

Antti Vajavaara

TIV-2 TUOTANTOLAITOKSEN UUTTOKOLONNIN
LÄMMITYSTAVAN MUUTOS KAUKOLÄMMÖLTÄ LAUHITEELLE

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2018

TIV-2 TUOTANTOLAITOKSEN UUTTOKOLONNIN LÄMMITYSTAVAN MUUTOS KAUKOLÄMMÖLTÄ LAUHTEELLE

Vajavaara, Antti
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2018
Sivumäärä: 26
Liitteitä: 1

Asiasanat: kaukolämpö, uutto, energiatehokkuus

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää kaukolämmöllä lämmitettävän uuttokolonnin energiakulutus. Tarkoituksena oli myös selvittää, onko kannattavaa vaihtaa uuttokolonnin lämmitysmuoto kaukolämmöltä lauhteelle. Lauhdetta syntyy prosessin muissa kohteissa, joissa käytetään höyryä lämmitysmuotona.

Virtaus- ja lämpötilamittauksissa käytettiin kannettavia virtaus- ja lasermittareita. Mittausten tuloksia hyödynnettiin laskelmissa.

Työn tarkoituksena oli selvittää myös mahdollinen investoinnin suuruus. Tätä investointia käytettiin takaisinmaksuajan laskelmassa.

Mittausten ja laskelmien jälkeen tultiin siihen johtopäätökseen, että tätä investointia ei kannata tehdä, koska takaisinmaksuaika on liian pitkä kyseiselle investoinnille.

FACTORY TIV-2 EXTRACTION COLUMN DISTRICT HEATING CHANGING TO CONDENSATE HEATING

Vajavaara, Antti

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in mechanical and production engineering

March 2018

Number of pages: 26

Appendices: 1

Keywords: district heat, extraction, energy efficiency

The purpose of this thesis was to find out the energy consumption of an extraction column heated by district heating. The purpose was also to find out whether it is profitable to change the heating mode of the extraction column from the district heating to the condensate heating. Condensation heat is created elsewhere in the process where steam is used as a heating medium.

Flow and temperature measurements were used with portable flowmeter and portable laser meter. Measured data could be utilized in calculations.

In the calculations, the energy consumed by the extraction column was calculated. This energy efficiency was used to calculate the repayment period.

The purpose of the thesis was also to find out the potential amount of investment. This investment was used in the calculation of the repayment period.

After the measurement and calculations, the conclusion was that this investment should not be made because the payment period is too long for this small investment.

.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KEMIRA-KONSERNI, TOIMINTAYMPÄRISTÖ.....	6
3	TEHDAS TIV-2	6
3.1	Nykytilan kuvaus	7
3.2	Tavoite	9
4	UUTTOKOLONNI	10
5	KAUKOLÄMPÖ.....	11
6	LAUHDE.....	11
7	MITTAUKSET	12
7.1	Virtausmittaukset	12
7.2	Lämpötilamittaukset	14
8	LASKELMAT	17
9	VAADITTAVAT MUUTOSTYÖT.....	21
10	TAKAISINMAKSUAIKA.....	22
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
	LÄHTEET	24
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Ollessani kesätöissä Kemiran tehtailla Sastamalassa vuoromestarina oli työnantajalaini energiansäästökampanja käynnissä. Kulkiessani eri osastoilla mietiskelin, minkälaisiin kohteisiin käytetään höyryä ja kuinka paljon niistä syntyy lauhdetta. Samalla mietin, että voisiko tätä lauhdetta käyttää missään kohteessa hyödyksi. Tutustuessani prosesseihin ja siellä työskenteleviin henkilöihin alkoi ajatus lauhteen hyödyntämisestä kypsyään. Tällainen sopiva kohde löytyi TIV-2 Pulveri -nimiseltä osastolta, jossa on kaukolämmöllä lämmitettävä uuttokolonna. Uuttokolonnin lämpötila on sen verran matala, että siinä voisi käyttää lämmitysmuotona myös lauhdetta.

TIV-2 tehtaan tekemää tuotetta käytetään lääketeollisuudessa raaka-aineena. Kyseistä tuotetta valmistetaan natriumboorihydridi-liuoksesta, jota valmistetaan TIV-1 Liuos -nimisellä osastolla TIV-2 tehtaan välittömässä läheisyydessä.

Työn tarkoituksena on selvittää, kannattaako uuttokolonnin lämmitysmuotoa muuttaa. Tällä hetkellä uuttokolonnia lämmitetään kaukolämmöllä. Työn tarkoituksena on selvittää, kannattaako kaukolämpö vaihtaa lauhdelämpöä hyödyntäväksi lämmitysmuodoksi. Lauhdetta syntyy tehtaalla prosesseissa, joissa käytetään höyryä lämmitysmuotona. Tarkoituksena on selvittää, saadaanko tällä mahdollisella lämmitysmuodon muutoksella säästöjä kaukolämpökustannuksissa aikaiseksi.

Selvityksen hetkellä (2017) kaukolämmöstä maksetaan sen tuottajalle ja lauhde on hukkalämpöä, jota voitaisiin hyödyntää tähän kohteeseen.

2 KEMIRA-KONSERNI, TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Kemira on kansainvälinen kemianalan yritys, joka keskittyy paperi- ja sellukemikaalien ja vedenpuhdistuskemikaalien tekemiseen ja myymiseen. Kemiran päätoimialat ovat paperi- ja selluteollisuus ja kunnallinen vedenpuhdistus. Kemirassa työskentelee maailmanlaajuisesti noin 4800 ihmistä, joista Suomessa noin 900. Kemiran liikevaihto oli vuonna 2016 2300 M€. (Kemiran WWW-sivut 2017)

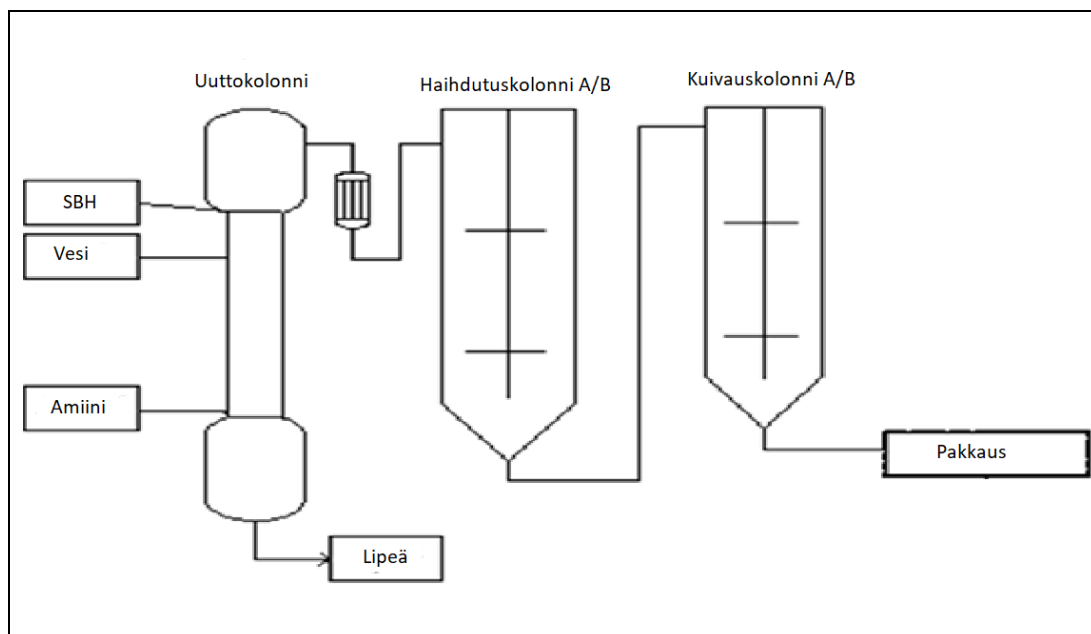
Kemira Sastamalan tehtaat sijaitsevat noin tunnin ajomatkan päästä Tampereelta Turun suuntaan. Sastamalan tehtailla tehdään muun muassa paperin- ja sellun valkaisuun tarkoitettua kemikaaleja sekä vedenpuhdistukseen tarkoitettua kemikaaleja. Opinnäytetyön kohde sijaitsee TIV-2 pulveri -nimisellä hienokemikaaliosastolla, jossa tehdään kemikaalia lääketeollisuuden tarpeisiin.

3 TEHDAS TIV-2

Tehdas TIV-2 tunnetaan myös nimellä ”pulveri”. Siellä tehdään natriumboorihydridiliuoksesta (myöhemmin pelkkä SBH) kiinteää SBH-pulveria, josta pulveri -nimitys on jäänyt elämään arkipäiväisissä keskusteluissa, kun puhutaan kyseisestä tuotantolaitoksesta.

SBH-liuosta, vettä ja propyyliamiinia (myöhemmin pelkkä amiini) syötetään tietyssä suhteessa uuttolonniin, jossa on tarkoitus erottaa amiinin avulla SBH natriumhydroksidista (NaOH, myöhemmin pelkkä lipeä). Lipeän ja veden sekoitus poistuu uuttolon alaosasta ja otetaan talteen muuta käyttöä varten. Amiinin ja SBH:n yhdiste poistuu uuttolon yläkautta haihdutuskolonnille, jossa amiinia haihdutetaan pois SBH:sta. SBH jatkaa matkaansa kuivauskolonnille, jossa loputkin amiini jäävät poistuvat tuotteesta ja tuote on valmis siirrettäväksi pakkaamoon.

Pakkaamossa tuote voidaan pakata sellaisenaan tai se voidaan rakeistaa ja pakata sen jälkeen pusseihin, jotka suljetaan metallitynnyreihin (kuva 1).



Kuva 1. TIV-2 tehtaan toimintaperiaate.

3.1 Nykytilan kuvaus

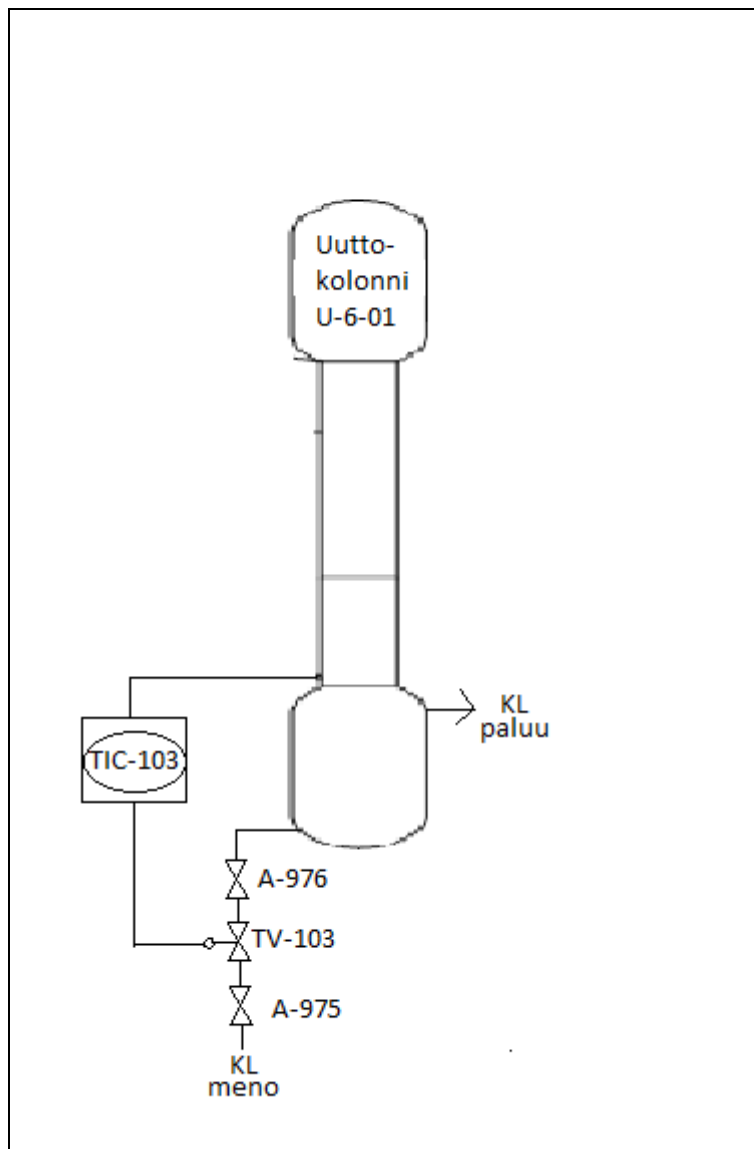
Nykyisessä tilanteessa (2017) uuttokolonnin alapäässä olevaa vaippaa lämmitetään kaukolämmöllä. Lämmityksen tarkoitus on tehostaa SBH:n erottamista lipeästä käytämällä amiinia välittäjäaineena.

Amiini ja SBH jatkavat matkaansa haihdutuskolonnille A tai B, josta tuote jatkaa matkaansa kuivauskolonnille A tai B putkistoa pitkin. Haihdutus- ja kuivauskolonnit ovat kytketty rinnan, joista vain toinen on kerralla käytössä, toinen kolonneista on varalla odottamassa käyttöönottoa. Kuivauskolonnin jälkeen tuote on valmis pakattavaksi pulverimuodossa, tai se rakeistetaan ja pakataan sen jälkeen. Amiinia haihdutetaan haihdutuskolonnissa ja kuivauskolonnissa. Amiini lauhdutetaan takaisin nestemäiseen olomuotoon lauhduttimissa, joista se palautetaan sille varatulle säiliölle. Teoriassa amiinia ei kulu prosessissa, vaan se kiertää putkistossa omaa kiertoaan uuttokolonna, haihdutuskolonna, kuivauskolonna ja sille varattu säiliö.

Uuton tarvitsema lämpötila tulisi olla Kemiran työohjeiden mukaan 35 °C, mutta se vaihtelee noin 26 °C ja 38 °C välillä (suullinen tiedonanto 7.6.2017, operaattori). Uuttokolonnin tarvitsemaa lämpötilaa säädellään automaattiventtiilillä TV-103, jota ohjaa

uuttokolonniassa oleva lämpötila-anturi TIC 103. Käsiventtiileillä A-975 ja A-976 saadaan kuristettua virtausta tarvittaessa tai suljettua piiri kokonaan esimerkiksi automaattiventtiilin huollon ajaksi (kuva 2).

Nykyinen lämmitysmuoto ei riitä saavuttamaan uuttokolonniassa tarvittavaa 35 °C lämpötilaa, kun B-kuivauskolonne on käytössä, vaan lämpötila jää alle tämän (suullinen tiedonanto 7.6.2017, operaattori).

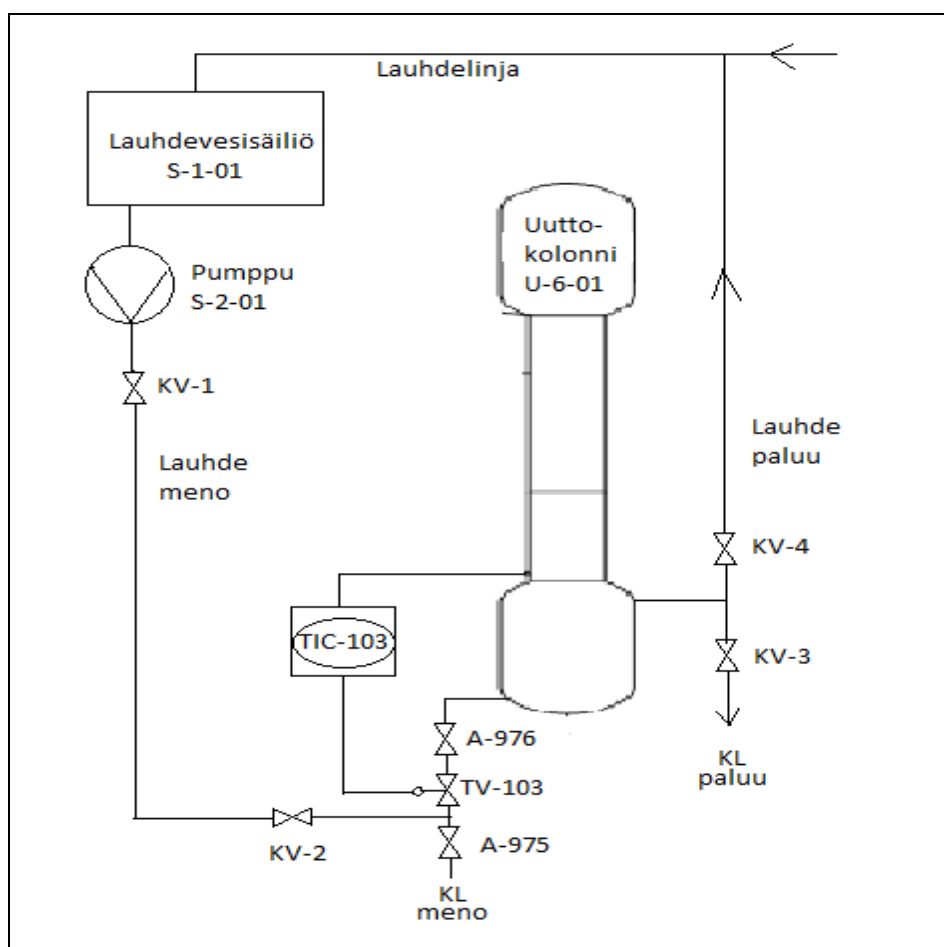


Kuva 2. Uuttokolonnin lämmityksen toimintaperiaate

3.2 Tavoite

Tämän työn tavoitteena on, että uuttokolonnin tarvitsema lämpötila saataisiin jatkossa lauhteesta, joka on selvityksen tekohetkellä hukkalämpöä. Kaukolämpö jäisi varalämmönlähteeksi. Lauhde tulee lauhdesäiliöön S-1-01 84 °C lämpötilassa, josta se jäähdytetään 60 °C lämpötilaan. Jäähdyttäminen tapahtuu pumpulla S-2-01, jolla lauhde pumpataan lämmönsiirtimen kautta takaisin lauhdesäiliöön. Lauhdetta jäähdytetään, koska 60 °C pesuvesi on riittävän lämmintä pesuvedeksi ja yli 80 °C vesi saattaa aiheuttaa helpommin palovammoja, jos pesijä saa roiskeita päällensä. Jäähdytyksestä tuleva ylimääräinen lauhde ja hukkalämpö kulkeutuvat viemäreitä pitkin jokeen.

Ajatuksena on, että lauhdetta pumpattaisiin lauhdesäiliöstä S-1-01 pumpulla S-2-01 uutolle U-6-01 ja näin voitaisiin ylläpitää uuttoprosessia ja lämmittää lauhteella sekä säästää kaukolämpökustannuksissa. Tämä muutos vaatisi jonkin verran uutta putkistoa, jolla lauhde saataisiin uutolle ja takaisin lauhdesäiliölle (kuva 3).



Kuva 3. Uuttokolonnin lämmityksen toimintaperiaate tavoite

4 UUTTOKOLONNI

Tehtaalla käytettävä uuttokolonne on periaatteeltaan neste-neste-uutto. Neste-neste-uutossa, joka tunnetaan myös nimellä liuotusuutto, käytetään kahta toisiinsa sekoittumatonta nestettä. Käytännössä uutto toimii vastavirtaperiaatteella, joka tarkoittaa sitä, että amiini ja SBH siirtyvät uutossa ylöspäin ja lipeä siirtyy uutossa alaspäin. Uuttokolonne on toimintaperiaatteeltaan jatkuvatoiminen kolonne, jossa on mukana mekaaninen sekoitin. Tässä tapauksessa aineina kolonnissa ovat amiini ja SBH, prosessissa käytetään myös hieman vettä tehostamaan lipeän erotusta.

Uuttamisen tarkoitus on erottaa vesi ja lipeä pois tuotteesta. Uuttokolonnissa on aineensiirron tehostamiseksi välipohjia ja sekoitin. Amiini liuottaa SBH:n, mutta ei juurikaan lipeää. Uuttokolonnin yläosaan syötetään SBH-liuos ja pieni määrä ylimääräistä amiinia. Kolonnin keskiosaan syötetään vettä lipeän laimentamiseksi. Uuttokolonnin yläosasta poistetaan ekstrakti (eli amiini ja siihen liuennut SBH). Alaosasta poistetaan raffinaatti (eli lipeän vesiliuos).

Uutossa on tarkoituksena saavuttaa mahdollisimman tehokas SBH:n siirtyminen. Tehokkuuden paras mittari on ekstraktin pieni lipeä- ja vesipitoisuus, sekä raffinaatin pieni SBH-pitoisuus. Näihin voidaan vaikuttaa syötöillä, sekoittimen pyörimisnopeudella ja lämpötilalla. Korkealla sekoittimen pyörimisnopeudella saadaan pieniä pisaroita ja hyvä liuotus SBH:lle, mutta huono selkeytyminen. Alhainen lämpötila johtaa raffinaatin kiteytymiseen ja korkea lämpötila puolestaan amiinin haihtumiseen ja edelleen huonoon selkeytymiseen (opetushallituksen WWW-sivut 2017, Prosessitekniikan yksikköprosessit: Pihkala J.).

5 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpöä tuotetaan Suomessa suhteessa väkilukuun paljon verrattuna muihin pohjoismaihin. Yleensä kaukolämpötuotantolaitos on lähellä taajamaa, jotta vältettäisiin turhia lämmönsiirron seurauksena tapahtuvia lämpöhäviöitä. Nykyisen energiapolitiikan mukaisesti pyritään tuottamaan mahdollisimman hiilineutraalisti kaukolämpöä (energiateollisuus WWW-sivut 2017).

Kaukolämpöä tuotetaan Kemira Sastamalan tehtaiden alueella FC Energian ja Kemiran yhteistoiminnalla. FC Energialla on 30 MW vety / raskaspolttoöljykattila, jolla tehdään höyryä ja kaukolämpöä tehtaiden tarpeisiin. Kaukolämpöä Kemiran alueella tuotetaan pääasiassa vedyllä, jota syntyy tuotannon sivutuotteena. Kaukolämpöä tuotetaan Kemiran omaan käyttöön ja Pehula -nimiselle kylälle, joka sijaitsee tehtaiden läheisyydessä (Leppäkosken WWW-sivut 2017).

Kaukolämpöä käytetään tuotannossa kohteissa, joissa tarvitaan tasaista ja kohtalaisen alhaista lämpötilaa ja höyryllä tuotettu lämpö olisi liian kuumaa.

6 LAUHDE

Lauhdetta syntyy tuotantotiloissa useissa kohteissa, joissa käytetään höyryä lämmitysmuotona. Tällaisia kuumaa lämmönsiirtoainetta tarvitsevia kohteita ovat muun muassa haihdutuskolonne ja kuivauskolonne.

Tehtaalla syntyneen lauhteen lämpötila on noin 84 °C (mitattu 1.7 ja 8.7 2017). Lauhdetta kerätään talteen lauhdesäiliö S-1-01:een, jossa sitä jäähdytetään noin 60 °C lämpötilaan. Osa lauhteesta jää hyötykäyttöön ja osa menee ylivuotona viemäriin.

Jäähdytettyä lauhdevettä voidaan hyödyntää tuotantolaitoksella esimerkiksi pesuvedenä. Tarkoituksena on selvittää, voidaanko tätä lauhteen jäähdytystä vähentää, jos lauhdetta kierrätetään uuton kautta. Muutoksen jälkeen uuttokolonne toimisi osittain

jäähdyttimenä lauhdevedelle, jolloin lauhdetta ei tarvitsisi jäähdyttää erikseen niin paljon, kuin tarve on selvityksen tekohetkellä.

7 MITTAUKSET

Työtä varten hankittiin tietoa prosessin virtauksista ja lämpötiloista, jotta voitiin tehdä päätelmät ja laskelmat tavoitteiden selvittämiseksi. Näitä mittauksia varten käytettiin kannettavaa virtausmittaria (kuva 4) ja laserlämpömittarilla (kuva 5)

7.1 Virtausmittaukset

Virtausmittauksissa käytettiin KROHNE OPTISONIC 6300 P siirrettävää mittaria. Mittarissa oli anturi, joka asennettiin kaukolämpöputkeen kiinni, minkä jälkeen mittariin tehtiin perusasetukset kyseistä mittausta varten. Perusasetuksiin kuului esimerkiksi putken halkaisija, putken seinämän vahvuus, putken materiaali ja mitattava aine.



Kuva 4. Krohne virtausmittari.

Virtausmittauksia tehtiin kahtena eri ajanjaksona, jotta saataisiin vertailupohjaa tuloksille. Mittauspäivät olivat 18.07.2017 ja 24.8.2017. Virtausmittaukset suoritettiin kaukolämpölinjasta ennen käsiventtiiliä A-975 (kuva 2). Taulukossa 1 olevina päivinä uuttolla oli kaukolämpöventtiili TV-103 100 % auki, jotta saatiin mitattua putkessa kulkeva virtaus. Taulukossa 1 on mittausten keskiarvot. Liitteessä 1 on mittaustulokset, joista käy ilmi mittauksen ajankohta, virtauksen määrä ja taulukon alle on laskettu minimi-, keskiarvo- ja maksimivirtaukset.

Ensimmäisen mittauskerran mittausaika oli 43 minuuttia. Asetuksiin määriteltiin mitausväliksi 1 minuutti, joten mittauslukemia tuli 43 kappaletta. Minimivirtaus tällä mittaushetkellä oli 1,53 m³/h ja maksimivirtaus oli 1,60 m³/h. Mittarin tarkkuutta kuvataan kuvassa 5 olevalla taulukolla, joka on otettu instrumart.com internetsivuilta olevasta käyttäjän käsikirjasta suvulta 108.

Measuring accuracy

Reference conditions	Medium: water
	Temperature: 20°C / 68°F
	Straight inlet section: 10 DN
Maximum measuring error	±1% of the measured value for DN≥50 mm / 2" and v > 0.5 m/s / 1.5 ft/s
	±3% of the measured value for DN<50 mm / 2" and v > 0.5 m/s / 1.5 ft/s
Repeatability	<±0.2%

Kuva 5. Krohne virtausmittarin tarkkuus vedellä.

Toisella mittauskerralla mittausaika oli 1 tunti ja 12 minuuttia. Asetukset olivat samat, kuin ensimmäisellä mittauskerralla. Mittauslukemia tuli 72 kappaletta. Minimivirtaus tällä mittauskerralla oli 1,488 m³/h ja maksimivirtaus oli 1,676 m³/h (liite 1).

Taulukko 1. Virtausmittausten ajat ja keskiarvot.

Aika	m ³ /h (keskiarvo)
18.7.2017	1,561
24.8.2017	1,597

7.2 Lämpötilamittaukset

Lämpötiloja mitattiin THERMOPOINT 30 -mittarilla 18.07.2017 ja 24.08.2017. Mittaukset suoritettiin kaukolämpölinjasta ennen ja jälkeen uuttoa. Mittauspisteet olivat molemmilla kerroilla samat ja mittaustuloksetkin olivat molemmilla kerroilla yhtenevät.

Mittauspisteet eivät olleet eristettyjä. Mittaukset tehtiin noin 30 cm etäisyydeltä kaukolämpöputkesta. Tulo- ja lähtöpuolen mittauspisteet ovat noin puolen metrin etäisyydellä toisistaan, joten mittaukset pystyttiin suorittamaan vuoron perään useamman kerran. Mitattaessa ei havaittu poikkeamia lämpötiloissa.



Kuva 6. Thermopoint laserlämpömittari.

Taulukko 2. Uuton meno- ja tulolämpötilat ja mittaus ajankohdat.

Aika	Tulo (°C, t ₁)	Meno (°C, t ₂)
18.7.2017	60	50
24.8.2017	60	50

Lauhteen lämpötila mitattiin 27.6.2017 klo 8:30-9:00 lauhdeputken pinnasta useasta kohdasta riittävän luotettavan mittaustuloksen varmistamiseksi. Useasta kohdasta mitattujen lämpötilojen ero oli muutama asteen kymmenyksen heitto 84 °C. Tässä työssä yhden asteen tarkkuus on riittävän tarkka.

Lauhesäiliön S-1-01 lämpötilaa mitattiin 27.6.2017 klo 8:30-9:00 useasta kohdasta mittaustuloksen varmistamiseksi. Saatu tulos oli 60 °C muutaman asteen kymmenyksen heiton tarkkuudella.

Virtausmittausta ei voitu tehdä uuttokolonnilta A-kuivauskolonnin ollessa käytössä. A-kuivauskolonnin käyttö vaikuttaa amiinin paluulämpötilaan. Amiini palaa kierroltaan sen verran lämpimänä, ettei uuttokolonnia tarvitse lämmittää kaukolämmöllä. Automaattinen kaukolämpöventtiili TV-103 ei aukea tällöin lainkaan. Lämpötilamittaukset saatiin suoritettua B-kuivauskolonnin ollessa käytössä ja automaattiventtiili oli mittauksen aikana 100 % auki.

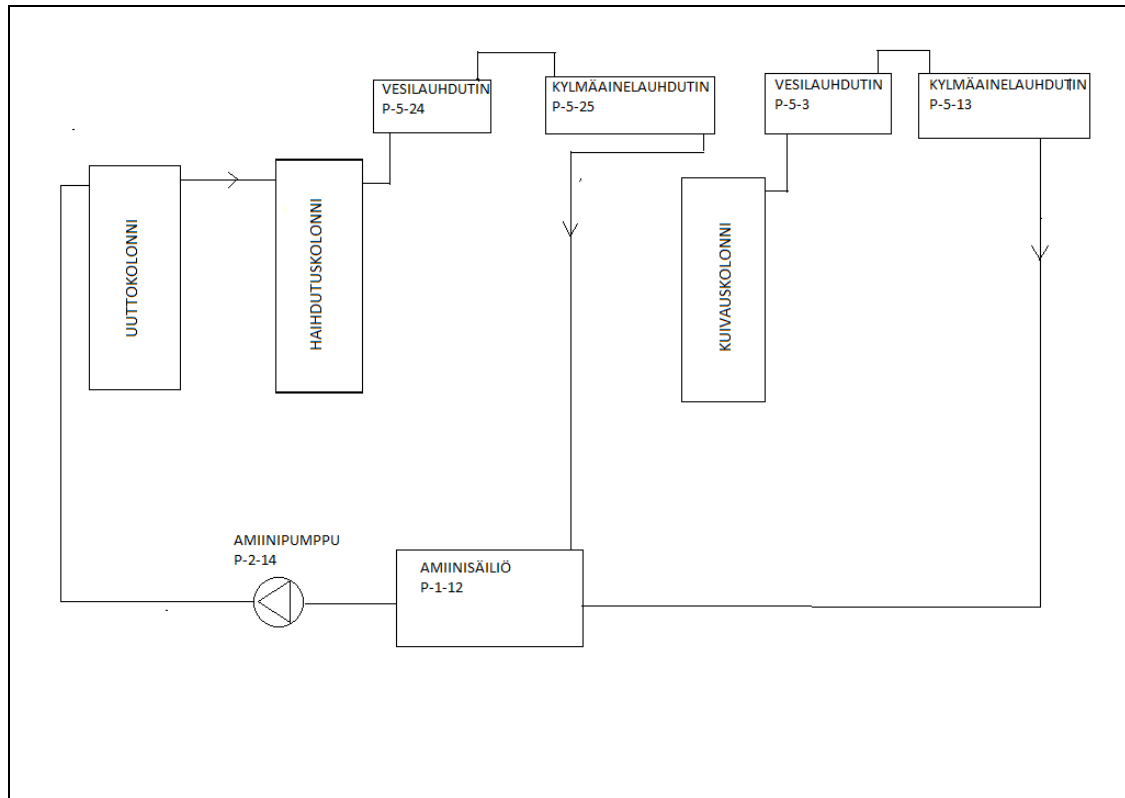
1.7.2017 mitattiin amiinin lämpötilaa. Lämpötila mitattiin amiiniputkiston paluupuolelta kylmäainelauhduttimen P-5-13 jälkeen ennen säiliötä P-2-12. Käytössä oli Thermopoint -lasermittari. Mittaushetkellä oli käytössä B-haihdutuskolonne ja B-kuivauskolonne (kuva 1). Putken pinnalta amiinin lämpötilaksi mitattiin 25 °C Thermopoint laser mittarilla. Mittaus tehtiin 10 cm etäisyydeltä putkesta, jota ei ollut eristetty. Uuttokolonnilla oleva kaukolämpöventtiili TV-103 oli 100 % auki (kuva 2). Uuttokolonnin lämpötila näytti valvomossa 31,4 °C. Lämpötila mitataan uuttokolonnin lämpötilamittarilla TIC-103. Uuttokolonnin lämpötila olisi pitänyt olla 35 °C, mutta kaukolämpöjärjestelmä ei pystynyt tuottamaan tarpeeksi lämpöä kyseisellä hetkellä. Amiinin lämpötilan ollessa noin alhainen, amiini jäädyttää uuttokolonnia sen verran paljon, että kaukolämpö ei kykene saavuttamaan uuttokolonnilla pyydettyä lämpötilaa.

8.7.2017 mitattiin amiinin lämpötilaa. Lämpötila mitattiin amiiniputkiston paluupuolelta kylmäainelauhduttimen P-5-13 jälkeen ennen säiliötä P-2-12. Mittaushetkellä oli käytössä A-haihdutuskolonne ja A-kuivauskolonne. Uutolla oleva kaukolämpöventtiili TV-103 oli 0 % auki. Uuton lämpötila näytti valvomossa 37,4 °C ja amiinin lämmöksi mitattiin 41 °C. Tässä tapauksessa amiini tulee uuttokolonnille sen verran lämpimänä, että kaukolämpöä ei tarvita uuttokolonnin lämmitykseen ollenkaan.

Kaukolämpöä ei tarvittu kyseisellä hetkellä uuton lämmitykseen, koska amiini palasi lauhdutuskierroltaan liian lämpimänä. Tämä ero A-kuivauskolonin tai B-kuivauskolonin jälkeen lauhdutettavassa amiinissa on operaattoreilta saamani tiedon mukaan normaalia.

Kuvassa 7 on esitetty yksinkertaistettu amiinin kierto prosessissa. Amiinia syötetään uuttolonnille, josta sitä kulkeutuu tuotteen mukana haihdutuskolonille. Haihdutuskolonissa amiinia haihtuu ja se siirtyy vedellä jäähdytettävään lauhduttimeen P-5-24. Kylmäaineella jäähdytettävä lauhdutin P-5-25 lauhduttaa loput amiinihöyryt, jonka jälkeen nestemäinen amiini palautuu säiliöön P-1-12. Pumppu P-2-14 pitää amiinia jatkuvassa kierrossa.

Kuivauskolonista haihtuva amiini kulkeutuu tuotteen mukana. Kuivauskolonissa on tarkoitus haihduttaa viimeiset amiinijäämät ja lauhduttaa ne vesilauhduksessa P-5-3 ja kylmäainelauhduksessa P-5-13. Tämän jälkeen amiini palautetaan nestemäisenä säiliöön P-1-12.



Kuva 7. Amiini kierto.

8 LASKELMAT

Näissä laskelmissa selvitettiin uuttokolonnin kuluttama energiamäärä. Tehdyt mitaukset antoivat lämpötilan muutoksen ja massavirran. Veden ominaislämpökapasiteetti on taulukkotietoa (taulukot WWW-sivut 2017).

Ensiksi muutettiin virtausmittauksista saatu tulos massavirraksi ja tämän jälkeen laskettiin teho.

$$Q = \text{teho} = q_m \cdot c_p \cdot \Delta t \text{ (kW)}$$

$$q_m = \text{massavirta (kg/s)}$$

$$q_v = \text{tilavuusvirta (m}^3\text{/h)}$$

$$\rho = \text{tiheys (kg/m}^3\text{)}$$

$$c_p = \text{ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta t = \text{lämpötilan muutos (t}_1\text{-t}_2\text{, }^\circ\text{C)}$$

$$t_1 = \text{tuleva lämpötila}$$

$$t_2 = \text{lähtevä lämpötila}$$

$$1h = 3600 \text{ sekuntia}$$

Virtausmittauksista on taulukko (liite 1), johon on laskettu ajanjaksojen keskiarvoja. Näitä kyseisiä keskiarvoja käytettiin seuraavissa laskelmissa, jotta saadaan selville massavirta. Sitä kautta lasketaan uuttokolonnin käyttämän energiankulutus. Veden ominaislämpökapasiteettista löytyy internetsivuilta taulukko.com ja käytän näissä laskelmissa taulukon antamaa tietoa 60 °C vedestä.

Ensimmäisen virtausmittauksen mukaan laskettu teho uutolle. Aluksi laskettiin massavirran eli tilavuusvirta jaettuna 1 tunnin sekunnit kertaa tiheys. Tämän jälkeen massavirta kerrotaan ominaislämpökapasiteetilla ja lämpötilaerolla, jolloin saadaan tulokseksi teho.

$$q_m = (1,561 \text{ m}^3\text{/h}) / (3600 \text{ s/h}) * (983,2 \text{ kg/m}^3) = 0,426 \text{ kg/s}$$

$$Q = (0,426 \text{ kg/s}) * (4,185 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) * 10 \text{ }^\circ\text{C} = 17,84 \text{ kW}$$

Toisen virtausmittauksen mukaan laskettu teho uutolle.

$$q_m = (1,597 \text{ m}^3/\text{h}) / (3600 \text{ s/h}) * (983,2 \text{ kg/m}^3) = 0,436 \text{ kg/s}$$

$$Q = (0,436 \text{ kg/s}) * (4,185 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) * 10 \text{ }^\circ\text{C} = 18,25 \text{ kW}$$

Näiden kahden laskelman keskiarvo on: $(17,84 \text{ kW} + 18,25 \text{ kW}) / 2 \approx 18 \text{ kW}$.

Laskelmista selviää kuinka paljon uuttokolonnin käyttää kaukolämmöstä energiaa. Mittauksista saatu m^3/h muutetaan yksikköön dm^3/s (l/s), joka muutetaan tiheyden avulla massavirraksi (kg/s). Lämpötilanmuutosmittaukset Δt taulukoin t_1 eli tuleva lämpö ja t_2 eli lähtevä lämpö. Taulukosta katsotaan veden tiheys kyseisellä lämpötilalla c_p . Lämpötilan muutos Δt , tarkoittaa uuttokolonnin menevän kaukolämmön ja lähtevän kaukolämmön lämpötilojen erotusta.

Massavirran avulla voidaan laskea teho kW. Näiden laskelmien pohjalta pystytään arvioimaan vuosittainen energiankulutus kyseisen laitteen kohdalla. Tulokset ovat suuntaa antavia, koska todellisia käyttötunteja on etukäteen mahdotonta tietää. Käyttötunteihin vaikuttavat erilaiset työaikamuodot, suunnitellut seisokit ja suunnittelemattomat seisokit ja miten prosessia ajetaan.

Uuttokolonnin kaukolämmön käyttöastetta selvitettiin tutkimalla tuotantolaitoksen käyttöpäiväkirjaa. Sieltä saatiin selvitettyä joulukuun 2015 ja heinäkuun 2016 väliseltä ajalta B-kuivauskolonnin käyttöajat (taulukko 3). Tänä ajankohtana tuotantolaitos oli jatkuvassa tuotantokäytössä. B-kuivauskolonnin käyttötunnit olivat tuona ajankohtana 2618 tuntia ja kyseisen ajankohdan kokonaistuntimäärä on 5028 tuntia. Jakamalla käytötunnit kokonaisajalla saadaan uuttokolonnin käyttöaste. Tässä tapauksessa käyttöasteeksi tuli 52 %. Osa tunneista on arvioitu, johtuen päiväkirjan hieman puutteellisista merkinnöistä, mutta merkinnät antavat suuntaa-antavan tuloksen.

Taulukko 3. Tehtaan käyntiaikoja.

B-Kuivuri käytössä (TIV-2) pulverilla ajanjaksolla 23.12.2015-25.7.16, TAM37
Tunnit katsottu / arvioitu pulverin käyttöpäiväkirjasta.

Alkamisaika	Päätymisaika	Tuntia	Kaikki tunnit mitatulta ajanjaksolta	
23.12.15	27.12.15	81	Joulukuu	84
31.12.15	03.01.16	66	Tammikuu	744
28.01.16	31.01.16	77	helmikuu	672
03.02.16	15.02.16	276	maaliskuu	744
16.02.16	02.03.16	336	huhtikuu	720
05.03.16	16.03.16	221	toukokuu	744
17.03.16	19.03.16	57	kesäkuu	720
20.03.16	26.03.16	156	heinäkuu	600
29.03.16	06.04.16	178		5028
13.04.16	15.04.16	82		
22.04.16	26.04.16	104		
11.05.16	15.05.16	101		
21.05.16	25.05.16	108		
02.06.16	06.06.16	111		
13.06.16	20.06.16	180		
25.06.16	06.07.16	264		
14.07.16	25.07.16	220		
B-kuivurin käyntitunnit		2618		
B-kuivurin käyttöaste		52	%	

Kaukolämmön hintana käytetään Leppäkosken sähkön WWW-sivuilta löytyvää hinnoittelu-taulukkoa Pehula -nimiselle kylälle ilman arvonlisäveroa. Todennäköisesti Kemira ei maksa ihan tätä samaa hintaa kaukolämmöstä, mutta laskelmissa tarvitaan jonkinlainen vertailuhinta. Kesäajan hinta on 48 €/MWh ja talviajan hinta on 56 €/MWh. Kyseisessä taulukossa kesäkauden pituus on 7 kk, jolloin talvikauden pituus on 5 kk. Vuodessa on yhteensä 8760 tuntia ($24 * 365 = 8760$).

Taulukko 4. Kaukolämpömaksut Pehulalla (leppäkosken sähkö WWW-sivut 2017)

Energiamaksu	€/MWh	
	Alv. 0 %	Alv. 24 %
Kesäkausi 1.4. – 31.10.	48,00	59,52
Talvikausi 1.11. – 31.3.	56,00	69,44

Taulukon 4 mukaan kesäkausi kestää huhtikuun alusta lokakuun loppuun eli 7 kk, jolloin talvikaudeksi jäisi 5 kk.

Kesäkauden tunnit ovat $(7 \text{ kk}) / (12 \text{ kk/a}) * (8760 \text{ h/a}) = 5110 \text{ h}$

Talvikauden tunnit ovat $8760 \text{ h} - 5110 \text{ h} = 3650 \text{ h}$

Kaukolämmön hinta kesäkaudella olisi seuraava:

$(48 \text{ €/MWh}) * (0,01805 \text{ MW}) = 0,8664 \text{ €/h}$

Tämä summa kerrotaan kesäkauden tunneilla ja saadaan teoreettinen maksimihinta kyseiselle ajanjaksolle.

$(0,8664 \text{ €/h}) * 5110 \text{ h} = 4427,3 \text{ €}$

Talvikaudella kaukolämmön hinta olisi:

$(56 \text{ €/MWh}) * (0,01805 \text{ MW}) = 1,011 \text{ €/h}$

Talvikauden teoreettinen maksimi olisi:

$(1,011 \text{ €/h}) * 3650 \text{ h} = 3689,42 \text{ €}$

Yhteensä kaukolämpökustannukset olisivat vuodessa $4427 \text{ €} + 3689 \text{ €} = 8116 \text{ €}$.

Tämä olisi uuton käyttämän kaukolämmön hinta vuodessa, jos prosessi kävisi vuoden jokaisena tuntina. Uuton kaukolämmön käyttöasteeksi saatiin 52 %, jolloin vuosittainen lämmityskustannus puolittuu.

$8116,72 \text{ €} * 0,52 = 4220,69 \text{ €}$

Yleisesti jatkuvatoimisen tuotantolaitoksen hyvänä käyntiasteena pidetään 90 %.

Tämä tarkoittaa sitä, että vuoden tunneista vähennetään suunnitellut seisokit ja suunnittelemattomat seisokit, jotka ovat yleensä 10 %.

$4220,69 \text{ €} * 0,9 = 3798,62 \text{ €} \approx 4000 \text{ €}$

Tämä summa olisi lähellä todellista kustannusta, jonka uuttokolonni kuluttaisi kaukolämmöstä. Kemira ei maksa listahintaa kaukolämmöstä Leppäkosken sähkölle, joten laskettu hinta on todennäköisesti suurempi, kuin todellinen kustannus, mitä uuttokolonnin lämmityksestä kertyy vuodessa.

9 VAADITTAVAT MUUTOSTYÖT

Lauhteen hyödyntäminen uuton lämmityksenä vaatisi putkistomuutoksia. Putkea lauhdesäiliöltä S-1-01 uutolle U-6-01 menisi arviolta 80 metriä, kun hyödynnettäisiin jo olemassa olevia putkitusreittejä. Valmiita hitsattavia käyriä tälle matkalle menisi arviolta 14 kappaletta. Uutolta lauhde johdettaisiin takaisin nykyiseen lauhdeputkilinjaan. Käsiventtiilejä muutokseen tarvittaisiin 4 kappaletta, jotka on nimetty kuvaan 3 KV-1, KV-2, KV-3 ja KV-4.

Olemassa olevaa pumppua S-2-01, käytetään kierrättämään lauhdetta lämmönsiirtimeen kautta takaisin lauhdesäiliöön. Tällä hetkellä pumpun kierrättämää lauhdetta kuristetaan käsiventtiilillä. Tämä käsiventtiili voitaisiin laittaa kiinni-asentoon kokonaan tai kuristaa lisää, jotta pumppu jaksaisi pumpata lauhdetta uuttokolonnille U-6-01. Tätä varten jouduttaisiin rakentamaan uutta putkilinja noin 80 metriä. Uuttokolonnin jälkeen lauhde palautettaisiin jo olemassa olevaan lauhdelinjaan, jota pitkin lauhde palaisi takaisin lauhdesäiliöön hieman jäähtyneempänä. Lauhteiden palautuksessa ei käytetä pumppua, joten oletetaan, että uuttokolonnilta tulevat lauhteet eivät sekoita lauhdevirtauksia. Tällä ratkaisulla välttyttäisiin rakentamasta uutta putkistoa noin 80 metriä, kun ei tarvitsisi rakentaa paluuputkistoa erikseen, vaan hyödynnettäisiin jo olemassa olevaa putkistoa. Jos paluuputkisto jouduttaisiin rakentamaan, nousisivat rakennuskustannukset putkiston ja työn osuuden verran. Uuton lämpötilaa ja lauhteen virtausta säätäisi edelleen lämpötila-anturi TIC-103 ja automaattiventtiili TV-103 (kuva 3).

Käsiventtileillä A-975, KV-1, KV-2, KV-3 ja KV-4 voitaisiin valita, otetaanko lauhde hyötykäyttöön vai käytetäänkö kaukolämpöä. Käsiventtiilien A-975, A-976 ja KV-3 ollessa auki ja käsiventtiilien KV-1, KV-2 ja KV-4 ollessa kiinni voitaisiin hyödyntää kaukolämpöä. Sulkemalla käsiventtiilit A-975 ja KV-3, samalla avaamalla käsiventtiilit KV-1, KV-2 ja KV-4 voitaisiin hyödyntää lauhdetta uuton lämmitysmuotona. Käsiventtiili A-976 olisi molemmissa tapauksissa koko ajan auki.

10 TAKAISINMAKSUAIKA

Takaisinmaksuajan laskennassa käytän korotonta laskukaavaa $n = H/S$. Tällä kaavalla saadaan takaisinmaksuaika, jonka perusteella voidaan tehdä päätös mahdollisesta investoinnin kannattavuudesta.

n = takaisinmaksuaika, koroton

H = investointi €

S = nettotuotto €/a (säästö)

$n = H/S$

H pitää sisällään putket, käyrät, venttiilit, saksinostimien vuokrat ja työkustannukset.

S on vuotuinen säästö, joka pitää sisällään uuton lämmityskustannukset keskiarvona molemmista mittauskerroista.

Taulukko 5. Kustannusarvioita.

Kustannus	Metriä	KPL	A hinta €	YHT
Putki DN 32	80		10	800
Kurvi DN 32		14	10	140
Venttiili		4	250	1000
Henkilö		2	50	8000
Työpäivä (8h)		5		80
Saksilavanostin		2	20	200
Kokonaissumma €				10140

Materiaalit ja työkustannukset ovat arviohintoja, koska jokainen urakka kilpailutetaan erikseen ja hinnat ovat siten eri jokaisessa urakassa. Kokonaissumma on kuitenkin suuntaa antava tämän kokoiselle urakalle.

Uuton käyttämä energiakustannus vuodessa oli noin 4 000 €. Tämä summa on takaisinmaksukaavassa mainittu S eli mahdollinen säästö. Taulukossa 5 on arvioitu eri kus-

tannuksia ja niiden loppusummaksi tuli noin 10 000 €. Tämä summa on takaisinmaksuavassa oleva H eli investointi. Kyseisiä hintoja kyselin kunnossapitoinsinööriltä ja niitä poimittiin eri urakoista.

Seuraavaksi on laskettu takaisinmaksuajan saamillani summilla.

$(10000 \text{ €}) / (4000 \text{ €/a}) = 2,5$ vuotta.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Uuttokolonnin lämmitysmuodon muuttaminen kaukolämmöstä lauhteelle ei tämän selvitysprojektin perusteella ole taloudellisesti kannattavaa. Takaisinmaksuaika on näin pienelle investoinnille liian pitkä. Jos säästöä olisi tullut enemmän, olisi investointi saattanut olla mahdollinen. Kemiran periaatteiden mukaan tämän kokoinen investointi pitäisi maksaa itsensä takaisin huomattavasti nopeammin. Jos muutos haluttaisiin tehdä, sen voisi perustella tasaisemmalla lämpötilalla uutossa, jolloin SBH:n erottaminen lipeästä toimisi optimaalisemmin ja tuote voisi olla tasalaatuisempaa.

Opinnäytetyön aikana selvisi, että uuton lämpötilan vaihteluihin vaikuttaa amiinin lämpötila. Amiini palautuu kierroltaan eri lämpöisenä, riippuen siitä kumpi kuivureista on käytössä. Silloin kun B-kuivuri on käytössä, amiini lauhtuu tehokkaammin ja palautuu omalta kierroltaan kylmempänä myös uutolle, jolloin uuttoa joudutaan lämmittämään kaukolämmöllä. A- ja B-kuivauskolonniin amiinin lauhduttimissa on jotain eroja. Oletettavasti B-kuivauskolonniin lauhdutin on kytketty vastavirtaperiaatteella toimivaksi ja A-kuivauskolonniin myötävirtaperiaatteella toimivaksi. Tätä ei lähdetty selvittämään tarkemmin, kun se ei kuulunut opinnäytetyön aiheeseen. Jatkoselvityskohteena olisi mielenkiintoista selvittää lauhduttimien erot ja amiinin lämpötilaerot, kun käytössä on A- tai B-kuivauskolonni. Olisi myös mielenkiintoista saada selville, miten tasaisempi uuttokolonnin lämpötila vaikuttaisi lopputuotteeseen. Olisiko tuote laadukkaampaa ja pystyttäisikö sitä tekemään jopa enemmän?

LÄHTEET

Kemiran WWW-sivut 2017. Viitattu 10.7.2017

<http://www.kemira.com/en/pages/default.aspx>

Leppäkosken WWW-sivut 2017. Viitattu 10.7.2017

<https://leppakoski.fi/leppakoski/energiatuotanto/vety/>

Energiateollisuus WWW-sivut 2017. Viitattu 10.7.2017

https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto

Opetushallituksen WWW-sivut 2017. Viitattu 10.8.2017

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_2-1_yleista_erotusmenetelmista.html

Taulukot WWW-sivut 2017. Viitattu 10.8.2017

http://www.taulukot.com/fysiikka/mekaniikka_termodynamiikka/

Prosessitekniiikan yksikköprosessit, Pihkala J. 1998 s.116-120

LIITE 1

Taulukko kahdelta eri virtausmittauskerralta. Taulukosta näkee päivämäärät, kellonajat ja virtausmittaustulokset. Loppuun on laskettu minimi, maksimit ja keskiarvot mittaustuloksista. Prosentuaaliset heitot ovat minimin erotus keskiarvosta ja maksimin erotus keskiarvosta.

Mittaus 1		Mittaus 2	
Aika	m3/h	Aika	m3/h
18.07.17 19:13	1,348	24.08.17 08:24	1,555
18.07.17 19:14	1,572	24.08.17 08:25	1,540
18.07.17 19:15	1,599	24.08.17 08:26	1,606
18.07.17 19:16	1,579	24.08.17 08:27	1,648
18.07.17 19:17	1,593	24.08.17 08:28	1,605
18.07.17 19:18	1,573	24.08.17 08:29	1,555
18.07.17 19:19	1,583	24.08.17 08:30	1,563
18.07.17 19:20	1,577	24.08.17 08:31	1,559
18.07.17 19:21	1,576	24.08.17 08:32	1,585
18.07.17 19:22	1,585	24.08.17 08:33	1,629
18.07.17 19:23	1,569	24.08.17 08:34	1,635
18.07.17 19:24	1,570	24.08.17 08:35	1,585
18.07.17 19:25	1,584	24.08.17 08:36	1,609
18.07.17 19:26	1,596	24.08.17 08:37	1,640
18.07.17 19:27	1,572	24.08.17 08:38	1,565
18.07.17 19:28	1,541	24.08.17 08:39	1,553
18.07.17 19:29	1,577	24.08.17 08:40	1,552
18.07.17 19:30	1,553	24.08.17 08:41	1,548
18.07.17 19:31	1,575	24.08.17 08:42	1,631
18.07.17 19:32	1,569	24.08.17 08:43	1,613
18.07.17 19:33	1,559	24.08.17 08:44	1,604
18.07.17 19:34	1,535	24.08.17 08:45	1,554
18.07.17 19:35	1,551	24.08.17 08:46	1,508
18.07.17 19:36	1,580	24.08.17 08:47	1,528
18.07.17 19:37	1,557	24.08.17 08:48	1,662
18.07.17 19:38	1,569	24.08.17 08:49	1,595
18.07.17 19:39	1,580	24.08.17 08:50	1,611
18.07.17 19:40	1,553	24.08.17 08:51	1,614
18.07.17 19:41	1,588	24.08.17 08:52	1,620
18.07.17 19:42	1,548	24.08.17 08:53	1,612
18.07.17 19:43	1,544	24.08.17 08:54	1,579
18.07.17 19:44	1,530	24.08.17 08:55	1,668
18.07.17 19:45	1,556	24.08.17 08:56	1,668
18.07.17 19:46	1,553	24.08.17 08:57	1,620
18.07.17 19:47	1,559	24.08.17 08:58	1,549
18.07.17 19:48	1,558	24.08.17 08:59	1,676
18.07.17 19:49	1,567	24.08.17 09:00	1,558
18.07.17 19:50	1,557	24.08.17 09:01	1,488
18.07.17 19:51	1,557	24.08.17 09:02	1,545
18.07.17 19:52	1,571	24.08.17 09:03	1,585
18.07.17 19:53	1,541	24.08.17 09:04	1,635
18.07.17 19:54	1,561	24.08.17 09:05	1,573
18.07.17 19:55	1,568	24.08.17 09:06	1,589
keskiarvo	1,561	24.08.17 09:07	1,627
minimi	1,530	24.08.17 09:08	1,639
maximi	1,599	24.08.17 09:09	1,612
Heitto % alas	-2	24.08.17 09:10	1,608
Heitto % ylös	2	24.08.17 09:11	1,641
		24.08.17 09:12	1,608
		24.08.17 09:13	1,581
		24.08.17 09:14	1,646
		24.08.17 09:15	1,505
		24.08.17 09:16	1,602
		24.08.17 09:17	1,661
		24.08.17 09:18	1,589
		24.08.17 09:19	1,551
		24.08.17 09:20	1,631
		24.08.17 09:21	1,574
		24.08.17 09:22	1,578
		24.08.17 09:23	1,614
		24.08.17 09:24	1,580
		24.08.17 09:25	1,542
		24.08.17 09:26	1,656
		24.08.17 09:27	1,632
		24.08.17 09:28	1,606
		24.08.17 09:29	1,604
		24.08.17 09:30	1,629
		24.08.17 09:31	1,518
		24.08.17 09:32	1,599
		24.08.17 09:33	1,607
		24.08.17 09:34	1,628
		24.08.17 09:35	1,672
		24.08.17 09:36	1,605
		keskiarvo	1,597
		minimi	1,488
		maximi	1,676
		Heitto % alas	-7
		Heitto % ylös	5