

Hukkalämmöt, lämpöpumput ja sähköistytminen

Motivan yhteishanke

Lari Heinonen, Teemu Turunen, Elias Tamminen

Yleistä

Teollisuuden sähköistyminen, ajurit ja mahdollistajat

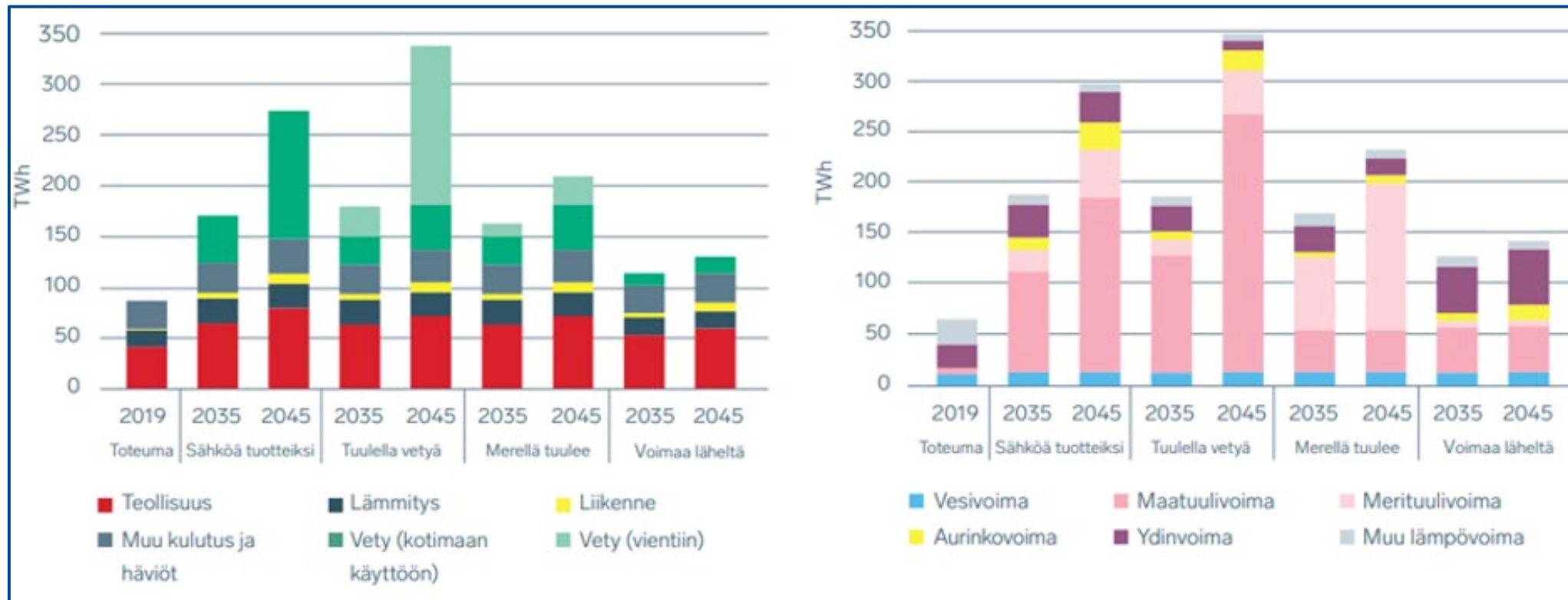
- Sähköistymiskehityksen keskeinen ajuri on päästövähennystavoite
 - Vuoteen 2030 mennessä EU:ssa tavoitellaan 55 % päästövähennyksiä ja hiilineutraalisuuteen tähdätään vuoteen 2050 mennessä.
 - Yhtenä konkreettisenä toimenä nähdään sektori-integraation edistäminen. Siinä mm. hukkalämpöjen hyödyntäminen näyttelee keskeistä roolia.
- Riippuvuuden vähentäminen
 - Riippuvuus fossiilisista polttoaineista on muodostunut ilmeiseksi ongelmaksi viimeistään Venäjän hyökkäyssodan myötä
 - Teollisuusprosessien sähköistyminen ja hukkalämmön tehokkaampi hyödyntäminen edesauttaa esimerkiksi maakaasusta luopumista.
- Teknologian kehitys lisää sähköistymisen vapausasteita
 - Esimerkiksi lämpöpumpputeknologian kehitys ja uudenlaiset kytkentämahdollisuudet sekä tuotettavan lämpötilatason kasvaminen avaavat uusia sovellusmahdollisuuksia

Teollisuuden sähköistymisen muodot

- Suora sähköistyminen, kuten
 - kaasupolttimen muutos sähkövastuslämmittimeksi
 - höyryn tuotanto sähkökattilalla polttavan tekniikan asemesta
- Sähköistymisratkaisut, joissa hyödynnetään lämpöpumppuja, esimerkiksi
 - hukkalämmön lämpötilatason nostamiseksi ja lämmön syöttämiseksi takaisin prosessiin tai kaukolämpöverkkoon
 - teollisuuskiinteistön lämmittämiseksi lämpöpumppua ja teollisuusprosessin hukkalämpöä hyödyntäen
- Epäsuora sähköistyminen
 - Vedyn valmistus uusiutuvalla sähköllä ja jatkojalostus synteettisiksi polttoaineiksi
 - Vedyn valmistus uusiutuvalla sähköllä ja jatkojalostus teollisuuden raaka-aineiksi

Sähköistymisskenaarioita

Fingrid: tulevaisuuden sähköjärjestelmän skenaarioita. Sähkön käyttö (vasen kuva) ja Sähkön tuotanto (oikea kuva)



→ Suurimmat erot skenaarioiden välillä muodostavat tuotantopuolella tuulivoiman kasvuskenaariot ja käyttöpuolella vetytalouden ratkaisut.

Hankkeen kuvaus

Mukana olleet teollisuusyrietykset



Rudus
A CRH COMPANY



SSAB



umicore



ORION



BOLIDEN
Metals for modern life

Mukana olleet laite- ja teknologiatoimittajat



Hankkeen tavoite

- Tuoda esiin mahdollisuuksia hyödyntää hukkalämpövirtoja ja sähköistymistoimenpiteitä energia- ja kustannustehokkuuden parantamiseksi ja päästöjen vähentämiseksi
- Hukkalämpöjä tarkasteltiin erityisesti lämpöpumppujen hyödyntämisen näkökulmasta
- Selvityksen kohteena olleet teollisuuskohteet voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan
 1. Selkeän, jo tunnistetun hukkaenergian hyödyntämismahdollisuuksia pohtivat yritykset
 2. Fossiilisille polttoaineille korvaavaa lämmönlähdettä etsivät yritykset



Työn sisältö



- Teollisuuden hukkalämpökohteita kartoitettiin sekä tehdasmittauksin ja –selvityksin että kirjoituspöytätyönä
- Tehdasmittausten tarkoitus oli tarkentaa hukkalämpömäärien suuruuksia sekä arvioida lämpönielujen lämmönvastaanottokykyä
- Mittausten ja selvitysten sekä yritysten toimittaman datan perusteella arvioitiin säästötoimenpiteiden kannattavuutta, tarkoituksenmukaisuutta ja takaisinmaksuaikoja
- Fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi tarkasteltiin mm. sähköisiä lämmönlähteitä
- Selvitysten tueksi viitattiin jo toteutettuihin hankkeisiin, esimerkiksi jo toteutettuun Motivan & Elomaticin sähköistämisselvitykseen

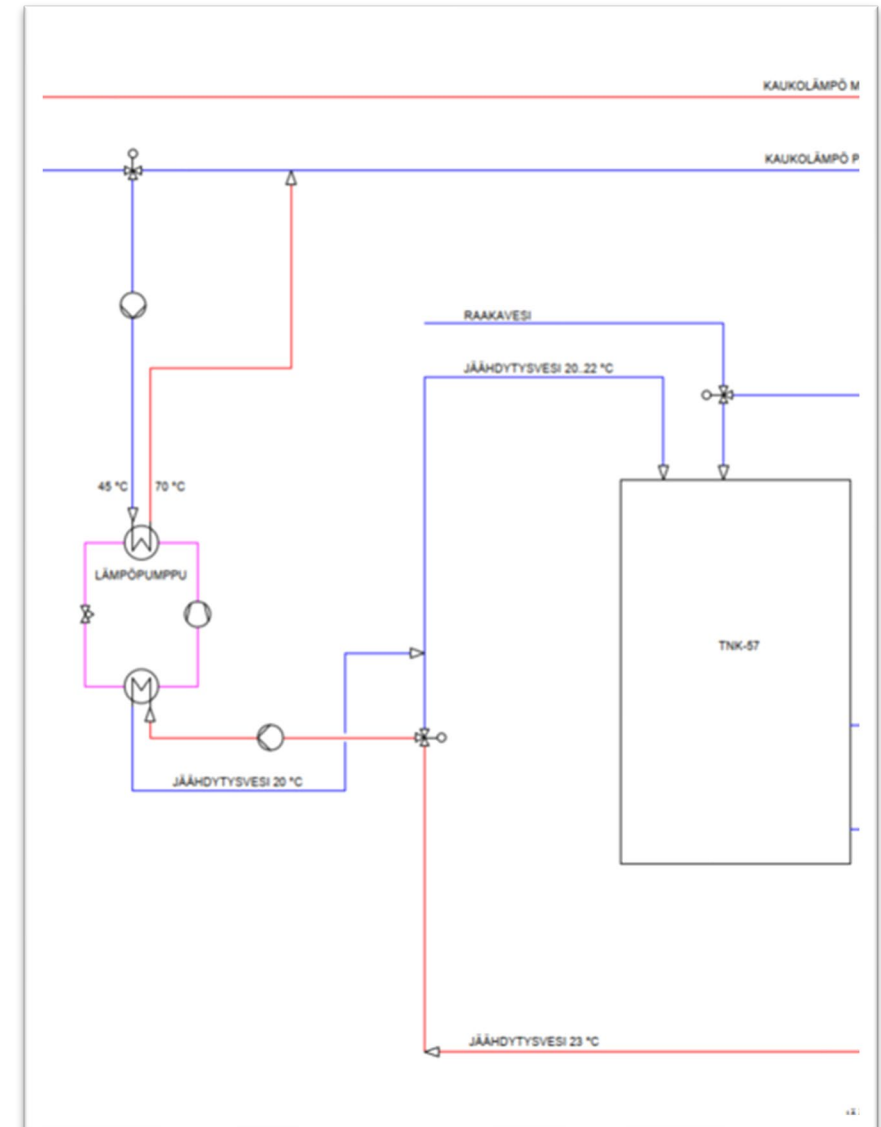
Työn tuloksia

- Useassa teollisuuskohteessa oli jo ennalta tunnistettuja hukkalämmönlähteitä
- Mittausten, selvitysten ja analyysin avulla saatiin tarkennettua mahdollisuuksia
- Esimerkkejä työn selvityskohteiden tuloksista
 - Lauhteen hukkalämmön talteenotto kaukolämmön korvaamiseksi, suora lämmönsiirto: 4900 MWh/a, TMA alle 1 vuosi
 - Tuotantoprosessissa syntyvän jäteveden lämmöntalteenotto lämpöpumpun avulla: ~60 000 MWh, TMA 5-7 vuotta
 - Maakaasukattilan korvaaminen sähköllä varattavalla höyryakulla: TMA alle noin 4 vuotta



Hankkeiden haasteita

- Kannattavuuteen vaikuttaa mahdollisuus hyödyntää hukkalämpöä kaukolämpöverkoissa, integraatiota tulee edelleen edistää. Lämpönieluja ei aina löydy laitoksen omista kohteista.
- Lämmöntalteenotto hajanaisista lähteistä on taloudellisesti haastavaa. Kaikilta osin hukkalämpöä ei saada käytännössä hyödynnettyä
- Polttoprosessi on joissakin tapauksissa tarkoituksenmukaisin tapa tuottaa riittävän korkean lämpötilan lämpöä. Vaihtoehtoinen tekniikka tosin kehittyy.
- Höyryä tarvitaan teollisuudessa lämmönsiirron väliaineena vielä tulevaisuudessakin. Esim. sähköllä tehty höyry on tässä päästötön vaihtoehto, mikäli hiilineutraalin sähkön hinta pysyy kohtuullisena. Ladattava lämpöakuteknologia helpottaa sähkökustannusten optimointia



Tutkitut teollisuuskohteet

Kenttäselvitykset

1. Boliden Kokkola
2. Boliden Kevitsa
3. Rudus Tuusula
4. Rudus Vanttila
5. Orion Espoo

Kirjoituspöytäselvitykset

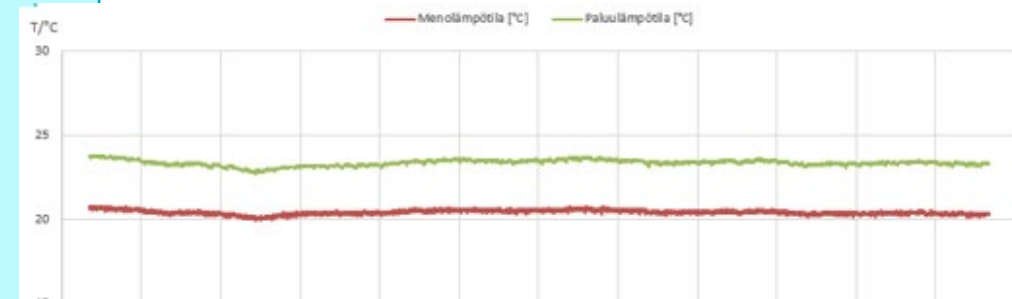
1. Umicore Kokkola
2. SSAB Hämeenlinna

Boliden Kevitsa

Tausta ja tavoite

Kuvaus nykytilasta

- Tuotantoprosessi on hyvin energiasäästöinen, etenkin sähköä kuluu tuotannossa huomattavan paljon.
- Rikastamoalueen tehdasrakennukset lämmitetään alueella olevalla ulkoisen toimijan operoimalla lämpölaitoksella, joka käyttää polttoaineenaan talvisin haketta ja kesäaikana hakekattilan minimitheon (1 MW) alittuessa polttoöljyä.
- Jauhinmyllyjen moottorit, hydrauliikkayksiköt sekä mm. paineilmakompressorien jäähdytys tuottavat hukkalämpöä

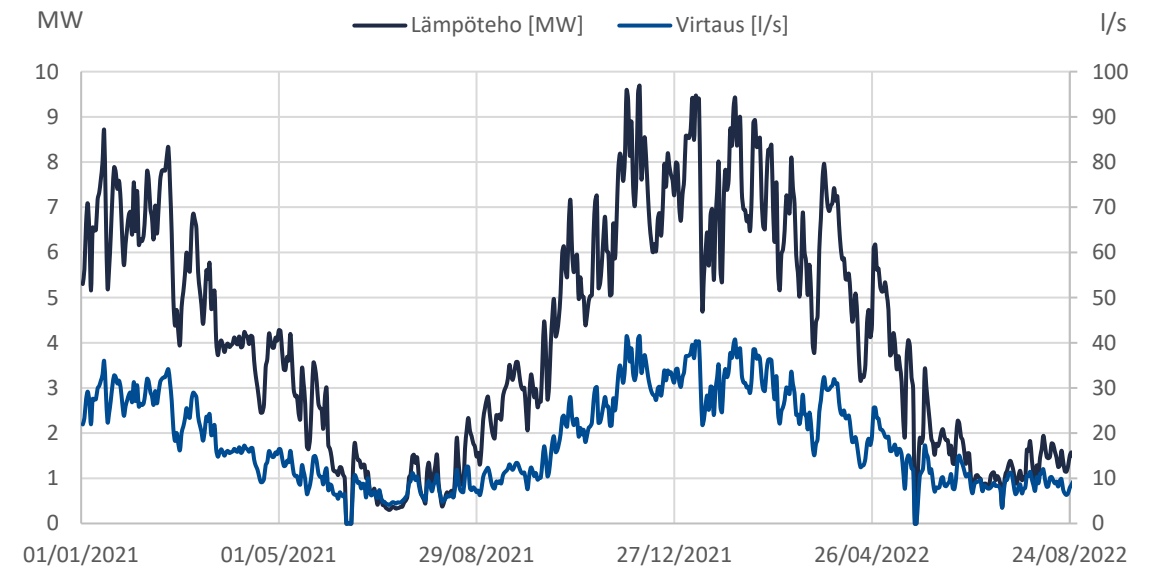
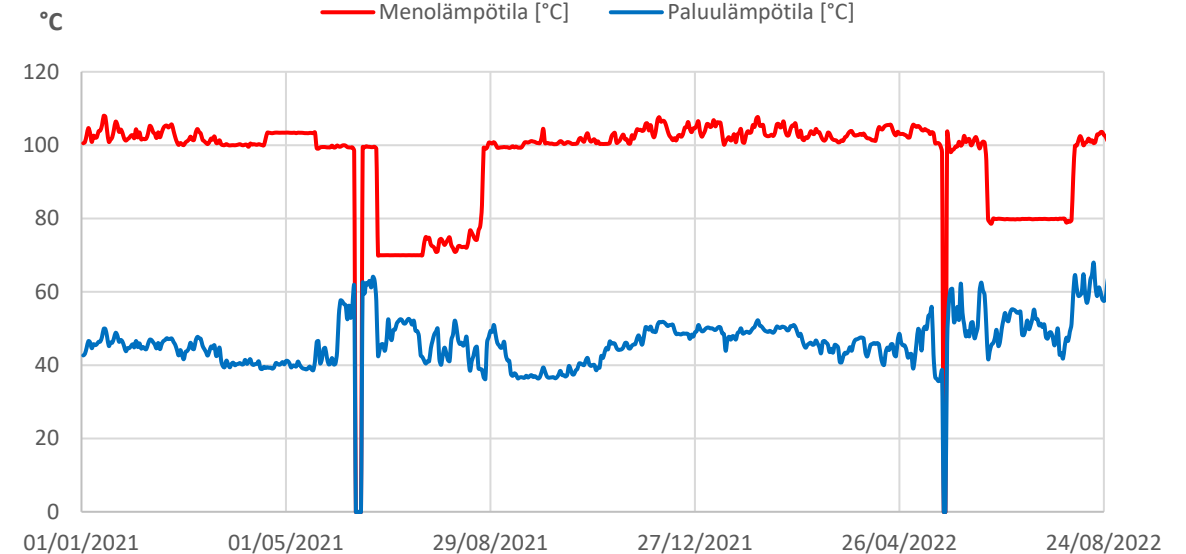


Tavoite

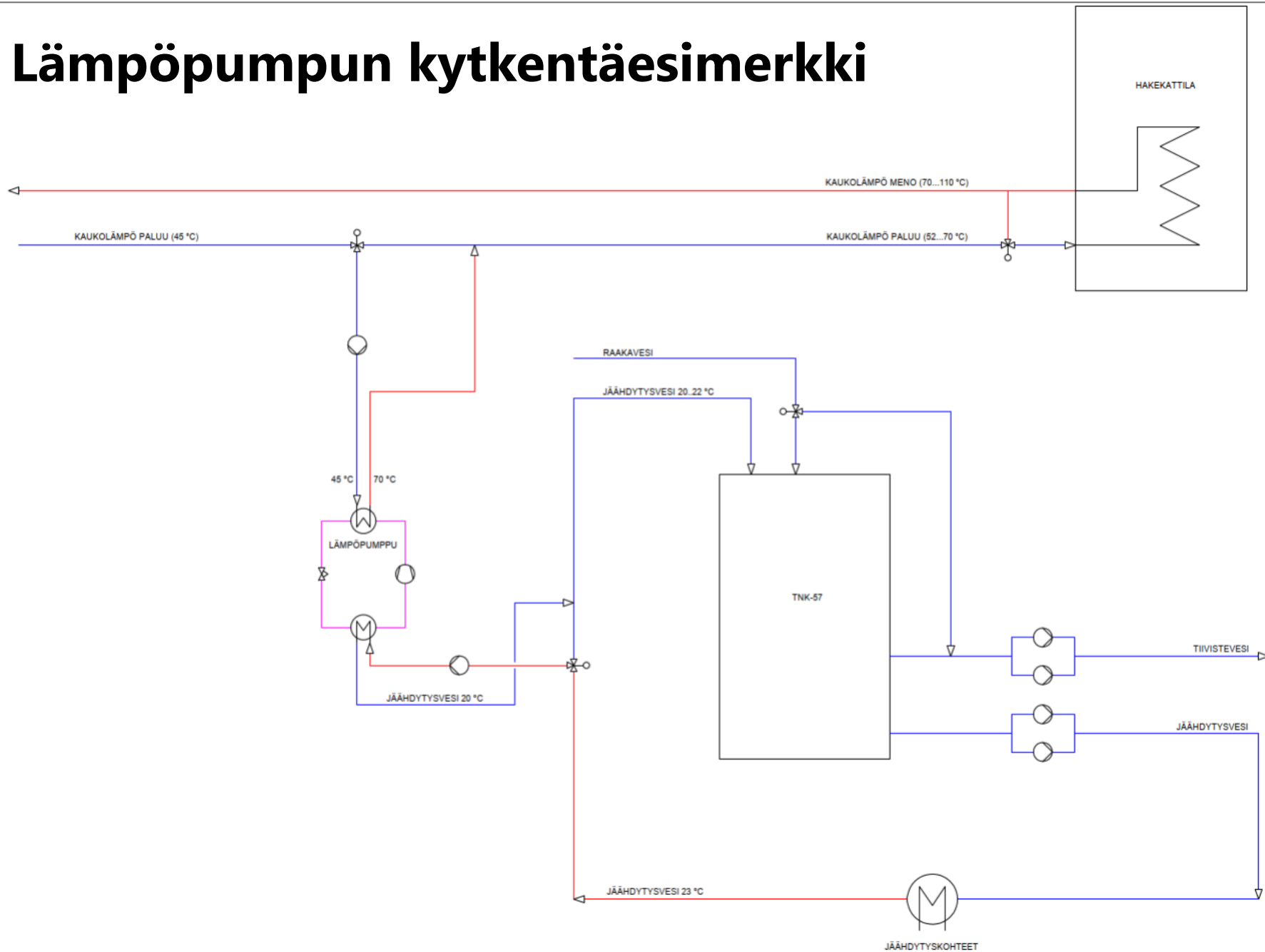
- Työn tavoitteena on selvittää, kuinka hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää rakennusten lämmitykseen, korvaamaan lämpölaitoksella tuotettua lämpöä ja etenkin kesäaikaista polttoöljyn käyttöä.

Yhteenveto

- Jäähdytysvedestä on saatavilla tehoa jatkuvasti vähintään noin 1,5 MW teholla
- Hukkalämpöä voitaisiin lämpöpumpun avulla hyödyntää tuottamaan lämpöä lämpöverkkoon
- Mitoitus lämpöpumpulle esim:
 - Kesäaikana öljykattilan käytön korvaaminen ja talviaikana hakekattilan syöttöveden esilämmitys (kytkentä KL-verkon paluupuolelle). Mitoitusteho noin 1...1,5 MW



Lämpöpumpun kytkentäesimerkki

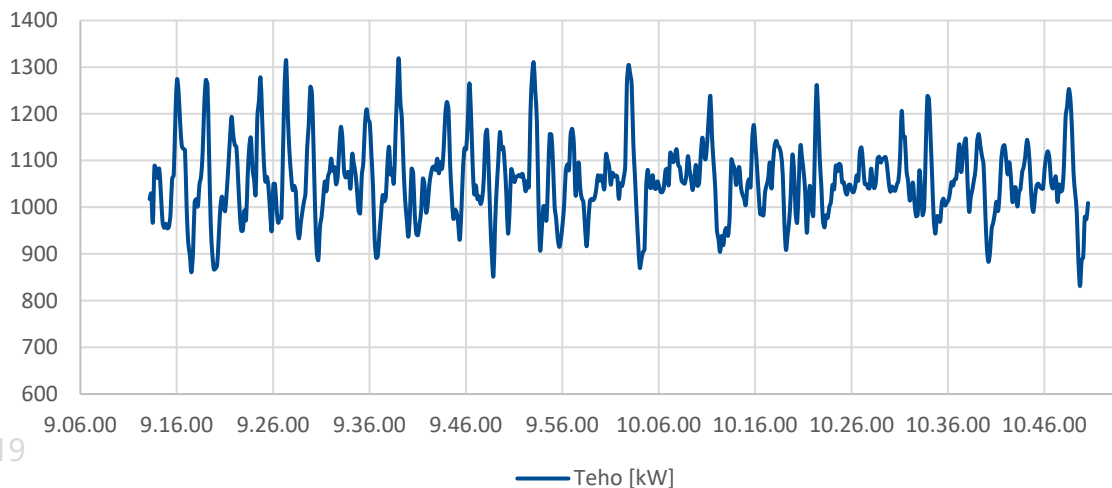


Boliden Kokkola

Tausta ja tavoite

Kuvaus nykytilasta

- Boliden Kokkola Oy tuottaa sinkkiä ja rikkihappoa Kokkolan suurteollisuusalueella.
- Prosessin höyrynkäytössä syntyvät lauhteet sisältävät kattilalle haitallisia epäpuhtauksia, minkä vuoksi niitä ei voida palauttaa.
- Bolidenin tehdasrakennukset lämmitetään Kokkolan Energialta ostetulla kaukolämmöllä.

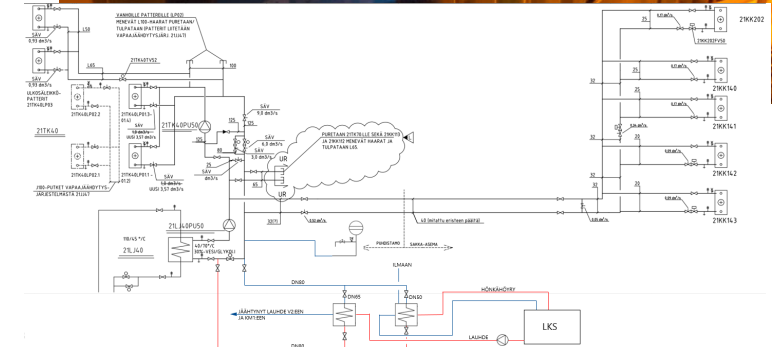


Tavoite

- Työn tavoitteena on selvittää, kuinka lauhteen hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää leikkaamaan kaukolämmön huipputehoa ja vähentämään kaukolämmön kokonaiskulutusta.
- Lisäksi selvityksessä huomiodaan lauhteenkeruusäiliön hönkähöyryn lämmöntalteenottopotentiali.

Yhteenveto

- Lauhteen ja hönkähöyryn lämmöntalteenottopotentialiaali on merkittävä. Lämpö on helposti talteenotettavissa ja siirrettävissä puhdistamon lämmityspiiriin. Hukkalämpötehoa on jatkuvasti saatavilla yhteensä noin 1,5 MW lämpötilassa 90 °C.
- Kaukolämmön säästöpotentialit ja kannattavuus:
 - Lauhde-LTO: Kaukolämmön säästö 4750 MWh/a, TMA alle 1 vuosi
 - Hönkä-LTO: Kaukolämmön säästö 3100 MWh/a, TMA alle 1 vuosi
 - Lauhde+Hönkä-LTO: Kaukolämmön säästö 4900 MWh/a, TMA alle 1 vuosi
- Mikäli lauhdetta jäähdytettäisiin edelleen 45 -> 10 °C, saataisiin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntämällä vielä noin 1 MW:n verran lämpöä 90 °C:ssa hyödynnettäväksi. Puhdistamon lämpöverkko ei kuitenkaan niele lämpöä niin paljon, joten lämpö tulisi siirtää kauemmas. Mikäli Bolidenin tehdasrakennuksilla olisi oma alueverkko, voitaisiin hukkalämpöjä hyödyntää sen lämmitykseen.



Rudus Tuusula / Vanttila

Rudus Oy, Selvityskohde ja tavoitteet

- Ruduksella on aktiivisessa käytössä n. 50 valmisbetoniasemaa sekä 17 betonituotetehdasta.
- Lähes kaikissa käytetään kevyttä polttoöljyä raaka-aineiden (kiviaines ja vesi) ja kiinteistön lämmitykseen.
- Selvityksen tavoitteena oli tutkia erilaisia vaihtoehtoja polttoöljyn korvaamiseksi kahdella eri toimipaikalla (valmisbetoniasema ja betonituotetehdas).
- Tavoitteena oli löytää kustannustehokkaita vaihtoehtoja/parannuksia nykyiseen lämmitysjärjestelmään, CO₂-päästöjen pienentämiseksi.



Rudus Oy, Nykytila ja tarkastelut

Kuvaus nykytilasta

- Tuotantoprosessi vaatii talvisin kiviaineksen lämmitystä sekä kuumaa vettä betonimassaan ja betonautojen pesuun. Samaa laitteistoa käytetään lisäksi kiinteistön lämmitykseen.
- Lämpö tuotetaan betonituotantoon kehitetyllä Turbomatic öljykattilalla.
- Lämmitysenergiasta 80-100 % kuluu lämpimän veden tuotantoon, savukaasut ohjataan kiviainessiiloihin ja maataskuun, joissa jäinen kiviaines sulatetaan. Kiviaineksen lämmitys tapahtuu hyvin lyhytkestoisissa jaksoissa, jolloin hetkittäiset tehontarpeet ovat suuria, mutta kokonaiskäyttöaika ja energiankulutus pientä.

Tarkasteltuja vaihtoehtoja olivat:

- Kuuman veden tuottamiseksi
 - Hukkalämpöjen talteenotto
 - Lämpöpumppu
 - Sähkökattila
 - Uusiutuva polttoöljy
 - Suuremmat sähkövastukset nykyiseen Turbon kattilaan
- Kiviaineksen lämmittämiseksi
 - Höyrynkehitin
 - Kuuma ilma
 - Kuuma ilma + höyry
 - Erillinen turbohöyrygeneraattori
 - Jäisen kiviaineksen sulatus ennen toimitusta

Rudus Oy, Yhteenvedo tuloksista

Kuuman veden lämmitys

1. **Hukkalämpöjen talteenotto:** Joitakin hukkalämmönlähteitä tunnistettiin Tuusulan tehtaalla, mutta ne ovat pieniä ja hajallaan ympäri tehdasrakennusta. Vanttilassa ei tunnistettu hukkalämmön lähteitä.
2. **Lämpöpumppu:** ei sovellu kohteiden ainoaksi lämmönlähteeksi, sillä investointikustannus on suuri, tuotettava lämpöenergiamäärä tarvittavaan tehoon nähden pieni ja lämpökerroin kylmimpään aikaan heikko. Hybridijärjestelmä, missä kiinteistö lämmitetään osittain/pääasiassa lämpöpumpulla (erityisesti betonituotetehdas) näyttää järkevältä, mutta asiaa on vielä selvitettävä.
3. **Sähkökattila:** Investointina suhteellisen edullinen ja yksinkertainen, mutta lämmöntuotantokustannus on suoraan sähkön hinnasta riippuvainen. Lisäksi vaatii suuren sähkösyötön.
4. **Turbon käyttämän polttoöljyn vaihto uusiutuvaan:** Uusia laiteinvestointeja ei tarvittaisi. Edullinen muutos, jolla saavutettaisiin jopa 90 % CO₂-päästövähennykset, mutta polttoaine on kalliimpaa.
5. **Sähkövastusten asentaminen Turbon kattilaan:** Uusia laiteinvestointeja ei tarvittaisi, mutta vastusten asentaminen vesitilaan vaatii työtä ja suuren sähkösyötön. Lämmöntuotantokustannus riippuu suoraan sähkön hinnasta. Kapasiteetti ei todennäköisesti riittäisi Vanttilan tarpeeseen.

Rudus Oy, Yhteenvedo tuloksista

Kiviaineksen lämmitys (Turbohöyryn korvaus)

1. **Höyrynkehitin:** Ei sovellu hyvin lämmitykseen, liiallisen kosteuden takia.
2. **Kuuma ilma:** Jos kiviaineksen viipymä siiloissa on lyhyt, ei ilman entalpia ole riittävä sulattamaan jäätä tarpeeksi nopeasti.
3. **Kuuma ilma + höyry:** Tomiva ratkaisu (vrt. Turbohöyry).
4. **Nykyisen Turbon käyttövoiman vaihto uusiutuvaan dieseliin:** Uusia laiteinvestointeja ei tarvittaisi. Edullinen muutos, jolla saavutettaisiin jopa 90 % CO₂-päästövähennykset, mutta polttoaine on kalliimpaa. Kuumen veden tuotanto olisi edelleen yhteydessä Turbohöyryn tuotantoon.
5. **Erillinen turbohöyrygeneraattori ja uusiutuva diesel:** Kuumen veden tuotanto erotettaisiin Turbohöyryn tuotannosta kokonaan, mutta vaatisi investoinnin uuteen laitteeseen.
6. **Jäisen kiviaineksen sulatus ennen tehtaalle tuontia:** Turbohöyryn käytöstä voitaisiin luopua kokonaan. Kiviaineksen lämmityksen tehontarve olisi huomattavasti nykyistä pienempi, koska viipymäaika olisi pidempi. Voitaisiin toteuttaa esim. Ilmakuivauksella (viirakuivain tms.). Vaatisi uusia investointeja.

Rudus Oy, Lopputulema

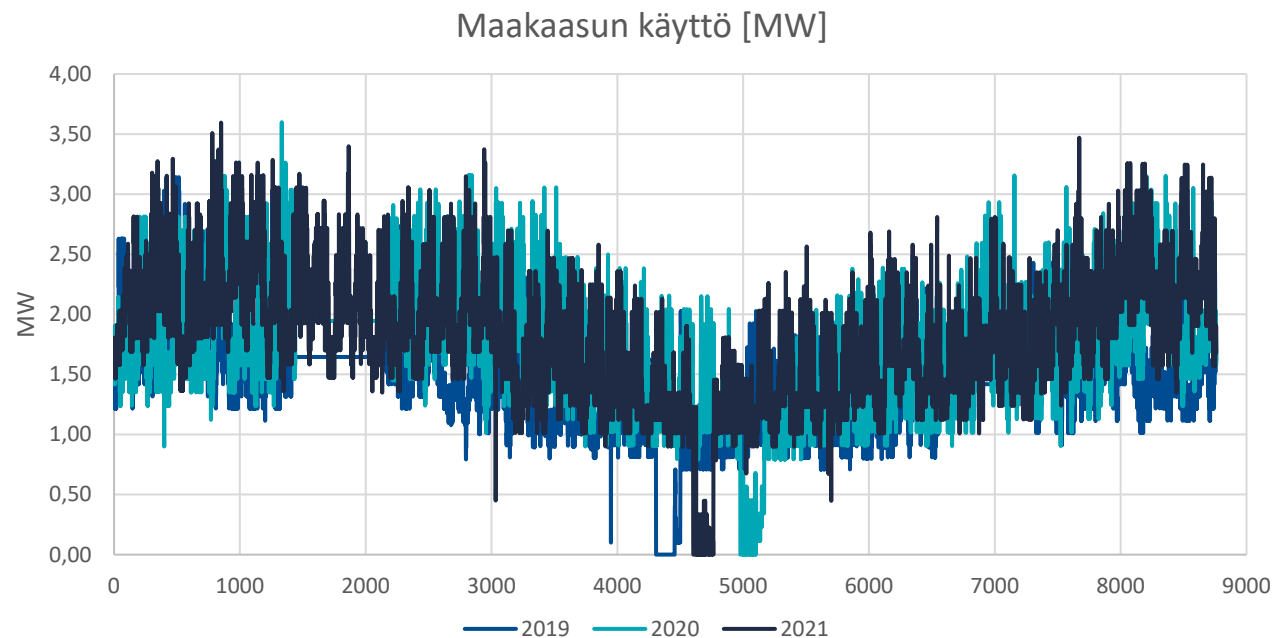
- Nykyinen Turbomatic lämmitysjärjestelmä on varsin tehokas raaka-aineiden lämmittämiseen, eikä sen korvaamiseen (kokonaan) löytynyt kustannustehokasta ratkaisua.
- Kustannustehokas ratkaisu näyttäisi löytyvän hybridijärjestelmästä, missä osa kuumasta vedestä tuotetaan lämpöpumpulla ja saadaan siten vähennettyä polttoöljyn kulutusta. Tämä on järkevää kohteissa, missä kiinteistön lämmittämiseen menee merkittävä osa kulutuksesta. Selvitettävä vielä tarkemmin ja mitoitettava toimipaikkakohtaisesti erikseen.
- Lisäksi vaihto uusiutuvaan polttoöljyyn → Lämmityksestä aiheutuvat päästöt alenevat yli 90%
- Turbomaticin käytön vähentämiseksi kannattaa selvittää mahdollisuuksia kiviaineksen lämmitystarpeen pienentämiseksi. Esim. Varastoinnin ja lastauksen kehittäminen kiviainestoimipaikalla.
- Turbomaticin käytön vähentämiseksi kannattaa selvittää mahdollisuutta alentaa pesuvesien lämpötilaa esim. Sääto ulkolämpötilan mukaan.
- ✓ Toimipaikkakäynnit tehtiin elokuussa, jolloin mahdollisuuksia varsinaisiin mittauksiin lämmityksen kulutuksista ei ollut.

Orion Espoo

Tausta ja tavoite

Kuvaus nykytilasta

- Höyryntuotanto maakaasulla (ulkoistettu erilliselle toimijalle)
- Höyrynkulutuskohteet hajautuneet eri puolille tonttia eri rakennuksiin. Kulutus painottuu päivätunneille, mutta pohjakuormakin on suuri.



Tavoite

- Tavoitteena tutkia eri vaihtoehtoja höyryn (tai lämmön) tuottamiseksi
 - Sähkökattila
 - Suora sähköistys
 - Lämpöakkuteknologia
 - Jokin kombinaatio yllä mainituista
- Toisena tavoitteena kartoittaa kulutuskohteiden sijainnin painopisteet ja arvioida höyry- ja lauhdejärjestelmän muutostarpeita mikäli höyryntuotanto esimerkiksi on hajautettua

Yhteenveto

- **Sähkökattila:** höyryn hinta riippuu suoraan sähkön hinnasta, yösähköä ei kyetä hyödyntämään. Sähköliittymän muutos suuri kustannus → Ei houkutteleva
- **Suora sähköistys:** kaikkia höyrynkulutuskohteita ei voida sähköistää → Ei mahdollinen
- **Lämpöakkuteknologia:** houkutteleva, halvat tunnit saadaan hyödynnettyä, kulutuksen parempi monitorointi helpottaisi latauksen ja purkamisen optimointia
- **Jokin kombinaatio yllä mainituista:** Osa prosesseista olisi sähköistettävissä, helpottaisi lämpöakun mitoitusta. Vaatii jonkin verran prosessiteknistä tarkastelua



Umicore Kokkola

Tausta ja tavoite

Kuvaus nykytilasta

- Umicore Finland Oy jalostaa kobolttia ja valmistaa akkumateriaaleja Kokkolan suurteollisuusalueella.
- Tuotantoprosessissa syntyy jatkuvasti 30...40 °C jätevettä, jonka hukkalämpöpotentiaalin Umicore on tunnistanut.
- Umicoren tehdasrakennukset lämmitetään Kokkolan Energialta ostetulla kaukolämmöllä.

Tavoite

Työn tavoitteena on selvittää, kuinka jäteveden hukkalämpö voitaisiin hyödyntää tehdasrakennusten kaukolämmityksen korvaamiseen lämpöpumpun avulla.

Jäteveden lämpötila [°C]



Virtaus [m3/h]



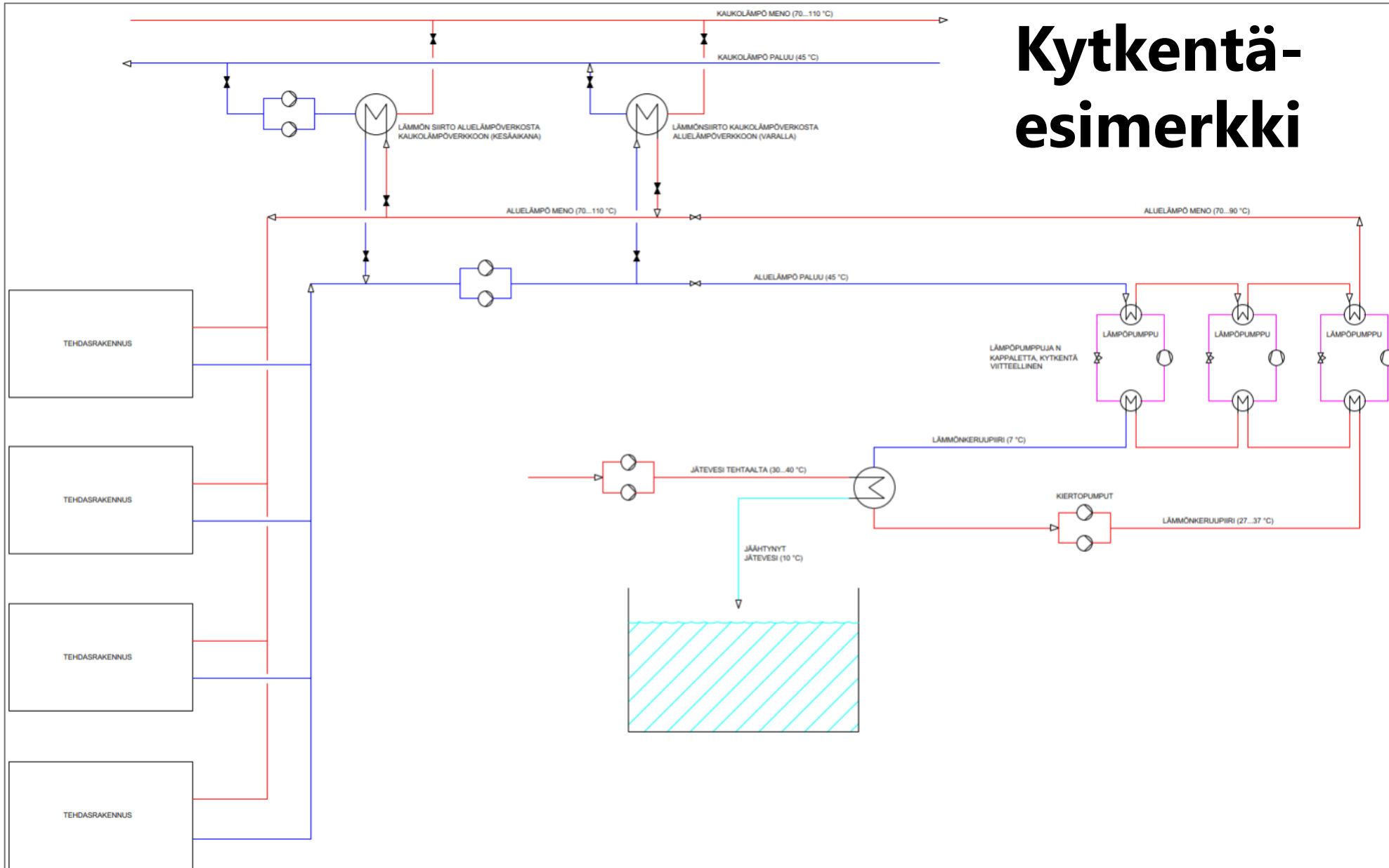
Hukkalämpöteho [MW]



Yhteenveto

- Jäteveden hukkalämmön hyödyntämispotentiaali on huomattavan suuri. Lämmönlähteestä tekee suotuisan sen jatkuva saatavuus ja hyvä lämpötilataso.
- Lämpöpumpun avulla hukkalämmöstä pystyttäisiin tuottamaan kaukolämpöä noin 12 MW:n teholla lämpökertoimen (COP) ollessa vuositasolla noin 3,5.
- Tuotettavan kaukolämmön lämpötilataso vaikuttaa kannattavuuteen, minkä vuoksi tarvittavaa lämpötilatasoa tulisi tarkastella kriittisesti ja selvittää, onko tarve käyttää lämmitykseen 110 °C vettä talvisin.
- Investoinnin kannattavuus muuttuu paremmaksi, mikäli ylimääräinen kesällä tuotettu lämpö saadaan myytyä Kokkolan Energialle 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.

KytKentä- esimerkki



SSAB Hämeenlinna

Tausta ja tavoite

Kuvaus nykytilasta

- SSAB tuottaa Hämeenlinnan tehtaallaan metalli – ja maalipinnoitettua ohutta teräslevyä sekä putkia.
- Tuotannossa syntyy paljon hukkalämpöä, josta merkittävä osa siirtyy ulkoilmaan.

Tavoite

- Työn tavoitteena on selvittää, kuinka tehdasrakennuksen poistoilmasta voitaisiin ottaa lämpöä talteen. Ilmanpoisto tapahtuu useilla katossa olevilla poistoilmapuhaltimilla ja huippuimureilla. Poistettavan ilman lämpötila vaihtelee sijainnin mukaan.
- Ongelmana on kattorakenteiden kuormituksen kestävyys. Rakennettavan LTO-järjestelmän tulisi olla kevyt, mikäli se rakennetaan katon varaan.

SSAB Hämeenlinna					Lämpötila [°C]	
Tunnus	Koje	Vaikutusalue	T [°C]	V [m³/s]	5	15
					teholaskenta [kW]	
	Poistopuhallin	ALUE 1	67	45	3348	2808
	Huippuimuri	"	35	16,7	601	401
	"	"	35	16,7	601	401
	"	"	35	16,7	601	401
	"	"	44	16,7	782	581
	"	"	44	16,7	782	581
	"	ALUE 2	39	14,1	575	406
	"	"	39	14,1	575	406
	"	"	44	14,1	660	491
	"	"	44	14,1	660	491
	"	"	43	14,1	643	474
	"	"	43	14,1	643	474

ALUE 1 YHTEENSÄ: 6715 kW (5 °C), 5173 kW (15 °C)

ALUE 2 YHTEENSÄ: 3756 kW (5 °C), 2742 kW (15 °C)



Yhteenveto

- Kuvan periaatteella toimivalla poistoilman uudelleenkanavoinnilla lämpö saataisiin talteen tehokkaasti, mutta järjestelmä vaatisi järeitä muutoksia ja suuria investointeja.
- Tarkastelussa oli myös poistoilma-aukkoihin sijoitettavat vesikiertoiset lämmönkeruuputket, mutta niillä talteen saatava lämpöteho jää hyvin pieneksi.

