

VILLE LAHTI

PUHTAAN VEDEN LÄMMITYS ENNEN TSV-SARJOJA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2017

PUHTAAN VEDEN LÄMMITYS ENNEN TSV-SARJOJA

Lahti, Ville
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2017
Ohjaaja: Sirén, Pekka
Sivumäärä: 32
Liitteitä: 3

Asiasanat: kemiallisesti puhdistettu vesi, kaukolämpö, lauhde

Tämän opinnäytetyön tavoite oli suunnitella Porin Prosessivoiman Kaanaan vesilaitokselle tulevalle kemiallisesti puhdistetulle vedelle energiatehokkaampi lämmitysmuoto. Puhtaan veden lämmityksen muutos kaukolämmölle lisäisi voimalaitoksen energiatehokkuutta. Vesilaitokselle tulevaa kemiallisesti puhdasta vettä on lämmitetty sekoittamalla lämmintä, puhdasta lauhdetta samaan linjaan tulevan kemiallisesti puhdistetun veden kanssa. Lämmityksen siirtäminen kaukolämmölle toisi säästöjä veden uudelleen kierrättämisestä ja kemikaalien kulutuksessa.

Työssä on esitetty ensin voimalaitos ympäristöä ja kerrotaan yleisellä tasolla vesilaitoksen toiminnasta. Vesilaitokselle puhdistettavaksi menevän veden lämmityksen merkitystä selvennetään.

Lopuksi esitetään investointien kannattavuutta. Lasketaan kaukolämmöllä saatava säästö ja investointien takaisinmaksuaika.

CLEARWATER HEATING BEFORE WATERWORKS

Lahti, Ville

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Machine and production Engineering

March 2017

Supervisor: Sirén, Pekka

Number of pages: 32

Appendices: 3

Keywords: chemically purified water, district heating, condensate

The aim of this thesis was to design a more efficient heating solution for the chemically purified intake water for the waterworks of Kaanaa plant of Porin Prosessivoima. Changing the heating of purified water from condensate heating to district heating increased the energy efficiency of the plant. Previously the chemically purified intake water had been heated by mixing warm pure condensate to the same intake line with chemically purified water. Switching the heating system to a district heating solution would bring savings in the re-circulation of the water and usage of the chemicals.

The power plant environment and processes of the waterworks is presented in general level. The relevance of the heating and purifying processes are clarified. And finally, cost-effectiveness of the investments needed in the change is presented with investment calculations. The savings potential and payback time concerning the necessary changes to switch from condensate heating to district heating are calculated.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	PORI ENERGIA OY.....	6
3	PORIN PROSESSIVOIMA OY (PPV)	7
4	SUOLANPOISTOLAITOS.....	9
4.1	Veden kemiallinen puhdistus.....	10
4.2	Ioninvaihtolaitos	11
4.2.1	Humussuodatin (SC)	11
4.2.2	Kationi- ja anionivaihdin (K – A1/A2)	12
4.2.3	Sekaionivaihdin (MB)	12
5	LÄMMITYSKUSTANNUKSET NYKYISELLÄ MENETELMÄLLÄ	13
5.1	Laskennan perusta.....	13
5.2	Puuttuvat mittaukset.....	15
5.3	Lauhteen määrä lisäveden lämmittämiseen	16
5.4	Ionivaihtimien elvytys	19
5.5	Boilex.....	19
6	MUUTOSTEN SUUNNITTELU.....	20
6.1	Kemiallisesti puhdistettu vesi	20
6.2	Kaukolämpö.....	21
6.3	Levylämmönsiirrin.....	23
6.3.1	Mitoitus	23
6.3.2	Sijoitus.....	25
7	INVESTOINTILASKELMAT.....	27
7.1	Lauhde.....	27
7.2	Takaisinmaksu	29
8	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella energiatehokkaampi lämmitysmuoto Porin Prosessivoima Oy:n vesilaitoksen kemiallisesti puhdistetulle vedelle. Vesilaitokselle tulevaa kemiallisesti puhdistettua vettä on lämmitetty aikaisempina vuosina kompressoreiden lämmön talteenoton avulla ja sekoittamalla puhdasta lauhdetta samaan linjaan puhdistettavaksi menevän kemiallisesti puhdistetun veden kanssa. Energiatehokkaammassa ratkaisussa saataisiin säästöjä prosessiveden valmistuksesta ja kemikaalien kulutuksesta, kun puhdasta lauhdetta ei tarvitsisi uudelleen kierrättää vesilaitoksen läpi.

Energiatehokkaampaa lämmitysratkaisua lähdettiin hakemaan tehdasalueen kaukolämpöpiiristä, joka saa energiansa alueella toiminnassa olevasta rikkihappotehtaan jätelämmön talteenotosta. Kaukolämmöstä siirrettäisiin lämpöä lämmönsiirtimen avulla veteen. Muutoksen avulla saataisiin nostettua rikkihappotehtaan jätelämmön talteenottoa paremmaksi ja apujäähdytyksen tarve pienenesi ainakin keväisin ja syksyisin.

Suunnittelun tarkoituksena on saada laskettua muutokselle investointikustannukset työn toteuttamiselle ja verrata niitä työn kannattavuuteen ja takaisinmaksuun. Opinnäytetyössä esiintyvät hinnat perustuvat yrityksiltä saatuihin ohjevähittäishintoihin ja aiemmin arvioituihin urakoiden hintoihin. Todellisia tarjoushintoja ei yrityssalaisuuden takia paljasteta opinnäytetyön julkisessa versiossa.

2 PORI ENERGIA OY

Pori Energia Oy on kokonaan Porin kaupungin omistuksessa oleva osakeyhtiö, joka pääasiassa myy palveluitaan Satakunnan alueella. Pori Energia Oy:n liiketoiminta alueisiin kuuluvat mm. kaukolämmitys, sähkön myynti, energia-alan tuotanto, urakointi-, käynnissäpito- ja tuulivoimapalvelut.

Pori Energia Oy:n konserniin kuuluu myös kaksi tytäryhtiötä, Pori Energia Sähköverkot Oy ja Tuulia Energia Oy. Osakkuusyhtiöinä Pori Energian konsernintilinpäätökseen on yhdistetty Kolsin Voima, Voimapato Oy ja Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy. (Pori Energia Oy:n toimintakertomus 2015, 22.)

Taulukko 1. Pori Energia Oy konsernin toiminnan tunnusluvut vuosilta 2013 - 2015. (Pori Energia Oy:n toimintakertomus 2015, 5)

Pori Energia, konserni			
	2015	2014	2013
Liikevaihto, M€	162	186,8	190,1
Liikevoitto, M€	12,5	15,1	19
Liikevoitto- %	7,7	8,1	10
Sijoitetun pääoman tuotto- %	5,1	6,7	9,8
Omavaraisuusaste (%)	20,9	23,2	23,1



Kuva 1. Pori Energia Oy konsernin liikevaihdon jakautuminen vuonna 2015. (Pori Energia Oy:n toimintakertomus 2015, 5)

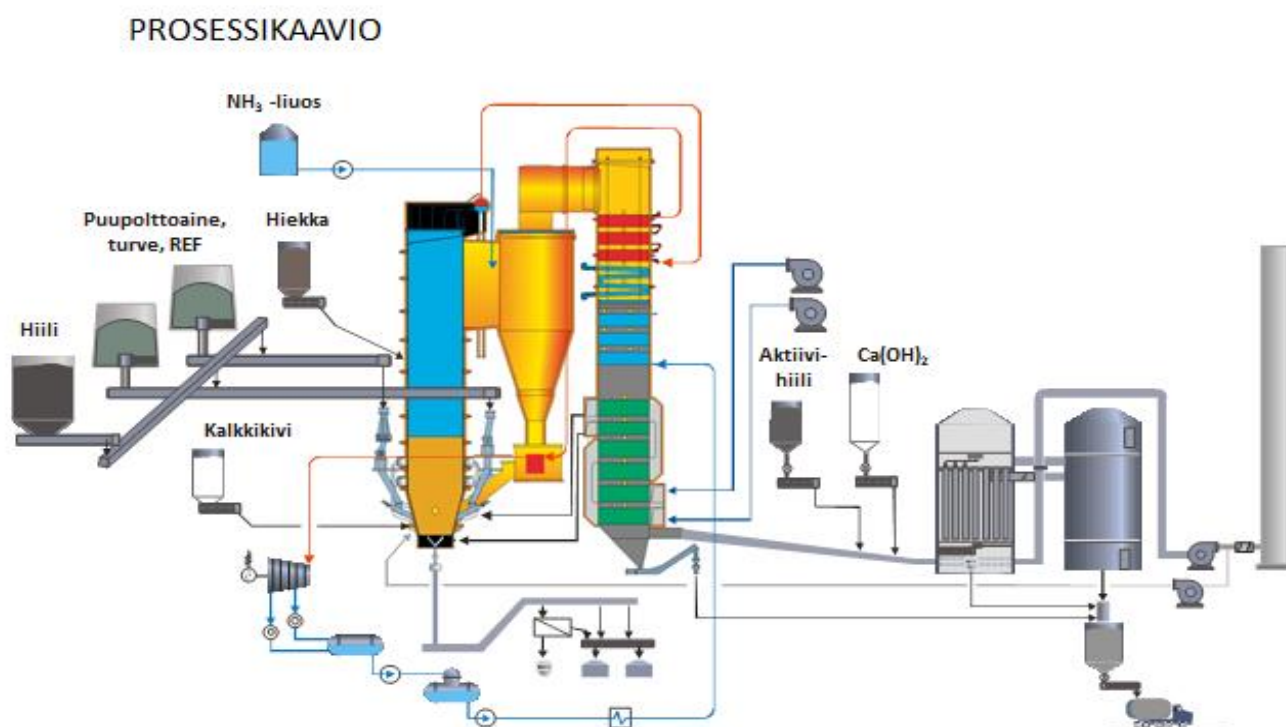
3 PORIN PROSESSIVOIMA OY (PPV)

Porin Prosessivoima Oy sijaitsee Porin Kaanaassa, Huntsman Pigments Oy:n (ent. Sachtleben Pigments) tehdasalueella. Porin Prosessivoima on Pohjolan voima Oy:n tytäryhtiö. Pohjolan voima Oy:llä on 100 % omistusosuus yhtiöstä. Porin Prosessivoima perustettiin Pori Energia Oy:n ja Kemira Pigments Oy:n kanssa energiayhteistyön toteuttamiseksi vuonna 2005. Pori Energia Oy ja Porin Prosessivoima Oy ovat tehneet keskenään sopimuksen, jossa Pori Energian henkilöstö vastaa voimalaitoksen toiminnasta. (Pohjolan voima Oy:n www-sivut 2017)

PPV:n Kaanaan voimalaitosalueella on viisi höyrykattilaa: CFB-kattila, Pyroflow-kattila, kaksi öljykattilaa sekä yksi kaasukattila. Voimalaitoksen höyryn tuotantokapasiteetin perustana on vuonna 2008 valmistunut CFB-kattila ja alueella toimiva rikkihappotehdas, jotka tuottavat verkkoon korkeapaine höyryä. Pyroflow-kattila, öljy-

ja kaasukattilat toimivat huippu- ja varakattiloina. Voimalaitoksen höyrykattiloiden yhteenlaskettu höyryteho on noin 360 MW ja rikkihappotehtaalta tuleva nettohöyryteho on 25 MW. Voimalaitoksella olevilla turbiineilla saadaan sähköä tuotettua yhteensä 87 MW, uudella TG4 turbiinilla 78 MW ja vanhalla TG3 turbiinilla 9 MW. Kaukolämpöjärjestelmä toimittaa lämpöä Porin kaupungin kaukolämpöverkkoon kolmella kaukolämpösiirtimellä. Siirtimien maksimi kaukolämpöteho on noin 120 MW. (Pori Energia Oy:n intranet 2017)

Voimalaitoksen pääkattilana toimii vuonna 2008 valmistunut Valmet Oy:n toimittama kiertopetikattila. Kattila ensisijaisena polttoaineena toimii puu, turve, REF I ja II luokan kierrätyspolttoaineet. Kivihiili ja öljy toimivat varalla häiriö tilanteita varten. CFB-kattilan höyryteho on 177 MW. Käyttöarvot ovat 522 celsiusastetta ja 83 bar. (Pori Energia Oy:n intranet 2017)

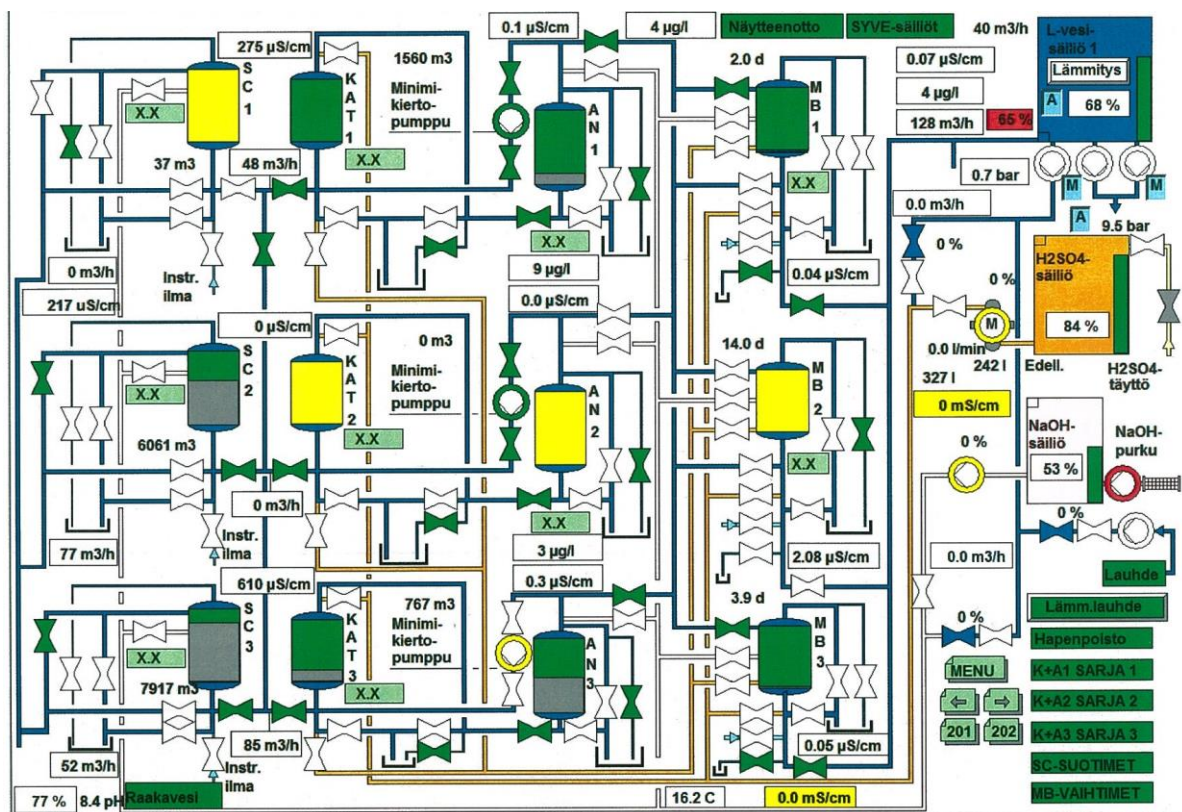


Kuva 2. CFB-kattilan prosessikaavio. (Pori Energia Oy:n intranet 2017)

4 SUOLANPOISTOLAITOS

PPV:n vesilaitoksella valmistetaan käytännöllisesti katsoen täysin suolatonta lisävetä höyrykattiloille. Täyssuolanpoistoveden valmistus tarkoittaa veden puhdistamista ionivaihtimilla, joita PPV:n vesilaitoksella on kolme sarjaa ja jokainen sarja koostuu seuraavista vaihtimista:

- SC = humussuodatin
- KAT = kationivaihdin
- AN = anionivaihdin
- MB = sekavaihdin



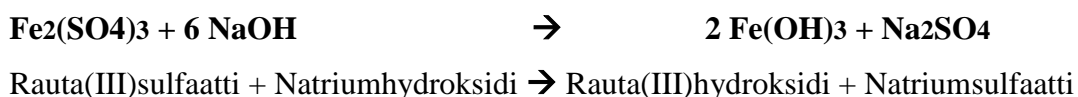
Kuva 3. Vesilaitoksen prosessikuva. (Ville Lahti)

Vesilaitoksen ionivaihdin sarjoja otetaan käyttöön aina lisäveden kulutuksen mukaan. Yleisesti normaalitilanteessa ajossa on pelkästään yksi sarja, joka riittää puhtaan veden valmistukseen.

4.1 Veden kemiallinen puhdistus

PPV:n vesilaitokselle tuleva kemiallisesti puhdistettu vesi tulee Huntsman Pigments Oy:n rantavesipumppaamolta. Vesi otetaan Kokemäenjoen suualueelta. Vesiputken päässä on välppä, jolla saadaan poistettua vedestä karkeat epäpuhtaudet. Vesi johdetaan ensin makeavesialtaisiin tiheiden seulojen kautta, jotka poistavat pienet partikkelit. Vesi pumpataan makeavesialtaasta raakavesikaivoon, johon lisätään natriumhypokloriittia tuhoamaan vedestä bakteereja. Vesi johdetaan kaivosta hämmentimiin ja samalla syötetään natriumhydroksidia (lipeä) ja rautasulfaattia. Kemikaalien avulla saavutetaan oikea pH veden flokkimuodostusalueelle ja veden pintaan saadaan muodostettua sakkaa. Flokkautunut vesi johdetaan selkeytysaltaaseen, jossa tapahtuu floktaatio. Sakka eli flokki nostetaan ilmakuplien avulla pintaan, flokkipatja kerätään ja johdetaan pois prosessista.

Saostusreaktio:

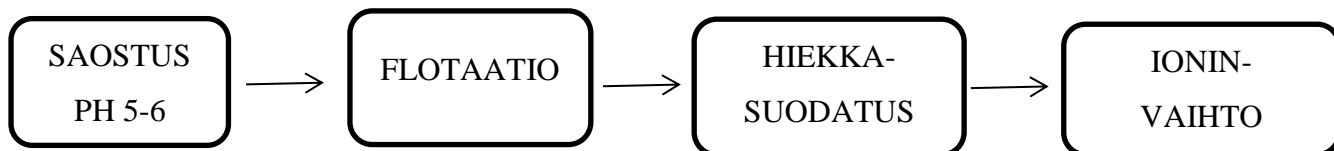


Saostuksen tarkoituksena on saada epäpuhtaudet sellaiseen muotoon, että ne saadaan poistettua mekaanisesti, mahdollisimman edullisin keinoin eli flotaatiolla ja suodatuksella.

Selkeytysaltaassa oleva vesi johdetaan hiekkasuodattimiin. Vesi ohjataan noin 1m paksuisen hiekkapatjan läpi, joka poistaa flotaatiosta jääneen lopun sakkakertymän. Kemiallisesti puhdistetun veden KMnO₄-luku laskee puhdistusvaiheissa. KMnO₄-luku kuvaa vedessä olevan orgaanisen aineen määrää. Suomessa orgaaninen aine on yleisesti humusta, joka aiheuttaa väriä, makua ja hajua veteen. Puhdistus katsotaan

onnistuneen, kun KMnO_4 -luku saavuttaa annetun raja-arvon. Puhdasvesi johdetaan puhdasvesi altaaseen, josta se pumpataan käyttökohteisiin. (Kiimalainen 2004, 3-4.)

Veden kemiallinen puhdistus yksinkertaisella kaaviolla:



Kuva 4. Kemiallisen puhdistuksen lohkokaavio.

4.2 Ioninvaihtolaitos

PPV:n ioninvaihtolaitos on rakennettu prosessiveden valmistamista varten, jota tarvitaan alueen korkeapainehöyrykattiloissa. Ioninvaihtolaitokseen tuleva kemiallisesti puhdas vesi pumpataan säiliöön, jonka tilavuus on 100 m^3 . Säiliöstä vesi pumpataan ioninvaihtolaitoksen läpi. Kemiallisen veden pH ennen sarjoja on kemikaalien avulla nostettu emäksiseksi (pH 7 - 8). (Kiimalainen 2004, 4.)

Ioninvaihtolaitos sisältää seuraavat yksiköt:

SC – K – A1/A2 – MB

4.2.1 Humussuodatin (SC)

Ensimmäinen yksikkö on humussuodin, joka poistaa jäännöshumusta. Suodatin on vastavirtahuuhdeltava ja myötävirtaregeneroitava. Humussuodattimissa käytetään suodattavana massana makrohuokoista anioninvaihtohartsia kloridimuodossa. Humussuodattimen käyttöjakson pituus on normaalitilanteessa $10\,000 \text{ m}^3$, minkä jälkeen suodatin regeneroidaan natriumkloridiliuoksella. (Pori Energia Oy:n sähköinen arkisto 2017)

4.2.2 Kationi- ja anionivaihdin (K – A1/A2)

Varsinainen ioninvaihto alkaa vasta kationivaihtimella, josta vesi ohjataan seuraavaksi anionivaihtimeen. Kationi- ja anionivaihtimet poistavat vedestä siihen liuenneina olevia suoloja. Vedessä olevat suolat ovat ionisoituneita positiivisiksi katio-neiksi ja negatiivisiksi anioneiksi. Suodattimien käyttöjakso on 1900 m³, minkä jäl-keen suodattimet regeneroidaan seuraavasti: kationivaihtimen elvytyksessä käytetään rikkihappoa (H₂SO₄) ja anionivaihtimen elvytykseen lipeäliuosta (NaOH).

Vedessä olevia kationeita ovat mm. Fe⁺⁺ (rauta), Ca⁺⁺ (kalsium), Mg⁺⁺ (magne-sium), K⁺ (kalium), Na⁺ (natrium)

Vedessä olevia anioneita ovat mm. CO₃ (karbonaatti), Cl⁻ (kloridi), SO₄ (sulfaatti), NO₃ (nitriitti)

Kationivaihtimen massa sitoo itseensä metalli-ionit, jolloin vastaava määrä vety-ioneja vapautuu. Kationivaihtimessa vapautuneet vety-ionit muodostavat vaihtimen läpi kulkevien anioni-ionien kanssa vastaavia happoja. Kationivaihtimen jälkeen ve-den pH on laskenut happamaksi (pH 3 – 4).

Heikossa anionivaihtimessa (A1) massa reagoi vahvojen happojen kanssa, jolloin hapoista vapautuu hydroksyyli-ioneja. vapautuneet ionit reagoivat vety-ionien kanssa muodostaen vettä. Heikon anionivaihtimen poistuva vesi neutralisoituu. Vahvassa anionivaihtimessa (A2) massa reagoi jäljelle jääneiden heikkojen happojen kanssa. Poistuva vesi olisi teoreettisesti tarkastellen tällä hetkellä puhdasta. (Kiimalainen 2004, 20-22.)

4.2.3 Sekaionivaihdin (MB)

Sekavaihdin toimii ns. poliisivaihtimena. Vaihtimessa on sekä kationi- että anioni-massaa sekoitettuna keskenään. Sekavaihdin estää mahdollisissa häiriö tilanteissa likaisen veden pääsyn läpi. Vaihtimella saadaan varmistettua prosessiveden korkea

laatutaso. Vaihtimen käyttöjaksoa mitataan ajassa, joka on asetettu 14 vuorokauteen. Sekavaihtimen regeneroituminen aloitetaan erottamalla kationi ja anioni massat toisistaan vastavirtahuuhtelulla. Massat ovat eripainoisia ja erottuvat näin toisistaan hyvin huuhtelun aikana. Elvytysveden poistoputki on sijoitettu vaihtimen sisään massojen rajapintaan. Kationimassa elvytetään tuomalla rikkihappoa alhaalta ja samalla vettä yläkautta. Tällä tavalla rikkihappo ei pääse anionimassakerrokseen. Anionimassa elvytetään tuomalla lipeää ylhäältä ja vettä alhaalta vaihtimeen samaan aikaan. Vaihdin on valmis ajoon huuhtelun ja massojen sekoituksen jälkeen.

Ioninvaihtolaitokselta tuleva täyssuolaton vesi varastoidaan laitoksen ulkopuolella oleviin puhtasvesisäiliöihin, joiden tilavuudet ovat 500 m³ ja 200 m³. Suolattoman veden pH ioninvaihtolaitoksen jälkeen on emäksinen (pH 7 – 8). (Kiimalainen 2004, 23.)

5 LÄMMITYSKUSTANNUKSET NYKYISELLÄ MENETELMÄLLÄ

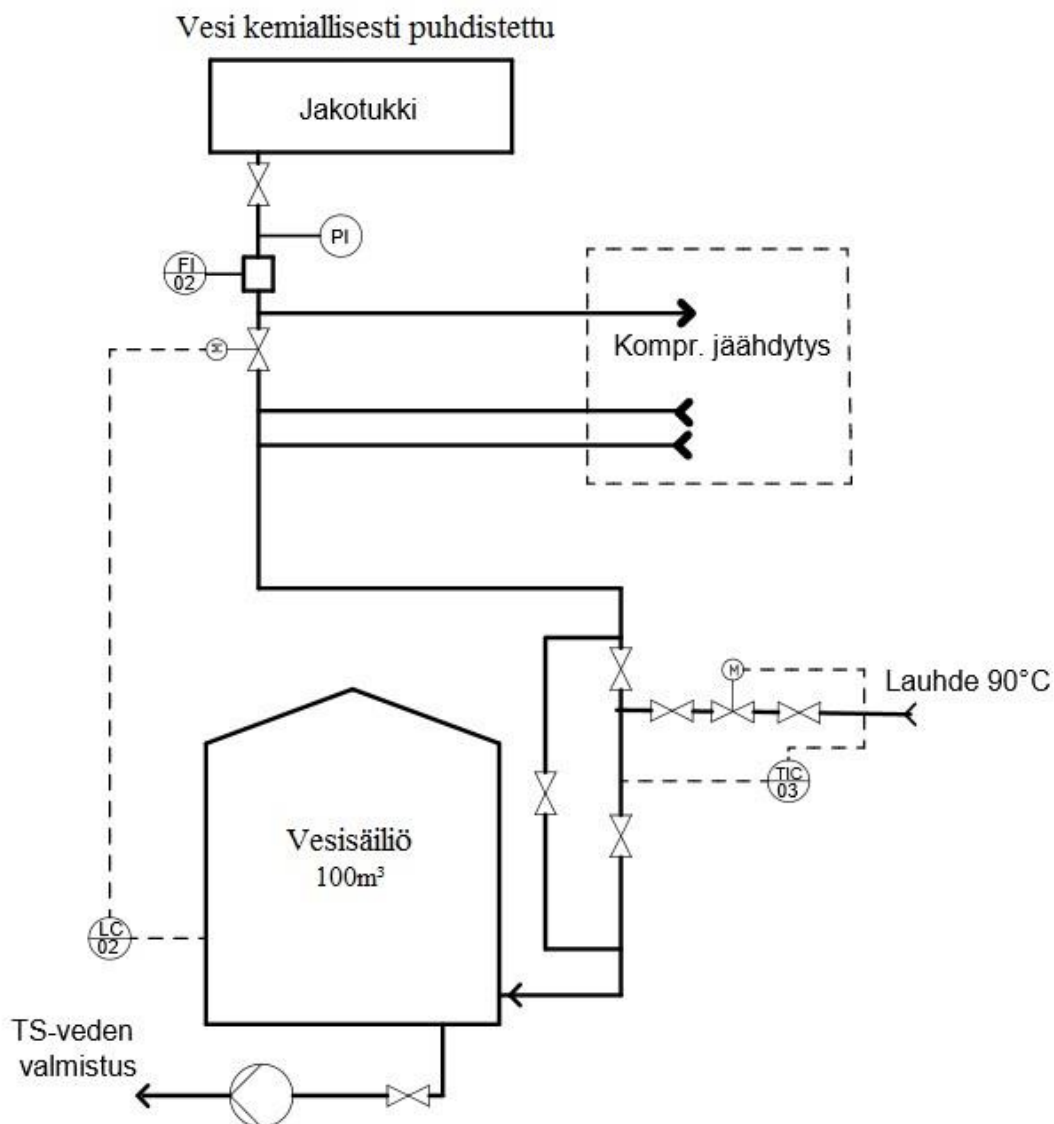
5.1 Laskennan perusta

Voimalaitoksen vesilaitosta ohjaa Alcont-automaatiojärjestelmä. Järjestelmällä pysytään ohjaamaan laitteita ja tarkastelemaan mittauksia. Halutut mittaukset saadaan tallennettua järjestelmään ja hakemaan myöhempää tarkastusta varten.

Tässä työssä lasketaan kustannukset kemiallisesti puhdistetun veden lämmityskaudelle 2015 – 2016. Lämmitys otettiin käyttöön 1.9.2015 ja lopetettiin 31.5.2016. Tämän ajanjakson aikana kemiallisesti puhdistettua vettä lämmitettiin koko ajan lauhdeella. Lämmityksen tarve tulee meriveden alhaisen lämpötilan vuoksi ja kompressorien jäädytyksestä tulevan alhaisen lämmön talteenoton vuoksi.

Laskentaa vaikeuttaa se, että järjestelmään on asetettu keräykseen ainoastaan virtausmittaus vesilaitokselle menevästä kemiallisesta puhdistetusta vedestä. Kompressorien jäädytyksestä saatua lämmitystehoa ei mitata missään vaiheessa linjassa en-

nen tulevaa lauhteenlämmityslinjaa. Tulevassa lauhdelinjassa ei ole virtausmittausta. Kuvassa 5 nähdään yksinkertaistettuna raakavesilinja jakotukilta säiliöön.



Kuva 5. Kemiallisesti puhdistetun veden lämmityksen PI-kaavio yksinkertaistettuna. (Ville Lahti)

Kuvassa 5 kemiallisesti puhdistettu vesi lähtee kohti säiliötä jakotukilta. Putkiston alussa mitataan paine (PI) ja virtaus (FI/02). Ennen säätöventtiiliä putkistosta on haaroitettu kompressoreiden jäähdytykselle kylmää kemiallisesti puhdistettua vettä. Kompressoreiden jäähdytyksen kautta ohjataan kemiallisesti puhdistettu vesi ensisi-

jaisesti aina. Mikäli suolanpoistolaitos tarvitsee enemmän kemiallisesti puhdistettua vettä, kuin kompressoreiden ohituksen kautta tulee, alkaa linjaston säätöventtiili päästämään kemiallisesti puhdistettua vettä läpi pinnansäädön (LC/02) mukaisesti. Lauhdetta sekoitetaan kemiallisesti puhdistetun veden kanssa samaan linjaan lämpötilamittarin (TIC/03) mukaan, jotta haluttu lämpötila saavutetaan.

5.2 Puuttuvat mittaukset

Linjastosta puuttuvien mittauksista keskusteltiin opinnäytetyön tilaajan Janne Valkaman kanssa. Keskustelussa päätettiin, millaisia lämpötiloja käytetään laskennassa kemiallisesti puhdistetun veden lämpötilana ennen lauhteen lämmitystä ja vesisäiliön lämpötilana. Marraskuussa 2016 kemiallisen veden lämpötila oli noin 1 – 2 °C, sama kuin meriveden lämpötila. Kompressoreilta saadun lämmityksen jälkeen lämpötila oli 15 – 16 °C, paikallismittarilla mitattuna. Kemiallisesti puhdistetulle vedelle määritettiin seuraavat kiinteät lämpötilat ennen lauhteen lämmityslinjaa.

Taulukko 2. Kemiallisesti puhdistetun veden lämpötilat kuukausittain.

2015				2016				
Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu
20 °C	20 °C	15 °C	15 °C	15 °C	15 °C	15 °C	20 °C	20 °C

Kemiallisesti puhdistetun veden optimilämpötila ionivaihtimien toimintaa ajatellen on noin 21 °C. Vesisäiliö on sijoitettu ulos ja eristämättömien putkilinjojen takia kemiallisesti puhdistetun veden lämpötila nostetaan 25 celsiusasteeseen lämmityskaudeksi. (Valkama henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2016)

5.3 Lauhteen määrä lisäveden lämmittämiseen

Lauhdetta käytetään lisäveden lämmittämiseen sekoittamalla sitä kemiallisesti puhdistettuun veteen. Lämmitykseen menevän lauhteen määrä pystytään määrittämään annetuilla arvoilla virtauksen mukana siirtyvällä lämpöteholla.

$$\Phi = q_v * \rho * C_p * \Delta T$$

missä, Φ = virtauksen mukana siirtyvä teho [W]

$$q_v = \text{veden tilavuusvirta} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

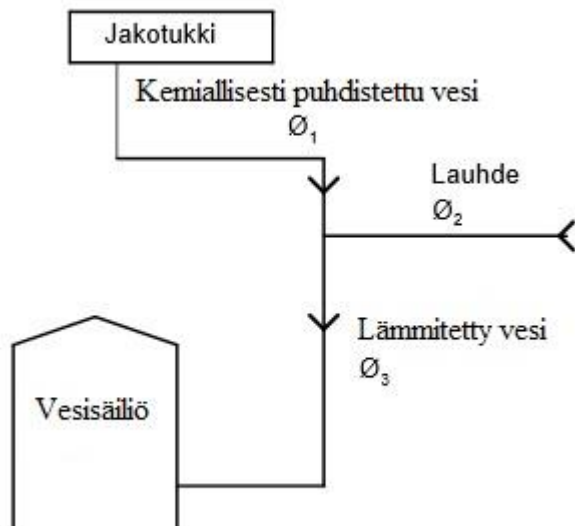
$$\rho = \text{veden tiheys} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$C_p = \text{veden ominaislämpökapasiteetti} \left[\frac{J}{kg * K} \right]$$

$$T = \text{veden lämpötila} [^\circ C]$$

Koska lämpötilat on tässä tarkastelussa päätetty pitää vakiona ja laskennassa ei päästä tarkkaan arvoon, lauhteen määrä on laskettu pitämällä tiheys ja ominaislämpökapasiteetti vakiona. Lämpötilasta muuttuva tiheys ja ominaislämpökapasiteetti ei muuta tulosta merkittävästi, vaikka niitä ei otetakaan huomioon.

Virtauksessa siirtyvien lämpötehojen summalla saadaan määritettyä lauhteen määrä lämmityskaudella.



Kuva 6. Virtauksista tulevat lämpötehot.

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_3$$

Φ_1 = Kemiallisesti puhdistettu vesi

Φ_2 = Lauhde

Φ_3 = Lämmitetty vesi

Avaamalla tehon kaava ja muuttamalla sitä lauhteen virtauksen määrittämiseksi saadaan muoto.

$$\frac{q_{v1} \cdot \Delta T_1 + q_{v2} \cdot \Delta T_2}{\Delta T_3} = (q_{v1} + q_{v2})$$

Josta edelleen:

$$q_{v2} = \frac{-(\Delta T_1 - \Delta T_3) \cdot q_{v1}}{\Delta T_2 - \Delta T_3}$$

Kemiallisesti puhdistetun veden keskimääräinen virtaus lämmityskaudella 1.9.2015 – 31.5.2016 on 98m³/h. Taulukosta 3 selviää lauhteen kokonaismäärä.

Taulukko 3. Lauhteen kokonaismäärä lämmittämiseen.

		Lauhteen määrä m ³ /h	Lauhteen määrä m ³ /kk
2015	Syyskuu	7,6	5428
	Lokakuu	7,6	5609
	Marraskuu	15	10855
	Joulukuu	15	11217
2016	Tammikuu	15	11217
	Helmikuu	15	10494
	Maaliskuu	15	11217
	Huhtikuu	7,6	5428
	Toukokuu	7,6	5609
Tarkastelujakson kokonaiskulutus			77073 m³

Puhtaan lauhteen hinta koostuu Huntsman Pigments Oy:n rantavesipumppaamolta ostetusta kemiallisesti puhdistetusta vedestä ja täyssuolanpoistolaitoksen kustannuksista. Täyssuolanpoistolaitoksen kustannukset tulevat elvytyskemikaalien kustannuksista: rikkihappo, lipeä, vuorisuola ja sarjojen massat. Vesilaitoksen kemikaaleista tulee noin 90 % kokonaiskustannuksista ja loppuosa kemiallisesti puhdistetun veden hinnasta. Täyssuolanpoistolaitoksella tuotetun puhtaan veden hinta vesikuutiometriä kohden on laskettu aikaisemmin ainakin kahdesti. Hinnan ovat laskeneet Janne Valkama ja Hannu Pääskynen. Koska vesilaitoksen toiminnassa ei ole tapahtunut muutoksia, päätettiin tässä selvityksessä käyttää aiemmin laskettua puhtaan veden hintaa 6 €/m³.

Lauhdetta menee tarpeettomasti uudelleen puhdistettavaksi 77 073 m³

Puhdistettavaksi menevän lauhteen kokonaishinta vesilaitoksen kustannusten perusteella on $6 \text{ €/m}^3 * 77\,073 \text{ m}^3 = 462\,438 \text{ €}$

Lauhteen määrä ja kustannuslaskelmat on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 3.

5.4 Ionivaihtimien elvytys

Nykyisellä lämmitysmuodolla ei kuluteta pelkästään lauhdetta. Lauhteen uudelleen kierrättäminen vaikuttaa myös sarjojen elvytyksiin. Lauhteen määrä vastaa 8 humussuodattimen, 40 kationi- ja anionisuodattimen ja noin kahden sekavaihtimen käyttöjaksoa. Jokaisen vaihtimen elvytysohjelma käyttää vaiheiden edellyttämän verran täyssuolatonta vettä.

Taulukko 4. Täyssuolattoman veden kulutus sarjojen elvytyksissä. (Pääskynen 2008, 77)

TS-veden kulutus	Elvytystenmäärä (kpl)	TSV (m ³ /elvytys)	Kokonaismäärä (m ³)
Humussuodin	8	27	216
Kationi- ja Anionivaihdin	40	87	3480
Sekaionivaihdin	2	141	282
Yhteensä		255	3978

Ionivaihtimien elvytyskustannukset (€) (6 €/m³) = 23 868 €

5.5 Boilex

Boilex 510A on kehitetty höyrykattiloiden vedenkäsittelyaineeksi. Boilex poistaa vedestä tehokkaasti jäännöshappea ja nostaa veden ja lauhteen pH:ta. Boilex syötetään syöttövesisäiliöön, josta se kulkeutuu höyryyn ja takaisin lauhteeseen.

Tarpeettomasti uudelleen puhdistettavaksi menevästä lauhteen määrästä voidaan laskea Boilex-kemikaalikustannuksia. Boilex 510A-kemikaalia annostellaan syöttöveden yleisesti noin 1g / syöttövesi- m³. Tarkat annostelumäärät ovat laitokohtaisia ja vaihtelevat kattilaveden ja höyryn laatuvaatimuksien mukaan. (Kiimalainen 2004, 32.)

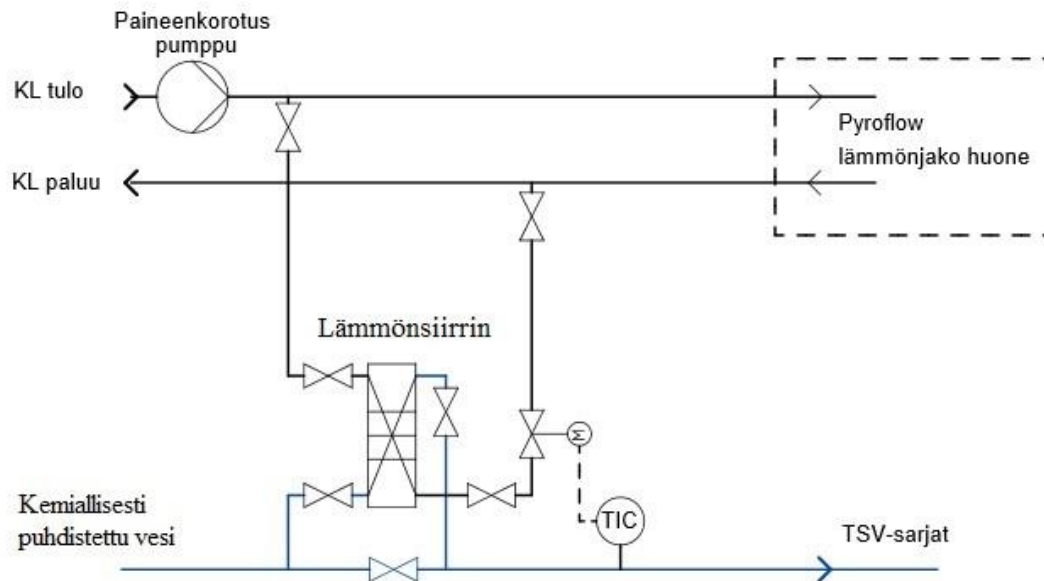
Uudelleen puhdistettavaksi menevän lauhteen määrä on 77 073 m³. Boilex 510A-kemikaalia syötetään syöttöveden mukaan noin 1g / syövesi-m³, josta saadaan kokonaismääräksi 77 073 m³ * 1 g/m³ = 77 073g, kiloihin muutettuna 77 kg. Boilex-kemikaalin hankintahinta on 28 €/kg. Kokonaishinta kemikaalin kulutuksen mukaan saadaan 77 kg * 28 €/kg = **2 156 €**

6 MUUTOSTEN SUUNNITTELU

6.1 Kemiallisesti puhdistettu vesi

Kemiallisesti puhdistettu vesilinja on haponkestävää ja kooltaan DN 125. Suolapitoisuuden muutosten vuoksi tavallista ruostumatonta ei käytetä heikomman kestävyysden takia vesilinjana. Putkiston paine vesilaitoksella on yli 2 bar noin 140 m³/h virtauksella. Lämmönsiirtimen lisääminen linjaan tuo muutoksessa suurimman painehäviön, mutta paine ei siltikään pääse putoamaan liian matalaksi.

Muutoksen toteutukseen raakavesilinjaan tarvitaan 2 kpl T-haara- tai Y-haaraliitosta, jotta vesi saadaan kierrätettyä siirtimen kautta. Molempiin liitoksiin lisätään sulkuventtiilit. Haaraliitosten väliin lisätään yksi sulkuventtiili, joka määrää onko lämmönsiirrin ajossa tai ohitettuna. Putkikoko pidetään samana liitoksissa. Esimerkki lämmönsiirtimen kytkennästä on kuvassa 7.

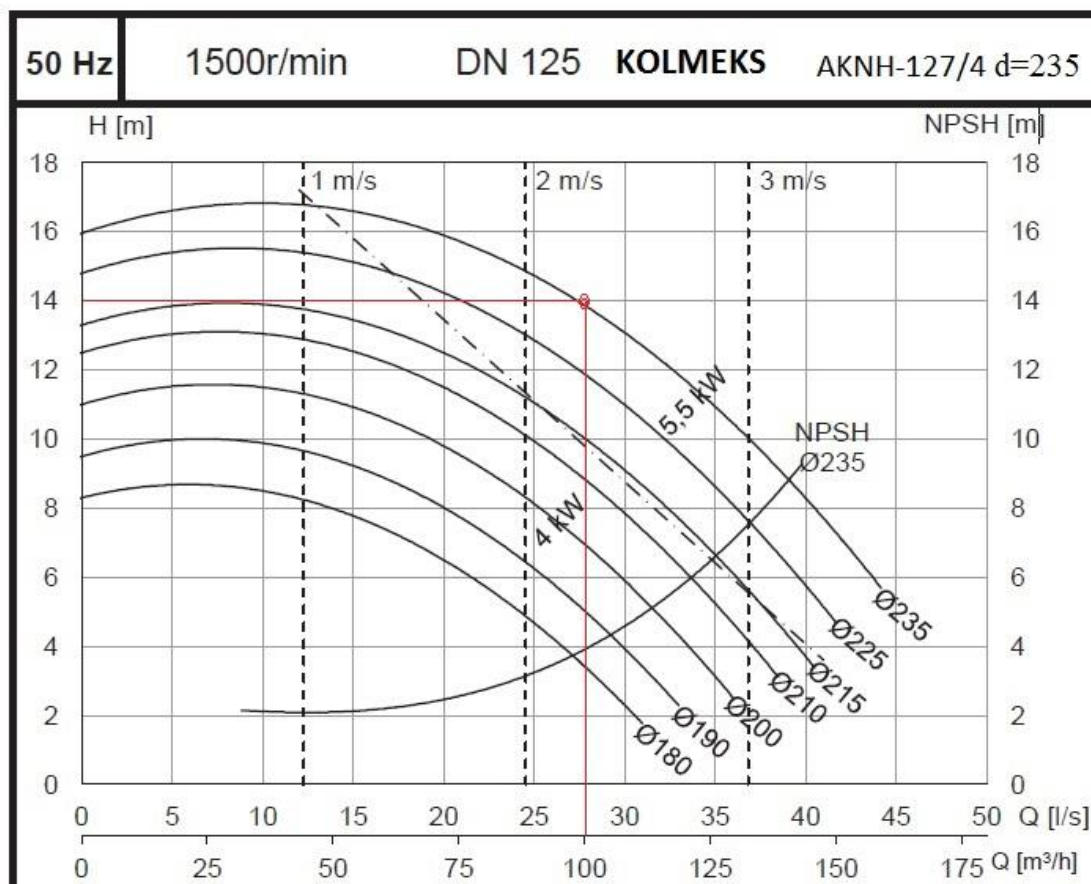


Kuva 7. Lämmönsiirtimeen putkiliitokset. (Ville Lahti)

6.2 Kaukolämpö

Kaukolämpö levylämmönsiirtimeelle otetaan Pyroflow kattilarakennukselle menevästä lämmityslinjasta. Linja on rakennettu DN 125 putkesta ja alkupäässä linjaa on paineenkorotuspumppu. Lämmityslinjassa pystytään helposti ajamaan suurempia virtauksia, kuin selvityksen tekohetkellä vallitsevat virtaukset. Pumpussa riittää kapasiteetti helposti yli 100 m³/h ja putkisto on virtaukselle riittävän suuri. Kaukolämpölinjassa on painetta noin 4 – 5,5 bar riippuen siitä, onko pumppu käytössä. Paluulinjan paine on noin 2,5 – 3 bar virtauksen ja paisunnan mukaan. Pyroflow lämmönjako-huoneessa kaukolämpölinjassa on säätöventtiilit, jotka ylläpitävät putkien välistä paine-eroa.

Kaukolämpölinjan muutoksen toteutukseen tarvitaan juuriventtiilit liitoksiin, josta otetaan haaroitus siirtimeelle. Levylämmönsiirtimeelle asennetaan myös sulkuventtiilit, jotta vaihdin saadaan helposti otettua käyttöön/pois käytöstä ilman telineitä. Siirtimeltä pois menevään linjaan asennetaan moottoritoiminen säätöventtiili, joka säätää vaihtimelta tulevaa kaukolämpövirtausta kemiallisesti puhdistetun veden lämpötilan perusteella.



Kuva 8. Pyroflow pumppun ominaiskäyrä. (Kolmeks Oy:n www-sivut 2017)

Pyroflow paineenkorotuspumppu on Kolmeks AKNH-127/4. 5,5 kW moottorilla ja 235 mm halkaisijalla oleva juoksupyörä. Tarkastellaan pumpun paineenkorotusta ominaiskäyrästä 100 m³/h virtauksella. Huomataan pumpun nostokorkeuden olevan kyseisellä virtauksella 14 m, mikä vastaa noin 1,4 bar. Paineenkorotuspumpun avulla saavutetaan kaukolämpölinjassa painetta yli 5 bar, vaikka kaukolämpöverkoston paine ennen paineenkorotuspumppua tippuisikin alle 4 bar. 100 m³/h virtauksella painehäviö DN 125 putkistossa ei ylitä 0,5 kPa/m enimmäisvirtausta, taulukko 7.

6.3 Levylämmönsiirrin

6.3.1 Mitoitus

Kemiallisesti puhdistetun veden lämpötila talvisin on 15 celsiusastetta. Veden lämpötila tarvitsee nostaa 25 celsiusasteeseen saavuttaakseen asetusarvon. Vesilaitokselle menevän kemiallisen veden virtauksen oletetaan tässä selvityksessä olevan koko ajan 130 m³/h.

Taulukko 5. Kemiallisesti puhdistetun veden (VKE) lämmitykseen tarvittava teho.

VKE veden lämpötila [°C]	15	$\Delta T = 10\text{ °C}$
VKE veden tavoite lämpötila °C	25	
Virtaus [m ³ /s]	0,036	VKE vesi määrä 130 m ³ /h
Tiheys [kg/m ³]	998	
Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg*K]	4,185	

Taulukon arvoilla saadaan laskettua lämpökapasiteettivirta, kuinka paljon tarvitaan tehoa celsiusastetta kohden kyseisellä virtaamalla.

$$\text{Lämpökapasiteettivirta} \quad \dot{C} = qv \cdot \rho \cdot c_p \quad = 150,8 \text{ kW/K}$$

Lisäämällä haluttu lämpötilaero saadaan tarvittava teho, jotta saadaan tavoitettua annetut asetusarvot.

$$\text{Tarvittava lämpöteho} \quad \Phi = \dot{C} \cdot \Delta T \quad = 1508 \text{ kW} \\ = 1,5 \text{ MW}$$

Levylämmönsiirtimen kuvat ja suoriteajot 130 m³/h, 200 m³/h virtauksilla on esitetty liitteessä 1.

Kaukolämpöputkiston kokonaispainehäviö muodostuu putkiston pituudesta, putkistoon kohdistuvista mutkista ja venttiileistä. Laskelmissa on käytetty putkiston kokonaispituutena 30 metriä. Mutkia putkistoon tulee 16 kpl ja venttiileitä 5 kpl yhteensä. Kaukolämpöputkistossa kokonaispainehäviö on 0,22 bar. Lämmönsiirtimestä tulee painehäviötä 0,07 bar. Yhteensä koko rakennelmalle tulee noin 0,3 bar painehäviö, kun virtausnopeus on 1,7 m/s. Kun tarkastellaan 0,3 bar painehäviötä Pyroflow kattilarakennuksen lämmityslinjaan, josta haaroitetaan kaukolämpö lämmönsiirtimelle. Huomataan, että lämmityslinjan paine-eroa 1 – 2 bar ei ylitetä painehäviö laskelmissa.

Putkiston painehäviölaskelmat on esitetty liitteessä 2.

6.3.2 Sijoitus

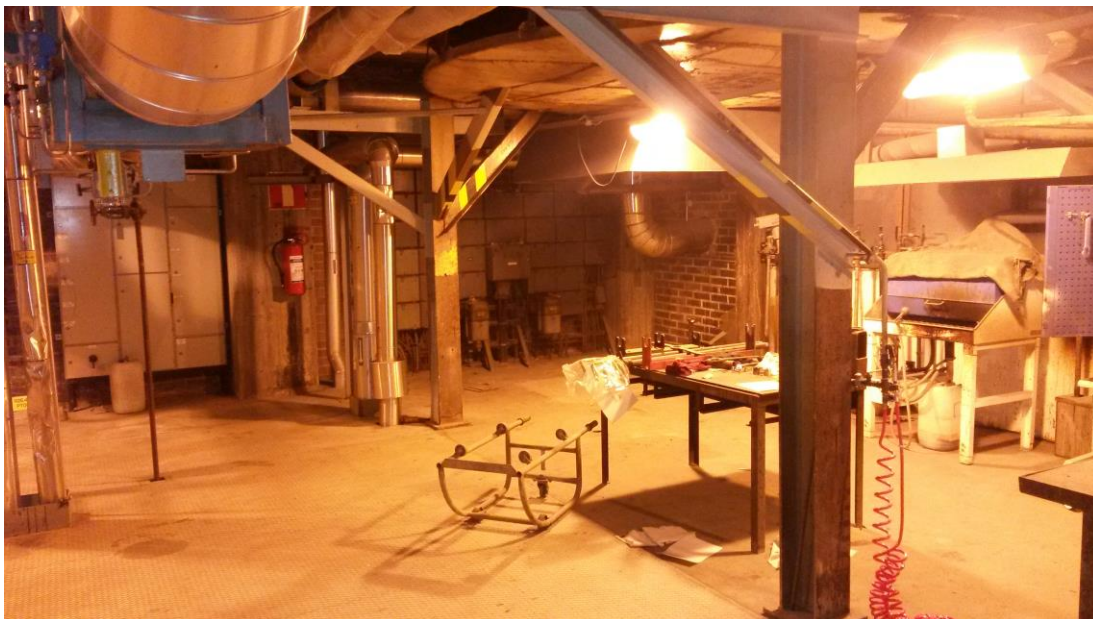
Suunniteltu paikka lämmönsiirtimelle on voimalaitoksella sijaitseva vanha öljyvoimalaitos. Rakennuksen toisessa kerroksessa sijaitsee kemiallisesti puhdistetun veden putki ja kaukolämpöputket saadaan haaroitettua pyro / öljyvoimalaitoksen yhdyskäytävässä olevasta linjasta.



Kuva 9. Kaukolämpöputket Pyroflow-yhdyskäytävään katolta. (Ville Lahti)



Kuva 10. Kaukolämpöputkien liityntäpaikka. (Ville Lahti)



Kuva 11. Levylämmönsiirtimen sijoituspaikka öljyvoimalaitoksella. (Ville Lahti)

7 INVESTOINTILASKELMAT

7.1 Lauhde

Kemiallisesti puhdistetun veden lämmittämisessä menee tarpeettomasti lauhdetta uudelleen kierrätettäväksi vesilaitokselle. Uudelleen kierrätykseen menevälle lauhteen määrälle voidaan määrittää hinta, kun oletetaan, että lauhde saadaan säästettyä muutostyön avulla. Hintojen kustannuslaskut on esitetty kappaleessa 5.

Puhdistettavaksi menevän lauhteen kokonaishinta vesilaitoksen kustannusten perusteella 462 438 €

Vesilaitoksen elvytyksistä tulevat kustannukset 23 868 €

Boilex 510A-kemikaali kustannukset 2 156 €

Yhteensä = 488 462 €

Lauhteen uudelleen kierrättäminen vesilaitoksen läpi oli maksanut tarkastelujakson aikana kokonaisuudessaan 488 462 €. Nykyisen lämmitysmenetelmän kustannukset voidaan muuttaa vertailukelpoisempaan muotoon, kun lasketaan tarkastelujakson kokonaislämmitysenergia ja jaetaan kustannuksilla. Tällä tavoin saadaan lämmityskustannukset muotoon €/MWh. Kaukolämmön energiahinnasta käytetään samaa hinnoittelu muotoa. Taulukossa 8 on laskettu kulutetun lauhteen perusteella kokonaisenergia megawateissa lämmityskaudelle.

Taulukko 8. Lauhdelämmityksellä tuotu lämpöteho megawateissa.

Lämmitykseen käytetty lämpöteho	$\Phi = q_v * \rho * C_p * \Delta T$
Tilavuusvirta (lauhteen keskiarvo 11,75 m ³ /h)	0,003257 m ³ /s
Tiheys	965 kg/m ³
Ominaislämpökapasiteetti	4,2 KJ/(kg K)
lämpötila (lauhde – lämmitetty lisävesi)	(90-25) °C
Lauhde virtauksessa oleva lämpöteho Φ	0,858 MW
Lämmityskaudella tuotu lämpöteho 274 päivää * 24h * Φ	5642,47 MWh

Lauhdelämmitykselle saatu energiahinta tarkastelujaksolle on
488 462 € / 5 642,5 MWh = 86,6 €/MWh.

7.2 Takaisinmaksu

Lämmitysjärjestelmän muutoksen toteutukseen täytyy tehdä investointeja. Kemiallisesti puhdistetun veden lämmityksen muutokseen tarvitaan taulukon 9 mukaisia investointeja, jotta järjestelmästä saadaan toimiva.

Taulukko 9. Investointikustannukset.

Investointikustannukset	Hinta [€]
Suunnittelu ja projektointi	8 000
Esivalmistelut ja lämmönsiirtimen asentaminen	3 800
Sähköautomaatio suunnittelu ja asennus	4 200
1.5 MW levylämmönsiirrin	5 200
Putkiasennukset, sulkuventtiilit, putket ja kiinnikkeet	9 200
Putkien eristäminen	4 300
Säätöventtiili	3 900
Mittauslaitteet	2 900
Telineet	1 900
Yhteensä	43 400

Hinnat perustuvat yrityksiltä saatuihin ohjevähittäishintoihin ja aiemmin arvioituihin urakoiden hintoihin. Todellisia tarjoushintoja ei yrityssalaisuuden takia paljasteta opinnäytetyön julkisessa versiossa.

Tässä tarkastelussa on käytetty yritykseltä saatua ohjevähittäishintaa kaukolämmön energiahintana, joka on 70 €/MWh

Takaisinmaksuaika saadaan, kun jaetaan investointikustannukset lämmitysmenetelmä muutoksen tuomalla säästöllä.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investoinnit (€)}}{\text{Säästö €/MWh}}$$

Säästöä saadaan kaukolämmön energiahinnasta, joka on pienempi kuin lauhdelämmityksen energiahinta.

$$Takaisinmaksuaika [d] = \left(\frac{43\,400 \text{ €}}{\left(86,6 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} - 70 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}\right) * 24 \text{ h}} \right)$$

Kemiallisesti puhdistetun veden lämmitysmuutos projektin takaisinmaksuaika on 109 päivää.

Lämmityskauden tarkastelujaksoon kuuluu 274 päivää. Lämmityskaudella saadaan yritykselle säästöä, kun muutetaan kemiallisesti puhdistetun veden lämmityksen kaukolämmöllä toimivaksi. Säästöä investointien jälkeen saadaan 165 päivältä.

$$165 \text{ päivää} * 24 \text{ h} * \left(86,6 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} - 70 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}\right)$$

Säästöä saataisiin yritykselle ensimmäisen lämmityskauden aikana 65 736 €

8 YHTEENVETO

Työn aloituksessa isoimmiksi haasteiksi muodostuivat kemiallisesti puhdistetun veden puuttuvat mittaukset ja lämmönsiirtimen paikan valinta. Voimalaitoksella oli monta mahdollista paikkaa lämmönsiirtimelle, joista piti optimoida paras putkiston ja huoltotoimenpiteiden kannalta. Suunnittelussa epätarkkuutta aiheutti, kun jouduttiin turvautumaan sovittuihin lähtöarvoihin, eikä laskentaa päästy tekemään kokonaisuudessa reaaliaikaisten mittausten pohjalta. Lämmönsiirtimen mitoituksessa päästiin hyviin tuloksiin ja kapasiteetin katsottiin olevan riittävä, vaikka kemiallisesti puhdistetun veden virtausnopeus kasvaisi.

Laskelmista voidaan todeta, että nykyistä lämmitysmenetelmää voidaan parantaa investoimalla lämmitysjärjestelmä muutokseen. Muutoksen avulla saadaan pienennettyä kemiallisesti puhdistetun veden lämmityskustannuksia. Samalla veden kokonaiskulutus voimalaitoksella pienenee, kun lauhdetta ei tarvitse kierrättää uudelleen puhdistettavaksi. Investointien ja takaisinmaksun perusteella kappaleessa 7 osoittavat, että työ on mahdollista toteuttaa ja kannattava. Takaisinmaksuaika laskelmien perusteella on alle yhden vuoden ja säästöä saadaan jo ensimmäisellä lämmityskaudella.

LÄHTEET

Pori Energia Oy:n toimintakertomus. 2015. Viitattu 5.1.2017.

https://issuu.com/jabadabadoo/docs/porienergia_toimintakertomus_2015

Pori Energia Oy:n intranet. 2017. Viitattu 12.1.2017. <http://porienergiaintra.sofis.fi/>

Pohjolan Voima www-sivut. 2017. Viitattu 12.1.2017. <http://www.pohjolanvoima.fi/>

Pori Energia Oy:n sähköinen arkisto M-files. 2017. Viitattu 23.1.2017.

Kiimalainen, J. 2004. Kemira Pigments Oy: Vedenkäsittelykoulutus. Pori.

Valkama, J. 2016. Käynnissäpitopäällikkö, Pori Energia Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2016

Pääskynen, H. 2008. Porin Prosessivoima Oy:n täyssuolanpoistolaitoksen toiminnan tehostaminen. AMK -opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Kolmeks Oy:n www-sivut. 2017. Viitattu 25.1.2017. <http://www.kolmeks.fi/>

Laiho, E-M. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. MTOL.

Energiateollisuus ry. 2014. Rakennusten kaukolämmitys: Määräykset ja ohjeet. Viitattu 31.1.2017. http://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

Levylämmönsiirrin tuotetiedot

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Model : TS20-MFG
 Project : Porin Energia Jouluk. -16
 Item : 1,5 MW Kaukolämpö L S

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	980.2	997.6
Specific heat capacity	kJ/(kg ^o K)	4.18	4.19
Thermal conductivity	W/(m ^o K)	0.656	0.602
Viscosity inlet	cP	0.353	1.14
Viscosity outlet	cP	0.536	0.895
Volume flow rate	m ³ /h	46.5	130.0
Inlet temperature	°C	80.0	15.0
Outlet temperature	°C	51.2	25.0
Pressure drop	kPa	6.64	45.9
Heat Exchanged	kW	1512	
L.M.T.D.	K	44.9	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	4259	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	4260	
Heat transfer area	m ²	7.9	
Effective fouling resistance* 10000	m ² *K/W	0.0	
Effective duty margin	%	-0.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		30	
Effective plates		28	
Number of passes		1	1
Extension capacity		30	
Plate material / thickness		AISI 316 / 0.50 mm	
Sealing material		EPDMP Clip-on	EPDMP Clip-on
Connection material		HST steel	HST steel
Connection diameter		See drawing	See drawing
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED, Category 2	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		x	x
Flange rating		DIN PN16	
Design pressure	bar	16.0	16.0
Test pressure	bar	22.9	22.9
Design temperature	°C	140.0	140.0
Overall length x width x height	mm	1185 x 800 x 1405	
Liquid volume	dm ³	27.12	28.83
Net weight, empty / operating	kg	994 / 1040	
Packed weight(SKID BASE LYING)	kg	1100	
volume	m ³	2.6	
length x width x height	mm	1800 x 910 x 1600	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data.

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party.

Levylämmönsiirrin tuotetiedot

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Model : TS20-MFG
 Project : Porin Energia Jouluk. -16
 Item : 200 m3/h suoriteajo

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	981.0	998.0
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.17	4.19
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.655	0.600
Viscosity inlet	cP	0.353	1.14
Viscosity outlet	cP	0.556	0.960
Volume flow rate	m ³ /h	46.5	200.0
Inlet temperature	°C	80.0	15.0
Outlet temperature	°C	49.0	22.0
Pressure drop	kPa	6.65	105
Heat Exchanged	kW	1627	
L.M.T.D.	K	44.9	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	4570	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	4570	
Heat transfer area	m ²	7.9	
Effective fouling resistance* 10000	m ² *K/W	0.0	
Effective duty margin	%	0.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		30	
Effective plates		28	
Number of passes		1	1
Extension capacity		30	
Plate material / thickness		AISI 316 / 0.50 mm	
Sealing material		EPDMP Clip-on	EPDMP Clip-on
Connection material		HST steel	HST steel
Connection diameter		See drawing	See drawing
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED, Category 2	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		x	x
Flange rating		DIN PN16	
Design pressure	bar	16.0	16.0
Test pressure	bar	22.9	22.9
Design temperature	°C	140.0	140.0
Overall length x width x height	mm	1185 x 800 x 1405	
Liquid volume	dm ³	27.12	28.83
Net weight, empty / operating	kg	994 / 1040	
Packed weight(SKID BASE LYING)	kg	1100	
volume	m ³	2.6	
length x width x height	mm	1800 x 910 x 1600	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data.

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party.

Kaukolämpöputkiston painehäviö

DN100 teräsputken painehäviö

Putken pituus 2 x 15m
Sulkuventtiilit 4kpl90 asteen mutkat 2 x 8kpl
säätöventtiili 1kpl

Dynaaminenpaine

$$Pd = \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad \frac{1}{2} * 980 \frac{kg}{m^3} * 1,6677^2 m/s$$

$$= 1412,27 Pa$$

Reynoldsin luku

$$Re = \frac{v * d_s}{\nu} \quad \frac{1,6677 \frac{m}{s} * 0,1 m}{0,45 * 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 370600$$

$$Re * k/d \quad 370600 * \frac{0,045 mm}{100 mm}$$

$$= 166,77$$

Kaukolämpöputkiston painehäviö

Kitkavastuskerroin

$$\lambda = \left[\frac{1}{-2 * \lg \left(\frac{\frac{k}{d}}{3,707} - \frac{5,045}{Re} * \lg \left(\frac{\frac{k}{d}}{3,707} + \frac{5,6 - 37 * \frac{k}{d}}{Re^{0,9}} \right) \right)} \right]^2$$

$$\lambda = \left[\frac{1}{-2 * \lg \left(\frac{\frac{0,045}{100}}{3,707} - \frac{5,045}{370600} * \lg \left(\frac{\frac{0,045}{100}}{3,707} + \frac{5,6 - 37 * \frac{0,045}{100}}{370600^{0,9}} \right) \right)} \right]^2$$

$$= \mathbf{0,01765}$$

Kitkapainehäviö putkivirtauksessa

$$\Delta P_{\lambda} = \lambda * \frac{l}{d_s} * P_d \quad 0,01765 * \frac{30 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} * 1412,27 \text{ Pa}$$

$$= \mathbf{7477,97 \text{ Pa}}$$

$$\mathbf{7,5 \text{ kPa}}$$

Kaukolämpöputkiston painehäviö

Kertavastuksista aiheutuva painehäviö

Mutkat

$$\Delta P_{\delta} = \delta * P_d \quad 16kpl * 0,5 * 1412,27 Pa$$

$$= \quad \mathbf{11298,2 \ Pa}$$

Venttiilit

$$5 kpl * 0,45 * 1412,27 Pa$$

$$= \quad \mathbf{3177,61 \ Pa}$$

Kokonaispainehäviö KL putkistossa

$$\Delta P = \Delta P_{\delta} + \Delta P_{\lambda}$$

$$= 7477,97 Pa + 11298,2 Pa + 3177,61 Pa$$

$$= \quad \mathbf{21953,7 \ Pa}$$

$$= \quad \mathbf{21,95 \ kPa}$$

$$\quad \mathbf{0,22 \ bar}$$

Lämmönsiirtimestä aiheutuva painehäviö

$$= \quad \mathbf{6,67 \ kPa}$$

$$\quad \mathbf{0,07 \ bar}$$

Rakennelman kokonaispainehäviö

$$KL \ putkisto + \ lämmönsiirrin \quad = \quad \mathbf{0,29 \ bar}$$

Lauhteen määrä ja kustannuslaskelma

PPV:n vesilaitoksen kemiallisen veden lämmitykseen menevän lauhteen määrä ja kustannuslaskelma											
Keskimääräinen VKE veden virtaus		2015						2016			
98 m ³ /h	1.9.2015 - 31.5.2016	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	Tammikuu	Helmi- kuu	Maalis- kuu	Huhtikuu	Toukokuu	
Tuleva kylmä VKE vesi	Lämpötila [°C]	20	20	15	15	15	15	15	20	20	
	Virtaus [m ³ /h]	98	98	98	98	98	98	98	98	98	
Sekoitettava lauhte	Lämpötila [°C]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
Lauhteella lämmitetty VKE vesi	VKE veden haluttu lämpötila [°C]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	Lauhteen määrä lämmitämiseen [m ³ /h]	7,54	7,54	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	7,54	7,54	
	Kuukauden Pitus [d]	30	31	30	31	31	29	31	30	31	
	Kuukauden yhteismäärä [m ³ /kk]	5427,69	5608,62	10855,38	11217,23	11217,23	10493,54	11217,23	5427,69	5608,62	
Vuotuinen lauhteen kulutus lämmitämiseen	Tarkastelu ajankohdan kokonaiskulutus	77073,23 m ³									
TS-Veden valmistus kustannukset [6 €/m ³]		462439,38 €									
		Sisältää kaikki vesilaitoksen kemikaalit (Lipeä, Rikkihappo, Vuorisuola,sarjojen massat)									