

# Aluekohtainen energiatehokkuusselvitys Joensuun GreenPark – yrityspuiston alueella

Loppuraportti

1.11.2023



Granlund

# Sisältö

1. Johdanto
2. Tiivistelmä
3. Kohdekäynti ja lähtötiedot
4. LTO-potentiaali ja ratkaisuvaihtoehdot
5. Budjettitarjoukset ja energialaskennan päivitys
6. Jäteveden keruuputkistot ja kaukolämpöverkkoon liittyminen
7. Periaatekaavio ja tilantarvepiirustus
8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat
9. Operointi- ja liiketoimintamallit
10. Suositukset jatkosuunnitteluun
11. Liitteet
  1. Lähtötiedot ja oletukset
  2. Ammoniakkilämpöpumput
  3. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon lämmitysjärjestelmät



**Euroopan unionin  
osarahoittama**



**POHJOIS-KARJALA**  
*Maakuntaliitto*

**BUSINESS  
JOENSUU**

J **WITH** E



**Granlund**

# 1. Johdanto

- Tässä selvityksessä tarkasteltiin puhdistetun jäteveden lämmöntalteenoton kokonaispotentiaalia Kuhasalon jätevedenpuhdistamolta Savon Voiman kaukolämpöverkkoon.
- Työn tavoitteena oli tunnistaa Kuhasalon jätevedenpuhdistamon hukkalämpöpotentiaali ja kehittää taloudellisesti kannattava ratkaisu hukkalämmön hyödyntämiseen. Hukkalämpöjen hyödyntämisellä pyritään varmistamaan myönteinen kaukolämmön hintakehitys ja siten varmistaa yritysten kilpailukykyä alueella. Tärkeäksi tavoitteeksi tunnistettiin myös imagohyödyt hiilineutraaliustavoitteiden ja energiatehokkuuden edistämisestä, sekä investointien houkuttelu alueelle.
- Tämä raportti sisältää yhteenvedon energia-, kannattavuus- ja päästölaskennan tuloksista. Selvitys sisältää lämmöntalteenoton potentiaalilaskennan, talteenoton sopivan teknisen toteutusratkaisun esittämisen sekä lämmöntalteenoton elinkaarikustannus- ja kannattavuuslaskelmat sekä päästövaikutuslaskelman. Työn lopputuloksena esitetään suositus lämmöntalteenottoratkaisun teknis-taloudellisesti sopivimmasta projektin tavoitteiden mukaisesta konseptista.

## 2. Tiivistelmä

- Puhdistetun jäteveden tuntitason virtaamiin ja lämpötiloihin perustuvien mallinnusten perusteella jätevedestä kannattaa ottaa lämpöä talteen **noin 8,9 MW teholla**.
- Ehdotetuilla lämpöpumppuratkaisuilla saadaan tuotettua **lämpöä puhdisteun jäteveden hukkalämmöstä välillä 51-70 GWh/a**, joka vastaa Joensuun kaukolämmön tuotannosta 9-12 %.
- Lämpöpumppulaitoksen **sijoitteluun on kaksi vaihtoehtoa**, Kuhasalontien päässä oleva EN-tontti tai jätevedenpuhdistamon yhteyteen Luostarintien varteen. Molemmissa tapauksissa tarvitaan putkivedot jätevedenpuhdistamolle ja kaukolämpöverkkoon. Putkistojen kokonaisinvestointi on korkeampi vaihtoehdossa 1, mutta **suosittelemme EN-tonttia sijoituspaikaksi** laitokselle silti johtuen tontin koosta ja helpommista perustusolosuhteista.
- **Kokonaisinvestointi** lämpöpumppulaitokselle sekä tarvittaville putkiyhteyksille jätevedenpuhdistamolle ja kaukolämpöverkkoon **on reilu 12 M€**. Kustannusarviot perustuvat lämpöpumpputoimittajilta pyydettyihin budjettitarjouksiin, joita täydennettiin Granlundin kustannuspankin tiedoilla vastaavista hankkeista.



## 2. Tiivistelmä

- Mallinnuksen perusteella puhdistetun **jäteveden lämmön talteenotto lämpöpumppulaitoksella vaikuttaa kannattavalta**. Paras tarkasteltu ratkaisu ylittää perustapauksessa **jopa 10,5 % tuottoon**.
- Lämpöpumppuratkaisulla ja varsinkin sen **hyötysuhteella on merkittävä vaikutus investoinnin kannattavuuteen**. Heikoimman hyötysuhteen omaavassa ratkaisussa investoinnin tuotto jää noin 5,7 % tasolle. Sähkön hinta on nykyään korkeammalla tasolla, minkä takia **kannattaa priorisoida hyvää hyötysuhdetta enemmän kuin matalaa investointikustannusta**.
- Lisäksi investoinnin **kannattavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti myös lämpöpumppulaitoksen korvaaman kaukolämmön tuotannon tuotantokustannus**. Polttoainekustannusten kasvaessa paranee lämpöpumppulaitoksen kannattavuus edelleen.
- **Investointikustannukset vaikuttavat myös lämpöpumppulaitoksen kannattavuuteen**. Mikäli investointikustannukset kasvaisivat 30 % arvioidusta tasosta, parhaan tarkastellun ratkaisun tuotto putoaisi alle 8 %:in tavoitetuottotason noin 7 %:iin.
- Saavutettavat päästövähennykset riippuvat laskentatavasta.
  - Mikäli käytetään Savon Voiman hiilineutraaliustiekartan mukaisia päästökertoimia sähkölle ja kaukolämmölle, ovat **elinkaaren (25 v) aikaiset päästövähennykset 5,1-7,0 ktCO<sub>2</sub>**. Päästövähennykset kaukolämmön päästöihin nähden jäävät pieniksi, sillä Savon Voiman kaukolämmön tuotannon on suunniteltu olevan hiilineutraalia vuonna 2027 ja sähkön vuonna 2030.
  - Kansallisilla YM/SYKE päästökertoimilla laskiessa päästövähennykset ovat suuremmat 80-109 ktCO<sub>2</sub>. Mutta näissä päästöjen taso on korkeampi koko laskenta-ajan.

# 3. Kohdekäynti & lähtötiedot



# 3. Kohdekäynti ja lähtötiedot

## *Kohdekatselmus*

- Kuhasalon jätevedenpuhdistamo katselmoitiin 7.6.2023.
- Jätevedenpuhdistamon nykyinen toiminta tarkastettiin pääpiirteissään.
- Kohteesta on saatavissa jäteveden virtausdataa lämpötiloineen ja virtaamineen vuosi-, kuukausi- ja tuntitasolla. Tietojärjestelmän rajoitteiden vuoksi päädyttiin ottamaan edustavat päivät kuukausittain, joista Granlund koosti tuntiaikasarjan vuoden ajalle.
- Kohteella ei ole kaukolämpöliittymää, lähin liittymäpiste on Kuhasalontielle Sakupen pesulan yhteydessä.
- Kohteen lämmitys hoidetaan pääosin lietteen mädätyksestä saatavalla biokaasulla ja talviaikaan lämpöpumpulla. Öljylämmitys on varalla. Biokaasulla tuotetaan myös sähköä.

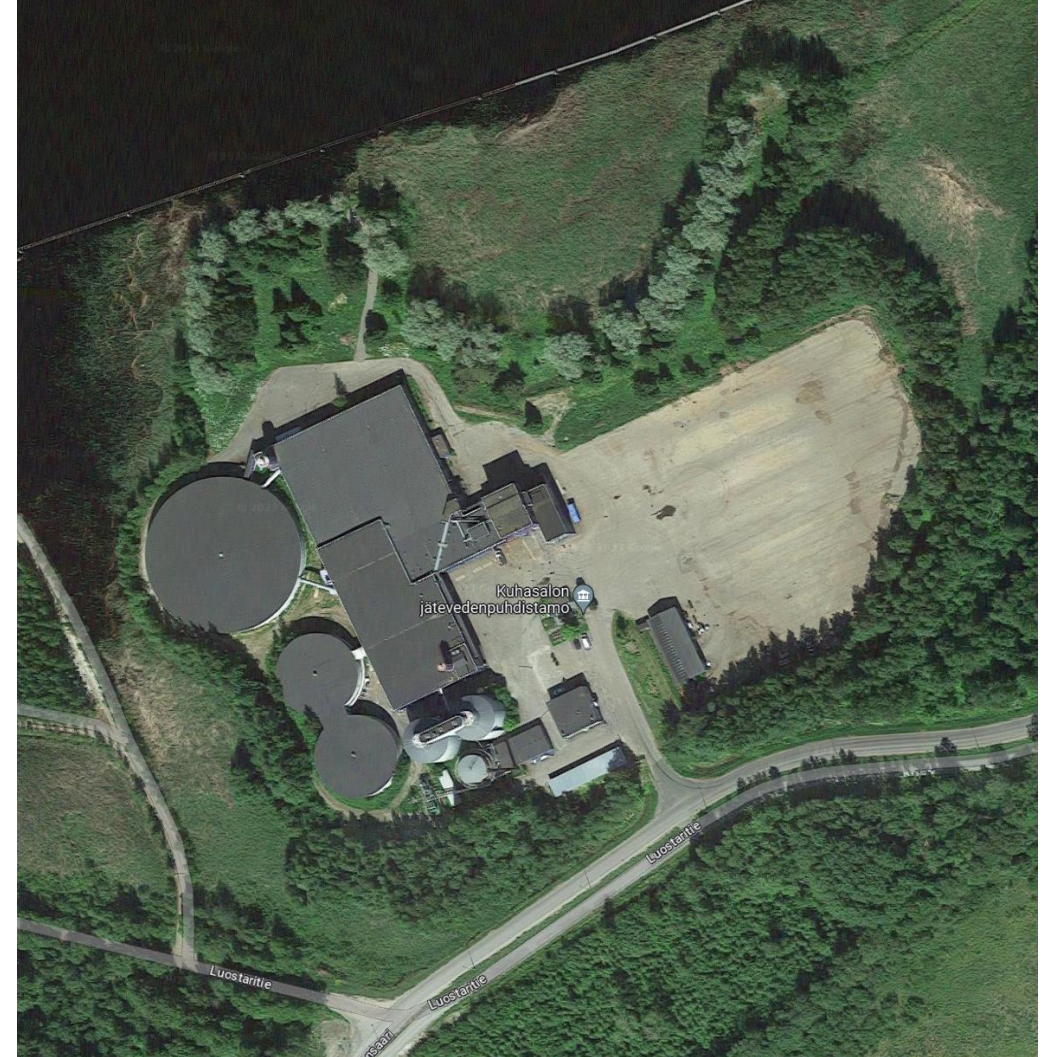




# 3. Kohdekäynti ja lähtötiedot

## Kohdekatselmus

- Käyttöpäällikön haastattelun perusteella olemassa olevilla lämpöpumpuilla ei kannata lämmittää kesäaikaan lainkaan.
- Lämpöpumppujen siirtimet lisäksi likaantuvat aika-ajoin, ja niitä joudutaan puhdistamaan. Keväisin kovempien virtaamien vuoksi puhdistustarve on suurempi. Muodostuva lika vaikuttaa olevan saostumaa, ei eloperäistä ainesta. Todennäköisesti puhdistamon prosessiin ferrosulfiitista johtuvaa.
- Lämpöpumpuille menevä puhdistettu jätevesi on lisäksi suodatettua, ja järjestelmään on lisätty varsinaisten LTO-siirtimien lisäksi lamelliväliltään väljempi siirrin, joka on auttanut asiaa hieman – järjestelmää voidaan käyttää kevyestä likaantumisesta huolimatta.
- Nykyinen LTO ei ollut kohdekierroksella käytössä, vaan tarvittava lämpö saatiin biokaasusta.
- Ilmanvaihdon LTO keskitetty, sininen kontti kuvissa.





# 3. Kohdekäynti ja lähtötiedot

## *Kohdekatselmus*

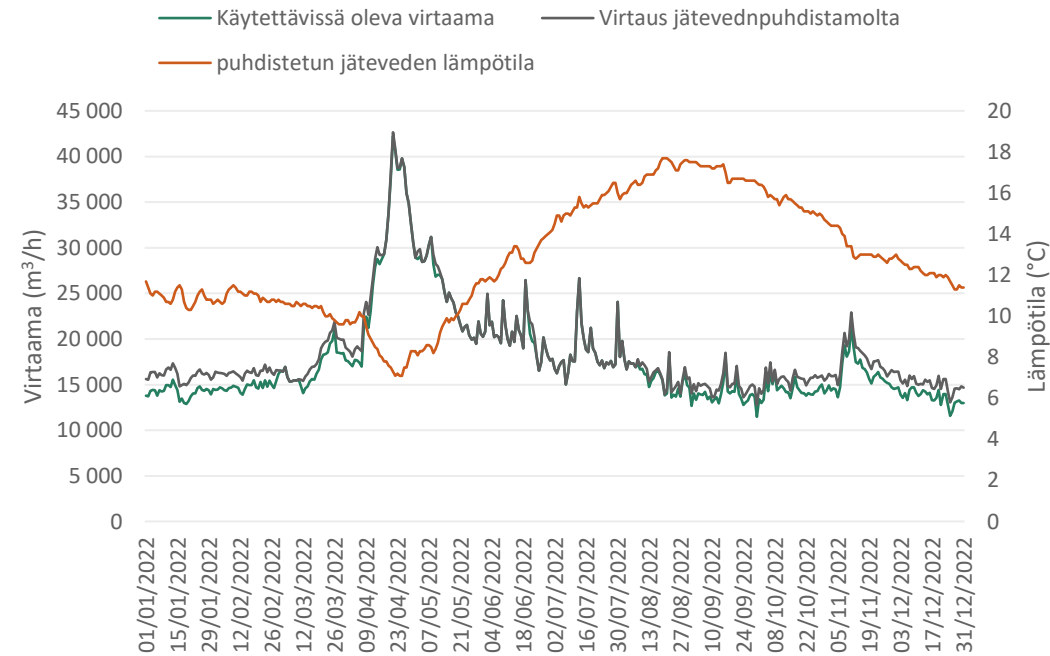
- Nykyisen laitoksen perustus tehty kokonaan paaluttamalla, alue on vanhaa jokisuistoa, varmastikin helppo muokata, mutta vaatii paalutukset. Tontin alla tulee noin metrissä vastaan pohjavesi / jokiveden pinta.
- Uusille tiloille/kontille tilaa nykyisen tontin eteläreunassa, kts. Liite 4.
- Toinen vaihtoehto energiantuotannolle kaavoitettu tontti Kuhasalontien ja Luostarintien risteyksessä.
- Tontin pohjoisreunassa jätetty tilaa mahdollisesti jatkossa tuleville hygienisointilaitteistoille, tätä jossain määrin odotetaan määräyksiin tulevaisuudessa. Otettava huomioon puhdistetun jäteveden purkuputkien tai LTO:lle syöttävien putkien sijoittelussa.
- Purkuputket tontin pohjoisreunassa kts. Liite 4.
- Nykyiset viemärit puhdistamolle tulevat tontin pohjois- ja itäreunasta.
- Tontin itäreunan asfaltoitu alue on varattu puhdistamon ydintoiminnan laajennuksille.

# 3. Kohdekäynti ja lähtötiedot

## Joensuun Veden lähtötiedot

- Kuhasalon jätevedenpuhdistamolta saatiin lähtötietoina vuoden 2022 päivätason tiedot kokonais-, minimi- ja maksimivirtaamasta, lämpötilasta sekä käytetystä ja jäljellä olevasta virtaamasta. Näistä lämpötila, kokonais- ja käytettävissä oleva virtaus on esitetty vieressä olevassa kaaviossa.
- Suurin vaihtelu virtaamassa on keväällä, jolloin myös sulamisvedet päätyy puhdistamolle. Kesälläkin virtaamassa on jonkin verran vaihtelua, kun taas talvella virtaama on suhteellisen tasaista.
- Jätevedenpuhdistamo hyödyntää jo nyt jonkin verran saatavilla olevasta lämmöstä. Tämä on kuvattu oikealla olevassa kaaviossa. Vihreällä näkyy käytettävissä oleva lämpö, joka ei ole huomattavasti matalampi kuin kokonaisvirtaus.
- Jäteveden lämpötila vaihtelee 7-18 °C välillä. Korkeimmat lämpötilat on kesällä ja keväällä on matalimmat. Talvella lämpötilat pysyvät tasaisina ja lähtevät laskemaan kun virtaus nousee.

Jätevedenpuhdistamon virtaama purkuputkessa

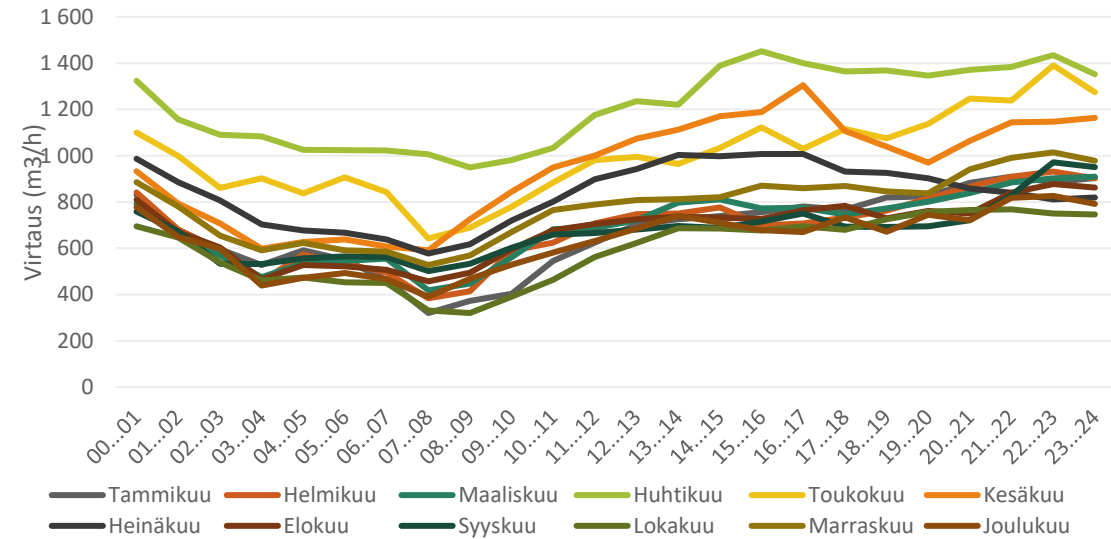


# 3. Kohdekäynti ja lähtötiedot

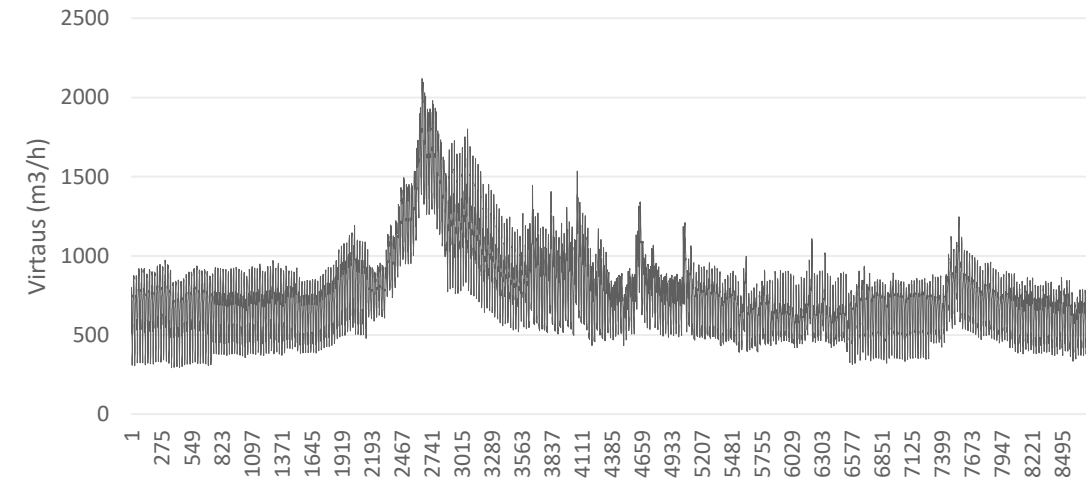
## Joensuun Veden lähtötiedot

- Lähtötietona saatiin koko vuoden 2022 vuorokausiarvot lämpötilasta, virtauksesta, jo käytetystä virtauksesta sekä käytettävissä olevasta virtauksesta ja pH:sta. Tämän lisäksi saatiin 15. päivän tuntitason arvot. Tuntitason arvojen perusteella voi olettaa, että viikonpäivien välillä ei ole suurta vaihtelua vuorokauden sisäisessä vaihtelussa.
- Koko vuoden tuntisarjojen tekoon käytettiin siten kyseisen kuukauden annettua tuntiaikasarjaa. Koko vuoden tuntiaikasarja on seuraavassa kaaviossa. Tätä tuntiaikasarjaa on käytetty tulevissa laskelmissa.
- Puhdistetun jäteveden virtaama on matalimmillaan klo 7-8 ja korkeammillaan klo 22-23. Tämä ei kohtaa kaukolämmön kysynnän kanssa, jossa suurin kysyntä on aamuisin ja iltaisin. Tämän voi tasata tasaussäiliöllä ennen lämpöpumppulaitosta, jolloin virtaus lämpöpumpuille pysyy vakaana. Tämä helpottaisi myös lämpöpumppujen käyttöä, joille ei suositella niin vaihtelevaa ajoa kun tasaamaton virtaus edellyttäisi.

Lähtötietona saadut päivävirtaukset



Koko vuodelle tehtyt tuntitason virtausaikasarja

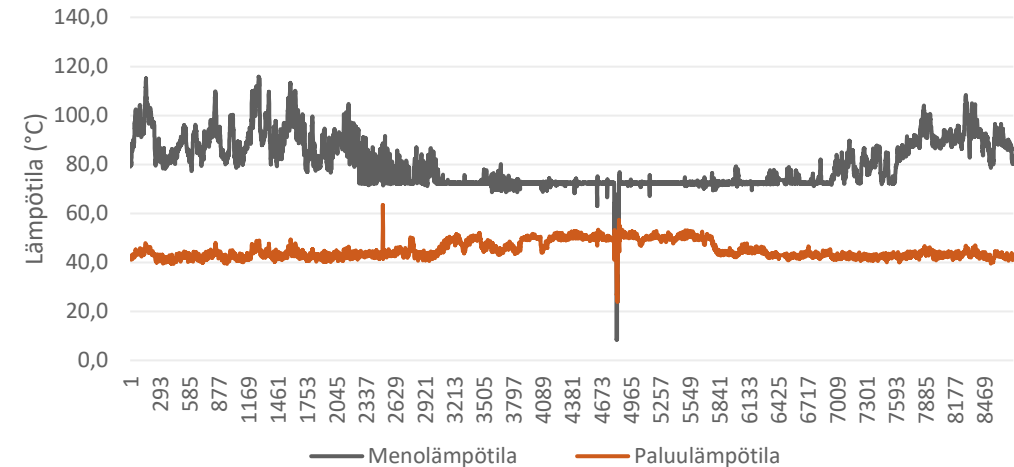


# 3. Kohdekäynti ja lähtötiedot

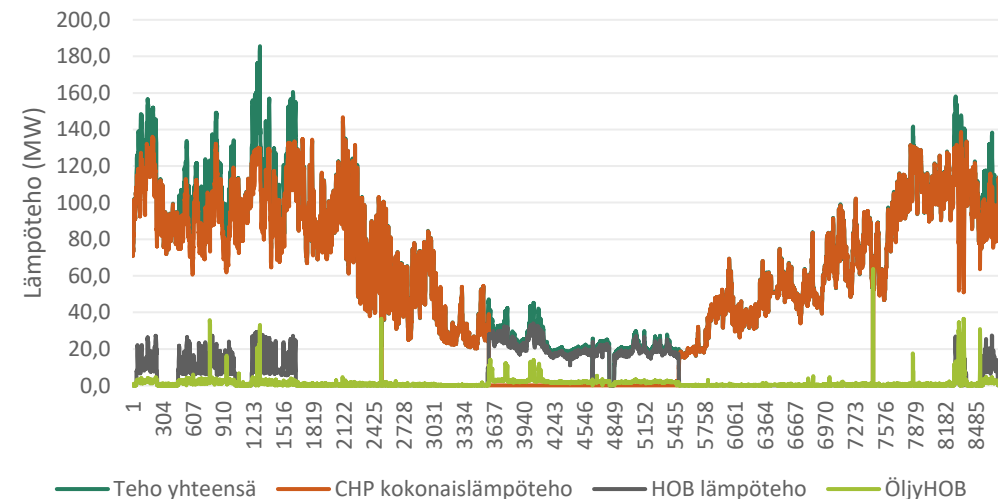
## Savon Voiman lähtötiedot

- Puhdistetusta jätevedestä hyödynnettävissä oleva lämpö syötetään Savon Voiman Joensuun kaukolämpöverkkoon. Lähtötietona saatiin Savon Voimalta kaukolämpöverkon meno- ja paluulämpötilat. Nämä on kuvattu oikealla ylhäällä olevassa kaaviossa.
  - Meno- ja paluulämpötilat on ajalta 19.6.2022-19.6.2023.
- Puhdistetun jäteveden hukkalämpö korvaa kaukolämpöverkon kalliimman tuotannon. Ensimmäisenä lämpöpumpuilta tuleva lämpö korvaa öljytuotannon, jonka jälkeen kesällä korvaantuu biokattilan tuotantoa ja talvella pääasiassa CHP-tuotantoa.
- Joensuun CHP-laitoksella on savukaasupesuri, jonka takia lämmön syöttäminen paluupuolelle ei ole suositeltavaa.

Joensuun kaukolämpöverkon lämpötilat



Joensuun kaukolämpötuotanto



# 4. LTO-potentiaali ja ratkaisuvaihtoehdot

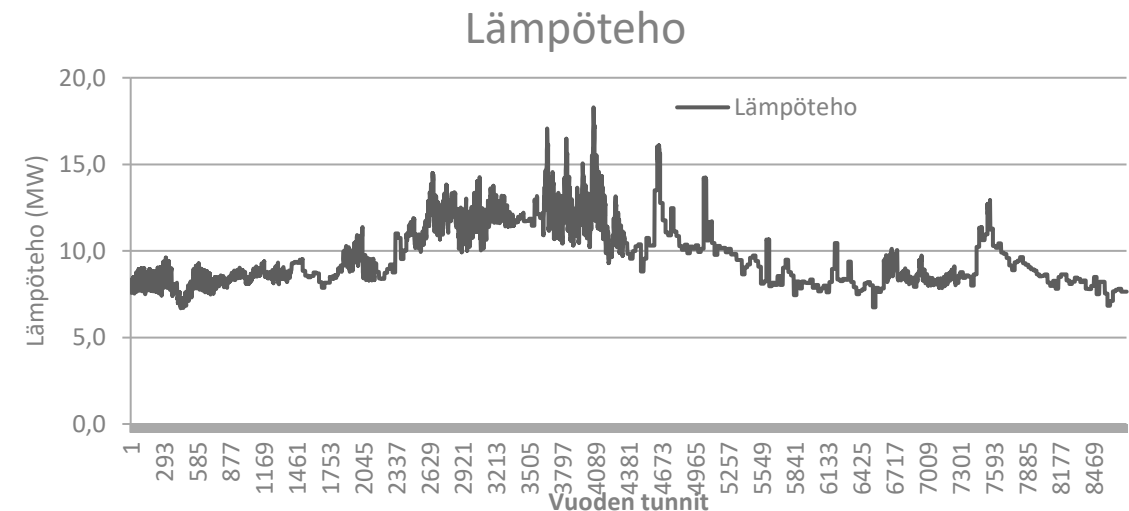
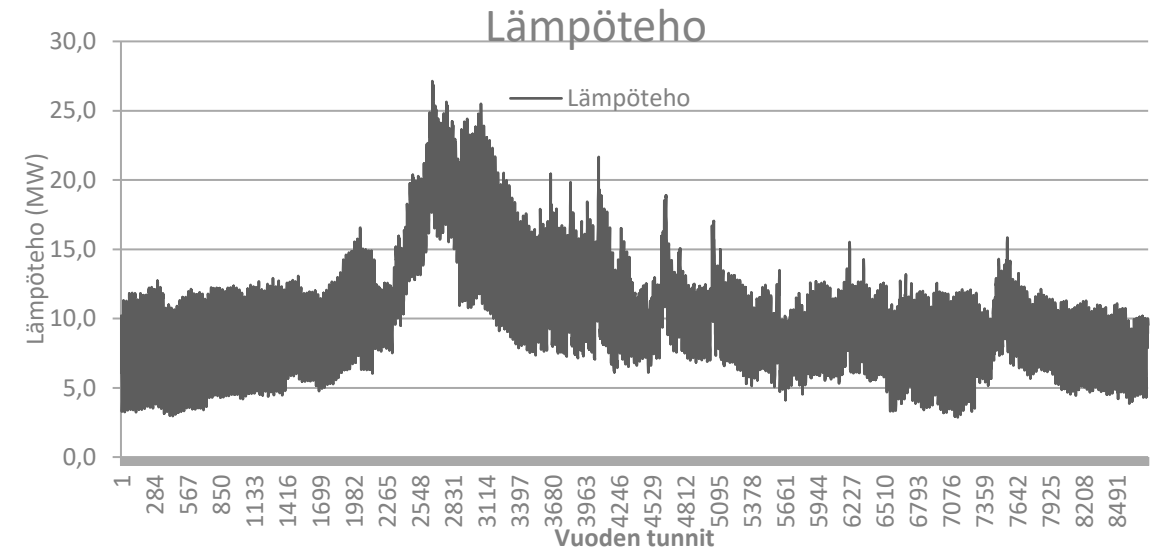




# 4. LTO-potentiaali

## *Puhdistetun jäteveden tasausaltaan vaikutus*

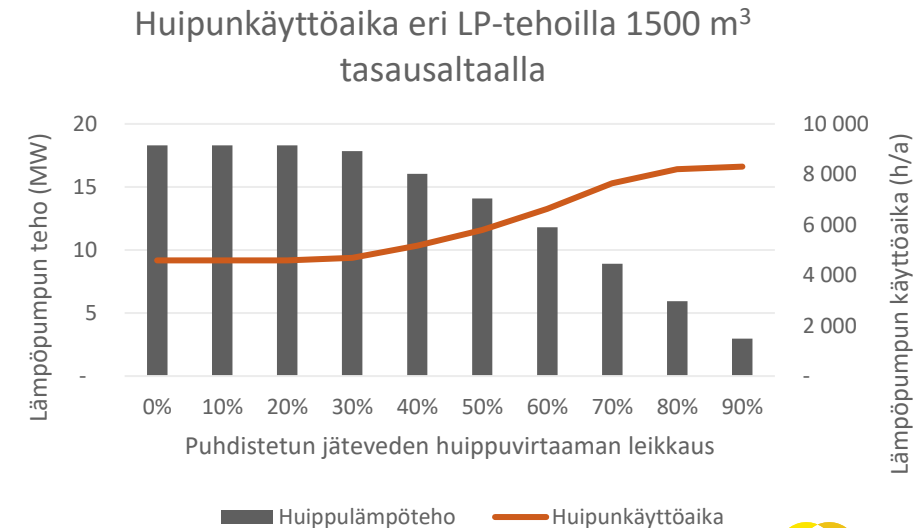
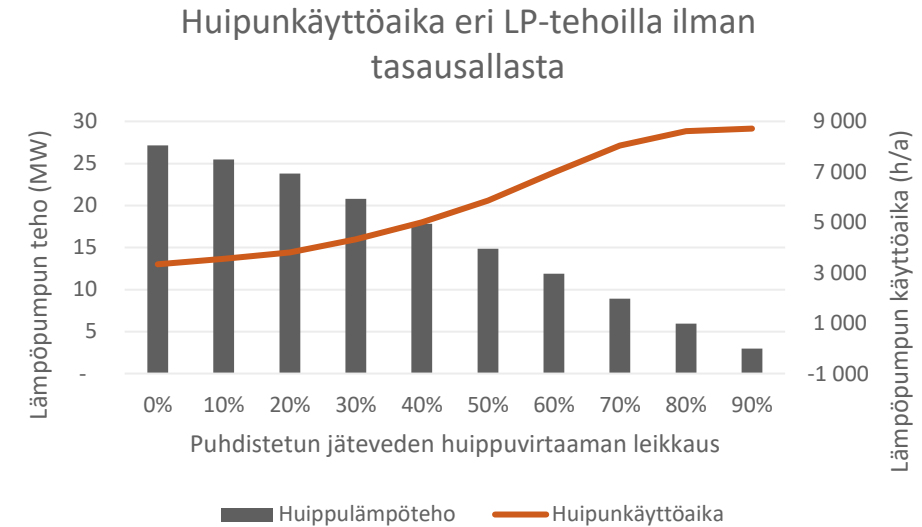
- Puhdistetun jäteveden virtaama vaihtelee vuorokauden aikana koko vuoden keskiarvostaan 49 %, joka vaikuttaa LTO-potentiaaliin. Virtausta voi tasata tasausaltaan avulla. Tämä laskee hieman korkeimpien piikkien virtausta, mutta nostaa matalampien tuntien virtausta. Tämä mahdollistaa tasaisemman lämmöntuotannon ja optimaalisemman lämpöpumppujen käytön.
- Puhdistetun jäteveden tasausaltaan lisääminen järjestelmään lisää investointia, jolla on vaikutus kannattavuuteen. Oikealla kaavioissa on kuvattuna lämpöteho ilman tasausallasta ylempänä sekä alempana on lämpöteho 1 500 m<sup>3</sup> kokoisella tasausaltaalla.



# 4. LTO-potentiaali

## Lämpöpumppujen koko

- Lämpöpumppuja ei kannata mitoittaa suurimmalle tuntikohtaiselle virtaamalle, koska silloin huipunkäyttöaika jää vähäiseksi.
- Oheisissa kuvaajissa havainnollistetaan puhdistetun jäteveden tuntikohtaisen huippuvirtaaman leikkauksen (eli lämpöpumpuille otettavan maksimivirtaaman) vaikutusta lämpöpumpuilta vaadittavaan huippulämpötehoon ja huipunkäyttöaikaan.
- 70 % huippuvirtaaman leikkauksella saadaan vielä lähes maksimihuipunkäyttöaika 8,9 MW huippulämpöteholla.
- Tasausaltaan kanssa huippuvirtaaman leikkauksen taitepiste osuu myös noin 70% kohdalle. Tässäkin tapauksessa lähes maksimihuipunkäyttöaika saavutetaan noin 8,9 MW huippulämpöteholla.
- Joensuun kaukolämpöverkon kysyntä on matalimmillaan kesällä noin 20 MW, jolloin 8,9 MW uutta lämpötuotantoa mahtuu verkkoon.

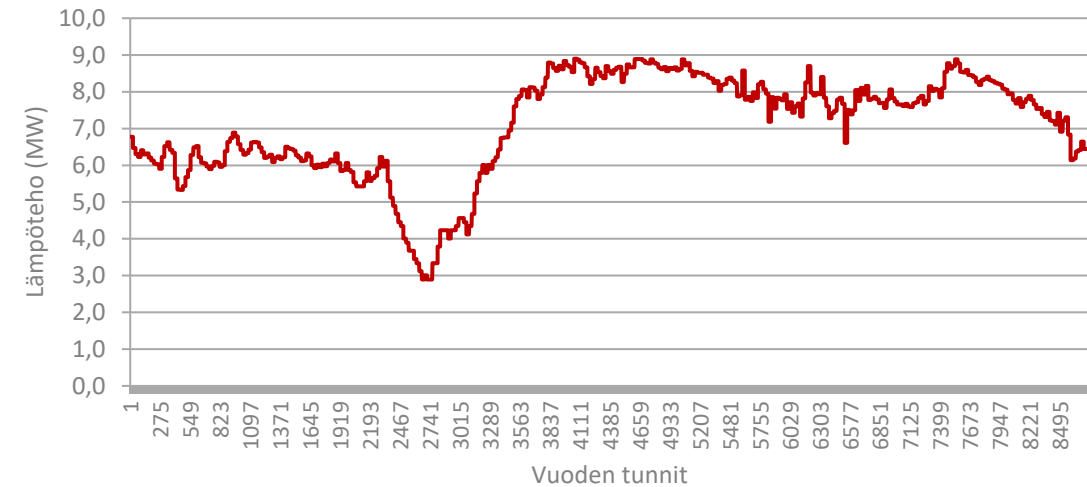


# 4. LTO-potentiaali

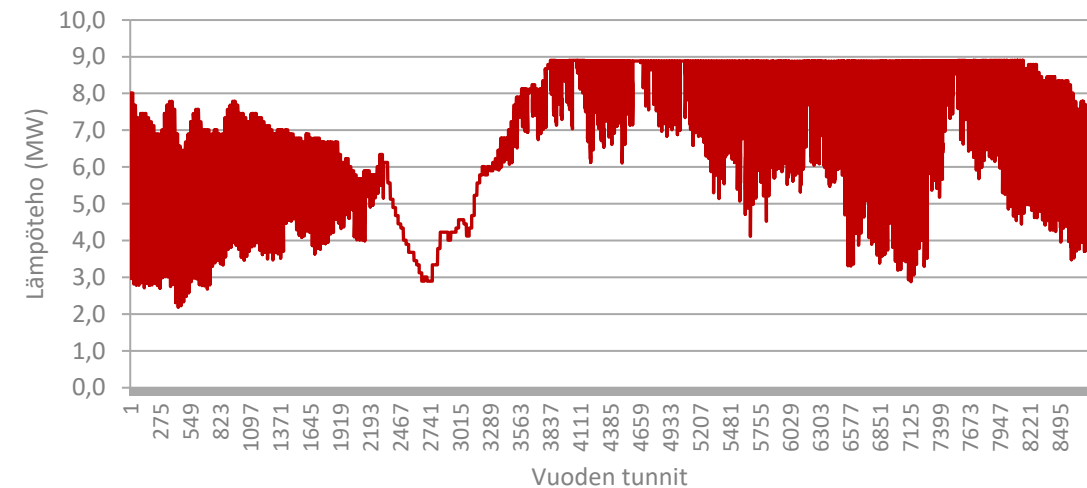
## *Puhdistetun jäteveden tasausallas*

- Puhdistetun jäteveden huippuvirtaaman leikkaus ajoittuu kesäaikaan, mikä näkyy myös lämpöpumppujen tuottamassa lämpötehossa. Puhdistetun jäteveden tasausaltaan vaikutus tasaa lämpöpumppujen käyntiä huomattavasti, mikä nähdään ylemmästä kuvaajasta. Tasausaltaan kanssa lämpöpumpuilla voidaan tuottaa **62,2 GWh/v.**
- Ilman tasausallasta lämpöpumppujen tehossa on huomattavaa vaihtelua (alempi kuvaaja), mikä ei ole suositeltavaa lämpöpumppujen ajon kannalta. Lämpöpumppujen tuottama vuosienergia on **62,2 GWh/v** ilman tasausallasta.
- Rajoittamattoman puhdistetun jäteveden virtauksen mukaan teoreettinen maksimi lämpöpumppujen tuottamalle vuosienergialle on 90,8 GWh/v.
- Esitetyt luvut tarkennettiin lämpöpumppujen budjettitarjousten perusteella.

Lämpöteho 1500 m<sup>3</sup> tasausaltaalla



Lämpöteho ilman tasausallasta



# 4. LTO-potentiaali

## *Puhdistetun jäteveden tasausallas*

- Tasausallas tasaa puhdistetun jäteveden virtausta lämpöpumpuille ja parantaa siten lämpöpumppujen toimintaa.
- Tasausallas on mitoitettu 1 500 m<sup>3</sup> kokoiseksi. Näin jäteveden virtaus saadaan riittävän tasaiseksi lämpöpumpuille. Lämpöpumpputoimittajat vahvasti suosittelivat tasausaltaan käyttöä.
- Tasausaltaan mitoitus on syytä vielä tarkistaa lämpöpumppuratkaisun toteutussuunnittelun yhteydessä.
- Tasausaltaan mitoiksi on tässä vaiheessa arvioitu 20 m x 15 m x 5 m.
- Tasausallas voidaan sijoittaa jätevedenpuhdistamolle tai lämpöpumppulaitoksen yhteyteen.
  - Kuhasalon jätevedenpuhdistamon tontilla ei tasausaltaalle ole tilaa, joten se pitää saada mahtumaan lämpöpumpun kanssa samalle tontille.
- Molemmissa tapauksissa tarvitaan putkivedot jäteveden purkuputken ja LP-laitoksen välille.

# 4. LTO-potentiaali

## Lämpöpumpun mitoitus

Tavoiteltu lämpöteho	8,9 MW	~70 % puhdistetun jätevesivirtaaman leikkauksella
Puhdistetun jäteveden tasausaltaan koko	1 500 m <sup>3</sup>	
Puhdistetun jäteveden maksimivirtaama	630 m <sup>3</sup> /h	
Höyrystimen minimilämpötila	3 °C	Pieni lämpötila mahdollistaa suuremman tehon talvella, jolloin puhdistetun jäteveden lämpötila on pieni.
Höyrystimen maksimilämpötilaero	8 °C	
Lauhduttimen minimilämpötilaero	14 °C	Toimitetun kaukolämpödatan perusteella
Lauhduttimen maksimilämpötila	90 °C	



# 5. Budjettitarjoukset ja energialaskennan päivitys



# 5. Budjettitarjoukset

## Lähetetty budjettitarjouskysely

- Budjettitarjouskysely lähetettiin seuraaville lämpöpumpputoimittajille:
  - Calefa
  - Johnson Controls
  - Nohewa
  - Oilon
- Tavoitelämpötilana pyydettiin 90 °C ja tehona 8,9 MW.
- Tarjotun lämpöpumpun tarkempia tietoja pyydettiin kolmessa toimintapisteessä, jotka on kirjattu oikealla olevaan taulukkoon.

Mitoitus-pisteet	Puhdistetun jäteveden virtaus	Puhdistetun jäteveden virtaus tasausaltaalta	Puhdistetun jäteveden lämpötila	KL-meno lämpötila	KL-paluu lämpötila
Talvi	769	548	10.6	90	41
Kevät	1484	630	7.1	81	44
Kesä	802	597	13.3	72	50

# 5. Budjettitarjoukset

## *Saadut tarjoukset*

- Kaikilta joilta pyydettiin, saatiin myös budjettitarjous.
- Poimintoja budjettitarjouksista:
  - Kevään matalampi lämpötila ja korkeampi virtaus oli kaikille haastavaa.
  - Tasaussäiliötä suositeltiin vahvasti. Investoinnit ja kannattavuuslaskelmat ovat laskettu tämä huomioiden.
- Alustavan kyselyn perusteella kaikkien kontaktoitujen toimittajien lämpöpumput kykenevät vähintään 87 °C tuottolämpötiloihin, Johnson Controls ja Oilon pääsevät pyydettyyn 90 °C tuottolämpötilaan.
- Eroja toimituksissa tulee myös kylmäaineiden, COP:ien, toimitussisältöjen ja lämpöpumppujen kokojen ja määrän suhteen.

# 5. Budjettitarjoukset

Lämpöpumpputoimittaja		Calefa	Oilon	Nohewa	Johnson Controls
<b>Lauhduttimen mitoitusarvot esimerkkipisteessä</b>					
Lämpöteho (maksimi)	kW	9 185	8 194	10 235	8 140
Lämpötilat (tulo/meno)	°C	45/87	39/90	40/87	41/90
Rakennepaineluokka	PN	16	16	-	-
<b>Höyrystimen mitoitusarvot esimerkkipisteessä</b>					
Jäähdytysteho (maksimi)	kW	5 920	6 526	-	5 940
Lämpötilat (tulo/meno)	°C	11/2	11/3	11/5	11/2,5
Rakennepaineluokka höyrystin	PN	10	10	-	-
Kylmäaine		R513a	Alavaihe R513A, Ylävaihe R1234ze	R513a, R1234ze	R717 (Ammoniakki)
Sähköteho	kW	3 690	3 691	3 709	2 340
COP (lämpö)					
Talvi		2,5	2,22	2,76	3,10
Kevät		2,8	2,26	NA	3,25
Kesä		3,0	2,54	3,2	3,48
Lämpöpumppujen kokonaismäärä		9	4	6	2
LTO-välipiiri?		Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Pituus x leveys x korkeus	m	18 x 28 x 6	5,5 x 2,1 x 2,1 5,2 x 1,9 x 2,1	24.4 x 14.2 x 3	17 x 4,3 x 4,4 (283E+273S) 7,5 x 2,1 x 3,0 (233S)
Toimitussisältö		Kokonaistoimitus	Vain lämpöpumput	Kokonaistoimitus	Vain lämpöpumput
Investointikustannus yhteensä (lämpöpumput)	1 000 €	5 500	3 363	4 780	4 700
Arvioitu toimitusaika	kk	12-14	11	8-10	-

# 5. Lämpöpumpputoimittajien budjettitarjoukset

## Calefa

- Calefalla on kokemusta vastaavanlaisista jäteveden lämmöntalteenoton järjestelmistä.
- Calefan tarjouksena on vakioitu AmbiHeat-järjestelmä, jonka arvioitu toimitusaika on 12-14 kk. Järjestelmä koostuu 9 kappaleesta Calefa Hot Level lämpöpumppuyksiköitä, joiden kylmäaineena olisi R513a.
- Lämpöpumpun tuottolämpötilassa päästään 87 °C asti, mikä suurentaa hieman priimauksen tarvetta.
- Calefa tarjoaa laitostoimituksen ilman energiakeskuksen rakennusta. Toimitus pitää sisällään järjestelmäsuunnittelut, tehdasvalmisteiset lämpöpumput, laitosputkistot, kiertovesipumput, järjestelmän toimilaitteet, lämpöpumppulaitoksen sisällä valmiit putkistoyhteet jätevesi- ja kaukolämpöpiireihin, asennukset, järjestelmäautomaation, projektin hoidon, järjestelmän käyttöönoton, käytönopastuksen sekä järjestelmän etäseurannan.
- Tarjoukseen ei sisälly sähkösyötöt, lämpöpumppulaitoksen rakennus, kaukolämpö- ja jätevesiputkien kytkentä laitoksen sisällä, jäteveden tasausallas ja pumppaus, luvitus, eikä jätevesi- ja kaukolämpöputkistot laitoksen ulkopuolella.
- Calefan tarjoama laitos vaatisi noin 18m x 28m (500 m<sup>2</sup>) tilan, joten yhdessä jäteveden tasausaltaan kanssa se mahtuisi mahtuisi EN-tontille.



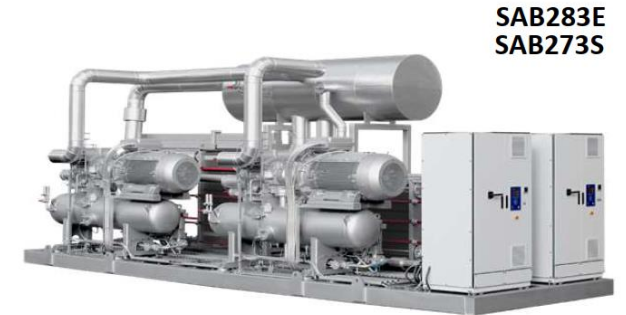
Esimerkkikuva AmbiHeat-lämpöpumppulaitoksen teknisestä toteutuksesta (Calefa)



# 5. Lämpöpumpputoimittajien budjettitarjoukset

## *Johnson Controls*

- Johnson Controlsin budjettitarjous sisälsi ainoastaan lämpöpumppuyksiköt.
- JC:n ratkaisu perustuu kahteen sarjaan kytkettyyn lämpöpumppuun.
- JC:n ratkaisu jäi hieman kaukolämmön tehotavoitteesta, sillä huipputeho rajoitettiin 8,14 MW:iin kesän mitoitusasteessa höyrystinpuolen jäätyksen ehkäisemiseksi.
- Muista valmistajista poiketen JC tarjosi kylmäaineenaan ammoniakkia käyttäviä lämpöpumppuja, joilla yleensä päästään parempaan COP:iin. JC:n COP:it olivatkin kaikissa mitoitusasteissa muita parempia.
- Ammoniakin käyttö kylmäaineena aiheuttaa tiettyjä vaatimuksia lämpöpumppulaitoksen sijoittelun suhteen, joita esitetään tarkemmin liitteessä 2.
- Talviaikaan JC:n ratkaisulla saavutetaan pyydetty 90 °C kaukolämmön menolämpötila.



# 5. Lämpöpumpputoimittajien budjettitarjoukset

## Nohewa

- Nohewalla on kokemusta monista vastaavanlaisista hankkeista.
- Nohewan ratkaisu perustuu esivalmistettuihin modulaarisiin kontteihin. Ratkaisussa tarvitaan monia lämpöpumppuyksiköitä. Lämpöpumppuja tulisi yhteensä 6 kpl 8,9 MW:n järjestelmään.
- Lämpöpumpuilla voidaan taata 87 °C tuottolämpötila, ja korkeampiin lämpötiloihin pääsemiseksi järjestelmään voidaan lisätä sähkövastukset priimausta varten.
- Toimitussisältöön kuuluisi koko lämpöpumppulaitos avaimet käteen –ratkaisuna. Toimitukseen sisältyvät laitteistot, prosessiputkisto, automaatio ja sähköistys käyttöönotettuna ja testattuna. Lisäksi toimitukseen kuuluu tuotannon optimointi- ja ylläpitojärjestelmä.
- Tarjoukseen ei sisälly sähkönsyötöt, lämpöpumppulaitoksen rakennus, kaukolämpö- ja jätevesiputkien kytkentä laitoksen sisällä, jäteveden tasausallas ja pumppaus, luvitus, rahdit ja nostot, varaosat, lämpöpumppujen tehdaskokeet, eikä jätevesi- ja kaukolämpöputkistot laitoksen ulkopuolella.
- Toimitusaika on 35-40 viikkoa tilauksesta.
- Laitoksen tilantarpeeksi Nohewa arvioi noin 24 m x 14 m (350 m<sup>2</sup>).
- Kylmäaineina R513A ja R1234ze.
- Pyydetyistä mitoituspisteistä Nohewan ratkaisussa kevään toimintapiste osoittautui hankalaksi, jolloin jäteveden paluulämpötila osui lämpöpumppujärjestelmän toiminta-alueen ulkopuolelle. Koska tarjotun järjestelmän toimintaa ei kaikissa mitoituspisteissä pystytty varmistamaan, Nohewan ratkaisu päätettiin jättää tarkemman laskennan ulkopuolelle.



# 5. Lämpöpumpputoimittajien budjettitarjoukset

## *Oilon*

- Oilonilla on kokemusta monista vastaavanlaisista projekteista.
- Lämpöpumput sijoitetaan kahteen rinnakkaiseen systeemiin, joissa molemmissa on kaksi vaihetta. Ehdotetut lämpöpumput ovat ruuvikompressorilämpöpumppuja, joissa on kaksi kompressoria per yksikkö.
- Oilon on lämpöpumpputoimittaja, jolloin tarjoussisältöön kuuluu vain lämpöpumppuyksiköt, ohjauspaneeli, sähkömittaus ja kaasuvuotoanturi, mutta ei muuta, kuten asennusta.
- Oilonin ratkaisulla saavutetaan pyydetty 90 °C kaukolämmön menolämpötila. Tulevan lämmönlähteen virtauksen olisi hyvä olla mahdollisimman tasaista, eli puhdistetun jäteveden tasausallas parantaa lämpöpumppulaitoksen toimintaa. Sen lisäksi tarvitaan välipiiri puhdistetun jäteveden ja lämpöpumpun höyrystimien välille (glykoliliuos lämmönvaihtimien yli).
- Lämpöpumput ovat vakiotuotteita, jolloin arvioitu toimitusaika on noin 45 viikkoa.
- Kylmäaineena on käytetty R513A:ta ja R1234ze:tä.



# 5. Lämmön tuotanto

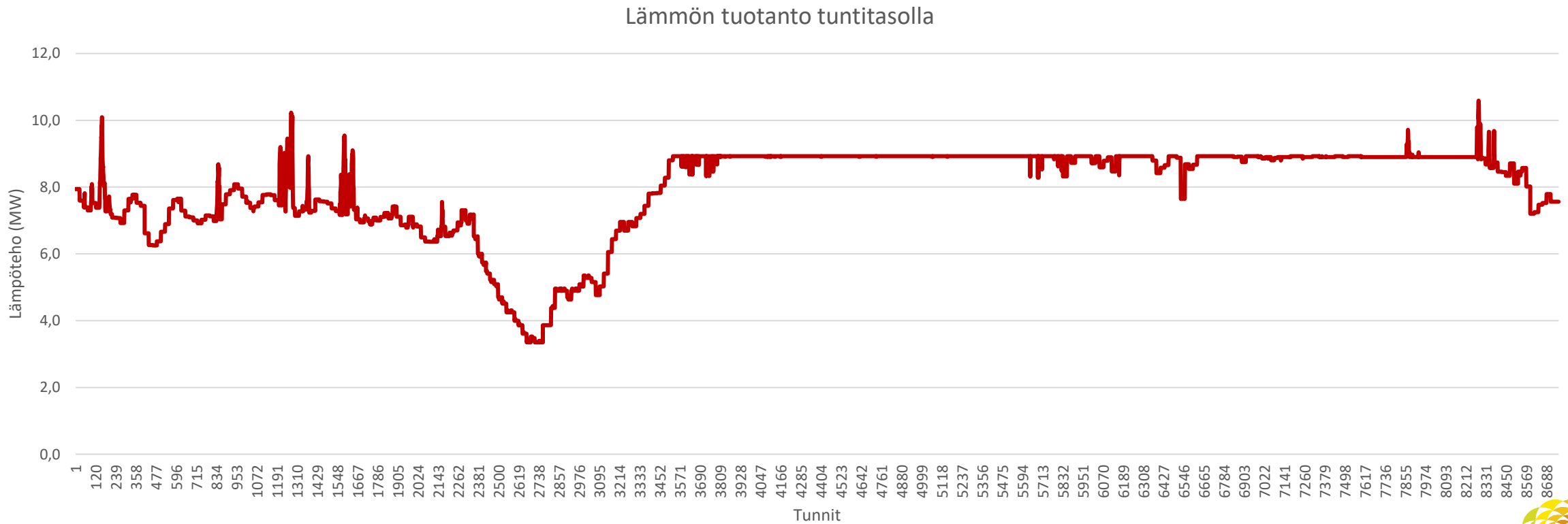
## Energialaskenta

- Oheisessa taulukossa esitetään lämpöpumppulaitoksen tuntitason tuotantolaskelmien yhteenveto.
- Lämpöpumppujen tuottama lämpö vaihtelee välillä 51,4 – 69,8 GWh/a riippuen käytetystä lämpöpumppuratkaisusta.
- Lämpöpumppuratkaisun SCOP:illa on merkittävä vaikutus lämpöpumppulaitoksen kuluttaman sähkön määrään ja siten lämpöpumppulaitoksen muuttuviin kustannuksiin. SCOP:in muutos 3,2:sta noin 2,4:ään lähes tuplaa sähkönkulutuksen.
- Energialaskennan tuloksia käytetään kannattavuus- ja päästölaskennan lähtöarvoina.

		Calefa	Johnson Controls	Oilon
Lämpöpumppukapasiteetti yhteensä (lämpö)	kW	9 185	8 140	8 924
Jäähdytysteho yhteensä (maksimi)	kW	6 065	5 375	5 893
Lämmön tuotanto, lämpöpumppu	MWh/a	56 724	51 166	69 557
Lämmön tuotanto, sähkökattila (priimaus)	MWh/a	475	218	265
Lämmön tuotanto, yhteensä	MWh/a	57 199	51 384	69 822
Huipunkäyttöaika	%	71 %	72 %	89 %
Keskimääräinen COP		2,65	3,18	2,44
Sähkön kulutus (LP + SK)	MWh/a	21 916	16 315	31 236

# 5. Lämmön tuotanto

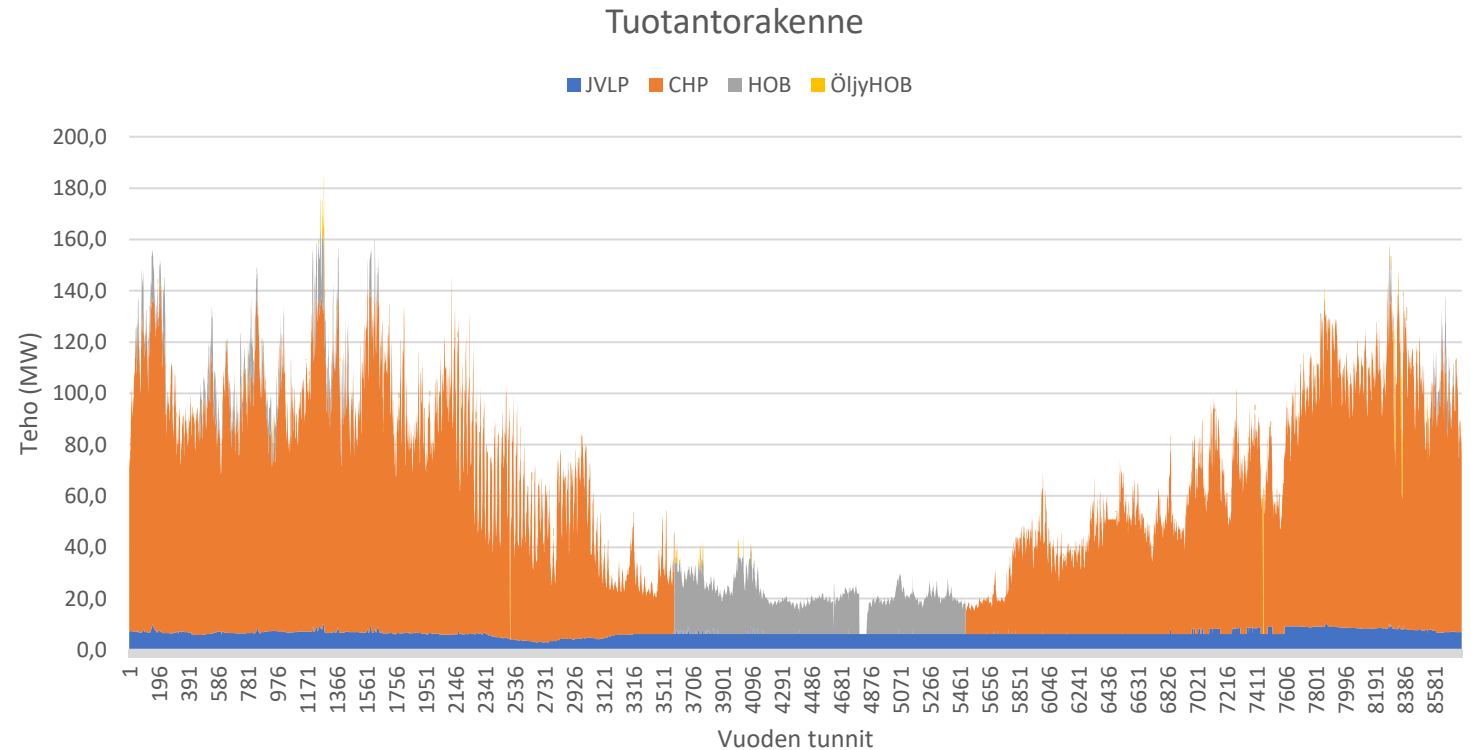
## *Lämpöpumppulaitoksen toiminta tuntitasolla*



# 5. Lämmön tuotanto

## Lämpöpumppulaitoksen osuus Joensuun kaukolämmön tuotannosta

- Jätevesilämpöpumppulaitoksen osuus Savon Voiman Joensuun kaukolämmön tuotantorakenteessa mallinnettiin tuntitasolla ja on esitettyä oheisessa kuvaajassa.
- Lämpöpumppulaitos sijoittuu tuotantorakenteen pohjakuormaksi ja korvaa siten muuta kaukolämmön tuotantoa.
- Teknisestä ratkaisusta riippuen LP-laitoksen lämmön tuotanto on luokkaa 51-70 GWh/a, mikä vastaa noin 9-12 % osuutta Joensuun kaukolämmön tuotannosta.



# 6. Jäteveden keruuputkistot ja kaukolämpöverkkoon liittyminen





# 6. Jätevesiputkistot

- Jätevesiputkistoihin sisältyy puhdistetun jäteveden tuloputki jätevedenpuhdistamolta lämpöpumppulaitokselle ja puhdistetun jäteveden paluuputkisto LP-laitokselta jätevedenpuhdistamolle, josta puhdistettu jätevesi puretaan järveen. Reittivaihtoehdot selvitettiin kohdekäynnillä.
- Putkistot on mitoitettu siten, että kevään maksimivirtaama ja minimilämpötila-ero saadaan siirrettyä jätevedenpuhdistamon purkuputkelta lämpöpumppulaitokselle ja tasausaltaaseen.
- Putkimateriaalina käytetään tavanomaista paineviemäreille tarkoitettua PE-putkea. Eristystä ei matalien lämpötilojen takia tarvita.
- Vaihtoehdossa 1 lämpöpumppulaitos on sijoitettu EN-tontille Kuhasalontien päähän. Vaihtoehdossa 2 LP-laitos on sijoitettu jätevedenpuhdistamon yhteyteen Luostarintien varteen.

Sijainti		VE 1	VE 2
Virtaus	m <sup>3</sup> /h	1 500	
Jäteveden tulolämpötila	°C	7,1	
Jäteveden paluulämpötila	°C	3,0	
Putken mitoitus	PE	500	
Putken pituus (ojametrit)	m	775	255
Hinta-arvio*	€/m	1 214	
Investointikustannusarvio	k€	941	310



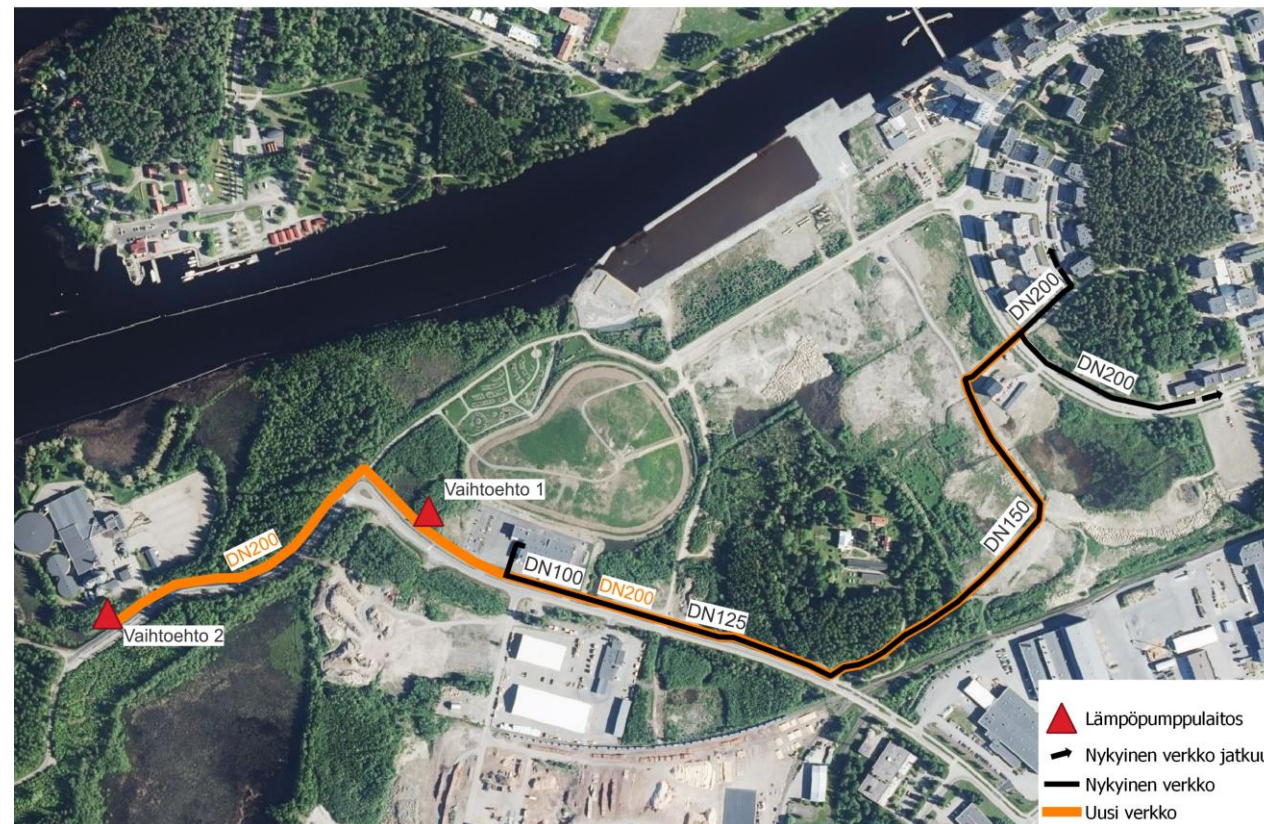
\*sis. Putkimateriaalit (meno ja paluu), asennus ja kaivuu



# 6. Liityntä KL-verkkoon

## Reitti ja kustannusarvio

- Lämpöpumppulaitoksen kaksi vaihtoehtoista sijoituspaikkaa on esitetty kuvassa punaisella kolmiolla. Kuvaan on lisäksi merkitty mustalla tärkein osuus nykyisestä alueen kaukolämpöverkosta (putkikoko mustalla). Putket jatkuvat nuolten osoittamaan suuntaan.
- Lämpöpumppujen tuottama 8,9 MW:n huippulämpöteho (90/50 °C) vaatii DN200-kokoisen putken. Mitoitus on konservatiivinen, ja varautuu alentuviin kaukolämpöverkkojen menolämpötiloihin.
- Vaihtoehtoisilta lämpöpumpun sijaintipaikoilta on piirretty alustava uusi rinnakkainen putkiveto, jolla liitytään nykyiseen DN200-kaukolämpöverkkoon (oranssi viiva ja teksti).
- Lämpöpumppulaitosten liittymä täytyy siten viedä oranssilla piirretyn putken osoittamaan kohtaan, josta nykyisessä verkossa alkaa tarpeeksi suuri putki, joka kykenee vastaanottamaan LP:n tehon.



Sijainti	Ojаметrit, m	Putkikoko	Hinta-arvio, €/m	Investointikustannusarvio, k€
VE1	1 300	DN200	654	850
VE2	1 750	DN200	654	1 144

# 6. Yhteenveto

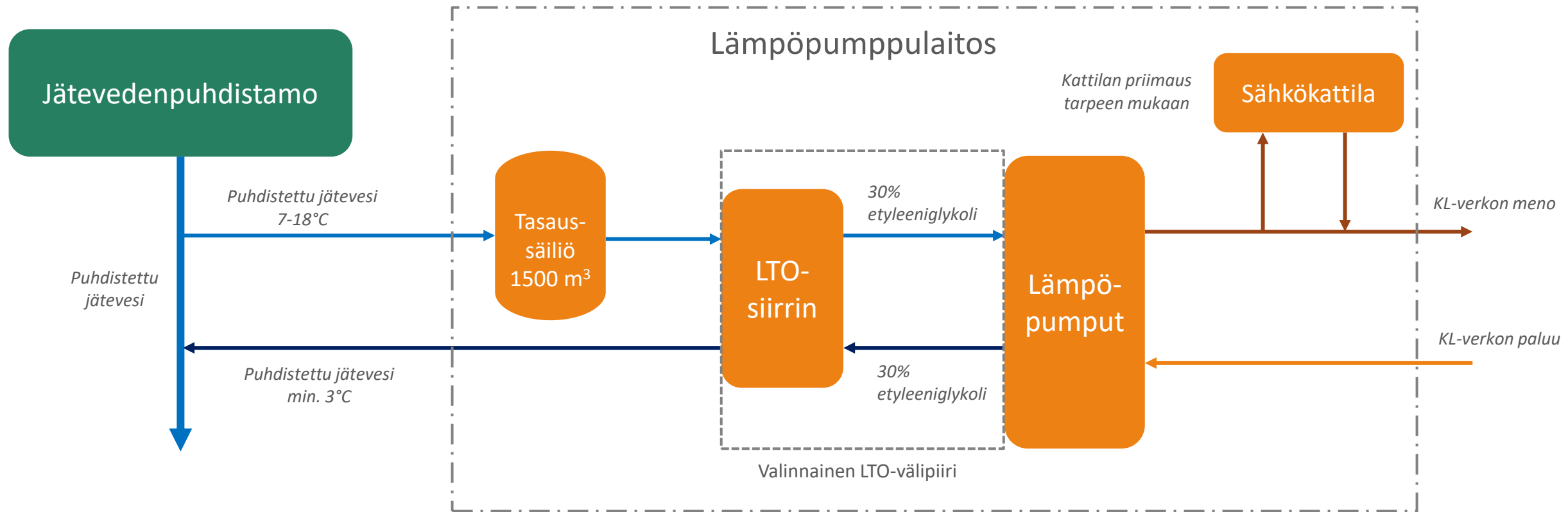
- Oikealla on esitettyä molempien lämpöpumppulaitoksen sijaintivaihtoehtojen aiheuttamat putkistokustannukset.
- Vaihtoehdossa 1 (EN-tontti Kuhasalontielle) tarvitaan hieman pidempi veto jätevesiputkistolle kuin vaihtoehdossa 2 (vapaa tila jätevedenpuhdistamon ja Luostarintien välissä).
- Investointikustannukset vaihtoehdossa 1 ovat 1,79 M€, eli 337 k€ korkeammat kuin vaihtoehdossa 2, 1,45 M€.
- Laitoksen sijoittelun helpottamiseksi suosittelemme **vaihtoehtoa 1**, sillä EN-tontilla on enemmän tilaa ja vaihtoehdon 2 tontti on kosteikkoa, jossa perustamisolosuhteet ovat hankalammat.

	VE1 Kuhasalontien EN-tontti	VE2 Jätevedenpuhdistamon yhteydessä
Jätevesiputkisto	775 m / 941 k€	255 m / 310 k€
Kaukolämpöverkon liityntä	1 300 m / 850 k€	1 750 m / 1 144 k€
<b>Yhteensä</b>	<b>1 796 m / 1 791 k€</b>	<b>2 005 m / 1 454 k€</b>

# 7. Periaatekaavio ja tilantarvepiirustus



# 7. Lämmöntalteenoton periaatekaavio

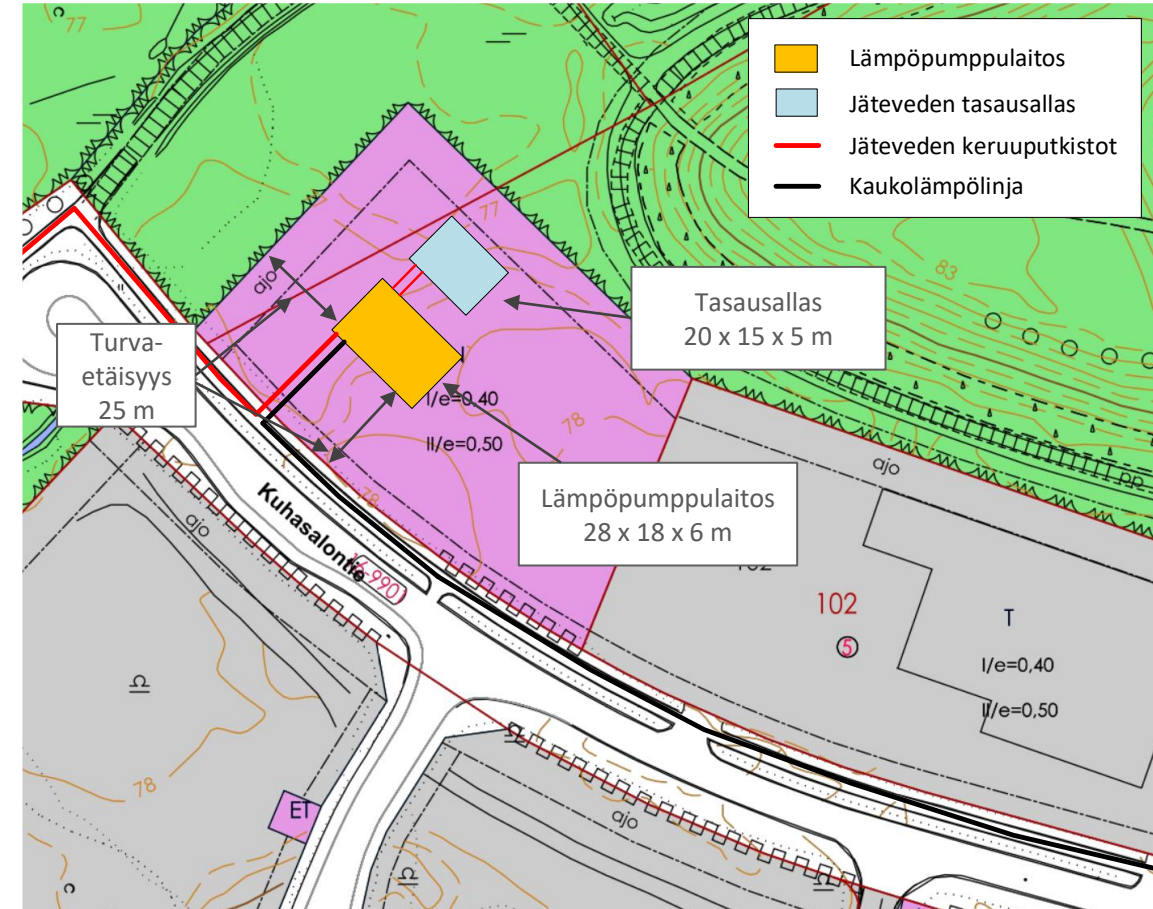




# 7. Tilantarve

## Tila ja sijoittelu

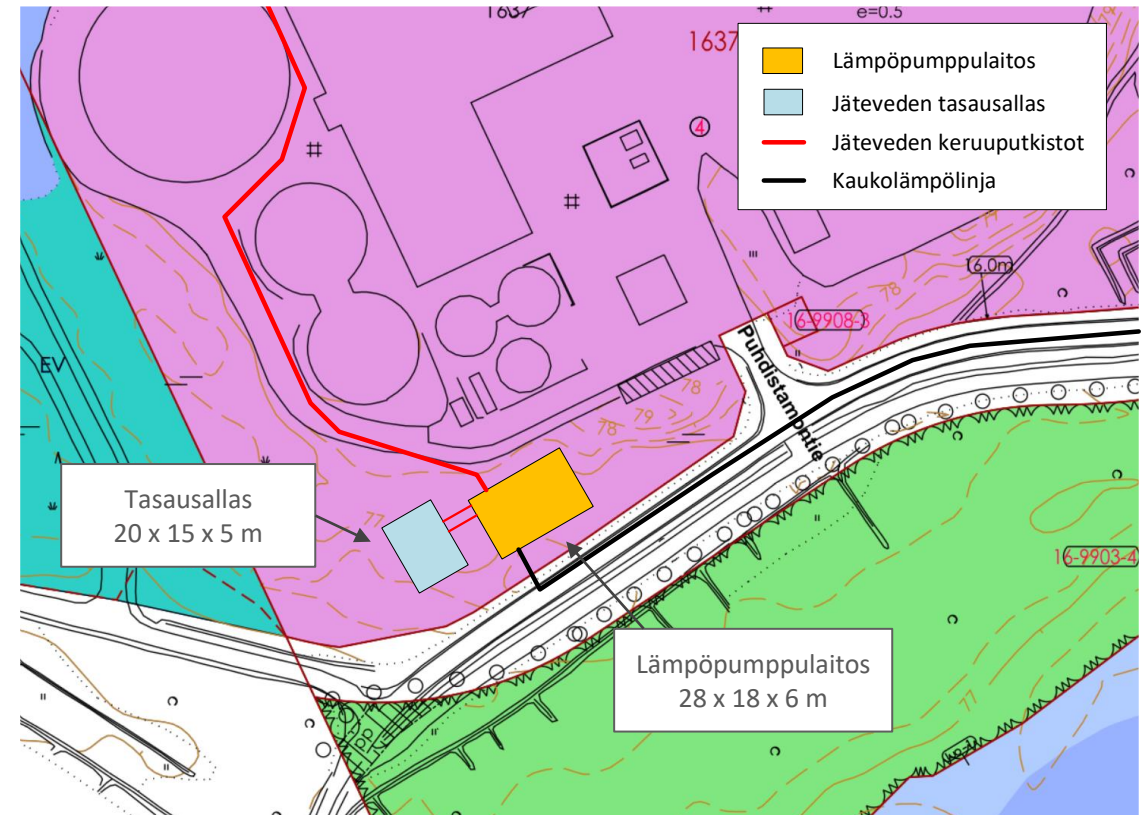
- Viereinen kuva esittää mahdollisen sijoittelun lämpöpumppulaitokselle ja puhdistetun jäteveden tasausalalle Kuhasalontien EN-tontilla.
- Lämpöpumppulaitoksen ja tasausaltaan mitoissa on varauduttu budjettitarjousten perusteella suurimpaan vaadittuun tilantarpeeseen.
- Tontilla on reilusti tilaa lämpöpumppulaitokselle ja tasausalalle.
- Lämpöpumppulaitoksen sijoittelussa on myös otettu huomioon ammoniakkilämpöpumpun vaatima turvaetäisyys 25 m tontin rajasta. Ammoniakkilämpöpumppujen vaatimat turvaetäisyydet on esitetty liitteessä 2.



# 7. Tilantarve

## Tila ja sijoittelu

- Viereinen kuva esittää mahdollisen sijoittelun lämpöpumppulaitokselle ja puhdistetun jäteveden tasausalalle jätevedenpuhdistamon tontin laidassa.
- Lämpöpumppulaitoksen ja tasausaltaan mitoissa on varauduttu budjettitarjousten perusteella suurimpaan vaadittuun tilantarpeeseen.
- Lämpöpumppulaitos ja tasausallas saadaan mahtumaan myös tähän sijoituspaikkaan, joskin tontti on haastavampi pohjaolosuhteidensa kannalta.
- Tässä sijoitusvaihtoehdossa ammoniakkilämpöpumppulaitoksen vaatimat turvaetäisyydet eivät täyty, joten ammoniakkilämpöpumpun sijoittaminen ei ole mahdollista.



# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>- päästölaskelmat



# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## *Periaate*

- Tarkasteltujen vaihtoehtojen lämmön tuotanto ja korvattava vaihtoehtoinen lämmön tuotanto mallinnettiin tuntiperusteisesti Excel-pohjaisella laskentamallilla.
- Laskennassa oletettiin, että lämpöpumppulaitos käy vuoden ympäri maksimoiden huipunkäyttöajan ja jäteveden lämmön talteenoton kokonaismäärän.
- Tarkasteluun valittiin lämpöpumpuille 86-90 °C tuottolämpötila. KL-verkon menolämpötilan jäähtymää sallittiin 10 °C verran.
- Kaukolämmön menolämpötilan ylläpitämiseksi vaadittu priimaus laskettiin sähkökattilalla.
- Laskelmat tehtiin 25 vuoden tarkasteluajalle ja laskentakorkona käytettiin 8 %.
- Laskenta-aika alkaa vuodesta 2024, laskenta-ajan alkuun on oletettu 2 vuoden rakentamisaika. LP-laitoksen operointi alkaa 2026.



# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## Investoinnit

Tarkasteluvaihtoehto		Calefa	Johnson Controls	Oilon
Lämpöpumppujärjestelmä	k€	5 500	4 700	3 363
Jätevesipiiri	k€	*	210	210
LTO-välipiiri	k€	*	-	-
Lämmityspiiri (kahdennettu kiertovesipumppu)	k€	*	-	-
Putkistot (eristys kuuluu)	k€	*	394	553
Lämpöpumppulaitoksen prosessiautomaatio	k€	*	216	324
Sähköistys	k€	*	399	399
Projektinhoito ja asennusvalvonta	k€	*	**	**
Kuljetukset ja nostotyöt kohteessa	k€	*	*	*
Sähkönsyötöt sähkökeskukselle ja lämpöpumppujen taajuusmuuttajille	k€	155	155	155
Sähkökattila	k€	132	113	113
Sähköliittymä	k€	184	145	187
Lämpöpumppulaitoksen rakentaminen	k€	1 000	1 000	1 000
KL-putkien kytkentä laitoksen sisällä	k€	80	80	80
KL-pumput	k€	140	140	140
Kaukolämpöverkkoinvestointi	k€	850	850	850
Jätevesiputkien kytkentä laitoksen sisällä + puhdistamolta energiakeskukselle	k€	941	941	941
Puhdistetun jäteveden tasausallas	k€	577	577	577
Jäteveden pumppaus tasausaltaaseen	k€	280	280	280
Luvitus	k€	104	104	104
Suunnittelu, projektointi ja valvonta	k€	444	1 030	927
Hankevaraus (20%)	k€	2 077	2 061	2 040
<b>Yhteensä</b>	<b>k€</b>	<b>12 465</b>	<b>12 363</b>	<b>12 243</b>

\*Sisältyy kokonaistoimitukseen

\*\*Sisältyy koko projektin suunnitteluun, projektointiin ja valvontaan

# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## *Kustannukset ja säästöt kaukolämmön tuotantoon nähden*

- Oikealla olevassa taulukossa on esitetty jäteveden lämmöntalteenoton kustannukset ja kaukolämmön tuotannossa saavutettavat säästöt.
- Käytetyt oletukset on esitetty liitteessä 1.
- Kaikkien tarkasteltujen ratkaisuvaihtoehtojen investointikustannukset ovat samaa luokkaa.
- Erot vaihtoehtojen välille syntyvät lämpöpumppujen suoritusarvoista, jotka vaikuttavat muuttuviin käyttökustannuksiin sähkön hankinnan kustannusten kautta.
- Vaihtoehtoista käyttökustannuksiltaan edullisin on Johnson Controlsin ammoniakkilämpöpumppuhin perustuva ratkaisu, jolla saavutetaan paras SCOP vertailluista ratkaisuista.
- Myös Calefan ratkaisu on käyttökustannuksiltaan edullinen hyvän SCOP:insa ansiosta.

		Calefa	Johnson Controls	Oilon
Investoinnit	k€	12 465	12 363	12 243
Sähkökustannukset	k€/a	1 546	1 180	2 246
Huollot	k€/a	57	57	56
Kompressorien uusinnat (vuonna 2042)	k€	1 039	1 410	1 009
Säästöt kaukolämmön tuotannosta	k€/a	2 575	2 363	3 027

# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## Ratkaisujen kannattavuus

- Oikealla olevassa taulukossa on esitetty eri vertailuvaihtoehtojen kannattavuuden tunnuslukuja.
- Kannattavuuslaskennassa on vertailtu lämpöpumppulaitoksen elinkaaren aikaisia kustannuksia vastaavan energiamäärän kaukolämmön tuotantokustannuksiin.
- Ratkaisuvaihtoehdoista kannattavimmaksi muodostuu Johnson Controlsin ammoniakkilämpöpumppuihin perustuva ratkaisu. Tämän ratkaisun muuttuvat käyttökustannukset ovat alimmat vertailuista vaihtoehdoista ja siten myös säästöt kaukolämmön tuotannosta muodostuvat suurimmiksi.
- Myös Calefan ratkaisu osoittautuu kannattavaksi, vaikka käyttökustannukset ovatkin hieman suuremmat.
- Oilonin ratkaisun kannattavuus kärsii huonosta SCOP-arvosta, jonka takia käyttökustannukset jäävät vertailun suurimmiksi, ja siten säästöt kaukolämmön tuotannosta jäävät pienimmiksi. Käytetyllä oletuksilla Oilonin ratkaisu ei ole kannatta.

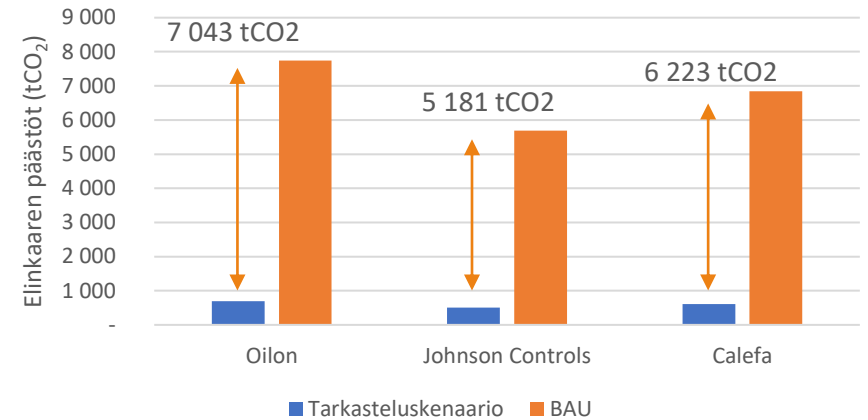
		Calefa	Johnson Controls	Oilon
NPV (25 a, 8 %)	k€	569	2 376	-2 031
IRR (25 a)	%	8,6 %	10,5 %	5,7 %
Suora takaisinmaksuaika	a	12,0	10,5	15,0
Diskontattu takaisinmaksuaika (8 %)	a	23,0	17,0	N/A
LCOE (25 a, 8 %)	€/MWh	49,5	50,9	55,4
LCOE, investoinnit		18,3	21,8	15,9
LCOE, kiinteät kustannukset	€/MWh	3,1	3,8	3,4
LCOE, muuttuvat kustannukset		28,2	25,3	36,2

# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

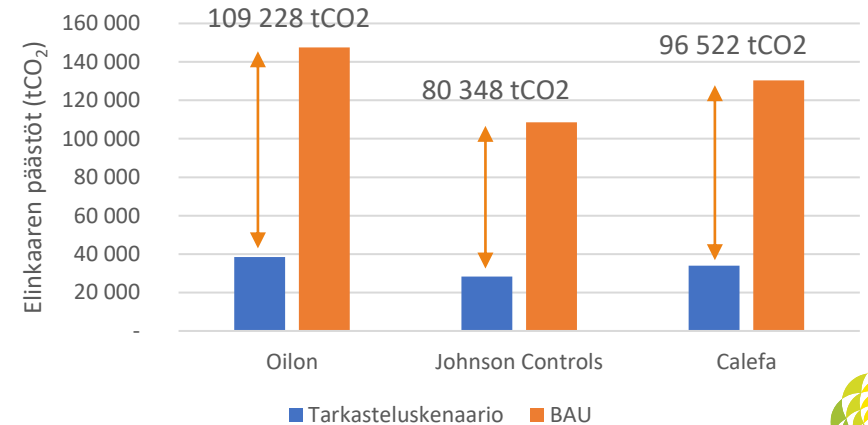
## Päästölaskelmat

- Tarkasteluvaihtoehtojen käytönaikaiset päästöt ja päästövähennykset vastaavan kaukolämmön tuotannon päästöihin verrattuna laskettiin sekä Savon Voiman tavoitteisiin perustuvilla päästökertoimilla, että YM/SYKE kansallisilla sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien skenaarioilla.
- Savon Voiman omat sähkön ja kaukolämmön päästökertoimet ovat huomattavasti matalampia kuin kansalliset keskiarvot YM/SYKE skenaarioissa.
- Päästökertoimien suhteen on huomioitava, että YM/SYKE skenaariossa huomioidaan energiantuotannon koko elinkaari, joten se ei ole täysin vertailukelpoinen Savon Voiman omien päästökertoimien kanssa.
- Savon Voiman ennusteessa sekä sähkön että kaukolämmön päästökertoimet saavuttavat nollatason hyvin pian lämpöpumppulaitoksen tultua käyttöön, joten sen takia päästömäärät jäävät pieniksi Savon Voiman kertoimia käytettäessä.
- YM/SYKE skenaariossa päästökertoimet pysyvät korkeammalla tasolla koko laskenta-ajan, joten siksi myös päästömäärät ovat suurempia.
- Käytetyt päästökertoimet on esitetty liitteessä 1.
- Tarkasteluvaihtoehtojen välillä ei esiinny suuria eroja. JC:n ratkaisun pienemmät päästömäärät johtuvat hieman pienemmästä tuotetun energian määrästä.
- Päästövähennykset laskenta-ajalta (25 v) ovat välillä 5,2-7,0 ktCO<sub>2</sub> Savon Voiman päästöskenaariolla ja välillä 80,4-109,3 ktCO<sub>2</sub> YM/SYKE skenaariolla.

Elinkaaren päästöt, Savon Voima (25 a)



Elinkaaren päästöt, YM/SYKE (25 a)



# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## Herkkyystarkastelut

- Kannattavuuslaskennan tuloksille (IRR) tehtiin herkkyystarkastelu, jossa otettiin huomioon seuraavat skenaariot:
  - Energian hintamuutosten skenaariot:
    - Skenaario 1: sähkön ja kaukolämmön eskalaatiot 2%/v
    - Skenaario 2: sähkön eskalaatio 3,5%/v, kaukolämmön tuotantokustannuksen eskalaatio 5,5%/v
  - +/- 30% muutos investointikustannuksissa
- Jyrkemmän energian hintamuutoksen skenaariolla on positiivinen vaikutus hankkeen kannattavuuteen kautta linjan, sillä kaukolämmön tuotantokustannuksen kasvaessa sähkön kustannuksia nopeammin, kasvaa myös säästöjen määrä.
- Investointikustannusten muutosskenaarioista nähdään, että investointien kasvaessa 30 % ei mikään vaihtoehdoista ole enää kannattava 8% laskentakorolla. Investointien laskiessa kaikkien ratkaisuvaihtoehtojen kannattavuudet paranevat kautta linjan.

Energian hintamuutokset	Skenaario 1 (perustapaus)	Skenaario 2
Calefa	8,6 %	15,7 %
Johnson Controls	10,5 %	17,0 %
Oilon	5,7 %	14,5 %

Investointikustannusten muutos	Investoinnit -30 %	Perustapaus	Investoinnit +30 %
Calefa	13,6 %	8,6 %	5,6 %
Johnson Controls	16,2 %	10,5 %	7,2 %
Oilon	9,8 %	5,7 %	3,1 %

# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## Herkkyystarkastelut

- Lisäksi laskettiin herkkyystarkastelu tilanteesta, jossa Kuhasalon jätevedenpuhdistamon nykyinen LP-laitos poistuu ja koko puhdistetun jäteveden virtaama on uuden lämpöpumppulaitoksen käytettävissä. Tarkastelu tehtiin Johnson Controlsin tarjoamalle ratkaisulle.
- Nykyisen lämpöpumppulaitoksen käyttämä osuus puhdistetun jäteveden virtauksesta on sen verran pieni, että koko puhdistetun jäteveden virtaaman käytön mahdollistama lisäys lämmön tuotantoon on pieni osuus koko tuotantopotentialista.
- Käytännössä tällä ei ole vaikutusta hankkeen kannattavuuteen tai takaisinmaksu-aikaan, mutta päästövähennys suurenee hieman. Tämän pohjalta suosittelemme mitoittamaan uuden lämpöpumppulaitoksen koko puhdistetun jäteveden virtaamalle ja poistamaan nykyisen lämpöpumpun käytöstä, mikäli uusi lämpöpumppulaitos päätetään toteuttaa.

	Perustapaus	Koko jäteveden virtaama käytössä
Tuotettu lämpö	51 384 MWh/a	52 687 MWh/a (+1 303 MWh/a)
Sähkön kustannus	1 180 k€/a	1 204 k€/a (+ 24 k€/a)
Säästöt kaukolämmön tuotannosta	2 363 k€/a	2 404 k€/a (+ 41 k€/a)
IRR	10,5 %	10,7 %
Suora takaisinmaksuaika	10,5 a	10,5 a
Elinkaaren päästövähennys, Savon Voima (25 a)	5 181 ktCO <sub>2</sub>	5 312 ktCO <sub>2</sub> (+131 ktCO <sub>2</sub> )
Elinkaaren päästövähennys, YM/SYKE (25 a)	80 348 ktCO <sub>2</sub>	82 394 ktCO <sub>2</sub> (+2 046 ktCO <sub>2</sub> )

# 8. Kannattavuus- ja CO<sub>2</sub>-päästölaskelmat

## Yhteenveto

- Ehdotetuilla ratkaisuilla saadaan tuotettua **lämpöä puhdistetun jäteveden hukkalämmöstä välillä 51-70 GWh/a.**
- Mallinnuksen perusteella **jäteveden lämmön talteenotto lämpöpumppulaitoksella vaikuttaa kannattavalta.** Paras tarkasteltu ratkaisu ylittää perustapauksessa **jopa 10,5 % tuottoon.** Sähkön hinta on nykyään korkeammalla tasolla, minkä takia **kannattaa priorisoida hyvää hyötysuhdetta ennemmin kuin matalaa investointikustannusta.**
- Lämpöpumppuratkaisulla ja varsinkin sen **hyötysuhteella on merkittävä vaikutus investoinnin kannattavuuteen.** Heikoimman hyötysuhteen omaavassa ratkaisussa investoinnin tuotto jää noin 5,7 % tasolle.
- Lisäksi investoinnin **kannattavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti myös lämpöpumppulaitoksen korvaaman kaukolämmön tuotannon tuotantokustannus.** Polttoainekustannusten kasvaessa paranee lämpöpumppulaitoksen kannattavuus edelleen.
- **Investointikustannukset vaikuttavat myös lämpöpumppulaitoksen kannattavuuteen.** Mikäli investointikustannukset kasvaisivat 30 % arvioidusta tasosta, parhaan tarkastellun ratkaisun tuotto putoaisi alle 8 %:in tavoitetuoton noin 7 %:iin.
- Saavutettavat päästövähennykset riippuvat laskentatavasta.
  - Mikäli käytetään Savon Voiman hiilineutraaliustiekartan mukaisia päästökertoimia sähkölle ja kaukolämmölle, ovat **elinkaaren (25 v) aikaiset päästövähennykset 5,1-7,0 ktCO<sub>2</sub>.** Päästövähennykset kaukolämmön päästöihin nähden jäävät pieniksi, sillä Savon Voiman kaukolämmön tuotannon on suunniteltu olevan hiilineutraalia vuonna 2027 ja sähkön vuonna 2030.
  - Kansallisilla YM/SYKE päästökertoimilla laskiessa päästövähennykset ovat suuremmat 80-109 ktCO<sub>2</sub>. Mutta näissä päästöjen taso on korkeampi koko laskenta-ajan.

# 9. Operointi- ja liiketoimintamallit





# 9. Energiahankkeen pääosapuolet

## Joensuun Vesi

Vastaa  
jätevedenpuhdistamon  
toiminnasta

Ei intressiä  
lämpöpumppulaitoksen  
omistukseen ja operointiin

## Savon Voima

Tuottaa ja myy  
kaukolämpöä Joensuun  
alueella

Potentiaalisin investoija ja  
operoija  
lämpöpumppulaitokselle

## Energiapalvelun- tuottajat

Erillinen palveluntoimittaja  
voi toimia myös  
päävastuullisena  
energiaoperaattorina

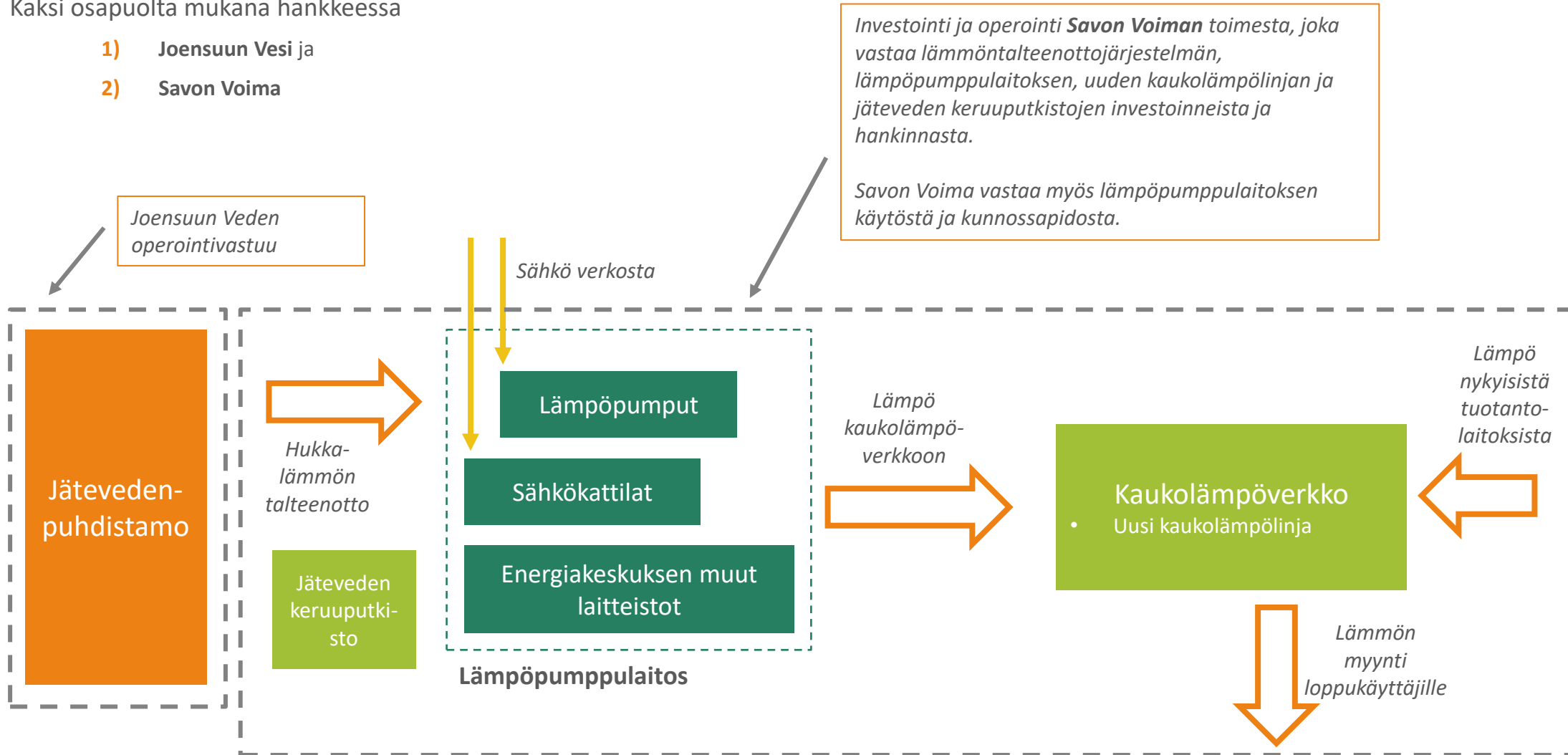
# 9. Energiajärjestelmän toteutusvaihtoehdot

Energiajärjestelmän toteuttaja	Intressit liiketoimintaan	Kyvykkyys ja osaaminen liiketoimintaan	Vaikutus hankkeen kokonaistaloudellisuuteen
Savon Voima	Kyseessä oleva hanke on ydinliiketoimintaa. Intresseissä on halu laajentaa uusiin energiaratkaisuihin, sillä haluavat edistää kaukolämmön hiilineutraaliutta, sekä turvata ja laajentaa liiketoimintaa. Paikallisella energiayhtiöllä on etulyöntiasema verrattuna kilpaileviin yhtiöihin.	Hanke on ydinliiketoimintaa, joten kyvykkyys ja osaaminen hankkeen edistämiseksi jaa liiketoiminnan pyörittämiseen löytyvät omasta takaa.	Tuottovaatimus riippuu osakkaista ja rahoittajista, mutta todennäköisesti tuottovaatimus ei ole ainoa tavoite, vaan hiilineutraalius ja kaukolämmön kilpailukyvyyn varmistaminen painavat päätöksenteossa.
Ulkopuolinen energiapalveluntuottaja	Hanke on ydinliiketoimintaa. Intresseissä on todennäköisesti liiketoiminnan laajentaminen uusille markkina-alueille.	Hanke on ydinliiketoimintaa, joten kyvykkyys ja osaaminen hankkeen edistämiseksi jaa liiketoiminnan pyörittämiseen löytyvät omasta takaa.	Ulkopuolinen energiapalveluntuottaja haluaa liiketoiminnalleen tuottoa. Tyypillinen oman pääoman tuottovaatimus perinteisessä liiketoiminnassa on luokkaa 8-15%. 10 vuoden suora takaisinmaksuaika on jo hyvä. Tämä tarkoittaa, että kaukolämpöverkkoon myytävän lämmön hinnassa huomioidaan tuottovaatimus.
Joensuun Vesi	Joensuun Vedellä ei todennäköisesti ole intressiä toimia lämpöpumppuhankkeen investoijana tai operaattorina.	Ei omaa kyvykkyyttä, osaaminen tulee kilpailuttaa ja hankkia palveluna. Riskinä on, että kyvykkyys ei riitä arvioimaan sopivia urakoitsijoita ja tarvittavia palveluntoimittajia, jolloin kokonaisuus voi jäädä rikkonaiseksi.	Mikäli Joensuun Vesi toimisi hankkeen investoijana, tuottovaatimus riippuisi osakkaista ja rahoittajista, mutta todennäköisesti tuottovaatimus ei olisi ainoa tavoite, vaan hiilineutraalius ja innovatiivisuus painavat päätöksenteossa.

# 9. Operointi- ja liiketoimintamallit – vaihtoehto 1

Kaksi osapuolta mukana hankkeessa

- 1) Joensuun Vesi ja
- 2) Savon Voima



*Investointi ja operointi Savon Voiman toimesta, joka vastaa lämmöntalteenottojärjestelmän, lämpöpumppulaitoksen, uuden kaukolämpölinjan ja jäteveden keruuputkistojen investoinneista ja hankinnasta.*

*Savon Voima vastaa myös lämpöpumppulaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta.*

# 9. Operointi- ja liiketoimintamallit – vaihtoehto 2

Kolme osapuolta mukana hankkeessa

- 1) Joensuun Vesi,
- 2) Energiaoperaattori ja
- 3) Savon Voima

Investointi ja operointi **Energiaoperaattorin** toimesta, joka vastaa lämmöntalteenottojärjestelmän, lämpöpumppulaitoksen, uuden kaukolämpölinjan ja jäteveden keruuputkistojen investoinneista, hankinnasta, käytöstä ja kunnossapidosta.

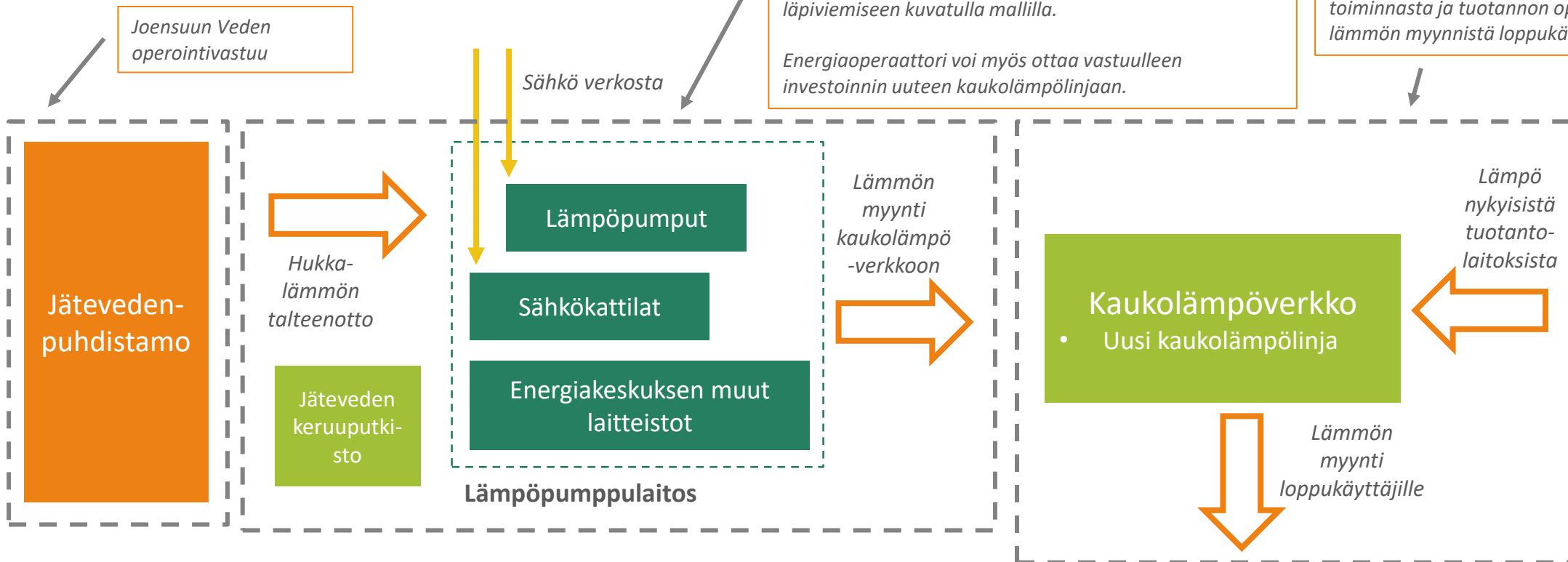
Markkinoita löytyy useampiakin kotimaisia energiaoperaattoreita, joilla on kyvykyys hankkeen läpiviemiseen kuvatulla mallilla.

Energiaoperaattori voi myös ottaa vastuulleen investoinnin uuteen kaukolämpölinjaan.

**Savon Voima** investoi uuden kaukolämpölinjan lämpöpumppulaitokselle.

Savon Voima ostaa lämpöpumppulaitoksella tuotettua lämpöä energiaoperaattorilta sovitulla hinnalla.

Savon Voima vastaa kaukolämpöverkon toiminnasta ja tuotannon optimoinnista sekä lämmön myynnistä loppukäyttäjille.

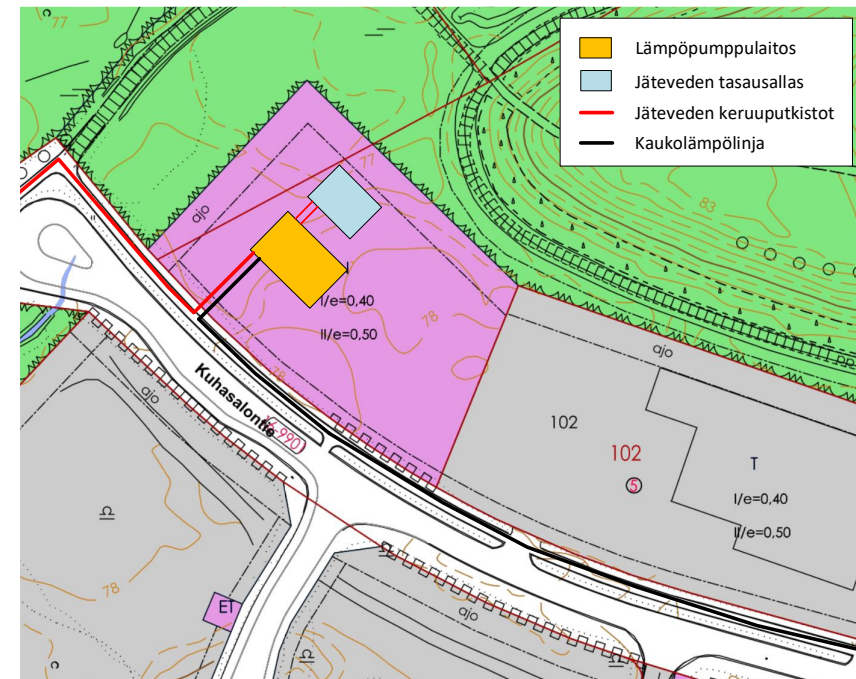
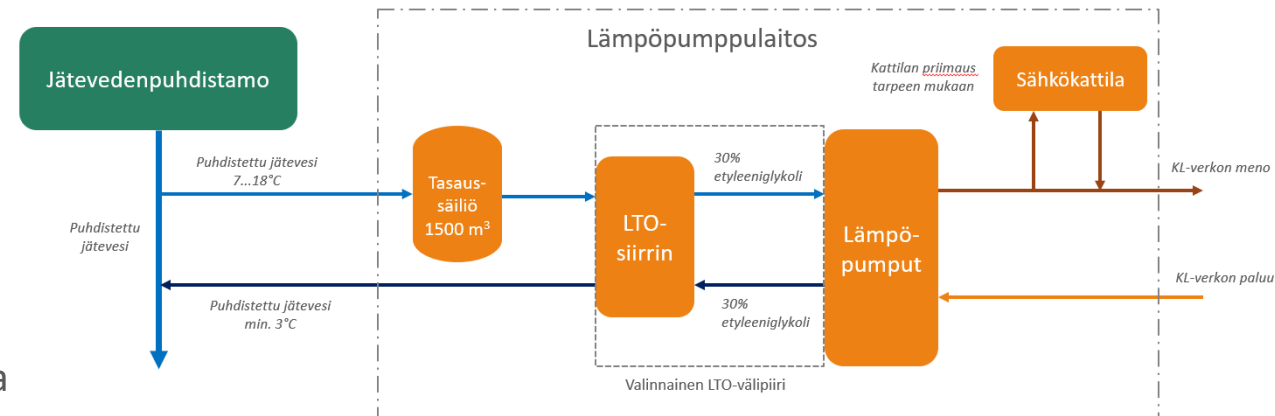


# 10. Suositukset jatkosuunnitteluun



# 10. Suositus jatkosuunnitteluun valittavasta LTO-konseptista

- Suositukset:
  - Mikäli jätevesilämpöpumppu toteutetaan, kannattaa nykyisestä jätevedenpuhdistamon lämpöpumpusta luopua ja mitoittaa uusi laitos koko puhdistetun jäteveden virtaamalle.
  - Lämpöpumpun mitoitus teho on esiselvityksen pohjalta 8,9 MW, joskin valittava lämpöpumppuratkaisu vaikuttaa lopulliseen tuottotehoon.
  - Lämpöpumpuille tulevan puhdistetun jätevesivirtauksen tasoittamiseksi tarvitaan tasaussäiliö.
  - Pyritään valitsemaan mahdollisimman hyvän hyötysuhteen omaavat lämpöpumput – tässä selvityksessä ammoniakkilämpöpumpuilla päästiin parhaaseen lopputulokseen. Sähkön hinta on nykyään korkeammalla tasolla, minkä takia kannattaa priorisoida hyvää hyötysuhdetta enemmän kuin matalaa investointikustannusta.
  - LP-laitoksen sijoittaminen Kuhasalontien EN-tontille, jossa on riittävästi tilaa ammoniakkilämpöpumpun vaatimille turvaetäisyyksille.



# 10. Jatkoselvitystarpeet

- Puhdistetun jäteveden suodatusratkaisujen tarkempi selvittäminen – nykyisen jätevedenpuhdistamon lämpöpumpun siirtimillä on ollut likaantumisongelmaa.
- Puhdistetun jäteveden tasausaltaan toiminta kannattaa vielä simuloida ja mitoitus tarkentaa suunnitteluvaiheessa.
- Lämpöpumpun tuottolämpötilan ja priimauksen optimointi hyötysuhteen maksimoimiseksi.
- Ammoniakkilämpöpumpun kylmäaineen määrä kannattaa rajata 1 500 kg:aan, jolloin voidaan noudattaa alempia 25 m turvaetäisyyksiä.
- Sopimusneuvottelut Joensuun Veden ja jätevesilämpöpumppulaitoksen toteuttajan kanssa, sekä mahdollinen puhdistetun jäteveden sisältävästä energiasta sovittava hinta.
- EN-tontin hyödyntämisestä jatkokeskustelut Joensuun kaupungin maankäytön kanssa.

# 10. Jatkotoimenpiteet hankkeen edistämiseksi



**Markkinavuoropuhelu**, valitaan potentiaalisimmat energiaoperaattoriehdokkaat jatkoneuvotteluihin.

**Energiahankkeen kehitysvaihe**, luodaan markkinavuoropuhelun oppien perusteella tarkemmat vaatimukset ja mahdollisesti eri laajuusvaihtoehtoja energiajärjestelmäkokonaisuudelle sekä operaattorin rooleille ja vastuille.

**Jatkoneuvottelut**, iteratiivinen neuvotteluvaihe ja hankkeen kehitys yhdessä energiaoperaattoriehdokkaiden kanssa. Mahdollisuus karsia energiaoperaattoriehdokkaita. Lopputuloksena syntyy pohja sopimukselle energiakumppanuudesta.

**Hankemallin valinta**, lyödään hankemalli lukkoon hankkeen kehitysvaiheen ja jatkoneuvottelujen pohjalta.

**Kilpailutus**, mikäli kilpailutus tarvitaan, luodaan tarkempi kilpailutusmateriaali (kriteeristö ja pisteytys jne.).

**Esisopimus**, esisopimusneuvottelut ja esisopimuksen laadinta valitun energiaoperaattorin kanssa.

**Toteutussopimus**

➤ **Energiahankkeen suunnittelu ja toteutus**, energiaoperaattori suunnittelee ja toteuttaa energiajärjestelmän.



# 11. Liitteet

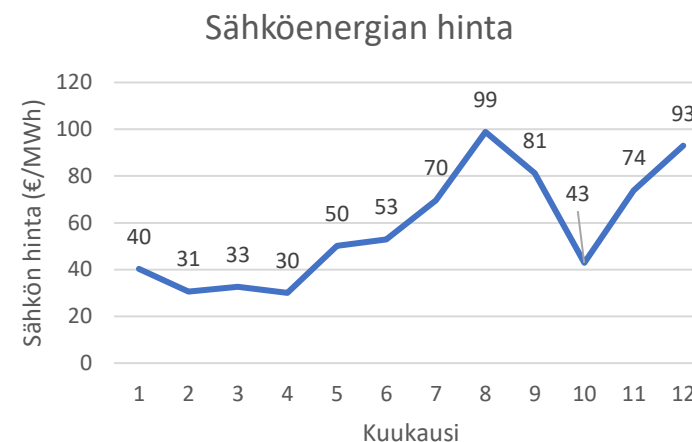
1. Lähtötiedot ja oletukset
2. Ammoniakkilämpöpumput
3. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon lämmitysjärjestelmät



# Liite 1. Lähtötiedot ja oletukset

## Sähkön hinnat

- Sähköenergian hinta on kuvattu viereisessä kaaviossa. Keskihintana on käytetty 58 €/MWh ja hintavaihtelu perustuu vuoden 2022 spot-hintojen vaihteluun.
- Siirto- ja liittymähinnastona on käytetty Caruna Espoon hinnastoja. Käytetyt hinnat on listattu oikean alanurkan taulukkoon. Lämpöpumppulaitokselle on käytetty keskijännitteen tehonsiirron ja liittymien hinnastoja.
- Sähkön Veroluokka 2 (0,63 €/MWh), johon kuuluu energiakeskuksen sähkönkulutus, koska lämpöpumpputeho on yli 500 kW ja lämpöpumppulaitos tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon.



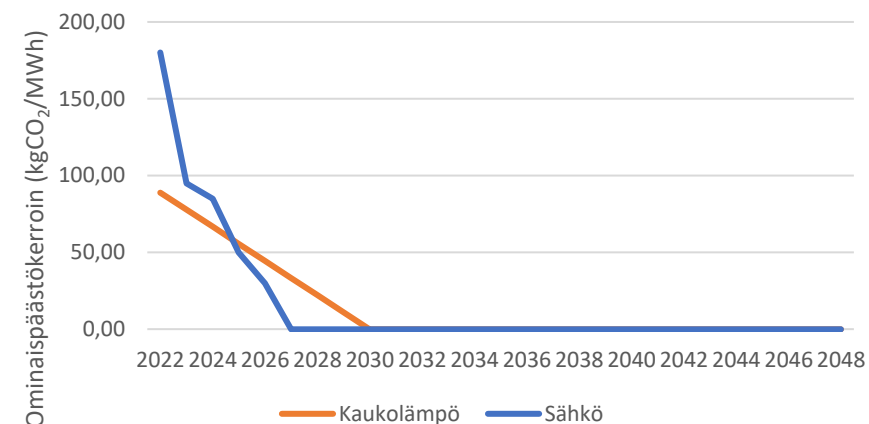
	Tehosiirto, keskijännite
Perusmaksu, €/kk	1 597,00
Tehomaksu, €/kW/kk	1,75
Talviarkipäivä 1.11-31.3, klo 7-22, €/MWh	9,80
Muu aika, €/MWh	5,10
Keskijänniteliittymä 20 kV	16,0 €/kVA + rakennuskustannus

# Liite 1. Lähtötiedot ja oletukset

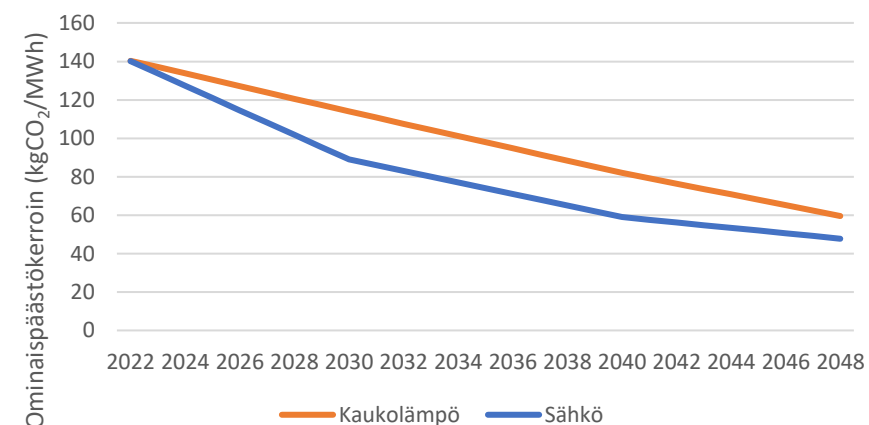
## Kannattavuus- ja päästölaskenta

- Kaikki hinnat ovat alv. 0 %.
- Laskentakorko 8 %
- Laskenta-aika 25 v
- Käytetyt päästökertoimet ja niiden kehitys on esitetty kaavioissa.
  - Savon Voiman kaukolämmön päästökertoimet perustuvat lähtötietoina saatuihin tietoihin. Sähkön päästökerroin perustuu Savon Voiman hiilineutraalustiekartan tietoihin.
  - YM/SYKE päästökertoimet perustuvat hiililaskennassa käytettäviin kansallisiin sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien skenaarioihin.

Päästökertoimet, Savon Voima



Päästökertoimet, YM/SYKE



# Liite 2. Ammoniakkilämpöpumput

## Huomioitavaa

- Johnson Controlsin ammoniakkilämpöpumppuihin perustuvan ratkaisun yhteydessä on huomioitava seuraavaa.
- Lämpöpumpun COP tyypillisesti parempi kuin tavanomaisilla kylmäaineilla.
- Matala GWP-arvo – ratkaisu on ilmastoystävällinen.
- Ammoniakki on kuitenkin palava ja myrkyllinen aine, joten **lämpöpumppulaitos vaatii ympärilleen suoja-alueet** ja laitoksen sijoittelussa on otettava huomioon tietyt vaatimukset.
- Tässä tapauksessa kyseeseen tulisi Tyypin A laitos ja Etäisyys 1 on lähinnä merkitsevä Kuhasalontien EN-tontilla. JC:n tarjoamassa lämpöpumppujärjestelmässä ammoniakkimäärä oli ehdotetulla kahdella lämpöpumpulla yhteensä 1 660 kg. Tällöin suojaetäisyys olisi 40 m.
- Hankkeen tarkemmassa suunnitteluvaiheessa kannattaa kuitenkin speksata ammoniakitäytön maksimimääräksi 1,5 t, jolloin voidaan noudattaa alempaa 25 metrin suojaetäisyyttä lämpöpumppulaitoksen sijoittelun helpottamiseksi.

Ammoniakkimäärä (t)	Laitoksen tyyppi	Etäisyys 1 (m)	Etäisyys 2 (m)
0,1 – 1,5	A ja B	25	50
1,5 – 3,0	A ja B	40	100
3,0 – 10,0	Tyyppi A	40	150
	Tyyppi B	80	250

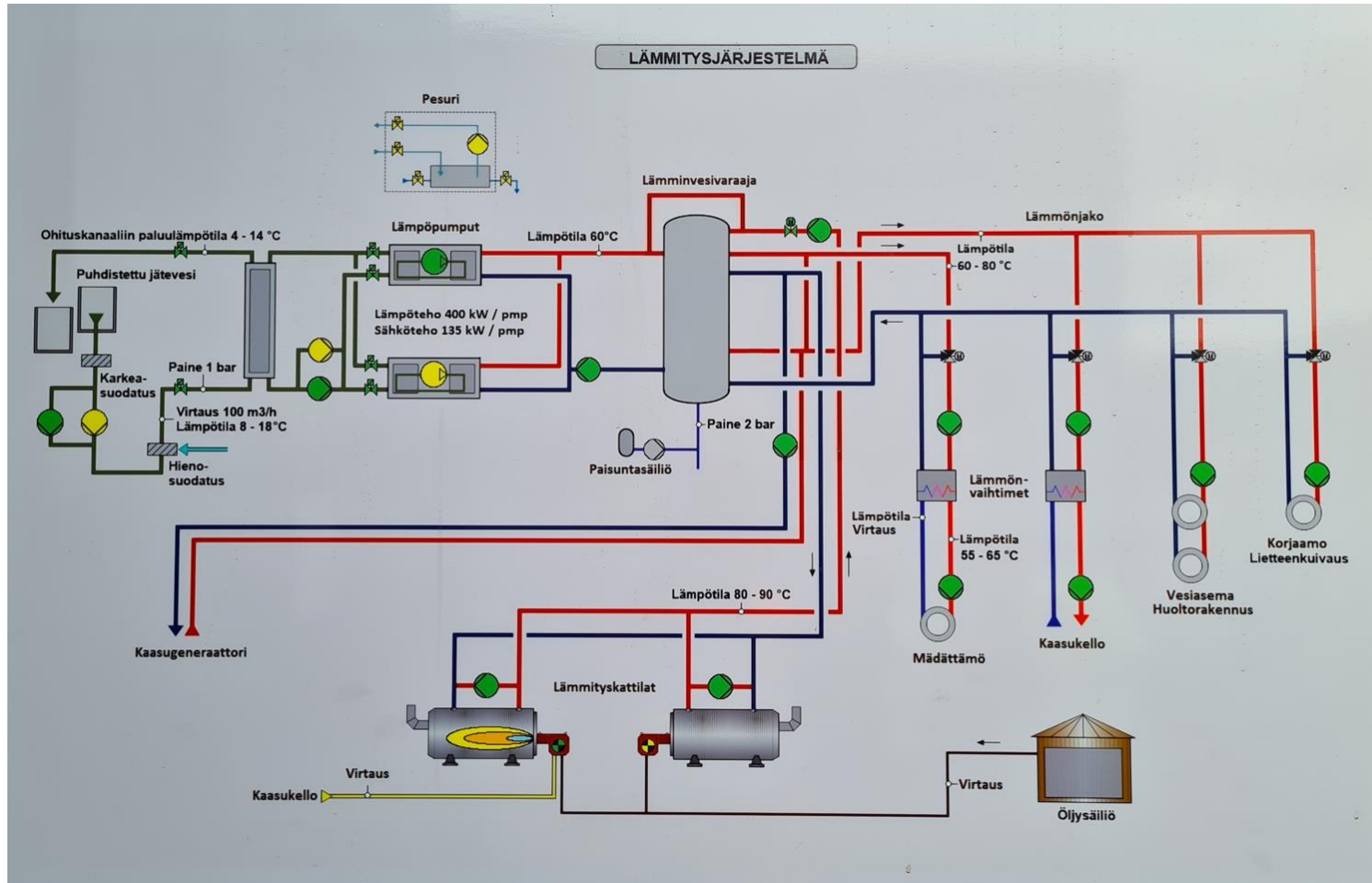
**Tyyppi A:** Lauhdutinta ja sen putkilinjoja lukuun ottamatta kaikki laitteistot ovat joko konehuoneessa tai tuotantotiloissa.

**Tyyppi B:** Muut kuin Tyyppi A.

**Etäisyys 1** = Etäisyys tontin rajasta ja yleisestä liikenneväylästä sekä toimintaan kuulumattomista rakennuksista.

**Etäisyys 2** = Etäisyys asuinrakennuksista, hoitolaitoksista, kouluista, päiväkodeista ja kokoontumistiloista.

# Liite 3. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon lämmitysjärjestelmät





**Euroopan unionin  
osarahoittama**



**POHJOIS-KARJALA**  
*Maakuntaliitto*

**BUSINESS  
JOENSUU**

