

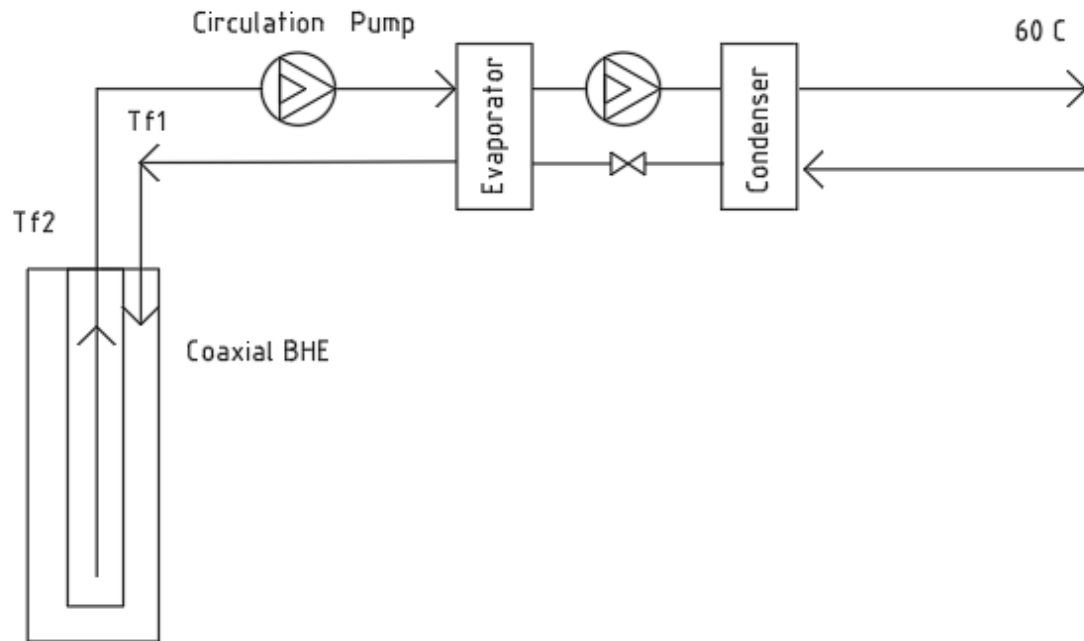
Korvenmäen ekovoimalaitoksen hukkalämmön hyödyntäminen ja varastointi

Andreas Lund & Timo Karvinen

Johdanto

- Työssä on tutkittu Salon Korvenmäkeen valmistuvan Lounavoima Oy:n ekovoimalaitoksen hukkalämpöjen hyödyntämistä ja varastointiratkaisua
- Ekovoimalaitoksen polttoaineena on polttokelpoinen jäte, josta on syntypaikkalajiteltu pois kierrätettävät tai muuten hyödynnettävät jätteet
- Ekovoimalaitoksen kaukolämpöteho on 34 MW
- Energiavarastosta puretaan lämpöä 1.12. – 31.3. välinen aika ja muu aika ladataan
- Varastointiratkaisuna on tutkittu kallioon porattavia 2 km syviä lämpökaivoja
- Simuloinnilla tutkittiin purku- ja lataustehoja, määritettiin 45 MW:n tehoon tarvittava kaivojen lukumäärä sekä niiden välisiä optimaalisia etäisyyksiä, ja kuinka suuren osuuden huippukuormasta kuusi kaivoa voi korvata

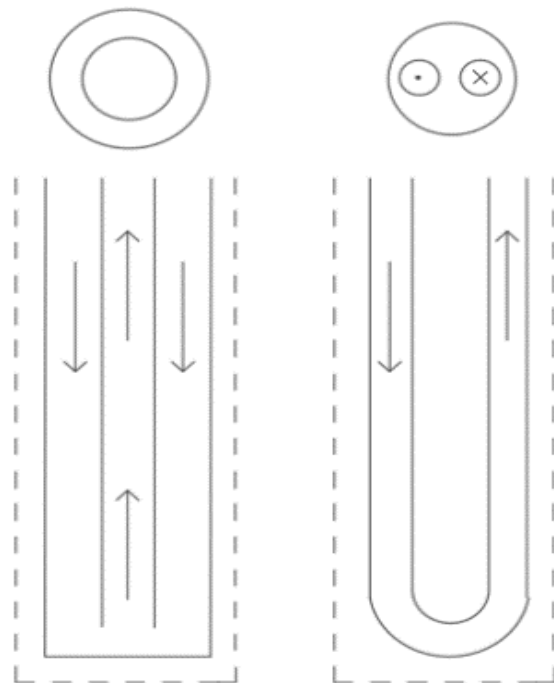
Maalämpöjärjestelmän toimintaperiaate



- Lämpöpumppujärjestelmä koostuu yksinkertaisuudessaan lämpöpumpusta ja lämmönlähteestä
- Lämmönlähteitä ovat mm. pintamaahan asennettavat putkistot ja porakaivot
- Porakaivoon asennetaan putki, jota kautta kierrätetään nestettä
- Tyypillisin putki on polyeteenistä valmistettu U-putki, joissa veden ja jäätymisenestoaineen seosta kierrätetään

Keskisyvän lämpökaivon kollektori

Syväkaivo



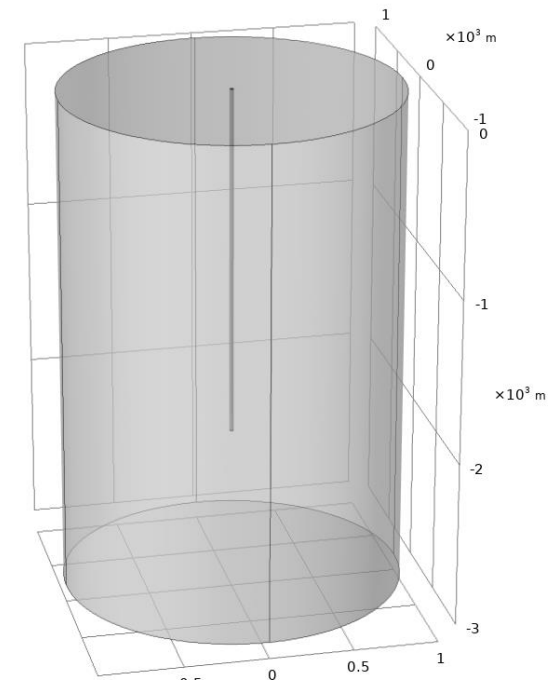
Koaksiaaliputki

U-putki

- Lämmönlähteenä toimii porakaivo, jonka syvyys on 2 000 metriä.
- Keruuputkena toimii U-putken sijasta koaksiaaliputki
 - Muodostuu sisä- ja ulkoputkesta
 - Lämpöä otettaessa ulkoputkea pitkin syötetään vettä ja sisäputkesta pumpataan lämpöpumpuille
 - Lämmön latauksessa virtaussuunta on päinvastainen
 - Ulkoputki on suorassa kosketuksessa kallioperään
 - Keruuaineena toimii vesi
 - Kollektorina voidaan käyttää vakuumiputkea (pieni lämmönjohtavuus) tai muoviputkea

Simulointimalli

- Analysointia varten kehitettiin numeerinen malli dynaamisten lämpöanalyysien suorittamiseksi.
- Simulointiohjelmanä toimi COMSOL Multiphysics 5.5, joka sopii erityisesti fysiikan ja tekniikan monimutkaisiin ongelmiin, mukaan lukien lämmönsiirto ja virtaus, kuten myös toisiinsa liittyvät fysikaaliset ongelmat.
- Lämmönsiirto kallioperässä 3D
- Koaksiaaliputkessa lämmönsiirto ja virtaus 1D
- Lämmönsiirto koaksiaaliputken ja kallioperän välillä
- Tarkastelu on tehty 25 vuoden ajanjaksolla



Simuloinnissa käytetyt parametrit

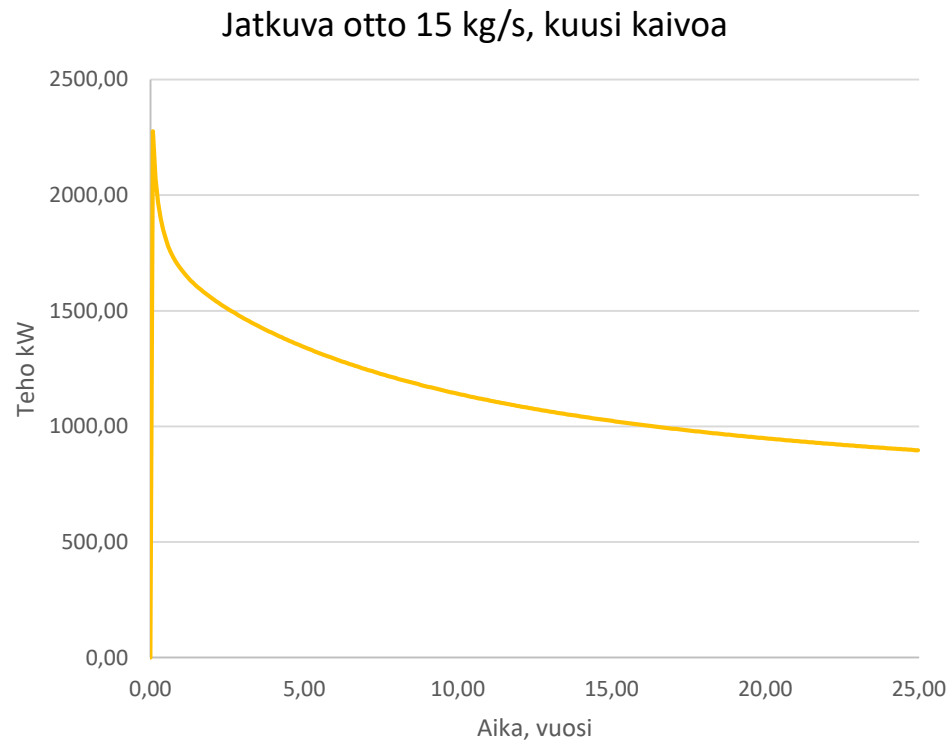
Tarkasteltavia parametrejä olivat:

- kaivojen lukumäärä
- kaivoon syötettävä massavirta
- kaivojen välinen etäisyys

Neste	Vesi
Kaivoon menevän veden lämpötila latauksessa	90 °C
Kaivoon menevän veden lämpötila purussa	2 °C
Kollektorin tyyppi	Koaksiaali-vakuumi
Sisäputken halkaisija	76 mm
Kaivon syvyys	2 000 m
Kallioperän lämmönjohtavuus	3 W/mK
Seinämän vahvuus	10 mm
Vakuumiputken lämmönjohtavuus	0.02 W/mK
Ajotapa	4 kk purku
	8 kk lataus
Kaivojen lukumäärä	6 kpl, 2x3
Lämpöpumpun COP	3,5

Kallioperän lämpötila	
Syvyys, m	Lämpötila, C
0	6
-1 000	22
-2 000	39
-3 000	58
-4 000	77

2 km syvästä kaivosta saatava teho

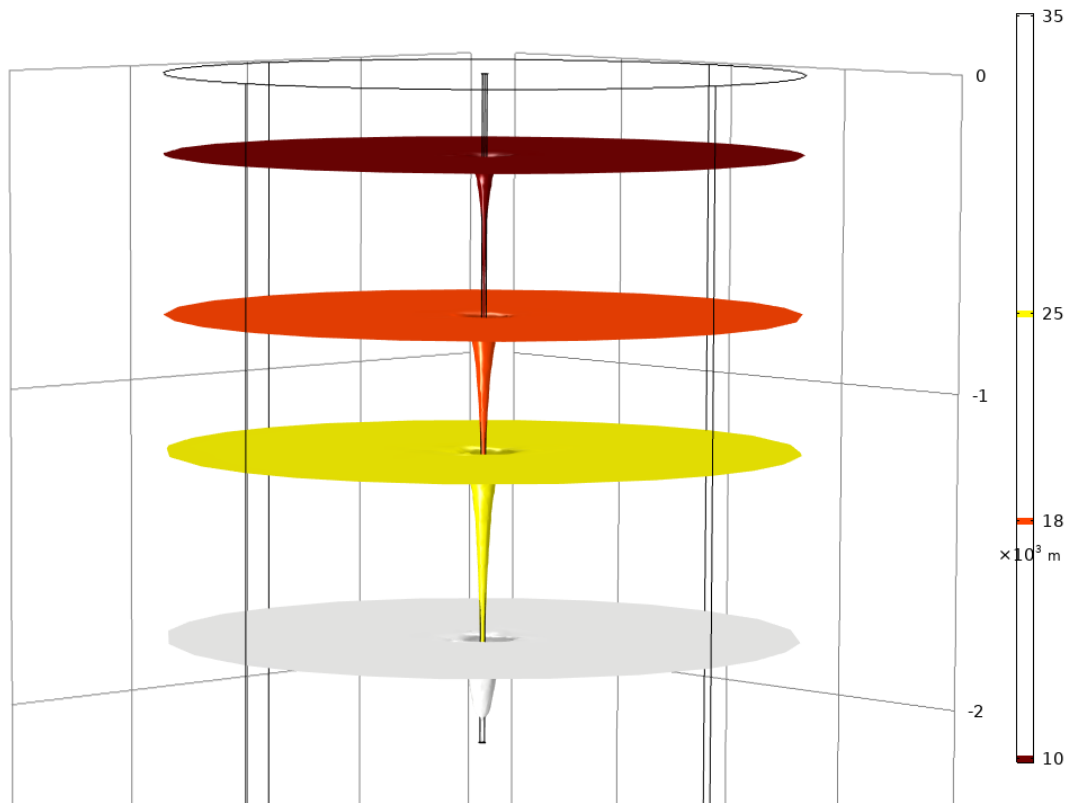


- Perustapauksessa kaivosta otetaan energiaa jatkuvasti.
- Alussa saadaan enemmän tehoa ja energiaa, mutta ajan kuluessa kallio jäähtyy ja teho tippuu.
- Otetusta tehosta riippuen, lähes tasapainotila saavutetaan 25 vuoden kuluessa
- Jos halutaan vähentää kallioperän jäähtymistä, voidaan pitää taukoa otosta tai vaihtoehtoisesti ladata lämpöä kaivoon.

2 km syvän kaivon lämpötilajakauma

Time=24.97 a

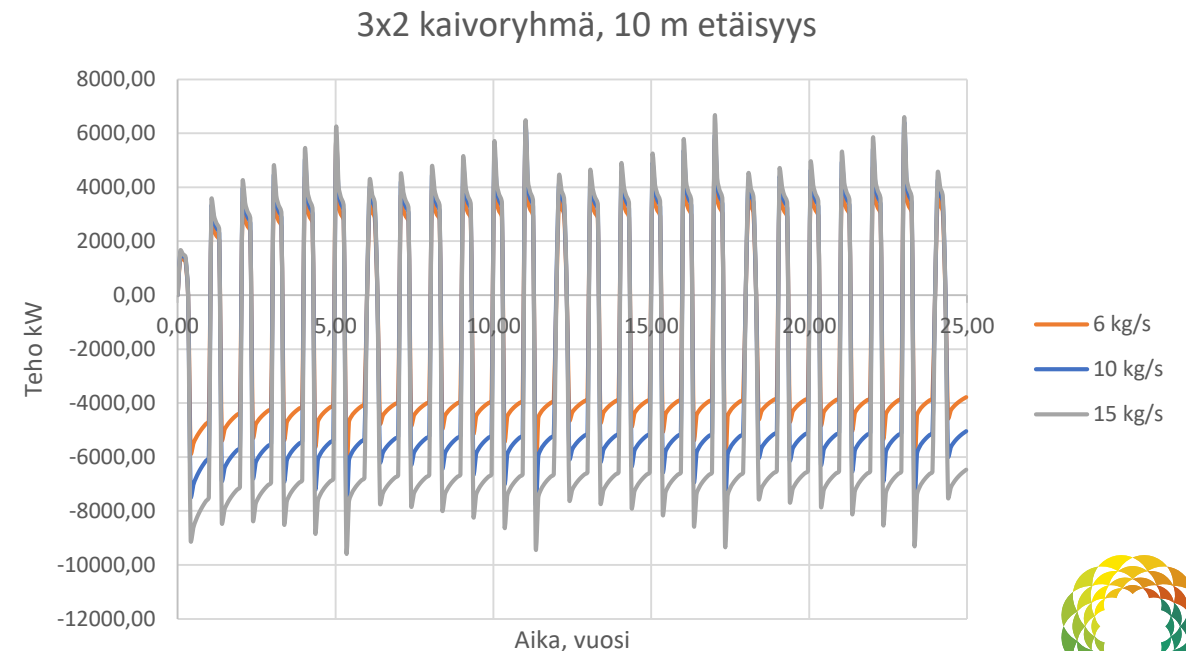
Isosurface: Temperature (degC)



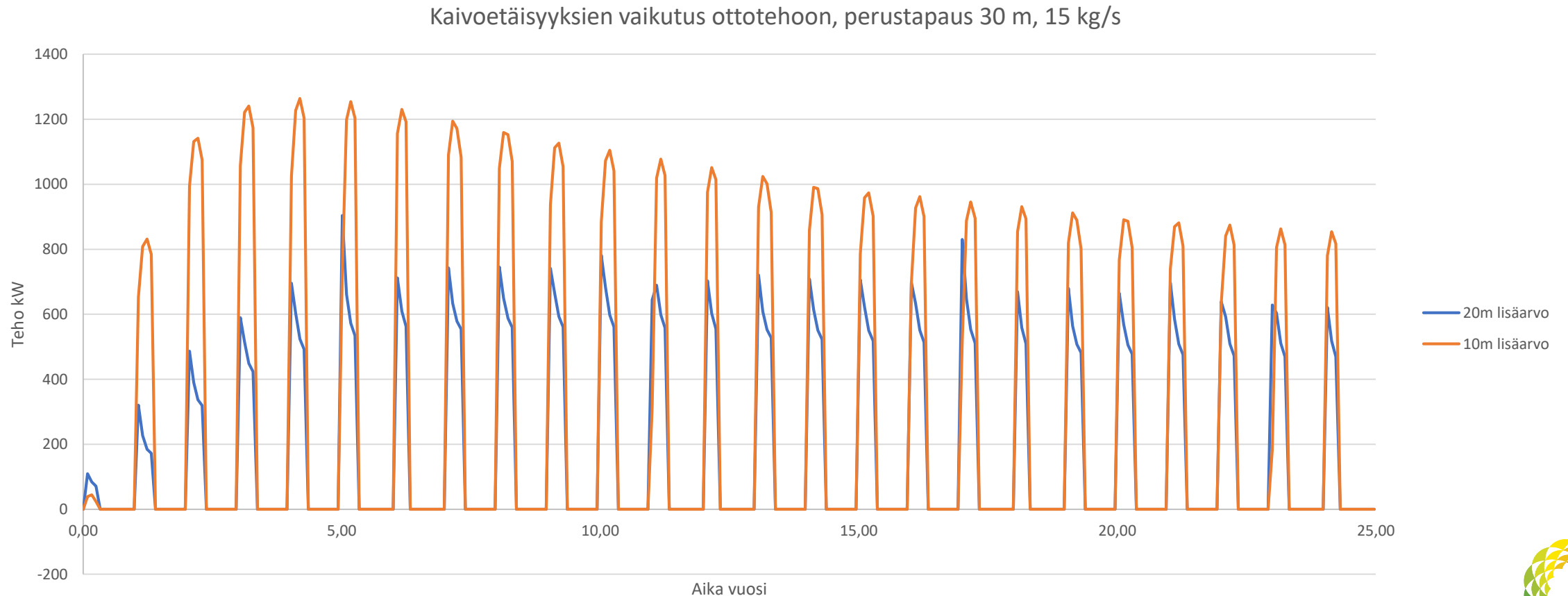
- Perustapauksessa kaivosta otetaan energiaa jatkuvasti.
- Alussa saadaan enemmän tehoa ja energiaa, mutta ajan kuluessa kallio jäähtyy ja teho tippuu.
- Otetusta tehosta riippuen, lähes tasapainotila saavutetaan 25 vuoden kuluessa
- Jos halutaan vähentää kallioperän jäähtymistä, voidaan pitää taukoa otosta tai vaihtoehtoisesti ladata lämpöä kaivoon.

Teho eri massavirroilla

- Massavirran lisäyksellä saadaan enemmän tehoa.
- Massavirtaa ei voida lisätä loputtomiin, koska painehäviöt kasvavat liian suuriksi
- Teho (kW) y-akselilla ja x-akselilla vuodet. Positiivinen teho tarkoittaa ottoa ja negatiivinen latausta

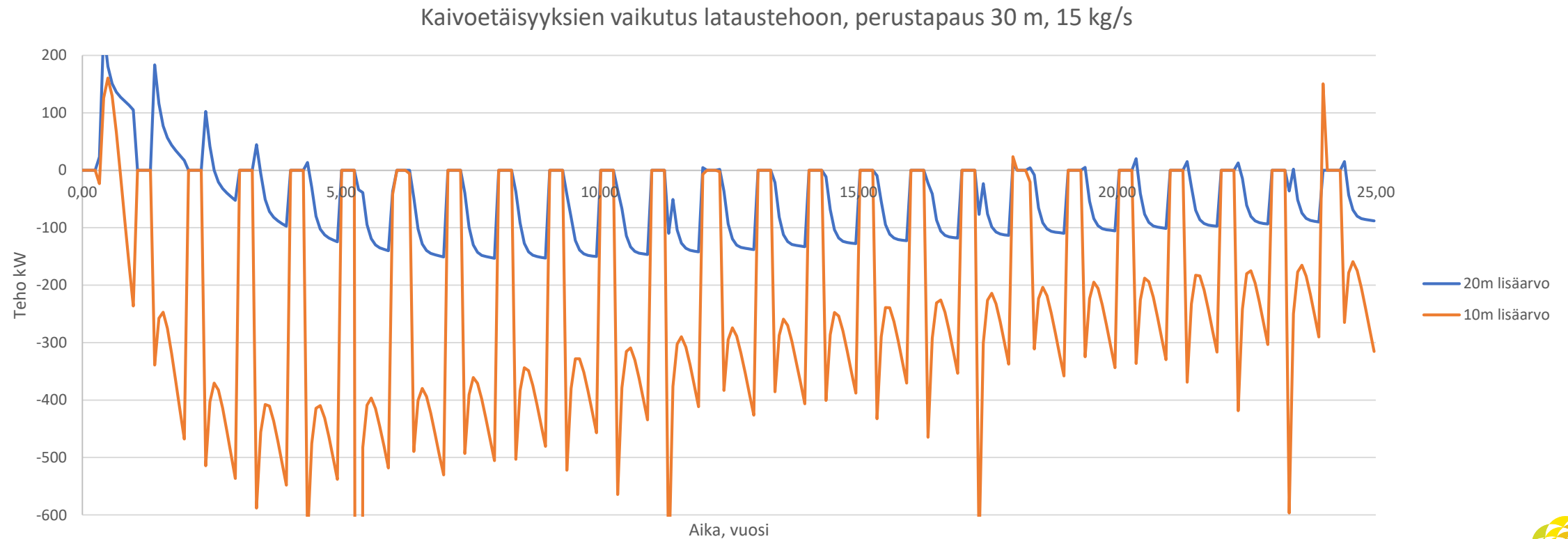


Ottotehon lisäys kaivoetäisyyden vähentyessä



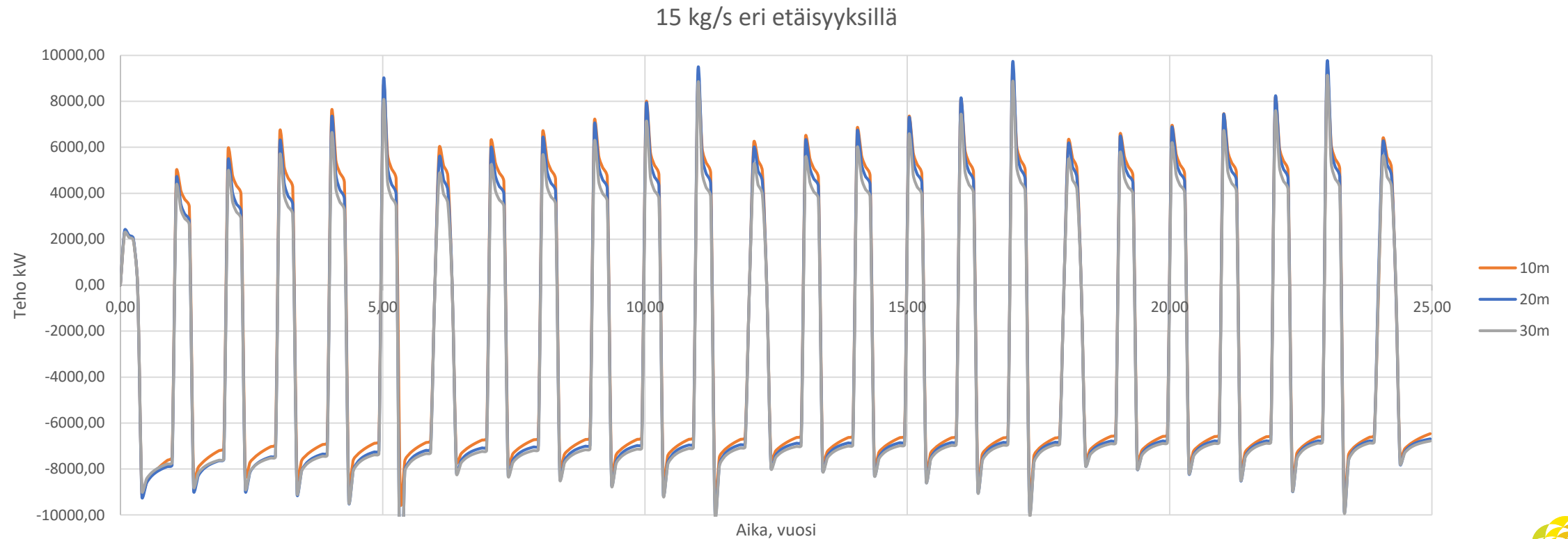
Lataustehon lasku kaivoetäisyyden vähentyessä

Latausteho pienenee kaivoetäisyyden vähentyessä

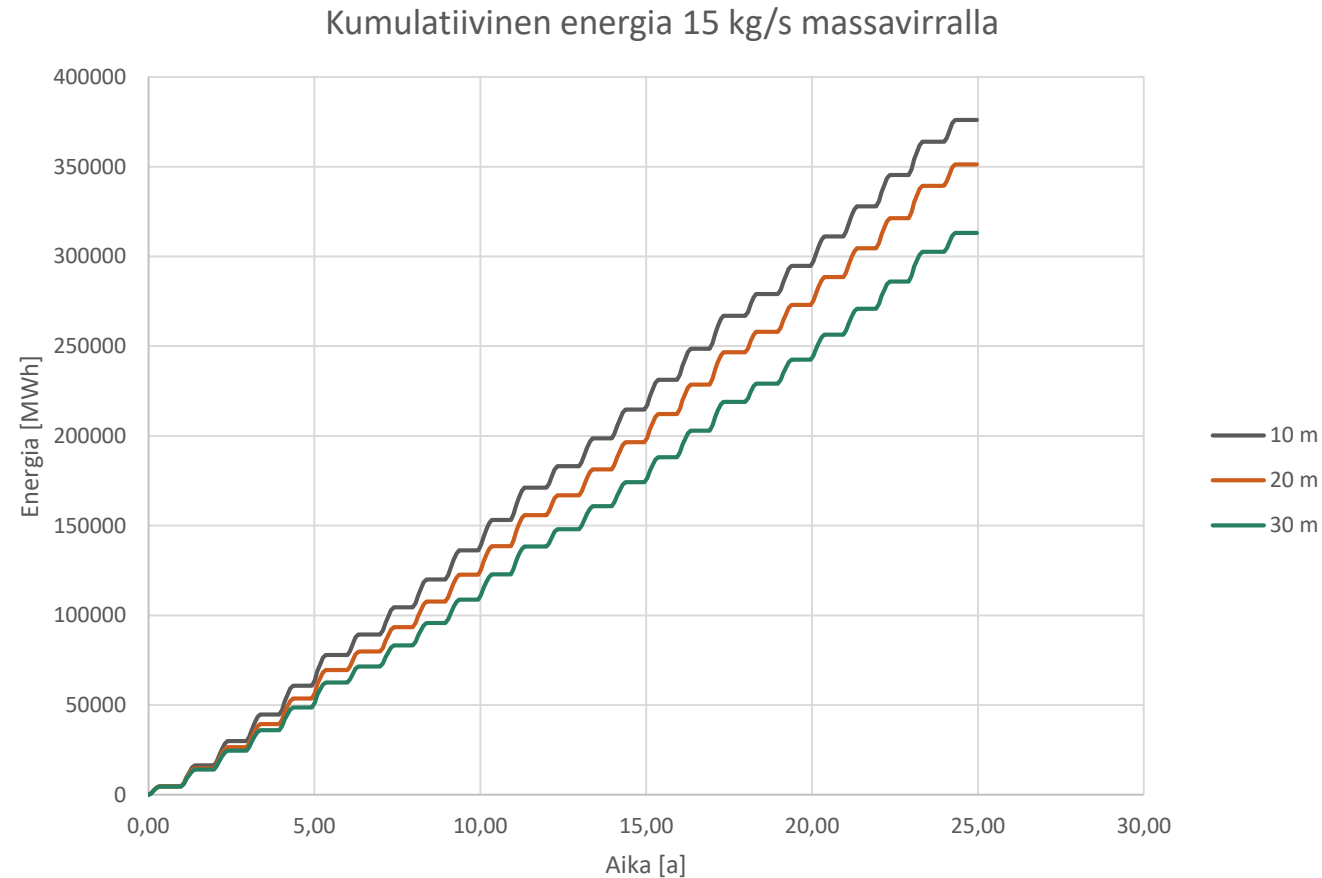


Teho eri kaivoetäisyyksillä

2 x 3 kaivoa



Kumulatiivinen energia 6 kaivolla eri etäisyyksillä



Teho $\approx$ 20 kaivolla

- 2 x 3 kaivon ryhmällä ei pystytä lataamaan kaikkea hukkalämpöä toteutettavissa olevalla massavirralla. Haluttu latausteho saavutettaisiin n. 22-24 kaivon ryhmällä.



Yhteenveto

- Kaivojen etäisyyden pitää olla mahdollisimman pieni purkuenergian maksimoimiseksi
- Teoreettista maksimi lataustehoa (34 MW) ja ottotehoa (45 MW) ei saavuteta kuuden kaivon ryhmällä vaan kaivoja pitäisi olla yli 20 kpl
- Kuusi kaivoa korvaa noin 50 % Salon kaukolämmön huippukulutuksesta
- Kaivojen etäisyyksien pienentyessä kaivosta saatavan tehon määrä nousee, mutta samalla lataustehon määrä laskee

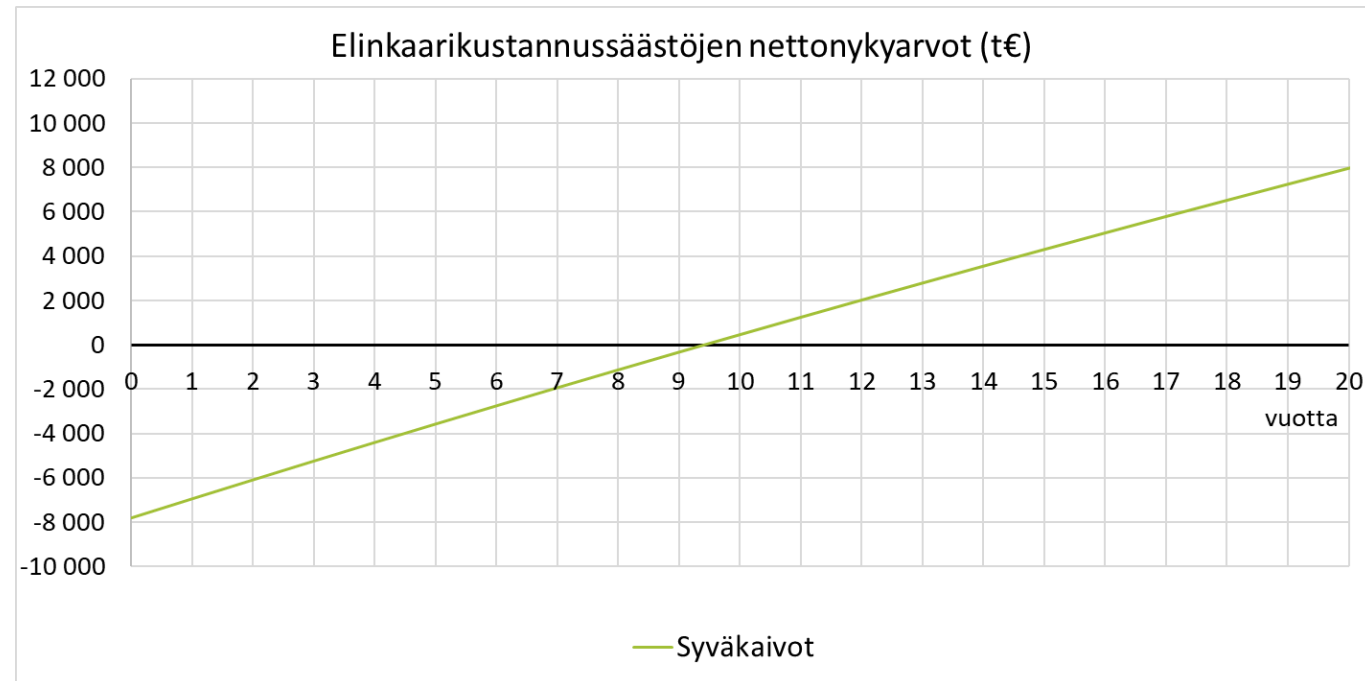
Investointilaskelmat

- Investointilaskelmissa on käytetty seuraavia parametrejä:
 - Yli 34 MW:n tehon tuottamiseen käytetään raskasta polttoöljyä
 - Raskaan polttoöljyn hinta 95 €/MWh
 - Sähkön hinta 35 €/MWh
 - Yhden syväkaivon ja lämpöpumpun hinta $\approx 1\,300\,000$ €
 - Business Finlandin energiatuki 35 %
 - Investointitarkastelut on tehty 20 vuodelle
 - Laskentakorkona käytettiin 3 % ja energian hinnan eskalaationa 2 %
 - Hinnat on esitetty ilman arvonlisäveroa

Investointilaskelmat

Ilman energiatukea

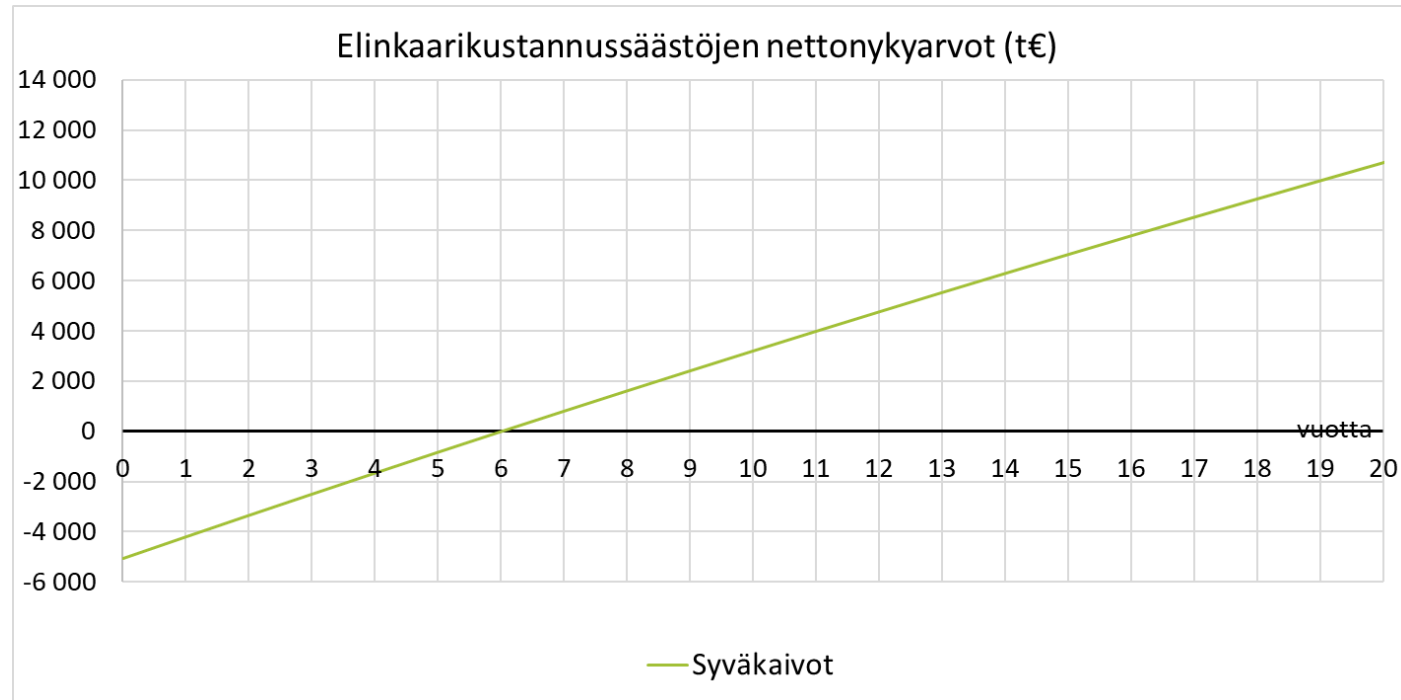
Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 20 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/20v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]					
Syväkaivot	7 800 000 €	10318	980 200 €	-3060	-107 100 €	0 €	873 100 €	8.9	11 %	7 986 900 €



Investointilaskelmat

Energiatuen kanssa

Toimenpide	Investointi [€]	Säästö kaukolämmössä		Säästö sähköenergiassa		Huolto- kustannusten lisäys [€/v]	Kustannus- säästö yhteensä [€/v]	Suora takaisinmaksuaika [vuotta]	Sisäinen korkotuotto 20 v ajanjaksolla [%]	Elinkaari- kustannus- säästöt [€/20v]
		[MWh/v]	[€/v]	[MWh/v]	[€/v]					
Syväkaivot	5 070 000 €	10318	980 200 €	-3060	-107 100 €	0 €	873 100 €	5.8	19 %	10 716 900 €



Investointilaskelmat

Yhteenveto

- Syväkaivojen takaisinmaksuaika on noin yhdeksän vuotta, jos energiatukea ei huomioida. Energiatuen kanssa takaisinmaksuaika on noin kuusi vuotta.
- Suurin syy alhaiselle maksuajalle on nykyinen huippukulutuksen tuotantomuoto ja sen hinta.
- Investointi- ja kannattavuuslaskelmat on tehty kuudelle kaivolle – jos määrä pienenee myös säästöt pienenevät, koska kaivojen yhteisvaikutus laskee.
- Kuuden kaivon ryhmä on optimaalisin ratkaisu.

Yhteystiedot

Timo Karvinen

timo.karvinen@granlund.fi
050 5410683

Andreas Lund

andreas.lund@granlund.fi
040 1828231