



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SELVITYS KAUKOLÄMMÖNSIIRTIMIEN UUSIMISESTA

TEKIJÄ: Jasse Väyrynen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jasse Väyrynen	
Työn nimi Selvitys kaukolämmönsiirtimien uusimisesta	
Päiväys 7.4.2015	Sivumäärä/Liitteet 24/0
Ohjaaja(t) Savonia: Ritva Käyhkö ja Heikki Salkinoja Fortum Power and Heat Oy: Pertti Tuhkanen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Fortum Power and Heat Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Fortum Power and Heat Oy Joensuun voimalaitos. Työn tarkoituksena oli kartoittaa voimalaitoksen nykyisten kaukolämmönsiirtimien mahdolliset uusimisvaihtoehdot, nykykunto huomioon ottaen ja selvittää optimaalisin vaihtoehto Joensuun voimalaitokselle. Uusimisvaihtoehtoja selvitettiin kontaktoimalla eri laitetoimittajia ja -valmistajia sekä alan asiantuntijoita. Kartoitukseen sisältyi eri uusimisvaihtoehtojen budjettitarjousten koordinointi laitevalmistajilta vertailua varten.</p> <p>Kaukolämmönsiirtimien mahdollisiksi uusimistavoiksi muodostui neljä eri vaihtoehtoista toteutusmallia: 1. Vanhojen lämmönsiirtimien uudelleenputkitus pelkkien putkien osalta, 2. Putkiryhmien vaihto uusilla pääty- sekä välilevyillä varustettuna kokonaiskomponenttina vanhoihin lämmönsiirtimiin, 3. Vanhojen putkilämmönsiirtimien korvaaminen kokonaan uusilla putkilämmönsiirtimillä tai 4. Vanhojen putkilämmönsiirtimien korvaaminen levylämmönsiirtimillä. Selvityksen tuloksena kannattavin uusimisvaihtoehto Joensuun voimalaitoksen tilanteeseen olisi vanhojen lämmönsiirtimien putkiryhmien vaihto kokonaiskomponenttina väli- ja päätylevyineen paikallaan oleviin vanhoihin runkoihin.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatu selvitys auttaa Fortum Power and Heat Oy Joensuun voimalaitosta tekemään kaukolämmönsiirtimien uusimiseen liittyviä ratkaisuja tarvittaessa nopeallakin aikataululla nykyisten lämmönsiirtimien kunnon heikentyessä laitoksen ajokauden aikana.</p>	
Avainsanat Kaukolämpö, kaukolämmönsiirrin, kaukolämmönvaihdin, lämmönsiirrin	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Jasse Väyrynen			
Title of Thesis The renewal of the district heat exchangers			
Date	7.4.2015	Pages/Appendices	24/0
Supervisor(s) Savonia: Ritva Käyhkö ja Heikki Salkinoja Fortum Power and Heat Oy: Pertti Tuhkanen			
Client Organisation /Partners Fortum Power and Heat Oy			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was commissioned by Fortum Power and Heat Oy, Joensuu power plant. The purpose of the thesis was to survey options of renewal for existing district heat exchangers of Joensuu power plant and to determine the most optimal option for Joensuu power plant. Options of renewal were investigated by contacting and interviewing various equipment suppliers and manufacturers, as well as experts in the field. The investigation included the coordination of budget offers from manufacturers for comparison of different options.</p> <p>For the renewal of heat exchangers it was found four different alternative implementation models in the investigation: 1. Re-piping the old heat exchanger, 2. Changing tube groups with new partitions and headboards to old heat exchangers, 3. Replacing the old tube heat exchangers by brand-new tube heat exchangers or 4. Replacing old tube heat exchangers by plate heat exchangers. The conclusion was that the most profitable option for renewal for Joensuu power plant would be changing tube groups with new partitions and headboards to old heat exchangers.</p> <p>The results of the investigation in this thesis will help Fortum Power and Heat Oy Joensuu power plant to make solutions for renewal with rapid schedule if it is necessary.</p>			
Keywords District heat, district heat exchanger, heat exchanger			

TERMISTÖJEN SELITYKSET

Tuubit= lämmönsiirtoputket lämmönsiirtimessä

Törmäyslevy= höyryn ohjauslevy

Putki-/Reikälevyt= putkilämmönsiirtimien päätylevyt, joissa lämmönsiirtoputkien päät ovat kiinnitettynä.

Takuupiste d=Tietyille ajoarvoille määritelty ja sopimus pohjaisesti hyväksytty toimintapiste laitteelle

MW= megawatti

Asteisuus= kaukolämmönsiirtimissä höyryn lauhtumislämpötilan sekä poistuvan kaukolämpöveden välinen lämpötilaero. Tyypillisesti 1-3 °C.

Fluidi= virtaava väliaine

KKS-tunnus= voimalaitoksissa käytössä olevassa laitteiden ja piirien positiointijärjestelmässä eli KKS-järjestelmässä (Kraftwerk Kennzeichen –System) muodostetaan kullekin laitteelle oma KKS-tunnuksensa, jota käytetään laitteen tekniseen tunnistamiseen, sijainnin määrittelyyn ja tilojen tunnistamiseen. Lyhimmillään KKS-tunnus on 12 merkkiä ja pisimmillään 19 merkkiä pitkä.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	FORTUM OYJ	7
2.1	Joensuun voimalaitos	7
3	KAUKOLÄMMITYS.....	9
3.1	Kaukolämmön tuotanto	9
3.2	Joensuun voimalaitoksen kaukolämpöjärjestelmä	9
4	LÄMMÖNSIIRTIMET KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOSSA.....	12
4.1	Putkilämmönsiirrin	12
4.2	Levylämmönsiirrin	13
4.3	Spiraalilämmönsiirrin	14
4.4	Lämmönsiirtimien kunnossapito ja huolto	15
5	KAUKOLÄMMÖNSIIRTIMIEN UUSINNAN KARTOITUS.....	16
5.1	Uusimisvaihtoehdot.....	16
5.2	Uusimisvaihtoehtojen vertailu	18
5.2.1	Uudelleenputkitus	18
5.2.2	Uusi putkiryhmä	19
5.2.3	Levylämmönsiirrin	19
5.2.4	Uudet putkilämmönsiirtimet	19
6	YHTEENVETO.....	21
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	23

1 JOHDANTO

Joensuun voimalaitoksen kaukolämmönsiirtimet on otettu käyttöön uutena laitoksen käyttöönoton yhteydessä vuonna 1985. Ne olivat säilyttäneet toimintavarmuutensa hyvin aina 2000-luvulle saakka, jolloin ikääntyminen oli tullut vastaan ja eroosio sekä korroosio oli alkanut syödä lämmönsiirtimiä sisäpuolelta. Törmäyslevy oli kulunut puhki ja myös lämmönsiirtoputkia oli alkanut katkeilla sekä reikiintyä. 2000-luvulla vuotavia putkia alettiin poistamaan käytöstä, tulppaamalla ne päädyistään. Näin edettiin vuoteen 2008 saakka, jolloin tuli aika peruskorjata lämmönsiirtimet. Kaukolämmönsiirtimet päätettiin korjata putkittamalla ne uudelleen vanhoihin reikälevyihin. Lämmönsiirtoputket vaihdettiin työntämällä ne vanhojen putkien tilalle reikälevyihin, jonka jälkeen suoritettiin kevyt mankelointi sekä tiivistehitsaus. Vuoden 2008 lämmönsiirtoputkien vaihdon jälkeen kaukolämmönsiirtimet toimivat muutaman vuoden ilman suurempia ongelmia. Vähitellen vuosien kuluessa kuitenkin ongelmat alkoivat palaamaan. Lämmönsiirtoputket alkoivat vuotamaan päätylevyn kohdalta eli hitseistään. Vuodot olivat näin ollen eri paikassa, kuin ennen uudelleenputkitusta. Kesällä 2014 lämmönsiirtoputkille suoritettiin uudelleen mankelointi. Mankeloinnin jälkeen putkien päät laajenivat, jolloin ne tiivistyivät paremmin reikälevyä vasten ja pahimmat vuodot saatiin tyrehdytettyä. Tämän mankeloinnin jälkeen kaukolämmönsiirtimissä on havaittu jonkinasteista vuotoa edelleen, mutta vuotoaste on toistaiseksi pienempää kuin ennen mankelointikorjausta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Fortum Power and Heat Oy:n Joensuun voimalaitoksen kaukolämmönsiirtimien tulevat korjaus- ja parannusmahdollisuudet sekä lämmönsiirtimien mahdolliset uusimisvaihtoehdot. Vaihtoehdot selvitettiin eri lämmönsiirrintoimittajilta ja valmistajilta sekä alan asiantuntijoilta. Tavoitteena oli, että opinnäytetyön tuloksena saadun selvityksen avulla Joensuun voimalaitos voi tehdä mahdolliset tekniset toteutusratkaisunsa lämmönsiirtimiin liittyen nopeallakin aikataululla. Opinnäytetyössä ei esitetä lämmönsiirrintoimittajien eikä –valmistajien nimiä, vaan erillinen yhteenveto toimittajista ja valmistajista toimitetaan erikseen opinnäytetyön tilaajalle. Nimet ovat eritelty opinnäytetyössä sattumanvaraisesti kirjaimin.

2 FORTUM OYJ

Fortum Oyj on suomalainen energiayhtiö, joka toimii Pohjoismaissa, Venäjällä, Puolassa sekä Baltian maissa. Yhtiön toimintaan kuuluvat sähkön- ja lämmöntuotanto, jakelu sekä myynti, voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalvelut sekä uusiutuvan energian palvelut. Fortumin päätuotteita ovat lämpö, sähkö sekä höyry. Fortumin pääkonttori sijaitsee Espoon Keilaniemessä.

Fortumin sähkö- ja lämpöliiketoiminnat ovat jaettu neljään segmenttiin. Näitä segmenttejä ovat: Power and Technology, Heat, Electricity Sales and Solutions, Russia ja Distribution. Power and Technology-segmenttiin kuuluvat ydinvoima-, vesivoima- sekä lämpövoimatuotanto ja Power Solutions, joka tarjoaa asiantuntijapalveluita. Myös tuotannon ohjaus sekä tutkimus-, kehitys- ja teknologiatoiminnot kuuluvat kyseiseen segmenttiin. Kyseinen segmentti koostuu kahdesta liiketoiminta-alueesta eli divisioonasta, joita ovat Hydro Power and Technology-divisioona sekä Nuclear and Thermal Power-divisioona.

Heat, Electricity Sales and Solutions-divisioona kattaa sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP), kaukolämpöön liittyvän liiketoiminnan sekä yritysten lämpöratkaisut. Myös aurinkovoima ja sähkön myynti kuuluvat kyseisen segmentin toimintaan. Russia-divisioona koostuu sähkön ja lämmön tuotannosta sekä myynnistä Venäjällä. Fortum omistaa myös hieman yli 25 % TGC-1:ssä eli venäläisestä osakkuusyhtiöstä ja osakkuus sisältyy Russia-divisioonan toimintaan. Distribution-divisioonan toimintaan kuuluu sähkönjakeluliiketoiminta Ruotsin alueella. (Fortum 2014)

Fortum Oyj:llä on lisäksi tytäryhtiöitä, joita on muun muassa Fortum Power and Heat Oy. Fortum Power and Heat Oy on Fortum Oyj:n omistama sähköä ja lämpöä tuottava tytäryhtiö, joka toimii Suomen lisäksi Ruotsissa, Norjassa, Venäjällä, Baltiassa sekä Britanniassa. (Fortum Power and Heat Oy 2010)

2.1 Joensuun voimalaitos

Joensuun Kontiosuolla sijaitseva voimalaitos on Fortum Power and Heat Oy:n omistama ja tyypiltään vastapainevoimalaitos. Laitos tuottaa kaukolämpöä Joensuun kaukolämpöverkkoon sekä sähköä valtakunnanverkkoon. Sähköntuotanto on noin 260 gigawattituntia vuodessa ja kaukolämmöntuotanto 510 gigawattituntia vuodessa. Joensuun kaukolämpöverkossa kokonaislämmöntarve on noin 600 gigawattituntia. Joensuun voimalaitoksen kaukolämpöteho on 110 MW ja sähköteho 50 MW.

Joensuun voimalaitoksen kattila on ollut alun perin polttotekniikaltaan ketjuarinalla varustettu turvekattila, josta se on vuonna 2000 muutettu kuplivaksi leijukerroskattilaksi. Muutos mahdollisti laajemman polttoainevalikoiman sekä auttoi päästöjen vähennyksessä merkittävästi. Pääpolttoaineina nykyisin toimivat turve ja puu. Puun osuus käytettävästä polttoaineentarpeesta on yli puolet. Voimalaitoksessa poltetaan myös läheisen Kontiosuon kaatopaikan synnyttämää biokaasua. Vara-, käynnistys- ja tukipolttoaineena käytetään lisäksi raskasta polttoöljyä. (Fortum Power and Heat Oy 2012)

3 KAUKOLÄMMITYS

Kaukolämpö eli kaukolämmitys tarkoittaa lämmitysmuotoa, jossa rakennusten sekä käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpö tuotetaan keskitetyssä kohteessa ja jaetaan kaukolämpöverkon kautta asiakkaille. Asiakkaille siirtyessään kaukolämpöä käytetään sekä rakennusten että käyttöveden lämmitykseen. (Koskelainen, Saarela ja Sipilä 2006.) Kaukolämpö on Suomen yleisin kiinteistöjen lämmitysmuoto ja sitä on ollut Suomessa jo 1950-luvulta lähtien. Kaukolämmitettyjä kiinteistöjä on Suomessa lähes jokaisessa taajamassa ja kaupungissa. Lämmitysmarkkinoilla kaukolämmön osuus on lähes 50 prosenttia. (Energiateollisuus 2014.) Ensimmäinen kokonaisen asuinalueen kattava kaukolämmitysjärjestelmä Suomessa oli Helsingin Olympiakylässä.

Kaukolämmityksen hyötyjä ovat sen varmuus, energiatehokkuus sekä ympäristöystävällisyys. Kaukolämmöntuotanto on myös jaettavissa tehokkaasti eri tuotantomuotojen kesken. (Koskelainen, Saarela ja Sipilä 2006.)

3.1 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpöä tuotetaan lämpökeskuksissa tai yhteistuotantolaitoksissa, jotka tuottavat sekä sähköä että lämpöä. Pääpolttoaineita kaukolämmöntuotannossa ovat puu, turve, maakaasu, kivihiili sekä öljy. Lämpöenergia siirretään kaukolämpöveden erillisten kaukolämmönsiirtimien avulla, joissa höyryllä lämmitetään kaukolämpövedettä. Käyttökohteisiin lämpö siirtyy kuumana kaukolämpövedenä, kaksiputkista kaukolämpöverkkoa pitkin. Kaukolämpöverkossa on meno- ja paluuputkisto. Kaukolämpövesi itsessään ei kierrä käyttökohteiden lämmitysverkossa, vaan se kulkee lämmönjakokeskuksen kautta, luovuttaen siellä lämpöenergiansa eteenpäin. Kaukolämpöveden vihreä väri johtuu väriaineesta, jota lisätään mahdollisten vuotojen ja vaurioiden paikantamisen helpottamiseksi.

Noin 75 prosenttia kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa ja loput lämpökeskuksissa. Lämpökeskuksia on tuotantorakenteeltaan erityyppisiä. Toiset lämpökeskukset käyvät lähes täydellä teholla mahdollisimman pitkään ja toiset ovat ns. huippu- ja varalämpökeskuksia, jotka tuottavat energiaa vain talvella kovilla pakkasilla tai satunnaisesti varalla. (Energiateollisuus 2014.)

3.2 Joensuun voimalaitoksen kaukolämpöjärjestelmä

Joensuun alueen kaukolämmöntuotanto koostuu Fortum Power and Heat Oy CHP-voimalaitoksen tuotannosta, voimalaitoksen vieressä olevan Kontiosuon biolämpölaitoksen

tuotannosta sekä erillisten lämpökeskusten tuotannosta, joita on kymmenen kappaletta eri puolilla Joensuuta. Joensuun kaukolämpöverkko on jaettu eri alueisiin eri kaupunginosien perusteella ja kaukolämpöveden pumppaamoiden mukaan. Laskutettavia asiakkaita Joensuun alueen kaukolämpöverkossa oli vuoden 2015 vaihteessa 2473 kappaletta. Vuonna 2014 kaukolämpöenergiaa myytiin 500510 megawattituntia.

Joensuun kaukolämmitys tuotetaan Kontiosuolla sijaitsevalla CHP- eli yhteistuotantolaitoksella. Lämpöenergiaa siirretään kaukolämpöveden Högforsin suunnitteleminen ja valmistaminen lämmönsiirtimien avulla. Lämmönsiirtimet ovat tyypiltään putkilämmönsiirtimiä ja niissä on erillinen lauhdetila eli hotwell. Lämmönsiirtimet koostuvat lämmönsiirtoputkipaketeista ja vaipasta. Vaippapuolella kiertää väliottohöyry ja putkipuolella kaukolämpövesi. Väliottohöyryllä lämmitetään kaukolämpövesi sopivan lämpöiseksi.

Joensuun voimalaitoksen kaukolämmönsiirtimien KKS- tunnuksukset ovat MAE15AC001 sekä MAE16AC001. Molempien kaukolämmönsiirtimen lämmönsiirtopinta on noin 2300 m² ja ne muodostuvat suorista lämmönsiirtoputkista, vaipasta, väli- ja päätylevyistä.

Lämmönsiirtoputket on hitsattu päädyissä oleviin putkilevyihin kiinni sekä mankeloitu kevyesti. Materiaalina on käytetty P235GH hiiliterästä ja lämmönsiirtoputkien koko on 14x1,25 mm. Lämmönsiirtoputkia on MAE15AC001 lämmönsiirtimessä 7921 kappaletta ja MAE16AC001 lämmönsiirtimessä 8845 kappaletta. Molempien kaukolämmönsiirtimien vesipuolen suunniteltu maksimipaine on 16 baria. Vaipan suunniteltu maksimipaine on 4 baria. Kuvassa 1. on esitetty Joensuun voimalaitoksen toinen kaukolämmönsiirrin pääty avattuna. Kaukolämmönsiirtimet ovat keskimäärin noin yhdeksän metriä pitkiä. Kuvassa 2. on MAE15AC001 kaukolämmönsiirtimen mitat esitettynä.

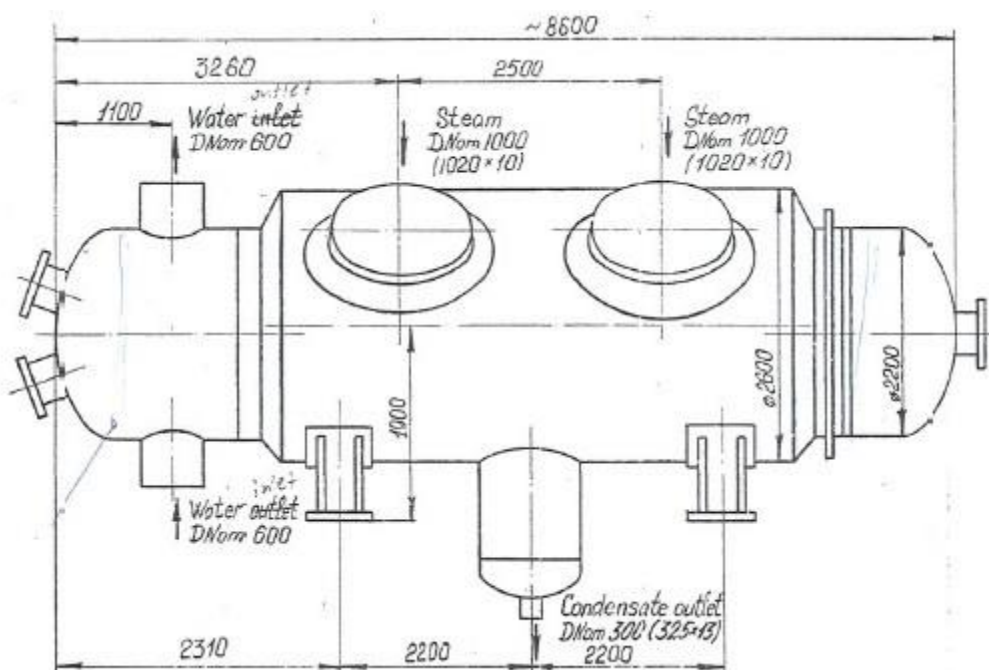
Kaukolämpöveden tilavuusvirtauksen suunnitteluarvo on 579,55 kg/s maksimilämpökuormalla 121,8 MW takuupisteessä d sekä kaukolämpöveden lämpötilan ollessa 70-120 °C. Käyttötilanteessa kaukolämmönsiirtimien tilavuusvirtaus on minimissään noin 200 kg/s ja maksimissaan noin 700 kg/s, mutta todellista tilannetta ei ole täysin todennettavissa, sillä osa kaukolämpövedestä ajetaan kaukolämmönsiirtimien ohi ja lämmönsiirtimien jälkeen ei ole virtausmittausta.

Kaukolämpöpumppuja Joensuun voimalaitoksen kaukolämpöjärjestelmässä on kaksi kappaletta ja ne on valmistettu Ahlströmin Karhulan pumpputehtaalla vuonna 1985. Pumput ovat malliltaan ZTU-40. Pumppujen teho on 600 kilowattia, tilavuusvirta Q on maksimissaan 709 l/s ja pumppauskorkeus H on 56,8 metriä. Pumppujen pyörimisnopeus n

on 1480 1/min. Kaukolämmösiirtimien sekä muiden komponenttien tekniset tiedot on otettu laitteiden tyyppikilvistä ja dokumenteista.



KUVA 1. Joensuun voimalaitoksen kaukolämmösiirtimen pääty avattuna v.2014. (Väyrynen 2015.)



KUVA 2. MAE15AC001 kaukolämmösiirtimen mitat. (Fortum Power and Heat Oy 2015.)

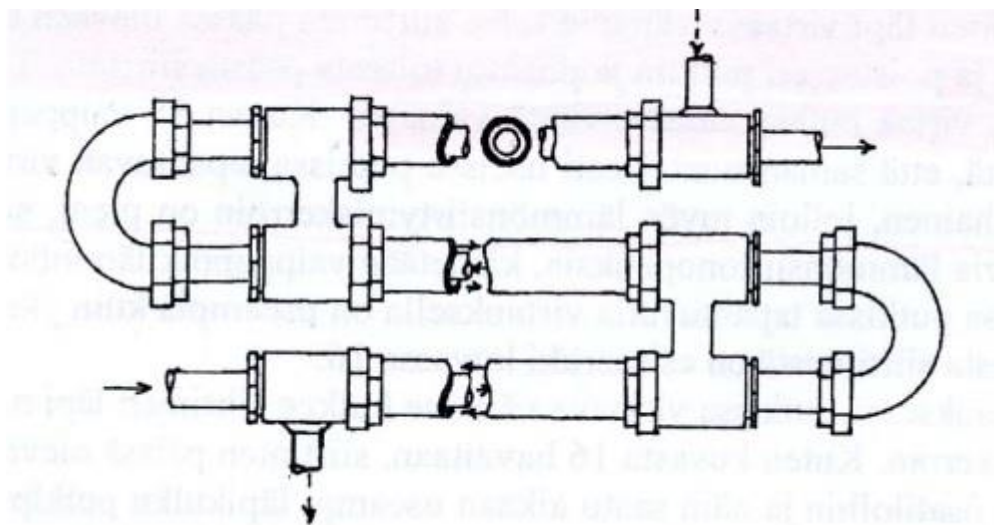
4 LÄMMÖNSIIRTIMET KAUKOLÄMMÖN TUOTANNOSSA

Lämmönsiirrin on energiatekninen komponentti, joka siirtää lämpöenergiaa fluidista toiseen (Högfors 2014). Lämmönsiirtimet voidaan jakaa rakenteensa sekä virtauksen ominaispiirteiden mukaan. On olemassa rekuperatiivisia lämmönsiirtimiä, joissa virtaa kaksi fluidia jatkuvana ja niitä erottaa erillinen lämmönsiirtopinta. (Lappeenranta University of Technology 2014.) Vaihtoehtoisesti regeneratiivisissä lämmönsiirtimissä on erillinen lämpöä varastoiva rakennelma, jonka läpi sekä kuumat että kylmät ainevirrat virtaavat vastakkaisiin suuntiin ja energiaa varastoidaan ja vapautetaan kuumasta virtauksesta kylmään. Näin ollen lämmönsiirto perustuu lämmönsiirtomateriaalin lämpökapasiteettiin. (Seppänen 2001.) Rekuperatiiviset lämmönsiirtimet voidaan jakaa lisäksi virtaussuuntansa mukaan vastavirta-, myötävirta- tai ristivirtalämmönsiirtimiin (Aalto-yliopisto 2011). Vastavirtalämmönsiirtimessä fluidit virtaavat erottavan materiaalin molemmiin puoliin vastakkaisiin suuntiin. Myötävirtalämmönsiirtimessä fluidit virtaavat samaan suuntaan ja ristivirtalämmönsiirtimessä nimensä mukaan fluidit kulkevat ristikkäin. (Seppänen 2001.) Rekuperatiivisista lämmönsiirtimistä yleisimmät lämmönsiirrintyytit ovat putkilämmönsiirrin sekä levylämmönsiirrin (University of Oulu 2014).

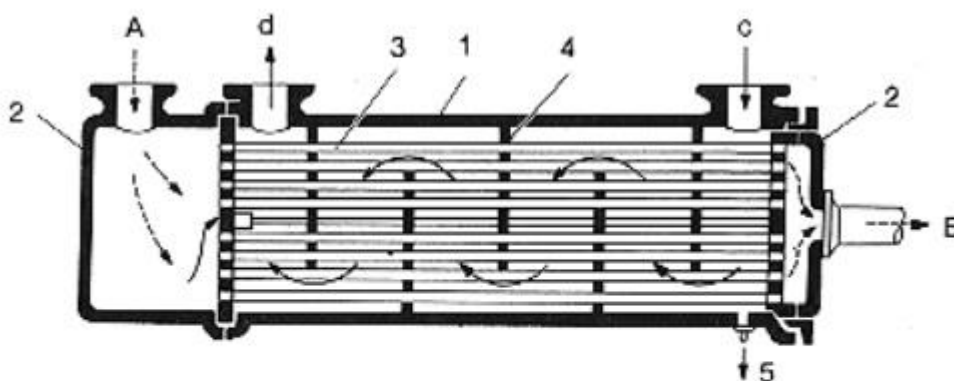
4.1 Putkilämmönsiirrin

Putkilämmönsiirrin on yleisin lämmönsiirrintyyppi korkeapaineisissa sovelluksissa eri teollisuuden aloilla. Putkilämmönsiirtimessä toinen aine virtaa putken sisällä ja toinen putken ulkopuolella. Putkilämmönsiirtimet voidaan jakaa kaksoisputkilämmönsiirtimiin, vaippaputkilämmönsiirtimiin sekä ripaputkilämmönsiirtimiin. Myös kierukkaputkilämmönsiirrin on periaatteessa putkilämmönsiirrin. Kaksoisputkilämmönsiirrin on rakenteeltaan yksinkertaisin putkilämmönsiirtimistä ja se koostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta, joissa eri väliaineet virtaavat (kuva 1). Vaippaputkilämmönsiirtimet koostuvat putkipaketista ja niitä ympäröivästä vaipasta, jotka on esitetty kuvassa 2. Fluideista toinen virtaa putkien sisällä ja toinen putkien ulkopuolella vaipassa. (Mansukoski 1975.) Vaipassa on usein myös erillisiä virtausohjaimia, joilla saadaan aikaan fluidin turbulenttinen virtaus ja näin ollen tehostetaan lämmönsiirtoprosessia. Vaippaputkilämmönsiirtimiä on sellaisia, joiden läpi väliaineet virtaavat vain kerran ja on myös sellaisia, joissa väliaineet kiertävät useamman kerran. Lämmönsiirtimeen sijoitettavilla välilevyillä saadaan putkessa oleva fluidi kiertämään useamman kerran läpi, kun lämmönsiirtimen päädyt ovat jaettu sopiviin osiin. Tällöin myös lämmönsiirto tehostuu ja nopeutuu. (Pihkala 2005.) Kierukkalämmönsiirtimessä on samankeskisiä putkia lomittain suurempien putkien joukossa ja putket ovat kierteen omaisesti vaipan sisällä. Kierukkalämmönsiirtimet ovat vahvoja

rakenteeltaan, mutta lämmönsiirtokyvyltään heikohkoja, sillä niiden lämmönsiirtopinta-ala on suhteellisen pieni. Putkilämmönsiirtimissä fluidin virtaussuunta on myötä- vasta- ja ristivirran yhdistelmä. (Barlett 1996.)



KUVA 1. Kaksoiputkilämmönsiirrin. (Mansukoski 1975.)



1. Vaippa
2. Päädyt
3. Putket
4. Virtausohjaimet
5. Lämmönvaihtimen tyhjennys

KUVA 2. Vaippaputkilämmönsiirtimen rakenne ja fluidien kulkusuunnat. (Pihkala 2005.)

4.2 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin koostuu pitkittäin asennetuista aaltolevypaketeista, joita ympäröi vahva vaipparakenne. Levyjen välissä on vastakkaisesti suuntiin kulkevat kanavat lämmintä ja kylmää fluidia varten (kuva 3). (Alfa Laval 2015.) Kuuma fluidi luovuttaa lämpöä kylmälle levyn läpi. Levypareissa tapahtuva lämmönsiirto on riippuvainen levyjen geometriasta sekä virtauksesta levyparien välissä. (Paavilainen 2012.) Levylämmönsiirtimet voidaan jakaa

tiivisteellisiin levylämmönsiirtimiin, osittain tai kokonaan hitsattuihin levylämmönsiirtimiin tai juotettuihin levylämmönsiirtimiin. Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet ovat usein avattavia kun taas kokonaan hitsatut eivät ole avattavissa. Yleisesti ottaen hitsatut levylämmönsiirtimet ovat kaikista kovimmille paineille tarkoitettuna ja kestävimpiä. Levylämmönsiirtimien hyötyjä ovat pieni ja kompakti koko ja korkea lämpöhyötysuhde. (Alfa Laval 2015.)



KUVA 3. Levylämmönsiirtimen rakenne ja virtaussuunnat. (Paavilainen 2012.)

4.3 Spiraalilämmönsiirrin

Spiraalilämmönsiirrin koostuu sen ytimen ympärille kierretyistä metalliliuskoista, joita on yleensä kahdesta neljään kappaletta. Näistä metalliliuskoista syntyvät spiraalinmuotoiset erilliset kanavat ja ympärillä on pyöreä vaippa (kuva 4). Lämpöä siirretään kanavien välillä, kun toisissa kanavissa virtaa kylmä ja toisissa kuuma fluidi. (Tranter 2015.)

Spiraalilämmönsiirrin soveltuu hyvin sitkaiden sekä likaannuttavien hiukkaspitoisten fluidien käsittelyyn, sillä se puhdistaa itse itsensä (Alfa Laval 2015). Itsepuhdistusominaisuus perustuu yksisuuntaisiin kanaviin, joiden johdosta fluidin leikkauksen nopeus kasvaa ja se puhdistaa ylimääräiset kerrostumat lämpöpinnoilta (Gooch Thermal 2014).



KUVA 4. Spiraalilämmönsiirtimen rakenne ja virtaussuunnat. (Alfa Laval 2015.)

4.4 Lämmönsiirtimien kunnossapito ja huolto

Lämmönsiirtimien jatkuva käyttö edellyttää myös tarvittavaa kunnossapitoa ja huoltotoimenpiteitä. Mikäli lämmönsiirtimet vikaantuvat, ovat riskinä kalliiksi tulevat tuotantokatkokset. Välttääkseen näitä prosessikatkoja, on lämmönsiirtimiä huollettava suunniteltujen prosessikatkojen aikana. Lämmönsiirtimien yleisin ongelma on niiden likaantuminen. Prosessiaineen mukana virtaa myös epäpuhtauksia ja niiden määrä riippuu prosessiaineen puhtaudesta. Likaantuminen vaikuttaa merkittävästi lämmönsiirtopintoihin ja näin ollen lämmönsiirtokykyyn. Kun likakerrostuma kasvaa lämpöpinnalla, lämmönsiirto heikkenee ja painehäviöt kasvavat. Spiraalilämmönsiirtimellä on kyky puhdistaa itse itseään, mutta putkilämmönsiirtimet ja levylämmönsiirtimet kaipaavat ajoittain puhdistusta. Kaikista herkin lämmönsiirintyyppi likaantumiselle on levylämmönsiirrin.

Yksinkertaisimmat tavat puhdistukseen ovat vastavirtahuuhtelu tai painepesurilla pesu. Painepesurilla pesun voi suorittaa kuitenkin vain, mikäli lämmönsiirrin on avattavissa. Tehokkain tapa puhdistaa lämmönsiirrin on kuitenkin CIP eli "Cleaning in Place". CIP tarkoittaa lämmönsiirtimen puhdistamista siihen tarkoitettulla pesulaitteistolla, jolla kierrätetään haluttua pesukemikaalia, kuten emästä tai happoa, lämmönsiirtimessä. Lämmönsiirrintä ei tarvitse avata tämän pesutoimenpiteen aikana. (Promaint 2013)

5 KAUKOLÄMMÖNSIIRTIMIEN UUSINNAN KARTOITUS

Joensuun voimalaitoksen kaukolämmönsiirtimien nykytilanne on, että vuotoja esiintyy edelleen lämmönsiirtimien tuubeissa. Tilanteesta johtuen kaukolämmönsiirtimiin kohdistuvat korjaus-, parannus- ja uusimistarpeet ovat olleet pohdinnassa ja tämän kartoituksen tuloksen on tarkoitus auttaa Fortum Power and Heat Oy:tä mahdollisessa päätöksenteossa.

Kaukolämmönsiirtimien uusinnan kartoituksessa tarkoituksena oli selvittää kaukolämmönsiirtimien mahdolliset uusimis-, parannus- ja korjausehdotukset laitetoimittajilta sekä alan asiantuntijoilta. Tarkoituksena oli myös selvittää optimaalisin uusimisvaihtoehto Joensuun voimalaitoksen tilanteeseen. Selvitystä tehtiin kontaktoimalla alan toimijoita puhelimitse, sähköpostitse sekä paikanpäällä tapaamalla. Selvitys aloitettiin tekemällä kartoitus eri laitetoimittajien kanssa keskustelemalla ja pyytämällä heidän näkemystään sekä ehdotusta korjaavista toimenpiteistä. Myöhemmin laitetoimittajille lähetettiin budjettitarjouspyynnöt, joissa heille annettiin mahdollisuus tarjota heidän parhaaksi näkemäänsä uusimisvaihtoehtoa Joensuun voimalaitokselle. Budjettitarjouspyynnöt lähetettiin seitsemälle laitetoimittajalle, joista viisi vastasi. Budjettitarjouspyyntöjä ei julkaista opinnäytetyössä. Mielipiteitä, tietoa sekä kokemuksia kerättiin useilta tahoilta, sekä alan asiantuntijoilta haastateltiin puolueettomampien mielipiteiden saamiseksi.

5.1 Uusimisvaihtoehdot

Jo opinnäytetyötä aloittaessa tiedossa oli, että kaukolämmönsiirtimien uusimisvaihtoehtoja on useita ja opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa kaikki kyseiseen sovellukseen mahdolliset vaihtoehdot ja selvittää sopivin vaihtoehto. Ennen selvityksen aloitusta toimeksiantajaa kiinnosti erityisesti vanhojen putkilämmönsiirtimien korvaaminen levylämmönsiirtimillä sekä myös vanhojen korvaaminen uusilla putkilämmönsiirtimillä tai vanhojen putkilämmönsiirtimien uudelleen putkitus. Selvityksen edetessä mahdollisiksi uusimisvaihtoehtoiksi muodostuivat nykyisten putkilämmönsiirtimien korvaaminen levylämmönsiirtimillä, nykyisten putkilämmönsiirtimien korvaaminen uusilla putkilämmönsiirtimillä, nykyisten putkilämmönsiirtimien uudelleenputkitus pelkkien lämmönsiirtoputkien osalta tai putkiryhmien uusiminen kokonaiskomponentteina uusilla väli- ja päätylevyillä varustettuna vanhoihin lämmönsiirtimien vaippoihin.

Laitetoimittaja A:n mukaan nykyisin ainoa käytännössä kannattava vaihtoehto olisi levylämmönsiirrin kyseiseen tarpeeseen. Kyseisen laitetoimittajan valikoimista löytyy vain

levylämmönsiirtimiä, joten uusimisvaihtoehtoja tarjolla on vain yksi. Laitetoimittaja B valmistaa sekä uusia putkilämmönsiirtimiä että korjaa ja uusii vanhoja. B:n edustajan mukaan vanhojen putkilämmönsiirtimien uudelleenputkitus olisi mahdollista, mutta putkipakettien välilevyjen uusiminen olisi isotoinen. Toinen kyseisen laitetoimittajan edustaja pohti onko uudelleen putkitus enää järkevää, viitaten aiemmin vuonna 2008 tehtyyn epäonnistuneeseen uudelleenputkitukseen. Hänen mukaansa nykyisten putkilämmönsiirtimien välilevyt tulisi tutkia lämmönsiirtimien sisältä syöpymien, väljyyksien ja muiden vaurioiden osalta. Uudelleenputkitus on hänen mielestään mahdollista, mutta hän mietti, kannattaisiko jo uusia lämmönsiirtimet kokonaan. Hänen mukaansa ennen uudelleenputkitusta tulisi tarkastaa lämmönsiirtoputket ja välilevyt sisältäpäin.

Laitetoimittaja C on levylämmönsiirintoimittaja ja hän kertoo, että levylämmönsiirrin on nykyisin hyvin suosittu kaukolämmönsiirtimenäkin. Levylämmönsiirrin vaatii putkilämmönsiirtimeen verrattuna paljon huoltoa, joten hänen mukaansa kyseiseen tarpeeseen tulisi olla avattavan mallinen levylämmönsiirrin puhdistusta varten.

Laitetoimittaja D valmistaa sekä uusia että korjaa ja uusii vanhoja putkilämmönsiirtimiä. Laitetoimittajan edustajan mukaan paras vaihtoehto kyseiseen tarpeeseen olisi koko putkipakettien vaihtaminen. Tätä uusimismallia on suosittu laajalti ja se säästää vanhat vaipat paikallaan, joten myös suuret höyry-yhteet, eristeet sekä mittariyhteet säilyisivät. Koko putkipakettien vaihto säästäisi myös aikaa, sillä hänen mukaansa uudet putkipaketit valmistetaan valmiiksi konepajalla ja työnnetään paikalleen kokonaisuutena. Putkipakettien vaihdon yhteydessä olisi mahdollista materiaalinvaihto esimerkiksi paremman korroosionkestävyyden omaavaan ruostumattomaan teräkseen tai nykyisin suosittuun Duplexiin. Laitetoimittaja D:n mukaan putkipakettien uusiminen vaatii suunnittelun sekä valmistuksen, joten laitetoimittajan tulee olla sellaiseen kykenevä.

Laitetoimittaja E toimittaa sekä putki- että levylämmönsiirtimiä. Laitetoimittajan edustajan mukaan uusimiselle tässä tapauksessa olisi kaksi vaihtoehtoa. Joko lämmönsiirtimien koko putkipaketin uusiminen tai uusia putkilämmönsiirtimet kokonaan. Putkipakettien uusiminen tulisi edullisimmaksi ja kannattavimmaksi valmistuttaa Suomessa lähimmällä konepajalla. Mikäli koko putkilämmönsiirtimet vaihdettaisiin uusiin, ne tulisi suunnitella sekä valmistaa uuden painelaitedirektiivin sekä EN 13445 standardin mukaisesti. Uuden standardin mukaisesti laitteiden materiaalivahvuudet kasvaisivat merkittävästi vaippapuolella, rengaslaipoissa sekä päädyissä. Tästä johtuen myös hinta kasvaisi merkittävästi verrattuna pelkkien putkipakettien uusimiseen. Kun myös laitteiden paino kasvaisi nykyisten standardien mukaan valmistettaessa, tulisi asennusympäristön kantavuudet tarkastaa ja tarvittaessa vahvistaa. Uusimismallia, jossa uusitaan pelkkä putkipaketti, suositaan hänen

mukaansa paljon ja se on suhteellisen nopea toteuttaa ja edullisempi kuin lämmönsiirtimen uusiminen kokonaan.

Selvitykseen haastateltiin myös alan asiantuntijaa, joka ei toimi minkään laitevalmistajan tai toimittajan palveluksessa. Lämmönsiirinkonsultointia tarjoavan JUHO Consulting Oy:n Juhani Hoikkala kertoo haastattelussa, että levylämmönsiirtimiä ei yleensä käytetä näin suuressa kokoluokassa kaukolämmönsiirtiminä, eikä ole nähnyt kyseisessä sovelluksessa sekä mittakaavassa Suomessa juurikaan levylämmönsiirtimiä. Näin ollen mikäli nykyiset putkilämmönsiirtimet korvautuisi levylämmönsiirtimillä, tulisi olla varauksellinen, sillä ne toimisivat käytännössä lähestulkoon testikappaleina kyseisessä sovelluksessa, koska referenssejä ei käytännössä ole lainkaan. Myös levylämmönsiirtimiin vaihdettaessa tulisi korvata myös hotwellit, sillä pelkän lämmönsiirtoalan korvaaminen ei riitä. Toimivin ja suositeltavin ratkaisu tässä tilanteessa olisi hänen mukaansa putkiryhmien vaihto paketteina. Tällöin lämmönsiirtimien rakenteeseen kuten kammioihin voisi tehdä parantavia muutoksia ja uusien putkiryhmien materiaalin voisi vaihtaa korroosiota paremmin kestävään. Myös putkien seinämävahvuutta voisi pienentää jopa alle yhden millimetrin seinämään. Mikäli vanhoissa vaiפוissa ei ole pahoja korroosio- tai eroosio-ongelmia, ne ovat täysin käyttökelpoiset ja säilyisivät paikoillaan. Näin ollen myös vanhat eristeet sekä yhteydet säästyisivät. Tätä ratkaisua voidaan pitää teknisesti järkevänä ja kustannustehokkaana.

5.2 Uusimisvaihtoehtojen vertailu

Uusimisvaihtoehtoina tämän selvityksen myötä pidetään lämmönsiirtimien uudelleenputkitusta pelkkien putkien osalta, putkiryhmien vaihtoa pakettina välilevyineen ja päätyineen vanhoihin lämmönsiirtimien vaippoihin, vaihtoa levylämmönsiirtimiin tai vaihtoa uusiin putkilämmönsiirtimiin. Seuraavassa on käsitelty kyseisten vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia.

5.2.1 Uudelleenputkitus

Kuten selvityksen alla oleviin kaukolämmönsiirtimiin vuonna 2008 on tehty, uudelleenputkitus on yksi uusimisvaihtoehto. Putkittaessa lämmönsiirrin uudelleen pelkkien putkien osalta, ei toimenpide vaadi muita putkistomuutoksia lämmönsiirtimien yhteisiin. Suuret höyry- sekä mittariyhteydet pysyvät paikoillaan. Kun aiemmat kokemukset otetaan huomioon, putkia vaihdettaessa on mahdollista tehdä pieniä parantavia rakennemuutoksia lämmönsiirtimiin. Myös uusien putkien materiaali on mahdollista vaihtaa erimerkiksi korroosiota paremmin kestävään materiaaliin, mutta niiden lämpölaajenemisominaisuudet tulee ottaa huomioon. Hyötynä voidaan myös mainita kohtuulliseksi jäävät

uusimiskustannukset. Kuitenkin riskinä uudelleenputkituksessa on epäonnistuminen, mikäli ei tehdä mitään rakennemuutoksia. Tällöin putkien vaihto ei vie tilannetta parempaan suuntaan pitkällä aikajaksolla, kuten vuonna 2008 on tapahtunut.

5.2.2 Uusi putkiryhmä

Putkiryhmien vaihtoa suositaan paljon, mikäli harkinnassa on uusien putkilämmönsiirtimien vaihto. Putkiryhmät ovat mahdollista koota konepajalla valmiiksi ja saada tällöin asennettua lämmönsiirtimien sisään kohtuullisellakin seisokkijalla. Putkiryhmien uusinnassa suuremmilta putkistomuutoksilta vältytään ja välttämättä uusinta ei vaadi ollenkaan putkistomuutoksia. Vanhat vaipat, sekä höyry- ja mittariyhteet säästävät täysin. Suunniteltaessa putkiryhmät uudelleen, on mahdollista parantaa lämmönsiirtimien rakennetta, putkiryhmien materiaalia ja tarvittaessa myös asteisuutta. Putkiryhmien vaihto on yleensä hyvin kestävä ratkaisu, sillä vaipan sisään uusitaan käytännössä kaikki osat. Kustannuksiltaan putkiryhmien uusiminen on kalliimpaa kuin pelkkä uudelleen putkitus, mutta edullisempi kuin kokonaan uudet putkilämmönsiirtimet.

5.2.3 Levylämmönsiirrin

Korvattaessa vanhat ja kookkaat putkilämmönsiirtimet levylämmönsiirtimillä, saadaan kokoa pienennettyä merkittävästi. Kompaktin koon vuoksi levylämmönsiirtimet ovat suosittuja nykyisin. Ne ovat myös edullisiä hankintahinnoiltaan verrattuna putkilämmönsiirtimiin. Kuitenkin, mikäli selvityksen alla olevat putkilämmönsiirtimet korvattaisiin levylämmönsiirtimillä, vaatisi se mittavat putkistomuutokset, joista aiheutuisi lisäkustannuksia huomattavasti. Muutoksia tulisi merkittävästi myös muihin liittyviin komponentteihin ja rakenteisiin. Muun muassa lauhdesäiliö tulisi uusia kaasunpoiston ja lauhdepumppujen vuoksi ja mahdollisesti instrumentointiin tulisi tehdä muutoksia. Tarvittava asteisuus voi olla myös vaikeaa saavuttaa levylämmönsiirtimillä, sillä höyryn virtaussolat ovat levylämmönsiirtimessä ahtaat. Tämä aiheuttaa painehäviöitä, joka pienentää asteisuutta. Levylämmönsiirrintä ei ole käytetty laajalti kyseisessä sovelluksessa ja kokoluokassa, joten kokemuksia muilta laitoksilta ei ole juurikaan käytettävissä.

5.2.4 Uudet putkilämmönsiirtimet

Korvattaessa vanhat putkilämmönsiirtimet kokonaisuudessaan uusilla, on uusiin putkilämmönsiirtimiin mahdollista tarkastaa mitoituksia. Myös materiaalit voidaan valita vapaasti koko lämmönsiirtimiin. Asennuksen pituus riippuu siitä, voidaanko uudet lämmönsiirtimet asentaa kokonaisina paikoilleen. Putkiryhmät on mahdollista asentaa kohtuullisessa seisokkijassa paikoilleen, etenkin mikäli ne asennetaan valmiina paketteina

paikoilleen. Uudet putkilämmönsiirtimet eivät välttämättä vaadi putkistomuutoksia. Uusimalla putkilämmönsiirtimet kokonaan päästään kestävään lopputulokseen. Kuitenkin, koska nykyinen standardi EN 13445 ohjaa käyttämään suurempia materiaalivahvuuksia uusien putkilämmönsiirtimien suunnittelussa sekä valmistuksessa, uusien putkilämmönsiirtimien hinnat kasvaisivat merkittävästi. Korvaamalla vanhat putkilämmönsiirtimet kokonaan uusilla olisi näin ollen kallein uusimisvaihtoehto. Huomioonotettavaa tässä vaihtoehdossa myöskin on, että koska uusien putkilämmönsiirtimien materiaalivahvuudet kasvaisivat ja paino lisääntyisi, tulisi Joensuun voimalaitoksen kantavat rakenteet tarkastaa kaukolämmönsiirrinten ympäristöstä sekä mahdollisesti vahvistuttaa niitä.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tehdyn selvityksen tarkoituksena oli kartoittaa Fortum Power and Heat Oy Joensuun voimalaitoksen kaukolämmönsiirtimien mahdolliset korjaus- sekä uusimisvaihtoehdot ja optimoida kannattavin vaihtoehto Joensuun voimalaitoksen tilanteeseen. Vaihtoehtoja selvitettiin useilta laitetoimittajilta kattavien mielipiteiden ja vaihtoehtojen saamiseksi. Myös alalla toimivia asiantuntijoita haastateltiin, jotta uusimisvaihtoehdoista saataisiin puoleettomampia mielipiteitä. Selvityksessä tuli esille melko pian, että levylämmönsiirrintä ei ole käytetty yleisesti näin suuressa kokoluokassa ja kyseisessä sovelluksessa, joten suosituksia siihen ei saatu. Levylämmönsiirrin vaatisi myös mittavia muutoksia putkistosta instrumentointiin saakka, joten sen kannattavuus on heikoin neljästä uusimisvaihtoehdosta.

Korvaamalla vanhat lämmönsiirtimet uusilla putkilämmönsiirtimillä saataisiin aikaan kestävä ratkaisu. Myös uudelleenmitoitukseen, suunnitteluun ja materiaalinvaihtoon tämä vaihtoehto antaisi parhaat lähtökohdat. Uusien putkilämmönsiirtimien hankinta ja asennus olisi kuitenkin vaihtoehdoista kallein ja lisäkustannuksia saattaisi aiheutua myös kantavien rakenteiden muuntelusta. Vanhojen lämmönsiirtimien uudelleenputkitus olisi mahdollista, mutta selvityksessä saatujen tietojen mukaan siinä on riskinsä, sillä vuonna 2008 siinä on jo epäonnistuttu. Riski epäonnistua uudelleenputkituksessa tekee siitä kannattamattomamman ratkaisun kuin putkiryhmien vaihto. Myös pelkän uudelleenputkituksen yhteydessä putkien materiaalin vaihto on hankalampaa kuin putkiryhmien vaihdon yhteydessä, sillä putkien lämpölaajeneminen suhteessa putkilevyjen lämpölaajenemisominaisuuksiin tulee ottaa huomioon.

Putkiryhmien vaihtoa suositteli suurin osa haastatelluista laitetoimittajista sekä asiantuntijoista. Se on selvityksen mukaan varsin suosittu toimenpide vanhoihin putkilämmönsiirtimiin ja referenssejä löytyy paljon myös Suomesta. Putkiryhmien vaihdolla saadaan aikaan kestävä ratkaisu ja myös materiaalin vaihdot ja rakenneparannukset ovat mahdollisia. Mikäli putkiryhmät tehdään valmiiksi konepajalla ja asennetaan kokonaisina paikoilleen, asennus onnistuu kohtuullisen nopealla aikavälillä. Myös kustannukset jäävät kohtuullisiksi verrattuna kokonaan uusiin putkilämmönsiirtimiin ja niiden asennukseen.

Kartoituksesta kootun selvityksen mukaan optimaalisin vaihtoehto Joensuun voimalaitoksen tilanteeseen olisi putkiryhmien vaihto vanhojen lämmönsiirtimien vaippojen sisään. Tässä ratkaisussa putkiryhmät tulevat pakettina sisältäen uudet väli- ja päätylevyt. Se toisi kestävä ratkaisun, mahdollistaisi tehdä parantavia muutoksia vanhojen lämmönsiirtimien rakenteisiin sekä olisi budjetiltaan kohtuullinen. Myös materiaalinvaihto olisi mahdollista

korroosiota ja eroosiota paremmin kestäväan materiaaliin. Tämä on ollut suosittu ratkaisu myös muualla vastaavissa tilanteissa, joten kokemuksia vastaavasta ratkaisusta on tarjolla kattavasti ja se on osoittautunut teknisesti kannattavaksi ja kustannustehokkaaksi ratkaisuksi.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- AALTO-YLIOPISTO 2011. Teollisuuden energiatekniikka [kurssimateriaali]. [Viitattu 17.2.2015] Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-59.4101/lisatty11521/Ene-59_4101_peruskaavat_ja_kasitteet.pdf
- ALFA LAVAL 2015. Tärkeimmät tekniikat [verkkajulkaisu]. [Viitattu 17.2.2015] Saatavissa: <http://local.alfalaval.com/fi-fi/tarkeimmat-tekniikat/pages/tarkeimmat-tekniikat.aspx>
- ALFA LAVAL 2015. Spiral heat exchanger [verkkajulkaisu]. [Viitattu 19.2.2015] Saatavissa: <http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/spiral-heat-exchanger/pages/spiral-heat-exchanger.aspx?Source=http%3a%2f%2fwww.alfalaval.com%2fsolution-finder%2fproducts%2fpages%2fdefault.aspx%3ftype%3dProductCategory%26amp%3bamp%3bamp%3bamp%3bsearchText%3dspiral>
- BARLETT, Dean A. 1996. The Fundamentals of Heat Exchangers. American Institute of Physics.
- FORTUM 2014. Konserni [verkkajulkaisu]. [Viitattu 13.1.2015] Saatavissa: <http://www.fortum.com/fi/konserni/pages/default.aspx>
- FORTUM POWER AND HEAT OY JOENSUUN VOIMALAITOS [2012]. Sähköä ja lämpöä - Joensuun voimalaitos. Esite. [Voimalaitosiesite.]
- FORTUM POWER AND HEAT OY 2010. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma [verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.2.2015] Saatavissa: https://www.fortum.fi/fi/energiantuotanto/s%C3%A4hk%C3%B6n-ja-l%C3%A4mm%C3%B6n-yhteistuotanto/suomessa/Documents/Fortum_Naantali_YVA.pdf
- FORTUM POWER AND HEAT OY 2015. Arkisto.
- GOOCH THERMAL 2014. Spiral heat exchanger [verkkajulkaisu]. [Viitattu 19.2.2015] Saatavissa: <http://www.goochthermal.com/spiral-heat-exchanger/design/>
- ENERGIATEOLLISUUS 2014. Kaukolämpö ja kaukojäähdytys [verkkajulkaisu]. [Viitattu 24.1.2015] Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys>
- HÖGFORS 2014. Lämmönsiirtimet [verkkajulkaisu]. [Viitattu 24.1.2015] Saatavissa: http://www.hogfors.com/gst/tuotteet_lammonsiirtimet.shtml
- HOIKKALA, Juhani 2015. JUHO Consulting Oy. Haastattelu 2.2.2015. Julkaisematon.
- HOIKKALA, Juhani 2015. JUHO Consulting Oy. Sähköpostihaastattelut välillä 15.2.-5.3.2015 Julkaisematon.
- KOSKELAINEN, Lasse, SAARELA, Rauli ja SIPIÄ, Kari 2006. Kaukolämmön käsikirja.
- LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 2014. Lämmönsiirtimet [Pdf-julkaisu]. [Viitattu 16.2] Saatavissa: https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bh20a0300/luennot/luento_7_2.pdf
- MANSUKOSKI, Raimo 1975. Yleinen prosessitekniikka 3: Lämmönsiirtoprosessit. Helsinki: Helsingin Liike-esityspaino.
- UNIVERSITY OF OULU 2014. Aineen-, lämmön- ja liikemääränsiirto [kurssimateriaali]. [Viitattu 18.2.2015] Saatavissa: http://www oulu.fi/sites/default/files/content/PYP%20I%202014%20Teema%203_0.pdf

- PAAVILAINEN, Heikki 2012. Levylämmönsiirrin [verkkójulkaisu]. [Viitattu 18.2.2015]
Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=60917290>
- PIHKALA, Juhani 2005. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Helsinki: Hakapaino Oy.
- PROMAINT 2013. Lämmönsiirtimen huolto on asiantuntijatyötä [verkkójulkaisu]. [Viitattu 24.2.2015] Saatavissa: <http://www.promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Lammonsiirtimen-huolto-on-asiantuntijatyota>
- SEPPÄNEN, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry. ISBN 951-98811-0-7.
- TRANter 2015. Spiral Heat Exchangers [verkkójulkaisu]. [Viitattu 19.2.2015] Saatavissa: <http://www.tranter.com/Pages/products/spiral/description-benefits.aspx>
- VÄYRYNEN, Jasse 2015. Oma kuva-arkisto.