



Selvitysraportti: Sähköistyminen, hukkalämmöt ja lämpöpumput teollisuudessa

01/2023

Esipuhe

Teollisuuden prosessien suora tai epäsuora sähköistyminen on ehdoton edellytys fossiilisten polttoaineiden käytön ja CO₂-päästöjen vähentämiseen. Lämpöpumppujen käyttö ja hukkalämpöjen hyödyntäminen on osa sähköistymistä ja sähköistymisellä on yleisesti positiivinen vaikutus energiatehokkuuteen. Tämä selvitys on osa Motivan kokoaman yhteishankkeen ”Sähköistyminen, hukkalämpö ja lämpöpumput teollisuudessa” tulosaineistoa. Raportissa on esitetty hankkeessa mukana olleisiin teollisuusyrityksiin tehtyjen selvitysten ja mittausten tuloksia sekä konkreettisia toimenpide-ehdotuksia. Aihetta on myös taustoitettu kirjallisuudesta löytyvin perustiedoin sekä muiden esimerkkiratkaisujen avulla.

Yhteishankkeessa ovat olleet mukana teollisuusyrityksistä Boliden Kokkola Oy, Boliden Kevitsa Mining Oy, Metsä Group, Orion Oyj, Rudus Oy, SSAB Europe Oy ja Umicore Finland Oy. Laitte- ja ratkaisutoimittajista mukana ovat olleet ABB Oy, Calefa Oy, Caligo Industria Oy, Elstor Oy, Oilon Oy ja Valmet Technologies Oy. Konsulttina ja raportin tekijänä toimi Elomatic Oy. Hankkeen rahoittivat osallistuvat yritykset, Energiavirasto sekä Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry.

Yhteishanke on osa energiatehokkuussopimuksen toimeenpanoa. Energiatehokkuussopimukset ovat tärkeä osa Suomen energia- ja ilmastostrategiaa ja ensisijainen keino edistää energian tehokasta käyttöä Suomessa.

Sisällysluettelo

Esipuhe	2
Sisällysluettelo	3
1 Johdanto	5
1.1 Työn tarkoitus ja sisältö	5
1.2 Mukana olleet yritykset	5
2 Hukkalämpö, lämpöpumput ja sähköistyminen	6
2.1 Hukkalämmön hyödyntäminen	6
2.2 Teollisuuden sähköistyminen	6
2.2.1 Sähköistymisen muodot ja tulevaisuuden trendit	6
2.2.2 Suora sähköistyminen	8
2.2.3 Lämpöpumput	8
2.2.4 Epäsuora sähköistyminen	10
3 Selvityskohteet ja niiden tehostamismahdollisuudet	11
3.1 Johdanto	11
3.2 Boliden Kokkola: Sinkin ja rikkihapon tuotantoprosessin lauhteen hukkalämpö	11
3.2.1 Kohteen kuvaus	11
3.2.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä	12
3.2.3 Toimenpiteiden kannattavuus	13
3.3 Boliden Kevitsa: Kuparin ja nikkelin tuotantoprosessin jäähdytysveden hukkalämpö	14
3.3.1 Kohteen kuvaus	14
3.3.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä	14
3.3.3 Toimenpiteiden kannattavuus	16
3.4 Umicore Kokkola: Koboltin ja akkumateriaalien valmistusprosessin jäteveden hukkalämpö	17
3.4.1 Kohteen kuvaus	17
3.4.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä	17
3.4.3 Toimenpiteiden kannattavuus	19
3.5 SSAB Hämeenlinna: Terästehtaan tuotantotilojen hukkalämmön talteenotto	21
3.6 Orion: Lääketehtaan sähköistysmahdollisuudet	21
3.6.1 Kohteen kuvaus	21
3.6.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä	22
3.6.3 Toimenpiteiden kannattavuus	23

3.7	Rudus: Betoniaseman ja betonituotetehtaan vaihtoehtoiset lämmönlähteet	24
3.7.1	Kohteen kuvaus	24
3.7.2	Saavutettavissa olevia hyötyjä	25
3.7.3	Toimenpiteiden kannattavuus	26
4	Yhteenveto ja johtopäätökset	28
4.1	Työn selvityskohteet	28
4.2	Hukkalämmön hyödyntämisen ja sähköistymisen mahdollisuudet	28
	Lähteet	30

1 Johdanto

1.1 Työn tarkoitus ja sisältö

Työn tarkoitus oli tuoda esiin mahdollisuuksia hyödyntää hukkalämpövirtoja ja sähköistymistä teollisuudessa energia- ja kustannustehokkuuden sekä päästöjen vähentämiseksi. Selvityksessä nostettiin esiin sähköistämisen, lämpöpumppu- ja hukkalämpöhankkeiden riskejä ja haasteita sekä erityisesti saavutettavissa olevia mahdollisuuksia. Tämä toteutettiin sekä kirjallisuuden, aiemmin toteutettujen hankkeiden että työssä tutkittujen teollisuuskohteiden esimerkkien avulla.

Tässä raportissa avataan kyseisiä esimerkkikohteita hieman tarkemmin. Lisäksi raportissa on linkkejä jo toteutettuihin teollisuuden lämpöpumppu- ja sähköistyshankkeisiin.

Hankkeessa mukana olleille laitetoimittajille annettiin mahdollisuus tuoda esiin omia ratkaisujaan tunnistettujen energiansäästö- ja muiden parannusmahdollisuuksien hyödyntämiseksi.

Selvityksen kohteena olleet teollisuuskohteet voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan:

1. Selkeän, jo tunnistetun hukkaenergian hyödyntämismahdollisuuksia pohtivat yritykset
2. Fossiilisille polttoaineille korvaavaa lämmönlähdettä etsivät yritykset

Työ toteutettiin Motiva Oy:n toimeksiannosta.

1.2 Mukana olleet yritykset

Konsultti ja raportin kirjoittaja: Elomatic Consulting & Engineering Oy

Teollisuusyritykset:

- SSAB Hämeenlinna
- Orion Espoo
- Boliden Kokkola
- Boliden Kevitsa
- Rudus Espoo & Tuusula
- Umicore Kokkola

Laitetoimittajat:

- Valmet Technologies Oy
- Calefa Oy
- Caligo Oy
- Elstor Oy
- Oilon Oy

2.1 Hukkalämmön hyödyntäminen

Tämän työn selvityskohteet ovat yksi otos suomalaisen teollisuuden prosesseista, ja esimerkit eivät ole sellaisenaan yleistettävissä. Hukkalämpöjen käytännön hyödyntämismahdollisuuksien selvittämiseen liittyy kuitenkin tiettyjä yleisiä perusperiaatteita, kuten hukkalämmön ja sillä mahdollisesti korvattavan primäärilämmön teho- ja lämpötilatasot sekä niiden vaihtelu vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Investoinnin kannattavuuden ja takaisinmaksuajan turvaamiseksi on järkevää toteuttaa tehostusratkaisu räätälöidysti, mahdollisuuksien mukaan laitoksessa jo olemassa olevaa infraa ja käytettävissä olevia komponentteja hyödyntäen.

Tyypillisesti yksinkertaisin hukkalämmön hyödyntämistapa on suora lämmönsiirto, mikä on mahdollista tapauksissa, joissa lämmitettävän kohteen lähtölämpötilataso on riittävästi hukkalämmön lämpötilaa matalampi. Lämpöpumpun avulla hukkalämpöä voidaan hyödyntää myös korkeampien lämpötilatavoitteiden saavuttamiseksi.

2.2 Teollisuuden sähköistyminen

2.2.1 Sähköistymisen muodot ja tulevaisuuden trendit

Teollisuuden sähköistyminen tulee olemaan keskeisessä roolissa, kun EU:n tasolla ja pian myös globaalisti tavoitellaan hiilineutraalisuutta. Keskeistä on, että sähköistyminen tarjoaa teollisuuden toimijoilla mahdollisuuksia monella tasolla. Yleisesti sähköistymisellä tarkoitetaan sähkön käytön lisäämistä (sekä absoluuttisesti, että suhteellisesti energian kokonaiskäytöstä) ja käyttösovellusten laajentamista eri toiminnan alueilla. Teollisuuden piirissä sähköistyminen voidaan jakaa seuraavaan kolmeen päähaaraan (Motiva 2021):

1. Suoraan sähköistymiseen
2. Sähköistymisratkaisut, joissa hyödynnetään lämpöpumppuja
3. Epäsuoraan sähköistymiseen, jossa sähköllä valmistetaan esimerkiksi vetyä ja synteettisiä polttoaineita.

Sähköistymiskehityksen keskeisin ajuri on EU:n päästötavoitteet tuleville vuosille. Vuoteen 2030 mennessä tavoitellaan 55 % päästövähennyksiä ja hiilineutraalisuuteen tähdätään vuoteen 2050 mennessä. Yhtenä konkreettisena toimenä EU näkee myös sektori-integraation edistämisen, jossa sähköistyminen näyttelee keskeistä roolia (Eurooppa neuvosto).

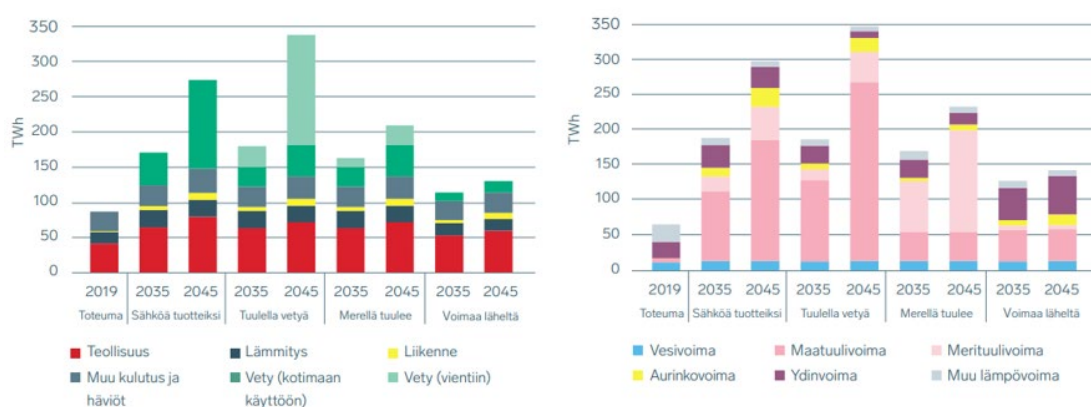
Edelliset tavoitteet jalkautuvat kansalliselle tasolle tietenkin hiukan vaihdellen ja esimerkiksi Suomella yksi keskeisimmistä asioista on tuulivoimakapasiteetin kasvattaminen, joka puolestaan avaa kasvavia mahdollisuuksia teollisuuden sähköistymiseen. Tämä tapahtuu markkinaehtoisesti, mutta tärkeää on kansallisesti varmistaa esimerkiksi hankkeiden tehokas luvitus. Teollisuuden hankkeita pyritään myös edistämään energiantensiivisen teollisuuden sähköistämistuella, joka otettiin käyttöön 2022. Tukijärjestely on määräaikainen ja sen tavoitteena on

ehkäistä hiilivuotoriskiä, turvata teollisuuden kustannuskilpailukykyä ja ohjata toiminnanharjoittajia kehittämään teollista tuotantoaan hiilineutraalimmaksi. Toiminnanharjoittajan on käytettävä myönnetystä tuesta vähintään 50 prosenttia kehittämistoimiin, joilla se tavoittelee päästövähennyksiä, energiatehokkuusparannuksia tai uusiutuvan energian osuuden lisäämistä energiankulutuksessa (Energiavirasto 2022).

Viimeistään Venäjän hyökkäyssota on ajanut monet toimijat tarkastelemaan irtaantumista maakaasusta ja potentiaalisena vaihtoehtona on korvata kaasu suoralla sähköistämällä tai hukkalämpöä hyödyntävällä sähköisellä ratkaisulla. Aina tämä ei kuitenkaan ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista olemassa oleviin prosesseihin. Sen sijaan kokonaan uusia prosesseja suunniteltaessa sähköiset prosessit ja ratkaisut ovat erittäin potentiaalinen vaihtoehto.

Teknologian kehitys avaa myös mahdollisuuksia sähköistymiselle. Erityisesti lämpöpumpputeknologian uudenlaiset kytkentämahdollisuudet sekä tuotettavan lämpötilatason kasvaminen avaavat uusia sovellusmahdollisuuksia. Erityisesti lämpöpumppusovellukset osana kaukolämmön tuotantoa ovat hyvin kasvava trendi (STT 2022). Myös vetytalouden hankkeita on julkaistu kasvavassa määrin ja sopivia soveltamiskonsepteja selvitetään laajasti. Myös digitaalisten ratkaisujen kehittäminen ja soveltaminen avaa uusia mahdollisuuksia sähköistymiselle (Ilmastopaneeli 2021).

Sähköistymiskehityksestä on tehty useita skenaarioita mm. Suomen Ilmastopaneelin, Energiateollisuuden, Sitran ja Fingridin toimesta. Tuoreimman skenaarion on toteuttanut Fingrid, joka julkaisi sähköjärjestelmävisio 2022 – tulevaisuuden järjestelmän skenaarioluonnokset -aineiston, johon he pyytävät kommentteja sidosryhmiltään. Fingrid on muodostanut neljä eri skenaarioluonnosta, jossa tarkastellaan sähkönkulutuksen ja tuotannon tulevaisuutta (kuva 1). Keskeistä kaikissa skenaariossa on sähkönkulutuksen ja -tuotannon kasvaminen vuosille 2035 ja 2045. Huomioitavaa on myös, että Suomi tuottaa kaikissa skenaarioissa enemmän sähköä kuin käyttää (=on vuositasolla yli sähköomavarainen). Suurimmat erot skenaarioiden välillä muodostaa tuotantopuolella tuulivoiman kasvuskenaariot ja käyttöpuolella vetytalouden ratkaisut.



Kuva 1 Fingrid tulevaisuuden järjestelmän skenaarioluonnokset. Sähkön käyttö (vasen kuva) ja Sähkön tuotanto (oikea kuva).

Onkin tärkeää hahmottaa, että sähköistymistä tehdään edellä mainitusti monella tasolla, hyödyntäen suoraa ja epäsuoraa sähköistymistä sekä vetytalouden ratkaisuja. Tarvitsemme niitä kaikkia ja on tärkeää hahmottaa, mitkä ratkaisut soveltuvat parhaiten mihinkin sovelluskohteeseen. Vetytalouden osalta tuulivoimahankkeita on pyrittävä edistämään kaikin tavoin ja sa-

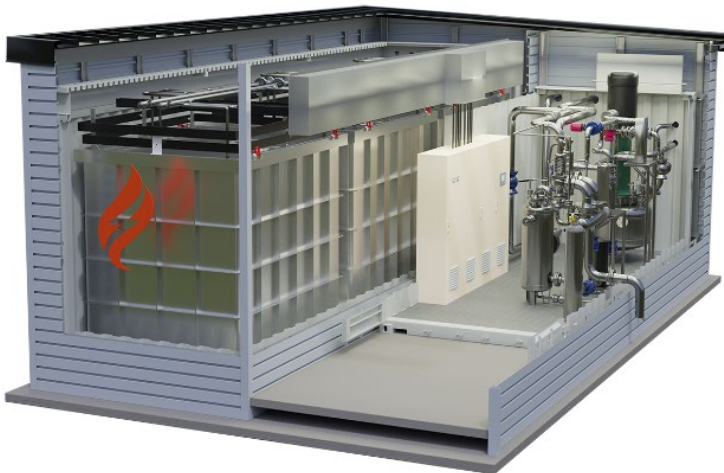
maan aikaan vedyn tuotantoon ja käyttöön liittyviä toimenpiteitä on toteutettava jo lyhyellä aikavälillä.

2.2.2 Suora sähköistyminen

Teollisessa ympäristössä suoralla sähköistymisellä tarkoitetaan sitä, että muutetaan jokin nykyisin fossiilista polttoainetta käyttävä toiminta hyödyntämään sähköenergiaa. Käytännön esimerkkejä tästä ovat esimerkiksi kaasutrukin vaihtaminen sähkötrukkiin, maakaasua käyttävän leipäuunin lämmönlähteen sähköistäminen ja sähkökattilan hyödyntäminen prosessihöyryn tai kaukolämmön tuotannossa, korvaten esimerkiksi öljykattilan. Potentiaalisia sovelluskohteita on löydettävissä lukuisia eri teollisuuden aloilta.

Suoria sähköistysratkaisuja teollisuuteen on toteuttanut tässä hankkeessa mukana olleista yrityksistä mm. Valmet Technologies Oy: [Valmet toimittaa päällystysosan uusinnan sähkölämmitteisillä ilmakuivaimilla Stora Ensolle Imatralle](#).

Sähköä voidaan myös muuttaa lämmöksi ja varata sen jälkeen lämpöakkuun. Tämä mahdollistaa edullisen sähkön hyödyntämisen lämmöntuotantoon. Hankkeessa mukana olleista yrityksistä Elstor tarjoaa sähköistä lämpöakuteknologiaa. Havainnollistus ratkaisusta on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2 Elstor-lämpöakku. [Lisätietoja: Elstor](#) (Viitattu 15.1.2023)

2.2.3 Lämpöpumput

Lämpöpumppuja hyödyntävät sähköistämiskäytännöt eroavat edellisestä luokasta hyötysuhdevaikutuksen muodossa. Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvataan COP-kertoimella, joka kertoo, kuinka monta yksikköä lämpöä saadaan tuotettua yhdellä yksiköllä sähköenergiaa. Näin ollen lämpöpumput voivat korvata fossiilisia energialähteitä siinä missä suora sähköistäminenkin, mutta samalla on saavutettavissa energiansäästöä.

Myös suorassa sähköistymisessä on mahdollisuus energiansäästöön, kun savukaasuhäviön osuus poistuu, mutta lähtökohtaisesti lämpöpumppuja hyödyntäen on mahdollista saavuttaa

merkittävämpää energiansäästöä. Lämpöpumpuilla on kuitenkin omat tekniset rajoitteensa, eivätkä ne sovellu kaikkiin kohteisiin korvaamaan fossiilista energiaa. Jos esimerkiksi tarvittavan lämmön lämpötilavaatimus on korkea, eivät lämpöpumput sovellu tarpeeseen.

Tällä hetkellä lämpöpumpuilla päästään kannattavasti jonkin verran yli 100 °C:n lämpötilatasoille ja teknisesti potentiaali liikkuu n. 150 °C:n tienoilla. Lämpöpumput vaativat tyypillisesti toiminnan stabiloimiseen varaajia, hyvän ohjauksen sekä varaenergiajärjestelmät toiminnan jatkuvuuden takaamiseksi kaikissa olosuhteissa.

Kiinnostus lämpöpumppujen hyödyntämiseen energiatehokkuuden ja lämpötalouden parantamiseksi on kasvanut mm. lämpöpumpputeknologian kehityksen myötä. Lämpöpumpuilla hukkalämpöä hyödyntäen tuotettu lämpö on kasvattanut merkitystään mm. kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämpöverkkoja on alettu mitoittaa aiempaa matalammalle veden sisäänmenolämpötilalle, mikä osaltaan mahdollistaa hukkalämmön ja lämpöpumppujen paremman hyödyntämisen lämmöntuotantoon.

Esimerkkejä toteutetuista teollisista lämpöpumppuratkaisuista on esitetty seuraavien linkkien takana (viitattu 15.1.2023):

[Orion Turku: Tuotantoprosessin jäähdytyksen lämmöntalteenotto](#): Laitos tuottaa jäähdytystä tuotantoprosessiin, josta palautuu hukkalämpöä lämpöpumpuille. Ne jalostavat matalan lämpötilan hukkalämmön 70–80-asteiseksi lämmöksi, joka johdetaan tehdasalueen kiinteistöt kattavaan aluelämpöverkkoon.

[Koskenkorva Anora: 35 °C kiertoveden lämmöntalteenotto ja lämpötilan nosto](#): Lämpöpumppu ottaa talteen lämpöenergiaa tehdasalueen noin 35 °C kiertovedestä ja tuottaa noin 90 °C kuumaa vettä. Näin veden lämpötila saadaan tasolle, josta lämpö voidaan ottaa talteen tuotantoprosessiin ja hyödyntää esimerkiksi ohratärkkelyksen kuivausprosessissa.

[Vaasan Sähkö: Yhdyskuntajäteveden lämmöntalteenotto ja hyödynnys kaukolämpöverkossa](#): Vaasan Sähkö rakennuttaa Pättin jätevedenpuhdistamon yhteyteen laitoksen, joka ottaa talteen hukkalämpöä puhdistetusta jätevedestä. Lämpö käytetään kaukolämpöverkossa ja se kattaa lähes 2 000 omakotitalon lämmöntarpeet.

[Turku Energia: Yhdyskuntajäteveden lämmöntalteenotto ja hyödynnys kaukolämpöverkossa](#): Kakolan lämpöpumppulaitoksessa tuotetaan kaukolämpöä Turun alueen kaukolämpöverkkoon jäteveden hukkalämpöä hyödyntäen.

[Helen: Yhdyskuntajäteveden lämmöntalteenotto ja hyödynnys kaukolämpöverkossa](#): Katri Valan lämpöpumppulaitos tuottaa kaukolämpöä ja -kylmää puhdistetusta jäteveden sekä kaukojäähdytyksen paluuveden lämpöä hyödyntäen.

Suomessa teollisuuskokoluokan lämpöpumppuja toimittavat ainakin (viitattu 15.1.2023):

- [Calefa](#)
 - Avaimet käteen -ratkaisut, ulkoasennettavat moduulit
 - Suuri laitos koostuu pienemmistä lämpöpumppuyksiköistä
- [Oilon](#)

- Sisäasenteiset lämpöpumput ja kokonaisratkaisut
- Suuri laitos koostuu pienemmistä lämpöpumppuyksiköistä
- [Finess Energy](#)
 - Avaimet käteen -ratkaisut, mahdollisesti leasing-palvelu
 - Suuri laitos koostuu pienemmistä lämpöpumppuyksiköistä
- [Johnson Controls](#)
 - Sisäasenteiset lämpöpumput
 - Suuret lämpöpumppuyksiköt
 - Ammoniakkia kylmäaineenaan käyttävät lämpöpumput

Lisäksi Suomeen esim. Katri Valan (Helen) ja Kakolan (Turku Energia) jätevetä lämmönlähteenään käyttävät lämpöpumppulaitokset on toimittanut Friothers, jolla ei ole toimipistettä Suomessa.

2.2.4 Epäsuora sähköistyminen

Kolmas luokka on epäsuora sähköistyminen, jossa sähköenergian avulla valmistetaan vetyä ja/tai muita synteettisiä polttoaineita. Tässä lähtökohta on, että sähköenergian avulla vesi hajotetaan elektrolyysissä vedyksi ja hapeksi. Vetyä puolestaan voidaan hyödyntää joko suoraan polttoaineena esimerkiksi laivamoottorissa tai hyödyntää energian kantajana, joka siirtää sitomansa energian polttokennoissa takaisin sähköksi. Vety voi toimia myös synteettisten polttoaineiden raaka-aineena. Tästä esimerkkeinä ovat fossiilista polttoainetta korvaavan synteettisen metanolin tai vihreän ammoniakkin tuotanto vihreää vetyä hyödyntäen.

Sähkönkäyttö ja erityisesti sen ajoittaminen tulee olemaan keskeinen elementti kaikissa vetytalouden ratkaisuissa. Vedyn tuotannossa huomattavan suuri osa käytetystä energiasta muuttuu lämmöksi. Mm. tämän takia tietyissä kohteissa suora sähköistys voikin olla paras ja kustannustehokkain tapa edistää vähähiilisyyttä. Vastaavasti pidemmässä katsannossa vetytalouden ratkaisut tulevat näyttämään keskeistä osaa energijärjestelmässämme.

3.1 Johdanto

Teollisuuden sähköistämistratkaisuissa on lähdettävä siitä, että tuotanto on aina teollisuuden ensisijainen prioriteetti ja energiajärjestelmä on sille alisteinen. Jos sähköisellä ratkaisulla on negatiivista vaikutusta tuotantoon (tuotantotehokkuus, laatu, käytettävyys, kunnossapito...), on sitä hyvin vaikea perustella toteutettavaksi. Käyttövarmuus näyttelee myös merkittävää roolia teollisessa ympäristössä ja esimerkiksi hukkalämpöä käyttävä lämpöpumppuratkaisu tarvitsee taustalleen usein varatuotantomuodon. Järjestelmien resilienssi nousee jatkossa yhä tärkeämpään rooliin, kun tulevaisuuden energiajärjestelmiä suunnitellaan.

Toinen huomioita tekijä teollisessa ympäristössä on ratkaisujen iso mittakaava, mikä realisoituu käytännössä esimerkiksi tilantarpeena ja merkittävänä investointikustannuksena. Onkin tärkeää, että suunnitteluvaiheeseen panostetaan, jotta esimerkiksi kustannusarvio saadaan toteutettu riittävän kattavasti, eikä ikäviä yllätyksiä tule varsinaisen hankkeen aikana.

Teollisuuden hankkeet voidaan jakaa karkeasti kahteen pääluokkaan: monistettaviin ratkaisuihin (esim. erilaiset konttiratkaisut), sekä räätälöityihin prosessikohtaisiin ratkaisuihin. Monistettavat ratkaisut soveltuvat erityisesti PK-teollisuuteen, kun taas raskaassa ja energiavaltaisessa teollisuudessa puhutaan monesti hyvin räätälöidyistä kokonaisuuksista. Näissä räätälöidyissä hankkeissa kokonaisvaltainen osaaminen korostuu, sillä investoinnit toteutetaan usein olemassa olevaan laitokseen ja osaksi jo toimivia prosesseja. Monistettavissa ratkaisuissa on puolestaan tärkeää huolehtia hankkeen helppoudesta ja kustannustehokkuudesta, jotta niiden kautta saadaan laaja-alaista vaikuttavuutta.

Hankkeessa mukana olleiden teollisuusyritysten tahtotilasta riippuen toteutettiin parannusmahdollisuuksiin liittyvät selvitykset joko pelkkänä kirjoituspöytätyönä tai kentällä tapahtuvien mittauksen ja tiedonkeruun sekä kirjoituspöytätyön yhdistelmänä. Seuraavassa osiossa on esitelty työn selvityskohteet ja niistä nostetut parannusmahdollisuudet.

Neljä ensimmäisenä esitettävää kohdetta (kappaleet 3.2, 3.3, 3.4 ja 3.5) olivat hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia omaavia kohteita.

Kappaleet 3.6 ja 3.7 puolestaan käsittelevät kohteita, joissa pyrittiin löytämään vaihtoehto fossiiliselle polttoaineelle.

3.2 Boliden Kokkola: Sinkin ja rikkihapon tuotantoprosessin lauhteen hukkalämpö

3.2.1 Kohteen kuvaus

Boliden Kokkola Oy tuottaa sinkkiä ja rikkihappoa Kokkolan suurteollisuusalueella. Tuotantoprosessi on hyvin energiaintensiivinen. Sähköä, höyryä ja kaukolämpöä kuluu paljon, ja myös huk-

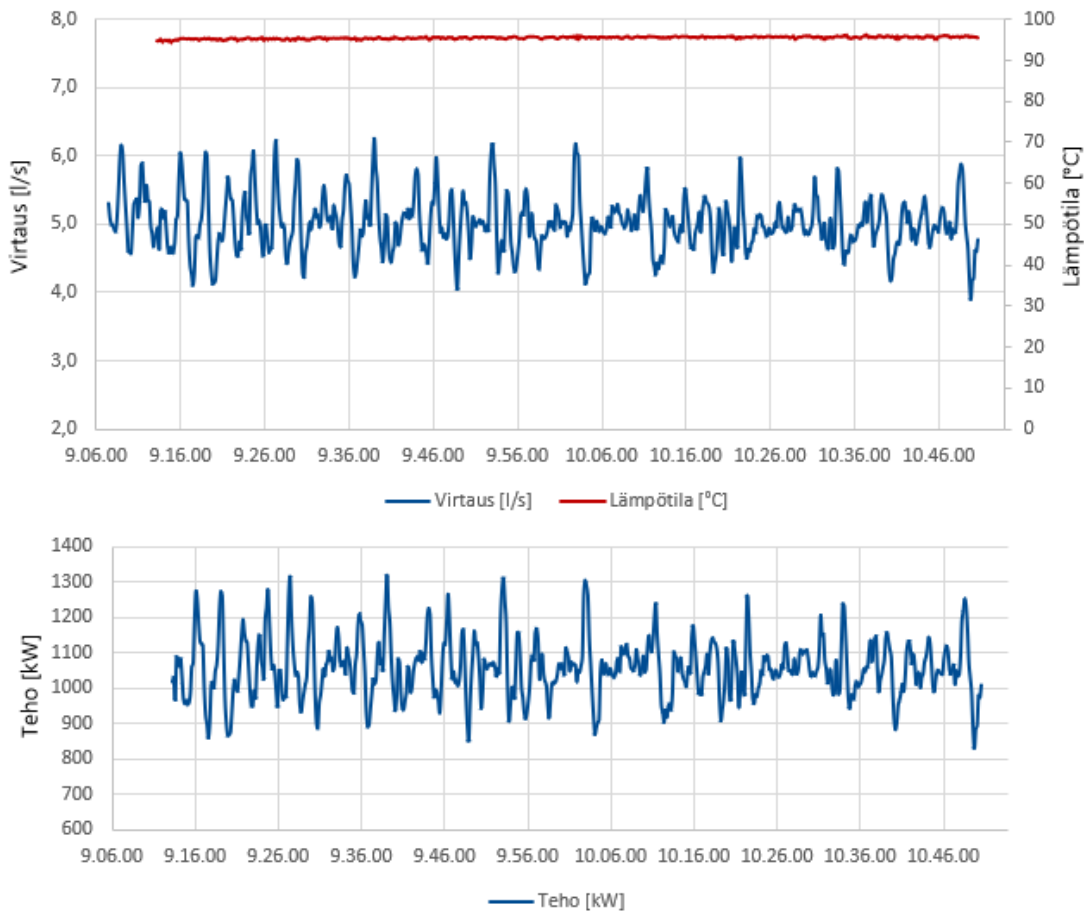
kalämpöjä on paljon hyödyntämättä. Tehdasrakennukset lämmitetään energiayhtiöltä ostetulla kaukolämmöllä

Kohteeseen tehdyn selvityksen tavoitteena oli selvittää, kuinka lauhteen hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää leikkaamaan kaukolämmön huipputehoa ja vähentämään kaukolämmön kokonaiskulutusta.

Yleensä teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät pyritään tekemään mahdollisimman suljetuiksi. Suljetussa järjestelmässä höyry luovuttaa lauhtumislämpönsä lämmityskohteelle esimerkiksi lämmönsiirtimessä. Lauhtumisen seurauksensa syntyvä lauhde palautetaan kattilalaitokselle uudelleen höyrystettäväksi. Boliden Kokkolan prosesseissa syntyy kuitenkin epäpuhtauksia sisältävä lauhdetta, jota ei palauteta voimalaitokselle. Se pumpataan kahteen säiliöön hieman alle 100 °C:n lämpötilassa. Säiliöiden lämpötilatavoitteiden kannalta sopiva lämpötilataso lauhteelle olisi n. 45 °C. Näin ollen lauhteesta on otettavissa lämpöä talteen melko paljon.

3.2.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä

Kenttäkäynnillä toteutettiin lauhteen virtaus- ja lämpötilamittauksia. Niiden perusteella laskettiin lauhteen lämpöteho verrattuna 45 °C:n lämpötilaan. Tulokset on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3 Virtaus- ja lämpötilamittausten sekä teholaskennan tuloksia.

Lauhteesta oli mittaushetkellä otettavissa talteen 800...1 300 kW, keskimäärin noin 1060 kW. Lisäksi lauhteenkeruusäiliöstä syntyvän hönkähöyryn hukkalämpöteho oli keskimäärin noin 460 kW.

Kaukolämpöä kulutetaan kohteessa vuositasolla noin 300 päivänä. Hukkalämmön suuruus ja kaukolämmön kulutus (=lämpönielu) on esitetty alla vuositason suuruusluokka-arviona.

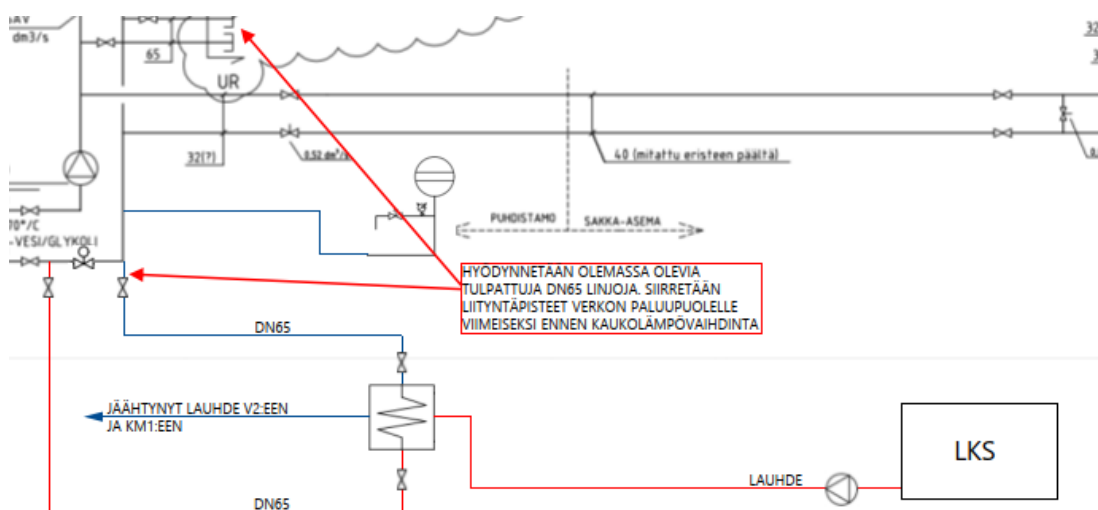
Lämmönlähteet:

- Lauhteen hukkalämpö ~ 9 000 MWh/a
- Hönkähöyryn hukkalämpö ~ 4 000 MWh/a
- Hukkalämpö Yhteensä ~ 13 000 MWh/a

Lämpönielu:

- Kaukolämmön kulutus ~70 000 MWh/a.

Hukkalämpövirtojen avulla olisi lämmönlähteiden saatavuuden ja niiden sekä lämpönielun lämpötilatasojen perusteella mahdollista leikata kaukolämmön kulutusta. Kuvassa 4 on esitetty kytkentäesimerkki lauhteen lämmön hyödyntämiseksi. Kaukolämpöverkoston komponentit kuten pumput on mitoitettu nykyistä suuremmille virtaamille, joten LTO-investointi on mahdollinen kohtuullisilla kustannuksilla.



Kuva 4 Kytkentäesimerkki lauhteen lämmön hyödyntämiseksi.

3.2.3 Toimenpiteiden kannattavuus

Lämmöntalteenottotoimenpiteiden kannattavuusarviot on esitetty alla. Kaukolämmön kustannuksena on käytetty arviota 50 €/MWh.

Lauhdelämmön LTO

- Säästettävä kaukolämpöenergia 4 750 MWh/a
- Vuosittaiset KL-kustannussäästöt 237 k€/a
- Investointikustannus ~ 28 k€
- Takaisinmaksuaika ~ 0,1 a

Hönlähöyryn LTO

- Säätettävä kaukolämpöenergia 3 100 MWh/a
- Vuosittaiset KL-kustannussäästöt 155 k€/a
- Investointikustannus ~ 41 k €
- Takaisinmaksuaika ~ 0,3 a

Hönlähöyryn ja lauhdelämmön LTO

- Säätettävä kaukolämpöenergia 4 900 MWh/a
- Vuosittaiset KL-kustannussäästöt 245 k€/a
- Investointikustannus ~ 70 000 €
- Takaisinmaksuaika ~ 0,3 a

Hukkalämmön hyödyntämiselle on siis esimerkkitapauksessa poikkeuksellisen kannattavia mahdollisuuksia. Säästöpotentiaali saadaan ulosmitattua suoralla lämmönsiirrolla.

3.3 Boliden Kevitsa: Kuparin ja nikkelin tuotantoprosessin jäähdytysveden hukkalämpö

3.3.1 Kohteen kuvaus

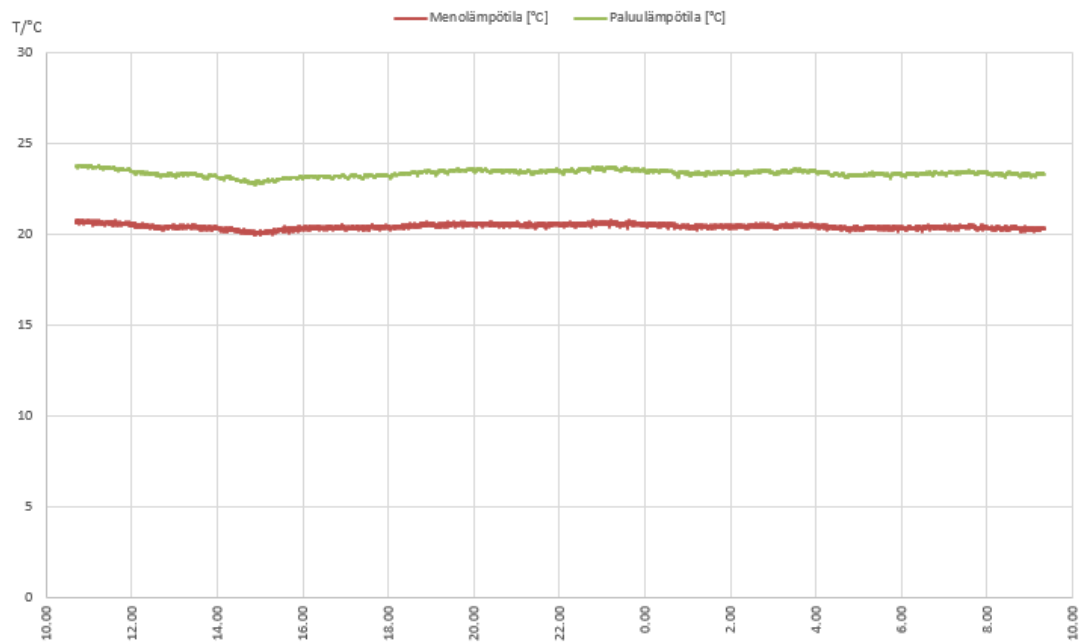
Boliden Kevitsa Mining Oy tuottaa kuparia ja nikkeliä Kevitsan rikastamolla. Tuotantoprosessi on hyvin energiaintensiivinen, etenkin sähköä kuluu tuotannossa paljon. Rikastamoalueen tehdasrakennukset lämmitetään alueella sijaitsevalla ulkoisen yrityksen operoimalla lämpölaitoksella, joka käyttää polttoaineenaan talvisin haketta ja kesäaikana hakekattilan minimitehon alittuessa polttoöljyä.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka jauhinmyllyjen moottorien, taajuusmuuttajien ja hydraulikkayksiköiden sekä paineilmakompressorien jäähdytyksen hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää rakennusten lämmitykseen korvaamaan lämpölaitoksella tuotettua lämpöä ja etenkin kesäaikaista polttoöljyn käyttöä.

Laitteiden jäähdytys on toteutettu veden avulla. Jäähdytysveden lämpötilan säätö puolestaan on toteutettu "vapaajäähdytyksellä" siten, että vesisäiliöön lisätään jatkuvasti kylmää raakavettä, joka sekoittuu jäähdytysveteen.

3.3.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä

Kenttäselvityksen aikana toteutettiin virtaus- ja lämpötilamittauksia jäähdytysvesilinjan meno- ja paluupuolella, jolloin saatiin kartoitettua jäähdytyspiiristä saatavissa oleva hukkalämpöteho. Lämpötilamittausten tulokset on esitetty kuvassa 5. Virtaus oli noin 100 l/s, joten jäähdytysteho on luokkaa 1,3...1,5 MW.



Kuva 5 Lämpötilamittausten tuloksia.

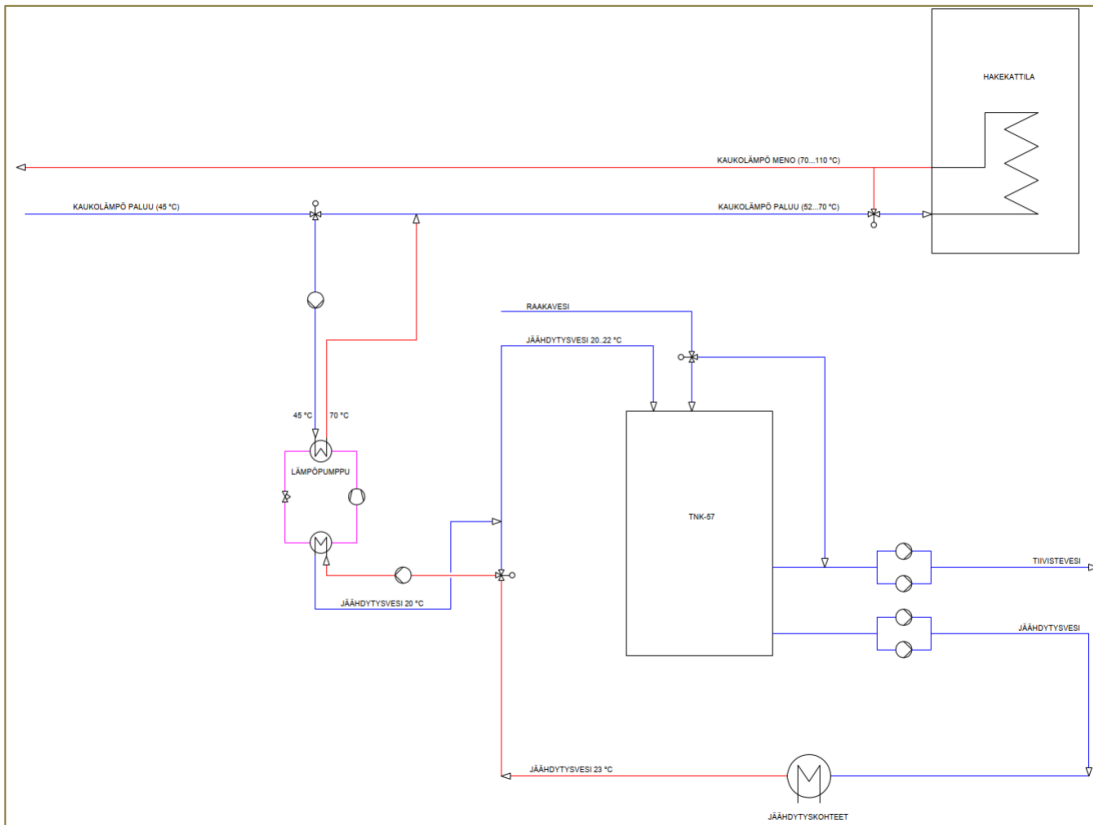
Kaukolämmön meno- ja paluulämpötiloja sekä kaukolämpötehoja on esitetty kuvassa 6. Kaukolämpötehon vaihtelu kesä- ja talviajan välillä on suurta, 0...10 MW. Öljykattila on käytössä tehon ollessa alle 1 MW. Vuositasolla kaukolämmön kulutus on noin 36 GWh.



Kuva 6 Kaukolämmön meno- ja paluuvien lämpötilat, virtaamat sekä lämpöteho.

Jäähdytyksen hukkalämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi korvaamalla kesäaikainen öljykattilan käyttö lämpöpumpulla (kytkentäesimerkki kuvassa 7):

- Hyödynnetään suurin osa hukkalämpöpotentiaalista (~ 1 MW).
- Tuotetaan 70 °C vettä kaukolämpöverkon paluupuolelle.
- Kesäaikana lämmitys pelkästään lämpöpumpulla.
- Talviaikana lämpöpumpulla esilämmitetään hakekattilan syöttövettä.



Kuva 7 Lämpöpumpun kytchentäesimerkki.

Yhteenvedona voidaan todeta, että selvityskohteen jäähdytysveden hukkalämpöpotentiaali on merkittävä ja lämpönielu on olemassa osan vuodesta. Hukkalämmön saatavuus on jatkuvaa ympäri vuoden ja vuorokauden.

Lämpöpumppu voidaan kytkeä nykyisen kylmän veden sekoituksella toimivan jäähdytysjärjestelmän rinnalle, jolloin vanha järjestelmä toimii edelleen varalla ja toteuttaa tarvittavan loppujäähdytyksen, jos lämpöpumppua ei mitoiteta koko jäähdytystarpeelle.

3.3.3 Toimenpiteiden kannattavuus

Kannattavuus riippuu merkittävästi mahdollisuudesta syöttää hukkalämpöä lämpöverkon paluupuolelle. Seuraavana vaiheena on siis käydä läpi mahdollisuudet lämmöntoimittajan kanssa. Tämän jälkeen lämpöpumppu voidaan mitoitaa mahdollisimman kannattavasti kokonaistilanne huomioiden.

3.4 Umicore Kokkola: Koboltin ja akkumateriaalien valmistusprosessin jäteveden hukkalämpö

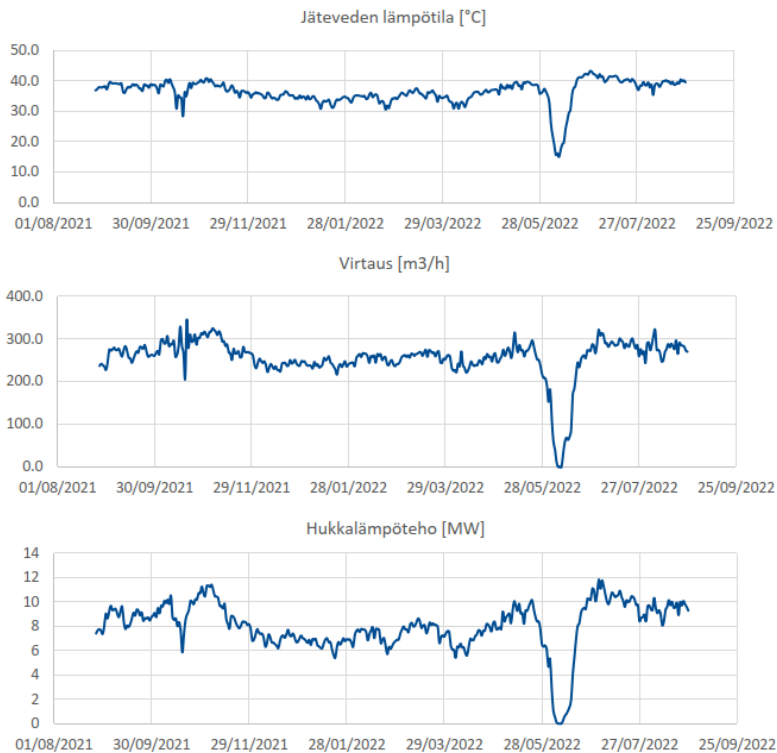
3.4.1 Kohteen kuvaus

Umicore Finland Oy jalostaa kobolttia ja valmistaa akkumateriaaleja Kokkolan Suurteollisuusalueella. Tuotantoprosessissa syntyy jatkuvasti jätevettä, jonka hukkalämpöpotentiaali oli tunnistettu. Tehdasrakennukset lämmitetään paikalliselta energiayhtiöltä ostetulla kaukolämmöllä. Tavoitteena oli selvittää missä määrin rakennusten lämmitystä voisi hoitaa jätevedestä talteen otetun hukkalämmön avulla. Lisäksi esitettiin esimerkkejä, joissa lämmöntuotanto hukkalämmöstä on toteutettu teollisuusyritykselle toimitettuna palveluna. Näitä ovat mm:

- Alva (energiayhtiö) rakentaa lämpöpumppulaitoksen Woodspin Oy:n (Spinnovan ja Suzanon yhteisyritys) tehtaan yhteyteen Jyväskylään. Alva toimittaa tehtaalle palveluna prosessi- ja tilalämmitystä sekä prosessin jäähdytystä ja tuottaa samalla kaukolämpöä tehtaalta saatavasta hukkalämmöstä. Kyseessä on Calefan toimittama 5 MW:n lämpöpumppulaitos: [linkki Alvan uutiseen](#) ja [linkki Calefan uutiseen](#).
- Vatajankoski (energiayhtiö) hyödyntää Knauf Oy:n kipsilevytehtaan kuivausprosessissa syntyvää vesihöyryä ja tuottaa siitä Caligo Industrian toimittamalla lämpöpumppusurilla kaukolämpöä. Hanke sai vuoden energianerokas 2021 –tunnustuksen. [Linkki Vatajankosken uutiseen, vuoden energianerokas](#) ja [linkki Vatajankosken uutiseen](#).
- Adven toimittaa Viking Maltin uuden mallastamon rinnalle lämmön- ja kylmäntuotannon yhdistävän lämpöpumppulaitoksen. [Linkki Advenin uutiseen](#).

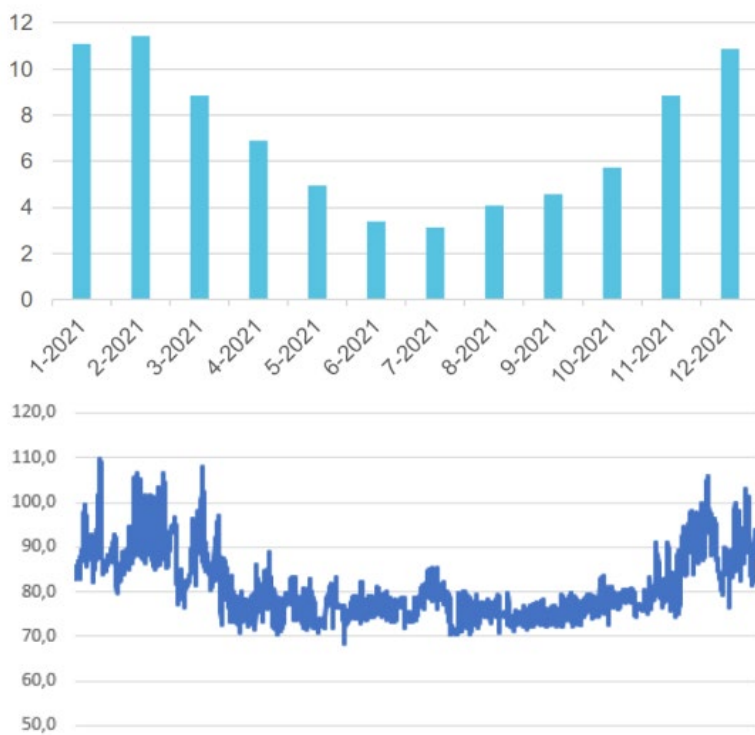
3.4.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä

Jäteveden lämpötila, virtaus ja lämpöteho verrattuna 10 °C:n lämpötilaan on esitetty kuvassa 8. Data on saatu Umicorelta, kohteessa ei toteutettu kenttämittauksia tämän työn puitteissa.



Kuva 8 Jäteveden virtaama, lämpötila ja lämpöteho lämpötilatasoon 10 °C verrattuna.

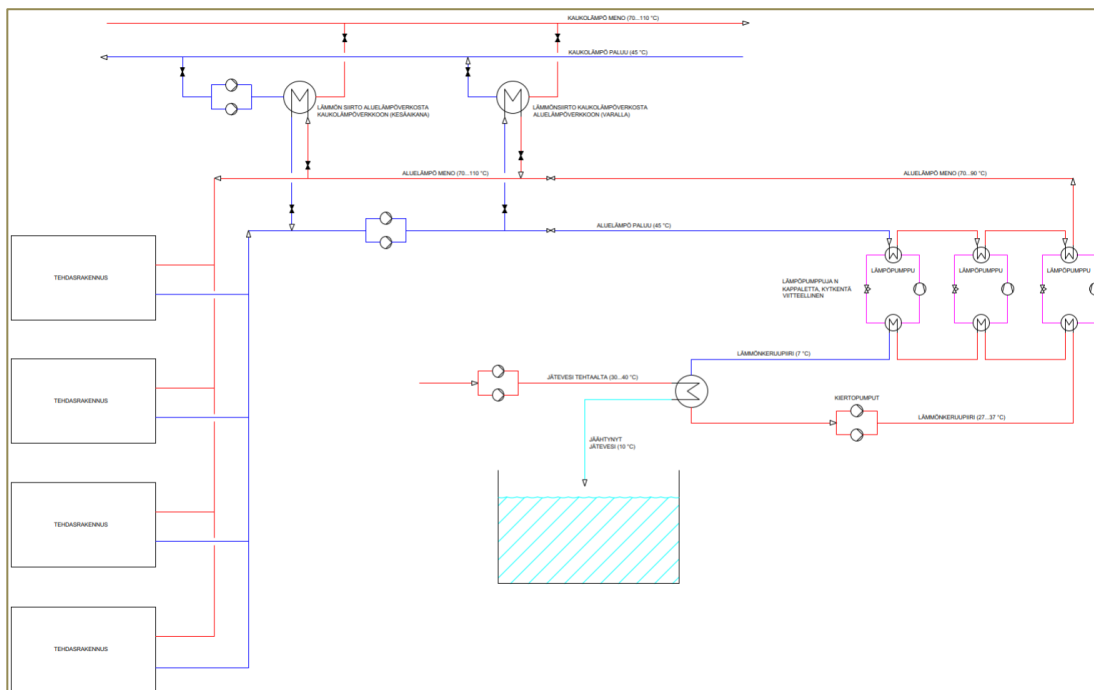
Kaukolämpöteho ja sisääntuloveden lämpötila on esitetty kuvassa 9. Kaukolämmön kulu-
tus vuonna 2021 oli 60 700 MWh. Teho vaihteli välillä 0...16 MW ja lämpötila 70...110 °C.



Kuva 9 Kaukolämpöteho, MW (yläkuva) ja sisääntulolämpötila, °C (alakuva).

Kaukolämpöä kyettäisiin lämpöpumppujen avulla tuottamaan 11–12 MW:n teholla. Lämpöpumppujen avulla saavutettava käytännön maksimilämpötila olisi kuitenkin alle 100 °C. Talvella tarvittaisiin kaukolämpöä lisälämmitykseen/lämpötilapriimaukseen 110 °C:een. Priimaus-tarvetta kannattaa tosin tarkastella kriittisesti. Lämmönkäytön tehostamistoimenpiteillä ja mi-toitusta muuttamalla on voisi olla mahdollista pudottaa maksimisäänmenolämpötilaa tasolle 100 °C. Tämä olisi paremmin pelkillä lämpöpumpuilla saavutettavissa.

KytKentäesimerkki on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10 Lämpöpumpun kytKentäesimerkki.

Nykyiset tehdasrakennuksiin menevät kaukolämpöputket irrotettaisiin energialaitoksen kaukolämmön runkolinjasta ja rakennettaisiin alueellinen lämmitysverkko.

Talviaikana lämpöpumppujen tuottama lämpötila (90...100 °C) ei riitä verkon nykyiseen maksimimitoitukseen (110 °C), joten mikäli maksimilämpötilaa ei saada pudotettua, voidaan lämpöpumppujen jälkeen menolinjaan asentaa lämmönsiirrin lämpötilan priimaukseen tarvitta-essa kaukolämmöllä.

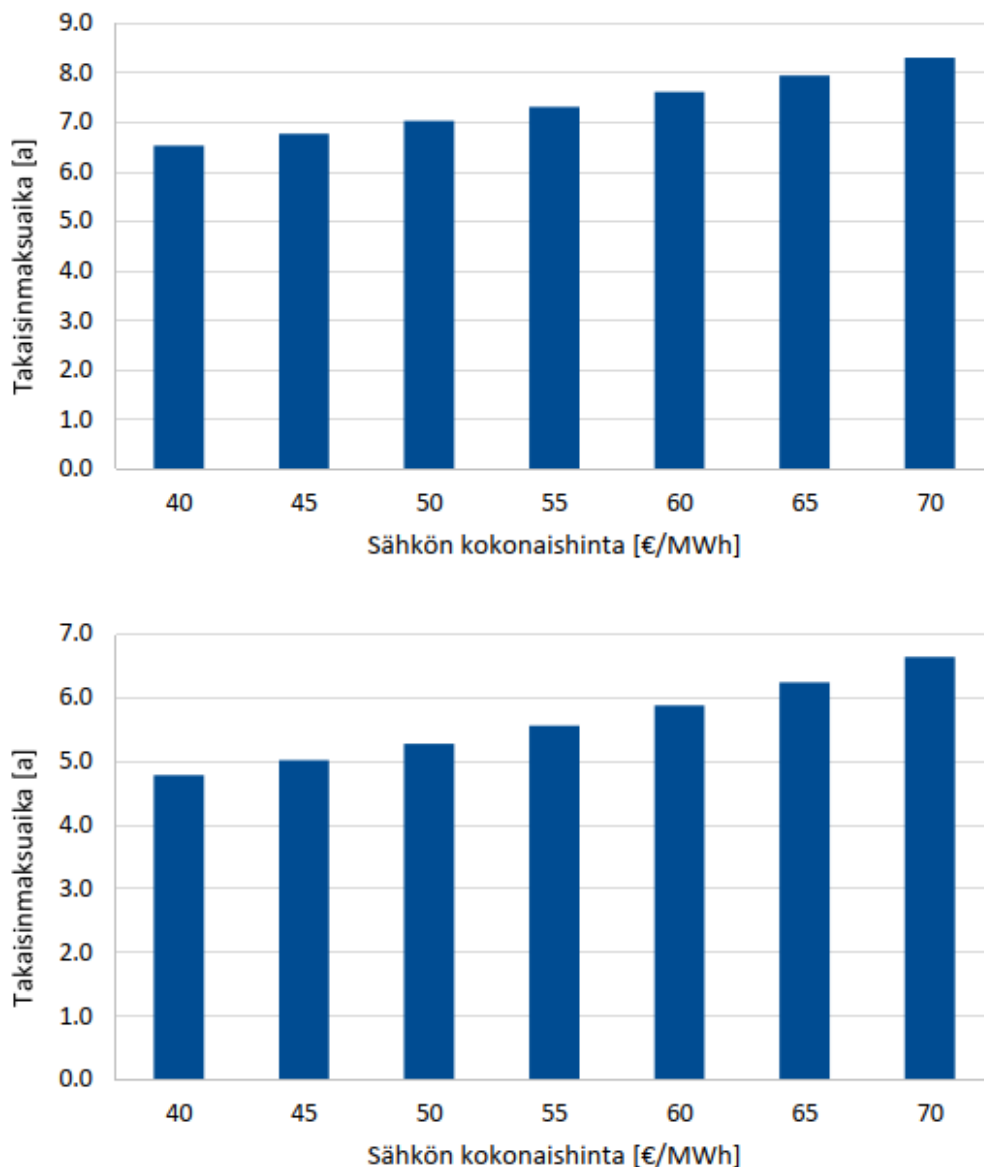
Kesällä lämpöä saataisiin tuotettua yli oman tarpeen. Lämpöpumppujen hyötysuhde olisi kesällä parempi kuin talvella ja lämpöä kannattaisi tuottaa, mikäli sen saa myytyä ulos järkevään hintaan. Tätä varten tarvittaisiin lämmönsiirrin, jolla lämpö voitaisiin siirtää energiayhtiön verk-koon.

3.4.3 Toimenpiteiden kannattavuus

Kaukolämpöä tuottavien lämpöpumppulaitosten ominaisinvestointikustannukset ovat tyypilli-sesti luokkaa 0,8...1,2 M€/MWth. Lämpöteholtaan 12 MW laitoksen investoinnin kustannus olisi siten noin 10...14 M€.

Investointikustannukseen vaikuttaa tuotettava lämpötilataso. Korkeampi lämpötilataso nostaa lämpöpumppujen vaatimuksia tai määrää ja siten kasvattaa investointikustannusta. Samalla korkeampi lämpötilataso myös heikentää lämpöpumpun lämpökerrointa (hyötysuhdetta), mikä vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen heikentävästi.

Investoinnin (14 M€) takaisinmaksuaikoja on esitetty kuvassa 11. Ylemmässä kuvaajassa on esitetty takaisinmaksuajat eri sähkön hinnoilla olettaen, että lämpöä tuotetaan pelkästään omaan käyttöön. Alemman kuvaajan arvot perustuvat oletukseen ylijäämälämmön myynnistä lämpöyhtiön verkkoon.



Kuva 11 Takaisinmaksuaika-arvioita. Yläkuva: lämmöntuotanto vain omaan käyttöön. Alakuva: ylijäämälämmön myynti energiayhtiön lämpöverkkoon.

Yhteenvetona voidaan todeta, että jäteveden hukkalämmön hyödyntämispotentialiaali on kohdetehtaassa huomattavan suuri. Lämmönlähteestä tekee suotuisan sen jatkuva saatavuus ja hyvä lämpötilataso. Tuotettavan kaukolämmön lämpötilatason vaikutus investoinnin kannattavuuteen on merkittävä, minkä vuoksi tarvittavaa lämpötilatasoa tulisi tarkastella kriittisesti ja selvittää, onko tarve käyttää lämmitykseen 110 °C vettä talvisin välttämätön tai miten lämmönkäyttöä voisi tehostaa.

Investoinnin kannattavuus muuttuu paremmaksi, mikäli ylimääräinen kesällä tuotettu lämpö saadaan myytyä energiayhtiölle tai jollekin muulle tehtaalle teollisuusalueella. Toinen vaihtoehto olisi mitoittaa lämpöpumppulaitos pienemmäksi, jolloin investoinnin kannattavuus pelkkää lämpöpumppulaitosta tarkasteltaessa voisi parantua, mutta lämpöä menisi edelleen jäteveden mukana hukkaan merkittävästi.

Hukkalämmön hyödyntämiseen palveluna luonnollinen kumppani olisi paikallinen energiayhtiö.

3.5 SSAB Hämeenlinna: Terästehtaan tuotantotilojen hukkalämmön talteenotto

SSAB Hämeenlinnan tapausta ei ollut mahdollista esitellä menemättä liian lähelle ei-julkisia tietoja, joten se on jätetty pois tästä julkisesta raportista.

3.6 Orion: Lääketehtaan sähköistysmahdollisuudet

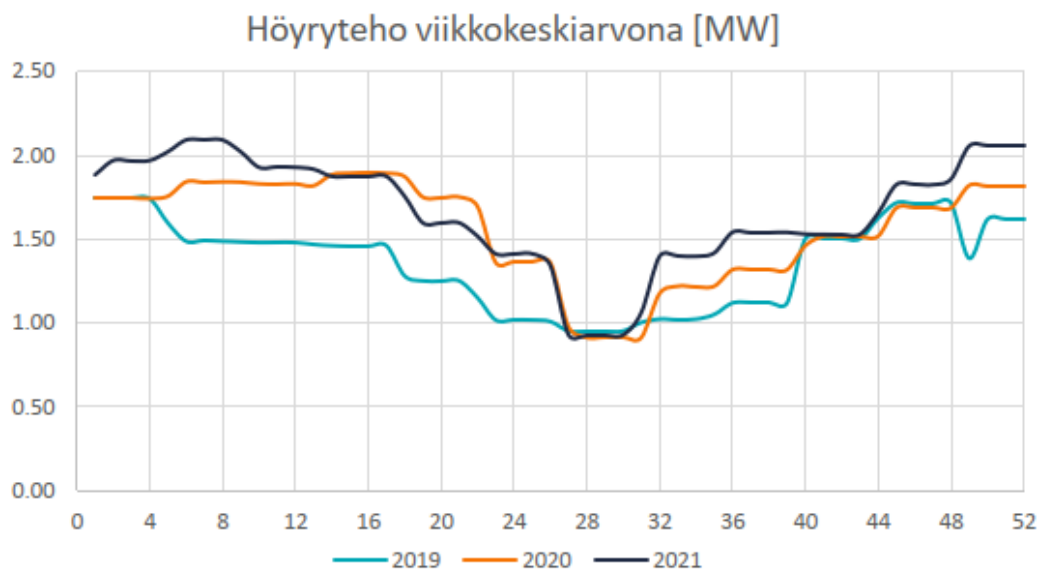
3.6.1 Kohteen kuvaus

Kohdetehtasalueella tuotettiin prosessien ja tuotantotilojen tarvitsema höyry keskitetysti maakaasukattiloilla. Yritys haluaa eroon polttoon perustuvista lämmöntuotantomenetelmistä. Työssä vertailtiin eri vaihtoehtoja vaihtoehtoisille lämmönlähteille.

Vaihtoehtoisia lämmöntuotantomenetelmiä voivat olla

1. Keskitetty höyryntuotanto sähkökattilalla, sijoitettuna esim. nykyiseen lämpölaitokseen
2. Sähköllä varattava lämpöakuteknologia
3. Prosessien ja tuotantotilojen lämmityksen suora sähköistäminen, lämpöpumpputeknologia

Tehtaan höyryteho viikkokeskiarvoina on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15 Tehtaan höyryteho.

Tarkempaan tarkasteluun otettiin alueen kaksi erillistä tehdasta. Höyrynkulutus jakautuu näiden välillä suuruusluokkatasolla tasan.

3.6.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä

Edellä mainittujen vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia on esitetty seuraavassa.

1. Sähkökattila

Sähkökattilan hyviä ja huonoja puolia on tarkasteltu alla.

- + Sijointuspaikka voisi olla nykyisessä lämpökeskuksessa.
- + Olemassa olevaa höyry- ja lauhdejärjestelmää voi hyödyntää.
- + Yksinkertainen ratkaisu, ei tarvita muutoksia lämmitystapoihin.
- Lämpöhäviöt pitkillä siirtoputkilla.
- Höyryntuotantokustannus riippuu suoraan sähkön hinnasta.
- Sähköliittymän suuruus.
- +/- Investointikustannus

Johtopäätös: Pitkien siirtoputkien ja sähkön hintariippuvuuden takia ei todettu houkuttelevaksi vaihtoehdoksi.

2. Sähköllä varattava lämpöakuteknologia

Sähköllä varattavan lämpöakuteknologian osalta tarkasteltiin hankkeessa mukana olleen Elstor Oy:n ratkaisua. Perusajatuksena on varata edullisemmalla yösähköllä lämpöä metallimassaan, josta se voidaan purkaa max. 16 bar höyrynä tai lämpimänä vetenä.

Yhden Elstor-yksikön maksimi varastointikapasiteetti on 15 MWh. Kohteen höyrynkulutusprofiiliin perusteella kannattavaksi purkutehoksi arvioitiin 2 MW ja kannattavimmaksi

lataustehoksi 2,4 MW. Teknologia mahdollistaa lataamisen ja purkamisen myös samanaikaisesti, mutta tällöin ei luonnollisesti saada täyttä hyötyä matalan sähkön hinnan tunneista.

- + Voidaan hyödyntää edullisempaa sähköä verrattuna sähkökattilaan.
- + Nykyiset prosessien ja lämmityksen ohjaustavat säilyvät ennallaan.
- + Lyhyempi siirtoputkisto uudella sijainnilla tehtaan vieressä -> pienemmät lämpöhäviöt.
- Vaatii uuden liittymän olemassa olevaan höyryverkkoon (sijainti ei lämpökeskuksessa).
- Yhden Elstor perusyksikön (15 MWh) kapasiteetti rajallinen tarpeeseen nähden.
- Investointikustannus

Muita huomioita: Kohteessa olisi hyödyksi parempi höyrynkulutuksen mittarointi, jotta lämmöntarvetta on helpompi ennustaa. Tämä mahdollistaa paremmin lämpöakun optimaalisen latauksen ja purun.

Johtopäätös: Kiinnostava ja teknisesti mahdollinen vaihtoehto, mutta yhdellä lämpöakkuyksiköllä ei voida tuottaa koko höyryntarvetta, vaan yksiköitä tarvittaisiin kaksi kappaletta. Osa höyryntarpeesta kyettäisiin tosin korvaamaan myös suoralla sähköistyksellä, jolloin yksi lämpöakku-yksikkö riittäisi.

3. Kaikkien prosessien suora sähköistäminen

Kaikkien prosessien ja muiden höyrynkulutuskohteiden suora sähköistäminen todettiin jo varhaisessa vaiheessa mahdottomaksi ratkaisuksi. Höyryä tarvitaan tehtaan tietyissä toiminnoissa, joten tämä vaihtoehto ei ole mahdollinen.

3.6.3 Toimenpiteiden kannattavuus

Alla on esitetty karkea kannattavuusarvio vaihtoehtoista potentiaalisimmaksi arvioidulle ratkaisulle eli Elstor-lämpövarastolle.

Kustannusarvio:

- 15 MWh Elstor-lämpövarasto: n. 1,79 M€
- Sähköistys: n. 300 000 €
- Maanrakennus ja perustukset: n. 50 000 €
- Putkisto: n. 100 000 €
- Suunnittelu ja projektinjohto: n. 150 000 €
- Yhteensä: n. 2,4 M€ (per yksikkö)

Suora takaisinmaksuaika, kaksi Elstor-yksikköä, molemmille tutkituille tehtaille omansa.

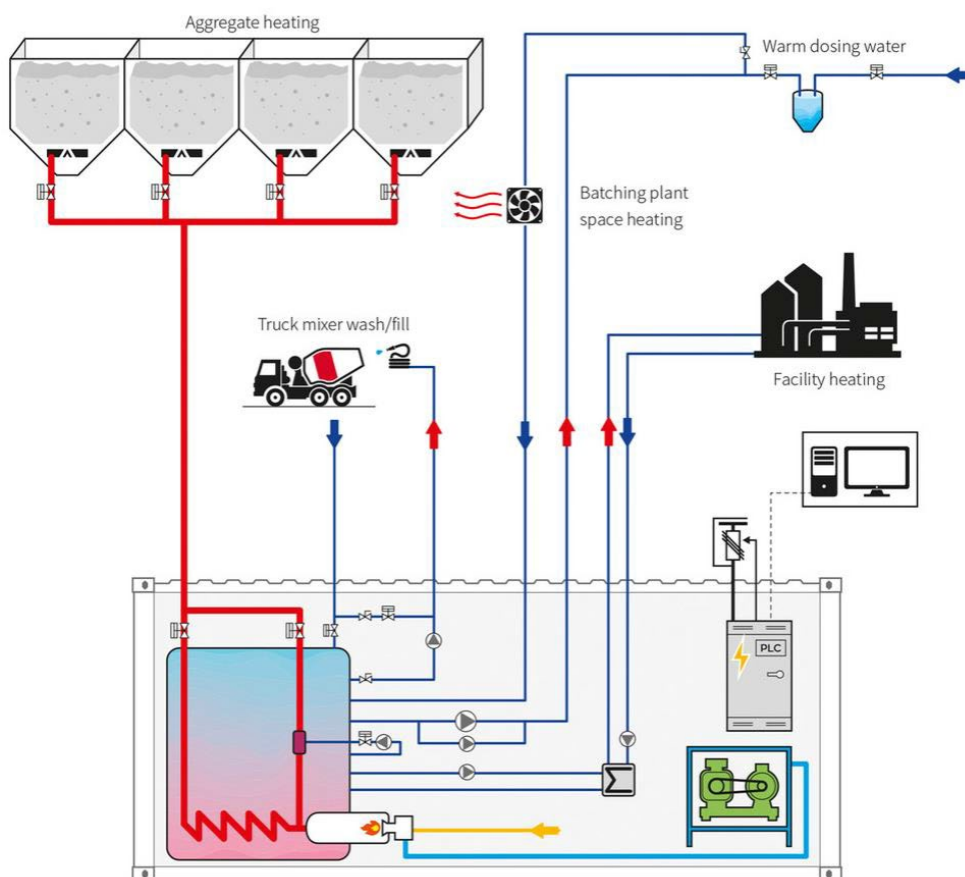
- Tehdas 1: n. 3,8 a
- Tehdas 2: n. 4,5 a
- Huom. Tuotantokustannukset laskettu vuoden 2021 SPOT-hinnoilla ja maakaasulla tuotetun höyryn kustannus on vuodelta 2022.

3.7 Rudus: Betoniaseman ja betonituotetehtaan vaihtoehtoiset lämmönlähteet

3.7.1 Kohteen kuvaus

Selvityksessä tarkasteltiin kaksi erillistä tuotantolaitosta. Toisessa kohteista tuotetaan valmisbetonia ja toisessa betoni jalostetaan edelleen betonituotteiksi. Tuotantoprosessi vaatii talvisin kiviaineksen lämmitystä sekä kuumaa vettä betonimassaan. Lisäksi lämmitysenergiaa kuluu tuotantorakennusten lämmitykseen. Yrityksen tavoitteena on vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja selvittää vaihtoehtoja nykyiselle kevyen polttoöljyn käyttöön perustuvalle lämmöntuotannolle.

Nykyään lämpö tuotetaan noin 15 vuotta vanhalla Polarmaticin Turbomatic öljykattilalla (tuotetehtaalla PMC-750/E ja valmisbetoniasemalla PMC-1250/E), ks. kuva 16. Kattilassa olevaa vettä lämmitetään vesitilaan sijoitetulla öljypolttimella ja savukaasuputkistolla. Palamisen tuotteena syntyvä kuuma savukaasu johdetaan kiviainessiiloihin ja maataskuun. Kattilassa lämmentynyt vesi johdetaan betonimassan sekaan sekoittimissa sekä rakennusten lämmitykseen. Valmisbetoniasemalla kuumaa vettä käytetään lisäksi betoniautojen pesuihin.



Kuva 16 Lämmitysjärjestelmä.

Lämmitysenergiasta noin 80–100 % kuluu lämpimän veden tuotantoon. Kuumen veden lämpötilaa säädetään lämpötilamittauksen perusteella, joka ohjaa öljypolttimen käyntiä. Kuumen veden asetusarvo on n. 65 °C.

Turbohöyrytystä käytetään lyhyissä jaksoissa kiviaineksen lämmitykseen, jolloin savukaasu kulkee suorempaa kanavaa pitkin siiloille. Osa lämmitysenergiasta jää silti kuumavesisäiliöön, koska savukaasukanava kulkee sen läpi.

Lämmitysenergian kulutus valmisbetoniasema:

Öljynkulutus vuositasolla yhteensä noin 35 000 litraa / 350 MWh. Turbon vesilämmityksen huipputehontarve arviolta n. 800–1 000 kW. Turboa ajetaan enimmäkseen 50 % teholla ja tarvittaessa 100 %.

Lisäksi kiviainesiloon, vastaanottotaskun ja autonpesualueen laatan lämmityksiin käytetään suoraa sähkölämmitystä, joiden yhteisteho talvisin on noin 80 kW.

Lämmitysenergian kulutus betonituotetehtaalla:

Öljynkulutus vuositasolla yhteensä noin 45 000 litraa / 450 MWh. Turbon lämmitysteho asetettu vakioksi (690 kW).

3.7.2 Saavutettavissa olevia hyötyjä

Öljyn käytön/CO₂-päästöjen vähentämiseksi tunnistettiin seuraavia vaihtoehtoja:

1. Kuuma vesi tuotetaan lämpöpumpulla (maalämpöpumppu tai ilma-vesilämpöpumppu)
2. Kuuma vesi tuotetaan sähkökattilalla
3. Turbon käyttövoima vaihdetaan polttoöljystä uusiutuvaan polttoöljyyn
4. Suuremman sähkövastuksen asentaminen Turbon kattilaan

Kuumen veden tuotanto – VE 1

Ilma-vesilämpöpumpulla tuotetaan 65 °C kuumaa vettä. Lämpöpumppujärjestelmä vaatisi toimiakseen suuren lämpöakun, koska kuumen veden kulutus on hyvin pätkittäistä ja tehopiikit suuria. Yksi mahdollisuus on tuottaa lämpöpumpulla esilämmitettyä vettä (esim. 40 °C), joka priimataan Turbomaticilla haluttuun lämpötilaan.

Lämpöpumppuvaihtoehdon hyviä ja huonoja puolia on esitetty alla.

- + Kuumen veden tuotanto ilman CO₂-päästöjä.
- + Pienempi osa lämmöntuotannosta tapahtuu sähköllä -> edullisemmat käyttökustannukset (vrt. sähkökattila).
- + Samalla muutoksen yhteydessä voisi muuttaa kiviainessiilojen ja vastaanottotaskun sähkölämmitykset vesikiertoisiksi.
- Investointikustannus suuri tuotettuun energiamäärään nähden.
- Ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin esim. -15 °C ulkoilmalla alle 2, keskimäärin vuoden aikana n. 2...2,8.

Kuumen veden tuotanto – VE 2

Tuotetaan sähkökattilalla 65 °C kuumaa vettä.

- + Kuuman veden tuotanto ilman CO₂-päästöjä.
- + Investointi suhteellisen edullinen.
- Lämmöntuotannon kustannus riippuu suoraan sähkön hinnasta.
- Vaatii todella suuren sähkösyötön tai lämpöakun.

Kuuman veden tuotanto – VE 3

Turbon käyttövoima vaihdetaan polttoöljystä uusiutuvaan dieseliin.

- + CO₂-päästöt voivat vähentyä jopa 90 %.
- + Investointina pieni
- Polttoaineen hinta

Kiviaineksen jään sulatus ja kiviaineksen lämmitys

Kiviaineksen sulatus ja lämmitys oli toinen tarkasteltu lämmönkulutuskohde. Periaatteessa vaihtoehtoja sulatuksen ja lämmityksen järjestelyyn on monia, ainakin seuraavat:

1. Kiviaines lämmitetään nykyisellä Turbolla ja uusiutuvalla dieselillä
2. Kiviaines lämmitetään erillisellä höyrykehittimellä
3. Kiviaines lämmitetään kuumalla ilmalla
4. Kiviaines lämmitetään kuumalla ilmalla ja höyryllä
5. Kiviaines lämmitetään erillisellä turbohöyrygeneraattorilla
6. Jäinen kiviaines säilytetään sulana tai sulatetaan ennen tuontia tehtaalle.

Suuri osa vaihtoehtoista kiviaineksen sulatukseen ja lämmitykseen todettiin käytännössä toimimattomiksi. Pelkkä ilma ei kykene kantamaan riittävästi entalpiaa lämpötehon tarpeen kattamiseksi. Kuuman ilman ja höyryn seos kykenisi siirtämään riittävän tehon, mutta vaatisi jonkin verran investointeja.

Potentiaalinen vaihtoehto voisi olla kiviaineksen varastointiin liittyvät toimintatapamuutokset, joilla kiviaineksen sulatarvetta pystyttäisiin pienentämään tai jäisen kiviaineksen sulatus ennen tehtaalle tuontia. Tällöin voitaisiin kasvattaa kiviaineksen viipymäaika sulatusprosessissa ja vähentää tehontarvetta. Se mahdollistaisi matalampien lämpötilojen käytön.

3.7.3 Toimenpiteiden kannattavuus

Lämpöpumppu ei sovellu kohteiden ainoaksi lämmönlähteeksi, sillä investointikustannus on suuri, tuotettava lämpöenergiamäärä tarvittavaan tehoon nähden pieni ja lämpökerroin kylmimpään aikaan heikko.

Kiinteistön osittainen/pääasiallinen lämmittäminen lämpöpumpulla (erityisesti betonituotetehdas) näyttää järkevältä, mutta asiaa on vielä selvitettävä.

Sähkökattila vaatii suuren sähkönsyötön ja/tai lämpöakun. Näin ollen investointikustannus on korkea. Lisäksi lämmön kustannus riippuu suoraan sähkön hinnasta.

Yksinkertaisin vaihtoehto, jolla saavutettaisiin merkittävät CO₂-päästövähennykset, olisi polttoaineen vaihtaminen uusiutuvaan polttoöljyyn. Investointikustannus olisi noin 5 000 €/kattila. Uusiutuvan polttoöljyn hinta on korkeampi (n. +0,20 €/l), joten kustannusvaikutus olisi noin +7 000 €/a (valmishetkiasema) ja +9000 €/a (betonituotetehdas).

Turbohöyrygeneraattori olisi toimiva menetelmä kiviaineksen sulatukseen ja lämmitykseen, mutta investointikustannus olisi melko korkea, arviolta 130 000 € + projektin muut kulut.

Betonikiviaineksen sulana pitävä varastointi tai pidemmän viipymäajan järjestäminen sulatus- ja lämmitysprosessiin luonnollisesti vaatisi ajattelutavan ja logistiikan uudelleen järjestelyä sekä investointeja.

Yhteenvetona valmisbetoniaseman osalta

Nykyinen lämmitysjärjestelmä toimii varsin tehokkaasti ja selvitettyjen vaihtoehtojen osalta kustannustehokasta korvaavaa vaihtoehtoa ei löytynyt. Lämmitystarpeen pienentämiseksi kiviaineksen sulatustarpeen vähentämismahdollisuuksia kannattaa selvittää ja kuuman veden mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön pesuissa kannattaa kiinnittää huomiota. Vaihto uusiutuvan polttoöljyyn on toimenpiteenä kevyt ja sillä on saatavissa n. 90 % vähenemä CO₂-päästöihin.

Yhteenvetona betonituotetehtaan osalta

Nykyinen lämmitysjärjestelmä toimii varsin tehokkaasti raaka-aineiden lämmittämisessä. Kiinteistön lämmittämiseen (nykyisen lämmittimen rinnalle) kannattaa selvittää lämpöpumppua, millä polttoöljyn kulutusta saataisiin pienennettyä. Kiviaineksen sulatustarpeen vähentämismahdollisuuksia kannattaa myös selvittää. Vaihto uusiutuvan polttoöljyyn on toimenpiteenä kevyt ja sillä on saatavissa n. 90 % vähenemä CO₂-päästöihin.

4.1 Työn selvityskohteet

Bolidenin laitokset Kokkolassa ja Kevitsassa olivat jo tunnistaneet hukkalämpövirtoja. Työssä lähinnä tarkennettiin lämpömääriä ja lämpönielujen lämmönvastaanottokykyä. Laitoksissa on mahdollista siirtää lämpöä kaukolämpöverkkoon tai paikalliseen lämpöverkkoon. Kokkolassa lauhteenpalautus voimalaitokselle on hankalaa lauhteen epäpuhtauksien takia. Lauhteen lämmöntalteenotossa olisi mahdollista päästä jopa alle vuoden takaisinmaksuaikaan suoralla lämmönsiirrolla.

Kevitsan kaivoksen prosessilaitteiden jäähdytysvedestä puolestaan olisi mahdollista ottaa lämpöä lämpöverkkoon lämpöpumppujen avulla. Lämpöpumppukytkentöjen kannattavuus puolestaan riippuu mm. ulkoisen lämmöntoimittajan kyvystä tai halukkuudesta ottaa lämpöä vastaan tietystä lämpötilasta.

Umicoren Kokkolan laitoksessa tuotetaan mm. akkumateriaaleja. Prosessissa syntyy lämmintä jätevettä, josta talteen otettua lämpöä voisi hyödyntää lämpöpumppukytken avulla mm. tehdasalueen lämpöverkossa. Lämpöä toimittavat yritykset ovat kehittäneet hukkalämmön hyödyntämisen palvelumalleja. Esimerkkejä toteutuksista löytyy kappaleesta 3.4.1.

Orionin lääketehailla tarvitaan useissa prosesseissa höyryä. Nykyisin höyry tuotetaan maakaasun avulla ja tilalle halutaan CO₂-vapaa ratkaisu. Sähkökattila olisi mahdollinen höyryn tuotantomenetelmä, mutta potentiaalisemmaksi ratkaisuksi osoittautui Elstor-lämpöakku, jota ladataan edullisen sähkön aikana.

Ruduksen laitoksilla tarvitaan lämpöä monissa eri prosesseissa. Lämpöä tuotetaan fossiililla polttoaineilla ja sitä siirretään kohteisiin mm. savukaasujen avulla. Esimerkiksi ilma ei helpposti sovellu lämmönsiirron väliaineeksi suuren tehotarpeen takia eikä näin ollen kuumia polttoprosessin savukaasuja kyetä korvaamaan kuumalla ilmalla. Esimerkiksi turbohöyrygeneraattori mahdollistaisi höyryn käytön lämmönsiirron väliaineena, mutta olisi investointikustannuksiltaan melko korkea. Uusiutuva diesel mahdollistaisi varsinaisen prosessin pitämisen ennallaan ja lämpö saataisiin edelleen siirrettyä kohteeseen savukaasujen avulla, joten se olisi investointina varsin pieni.

4.2 Hukkalämmön hyödyntämisen ja sähköistymisen mahdollisuudet

Läpikäydyissä teollisuuskohteissa saatiin tarkennettua hukkalämmön hyödyntämispotentiaalia sekä tehtyä alustavaa LTO-ratkaisujen mitoitusta. Toisaalta osassa kohteita oli hukkalämpöpotentiaalia, jonka hyödyntäminen on esimerkiksi lämpövirtojen hajanaisuuden takia hankalaa. Myös suoria sähköistymismahdollisuuksia tunnistettiin kohteissa, mutta toisaalta höyryä tai muuta lämpöä siirtävää, riittävän lämpösisällön omaavaa väliainetta todettiin kuitenkin tarvittavan useissa prosesseissa.

Hukkalämpöjen hyödyntämisen ja prosessien sähköistämisen mahdollisuudet teollisuudessa ovat moninaiset. Lämpöpumppujen hyödyntämismahdollisuudet hukkalämmön talteenotossa ovat kiistattomia, mutta täyden hyödyn saamiseksi sektori-integraatiolla on merkitystä.

Hukkalämmön hyödyntämisen keskeinen haaste on sopivan lämpönielun löytäminen. Esimerkiksi teollisuusalueen kattavat alueelliset lämpöverkot kasvattavat parhaassa tapauksessa sopivien lämpönielujen määrää. Energiayhtiöiden kaukolämpöverkot puolestaan ovat lämpötehomielessä kykeneviä ottamaan vastaan suuriakin hukkalämpömääriä. Sopivien liiketoimintamallien löytäminen nousee keskeiseen rooliin lämpöyhtiöiden ja teollisuusyritysten integraatiota syvennettäessä.

Teollisuuden sähköistymisen ennustetaan vauhdittuvan seuraavina vuosina. Toisaalta höyry lämmönsiirron väliaineena tulee todennäköisesti pitämään pintansa. Sähkökattila on yksinkertaisin tapa tuottaa höyryä osana sähköistystä.

Markkinoilla on myös lämpöakuteknologiaa, jossa lämpövarasto voidaan ladata sähköllä. Tämä mahdollistaa parhaassa tapauksessa mittavat pienennykset energiakuluissa, mikäli yrityksen tuotanto- ja lämmöntarveprofiili mahdollistaa lämpöakun lataamisen sähkön hinnan ollessa matala. Tässä hankkeessa mukana olleen Elstor Oy:n lämpöakku mitoitettiin yhteen kohdeyrityksistä ja se osoittautui lupaa-vaksi tavaksi korvata maakaasulla tuotettua höyryä.

Lähteet

Motiva 2021,

https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/teollisuus/suomen_teollisuuden_sahkoistuminen_ja_sen_vaikutus_energiatehokkuuteen_ja_hukkalampojen_hyodyntamiseen.10766.shtml.

Viitattu 15.1.2023.

Eurooppa neuvosto, [Puhdas energia - Consilium \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fin/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0018). Viitattu 15.1.2023.

Energiavirasto 2022, <https://energiavirasto.fi/teollisuuden-sahkoistamistuki>. Viitattu 15.1.2023.

STT 2022, <https://www.sttinfo.fi/tiedote/paljon-parjattu-kaukolampo-on-paras-tapa-saada-energianhintoihin-joustoa-20-000-euron-maalampoinvestoinnilla-voisi-ostaa-kaukolampoa-meilta-kahdeksaksi-vuodeksi-avaimet-kateen?publisherId=69819473&releaseId=69945631>.

Viitattu 15.1.2023.

Ilmastopaneeli 2021, PowerPoint Presentation (ilmastopaneeli.fi). Viitattu 15.1.2023.

Fingrid 2022, Fingridin sähköjärjestelmävisio 2022 – tulevaisuuden järjestelmän skenaarioluonnokset. [fingrid_sahkojarjestelmavisio_2022_skenaarioluonnokset-final-korjattu-29.8.pdf](#).

Viitattu 15.1.2023.