

**Jussi Virtanen**

# **RIKINPOLTTOlaitoksen Energiatarkastelu**

**Opinnäytetyö  
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
2010**



<b>Yksikkö</b> Tekniikka ja liiketalous	<b>Aika</b> 13.1.2010	<b>Tekijä/tekijät</b> Jussi Virtanen
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikan koulutusohjelma		
<b>Työn nimi</b> Rikinpolttolaitoksen energiatarkastelu		
<b>Työn ohjaaja</b> Kaj Jansson	<b>Sivumäärä</b> 34 + 1	
<b>Työelämäohjaaja</b> Jukka Vierimaa		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Kemiran Kokkolan rikkihappotehtaan yhteyteen mahdollisesti rakennettavan rikinpolttolaitoksen energian käyttöä. Tarkastelun tärkeimpänä elementtinä toimi Aspen HYSYS -tietokoneohjelmalla kehitetty prosessinmallinnus, joka kuvaa rikinpolttolaitoksen ja siihen liitetyn nykyisen toiminnassa olevan rikkihappotehtaan prosessia. Mallinnukseen syötettyjen prosessin tietojen pohjalta ohjelma laski erilaisia energian arvoja prosessin eri vaiheisiin.</p> <p>Työn tulosten on tarkoitus antaa suuntaa rikinpolttolaitoksen ja sen vaatimien energiatarpeiden vaikutuksesta myös rikkihappotehtaan toimintaan. Esimerkki arvoja tuloksista ovat: puhallin 4,72 GJ/h, sulatin 1,78 GJ/h ja poltin 50 GJ/h.</p>		

<b>Asiasanat</b> energia, Kemira, rikinpoltto, rikkihappo
--

**ABSTRACT**

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> 13 January, 2010	<b>Author</b> Jussi Virtanen
<b>Degree programme</b> Chemical Engineering		
<b>Name of thesis</b> Energy examination of a sulphur burning plant		
<b>Instructor</b> Kaj Jansson		<b>Pages</b> 34 + 1
<b>Supervisor</b> Jukka Vierimaa		
<p>Kemira Oyj Kokkola wanted to know how much energy is going on if the manufacturing of sulphuric acid would get its raw material from the sulphur burning plant. The purpose of the thesis was to study energy usage of a sulphur burning plant converged in a sulphuric acid factory. Also the energy needs in various parts of the process were to be solved. The main tool for working was the process simulation model which was made with Aspen HYSYS software. The simulation model calculated needed energy values, when enough process information was given. Results are suppose to give some course of the numbers and values needed in the sulphuric acid manufacturing process.</p>		
<b>Key words</b> acid, burning, energy, Kemira, sulfur, sulphur		

## SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 YLEISTÄ</b>	<b>2</b>
2.1 Kokkolan rikkihappotehdas	2
2.2 Nykyinen lämmöntuotanto	3
2.3 Rikinpolttolaitos	4
<b>3 TYÖKALUT</b>	<b>6</b>
3.1 Aspen HYSYS	6
3.2 Prosessimalli	6
<b>4 PROSESSIN SUUREET</b>	<b>8</b>
4.1 Kuivaustorni	9
4.2 Puhallin	10
4.3 Rikin sulatin	11
4.4 Rikin poltin	11
4.5 Boileri	12
4.6 Konvertterin 1. kerros	13
4.7 Jäähdytin 1	14
4.8 Konvertterin 2. kerros	15
4.9 Lämmönvaihdin	16
4.10 Väli-imeytystorni	17
4.11 Konvertterin 3. kerros	18
4.12 Jäähdytin 2	19
4.13 Konvertterin 4. kerros	20
4.14 Jäähdytin 3	21
4.15 Loppuimeytystorni	21
<b>5 TULOKSET</b>	<b>23</b>
<b>6 POHDINTA</b>	<b>32</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>34</b>
<b>LIITTEET</b>	
1. Sulatusenergia	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tarkoituksena on tutkia Kemiran Kokkolan rikkihappotehtaan yhteyteen mahdollisesti rakennettavan rikinpolttolaitoksen energiavirtoja sekä vaikutusta tehtaan kokonaisprosessiin. Laskelmien tavoitteena on antaa teoreettista suuntaa rikinpolttolaitoksen ja varsinaisen rikkihappotehtaan energian käytöstä ja tarpeista eri prosessin vaiheissa. Laskuissa käytetyt lähtöarvot ovat peräisin rikkihappotehtaalta saaduista tiedoista. Rikinpolttolaitosta koskevissa arvoissa lähtötietoina on käytetty saman kokoluokan olemassa olevien laitosten arvoja, joita on sovellettu vastaamaan Kokkolan rikkihappotehtaan kapasiteetteja. Suurin osa työn lasketuista arvoista on peräisin Aspen HYSYS -ohjelmalla tehdyn prosessimallinnuksen laskemista arvoista.

Työssä tarkastellaan energiamääriä, joita tarvitaan elementtirikin sulatuksesta lopulliseen rikkihapon valmistukseen. Myös lämmön siirtymistä ja hukkalämmön hyödyntämistä käydään läpi. Työssä tulee esille myös paljon muita kuin pelkästään energiaan liittyviä arvoja, mutta kyseiset arvot on tärkeä mainita, jotta tiedetään, millaisilla prosessin muilla arvoilla kyseisiin energian arvoihin on päästy.

## 2 YLEISTÄ

### 2.1 Kokkolan rikkihappotehdas

Kokkolassa sijaitseva Kemiran rikkihappotehdas tuottaa noin 1000 tonnia rikkihappoa vuorokaudessa. Rikkihapon valmistuksessa tarvittava rikkitrioksidi  $\text{SO}_3$  saadaan hapettamalla rikkidioksidia  $\text{SO}_2$ . Hapetettava rikkidioksidi taas saadaan läheiseltä Bolidenin tehtaalta putkea pitkin. Bolidenilta saatava sinkin pasutusprosessissa syntyvä kaasu sisältää pääosin rikkidioksidia ja muita epäpuhtauksia. (Vierimaa 2009.)

Rikkihapon valmistusprosessi Kemiran tehtaalla alkaa rikkidioksidikaasun puhdistuksella. Pesutorneissa ja märkäsähkösuotimissa kaasusta poistetaan halogeeneja, elohopeaa, pölyä ja kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten fluoria, klooria ja arseenia. Seuraavassa vaiheessa kaasu johdetaan kuivaustorniin, jossa se kuivataan imeyttämällä sitä väkevään rikkihappoon, jota kierrätetään kuivaustornissa. Ilmankuivaustornissa kaasun rikkidioksidipitoisuus laimennetaan noin 7,5 %:iin. Tämän jälkeen kaasu kulkeutuu puhaltimen läpi lämmönvaihtimiin, joissa kaasun lämpötila nostetaan noin 440 asteeseen ja johdetaan siitä edelleen konvertteriin. (Vierimaa 2009 .)

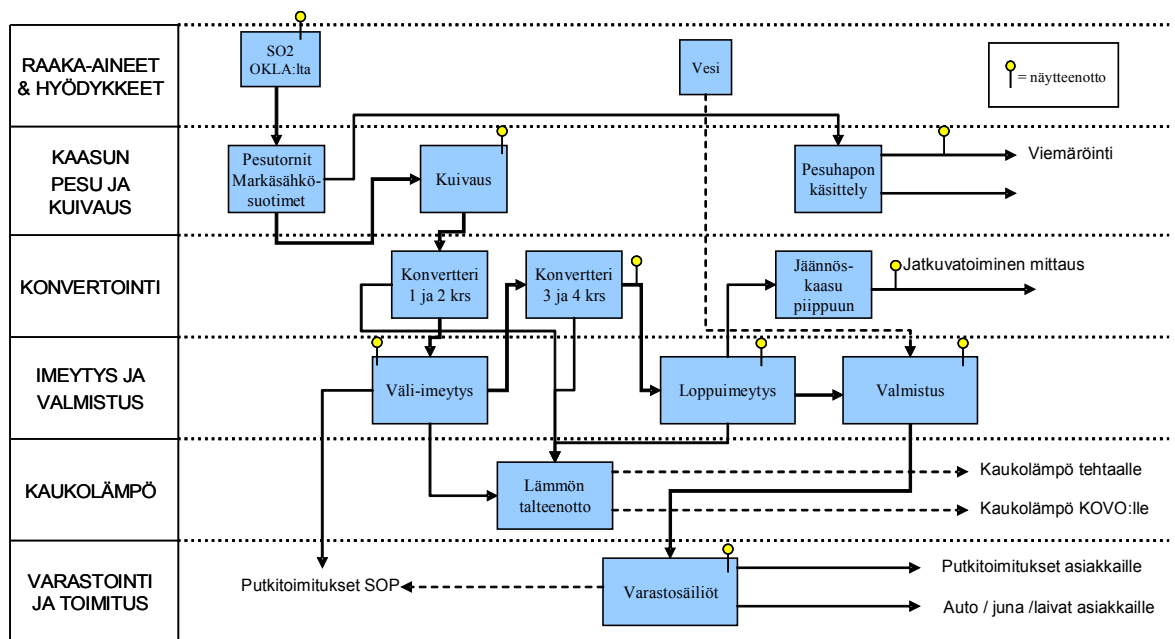
Konvertterissa kaasun rikkidioksidi hapettuu rikkitrioksidiksi kaasun kulkiessa kontaktimassakerrosten (katalyyttina vanadiinipentoksidi) läpi. Konvertteri sisältää yhteensä neljä katalyyttikerrosta. Kun kaasu on kulkeutunut kahden ensimmäisen kerroksen läpi, se johdetaan väli-imeytystorniin, jossa kaasuun muodostunut rikkitrioksidi imeytetään tornissa kiertävään väkevään rikkihappoon. Imeytyksessä rikkitrioksidikaasu reagoi rikkihapossa olevan veden kanssa muodostaen lisää rikkihappoa. (Vierimaa 2009.)

Imeytymättä jäänyt kaasu johdetaan takaisin konvertteriin, jossa loppu  $\text{SO}_2$  hapettuu  $\text{SO}_3$ :ksi. Konvertterin kolmannesta ja neljännestä kerroksesta kaasu siirtyy

uudelleen loppuimeytykseen, jossa loput rikkiatriksidista imeytetään väkevään rikkihappoon. (Vierimaa 2009.)

Kuivaustornissa happo laimenee, koska siihen imeytyy kaasusta vettä. Väli-imeytys- ja loppuimeytystorneissa happo väkevöityy, koska siihen imeytyy kaasusta rikkiatriksidia. Tämän vuoksi happoja ajetaan torneissa ristiin ja vasta niin sanotussa valmistuksen väliastiassa happo laimennetaan vedellä lopulliseen väkevyyteensä ja pumpataan varastosäiliöihin. Konversioaste rikkidioksidista rikkihapoksi koko prosessissa on 99,5–99,8 %. (Vierimaa 2009.)

Kuviossa 1 rikkihapon tuotantokaavio:



KUVIO 1. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:n Tuotantokaavio (Kemira Oyj. 2009.)

## 2.2 Nykyinen lämmöntuotanto

Varsinaiseen rikkihapon valmistusprosessiin ei tarvitse lisätä ulkopuolista lämpöä, muulloin kuin tehtaan käynnistämisen yhteydessä. Tällöin lämpöä tarvitaan

konvertterissa olevien katalyyttikerrosten kuumentamiseen, joka suoritetaan öljypolttimella (Vierimaa 2009).

Rikkihapon valmistuksen ollessa käynnissä lämpöä syntyy monessa eri prosessin-  
vaiheessa:

- Konvertterissa syntyy lämpöä rikkidioksidin hapettuessa rikkiatrioksidiksi.
- Kuivaustornissa syntyy lämpöä rikkihapon laimentuessa.
- Imeytystorneissa syntyy lämpöä rikkiatrioksidin imeytyessä rikkihappoon.
- Valmistuksen väliastiassa syntyy lämpöä hapon laimentuessa. (Vierimaa 2009.)

Kokonaisuudessaan rikkihappotehtaalla syntyy lämpöä noin 35 MW. Syntyvää lämpöä otetaan talteen niistä prosessin vaiheista, joista se on kannattavaa. Talteen otettua lämpöä käytetään sisäisiin kaukolämpöverkkoihin ja tulistuksen jälkeen osa toimitetaan Kokkolan kaukolämpöverkostoon. Osa lämmöstä joutuu meriveden mukana mereen. (Vierimaa 2009.)

### **2.3 Rikinpolttolaitos**

Rikinpolttolaitos ja siihen olennaisesti liittyvät osat ovat elementtirikin sulattamo, rikinpoltin ja lämmöntalteenottokattila. Kiinteä rikki sulatetaan (rikin sulamispiste 115 °C) johtamalla sulattamoon höyryä ja saattamalla nestemäisen rikin lämpötila 140–150 °C. Tällä lämpötilavälillä rikin viskositeetti on tarpeeksi matala, jotta sen sumuttaminen palamispesään onnistuu parhaiten. Nestemäinen rikki sumutetaan pieninä pisaroina polttimen palamispesään, jossa se sekoittuu tasaisesti palamisilman kanssa ja höyrystyy nopeasti. Rikin normaali kiehumispiste on noin 440 °C. (Sander, Fischer, Rothe & Kola 1984, 168.)

Polttimesta palamiskaasut (SO<sub>2</sub>) johdetaan lämmöntalteenottokattilaan eli boileriin, jossa ne jäähdytetään tuottaen samalla tulistettua korkeapaineista höyryä.



Jäähdytetty n. 440 asteinen kaasu jatkaa matkaansa konvertteriin, jossa kierto jatkuu kuten edellä esitettiin.

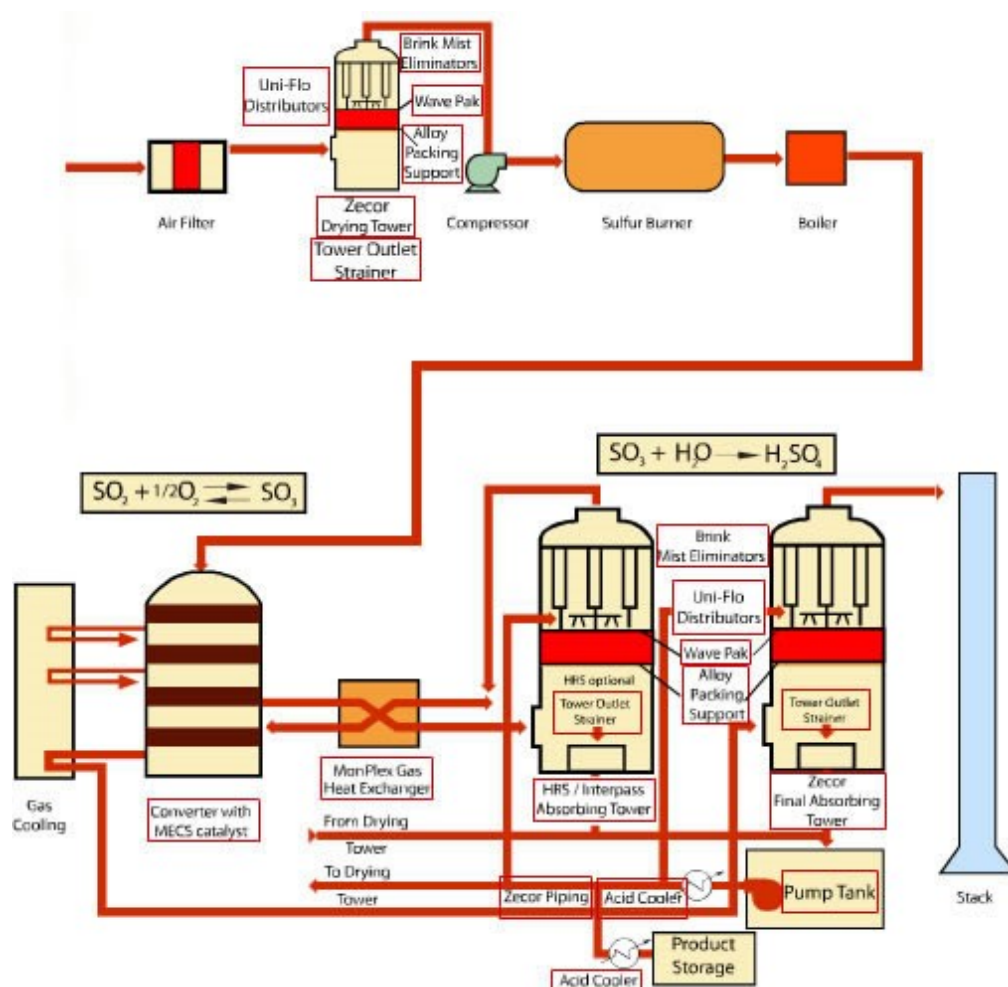
## **3 TYÖKALUT**

### **3.1 Aspen HYSYS**

Opinnäytetyön energiatarkastelu on suoritettu Aspen HYSYS-ohjelman avulla. Aspen HYSYS on AspenTech-yrityksen tekemä tietokonesovellus, jolla voidaan suorittaa muun muassa prosessinmallinnuksia. Prosessista tehdään ohjelman avulla malli, johon sijoitetaan halutut komponentit ja virrat ja jossa annetaan riittävä määrä tietoa prosessin eri osille. Ohjelma kertoo, mitä tietoja tarvitaan, jotta se voi suorittaa laskutoimitukset tuntemattomien kohtien laskemiseksi.

### **3.2 Prosessimalli**

Rikinpolttolaitoksen ja siihen liittyvän rikkihappotehtaan prosessimallin runkona on käytetty kuvion 2 mukaista mallia:

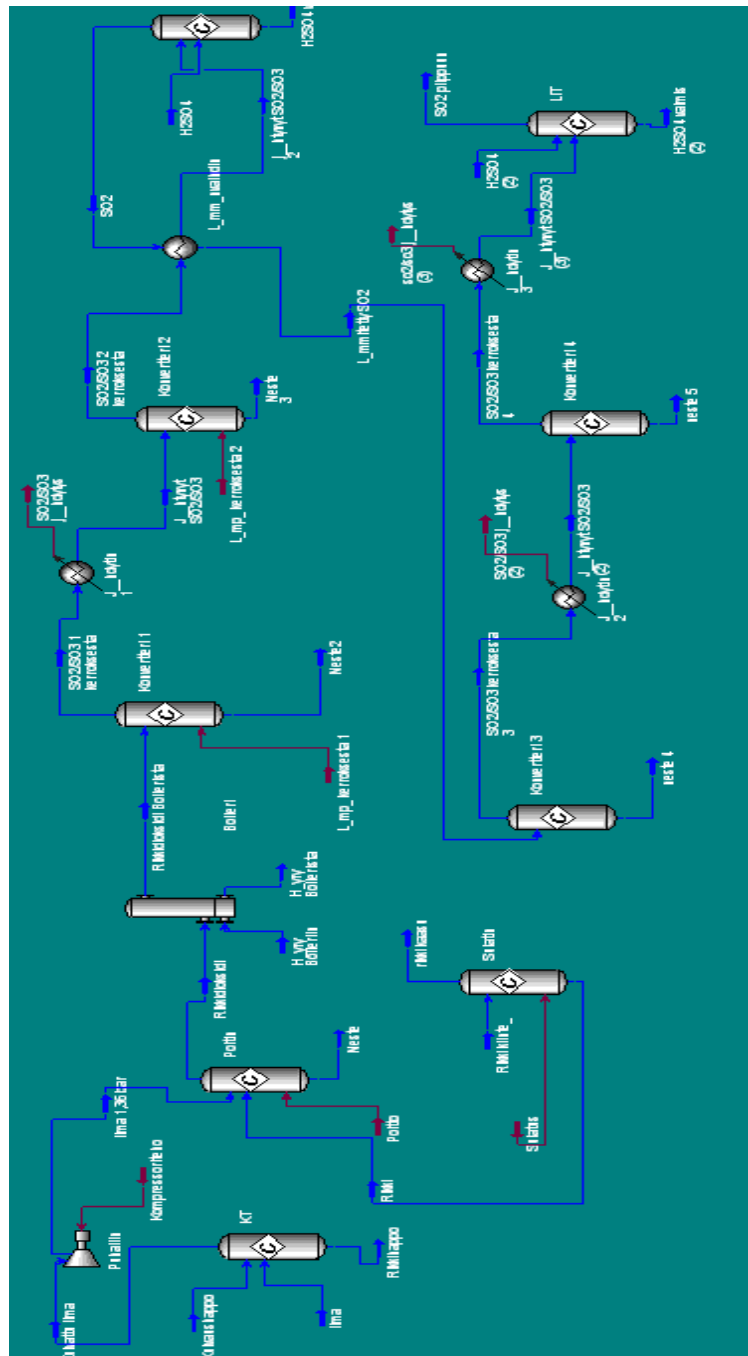


KUVIO 2. Sulfur burning (Mecs, Inc. 2009.)

Kuvio ei ole tarkka kuvaus prosessista, mutta riittävän suuntaa antava, jotta sen pohjalta voidaan alkaa rakentaa prosessimallia tietokoneella.

## 4 PROSESSIN SUUREET

Kuviossa 3 Aspen HYSYS–ohjelmalla tehty prosessin mallinnus, jota luetaan pohjalta ylöspäin. Prosessin eri osat näkyvät tarkemmin tulevissa luvuissa.



KUVIO 3. Prosessikaavio

Seuraavissa luvuissa käydään lävitse prosessin eri suureita ja osia, jotka ovat olennaisia prosessin energiatarveluissa. Suurin osa mallinnukseen syötetyistä arvoista on saatu rikkihappotehtaan käyttöpäällikkö Jukka Vierimalta.

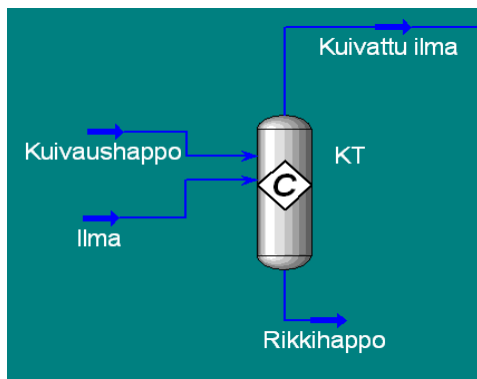
#### **4.1 Kuivaustorni**

Kuivaustorniin saapuvat ainevirrat ovat kuivaushappo ja ilma. Kuivaushapolle ohjelmaan annetut lähtöarvot ovat: hapon lämpötila 45 °C, syöttöpaine 101,3 kPa (normaali ilmanpaine) ja syöttömäärä 850 m<sup>3</sup>/h. Kuivaushapon koostumus massaprosentteina on 96 % rikkihappoa ja 4 % vettä.

Toinen tuleva ainevirta on ilma, jolla tarkoitetaan normaalia ulkoilmaa, joka johdettu suodattimen läpi. Ilmalle annetut arvot ovat: lämpötila 10 °C, paine 101,3 kPa ja syöttömäärä 98 000 m<sup>3</sup>/h. Syötettävän ilman koostumus mooliprosentteina on 77 % typpeä, 21 % happea ja 2 % vettä.

Kuivaustornin tarkoitus olisi saada lähestulkoon kaikki vesi imeytettyä pois ilmasta (50 mg/m<sup>3</sup>), mutta ohjelmalla luodulla kuivaustornilla en kuitenkaan tätä onnistunut saavuttamaan, joten kuivaustornista eteenpäin kaasun vesipitoisuus on säädetty keinotekoisesti nolaksi. Käsittelen asiaa myöhemmin pohdintaosuudessa. Kuivaustornista kuivattu kaasu jatkaa matkaansa puhaltimelle.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin kuivaustorni (KT) kuviossa 4:

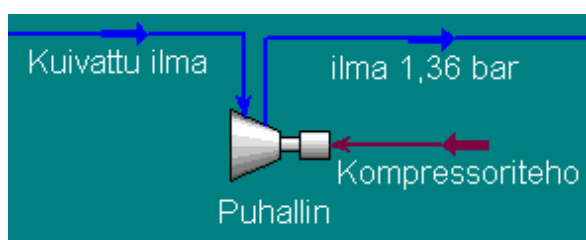


KUVIO 4. Kuivaustorni

#### 4.2 Puhallin

Puhaltimessa kaasun lähellä normaalia ilmanpainetta oleva paine nostetaan noin 136 kilopascaliin. Myös kuivauksessa noin 43-celsiusasteiseksi lämmennyt kaasu lämpenee puristuessaan edelleen noin 80-celsiusasteiseksi. Puhaltimen aiheuttama lämpövirta, jota kuvion ”Kompressoriteho”-virta kuvaa, on noin 4,716 GJ/h.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin puhallin kuviossa 5:

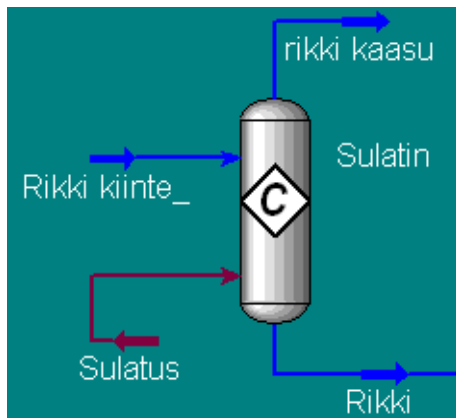


KUVIO 5. Puhallin

### 4.3 Rikin sulatin

Kiinteä rikki saapuu sulattimeen lähtöarvoiltaan: lämpötila 10 °C, syöttömäärä 12 000 kg/h ja paineena normaali ilmanpaine 101,3 kPa. Rikin sulattaminen ja saattaminen noin 145 asteiseksi vaatii energiaa, jota ohjelma ei kuitenkaan pystynyt luottavasti määrittämään. Palaan myös tähän kohtaan myöhemmin pohdintaosuudessa. Käsien laskettaessa energiamääräksi saatiin 1779,6 MJ/h, jonka laskukaava löytyy liitteestä 1. Kuviossa näkyvä ”rikki kaasu”-niminen virta on vain ohjelman vaatima virran nimeäminen, eikä sitä tarvitse huomioida. Sulattimesta rikki jatkaa nestemäisenä 145 asteisena matkaa rikin polttimeen paineen ja syöttömäärän pysyessä samoina.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin rikin sulatin kuviossa 6:

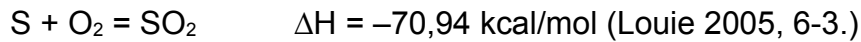


KUVIO 6. Sulatin

### 4.4 Rikin poltin

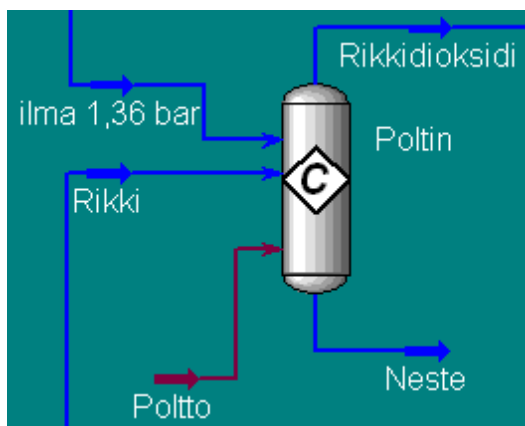
Kaasumainen ilmavirta ja nestemäinen rikkivirta yhdistyvät rikin polttimessa. Hapettimena toimivan ilman ominaisuudet ovat seuraavat: lämpötila noin 80 °C, paine 136 kPa ja syöttömäärä 126 500 kg/h. Ilman pitoisuudet mooliprosentteina ovat 79 % typpeä ja 21 % happea. Nestemäisen rikin lämpötila on 145 °C, paine 101,3

kPa ja määrä 12 000 kg/h. Rikin polttimessa rikki poltetaan ilman avulla, jolloin syntyy rikkidioksidi seuraavan reaktion mukaan:



Jotta rikkidioksidi kaasu saavuttaisi noin 1000 °C:n lämpötilan, on rikin polttimeen johdettavan energiamäärän oltava noin 50 GJ/h. Rikki siis höyrystyy 1008 asteiseksi kaasuksi, jonka pitoisuudet mooliprosentteina ovat: 79 % typpeä, 12,5 % happea ja 8,5 % rikkidioksidiä. Polttimesta kaasu jatkaa matkaansa boileriin. Kuviossa näkyvää "Neste"-virtaa ei tarvitse huomioida, koska se on jälleen ohjelman vaatima ylimääräinen kuvitteellisen virran nimeäminen, eikä sillä ole tässäkään mitään funktiota.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin rikin poltin kuviossa 7:



KUVIO 7. Poltin

#### 4.5 Boileri

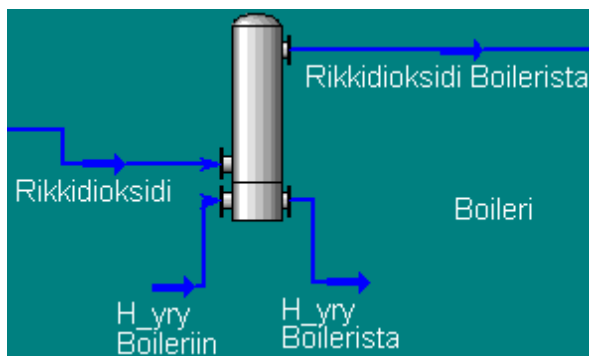
Boilerissa rikkidioksidikaasu jäädytetään johtamalla lämpö esilämmitettyyn veteen ja muuttamalla sen höyryksi. Muodostuvaa korkeapaineista höyryä voidaan myöhemmin käyttää sähkön valmistuksessa. Rikkidioksidikaasun lämpötila on



1008 °C ja syöttömäärä 138 500 kg/h. Boilerin jäähdytysveden lämpötila on saatu esilämmittämällä 90-asteiseksi ja syöttömäärä on 29 940 kg/h (30 m<sup>3</sup>/h).

Jäähdytysveden esilämmittäminen on toteutettu esimerkiksi myöhemmin esiteltävien konverttereiden ja/tai imeytystornien reaktiolämpöjä hyödyntämällä. Jäähdytysveden syöttömäärä 30 m<sup>3</sup>/h on pienin mahdollinen määrä, jolla rikkidioksidikaasu saadaan jäähdytettyä tarpeeksi ja jolla jäähdytysvedestä muodostuvan höyryn lämpötila saadaan pysymään alle 399 °C:n. Jos höyryn lämpötila ylittäisi 399 °C ja höyryä joudutaan siirtämään pitkiä matkoja, tulisivat materiaalikustannukset niin suuriksi, ettei se olisi enää kannattavaa (Louie 2005, 11-4). Rikkidioksidi jäähtyy boilerista tullessaan tavoiteltuun 440 °C lämpötilaan ja jäähdytysvesi taas muuttuu 392-celsiusasteiseksi höyryksi.

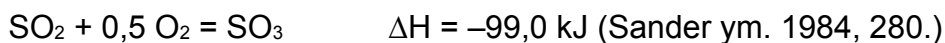
Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin boileri kuviossa 8:



KUVIO 8. Boileri

#### 4.6 Konvertterin 1. kerros

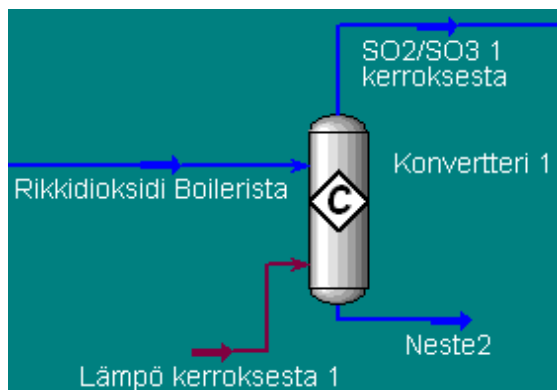
Konvertterin ensimmäisessä kerroksessa rikkidioksidia hapetetaan rikkiatrioksidiksi seuraavan reaktion mukaan:



Kaasun ominaisuudet ennen konvertertia ovat seuraavat: lämpötila 440 °C, paine 100,3 kPa ja virtausmäärä 138 500 kg/h. Pitoisuudet mooliprosentteina ovat 79 % typpeä, 12,5 % happea ja 8,5 % rikkidioksidia. Noin 69 % kaasun rikkidioksidista reagoi hapen kanssa muuttuen rikkiatrioksidiksi. Koska konverterissa tapahtuva reaktio on eksoterminen eli lämpöä vapauttava, myös kaasun lämpötila nousee hieman.

Kaasun pitoisuudet mooliprosentteina poistuttaessa konverterista ovat seuraavat: typpi 81,4 %, happi 9,8 %, rikkiatrioksidi 6,1 % ja rikkidioksidi 2,7 %. Kaasun lämpötila on 590 °C. Kuviossa näkyvät "Lämpö kerroksesta 1"- ja "Neste2"-virrat ovat jälleen tässä tapauksessa merkityksettömiä. Konverterista kaasu kulkeutuu jäähdyttimeen.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin konverterin 1. kerros kuviossa 9:



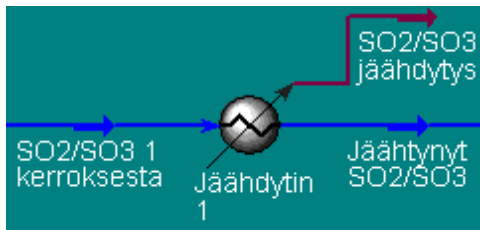
KUVIO 9. Konvertteri 1

#### 4.7 Jäähdytin 1

Jäähdyttimen tarkoitus on konvertterikaasujen jäähdyttäminen ja lämmön taltiointi. 590-asteinen kaasu jäähdytetään 450-asteiseksi, jotta kaasusta poistuisi mahdollisesti höyrystynyttä vettä ja saataisiin ylläpidettyä optimaalista reaktiolämpötilaa. Jäähdyttimen lämmönsiirto on 20,89 GJ/h. Kuvion "SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> jäähdytys"-virta

kuvaa juuri tätä lämmönsiirtoa. Jäähdyttimestä kaasu siirtyy edelleen konvertterin 2. kerrokseen.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin jäähdytin 1 kuviossa 10:



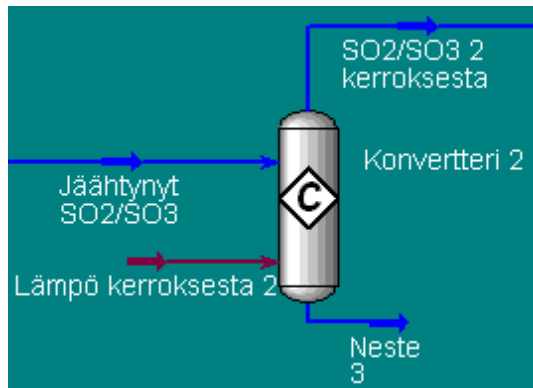
KUVIO 10. Jäähdytin 1

#### 4.8 Konvertterin 2. kerros

Konvertterin toisen kerroksen tarkoitus on sama kuin ensimmäisenkin eli rikkidioksidin konversio rikkiatrioksidiksi. Kaasun saapuessa toiseen kerrokseen sen ominaisuudet ovat seuraavat: lämpötila 450 °C, paine 100,3 kPa ja määrä edelleen 138 500 kg/h. Kaasun koostumus mooliprosentteina on seuraava: typpi 81,4 %, happi 9,8 %, rikkiatrioksidi 6,1 % ja rikkidioksidi 2,7 %.

Noin 92,3 % jäljellä olevasta rikkidioksidista reagoi hapen kanssa, synnyttäen rikkiatrioksidia ja lämpöä. Konvertterista poistuessaan kaasun muuttuneet arvot ovat: Lämpötila 510 °C ja koostumus, josta on typpeä 82,4 %, happea 8,7 %, rikkiatrioksidia 8,7 % ja rikkidioksidia 0,2 %. Kuviossa näkyvän "Neste 3"-virran voi jättää edelleen huomioimatta. Konvertterista kaasu kulkeutuu edelleen lämmönvaihtimeen, ennen siirtymistä väli-imeytystorniin.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin konvertterin 2. kerros kuviossa 11:

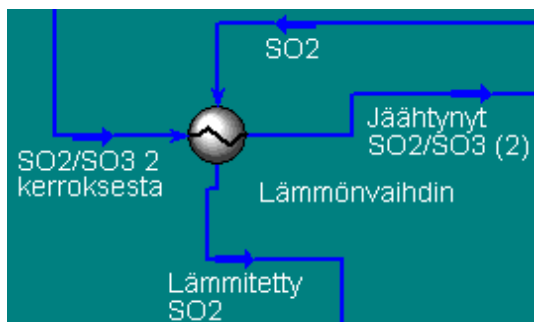


KUVIO 11. Konvertteri 2

#### 4.9 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihtimen tarkoitus on jäähdyttää konvertterista tuleva kaasu väli-imeytystornista tulevalla viileämmällä kaasulla ja vastavuoroisesti lämmittää konvertterin kolmanteen kerrokseen menevä kaasu konvertterin toisesta kerroksesta tulevilla kaasuilla. Tutkimalla kokonaisprosessikuviota periaate varmasti selkenee parhaiten. Kaasu siis saapuu lämmönvaihtimeen konvertterin toisesta kerroksesta 510-asteisena, siirtää lämpöenergiaa viileämpään kaasuun ja poistuu taas lämmönvaihtimesta 175-asteisena kohti väli-imeytystornia.

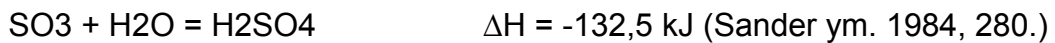
Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin lämmönvaihdin kuviossa 12:



KUVIO 12. Lämmönvaihdin

#### 4.10 Väli-imeytystorni

Väli-imeytystornissa kaasussa oleva rikki-trioksidi reagoi rikkihapossa olevan veden kanssa muodostaen lisää rikkihappoa. Reaktio on seuraavanlainen:



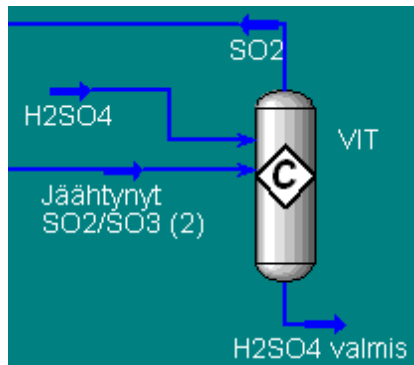
Torniin tulevan kaasun ominaisuudet ovat: lämpötila 175 °C ja virtausmäärä 138 500 kg/h. Pitoisuudet mooliprosentteina koostuvat seuraavista arvoista: typpeä 82,4 %, happea 8,7 %, rikki- trioksidia 8,7 % ja rikkidioksidia 0,2 %.

Torniin tulevan hapon ominaisuudet taas ovat: lämpötila 85 °C ja syöttömäärä 1 800 000 kg/h (982,5 m<sup>3</sup>/h). Hapon koostumus massaprosentteina on 98,8 % rikkihappoa ja 1,2 % vettä.

Tornissa kiertävä rikkihappo väkevöityy entisestään rikki-trioksidin imeytyessä ja poistuu tornista seuraavilla arvoilla: lämpötila 100,1 °C, määrä 1 824 000 kg/h (991,3 m<sup>3</sup>/h) ja koostumus massaprosentteina on 99,2 % rikkihappoa ja 0,7 % vettä.

Suurin osa kaasussa olevasta rikki-trioksidista imeytyy happoon. Kaasu myös lämpenee eksotermisen reaktion seurauksena. Kaasun uudet arvot sen poistuessa väli-imeytystornista ovat: lämpötila 100,1 °C, määrä 114 800 kg/h ja koostumus mooliprosentteina: typpeä 85,9 %, happea 9 %, vettä 3,9 %, rikki-trioksidia 0,9 % ja rikkidioksidia 0,2 %. Kaasu kulkeutuu seuraavaksi jälleen lämmönvaihtimeen, jossa se lämpenee 484,3-asteiseksi.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin väli-imeytystorni (VIT) kuviossa 13:



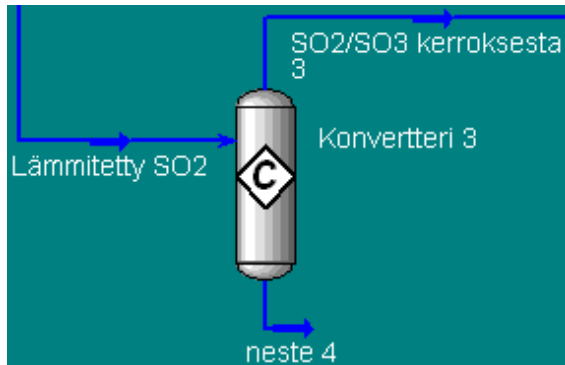
KUVIO 13. väli-imeytystorni

#### 4.11 Konvertterin 3. kerros

Lämmönvaihtimessa 484-asteiseksi lämmennyt kaasu saapuu konvertteriin rikkidioksidin konvertoimiseksi rikkiatrioksidiksi. Kaasun arvot ennen konvertteria ovat: lämpötila 484 °C, paine 100,3 kPa ja määrä 114 800 kg/h. Pitoisuudet mooliprosentteina ovat: typpi 85,9 %, happi 9,0 %, vesi 3,9 %, rikkiatrioksidi 0,9 % ja rikkidioksidi 0,2 %.

Konvertterin kolmannessa kerroksessa keskimäärin 98,3 % kaasun rikkidioksidista muuttuu rikkiatrioksidiksi. Myös kaasun lämpötila nousee eksotermisen reaktion seurauksena. Kaasun muuttuneet arvot konvertterista poistuttaessa ovat: lämpötila 491 °C ja pitoisuudet mooliprosentteina jotka ovat 86,1 % typpeä, 8,9 % happea, 3,9 % vettä, 1,1 % rikkiatrioksidia ja 0,004 % rikkidioksidia. Kuviossa näkyvää "neste 4"-kohtaa ei tarvitse huomioida. Konvertterista kaasu poistuu jäähdyttimeen.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin konvertterin kolmas kerros kuviossa 14:

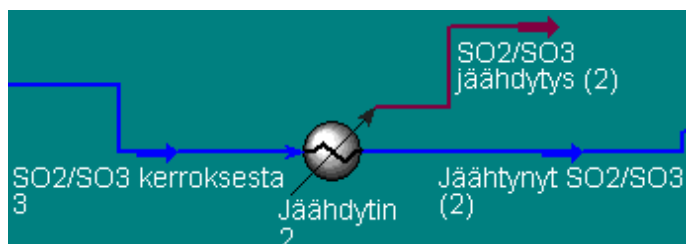


KUVIO 14. Konvertteri 3

#### 4.12 Jäähdytin 2

Konvertterin kolmannelta kerroksesta saapuva kaasu saapuu jäähdyttimeen lämmön talteenottoa ja jäähdytystä varten. 491-asteinen kaasu jäähtyy 420-asteiseksi kulkiessaan jäähdyttimen läpi. Jäähdyttimen lämmönsiirto on 9,189 GJ/h, jota kuvion "SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> jäähdytys (2)"-virta kuvaa. Viilennyt kaasu etenee jäähdyttimestä konvertterin neljännent ja samalla viimeiseen kerrokseen.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin jäähdytin 2 kuviossa 15:



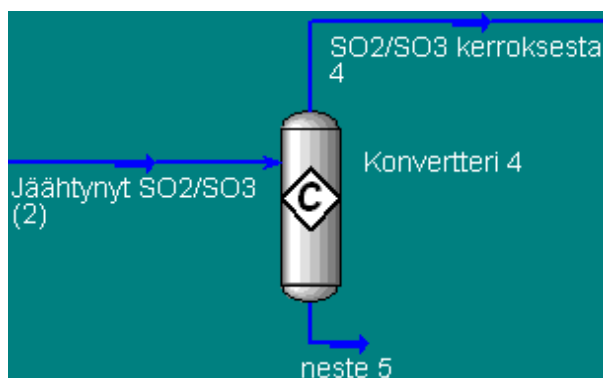
KUVIO 15. Jäähdytin 2

#### 4.13 Konvertterin 4. kerros

Viimeisessä konvertterikerroksessa noin 99,6–99,9 % kaasun jäljellä olevasta rikkidioksidista konversoituu rikkiatrioksidiksi. Kaasu saapuu konvertteriin seuraavilla arvoilla: lämpö 420 °C, paine 100,3 kPa ja määrä 114 800 kg/h. Pitoisuudet mooliprosentteina taas ovat: typpeä 86,1 %, happea 8,9 %, vettä 3,9 %, rikkiatrioksidia 1,1 % ja rikkidioksidia 0,004 %.

Konversion jälkeen kaasu poistuu konvertterista seuraavilla muuttuneilla arvoilla: lämpö 420,1 °C ja pitoisuudet mooliprosentteina ovat typpeä 86,1 %, happea 8,9 %, vettä 3,9 %, rikkiatrioksidia 1,1 % ja rikkidioksidia 0,0 %. Rikkidioksidia on tässä vaiheessa enää niin vähän jäljellä, että ohjelma ei edes pysty antamaan niin pieniä lukemia. Kuviossa näkyvällä ”neste 5”-virralla ei tässä yhteydessä ole merkitystä, eikä sitä täten tarvitse huomioida. Konvertterista kaasu kulkeutuu vielä jäähdyttimeen ennen loppuimeytystornia.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin konvertterin neljäs kerros kuviossa 16:



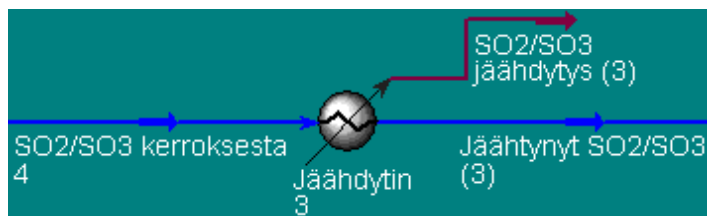
KUVIO 16. Konvertteri 4



#### 4.14 Jäähdytin 3

Konvertterin neljännessä kerroksesta saapuva kaasu saapuu jäähdyttimeen viilen-  
nystä ja lämmöntalteenottoa varten. Jäähdyttimen läpi kulkiessaan kaasu jäähtyy  
420,1 °C:n lämpötilasta 175 °C:seen. Kuvion ”SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> jäähdytys (3)”-virta kuvaa  
jäähdyttimen lämmönsiirtoa, joka on 30,86 GJ/h. Jäähdyttimestä jäähtynyt kaasu  
jatkaa matkaansa loppuimeytykseen.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin jäähdytin 3 kuviossa 17:



KUVIO 17. Jäähdytin 3

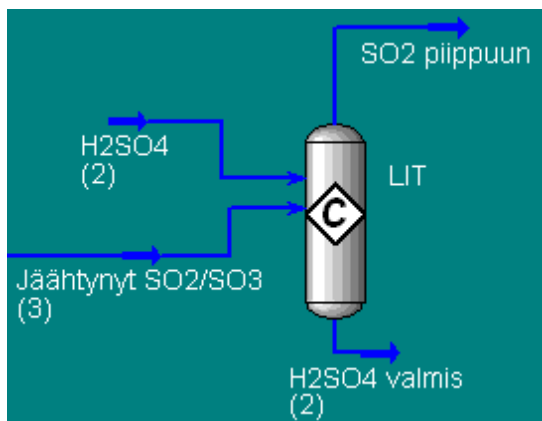
#### 4.15 Loppuimeytystorni

Loppuimeytystornin tarkoituksena on loppujen rikkitrioksidien imeyttäminen eli ab-  
sorptio rikkihappoon. Jäähdyttimestä tulevan kaasun rikkitrioksidi imeytyy tornissa  
kiertävään vettä sisältävään rikkihappoon muodostaen näin lisää väkevämpää  
rikkihappoa.

Torniin saapuvan kaasun ominaisuudet ovat seuraavat: lämpötila 175 °C, paine  
100,3 kPa ja määrä 114 800 kg/h. Kaasun pitoisuudet mooliprosentteina ovat  
seuraavat: typpeä 86,1 %, happea 8,9 %, vettä 3,9 % ja rikkitrioksidia 1,1 %.  
Torniin tulevan hapon ominaisuudet taas ovat seuraavat: lämpötila 75 °C, paine  
101,3 kPa ja määrä 1 080 000 kg/h (590,5 m<sup>3</sup>/h). Hapon pitoisuudet  
massaprosentteina ovat: rikkihappoa 98,6 % ja vettä 1,4 %.

Imeytyksen jälkeen kaasu poistuu imeytystornista kohti piippua seuraavilla arvoilla: lämpötila 81,7 °C, paine 100,3 kPa ja määrä 111 100 kg/h. Kaasun pitoisuudet mooliprosentteina ovat: typpeä 87,3 %, happea 9,1 % ja vettä 3,6 %. Väkevöitynyt rikkihappo taas poistuu tornista seuraavilla arvoilla: lämpötila 81,7 °C, paine 100,3 kPa ja määrä 1 084 000 kg/h (592,3 m<sup>3</sup>/h). Poistuvan hapon pitoisuudet massa-prosentteina taas ovat: rikkihappoa 98,7 % ja vettä 1,3 %.

Aspen HYSYS -ohjelmalla luodun prosessimallin loppuimeytystorni (LIT) kuviossa 18:



KUVIO 18. Loppuimeytystorni

## 5 TULOKSET

Työssä käytetyt ja saadut tulokset taulukoituna. Taulukossa 1 kuivaustornille annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 1. Kuivaustorni

Kuivaustorni			
		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kuivaushappo	Lämpötila, °C	40	
	Paine, kPa	101,3	
	Määrä, m <sup>3</sup> /h	850	
	Koostumus, mas-%	Rikkihappo vesi	96 4
Ilma	Lämpötila, °C	10	
	Paine, kPa	101,3	
	Määrä, m <sup>3</sup> /h	98000	
	Koostumus, mol-%	Typpi Happi vesi	79 19 2
Kuivattu ilma	Lämpötila, °C		43
	Määrä, kg/h		126500
	Koostumus, mol-%	Typpi Happi	79 21

Taulukossa 2 puhaltimelle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 2. Puhallin

Puhallin			
		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kuivattu ilma	Lämpötila, °C		43
	Määrä, kg/h		126500
	Koostumus, mol-%	Typpi Happi	79 21
Ilma 1,36 bar	Lämpötila, °C		80
	Määrä, kg/h		126500
	Paine, kPa	136	
	Koostumus, mol-%	Typpi Happi	79 21
Energiavirta, GJ/h			4,72

Taulukossa 3 rikin sulattimelle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 3. Sulatin

<b>Sulatin</b>		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kiinteä rikki	Lämpötila, °C	10	
	Paine, kPa	101,3	
	Määrä, kg/h	12000	
Neste rikki	Lämpötila, °C	145	
	Paine, kPa		101,3
	Määrä, kg/h		12000

Taulukossa 4 rikin polttimelle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 4. Poltin

<b>Poltin</b>		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Ilma 1,36 bar	Lämpötila, °C		80	
	Määrä, kg/h		126500	
	Paine, kPa	136		
	Koostumus, mol-%	Typpi	79	
		Happi	21	
Neste rikki	Lämpötila, °C	145		
	Paine, kPa		101,3	
	Määrä, kg/h		12000	
Rikki kaasu	Lämpötila, °C		1008	
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		101,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		79
		Happi		12,5
Rikkidioksidi			8,5	
Energiavirta, GJ/h		50		

Taulukossa 5 boilerille annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 5. Boileri

<b>Boileri</b>			
		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kaasu sisään	Lämpötila, °C		1008
	Määrä, kg/h		138500
	Paine, kPa		101,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	79
		Happi	12,5
		Rikkidioksidi	8,5
Kaasu ulos	Lämpötila, °C	440	
	Määrä, kg/h		138500
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	79
		Happi	12,5
		Rikkidioksidi	8,5
Vesi sisään	Lämpötila, °C	90	
	Määrä, m <sup>3</sup> /h	30	
	Paine, kPa	101,3	
	Koostumus, mol-%	vesi	100
Vesi ulos	Lämpötila, °C		392
	Määrä, m <sup>3</sup> /h		30
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	vesi	100

Taulukossa 6 konvertterin 1. kerrokselle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 6. Konvertteri 1

<b>Konvertteri 1.</b>			
		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kaasu sisään	Lämpötila, °C	440	
	Määrä, kg/h		138500
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	79
		Happi	12,5
		Rikkidioksidi	8,5
Kaasu ulos	Lämpötila, °C	590	
	Määrä, kg/h		138500
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	81,4
		Happi	9,8
		Rikkidioksidi	2,7
		Rikkitrioksidi	6,1

Taulukossa 7 jäähdytin 1:selle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 7. Jäähdytin 1

<b>Jäähdytin 1.</b>				
		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään	Lämpötila, °C	590		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		81,4
		Happi		9,8
		Rikkidioksidi		2,7
Rikkitrioksidi			6,1	
Kaasu ulos	Lämpötila, °C	450		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		81,4
		Happi		9,8
		Rikkidioksidi		2,7
Rikkitrioksidi			6,1	
Energiavirta, GJ/h			20,89	

Taulukossa 8 konvertterin 2. kerrokselle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 8. Konvertteri 2

<b>Konvertteri 2.</b>				
		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään	Lämpötila, °C	450		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		81,4
		Happi		9,8
		Rikkidioksidi		2,7
Rikkitrioksidi			6,1	
Kaasu ulos	Lämpötila, °C	510		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		82,4
		Happi		8,7
		Rikkidioksidi		0,2
Rikkitrioksidi			8,7	

Taulukossa 9 lämmönvaihtimelle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 9. Lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin				
		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään 1	Lämpötila, °C	510		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		82,4
		Happi		8,7
		Rikkidioksidi		0,2
Rikkiatrioksidi			8,7	
Kaasu ulos 1	Lämpötila, °C	175		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		82,4
		Happi		8,7
		Rikkidioksidi		0,2
Rikkiatrioksidi			8,7	
Kaasu sisään 2	Lämpötila, °C		100,1	
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		85,9
		Happi		9
		Rikkidioksidi		0,2
Rikkiatrioksidi			0,9	
Kaasu ulos 2	Lämpötila, °C		484	
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		85,9
		Happi		9
		Rikkidioksidi		0,2
Rikkiatrioksidi			0,9	

Taulukossa 10 väli-imeytystornille annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 10. Väli-imeytystorni

Väli-imeytystorni				
		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään	Lämpötila, °C	175		
	Määrä, kg/h		138500	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		82,4
		Happi		8,7
		Rikkidioksidi		0,2
Rikkiatrioksidi			8,7	
Happo sisään	Lämpötila, °C	85		
	Paine, kPa	100,3		
	Määrä, m <sup>3</sup> /h	983		
	Koostumus, mas-%	Rikkihappo	98,8	
		vesi	1,2	
Kaasu ulos	Lämpötila, °C		100,1	
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		85,9
		Happi		9
		Rikkidioksidi		0,2
		Rikkiatrioksidi		0,9
vesi			3,9	
Happo ulos	Lämpötila, °C		100,1	
	Paine, kPa		100,3	
	Määrä, m <sup>3</sup> /h		991,3	
	Koostumus, mas-%	Rikkihappo		99,2
		vesi		0,7



Taulukossa 11 konvertterin 3. kerrokselle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 11. Konvertteri 3

<b>Konvertteri 3.</b>			
		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kaasu sisään	Lämpötila, °C		484
	Määrä, kg/h		114800
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	85,9
		Happi	9
		Rikkidioksidi	0,2
	Rikkiatrioksidi	0,9	
	vesi	3,9	
Kaasu ulos	Lämpötila, °C		491
	Määrä, kg/h		114800
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	86,1
		Happi	8,9
		Rikkidioksidi	0
	Rikkiatrioksidi	1,1	
	vesi	3,9	

Taulukossa 12 jäähdytin 2:selle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 12. Jäähdytin 2

<b>Jäähdytin 2.</b>			
		Annetut arvot	Lasketut arvot
Kaasu sisään	Lämpötila, °C		491
	Määrä, kg/h		114800
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	86,1
		Happi	8,9
		Rikkidioksidi	0
	Rikkiatrioksidi	1,1	
	vesi	3,9	
Kaasu ulos	Lämpötila, °C	420	
	Määrä, kg/h		114800
	Paine, kPa		100,3
	Koostumus, mol-%	Typpi	86,1
		Happi	8,9
		Rikkidioksidi	0,004
	Rikkiatrioksidi	1,1	
	vesi	3,9	
Energiavirta, GJ/h			9,189

Taulukossa 13 konvertterin 4. kerrokselle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 13. Konvertteri 4

<b>Konvertteri 4.</b>				
		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään	Lämpötila, °C	420		
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		86,1
		Happi		8,9
		Rikkidioksidi		0,004
		Rikkitrioksidi		1,1
vesi		3,9		
Kaasu ulos	Lämpötila, °C		420,1	
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		86,1
		Happi		8,9
		Rikkidioksidi		0
		Rikkitrioksidi		1,1
vesi		3,9		

Taulukossa 14 jäähdytin 3:selle annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 14. Jäähdytin 3

<b>Jäähdytin 3.</b>				
		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään	Lämpötila, °C		420,1	
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		86,1
		Happi		8,9
		Rikkidioksidi		0
		Rikkitrioksidi		1,1
vesi		3,9		
Kaasu ulos	Lämpötila, °C	175		
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		86,1
		Happi		8,9
		Rikkidioksidi		0
		Rikkitrioksidi		1,1
vesi		3,9		
Energiavirta, GJ/h			30,86	

Taulukossa 15 loppuimeytystornille annetut ja ohjelman laskemat arvot:

TAULUKKO 15. Loppuimeytystorni

Loppuimeytystorni		Annetut arvot	Lasketut arvot	
Kaasu sisään	Lämpötila, °C	175		
	Määrä, kg/h		114800	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		86,1
		Happi		8,9
		Rikkidioksidi		0
		Rikkiatrioksidi		1,1
vesi		3,9		
Happo sisään	Lämpötila, °C	75		
	Paine, kPa	101,3		
	Määrä, m <sup>3</sup> /h	590,5		
	Koostumus, mas-%	Rikkihappo	98,6	
		vesi	1,4	
Kaasu ulos	Lämpötila, °C		81,7	
	Määrä, kg/h		111100	
	Paine, kPa		100,3	
	Koostumus, mol-%	Typpi		87,3
		Happi		9,1
		Rikkidioksidi		0
		Rikkiatrioksidi		0
vesi		3,6		
Happo ulos	Lämpötila, °C		81,7	
	Paine, kPa		100,3	
	Määrä, m <sup>3</sup> /h		592,3	
	Koostumus, mas-%	Rikkihappo		98,7
		vesi		1,3

Taulukossa 16 energia-arvoja prosessin eri osista:

TAULUKKO 16. Energia-arvot

	Energiavirta, GJ/h	Teho, kW	Suunta
Puhallin	4,72	1310	Tarvitaan
Sulatin	1,7796		Tarvitaan
Poltin	50	13890	Tarvitaan
Jäähdytin 1.	20,89	5804	Luovutetaan
Jäähdytin 2.	9,189	2553	Luovutetaan
Jäähdytin 3.	30,89	8573	Luovutetaan

## 6 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli selvittää energian määriä, joita rikinpolttolaitoksessa ja myöhemmin rikkihapon valmistuksessa syntyy. Koko työn ytimenä toimi Aspen HYSYS-ohjelmalla toteutettu prosessin mallinnus. Tarkoituksena oli rakentaa mahdollisimman toimiva ja todellista käytäntöä vastaava malli. Kuitenkaan kaikkia prosessin osasia ei saatu lukuisista yrityksistä huolimatta toimimaan, jolloin tiettyjä kompromisseja ja yksinkertaistuksia jouduttiin tekemään. Käyn seuraavaksi läpi kyseiset kohdat, jota ei saatu toimimaan halutulla tavalla, sekä toimenpiteet niiden ylittämiseksi.

Kuivaustornin (KT) ongelma mallinnuksessa oli, että se ei poistanut vettä kaasusta tarpeeksi tehokkaasti. Oletuksena oli käyttää oikeita prosessissa käytössä olevia arvoja ja toivoa, että kaasu kuivuisi riittävästi. Oletusarvoilla kuivattaminen ei kuitenkaan toiminut, joten piti kokeilla kaikkien muiden säädettävissä olevien arvojen muuttamista. Kuivaushaposta kokeiltiin muuttaa painetta, pitoisuutta ja lämpötilaa. Kuivaushappokolonnin sisäisiä arvoja ja ominaisuuksia muutettiin. Syötettävän ilman ominaisuuksia muutettiin siltä osin, mitä pidettiin ulkoilmalle mahdollisena. Kuitenkaan millään käytetyistä keinoista kaasun vesipitoisuutta ei saatu tarpeeksi alhaiseksi. Jotta kaasun liallinen vesipitoisuus ei aiheuttaisi ongelmia prosessin myöhemmissä osissa, säädettiin kuivaustornista poistuvan ilman vesipitoisuus manuaalisesti nollassa.

Rikin sulattimen ongelma ohjelmassa oli sen antama negatiivinen energiavirta ( $-127,2$  GJ/h). Koska sulatin tarvitsee energiaa, luovuttamisen sijaan, ei arvoa voi pitää järkevänä. Sulattimelle annettavat lähtöarvot olivat suhteellisen tarkkaan määritetyt, joten siltä osin mahdollisille arvojen säätämille ei ollut mahdollisuutta. Aspen HYSYS-ohjelma on huono käsittelemään kiinteitä aineita ja sulamista, joten pelkillä lähtöarvojen pienillä muuttamisilla tuskin olisi ollut vaikutusta energiavirran muuttamiseksi positiiviseksi. Vaikka sulattimen tarvitsemää energian määrää ei voitu saada luotettavaksi, se kuitenkin toimi ohjelmassa kaikilla muilla tavoin

luotettavasti, eikä esimerkiksi sulattimesta lähtevän sulan rikin asetuksia jouduttu manuaalisesti muuttamaan millään lailla.

Monissa ohjelman osissa, lukuun ottamatta puhaltimelta lähtevää kaasua, on ainevirran paineeksi annettu 101,3 kPa, joka vastaa yleisesti käytettyä keskimääräistä ilmanpainetta. Suurimmassa osassa prosessia paine on vain hiukan normaalia ilmanpainetta isompi, eikä kovin pienillä ylipaineen arvoilla ei ole olennaista merkitystä ohjelman laskelmien kannalta. Tämän vuoksi kohdissa, joissa ilmanpaine ei merkittävästi eroa normaali ilmanpaineesta, on käytetty arvoa 101,3 kPa. Monissa prosessin kohdissa on havaittavissa myös paineen arvo 100,3 kPa. Näissä kohdissa on aina kyse ohjelman itse laskemista arvoista, joita ei pysty itse manuaalisesti säätämään. Myös väli-imeytystornista lähtevän kaasun koostumuksessa on hieman vettä, koska ohjelman laskelmat näin kertovat, eikä kyseinen arvo ole myöskään säädettävissä.

Eräs Aspen HYSYS-ohjelman hyvistä ja samalla huonoista puolista on se, että se antaa todella paljon tietoa ja että säädettävää on paljon. Harjaantumaton käyttäjä menee helposti sekaisin tiedon määrästä, ja voi olla välillä vaikea poimia olennaiset tiedot kaiken joukosta. Yksi ongelmista olikin olennaisten tietojen valitseminen ja esittäminen työn tarkoituksen kannalta. Koska kyseessä on energiatarkastelu, valitsin keskeisimmät energia-(joule) ja lämpötila-arvot, joilla katsoin olevan eniten merkitystä, sekä tietenkin keskeisimmät prosessin muut arvot, joilla näihin lukuihin on päästy.

Näitä mainittuja seikkoja lukuun ottamatta rikkihappotehtaaseen liitetystä rikinpolttolaitoksesta saatiin suhteellisen toimiva malli, jonka haluttuja arvoja muuttamalla voi tarkastella niiden vaikutusta koko prosessiin monesta näkökulmasta.

## LÄHTEET

Kemira Oyj. 2009. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:n tuotantokaavio. Osa rikkihappotehtaan laatujärjestelmää. Kokkola.

Louie, Douglas K. 2005. Handbook of sulphuric acid manufacturing. Sähköinen kirja. Saatavissa: [http://books.google.fi/books?id=X-s2xn-r\\_kwC&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.fi/books?id=X-s2xn-r_kwC&source=gbs_navlinks_s). Luettu: 27.11.2009.

Mecs, Inc. Sulfur burning. jpg-kuva. Saatavissa: [http://www.mecsglobal.co.za/content/SulAcid/sulfur\\_burning.jpg](http://www.mecsglobal.co.za/content/SulAcid/sulfur_burning.jpg). Luettu: 21.4.2009.

Sander, U.H.F & Fischer, H & Rothe, U & Kola, R. 1984. Sulphur, Sulphur Dioxide and Sulphuric Acid. London: The British Sulphur Corporation Ltd.

Vierimaa, J. 2009. Suullinen tiedonanto. Kemira Oyj. Kokkola.

### Rikin sulatuksessa tarvittava energia

Rikin syöttömäärä: 12 000 kg/h

Kiinteän rikin ominaislämpökapasiteetti, c: 0,776 kJ/kgK

Lämpötilaero 10 °C rikistä → 119 °C rikkiin, Δt: (119–10) °C

Kiinteän rikin lämmittämiseen tarvittava lämpömäärä,  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$ :

$$0,776 \cdot 12\,000 \cdot (119-10) = 1\,015\,000 \text{ kJ/h} = 1015 \text{ MJ/h}$$

Rikin sulattamiseen tarvittava lämpö: 38,5 kJ/kg

$$12\,000 \cdot 38,5 = 462\,000 \text{ kJ/h} = 462 \text{ MJ/h}$$

Sulan rikin ominaislämpökapasiteetti, c: 0,97 kJ/kgK

Lämpötilaero sulaneesta rikistä → 145 °C rikkiin, Δt: (145–119) °C

Sulan rikin lämmittämiseen tarvittava lämpömäärä:

$$0,97 \cdot 12\,000 \cdot (145-119) = 302\,640 \text{ kJ/h} = 302,64 \text{ MJ/h}$$

Rikin sulatuksessa tarvittava kokonaisenergia:

$$1015 + 462 + 302,64 = \mathbf{1779,6 \text{ MJ/h}}$$