

Janne Palojärvi

**JÄÄHDYTYSVEDEN SISÄLTÄMÄN LÄMPÖENERGIAN HYÖDYN-
TÄMISMAHDOLLISUUDET KEMIJÄRVEN BIOJALOSTAMOLLA**

JÄÄHDYTYSVEDEN SISÄLTÄMÄN LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET KEMIJÄRVEN BIOJALOSTAMOLLA

Janne Palojärvi
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Janne Palojärvi

Opinnäytetyön nimi: Jäähdytysveden sisältämän lämpöenergian hyödyntämismahdollisuudet Kemijärven biojalostamolla

Työn ohjaajat: Jukka Ylikunnari, Heikki Nivala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 83 + 6 liitettä

Tässä työssä tutkittiin jäähdytysveden sisältämän lämpöenergian hyödyntämismahdollisuuksia Kemijärven biojalostamolla tai sen ympäristössä. Työn tavoitteena oli löytää käyttökohteita lämpöenergialle talvella, jotta vesistöön purettavan jäähdytysveden lämpötilaa saataisiin laskettua ja lämpökuormaa takaisin vesistöön vähennettyä. Jäähdytysveden on arvioitu nostavan vesistön lämpötilaa maksimissaan noin 2 °C purkuputken päästä 150 metrin matkalla.

Työ toteutettiin teoreettisena tutkimustyönä, jossa on tarkasteltu erilaisten käyttökohteiden mahdollisuutta, kannattavuutta ja investointien suuruutta biojalostamolla. Työssä on tutkittu myös lämpöpumppujen käyttöä lämpöenergian hyödyntämisessä. Työ antaa mahdollisia vaihtoehtoja jäähdytysveden hyödyntämisen osalta, joita tulee tutkia tarkemmin, mikäli niitä halutaan toteuttaa käytännössä.

Jäähdytysvettä on tarkasteltu eri prosessien osista palaavana kokonaisuutena. Pääpaino on kuumimpina palaavissa jäähdytysvesissä parempien käyttömahdollisuuksien vuoksi. Niitä voitaisiin käyttää sellaisenaan jo esimerkiksi piha-alueen sulanapitoon, kiinteistöjen lämmitykseen tai raaka-aineen kuivaukseen. Myös lämmön siirtäminen yhteistyökumppanille voisi olla vaihtoehto, kuten lämmittää kalanviljelylaitosta tai kaukolämmön paluuvettä. Näitä vaihtoehtoja tulisi tutkia tarkemmin investointien suuruuden ja lämpöteknisten ratkaisujen toteuttamisen osalta.

Lämpöenergiaa voitaisiin siirtää jäähdytysvesistä lämmönsiirtimien avulla. Mikäli jäähdytysvesien lämpötilat eivät riittäisi lämmitysratkaisua varten, voitaisiin käyttää lämpöpumppuja lämpötilojen nostossa. Lämpöpumpuilla saadaan tuotettua kannattavasti lämpöenergiaa, mikäli lämpötilan noston ei tarvitse olla merkittävän suuri. Mikäli mitään jäähdytysveden hyötykäyttämismahdollisuutta ei koeta kannattavaksi, mutta jäähdytysveden purkulämpötilaa tulee laskea, voidaan lämpötilaa alentaa jäähdytystornien tai viipymäaltaiden avulla.

Asiasanat: jäähdytysvesi, lämpöenergia, hukkalämpö, lämmönsiirtimet, lämpöpumput

ALKULAUSE

Opinnäytetyöni aihe oli kiinnostava, ajankohtainen ja minua motivoiva. Pystyin työssäni käyttämään hyvin oppimaani tietotaitoa ja soveltamaan sitä työtä tehdessäni. Haluaisin kiittää erityisesti toimeksiantajan edustajaa Heikki Nivalaa tämän työn toteuttamisen mahdollistamisesta sekä ohjauksesta työn aikana. Lisäksi haluaisin kiittää opettaja Jukka Ylikunnaria ohjauksesta ja opastuksesta sekä avovaimoani Maria ja poikaani Otsoa heidän tuestaan työn aikana. Toivon, että työstäni olisi konkreettista apua ja hyötyä toimeksiantajalle sekä näin ollen Kemijärvellä tulevalle biojalostamolle.

Oulussa 30.04.2018

Janne Palojärvi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 BOREAL BIOREF OY	9
2.1 Biojalostamon merkitys	9
2.2 Tuotteet	10
2.3 Metsien käyttö	11
2.4 Investointi	11
2.5 Energiantuotanto	12
3 JÄÄHDYTYSVESIKIERTO	14
3.1 Talviaika	14
3.2 Jakautuminen	15
4 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET	17
4.1 Jäähdytysveden soveltuvuus	17
4.2 Jäähdytysvesien erillinen käyttö	19
4.3 Lämpöpumppujen käyttö	22
4.3.1 Kannattavuus	23
4.3.2 Mekaaninen lämpöpumppu	24
4.3.3 Absorptiolämpöpumppu	26
4.3.4 Lämpöpumpputyypin valinta	28
4.3.5 Lämpöpumppuprosessin laskenta	30
5 JÄÄHDYTYSVEDEN KÄYTTÖKOHTEITA	34
5.1 Käyttökohteet biojalostamolla	34
5.1.1 Suppojään ehkäiseminen	34
5.1.2 Kiinteistöjen lämmitys	36
5.1.3 Lämmin käyttövesi	45
5.1.4 Raaka-aineen kuivaus	50
5.1.5 Piha-alueen sulanapito	57
5.2 Käyttökohteet biojalostamon ulkopuolella	61

5.2.1 Kaukolämmön paluuvesi	61
5.2.2 Kasvihuoneet	64
5.2.3 Urheiluhalli	67
5.2.4 Kalanviljely	69
5.3 Jäähdytystornit ja viipymäaltaat	72
6 YHTEENVETO	74
LÄHTEET	77
LIITTEET	83

SANASTO

Alijäähtyminen	Prosessi, jossa neste jäähtyy jäätymispistettään alempaan lämpötilaan pysyen silti nestemäisenä
BAT	Best Available Technology, paras käytettävissä oleva tekniikka
COP	Coefficient of Performance, lämpöpumpun hyötysuhde
Delignifioituminen	Ligniinin liukeneminen keittolipeään
Entalpia	Termodynamiikassa energiaa ilmaiseva suure
Isentrooppinen	Häviötön, eli prosessi jossa ei tapahdu häviöitä
MCC	Microcrystalline cellulose, mikrokiteinen sellu
Scrubber	Puhdistin, kaasunpesulaite, hönkäpesuri
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli kartoittaa hyödyntämismahdollisuuksia jäähdytysveden sisältämälle lämpöenergialle tulevassa Kemijärven biojalostamossa. Jäähdytysvesi otetaan biojalostamolle vesistöstä, jonne se myös lasketaan käytön jälkeen takaisin. Hyödyntämismahdollisuuksia tarvittaisiin erityisesti talvella, jolloin takaisin laskettavan jäähdytysveden lämpötilaa tulisi saada laskettua. Lämpötilaa on mahdollista laskea lämpöenergian hyötykäytöllä tai muutoin jäähdyttämällä.

Jäähdytysveden lämpötila on vesistöstä otettaessa talvella 1 °C. Biojalostamolla jäähdytysvesi jakautuu monien eri prosessien käyttöön. Prosesseista jäähdytysvesi palaa eri lämpötiloissa ja eri massavirroilla lopulta purkuputkeen, josta kaikki ylimääräinen jäähdytysvesi lasketaan takaisin vesistöön. Jäähdytysveden lopullinen lämpötila on purettaessa 16 °C ja virtaus 1,84 m³/s. (1.)

Talvella takaisin laskettava jäähdytysvesi lämmittää vesistöä, mikä mm. sekoittaa kalojen kutua ja vaikuttaa jääpeitteen paksuuteen. Tämän vuoksi jäähdytysveden hyötykäytöllä ja lämpötilan laskemisella ehkäistäisiin ympäristövaikutuksia vesistössä. Veden lämpenemisen on arvioitu olevan maksimissaan noin 2 °C purkuputken pään lähetyvillä ja 450 metrin jälkeen purkuputkesta jo alle 1 °C (1).

Työssä on mietitty eri prosessien osista palaavien jäähdytysvesien hyötykäyttöä ennen niiden sekoittumista purkuputkessa. Niiden lämpötilat vaihtelevat käyttökohteen mukaan. Kaikkein lämpimimpinä palaavilla jäähdytysvesillä olisi eniten käyttömahdollisuuksia. Lisäksi on mietitty jäähdytysveden hyödyntämistä lämpöpumppuja apuna käyttäen. Ratkaisuja mietittäessä on huomioitu investointien suuruus, minkä pohjalta on arvioitu niiden kannattavuutta ja mahdollisuutta.

Jäähdytysvesien lämpöenergian käyttöä suurilla tehtailla on mietitty ennenkin, muttei ole löydetty vielä järkeviä laajamittaisia ratkaisuja. Ongelmiksi ovat koituneet mm. liian alhaiset lämpötilat ja investointien suuruus.

Kemijärvellä suunnitellun biojalostamon rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuonna 2018 ja jalostamon toiminta käynnistää vuonna 2020 (2). Hankkeesta vastaa tämän työn toimeksiantaja Boreal Bioref OY.

2 BOREAL BIOREF OY

Boreal Bioref Oy on kiinalaisen Camcen ja paikallisten yhtiöiden yhteistyöyritys, jonka päätavoitteena on varmistaa biojalostamon tulo Kemijärvelle. Kemijärven kaupunki on halunnut edistää investointia tulella mukaan pienosakkaaksi. Biojalostamo toisi toimiessaan kaupungille noin 1100 työpaikkaa lisää. Hankaesta vastaa investointipäätökseen asti Boreal Biorefin hallitus ja johto, toimitusjohtajanaan Heikki Nivala. (2.)

2.1 Biojalostamon merkitys

Biojalostamon ideana on hankkia raaka-aineet läheltä sekä työllistää paikallisia ihmisiä ja yrityksiä. Jalostamo toisi kaupungille rahaa, jolla pidettäisiin yllä palveluja ja näin ollen hyvinvointia. Kemijärvelle syntyisi 1100 uutta työpaikkaa biojalostamon ansiosta. Valmis laitos tarjoaisi 185 uutta työpaikkaa. Biojalostamon synty loisi myös mahdollisuuksia uusille palveluille, tuotteille ja asiakkaille. Puiden hakkuut keskitettäisiin nuoriin harvennuskasveihin, jolloin vanhat loppoa kasvavat metsät säilyisivät. Harvennetuilla jäkäläkankaisilla alueilla valon määrä lisääisi jäkälän kasvua, mikä edistäisi paikallista porotaloutta. Paikallinen mökkeily, kalastus ja veneily pystyisi jatkumaan entisellään, sillä uuden biojalostamon vaikutukset vesistöön olisivat vielä vähäisemmät kuin edellisen Kemijärvellä toimineen sellutehtaan. Jalostamosta takaisin vesistöön laskettavat vedet puhdistettaisiin parhaan mahdollisen tekniikan avulla. Vesistön ja kalaston tilaa seurattaisiin tarkasti lupapäätösten asettamien velvoitteiden mukaisesti. (3.)

Lisäksi Kemijärven biojalostamo

- lisääisi uusiutuvan energian käyttöä
- lisääisi puun käyttöä 2,8 miljoonaa m³ vuodessa
- edistäisi uusien biotuotteiden käyttöä
- vähentäisi hakkuupaineita vanhoihin metsiin (3).

Tuotannossa syntyvällä bioenergialla voitaisiin korvata uusiutumatonta energiaa. Bioenergiaa voisi hyödyntää mm. laitoksen sisällä lämmön ja sähkön tuotantoon tai raaka-ainekuljetuksiin jalostamolle. Uusien biotuotteiden käyttöä edistäisi erityisesti MCC, mikrokiteinen sellu, jonka valmistus olisi ensimmäisenä maailmassa teollisessa mittakaavassa. Tätä varten on Aalto-yliopiston kehittämä ja patentoima uudenlainen valmistusmenetelmä. Mikrokiteinen sellu on biotuote, joka parantaa lääke- ja ravintoaineiden imeytymistä. Sitä voitaisiin käyttää lääkkeisiin, elintarvikkeisiin ja eläinrehuissa. Hakkuiden siirtyminen harvennushakkuiksi edistäisi metsien tuottoa ja kasvua. Oikeaan aikaan harvennetut metsät kasvaisivat järeämmiksi, mikä nostaisi niiden arvoa. (3.)

2.2 Tuotteet

Biojalostamossa vanha tekniikka korvattaisiin uudennlaisella teknologialla noudattamalla BAT-periaatetta. Tämä mahdollistaisi tuotannon mahdollisimman vähillä ympäristökuormilla ja luonnonvaroja säästäen. Kaikki mahdollinen jalostamolla kierrätettäisiin joko laitoksen sisällä tai yhteistyökumppanien kanssa. Jalostamo tuottaisi myös liukosellua ja sokereita sivuvirroista. Niillä voisi korvata puuvillan ja fossiilisen muovin ekologisesti. Jalostamolta tulevista jätteistä syntyisi mm. biokaasua, jota voitaisiin käyttää bioenergiana. Lisäksi syntyviä kiintoaineita voisi käyttää maanparannusaineina. Energian osalta jalostamo olisi yliomavarainen, eli se tuottaisi sähköä ja lämpöä enemmän kuin itse sitä käyttäisi. Tuotantoprosessia olisi mahdollista säätää kysynnän mukaan. (4.)

Biojalostamo tuottaa

- liukosellua
- pitkäkuituista markkinasellua
- mikrokiteistä sellua
- C5- ja C6-sokeria
- mäntyöljyä
- tärpähtiä
- maanparannusaineita
- bioenergiaa (4).

2.3 Metsien käyttö

Lapissa kasvaa lisää puuta vuosittain noin 13 milj. m³. Tällä hetkellä yli puolet tästä määrästä jää hyödyntämättä. Uusi biojalostamo käyttäisi tästä 2,8 milj. m³ vuodessa. Tämä edistäisi metsien tehokkaampaa kasvua, sillä nykyisin Lapin metsät uhkaavat kasvaa liian tiheiksi. Liian tiheässä metsässä latvusto supistuu ja puut eivät järeydy, jolloin vihreä massa jää pieneksi. Biojalostamo käyttäisi raaka-aineenaan mäntyä, joka harvennettaisiin nuorista metsistä. Oikein harven- tamalla hoidettu metsä kasvaisi tehokkaammin ja näin ollen sitoisi myös hiiltä enemmän. Kuitupuuleimikot otettaisiin hyötykäyttöön, jolloin tukit voitaisiin ottaa samoista leimikosta säästäen näin vanhoja metsiä. (5.)

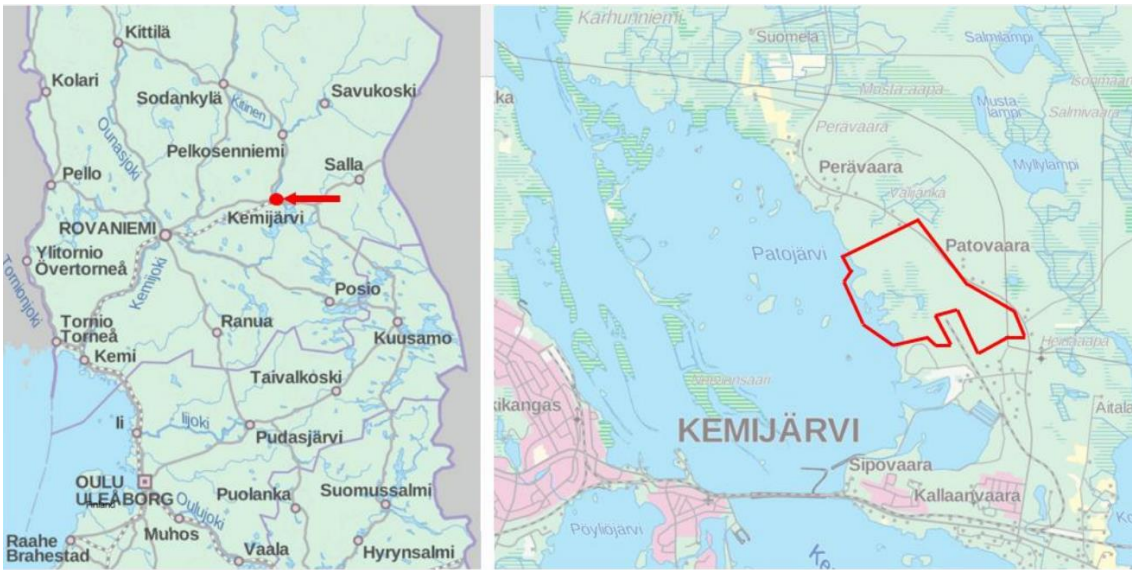
2.4 Investointi

Biojalostamon investointi maksaa arviolta noin 950 miljoonaa euroa, ja lasken- nallinen takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta. Suunnitelman mukaan investointi- päätös tehdään vuoden 2018 aikana ja rakentaminen tulee päätökseen sekä toi- minta käynnistetään vuonna 2020. Ennen rakentamisen aloittamista, biojalosta- mon osalta tulee olla valmiina

- tekniset suunnitelmat
- hankinta-asiakirjat
- sopimukset
- YVA
- rakennus-, ympäristö- ja vesiluvat
- kemikaali- ja REACH-luvat. (6.)

Biojalostamon perustamiselle on Kemijärvellä hyvä pohja, sillä alueella on ennes- tään teollista toimintaa, joka kaavoitetaan tuotantolaitokselle. Tehdasalueella si- jaitsee puuterminaali ja sinne tulisi sähköistetty junarata. Samalla tehdasalueella toimii ennestään saha ja liimapuutehdas, joilta tulisi sivutuotteina raaka-aineita biojalostamolle yli 500 000 m³ vuodessa. Vieressä virtaa Suomen pisin joki, Ke- mijoki, joten veden saanti ei ole ongelma. Junaliikenne kulkee Kemijärvelle saakka, ja lähin lentokenttä löytyy tunnin ajomatkan päästä Rovaniemeltä. Lapin satamat ovat auki ympäri vuoden. (6.)

Biojalostamo tuottaa joustavasti tuotteita sen mukaan, miten on kysyntää. Näin tuotanto toimisi aina parhaalla mahdollisella tavalla. Sijoituksena jalostamo olisi eettinen, sillä puunhankinnassa on huomioitu luonnonsuojelu ja poronhoito, puunhankinta suoritetaan kestävän kehityksen mukaisesti, jalostamo toimii BAT-periaatteella ja säästää kiertotaloudella luonnonvaroja. Lisäksi biojalostamo edistäisi bioenergian käyttöä. Kemijärvellä on vahva teollinen perinne entisen sellutehtaan ja vahvan puunjalostustoimialan ansiosta, joten sijoituspaikkana se on sopiva biojalostamolle (kuva 1). (6.)



KUVA 1 Biojalostamon suunniteltu sijoituspaikka (7, s. 32)

2.5 Energiantuotanto

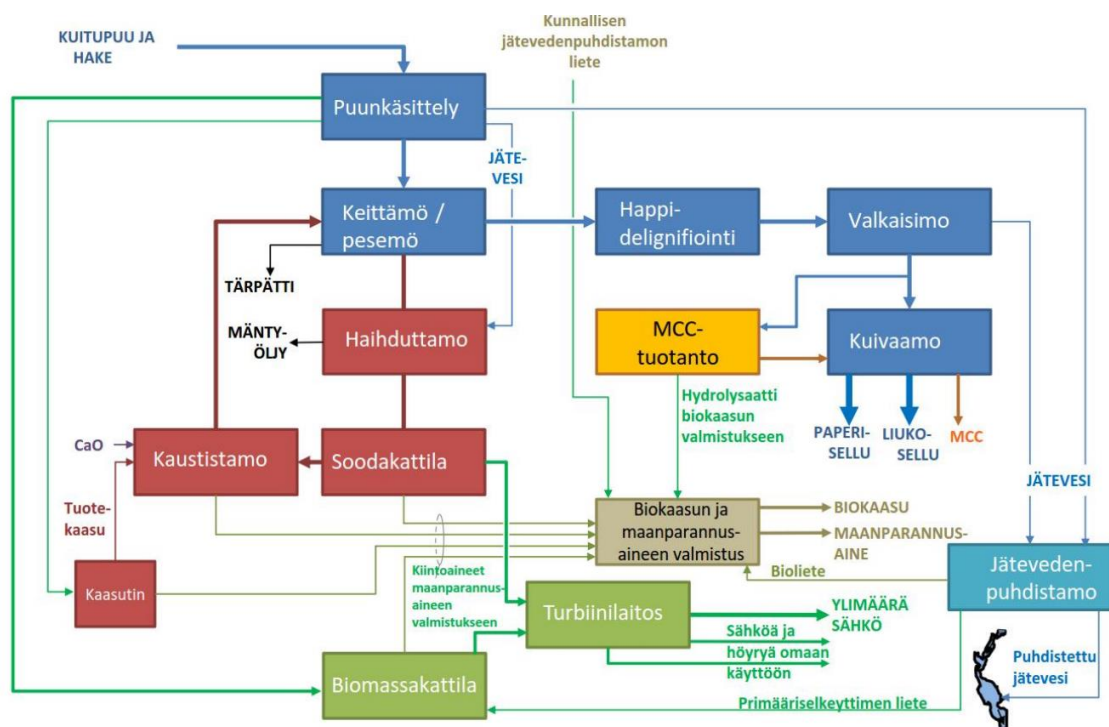
Biojalostamon energiantuotanto perustuu mustalipeän polttoon soodakattilassa sekä kuorimolta, hakettamolta ja jätevedenpuhdistamolta tulevan biomassan polttoon biomassakattilassa. Näistä saadaan höyryä turbiinille, jolla pyöritetään generaattoria tuottaen sähköä. Biojalostamon sivuvirtoja käytetään myös hyödyksi energiantuotantoon kaasuttimessa ja biomassakattilassa. (7, s. 78.)

Kaasuttimessa sivuvirroista saatava biomassa muutetaan tuotekaasuksi. Biomassan orgaaninen aines muuttuu kaasuksi korkeassa lämpötilassa ja vähähappisissa olosuhteissa. Tällä syntyvällä tuotekaasulla korvataan fossiilisen polttoaineen käyttöä meesauunilla. (7, s. 80.)

Biokaasua syntyy sivuvirroista mädättämällä tehtaan biolietteitä ja muita tehtaalle tulevia biojätteitä. Syntyvää biokaasua voidaan käyttää hyödyksi sähkön tuotannossa polttamalla sitä biomassakattilassa tai käyttämällä sitä lisäpolttoaineena meesauunissa. Lisäksi sitä voi käyttää polttoaineena raaka-aineiden kuljetuksissa. (7, s. 84.)

Biomassa- ja soodakattilassa tuotettu korkeapainehöyry johdetaan turbiinilaitokseen. Korkeapainehöyry pyörittää turbiinia, johon kytketty generaattori tuottaa sähköä. Ylijäämä sähkö myydään valtakunnanverkkoon. Turbiini on varustettu lisäksi lauhdeperällä. Lauhdeperän avulla voidaan höyry, jota ei käytetä prosessihöyrynä, lauhduttaa matalampaan paineeseen sähköntuotannon lisäämiseksi. (7, s. 82.)

Kuvasta 2 voidaan nähdä, mistä kaikista prosessin osista koko biojalostamo koostuu. Se voidaan jakaa karkeasti sellutehtaaseen, energiantuotantoyksikköihin ja biotuotteiden tuotantolaitoksiin.



KUVA 2 Biojalostamon prosessikaavio (7, s. 36)

3 JÄÄHDYTYSVESIKIERTO

Jäähdytysvesi otetaan suoraan Kemijoesta. Osa jäähdytysvedestä puhdistetaan joko mekaanisesti tai kemiallisesti riippuen käyttökohteesta. Puhdistettua jäähdytysvettä käytetään mahdollisesti myös jäähdytyksen jälkeen pesuvedenä prosessin kohteissa, kemiallisen veden valmistukseen tai uudelleen jäähdytyksessä. Kaikki ylimääräinen jäähdytysvesi johdetaan lopulta takaisin vesistöön. Jäähdytysvesi lämpenee laitoksella ottoveden lämpötilasta n. 15 °C ennen sen purkua vesistöön. Näin ollen jäähdytysveden purkulämpötila on riippuvainen vuoden ajasta ja ottoveden lämpötilasta. Myös biojalostamon jätevedet johdetaan puhdistusprosessin jälkeen takaisin vesistöön. (7, s. 44.)

3.1 Talviaika

Arvioiden mukaan tehtaan jäähdytystarve on talvella 117 MW. Kylmää vettä otetaan sisään 2,15 m³/s. Vettä käytetään jäähdyttämisen lisäksi mm. kattilaveden valmistukseen ja kemiallisesti puhdistetun veden valmistukseen. Ottoveden lämpötila on talvisaikaan 1 °C ja jäähdytysveden purkulämpötila 16 °C. Jäähdytysvettä tulee biojalostamolta 1,84 m³/s. (1.) Näin suurilla virtaamilla jäähdytysveden mukana menee paljon hukkaan matala-asteista lämpöenergiaa, jolle olisi hyvä kehittää käyttömahdollisuuksia. Tämä myös vähentäisi lämpökuormaa vesistöön, mikäli lämmentyneen jäähdytysveden lämpötilaa saataisiin laskettua lämpöenergian hyötykäytöllä. Vesistöön johdettava jäähdytysvesi vaikuttaa vesieliöstöön, kalastoon, jäätilanteeseen, vesien käyttöön, veden laatuun ja ainepitoisuuksiin (7, s. 162–226). Jäähdytys- ja jätevesien vaikutukset vesistöön on arvioitu tarkasti biojalostamon YVA:ssa.

Vesistön lämpenemisen on arvioitu olevan purkuputken päästä 150 metrin matkalla maksimissaan noin 2 °C. Välillä 150–450 metriä on arvioitu lämpenemisen olevan enää 1–2 °C ja yli 450 metrin päässä purkuputkesta jo alle 1 °C. Vesistön lämpötilan nousu on pistemäistä jäähdytysveden purkupaikan alueella. (1.)

3.2 Jakautuminen

Talvella vesistöön purettavaa jäähdytysvettä palaa biojalostamolta eri prosesseista yhteensä 1,84 m³/s. Tästä määrästä suurin osa, 1,20 m³/s, tulee turbiinin lauhduttimelta. Sieltä palaavan jäähdytysveden lämpötila on kuitenkin alhainen, vain 9 °C. Lämpimimmät jäähdytysvedet palaavat ylimääräisinä kuumina vesinä ja liuottajan scrubberin jäähdytyksestä, joista vesi palaa lämpötilassa 65 °C. (1.)

Ylimääräisiä kuumia vesiä on arvioitu keskimäärin tulevan 0,06 m³/s. Ne koostuvat mm. kuumavesisäiliöltä, kaasuttimen kuivaajalta ja muualta tulevista ylimääräisistä jäähdytysvesistä. Osa niistä tulee sykleinä tuotannon mukaan eikä jatkuvana syöttönä. Liuottajan scrubberilta jäähdytysvettä tulee 0,01 m³/s. Määrät ovat siis paljon pienempiä kuin esimerkiksi turbiinin lauhduttimelta. (1.)

Taulukosta 1 voidaan nähdä arviot, mistä eri prosessin osista jäähdytysvettä palaa, millä virtauksella ja missä lämpötilassa. Lopulta vesistöön purettavan jäähdytysveden lämpötila on 16 °C.

TAULUKKO 1 Jäähdytysveden paluu talvella (1)

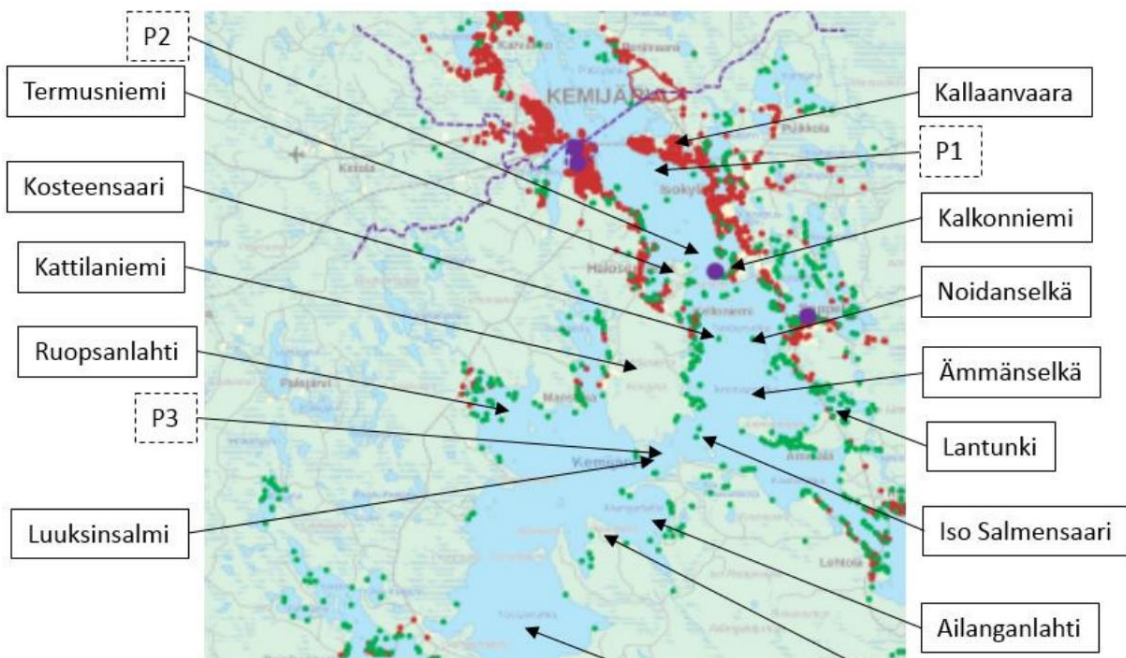
	Virtaus tn/h	Virtaus m ³ /s	Lämpötila °C
Kuitulinja	95	0,03	31
Kuivatuskoneet	27	0,01	45
Haihduttamo	683	0,19	46
Raaka mäntyöljy	2	0,00	21
Sulakourujäähdytys	20	0,01	31
Syve-pumppujen moottorit	30	0,01	6
Liuottajan scrubberi	50	0,01	65
MCC:n tuotanto	0	0,00	0
Turbiinin lauhdutin	4320	1,20	9
Kaustisointi	95	0,03	55
Happilaitos	150	0,04	11
Tiivistevedet	77	0,02	35
CIO ₂ tuotanto	750	0,21	6
Ilmakompressorit	100	0,03	11
Ylimääräinen kuuma vesi	232	0,06	65

Jäähdytysvesi yhteensä:	6631	1,84	16
--------------------------------	-------------	-------------	-----------

Yli 40 °C:n lämpötilassa palaavia jäähdytysvesiä tulee kuivatuskoneilta, haihduttamolta, liuottajan scrubberin jäähdytyksestä, kaustisoinnista sekä ylimääräisinä kuumina vesinä. Näiden yhteenlaskettu virtaama on 0,30 m³/s, josta suurin osa tulee haihduttamolta. Loput jäähdytysvedet, virtaamalla 1,54 m³/s, palaavat paljon pienemmissä lämpötiloissa, eivätkä näin ollen vaikuta yhtä merkittävästi loppulliseen purkulämpötilaan.

Määrällisesti lämpöenergiaa olisi eniten käytettävissä turbiinin lauhduttimelta palaavassa jäähdytysvedessä suuren massavirran vuoksi. Lämpötila on kuitenkin hyvin alhainen. Lämpimämmillä jäähdytysvesillä olisi taasen enemmän käyttömahdollisuuksia, mutta massavirrat ovat kuitenkin paljon pienempiä. Näitä asioita tulee ottaa huomioon, kun mietitään jäähdytysvesien hyötykäyttöä.

Kuvassa 3 on nähtävillä suunniteltuja jäähdytysveden purkupaikkavaihtoehtoja P1 ja P2. Entisen paikalla toimineen sellutehtaan purkupaikka oli kohdalla P1. Kuvassa olevat punaiset pallot ovat asutusta, vihreät loma-asutusta ja violetit uimarantoja. Violetti katkoviiva kuvastaa virallisia moottorikelkkareittejä talvella.



KUVA 3 Suunniteltuja jäähdytysveden purkupaikkoja (7, s. 54)

4 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Teollisesta tuotannosta vapautuu ylijäämälämpöä suuria määriä. Tätä lämpöenergiaa on mahdollista saada talteen erilaisista prosessikaasuista, savukaasuista, poistohöyryistä sekä jäähdytys- ja jätevesistä. Ylijäämälämpöjä syntyy erityisesti suurilla teollisuuden aloilla, kuten metsä-, elintarvike-, metalli- ja kemianteollisuudessa. Ylijäämälämpöä voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi laitoksen prosesseissa, tehdaskiinteistöjen lämmityksessä, raaka-aineen kuivauksessa tai kaukolämpönä. (8.) Ylijäämälämmön käyttö on järkevintä kohteissa, joissa saatava lämpö ja sen käyttö ovat samanaikaista ja jotka sijaitsevat lähellä toisiaan. Tämä tarkoittaa lämmön käyttöä mahdollisimman kustannustehokkaasti ja kattavasti. Lämmön varastointi tai pitkä siirtäminen on matalilla lämpötilatasoilla kannattamatonta. (9, s. 2–3.)

Biojalostamo käyttää hyödyksi mm. prosessikaasujen ja -höyryjen lämpöenergiaa. Jäähdytysveden lämpöenergian hyötykäytöllä vähennettäisiin lämpökuormaa takaisin vesistöön sekä parannettaisiin biojalostamon energiankäytön tehokkuutta entisestään. Jäähdytysvedestä olisi saatavilla runsaasti lämpöenergiaa ympäri vuoden johtuen suuresta massavirrasta. Jäähdytysveden lopullinen purkulämpötila on kuitenkin alhainen, mikä vähentää käyttömahdollisuuksia. Lämpötiloja voitaisiin nostaa käyttökelpoisempaan muotoon lämpöpumppujen avulla.

4.1 Jäähdytysveden soveltuvuus

Jäähdytysvesi ei sovellu talvella sellaisenaan esimerkiksi kiinteistöjen lämmitykseen tai kaukolämpöverkon paluuveden lämmittämiseen. Tämä johtuu matalasta, 16 °C:n lämpötilasta. Perinteinen lämmitysjärjestelmä, esimerkiksi vesikiertoisilla pattereilla, vaatii 55 °C:n menoveden lämpötilan. Lattialämmitysjärjestelmä vaatii 35 °C:n menoveden lämpötilan. (10, s. 8.) Jäähdytysvesi ei myöskään sovellu sellaisenaan kaukolämmön paluuveden lämmittämiseen, johon tarvitaan 55 °C:n lämpötila (9, s. 3).

Jäähdytysvesi on liian viileää sellaisenaan myöskin biojalostamon raaka-aineiden kuivaukseen. Tarvittavat lämpötilat kuumille vesille eri kuivausmenetelmillä ovat yleensä vähintään 30 °C. Tämä on nähtävissä alla olevasta taulukosta 2.

TAULUKKO 2 Eri kuivausmenetelmien ominaisuuksia (11, s. 20)

Kuivaus- teknologiat	Rumpukuivuri	Virtauskuivuri	Viirakuivuri	Kerroskuivuri
Tyypillinen väliaine	savukaasu/ höyry	savukaasu/ höyry	ilma	ilma
Viipymäaika (min)	1-30	0,1-3	30-90	30-600
Kuivauslämpötila (°C)	200-600	150-200	30-120	30-80
Partikkelikoko (mm)⁴	20-100	0,5-50	5-50	5-50
Loppukosteus (%)	2-10	15-20	> 5	20-30
Haihdukapasiteetti (t/h H₂O)	5-75	10-30	5-40	0,1-20
Lämmönlähde	höyry, savukaasu	höyry, savukaasu	mp-höyry, savukaasu, kuumat vedet	savukaasu, kuumat vedet

Lämpöpumppujen käyttö olisi järkevää, jotta jäähdytysveden lämpötila saataisiin nostettua käyttökelpoisempaan muotoon. Tällöin olisi mahdollisuus miettiä esimerkiksi erilaisia lämmitys- tai kuivausratkaisuja. Yksi mahdollisuus olisi myös tarkastella jäähdytysvettä eri prosesseista palaavina osina. Kuumimmat jäähdytysvedet palaavat yli 40 °C:n lämpötilassa, jolloin lämpöä voisi alkaa hyödyntää jo sellaisenaan esimerkiksi raaka-aineen kuivaukseen, eikä lämpöpumppuja välttämättä tarvittaisi. Yli 40 °C:n jäähdytysvesiä tulee kokonaisvirtauksesta yhteensä 0,30 m³/s, ja niiden keskilämpötila on 51,7 °C. Mikäli tätä lämpötilaa saataisiin laskettua lämpöenergian hyötykäytöllä, tippuisi myös lopullinen jäähdytysveden purkulämpötila.

Mahdollisia lämmitysratkaisuja voisivat olla esimerkiksi piha-alueen sulanapito talvella tai tehdasalueen toimistotilojen lämmitys. Myös yhteistyö eri tahojen kanssa voisi olla vaihtoehto, kuten johtaa lämpöä urheiluhallille, kasvihuoneelle, kalanviljelylaitokseen tai kaukolämpöyhtiölle.

4.2 Jäähdytysvesien erillinen käyttö

Kuten taulukosta 3 voidaan huomata, tulee alle 30 °C:n jäähdytysvesiä huomattavasti eniten. Niiden keskilämpötila on kuitenkin niin alhainen, ettei sille ole juuri käyttöä sellaisenaan eikä sen lämpötila huomattavasti nosta lopullista purkulämpötilaa. Myös 30–40 °C:n jäähdytysvesien keskilämpötila jää turhan alhaiseksi. Niiden määrät ovat myös selvästi vähäisimpiä. Käyttöpotentiaalia olisi parhaiten yli 40 °C:n jäähdytysvesille korkeamman keskilämpötilan sekä kohtuullisen virtausmäärän vuoksi.

TAULUKKO 3 Jäähdytysvesien jakauma lämpötiloittain talvella

	Virtaus tn/h	Virtaus m ³ /s	Lämpö- tila °C
MCC:n tuotanto	0	0,00	0
Syve-pumppujen moottorit	30	0,01	6
CIO2 tuotanto	750	0,21	6
Turbiinin lauhdutin	4320	1,20	9
Ilmakompressorit	100	0,03	11
Happilaitos	150	0,04	11
Raaka mäntyöljy	2	0,001	21
YHT	5352	1,49	8,7

Sulakourujäähdytys	20	0,01	31
Kuitulinja	95	0,03	31
Tiivistevedet	77	0,02	35
YHT	192	0,05	32,6

Kuivatuskoneet	27	0,01	45
Haihduuttamo	683	0,19	46
Kaustisointi	95	0,03	55
Liuottajan scrubberi	50	0,01	65
Ylimääräinen kuuma vesi	232	0,06	65
YHT	1087	0,30	51,7

JÄÄHDYTYSVESI YHTEENSÄ:	6631	1,84	16
--------------------------------	-------------	-------------	-----------

Vesien sekoittumista ja niiden lämpötilaa voidaan laskea kaavan 1 avulla (12). Näin ollen voidaan esimerkiksi laskea, paljonko on lopullinen jäähdytysveden purkulämpötila, kun tiedetään kaikkien jäähdytysvesien lämpötilat ja massat.

$$T = \frac{c_{H_2O} * (m_1 * t_1 + m_2 * t_2)}{c_{H_2O} * (m_2 + m_1)} = \frac{m_1 * t_1 + m_2 * t_2}{m_2 + m_1} = \frac{m_1 * t_1 + m_2 * t_2 + \dots + m_x * t_x}{m_x + \dots + m_2 + m_1} \quad \text{KAAVA 1}$$

T = lopullinen lämpötila [°C]

c_{H_2O} = veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

t = veden lämpötila [°C]

m = veden massa [kg]

Laskennassa massan tilalla voidaan käyttää myös massavirtoja, kunhan ne ovat samoissa yksiköissä laskettaessa. Esimerkiksi yli 40 °C:ssa palaavien jäähdytysvesien lopullinen keskilämpötila on kaavan 1 avulla

$$T = \frac{27 \frac{tn}{h} * 45^\circ C + 683 \frac{tn}{h} * 46^\circ C + 95 \frac{tn}{h} * 55^\circ C + 50 \frac{tn}{h} * 65^\circ C + 232 \frac{tn}{h} * 65^\circ C}{27 \frac{tn}{h} + 683 \frac{tn}{h} + 95 \frac{tn}{h} + 50 \frac{tn}{h} + 232 \frac{tn}{h}} = 51,7^\circ C.$$

Mikäli alle 40 °C:n jäähdytysvedet palaisivat sellaisenaan, mutta yli 40 °C:n jäähdytysvesien keskilämpötilaa saataisiin laskettua esimerkiksi 20 °C, olisi lopullinen purkulämpötila tällöin

$$T = \frac{5\,352 \frac{tn}{h} * 8,7^\circ C + 192 \frac{tn}{h} * 32,6^\circ C + 1\,087 \frac{tn}{h} * 31,7^\circ C}{5\,352 \frac{tn}{h} + 192 \frac{tn}{h} + 1\,087 \frac{tn}{h}} = 13,13^\circ C.$$

Purkulämpötila laskisi näin ollen noin 3 °C. Tämä olisi jo merkittävä parannus nykyiseen tilanteeseen. Näin ollen pääpaino kannattaisi pitää kuumimpina palaavien jäähdytysvesien lämpöenergian hyötykäytössä. Kaikki alle 40 °C:ssa palaavat jäähdytysvedet ovat keskilämpötilassa 9,5 °C. Lämpötila on sen verran alhainen, että käyttömahdollisuuksia ei juuri ole. Lisäksi siitä kohdistuva lämpökuorma takaisin vesistöön on paljon pienempi kuin tilanteessa, jossa kuumimmat jäähdytysvedet ovat mukana ja purkulämpötila on 16 °C.

Veden sisältämä lämpömäärä voidaan laskea kaavalla 2 (12). Lämpömäärä kuvastaa siirtyvän lämpöenergian määrää. Tässä tapauksessa lämpömäärä kuvastaa sitä lämpöenergian määrää, joka jäähdytysvedeen on sitoutunut sen lämmetessä biojalostamolla ja kohdistuu purettaessa takaisin vesistöön.

$$Q = c * m * \Delta t$$

KAAVA 2

Q = lämpömäärä [kJ]

c = ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

m = massa [kg]

$\Delta t = t_{\text{loppu}} - t_{\text{alku}} = \text{lämpötilan muutos } [^{\circ}\text{C}]$

Laskennassa voidaan käyttää massan tilalla myös massavirtaa, jolloin tulokseksi saadaan watteja. Tällöin puhutaan lämpötehosta. Veden ominaislämpökapasiteetti on 4,19 kJ/kgK. Lämpötilan muutoksella tarkoitetaan jäähdytysvesien lämpötilan nousua biojalostamolla ottoveden lämpötilan ollessa 1 °C. Taulukkoon 4 on koottu jäähdytysvesien lasketut lämpömäärät. Tulokset on ilmoitettu megajouleina.

TAULUKKO 4 Lämpömäärät jäähdytysvesissä

	Virtaus tn/h	Virtaus kg/s	ΔT °C	c_{vesi} kJ/kgK	Q MJ
MCC:n tuotanto	0	0,0	0	4,19	0,00
Syve-pumppujen moottorit	30	8,3	5	4,19	0,17
CIO2 tuotanto	750	208,3	5	4,19	4,36
Turbiinin lauhdutin	4320	1200,0	8	4,19	40,22
Ilmakompressorit	100	27,8	10	4,19	1,16
Happilaitos	150	41,7	10	4,19	1,75
Raaka mäntyöljy	2	0,6	20	4,19	0,05
Sulakourujäähdytys	20	5,6	30	4,19	0,70
Kuitulinja	95	26,4	30	4,19	3,32
Tiivistevedet	77	21,4	34	4,19	3,05
Kuivatuskoneet	27	7,5	44	4,19	1,38
Haihduuttamo	683	189,7	45	4,19	35,77
Kaustisointi	95	26,4	54	4,19	5,97
Liuottajan scrubberi	50	13,9	64	4,19	3,72
Ylimääräinen kuuma vesi	232	64,4	64	4,19	17,28

Kuten taulukosta 4 voidaan huomata, suurin lämpömäärä on turbiinin lauhduttimelta palaavan jäähdytysveden mukana, vaikka lämpötilan nousu on alhainen.

Tämä johtuu suuresta massavirrasta. Toiseksi suurin lämpömäärä on haihduttamolta palaavassa jäähdytysvedessä. Mitä suurempi on lämpömäärä, sitä suurempi lämpökuorma siitä aiheutuu takaisin vesistöön. Tämän vuoksi turbiinin lauhduttimelta palaavalle jäähdytysvedelle olisi hyvä kehittää käyttömahdollisuuksia, mikäli mahdollista. Ongelma on kuitenkin alhainen lämpötila. Haihduttamolta palaavalla jäähdytysvedellä olisi käyttökelpoisempi lämpötila hyödyntämismahdollisuuksien osalta.

Yli 40 °C:ssa palaavien jäähdytysvesien keskilämpötila on 51,7 °C. Tätä lämpötilaa voitaisiin alkaa hyödyntää raaka-aineen kuivauksessa tai erilaisissa lämmitysratkaisuissa. Mikäli lämpötila ei ajoittain riittäisi, esim. lämmityksessä kovilla pakkasilla, voitaisiin lämpötilaa nostaa lämpöpumppujen avulla. Tällöin lämpötilan noston ei tarvitsisi olla yhtä suuri kuin nostettaessa koko jäähdytysveden purkulämpötilaa käyttökelpoisempaan muotoon.

4.3 Lämpöpumppujen käyttö

Suurin osa tehtailla syntyvästä ylijäämälämmöstä on alle 55-asteista, jolloin sille löytyy harvemmin käyttöä sellaisenaan. Lämpöpumpuilla on mahdollista nostaa energiatehokkaasti lämpötilat tarvittavalle tasolle. Teollisuudessa lämpöpumpulla voi korvata kaasunkulutusta tai ostoenergiaa. Lämpöpumpun käyttö vähentää primäärienergian kulutusta ja näin ollen sen tuotannosta syntyviä päästöjä. Lämpöpumpun käyttö lisää kuitenkin sähkön- tai höyrynkulutusta. Lämpöpumppuratkaisu edellyttää tasaisesti tuottavan lämmönlähteen, jonka määrät ovat tarpeeksi suuret. Tyypillisiä hukkalämmönlähteitä ovat teollisuudessa mm. jäähdytys- ja jätevedet sekä prosessien poistohöyryt. Tehokkaimmillaan lämpöpumput ovat prosesseissa, joissa tarvittavat lämpötilan muutokset ovat pieniä. (9, s. 4.)

Teollisten lämpöpumppujen yleisiä käyttökohteita ovat mm. kuivaus-, tislauks-, haihdutus- ja pesuprosessit sekä prosessivesien lämmitys. Lisäksi lämpöpumppujen avulla voidaan nostaa hukkalämmön lämpötila kaukolämpöön soveltuväksi. Teollisen mittaluokan lämpöpumppuratkaisut suunnitellaan ja mitoitetaan kohteen tarpeen mukaisesti. (9, s. 4.)

4.3.1 Kannattavuus

Lämpöpumppuprosesseja voidaan toteuttaa erilaisilla ratkaisuilla. Niillä kaikilla on kuitenkin samat peruseriaatteet, jotka ovat ylijäämälämmön hyödyntäminen, lämpötilatason nostaminen ja lämmön luovuttaminen kohteeseen alkulämpötilaa korkeammassa lämpötilassa. (13, s. 16.)

Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuuden määrittelee korvattavan lämmön ja lämpöpumpun käyttöenergian hintaero. Lämpöpumpun käyttäminen on täten järkevää, kun sen käyttöenergia maksaa vähemmän kuin sillä korvattu energia. Lämpöpumppuinvestoinnin takaisinmaksuajan tulee olla lisäksi riittävän lyhyt, jotta se olisi järkevää toteuttaa. (13, s. 16.)

Lämpöpumppujen tehokkuuden määrittää lämpökerroin eli COP-arvo. Se kuvastaa, kuinka moninkertainen on lämpöpumpusta hyödyksi saatu energia verrattuna sen käyttämiseen tarvittavan energian määrään. Teollisten lämpöpumppujen COP-arvot vaihtelevat välillä 0,4–30. Siihen vaikuttaa käytettävä lämpöpumppuprosessi, käytettävän lämmönlähteen lämpötila ja se, kuinka paljon lämpötilaa on tarvetta muuttaa. (9, s. 4.) COP-arvo voidaan laskea kaavan 3 avulla (13, s. 17).

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}}$$

KAAVA 3

COP = lämpökerroin

Q_{out} = lämpöpumpusta hyödyksi saatava lämpöenergia

W_{in} = lämpöpumpun käyttämiseksi tehty työ

Tässä työssä on pääpaino mekaanisten lämpöpumppujen ja absorptiolämpöpumppujen käytössä. Ne soveltuvat teollisuuden ylijäämälämmön, kuten jäähdytysvesien, hyödyntämiseen. Taulukossa 5 on listattu erilaisten lämpöpumpputyypien ominaisuuksia tarkemmin.

TAULUKKO 5 Lämpöpumpputyypin ominaisuuksia (13, s. 20)

	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
Osakuormainaisuudet	+	++	++	+	+/-
Investointi	-	-	-	+/-	+
Sisäinen korrosioherkk.	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava	seurattava
Sisäinen likaantuminen	ei esiinny	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava
Melu	+/-	++	++	+/-	--
Edut	<ul style="list-style-type: none"> • luotettava 	<ul style="list-style-type: none"> • luotettava, yksinkertainen • vähän ylläpitoa • säädettävyyys • 0 -100 % • kestävyys 	<ul style="list-style-type: none"> • yksinkertainen • vähän ylläpitoa • säädettävyyys • kestävyys 	<ul style="list-style-type: none"> • pieni lämmönsiirto-pinta-ala 	<ul style="list-style-type: none"> • yksinkertainen • edullinen • ei liikkuvia osia • ei likaantumisongelmia
Haitat	<ul style="list-style-type: none"> • ei sovi korkeille lämpötiloille • nopea käynnistys • 0→100 % ~2 min • säädettävyyys haastavissa mitoitusolosuhteissa 	<ul style="list-style-type: none"> • suuri sis. lämmönsiirto-pinta-ala • suhteellisen hidas käynnistys • 0 →100 % ~ 10 min • tyhjän varmistus • tarvitaan kerran viikossa 	<ul style="list-style-type: none"> • suuri sis. lämmönsiirto-pinta-ala • hidas käynnistys • suuri tarvittava ylijäämä-lämpövirtaus 	<ul style="list-style-type: none"> • pieni dT • sopii vain tietyille höyryille 	<ul style="list-style-type: none"> • pieni dT • vain tietyille höyryille • melu
Yleisimmät sovellukset	lämmitys kuivaus	lämmön talteenotto	erikoiskohteet	höyrystys tislau	höyrystys tislau

4.3.2 Mekaaninen lämpöpumppu

Mekaanisten lämpöpumppujen tyypillisiä käyttökohteita teollisuudessa ovat puutavaran kuivaus, ja prosessinesteiden sekä ilman lämmittäminen. Lisäksi niitä käytetään ylijäämälämmön hyödyntämiseen kaukolämmityksessä. COP-arvot ovat tavallisesti välillä 2,5–7,5. Tyypillisesti ne ovat kompressorilämpöpumppuja, jotka toimivat sähköllä. (9, s. 5.)

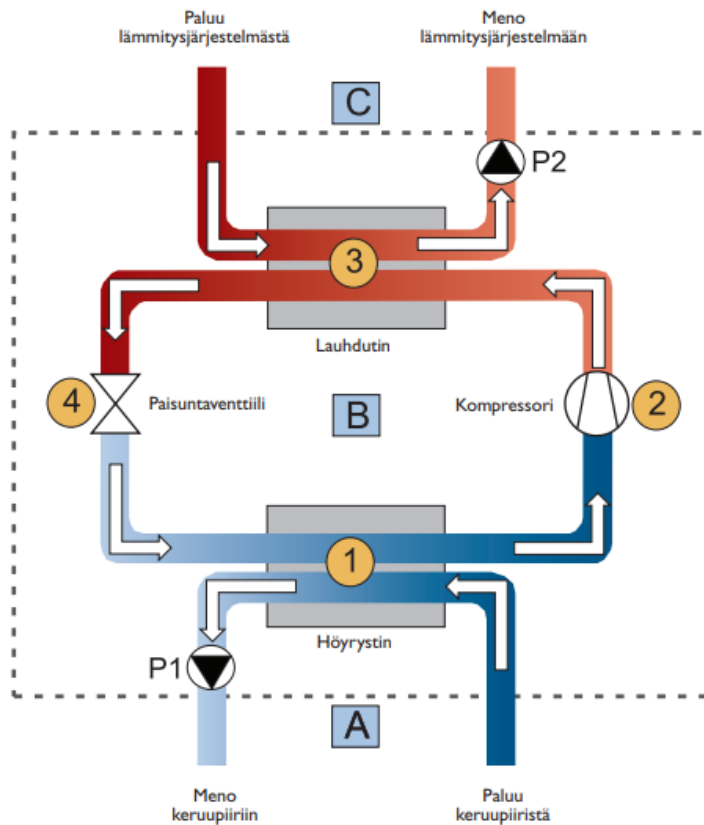
Mekaanisilla lämpöpumpuilla voi hyödyntää alle 10 °C:n lämmönlähteitä kohtuullisen hyvällä hyötysuhteella kaukolämmöksi. COP-arvo voi olla tällöin jopa yli 2,5. Niiden käytettävyyttä rajoittaa kuitenkin huonot säätöominaisuudet, sillä ne toimivat on/off-tyyppisesti. Säätöominaisuuksia voi parantaa säädettävillä johtosiivillä tai taajuusmuuttajalla. Lisäksi säätöominaisuuksia voi parantaa kytkemällä useampia pienitehoisia lämpöpumppuja rinnan ja käyttämällä niitä tarpeen mukaan. (9, s. 5.)

Mekaanisten lämpöpumppujen hyötysuhde on teoriassa pumpun sisäisen kierron lauhduttimen lämpötila jaettuna pumpun tuottamalla lämpötila-erolla. Näin ollen hyötysuhde on sitä parempi, mitä pienempi on kiertoprosessin sisäinen lämpötilan nosto. (13, s. 21.)

Mekaanisen lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppujen sisäisessä kierrossa on kiertoaineena kylmäaine, jonka olomuodon muutoksiin lämpöpumpun toiminta perustuu. Kylmäaine valitaan prosessin ja siihen vaadittavan lämpöpumpun mukaan. Lämpöpumppuprosessin toimintaperiaate on nähtävillä kuvasta 4.

Höyrystimessä lämpöpumpun sisäisessä kierrossa oleva kylmäaine vastaanottaa lämpöä höyrystimen kautta kulkevalta lämmönlähteeltä, esim. jäähdytysvedeltä. Tällöin kylmäaine lämpenee ja höyrystyy sekä lämmönlähde viilenee. Höyrystynyt kylmäaine puristetaan korkeampaan paineeseen kompressorissa, jolloin sen lämpötila nousee. Lämmennyt korkeapaineinen kylmäainehöyry luovuttaa lämpönsä lämmityskohteen ilmaan tai veteen lauhduttimessa. Tällöin kylmäainehöyry jäähtyy nesteeksi ja lämmityskohteelle saadaan lämpöä. Jäähtynyt kylmäaine kulkee paisuntaventtiilin kautta, jossa kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat, takaisin höyrystimelle, ja kiertoprosessi jatkuu. (Kuva 4.)



KUVA 4 Mekaaninen lämpöpumppprosessi (14, s. 11)

4.3.3 Absorptiolämpöpumppu

Absorptiolämpöpumput soveltuvat kohteisiin, joissa on käytävissä edullista kuumaa lämpöenergiaa, kuten kuumaa vettä tai höyryä. Niitä käytetään lämmön talteenottoon, lämpötilojen nostamiseen sekä jäähdytykseen. Absorptiolämpöpumput ovat luotettavia ja niiden säädettävyys sekä lämmönnostokyky ovat hyviä. Tehoa voi säätää portaattomasti 0–100 % eikä hyötysuhde laske merkittävästi osakuormilla. Pumppujen rakenne on yksinkertainen ja kestävä eikä vaadi paljon huoltoa. COP-arvo on lämpöpumpunkäytössä tyypillisesti välillä 1,5–1,8. Lämpötilojen nosto voi olla parhaimmillaan yli 80 °C. (9, s. 5.)

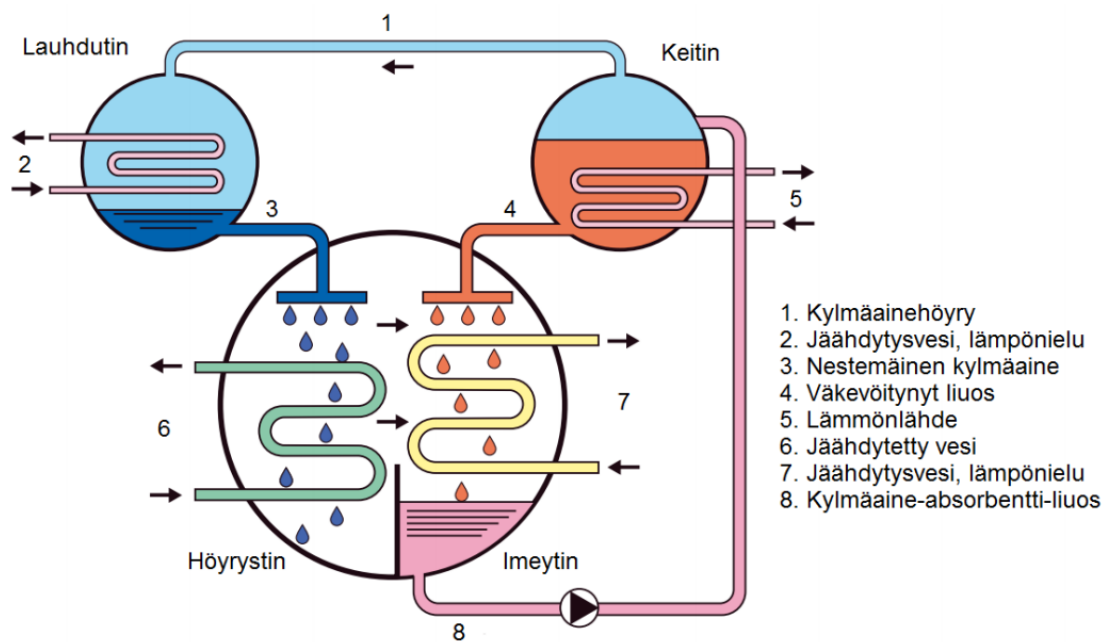
Absorptioprosessi perustuu kaasun ja nesteen liuokseen sekä höyryn paine-eroihin absorptioliuoksen ja puhtaan kylmäaineen välillä. Absorptio on kaasun liukenemista nesteeseen, ja se on verrattavissa lauhtumiseen. Sitoutumisessa nesteeseen vapautuu lauhtumislämpöä ja sidosenergiaa, jota kutsutaan liukenemislämmöksi. (15, s. 86.) Absorptiokoneissa käytettävät liuosparit ovat yleensä ammoniakki-vesi tai litiumbromidi-vesi (15, s. 340).

Mekaanisen lämpöpumpun tapaan absorptiolämpöpumppu sitoo matala-asteista lämpöä höyrystimellä ja luovuttaa sitä korkeammassa lämpötilassa lauhduttimella. Lisäksi lämpöä syntyy liukenemislämpönä kaasun sitoutuessa nesteeseen. (16, s. 114.) Biojalostamon jäähdytysvettä voisi käyttää höyrystimellä, jolloin jäähdytysvesi luovuttaisi lämpöä prosessiin ja jäähtyisi. Lisäksi vapautuvaa liukenemislämpöä ja lauhtumislämpöä voisi hyödyntää biojalostamalla.

Absorptiolämpöpumpun toiminta

Absorptiokoneisto koostuu kuvan 5 mukaisesti keittimestä, lauhduttimesta, höyrystimestä ja imeytimestä. Keittimessä liuoksesta, esim. ammoniakki-vesi liuoksesta, höyrystetään ammoniakki. Tätä varten tarvitaan ulkoinen lämmönlähde, kuten kuuma höyry tai vesi. Höyrystynyt ammoniakki viedään lauhduttimeen, jossa se vapauttaa höyrystymislämmön ilmaan tai veteen. Tällöin ammoniakki lauhtuu nesteeksi keittimen paineessa. Nestemäinen ammoniakki kuristetaan paisuntaventtiilissä höyrystimen paineeseen. Höyrystimessä ammoniakki höyrystyy ottaen lämpönsä jäähdytettävältä kohteelta. Höyrystynyt ammoniakki viedään imeyttimeen, jossa se liukenee keittimeltä kuristusventtiilin kautta tulevaan laimeaan liuokseen. Ammoniakki väkevöittää liuoksen. (15, s. 90.) (Kuva 5.)

Väkevöitynyt liuos pumpataan takaisin keittimelle ja prosessin kierto on. Imeytyksessä eli absorptiossa vapautuu liukenemislämpöä, jota varten täytyy olla jäähdytys. Liuoskierrossa tulee olla myös regeneraatio, jolla lämmitetään keittimeen menevää väkevää liuosta ja viilennetään sieltä tulevaa laimeaa liuosta. Tämä tapahtuu lämmönsiirtimen avulla. Se vähentää keittimellä tarvittavaa lämpöä ja imeyttimeltä poistettavaa lämpöä. (15, s. 90.) (Kuva 5.)



KUVA 5 Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate (17, s. 86)

Käytettävistä liuksista ammoniakki-vesi liuoksen haittana ovat korkea paine ja ammoniakin myrkyllisyys. Litiumbromidi-vesi liuoksen haitat ovat veden pieni paine ja suuri tilavuus sekä rajoitus yli 0 °C:n lämpötiloihin höyrystimessä. Muita ainepareja ei ole käytössä vielä yleisesti absorptiolämpöpumpuissa. (15, s. 340.)

COP-arvot jäävät alhaisemmiksi kuin mekaanisilla lämpöpumpuilla. Esimerkiksi ammoniakki-vesi liuksella toimiva absorptiolämpöpumppu, joka käyttää 8-asteista pohjavettä, pääsee vain COP-arvoon 1,45, kun haluttu menoveden lämpötila on 50 °C. Tällöin höyrystymislämpötila on 0 °C ja keittimellä tarvittava minimi kuumennuslämpötila on 150 °C. Mitä kuumempaa menovettä halutaan tuottaa, sitä huonompi on hyötysuhde. (16, s. 116–117.)

4.3.4 Lämpöpumpputyypin valinta

Mekaanisen lämpöpumpun etuja ovat toimintavarmuus sekä mahdollisuus hyödyntää hyvinkin viileitä lämmönlähteitä. Lisäksi ne pystyvät nostamaan lämpötiloja korkeaksi, esim. jäähdytysvettä kaukolämmöksi, kohtuullisella hyötysuhteella. Haittoja ovat huono säädettävyys, jota voidaan kuitenkin parantaa esimer-

kiksi pumppujen rinnankytkennällä. (13, s. 21.) Sähkökäyttöiset kompressorilämpöpumput lisäävät sähkönkulutusta, mutta tämä ei ole biojalostamolla ongelma, sillä sähköä tulee muutenkin yli oman tarpeen.

Absorptiolämpöpumppujen etuja ovat luotettavuus, hyvä säädettävyys, kestävyys ja vähäinen huollon tarve. Lisäksi ne ovat hiljaisia eivätkä kuluta myöskään sähköä yhtä paljon kuin mekaaniset lämpöpumput. Haittoina voidaan pitää hidasta käynnistystä ja mekaanisia lämpöpumppuja huonompaa hyötysuhdetta. Käyttöenergiana toimii sähkön sijasta kuuma höyry tai vesi, jolloin tätä tulee olla helposti saatavilla kohteessa. (13, s. 20.)

Biojalostamon jäähdytysvesien lämpötiloja tulisi mahdollisesti voida nostaa suhteellisen paljonkin hyvällä hyötysuhteella. Tämän vuoksi mekaanisten lämpöpumppujen käyttö olisi järkevämpää. Niitä on myös teollisessa käytössä paljon laajemmin kuin absorptiolämpöpumppuja, jolloin erilaisia ratkaisuja olisi paremmin saatavilla. Lisäksi absorptiolämpöpumppuja varten tarvitaan ylimääräinen kuuma lämmönlähde keittimelle, jolloin se tulisi löytyä biojalostamolta. Sen tulisi olla tarpeeksi halpaa, jotta investointi olisi kannattavaa. Mekaanisia lämpöpumppuja varten käyttösähköä tulisi tuotannon ylimäärästä, jolloin sitä ei välttämättä tarvitsisi ostaa.

Edellä mainittujen syiden vuoksi on työssä päädytty mekaanisten lämpöpumppujen mahdolliseen käyttöön, erityisesti sähkökäyttöisiin kompressorilämpöpumppuihin, jonka mukaan työssä tehdyt laskennat ovat suoritettu. Alla olevassa kuvassa 6 on teollisen kokoluokan mekaanisia lämpöpumppuja.



KUVA 6 Calefan teollisuuslämpöpumppuja (18)

4.3.5 Lämpöpumpun prosessin laskenta

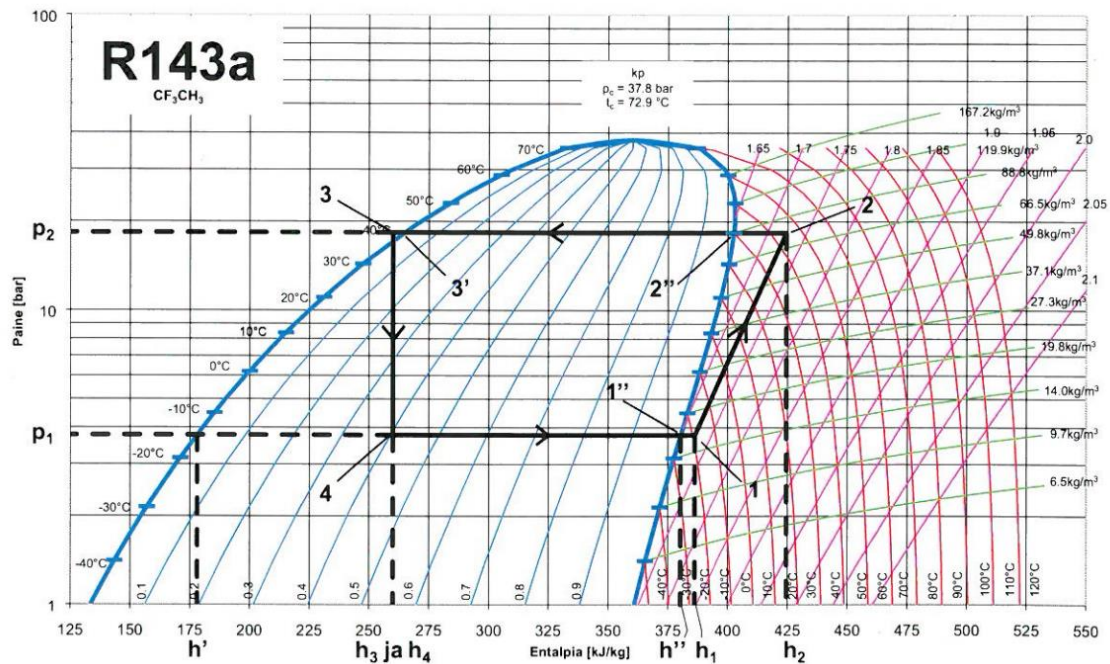
Todellisuudessa lämpöpumpuissa esiintyy aina jonkin verran häviöitä, jolloin prosessit eroavat teoreettisesta tilanteesta, jossa häviöitä ei ole huomioitu. Häviöitä syntyy kompressorin puristuksessa kitkan aiheuttamana sekä painehäviöinä

- kompressorin imu- ja paineventtiileissä
- lauhduttimessa
- höyrystimessä
- koneiston putkissa. (19, s. 29–30.)

Puristuksessa tarvitaan häviöiden vuoksi enemmän energiaa, sillä entalpioiden muutos on suurempi kuin häviöttömässä prosessissa. Painehäviöiden vuoksi lauhtuminen ja höyrystyminen eivät tapahdu vakioaineessa. Lisäksi kompressorin imemä kylmäainehöyry on hieman lämpimämpää kuin höyrystimestä ulostuleva kylmäaine. Vastaavasti kompressorista poistuva kylmäainehöyry on hiukan lämpimämpää kuin mitä lauhtumislämpötila on. Höyrystymisen lopussa kiertävä kylmäaine tulistuu muutaman asteen, jolla varmistetaan, että kompressorille menevä kylmäaine on täysin höyrystynyt. Tulistumista tapahtuu myös imuputkessa. Nesteeksi lauhtuneen kylmäaineen lämpötilaa pyritään laskemaan eli alijäähdyttämään jollakin tavalla, jotta saadaan suurennettua höyrystimeltä saatavaa entalpiaeroa. Todellisen kylmäprosessin lämpö- ja kylmäteho ovat pienempiä kuin teoreettisen häviöttömän prosessin. (19, s. 29–30.)

Häviöt voidaan ottaa huomioon laskemalla lämpöpumppujen hyötysuhdetta entalpioiden avulla. Entalpiat saadaan käytettävän kylmäaineen log-pH-piirroksista, kun lämpötilat ja häviöt prosessin eri osissa tunnetaan. Tähän voidaan käyttää apuna Coolpack-ohjelmistoa. Todellisen kylmätekniikan kiertoprosessin tarkka esittäminen log-pH-piirroksessa vaatii mitattua tietoa prosessin paineista ja lämpötiloista (19, s. 30).

Alla olevassa kuvassa 7 on kuvattu teoreettinen eli häviötön kiertoprosessi kylmäaineelle R143a, kun höyrystymislämpötila on -15 °C ja lauhtumislämpötila on $+40\text{ °C}$. Pisteiden 1–2 väli kuvastaa kompressorin puristusta, 2–3 lauhtumista, 3–4 paisuntaa paisuntaventtiilillä ja 4-1 höyrystymistä. (19, s. 26.)



KUVA 7 Kylmäaineen R143a häviötön kiertoprosessi log-pH-piirroksessa (19, s. 26)

Lämpökerroin on laskettavissa vastaavanlaisista kiertoprosesseista eri kylmäaineilla kaavan 4 avulla (19, s. 28). Tällöin tarvittavat entalpia-arvot voidaan lukea log-pH-piirroksesta. Tilapisteiden numerointi kaavassa 4 vastaa kuvan 7 numerointia.

$$\varphi = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad \text{KAAVA 4}$$

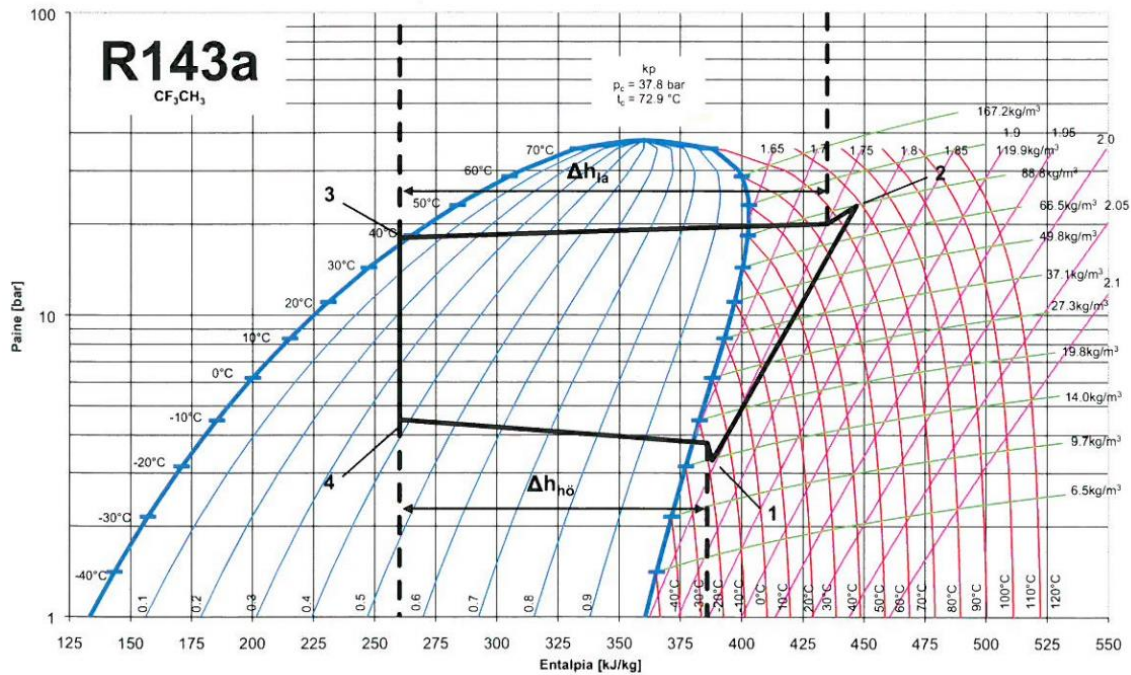
φ = lämpökerroin

h_1 = ominaisentalpia ennen kompressoria [kJ/kg]

h_2 = ominaisentalpia kompressorin jälkeen ja ennen lauhdutinta [kJ/kg]

h_3 = ominaisentalpia lauhduttimen jälkeen [kJ/kg]

Alla olevassa kuvassa 8 on kuvattu vastaavasti sama prosessi todellisena eli kaikki häviöt huomioon ottaen. Kuvassa esitetyt häviöt ovat liioitellun suuria (19, s. 29).



KUVA 8 Kylmäaineen R143a todellinen kiertoprosessi log-pH-piirroksessa (19, s. 29)

Lämpökerroin on tällöin laskettavissa vastaavanlaisista kiertoprosesseista eri kylmäaineilla kaavan 5 avulla (19, s. 30). Entalpia-arvot voidaan lukea log-pH-piirroksesta. Kaavan 5 tilapisteiden merkintä vastaa kuvan 8 merkintää.

$$\varphi = \frac{\Delta h_{la}}{h_2 - h_1}$$

KAAVA 5

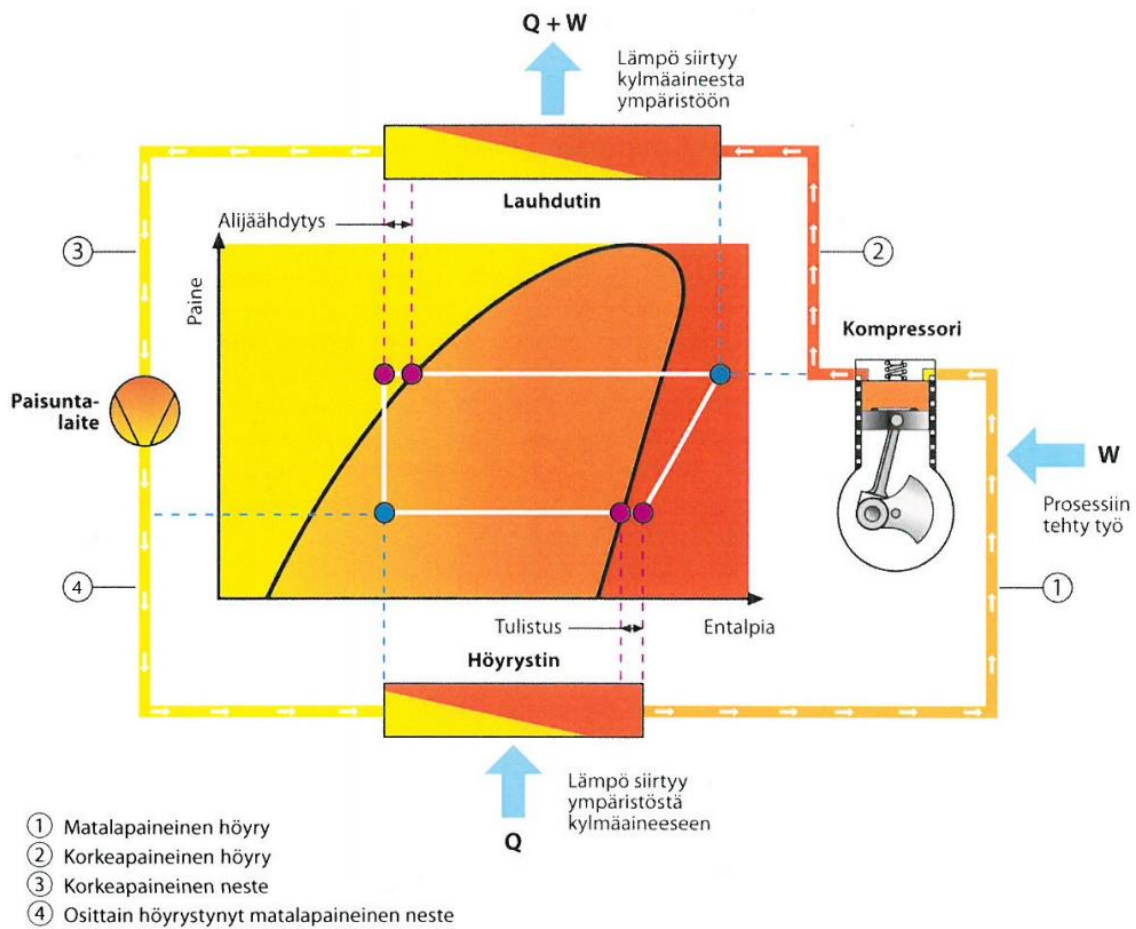
φ = lämpökerroin

Δh_{la} = lauhduttimen todellinen entalpiamuutos [kJ/kg]

h_1 = ominaisentalpia ennen kompressoria [kJ/kg]

h_2 = ominaisentalpia kompressorin jälkeen [kJ/kg]

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa siirretään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan prosessiin tehdyn työn avulla. Tähän siis perustuu lämpöpumpun toiminta. Työaineena toimii kylmäaine, jonka höyrystymiseen ja lauhtumiseen eri paineissa koko kiertoprosessi perustuu. (19, s. 17.) Tämä on kuvattu tarkemmin alla olevassa kuvassa 9.



KUVA 9 Kylmätekniinen kierto-prosessi. Muokattu lähteestä (19, s. 17)

Kuvissa 7 ja 8 esiintyvä kylmäaine R143a on seoskylmäaineiden komponentti. Sitä ei siis yleensä käytetä sellaisenaan. Se kuuluu HFC-kylmäaineisiin. Yksi yleisimpiä HFC-kylmäaineita on R134a. Sitä käytetään erityisesti autojen kylmälaitteissa ja sitä voidaan käyttää myös mm. lämpöpumpuissa. (19, s. 43).

CFC- ja HCFC-kylmäaineiden käyttö uusissa laitoksissa on nykyään kiellettyä (19, s. 218–219). Ne ovat ympäristölle haitallisia tuhoamalla otsonikerrosta ja lisäämällä kasvihuoneilmiötä (19, s. 35). HFC-kylmäaineiden käyttö on vielä sallittua, mutta niidenkin käyttöä rajoitetaan koko ajan entistä enemmän (19, s. 219). Ne ovat otsonihaitattomia, mutta lisäävät kasvihuoneilmiötä (19, s. 35). Käytön sallittavuus riippuu käyttökohteesta ja käytettävästä kylmäaineesta. Perinteisiä kylmäaineita pyritään tulevaisuudessa korvaamaan ympäristölle turvallisemmilla aineilla kuten ammoniakilla tai hiilidioksidilla (13, s. 15). Tässä työssä pääpaino on kylmäaineiden osalta ammoniakissa ja R134a:ssa.

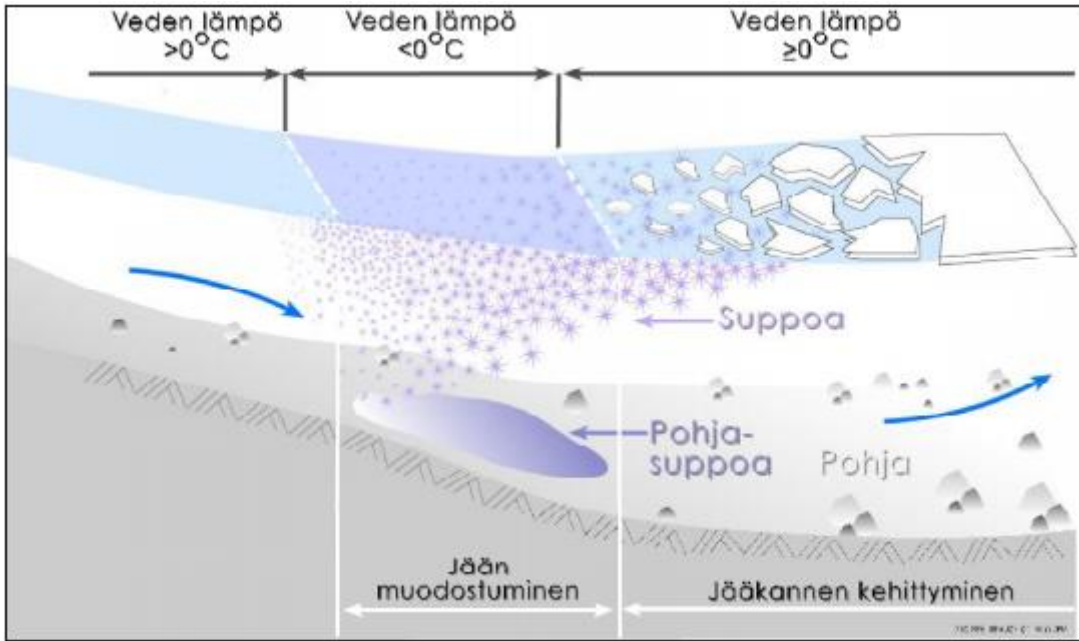
5 JÄÄHDYTYSVEDEN KÄYTTÖKOhteITA

5.1 Käyttökohteet biojalostamolla

Jäähdytysveden hyötykäyttö mahdollisimman lähellä biojalostamoaa olisi kannattavin ratkaisu, koska matala-asteisen lämmön siirtäminen kovin kauas tai sen varastoiminen ei ole kannattavaa. Mitä kauemmas lämpöä siirretään, sitä suuremmat ovat lämpöhäviöt sekä investointikustannukset. (9, s. 3.) Lämpötiloja voitaisiin tarpeen mukaan nostaa lämpöpumpuilla. Tulee kuitenkin huomioida kustannuksien suuruudet mietittäessä lämpöpumpuinvestoinnin kannattavuutta. Kustannuksien suuruus tulee huomioida myös minkä tahansa muunkin investoinnin osalta. Jäähdytysveden hyötykäytöllä saataisiin energiankäytön tehokkuutta parannettua ja lämpökuormaa takaisin vesistöön vähennettyä. Tämän vuoksi olisi hyvä löytää käyttökohteita jäähdytysvedelle. Biojalostamolla jäähdytysvettä voisi käyttää lämpötilojen mukaan suppojään ehkäisemiseen, raaka-aineen kuivaukseen, kiinteistöjen lämmitykseen, lämpimän käyttöveden lämmitykseen tai piha-alueen sulanapitoon. Jos mitään jäähdytysveden hyötykäytön investointia ei todeta kannattavaksi, on yksi vaihtoehto viilentää jäähdytysvesi jäähdytystorneissa tai viipymälaitaissa ennen sen purkua vesistöön.

5.1.1 Suppojään ehkäiseminen

Yksi mahdollinen vaihtoehto jäähdytysveden käytölle sellaisenaan olisi talvella käyttää sitä ehkäisemään suppojään muodostuminen jäähdytysveden ottokanavaan. Ottokanavaan pakkautunut suppojää aiheuttaa tukoksia ja häiritsee täten veden virtausta. Pahimmillaan pakkautunut suppojää voi estää jäähdytysveden virtauksen kokonaan. Suppojäättä pääsee muodostumaan talvella, kun vedenpinta pysyy sulana veden virtauksen takia eikä suojaavaa jääkantta pääse syntymään (kuva 10). Tällöin ilman ollessa pakkasen puolella pyörteinen virtaava vesi voi alijäähtyä alle 0 °C:n lämpötilaan, jolloin suppojääkiteitä alkaa muodostua. Nämä jääkiteet kulkeutuvat virtauksen mukana ja voivat kasautua esimerkiksi voimalaitoksissa vedenotto kanavaan. (20.)



KUVA 10 Suppojään muodostuminen (21, s. 5)

Lämmennyttä jäähdytysvettä olisi talvella suuret määrät tarjolla ja jäähdytysvesi puretaan joka tapauksessa takaisin vesistöön, joten osa siitä voitaisiin ohjata suoraan ottokanavan alkuun. Tällä pidettäisiin veden lämpötila tarpeeksi korkealla, jotta suppojää ei pääsisi muodostumaan vedenotto kanavaan. Jäähdytysveden ottopuolta ei kannata kuitenkaan lämmittää turhaan aikana, jolloin suppojään muodostumista ei tapahdu.

Suppojään ehkäisyä varten tulisi rakentaa putkilinja ottokanavan alkuun, mitä pitkän lämmennyttä jäähdytysvettä voitaisiin syöttää. Putkilinjassa tulisi olla myös jonkinlainen venttiili tai muu sulku, jolla syöttömäärää voitaisiin säännöstellä ja tarvittaessa katkaista kokonaan. Tämä ratkaisu olisi järkevä, mikäli suppojää koetaan biojalostamolla ongelmaksi eikä jäähdytysvedelle löydy muunlaista käyttöä. Putken sijainti vaikuttaa oleellisesti suppojään muodostumisen mahdollisuuteen vedenottoputkessa. Kesällä tälle ratkaisulle ei olisi käyttöä.

5.1.2 Kiinteistöjen lämmitys

Biojalostamon alueelle tulee useita rakennuksia, jotka vaativat lämmitystä. Tällaisia ovat mm. erilaiset toimisto- ja peseytymistilat, pukuhuoneet sekä apu- ja tukirakennukset. Lämmitysjärjestelmä tulee valita ja mitoittaa käyttökohteen koon ja tarvittavien sisälämpötilojen mukaan. Lisäksi mitoituksen lähtökohtina ovat paikkakunnan mitoitusulkolämpötila sekä ensiö- ja toisiopuolen mitoituslämpötilat. (22, s. 94.) Tarvittavat virtaamat ja lämpötilat määrittävät, voiko jäähdytysvesiä käyttää lämmityksessä. Jäähdytysveden lämpötiloja voidaan tarvittaessa nostaa lämpöpumppujen avulla lämmitysjärjestelmien vaatimalle tasolle. Käytettäviä lämmitysratkaisuja voivat olla mm. vesikiertoinen patterilämmitys tai lattialämmitys.

Kuumimpina palaavien jäähdytysvesien lämpötilat riittäisivät sellaisenaan käytettäväksi uudisrakennusten lattialämmitysjärjestelmään tai patteriverkoston. Tällöin lämpöpumppuinvestointia ei tarvitsisi. Kuumimpia jäähdytysvesiä palaa yhteenlasketulla virtaamalla 0,30 m³/s lämpötilassa 51,7 °C (taulukko 3). Nykyisin uudisrakennusten patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat menovedelle 45 °C ja paluuedelle 30 °C (22, s. 94). Vastaavasti lattialämmitysjärjestelmille mitoituslämpötilat ovat menovedelle 35 °C ja paluuedelle 30 °C (22, s. 93). Muille kuin uudisrakennuksille menoveden mitoituslämpötilana on lattialämmitysjärjestelmässä 40 °C (22, s. 95). Lämpöenergia jäähdytysvedestä voidaan siirtää lämmityspiiriin lämmönsiirtimen avulla. Lämmönsiirtimen tehoa voidaan laskea alla olevan kaavan 6 avulla (22, s. 95).

$$\Phi = q_v * \rho * c_p * \Delta t$$

KAAVA 6

Φ = teho [kW]

q_v = tilavuusvirta [m³/s]

ρ = veden tiheys [kg/m³]

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

Δt = menoveden- ja paluueden lämpötilaero [K]

Lämmönsiirtimen mitoitusteho on lämmitysjärjestelmän, kuten pattereiden, yhteenlaskettu lämmönluovutusteho. Lämmönluovutusteho mitoitetaan aina huoneistokohtaisesti. (22, s. 94.) Tarvittava lämmönluovutusteho voidaan laskea rakentamismääräyskokoelmien mukaisesti laskemalla tilojen lämmitystehon tarvetta. Tämä onnistuu kaavan 7 avulla (23, s. 65).

$$\Phi_{tila} = \Phi_{joht} + \Phi_{vuotoilma} + \Phi_{tuloilma} + \Phi_{korvausilma} \quad \text{KAAVA 7}$$

Φ_{tila} = tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve [W]

Φ_{joht} = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipasta [W]

$\Phi_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen tehontarve [W]

$\Phi_{tuloilma}$ = tuloilman lämmittämiseen tarvittava teho [W]

$\Phi_{korvausilma}$ = korvausilman lämmittämiseen tarvittava teho [W]

Lämmönsiirtimessä ensiöpuolella kiertäisi jäähdytysvesi, joka luovuttaisi lämpöenergiansa toisiopuolen lämmityspiiriin. Ensiöpuolen paluuvesi saa olla maksimissaan 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluuvesi (22, s. 93). Toisiopuolen menovesi määräytyy ulkolämpötilan mukaan (22, s. 86).

Esimerkkinä mitoituksessa olisi laskettu tilojen lämmitystehontarpeeksi 100 kW. Lämmitysjärjestelmäksi olisi päätetty 40/30 °C lattialämmitys ja lämpöenergia otettavaksi kuumimmista jäähdytysvesistä, jotka palaavat keskilämpötilassa 51,7 °C. Kaavan 6 avulla voidaan näin ollen laskea ensiö- ja toisiopuolen tarvittavat virtaamat. Toisiopuolen virtaama olisi näin ollen

$$q_v = \frac{100 \text{ kW}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (40 - 30)\text{K}} = 0,00239 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,39 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Ensiöpuolen menovesi olisi 51,7 °C, ja paluuvesi saa olla maksimissaan 3 °C toisiopuolen paluuvettä lämpimämpää, joten näin ollen paluuveden lämpötilana voidaan pitää 33 °C. Ensiöpuolen virtaama olisi näin ollen

$$q_v = \frac{100 \text{ kW}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (51,7 - 33) \text{K}} = 0,00128 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,28 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Mikäli lämpimimpinä palaavien jäähdytysvesien koko 0,30 m³/s vesivirta voitaisiin käyttää lämmityksessä, olisi sillä potentiaalia esimerkiksi kyseisessä lattialämmityksessä

$$\dot{Q} = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (51,7 - 33) \text{K} = 23\,506 \text{ kW} \approx 23,5 \text{ MW}.$$

Tällöin toisiopuolen virtaaman tulisi olla

$$q_v = \frac{23\,506 \text{ kW}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (40 - 30) \text{K}} = 0,561 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Kuten voidaan huomata, ovat virtaamat todella suuria. Tämän vuoksi kohteita tulisi olla useita, joihin virtaamat jaettaisiin. Lämpötehoa olisi tarjolla 23,5 MW:n edestä. Lisäksi lämpötehoa saataisiin sitä enemmän, mitä enemmän paluulämpötiloja voitaisiin tiputtaa. Mikäli kuumimpien jäähdytysvesien koko virtauspotentiaali olisi käytettävissä ja lämpötila saataisiin laskettua 33 °C:seen, laskisi lopullinen jäähdytysveden purkulämpötila tällöin lämpötilaan

$$T = \frac{1,49 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 8,7 \text{ °C} + 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 32,6 \text{ °C} + 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 33 \text{ °C}}{1,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 13,3 \text{ °C}.$$

Mitä enemmän saataisiin jäähdytysvesien lämpötilaa laskettua ensiöpuolella ja mitä suurempi osa virtauksesta käytettyä, sitä alhaisemmaksi jäähdytysveden purkulämpötila saataisiin. Lämmönsiirtimet ja virtaamat mitoitettaisiin kohteisiin ja lämmityspiireihin tarvittavan lämmitystehon mukaan. Tarvittava lämpötila lämmityskohteessa saadaan pidettyä haluttuna säätämällä virtauksia venttiilien avulla. Lämpötilaa ja näin ollen virtauksia säädetään ulkolämpötilan mukaan. (22, s. 86.)

Jäähdytysveden käytölle olisi potentiaalia lämmityksessä, etenkin kuumimpina palaavien jäähdytysvesien osalta. Tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin mihin kohteisiin jäähdytysveden lämpöenergiaa haluttaisiin käyttää, kuinka paljon lämmitystehoa kohteisiin vaadittaisiin sekä olisiko jäähdytysvesien virtaamat ja lämpötilat lämmitysjärjestelmiin sopivia. Lisäksi tulisi mitoittaa sopivat komponentit lämmitysjärjestelmään. Täytyy myös huomioida, ettei lämmitykselle ole tarvetta kesällä, jolloin jäähdytysvedet joudutaan laskemaan vesistöön sellaisenaan. Mikäli laitoksella tuotanto jostain syystä seisoo eikä jäähdytysvesiä tule, lakkaa myös lämmön tuotto lämmityspiiriin. Ylimääräisiä kuumia vesiä ei myöskään tule aina jatkuvalla syötöllä, joten ilman niiden huomioimista tulisi yli 40 °C:n jäähdytysvesiä yhteensä 0,24 m³/s lämpötilassa 48,1 °C. Investointien suuruus vaikuttaa osaltaan myös siihen, kannattaako jäähdytysvesiä hyödyntää lämmityskäytössä.

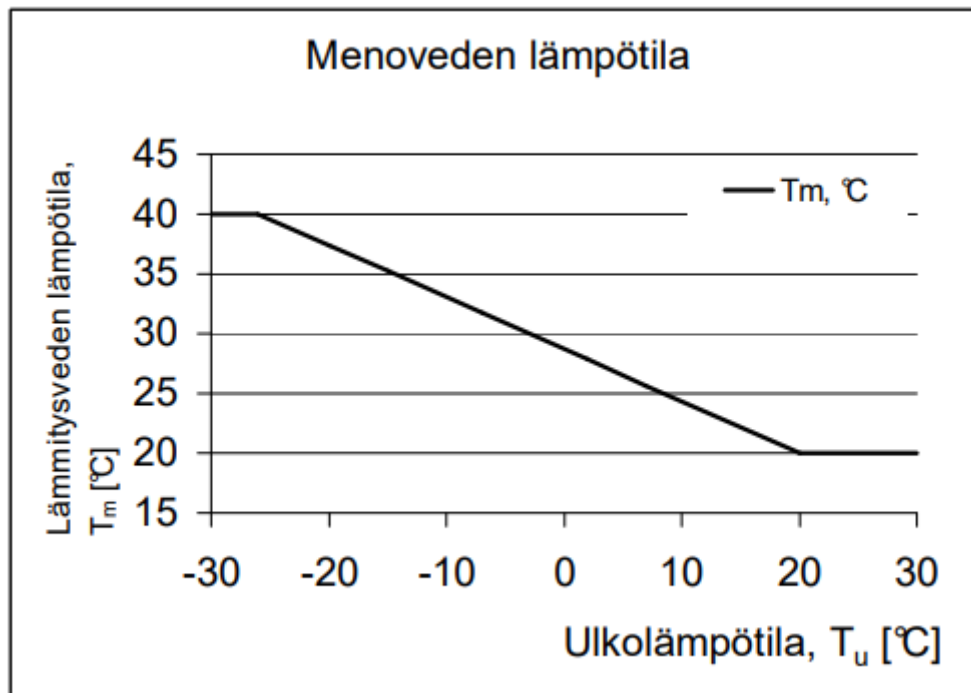
Lisäksi tulee huomioida lämmönsiirtimien ominaisuudet niiden mitoituksessa. Näitä ovat lämmönsiirtopinta-ala ja siirtimen pituus. (22, s. 69.) Nämä voivat rajoittaa jäähdytysvesien käytön mahdollisuutta, mikäli lämmönsiirtimien tekninen toteutus ei ole mahdollista jäähdytysvesien virtaamilla tai lämpötiloilla. Esimerkiksi kaukolämmössä olevan patteriverkoston lämmönsiirtimet mitoitetaan ensiöpuolen lämpötiloilla uudisrakennuksille menovesi 115 °C ja paluuvesi 33 °C (22, s. 93). Mikäli jäähdytysvesien lämpötilat jäävät liian alhaisiksi lämpöteknisten toteutuksien mahdollistamisesta, tulee lämpötiloja nostaa tarvittavalle tasolle lämpöpumppujen avulla.

Lämpöpumppaus kiinteistöjen lämmityksessä

Jäähdytysvettä voitaisiin käyttää sellaisenaan esimerkiksi lattialämmitykseen tai patteriverkostoon nostamalla sen lämpötilaa lämpöpumpun avulla. Lattialämmitys olisi hyvä vaihtoehto verrattuna muihin lämmitysratkaisuihin, sillä siinä menoveden lämpötilan ei tarvitse olla niin korkea. Tällöin lämpöpumppauskin olisi tehokasta, koska lämpötiloja ei tarvitsisi nostaa niin paljon kuin muita lämmitysratkaisuja varten. Menoveden lämpötila riippuu ulkolämpötilasta, joka taas vaikuttaa lämpöpumppauksen COP-arvoon. Mitä kylmempää on ulkona, sitä lämpimämpää menovettä tarvitaan lämmitykseen ja tällöin sitä enemmän joudutaan lämmönlähteen lämpötilaa nostamaan. Tämä pienentää COP-arvoa. Mitä pienempi

on tarvittava lämpötilan nosto, sitä tehokkaammin ja paremmalla COP-arvolla lämpöpumppu toimii. Tarkastellaan tilannetta mitoituslämpötiloissa eli lattialämmitysjärjestelmälle menoveden lämpötilan ollessa 40 °C ja paluuveden lämpötilan ollessa 30 °C. Lämmönlähteenä olevan jäähdytysveden lämpötila on 16 °C.

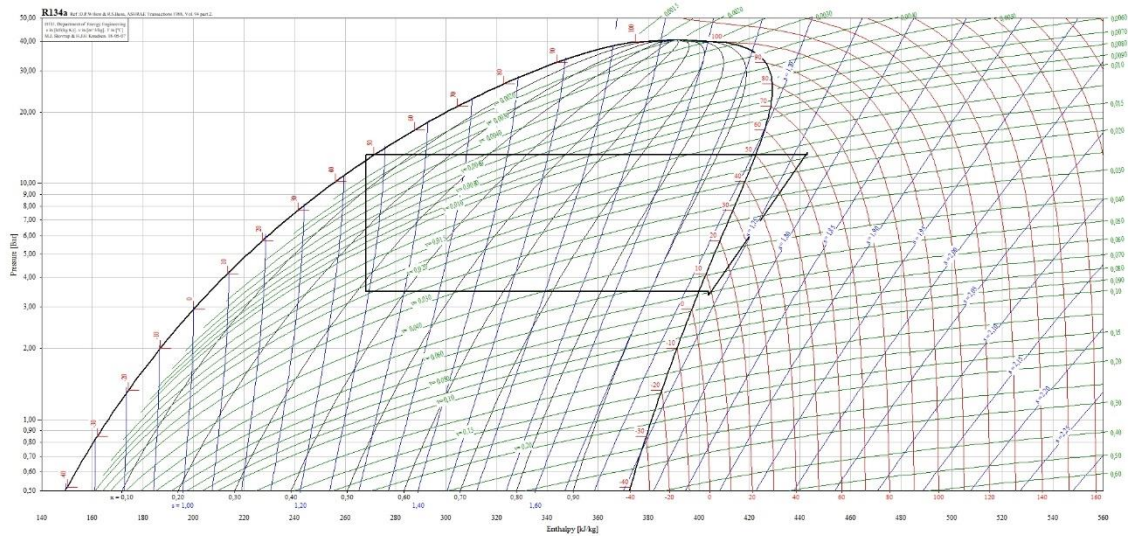
Lämpöpumpun COP-luku eri kylmäaineilla voidaan laskea Coolpack-ohjelmiston avulla. Valitaan tarkasteluun kylmäaineiksi ammoniakki eli R717 ja R134a. Höyrystymislämpötila on jonkin verran alhaisempi kuin lämmönlähteen lopullinen lämpötila. Arvioidaan tässä työssä sen olevan 5 °C, jolloin jäähdytysvesi saataisiin laskettua arviolta lämpötilaan 10 °C. Lauhtumislämpötila on lämmityspiiriin tarvittavaa lämpötilaa korkeampi. Arvioidaan sen olevan 50 °C. Asteisuus on höyrystimelle ja lauhtuttimelle yleisesti välillä 5–10 K. (24, s. 20–21.) Kuten jo aiemmin on mainittu, menoveden lämpötila määräytyy ulkolämpötilan mukaan. Tämä käy ilmi alla olevasta kuvasta 11, jossa on nähtävillä lattialämmitysjärjestelmän 40/30 °C säätökäyrä menovedelle.



KUVA 11 Lattialämmitysjärjestelmän 40/30 °C säätökäyrä (24, s. 36)

Muita huomioitavia asioita COP-luvun laskennassa ovat kompressorin isentrooppinen hyötysuhde sekä muut lämpö- ja painehäviöt. Kompressorin isentrooppisena hyötysuhteena käytetään arvoa 75 % (25, s. 303). Häviöitä ei voida tietää

tarkasti ilman mittauksia, mutta arvioidaan niiden olevan paine- ja imuputkissa lämpöhäviöiksi muutettuna 1 K. Lisäksi arvioidaan nesteputken häviöiksi 0,5 K. (15, s. 252.) Lauhduttimen ja höyrystimen painehäviöitä ei ole otettu tässä työssä huomioon. Oletetaan myös tulistusta olevan arviolta 4 K ja alijäähtymistä arviolta 2 K. Näillä arvoilla saadaan esimerkiksi kylmäaineelle R134a prosessi log-pH-piirroksen Coolpack-ohjelmistolla. Tämä näkyy kuvasta 12.



KUVA 12 Kiertoprosessi kylmäaineelle R134a

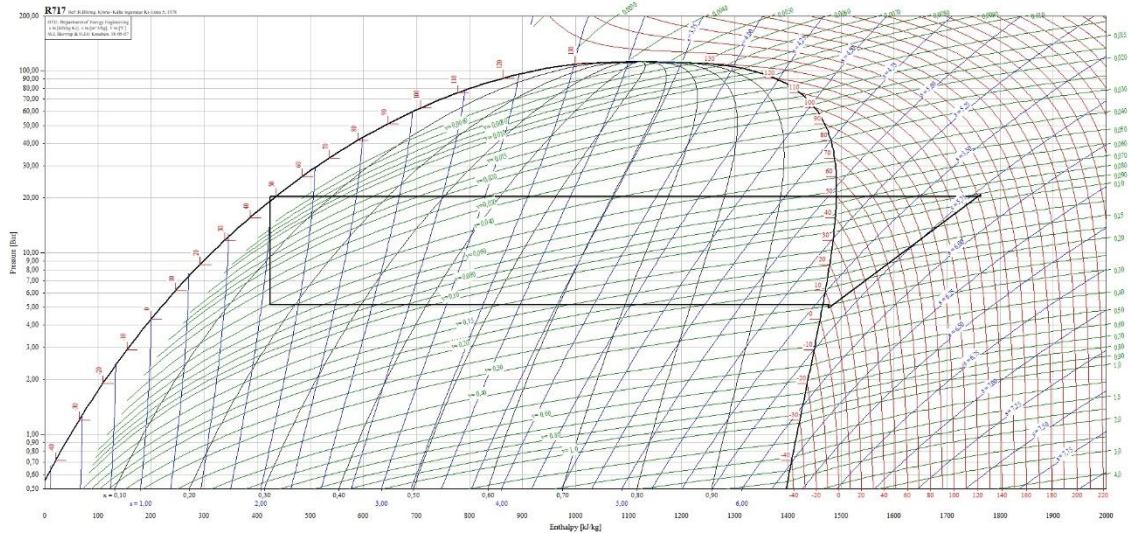
Log-pH-piirroksesta lukemalla entalpia-arvot voidaan laskea lauhduttimen ja kompressorin tehot, jolloin saadaan COP-arvo kaavan 5 mukaisesti. Tässä tapauksessa COP-arvo eli lämpökerroin olisi

$$\varphi = \frac{443 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 268,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{443 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 403,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 4,46.$$

Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöenergiaa saadaan tuotettua 4,46-kertainen määrä kompressorin pyörittämiseen kuluvaan energiaan nähden. Vastaavasti samoilla prosessin lähtöarvoilla mutta kylmäaineena ollessa R717 eli ammoniakki saadaan lämpökertoimeksi log-pH-piirroksen avulla

$$\varphi = \frac{1\,764 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 425,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1\,764 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1\,476,65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 4,66.$$

Kiertoprosessi kylmäaineelle R717 samoilla lähtöarvoilla on nähtävissä kuvasta 13.



KUVA 13 Kiertoprosessi kylmäaineelle R717

Kuten voidaan huomata, molemmilla kylmäaineilla päästäisiin hyvin lämpöker-toimiin, vaikka lämmönlähteen eli jäähdytysveden lämpötila on alhainen. Mikäli lämpötila pitäisi saada nostettua korkeammaksi, COP-arvo laskisi. Esimerkiksi lauhtumislämpötilan ollessa 70 °C olisi laskennallinen COP-arvo enää 3,34 kylmäaineella R717. Vastaavasti jos ulkolämpötila nousisi ja lämpöpumpulla tuotet-tavan lämpötilan tarve näin ollen laskisi, COP-arvo myös nousisi. Esimerkiksi sa-moilla lähtöarvoilla mutta lauhtumislämpötilan ollessa 30 °C olisi laskennallinen COP-arvo 7,91 kylmäaineella R717. Lämpöpumpun COP-arvoa saataisiin paran-nettua myös käyttämällä lämmönlähteenä vain kuumimpia jäähdytysvesiä. Täl-löin lämpötilan noston ei tarvitsisi olla yhtä suuri kuin lämpötilasta 16 °C.

Ajatellaan teoreettinen tilanne, jossa tarvittavaksi lämmitystehoksi lämpöpum-pusta on laskettu 1 000 kW eli 1 MW. Tällöin voidaan Coolpack-ohjelmiston avulla katsoa tarvittava höyrystymisteho, kun prosessi on kuvan 13 mukainen ja syötetään lauhtumistehon arvoksi 1 000 kW. Tämä on nähtävillä kuvasta 14.

Values:			
Evaporating temperature [°C]:	5,00	Condensing temperature [°C]:	50,00
Superheat [K]:	4,00	Subcooling [K]:	2,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,18	Dp liquid line [bar]:	0,26
Dp discharge line [bar]:	0,53		
Isentropic efficiency [0-1]:	0,75		

Dimensioning:		Volumetric efficiency	
Qe [kW]:	785,401	n_vol:	0,00
Qc [kW]:	1000,000	Displacement [m ³ /h]:	0
m [kg/s]:	0,74686510		
V [m ³ /h]:	690,3730		
W [kW]:	214,599		
Q loss [kW]:	0,000		

KUVA 14 Kiertoprosessin arvot kylmäaineella R717

Höyrystinteho on kuvan 14 mukaan 785,401 kW, joka on näin ollen jäähdytysvedestä tarvittava teho. Jäähdytysveden lämpötilan oletetaan putoavan 10 °C:seen. Häviöitä ei ole huomioitu vaan oletettu lämmön siirtyvän kokonaan jäähdytysvedestä kylmäaineeseen. Tällöin jäähdytysveden tarvittava virtaama höyrystimelle on

$$q_v = \frac{785,401 \text{ kW}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (16 - 10)\text{K}} = 0,031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tämä on turhan pieni osa jäähdytysveden kokonaisvirtaamasta, joten lopulliseen purkulämpötilaan se ei juuri vaikuta. Jäähdytysvettä tulisi pystyä käyttämään paljon suurempia määriä, jotta purkulämpötilaa saataisiin alemmaksi ja lämpöpumpuinvestointia kannattavaksi. Jos jäähdytysvettä pystyttäisiin käyttämään esimerkiksi 0,5 m³/s vastaavanlaisessa prosessissa, olisi höyrystymisteho tällöin

$$Q_e = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (16 - 10)\text{K} * 0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 12570 \text{ kW} \approx 12,6 \text{ MW}$$

Tässä tilanteessa olisi lauhtumisteho jo 16 005 kW eli noin 16 MW. Tällaisella määrällä saataisiin katettua paljon erilaisia lämmityskohteita. Jokaista lämmityskohdetta varten tulisi mitoittaa oma lämpöpumppu- ja lämmitysjärjestelmä sen

vaatimien lämmitystehojen puitteissa. Tarvittavia lämmitystehoja tulisi laskea päivittäisellä tasolla, joiden mukaan lämpöpumppuja mitoitettaisiin. Lämpöpumppu toimii eri COP-arvoilla eri ulkoilman lämpötilassa, sillä ulkoilman lämpötila vaikuttaa tarvittavaan menoveden lämpötilaan lämmityspiirissä. Näin ollen lämpöpumppu kuluttaa sähköä eri määriä eri aikoina, joten kannattavuuslaskuja varten tulee myös tarkastella lämpöenergian tuottoa ja sähkön kulutusta päivittäisellä tasolla. Mitä useampi lämmityskohde löytyy, sitä suurempi osa jäähdytysveden virtaamasta tarvitaan käyttöön. Tämä taas vaikuttaisi lopulliseen purkulämpötilaan. Esimerkiksi mikäli jäähdytysvedestä saataisiin 1,0 m³/s lämpöpumpuilla käyttöön ja sen lämpötila laskettua 10 °C:seen, olisi lopullinen koko jäähdytysveden purkulämpötila näin ollen

$$T = \frac{10 \text{ °C} * 1,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 16 \text{ °C} * 0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 12,7 \text{ °C}.$$

Lämpöpumppauksella olisi potentiaalia nostamaan jäähdytysveden lämpötiloja esimerkiksi lattialämmitysjärjestelmän tai patteriverkoston vaatimalle tasolle tilojen lämmityksessä. Tätä kannattaisi ehdottomasti tutkia biojalostamon osalta tarkemmin. Ensin täytyisi kuitenkin kartoittaa lämmitettävät kohteet ja laskea lämmitystehon tarvetta niille vuositasolla päiväkohtaisesti. Näin saataisiin laskettua arvioita lämpöpumppujen tuottaman lämpöenergian riittävydestä ja sähkönkulutuksesta, jolloin voitaisiin miettiä investointien kannattavuutta. Takaisinmaksuaika määräytyy investoinnin suuruuden ja hyödynnettävän lämpöenergian suhteen. Mitä pienempi investointi ja mitä enemmän saadaan hyödynnettävää lämpöenergiaa verrattuna sähköenergian kulutukseen, sitä nopeammin lämpöpumppujärjestelmä maksaa itsensä takaisin.

Calefan kannattavuuslaskurilla voidaan arvioida mahdollisten investointien suuruutta ja takaisinmaksuaikaa heidän järjestelmillään (26). Liitteessä 1 on nähtävillä arvio, kun haluttu tuotettava lämpötila on 40 °C ja jäähdytysveden virtaama on 1,84 m³/s. On oletettu, että jäähdytysveden lämpötila voi laskea 5 °C:seen. Liitteessä 2 on nähtävillä sama tilanne, mutta haluttu tuotettava lämpötila on 60 °C. Liitteissä 3 ja 4 ovat samat tilanteet kuin liitteissä 1 ja 2, mutta jäähdytysveden

virtaama on puolet kokonaismäärästä. Laskuria varten tarvittavana lämmitysenergian hintana on pidetty 60 €/MWh ja sähköenergian hintana 50 €/MWh.

5.1.3 Lämmin käyttövesi

Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia ei riipu ulkoilman lämpötilasta. Tämän vuoksi sen osuus erotetaan laskennassa normitettavasta lämmitysenergiankulutuksesta. Varsinaisen lämpimän käyttöveden lämmittämisen lisäksi tulee huomioida käyttöveden kiertojohdon häviöt. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksena käytetään ensisijaisesti rakennuksen energiamittauksiin perustuvaa arvoa. Mikäli lämpimän käyttöveden energiankulutusta ei ole mitattu erikseen, lasketaan se kaavan 8 avulla. (27.)

$$Q_{lkv} = 58 * V_{lkv}$$

KAAVA 8

Q_{lkv} = käyttöveden energiankulutus [kWh/v]

58 = veden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä, kun Δt on 50 °C [kWh/m³]

V_{lkv} = kulutettu lämpimän käyttöveden määrä [m³/v]

Jos lämpimän käyttöveden määrää V_{lkv} ei ole myöskään mitattu, oletetaan sen olevan asuinrakennuksissa 40 % koko vedenkulutuksesta. Muissa kuin asuinrakennuksissa sen oletetaan olevan 30 % koko vedenkulutuksesta. Mikäli veden kokonaiskulutustakaan ei ole mitattu, käytetään V_{lkv} oletusarvona asuinrakennuksissa 600 dm³/brm²/v. Muissa kuin asuinrakennuksissa voidaan käyttää taulukon 6 mukaisia arvoja. (27.)

TAULUKKO 6 Lämpimän veden kulutus rakennuksissa (27)

Rakennustyyppi	Lämpimän veden kulutus rakennuksen bruttoalaa kohti, $V_{lkv,omin}$ ($dm^3/brm^2/vuosi$)
Toimistorakennus	100
Terveydenhoito	520
Päiväkoti	460
Teatteri ja kirjasto	120
Uimahalli	1 800
Opetusrakennus	180
Myymälä	65
Muut rakennukset	100

Jos kulutetun lämpimän käyttöveden määrä on mitattu, voidaan sen lämmittämiseen kulunut energia laskea kaavan 9 avulla (27).

$$Q = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$$

KAAVA 9

Q = veden lämmittämiseen kuluva energia [kWh]

ρ = veden tiheys [1 000 kg/m³]

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti [4,19 kJ/kgK]

V = veden kulutus [m³]

t_2 = lämmitetyn veden loppulämpötila, tyypillisesti 55 °C

t_1 = lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti 5–10 °C

3600 = kJ yksikkömuunnos kWh

Lämpimän käyttöveden huipputeho voi esiintyä niin kesällä kuin talvellakin. Tämän vuoksi sen lämmönsiirtimen mitoitus eroaa muitten lämmönsiirtimien mitoituksesta. Lämpimän käyttöveden mitoituslämpötilat ovat ensiöpuolella tulolämpötila 70 °C ja paluulämpötila 20 °C. Toisiopuolella lämpötilat ovat lämmin käyttövesi 58 °C ja tuleva kylmä vesi 10 °C. (22, s.89.)

Kuten voidaan huomata, eivät jäähdytysvesien lämpötilat riitä edes kuumimpien osalta lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Tämän vuoksi lämpötiloja tulisi nostaa lämpöpumpuilla. Lämpöpumpuilla joudutaan lämpötiloja nostamaan kuitenkin huomattavia määriä, mikäli käytettäisiin 16-asteista jäähdytysvettä. Tämän vuoksi investointi ei olisi todennäköisesti kannattavaa, sillä lämpöpumput toimisivat alhaisella COP-arvolla. Yksi mahdollisuus olisi käyttää lämpimimpinä palavia jäähdytysvesiä ja nostaa niiden lämpötila lämpöpumpuilla sopivaksi. Tällöin COP-arvo olisi parempi, koska lämpötilojen noston ei tarvitsisi olla yhtä suuri. Lämpimän käyttöveden tuottamisen voisi hoitaa myös tilojen lämmityksen kanssa yhdessä esimerkiksi tulistusmaalämpöpumppujen avulla. Tämä edellyttää toki niiden soveltumista vedelle ja jäähdytysveden lämpötiloille. Tulistusmaalämpöpumput liitetään aina erilliseen varaajaan (28).

Liitteessä 5 on esitetty Calefan lämpöpumpputarjous lämpimän käyttöveden lämmitystä varten, kun jäähdytysveden lämpötila olisi 16 °C ja virtauksesta voitaisiin käyttää koko määrä 1,84 m³/s. Jäähdytysveden lämpötilan on oletettu voivan laskea 5 °C:seen ja haluttu tuotettava lämpötila on 58 °C. Lämmitysenergian hintana on arvioitu olevan 60 €/MWh ja sähköenergian hintana 50 €/MWh. Todellisuudessa näin suurelle virtausmäärälle ei ole käyttöä lämpimän käyttöveden lämmityksessä.

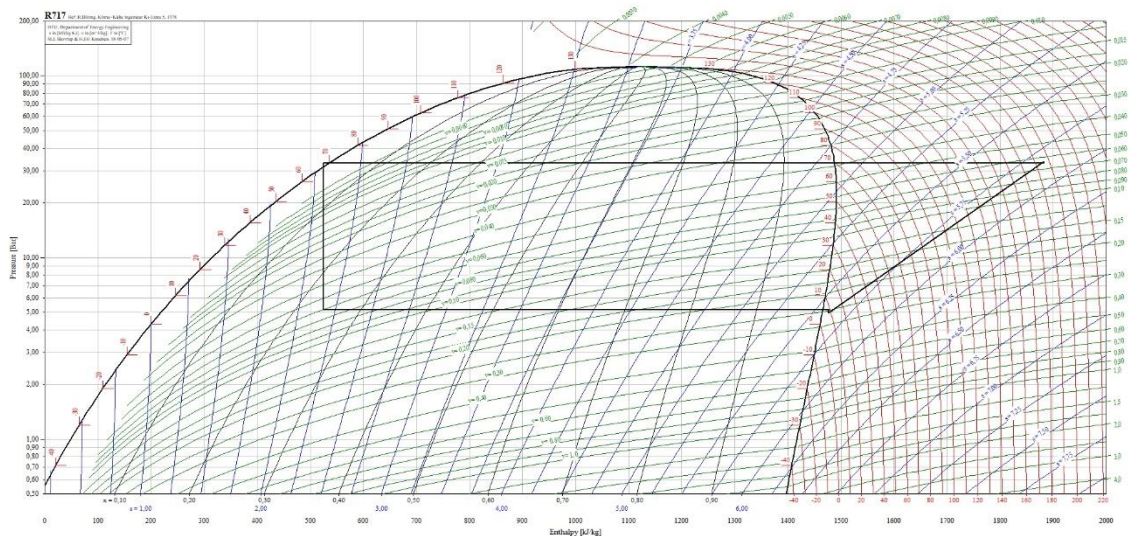
Esimerkkilasku

Ajatellaan lämmitettävän toimistorakennuksien lämmin käyttövesi. Toimistorakennus kuluttaa arviolta 100 dm³/brm²/vuosi lämmintä käyttövettä taulukon 6 mukaisesti. Arvioidaan toimistorakennuksien pinta-alaksi yhteensä 10 000 m². Näin ollen lämmintä käyttövettä kuluisi toimistorakennuksissa yhteensä vuodessa 1 000 000 dm³ eli 1 000 m³. Mitoituslämpötiloina ovat lämpimälle käyttövedelle 58 °C ja kylmälle vedelle 10 °C. Nyt voidaan laskea toimistorakennuksien veden

lämmitykseen kuluva energian määrä kaavan 9 avulla, mikä on tässä tapauksessa

$$Q = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,000 \text{ m}^3 * (58 - 10)\text{K}}{3600} = 55\,867 \text{ kWh.}$$

Jäähdytysveden lämpötilaa nostettaisiin lämpöpumppujen avulla lämmitystä varten. Tarkastellaan tilannetta kylmäaineella R717, kun jäähdytysvesi on 16 °C. Lasketaan COP-arvo Coolpack-ohjelmiston avulla. Oletetaan isentrooppiseksi hyötysuhteeksi 75 %, paine- ja imuputkiston lämpöhäviöiksi 1 K ja nesteputken lämpöhäviöiksi 0,5 K. Lauhtumislämpötilana pidetään 70 °C:ta. Tulistusta arvioidaan olevan 4 K ja alijäähdytystä 2 K. Höyrystyslämpötilana pidetään 5 °C:ta, jolloin jäähdytysveden lämpötila voitaisiin laskea arviolta 10 °C:seen. Höyrystimen ja lauhduttimen häviöitä ei huomioida. Kuvassa 15 on nähtävillä kyseinen prosessi log-pH-piirroksessa.



KUVA 15 Prosessi kylmäaineella R717 lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Coolpack-ohjelmiston avulla saadaan tarvittava höyrystymisteho prosessista, jolloin voidaan laskea tarvittavaa jäähdytysveden virtaamaa. Lämpimän käyttöveden lämmitystehontarve voidaan laskea kaavalla 10 (23, s. 69). Tarvittava lämmitystehontarve on lämpöpumpuilta tarvittava teho eli tässä tapauksessa lauhdusteho.

$$\Phi_{lkv} = \rho * c_p * q_{v,lkv} * (T_{lkv} - T_{kv}) + \Phi_{lkv,kiertohäviö}$$

KAAVA 10

Φ_{lkv} = käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve [kW]

ρ = veden tiheys [kg/m³]

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

$q_{v,lkv}$ = lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama [m³/s]

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila [°C]

T_{kv} = kylmän veden lämpötila [°C]

$\Phi_{lkv,kiertohäviö}$ = kiertojohdon lämpöhäviöt yhteensä [kW]

Kiertojohdon lämpöhäviöiden laskennassa voidaan käyttää arvoa 0,002 kW/m² (23, s. 70). Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamaksi arvioidaan 1 dm³/s eli 0,001 m³/s Suomen rakentamismääräyskokoelman D1 liitteessä 2 olevien taulukoiden 1 ja 2 mukaan (29, s. 35–37). Näin ollen toimistorakennuksille tarvittava käyttöveden lämmityksen tehontarve olisi kaavan 10 mukaan

$$\Phi_{lkv} = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (58 - 10)\text{K} + 0,002 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} * 10\,000 \text{m}^2 = 221,12 \text{kW}.$$

Syöttämällä Coolpack-ohjelmistossa prosessin lauhdutustehoksi 221,12 kW saadaan höyrystymistehoksi 154,976 kW. COP-arvo on kyseiselle prosessille 3,34. Jäähdytysvettä lämpötilassa 16 °C tarvittaisiin höyrystimelle näin ollen

$$q_v = \frac{154,976 \text{kW}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (16 - 10)\text{K}} = 0,0062 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Näin vähäisen virtauksen käyttö ei laske juuri yhtään lopullista purkulämpötilaa, joten lämmitystarvetta tulisi olla paljon enemmän. Pelkästään tähän tarkoitukseen ja näin vähäistä käyttöä varten ei lämpöpumppuinvestointi olisi järkevää. Lämpimän käyttöveden lämmityksen voisi hoitaa esimerkiksi sähkövastuksella erillisessä varaajassa.

5.1.4 Raaka-aineen kuivaus

Ylijäämälämmön käyttö biojalostamon raaka-aineiden kuivaukseen olisi mahdollinen vaihtoehto. Biojalostamo kuluttaa raaka-aineenaan kuitupuuta ja haketta yhteensä arviolta 2,9 miljoonaa m³ vuodessa. Tästä määrästä valmista haketta on 600 000 m³. Haketta saadaan muun muassa paikallisilta sahoilta. (7, s. 37.)

Biojalostamon raaka-aineen käsittely

Kuitupuu tulee kuoria ja talvella kuoriaines sulattaa ennen kuorintaa. Kuorittu kuitupuu haketetaan hakettamolla. Nämä vaiheet kuuluvat kuitulinjan pääprosesseihin, joissa puu jalostetaan selluksi. (7, s. 66–67.) Jäähdytysvettä voitaisiin käyttää kyseisissä prosesseissa joko valmiin hakkeen kuivaukseen tai kuoren sulattamiseen talvella. Jäähdytysvedelle ei kuitenkaan ole käyttöä sellun tuotannossa hakkeen kuivaukseen, mikäli keittoprosessia varten haketta ei tarvitse kuivata. Tällöin tulee miettiä hakkeen kuivausta energiantuotantoa varten.

Kuorittu ja haketettu puu varastoidaan hakekasaan, josta haketta siirretään kuljettimilla keittoprosessiin. Hakekasa on nähtävillä kuvasta 16. Ennen keittoprosessia tulee hake seuloa. Seulonnassa hakkeesta erotellaan tikkuhake ja muodostunut pöly. Kuori, tikkuhake ja pöly sekoitetaan sekä varastoidaan. Niitä voidaan käyttää hyödyksi biojalostamon energiantuotannossa. Keittoprosessissa pyritään liuottamaan puun kuituja sitovaa ligniiniä, jotta puun kuidut ja ligniini saadaan erotettua toisistaan. Keittoprosessissa syntyvä kuitumassa johdetaan pesuun ja valkaisuun. Lisäksi keittämöllä muodostuu mustalipeää sekä tärpättiä. Muodostunut tärpätti myydään ja mustalipeä johdetaan valkolipeän lämmittämiseen sekä haihduttamolle. (7, s. 67–68.)



KUVA 16 Hakekasa (30)

Keiton jälkeen muodostunut ruskea kuitumassa johdetaan pesuun, jossa sellusta poistetaan keittoliipeää ja liuennuta orgaanista ainesta. Pesty massa johdetaan happidelignifiointiin, jossa puun ligniiniä poistetaan lisää. Tämän jälkeen ruskea massa lajitellaan ja varastoidaan ennen valkaisu. Valkaisussa sellumassasta poistetaan kemikaalien avulla väriä aiheuttavia yhdisteitä ja ligniiniä. Jäännösligniiniä on sellumassassa jonkin verran keitto-, pesu- ja delignifiointivaiheista huolimatta. Valkaistusta sellusta erotellaan epäpuhtaudet, kuitukimput ja hiekka, jonka jälkeen sellu kuivataan. Kuivauksen jälkeen sellu leikataan arkeiksi ja pälätään suurpaaleihin. Paalit varastoidaan odottamaan kuljetusta. (7, s. 68–70.)

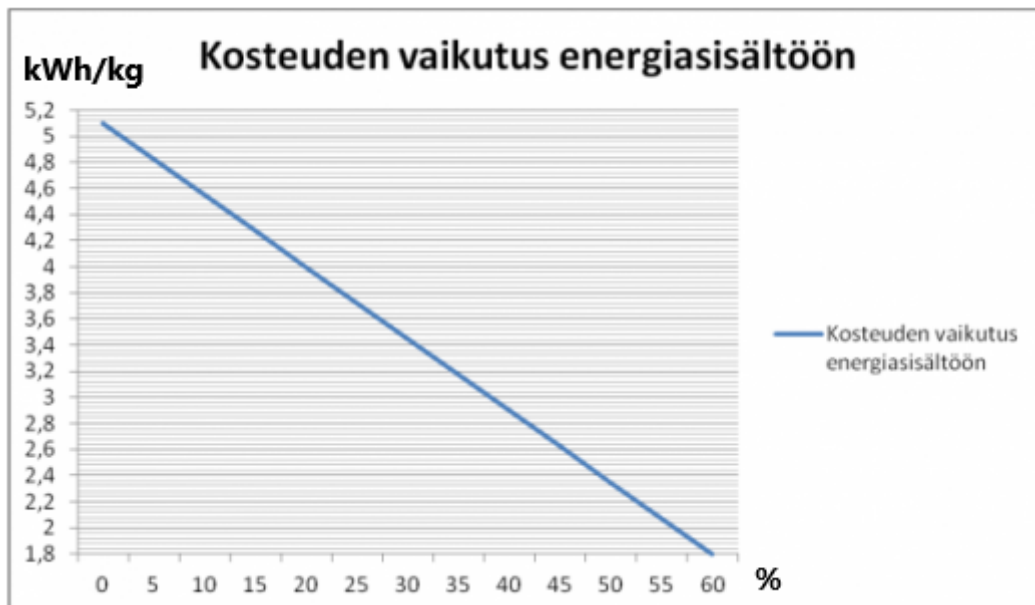
Kuivausmenetelmän valinta

Kuori tai hake tulee kuivata, mikäli niitä käytetään polttoaineena. Tämä johtuu siitä, että kostean polttoaineen lämpöarvo on huonompi kuin kuivan. Mitä kuivempaa polttoaine on, sitä enemmän siitä saadaan energiaa paremman lämpöarvon vuoksi. Lisäksi päästöt vähenevät, mitä kuivempaa polttoaine on. (31.) Biojalostamon biomassakattilassa voidaan polttaa kuitupuun kuorinnasta saatua kuorta tai haketuksessa syntyneitä ylijäämiä sekä itse haketta. Esimerkiksi niitä varten olisi kuori tai hake syytä kuivata, jotta niiden poltto olisi mahdollisimman tehokasta. Tähän tarkoitukseen voitaisiin käyttää jäähdytysvesiä. Lisäksi kuori tulee

sulattaa talvella ennen kuorintaa, jolloin jäädytysvesiä voisi käyttää myös tähän tarkoitukseen.

Paikallisen kaukolämpöyhtiön kanssa olisi myös mahdollisuus tehdä yhteistyötä kuivaamalla heidän käyttämiään puupolttoaineita. Kaukolämpöyhtiö käytti vuonna 2016 puupolttoaineina muun muassa haketta ja kuorta. Yhteensä puupolttoaineita vuonna 2016 Kemijärven lämpö ja vesi Oy käytti 82 366 MWh. Tästä määrästä pelkästään haketta käytettiin useita tonneja. (32.)

Tuoreen puun kosteus on keskimäärin 50–60 %. Hake lasketaan laadukkaaksi, kun kosteus on alle 25 %. (33.) Kosteuden vaikutus puun energiasisältöön on nähtävillä kuvasta 17.



KUVA 17 Kosteuden vaikutus puun energiasisältöön. Muokattu lähteestä (33)

Yleisimpiä kuivatusmenetelmiä biopolttoaineille ovat rumpu- ja viirakuivurit. Kuivureiden investointi on järkevää erityisesti silloin, kun ne toimivat arvokkaamman lopputuotteen prosessoinnin yhteydessä. Kuivuri-investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa myös käytettävissä oleva lämmönlähde, sähkön hinta, päästöoikeus sekä korvattavan ja käytettävän polttoaineen hinta. Kannattavuuden ratkaisee osaltaan se, mikä lämmönlähde kuivauksessa on. Kuivauslämpötila määrää tarvittavan kuivausilman määrän ja puhalluskapasiteetin, kuivurin koon ja haihdutuskapasiteetin sekä polttoaineen kuivausajan. Kuivauksessa tulee huomioida

paloturvallisuus ja pölyräjähdysriski. Tämän vuoksi kuivausprosessia tulee säätää ja seurata, eikä kuivan polttoaineen säilöminen saa olla pitkäkestoista. Kuivattaessa yli 150 °C:ssa tulee lisäksi huomioida VOC-päästöjen puhdistaminen, mutta tämä ei jäähdytysvesien lämpötiloilla ole tarpeen. (9, s. 8–9.)

Rumpukuivaus vaatii korkean lämmönlähteen kuten savukaasut. Tämän vuoksi se ei sovellu biojalostamon jäähdytysvesille. Lisäksi se vaatii VOC-päästöjen puhdistamisen, jolloin investointikustannukset kasvavat. Myös virtauskuivaus vaatii korkean lämmönlähteen lämpötilan. Jäähdytysvesien lämpötiloille soveltuvia kuivausmenetelmiä ovat viira- ja kerroskuivaus. Niissä jäähdytysvesien sisältämä lämpöenergia siirtyisi lämmönvaihtimien avulla kuivausilmaan. (9, s. 9–10.)

Viirakuivurit ovat yleisesti käytössä matalan lämpötilan kuivauksessa. Sitä käytetään nimenomaan mm. hakkeen tai kuoren kuivaukseen. Viirakuivaus soveltuu eri polttoaineille ja ylijäämälämpöjen hyödyntämiseen. Viirakuivurit ovat yksinkertaisia ja kestäviä, niiden saatavuus on hyvä sekä säädettävyys helppoa. Lisäksi niillä on esimerkiksi rumpukuivureita parempi paloturvallisuus ja alhaisemmat päästöt. Viirakuivureiden heikkouksia ovat investointi- ja huoltokustannukset, omakäyttösähkön kulutus sekä tilantarve. (9, s. 10.)

Kerroskuivausmenetelmiä ovat peti-, siilo-, auma- ja kenttäkuivaus. Auma- ja kenttäkuivaus ovat alttiita sääoloille. Kenttäkuivauksessa tulee myös huomioida polttoainekerroksen kääntäminen ja aumakuivauksessa pitkä kuivumisaika. Näiden syiden vuoksi ne eivät ole varteenotettavia vaihtoehtoja. Siilokuivaus on teollisuudessa harvinaista. Yleisemmin se on käytössä maataloudessa. (9, s. 10.)

Kerroskuivausmenetelmistä mahdollisin vaihtoehto olisi petikerroskuivaus. Tämä johtuu siitä, ettei se ole kausirajoitteinen kuten auma- ja kenttäkuivaus. Myöskin viipymäaika on siinä lyhyempi. (9, s. 10.) Siilokuivaus olisi myös mahdollista, mutta teollisuudessa se on harvinaista. Lisäksi teknologia vaatii vielä kehitystä, sillä teollisen kokoluokan toteutukseen liittyy useita riskitekijöitä. (11, s. 26–27.) Taulukossa 7 on nähtävillä eri kerroskuivausmenetelmien ominaisuuksia tarkemmin.

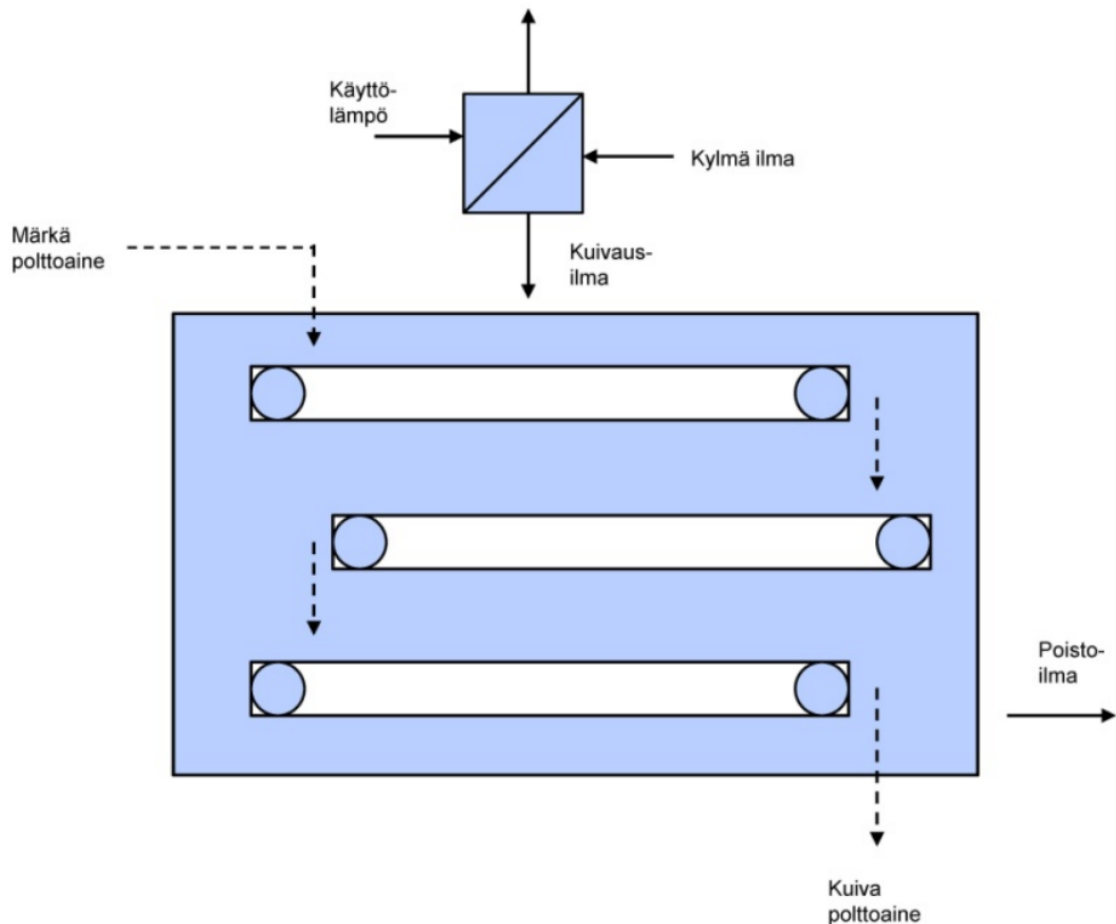
TAULUKKO 7 Kerroskuivausmenetelmien ominaisuuksia (11, s. 30)

Kuivaus- teknologiat	Siilo- kuivuri	Auma- kuivaus	Kenttä- kuivaus	Petikerros- kuivaus
Viipymäaika (h)	10 - 30	4000 - 6000	48 - 96	10 - 40
Kuivauslämpötila (°C)	30-80	50-60	5-40	50-80
Kerroksen pinta-ala (m ²)	150-700	3000-5500	1-2 ha	10-30
Kerroksen paksuus (m)	2-8	8-15	0,05-0,15	0,5-1,5
Kokoluokka (t/h H ₂ O)	5-20	0,8-1	2-8	0,1-0,5
Loppukosteus (%)	20-30	15-40	25-40	15-25

Tässä työssä on päädytty viirakuivaimen valintaan ja tarkempaan tarkasteluun. Tämä johtuu sen hyvästä saatavuudesta, soveltuvuudesta jäähdytysvesille ja hakkeelle, helposta käytettävyydestä ja säätämisestä sekä tehokkaasta kuivattamisesta. Viirakuivaimen omakäytösähkön kulutus ei ole myöskään ongelma, sillä biojalostamo tuottaa sähköä arviolta yli oman tarpeen.

Viirakuivuri

Märkä polttoaine, kuten kuori tai hake, levitetään tasaisesti syöttölaitteella liikkuvalle viiralle. Viira liikkuu nopeudella noin 1 m/min. Polttoainepatjan paksuus viiralla riippuu laadusta, mutta on yleisesti välillä 0,1–0,2 m. Polttoaineen tasainen palakoko ja patjan paksuus antavat tasaisen loppukosteuden. Viirakuivuri voi olla yksi- tai monikerroksinen. Ulkoilmaa lämmitetään lämmönvaihtimissa lämmönlähteen avulla, josta lämmennyt ulkoilma johdetaan polttoainepatjan läpi ylä- tai alakautta. (11, s. 23.) Toimintaperiaate on nähtävillä kuvasta 18.



KUVA 18 Monikerrosviirakuivuri (11, s. 23)

Tyypillisesti kuivausilma lämmitetään lämpötilaan 80-120 °C. Myös alhaisempia lämpötiloja voidaan käyttää. Talvella täytyy huomioida lämmin tila kuivuria varten jäätymsriskin takia. (11, s. 23–24.) Biojalostamon kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä voisi käyttää viirakuivauksessa. Jäähdytysvesien lämpöenergia voitaisiin siirtää esimerkiksi erillisen vesi/glykoli piirin avulla kuivausilmaan. Myös jäähdytysvesien lämpötilojen nosto lämpöpumppujen avulla olisi mahdollista, mutta tämä lisäisi kustannuksia.

Hyöty

Hakkeen lämminilmakuivauksessa lämpöenergiaa voidaan arvella kuluvan 160 kWh/i-m³, kun ulkolämpötila on –15 °C (34, s. 6). Arvio biojalostamon kuivaukseen menevästä hakemäärästä on 100 000 i-m³. Tähän kuluisi näin ollen lämpöenergiaa

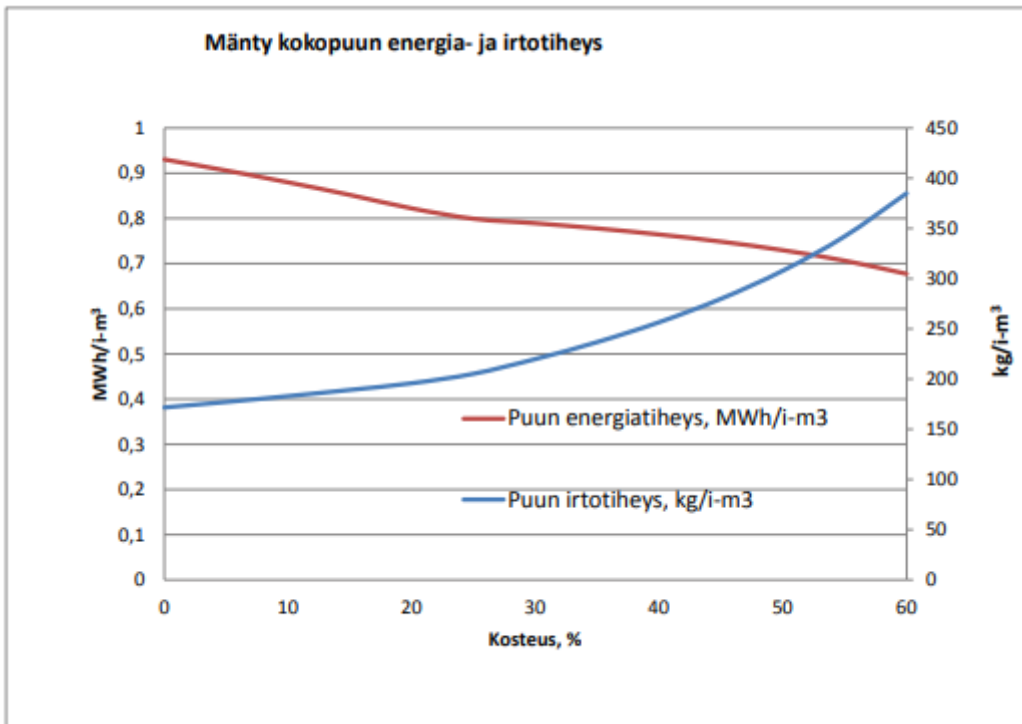
$$100\,000 \text{ i} - \text{m}^3 * 160 \frac{\text{kWh}}{\text{i} - \text{m}^3} = 16\,000 \text{ MWh}.$$

Jos lämpöenergia ostettaisiin ja hintana olisi 60 €/MWh, maksaisi tämä

$$16\,000 \text{ MWh} * 60 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 960\,000 \text{ €}.$$

Määrä on siis suuri, joten jäädytysvesien hyödyntämistä raaka-aineen kuivauksessa olisi syytä miettiä. Hakkeen energiatiheys nousisi myös kuivauksella, mikä on nähtävillä kuvasta 19. Ajatellaan hakkeen tulevan 55 %:n kosteudessa, josta se kuivataan kosteusprosenttiin 20 %. Tällöin energiatiheys nousisi arvosta 0,7 MWh/i-m³ arvoon 0,82 MWh/i-m³. Näin ollen voidaan laskea saatavan hakkeesta enemmän energiaa kuivauksella

$$\left(100\,000 \text{ i} - \text{m}^3 * 0,82 \frac{\text{MWh}}{\text{i} - \text{m}^3}\right) - \left(100\,000 \text{ i} - \text{m}^3 * 0,7 \frac{\text{MWh}}{\text{i} - \text{m}^3}\right) = 12\,000 \text{ MWh}.$$



KUVA 19 Kokopuuhakkeen energia- ja irtotiheys (35, s. 8)

Sähköä kuivauksessa kuluisi pääosin puhaltimiin, joiden voidaan arvioida kuluttuvan sähköä 10 kWh/i-m³ (35, s. 13). Näin ollen sähköä kuluisi kuivaukseen

$$100\,000\,i - m^3 * 10 \frac{kWh}{i - m^3} = 1\,000\,MWh.$$

Sähkön hinnan ollessa esimerkiksi 4,5 snt/kWh, tulisi tämä maksamaan

$$1\,000\,000\,kWh * 4,5 \frac{snt}{kWh} = 45\,000\,€.$$

Täytyy huomioida, että biojalostamo tuottaa sähköä arviolta yli oman tarpeen, jolloin sähköä voitaisiin käyttää puhaltimiin eikä kaikkea sähköä tarvitsisi ostaa. Lopullisen kuivuri-investoinnin kannattavuuteen vaikuttaisivat lämpö- ja sähköenergian hinnan lisäksi kuivurijärjestelmän hinta sekä kuivauksella saatava rahallinen hyöty lämpöenergiassa. Mikäli kuivausta ei tarvita tai sille on jo suunnitteilla halvempi ratkaisu, tulee jäähdytysvesille keksiä muuta käyttöä. Kuivausinvestoinnista ei saa kannattavaa, ellei hyödyksi saatavalla lämpöenergialla saada katettua sähkönkulutukseen menevää osuutta. Säästöä tuo mm. hakkeen parantunut lämpöarvo kuivauksen jälkeen, jolloin kuivaa polttoainetta ei tarvita yhtä paljon kuin märkää polttoainetta saman energiamäärän tuottamiseen.

5.1.5 Piha-alueen sulanapito

Biojalostamon hankealueen koko tulee olemaan noin 100 hehtaaria (7, s. 32). Tästä määrästä alueita, jotka tarvitsevat talvella hiekoitusta ja aurausta, tulee olemaan useita tuhansia neliömetrejä yhteensä. Tällaisia alueita ovat mm. erilaiset piha-alueet, kulkuväylät ja parkkipaikat. Jäähdytysvesiä voitaisiin käyttää talvisaikaan näiden alueiden sulanapitoon. Näin säästettäisiin auraus- ja hiekoituskuiluissa sekä tapaturmariski alenisi liukastumisvaaran pienentyessä. Kun hiekoitusta ei tarvittaisi, ei tulisi myöskään siivouskuluja keväällä hiekanpoistosta tai rakennuksiin kulkeutuneesta hiekasta. Erityisesti kaupungeissa pidetään talvella päällystettyjä alueita sulana, mistä esimerkkinä voidaan mainita Oulun Rotuaari. Biojalostamon jäähdytysvesiä voitaisiin käyttää sellaisenaan tai lämpöpumppujen avulla piha-alueiden sulanapidossa.

Ongelmiksi voivat koitua suuret investointikustannukset. Lämmityspotkisto tulisi sijoittaa laajalle alueelle maan alle, ja mikäli lämpöpumppuja käytettäisiin, nostaisi se kustannuksia entisestään. Myös lumesta sulaneiden vesien poisto tulisi

suunnitella huolella, jottei alkaisi syntyä lammikoita. Käyttökatkoksissa jäähdytysvesien jäätymisriski tulee myös huomioida.

Katulämmitysjärjestelmiin kuuluvat yleisesti pinta- ja jakoputkisto venttiileineen, runkoputket sekä lämmönjakokeskus. Tarvittavia osia ovat mm. lämmönsiirtimet, pumput, paineenpito- sekä säätöjärjestelmät. (36, s. 13.) Lämmitystehon mitoitusarvona käytetään arvoa 300 W/m^2 ja liuoksen jäähtymänä verkostossa $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (36, s. 14). Järkevintä on käyttää maan alla olevassa putkistossa lämmönsiirtoaineena pakkasen kestävää vesiliuosta kuten glykoli-vesi liuosta. Lämmitystehon mitoitusarvo 300 W/m^2 riittää pitämään lumisateella 30 mm/h tien pinnan sulana ulkolämpötilassa $-13 \text{ }^\circ\text{C}$. Käyttökokemuksien mukaan Suomessa lämmitetään katualueita noin $1\,000 \text{ h}$ vuoden aikana. (36, s. 72.) Mitoituslämpötilana kadun pinnalle pidetään $3 \text{ }^\circ\text{C}$, jolloin kiertävän liuoksen menolämpötila on maksimissaan $39 \text{ }^\circ\text{C}$. Kadun pintalämpötila saavutetaan tällä periaatteella, kun putkisto sijaitsee $150\text{--}200 \text{ mm}$ kadunpinnan alapuolella. (36, s. 11.)

Ajatellaan esimerkiksi lämmitettävän piha-alueen koon olevan $10\,000 \text{ m}^2$. Lämmitystehontarve olisi näin ollen

$$300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 10\,000 \text{ m}^2 = 3 \text{ MW}.$$

Lämpöenergiaa tähän kuluisi lämmityskaudella

$$1\,000 \text{ h} * 3 \text{ MW} = 3\,000 \text{ MWh}.$$

Kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä voitaisiin käyttää sellaisenaan ja lämpöenergiaa siirtää lämmönsiirtimen avulla lämmityspiiriin. Tarvittava jäähdytysveden virtaama voidaan laskea, kun lämmitystehontarve tiedetään ja oletetaan kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä tulevan keskilämpötilassa $51,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Liuoksen jäähtymän ollessa $15 \text{ }^\circ\text{C}$ liuoksen menolämpötila on $39 \text{ }^\circ\text{C}$ ja paluulämpötila $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Oletetaan tällöin jäähdytysveden lämpötilan voivan tippua asteisuudet ja häviöt huomioiden arviolta $30 \text{ }^\circ\text{C}$:seen. Tällöin virtaaman tulisi olla

$$q_v = \frac{3\,000 \text{ kW}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (51,7 - 30)\text{K}} = 0,033 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä tulee yhteenlasketulla virtaamalla 0,30 m³/s. Näin ollen virtauskapasiteetti riittäisi helposti esimerkiksi tämänkaltaisen järjestelmän käyttöön piha-alueen sulanapidossa. Lopulliseen jäähdytysveden purkulämpötilaan tämä ei kuitenkaan juuri vaikuttaisi, sillä virtausmäärä on niin pieni kokonaisvirtauksesta 1,84 m³/s. Mikäli koko lämpimimpien jäähdytysvesien virtauspotentiaali 0,30 m³/s voitaisiin käyttää, olisi lämmitysteho tällöin

$$\dot{Q} = 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (51,7 - 30) \text{K} = 27,2769 \text{ MW}.$$

Tällä määrällä lämmittäisi jo yli 90 000 m²:ä piha-aluetta. Lopullinen jäähdytysveden purkulämpötila laskisi tällöin lämpötilaan

$$T = \frac{1,49 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 8,7 \text{ °C} + 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 32,6 \text{ °C} + 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 30 \text{ °C}}{1,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 12,8 \text{ °C}.$$

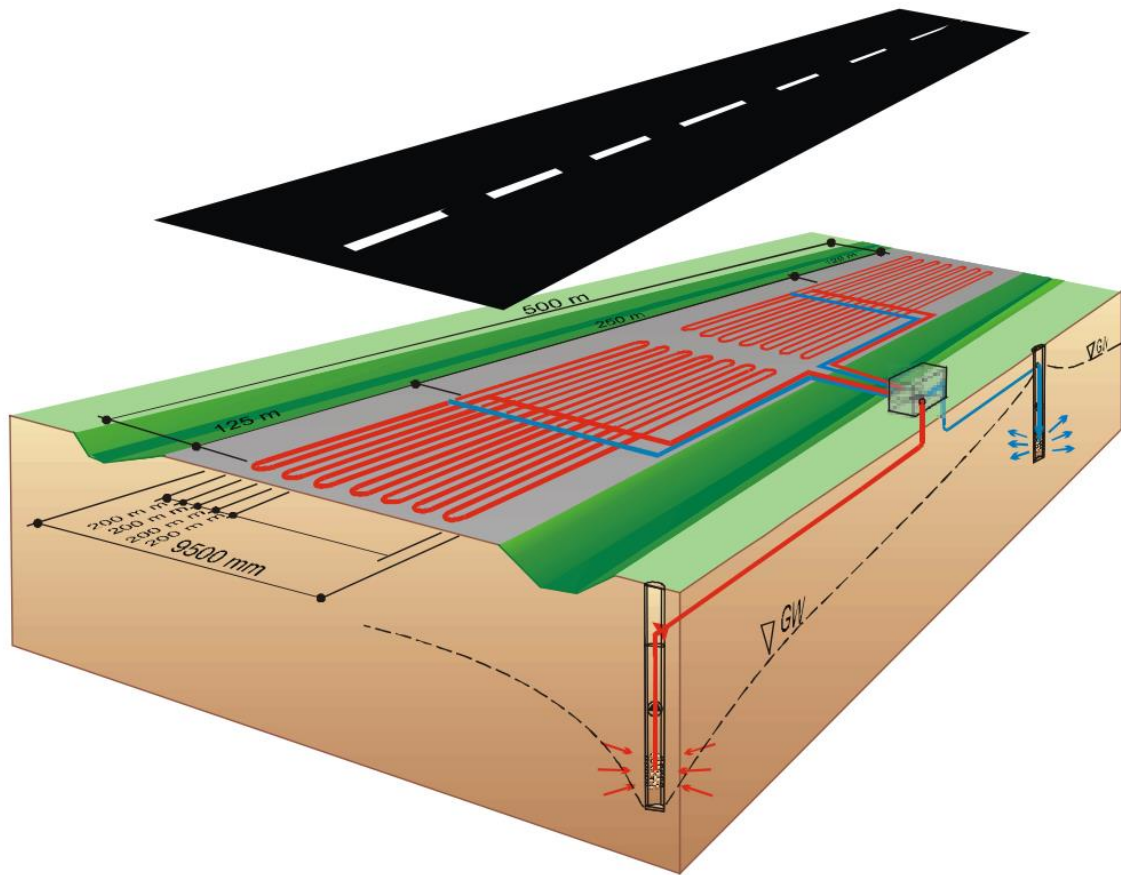
Potentiaalia jäähdytysveden käytölle olisi. Komponenttien ja putkiston koot määrittävät kuitenkin sen, minkälaisia määriä jäähdytysvettä on mahdollisuus käyttää. Tätä tulisi tutkia tarkemmin investointia mietittäessä ja lämmitysjärjestelmää mitoitettaessa. Ulkolämpötila on määräävä tekijä lämmitystehontarpeessa. Mitä kylmempää tai lumisempää ulkona on, sitä enemmän tulee piha-alueita myös lämmittää. Lisäksi putkien sijoittaminen tulee miettiä tarkkaan. Jos putkisto on liian syvällä, lämmitysteho ei välttämättä riitä, kun taas liian pinnalla putkisto voi vahingoittua suuren painokuorman vuoksi esimerkiksi parkkialueilla.

Yksi vaihtoehto olisi myös käyttää lämpöpumppuja nostamaan jäähdytysveden purkulämpötilaa piha-alueen lämmitysjärjestelmän vaatimalle tasolle. Tämä lisäisi kuitenkin investointikustannuksia entisestään, kun sulanapitojärjestelmän lisäksi tulisi investoida lämpöpumppujärjestelmät. Suuren lämmitystehontarpeen vuoksi sähköä kuluisi myös paljon. Kannattavampaa olisi käyttää jäähdytysvesiä omasta takaa, mikäli lämpötilat olisivat riittäviä.

Liitteessä 6 on esitetty Calefan tarjous heidän lämpöpumppujärjestelmillään, kun jäähdytysveden lämpötila on 16 °C ja sen lämpötilan on oletettu voivan pudota 5

°C:seen. Lisäksi on oletettu voitavan käyttää koko virtausmäärä 1,84 m³/s. Käyttöaika on 1 000 h, tuotettavan nesteen lämpötila 40 °C, lämpöenergian hinta 60 €/MWh ja sähköenergian hinta 50 €/MWh.

Kuvassa 20 on nähtävillä esimerkki yhdenlaisesta tiealueen lämmitysratkaisusta. Siinä lämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmään pohjavedestä. Tämän kaltainen järjestelmä olisi myös biojalostamolla mahdollista käyttäen pohjaveden sijaista jäähdytysvettä.



KUVA 20 Tiealueen lämmitys pohjavesilämpöpumpulla (36, s. 37)

5.2 Käyttökohteet biojalostamon ulkopuolella

Jäähdytysvesien alhaisten lämpötilojen vuoksi ei ole kannattavaa siirtää niiden sisältämää lämpöenergiaa kovin kauas. Siirtäminen kauas lisää lämpöhäviöitä ja nostaa investointikustannuksia. Jäähdytysvesien lämpöenergiaa voisi kuitenkin käyttää hyödyksi biojalostamon lähialueella johtamalla lämpöä jollekin yhteistyökumppanille. Tällaisia voisivat olla erilaiset lämpöä tarvitsevat biojalostamon ulkopuolisen rakennukset, kuten kasvihuoneet tai urheiluhalli. Muita mahdollisia kohteita voisivat olla esimerkiksi kalanviljelylaitos tai kaukolämmön paluuvesi. Lämpötilojen nostamiseen voisi tarvittaessa käyttää lämpöpumppuja, mutta tulee muistaa, että se lisää kustannuksia. Yhteistyössä biojalostamo vastaisi ainoastaan lämmön toimittamisesta. Muun investointi- ja toimintapuolen hoitaisi yhteistyökumppani, minkä vuoksi mm. biojalostamon sijainti on määräävä tekijä yhteistyön kannattavuudessa tai ylipäättänsä mahdollisuudessa.

5.2.1 Kaukolämmön paluuvesi

Mikäli jäähdytysvesi olisi tarpeeksi lämmintä, voisi sen ohjata lämmittämään kaukolämmön paluuvettä. Tämä edellyttää, että kaukolämpöputkisto kulkee läheltä biojalostamo, etteivät investointikustannukset ja lämpöhäviöt kasva turhan suuriksi. Jäähdytysveden purkulämpötila ei riitä sellaisenaan kaukolämmön paluuv veden lämmittämiseen, mutta kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä voisi tähän tarkoitukseen käyttää. Lämmön voisi siirtää jäähdytysvesistä erillisen lämmönsiirtimen avulla kaukolämmön paluuveteen. Paluuv veden lämpötila on yleisesti välillä 45–25 °C (22, s. 18). Kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä tulee keskilämpötilassa 51,7 °C taulukon 3 mukaisesti. Paluuv veden lämpötila määrää, voidaanko jäähdytysvesiä käyttää sen lämmittämiseen.

Lämmittämällä kaukolämmön paluuvettä säästää kaukolämpöyhtiö lämmittämistarpeessa. Veden lämmittämiseen lämpölaitoksella ei tarvita tällöin niin suurta energiamäärää, kun se on esilämmitetty jäähdytysvesillä. Näin ollen lämpölaitoksella säästetään myös polttoainemäärässä. Samalla saadaan jäähdytysvesiä hyötykäyttöön ja lopullista purkulämpötilaa takaisin vesistöön alennettua. Näiden syiden vuoksi yhteistyötä paikallisen kaukolämpöyhtiön kanssa olisi syytä tutkia tarkemmin.

Kaukolämpöverkko kulkee lähimmillään arviolta noin 4–6 kilometrin päästä biojalostamo Sallantien varressa. Tätä linjaa pitkin siirretään lämpöä alueelle Kallaa–Sipovaara. Tällä alueella myytiin kaukolämpöä vuoden 2016 aikana 4 564 MWh. Yhteensä Kemijärven alueella myytiin keskusta mukaan luettuna kaukolämpöä vuoden 2016 aikana 65 021 MWh. (32.)

Lämpöenergiaa tarvitaan sitä enemmän, mitä enemmän paluuvettä tulee lämmitettäväksi. Kaukolämmön menoveden lämpötila vaihtelee vuodenajan ja tarvittavan tehon mukaan, mutta maksimissaan se saa olla 120 °C (22, s. 17). Otetaan esimerkki, jossa vesimäärä olisi 1 000 m³ ja paluuveden lämpötila 30 °C. Tällöin veden lämmittämiseen lämpötilaan 115 °C kuluisi lämpöenergiaa kaavan 9 mukaan

$$Q = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,000 \text{ m}^3 * (115 - 30)^\circ\text{C}}{3600} \approx 99 \text{ MWh}.$$

Samaan määrään vettä mutta paluuvesi esilämmitettynä esimerkiksi 40 °C:seen kuluisi lämpöenergiaa

$$Q = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,000 \text{ m}^3 * (115 - 40)^\circ\text{C}}{3600} \approx 87 \text{ MWh}.$$

Lämmittämiseen tarvittava energiamäärä ilman esilämmitystä olisi tässä tapauksessa näin ollen 12 MWh enemmän. Polttohakkeen energiatihetytenä voidaan käyttää 0,80 MWh:a/i-m³ (37). Hakkeen määränä tämä 12 MWh vastaisi tällöin

$$\frac{12 \text{ MWh}}{0,8 \frac{\text{MWh}}{\text{i} - \text{m}^3}} = 15 \text{ i} - \text{m}^3.$$

Hakkeen ollessa polttoaineena lämpölaitoksella ja sen hinnan ollessa 23 €/MWh (38) toisi esilämmitys säästöä tässä tapauksessa

$$23 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * 12 \text{ MWh} = 276 \text{ €}.$$

Yllä lasketun esimerkin avulla voidaan todeta, että kaukolämmön paluuveden esilämmitys toisi säästöä kaukolämpöyhtiölle. Tärkeätä on kuitenkin muistaa, että

kaukolämmön paluueden lämpötila määrää, voidaanko biojalostamon jäähdytysvesiä käyttää lämmityksessä. Myös saatava hyöty määräytyy lämmityksen ja virtausmäärän mukaan. Mitä suurempi määrä vettä lämmitetään ja mitä suurempi lämpötilan nosto on, sitä suurempi hyöty siitä rahallisesti saadaan.

Jäähdytysvesien lämpötilan lasku ja virtauksen käyttömäärä määräytyvät myös kaukolämmön paluueden mukaan. Esimerkiksi kaukolämpöverkon paluuputkessa virtaus on 0,1 m³/s ja lämpötila 30 °C. Lämmitettäessä paluuvesi 40 °C:seen tulee kuumimpien jäähdytysvesien virtaaman olla lämmönsiirtimessä

$$q_v = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (40 - 30)\text{K}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (51,7 - 33)\text{K}} = 0,053 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä tulee taulukon 3 mukaisesti yhteenlaskettulla virtaamalla 0,30 m³/s. Näin ollen virtauspotentiaali riittäisi esimerkkitapauksessa. Laskussa ei ole kuitenkaan huomioitu lämmönsiirtimen häviöitä. Häviöiden ei oleteta vaikuttavan merkittävästi lopputuloksiin. Lämmönsiirtimen asteisuutena on käytetty arvoa 3 °C (22, s. 69). Lopulliseen jäähdytysveden purkulämpötilaan vaikuttaakseen tulisi pystyä käyttämään paljon suurempi määrä jäähdytysvesien virtauksesta.

Ajoittain kaukolämmön paluuvesi voi olla jopa yli kuumimpien jäähdytysvesien keskilämpötilan, jolloin jäähdytysvesillä ei paluuvettä saa lämmitettyä. Tällöin olisi yksi vaihtoehto johtaa pelkästään kuumimmat jäähdytysvedet lämmittämään paluuvettä. Kuumimmat jäähdytysvedet tulevat liuottajan scrubberilta sekä ylimääräisinä kuumina vesinä lämpötilassa 65 °C. Niiden virtaukset ovat jäähdytysvesien kokonaisvirtaukseen verrattuna kuitenkin niin alhaisia, ettei niiden käyttö ja lämpötilan lasku vaikuta lopulliseen purkulämpötilaan merkittävästi.

Alla olevassa kuvassa 21 näkyy Kemijärven kaukolämpöverkoston pohjakarttaa vuodelta 2006 välillä Sipovaara–Kallaanvaara. Runkoputki kulkee Sallantien mukaisesti. Biojalostamo sijaitsisi Pahkakummuntien varressa, josta olisi vähimmillään arviolta 4–6 km kaukolämpöverkon runkoputkelle.



KUVA 21 Kemijärven kaukolämpöverkko 2006 (39)

Suurin osa kustannuksista tulisi putkilinjojen teosta ja siihen liittyvistä maanrakennustöistä biojalostamon sekä kaukolämpöputkiston välillä. Kustannukset voisivat nousta satoihin tuhansiin euroihin. Pienempi osa kustannuksista tulisi lämmönsiirtimestä ja muista lämmönsiirtoon vaadittavista komponenteista. Arvioidaan maanrakennustöihin, materiaaleihin sekä putki- ja liitostöihin menevän 300 €/m (40, s. 7). Kaukolämpöverkon paluuputken kulkiessa lähimmillään 5 kilometrin päästä biojalostamoa kuluisi putkilinjan tekoon tälle välille rahaa 1 500 000 €. Investointi tulisi olemaan todella kallis, minkä vuoksi se voi olla kannattamatonta.

5.2.2 Kasvihuoneet

Kasvihuoneet tarvitsevat talvella lämpöä. Biojalostamon jäähdytysvesiä voisi johtaa lämmittämään paikallista kasvihuonetta. Tämä edellyttäisi kasvihuoneen sijoittamista lähelle biojalostamoa. Lisäksi kasvihuoneen rakentaminen biojalostamon lähialueella tulisi olla mahdollista ja löytää tähän tarkoitukseen kiinnostunut yrittäjä tai yritys. Kasvihuoneessa kannattaisi kasvattaa sellaisia tuotteita, joille

olisi kysyntää ja erityisesti tarvetta lähialueen kaupoilla. Tällöin kaupat ja kuluttajat kannattaisivat paikallisia tuotteita. Kysyntää tulisi kuitenkin olla riittävästi, jotta kasvihuoneitoiminta saataisiin kannattavaksi. Kasvihuoneessa voisi kasvattaa esimerkiksi kurkkua tai tomaattia, jotka myytäisiin lähialueen kaupoille eteenpäin. Myös erilaiset ruokasienet kuten tryffelit voisivat olla yksi vaihtoehto. Tryffelien korkean kilohinnan vuoksi vähäisemmällä määrälläkin olisi mahdollisuus saada enemmän voittoa kuin esimerkiksi kurkuilla. Tryffeleille ei kuitenkaan vielä ole laajamittaista kysyntää. Suomessa suurin osa kasvatettavista tryffeleistä menee ravintoloille. Tryffelitarhauksessa satoa tulee vasta 5–8 vuotta istutuksen jälkeen, joten se ei ole alussa tuottavaa. Kilohinta riippuu lajikkeesta, mutta voi parhaimmillaan olla tuhansia euroja. Suomessa kilohinta vaihtelee muutamasta kymmenestä eurosta muutama sataan euroon. (41.)

Kurkun ympärivuotisessa viljelyssä voidaan arvioida lämpöenergiaa kuluvan valotetussa kasvihuoneessa $1\,300\text{ MJ/m}^2$ (42, s. 9). Tyypillinen viljelyala kasvihuoneyritystä kohden on $2\,500\text{ m}^2$ (42, s. 3). Tämän kokoisella viljelyalla lämpöenergiaa kuluisi näin ollen $3\,250\,000\text{ MJ}$. Tämä vastaisi megawattitunteina määrää $902,8\text{ MWh}$. Mikäli tämä määrä lämpöä ostettaisiin esimerkiksi kaukolämpönä, maksaisi se Kemijärven kaukolämmön hinnalla $61\,569\text{ €}$. Kaukolämmön hintana on käytetty $68,20\text{ €/a/MWh}$ (32). Jäähdytysvesiä voitaisiin käyttää korvaamaan paikallisen lämpöyhtiön toimittamaa kaukolämpöä. Lämpöenergia siirrettäisiin kasvihuoneen lämmityspiiriin jäähdytysvesistä lämmönsiirtimen avulla tai lämpöpumppuja avuksi käyttäen.

Ajatellaan vuosituotannon olevan $500\,000\text{ kg}$. Tällöin kurkusta olisi saatava kilolta noin 12 senttiä, jotta tuotannolla katettaisiin lämmitystarve $61\,569\text{ €}$. Lisäksi kasvihuoneet kuluttavat todella paljon sähköä, joten tämä tulee huomioida. Suurin osa sähköstä kuluu valaistukseen. Sähköä voidaan arvioida kuluvan valaistukseen 200 W/m^2 ja valotusajan olevan päivässä 16h (42, s. 11). Vuodessa tämä tekee sähköenergiana $2\,920\text{ MWh}$. Sähkön hinnan ollessa esimerkiksi $4,5\text{ snt/kWh}$, maksaisi tämä vuodessa $131\,400\text{ €}$. Lämmön ja sähkön kulujen kattamiseksi tulisi tässä tapauksessa saada kurkusta kilolta noin 39 senttiä, mikäli vuosituotanto olisi $500\,000\text{ kg}$. Lisäksi haluttaisiin tietysti myös voittoa, joten

tässä tapauksessa kasvihuoneyrittäminen olisi kannattavaa, mikäli kurkusta saadaan yli 50 senttiä kilolta. Tällä hetkellä tuottaja saa ajoittain kurkusta jopa vain alle 30 senttiä kilolta (43). Tomaattien viljelyn osalta pätevät pääosin samat arvot ja laskut kuin kurkun osalta tässä luvussa. Alla olevassa kuvassa 22 on nähtävissä kasvihuoneessa kasvamassa kurkkuja.



KUVA 22 Kurkkuja kasvamassa kasvihuoneessa (44)

Kurkun kasvuajan optimilämpötila on 24–27 °C (44). Lämmitys voitaisiin toteuttaa patteriverkostolla. Mitoituslämpötiloina toimisi tällöin menovedelle 45 °C ja paluuedelle 30 °C (22, s. 86). Tällöin kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä voitaisiin käyttää ilman lämpöpumppuinvestointia siirtämällä lämpö patteriverkoston lämmönsiirtimen avulla. Esimerkki kasvihuoneessa kului vuoden aikana 3 250 000 MJ lämpöenergiaa eli lämpöenergian tehontarve on 103 kW. Tämän verran patteriverkostosta on lämpöä saatava. Voidaan laskea patteriverkoston virtaamaksi tarvittavan mitoituslämpötiloilla näin ollen

$$q_v = \frac{103 \text{ kW}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (45 - 30)\text{K}} = 0,001639 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tällöin jäähdytysveden virtaaman lämmönsiirtimen ensiöpuolella tulisi olla

$$q_v = \frac{103 \text{ kW}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (51,7 - 33)\text{K}} = 0,001315 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}.$$

Kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä tulee arviolta 0,30 m³/s taulukon 3 mukaisesti. Näin ollen virtauspotentiaali riittäisi esimerkkitapauksessa. Lämmönsiirtimen asteisuutena on käytetty arvoa 3 °C. Lisäksi lämpöhäviöitä ei ole otettu huomioon, vaan kaiken lämmön on oletettu siirtyvän ensiöpuolelta toisiopuolelle kokonaisuudessaan. Näin ei todellisuudessa kuitenkaan ole. Kasvihuoneen optimilämpötila on lisäksi korkeampi kuin asuinhuoneistoihin haluttu lämpötila. Kemijärvellä voi olla myös talvella todella kylmiä kelejä. Nämä asiat on huomioitava lämmitysratkaisun mitoituksessa. Todellisuudessa tarvittavat virtaamat ja lämpötilat olisivat ensiöpuolella tämän vuoksi suuremmat. Virtauspotentiaali jäähdytysveissä riittää, mutta ongelmaksi voi koitua alhaiset lämpötilat. Tällöin tulee miettiä lämpöpumppuratkaisua.

Mitä lähemmäs biojalostamo kasvihuone tulisi, sen halvempi olisi investointi. Verrataan esimerkiksi etäisyyden olevan joko 500 m tai 1 km. Käytetään materiaalien, putki-, liitos- sekä maanrakennustöiden yhteiskustannuksiin kuluvaan 300 €/m vedettäessä putkilinjaa biojalostamon ja kasvihuoneen välille (40, s. 7). Tällöin 500 metrin matkalle tulisi kustannuksia 150 000 € ja 1 kilometrin matkalle jo 300 000 €. Lämmönjakokeskukseen voidaan arvioida kuluvaan 3 500–4 000 € (45). Vaikka investointikustannukset ovat suuret, tulee halvemmaksi siirtää lämpö biojalostamolta kuin kauempaa lämpölaitokselta. Lämmitysratkaisua mietittäessä kasvihuoneeseen tulee myös huomioida muut lämmitystavat, jotka voivat osoittautua halvemmiksi ratkaisuisiksi. Yksi tällainen voisi olla esimerkiksi maalämpö.

5.2.3 Urheiluhalli

Biojalostamo tulee työllistämään paljon henkilöstöä ja tuo uusia asukkaita sekä perheitä Kemijärvelle. Tämän vuoksi vapaa-ajan tarjonta tulee olla kunnossa. Hyvät harrastusmahdollisuudet edistävät ihmisten henkistä ja fyysistä terveyttä. Kaupunki voisi edistää tätä esimerkiksi lisäämällä urheilupaikkoja Kemijärvelle,

kuten uuden urheiluhallin tai kuntosalin. Myöskin jokin kuntosaliryitys voisi investoida uuden kuntosalin Kemijärvelle. Tarvittava lämpöenergia rakennukseen voitaisiin johtaa biojalostamon jäähdytysvesistä, mikäli rakennus sijaitsisi biojalostamon läheisyydessä. Myös biojalostamo voisi edistää työntekijöittensä terveyttä rakentamalla jäähdytysvesillä lämmitettävän urheilupaikan biojalostamon alueille. Alla olevassa kuvassa 23 on nykyaikainen liikuntahalli, joka sijaitsee Sodankylässä.



KUVA 23 Sodankylän liikuntahalli (46)

Kuvassa näkyvän liikuntahallin bruttopinta-ala on 2 378 m² ja tilavuus 16 431 m³ (47). Suuret nykyaikaiset liikuntahallit ovat yleisesti tätä kokoluokkaa. Liikuntapaikkojen lämpöenergian ominaiskulutus on yleisesti välillä 2,9–135,9 kWh/r-m³. Mediaanina voidaan käyttää 31,3 kWh/r-m³. Lämpöenergian ominaiskulutukset pohjautuvat Motivan laatimaan aineistoon vuosien 2010–2016 välillä. (48.)

Jos ajatellaan liikuntahallin pinta-alan olevan 2 000 m² ja korkeuden 7 m, saadaan tilavuudeksi 14 000 m³. Rakennus kuluttaisi lämpöenergiaa vuodessa ominaiskulutuksella 31,3 kWh/r-m³ tällöin 438 200 kWh eli 438,2 MWh. Kaukolämpönä tämä vastaisi rahallisesti 29 885 € vuodessa. Kaukolämmön hintana on käytetty 68,20 €/a/MWh (32). Oletetaan kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä käytettävän lämmityskäyttöön sellaisenaan, jottei lämpöpumppuinvestointia tarvittaisi. Oletetaan niiden keskilämpötilan voivan laskea 30 °C:seen. Tällöin lämmityspotentiaalia olisi koko virtaamalla vuodessa

$$\dot{Q} = 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (51,7 - 30) \text{K} * (24 * 365) \text{h} \approx 239 \text{ GWh}.$$

Kuten voidaan huomata, lämmityspotentiaalia on valtavat määrät. Mitä enemmän voidaan jäähdytysvesien lämpötilaa laskea, sitä enemmän saadaan myös lämpöenergiaa käyttöön. Jäähdytysvesien sisältämällä lämpöenergialla voitaisiin kattaa helposti suuremman liikuntahallin lämmitystarve, mikäli lämmitysjärjestelmät voitaisiin mitoittaa ja asentaa sellaisiksi, että jäähdytysvesiä voitaisiin käyttää.

Kuntosalien lämmitystarve on paljon pienempi kuin suurien liikuntahallien. Näin ollen jäähdytysvesiä voisi käyttää myös niiden lämmitykseen. Silloin ei kuitenkaan saataisi yhtä suurta osaa jäähdytysvesistä hyötykäyttöön kuin lämmitettäessä suurempaa kohdetta. Lämmitysratkaisuna voisi olla sekä liikuntahallien että kuntosalien osalta lattia- tai patterilämmitys. Lämpö voitaisiin siirtää jäähdytysvesistä lämmitysjärjestelmään lämmönsiirtimillä. Tarvittaessa korkeampia lämpötiloja, voitaisiin käyttää lämpöpumppuja nostamaan jäähdytysvesien lämpötiloja.

5.2.4 Kalanviljely

Kemijärven alueella on paljon vesistöjä ja aktiivisia kalastajia. Kalalla on myös hyvä menekki paikallisissa kaupoissa. Tämän vuoksi kalanviljelylle olisi mahdollisuuksia Kemijärvellä ja kalaistutuksia on tehty aikaisemminkin, kuten istuttamalla kirjolohta Pöyliöjärveen. Kaloja voisi viljellä vesistöihin saaliskaloiksi, parantamaan kalakantaa tai suoraan myyntiin. Biojalostamo voisi johtaa jäähdytysvesistä lämpöenergian kalanviljelylaitokseen, mikäli se sijaitisi biojalostamon lähellä. Biojalostamon sijainti olisi myös otollinen kalanviljelylaitokselle, sillä se sijaitsee vesistön äärellä. Lämpöenergian siirtämisen lisäksi biojalostamo voisi yhteistyönä puhdistaa kalanviljelylaitoksen poistovedet omassa vedenpuhdistuslaitoksessaan. Tällä tavoin biojalostamon hukkalämpö saataisiin hyötykäyttöön ja jäähdytysvesien purkulämpötilaa alennettua. Samalla kalanviljelylaitos saisi tarvitsemansa lämpöenergian ja poistovesien käsittelyn biojalostamolta.

Onnistuneita kokemuksia on jo vastaavanlaisista tilanteista, kuten esimerkiksi Imatralla Stora Enson paperitehtaan lauhdevesien käyttö paikallisen kalanviljelylaitoksen vesien lämmityksessä. Kyseisellä kalanviljelylaitoksella kasvatetaan monneja ja sampia. Kaloja varten käyttövesi lämmitetään lämpötilaan 22–24 °C. Lämpötila pyritään pitämään vakiona läpi vuoden. Käyttövesi otetaan vesistöstä

ja lämmitetään lämmönsiirtimissä Stora Enson tehtaalta tulevalla lauhdevedellä. Lauhdeveden lämpötila on välillä 40–50 °C. Laitos toimii kierto-vesiperaatteella, jolloin tehokkaiden puhdistusmenetelmien avulla voidaan vettä kierrättää useaan kertaan laitoksella. Vettä kiertää 200 litraa sekunnissa. Myös kalankasvatushalli lämpiää veden lämmityksen yhteydessä. Erillistä tilojen lämmitystä ei näin ollen tarvita. Kyseisen kalanviljelylaitoksen poistovedet johdetaan Stora Enson vedenpuhdistuslaitokselle, jossa ne puhdistetaan. (49.) Alla olevassa kuvassa 24 on sampia uimassa kasvatusaltaassa Imatran kalanviljelylaitoksella.



KUVA 24 Sampia kasvatusaltaassa (50)

Biojalostamon yhteyteen rakennettavassa kalanviljelylaitoksessa voisi kasvattaa esimerkiksi kirjolohia myyntiin ja istutuskaloiksi lähialueelle. Myös alueen kuha-kantaa voisi parantaa ja pitää yllä kalankasvatuksen sekä istutuksien avulla. Vaihtoehtoina voisi olla myös monnien ja sampien kasvatus ruokakaloiksi, kuten Imatralla (49). Sammista saataisiin lihan lisäksi arvokasta mätiä, jonka arvo voi olla parhaimmillaan 2 500–3 000 €/kilo. Imatralla lauhdevesien käyttö kalanviljelylaitoksen vesien lämmittämisessä on ollut onnistunut ja toimiva projekti jo vuosia. (50.)

Biojalostamon kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä voisi käyttää kalanviljelylaitoksen vesien lämmittämiseen. Kuumimpia jäähdytysvesiä tulee keskilämpöti-

lassa 51,7 °C taulukon 3 mukaisesti. Lämpötilan tiedettäisiin riittävän Imatran kokemuksien myötä, sillä siellä käytetään vesien lämmityksessä lauhdevesiä lämpötilassa 40–50 °C (49). Virtauspotentiaali riittäisi myös jäähdytysvesissä. Tästä esimerkkinä mainittakoon tilanne, jossa kalanviljelylaitos haluaa käyttöveden lämmitettävän lämpötilaan 23 °C. Käyttövesi otetaan Kemijoesta talvella, jolloin sen lämpötila on 1 °C. Lämmittämiseen käytetään biojalostamon kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä. Lämpö siirretään kalanviljelylaitoksen käyttöveteen lämmönsiirtimellä, jossa ensiö- ja toisiopuolen paluuvesien lämpötilaerona käytetään arvoa 3 °C. Käyttövettä otetaan 200 litraa sekunnissa eli 0,2 m³/s. Tällöin jäähdytysveden virtaaman tulee olla lämmönsiirtimessä

$$q_v = \frac{0,2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (23 - 1)\text{K}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (51,7 - 26)\text{K}} = 0,17 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Laskussa ei ole otettu huomioon lämmönsiirtimessä tapahtuvia häviöitä. Tulos on kuitenkin suuntaa antava ja voidaan todeta jäähdytysvesien virtauksen riittävän kyseisellä käyttöveden määrällä. Kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä tulee biojalostamolta yhteensä virtaamalla 0,30 m³/s. Tällä määrällä pystyttäisiin lämmittämään samassa tilanteessa käyttövesi, jonka virtaus olisi maksimissaan 0,35 m³/s eli 350 l/s.

Mikäli kuumimpina palaavia jäähdytysvesiä saataisiin laskettua lämpötilaan 26 °C ja virtauksesta käytettyä 0,17 m³/s, vaikuttaisi tämä selvästi jo lopulliseen purkulämpötilaan. Lopullinen jäähdytysvesien purkulämpötila olisi tällöin

$$T = \frac{1,49 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 8,7\text{ °C} + 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 32,6\text{ °C} + 0,17 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 26\text{ °C} + 0,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 51,7\text{ °C}}{(1,49 + 0,05 + 0,17 + 0,13) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 14\text{ °C}.$$

Jäähdytysveden purkulämpötilaa saataisiin laskettua 2 °C. Tämä olisi edistystä nykyiseen tilanteeseen. Täytyy kuitenkin huomioida, että todellisuudessa kalanviljelylaitoksen käyttöveden lämmitystarve riippuu käyttöveden ottolämpötilasta ja tarvittavasta virtausmäärästä. Nämä taas riippuvat siellä viljeltävistä lajeista ja

niiden määrästä, mikä vaikuttaa laitoksen kokoon sekä toimintaan. Laitoksen mitoituksesta ja vedentarpeesta riippuu, kuinka paljon jäähdytysvesiä on mahdollisuus lämmityksessä hyödyntää. Tämä taas vaikuttaa lopulliseen jäähdytysvesien purkulämpötilaan.

Kalanviljelylaitos toisi uutta työtä sekä paikallisen uuden yrityksen alueelle. Jäähdytysvesien lämpöenergia saataisiin hyötykäyttöön. Vastaavanlaisesta yhteistyöstä löytyy jo aikaisempaa toimivaa kokemusta. Tällaisen hankkeen vuoksi voi olla mahdollista myös saada EU-tukea kuten Imatralla (49). Näiden syiden vuoksi tätä vaihtoehtoa kannattaa tutkia tarkemmin ja mahdollisia yhteistyökumppaneita kartoittaa.

5.3 Jäähdytystornit ja viipymäaltaat

Mikäli jäähdytysvesille ei löydetäisi mitään järkevää käyttökohdetta ja kannattavaa investointia mutta lopullista jäähdytysveden purkulämpötilaa tulisi saada laskettua, olisi yksi mahdollisuus käyttää jäähdytystorneja tai viipymäaltaita. Jäähdytystorneissa prosesseissa lämminnyttä vettä on mahdollisuus jäähdyttää haihduttamalla osa vedestä ilmaan. Tämä tapahtuisi johtamalla jäähdytysvesi tornin sisässä olevaan haihdutuskennoon. Haihdutuskennoissa oleva vesi joutuu tekemisiin sinne puhaltimilla johdetun ilman kanssa, jolloin tapahtuu haihtumista. Jäähdytystorneja on saatavilla useita malleja ja eri materiaaleista teollisuuskokoluokkaan asti. Ne on suunniteltu pitkäikäisiksi ja helppohuoltoisiksi. Laskennallinen mitoittaminen kuuluu yleensä jäähdytystornin toimittajan tehtäviin. (51.) Kuvassa 25 on nähtävillä yhdenlainen jäähdytystorni teollisuusalueella.



KUVA 25 Jäähdytystorni (51)

Jäähdytystorneja olisi saatavilla monilta eri valmistajilta biojalostamon tarvitsemalle kokoluokalle saakka. Mikäli ympäristölupa vaatii jäähdytysvesien purkulämpötilaa saada laskettua eikä kannattavia hyötykäyttökohteita löydy, tulee jäähdytystornien hankintaa harkita. Tätä on jo ennalta mietitty biojalostamon osalta. Yhdeksi mahdolliseksi ongelmaksi on todettu mm. suuret investointikustannukset, joiden on arvioitu olevan vähintäänkin miljoona euroa (52).

Toinen vaihtoehto voisi olla jäähdytysveden pitäminen viipymäaltaissa ennen johtamista takaisin vesistöön. Viipymäaltaissa jäähdytysvesi jäähtyisi ympäröivän ilman vaikutuksesta. Talvella tulee jäätymisriksi huomioida. Jäähdytysveden suuren virtausmäärän vuoksi altaiden koon tulisi olla myös suuri, mikä voi olla ongelmallista investointia mietittäessä.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kartoittaa käyttömahdollisuuksia jäähdytysveden sisältämälle lämpöenergialle Kemijärven biojalostamossa. Käyttömahdollisuuksia esiintuomalla Boreal Bioref Oy:llä on mahdollisuus tutkia tarkemmin potentiaalisimpia vaihtoehtoja ja toteuttaa niitä käytännössä. Lämpöenergian hyötykäytöllä saataisiin jäähdytysveden purkulämpötilaa laskettua, biojalostamon energiankäytön tehokkuutta parannettua ja lämpökuormaa takaisin vesistöön pienennettyä.

Jäähdytysveden sisältämää lämpöenergiaa ei ole kannattavaa siirtää kauas tai varastoida matalan lämpötilan vuoksi. Kauas siirtäminen lisäisi lämpöhäviöitä ja investointikustannuksia. Mikäli lämpötilat jäävät liian alhaisiksi erilaisia käyttökohteita varten, voidaan lämpötiloja nostaa lämpöpumppujen avulla. Lämpöpumput lisäävät kuitenkin investointikustannuksia ja sähkön käyttöä. Mikäli jäähdytysvedelle ei löydy kannattavaa hyödyntämismahdollisuutta, sitä voisi viilentää jäähdytystorneissa tai viipymäaltaissa ennen purkua takaisin vesistöön.

Jäähdytysveden lopullinen purkulämpötila on 16 °C. Se koostuu kuitenkin monista eri prosessin osista tulevista jäähdytysvesistä. Alle 40 °C:ssa palaavia jäähdytysvesiä on suurin osa jäähdytysveden kokonaisvirtaamasta. Niiden keskilämpötila on kuitenkin vain 9,5 °C, minkä vuoksi niille ei ole juuri käyttömahdollisuuksia sellaisenaan. Yli 40 °C:ssa palaavia jäähdytysvesiä tulee 0,30 m³/s keskilämpötilassa 51,7 °C. Tämä lämpötila riittää sellaisenaan jo erilaisiin lämmitysratkaisuihin, mikäli ne on teknisesti mahdollista toteuttaa. Tämän vuoksi pääpaino työssä on pidetty kuumimpina palaavissa jäähdytysvesissä.

Kuumimpina palaavien jäähdytysvesien mahdollista käyttöä tulisi ehdottomasti tutkia tarkemmin. Työssä on todettu niitä voitavan käyttää mm. kiinteistöjen lämmityksessä, piha-alueen sulanapidossa, raaka-aineen kuivauksessa sekä kaukolämmön paluuv veden lämmityksessä. Kuumimpina palaavien jäähdytysvesien sisältämä lämpöenergia voitaisiin siirtää lämmönsiirtimillä kiinteistöjen lämmitysverkoston, kuten lattialämmitys- tai patteriverkoston. Samalla tavalla voitaisiin lämpöenergiaa siirtää piha-alueen sulanapitojärjestelmään, kaukolämmön paluuveteen tai biojalostamon ulkopuolelle johtamalla lämpöä yhteistyökumppanille.

Yhteistyökumppaneita voisivat olla esimerkiksi kasvihuone, urheiluhalli tai kalanviljelylaitos. Lisäksi jäähdytysvesien lämpöenergiaa voisi siirtää lämmönsiirtimellä lämmitysilmään raaka-aineen kuivauksessa. Kaikkia näitä vaihtoehtoja kannattaisi tutkia tarkemmin, sillä kuumimpina palaavilla jäähdytysvesillä olisi potentiaalia kyseisiä käyttötarkoituksia varten. Kannattavuuteen vaikuttavat mm. korvattavan lämpöenergian hinta, investointien suuruus ja toteutuksen mahdollisuus. Nämä asiat tulee huomioida ratkaisuja mietittäessä.

Jäähdytysvesien käyttö on sitä kannattavampaa, mitä lähempänä niitä voidaan käyttää. Mikäli jäähdytysvedellä saadaan korvattua ostoenergiaa, tuo se myös säästää ja parantaa energiankäytön tehokkuutta. Kuumimpina palaavien jäähdytysvesien hyötykäytöllä saataisiin selvimmin jäähdytysveden lopullista purkulämpötilaa laskettua. Lämpöpumppaus on myös kannattavampaa kuumimpia jäähdytysvesiä käytettäessä, koska lämpötilan noston ei tarvitse olla yhtä korkea kuin viileämpiä jäähdytysvesiä käytettäessä lämmönlähteenä.

Piha-alueen sulanapidolla säästettäisiin auras- ja hiekoituskuluissa. Se toisi myös turvallisuutta liukastumisriskin pienentyessä. Raaka-aineen kuivauksella parannettaisiin raaka-aineen lämpöarvoa. Erilaisten tilojen lämmityksessä ostoenergia voitaisiin korvata jäähdytysvedestä saatavalla lämpöenergialla. Kaukolämmön paluuvettä lämmittämällä lämpölaitos säästäisi lämmitystehontarpeessa. Muun muassa näiden syiden vuoksi jäähdytysveden käyttöä kyseisissä ratkaisuissa kannattaisi tutkia.

Yhteistyönä biojalostamo voisi siirtää lämpöä jäähdytysvesistä. Tämä vaatisi kuitenkin yhteistyöyrityksen perustamista biojalostamon lähimaastoon, jottei lämpöä jouduttaisi siirtämään kauas. Tämä rajoittaa yrityksen sijaintia ja sitä kautta toimintaa. Vastaavanlaisesta yhteistyöstä on kuitenkin jo aiempaa toimivaa kokemusta esimerkiksi kalanviljelystä, minkä vuoksi tätä mahdollisuutta kannattaa tutkia ja yhteistyömahdollisuuksia kartoittaa. Kalanviljelylaitoksen lämmittämisen lisäksi biojalostamon jäähdytysvesillä voitaisiin lämmittää esimerkiksi kasvihuonetta tai urheiluhallia.

Mikäli kuumimpina palaavien jäähdytysvesien lämpötilat eivät riittäisi kattamaan koko lämmitystehontarvetta tai huipputehoa, voitaisiin käyttää lämpöpumppuja

apuna. Lämpöpumppujen käyttö olisi perusteltua, mikäli lämpöpumppuratkaisu voitaisiin toteuttaa hyvällä hyötysuhteella ja lämpötilojen nosto olisi tarpeen jäähdytysvesien osalta. Mitä suurempi lämpötilan noston tulisi olla, sitä huonommalla hyötysuhteella lämpöpumppu toimisi. Lämpöpumpuilla tuotettavalla lämpöenergialla tulee saada vähintään katettua niihin kulutetun sähköenergian osuus, jotta lämpöpumppaus olisi millään tavalla kannattavaa.

LÄHTEET

1. Tuominen, Raimo 2018. Projektijohtaja, Boreal Bioref Oy. VS: Opinnäyte. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Janne Palojärvi. 05.03.2018.
2. Kemijärven biojalostamo. Boreal Bioref Oy. Saatavissa: <http://www.borealbioref.fi/fi/>. Hakupäivä 24.01.2018.
3. Merkitys. Boreal Bioref Oy. Saatavissa: <http://www.borealbioref.fi/fi/merkitys/>. Hakupäivä 24.01.2018.
4. Toiminta. Boreal Bioref Oy. Saatavissa: <http://www.borealbioref.fi/fi/toiminta/>. Hakupäivä 24.01.2018.
5. Metsät. Boreal Bioref Oy. Saatavissa: http://www.borealbioref.fi/fi/biojalostamo_ja_metsat/. Hakupäivä 24.01.2018.
6. Sijoittajalle. Boreal Bioref Oy. Saatavissa: <http://www.borealbioref.fi/fi/sijoittajalle/>. Hakupäivä 24.01.2018.
7. Kemijärven biojalostamon ympäristövaikutusten arviointiselostus. 2017. Boreal Bioref Oy. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/kemijarvenbiojalostamoYVA>. Hakupäivä 25.01.2018.
8. Tuotannon ylijäämälämpö hyödyksi. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/yriytykset/ohjeita_ja_vinkkejä/tuotannon_ylijaamalampo_hyodyksi. Hakupäivä 27.02.2018.
9. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf. Hakupäivä 27.02.2018.
10. Vesikiertoisen lattialämmityksen perusteet. 2011. Danfoss. Käsikirja. Saatavissa: http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/Handbook_Introduction_VGDYA220_hi-res.pdf. Hakupäivä 27.02.2018.
11. Hankalin, Ville – Nummelin, Jaakko – Raiko, Markku 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Polttoaineen kuivatustekniikat. Helsinki: Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10215/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Polttoaineen_kuivatustekniikat.pdf. Hakupäivä 12.03.2018.

12. Virrankoski, Reino 2001. Lämpö ja energia. Lämpeneminen. Opetushallitus. Etälukio. Saatavissa: <http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/fysiikka4/>. Hakupäivä 14.03.2018.
13. Maaskola, Ilkka – Kataikko, Matti 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Helsinki: Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-ja_ORC-sovellukset.pdf. Hakupäivä 16.03.2018.
14. Juvonen, Janne 2009. Lämpökaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38833/YO_2009_Lampokaivo_26_4_2011.pdf?sequence=1. Hakupäivä 20.03.2018.
15. Aittomäki, Antero – Aalto, Esa – Alijoki, Tapio – Hakala, Pertti – Hirvelä, Aulis – Kaappola, Esko – Mentula, Jukka – Seinelä, Altti 2012. Kylmäteknikka. 4. painos. Porvoo: Bookwell Oy.
16. Eckert, Hans-Jurgen – Maake, Walter 1988. Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik. Band 1: Grundlagen und Anwendung. 17., neu bearbeitete, erweiterte Auflage. Karlsruhe: Muller.
17. Sadeharju, Katri 2014. Maakaasukäyttöisten polttomoottorivoimalaitosten pakokaasujen lämmöntalteenotto. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Saatavissa: <http://docplayer.fi/4051102-Katri-sadeharju-maakaasukayttoisten-polttomoottorivoimalaitosten-pakokaasujen-lammontalteenotto-diplomityo.html>. Hakupäivä 20.03.2018.
18. Teollisuuslämpöpumput. Calefa. Saatavissa: <http://www.calefa.fi/fi/palvelut/teknologiat/lampopumput/>. Hakupäivä 22.03.2018.
19. Hirvelä, Aulis – Jokela, Matti – Kaappola, Esko – Kianta, Jani 2014. Kylmäteknikan perusteet. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
20. Kurki, Tiina-Leena 2015. Oulujoelle tehdään jääkantta estämään suppöjän muodostumista. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8529820>. Hakupäivä 13.02.2018.

21. Oulujoen suistoalueen hyytöriskistä. 2004. Oulun Energia. Oulun kaupunki, tekninen keskus. Esiselvitys. Saatavissa: [http://oulu.ouka.fi/tekni-
nen/lasaretinvayla/08_selvitys/05_Oulujokisuisto_hyytoriski.pdf](http://oulu.ouka.fi/tekni-
nen/lasaretinvayla/08_selvitys/05_Oulujokisuisto_hyytoriski.pdf). Hakupäivä 28.03.2018.
22. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 29.03.2018.
23. Energiatehokkuus 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystekohontarpeen laskenta. Ohjeet 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>. Hakupäivä 02.04.2018.
24. Eskola, Lari – Jokisalo, Juha – Siren, Kai 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C6F909138CB26%7D/30757>. Hakupäivä 03.04.2018.
25. Bailey, Margaret – Boettner, Daisy – Moran, Michael – Shapiro, Howard 2012. Principles of Engineering Thermodynamics. 7th edition. Aasia: John Wiley & Sons, Inc.
26. Kannattavuuslaskuri. Calefa. Saatavissa: <http://www.calefa.fi/fi/kannattavuuslaskuri/>. Hakupäivä 03.04.2018.
27. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. 2017. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi. Hakupäivä 05.04.2018.
28. Tulistusmaalämpöpumppu Geopro SH. Suomalaisessa maaperässä on erityistä lämpöä. Oilon Home Oy. Saatavissa: https://oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Materials/Oilon_Geopro_SH_FI.pdf. Hakupäivä 05.04.2018.

29. D1 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet 2007. D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: https://www.finlex.fi/data/normit/28208/D1_2007.pdf. Hakupäivä 06.04.2018.
30. Puuntuottaja 2014. Kiintokuutiosta puuta tulee 113 eurolla sellua. Saatavissa: <http://www.puuntuottaja.com/kiintokuutiosta-puuta-tulee-113-eurolla-sellua/>. Hakupäivä 13.04.2018.
31. Salo-Kauppinen, Riitta 2017. Metsähake kuivaksi keinokuivurilla. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <https://www.luke.fi/mt-metsahake-kuivaksi-keinokuivurilla/>. Hakupäivä 13.04.2018.
32. Pöyliö, Ari 2018. Toimitusjohtaja, Kemijärven lämpö ja vesi Oy. VS: Opin näytetyö. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Janne Palojärvi. 28.03.2018.
33. Puun kosteus. 2018. Bioenergianeuvoja. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus/>. Hakupäivä 13.04.2018.
34. Raitila, Jyrki 2016. Puun keinokuivauksen perusteet ja aurinkoenergian käyttö kuivauksessa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: <http://www.pikes.fi/documents/89847/4595395/Puun+keinokuivauksen+perusteet+Raitila.pdf/d50b76ea-f6c3-457e-86fa-5f4cdc49e922>. Hakupäivä 18.04.2018.
35. Hiltelä, Juha – Kauppinen, Veli-Pekka – Koisti, Olli-Pekka – Kouki, Jyrki – Lappi, Markku – Maunula, Lasse – Raitila, Jyrki – Viirimäki, Juha – Vilkkilä, Hannu – Vuorio, Kari – Wikberg, Anders 2014. Puupolttoaineen kuivuriopas. Suomen metsäkeskus. Vammalan kirjapaino Oy: Vammala. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/kuivuriopas-web.pdf>. Hakupäivä 18.04.2018.
36. Kirjavainen, Miikka – Kivikoski, Harri – Ritola, Jouko – Sipilä, Kari 2001. Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät. Energiatalous ja tekninen toteutus. Kesäkeli-projekti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT: Espoo. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf>. Hakupäivä 18.04.2018.
37. Bioenergianeuvoja 2018. Energia-arvot ja muuntokertoimia. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia/>. Hakupäivä 22.04.2018.

38. Hakkeen myynti. Ruutana Heating Oy. Saatavissa: <https://www.ruutana-heating.fi/palvelut/hakkeen-myynti>. Hakupäivä 22.04.2018.
39. Kemijärven kaukolämpöverkko. 2006. Laatija Planora Oy Oulu. Tilaaja Kemijärven Kaukolämpö Oy.
40. Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2015. 2016. Energiateollisuus ry. Kaukolämpö. Saatavissa: https://energia.fi/files/1168/Johtorakennuskustannukset_2015.pdf. Hakupäivä 24.04.2018.
41. Mäntymäki, Varpu 2017. ”Tryffelien kasvatus ei ole salatiedettä” – suomalaiset villiintyivät maailman himotuimmasta ruokasienestä. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9874648>. Hakupäivä 24.04.2018.
42. Westerlund, Kim 2005. Kasvihuoneiden energiankulutus Suomessa. Raportti. Tilaaja: Motiva. Vaasa: Svenska Yrkehögskolan. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/2381/Kasvihuoneiden_energiankulutus_Suomessa_24082005.pdf. Hakupäivä 24.04.2018.
43. Happonen, Kari 2017. ”Suomessa Euroopan halvimmat tomaatit” – Yli-
tuotanto painoi hinnan alas. Aamulehti, kotimaa. Saatavissa: [https://www.aamulehti.fi/kotimaa/suomessa-euroopan-halvimmat-tomaatit-yli-
tuotanto-painoi-hinnan-alas-200256477/](https://www.aamulehti.fi/kotimaa/suomessa-euroopan-halvimmat-tomaatit-yli-
tuotanto-painoi-hinnan-alas-200256477/). Hakupäivä 24.04.2018.
44. Pöntinen, Anu 2016. Suomalaisen kurkun tuotanto on juuri nyt huipussaan – sähköä kuluu päivässä enemmän kuin omakotitalossa vuodessa. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8607081>. Hakupäivä 24.04.2018.
45. Lämmönjakokeskus. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: [https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampopalvelut/lampoa-
palvelut/lammonjakokeskus](https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/lampopalvelut/lampoa-
palvelut/lammonjakokeskus). Hakupäivä 24.04.2018.
46. Liikuntahalli. 2018. Sodankylä. Saatavissa: <http://www.sodankyla.fi/kulttuuri-ja-vapaa-ajan-palvelut/Pages/Liikuntahalli.aspx>. Hakupäivä 25.04.2018.
47. Sodankylän liikuntahalli. 2012. Rakennusfakta. Saatavissa: <http://www.rakennusfakta.fi/sodankylan-liikuntahalli/project.html>. Hakupäivä 25.04.2018.

48. Palvelusektorin ominaiskulutuksia. 2018. Motiva. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/13560/Palvelusektorin_ominaiskulutukset_2010-2016.pdf. Hakupäivä 25.04.2018.
49. Teollisuuden hukkalämpö hyötykäyttöön sammen ja monnin viljelyssä. 2002. Päivitetty 04.06.2008. Ylen Ympäristötietokeskus. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-5123062>. Hakupäivä 25.04.2018.
50. Kaviaaria paperitehtaan takapihalta – kalat kasvavat hukkalämmössä. 2009. Tekniikka&Talous. Kalankasvatus. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2009-05-16/Kaviaaria-paperitehtaan-takapihalta---kalat-kasvavat-hukkal%C3%A4mm%C3%B6ss%C3%A4-3273329.html>. Hakupäivä 25.04.2018.
51. Jäähdytystornit. 2018. Kaiko Oy. Saatavissa: <http://www.kaiko.fi/fi/tuotteet/1/jaahdytystornit>. Hakupäivä 26.04.2018.
52. Tuominen, Raimo 2018. Projektijohtaja, Boreal Bioref Oy. Opinnäytetyö. Puhelinkeskustelu. 05.03.2018.

LIITTEET

Liite 1 Calefan lämpöpumpputarjous versio 1 (26.)

Liite 2 Calefan lämpöpumpputarjous versio 2 (26.)

Liite 3 Calefan lämpöpumpputarjous versio 3 (26.)

Liite 4 Calefan lämpöpumpputarjous versio 4 (26.)

Liite 5 Calefan lämpöpumpputarjous versio 5 (26.)

Liite 6 Calefan lämpöpumpputarjous versio 6 (26.)

4/5/2018

Calefa - Kannattavuuslaskuri

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	1 840.0 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	16 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	84 806 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	22 690 kW
Sähkön kulutus vuodessa	198 765 MWh
Sähköä vuodessa	9 938 267 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	104 952 kW
Lämpötila neste	40 °C
Lämpöpumpun COP	5.2
Lämpöenergia vuodessa	919 375 MWh
Lämpöenergian arvo	55 162 529 €

Säästö vuodessa	45 224 262 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	0.4 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	19 422 544 €*

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusiutuvaa energiaa ja energian kulutusta vähentäville hankkeille on haettavissa investoitetukia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö
 puh. +358 44 723 3347
 antti.porkka@calefa.fi

we renew your energy

4/5/2018

Calefa - Kannattavuuslaskuri

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	1 840.0 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	16 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	84 806 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	31 767 kW
Sähkön kulutus vuodessa	278 279 MWh
Sähköä vuodessa	13 913 944 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	114 028 kW
Lämpötila neste	60 °C
Lämpöpumpun COP	3.9
Lämpöenergia vuodessa	998 889 MWh
Lämpöenergian arvo	59 933 341 €

Säästö vuodessa	46 019 397 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	0.5 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	24 110 304 € *

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusiutuvaa energiaa ja energian kulutusta vähentäville hankkeille on haettavissa investoitetukia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö
 puh. +358 44 723 3347
 antti.porkka@calefa.fi

we renew your energy

4/5/2018

Calefa - Kannattavuuslaskuri

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	920.0 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	16 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	42 403 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	11 345 kW
Sähkön kulutus vuodessa	99 383 MWh
Sähköä vuodessa	4 969 134 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	52 476 kW
Lämpötila neste	40 °C
Lämpöpumpun COP	5.2
Lämpöenergia vuodessa	459 688 MWh
Lämpöenergian arvo	27 581 265 €
Säästö vuodessa	22 612 131 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	0.4 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	9 725 022 € *

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusiutuvaa energiaa ja energian kulutusta vähentävillä hankkeilla on haettavissa investoitusavustuksia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö
 puh. +358 44 723 3347
 antti.porkka@calefa.fi

we renew your energy

4/5/2018

Calefa - Kannattavuuslaskuri

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	920.0 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	16 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	42 403 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	15 883 kW
Sähkön kulutus vuodessa	139 139 MWh
Sähköä vuodessa	6 956 972 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	57 014 kW
Lämpötila neste	60 °C
Lämpöpumpun COP	3.9
Lämpöenergia vuodessa	499 445 MWh
Lämpöenergian arvo	29 966 671 €

Säästö vuodessa	23 009 699 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	0.5 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	12 068 902 € *

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusiutuva energia ja energian kulutusta vähentäville hankkeille on haettavissa investoitusavustuksia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö
puh. +358 44 723 3347
antti.porkka@calefa.fi

we renew your energy

4/5/2018

Calefa - Kannattavuuslaskuri

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	1 840.0 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24.0 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	16 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	84 806 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	30 507 kW
Sähkön kulutus vuodessa	267 242 MWh
Sähköä vuodessa	13 362 112 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	112 769 kW
Lämpötila neste	58 °C
Lämpöpumpun COP	4.0
Lämpöenergia vuodessa	987 852 MWh
Lämpöenergian arvo	59 271 144 €

Säästö vuodessa	45 909 031 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	0.5 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	23 546 506 € *

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusitutavaa energiaa ja energian kulutusta vähentäville hankkeille on haettavissa investoitetukia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö
puh. +358 44 723 3347
antti.porkka@calefa.fi

we renew your energy

4/18/2018

Calefa - Kannattavuuslaskuri

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	1 840.0 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	2.7 h/vuorok.
Prosessin käyttöaika vuodessa	1000 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	16 °C
Lämpötila talteenoton jälkeen	5 °C
Hukkaenergian lämpöteho	84 806 kW

Laitteiston energian kulutus

Sähköteho	22 690 kW
Sähkön kulutus vuodessa	22 690 MWh
Sähköä vuodessa	1 134 505 €

Saatava hyöty

Lämpöteho	104 952 kW
Lämpötila neste	40 °C
Lämpöpumpun COP	5.2
Lämpöenergia vuodessa	104 952 MWh
Lämpöenergian arvo	6 297 092 €

Säästö vuodessa	5 162 587 €
Investoinnin takaisinmaksuaika	3.8 vuotta
Investoinnin hinta Calefan toteutuksella	19 422 544 € *

Hinta sisältää täydellisen Caleri® Energiakierrätysjärjestelmän, asiakaskohtaisen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Caleri® Energian kierrätysjärjestelmä:

- Energiasieppari
- Energiasovitin
- Lämpöpumppu
- Putkisto varusteineen
- Automaatio ja sähköistys

Huom! Uusiutuvaa energiaa ja energian kulutusta vähentäville hankkeille on haettavissa investoitetukia. Niillä saattaa olla merkittävä vaikutus investoinnin takaisinmaksu-aikaan. Lisätietoja Calefan asiantuntijoilta sekä ELY-keskuksesta ja Motivasta.

* lopulliseen investointikustannukseen vaikuttaa mm. etäisyydet, sijainti, automaation taso

Calefa Oy ei vastaa näiden tulosten oikeellisuudesta.

Lisätietoja:

Antti Porkka, myyntipäällikkö
puh. +358 44 723 3347
antti.porkka@calefa.fi

we renew y our energy