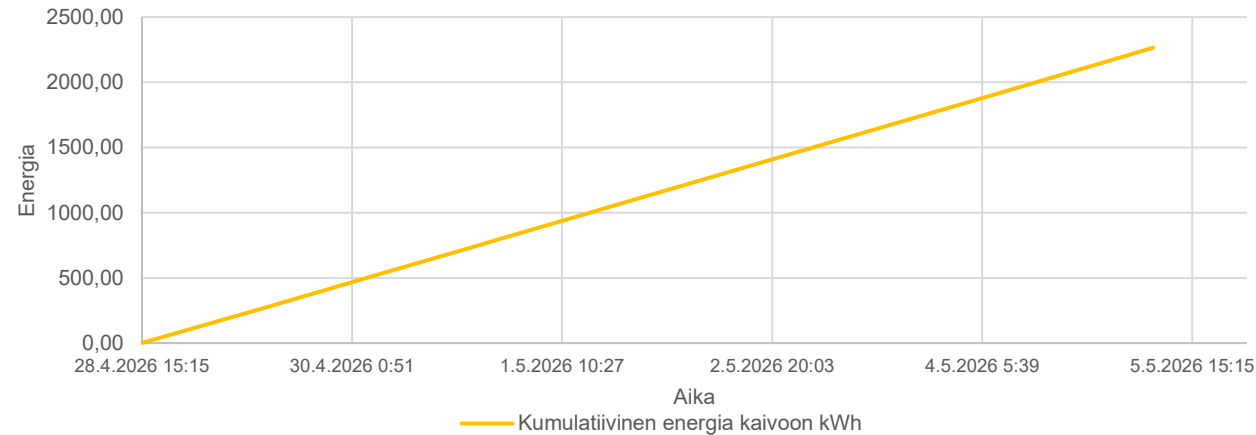
Keruunesteen lämpötila kaivon latauksen aikana, lataus 2



Teho kaivoon kW, lataus 2



Kumulatiivinen energia kaivoon kWh, lataus 2



DTS-mittalaite

DTS-mittalaite

- **Mittausten toteutus**

- DTS-mittalaitteella (Distributed Temperature Sensing) mitataan energiakaivon lämpötilaa eri syvyyksissä optisesta kuitukaapelista.
- Xamkin energiakaivoon on asennettu kuitukaapelit pohjaveteen sekä molempien kollektorien meno- ja paluuhaaroihin. Laitteena toimii Sensornet Halo DTS.
- Mittaus on toteutettu kaksisuuntaisesti (double-ended), eli yhdestä kuitukaapelista saadaan meno- ja paluulämpötilamittaus.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

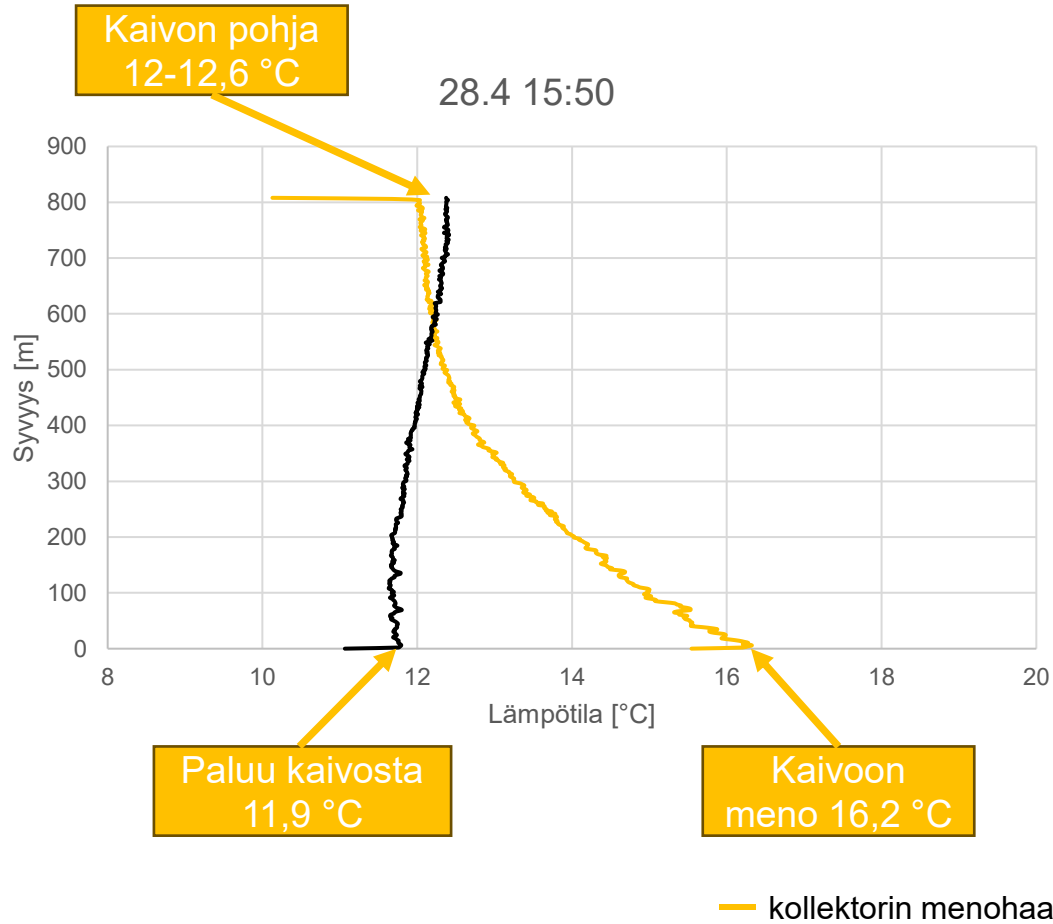
DTS-mittalaite

- **Aktiivilataus 2 DTS-data**

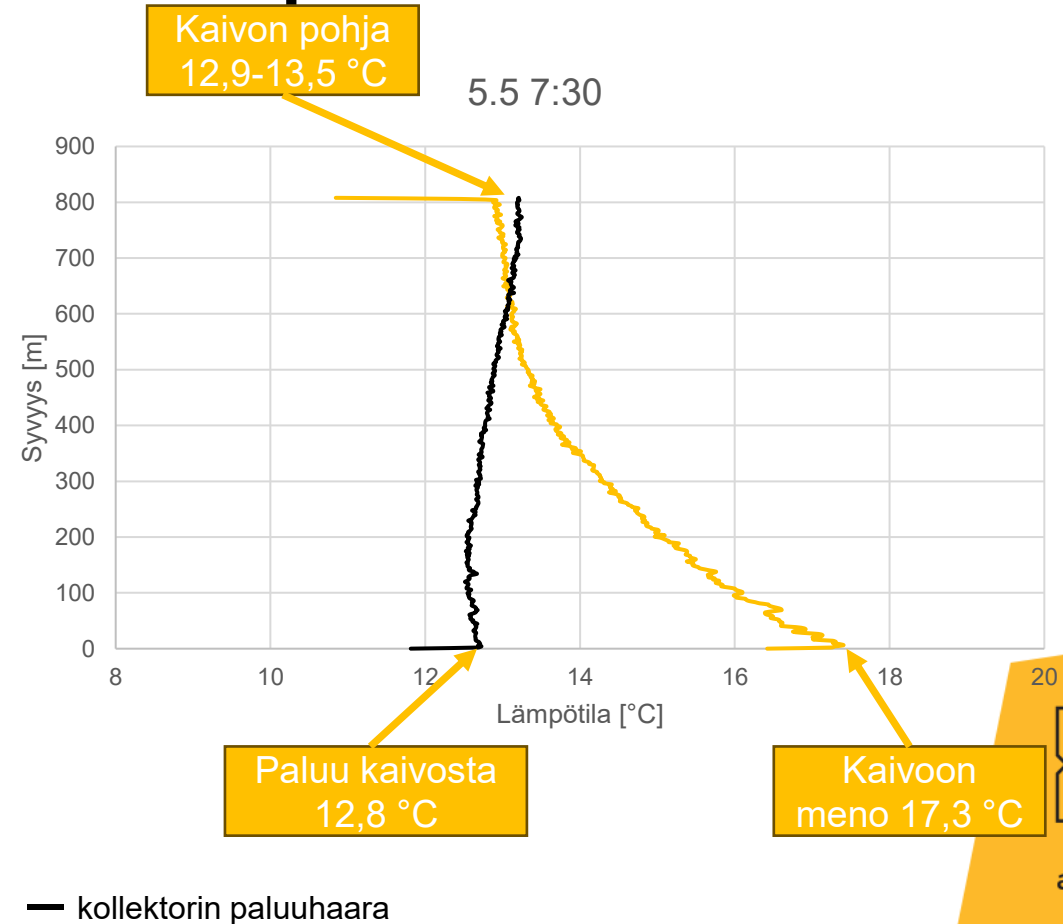
- Aktiivilatauksen aikana mitattiin DTS-laitteella kaivosta 800-metrisen kollektorin meno- ja paluuhaaroja.
- Mittausväli oli 20 minuuttia. Ensimmäiset 10 mittausta otettiin Exceliin 20 minuutin välein ja sen jälkeen joka kymmenes. Mittauksia tuli viikon ajosta Exceliin yhteensä 57 kappaletta.
- Kaivon menohaaran yläpään (0 m) lämpötila nousi ajon aikana $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$, menohaaran alapään (807 m) $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, paluuhaaran pohjan (807 m) $0,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja paluuhaaran yläpään (0 m) $0,82\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Seuraavassa diassa on esitetty kuvaajat latauksen alusta ja lopusta.

DTS-mittalaite

Latauksen aloitus



Latauksen lopetus



Laitehuolto



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Laitehuolto

- Tutkimusympäristössä säännöllistä huoltoa vaativia laitteita ovat maalämpöpumppu, ilmanvaihtokone ja kanavapatteri.
- Tarkastuksia tehdään nestettä sisältäville laitteille ja putkistoille vuotojen varalta sekä varoventtiilejä testataan säännöllisesti.
- Sammuttimet ja ensiapuvälineet pidetään ajan tasalla.
- Microsoft Excelillä tehtiin huoltopäiväkirja, johon listattiin kaikki tutkimusympäristön laitteet sekä niiden huoltotarpeet ja aikataulut. Tiedostoon listataan suoritettut huolto- ja korjaustoimenpiteet.
- Huoltosopimus tehtiin paikallisen huoltoyrityksen kanssa.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Opiskelijatyöt

- **Korjauskerroin**

- Talotekniikan koulutusalan opiskelijaryhmä määritti tutkimusympäristön Belimo -energiamittareille korjauskertoimen automaatiojärjestelmään osana projektityötä.
- Energiamittareita ei ole suunniteltu etanolipitoisille nesteille, jolloin mittarin sisäinen energian ja tehon laskenta vääristyy.
- Korjauskerroin määritettiin veden ja käytössä olevan maalämpönesteen tehojen suhteella.
- Korjauskertoimelle tehtiin myös lämpötilariippuvainen funktio, jolloin laskenta on tarkempi eri tilanteissa.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Tunne huomisen.