

Ylijäämälämmön hyödyntäminen
Analyysit
Teollisuus
Energiatehokkuus

Ylijäämälämmön taloudellinen
hyödyntäminen

Ylijäämälämpöenergia-analyysit

Ylijäämälämpöenergia-analyysit

Ei julkaista painototteena

Ylijäämlämpöenergia-analyysit

Yhteenvetoraportti

Ilkka Heikkilä

Tomi Kiuru

Julkaisija Motiva Oy, Helsinki, huhtikuu 2014

Johdanto

Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen YLIMINI-projekti on Motivan koordinoima yritysten kanssa yhteistyössä tehty käytännön läheinen selvitys teollisuuden ylijäämälämmön taloudellisesti hyödyntämisestä. Projektin tulokset on koottu kolmeen eri osaraporttiin, Ylijäämäenergia-analyysit, Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset sekä Polttoaineen kuivatustekniikat.

Työssä tarkasteltiin mukana olevien yritysten omia aiheeseen liittyviä kokonaisuuksia. Nämä tarkastelut muodostavat rungon koko työlle. Yritysten ylijäämälämmön hyödyntämisprojekteja käsiteltiin työpajoissa yhdessä projektiryhmän kanssa. Projektissa hyödynnettiin myös laitetoimittajien/-valmistajien osaamista ja kokemuksia teollisista sovelluksista.

Tähän raporttiin on koottu YLIMINI-projektin Ylijäämäenergia-analyysit-ryhmän yhteenvedo, jossa on esitetty mukana olleiden yritysten ylijäämälämmön hyödyntämistä koskeneet, ratkaisua vaille olleet hankkeet, jotka olivat koko projektin tämän osan lähtökohta. Raportissa on esitetty harkittavaksi esitetyjä menettelytapoja ylijäämälämmön hyödyntämiseksi, uuden teknologian mahdollisuuksia, ylijäämälämmön myynnin ja oston ohjeita sekä esimerkkejä yhteistyöstä. Raportti sisältää myös yhteenvedon ja ohjeita siitä, miten toimipaikan/tehtaan kannattaa aloittaa ylijäämälämpötarkastelut sekä ohjeita ylijäämälämmön hyödyntämisen tarkasteluun energiakatselmustoiminnassa. Ohjeet perustuvat projektissa mukana olleiden yritysten kanssa käytyihin tarkasteluihin ko. tehtailla ja laitoksissa ja konsultin asiantuntemukseen ja kokemukseen. Tähän osaprojektiin osallistuivat seuraavat yritykset: Fortum Power and Heat Oy, Outokumpu Stainless Oy, Ruukki Metals Oy, Teollisuuden Voima Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja laitevalmistajista Johnson Controls Finland Oy, Kaukomarkkinat Oy/Friotherm AG, Metso Paper Oy, Pemco Oy, Sondex Tapiro Oy Ab ja Sulzer Pumps Finland Oy.

Tämän raportin ovat tehneet johtaja Ilkka Heikkilä ja johtava asiantuntija Tomi Kiuru Pöyry Finland Oy:stä. Motivasta projektissa ovat olleet mukana johtava asiantuntija Lauri Suomalainen (projektipäällikkö), yksikönpäällikkö Hille Hyytiä, johtava asiantuntija Pekka Ahtila ja johtava asiantuntija Petri Nieminen.

Sisällysluettelo

Johdanto	3
Sisällysluettelo	5
1 Analyysiryhmän työn tavoitteet ja sisältö	7
1.1 Työn kuvaus	7
1.2 EU:n Energiatehokkuusdirektiivi (EED)	8
1.3 Ylijäämälämmön hyödyntämisen esteitä yritystasolla	8
2 Ylijäämälämmön hyödyntämisen tehostamismahdollisuudet	10
2.1 Ylijäämälämmön määritelmä	10
2.2 Ylijäämälämmön hyödyntämisen peruseriaatteet	10
2.2.1 Teollisuuskohteen sisäiset hyödyntämismahdollisuudet sekundäärienergiana	11
2.2.2 Teollisuuskohteen ulkopuoliset hyödyntämismahdollisuudet eli lämmön myynti	14
2.2.3 Ylijäämälämmön muuttaminen sähköksi	16
2.3 Menettelytavat ja parhaat käytännöt	18
2.3.1 Pinch-analyysi	18
2.4 Ylijäämälämmön myynti	20
2.4.1 Yhteistyön muistilista	20
2.5 Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT)	22
3 Yritysten hyödyntämisselvitykset ja -projektit	23
3.1 Energiateollisuus	23
3.1.1 Yritysesimerkki 1: Ylijäämälämpöä jätevedestä lämpöpumpuilla kaukolämmöksi	23
3.1.2 Yritysesimerkki 2: Korkealämpötilaisten jäähdytysvesien tehokkaampi hyödyntäminen	24
3.2 Perusmetalliteollisuus	25
3.2.1 Yritysesimerkki 3: Korkealämpötilaisten jäähdytysvesien tehokkaampi hyödyntäminen	25
3.2.2 Yritysesimerkki 4: Matalalämpötilaisten jäähdytysvesien hyödyntäminen	27
3.2.3 Yritysesimerkki 5: LTO Askelpalkkiuunin 4 (AP4) savukaasuista kaukolämpöverkkoon	29
3.2.4 Yritysesimerkki 6: Konverttereiden LTO:n tehostaminen	31
3.2.5 Yritysesimerkki 7: Cowper-LTO: Savukaasun lämmön hyödyntäminen palamisilman esilämmityksessä	33

3.3	Metsä- ja puunjalostusteollisuus	35
3.3.1	Yritysesimerkki 8: Savukaasupesurilla lämpöä savukaasuista kaukolämpöverkkoon	35
3.4	Tapaus Imatra	36
3.4.1	Vaihtoehtojen esittely	38
3.4.2	Vaihtoehtojen vertailu	41
3.4.3	Johtopäätökset	42
4	Uuden teknologian mahdollisuudet	43
5	Ylijäämälämmön tarkastelut energiakatselmuksissa	50
5.1	Energiakatselmuksien toteutus Suomessa	50
5.2	Olemassa olevien järjestelmien tarkastus ja kuntoon saattaminen	50
5.3	Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksien tarkastelu	51
5.4	Yleisiä ohjeita ja nyrkkisääntöjä ylijäämälämpöjen hyödyntämismahdollisuuksista	52
5.4.1	Ylijäämälämmön lämpötilataso	52
5.4.2	Ylijäämälämmön teho ja sen ajallinen käyttö sekä vuosienenergia	54
5.4.3	Ylijäämälämmön olomuoto, puhtaus ja kemialliset ominaisuudet	55
5.4.4	Ylijäämälämmön ja primäärienergian hinnat	55
5.4.5	Ylijäämälämmön kysyntä	56
6	Yhteenveto	57

1 Analyysiryhmän työn tavoitteet ja sisältö

1.1 Työn kuvaus

Energiateollisuus ry. teetti yhdessä työ- ja elinkeinoministeriön kanssa vuonna 2010 selvityksen teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämispotentiaalista (Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä), josta tekniseksi hyödyntämispotentiaaliksi arvioitiin n. 18,9 TWh/a. Käytännössä hyödynnettävän osuuden arvioitiin olevan 4-5 TWh/a. Selvityksen pääpaino oli ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmössä, mutta selvityksessä tuotiin painokkaasti esille tarve selvittää tarkemmin ylijäämälämmön hyödyntäminen myös muissa kohteissa. Tämä selvitys taustatietonaan Motiva Oy käynnisti syksyllä 2012 yritysten kanssa yhteistyöprojektin Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen (YLIMINI).

Työn keskeisiä tavoitteita ovat:

- Ylijäämälämmön energiatehokkuuspotentiaalin taloudellinen hyödyntäminen ja sekundäärilämmön optimointi yrityksissä
- uuden energiatehokkaan teknologian edistäminen ja käyttöönotto sekä uuden liiketoiminnan kehittäminen
- yritysten kilpailukykyyn parantaminen
- valmistautuminen energiatehokkuusdirektiivin ylijäämälämmön hyödyntämistä koskeviin velvoitteisiin
- tuottaa lisätietoa katselmustoimintaan ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksien tunnistamiseksi.

Työn pääpaino on energiavaltaisessa teollisuudessa ja energiantuotannossa, mutta työssä käsiteltävät ratkaisut ja tieto on hyödynnettävissä myös keskisuurissa yrityksissä.

Projekti on jaettu kolmeen osa-alueeseen.

- Ylijäämäenergia-analyysit
- Lämpöpumput ja ORC
- Polttoaineen kuivatus.

Ylijäämälämpöenergia-analyysit (Analyysiryhmä) osaprojektiin liittyen tavoitteena oli selvittää yrityksissä/tehtailla niiden valitsemien ylijäämälämpövirtojen hyödyntämismahdollisuudet sekä kannattavuus ja tuottaa yleisen tason ohjeita laitoksille ylijäämälämmön tarkastelua varten. Tämän lisäksi työssä laadittiin ohjeet ylijäämälämmön tarkasteluun energiakatselmuksissa.

1.2 EU:n Energiatehokkuusdirektiivi (EED)

Direktiivi astui voimaan 4.12.2012 ja se otetaan osaksi kansallista lainsäädäntöä 4.6.2014 mennessä. Direktiivissä käsitellään ylijäämälämpöä ja sen hyödyntämistä artiklassa 14 Kaukolämmön, -jäähdytyksen ja yhteistuotannon edistäminen.

Artiklan mukaan jäsenvaltion on laadittava 31.12.2015 mennessä kattava arvio tehokkaan yhteistuotannon ja tehokkaan kaukolämmön ja -jäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksista, jotka päivitetään komission pyynnöstä 5 vuoden välein. Tällä edistetään tehokkaita lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä ja yhteistuotantoa. Arviointia varten on tehtävä kansallinen kustannus-hyötyanalyysi.

Tämä koskee

- lauhdevoimalaitosta tai merkittävästi hukkalämpöä tuottavaa teollisuuslaitosta (yli 20 MW)
- kaukolämmitys- ja jäähdytysverkkoa tai sen energiatuotantolaitosta (yli 20 MW)
- kustannus-hyötyanalyysin laatimista laitoksen luvituksen yhteydessä.

Jos arvioinnin tai kustannus-hyötyanalyysin tulos on ”positiivinen”, on toteutettava/toteutetaan riittävät toimenpiteet infrastruktuurin kehittämiseksi ja/tai varmistetaan, että kustannus-hyötyanalyysi toteutetaan suunniteltaessa uutta tai uudistettaessa merkittävästi nykyistä.

Kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysverkoista vastaavat yritykset voidaan velvoittaa yhteistyöhön kustannus-hyötyanalyysien teossa.

1.3 Ylijäämälämmön hyödyntämisen esteitä yritystasolla

Teollisuus on vuosien saatossa tehostanut ylijäämälämmön hyödyntämistä erilaisin sisäisin prosessiparannuksin ja lämmön talteenoton sekä myymällä lämpöenergiaa paikallisille energiayhtiöille. Ylijäämälämmön vähentämisen ja hyödyntämisen ajavina voimina ovat olleet mm. kallistunut energian hinta, lainsäädännön viranomaisvaatimukset energiatehokkuuden ja ympäristönsuojelun näkökulmasta (BAT) sekä laitetekniikan kehittyminen (esim. lämpöpumput).

Ylijäämälämmön käytölle on vielä olemassa mm. seuraavia esteitä:

- 1 Taloudellinen kannattavuus
- 2 Tekniikan puuttuminen tai sen epäluotettavuus
- 3 Lämmön hyödyntämiskohteiden puute
- 4 Lainsäädännölliset, poliittiset tai kansalaismielipiteiden esteet.

Ylijäämälämmön hyödyntämisen ratkaisun tulee olla lainsäädännön kannalta hyväksyttävä. Esim. ympäristölainsäädäntö harvemmin asettaa suoranaisia esteitä ylijäämälämmön hyödyntämiselle mutta saattaa heikentää sen kannattavuutta esim. rajoittamalla parhaiden kylmäaineiden käyttöä. Toisaalta etenkin ympäristölupaehdot usein pakottavat ylijäämälämmön tehokkaaseen hyödyntämiseen BAT-vaatimusten mukaisesti ja päästörajoitusten puitteissa.

Politiikka vaikuttaa ylijäämälämmön hyödyntämisen mahdollisuuksiin EU-tason, kansallisen tason ja kunnallispoliittisten päätösten kautta. Ylijäämälämmön luokittelu uusiutuvaksi energiaksi helpottaisi sen hyödyntämistä. Luokittelumuutos vaatisi EU-tason muutoksen eikä sellaista ole esillä tai vireillä millään muotoa. Tyypillisimmin kansallisella politiikalla vaikutetaan ylijäämälämmön hyödyntämiseen mm. lainsäädännön sekä energiatukien ja -verotuksen kautta. Teollisuuden ylijäämälämpöä voidaan usein hyödyntää yhteistyössä kunnallisen energialaitoksen kanssa syöttämällä sitä kaukolämpöverkkoon. Teollisuuden ja energiayhtiöiden intressit sekä sitoutumis- ja riskienkantohalukkuus saattavat poiketa merkittävästi toisistaan. Tällaisissa ratkaisuissa kunnallispolitiikka ja jopa henkilösuhteet ovat merkittävässä asemassa.

Kansalaismielipiteet vaikuttavat muihin asukkaisiin ja paikallisten poliittisten päättäjien kautta kunnallisiin päätöksiin. Mahdollisesta ylijäämälämmön hyödyntämisprojektista on siten syytä tiedottaa ja informoida lähiseudun asukkaita riittävästi, jotta vastustavia mielipiteitä ei muodostettaisi ainakaan puutteellisten tai väärin tietojen perusteella.

Ylijäämälämmölle ei aina yksinkertaisesti löydy käyttökohdetta. Näin etenkin tapauksissa, joissa suuri, energiaintensiivinen ja jo hyvin energiatehokas teollisuuslaitos sijaitsee erillään kaukana muista teollisuuslaitoksista tai tiheästä asutuksesta. Lämpöenergiaa voidaan toki siirtää pitkiäkin matkoja tai tietyn rajoituksen muuttua sähköksi mutta tällöin törmätään kannattavuuskysymyksiin. Teollisuuslaitoksen sisäinen energiankäytön optimointi esim. pinch-analyysin avulla saattaa tuoda joitakin tehostamismahdollisuuksia.

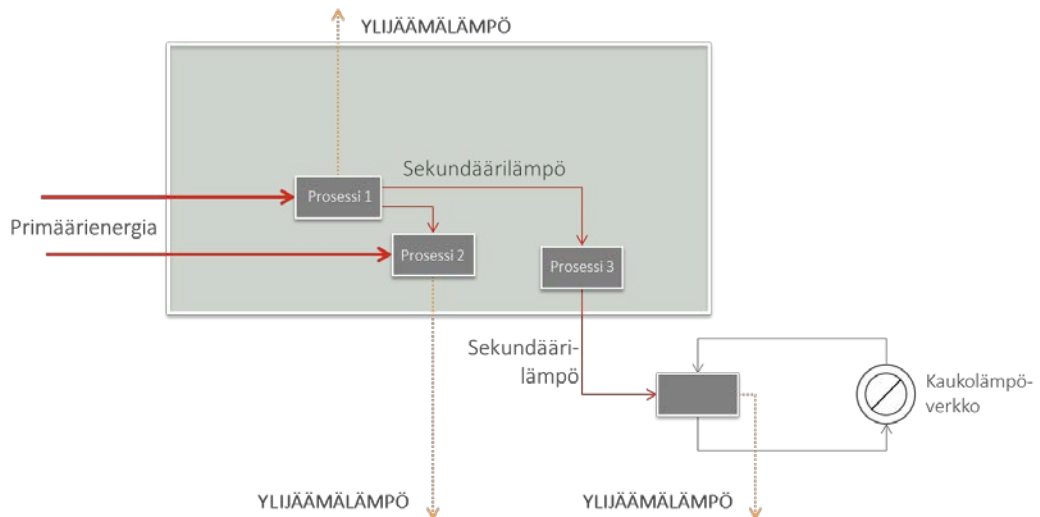
Tekniikan kehittyminen esim. lämpöpumpuissa ja ORC-tekniikassa on viime vuosina aikaansaanut lukuisia ylijäämälämmön hyödyntämistoteutuksia. Merkittävimpiä näistä ovat mm. Helsingin, Turun ja Joensuun sekä tulevaisuudessa Espoon jätevesien energian hyödyntäminen lämpöpumpuilla kaukolämmitykseen. Parhaan tekniikan puuttuminen tai sen epäluotettavuus ja siitä aiheutuva investoinnin kannattavuuden heikkous ja epävarmuus estävät kuitenkin edelleen monien hankkeiden toteutumista. Tyypillisiä teknisiä käytännön haasteita ovat mm. likaantumis-, suodatus- ja korroosio-ongelmat. Tekniikan kehittyminen ei aina välttämättä auta, mikäli asia ei saavuta riittävää julkisuutta tai ymmärtämystä. Etenkään pienemmissä teollisuusyrityksissä ei välttämättä ole riittävää asiantuntemusta tunnistaa ylijäämälämmön hyödyntämispotentiaalia tai henkilöstöllä ei ole aikaa lähteä viemään projekteja eteenpäin.

Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuden ratkaisee kuitenkin viimekädessä taloudellinen kannattavuus ympäristössä, jonka mm. edellä esitetyt vaikuttimet ovat luoneet. Teollisuusyritysten kvartaalijajattelu, vähentynyt oma henkilöstö, kasvaneet tuottovaatimukset ja markkinatalouden nopeat muutokset eivät ole omiaan lisäämään energiansäästöinvestointeja huolimatta nousseista energiakustannuksista. Energiansäästöhankkeet kilpailevat useimmiten yrityksen investointibudjetissa samalla viivalla tuotannollisten hankkeiden kanssa ja budjetin rajallisuuden vuoksi kannattavatkin hankkeet saattavat viivästyä tai jäädä kokonaan toteuttamatta. Esco-toiminta ei ole Suomessa saavuttanut merkittävää asemaa teollisuuden energiansäästöhankkeissa. Markkinoiden pienuus ja vallitseva kirjanpitoikäntö lienevät tähän merkittävimpiä syitä.

2 Ylijäämlämmön hyödyntämisen tehostamismahdollisuudet

2.1 Ylijäämlämmön määritelmä

Ylijäämlämpö on lämpöenergiavirta, joka poistuu tuotantolaitoksesta esim. jäähdytysveden, erilaisten poistoilmojen, savukaasujen, jäteveden tai koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmön mukana. Tätä kutsutaan myös hukka- tai jätelämmöksi. Pää tavoitteena on hyödyntää prosesseista ylijäävä sekundäärienergia muissa prosesseissa niin että ylijäämlämpöä muodostuu mahdollisimman vähän.



Kuva 1 Ylijäämlämmön määritelmä.

2.2 Ylijäämlämmön hyödyntämisen peruseriaatteen

Ylijäämlämpöä esiintyy teollisuuslaitoksissa hyvin erilaisissa muodoissa ja ominaisuuksissa. Jokainen ylijäämlämpökohde ja sen hyödyntäminen vaatii yksilöllisen tarkastelun, mutta joitakin peruseriaatteita ja ohjeita on mahdollista esittää. Kappaleessa 5 on esitetty ylijäämlämmön tarkastelu energiakatselmustoiminnassa. Ylijäämlämmön käytännön hyödyntämismahdollisuudet riippuvat useista tekijöistä:

- lämpötilataso
- entalpiavirran (lämpötehon) suuruus
- lämpövirran väliaine ja faasi (kaasu, höyry, neste, ilma jne.)
- väliaineen kemialliset ominaisuudet
- väliaineen puhtaus.

Yhdenkin tekijän ollessa riittävän epäsuotuisa, lämmön hyödyntäminen saattaa muuttua mahdottomaksi tai kannattamattomaksi. Mikäli ylijäämälämmössä on suuri potentiaali, mutta sen hyödyntäminen todetaan kannattamattomaksi, on syytä selvittää prosessiketjua taaksepäin eli selvittää voitaisiinko pienellä esim. prosessin lämpötilatason muutoksella parantaa kokonaisuuden energiatehokkuutta ja kannattavuutta. Tämä sama periaate on yleisimmin käytössä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, jossa tinkimällä sähköntuotannosta mahdollistetaan kaukolämmöntuotanto ja kokonaishyötysuhteen nousu jopa yli 90 prosenttiin pelkän lauhdelaitoksen noin 40 prosentista.

Ylijäämälämmön hyödyntämistä tarkastellaan tyyppillisesti seuraavassa järjestyksessä:

1. Teollisuuskohteen sisäiset hyödyntämismahdollisuudet sekundäärienergiana
2. Teollisuuskohteen ulkopuoliset hyödyntämismahdollisuudet eli lämmön myynti
3. Lämmön muuttaminen sähköksi.

Tarkastelujärjestys perustuu oletuksiin ja kokemuksiin hyödyntämisen taloudellisesta kannattavuudesta ja teknisistä mahdollisuuksista.

2.2.1 **Teollisuuskohteen sisäiset hyödyntämismahdollisuudet sekundäärienergiana**

Ylijäämälämmöllä pyritään ensisijaisesti korvaamaan kohteen primäärienergian käyttöä. Edellä mainitut ylijäämälämmön ominaisuuksien muuttujat määrittelevät käytännön mahdollisuudet. Kannattavinta korvaaminen on yleensä silloin, kun primäärienergian hinta on korkea, käyttöaika on pitkä, teho suuri ja investointikustannus pieni.

Kokemukseen perustuva hyvä tarkastelujärjestys on seuraava:

1. Hyödyntäminen tuotantoprosesseissa

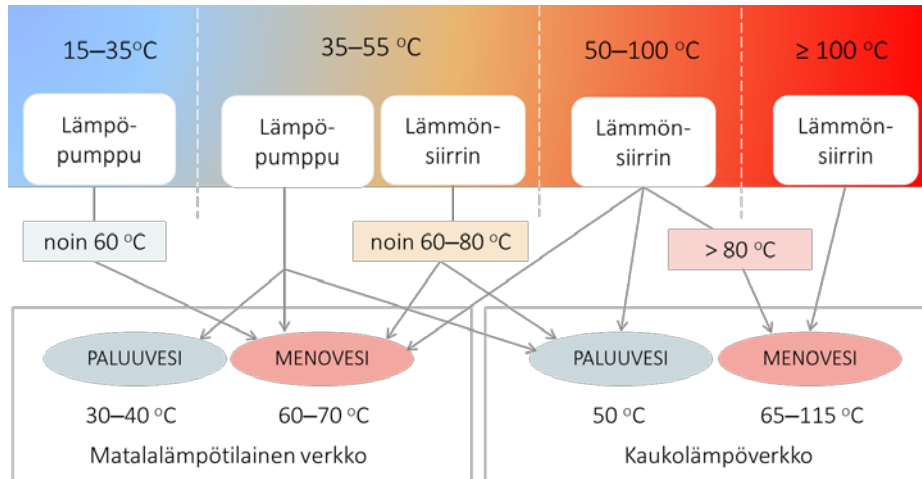
Tuotantoprosesseissa ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää esim. kytkentämuutoksin, lämpöpumppujen, termokompressorin tai komprimoinnin avulla. Näiden teknisiä mahdollisuuksia ja rajoitteita on esitetty taulukossa 1. Tuotantoprosesseiksi voidaan lukea myös polttoaineen tai oman väli- tai lopputuotteen kuivatus. Eri kuivatustekniikoita on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1 Lämpöpumputyyppien ominaisuudet. (Motiva Oy, Ylijäämälämpö - Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset 2013.)

	Mekaaninen lämpöpumppu	Absorptio-lämpöpumppu	Absorptio-lt:n muunnin	Höyryn komprimointi	Termo-kompressori
Käyttöenergia	sähkö	kuuma vesi tai höyry	lämpö	sähkö	höyry
Max. luovutus-lt.	95 (120) °C	95 °C	150 °C	200 °C	180 °C
Lämpötilan nosto	20–90 °C	30–65 °C	30–50 °C	5–30 °C	5–20 °C
Max. teho	Lähes rajoittamaton sarjaan kytketyillä järjestelmillä	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton
COP	2,6–7,5	1,5–1,7	0,4–0,5	3–30	1,5–5
Kiertoaaine	halogenoidut hiilivedyt, ammoniakki, hiilivedyt, CO ₂	vesi/litium-bromidi, ammoniakki/vesi	vesi/litium-bromidi	vesihöyry, hiilivetyhöyry	vesihöyry
Osakuorma-ominaisuudet	+	++	++	+	+/-
Investointi	-	-	-	+/-	+
Sisäinen korrosio-herkkyys	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava	seurattava
Sisäinen likaantuminen	ei esiinny	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava
Melu	+/-	++	++	+/-	--
Edut	luotettava	luotettava, yksinkertainen vähän ylläpitoa säädettävyys 0 -100 % kestävyys	yksinkertainen vähän ylläpitoa säädettävyys kestävyys	pieni lämmönsiirto-pinta-ala	yksinkertainen edullinen ei liikkuvia osia ei likaantumisongelmia
Haitat	ei sovi korkeille lämpötiloille nopea käynnistys (0→100 % ~2 min) säädettävyys haastavissa mitoitusolosuhteissa	suuri sis. lämmönsiirto-pinta-ala suhteellisen hidas käynnistys (0 →100 % ~ 10 min) tyhjän varmistus tarvitaan kerran viikossa	suuri sis. lämmönsiirto-pinta-ala hidas käynnistys suuri tarvittava ylijäämälämpövirtaus	pieni dT sopii vain tietyille höyryille	pieni dT vain tietyille höyryille melu
Yleisimmät sovellukset	lämmitys kuivaus	lämmön talteenotto	erikoiskohteet	höyrystys tislaukset	höyrystys tislaukset

2. Hyödyntäminen kiinteistön lämmitystarpeisiin

Lämmön hyödyntäminen kiinteistössä tapahtuu yleensä vesilämmitysverkon avulla. Ylijäämälämpö voidaan siirtää lämmitysverkkoon eri tekniikoilla lähteestä riippuen. Käytettyjä tekniikoita ovat mm. savukaasupesuri, jätelämpökattila, tavalliset lämmönvaihtimet tai lämpöpumppu lämpötilatasoa nostamalla. Kuvassa 2 on esitetty käyttömahdollisuudet eri ylijäämälämmön lämpötilatasoilla.



Kuva 2 Ylijäämälämmön käyttö lämpötilatasoittain. (YIT, 2010)

Suurissa ja/tai alipaineisissa raskaamman teollisuuden laitoksissa, joissa sisäilmaolosuhteille ei aseteta niin suuria vaatimuksia, ylijäämälämmön luovutus tiloihin voi tapahtua hyvinkin yksinkertaisesti esim. sisätiloissa olevan nestejäähdyttimen avulla tai korvausilmasäleikön eteen asennettavalla esilämmityspatterilla. Tällöin matalalämpötilainenkin ylijäämälämpö saadaan edullisin investoinnein hyödyksi. Ratkaisuihin ei jaeta tyyli pisteitä. Tärkeintä on, että ne toimivat ja ylijäämälämpöä saadaan kannattavasti hyödyksi.

3. Hyödyntäminen jäähdytystarpeisiin absorptiolämpöpumpun avulla

Ylijäämälämpöä voidaan käyttää myös tuottamaan kylmää, esim. jäähdytysvettä.

Absorptiojäähdytys perustuu kiertoprosessiin, jossa jäähdytysenergiaa tuotetaan lämpöenergian avulla. Tavallisimmin prosessiaineina käytetään $H_2O-LiBr$ paria tai $NH_3 - H_2O$ paria. $H_2O-LiBr$ -prosessi voi olla yksivaiheinen, kaksivaiheinen tai kolmivaiheinen. Vaiheiden lukumäärän kasvattaminen nostaa prosessin kylmäkerrointa mutta tekee laitteistosta monimutkaisemman, kalliimman ja edellyttää korkeammassa lämpötilassa olevaa käyttöenergiaa. Ylijäämälämmöltä vaadittava lämpötila-alue on 60...200 °C, jolloin kylmäkerroin on vastaavasti 0,5...1,6.

2.2.2 Teollisuuskohteen ulkopuoliset hyödyntämismahdollisuudet eli lämmön myynti

Mikäli teollisuuskohteessa ei pystytä sisäisesti hyödyntämään ylijäämälämpöä em. tarpeisiin, lämmön myynnin mahdollisuudet on hyvä selvittää. Saattaa toki myös olla tapauksia, jolloin ylijäämälämmön myynti on omakäyttöä kannattavampaa esim. jos sillä pystytään korvaamaan kalliita fossiilisia polttoaineita. Lämmön myyntiä selvitetessä on hyvä tutustua kappaleessa 2.4.1 esitettävään muistilistaan. Tyypillisiä vaihtoehtoja lämmön myynnissä ovat:

1. Myynti paikalliselle energiayhtiöille kaukolämpönä

Tämä edellyttää kaukolämpöverkon olemassaoloa tai sellaisen rakentamista tuotantolaitokselle. Kaukolämpöverkon lämmöntarve on erittäin ulkolämpötilariippuvainen ja siihen on tyypillisesti yhdistetty useita lämpölaitoksia, joten ylijäämälämmönlähteen soveltuvuus ja liittymisen vaikutukset siihen ovat tapauskohtaisia. Periaatteellisia liittymisen edellytyksiä on esitetty kuvassa 3.

Kaukolämpöalan uutena visiona ja strategiana on, että kaukolämpöjärjestelmiä kehitetään siten, että ne mahdollistavat asiakkaiden ylijäämälämmön hyödyntämisen kaukolämpöverkossa kaupallisin perustein. Tämä tarkoittaa teollisuusyrityksille todennäköisesti helpompaa yhteistyötä energiayhtiöiden kanssa. Ylijäämälämmön myynnistä on lisää kappaleessa 2.4.1.

2. Myynti lähialueen yrityksille

Vanhoilla tehdasalueilla on tyypillisesti ollut yhteinen aluelämpöverkko, jonka kautta yksi tai useampi yritys myy lämpöä muille yrityksille. Nykyisin nämä ovat usein yhteydessä paikkakunnan kaukolämpöverkkoon ja mahdollisesti paikallisen energiayhtiön hallinnassa, jolloin myynti vastaa kaukolämpöverkkoon myyntiä.

Toisille yrityksille on mahdollista myydä lämpöenergiaa myös erillisen lämpöjohton avulla normaalista poikkeavalla lämpötilatasolla, mikäli myyjän ja ostajan intressit kohtaavat. On kuitenkin muistettava, ettei ylijäämälämpöenergia yleensä voi olla ostavan yrityksen ainoa lämpöenergianlähde. Myyjän on siten yleensä varmistettava luotettava lämmöntoimitus myös poikkeustilanteissa esim. prosessin seisokeissa tai ostajalla on oltava omaa varakapasiteettia

3. Myynti perustettavaan uuteen yritystoimintaan

Joissakin tapauksissa edullisen ylijäämälämpöenergian olemassaolo saattaa aikaansaada uutta yritystoimintaa. Matalalämpöinenkin ylijäämälämpö kelpaa esim. biopolttoaineiden kuivatukseen, kasvihuoneisiin tai kalankasvattamoille. Kuvassa 4 on esitetty erilaisia vaihtoehtoja polttoaineiden kuivaamiselle ylijäämälämmöllä. Motivan Ylimini-projektin yksi osa käsitteli polttoaineiden kuivatusta ja löytyy Motivan [www-sivuilta](http://www.motiva.fi/ylijaamalampo) osoitteesta: www.motiva.fi/ylijaamalampo

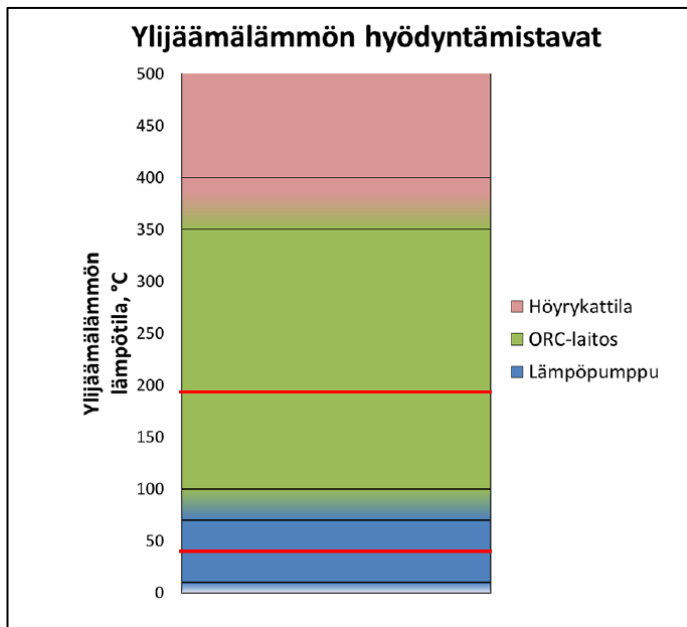
Taulukko 2 Polttoaineen kuivuritekniologia. (Motiva, Ylijäämälämpö - Polttoaineiden kuivatus 2013).

Kuivuri- teknologia	Hyödyt	Haitat
Rumpukuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Useita laitetoimittajia • Joustavuus syöttömateriaalin suhteen • Energiatehokkuus • Suuri kuivauskapasiteetti 	<ul style="list-style-type: none"> • Päästöjen käsittely: VOC-, haju- ja partikkelipäästöt • Paloturvallisuusriskit • Vaatii korkealämpötilaisen lämmönlähteen
Flash-kuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Useita laitetoimittajia • Nopea kuivumisaika ja kompakti rakenne 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaatii korkealämpötilaisen lämmönlähteen • Päästöjen käsittely: VOC-, haju- ja partikkelipäästöt • Korroosio- ja eroosio-ongelmat
Viirakuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Useita laitetoimittajia • Joustavuus syöttömateriaalin suhteen • Soveltuvuus ylijäämälämmölle • Helppo säädettävyys ja hyvä käytettävyys 	<ul style="list-style-type: none"> • Tilan tarve • Omakäytösähkön kulutus • Investointi- ja huoltokustannukset
Petikerroskuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuvuus ylijäämälämmölle • Yksinkertainen rakenne 	<ul style="list-style-type: none"> • Laitetoimittajia vähäisesti • Matalat kosteuspitoisuudet epärealistisia
Aumakuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuvuus ylijäämälämmölle • Yksinkertainen rakenne 	<ul style="list-style-type: none"> • Kuivaus ulkoilmassa: kausirajoitteinen, epätasainen kuivuminen • Tilan tarve • Pölyäminen • Pitkä kuivumisaika
Kenttäkuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuvuus ylijäämälämmölle (erityisesti matalille lämpötiloille) • Hyödyntää olemassa olevia rakenteita • Voidaan hyödyntää aurinkolämpöä 	<ul style="list-style-type: none"> • Kuivaus ulkoilmassa: kausirajoitteinen, sääolot • Tilan tarve • Polttoainekerroksen käänteleväminen
Siilokuivuri	<ul style="list-style-type: none"> • Soveltuvuus ylijäämälämmölle • Hyödyntää olemassa olevia rakenteita 	<ul style="list-style-type: none"> • Kehitysriskit • Laitetoimittajia vähäisesti • Matalat kosteuspitoisuudet epärealistisia

2.2.3 Ylijäämälämmön muuttaminen sähköksi

Ylijäämälämpöä on mahdollista muuttaa sähköksi erilaisten tekniikoiden avulla. Nyrkkisääntönä on sähkönsaannin hyötysuhteen alentuminen voimakkaasti ylijäämälämmön lämpötilatason laskiessa. Sähkönsaannin hyötysuhde laskee myös tehokokoluokan pienentyessä. Yhteistä tekniikoille on tarve lämpötilaerolle eli aina tarvitaan myös jäähdyttävä virtaus.

Kuvassa 3 on esitetty ylijäämälämmön hyödyntämistavat sähköntuotantoon sekä lämpöpumpulla lämpötilatasosta riippuen.



Kuva 3 Ylijäämälämmön hyödyntämistavat. (Motiva, Ylijäämälämpö - Lämpöpumppu ja ORC-sovellukset 2013).

Korkealämpöisellä (>350 °C) ylijäämälämmöllä voidaan luonnollisesti tehdä sähköä tavallisella höyryvoimaprozessilla, mutta tätä alemmilla lämpötiloilla vaihtoehtoja ovat mm.

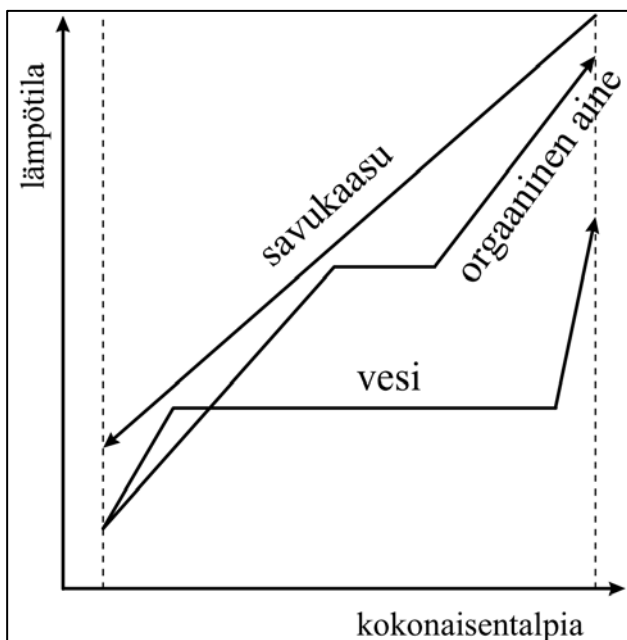
- ORC-prosessi
- termosähköelementit
- matalalämpö-Stirling moottori.

Kaksi viimeksi mainittua ovat harvinaisempia, eikä niistä löydy Suomesta suuremman kokoluokan kaupallisia toteutuksia. Termosähköelementtien kehitys on suuren mielenkiinnon kohteena ja odotukset ovat suuria. Tutkijoiden esittämiä sovelluksia ovat esim. autojen pakoputkiin ja voimalaitosten savupiippuihin tai jäähdytystorneihin yhdistettävät ratkaisut. Näitä on esitelty tarkemmin kappaleessa 4.

ORC-prosessi

ORC-prosessi (Organic Rankine Cycle) on perinteisen Rankine-voimalaitoskiertoprosessin kaltainen Rankine-prosessi, jossa kiertoaineena käytetään veden sijasta ominaisuuksiltaan kohteeseen sopivaa orgaanista ainetta, joka höyrystyy ja lauhtuu prosessin eri osissa vesikierron tapaan. Orgaanisilla kiertoaineilla saavutetaan seuraavia etuja:

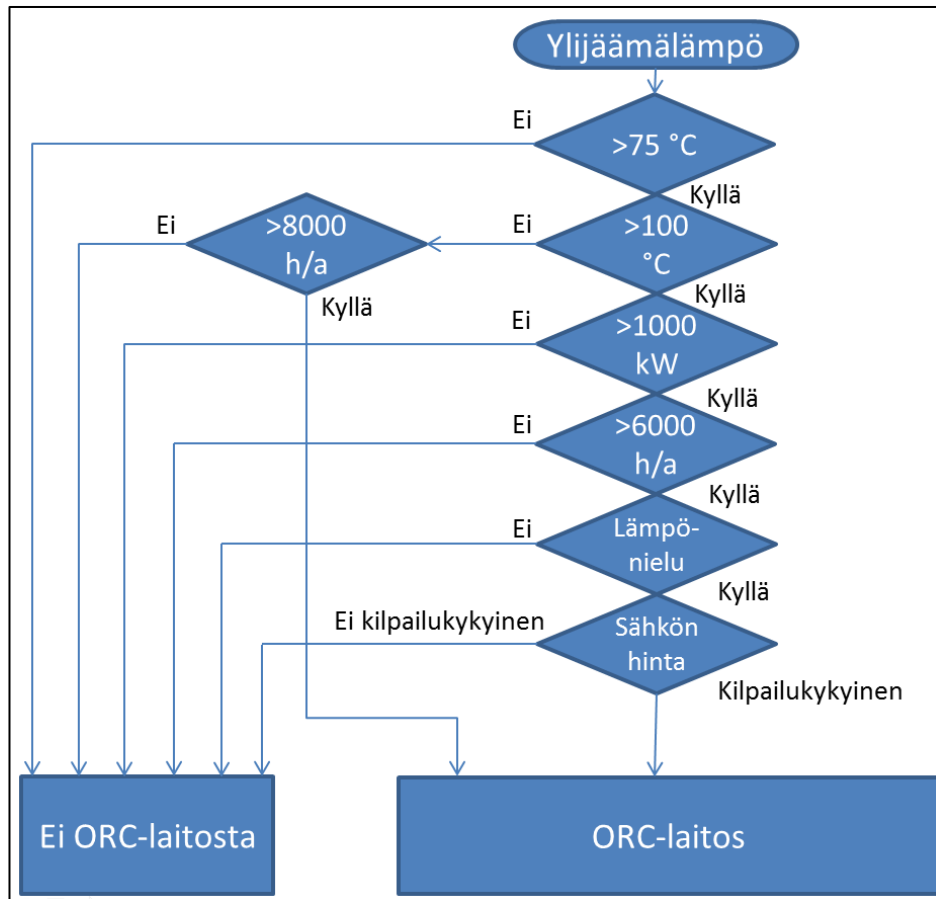
- pystytään hyödyntämään tehokkaasti kylmempää lämpöä
- yksinkertaistetaan laitoksen rakennetta
- päästään pieniin yksikkökokoihin ja hajautettuun sähkön tuotantoon
- vältetään kostean höyryn aiheuttamat ongelmat turbiinissa
- parannetaan toimintavarmuutta.



Kuva 4 ORC- ja vesihöyryprosessien periaatteelliset lämpötiladiagrammit.
(Motiva Oy, Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset, 2013.)

ORC-laitokset ovat kaupallista tekniikkaa, joskin ylijäämälämpösovelluksina harvinaisempia. Motivan Ylimini-projektin yksi osa käsitteli ORC-laitoksia ja löytyy Motivan www-sivuilta osoitteesta: www.motiva.fi/ylijaamalampo

Kuvassa 5 on esitetty periaatekaavio ORC-laitoksen käyttömahdollisuuksien tunnistamisesta.



Kuva 5 **ORC-potentiaali.** (Motiva Oy, Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset, 2013.)

2.3 Menettelytavat ja parhaat käytännöt

2.3.1 Pinch-analyysi

Pinch-analyysi on systemaattinen laskentamenetelmä prosessien jäähdytys- ja lämmitystarpeiden analysointiin. Pinch-analyysin lähtötietoina tarvitaan lämmittävien ja jäähdyttävien energiavirtojen tiedot (massavirta, ominaislämpökapasiteetti ja lämpötila) sekä erilaisia prosesseihin liittyviä laitoskohtaisia rajoitteita ja reuna-ehjoja.

Analyysin avulla selviää:

- Kuinka suuri osa prosessin energiatarpeesta voidaan kattaa prosessin sisäisellä lämmönsiirrolla ja kuinka suuri osa täytyy tuoda ulkopuolelta?
- Millainen lämmönvaihdinverkko tarvitaan?
- Tieto teoreettisesta minimistä lämmityksen ja jäähdytyksen tarpeille.

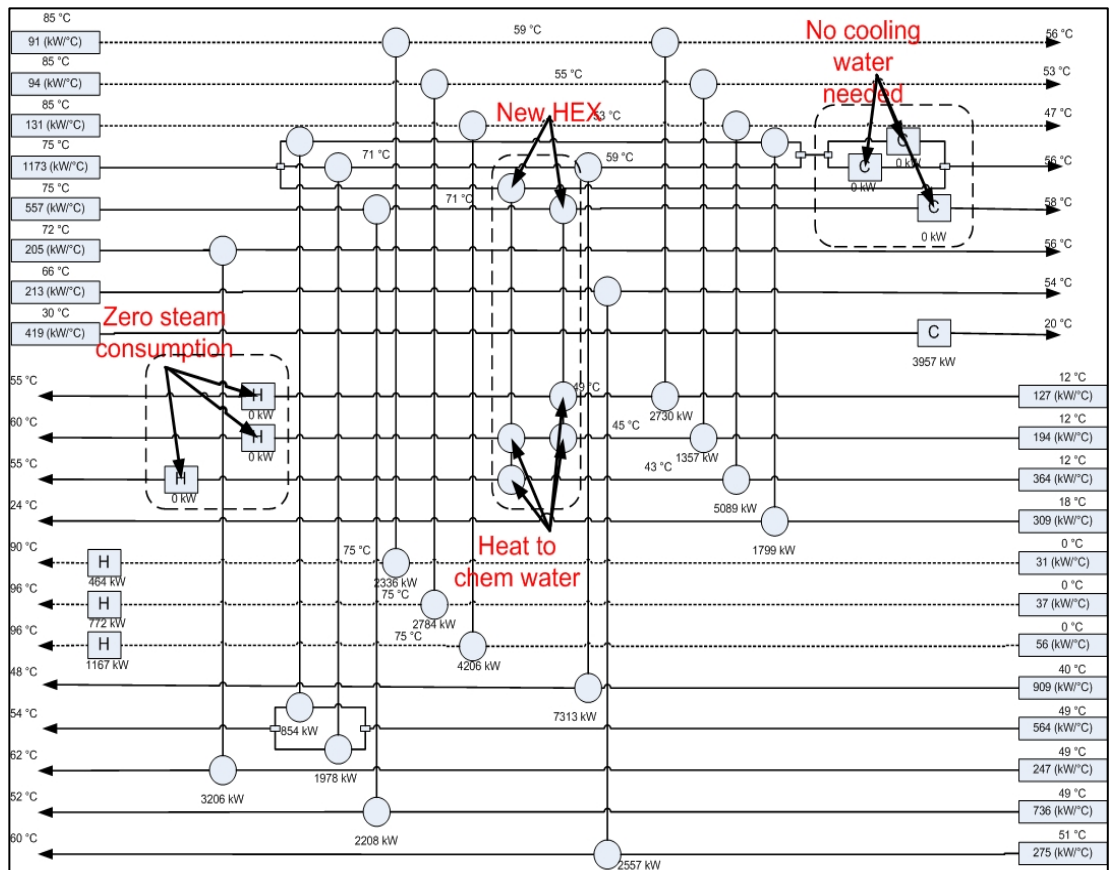
Menetelmä lyhyesti:

- kerätään tiedot kaikista prosessin lämmitys- ja jäähdytystarpeista, pinch-analysissä ”kylmät ja kuumat virrat”
- muodostetaan näistä summakäyrät ja tarkastellaan prosessia lintuper-spektiivistä olettaen täysi vapaus kytkentöjen suunnitteluun.
- saadaan selville teoreettiset minimikulutukset eritasoisilla lämmönvaihdin-verkoilla.
- tarkastellaan kuinka lähelle minimikulutusta on järkevää pyrkiä tekniset ja taloudelliset reunaehdot huomioon ottaen.

Tuloksena saadaan tieto siitä, kuinka pieni prosessin energiankulutus teoriassa voisi olla, kuinka lähelle sitä kannattaa käytännössä pyrkiä ja mitkä seikat rajoittavat siihen pääsyä.

Suurimmat hyödyt:

- vältetään osittaisoptimointi
- saadaan tietoa säästömahdollisuuksista
- tietämys prosessista paranee
- helpottaa teknisten ratkaisujen kokonaisvaikutusten arviointia.



Kuva 6 Pinch-analysin tulosten yhteenvetokaavio.

Kuvassa 6 esimerkkinä esitetystä yhteenvetokaaviosta nähdään kuinka lämmönvaihtimia lisäämällä ja tehtaan sisäisiä lämmitys- ja jäähdytyskytkentöjä muuttamalla voitaisiin ainakin teoriassa vähentää primäärienergian käyttöä sekä ulkoista jäähdytysveden tarvetta. Käytännön mahdollisuudet ja toimenpiteiden kannattavuus on tarkasteltava erikseen.

Pinch-analyysi soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa on

- osuuri energiankulutus
- jatkuvatoiminen prosessi
- hyvä instrumentointi.

Pinch-analyysin tulosten luotettavuus heikkenee ja työmäärä kasvaa kohteissa, joissa on

- eräprosessit
- vaihtelevat tuotteet
- huono instrumentointi.

Pinch-analyysi on parhaimmillaan energiaintensiivisessä prosessiteollisuudessa tai muissa monimutkaisissa kohteissa, joissa on paljon lämmitys- ja jäähdytystarpeita eri lämpötilatasoilla.

2.4 Ylijäämälämmön myynti

2.4.1 Yhteistyön muistilista

Mikäli ylijäämälämmölle ei löydy käyttöä yrityksen omiin tarpeisiin tai sen taloudellinen kannattavuus jää heikoksi, ylijäämälämpöä on mahdollista myydä toiselle osapuolelle. Ostavalle yritykselle ylijäämälämmön ostaminen on usein vaihtoehto jollekin vaihtoehtoiselle investoinnille tai kalliimman polttoaineen korvaamiselle lämmöntuotannossa. Ostajan on siten yleensä tehtävä perusteellinen kannattavuusvertailu eri vaihtoehtojen kesken.

Suomessa noin 20 teollisuusyritystä/toimipaikkaa myy lämpöä energiayhtiöille. Näistä osassa myytävä lämpöenergia on kokonaan tai osittain ylijäämälämpöä (YIT, 2010). Yrityksen harkitessa yhteistyötä ulkopuolisen kumppanin, esim. toisen teollisuusyrityksen tai paikallisen energiayhtiön kanssa, on varauduttava teknisten ja taloudellisten vaikutusten selvittämiseen sekä sopimusneuvotteluihin. Prosessin kesto on tyypillisesti 3...12 kk ja se vaatii yleensä resursseja teknisistä mittauksista aina lainopillisiin palveluihin. Mikäli ylijäämälämmön ostaja on investoija, lämmönmyyjäyrityksen on syytä varautua tietojen laajaan jakamiseen selvitysvaiheessa sekä sitoutumisvaatimukseen sopimusvaiheessa esim. sakkopykälien muodossa.

Seuraavassa on esitetty muistilista asioista, jotka on huomioitava kahden eri toimijan välisessä hukkalämmön hyödyntämissopimuksessa. Listaa on periaatteessa mahdollista käyttää myös sopimuksen otsikkotasoisena sisällysluettelona.

Selvitettävät tekniset asiat

- 1) Myyjän hukkalämmön lähde, lämpötilatasot (a -> b), huipputeho, energiamäärä, pysyvyys, toimitusvarmuus ja rajoitteet
- 2) Ostajan lämmöntarve ja -vastaanottokyky, lämpötilatasot (c->d), huipputeho, energiamäärä, pysyvyys ja rajoitteet
- 3) Lämmön jakelu asiakkaalle
 - a) Lämpötila- ja painetasot, virtaamat

Taloudelliset ja sopimustekniset asiat

- 4) Investointikustannusten jako (jos yhteisinvestointi)
- 5) Sopimuskauden pituus
- 6) Tariffi.
 - a) Perus- tai tehomaksut
 - b) Energiamaksu
- 7) Muut kustannukset (tilavuokrat, omakäyttösähkö, vesi ym.)
- 8) Kolmansien osapuolten kustannukset (maankäyttömaksut ym.)
- 9) Sopimusehtojen ja hintojen muuttaminen
- 10) Mahdolliset laajennukset tai tehonlisäykset
- 11) Sanktiot sopimusrikkomuksista
- 12) Lunastus- ja irtisanomiskustannukset
- 13) Lämmön toimituksen keskeytykset
- 14) Lämpö- (ja sähkö)energian mittaus
- 15) Lunastus- ja irtisanomismahdollisuudet (ostaja/myyjä)
- 16) Maa-alueiden ja tilojen käyttö, vuokrasopimukset
- 17) Viranomaisasiat (rakennusluvut, ympäristölupa ym.)
- 18) Käyttö- huolto- ja kunnossapito, vastuurajat
- 19) Kulkuluvat ja -oikeudet
- 20) Vahinkovastuut ja -vakuutukset
- 21) Sopimuksen siirto
- 22) Riitojen ratkaisu.

Energiateollisuus ry (ET) on sähkö- ja kaukolämpöalaa edustava elinkeinopoliittinen ja työmarkkinapoliittinen etujärjestö. Oheisissa linkeissä on suositukset kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen sopimusehdoiksi sekä muistio sähkön pientuotannon sopimusohjeiksi. Näiden sisältöä ja ohjeita voidaan soveltaa myös ylijäämälämmön sopimuksissa. Järjestön www-sivuilta löytyy runsaasti tietoa, esim. erilaisia tilastoja, julkaisuja ja suosituksia.

http://energia.fi/sites/default/files/suositu1_2010_kl-sopimusehdot_0.pdf

http://energia.fi/sites/default/files/suositu27_2012_kj-sopimusehdot.pdf

http://energia.fi/sites/default/files/pientuotannon_osto_sopimusohje_20130321.pdf

Parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) periaate on sisällytetty ympäristöluviin jo kauan. Teollisuuspäästödirektiivin ja sitä toteuttavan ympäristönsuojelulain uudistamisen myötä BATin merkitys ympäristöluvissa kasvaa entisestään. Ympäristöluviin määräykset sidotaan nykyistä tiukemmin EU-tason BAT-vertailuasiakirjojen (BREF, BAT reference document) päätelmissä esitettyihin päästötasoihin.

Euroopan komissio on organisoinut EU:n ympäristöviranomaisten ja teollisuuden välillä BAT-tietojen vaihtoa yli 10 vuotta. Työn tuloksena on julkaistu BAT-vertailuasiakirjoja (BREF, BAT reference document) yli 30 teollisuuden toimialalle. Julkaisuja löytyy mm. seuraavista osoitteista:

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

<http://www.epa.ie/pubs/advice/bat/>

Energiatehokkuuden parhaan käytettävissä olevan tekniikan vertailuasiakirjassa ENE-BREF:ssä on kuvattu muun muassa energiatehokkuuden mittaamiseen liittyviä kysymyksiä. Raportista on julkaistu myös kansallinen BAT-raportti – SY51/2008 Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Teollisuuden energiatehokkuus. Raportti löytyy osoitteesta: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38378>

Tämä julkaisu perustuu kansallisen energiatehokkuuden BAT-toimialaryhmän päätökseen teettää suomenkielinen ja Suomen oloihin sovellettu versio energiatehokkuuden BAT-vertailuasiakirjan keskeisestä sisällöstä. Energiatehokkuuden vertailuasiakirja on laaja horisontaalinen asiakirja, jossa on käsitelty energiatehokkuuden parantamista yrityksen tai toimipaikan tasolla. Energiatehokkuuden vertailuasiakirja määrittelee parhaat käytettävissä olevat tekniikat energiatehokkuuden saavuttamiseksi järjestelmä-, prosessi- ja laitetasolla. Yksityiskohtaisten laitetason esimerkkien lisäksi vertailuasiakirja ottaa kantaa myös parhaan käytettävissä olevan tekniikan hyödyntämiseen laitostasolla esimerkiksi tehokkaan suunnittelun, toimintatapojen ja seurannan avulla.

Yritysten on kuitenkin huomionarvoista tiedostaa, että BAT-dokumentit ja BREF-tasot on aina laadittu kompromisseiksi ja ne sisältävät vain vakiintunutta tekniikkaa. Mikäli BREF-tasot tulevat tulevaisuudessa entistä sitovimmiksi, tämä lisää entisestään varovaisuutta niiden sisällön suhteen. Yrityksen tavoitellessa huipputekniikkaa tai teknologista etumatkaa, on syytä pyrkiä vielä parempaan ”BAT +”-tasoon. Tällaisia teknisiä ratkaisuja on yleensä olemassa vähintään pilot-toteutuksina. Esim. IE4-luokka sähkömoottoreiden hyötysuhteista on jo olemassa, mutta sitä ei ole virallisesti hyväksytty.

3 Yritysten hyödyntämisselvitykset ja -projektit

Yritysten hyödyntämisselvityksiä ja -projekteja käsiteltiin laajasti työpajoissa. Tässä raportissa nämä esimerkkitapaukset on käsitelty varsin suoraviivaisesti eikä kaikkia kohteiden taustoja kuvata laajemmin.

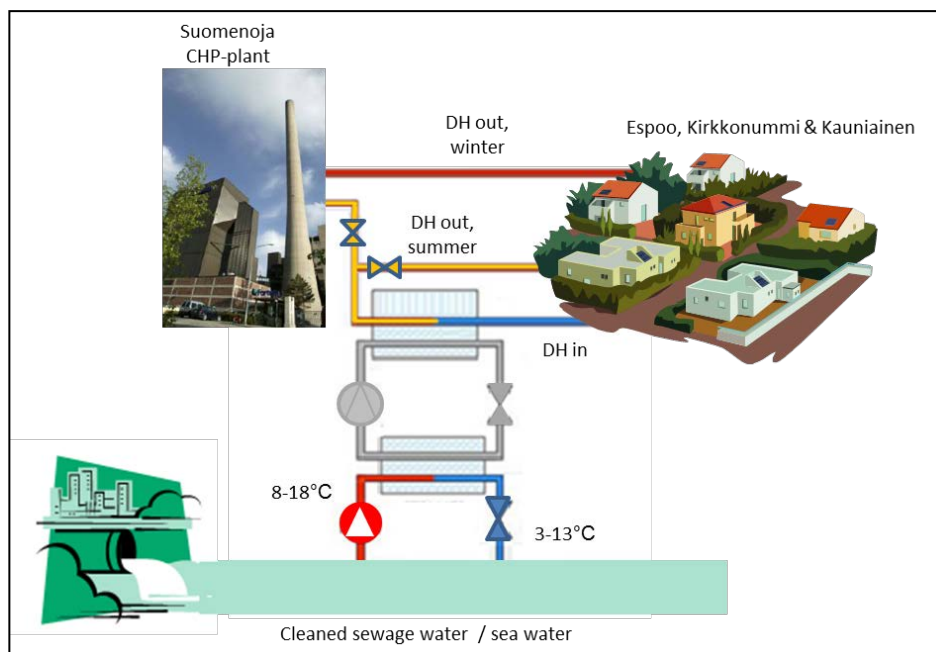
3.1 Energiateollisuus

3.1.1 Yritysesimerkki 1: Ylijäämälämpöä jätevedestä lämpöpumpuilla kaukolämmöksi

Puhdistetuista yhdyskuntajätevesistä otetaan lämpöä lämpöpumppujen avulla kaukolämmöksi. Jätevesimäärä on noin 35 Mm³/a ja keskimääräinen vuorokausivirtaama noin 100 000 m³. Jäteveden lämpöpumppujen höyrystimille tuleva lämpötila vaihtelee vuodenajasta riippuen 8...18 °C ja sitä jäädytetään keskimäärin 5 °C. Vuositasolla tuotettavan kaukolämpöenergian arvioidaan olevan noin 300 GWh, mikä tarkoittaisi keskitehona noin 34 MW, vaihteluväli arviolta 30...45 MW.

Investointikustannus on hieman yli 19 M€. Investoinnilla korvataan fossiilisia polttoaineita, lisäksi hiilidioksidipäästöt vähenevät noin 148 000 tonnia. Viileämpänä mereen laskeva vesi vähentää vedenpuhdistamisen ympäristövaikutuksia.

Kuvassa 7 on esitetty järjestelmän periaate.



Kuva 7 Lämpöpumppulaitoksen kytkennän periaatekuva. (Fortum)

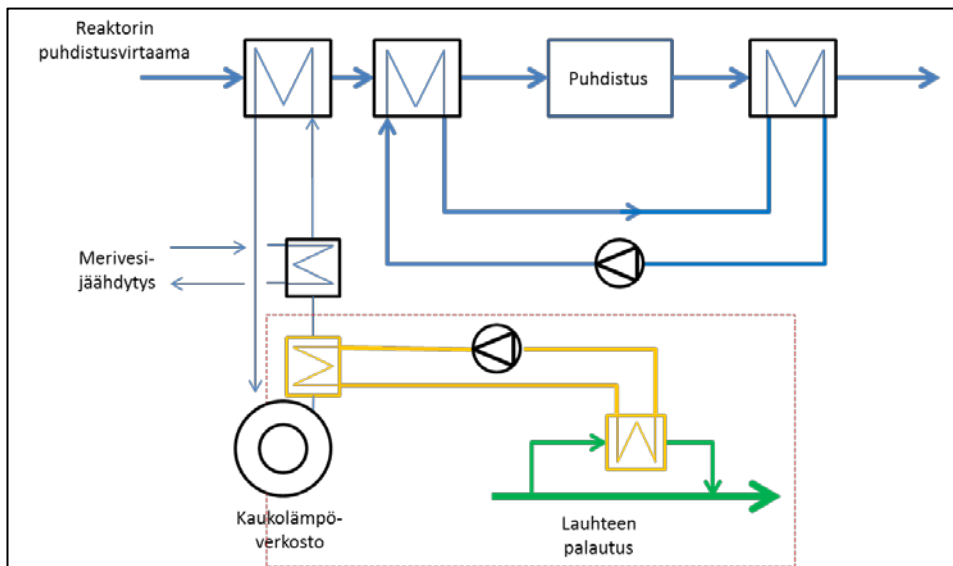
3.1.2 Yritysesimerkki 2: Korkealämpötilaisten jäähdytysvesien tehokkaampi hyödyntäminen

Reaktoriastian puhdistusvirtaamasta otetaan lämpöä n. 10 MW teholla voimala-alueen rakennusten ja käyttöveden lämmitykseen. Reaktorista otettavaa virtaamaa on jäähdytettävä (286 °C -> 60 °C) ennen sen johtamista suodattimille ja kesäaikana osa lämmöstä joudutaan nykyisin johtamaan mereen. Suuri osa jäähdytyslämmöstä palautetaan suodatuspiirissä olevalla lämmönvaihdinkytkenällä takaisin reaktoriin menevään suodatettuun veteen. Tässä esitetään ratkaisua, jossa suurin osa mereen jäähdytettävästä n. 5-7 MW lämpötehosta palautetaan lauhteen esilämmitykseen lauhduttimen jälkeen kytkemällä lauhdelinjan rinnalle sopivaa osavirtaamaa varten mitoitettu lämmönvaihdinpiiri. Lämmin vesi otetaan nykyisestä lämmityspiiristä venttiilikytkenäin tai kytkemällä erillinen lämmönvaihdin.

Kyse on muutoin tavanomaisesta lämmönvaihtimella toteutettavasta ratkaisusta, mutta lauhdepuolen lämmönvaihtimen sijainti voimalaprosessin aktiivisella puolella nostaa korkean turvallisuusluokituksen asettamien vaatimusten myötä toteutuksen kustannuksia.

Kyseinen hyödyntämismahdollisuus on ollut olemassa laitoksen perustamisesta lähtien, mutta vuonna 2012 huomattiin toiminnan muutoksilla saavutettavissa olevat säästöt. Tämä on hyvä esimerkki siitä, kun asioihin alettiin kiinnittää huomiota ja tarkastella uudella tavalla, löytyi kannattavia tapoja ylijäämälämmön hyödyntämiseksi.

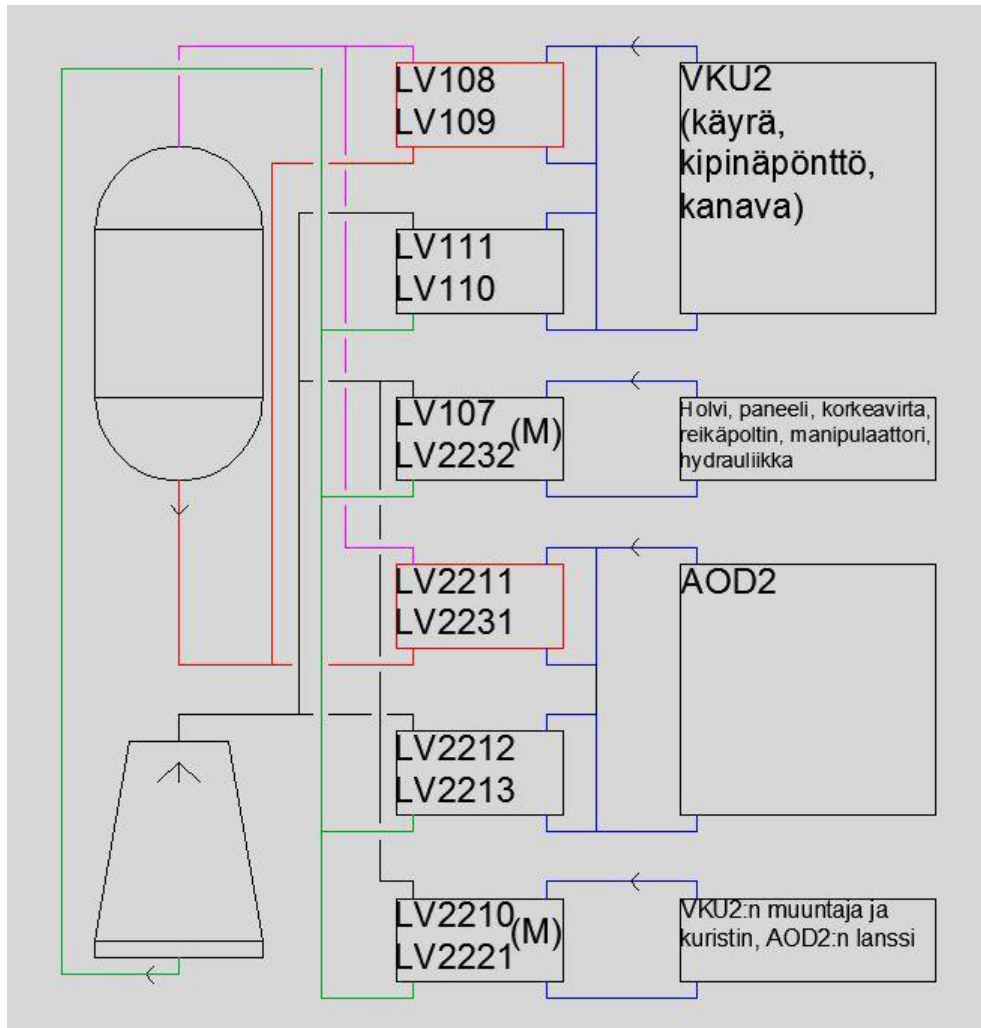
Kuvassa 8 on esitetty LTO-kytkennän periaate.



Kuva 8 Periaatekuva LTO-kytkennästä järjestelmään (punaisen katkoviivan alue). (TVO)

3.2.1 **Yritysesimerkki 3: Korkealämpötilaisten jäähdytysvesien tehokkaampi hyödyntäminen**

Tehtaan kaukolämpöverkkoon on yhdistetty terässulaton lämpöakku lämmönvaihtimien välityksellä.



Kuva 9 **Prosessijäähdytyskytkennät.**

Lämpöakun tarkoitus on vastaanottaa prosessista tulevaa lämpöä ja seisakkien aikoina pitää prosessipiirit sulina. LTO-piiriin tuleva lämpö on peräisin jaksottain toimivista Valokaariuuni 2 (VKU2) käyrän, kipinäpöntön ja kanavan sekä AOD2-konvertterin savukaasukanavien jäähdytysvesipiireistä.

Akun nykyinen hyödyntämisaste on alhainen. Akkua voidaan ladata, kun LTO-piiriin akulle tulevan veden lämpötila on yli 92 °C. Nykyisin piiriä ajetaan apujäähdyttimen avulla tätä alemmilla lämpötiloilla, jolloin akulle ja kaukolämpöverkkoon ei saada energiaa, vaan sitä hukataan jäähdytystornin kautta taivaalle.

Suosituks

Lämpötilatasoissa tulee pyrkiä mitoituslämpötilaan eli 120/100 °C virtauksia pienentämällä. Tämä tehostaisi lämmön talteenottoa niin absoluuttisesti kuin ajallistekin ja vähentäisi tornille menevää lämpövirtaa. Teknisiä esteitä lämpötilan nostolle ei pitäisi olla. Tehdyn insinööriyön taselaadinnan perusteella korkealämpöisistä jäähdytysvesistä on saatavissa vuositasolla noin 40 GWh lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon. Kesäkaudella kaukolämpöverkko ei kykene vastaanottamaan lämpöenergiaa kulutuksen puutteen vuoksi, joten todellinen säästöpotentiaali jää tätä pienemmäksi.

Toimenpiteet

Lämpöakun käytön tehostamiseen sovittiin palattavan kelien viilentyessä syyslokakuussa, jolloin koeluonteisesti aletaan nostaa jäähdytyskiertojen lämpötiloja kaukolämpöverkon vaatimalle tasolle. Jäähdytysvesien ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkkoon todettiin yhteisesti erittäin järkeväksi ja kannattavaksi, koska merkittävää säästöpotentiaalia on saavutettavissa olemassa olevalla laitekannalla.

Terässulatolla selvitetään myös, voitaisiinko myös terässulaton 1-linjan korkealämpöiset jäähdytysvedet yhdistää 2-linjan lämpöakkuun ja kaukolämpöverkkoon hyödynnettäväksi.

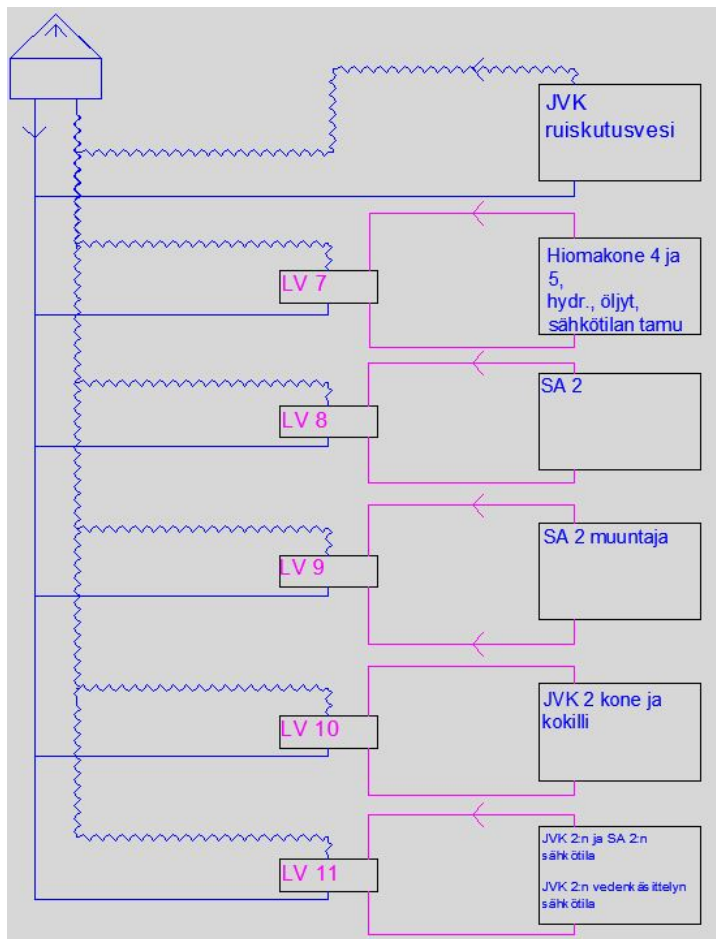
Lämpötila- ja virtausmittaukset tarkistetaan, koska joissain kohteissa teho ei täsmää.

3.2.2 Yritysesimerkki 4: Matalalämpötilaisten jäähdytysvesien hyödyntäminen

Matalalämpötilaisiin jäähdytysvesikiertoihin yhdistettyjen kohteiden jäähdytystarve on melko tasaista. Kokonaislämpöenergiapotentiaali matalalämpöisissä jäähdytysvesissä on noin 66 GWh/a. Merkittävimmät kohteet ovat:

- Valokaariuuni: Jäähdytysteho 10-20 MW, menolämpötila 34 °C ja paluulämpötila 23-27 °C. Virtaama <math><1500\text{ m}^3/\text{h}</math>
- Jatkuvavalukone (kone ja kokilli): Jäähdytysteho 4 MW, menolämpötila 34 °C ja virtaama <math><500\text{ m}^3/\text{h}</math>.
- Muiden jäähdytyskohteiden jäähdytystehot ovat muutamia satoja kW:a.

Lämpö siirretään kuvan mukaisesti lämmönvaihtimien ja jäähdytystornin avulla taivaalle.



Kuva 10 Prosessijäähdytyskytkennät, matalalämpötila.

Suosituks

Matalalämpötilaisten lämpövirtojen hyödyntäminen kaukolämmöksi on mahdollista lämpöpumppujen avulla, mutta ensin on syytä tarkastaa mille teholle lämmön talteenottoja on tarpeen mitoittaa, lähtien lämmön tarpeista ja niiden pysyvyyksistä.

Talvisaikaan lisälämmölle on tarvetta, mutta lämpöpumppuinvestointia silmälläpitäen lämmöntarpeen pysyvyyden tulee olla riittävän pitkä. Kaukolämmön kulutuksen ja lämpötilatasojen vuotuisen mittausdatan on oltava käytettävissä lämmön talteenoton lisärakentamisen tarpeen tarkistamista varten.

Jo toteutettujen korkealämpötilaisten lämmön talteenottoratkaisujen toiminta tulee ensin saattaa kuntoon. Matalalämpötilaisten lämmönlähteiden hyödyntämiseen voidaan lähteä, mikäli korkealämpötilaisen lämmön talteenoton parannuksen jälkeen vielä on energiataloudellisesti soveltuvia lämpökuormia (lämpöpumppulaitoksen edellyttämä pitkä huippukäyttöaika huomioon ottaen). Kohde on hyvä lämpöpumppusovellukselle, jolla päästään hyvällä lämpökertoimella lämpötilatasoon 65 °C, josta ylöspäin COP laskee. Kaukolämpöverkon (KL-) lämpötilasot ovat meno 80...105 °C ja paluu 50...60 °C. Nykyinen oma KL-tuotanto on 7-20 MW, jonka lisäksi huippupakkasilla tarvitaan voimalaitokselta 70...90 MW. Kuorman pysyvyyden voi olettaa em. arvoilla kohtuulliseksi lämpöpumppuratkaisulle.

Matalalämpöverkon avulla ylijäämälämpöä voitaisiin hyödyntää suoraan kiinteistön lämmityksessä. Etäisyys (n. 1 km) muodostuu kannattavuusongelmaksi yhdessä puuttuvien esilämmityspattereiden tms. lisäksi.

Alueen energiayhtiö on lämmön- ja voimantuottajana sekä kaupunkiin menevän KL-linjan operoitsijana muuttujana kaikissa LTO-ratkaisuissa. Sopimusehdot vaikuttavat voimakkaasti em. toimenpiteiden kannattavuuksiin.

Toimenpiteet

Matalalämpötilaisen ylijäämälämmön hyödyntäminen on jatkossa mahdollista paikallisiin lämmitettäviin kohteisiin, joihin riittää matalat lämpötilat. Terässulatolla tämä pistetään korvan taakse ja ylijäämälämmöt huomioidaan, kun vastaan tulee lämmitystä vaativia kohteita. Hyödyntäminen vaatii prosessin jaksottaisuuden vuoksi lähes aina varaajan.

Lämpöpumppua ei tässä vaiheessa todettu kannattavaksi, koska sähkön ja lämmön hintaerojen vuoksi kannattavuus jää alhaiseksi.

3.2.3 Yritysesimerkki 5: LTO Askelpalkkiuunin 4 (AP4) savukaasuista kaukolämpöverkkoon

Yrityksessä on aiemmin tutkittu nauhavalssaamon aihion esikuumennusuunien (askelpalkkiuunit AP4 ja AP5) lämmön talteenottoa jätelämpökattilalla, jolla olisi tuotettu 8 bar höyryä tehdasverkkoon ja mahdollisesti tulistettua 10 bar höyryä sulaton vaihtelevaan tarpeeseen. Investointitarve olisi ollut erittäin suuri ja takaisinmaksuaika noin 10 vuotta, joten se ei toteutunut.

Nyt päätettiin tutkia kannattavuus kaukolämpöpatterille, joka on toteutettu mahdollisimman yksinkertaisena ilma/vesi-LTO:na. Vaihtimen toisiopiiri eli vesi-puoli olisi suljettu kierto sekoituksella paluuveden riittävän korkean lämpötilan varmistamiseksi happokastepistevaraaran vuoksi. Toisiopiiristä lämpö siirrettäisiin edelleen toisella vesi/vesi-vaihtimella kaukolämpöverkkoon. Asiaa päätettiin selvittää, koska sintraamon sulkemisen jälkeen sekä sulaton jätelämmön tuotanto että voimalaitoksen pääpolttoaine ovat olleet sulan tuotantoketjun varassa ja tilanteet, joissa kaukolämpöä tehdään öljyllä, ovat yleistyneet. Öljyn käytön korvaaminen parantaa hieman takaisinmaksuaikaa. Lisäksi kaukolämmön toimitustehoista on ollut keskustelua paikallisen energiayhtiön aloitteesta, johtuen tämän omasta optimoinnista ja neuvotteluasetelmien petaamisesta (politiikkaa) kuin todellisesta kaukolämmön kuorman merkittävästä kasvusta. Myös paikallinen energiayhtiö on havainnut oman varapolttoaineensa (öljyn) hinnan nousseen voimakkaasti. Kokonaisuutena valssaamon LTO:lle on siis nyt hieman enemmän kysyntää. Paikkakunnalla ongelmana on kaukolämmön menekki enemmän kuin sen talteenotto. Uusille talteenottopisteille ei löydy ajotunteja tarpeeksi.

LTO-järjestelmä

Mitoitusteho	10 MW
Primääripiirin (savukaasu) lämpötilat	280-370 °C /min 130 °C
Toisiopiirin (vesi) lämpötilat	min 60 °C/115 °C
Arvioitu vuosituotanto	20-23 GWh
Suora takaisinmaksuaika-arvio	Noin 2 vuotta

Savukaasu ei saa jäähtyä alle 130 °C. Korroosio on todellinen haaste ja vaihtimesta on tehtävä helposti vaihdettava ja pestävä. Se pitää varustaa erillisellä uudella puhaltimella ja ohitusmahdollisuudella, kun nykyisin riittää piipun imu.

Karkean taseen analyysin perusteella on saatu tulokseksi, että kuorma ja kapasiteetti kohtaisivat vuoden aikana AP4-uunin LTO-investoinnissa noin 20-23 GWh:n verran kaukolämpötehoa. Säästö ei tule kuitenkaan kaukolämmön myynnistä, koska sama määrä myytäisiin kuitenkin, mutta se tehtäisiin vastapainehöyryllä tai varapolttoaineella. Lisämyyntiä tulisi hieman, mutta se on todella merkityksetön kokonaisuuden kannalta. Säästö saadaan siten raskaan polttoöljyn korvaamisesta ja sähkön lisätuotannosta. Aivan tarkka laskenta on kuitenkin tällä hetkellä mahdoton riittävän tarkan laskentatyökalun puuttuessa.

Suora takaisinmaksuaika saattaa olla pelkälle AP4-uunille noin 2 vuotta. Tehaan ajotavoilla on kuitenkin suuri merkitys kannattavuuteen. Nykymallia ollaan

monessa mielessä muuttamassa parempaan suuntaan ja se heikentää tämän hankkeen kannattavuutta. Yksi perustelu on valssaamon lämpimänäpidon varmistaminen kaukolämmön tuotantohäiriöissä sulatolla ja voimalaitoksella.

Haasteet, ongelmat ja riskit

Teknisinä haasteina ja mahdollisina ongelmina nähdään lämmönvaihtimen korrosio ja likaantumiswaara sekä uutena asennettavan puhaltimen mahdolliset tuotantohäiriöt. Tuotantohäiriöissä toimitusvarmuus voi heikentyä ja erityisesti koksikaasutase häiriintyy. Koksikaasua syntyy tasaisesti ja askelpalkkiuunin on kyettävä kulluttamaan sitä tasaisesti. Tempova ajomalli johtaa koksikaasun fakkelointiin, kun toisaalta muuna aikana jättämä on kurottava kiinni lisäämällä polttoon nestekaasua. Koksikaasutaseen hallinta on kaikkein tärkein yksittäinen energia-asia tehtaalla. Uunin paineen säätöön saattaa tulla lisäkiemuroita, jolloin muutkin säädöt ovat vaarassa ja pahimmillaan voi esiintyä häikävuotoja.

Muita mahdollisia ongelmia ovat säätötekniikan kannalta lämmön syöttö kompleksiseen verkkoon sekä vain 1 viikon asennusaikaikkuna vuosittain.

Eräällä toisella kotimaisella yrityksellä on kaksi vastaavaa LTO-järjestelmää, joten periaatteessa järjestelmän pitäisi olla koeteltu ja toimiva.

Miksi toimenpide toteutetaan nyt?

Tehtaalla tapahtunut sintraamon sulkeminen ja hidasajolla useammin toistuvat sulaketjun katkokset ovat lisänneet varapolttoaineena käytetyn raskaan polttoöljyn tarvetta, jonka hinta on noussut merkittävästi viimeisen 10 vuoden aikana. Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus on siten parantunut, vaikka tulevaisuudessa siirryttäisiinkin LPG tai LNG käyttöön varapolttoaineena.

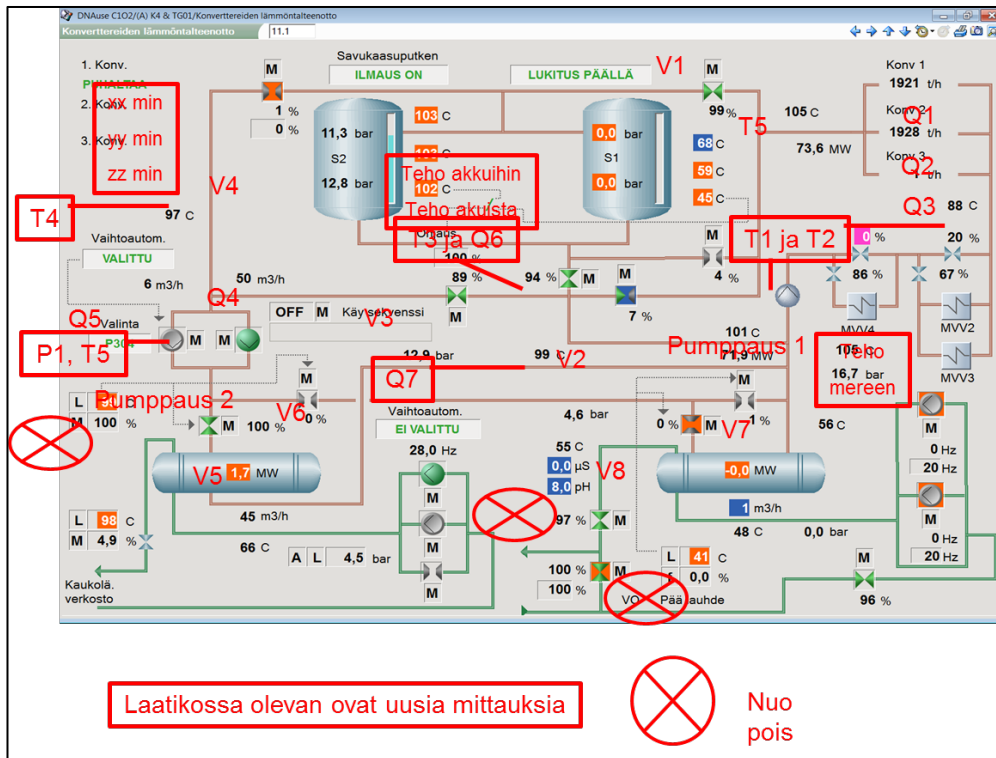
3.2.4 Yritysesimerkki 6: Konverttereiden LTO:n tehostaminen

Konvertteri on raakateräksen valmistukseen käytettävä, tulenkestävällä materiaalilla vuorattu reaktori, jonka avulla korkeahiilisestä raakaraudasta muokataan matalahiilistä raakaterästä. Esimerkkikohteessa kierrätysteräs ja raakarauta panostetaan konvertteriin, jossa raakaraudan sisältämä hiili poltetaan hapella.

Konverttereiden jäähtäyksessä kierrätettävän veden määrä on erittäin suuri, noin $5.500 \text{ m}^3/\text{h}$, kun kaikki kolme konvertteria ovat jäähtytettävänä. Yhden konvertterin puhallus kestää noin 20 min ja sen jälkeen tauko-aika on noin 40 min tyypillisessä nykyistä kovemmassa tuotantotilanteessa. Kuumaa vettä siis syntyy jaksottain ja se varastoidaan kahteen 300 m^3 varaajasäiliöön. Ongelmana on lämmön varastointi niin, että lämpöä saadaan tasaisesti kaukolämpöverkon kulutuksen mukaisesti. Järjestelmän optimointi edellyttää suurista veden virtausmääristä johtuen erittäin tarkkoja mittauksia. Yhden asteen lämpötilaero täydellä vesikierrolla vastaa 6 MW_{th} energiavirtausta. Mikäli lämpöä ei saada varastoitua eikä kulutettua kaukolämpöverkon kuormassa, se ohjataan merivedellä toimiviin lämmönvaihtimiin, koska konverttereiden jäähtäytyksen turvaaminen on prioriteetiltaan tärkein tekijä. Tällöin lämpö päätyy mereen. Nykyinen varaajakapasiteetti riittää teoreettisesti kovallakin kuormituksella noin yhden tunnin kaukolämmön kulutukseen.

Järjestelmä

Järjestelmäkaavio on esitetty kuvassa 11. Järjestelmä on ulkopuolisille hyvin monimutkainen ymmärrettäväksi (dynamiikka, viipeet, päällekkäiset järjestelmät). Yksinkertaistettuna järjestelmä käsittää konverttereilta tulevan kuuman jäähtäytysveden, jonka lämpöenergiaa siirretään kahden lämmönvaihtimen avulla kaukolämpöverkkoon ja/tai varastoidaan kahteen lämpöakkuun. Mikäli jäähtäytystarvetta näiden lisäksi esiintyy, lämpö siirretään kolmen lämmönvaihtimen avulla mereen.



Kuva 11 Järjestelmäkaavio valvomonäytöltä.

Toimenpiteet

Järjestelmää on saatu optimoitua 2013. Lähtökohtaisesti putkistomuutoksista on luovuttu, koska osoittautui, että säätömuutoksien jälkeen meriveteen menevä lämpövirta jopa 48 h täysin kiinni eli kaikki lämpöteho on saatu hyödyksi. Monitorointia parannetaan tulevaisuudessa lämmityskaudeksi. Nykyisten putkistojen ja venttiileiden kapasiteetti riittää hyvin sekoitussäädön rakentamiseen linjaan, jossa kuumavesi kulkeutuu kuvan kaukolämpövaihtimille. Uuden säädön käyttöönotto tapahtui vuoden 2013 lopussa. Muutoksilla tavoitellaan 5-10 GWh:n parannusta jätelämmön hyötykäyttöön.

3.2.5 Yritysesimerkki 7: Cowper-LTO: Savukaasun lämmön hyödyntäminen palamisilman esilämmityksessä

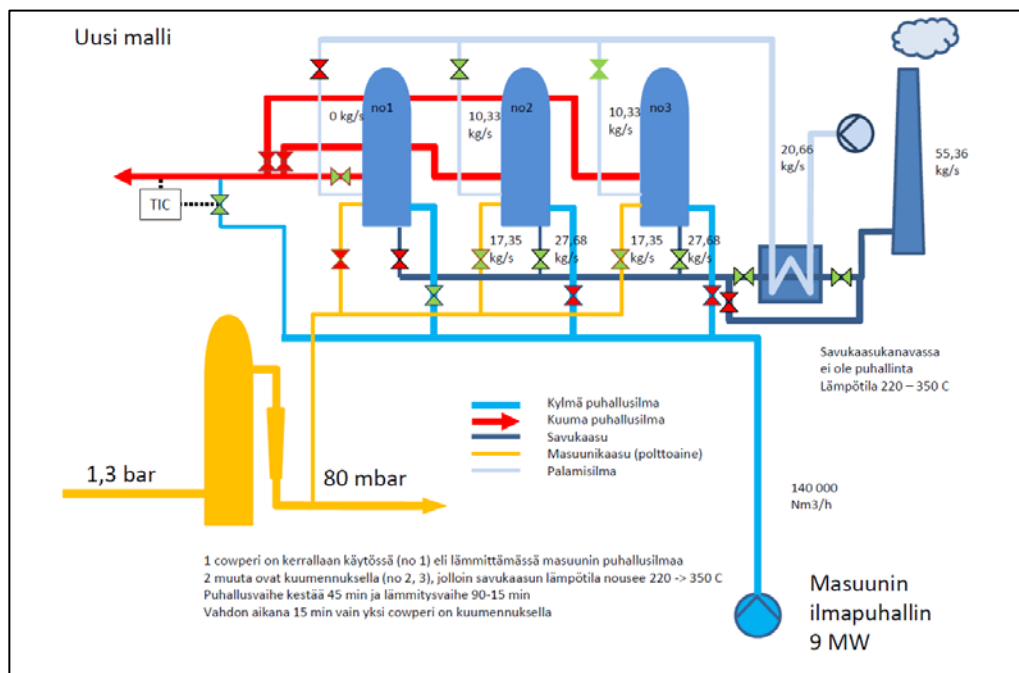
Terästehtaan hiilimonoksidia sisältävä masuunikaasu poltetaan Cowper-uuneissa eli ne toimivat masuunikaasun jälkikäsitelijänä ja puhallusilman esilämmittimenä (rekuperaattori). Masuuneissa käytetään Cowper-uuneja aina kolmittain niin, että kun yksi on käytössä masuunin puhallukseen, toista lämmitetään ja kolmas on varalla. Cowperien ansiosta masuunin energiatalous paranee valtavasti. Ilman cowpereita hiiltä kuluu noin kymmenkertainen määrä raudansaantoon verrattuna. Nykyisissä masuuneissa päästään lähes stoikiometriseen suhteeseen, eli hiiltä kuluu noin puolet raudansaantoon verrattuna.

- Cowper-LTO:n vaikutukset:
 - Parantaa prosessin hyötysuhdetta
 - Ei alenna kuitenkaan cowpereiden energian kulutusta, vaan
 - Nostaa liekin lämpötilaa ja
 - Mahdollistaa puhalluksen lämpötilan nousun cowpereissa ja
 - Alentaa masuuneiden pelkistysaineiden (kaksin) kulutusta
- Cowpereiden energian kulutus voi jopa nousta, koska ajava voima eli ΔT kasvaa
- Kaksin säästö on suoraan primäärienergian säästöä
- Masuunin mallintaminen on monimutkaista. Liekin lämpötilan nostaminen on eräänlainen ”turbo”.

LTO-järjestelmä

Cowpereiden teho on $70 \text{ MW} * 2$ (3 cowperia kummallakin masuunilla). Hyötysuhde on noin 77 %, hukka päättyy lähes täysin savukaasun mukana ulos.

Savukaasun lämpötila on noin 220 – 340 °C.



Kuva 12 Cowper-uunit.

Kuvassa on esitetty Cowper-uunit ja niihin liittyvät ilmajärjestelmät selityksineen.

- Talteen otettava lämpömäärä on max 100 GWh eli hinnalla 20 €/MWh (lämmön arvo) $2 \text{ M€} * 0,5 = 1,0 \text{ M€}$
 - Lämpöteho ajallisesti kiinni sulaketjussa
- Primäärienergian säästö on arvokkaampaa
- Kokonaisvaikutus on laskettava huolellisesti:
 - Koksen säästö ++++++
 - Hapen säästö +
 - CO₂:n aleneminen +
 - Ostosähkön määrän kasvu - - - - -
 - Sähkön kulutus, käyntivarmuus - ?
- Sähkön ja ostokoksen hintojen suhde on kasvanut selvästi viime vuosina
- CO₂: n hinta 5 →20 €/t kokonaissäästö nousee 30 %.

Toimenpiteet

- Takaisinmaksuaika on olemassa, mutta laskelma on herkkä muutoksille suurten volyymien vuoksi
- Haittana tuotantotoiminnan jatkuvuus
- Suunniteltua kunnossapitoa on 8 h joka neljäs viikko
- Käyntivarmuus ei saa vaarantua
- Masuuneiden häiriöt johtavat öljyn polttoon voimalaitoskattilassa ja hapen ulospuhallukseen
- Kupolin lämpötilaraja ei saa ylittyä
- Vaara on tässä olematon
- Hetkellisesti masuunin läpipuhallustilanteissa
- Investoinnin hinta on arvioitu korkeammaksi kuin laitetoimittajan arviot - sa esitetään
- Tarjouksen ulkopuolista työtä on reilusti (selvittämättä)
- Ostosähkön kasvun "etuna" on 1,95 t CO₂/MW_{he} alenema vrt öljyllä tuotettuna 0,71 t CO₂/MW_{he}.

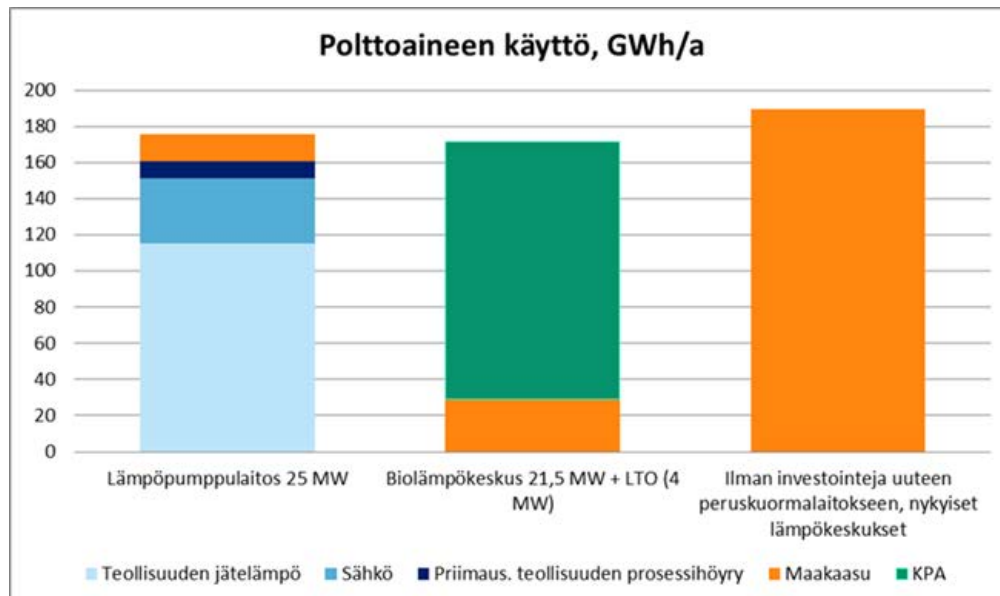
Imatran kaukolämmön peruskuorman tuotanto perustuu maakaasun käyttöön. Korkeiden tuotantokustannusten vuoksi keväällä 2012 teetetyn selvityksen ”Imatran lämpöhuollon tulevaisuuden ratkaisumallit” johtopäätöksenä ja jatkotoimina päätettiin, että kaukolämmön peruskuorman tuotanto tullaan korvaamaan halvemman polttoaineen laitoksella.

Laitosvaihtoehtona olleen biovoimalaitoksen tuotantokustannus olisi ollut biolämpökeskus- ja lämpöpumppuvaihtoehtojen tasolla vasta hyvin korkeilla sähkön hinnoilla, eikä sähkön hinnalle ennustettu riittävää nousua, joten biovoimalaitos suurine investointitarpeineen ja -riskeineen putosi pois vaihtoehdoista.

Lämpöpumppuvaihtoehdon osalta tehtiin selvitys myyjäyrityksen hukkalämmön hyödyntämisestä kaukolämmityksessä kesä-syksyllä 2012. Selvitykseen perustuen käynnistettiin lämpöpumppulaitoksen esisuunnittelu sekä neuvottelut myyjäyrityksen kanssa syyskuussa 2012. Esisuunnitteluraportti, jossa oli sitovat tarjoukset päälaiteista, valmistui maaliskuussa 2013. Lämpöpumppulaitoksen energiatukihakemus jätettiin TEM:lle huhtikuussa 2013. Sopimusneuvottelut myyjäyrityksen kanssa olivat tällöin edenneet nihkeästi, eikä yhteisymmärrystä keskeisissä sopimuskohdissa ollut saavutettu.

Biolämpökeskuksen selvitys ”Biolämpökeskusvaihtoehdon tarkennus” valmistui maaliskuussa 2013. Selvityksessä oli mm. kaukolämmön hankinnan vaihteluja pysyvyyskäyrät skaalattu Imatran Lämmön helmikuussa 2013 päivittämän kaukolämmön myyntiennusteen mukaan ja päivitetty investointikustannusarviot yhdistetyn verkon biolämpökeskusvaihtoehdoille.

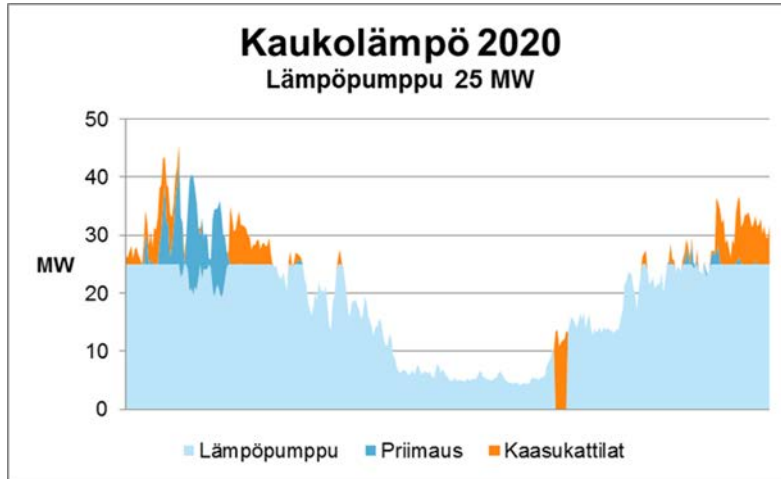
Kuvassa 14 on esitetty vaihtoehtojen polttoaineenkäyttö 10 vuoden keskiarvona.



Kuva 14 Vaihtoehtojen polttoaineiden käyttö.

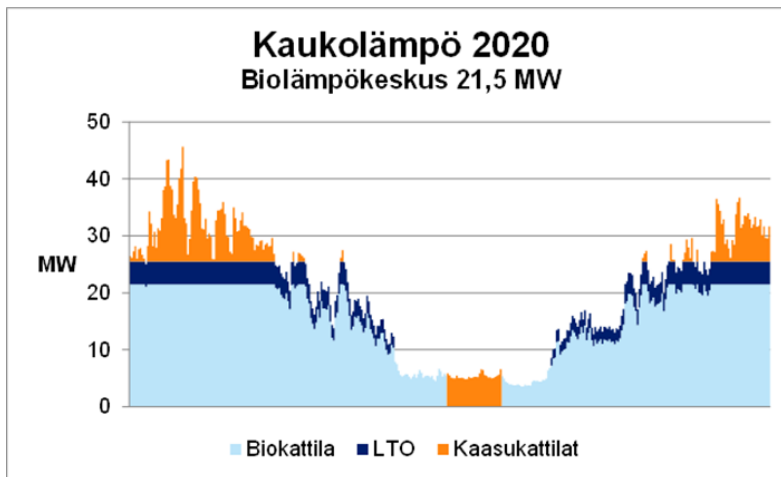
Kuvassa 14 on esitetty eri vaihtoehtojen käyttämät polttoaineet ja sähkö. Vaihtoehtojen polttoaineiden ja sähkön käyttö poikkeaa toisistaan täysin. Kokonaislämpöenergiämäärien ero on pieni.

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty vaihtoehtojen lämmöntuotto vuositasolla teho- vaihtelun mukaan.



Kuva 15 Lämmöntuotto lämpöpumppuvaihtoehdossa.

Lämpöpumpulla pystytään kattamaan vaadittava teho talven kulutushuippuja ja huoltoseisokkia lukuun ottamatta. Nämä katetaan maakaasulla ja/tai höyrypriimauksella.



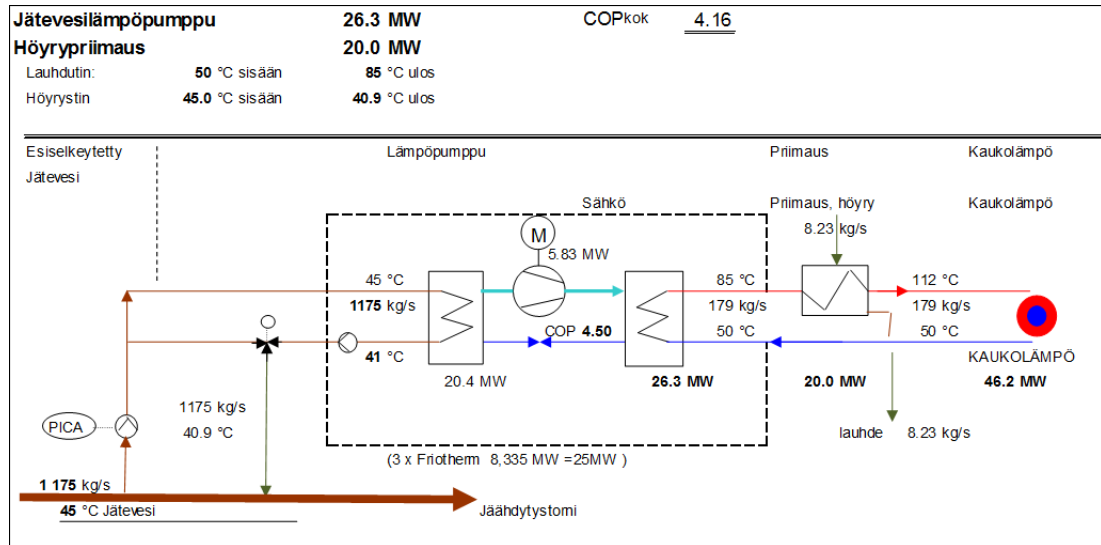
Kuva 16 Lämmöntuotto biolämpökeskusvaihtoehdossa.

Biolämpökeskuksella ja LTO:lla päästään lämpöpumppulaitosta vastaavaan perustehoon. Tehohuippujen aikana joudutaan käyttämään enemmän maakaasua ja huoltoseisokki on pitempi.

3.4.1 Vaihtoehtojen esittely

25 MW lämpöpumppulaitos

Kuvassa 17 on esitetty lämpöpumppulaitoksen järjestelmäkaavio.

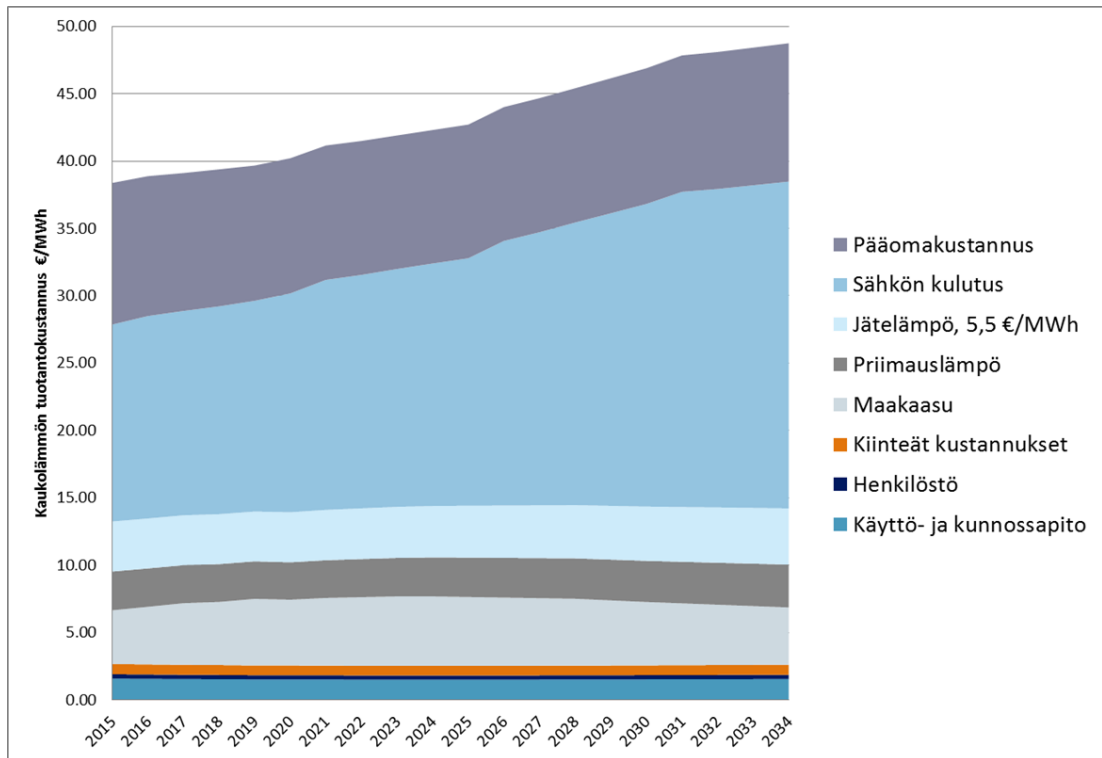


Kuva 17 Lämpöpumppulaitoksen järjestelmäkaavio.

Lämpöpumppulaitoksen investointi:

- Vaadittava investointi yhteensä n. 25,4 M€
- yhdysjohdon osuus n. 7,2 M€
- 20 % investointituella n. 22,0 M€
- Päälaitteista sitovat tarjoukset

Kuvassa 18 on esitetty 25 MW lämpöpumppulaitoksen tuotantokustannukset lämmönmyyjän tarjouksen perusteella.



Kuva 18 Lämpöpumpulaitoksen tuotantokustannukset.

21,5 MW biolämpökeskus + 4 MW LTO

Biolämpökeskus koostuu kahdesta nimellisteholtaan 15 MW:n kattilasta, jotka varustetaan kattilakohtaisilla savukaasujen lämmöntalteenottopesuri-järjestelmillä. Lämpökeskuksen polttoaineina ovat puupohjaiset polttoainejakeet. Lämpökeskuksessa on myös mahdollista polttaa turvetta. Kuvassa 19 on esitetty esimerkkikuva laitoksesta.

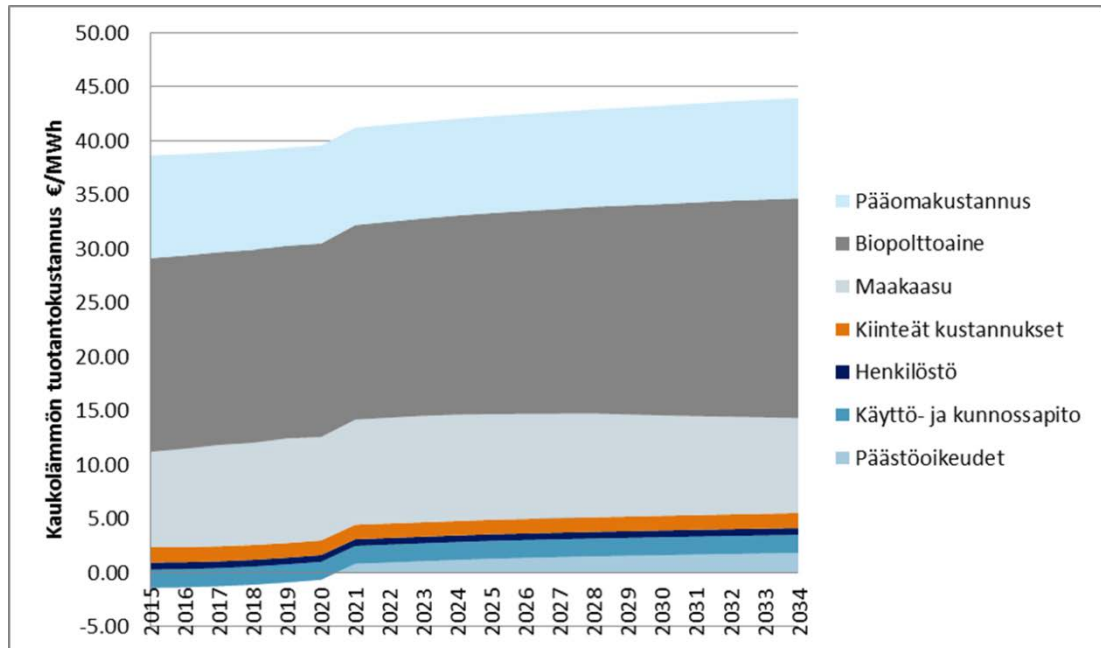


Kuva 19 Esimerkkikuva biolämpölaitoksesta.

Biolämpölaitoksen investointi:

- Vaadittavat investoinnit yhteensä n. 19,9 M€
 - Lämpökeskus 15,8 M€
 - yhdysjohto 4,1 M€
 - Investointiarvio perustuu Pöyryn kustannustietoon
 -

Kuvassa 20 on esitetty biolämpökeskusvaihtoehdon tuotantokustannukset.

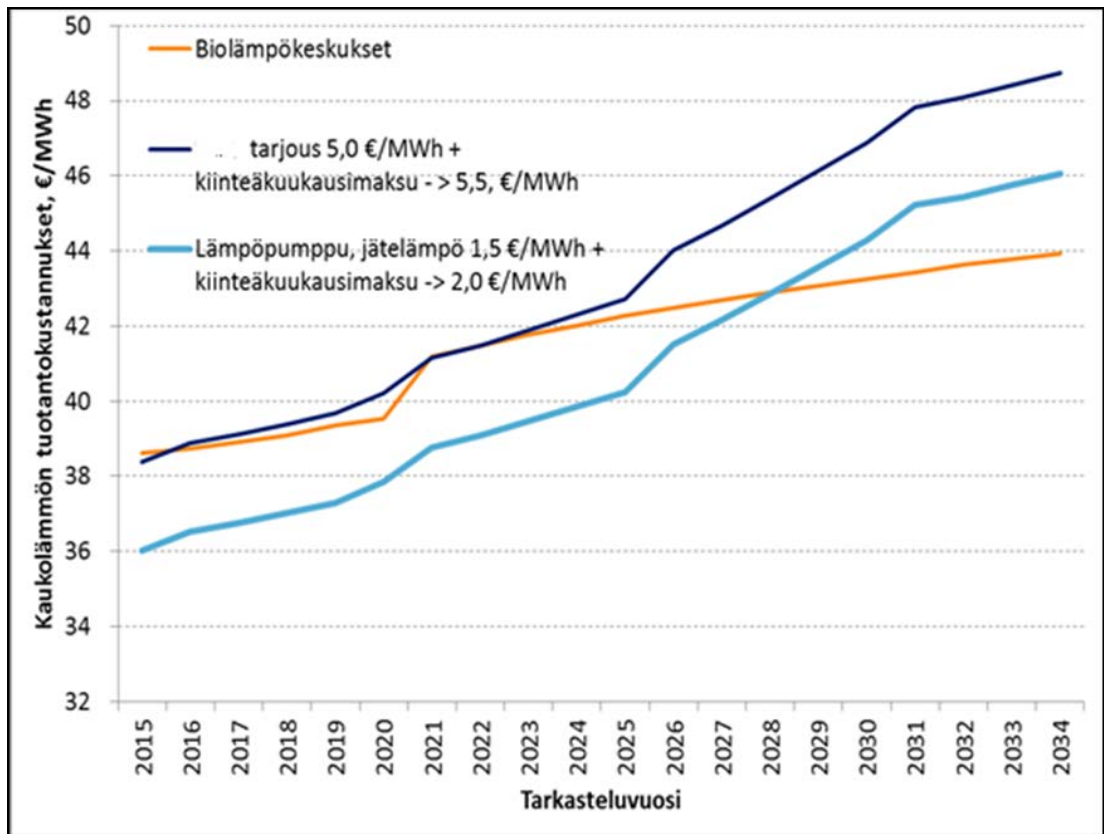


Kuva 20 Esimerkkikuva biolämpölaitoksesta.

3.4.2 Vaihtoehtojen vertailu

Lämpöpumppulaitos vs. biolämpölaitos

Kuvassa 21 on esitetty ennustetut kaukolämmön tuotantokustannukset 20 vuoden ajalta.



Kuva 21 Tuotantokustannusten vertailu.

Perusvaihtoehdossa lämmön myyjän hinnoittelulla biolämpövaihtoehto on tarkastelujaksolla 7,9 M€ lämpöpumppuvaihtoehtoa kannattavampi. Ostajan ehdotuksen mukaisella hinnoittelulla lämpöpumppulaitos olisi 0,79 M€ edullisempi. Investointiero (20 % investointituki lämpöpumpulle otettu huomioon) on 2,1 M€ biolämpökeskuksen hyväksi.

3.4.3 Johtopäätökset

Imatra valitsi vaihtoehtoista biolämpölaitoksen. Em. lisäksi päätökseen todennäköisesti vaikuttivat ennakoitua pienempi investointituki sekä lämpöpumpuvaihtoehdon sopimusriskit.

Taulukossa 3 on esitetty hankkeen päättäjille esitettyjä hyötyjä ja haittoja lämpöpumpuvaihtoehdosta.

HYÖDYT	HAITAT
Hanke on nykytilanteeseen verrattuna erittäin kannattava	Riskinä myyjän tuotantomuutokset ja sitä kautta jätelämmön lähteen menettäminen => Imatran lämmöntoimitukset ovat käytännössä yhden toimijan varassa
Jäteveden lämpötilan alentaminen vähentää vesihöyryn aiheuttamia haittoja myyjän tehdasalueella: korroosiota, näkyvyysongelmia, ym.	Lämmön lähteen menettäminen lopettaa jätelämmön hyödyntämismahdollisuuden, jolloin investoitava uudelleen
Positiivinen julkisuus, konseptin monistettavuus ja vientipotentiaali	Lämmön toimitusvarmuus on herkkä teollisuussektorin suhdanteille
Bioenergian säästyminen muihin kohteisiin	Sopimusluonnoksen mukaan myyjällä on oikeus irtisanoa sopimus 2 v. irtisanomisajalla
Imatran Lämmön ei tarvitse aloittaa biopolttaineen hankintaa eikä muodostaa logistiikka-ketjua	Myyjä ei ota kantaakseen toimituksen keskeytyksestä (esim. suunniteltua pidemmät seisokit) koituvia kustannuksia (sopimus)
Mikäli sopimukset ja vastuut saadaan määriteltyä myyjän kanssa järkevästi, tulevaisuuden hintavaihtelut ovat vähäisiä	Kannattavuus herkkä hintamuutoksille mm. sähkössä ja jätelämmössä
On oletettavaa, että jäteveden käsittelyn toimintamallit voidaan oppia ja omaksua käytön aikana	Riskinä jäteveden laadun vaikutus käytettävyyteen
	Jäteveden käsittely saattaa vaatia erillisiä käyttö- ja kunnossapidonlisäkustannuksia laitoksen käytön alkuaikoina
	Mahdolliset muutosinvestoinnit jäteveden käsittelyyn

Taulukko 3 Lämpöpumpulaitoksen hyödyt ja haitat.

Ylimini-projektissa toteutettujen osaprojektien ”Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset” ja ”Polttoaineiden kuivatus” raporteissa on käsitelty laajasti yleisimpiä ja teknisesti vähintään vakiintumisvaiheessa olevia ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksia Suomen teollisuudessa. Ratkaisuja on tässä raportissa esitetty kappaleessa 2.2.

Ylijäämälämmön hyödyntämiseen liittyviä uusia mahdollisuuksia ja teknisiä ratkaisuja tutkitaan ja kehitetään maailmalla laajasti. Yksi mielenkiintoinen alue on erilaiset lämmöstä sähköä kehittävät termosähköiset ratkaisut sekä matalalämpöiset Stirling-moottorit. Seuraavassa on esitetty muutamia julkisuudessa esillä olleita, kehitysvaiheessa olevia tekniikoita.

Ylijäämälämmön hyödyntäminen termosähköisillä ratkaisuilla, case 1

Teksasin yliopiston fyysikot ovat raportoineet teknologiasta, jossa hukkalämmön hyödyntämisen avulla olisi mahdollista alentaa ajoneuvojen polttoaineenkulutusta viidellä prosentilla sekä parantaa voimalaitosten ja teollisuusprosessien hyötysuhdetta jopa 10 prosentilla.

Tutkijoiden mukaan uudessa teknologiassa hyödynnetään nanoteknologiaa ja tinatelluuriyhdisteitä, joilla hukkalämpö otetaan talteen. Aiemmissä kehitysversioissa on käytetty lyijypohjaisia yhdisteitä, mutta niiden mahdollinen kaupallinen käyttö on estynyt terveysriskien takia.

Nyt kehitetty menetelmä toimii vastaavalla tavalla, mutta terveyden kannalta turvallisemmin. Ilman lyijy-yhdisteiden käyttöä teknologia on mahdollista kaupallistaa, Proceedings of the National Academy of Sciences -tiedelehdessä julkaistun tutkimuksen pääkirjoittaja, professori Zhifeng Ren sanoi.

Tutkimuksessa kehitetyn teknologian avulla on mahdollista rakentaa esimerkiksi autojen pakoputkiin ja voimalaitosten savupiippuihin laitteita, jotka muuttavat hukkalämmön sähköksi.

Auton polttoaineen kulutus laskisi noin viidellä prosentilla, kun sähkölaitteet voisivat saada sähkönsä hukkalämmöstä. Hiilivoimaloiden hyötysuhdetta olisi mahdollista nostaa 40 prosentista noin 48 prosenttiin. Joissain tapauksissa teollisuusprosessien hyötysuhdetta voitaisiin parantaa jopa 10 prosentilla, Ren sanoi.

Tutkijoiden mukaan säästöpotentiaali globaalilla tasolla on jo näillä lukemilla hyvin merkittävä. Lisäksi prosessia voitaneen tutkimuksen edetessä yhä tehostaa, jolloin päästään vielä parempaan hyötysuhteeseen.

Lähde: CO₂-raportti 7.9.2013

Ylijäämlämmön hyödyntäminen termosähköisillä ratkaisuilla, case 2

Northwestern yliopiston tutkijat kertovat kehittäneensä lämpösähköisen materiaalin, joka muuttaa hukkalämmön sähköksi erittäin tehokkaasti. Tutkijoiden mukaan kyseessä tärkeä tutkimusalue, koska sähköntuotannossa jopa lähes kaksi kolmasosaa energiasta muuttuu hukkalämmöksi.

Nyt kehitetty materiaali voi tutkijoiden mukaan aiheuttaa merkittävän muutoksen toimialalla. Aiempien lämpösähköisten materiaalien ominaisuudet eivät ole olleet riittäviä kannattavaan kaupalliseen käyttöön. Uuden materiaalin avulla hukkalämmöstä olisi mahdollista muuttaa jopa 15–20 prosenttia sähköksi, mikä kehittäjien mielestä riittää siihen, että teknologia voitaisiin ottaa teollisuudessa laajamittaiseen käyttöön.

Yksi mahdollinen käyttökohde on polttomoottoriautot, joiden pakokaasut sisältävät paljon hukkalämpöä. Myös tehtailla, jalostamoilla, hiili- ja kaasuvoimaloissa sekä laivojen suurissa dieselmootoreissa muodostuu paljon hukkalämpöä. Näissä kohteissa hukkalämmön lämpötila on tyypillisesti noin 400–600 °C, mikä on optimaalinen lämpösähköisen materiaalin toimintalämpötila.

Uusi lämpösähköinen materiaali perustuu yleiseen puolijohteeseen, jonka suorituskykyä kuvaava erityinen "ZT"-arvo on 2,2, mikä on suurin saavutettu arvo.

Northwestern ja Michigan State-yliopistojen tutkijoiden artikkeli julkaistiin torstaina 20.9.2012 tiedelehti *Nature*ssa.

- Usein kysytään, mikä on energiaratkaisu. Mutta siihen ei ole olemassa yhtä vastausta. Lämpösähköinen materiaali ei ratkaise kaikkia energiaongelmiamme, mutta voi olla tärkeässä osassa kokonaisuutta, tutkijat sanovat.

Aiemmissä lämpösähköistä materiaalia hyödyntävissä sovelluksissa ZT-arvo on jäänyt noin yhteen. Muun muassa BMW on testannut materiaaleja pakokaasujen lämmön hyödyntämiseksi. Tutkijoiden mukaan ZT-arvon kohoaminen yli kahden muuttaa tilanteen oleellisesti.

Tutkijoiden tavoitteena on edelleen kehittää materiaalia, jotta ZT-arvo kohoaisi tasolle 2,5-3.

Tutkijaryhmä raportoi *Nature Chemistry* -lehdessä vuonna 2011 saavutetusta 1,7 ZT-arvosta. Nyt hyötysuhdetta on saatu edelleen parannettua noin 30 prosentilla muun muassa nanoteknologian avulla.

Lähde: CO₂-raportti 21.9.2012

Ylijäämlämmön hyödyntäminen termosähköisillä ratkaisuilla, case 3

Tiedemiehet ovat kehittäneet prototyypin laitteesta, jonka avulla autojen pakokaasujen hukkalämpö on mahdollista saada hyötykäyttöön ja näin parantaa merkittävästi moottorin hyötysuhdetta. Oregon State -yliopiston tutkimuksen mukaan jopa puolet maailman autojen, tehtaiden ja voimalaitosten kuluttamasta energiasta menee hukkaan.

Uuden teknologian tarkoituksena on ottaa hyötykäyttöön suhteellisen matalan lämpötilan jätelämpö. Prototyyppiä on juuri testattu, ja havainnot on julkaistu Applied Thermal Engineering -lehdessä.

- Menetelmästä saattaa tulla hyvin tärkeä tapa parantaa energiatehokkuutta. Nyt rakennettu prototyyppi osoittaa, että teknologia toimii laskelmien mukaisesti, Oregon Staten tutkija Hailei Wang sanoi.

Wangin mukaan teollisuuden tuottamasta lämmöstä ainakin puolet menee hukkaan. Sähköntuotantolaitoksilla hyötysuhde on usein vain 40 prosentin tasolla.

- Autoissa tilanne on usein vielä huonompi. Energiatehokkuus saattaa olla vain 25–40 prosenttia. Iso osa energiasta muuttuu hukkalämmöksi, Wang sanoi.

Aiemmin on jo kehitetty menetelmiä, jolla osa hukkalämmöstä voidaan käyttää hyödyksi, esimerkiksi jäähdytykseen. Wangin mukaan nyt kehitetty uusi teknologia käyttää hukkalämpöä entistä tehokkaammin. Lisäksi uusi tekniikka menee pienempään tilaan ja sen avulla voidaan tuottaa myös sähköä.

Menetelmä perustuu erittäin pieniin "mikrokanaviin", joiden avulla laite saadaan pieneksi ja kevyeksi. Menetelmässä yhdistetään tehokkaasti höyrynpuristusprosessi ja ORC-prosessi (Organic Rankine Cycle), joka on jo kaupallisissa sovelluksissa käytetty lämpövoimaprosessi.

Tutkijoiden mukaan prototyyppi hyödyntää jopa 80 prosenttia hukkalämmöstä, kun tuotetaan jäähdytystä. Mikäli lämmöstä tehdään sähköä, putoaa hyötysuhde toistaiseksi noin 15–20 prosenttiin.

- Teknologia on parhaimmillaan kohteissa, joissa tarvitaan jäähdytystä, ja samaan aikaan lämpöä menee hukkaan, Wang sanoi.

Wangin mukaan tämä voi olla vasta alkua. Joissain tehtaissa hukkalämpöä muodostuu valtavia määriä, jolloin potentiaaliset säästöt ovat suuria. Järjestelmää olisi tarkoitus käyttää myös yhdessä uusiutuvien energialähteiden kuten aurinko- ja maalämpöjärjestelmien kanssa.

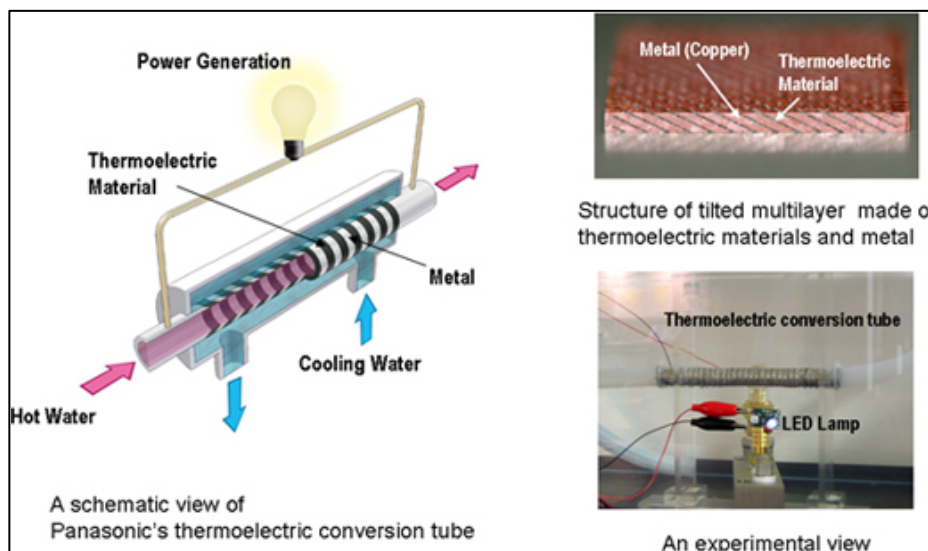
Yksi sovelluskohteista voi olla hybridiautot. Järjestelmä voisi ottaa polttomoottorin hukkalämmön talteen ja ladata sillä akkuja ja tuottaa jäähdytystä.

Tutkijoiden mukaan tarvitaan vielä lisätutkimusta, jotta teknologia voitaisiin soveltaa mahdollisimman monessa kohteessa.

Lähde: CO₂-raportti 20.6.2011

Ylijäämlämmön hyödyntäminen termosähköisillä ratkaisulla, case 4

Hukkalämmöstä energianlähde – termosähköiset putket tekevät sähköä kuumasta vedestä. Ennätystehokkaita putkia voidaan asentaa kohteisiin, jotka tuottavat nykyisellään hukkalämpöä.



Kuva 22 Termosähköputken periaatekaavio.

Panasonic on kehittänyt vesiputken, joka pystyy muuntamaan veden lämpöä sähköksi. Muunto edellyttää, että saatavilla on sekä kuumaa että kylmää vettä, joiden lämpötilaerosta sähköä saadaan tuotettua.

Lämpöä on onnistuttu hyödyntämään ennenkin sähköntuotannossa, mutta uuden keksinnön teho on niihin verrattuna kolmin- tai nelinkertainen. Teho perustuu siihen, että lämpöä ottaa vastaan koko putki, johon kuuma vesi johdetaan.

Neljä parinkymmenen senttimetrin mittaista putkea voivat tuottaa sähköä kannettavan television tarpeisiin. Suuremmat kokoonpanot voisivat aiheuttaa merkittäviä säästöjä energialaskuun rakennuksissa, joissa syntyy hukkalämpöä. Myös geotermisten lähteiden alueella keksintö on käyttökelpoinen.

Panasonic uskoo saavansa keksintönsä kaupalliseen tuotantoon vuonna 2018.

Lähde: Tekniikka&Talous 4.1.2013

Ylijäämälämmön hyödyntäminen termosähköisillä ratkaisuilla, case 5

Lämpösähköinen generaattori muuttaa voimalan hukkalämmön sähköksi. Fraunhoferin tutkijoiden tulostettava lämpösähköinen generaattori kiertyy rullalle.

Voimalakäytössä laite tuottaa jo kohtuullisesti sähköä. Keksintöä esiteltiin yleisölle Hannoverin messuilla 2013.

Lämpösähköiset materiaalit tuottavat sähköä lämmön vaihtelusta. Jos materiaalista valmistettaisiin takki, periaatteessa se synnyttäisi sähköä kylmällä ilmalla lämpimän ihmisen päällä. Tekniikka on ollut kuitenkin kallis ja tehoton, eikä se ole vielä yleistynyt.

Nyt Fraunhoferin tutkimusorganisaation tieteilijät ovat kehittäneet tulostustekniikan, jolla voi valmistaa joustavia ja ohuita lämpösähköisiä generaattoreita. Musteen sijaan tulostin ruiskuttaa halpaa lämpösähköistä polymeeritahnaa. Nykyään yleisessä käytössä oleva 3d-tulostustekniikka voi soveltua materiaalin valmistamiseen. Materiaalin hyvänä puolena on myös se, että se on ympäristölle vaaraton.

Tutkijat toivovat nyt, että generaattoreita voitaisiin sijoittaa voimalaitosten betonisten jäädytintornien seiniin, joiden ulko- ja sisäpuolelle syntyy riittävä lämpötilaero. Tämä vähentäisi turbiinien lämpöhukkaa ja lisäisi voimalan sähköntuotantoa.

Lämpösähköllä tuotetun virran määrä ei ole suuri. Parhaimmillaan generaattorit muuttavat lämmöstä 15–20 prosenttia sähköksi. Tyypillisimmät luvut ovat kahdeksan prosentin kieppeillä. Riittävän suuren lämpötilaeron ansiosta voimalat voisivat tuottaa kuitenkin kohtuullisesti.

Lähde: Tekniikka&Talous 5.4.2013

Ylijäämälämmön hyödyntäminen matalalämpötilaisella Stirling-moottorilla

Stirling-moottorin toiminta perustuu työkaasun kuumentamiseen lämmönvaihtimessa, minkä seurauksena työkaasu laajenee. Vastaavasti kylmään sylinterissä työkaasun tilavuus pienenee jäähtymisen seurauksena. Nämä työkaasun tilavuusmuutokset muunnetaan sylinterien, tiiviiden mäntien ja kampikoneiston avulla mekaaniseksi energiaksi. Työkaasuna käytetään yleensä paineistettua heliumia tai vetyä. Käytettävissä oleva lämpötilaero määrittää sähköntuotannon tehon ja hyötysuhteen.

Stirling-moottoreita on tyypillisesti käytetty fossiilisten polttoaineiden savukaasujen lämpöenergialla (esim. dieselmoottoareiden pakokaasuilla) ja lämpötilalla noin 1000 °C kohteissa, joissa sähköenergian hinta on korkea.

Stirling- moottorin edut ja haitat:

Edut:

- Pitkä huoltoväli (5000- 15000 h)
- Hiljainen käyntiääni
- Pakokaasujen puhtaus
- CHP-käytössä sähköä vaivattomasti lämmöntuotannon ohessa

Haitat:

- Hidas kierrosnopeuden säätö
- Kallis hinta
- Vaatii tiiviit männät ja sylinterit
- Pieni sähköhyötysuhde (22- 24 %).

Lähde: Jarva&Niskanen, Stirling-moottori puukaasukäytössä, Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu 2011

Matalalämpötilasovelluksissa käytettävissä oleva lämpötilaero pienenee, joten sähköhyötysuhde laskee. Suomessa eGen Oy kehittää ja myy matalan alle 500 °C lämpötila-alueen Stirling-koneita hukkalämmön tai uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen sähköntuotannossa.

5 Ylijäämälämmön tarkastelut energiakatselmustoiminnassa

5.1 Energiakatselmustoiminta Suomessa

Energiakatselmuksien tarkoitus on tehostaa yrityksiä ja yhteisöjen energiankäyttöä ja vähentää sitä kautta niiden toiminnasta aiheutuvia ympäristöpäästöjä. Päästövähennysten lisäksi energiankäytön tehostuminen tuo myös suoraa taloudellista säästöä. Parhaimmillaan energiakatselmusten avulla saadaan aikaan säästöjä jopa ilman investointeja.

Energiakatselmuksien avulla analysoidaan katselmukskohteiden kokonaisenergian käyttö, selvitetään energiansäästöpotentiaali ja esitetään ehdotettavat säästötoimenpiteet kannattavuuslaskelmineen.

Energiakatselmuksissa selvitetään myös mahdollisuudet uusiutuvien energiamuotojen käyttöön ja energiansäästöpotentiaalini lisäksi katselmuksissa raportoidaan ehdotettavien toimenpiteiden vaikutus CO₂-päästöihin.

Energiakatselmus perustuu toteutusajankohdan tuotanto-, energiankulutus- ja käyttötietoihin. Siinä pyritään mahdollisimman paljon ottamaan huomioon myös tiedossa olevat ja suunnitellut muutokset. Energiakatselmus pyritään liittämään tiiviisti kohteen muihin toimintaprosesseihin niin, että siitä syntyy työkalu, joka palvelee kohdetta myös myöhemmin energiatehokkuuden jatkuvassa seurannassa ja ylläpidossa.

Parhaimman lopputuloksen aikaansaamiseksi konsultin on energiakatselmoiminnin aikana tärkeää tehdä tiiviisti yhteistyötä tuotantolaitoksen oman henkilökunnan, niin esimiestason kuin käyttöhenkilökunnankin, kanssa. Omalla henkilökunnalla on kuitenkin aina paras prosessituntemus ja he osaavat arvioida ehdotettavien muutosten vaikutuksia eri reunaehdot huomioiden.

5.2 Olemassa olevien järjestelmien tarkastus ja kuntoon saattaminen

Ylijäämälämmön hyödyntämistä voidaan tarkastella luotettavalta pohjalta vasta, kun

- ylijäämälämmön syntyminen on pyritty minimoimaan menetelmä- ja laitetasolla niin pitkälle kuin se on kannattavasti mahdollista tai järkevää
- kohteen primäärienergiaa käyttävien prosessien toiminta on säädetty mahdollisimman energiatehokkaaksi taloudelliset ja tekniset rajoitteet huomioiden
- sekundäärilämmön käyttö on maksimoitu taloudelliset ja tekniset rajoitteet huomioiden.

Mikäli olemassa oleva nykytilanne ei ole kunnossa tai energiatehokas, ylijäämälämmön hyödyntämiskäytöltä saattaa nopeasti kadota kannattavuus tai jopa

koko pohja pois, jos esim. ylijäämälämpövirta pienenee, poistuu tai sen lämpötila-
taso putoaa, kun prosessia kehitetään tai modernisoidaan.

Ylijäämälämmön muodostumisen estämiseen ei puututa tässä yhteydessä
enempää, sillä menetelmä- tai laitetason ratkaisut ovat aina tapauskohtaisia eikä
niistä, niiden mahdollisuuksista tai niiden kannattavuudesta voi tässä yhteydessä
antaa yleisiä ohjeita.

Sen sijaan olemassa olevien sekundääri- tai ylijäämälämpöä hyödyntävien jär-
jestelmien energiatehokkaan toiminnan tarkasteluissa on hyvä edetä vaiheittain
selvittämällä seuraavat asiat:

- Toimivatko järjestelmät suunnitteluarvoissa ja/tai oikealla alueella?
- Onko virtausten/tuotannon/lämpötilojen ym. muutokset otettu huomi-
oon nykyisessä toiminnassa?
- Erilaisia muutoksia tapahtuu ajan mittaan lähes poikkeuksetta ja muutos-
ten vaikutuspolun selvittäminen tulisi ulottaa uloimmalle taserajalle asti
- Voiko järjestelmien toimintaa tehostaa?
- Esim. säätöä parantamalla, taajuusmuuttajien lisäyksellä jne.?
- Onko järjestelmien huolto, kunnossapito ja kalibroinnit toteutettu laite-
toimittajan ohjeiden ja suositusten mukaan?
 - Esim. lämmönsiirtopintojen puhdistus, erilaiset voitelut jne.?
 - Toimintapisteet ovat saattaneet muuttua, anturit likaantua, hystereesi-
sit ym. vaivat. Nämä ovat usein hitaita muutoksia ja jäävät siten usein
myös huomaamatta.

Olemassa olevien järjestelmien oikealla kunnossapidolla, päivityksillä sekä
kehittämällä saattaa olla mahdollisuus pienentää ylijäämälämpövirtoja hyvinkin
kohtuullisin kustannuksin. Tämän lisäksi em. toimet parantavat uusien ylijäämä-
lämmön investointihankkeiden kannattavuuden arviointia ja sitä myöten pienen-
tää niiden riskejä antaen parhaat lähtökohdat jatkokehitykselle.

5.3 Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksien tarkastelu

Tuotantolaitoksen ylijäämälämpövirtojen ja niiden hyödyntämisen selvitys on hyvä
aloittaa muodostamalla riittävän tarkka kokonaiskuva kohteen energiankäytöstä.
Tämä voidaan toteuttaa melko helposti ja yksinkertaisesti erilaisten taseiden muo-
dostamisen avulla.

- Kokonaisenergiataseen (tehdas tai tehdasalue) sekä prosessiosien tai ra-
kennusten energiataseiden laatiminen
 - selvitetään ja listataan systemaattisesti kaikki primäärienergiavirrat,
sekundäärienergiavirrat ja poistuvat ylijäämälämpövirrat
 - Energiataseiden laatiminen/tekeminen edellyttää usein kenttämitta-
uksia etenkin sellaisten poistuvien lämpövirtojen osalta, jotka eivät
ole kiinteiden mittausten tai esim. ympäristöluvan edellyttämien
säännöllisten mittausten piirissä
 - Selvitetään tarkemmin eri energivirtojen ominaisuuksia, vaatimuksia
ja reunaehtoja (esim. lämpötilatasot, ajallinen käytös, kemialliset ja
fysikaaliset ominaisuudet jne.).

Eri lämpövirtojen riittävän tuntemuksen jälkeen on mahdollista lähteä analysoimaan ylijäämälämpöjen hyödyntämistä primäärienergian käytön vähentämiseksi, lisätulojen saamiseksi tai muiden hyötyjen aikaansaamiseksi. Tarkastelut ja analysointi voidaan toteuttaa esim. raportin kohdan 2.2.2 periaatteiden ja järjestyksen mukaisesti.

Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksien tunnistaminen edellyttää katselmoijalta riittävien tietojen lisäksi kokemusta ja ammattitaitoa sekä tiivistä yhteistyötä kohteen oman henkilöstön kanssa. Kannattavimmat, yksinkertaisimmat ja merkittävimmät ylijäämälämmön hyödyntämiskäytännöt on usein jo toteutettu tai ne ovat vähintään kohteessa tiedossa. Energian hinnoissa ja teollisuuden prosesseissa tapahtuu kuitenkin jatkuvasti muutoksia ja tekniikka kehittyy, joten tilanne elää ja mahdollisesti aikaisemmin mahdottomiksi tai kannattamattomiksi todetut ratkaisut voivat huomenna olla toteutuskelpoisia ja kannattavia.

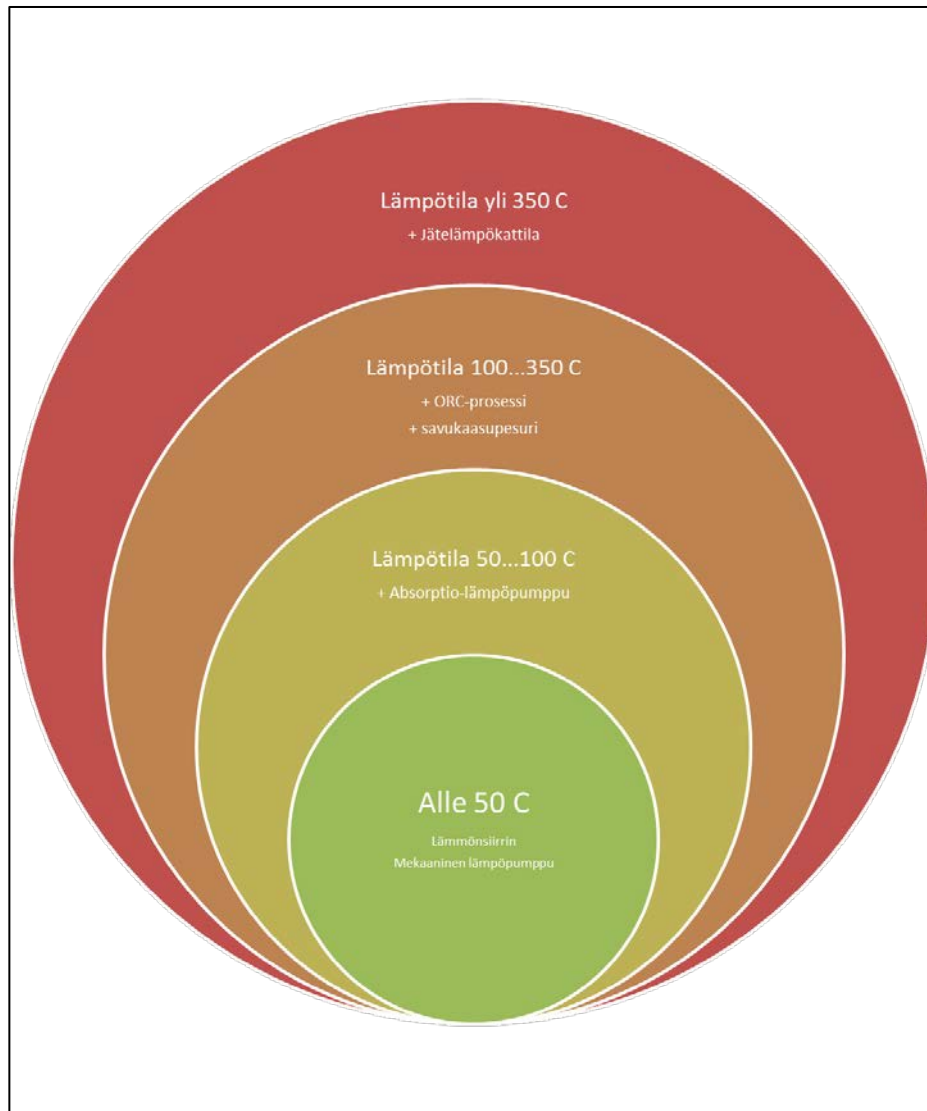
5.4 Yleisiä ohjeita ja nyrkkisääntöjä ylijäämälämpöjen hyödyntämismahdollisuuksista

Kappaleessa 2.2 on esitetty ylijäämälämmön tärkeimpiä muuttujia sen hyödyntämisen kannalta. Näiden muuttujien eri arvoille voidaan esittää erilaisia ohjeita ja nyrkkisääntöjä hyödyntämismahdollisuuksista ja yleisesti käytössä olevista ratkaisuista.

Yhden muuttujan tarkasteleminen yksittäin ei kuitenkaan anna täyttä kuvaa hyödyntämismahdollisuuksista, vaan aina on selvitettävä vähintään kaikki esitetyt muuttujat ja usein myös lukuisat muut reunaehdot.

5.4.1 Ylijäämälämmön lämpötilataso

Lämpötilataso on yksi tärkeimmistä muuttujista, sillä se vaikuttaa merkittävästi ominaisentalpiaan eli termodynaamiseen potentiaaliin. Lämpöenergian hyödyntämismahdollisuudet kasvavat lämpötilan noustessa. Kuvassa 24 on esitetty karkeat peruseriaatteen, millaisin keinoin eri lämpötilaisia ylijäämälämpövirtoja voidaan hyödyntää.



Kuva 23 Kasvavan lämpötilatason vaikutus hyödynnettävyyteen.

Termodynamiikan periaatteiden mukaisesti korkeimman lämpötilatason ylijäämälämmöllä tulisi aina pyrkiä lämmittämään mahdollisimman korkealämpötilaista kohdetta, jolloin ainakin teoriassa ylijäämälämmöt pystytään minimoimaan.

Yleisimmät matalalämpötilaisen (alle 50 °C) ylijäämälämmön lähteet ovat:

- Erilaiset prosessien jäähdytysvedet
- koneellisen jäähdytyksen lauhde-energia
- prosesseihin liittyvät poistoilmavirrat.

Lämpötilatasolla 50...100 °C tyypillisiä ylijäämälämmön lähteitä ovat mm.:

- Erilaiset prosessien jäähdytysvedet
- erilaiset höngät
- öljyvoideltujen paineilmakompressoreiden jäähdytys.

Lämpötilatasolla 100...350 °C ja yli 350 °C tyypillisiä ylijäämälämmön lähteitä ovat:

- Savukaasut
- prosessien kuumat poistokaasut.

5.4.2 Ylijäämälämmön teho ja sen ajallinen käyttö sekä vuosienenergia

Mitä suurempi on kohteen energiankulutus niin tehona kuin energiamääränäkin, sitä suurempiin ylijäämälämpövirtoihin yleensä keskitytään. Tämä lähestyminen on luonteva, mutta pienemmät ylijäämälämpövirrat jäävät liian usein ottamatta huomioon suurissa laitoksissa.

Ylijäämälämmön hyödyntämisen kannattavuus yleensä paranee tehon noustessa, mutta kovin tarkkaa ohjetta ei voida esittää, sillä kannattavuuteen vaikuttavat voimakkaasti myös muut muuttujat. Eräänä nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin esittää, että yksittäisen ylijäämälämpövirran hyödyntämismahdollisuuksia kannattaa ehdottomasti selvittää syvällisemmin, jos sen entalpiavirta yli 50 °C lämpötilassa on yli 1 % kohteen huipputehosta tai yli 100 kW.

Ylijäämälämpöä saattaa syntyä jaksoittain vuodenajan, työaikamuotojen tai prosessien syklien mukaisesti. Lyhyt ylijäämälämmön syntyäika heikentää sen hyödyntämismahdollisuuksia investoinnin kannattavuuden heiketessä. Tällöin ylijäämälämmön hyödyntäminen samassa prosessiketjussa, missä sitä syntyy, on yleensä järkevintä. Suuremmissa kohteissa prosessien dynamiikka korostuu eri ylijäämälämpövirtojen hyödyntämistä selvitettäessä ja optimointi on hankalaa.

Ylijäämälämpöä pystytään varastoimaan esim. lämpö- tai höyryakun avulla vuorokausitasolla ja maaperään jopa vuositasolla. Varastointi kuitenkin nostaa investointikustannuksia. Pienimmillään lämpöä varastoidaan muutaman sadan litran säiliöön paineettomasti alle 80 °C lämpötilassa, kun taas suurien korkeapainisten höyryakkujen kapasiteetit voivat olla jopa kymmeniä megawattitunteja. Varastoinnin kannattavuus on hyvin tapauskohtaista ja sen laskeminen edellyttää ammattitaitoa.

Ylijäämälämmön hyödyntämisen kannattavuus paranee vuotuisen energiamäärän noustessa periaatteessa jopa lineaarisesti. Ylijäämälämpövirran vuosienenergian (suhteutettuna valittuun entalpiatasoon) selvittämisen avulla on helppo tehdä karkea ensimmäinen arvio sen hyödyntämismahdollisuudesta laskemalla sille hinta valitun lämpöenergian yksikköhinnan perusteella. Eri hyödyntämiskäytöille voidaan arvioida erittäin karkeat ns. lähtöhinnat ja yksikkökustannukset tehon mukaan seuraavasti:

- Kytkeämuutokset alkaen 1000 € + alkaen 100 €/m + putkistovarusteet.
- Lämmönvaihdinratkaisut normaalimateriaalein alkaen 5000 € + kytkentämuutokset
- Mekaaniset lämpöpumput: kokonaiskustannukset yleensä 500...1000 €/kW + käyttöenergia
- Absorptiolämpöpumput: kokonaiskustannukset yleensä 200...500 €/kW + käyttöenergia.

5.4.3 Ylijäämälämmön olomuoto, puhtaus ja kemialliset ominaisuudet

Ylijäämälämmön olomuodolla on merkittävä vaikutus sen hyödynnettävyyteen. Tiheämpien, energiasisällöltään korkeampien (tilavuusyksikköä kohti) tai ominaislämpökapasiteetiltaan korkeampien, kuten nesteiden tai paineisen höyryn, energian hyödyntäminen on yleensä helpompaa ja kannattavampaa pienempien dimensioiden ja aineen siirtoon tarvittavan tehon ansiosta kuin esim. ilman.

Ylijäämälämpövirrat ovat usein likaisia ja epähomogeenisiä. Niissä voi olla irttonaisia kiintoainepartikkeleita, emulsiona esim. vettä ja öljyä tai ne ovat muita erilaisia kolloidisia seostyyppisiä. Tällöin niiden energiasisällön hyödyntäminen edellyttää usein erityyppisiä erotusmenetelmiä esim. suodatusta ennen varsinaista lämpöä talteen ottavaa laitteistoa. Toimiva tekniikka on yleensä olemassa, mutta kaikki ylimääräiset puhdistusvaiheet lisäävät investointikustannusten lisäksi järjestelmän käyttö-, huolto- ja kunnossapitokustannuksia.

Tänä päivänä merkittävimmistä ylijäämälämpövirroista yleensä löytyvät jo olemassa olevat käsittelyjärjestelmät ympäristölupamääräysten vuoksi. Usein esim. tehtaan jätevesilaitos saattaa kuitenkin sijaita kaukana lämmön käyttökohteista, jolloin etäisyys lisää kustannuksia.

Ylijäämälämpövirran kemialliset ominaisuudet esim. pH, syövyttävyyden ja myrkyllisyys saattavat rajoittaa tai ainakin vaikeuttaa hyödyntämistä. Tällöin joudutaan käyttämään kalliita (esim. Hastelloy-teräkset, titaani) tai heikosti lämpöä johtavia materiaaleja (esim. muovit, lasi) tai pystytään hyödyntämään vain osa ylijäämäenergiasta. Tyypillinen esimerkki on savukaasuissa esiintyvä happokastepiste, joka rajoittaa savukaasujen loppulämpötilan laskemista ja siten parempaa hyötysuhdetta. Toinen esimerkki on ammoniakki-kuumakaasun hyödyntäminen esim. pesuvesien lämmitykseen. Ammoniakin myrkyllisyyden vuoksi käytetään yleensä varmuuden vuoksi ylimääräistä lämmönvaihdinpiiriä ja menetetään asteisuuden vuoksi energiaa.

5.4.4 Ylijäämälämmön ja primäärienergian hinnat

Primäärilämpöenergian hinnalla on erittäin merkittävä vaikutus ylijäämälämmön hyödyntämisen kannattavuuteen. Jos pääomakustannuksia ei lasketa, ylijäämälämpö on parhaimmillaan lähes täysin ilmaista korvattaessa primäärienergiaa esim. lämmönvaihdinratkaisulla. Käytettäessä esim. lämpöpumppuja, hyödynnettävän ylijäämälämmön hintaan on tullut käytetyn sähkön kustannukset, mutta kustannus on yleensä edelleen alle kolmasosa primäärienergian kustannuksesta.

Seuraavassa on esitetty yleisesti havaittuja polttoainekohtaisia suuntaviivoja vuoden 2014 hintatasolla, kun primäärienergiaa korvataan ylijäämälämmöllä.

1. Mikäli kohteessa käytetään nestemäisiä tai kaasumaisia fossiilisia polttoaineita, (lämpöenergian hinta >70 €/MWh), ylijäämälämmön hyödyntäminen on useimmissa tapauksissa kannattavaa, jos energiamäärä on riittävän suuri.
2. Mikäli kohteessa on esim. kaukolämpö tai biopolttoainekattila (lämpöenergian hinta $30\text{--}70$ €/MWh), ylijäämälämmön hyödyntäminen on kannattavaa tapauskohtaisesti. Energiamäärän ja huipunkäyttöajan merkitys korostuu.
3. Mikäli kohteen lämpöenergian hinta on erittäin edullista (< 30 €/MWh) esim. oman sivutuotteen tms. käytön takia, ylijäämälämmön hyödyntäminen on to-

dennäköisesti kannattavaa vain melko yksinkertaisilla ratkaisuilla, joilla on pitkä huipunkäyttöaika. Tällaiset kohteet ovat usein tehokokoluokaltaan suuria, mikä saattaa parantaa kannattavuutta.

4. Kaikissa tapauksissa ylijäämälämmön myynti ulkopuoliselle toimijalle voi olla kannattavaa, etenkin jos lämpövirrat ovat suuria ja huipunkäyttöaika pitkä.

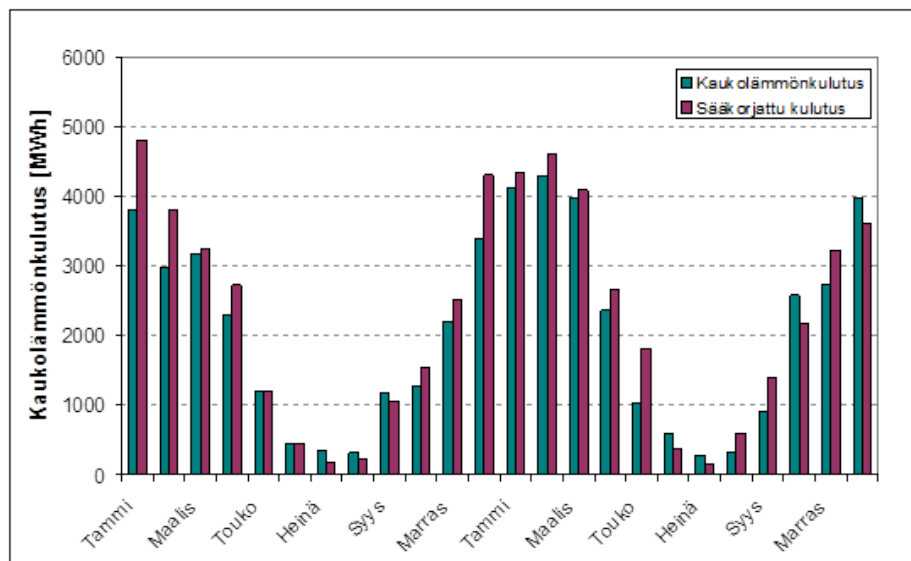
5.4.5 Ylijäämälämmön kysyntä

Jotta ylijäämälämpöenergiaa voitaisiin hyödyntää, sille pitää olla kysyntää. Edellä on esitetty ylijäämälämmön hyödyntämistä mm. teollisuuslaitoksen tuotantoprosesseissa ja kiinteistöissä lämpönä tai kylmänä, lämpöenergian myymistä ja sähkön tuottamista sen avulla.

Tuotantoprosessien kysyntä, lämmön myyminen tai sähkön tuottaminen ovat enemmän tai vähemmän tapauskohtaisia. Yleisiä periaatteita ja mahdollisuuksia on esitetty kappaleessa 2.2.2.

Kiinteistön lämmitystarpeiden energiankulutus on usein mittaroitu. Mikäli näin ei ole, kiinteistön lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden energiantarve voidaan tarvittaessa laskea. Teollisuusrakennuksen kohdalla tämä on usein hankalaa mm. erilaisten sisäisten lämpökuormien vuoksi. Siksi kiinteistön primäärienergian käyttö ja sen ajallinen vaihtelu sekä ulkolämpötilariippuvuus joudutaan joskus selvittämään myös mittausten avulla.

Kuvassa 2 on esitetty lämmön hyödyntämismahdollisuudet kiinteistön tarpeisiin eri lämpötilatasoilla. Kiinteistölle riittää usein matalakin lämpötilataso, jota saattaa ylijäämälämpönä olla kohteessa tarjolla hyvinkin runsaasti, jopa yli tarpeen. Tästä huolimatta kiinteistön lämmitykseen käytetään yleensä osittain primäärienergiaa vähintään kovemilla pakkasilla. Tämä on hyvin ymmärrettävää, kun katsotaan kuvan 25 konepaja-tyyppisen kiinteistön kulutusjakaumaesimerkkiä. Edullista ylijäämälämpöä hyödyntävää investointiaakaan ei yleensä kannata mitoittaa aivan huippukulutusta varten.



Kuva 24 Esimerkkikiinteistön lämmönkulutuksen kulutusjakauma.

YLIMINI-projektin Ylijäämäenergia-analyysit -ryhmässä oli mukana kuusi laitetoimittajien edustajaa. Laitetoimittajarytykset edustivat jäähdytyslaitteiden ja lämpöpumppujen toimittajia, lämmönvaihtimien toimittajia sekä pumpputoimittajia.

Laitetoimittajia haastateltiin projektin loppuvaiheessa. Haastatteluiden tulosten yhteenveto on esitetty seuraavassa:

Laitetoimittajat kokivat, että heillä oli omien edustamiensa tuotteiden puitteissa tarjota hyvin osaamista ja ratkaisuja analyysiryhmän yritysten case-projekteihin lukuun ottamatta säätötekniisiä optimointiongelmia.

Laitetoimittajat olivat olleet mukana kahdessa yritysten case-projektissa vähintään tarjousvaiheessa. Kaikki laitetoimittajat ovat kuitenkin olleet mukana joissakin vastaavanlaisissa projekteissa oman laite-edustuksensa puitteissa. Yritysten projektien tekniikka edusti siis varsin vakiintunutta tekniikkaa ja laitekantaa.

Kaikkien laitetoimittajien mielestä teollisuudessa on runsaasti ylijäämälämmön tehostamismahdollisuuksia etenkin erilaisissa lämmönvaihdinratkaisuissa ja lämpöpumppuja hyödyntämällä. Markkinat eivät kuitenkaan vedä ja kilpailu on kovaa. Lämpöpumppuratkaisut ovat vasta yleistymässä. Ongelmina on nähty mm. kontaktien saaminen oikeisiin ihmisiin, asiakkaiden taloustilanne sekä asiakkaiden henkilöstöresurssit ja mielenkiinto. Energiatohokkuusinvestointien nähdään myös kilpailevan yritysten investointirahoista muiden investointien kanssa tai ylijäämälämmölle ei yksinkertaisesti ole yrityksissä tarvetta.

Laitetoimittajat kokevat oman markkinointinsa ja aktiivisuutensa asiakkaiden ratkaisujen etsimiseen parantuneen, mutta parantamisen varaa myönnetään olevan. Markkinointi on taloudellisesti raskasta. Suuremmat yritykset tuntevat heidän tuotteensa ja niiden mahdollisuudet kohtuullisesti, mutta tilannetta pitäisi parantaa etenkin pk-sektorin osalta.

Julkisen investointituen merkittävyyden osalta laitetoimittajien näkemykset vaihtelivat laidasta laitaan. Osalla ei ollut edes tietoa, ovatko asiakkaat hakeneet tukea energiansäästöinvestoinneilleen.

Tulevaisuuden näkymät ylijäämälämmön hyödyntämisen ja omien tuotteiden osalta nähtiin positiivisena ja kasvualueena Suomessa huolimatta nykyhetken ongelmista. Laitetoimittajilta on tulossa joitakin uusia ratkaisuja ja nykyisten laitteiden teknistä kehitystä, mutta ei mitään mullistavaa. Laitetoimittajat edustavat ja myyvät enemmän vakiintunutta tekniikkaa kuin edustaisivat täysin uusia innovatiivisia teknologiaratkaisuja. Teollisuus vaatii laitteilta luotettavaa toimintavarmuutta eikä ole kovin innokas pilottiratkaisuihin.

Aihe koettiin tärkeäksi, mutta yrityksiltä olisi odotettu enemmän osallistumista ja avautumista, jotta laitetoimittajien detaljitason osaamisesta olisi ollut yrityksille hyötyä. Osa laitetoimittajista oli toisilleen kilpailijoita, joten kovin avoimia keskusteluja ei syntynyt. Pitkän projektin kokonaisvaikutelma oli kuitenkin positiivinen.



Urho Kekkosen katu 4-6 A
PL 489
00101 Helsinki

Puhelin 0424 2811
Faksi 0424 281 299
www.motiva.fi