

Vastaanottaja
Prizztech Oy

Asiakirjatyyppi
Loppuraportti

Päivämäärä
11.8.2023

Prizztech

Esiselvitys teollisen hukkalämmön
hyödyntämismahdollisuudesta Kokemäen
kaukolämpöverkossa



Prizztech

Esiselvitys teollisen hukkalämmön
hyödyntämismahdollisuudesta Kokemäen
kaukolämpöverkossa

Projekti	Hukkalämpöselvitys
Projekti nro	1510077359
Vastaanottaja	Prizztech Oy
Asiakirjatyyppi	Loppuraportti
Versio	
Päivämäärä	11.8.2023
Laatija	Jukka Jalovaara, Jesper Laitinen, Soile Immonen, Amanda Tauru
Tarkastaja	Jukka Jalovaara
Hyväksyjä	Jouni Laukkanen

Ramboll
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201

Sisältö

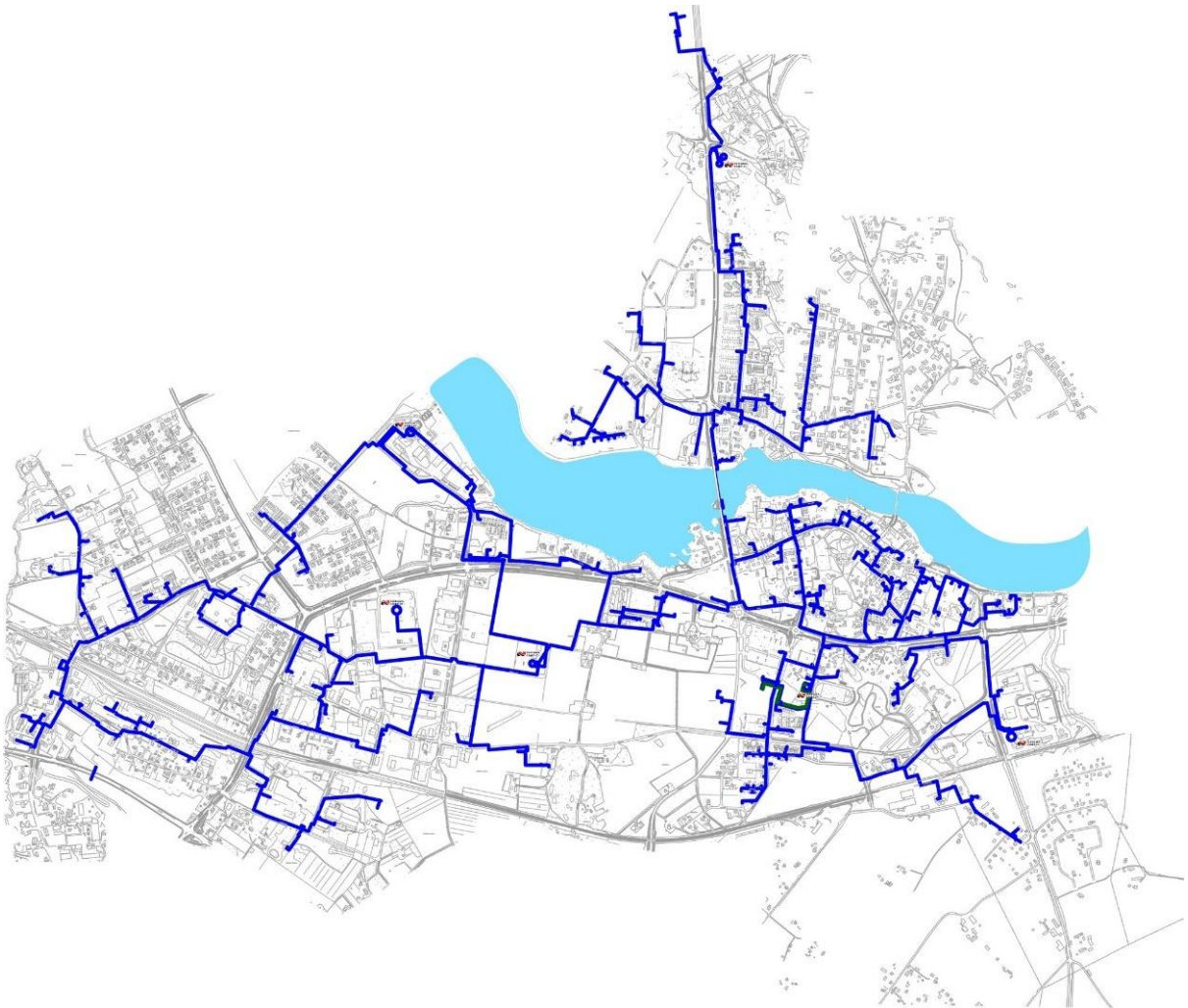
1.	Johdanto	3
2.	Lähtötilanne	5
2.1	Berner Chemicals	5
2.2	Peiron	7
2.3	Finnamyl	8
2.4	Kokemäen Lämpö	10
3.	Lämpöpumput	11
3.1	Kompressori	12
3.2	Kylmäaine	13
3.3	Yhteenveto	15
4.	Hukkalämpöjen talteenoton alustava kytkentä, toimintakuvaus ja mitoitus	16
4.1	Berner Chemicals	16
4.2	Peiron	17
5.	Lämpöpumppulaitoksen alustava sijoitus tehdasalueella sekä liityntä kaukolämpö- ja jäähdytysvesiverkkoon	19
5.1	Berner Chemicals	19
5.2	Peiron	19
6.	Finnamylin hukkalämpöjen hyödyntäminen	21
6.1	Lämpöenergian käyttö	21
6.1.1	Solunesteen lämmitys	21
6.1.2	Tärkkelyskuivureiden kuivausilman esilämmitys	21
6.1.3	Proteiinikuivurin kuivausilman esilämmitys	21
6.2	Tunnistetut energiansäästökohteet	22
6.3	Yhteenveto	22
7.	Kaukolämmön tuotantomallinnus	23
7.1	Nykytila	23
7.2	Berner	25
7.3	Peiron	26
7.4	Finnamyl	26
7.5	Kaikki	27
7.6	Taseet ja kannattavuus	28
7.7	Yhteenveto mallinnuksesta	31
8.	Yhteenveto ja johtopäätökset	32
9.	Jatkotoimenpidesuosituks	34

Liitteet

1. Berner Chemicals Oy – kytkentäkaavio
2. Peiron Oy – kytkentäkaavio
3. Berner Chemicals Oy – 2D layout (periaatekuva)
4. Peiron Oy – 2D layout (periaatekuva)

1. Johdanto

Kokemäellä kaukolämpöyhtiö Kokemäen Lämpö Oy on pyrkinyt aktiivisesti kehittämään lämmöntuotantotapojaan sekä kaukolämpöverkostaan energiatehokkaampaan ja ympäristöystävällisempään suuntaan. Nykyinen lämmön tuotanto koostuu biokattilasta sekä keskeisen teollisuusasiakkaan tehtaan yhteyteen rakennetusta biokattilasta. Tämän lisäksi kaukolämpöverkostossa hyödynnetään paluuveden lämpöä sekä erilaisia hukka- ja ympäristölämpöjä kaupungin keskustassa sijaitsevalla matalalämpöpiirin ja siihen liitetyn lämpöpumppulaitoksen avulla.



Kuva 1 Kokemäen kaukolämpöverkko

Kokemäen Lämpö Oy on kiinnostunut myös teollisten hukkalämpöjen hyödyntämisestä kaukolämpönä. Kaukolämpöverkon alueella toimii muutama teollinen toimija, joilla on todettu muodostuvan hukkalämpöjä ja jotka ovat kiinnostuneita hukkalämpöjensä hyödyntämisestä kaukolämmön tuotannossa tai korvaamaan hukkalämmöllä käyttämäänsä lämpöenergiaa tuotantoprosesseissaan.

Esimerkkikohteiksi tässä selvityksessä on valittu kolme erilaista teollista toimijaa Kokemäellä – Berner Chemicals, Peiron ja Finnamyl –, joiden tuotantoprosesseissa on otettavissa talteen eri määriä hukkalämpöä eri vuoden ja vuorokauden aikana joko jäähdytysveden tai ilman muodossa. Kaikkien kohteiden hukkalämpöjen lämpötilatasot ovat melko alhaisia, joten ne eivät sellaisenaan kelpaa kaukolämmön tuotantoon, vaan hukkalämpöjen lämpötilatasoja on nostettava lämpöpumpun avulla.

Tämän esiselvityksen tavoitteena on

- lisätä ymmärrystä teollisten hukkalämpöjen hyödynnettävyydestä kaukolämmön tuotannossa lämpöpumppujen avulla.
- ymmärtää kaukolämpöverkon hyödynnettäville hukkalämmöille asettamat vaatimukset sekä hyödyntämisen teknistaloudelliset reunaehdot.
- tuottaa raportti, jossa tarkastellaan laitosten tuottamia hukkalämpöjä sekä niiden hyödyntämispotentiaalia ja hyödyntämisen kannattavuutta lämpöpumppujen avulla kaukolämmön tuotannossa.

Esiselvitys antaa suuntaviivat ja askelmerkit jatkotoimenpiteille hukkalämpöjen hyödyntämiseksi lämpöpumpuilla Kokemäen kaukolämpöverkossa.

Tämän selvitystyön on tilannut Prizztech Oy. Selvitystyö on osa ”Hukkalämmöstä hyötyenergiaa”-hanketta. Hanketta rahoittavat Satakuntaliitto EAKR-rahoituksella ja Porin seudun kunnat.

2. Lähtötilanne

2.1 Berner Chemicals

Kemiantehdas ottaa Kokemäen joesta jäähdytysvettä 748 000 kuutiota vuodessa sisäiseen jäähdytyskiertoon. Laskelmien mukaan jokiveden lämpötila nousee keskimäärin 5-10 °C vuodenajasta riippuen. Laitos toimii jatkuvatoimisesti, mutta suurin jäähdytyksen tarvitsija eli sulfaattireaktori toimii noin kolme tuntia kestäväenä panosprosessina. Kemiallisesti kestävä lasinen reaktori aiheuttaa haasteita lämmön siirtymiselle reaktorista jäähdytysveteen. Yhden panosprosessin aikana lämpöteho vaihtelee 0,5–1 MW välillä.

Lämpöä muodostuu myös alipainekiteyttimen pintalauhduttimella, jota jäähdytetään samalla jokivedellä. Pintalauhdutin vie 600–900 kW lämpöä tunnissa jokeen. Lisäksi pintalauhduttimelta muodostuu noin 1 m³ tunnissa 25 °C lauhdevettä, joka johdetaan nyt viemäriin.

Alla on esitetty yhteenveto Berner Chemicalsin jäähdytysvesikiertojen lämpötiloista, vesimääristä, lämpötila-eroista ja lämpötehoista.

Jokivesikierto eli ensiökierto (suljettu)

	Lämpötila, °C	Vesimäärä, kg/s	Lämpötila-ero, °C	Teho, kW
Talvi				
Vesi Kokemäenjoesta	+5	22,2 (80 m ³ /h)		
Vesi Kokemäenjokeen	+10	22,2 (80 m ³ /h)	5	460
Kesä				
Vesi Kokemäenjoesta	+25	22,2 (80 m ³ /h)		
Vesi Kokemäenjokeen	+35	22,2 (80 m ³ /h)	10	920

Käyntiaika on 8760 h/a.

Sisäinen kierto eli toisiokierto (suljettu)

	Lämpötila, °C	Vesimäärä, kg/s	Lämpötila-ero, °C	Teho, kW
Talvi				
Vesi jäähdytyskohteisiin	+7-8	35,5 (128 m ³ /h)		
Vesi jäähdytyskohteista	+10-11	35,5 (128 m ³ /h)	3	450
Kesä				
Vesi jäähdytyskohteisiin	+27-28	35,5 (128 m ³ /h)		
Vesi jäähdytyskohteista	+33-34	35,5 (128 m ³ /h)	6	900

Käyntiaika on 8760 h/a.

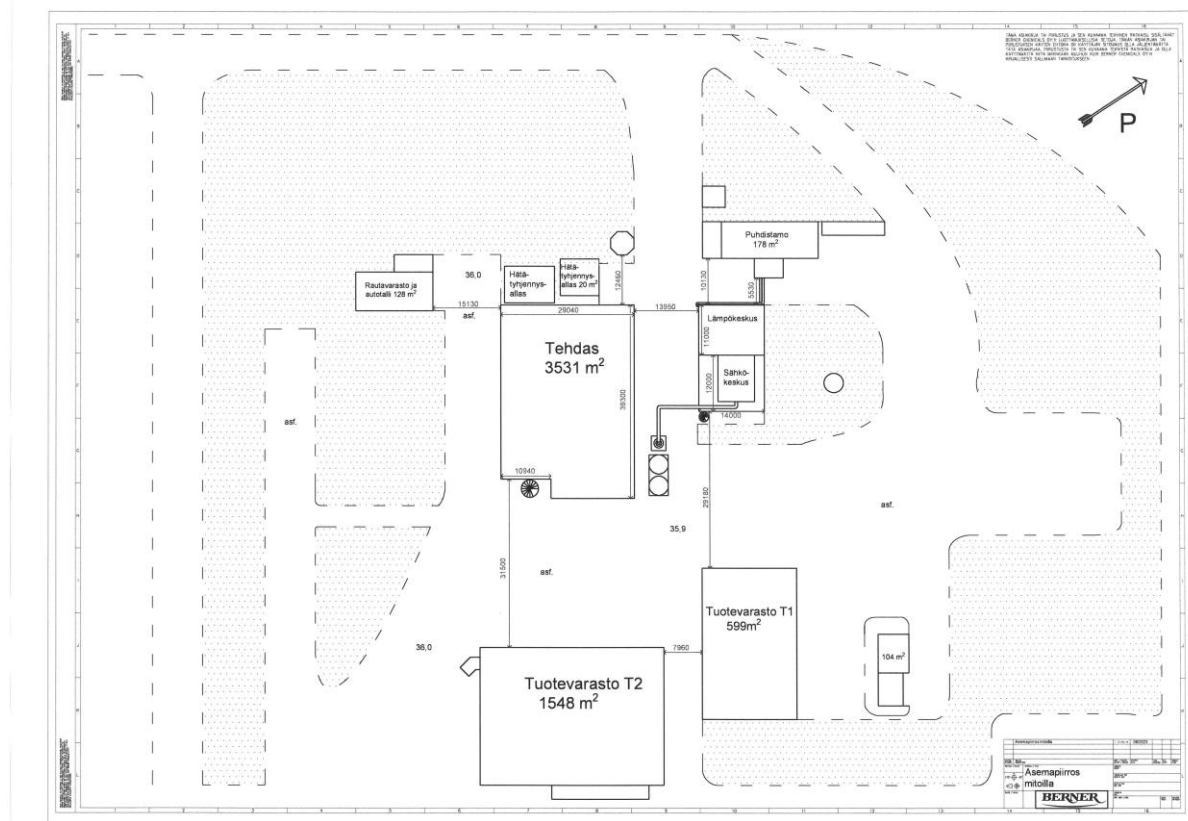
Alipaine kiteyttimen pintalauhdutin

	Lämpötila, °C	Vesimäärä, kg/s	Lämpötila-ero, °C	Teho, kW
Talvi				
Vesi Kokemäenjoesta	+5	8,3 (30 m3/h)		
Vesi Kokemäenjokeen	+30	8,3 (30 m3/h)	25	870
Lauhdevesi	+30	0,3 (1 m3/h)	25	30
Kesä				
Vesi Kokemäenjoesta	+22	8,3 (30 m3/h)		
Vesi Kokemäenjokeen	+22	8,3 (30 m3/h)	0	0

Käyntiaika on 7300 h/a.

Jäähdytyskohteiden ja pintalauhduttimen lämpöteho on yhteensä maksimissaan noin 1400 kW talvella ja noin 900 kW kesällä.

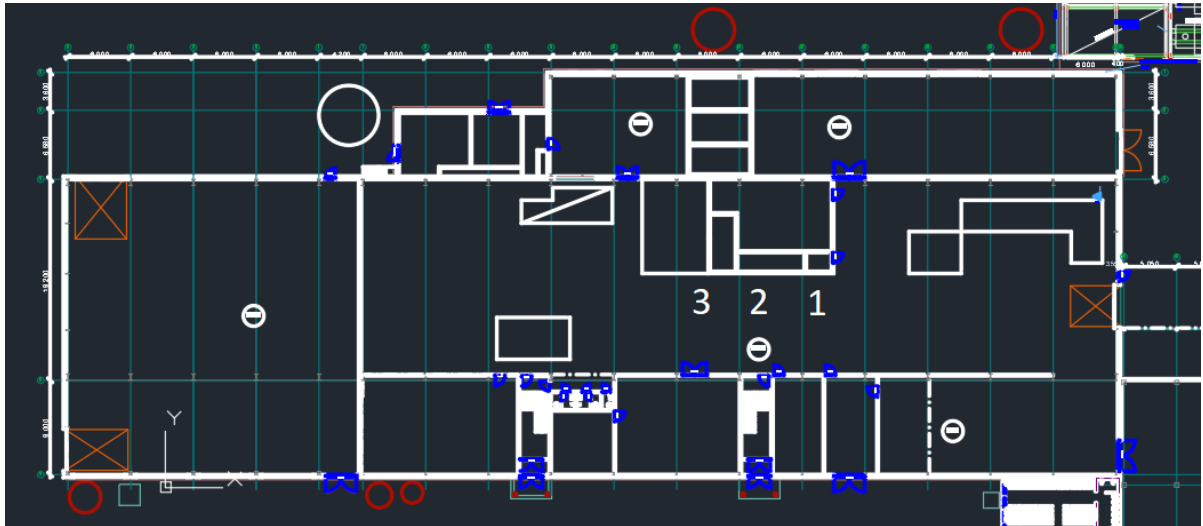
Hieman lämpöä menee myös höyrynä taivaalle mutta pääasiassa hukkalämpö menee jokeen. Raaka-aineiden reaktiossa vapautuvaa lämpöä (höyryä) ei ajateltu otettavan talteen, koska sen talteenotto on hankalampaa kuin lämmön talteenotto jäähdytysvedestä. Prosessin muuttaminen jatkuvatoimiseksi voisi olla mahdollista, jolloin myös lämpöjen hyödyntäminen olisi yksinkertaisempaa. Kuvassa 2 on esitetty tehtaan asemapiirros.



Kuva 2 Tehtaan asemapiirros

2.2 Peiron

Valimolla on kolme valu-uunia, joista yhtä ollaan parhaillaan uusimassa. Valu-uunit on esitetty kuvassa 3 numeroilla 1, 2 ja 3.



Kuva 3 Valu-uunit, numerot 1, 2 ja 3

Induktiouunit ovat teholtaan 1 MW luokkaa, ja noin 10 % tästä tehosta siirtyy lämpönä induktiokelojen jäähdytysveiteen. Vesi lämpenee noin 40 °C:sta noin 80 °C:een. Jäähdytysvesi lauhdutetaan tällä hetkellä ilmaan. Uuneissa on erilliset jäähdytyspiirit. Uunit ovat päällä arkisin, mutta eivät koko aikaa täydellä teholla.

Alla on esitetty yhteenveto Peironin jäähdytysvesikiertojen lämpötiloista, vesimääristä, lämpötila-eroista ja lämpötehoista.

Induktiouuni 1:n ilmalauhdutin (nykyinen)

	Lämpötila, °C	Vesimäärä, kg/s	Lämpötila-ero, °C	Teho, kW
Talvi				
Vesi sisään	+50-70	1,7 (100 l/min)		
Vesi ulos	+30-50	1,7 (100 l/min)	20	140
Kesä				
Vesi sisään	+50-70	1,7 (100 l/min)		
Vesi ulos	+40-60	1,7 (100 l/min)	10	70

Käyntiaika on kaksi 8 tunnin vuoroa arkisin eli 16 tuntia päivässä eli noin 4200 tuntia vuodessa. Induktiouuni 1 käy täydellä teholla lähes koko vuoron eli noin 6 tuntia vuorossa.

Induktiouuni 2:n ilmalauhdutin (uusi)

	Lämpötila, °C	Vesimäärä, kg/s	Lämpötila-ero, °C	Teho, kW
Talvi				
Vesi sisään	+50-70	1,7 (100 l/min)		
Vesi ulos	+30-50	1,7 (100 l/min)	20	140
Kesä				
Vesi sisään	+50-70	1,7 (100 l/min)		
Vesi ulos	+40-60	1,7 (100 l/min)	10	70

Käyntiaika on kaksi 8 tunnin vuoroa arkisin eli 16 tuntia päivässä eli noin 4200 tuntia vuodessa. Induktiouuni 2 käy täydellä teholla koko vuoron eli noin 8 tuntia vuorossa.

Molempien induktiuunien lämpötehot on yhteensä maksimissaan noin 300 kW talvella ja noin 150 kW kesällä.

Hallin katolla on lisäksi huippumurit, jotka puhaltavat ulos 50-65 °C pölyistä sisäilmaa. Tätä hukkalämpöä ei ajateltu otettavan talteen, koska sen talteenotto on likaisesta ilmasta johtuen vaikeampaa kuin lämmön talteenotto jäähdytysvedestä.

Osa valukappaleista jäähdytetään 15 kuution vesialtaassa, jossa veden lämpötila saattaa nousta jopa 80 °C:een. Nykyisin allas jäähdytetään tyhjentämällä se lämpimästä vedestä ja täyttämällä se kylmällä talousvedellä, jolloin syntyy hukkalämpöä. Myöskään tästä muodostuvaa hukkalämpöä ei ole tarkasteltu tässä selvityksessä.

2.3 Finnamyl

Perunatärkkelystehtaalla prosessista muodostuu 45–55 °C kondensaattivettä 34 kuutiota tunnissa, joka ajetaan omalle jätevedenpuhdistamolle. Hankaluutena on toiminnan kausiluontoisuus, sillä laitos on toiminnassa noin 100 vuorokauden ajan syksyllä syyskuun alusta joulukuun alkuun.

Lisäksi tärkkelyskuivurilta poistuu noin 55 °C ilmaa. Proteiini-kuivurista poistuu 100 °C ilmaa 25 000 Nm³ tunnissa. Proteiiniprosessille etsitään ympärivuotista käyttöä, joten tulevaisuudessa, ehkä viiden vuoden aikajänteellä, toiminta saattaa olla ympärivuotista.

Alla on esitetty yhteenveto Finnamylin kondensaattivesi- ja poistoilmakiertojen lämpötiloista, vesi- ja ilmamääristä, lämpötila-eroista ja lämpötehoista.

Kondensaattivesi

Syksy (syyskuu-marraskuu)	Lämpötila °C	Vesimäärä kg/s	Lämpötila-ero °C	Teho kW
Kondensaattivesi omalle jätevedenpuhdistamolle (→ tärkkelyskuivureiden kuivausilman esilämmitykseen)	+45-55	9,4 (34 m ³ /h)	30	1200

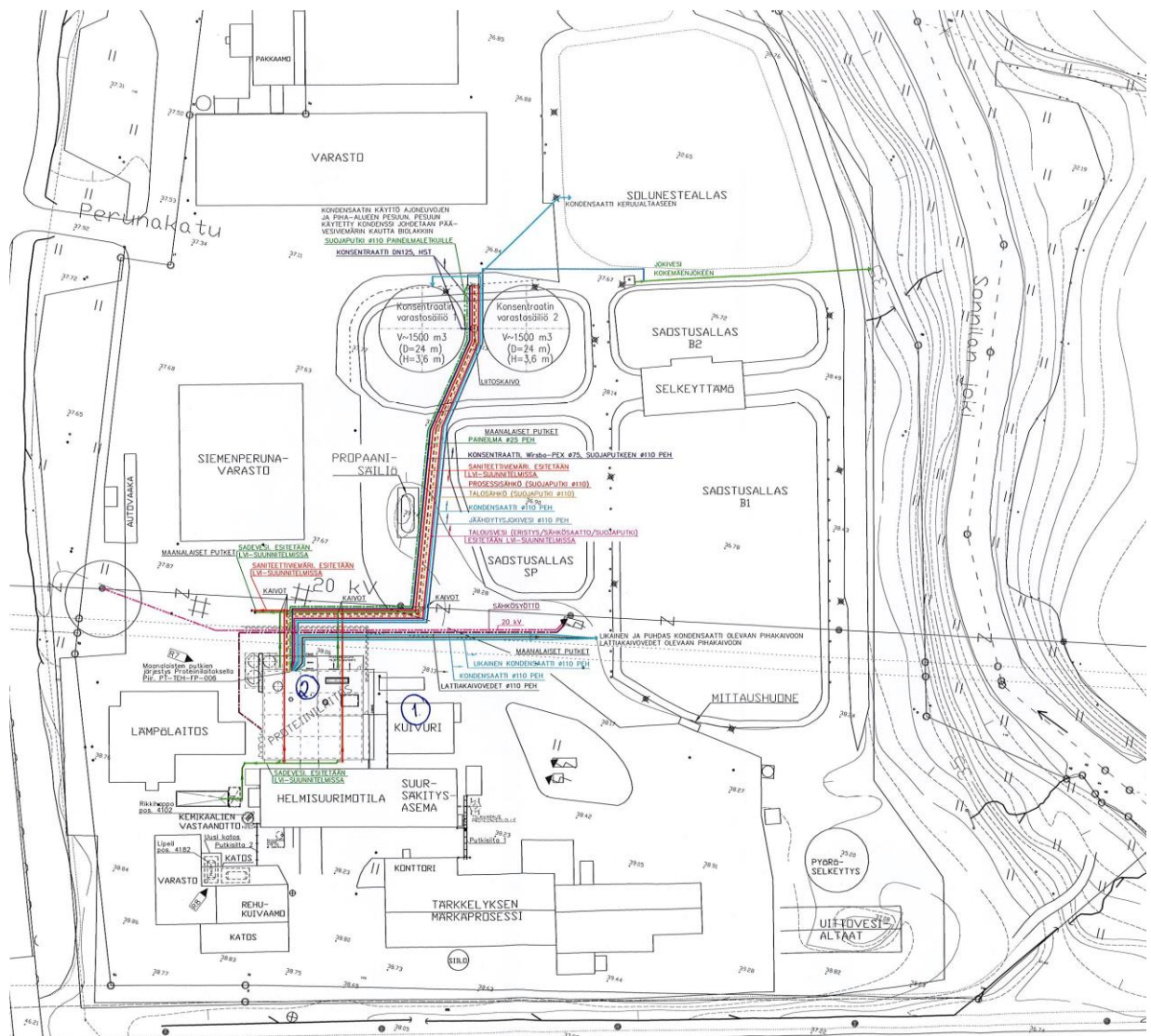
Käyntiaika on 100 vuorokautta eli noin 2300 tuntia vuodessa ottaen huomioon kaksi 4 tunnin pesua viikossa.

Poistoilma

Syksy (syyskuu-marraskuu)	Lämpötila °C	Ilmamäärä kg/s	Lämpötila-ero °C	Teho kW
Poistolämpö ilmaan (→ <i>proteiinikuivureiden kuivausilman esilämmitykseen</i>)	+100	6,5 (25 000 m ³ /h)	50	300

Käyntiaika on 100 vuorokautta eli noin 2300 tuntia vuodessa ottaen huomioon kaksi 4 tunnin pesua viikossa.

Kuvassa 4 on esitetty tehtaan aluelayout.



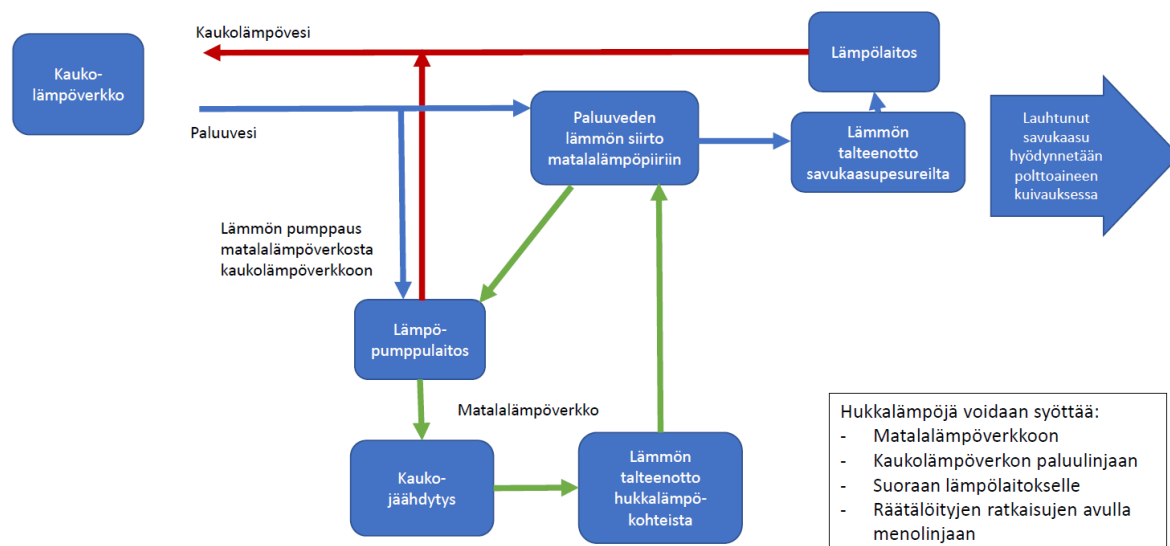
Kuva 4 Tehtaan aluelayout

2.4 Kokemäen Lämpö

Kokemäen Lämmön päätuotantolaitoksella kolme biopolttokattilaa ja Finnamylin tehtaan yhteydessä yksi. Yhteistehoa löytyy noin 25 MW. Kunnan keskustassa lämpöpumppulaitos, jonka keskeinen tehtävä on paluuvien jäähdytys. Lisäksi sen yhteydessä on matalalämpöverkko, joka toimii myös kaukokylmänä. Nykyinen teho lämpöpumpussa noin 350 kW, nostettavissa noin 1 MW luokkaan lisäämällä lämpöpumppujen määrää. Tilat ja järjestelmät laitoksen laajentamiselle ovat valmiina.

Mahdollinen akkutehdasinvestointi Kokemäelle toisi mukanaan lisävaatimuksia kaukolämpöverkkoon niin laajuuden kuin lämmöntarpeen osalta. Kokemäen Lämpö on käynyt keskusteluja yritysten edustajien kanssa hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuuksista ja tehnyt aiemmin myös alustavia laskelmia investointien kannattavuudesta.

Kuvassa 5 on esitetty periaatteellinen kuva Kokemäen Lämmön tavasta hyödyntää ylijäämälämpöä kaukolämpöverkossa.

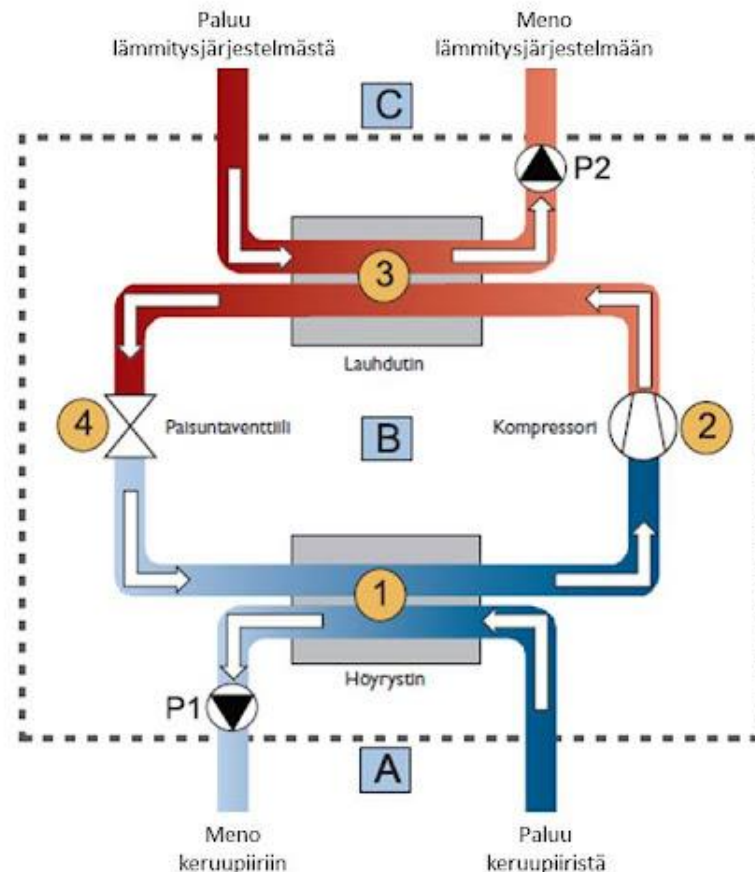


Kuva 5 Kokemäen Lämmön tapa hyödyntää ylijäämälämpöä kaukolämpöverkossa

Lähtökohtaisesti hukkalämmöstä saatavan kaukolämmön määrä on kohtuullinen ja sen muodostumispaikka on tiedossa, joten kaukolämmön voidaan olettaa mahtuvan Kokemäen kaukolämpöverkkoon lähes kaikkina vuorokauden ja vuodenaikoina sekä ilman verkkoon vaadittavia muutoksia (laajennuksia) ja investointeja, kuten esim. verkon vahvistamista hukkalämmön muodostumispaikan lähellä. Kesällä kaukolämmön minimiteho saattaa kuitenkin joskus tulla vastaan, mikä rajoittaa ajoittain kykyä hyödyntää hukkalämpöä kaukolämmön tuotantoon.

3. Lämpöpumput

Lämpöpumpun perusperiaate on, että sähköllä toimiva pumppu siirtää lämpöä tilasta toiseen, esimerkiksi ulkoilmasta rakennuksen sisäilmaan. Tässä selvityksessä on tarkoitus käsitellä vedestä veteen energiaa siirtävää lämpöpumppua. Lämpöpumpun pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Kuvassa 6 on esitetty lämpöpumpun toimintaperiaate.



Kuva 6 Lämpöpumpun energiavirrat ja pääkomponentit

Lämpöpumpun toiminta voidaan jakaa neljään vaiheeseen, jotka ovat numeroituna kuvassa.

1. Höyrystin kerää keruupiirin nesteen lämpöenergiaa kylmäaineeseen. Kylmäaine höyrystyy ja sitoo itseensä lämpöenergiaa, jolloin höyrystin jäähtyy.
2. Kompressori nostaa painetta, minkä seurauksena kylmäaineen lämpötila nousee. Paineen nostaminen toteutuu kylmäaineeseen kohdistuvalla mekaanisella puristustyöllä. Lämpötilan nousun seurauksena kylmäaine lauhtuu höyrystä nesteeksi vapauttaen energiaa.
3. Lauhdutin siirtää kylmäaineen lämpöenergian lämmityspiiriin.
4. Paisuntaventtiili purkaa painetta, mikä saa kylmäaineen jäähtymään. Sähköllä toimivat pumput kierrättävät keruu- ja lämmityspiirin nesteitä.

Kun halutaan hyödyntää veteen laskettujen hukkalämpöjen käyttöä kaukolämmössä lämpöpumpuilla, keruupiirissä kiertää vesi, johon hukkalämmöt on laskettu, ja lämmityspiirinä toimii kaukolämpöverkko. Näin hukkalämpöjä saadaan hyödynnettyä vesistön kautta rakennusten lämmitykseen. Kyseinen lämpöpumppu on tyypiltään vesi-vesilämpöpumppu. Lämpöpumpun tyypistä riippumatta perusidea on lämpöpumpuilla sama.

Lämpöpumppujen yhteydessä puhutaan COP-lämpökertoimesta (coefficient of performance). COP-kertoimella tarkoitetaan siirretyn energian ja siirtämiseen kuluvan energian suhdetta. COP-kerroin voidaan laskea kaavalla

$$COP_{teoreettinen} = \frac{T_{lauhdutin}}{T_{lauhdutin} - T_{höyrystin}} \quad (1)$$

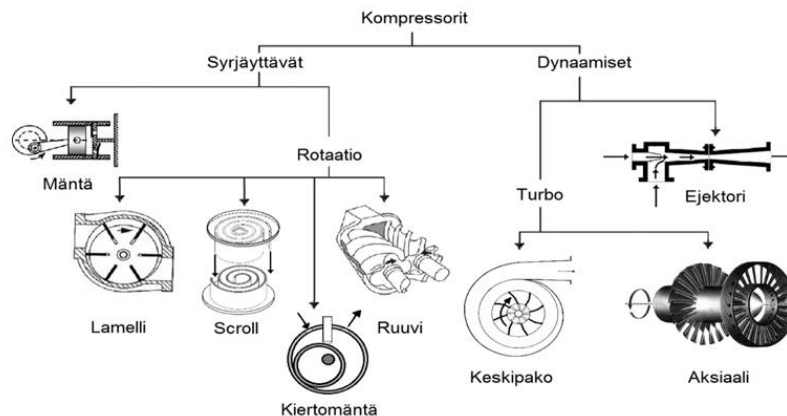
missä $COP_{teoreettinen}$ on lämpöpumpun COP-kertoimen teoreettinen maksimi, $T_{lauhdutin}$ on lämpöpumpun lauhduttimen lämpötila ja $T_{höyrystin}$ lämpöpumpun höyrystimen lämpötila. Kaavassa tulee käyttää Kelvin asteita. COP-kertoimen teoreettinen maksimi on käytännössä mahdotonta saavuttaa. Lämpöpumpuilla on tyypillisesti noin 60 % hyötysuhde, jos kaavassa käytetään kylmäaineen todellisia kaste- ja höyrystymispistelämpötiloja.

Lämpöpumpun lauhduttimen lämpötilan tulee olla korkeampi kuin sen järjestelmän lämpötila, johon lämpö halutaan siirtää ja käänteisesti lämpöpumpun höyrystimen lämpötilan on oltava matalampi kuin lämmönlähteen lämpötila, jotta lämpö saadaan talteen. Lauhduttimen lämpötilan on oltava siis tässä tapauksessa korkeampi kuin kaukolämpöverkon lämpötila siinä pisteessä verkkoa, mihin lämpö syötetään ja höyrystimen lämpötilan on oltava kylmempi kuin jokiveden, ulkoilman tai hukkalämpövirran lämpötila. Mitä suurempi asteisuus lämmönsiirtimissä on, sen tehokkaampaa lämmön siirtyminen on, mutta suuri asteisuus heikentää lämpöpumpun COP-kerrointa.

Lämpöpumpuilla ei kuitenkaan aina välttämättä tarvitse tuottaa kaukolämpöverkon menolämpötilaa vaan lämpöpumpulta riittää, että se esilämmittää kaukolämpöveden, jonka jälkeen lopullinen menolämpötila verkkoon voidaan tuottaa esimerkiksi polttavalla tuotannolla tai sähkökattilalla, jos niitä on käytettävissä.

3.1 Kompressorit

Kompressorin tehtävä on nostaa kylmäaineen painetta, jotta kylmäaineen lauhtumislämpötila vastaa lämmityskohteen vaatimuksia. Kompressorit toimivat usein sähkömoottorilla ja kattavat valtaosan lämpöpumpun vaatimasta energiasta. Kompressorin toimintaa rajoittavat usein prosessiolosuhteisiin, komponenttien kestävyys ja laitteiston toteutukseen liittyvät tekijät, jotka riippuvat lämmönlähteestä. Kompressorissa käytetyt osat vaikuttavat siihen, kuinka suuri paine-ero kompressorilla voidaan tuottaa. Oikeanlainen kompressor pitää siis valita tapauskohtaisesti vastaamaan tarvetta. Kompressorien luokittelu on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7 Kompressorien luokittelu

Kompressoreista lämpöpumpuille sopivia ovat mäntä-, scroll-, ruuvi- ja turbokompressorit (Taulukko 1). Mäntäkompressorit ovat kaikista pienimmässä ja turbokompressorit suurimmassa teholuokassa käytetty kompressorityyppi. Scroll- ja ruuvikompressorit ovat teholuokaltaan tältä väliltä.

Taulukko 1 Lämpöpumpuissa käytettyjen kompressoreiden ominaisuuksia

Kompressorit	Käytetyimmät kylmäaineet	Teholuokka	COP	Tyypilliset sovellukset
Mäntä	Matalapaine kylmäaineet, R290, R1234ze	1–10 kW	2–4	Ilmastoinnin jäähdytys, IVLP, teollisuuden prosessit
Scroll	Korkeapaine kylmäaineet, R410A	10–100 kW	2–5	Ilmastoinnin jäähdytys, IVLP, teollisuuden prosessit
Ruuvi	R123a, R410A, R407C, R1234ze	Kymmenistä kW satoihin kW	3–6	Suuret ilmastoinnin jäähdytysjärjestelmät, teollisuuden prosessit, yli 500 kW järjestelmät
Turbo	R134a, R717, R1234ze	Sadoista kW kymmeniin MW	4–7	Suuremman teholuokan teolliset lämpöpumput,

Esitetyt COP-arvot sekä teholuokka eri kompressoreille lämpöpumpuissa ovat tyypillisiä arvoja. COP-arvo sekä teholuokka vaihtelevat suuresti riippuen valmistajasta, mallista, sovelluksesta, ulkolämpötilasta, tuottolämpötilasta ja kylmäaineesta.

3.2 Kylmäaine

Kylmäaine toimii lämpöpumpussa lämmön välittäjäaineena. Huonosti valittu kylmäaine voi johtaa tehottomaan lämmönsiirtoon ja kompressorin korkeaan tehonkulutukseen. Kaukolämmön tuotantoon tarkoitettulla lämpöpumpulla pitää pystyä tuottamaan yleensä maksimissaan kaukolämpöveden 90–95 °C lämpötila, mistä johtuen lauhtumis- ja höyrystymislämpötilojen ero on suuri. Jos jokin muu lämmöntuotantotapa, kuten polttaminen tai sähkökattila, on mahdollista, lämpöpumpulla ei tarvitse saavuttaa kaukolämpöveden lämpötilaa, vaan lämmittämisen

vaadittavaan lämpötilaan voi hoitaa loppuun jollain muulla tavalla. Lämpöpumpuilla on mahdollista saada kaukolämpövesi lämmitettyä yli 95 °C:een, mutta se vaatii lämpöpumppujen (ja kompressorien) lukumäärän kasvattamista, mikä puolestaan lisää investointikustannuksia.

Kaukolämmöntuotantoon käytettävissä lämpöpumpuissa yleisimmät kylmäaineet ovat F-kaasut R134a ja R1234ze sekä luonnollinen kylmäaine ammoniakki, sillä niillä on mahdollista tuottaa kaukolämpöveden vaatima lämpötila. Alla olevassa taulukossa 2 on vertailtu kylmäaineiden ominaisuuksia.

Taulukko 2 Kaukolämpöä tuottavissa lämpöpumpuissa käytettyjen tyyppisten kylmäaineiden ominaisuuksia

	Tetrafluorietaani R134a	Ammoniakki R717	Tetrafluoropropeeni R1234ze
Luokitus	F-kaasu / HFC-yhdiste	Luonnollinen kylmäaine / Luonnollinen hiilivety	F-kaasu / HFO-kylmäaine
Ilmasto- vaikutus	Merkittävä	Hyvin alhainen	Alhainen
GWP-arvo	1430	0	7
Huomioita	- HFC-yhdisteillä suuret ilmastovaikutukset, joten EU aikoo pitkällä aikavälillä rajoittaa niiden käyttöä - Alhainen myrkyllisyys	- Ammoniakki on hyvin myrkyllinen ja palava yhdiste → kaupunkiympäristöön haastava - Käyttö lähinnä teollisen mittakaavan lämpöpumpuissa	- Alhainen myrkyllisyys ja syttyvyys - Korvannut R123a:n käyttöä - Käyttö kaupallisissa lämpöpumpuissa, kylmävarastoissa ja jäähdytysjärjestelmissä

GWP-arvo (Global Warming Potential) kuvaa aineen ilmastoa lämmittävää vaikutusta.

Vertailuaineena käytetään hiilidioksidia, jonka GWP-arvoksi on määritelty yksi. Ilmastovaikutuksia vertaillessa huomataan, että ammoniakki tai R1234ze eivät lämmitä ilmastoa lähes lainkaan ja R134a:lla on taas päinvastoin erittäin suuri ilmastovaikutus.

F-kaasut, joihin myös R134a kuuluu, lämmittävät voimakkaasti ilmastoa, jos niitä päästää ilmakehään. Ilmastovaikutusten suuruuteen voidaan vaikuttaa lämpöpumpun oikeanlaisella asennuksella ja säännöllisellä huollolla sekä kylmäaineen vaatimalla jätehuollolla. F-kaasut luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, joten niiden jätehuollosta vastaa laitos, jolla on ympäristösuojelulain mukainen ympäristölupa.

EU on ilmoittanut, että aikoo tulevaisuudessa asteittain rajoittaa F-kaasujen käyttöä niiden ympäristövaikutusten takia. Vuonna 2014 tehdyssä F-kaasusetuksessa (517/2014) määriteltiin, että vuodesta 2020 alkaen aletaan rajoittamaan yli 2500 GWP:n F-kaasuja uusissa laitteissa, ja tavoitteena on luopua fluorihiihivedystä kokonaan vuoteen 2050 mennessä. Tällä hetkellä F-kaasujen käyttöä Suomessa on rajoitettu, ja niiden käyttöön liittyy tiettyjä vaatimuksia, kuten ajoittaisia tarkastuksia perustuen kylmäaineen määrään.

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0092_FI.html

Ammoniakki on myrkyllinen ja helposti palava yhdiste, minkä takia sen sijoittaminen kaupunkiympäristöön voi olla haastavaa. Toisaalta sitä pidetään tehokkaimpana kylmäaineena, mistä johtuen sen käyttö teollisuuden sovelluksissa on yleistä, ja yhteensovittaminen kaukolämmöntuotantoon on mahdollista. Ammoniakkia kylmäaineena käyttävissä lämpöpumpuissa COP-arvo on yleensä korkeampi kuin synteettistä kylmäainetta, kuten R134a:ta tai R1234ze:ta käyttävissä lämpöpumpuissa, jolloin saman lämpömäärän tuottamiseksi tarvitaan vähemmän sähköenergiaa.

Toisaalta ammoniakki kylmäaineena käyttävät lämpöpumput ovat jonkin verran kalliimpia investointikustannuksiltaan kuin synteettistä kylmäainetta käyttävät lämpöpumput, ja niiden vaatiman rakennuksen suunnittelu- ja rakentamiskustannukset ovat myös korkeammat. Tästä johtuen kylmäaineen valinta pitää tehdä perustuen elinkaarikustannuksiin, jos ympäristö- ja turvallisuusnäkökohdat eivät aseta esteitä ammoniakin käytölle. Lisäksi ammoniakin käyttö kylmäaineena vaatii aina joko kemikaaliluvan hakemisen tai kemikaali-ilmoituksen tekemisen toisin kuin muiden kylmäaineiden käyttö. Kylmäaineen valinnassa joudutaan usein tekemään kompromissi käyttöolosuhteiden mukaan, sillä valintaan vaikuttavia tekijöitä on valtavasti.

Edellisten lisäksi kylmäaineena lämpöpumpuissa voidaan käyttää hiilidioksidia, joka on luonnollinen ja ilmastovaikutukseltaan hyvin alhainen kylmäaine ja jonka GWP-arvo on nolla. Kaukolämpösovelluksissa hiilidioksidin käyttö on ainakin vielä toistaiseksi melko vähäistä, ja sen käyttö on keskittynyt lähinnä pienemmän kokoluokan teollisiin sovelluksiin.

3.3 Yhteenveto

Lämpöpumpputekniikka on kaupallista tekniikkaa kaukolämmöntuotannossa, ja erilaisia ratkaisuja sekä kylmäaineita on tarjolla jokaiseen käyttökohteeseen. Oikean lämpöpumpun, kylmäaineen ja kompressorin valinta ovat tärkeitä, jotta järjestelmä toimii parhaalla mahdollisella tavalla. Lämpöpumpuilla on paljon hyviä puolia liittyen kaukolämmöntuotantoon, mutta myös joitakin haasteita ilmenee.

Lämpöpumppu on hyvä vaihtoehto kaukolämmöntuotantoon, koska sillä voidaan tuottaa kaukolämpöä päästöttömästi polttoon perustumattomalla teknologialla. Lämpöpumpun päästöttömyys vaatii, että pumppujen käyttämä sähkö on hiilineutraalia, kuten lähes kaikki Suomessa tuotettu sähkö nykyään jo onkin. Lämpöpumppu on monipuolinen, sillä se sopii eri ympäristöihin hyödyntäen eri lämmönlähteitä. Hukkalämpöjen lisäksi lämpöä voidaan talteen ottaa muun muassa järvi-, joki- ja merivedestä, maaperästä sekä ilmasta, joissa lämpöä on käytännössä rajattomasti tarjolla. Lämpöpumput ovat myös energiatehokkaita, ja niiden tehokerroin on sitä parempi, mitä lämpimämpi lämmönlähde on tai mitä alempi tuottolämpötila on. Tämän takia Suomessa lämpöpumppujen COP-kerroin on tyypillisesti huomattavasti parempi kesällä kuin talvella.

Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuus on todella herkkä lämpöpumpun ”polttoaineen” eli sähkön hinnalle sekä lämpöpumpun käyttöajalle, jonka pitäisi olla mahdollisimman pitkä. Näistä tekijöistä johtuen lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuuslaskennoissa on epävarmuutta. Sähköä pitäisi myös olla tarjolla riittävästi lämpöpumpun tarpeisiin nykyisestä liittymästä tai sähkökeskuksesta, jotta uuteen liittymään tai keskukseen muuntajineen ei tarvitse investoida. Lisäksi talven kylmimpinä aikoina kaukolämpöveden yli 100 °C:n lämpötilaa on haastavaa lämpöpumpulla saavuttaa. Tällöin tarvitaan usein lisäksi jokin muu lämmönlähde, kuten sähkökattila tai olemassa oleva polttokattila, nostamaan kaukolämpöverkkoon menevä vesi vaadittavaan lämpötilaan.

4. Hukkalämpöjen talteenoton alustava kytkentä, toimintakuvaus ja mitoitus

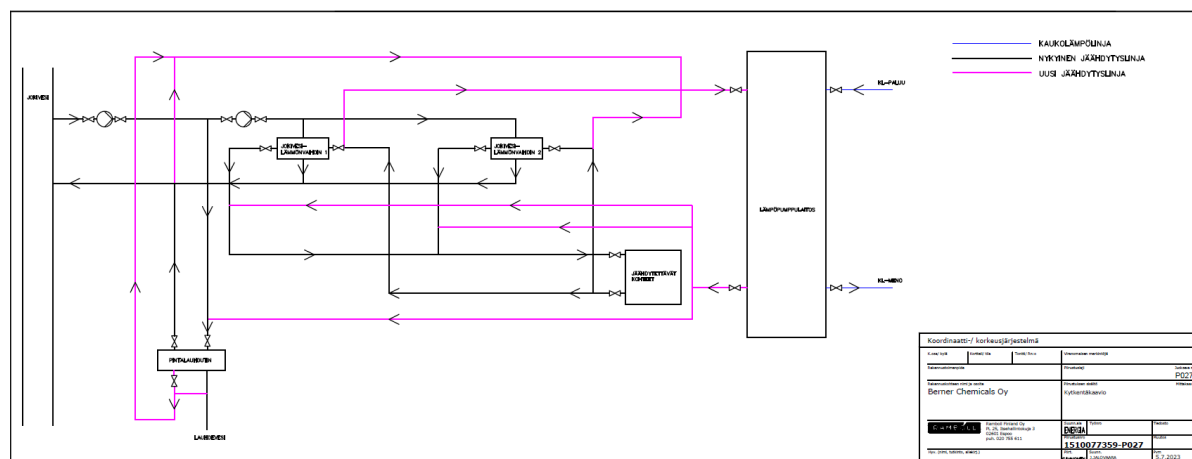
Tässä esiselvitystyössä potentiaalisimpana hukkalämpöjen hyödyntämiskäytännönä kaukolämmön tuottamiseksi Kokemäen kaukolämpöverkkoon nähtiin perinteinen vesi-vesilämpöpumppu, jolla hukkalämpöä voidaan hyödyntää nostamalla sen lämpötilatasoa kaukolämpöverkkoon soveltuvalle tasolle eri vuodenaikoina.

Tässä kappaleessa käsitellään Berner Chemicalsin ja Peironin teollisuuslaitosten yhteyteen ajateltujen hukkalämmön talteenotto-prosessien alustavaa kytkentää, toimintakuvausta ja mitoitus hyödyntämällä kyseisten yritysten jäähdytyksissä syntyvää hukkalämpöä ja tuottamalla siitä lämpöpumppujen avulla kaukolämpöä Kokemäen kaukolämpöverkkoon.

Finnamylin tuotantolaitoksen osalta käsitellään raportin luvussa 6 hukkalämpöjen talteenottoa ja lämmön hyödyntämistä omassa tuotannossa korvaamaan ostolämpöä, koska tuotantolaitos on toiminnassa vuoden aikana vain noin 100 päivän ajan syyskuun alusta joulukuun alkuun, mikä ei mahdollista kaukolämmön tuotantoa hukkalämmöstä lämpöpumpuilla taloudellisesti kannattavasti, kuten luvussa 7 on esitetty.

4.1 Berner Chemicals

Lämmön talteenottojärjestelmän tehtävä on ottaa lämpöä talteen Berner Chemicalsin Kokemäen tuotantolaitoksen hukkalämmöstä ja syöttää lämmintä vettä Kokemäen kaukolämpöverkkoon lämpöpumppulaitoksen avulla. Lämmön talteenottojärjestelmän alustava kytkentäkaavio on esitetty alla olevassa kuvassa 8 ja liitteessä 1.



Kuva 8 Lämmön talteenottojärjestelmän alustava kytkentäkaavio

Nykytilanteessa hukkalämmöt siirretään jokiveteen. Kytkennässä on kaksi toisistaan erillään olevaa suljettua piiriä, primääri- ja sekundääripiiri sekä kaksi lämmönvaihdinta, jotka siirtävät lämpöä piirien välillä.

Primääripiirissä jokivesi pumpataan olemassa olevilla pumpuilla jokivesilämmönvaihtimiin, joissa sekundääripiirin veden lämpö siirtyy jokiveteen, joka lämmentyneenä palaa jokeen.

Sekundääripiirissä kiertää vesi, joka lämpenee, kun jäähdytettävien kohteiden lämpöenergia siirtyy siihen. Lämmennyt vesi virtaa jokivesilämmönvaihtimiin, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa. Tämän jälkeen viilennyt vesi virtaa takaisin jäähdytettävien kohteiden luo.

Jäähdytyskohteiden lisäksi alipainekiteytintä jäähdytetään pintalauhduttimen avulla johtamalla jokivettä suoraan pintalauhduttimelle, jossa jokivesi lämpenee ja palaa jokeen. Pintalauhduttimelta syntyy hiukan lauhdevettä, joka johdetaan tällä hetkellä viemäriin, mutta jonka veden lämpöä on mahdollista ottaa talteen ja johtaa lämpöpumppulaitokselle kaukolämmön tuottamiseksi.

Lämpöpumppulaitos kytketään osaksi nykyistä jäähdytysvesijärjestelmää siten, että nykyistä järjestelmää voi käyttää itsenäisesti ilman lämpöpumppulaitoskytkentää tai nykyinen järjestelmä ohitetaan ja käytetään lämpöpumppulaitosta jäähdyttämään sekundääripiirin vettä. Venttiileillä mahdollistetaan nykyisen kytkennän ohittaminen tai toteuttaminen tilanteen mukaan. Kun halutaan tuottaa kaukolämpöä, lämmönvaihtimia tai jokivettä ei käytetä. Lämmennyt vesi virtaa suoraan jäähdytettävien kohteiden luota lämpöpumppulaitokseen, josta palaava kylmä vesi jakautuu jäähdytyskohteisiin. Osa vedestä kulkeutuu pintalauhduttimelle, jossa se lämpenee jäähdyttäen suoraan prosessia, ja kulkeutuu sen jälkeen takaisin lämpöpumppulaitokseen.

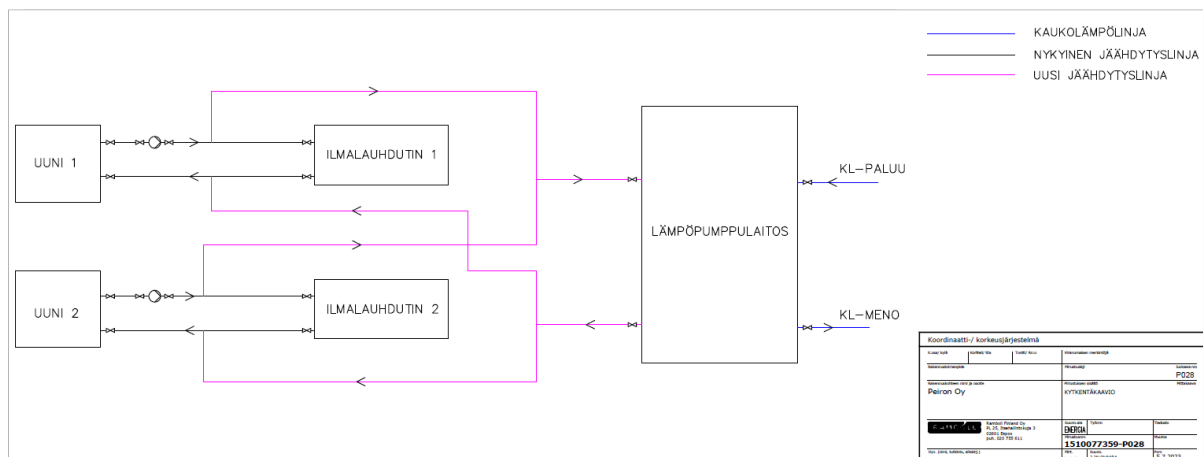
Lämpöpumppulaitos koostuu todennäköisesti kahdesta lämpöpumpusta, joiden kokonaislämpöteho on noin 1400 kW, kokonaissähköteho noin 700 kW ja joiden käyttämän sähkönn jännite on 400 V.

Jäähdytyskohteiden ja alipainekiteyttimen pintalauhduttimen jäähdytysveden lämpötilat, vesimäärät, veden lämpötila-erot ja lämpötehot talvella kylmimpään aikaan ja kesällä lämpimämpään aikaan on esitetty raportin luvussa 2.1.

Jäähdytyskohteissa lämpöpumppulaitoksen kautta kiertävä jäähdytysveden putkikoko on alustavasti DN150, virtausnopeus 2,2-2,3 m/s ja painehäviö 20-30 kPa/100 m. Vastaavat lukuarvot alipainekiteyttimen pintalauhduttimen jäähdytysvedelle ovat DN80, 1,6 m/s ja 35 kPa/100 m. Putkien lisäksi hukkalämmön talteenottopiiriin kuuluu mm. pumppuja, venttiileitä ja instrumentteja, joita ei ole työssä tarkasteltu.

4.2 Peiron

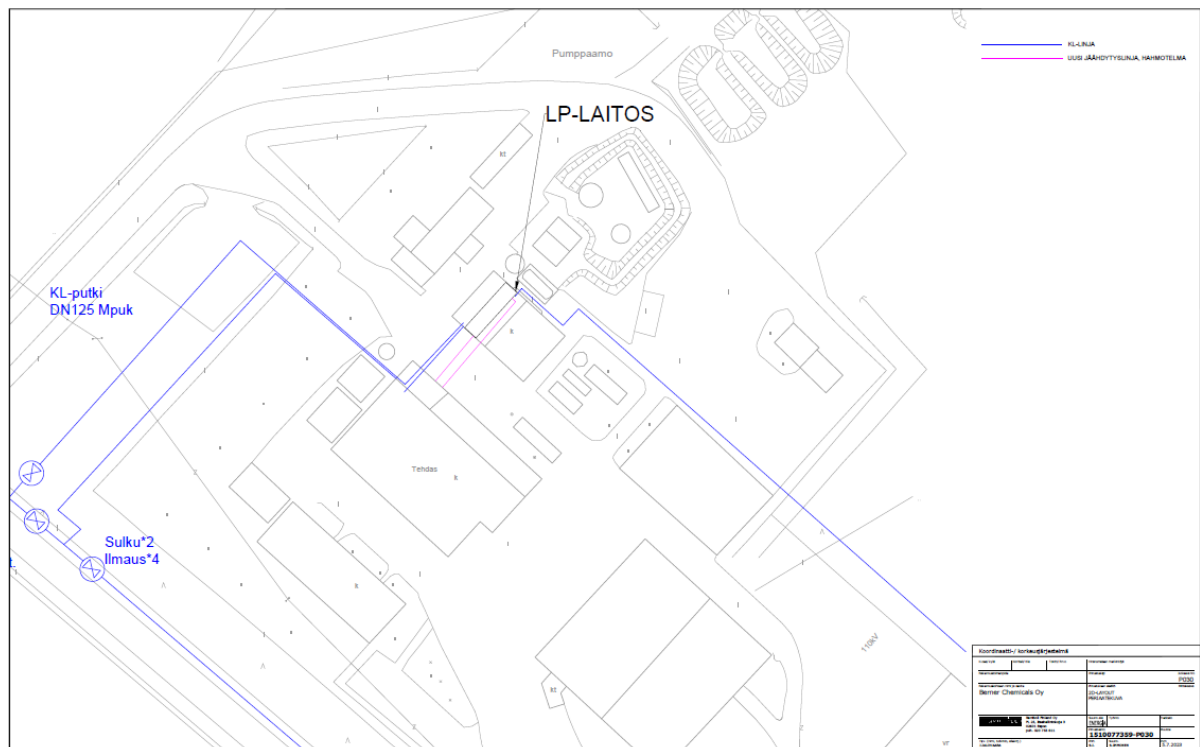
Lämmön talteenottojärjestelmän tehtävä on ottaa lämpöä talteen Peironin Kokemäen valimon hukkalämmöstä ja syöttää lämmintä vettä lämpöpumppulaitokselle, joka tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon. Lämmön talteenottojärjestelmän alustava kytkentäkaavio on esitetty alla olevassa kuvassa 9 ja liitteessä 2.



5. Lämpöpumppulaitoksen alustava sijoitus tehdasalueella sekä liityntä kaukolämpö- ja jäähdytysvesiverkkoon

5.1 Berner Chemicals

Lämpöpumppulaitoksen alustava liityntä Kokemäen kaukolämpöverkkoon ja sijoitus Berner Chemicalsin tehtaan tontilla on esitetty alla olevassa kuvassa 10 ja liitteessä 3. Kuvaan on myös hahmoteltu uuden jäähdytyslinjan alustavat reitit lämpöpumppulaitokselta tehtaan seinälle. Hukkalämpöjen talteenottopiirien putkien sijoittelua tehtaan sisällä ei ole tarkasteltu työssä.



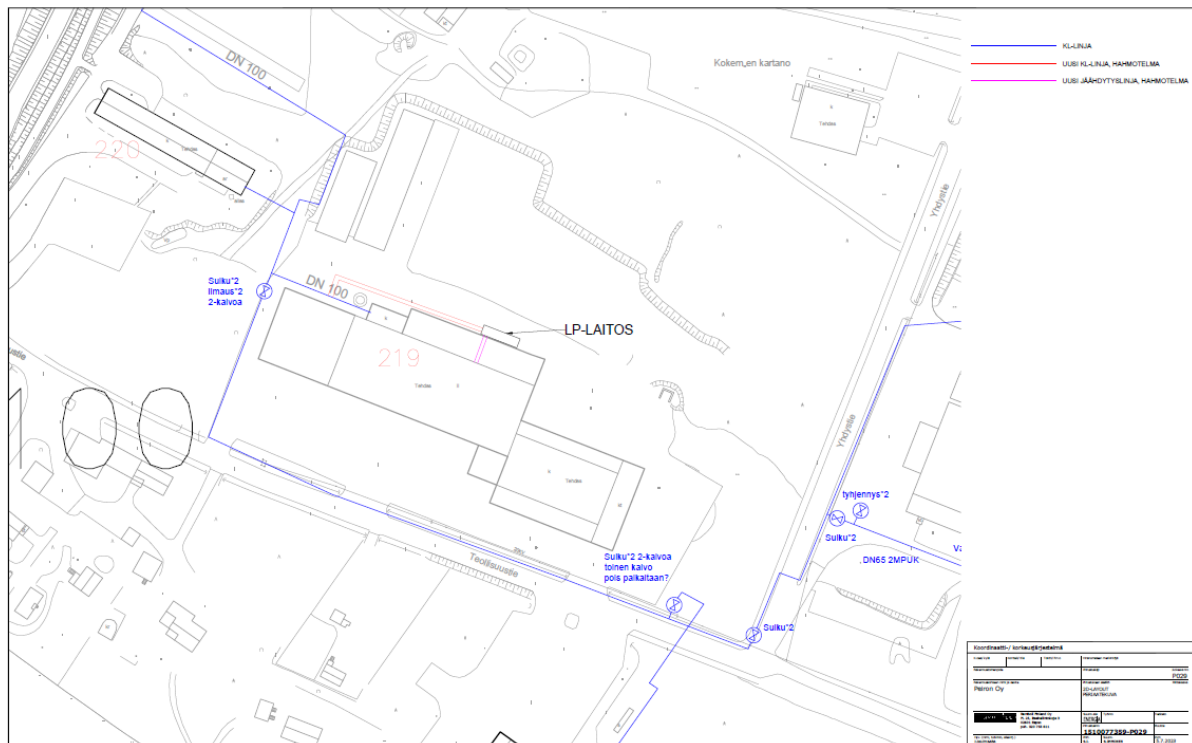
Kuva 10 Lämpöpumppulaitoksen alustava liityntä kaukolämpöverkkoon ja sijoitus

Lämpöpumppulaitos on tarkoitus sijoittaa lämpökeskukseen, jossa sille pitäisi olla riittävästi tilaa. Lämpökeskuksessa on helppo toteuttaa liityntä kaukolämpöverkkoon, koska kaukolämmön menoja paluuputket sijaitsevat lämpökeskuksessa, jolloin putkivedot ovat lyhyitä. Lisäksi päämuuntaja ja pääsähkökeskus sijaitsevat lämpökeskuksessa, mikä helpottaa lämpöpumppulaitoksen sähkön syöttöä.

Lämpöpumppulaitoksen tilantarve on alustavasti noin $14 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 84 \text{ m}^2$.

5.2 Peiron

Lämpöpumppulaitoksen alustava liityntä Kokemäen kaukolämpöverkkoon ja sijoitus Peironin valimon tehtaan tontilla on esitetty alla olevassa kuvassa 11 ja liitteessä 4. Kuvaan on myös hahmoteltu uuden jäähdytyslinjan alustavat reitit lämpöpumppulaitokselta tehtaan seinälle. Hukkalämmön talteenottopiirin putkien sijoittelua valimon sisällä ei ole tarkasteltu työssä.



Kuva 11 Lämpöpumppulaitoksen alustava liityntä kaukolämpöverkkoon ja sijoitus

Lämpöpumppulaitos on tarkoitus sijoittaa konttiin tehtaan ulkoseinän viereen, koska valimon sisältä sille ei luultavasti löydy riittävästi tilaa. Kontin paikka valittiin ilmakuvan perusteella, mutta sitä voidaan muuttaa, jos hanke käynnistyy. Liityntä kaukolämpöverkkoon vaatii uudet kaukolämpöputket, jotka pyritään sijoittamaan maan alle. Lämpöpumppulaitoksen sähkön syöttöä ei ole tarkasteltu työssä.

Lämpöpumppulaitoksen tilantarve on alustavasti noin $12 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 36 \text{ m}^2$.

6. Finnamylin hukkalämpöjen hyödyntäminen

Finnamylin tehtaan toiminta on perunan kasvukaudesta johtuen kausiluonteista ja tuotanto sijoittuu elo-syyskuun vaihteesta marras-joulukuun vaihteeseen eli on pituudeltaan noin 100 vuorokautta. Tehdas tuottaa perunasta tärkkelystä, proteiinia, rehua, lannoitetta ja kondensaattivettä.

Koska käsiteltävä raaka-aine on biologinen, tuotanto joudutaan ajamaan alas linjaston pesemistä varten kaksi kertaa viikossa. Pesut tehdään maanantai- ja torstai-aamuisin ja sen kesto on 4 tuntia. Tämä tarkoittaa, että toiminta-aika on noin 2300 tuntia vuodessa.

6.1 Lämpöenergian käyttö

Finnamylin tehdas käyttää erilaisia lämpöjakeita, joiden käyttö ja keskimääräinen lämpöteho vuonna 2021 olivat:

- Kaukolämpö: 4000 MWh; 1,7 MW
- Kattilavesi: 2300 MWh; 1,0 MW
- Kuumaöljy: 2300 MWh; 1,0 MW
- Matalalämpö pesurista: 1300 MWh; 0,6 MW
- Höyry: 2200 MWh; 0,9 MW

Kaikki tuotannossa käytettävä lämpö tulee Kokemäen Lämmöltä.

6.1.1 Solunesteen lämmitys

Soluneste lämmitetään kondensaattivedellä ennen keittoa. Jäähdyneellä kondensaattivedellä jäähdytetään solunestettä ennen vedenerotusta. Kuumentunut kondensaattivesi ohjataan kuivauksen esilämmitykseen, josta sitä johdetaan 34 m³/h jätevedenpuhdistamolle 45-55 °C lämpötilassa. Jos kondensaattivesi pystyttäisiin jäähdyttämään esimerkiksi noin 20 °C:een ennen sen johtamista jätevedenpuhdistamolle, olisi siitä otettavissa talteen lämpöä noin 1200 kW:n teholla.

6.1.2 Tärkkelyskuivureiden kuivausilman esilämmitys

Kuivausilma esilämmitetään:

- Matalalämpövedellä 14 °C → 32 °C
- Kaukolämmöllä 32 °C → 70 °C
- Kattilavedellä 70 °C → 106 °C
- Kuumaöljyllä 106 °C → 120 °C
- Polttamalla propaania 120 °C → 165 °C

Kuivausilman poistolämpötila on noin 55 °C, kun se johdetaan ympäristöön (ilmaan).

6.1.3 Proteiini-kuivurin kuivausilman esilämmitys

Kuivausilma esilämmitetään:

- Kondensaattivedellä 50 °C → 65 °C
- Kattilavedellä 65 °C → 95 °C
- Polttamalla propaania 95 °C → 250 °C

Kuivausilmaa johdetaan ympäristöön (ilmaan) noin 25 000 Nm³/h, ja sen poistolämpötila on noin 100 °C. Jos kuivausilma pystytettäisiin jäähdyttämään noin 50 °C:een ennen johtamista ilmaan (eli suunnilleen samaan lämpötilatasoon kuin tärkkelyskuivureiden poistoilman lämpötila), olisi siitä otettavissa talteen lämpöä noin 300 kW:n teholla.

6.2 Tunnistetut energiansäästökohteet

Tärkeimpiä energian säästökohteita ovat

- kondensaattiveden lämmöntalteenotto ja suodatus
- proteiinikuivauksen poistoilman lämmöntalteenotto

Kondensaattiveden lämpöä voitaisiin hyödyntää tärkkelyskuivureiden kuivausilman esilämmityksessä matalalämmön ja kaukolämmön tilalla. Talteen otettava ja hyödynnettävä lämpömäärä olisi noin 2700 MWh vuodessa, joka riittäisi korvaamaan kuivausilman esilämmityksessä käytettävän matalalämmön energiamäärän 1300 MWh vuodessa kokonaan ja lisäksi karkeasti kolmasosan kaukolämmöstä eli noin 1300 MWh vuodessa. Tällöin kuivausilman lämpötila olisi noin 45 °C, josta sen lämmitystä jatkettaisiin kaukolämmöllä.

Proteiinikuivauksen poistoilman lämpöä voitaisiin hyödyntää esim. tilojen lämmityksessä kaukolämmön tilalla. Talteen otettava ja hyödynnettävä lämpömäärä on noin 700 MWh vuodessa, joka teoriassa voisi vähentää kaukolämmön käyttöä yhtä paljon, jos tilojen lämmitykseen käytettäisiin kaukolämpöä vähintään 700 MWh syyskuun alusta joulukuun alkuun. Käytännössä tuona ajanjaksona tilojen lämmittämiseen käytetään todennäköisesti selvästi vähemmän kaukolämpöä, jolloin hyödynnettävä energiamäärä jää merkittävästi pienemmäksi.

6.3 Yhteenveto

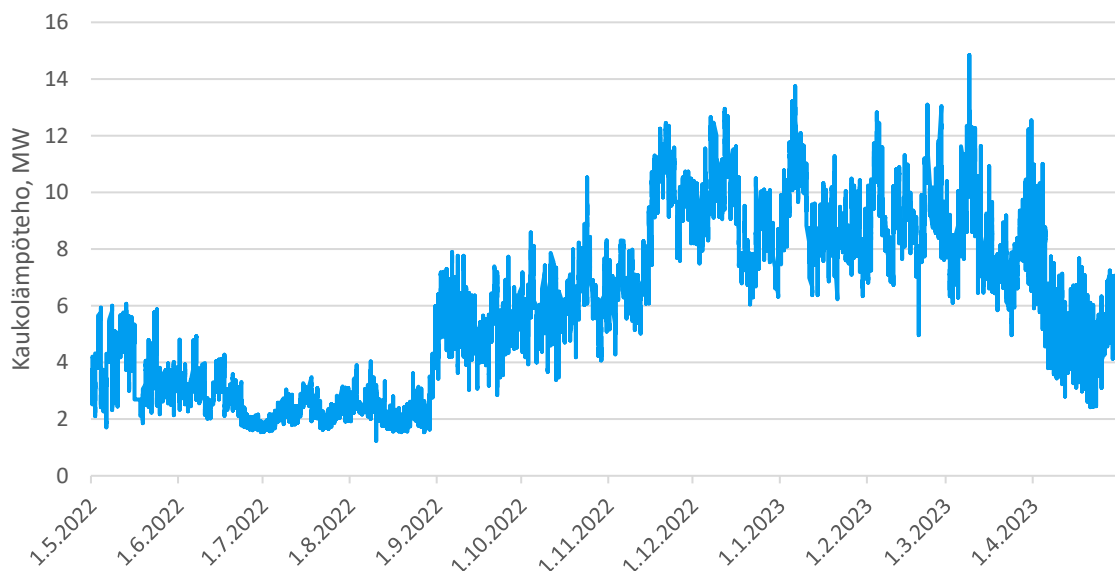
Yhteenvetona voidaan todeta, että matalalämmön 1300 MWh vuotuisesta käytöstä voitaisiin luopua kokonaan ja noin puolesta kaukolämmön 4000 MWh vuotuisesta käytöstä. Säästettävä energiamäärä olisi yhteensä noin 3300 MWh vuodessa. Näiden säästöjen toteuttaminen vaatisi investointeja, joiden suuruutta ei ole arvioitu, koska tässä esiselvityksessä on keskitytty teollisten hukkalämpöjen hyödyntämiseen kaukolämmön tuottamiseksi. Lisäksi säästöistä pitää neuvotella Kokemäen Lämmön kanssa ja löytää yhteinen sävel, jotta molempien osapuolten intressit tulevat huomioituiksi eivätkä yritysten energiakustannukset nouse nykytilanteesta.

7. Kaukolämmön tuotantomallinnus

7.1 Nykytila

Työtä varten Kokemäen kaukolämpöjärjestelmä mallinnettiin ilman ja hukkalämpöjen kanssa niiden soveltuvuuden tarkastelemiseksi osaksi Kokemäen kaukolämmöntuotantoa. Mallinnus on tehty EMD:n kehittämällä EnergyPRO-ohjelmalla.

Aluksi mallinnettiin nykytila, jonka jälkeen jokaista teollista hukkalämpö-lämpöpumppulaitosta tarkasteltiin erikseen sekä kaikkia lopuksi yhdessä. Seuraava kuvaaja (Kuva 22) esittää mallinnuksessa käytetyn kaukolämmöntuotannon Kokemäellä tarkastelujaksolla 1.5.2022–30.4.2023. Kokemäen Lämmön vuotuinen kaukolämmöntuotanto on noin 50 GWh/a. Kokemäen Lämpö tuottaa myös esimerkiksi kuumaa vettä teollisuusasiakkailleen, mutta sen tuotantoa ei ole mallinnettu työssä, koska lämpöpumput tulisivat tuottamaan vain kaukolämpöä.



Kuva 22 Kaukolämmöntuotanto Kokemäellä 1.5.2022–30.4.2023

Kokemäen Lämmön kaukolämmöntuotanto perustuu tällä hetkellä voimakkaasti kiinteän polttoaineen kattiloiden (KPA-kattilat) tuotantoon, jotka polttavat polttoaineinaan haketta ja muita puuperäisiä polttoaineita. Kokemäen Lämmön Kartanonvoiman tuotantoalueella sijaitsevat KPA-kattilat K1 ja K6, joiden lisäksi Kokemäen Lämmöllä on Finnamylin perunajauhotehtaan yhteydessä kolmas KPA-kattila K5. K1- ja K5-kattiloiden kaukolämpöteho (KL-teho) on noin 6 MW ja K6 kattilan KL-teho on noin 7 MW kun otetaan huomioon kattiloiden savukaasupesurien lämmöntalteenotto (LTO).

Kattiloille on oletettu myös 1 MW:n minimitehot. LTO huomioiden kattiloiden hyötysuhde on noin 100 %. Mallinnuksessa on oletettu K1-kattilalle korkein hyötysuhde, K6-kattilalle toiseksi korkein ja K5-kattilalle heikoin hyötysuhde KPA-kattiloista, jotta niiden ajojärjestys on oikea mallissa. Kattiloiden polttoaineen hinnaksi on oletettu 20,00 €/MWh, jolloin noin 100 %:n hyötysuhteella niillä tuotetun lämmön hinta on myös noin 20 €/MWh.

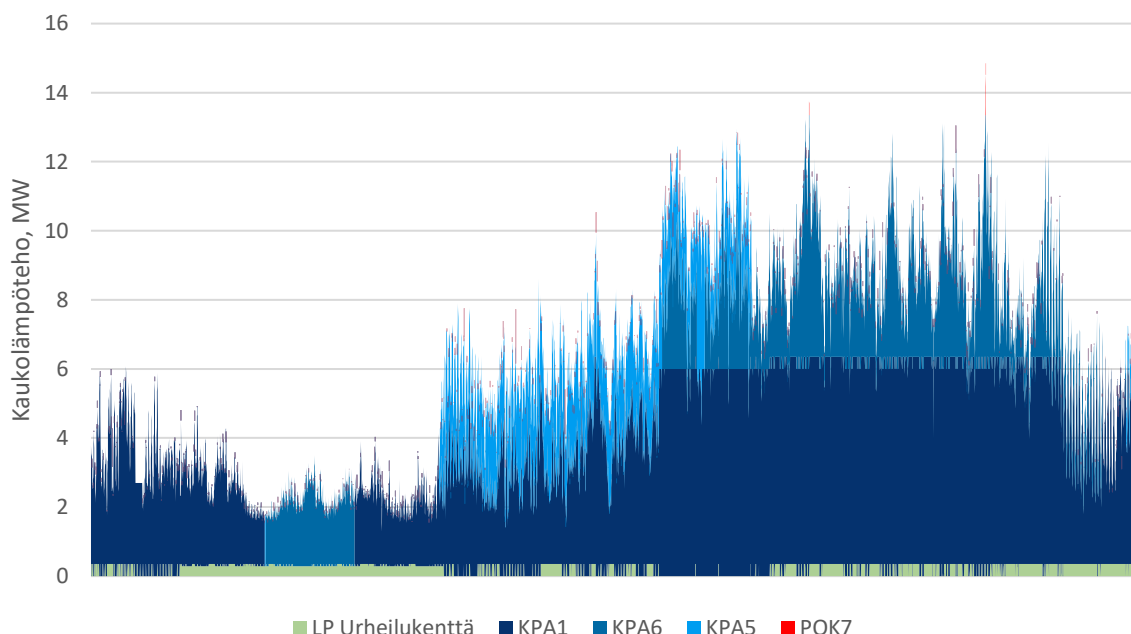
KPA-kattiloiden lisäksi Kokemäen Lämpö tuottaa Urheilukentän lämpöpumppulaitoksella (LP-laitos) kaukolämpöä ja -kylmää kesäaikaan ja vain kaukolämpöä sähkön hinnan mukaan lämmityskaudella. Laitoksen KL-teho on 350 kW.

Lämpöpumppujen käyttämän sähkön spot-keskihinnaksi on työssä oletettu 40,00 €/MWh ja sen vaihtelu on otettu samalta ajanjaksolta 1.5.2022–30.4.2023 kuin KL-teho. Tämän jälkeen sähkön hintaan on lisätty Kokemäen Sähkön siirtomaksut sekä muut sähkömaksut kuten sähkövero ja huoltovarmuusmaksu. Talvipäivisin (1.11.–31.3 07:00–22:00) siirto- ja muut maksut ovat mallissa 30,03 €/MWh ja muina aikoina 36,73 €/MWh (Kokemäen Sähkön pienjännitteinen kausitehosähkö -tuote). Eli keskimäärin sähkön kokonaiskeskihinnaksi on oletettu työssä noin 72 €/MWh, josta valtaosa vaihtelee spot-hinnan sekä vuorokauden- ja vuodenajan suhteen.

Urheilukentän LP-laitoksen COP-lämpökerroin on vakioitu 3,25:een (3,0–3,5), jolloin sillä tuotetun lämmön hinta on keskimäärin noin 22 €/MWh, silloin kun laitoksella ei tuoteta kylmää. COP-lämpökerroin kuvaa tuotetun lämmön ja lämmöntuottamiseksi tarvittavan sähkön suhdetta. COP-lämpökerrointa ei tule sekoittaa lämpöpumpun hyötysuhteeseen, vaikka kerrointa voi käyttää hyötysuhteen tapaan, kun halutaan verrata tuotetun ja kulutetun energian suhdetta.

Mallissa on myös yksi Kokemäen Lämmön kevyen polttoöljyn (POK) kattila K7 perunajauhotehtaan tuotantoalueella huippukäyttöä varten. Käynnistys- ja poikkeustilanteita lukuun ottamatta huippukattiloita ei käytännössä tarvita lämmöntuotannossa. K7-kattilan KL-teho on 4 MW, sen hyötysuhteeksi on oletettu 90 % ja polttoaineen kokonaishinnaksi 100,00 €/MWh.

Seuraava kuva (Kuva 13) esittää mallinnetun tuotannon nykytilassa. Kuvasta nähdään KPA-kattiloiden tuottavan lähes kaiken Kokemäen kaukolämmöstä. Urheilukentän LP-laitos tuottaa jonkin verran lämpöä silloin kun sähkön hinta on alhaalla tai kylmää tarvitsee tuottaa. K1-kattilan on oletettu olevan pois käytöstä heinäkuun ajan eli sen huoltoseisakin ajan. K5-kattila tuottaa mallissa perunajauhotehtaan tarvitseman kaukolämmön silloin kun perunajauhotehtaan oma tuotanto käy syyskuun alusta joulukuun alkuun.



Kuva 13 Mallinnettu nykytila

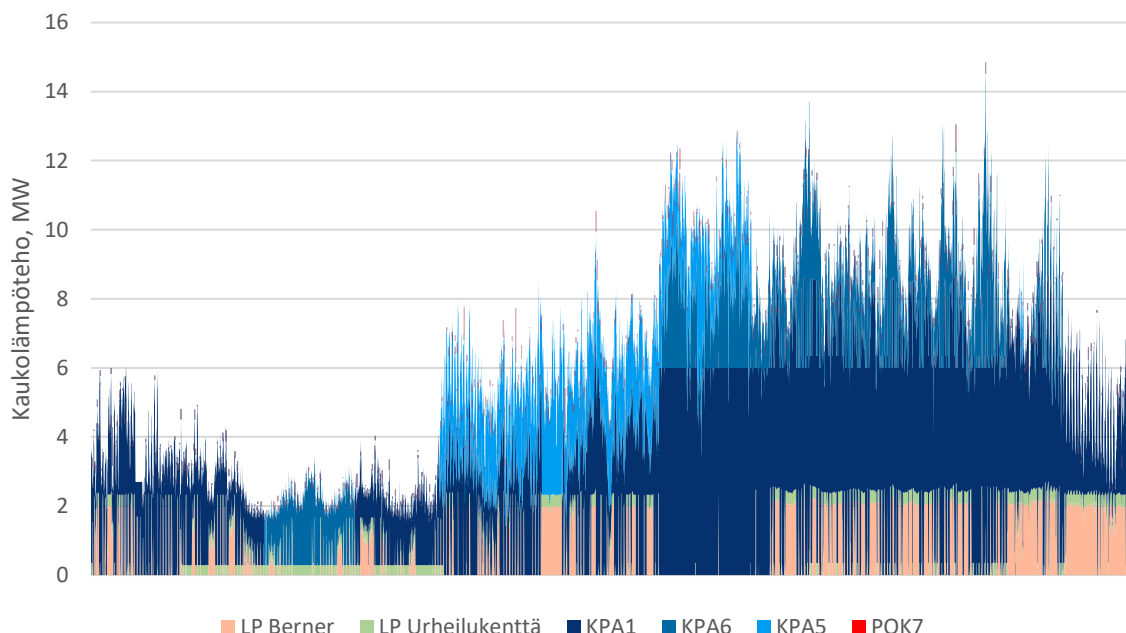
7.2 Berner

Seuraavaksi mallinnettiin Kokemäen kaukolämpöjärjestelmä Bernerin hukkalämpöjen kanssa. Hukkalämpöjen kaukolämpöä matalamman lämpötilatason takia kaikkien kolmen teollisen hukkalämmönlähteiden lämpötilatasoa joudutaan nostamaan lämpöpumpun avulla.

Bernerin lämpöpumppulaitoksen höyrystinlämpötila on työssä oletettu noin 5 °C:een, jotta Bernerin tuotantoprosesseja saadaan jäähdytettyä tarpeeksi. Bernerin lauhdutinlämpötila on oletettu 10 °C kaukolämmön menolämpötilaa matalammaksi, koska Kokemäen Lämpö toimittaa Bernerille erikseen kuumaa vettä kaukolämmön lisäksi. Tätä kuumaa vettä voitaisiin hyödyntää Bernerin lämpöpumppulaitoksen tuottaman kaukolämmön priimaamiseen. Lauhdutinlämpötilalla 75 °C (kaukolämmön menolämpötila 85 °C), höyrystinlämpötilalla 5 °C ja LP-laitoksen hyötysuhteella 60 % laitoksen COP-lämpökerroin olisi noin 3,0. Mallissa LP-laitoksen COP vaihtelee, koska malli ottaa huomioon vaihtelevan kaukolämmön menolämpötilan. Ollen siis keskimäärin noin 3,0. Lisäksi LP-laitoksen käyttämän sähkön hinta vaihtelee mallissa, jolloin laitoksen tuottaman lämmön hinta vaihtelee jatkuvasti samaan tapaan kuin Urheilukentän LP-laitoksella.

Bernerin LP-laitoksen jäähdytysteho, tai toisin sanoen LTO-teho tai höyrystinteho, on oletettu olevan syyskuun alusta kesäkuun loppuun noin 1,4 MW ja heinä—elokuussa 0,9 MW, jolloin edellä mainitulla COP:lla lämpöpumppulaitoksen KL-teho on noin 2,1 MW lämmityskaudella, kun kompressorissa muodostuva lämpö huomioidaan jäähdytystehon lisäksi (lauhdutinteho).

Seuraava kuva (Kuva 14) esittää mallinnetun lämmöntuotannon Bernerin LP-laitoksen kanssa. Dynaamisen sähkön hinnan ja COP:n sekä kaukolämpöjärjestelmän rajoitteiden seurauksena Bernerin LP-laitos kävisi verrattain katkonaisesti työn perusoletuksin.



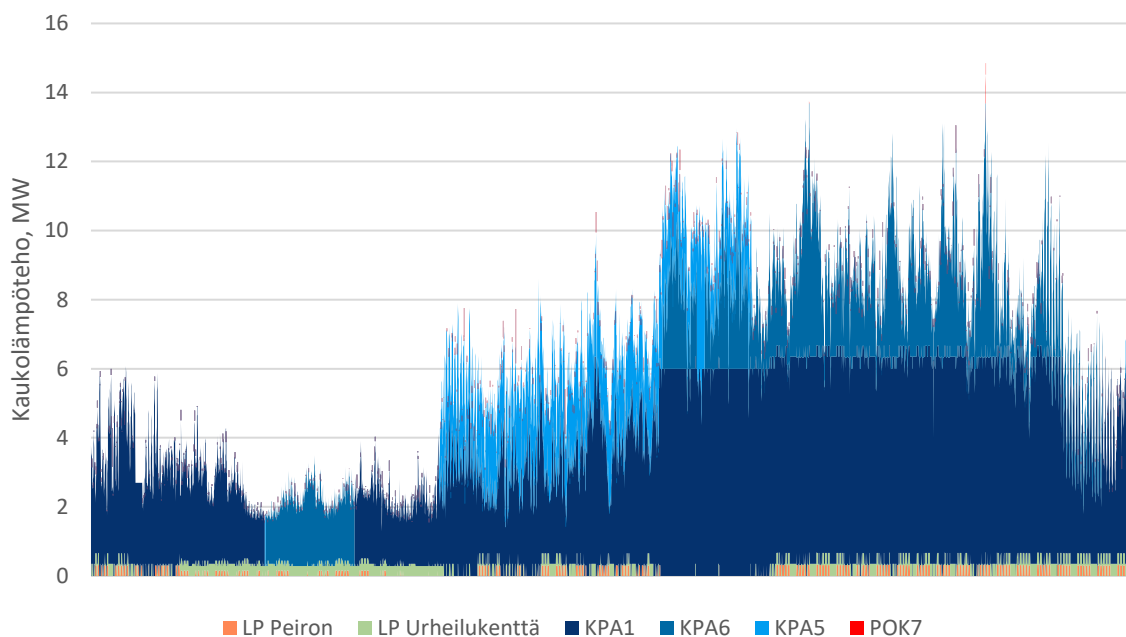
Kuva 14 Mallinnettu tuotanto Bernerin hukkalämpöjen kanssa

7.3 Peiron

Peironilla on Berneriä huomattavasti matalampi jäähdytystehon tarve eli hukkalämpöä olisi saatavilla Peironilta huomattavasti vähemmän. Jäähdytysteho on arviolta noin 250 kW syyskuun alusta toukokuun loppuun ja puolet tästä kesä-elokuussa. Lisäksi Peironin prosessit käyvät vain kahdessa vuorossa arkipäivisin, jotka laskevat hukkalämmön saatavuuden peräti alle 50 %:iin ajasta.

Lämmöntuotannon kannalta Peironin etuna on kuitenkin hukkalämpöjen korkea lämpötilataso. Työssä höyrystinlämpötilaksi on oletettu 42 °C ja lauhdutinlämpötilaksi 3 °C kaukolämmön menolämpötilaa korkeampi lämpötila. Kyseisillä lämpötilasoilla ja LP-laitoksen 60 %:n hyötysuhteella laitoksen COP olisi noin 4,7. Tällöin LP-laitoksen kaukolämpöteho olisi noin 300 kW lämmityskaudella.

Seuraava kuva (Kuva 15) esittää kaukolämmöntuotannon Peironin hukkalämpöjen kanssa. Kuvasta nähdään, että Peironin LP-laitos kävisi verrattain vähän muuttuvien sähkön hinnan ja COP:n sekä hukkalämpöjen heikon saatavuuden seurauksena.



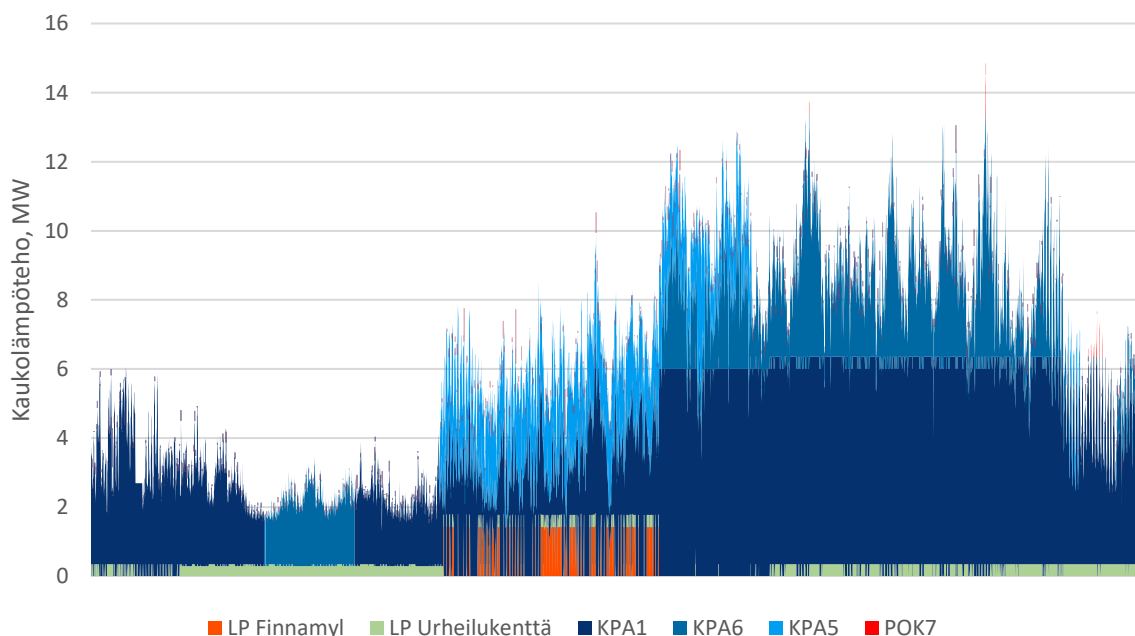
Kuva 15 Mallinnettu tuotanto Peironin hukkalämpöjen kanssa

7.4 Finnamyli

Finnamylin oma tuotanto ajoittuu syyskuun alusta joulukuun alkuun, jonka seurauksena hukkalämpöä on saatavilla kaukolämmöntuotantoon vain noin kolmen kuukauden ajan vuodesta. Lisäksi Finnamylin tuotannon aikana on pesuja, jotka edelleen laskevat hukkalämmön saatavuutta. Pesujen takia mallinnuksessa on oletettu hukkalämpöä olevan saatavilla 23 tunnin ajan vuorokaudesta Finnamylin tuotantokaudella.

Finnamylin LP-laitoksen höyrystinlämpötilaksi on oletettu 22 °C ja lauhdutinlämpötilaksi 3 °C kaukolämmön menolämpötilaa korkeampi lämpötila. Finnamyylilla voisi olla mahdollisuus priimata LP-laitoksen tuottamaa lämpöä muilla tuotantoyksiköillä COP:n parantamiseksi, kuten Bernerillä, mutta työssä lauhdutinlämpötilana on siis käytetty kaukolämmön menolämpötilaa korkeampaa lämpötilaa, koska asiasta ei ole varmuutta. Finnamylin LP-laitoksen COP olisi keskimäärin noin 3,3 edellisillä lämpötilatasoilla ja laitoksen hyötysuhteella 60 %. Finnamylin jäähdytystehontarve on noin 1 MW, jolloin laitoksen KL-teho olisi noin 1,4 MW edellisellä COP:lla.

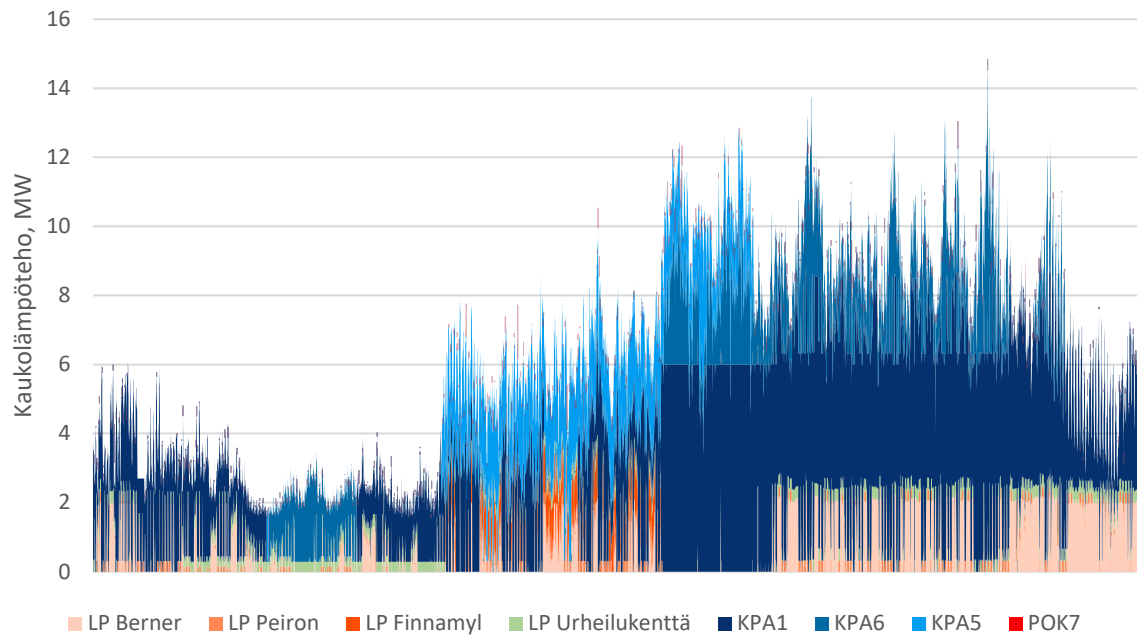
Seuraava kuva (Kuva 16) esittää mallinnetun lämmöntuotannon Finnamylin hukkalämpöjen kanssa. Kuvasta nähdään, että LP-laitoksen käyttöaste jää hyvin heikoksi erityisesti hukkalämpöjen heikon saatavuuden vuoksi. Finnamyl on kuitenkin ilmaissut aikeensa pidentää heidän tuotantokauttaan tulevaisuudessa, jolloin myös hukkalämmön saatavuus LP-laitokselle paranisi.



Kuva 16 Mallinnettu tuotanto Finnamylin hukkalämpöjen kanssa

7.5 Kaikki

Lopuksi Kokemäen kaukolämpöjärjestelmä mallinnettiin kaikilla kolmella teollisella hukkalämmöllä keskinäisten vaikutuksien arvioimiseksi. Seuraava kuva (Kuva 17) esittää kyseisen vaihtoehdon mallinnetun tuotannon. Kuvasta nähdään, että kaikki LP-laitokset tuottavat mallissa heikosti lämpöä esimerkiksi joulukuussa, koska tarkastelujakson joulukuussa sähkön hinta oli koholla.



Kuva 17 Mallinnettu tuotanto kaikkien teollisten hukkalämpöjen kanssa

7.6 Taseet ja kannattavuus

Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 3) on koottu eri vaihtoehtojen kaukolämmön tuotantomäärät tuotantoyksiköittäin. Taulukosta nähdään, että teolliset hukkalämmöt korvaisivat erityisesti Kartanonvoiman KPA-kattiloiden K1 ja K6 kaukolämmön tuotantoa. Lisäksi uutta hukkalämpöä ei ole tarkastelussa niin paljoa, että hukkalämmöt keskenään rajoittaisivat toistensa tuotantoa, vaikka kaikkien LP-laitosten kapasiteetti olisi käytettävissä.

Taulukko 3 Eri tarkasteluvaihtoehtojen lämmöntuotannon määrät

Vaihtoehto	0	1	2	3	4
Lämmöntuotanto, MWh/a	Nykytila	Berner	Peiron	Finnamyl	Kaikki
KPA1	34 595	29 966	34 162	33 596	28 710
KPA6	10 229	8 059	9 892	10 159	7 826
KPA5	5 753	5 829	5 753	5 735	5 886
POK7	5	0,1	3	14	1
LP Urheilukenttä	1 956	1 959	1 951	1 911	1 947
LP Berner		6 725			6 218
LP Peiron			777		781
LP Finnamyl				1 122	1 169
Yhteensä	52 537	52 537	52 537	52 537	52 537

Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 4) on koottu lämmöntuotantoon tarvittava energiahankinta eli primäärienergia tuotantoyksiköille. Kattiloille se on polttoaineen käyttöä ja LP-laitoksille sähkön.

Taulukko 4 Lämmöntuotannosta seuraava energiahankinta

Vaihtoehto	0	1	2	3	4
Energiahankinta, MWh/a	Nykytila	Berner	Peiron	Finnamyl	Kaikki
KPA1	32 948	28 539	32 535	31 996	27 342
KPA6	10 229	8 059	9 892	10 159	7 826
KPA5	6 055	6 135	6 056	6 037	6 195
POK7	6	0,1	4	15	1
LP Urheilukenttä	602	603	600	588	599
LP Berner		2 262			2 096
LP Peiron			167		168
LP Finnamyl				336	350
Yhteensä	602	2 865	767	924	3 213

Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 5) on koottu energiahankinnasta johtuvat muuttuvat tuotantokustannukset sekä niiden ero nykytilaan eli investointien avulla saavutettava vuosisäästö.

Taulukko 5 Lämmöntuotannon muuttuvat kustannukset

Vaihtoehto	0	1	2	3	4
Muuttuvat tuotantokustannukset, €	Nykytila	Berner	Peiron	Finnamyl	Kaikki
Kiinteät polttoaineet	984 631	854 657	969 642	963 836	827 268
Kevyt polttoöljy	553	8	370	1 497	78
Sähkön hankinta	34 928	132 792	45 296	48 927	151 788
Yhteensä	1 020 112	987 457	1 015 308	1 014 260	979 134
Ero nykytilaan eli vuosisäästö		32 655	4 804	5 852	40 978

Bernerin 2 MW:n LP-laitoksen investointiarvio on 1,6 miljoonaa euroa. Noin 33 tuhannen euron vuosisäästöllä tuotannon muuttuvissa kustannuksissa investoinnin suora takaisinmaksuaika on lähes 50 vuotta. Takaisinmaksuaika on todella pitkä. Peironin ja Finnamylin LP-laitoksien kannattavuus olisi vielä tätäkin heikompi, koska vuosisäästö on vain yksittäisiä tuhansia euroja vuodessa ja Peironin 300 kW:n LP-laitoksen investointiarvio on 400 tuhatta euroa ja Finnamylin 1,4 MW:n LP-laitoksen 1,2 miljoonaa euroa.

Lisäksi laitoksilla olisi käyttö- ja kunnossapitokustannuksia, joita ei ole otettu laskennassa huomioon, jotka edelleen laskisivat vuosisäästöä. LP-laitosten käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat tyypillisesti noin 1 % uusinvestoinnista vuodessa.

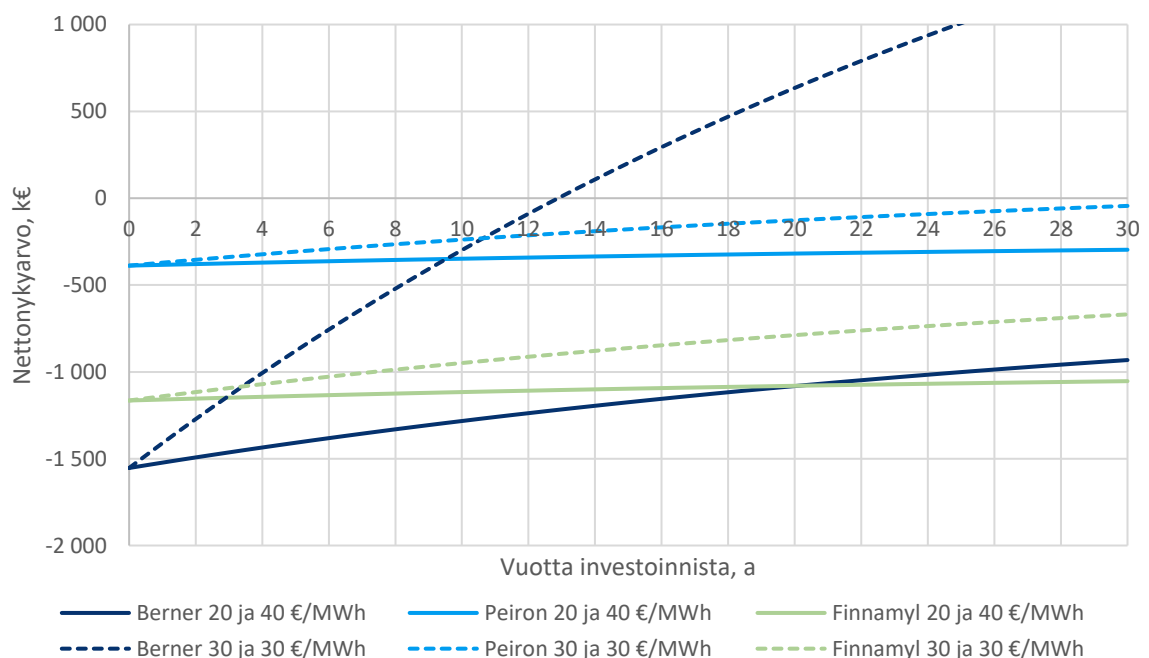
LP-laitokset on ajateltu modulaarisiksi ”konttiratkaisuiksi”, jotka tuotaisiin tehtaalta lähes valmiina laitoksina teollisuuskohteiden läheisyyteen. Peironin tapauksessa laitosratkaisu saattaa olla turhan raskas lämpöpumppujen kapasiteettiin nähden. Erityisesti, jos Peironilla on olemassa olevaa tilaa, johon lämpöpumput ja niiden apulaitteet voitaisiin sijoittaa. Tällöin investointikin saattaisi olla huomattavasti arvioitua matalampi. Myös Bernerillä tai sen läheisyydessä Kokemäen Lämmön lämpökeskuksella voisi olla valmis tila lämpöpumpuilla, joka laskisi laitosinvestointia.

LP-laitosten kannattavuus jää työssä heikoksi, koska niillä tuotetun lämmön hinta ei ole merkittävästi halvempaa kuin nykyisillä KPA-kattiloilla. Työn perusoletuksena on ollut 20,00 €/MWh:n polttoainehinta KPA-kattiloille ja 40,00 €/MWh sähkön spot-keskihinta. Kun sähkön hintaan lisätään muut sähkömaksut, on sähkön keskimääräinen kokonaishinta yli 70 €/MWh. Tällöin LP-laitoksen COP:n tulisi olla korkea ja hukkalämmön saatavuus jatkuvaa, jotta sillä tuotettu lämpö olisi KPA-kattiloilla tuotettua lämpöä merkittävästi halvempaa.

Polttoaineiden hintoihin voi kuitenkin kohdistua lähivuosina korotuksia ja sähkön spot-hinta voi laskea alle 40,00 €/MWh keskitason pitkälläkin aikavälillä. Vähintään sähkön hinnan vaihtelun voi ennustaa lisääntyvän esimerkiksi tuulivoiman lisääntyessä sähkömarkkinoilla, jolloin LP-laitoksilla voisi ajoittain tuottaa hyvin halpaa lämpöä. LP-laitoksille saattaisi olla mahdollista hankkia sähköä myös suoraan kantaverkosta, jolloin siirtomaksut olisivat huomattavasti alhaisemmat.

Kannattavuuden herkkyyden tarkastelemiseksi mallinnus ajettiin myös 30,00 €/MWh:n polttoainehinnalla KPA-kattiloille ja spot-keskihinnalla 30,00 €/MWh. Tällöin Peironin (vuosisäästö 18 k€/a) ja Finnamylin (26 k€/a) LP-laitoksien suora takaisinmaksu on selkeästi vielä yli 10 vuotta, mutta Bernerin LP-laitoksen suora takaisinmaksuaika lyhenee 11 vuoteen noin 150 k€/a:n vuosisäästöllä. Spot-keskihinnan ja KPA-kattiloiden polttoainehintojen tulisi siis lähestyä toisiaan, jotta tarkasteltujen LP-laitoksien kannattavuus paranisi tarpeeksi.

Seuraava kuvaaja (Kuva 18) esittää tarkasteltujen vaihtoehtojen nettonykyarvot (Net Present Value, NPV) 3 %:n korkokannalla perustarkastelun KPA-kattiloiden polttoainehinnalla 20,00 €/MWh ja spot-keskihinnalla 40,00 €/MWh sekä lisätarkastelun KPA-kattiloiden polttoainehinnalla 30,00 €/MWh ja spot-keskihinnalla 30,00 €/MWh (katkoviiva). Vain Bernerin lisätarkastelu maksaa itsensä takaisin alle 20 vuodessa. Sen 15 vuoden sisäinen korkokanta (Internal Rate of Return, IRR) on noin 5 %.



Kuva 18 Tarkasteltujen vaihtoehtojen nettonykyarvot 3 %:n korkokannalla

Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 6) on vielä koottu aikaisemmin esitetyt perus- ja lisätarkastelun investointi, vuosisäästö ja suora takaisinmaksuaika eri kohteisiin.

Taulukko 6 Tarkasteltujen vaihtoehtojen kannattavuus

Vaihtoehto	1	2	3	4
Kannattavuus	Berner	Peiron	Finnamyl	Kaikki
LP:n KL-teho, MW	2,1	0,3	1,4	3,8
LP:n COP	3,0	4,7	3,3	3,1
Investointi, k€	1 600	400	1 200	3 200
Vuosisäästö, k€/a	33	5	6	41
Suora takaisinmaksuaika, a	49	> 50	>> 50	> 50
Lisätarkastelun vuosisäästö, k€/a	151	18	26	182
Lisätarkastelun suora TMA, a	11	22	46	18

7.7 Yhteenveto mallinnuksesta

Mallinnuksen perusteella kolmen tarkastellun teollisuushukkalämpöjä hyödyntävän LP-laitoksen kannattavuus on heikko työn perusoletuksin. Jotta kannattavuus paranisi työn perustarkastelusta, niin tulisi nykyisten KPA-kattiloiden polttoainehinnan nousta tai käänteisesti LP-laitoksilla tuotetun lämmön hinnan laskea. Lämmön hintaa laskisi sähkön hinnan lasku tai laitoksien COP-lämpökertoimen paraneminen.

Erityisesti tarkastelussa käytetty pienjännitteinen sähkön siirtomaksu "lukitsee" sähkön minimihinnankin verrattain korkeaksi. Sähköliittymä kantaverkkoon laskisi LP-laitoksen muuttuvia tuotantokustannuksia merkittävästi.

Laitosten COP paranisi hukkalämmönlähteiden lämpötilatasojen noustessa tai tuottolämpötilan eli kaukolämmön menolämpötilan laskiessa. Kannattavuutta heikentää myös Peironin ja Finnamylin tapauksissa hukkalämmön heikompi saatavuus. Kannattavuutta saattaisi olla mahdollista parantaa kohteissa pienemmällä LP-laitoksella, jolloin hukkalämpöä jäähdytettäisiin vähemmän, jolloin sen lämpötilataso pysyisi korkeampana ja COP olisi parempi. Pienempien laitoksien ominaisinvestointi (€/kW) on kuitenkin tyypillisesti korkeampi kuin suurempien.

Työssä tarkastellusta heikosta LP-laitoksien kannattavuudesta huolimatta ei kannata johtopäätöstä, että lämpöpumput ja teollinen hukkalämpö eivät soveltuisi hyvin kaukolämmön tuotantomuodoksi. Esimerkiksi työssä käytettyä polttoaineen hintaa 20,00 €/MWh voi pitää hyvin matalana. Lisäksi uutta tuotantokapasiteettia tarvittaessa lämpöpumput ovat kilpailukykyisempiä KPA-kattiloiden kanssa, kun kattiloidenkin investointi otetaan huomioon.

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä esiselvityksessä tarkasteltiin kolmea erilaista teollista toimijaa Kokemäellä – Berner Chemicals, Peiron ja Finnamyli –, joiden tuotantoprosesseissa on otettavissa talteen eri määrä hukkalämpöä eri vuoden ja vuorokauden aikana joko jäähdytysveden tai ilman muodossa.

Kaikkien kohteiden hukkalämpövesien lämpötilatasot ovat melko alhaisia (10-60 °C), joten ne eivät sellaisenaan kelpaa kaukolämmön tuotantoon, vaan hukkalämpövesien lämpötilatasoja on nostettava. Potentiaalisimpina teollisen hukkalämmön hyödyntämiskäytännönä kaukolämmön tuottamiseksi Kokemäen kaukolämpöverkkoon nähtiin perinteinen vesi-vesilämpöpumppu, jolla hukkalämpövettä voidaan hyödyntää nostamalla sen lämpötilatasoa kaukolämpöverkkoon soveltuvalle tasolle eri vuodenaikoina. Työssä tehtiin myös kirjallisuusselvitys vesi-vesilämpöpumppujen soveltuvuudesta kaukolämmön tuotantoon.

Hukkalämpötehot teollisuusyrityksissä vaihtelivat välillä 150-1400 kW ja hukkalämpöenergia-määrät noin 800-6700 MWh/a kohteesta ja vuodenaikasta riippuen. Eniten lämpöä oli saatavilla talvella ja vähiten kesällä. Talteen otettavan hukkalämmön määrään vaikutti yritysten tuotantoprosessien jäähdytystarve ja toiminnan käyntiaika.

Lähtökohtaisesti hukkalämmöstä saatavan kaukolämmön määrä on kohtuullinen ja sen muodostumispaikka on tiedossa, joten kaukolämmön voidaan olettaa mahtuvan Kokemäen kaukolämpöverkkoon lähes kaikkina vuorokauden ja vuodenaikoina ilman verkkoon vaadittavia muutoksia (laajennuksia) ja investointeja, kuten esim. verkon vahvistamista hukkalämmön muodostumispaikan lähellä. Kesällä kaukolämmön minimiteho saattaa kuitenkin joskus tulla vastaan, mikä rajoittaa ajoittain kykyä hyödyntää hukkalämpöä kaukolämmön tuotantoon.

Esiselvitystyössä tarkasteltiin Berner Chemicalsin ja Peironin teollisuuslaitosten yhteyteen ajateltujen hukkalämmön talteenotto-prosessien alustavaa kytkentää, toimintakuvausta ja mitoitusta, hyödyntämällä kyseisten yritysten jäähdytyksissä syntyvää hukkalämpöä ja tuottamalla siitä lämpöpumppujen avulla kaukolämpöä Kokemäen kaukolämpöverkkoon. Lisäksi kyseisten yritysten osalta tarkasteltiin lämpöpumppulaitoksen alustavaa sijoitusta tehdasalueella ja liityntää kaukolämpöverkkoon sekä hahmoteltiin uusien jäähdytyslinjojen alustavaa reittiä lämpöpumppulaitokselta tehtaan seinälle ja arvioitiin lämpöpumppulaitoksen tilantarve.

Finnamylin tuotantolaitoksen osalta käsiteltiin hukkalämpöjen talteenottoa ja lämmön hyödyntämistä omassa tuotannossa korvaamaan ostolämpöä, koska tuotantolaitos on toiminnassa vuoden aikana syyskuun alusta joulukuun alkuun, mikä ei mahdollista kaukolämmön tuotantoa hukkalämmöstä lämpöpumpuilla taloudellisesti kannattavasti.

Työssä mallinnettiin Kokemäen kaukolämpöjärjestelmä ilman ja hukkalämpöjen kanssa hukkalämpöjen soveltuvuuden selvittämiseksi osaksi Kokemäen kaukolämmöntuotantoa. Mallinnuksen perusteella kolmen tarkastellun teollisuushukkalämpöjä hyödyntävän lämpöpumppulaitoksen kannattavuus on heikko työn perusoletuksin.

Jotta kannattavuus paranisi työn perustarkastelusta, niin tulisi nykyisten KPA-kattiloiden polttoainehinnan nousta tai käänteisesti lämpöpumppulaitoksilla tuotetun lämmön hinnan laskea. Lämmön hintaa laskisi sähkön hinnan lasku tai laitoksen COP-lämpökertoimen paraneminen. Lisäksi tarkastelussa käytetty pienjännitteinen sähkön siirtomaksu ”lukitsee” sähkön minimihinnankin verrattain korkeaksi. Sähköliittymä kantaverkkoon laskisi lämpöpumppulaitoksen muuttuvia tuotantokustannuksia merkittävästi.

Lämpöpumppulaitosten COP paranisi hukkalämmönlähteiden lämpötilatasojen noustessa tai tuottolämpötilan eli kaukolämmön menolämpötilan laskiessa. Kannattavuutta heikentää myös Peironin ja Finnamylin tapauksissa hukkalämmön heikompi saatavuus Berner Chemicalsiin verrattuna.

Työssä tarkastellusta lämpöpumppulaitoksien heikosta kannattavuudesta huolimatta ei kannata johtopäätöstä, että lämpöpumput ja teollinen hukkalämpö eivät soveltuisi hyvin kaukolämmön tuotantomuodoksi. Esimerkiksi työssä käytettyä polttoaineen hintaa 20,00 €/MWh voi pitää hyvin matalana, jonka lisäksi uutta tuotantokapasiteettia tarvittaessa lämpöpumput ovat kilpailukykyisempiä KPA-kattiloiden kanssa, kun kattiloidenkin hankintakustannukset otetaan huomioon.

9. Jatkotoimenpidesuosituksukset

Jatkotoimenpidesuosituksina ehdotetaan:

- Tarkastelua eri toimijoilta syntyvien hukkalämpövirtojen keskitetymmästä ja kokonaisvaltaisemmasta hyödyntämisestä, jolloin lämpöpumput voisivat keskittyä palvelemaan samanaikaisesti useampia hukkalämpökohteita. Tämä saattaa vaatia uuden kaukojäähdytysverkon rakentamista Kokemäelle hyödyntämällä jo olemassa olevia Kokemäen Lämmön kaukolämpö- ja kaukojäähdytysverkostoja. Mallia voi ottaa Harjavallasta, jossa kaukolämpö tuotetaan yli 90 %:sti Suurteollisuuspuiston hukkalämmöillä.
- Berner Chemicals on uusimassa tuotantoprosessejaan ja laajentamassa tuotantoon, jolloin prosessin muuttaminen kokonaan jatkuvatoimiseksi voisi olla mahdollista. Tällöin myös jäähdytyksessä syntyvien hukkalämpöjen talteenotto ja hyödyntäminen olisi todennäköisesti yksinkertaisempaa, mutta vaatii erillisen tarkastelun sen jälkeen, kun uusimiset ja muutokset on Berner Chemicalsin osalta toteutettu. Tavoitteena voisi olla lämmön talteenotto-kytkentöjen optimoiminen hukkalämpövirtojen lämpötilatasojen nostamiseksi, jolloin lämmön talteenoton hyötysuhde ja kannattavuus paranevat. Lisäksi kannattaa harkita läheisen jäteveden puhdistamon puhdistettua jätevettä mahdollisena hukkalämmön lähteenä, jolloin lämpöpumppulaitoksen kokoa saataisiin kasvatettua ja sitä kautta investoinnin kannattavuutta parannettua.
- Peironin osalta kannattaa selvittää lämmön talteenoton potentiaali valukappaleiden vesialtaasta, koska nykyisin allas jäähdytetään tyhjentämällä se lämpimästä vedestä ja täyttämällä se kylmällä talousvedellä, jolloin syntyy hukkalämpöä. Lisäksi on syytä selvittää, syntyykö valimolla induktiuunien käyttöaikojen ulkopuolella hukkalämpöjä, joita voitaisiin ottaa helposti talteen. Peironin nykyisen jäähdytysvesivirran lämpötilataso on melko korkea, joten jäähdytysvettä voisi mahdollisesti käyttää suoraan kaukolämmön tuotantoon ilman lämpöpumppukytkentää kesällä. Tämä kuitenkin pitää selvittää erikseen. Peironin alueelta voisi löytyä muitakin hukkalämpökohteita, jos lähelle kaavoitetulle teollisuusalueelle saadaan uusia yrityksiä, kuten mm. mahdollinen akkutehdas.
- Finnamyli on käynnistänyt projektin, jonka tuloksena tehtaan kapasiteettia nostamalla käyntiaikaa voitaisiin saada pidennettyä neljällä kuukaudella nykyisestä kolmesta kuukaudesta seitsemään kuukauteen. Tämä muutos lisäisi myös syntyviä hukkalämpökohteita ja hukkalämpöjen määrää, jotka on syytä selvittää tehtaan kapasiteetin nostamisen jälkeen. Jos Finnamylin tuotantokapasiteetti kasvaa tulevaisuudessa, myös Kokemäen Lämmön intressit energiatoimituksen laajentamiseen lisääntyvät, koska tuotantokapasiteetin kasvu lisäisi hintaeroa fossiilisen polttoaineen ja biopolttoaineen välillä ja saattaisi mahdollistaa investoinnit energiantuotantoon.
- Finnamylin tavoitteena on saada kondensaattiveden lämpötila alemmaksi ja puhtaus paremmaksi, jolloin sillä voitaisiin korvata talousvettä. Tällöin toisaalta kondensaattiveden lämmön talteenoton potentiaali vähenee, mutta talousveden käyttö vastaavasti pienenee, millä lienee suurempi taloudellinen vaikutus kuin lämmön talteenotolla kondensaattivedestä tehtaan nykyisellä käyttöajalla.