SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - **AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO**
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SOODAKATTILAN LIUOTINSÄILIÖN HÖNKÄJÄRJESTELMÄN LASKENTAOHJELMAN KEHITTÄMINEN

TEKIJÄ: Miikka Ukkonen

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Miikka Ukkonen	
Työn nimi Soodakattilan liuotinsäiliön hönkäjärjestelmän laskentaohjelman kehittäminen	
Päiväys 27.10.2014	Sivumäärä/Liitteet 38
Ohjaaja(t) Andritz Oy Esa Vihavainen, Savonia Ritva Käyhkö ja Markku Halttunen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Andritz Oy	

Tiivistelmä

Työ tehtiin Andritz Oy:n soodakattiloiden service yksikölle kesän 2014 aikana. Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä olemassa olevaan laskentaohjelmaan ja tehdä siitä kattava ja helposti käytettävä työkalu soodakattilan liuottajasäiliön hönkienkeruujärjestelmän tarjouslaskentaan. Laskentaohjelma on tehty Excel- taulukkolaskentaohjelman pohjalla sen helpon muokattavuuden sekä hyvien laskentaominaisuuksien vuoksi.

Työssä kehitettiin olemassa olevaa laskentaohjelmaa ja muokattiin sitä helppokäyttöisemmäksi. Laskentaohjelmaan tehtiin listat kanavistoille, putkistoille ja venttileille, sekä jokaiselle päälaitteelle erikseen. Listoista muokattiin sellaiset, että ne voidaan lähettää laitetoimittajille tarjouskyselyjen liitteeksi. Ohjelmaan liitettiin lisäksi eri materiaalien yksikköhintoja, joita ohjelma käyttää kokonaiskustannuksien laskennassa.

Laskentaohjelmalla saadaan mitoitettua hönkäjärjestelmän päälaitteet, sekä putkistojen ja kanavien koot ja painot. Näitä tietoja voidaan käyttää apuna hönkäjärjestelmän hinnoittelussa. Laskentaohjelma poimii omille välilehdille eri osien erittelytja syöttää ne ohjelmaan tehdyille valmiille tarjouskyselypohjille.
Uusi laskentaohjelma nopeuttaa hönkäjärjestelmän mitoitusta ja hinnoittelua, sekä nopeuttaa projektien käynnistymistä.

Avainsanat
Soodakattila, liuotinsäiliö, hönkäjärjestelmä

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Miikka Ukkonen			
Title of Thesis Developing the calculation program for the dissolving tank vent gas system			
Date	27.10.2014	Pages/Appendices	38
Supervisor(s) Andritz Oy Esa Vihavainen, Savonia Ritva Käyhkö ja Markku Halttunen			
Client Organisation /Partners Andritz Oy			

Abstract

This thesis was done at Andritz Oy recovery boilers service unit during the summer 2014. The aim of the thesis was to get familiarized with the calculation program and to develop it, to help the quotation process of dissolving tank vent gas system. The calculation is done by Excel due to its good formability and effective calculating properties.

The goal was to make the program easier to use. Separately lists for ducts, pipes, valves and main equipment were formed to the program. These lists are ready to to be added to the inquiries sent to the vendors. The unit prices for different materials were also added in the program. These prices are used to calculate the total costs.

The use of the calculation progman enables to calculate the dissolving tank vent gas system costs and to get the request for quotation sheets ready to be sent to equipments vendors. The calculation program picks the values of different parts of the dissolving tank vent gas system from the general input sheet and adds them on request for quotation sheets.

The calculation program developed reduces the time required for the process calculation, dimensioning and cost estimation. It helps a lot the start of the new projects.

Keywords
Recovery boiler, dissolving tank, vent gas system

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Andritz Oy:n Soodakattiloiden service-yksikölle kesän 2014 aikana.
Työssä toimi tarkastajina ja ohjaajina Andritz Oy:stä tuotepäällikkö, DI Esa Vihavainen ja Savoniasta yliopettaja Ritva Käyhkö ja lehtori Markku Halttunen.

Andritz Oy:tä kiitän mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni heille ja varsinkin Esa Vihavaista hänen antamistaan arvokkaista neuvoista ja ohjauksesta.
Haluan kiittää myös perhettäni ja erityisesti avopuolisoani heidän antamastaan tuesta opinnäytetyöni ja koko opiskeluni ajalta.

Varkaudessa 27.10.2014

Miikka Ukkonen

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO 7

2 LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT 8

3 YRITYS 9

4 SOODAKATTILA 10

4.1 Soodakattilan tehtävät 10

4.2 Mustalipeä 11

4.3 Soodakattilan rakenne 12

4.3.1 Tulipesä 13

4.3.2 Ekonomaiserit 15

4.3.3 Lieriö 16

4.3.4 Höyrystinpinnat 17

4.3.5 Tulistimet 18

5 LIUOTINSÄILIÖ 19

5.1 Liuotinsäiliön toiminta 19

5.1.1 Liuotinsäiliön laitteet 20

6 LIUOTTAJASÄILIÖN HÖNKIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ 21

6.1 Liuottajahöngän käsittely 21

6.2 Liuotinsäiliön höngän koostumus ja hönkämäärä 22

6.3 Laitteisto 22

6.3.1 Hönkäpesuri 23

6.3.2 Kiertonestepumppu ja lämmönsiirrin 23

6.3.3 Höngän lämmitin 24

6.3.4 Hönkäpuhallin 24

7 HÖNKÄJÄRJESTELMÄN MITOITUS 25

7.1 Pesuri 25

7.2 Lämmönsiirrin 26

7.3 Kiertopumppu ja -putkisto 27

7.3.1 Pumppu 27

7.3.2 Putkiston mitoitus 28

7.4 Puhallin 28

7.5 Ilmanesilämmitin 28

8 LASKENTAOHJELMAN KÄYTTÖ MITOITUKSESSA 29

8.1 Pesuri 29

8.2 Kanavat 30

8.3 Puhallin 31

8.4 Höngän lämmitin 32

8.5 Putkistot 33

8.6 Lämmönsiirrin 34

8.7 Pumppu 35

8.8 Venttilit 36

9 YHTEENVETO 37

LÄHTEET 38

1 JOHDANTO

Kiristyvät ympäristömääräykset aiheuttavat tehtaille runsaasti investointeja savukaasujen ja hajukaasujen käsittelyjärjelmiin. Sellutehtaalla syntyy jatkuvasti haitallisia hajukaasuja, jotka pyritään polttamaan soodakattilassa, ennen kuin ne voidaan laskea ilmaan. Hajukaasuja syntyy myös soodakattilan toimiessa ja näitä hönkiä käsitellään soodakattilan liottimen sekä sekoitussäiliön hönkäpesureissa. Hönkäpesurilla poistetaan syntyviä hajukaasuja ja muita ilman epäpuhtauksia. Kaikki uudet soodakattilat varustetaan hönkienkäsittelyjärjestelmillä, sekä näitä järjestelmiä asennetaan myös vanhempiin soodakattiloihin.

Tässä työssä keskitytään Andritz Oy:n soodakattiloiden service-yksikön käyttämän hönkäjärjestelmän laskentaohjelman kehittämiseen. Tarve laskentaohjelman kehittämiselle on syntynyt mitoittaessa ja laskettaessa liuotinsäiliön hönkienkeruujärjestelmää, joka on laaja ja aikaa vievä prosessi. Andritzilla on kehitetty Excel-pohjainen laskentaohjelma, jolla säästetään huomattavasti aikaa niin mitoituksen, laskennan, kuin myös hankintojen tekemisen suhteen. Laskentaohjelma on tehty Excel-taulukkolaskentaohjelmaan sen helpon muokattavuuden sekä hyvien laskentaominaisuuksien vuoksi.

2 LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Na_2SO_4	Natriumsulfaatti
Na_2S	Natriumsulfidi
H_2S	Rikkivety
TRS	Total Reduced Sulphur, pelkistyneet rikkiyhdisteet
MCR	Maximum Capacity Rating, soodakattilan kapasiteetti 100 prosentin kuormalla
MIN	Minimi, soodakattilan suunnittelussa käytetty minimi kuorma
DES	Design, soodakattilan suunnittelussa käytetty maksimi kuorma
tka/vrk	Tonnia kuiva-ainetta vuorokaudessa

SYMBOLILUETTELO

$\dot{V}$	tilavuusvirta	m^3/s
v	virtausnopeus	m/s
A	pesurin poikkileikkaus pinta-ala	m^2
d	halkaisija	m
Φ	lämmönsiirtimen lämpöteho	W
$\dot{m}$	kiertonesteen massavirta	kg/s
c_p	kiertonesteen ominaislämpökapasiteetti	kj/kgK
Δt	kiertonesteen lämpötilaero jäähdyttimessä	K
k	k-arvo	$\frac{W}{m2*K}$
θ	logaritminen lämpötilaero	K
Δp	paine-ero	Pa
H	nostokorkeus	m
ΔH_g	nestepintojen korkeusero	m
$\Delta H_{\Delta p}$	säiliöiden paine-ero	Pa
ΔH_{dyn}	putkiston painehäviö	Pa
v	ominaistilavuus	m^3/kg

3 YRITYS

ANDRITZ-KONSERNI

"Kansainvälinen teknologiakonserni ANDRITZ on yksi maailman johtavista laitosten, laitteiden ja palvelujen toimittajista vesivoimateollisuudelle, sellu- ja paperiteollisuudelle, metalli- ja terästeollisuudelle sekä kunnallisiin ja teollisiin erotusteknologiaratkaisuihin. ANDRITZ on pörssiyhtiö, jonka pääkonttori sijaitsee Itävallan Grazissa. Maailmanlaajuisesti ANDRITZin henkilöstön määrä on noin 24 100 ja toimipaikkoja on yli 250. ANDRITZ-KONSERNI on yksi maailman johtavista toimittajista kaikilla neljällä liiketoiminta-alueellaan. Yksi konsernin strategisista tavoitteista on vahvistaa ja laajentaa tätä asemaa. Samaan aikaan yhtiö pyrkii jatkamaan kannattavaa kasvua pitkällä aikavälillä".(Andritz Oy 2014)

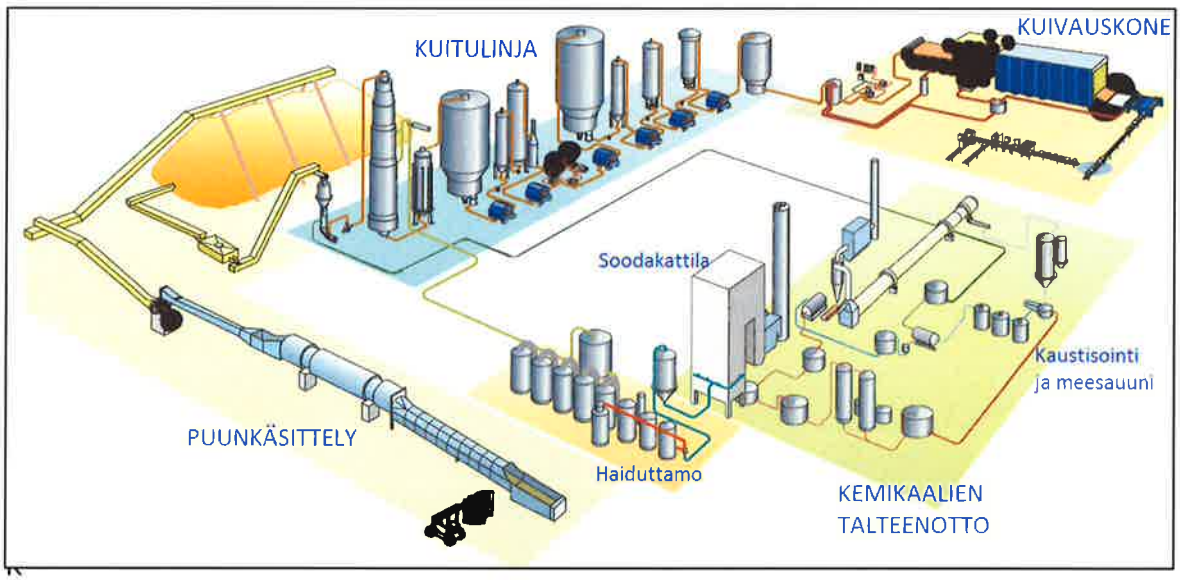
ANDRITZ Oy

"ANDRITZ Oy on yksi maailman johtavista sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmien, laitteiden ja palvelujen toimittajista. Sen tuotealueita ovat puunkäsittely, kuituprosessit, kemikaalien talteenotto ja massankäsittely. Lisäksi ANDRITZ Oy tarjoaa erilaisia biomassakattiloita ja kaasutuslaitoksia energian tuotantoon. Tampereella sijaitseva ANDRITZ HYDRO Oy toimittaa järjestelmiä, laitteita ja palveluja vesivoimateollisuudelle. Suomessa ANDRITZ- yhtiöiden liikevaihto on noin 400 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä on noin 1000. Osaamiskeskukset ovat Kotkassa, Lahdessa, Savonlinnassa, Varkaudessa ja Tampereella. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä. ANDRITZ Oy:n hallituksen puheenjohtajana toimii Wolfgang Leitner (ANDRITZ AG) ja toimitusjohtajana Harry Rickman. Yhtiön omistaa itävaltalainen ANDRITZ AG."(Andritz Oy 2014)

4 SOODAKATTILA

Soodakattila on osa sellun valmistuksessa käytettävien kemikaalien kiertoa. Se on sellutehtaan kallein yksittäinen osa. Lähes kaikki tehtaan tarvitsema energia saadaan tuotettua nykyaikaisessa soodakattilassa polttamalla mustalipeää jolla tuotetaan korkeapaineista höyryä turbiinille.
Turbiinille syötetyllä höyryllä tehdään generaattorin avulla sähköä ja turbiinin väliotto-höyryä käytetään tehtaan muissa prosesseissa, esimerkiksi ilman esilämmittimissä, nuohouksessa ja haihduttamolla (Vakkilainen, E. 2007, 1-2).

Soodakattiloiden kapasiteetista puhuttaessa tarkoitetaan sen kykyä polttaa kuiva-ainetta tonneina vuorokaudessa tka/vrk. Kuvassa 1 on havainnekuva sellutehtaasta jonka keskeinen osa soodakattila on.



Kuva 1. Sellutehtaan osastot (Andritz Oy 2002)

4.1 Soodakattilan tehtävät

Soodakattilalla on kaksi päätehtävää. Epäorgaanisten keittokemikaalien talteenotto ja regenerointi, sekä mustalipeän sisältämän orgaanisen, palavan aineen polttaminen ja korkeapaineisen höyryn tuottaminen turbiinille. Nämä kaksi tehtävää, kemikaalien ja energian talteenotto, tekevät soodakattilan suunnittelusta ja käytöstä paljon monimutkaisempaa kuin minkään toisen kattilatyypin. (Adams, T. et al. 1997, 3.)

Lisäksi soodakattilalla on muita "pienempiä" tehtäviä, kuten sellunkeitossa syntyvien väkevien- ja laimeiden hajukaasujen polttaminen ja epäorgaanisten kemikaalien uudelleen kierrätys lentotuhkasta (Vakkilainen, E. 2007, 1-1).

4.2 Mustalipeä

Mustalipeä on sellunvalmistuksessa syntyvä sivutuote. Se sisältää sellunkeitossa käytettyjä keitto-kemikaaleja, natriumhydroksidia, (NaOH) ja natriumsulfidia, (Na_2S), sekä keitossa puusta irronnutta kuitujen sidosainetta ligniiniä ja muita orgaanisia aineita. Tullessaan kuitulinjalta heikkomustalipeä sisältää ainoastaan noin 15 % kuiva-ainetta. Jotta mustalipeää voitaisiin polttaa, täytyy sen kuiva-ainepitoisuutta nostaa 65 % -85 %:n tasolle haihduttamolla. Haihduttamolta tulevaa mustalipeää kutsutaan vahvamustalipeäksi. Mustalipeällä on varsin alhainen tehollinen energiasisältö, joka kuiva-aine kiloa kohti laskettuna on vain noin 12 -13 MJ.(Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 522-523.)

Jotta lipeän koostumus tiedettäisiin, täytyy sille tehdä alkuaineanalyysi. Taulukossa 1 on esitetty eri prosesseista saatujen alkuaineanalyysien tuloksia keskimäärin.

Taulukko 1. Mustalipeän koostumus. (Virkola 1983,1209)

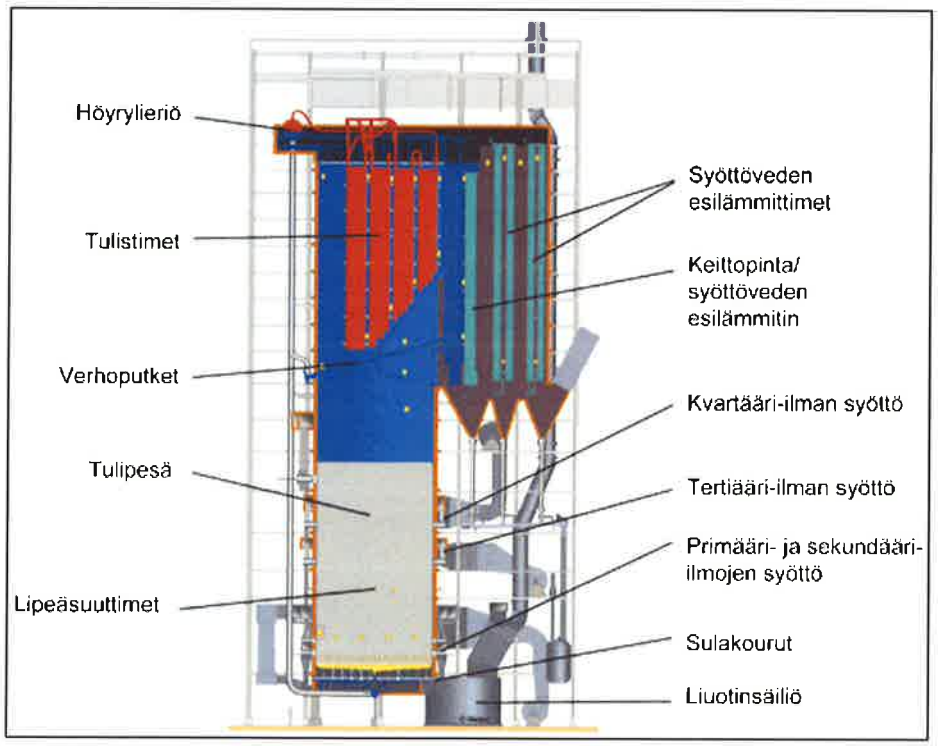
Raaka-aine	Mänty	Koivu
Analyysi (%)		
- Na	19	19
- S	5	4
- C	38	37
- H	4	4
- Muut	1	1
- O (erotus)	33	35

4.3 Soodakattilan rakenne

Soodakattilat ovat pääpiirteittäin hyvin samanlaisia kuin muutkin höyrykattilat. Suurin eroavaisuus on soodakattilan pohjan rakenne. Soodakattilan pohja on eväputkirakenne, joka on sulakerroksen peittämä. Sulakerroksen päällä olevaa koksikerrosta kutsutaan keoksi. Soodakattilan pohjalla oleva sula johdetaan sulakourujen kautta liuotinsäiliöön.

Soodakattiloissa ilman esilämmitykseen käytetään syöttövesi- tai nykyaikana yleisemmin höyry-esilämmittimiä.

Soodakattilat ovat luonnonkiertoon perustuvia höyrykattiloita, johtuen tuorehöyryn arvoista, jotka ovat tyypillisesti 85 bar ja 480 °C. Korroosiovaaran vuoksi huomattavan korkeita lämpötiloja ja paineita ei käytetä. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen, Pakkanen 1997, s.150-153.) Kuvassa 2 on esitetty soodakattilan osat pääpiirteittäin.

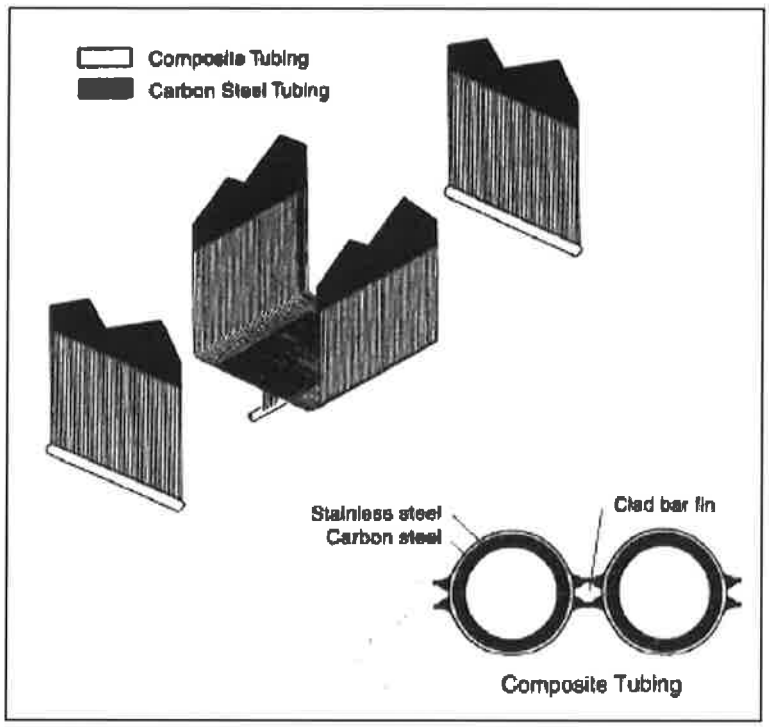


Kuva 2. Soodakattilan osat. (KnowPulp 2011.)

4.3.1 Tulipesä

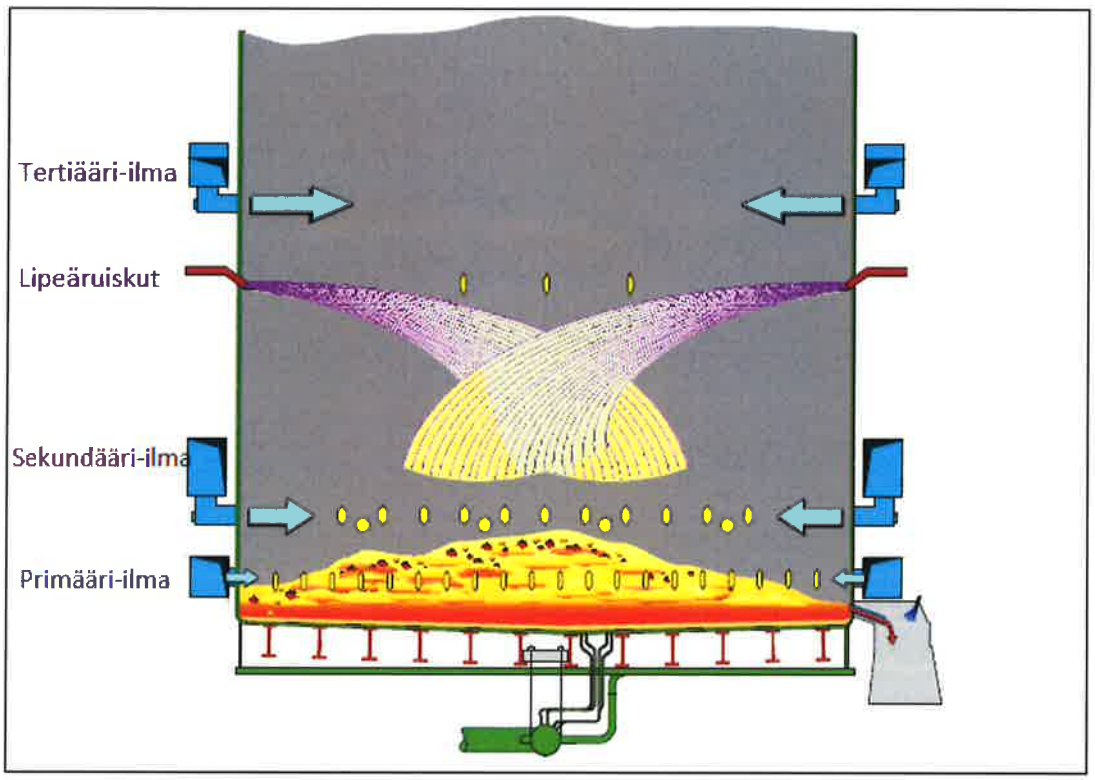
Soodakattilan tulipesä on eväputkirakenteinen kaasutiivis kokonaisuus (kuva 3). Seinät ja pohja ovat myös eväputkirakenteisia. Rakenteessa putkien välissä on 12,5 mm-25 mm leveä lattarauta, jota kutsutaan eväksi. Evä on hitsattu putkiin kiinni kummaltakin puolelta. Näin saadaan hyvin lämpöäjohtava ja kaasutiivis rakenne. Tulipesä pohjan ja seinien putkien materiaali on yleensä hiiliterästä tai vaihtoehtoisesti tulipesän alaosassa compund- putkea, jossa hiiliteräksen päällä on austeniittisesta materiaalista oleva kerros. (Adams, T. et al. 1997, 13.)

Soodakattiloiden tulipesä mitoitetaan suuremmaksi kuin esimerkiksi hiilipölykattiloiden tulipesät. Tähän on syynä mustalipeän vesipitoisuus, tuhkan ominaisuudet ja tulipesän alaosaan tarvittavat pelkistävät olosuhteet. (Raiko, Saastamoinen, Hupa&Kurki-Suonio 2002, 529.)



Kuva 3. Eväputki- ja pohjan rakenne (Adams, T. et al. 1997, 13.)

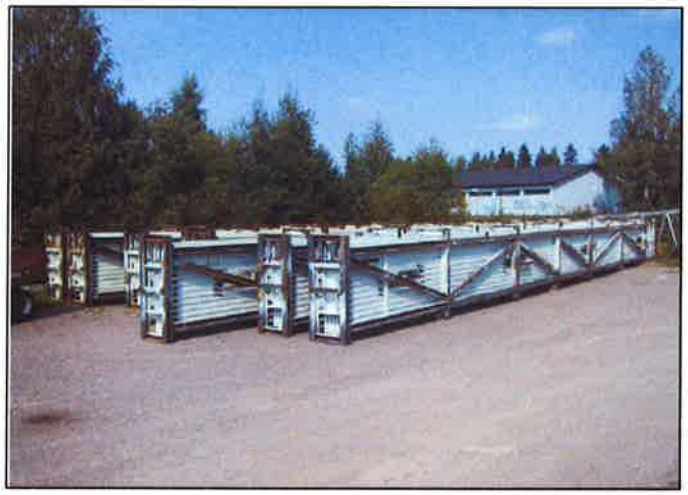
Mustalipeää ruiskutetaan tulipesään noin 5-6 metrin korkeudelta, käyttäen purkki- tai lusikkasuuttimia (kuva 4). Suuttimet hajoittavat mustalipeän pieniksi, muutaman millimetrin kokoisiksi pisaroiksi. Pisaran pudotessa alaspäin, sen sisältämä vesi höyrystyy ja itse koksin palaminen tapahtuu pohjalle muodostuneen keon pinnalla. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 530.) Sulaa muodostuu noin 400 kg/tka (Virkola 1983,1207).



Kuva 4. Lipeän ruiskutus ja ilmanjako (Andritz Oy 2012, koulutusmateriaali)

4.3.2 Ekonomaiserit

Ekonomaisereiden tehtävänä on lämmittää kattilan syöttövesi lähelle kiehumispistettä. Savukaasujen lämpö siirtyy konvektion avulla putkissa kulkevaan veteen. Nykyisin suositaan vertikaalisia ekonomaisereita, joissa kuumat savukaasut ja kylmä vesi kulkevat vastavirtaan. Vertikaalirakenne on edullinen vähäisen likaantumisen ansiosta. Ekonomaisereista vesi kulkeutuu edelleen lieriöön. (Vakkilainen, E. 2007, 7-9.)

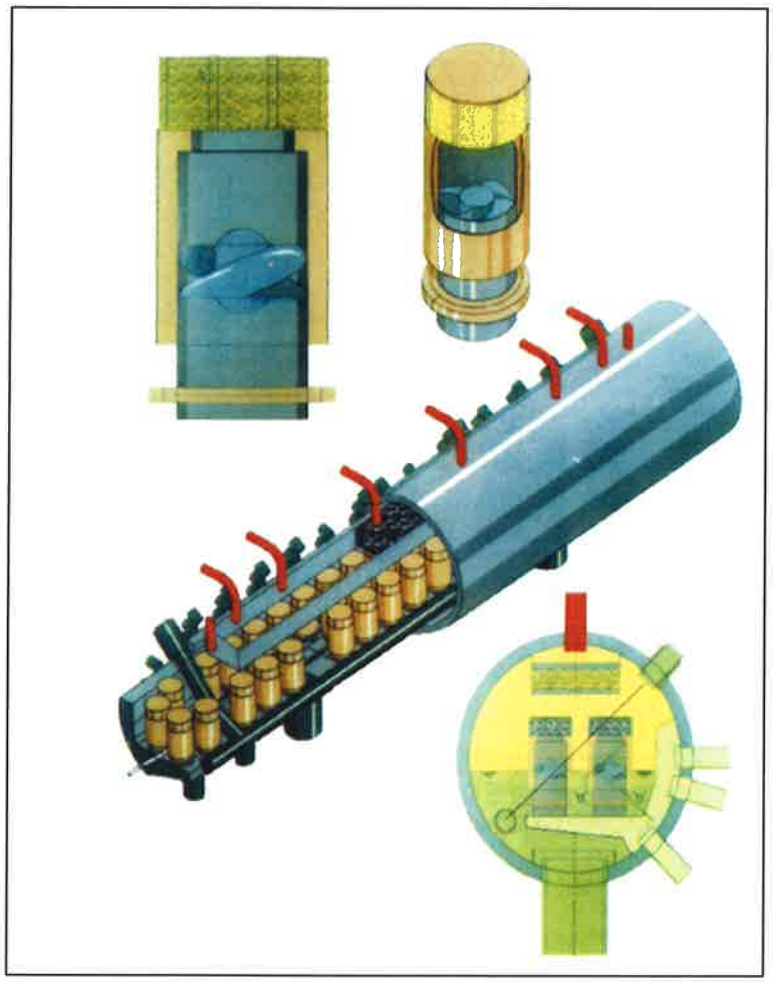


Kuva 5. Ekonomaisereita. (Andritz Oy 2007)

Kuva 6. Ekonomaiserin alaosa. (Andritz Oy 2009)

4.3.3 Lieriö

Lieriön tehtävänä on erotella vesi ja höyry toisistaan. Ekonomaisereilta tuleva vesi, sekä höyristinpinnoilta tulevasta vesihöyrystä syklooneilla erotettu vesi, palaa laskuputkien kautta takaisin kattilan pohjalla sijaitseviin jakotukkeihin. Höyry puolestaan johdetaan lieriöstä tulistimille. (Vakkilainen, E. 2007, 7-9.)



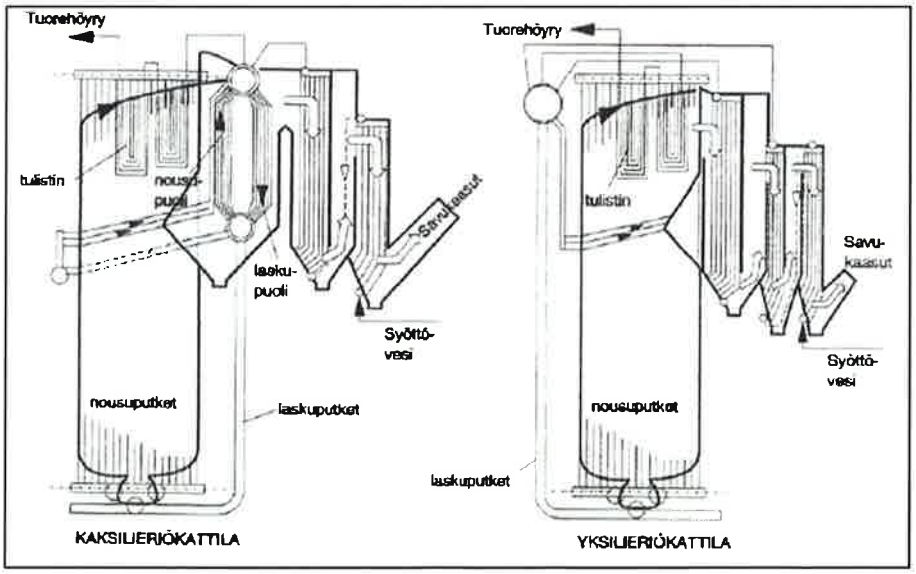
Kuva 7. Lieriö ja sen sisäosat. (Andritz s.a, koulutusmateriaali)

4.3.4 Höyrystinpinnat

Veden muuttuminen vesihöyryksi tapahtuu soodakattiloissa suurimmilta osiltaan, 85-90%, tulipesän seinäputkissa (kuva 8), "nokan" alapuolella. Tulipesässä palamisesta vapautuva lämpöenergia siirtyy säteilemällä seinäputkiin, joiden sisällä virtaava vesi höyrystyy. (Adams, T. et al. 1997, 3.)

Kuva 8. Soodakattilan seinäputkia.

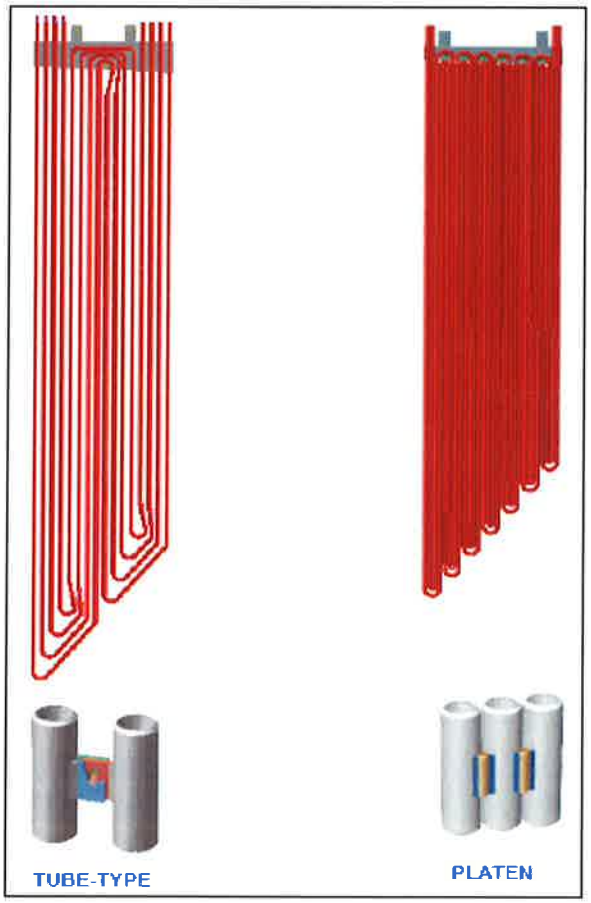
Soodakattiloissa osa höyrystinpinnoista sijoitetaan tulistimien jälkeen. Vanhemmissa kattiloissa tämä tehtiin kaksi-lieriö-ratkaisulla, jossa höyrystinputket oli sijoitettu kahden lieriön väliin. Nykyaikaiset soodakattilat ovat yksilieriöisiä, kuten muutkin luonnonkierrolla toimivat höyrykattilat. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä&Urpalainen 2013, 74.)



Kuva 9. Yksi- ja kaksi lieriö kattila. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen&Pakkanen 1997,154)

4.3.5 Tulistimet

Tulistimien tehtävänä on tulistaa höyryä, jotta se voidaan syöttää turbiinille. Tulistetun höyryn lämpötilaa säädetään ruiskuvesijäähdyttimillä. Nämä sijaitsevat tulistiien yhdysputkistossa, tulistimien välissä. Ruiskuvesijäähdyttimissä tulistetun höyryn sekaan ruiskutetaan kondensoitunutta höyryä tai kattilan syöttövettä. (Vakkilainen, E. 2007, 7-9.)



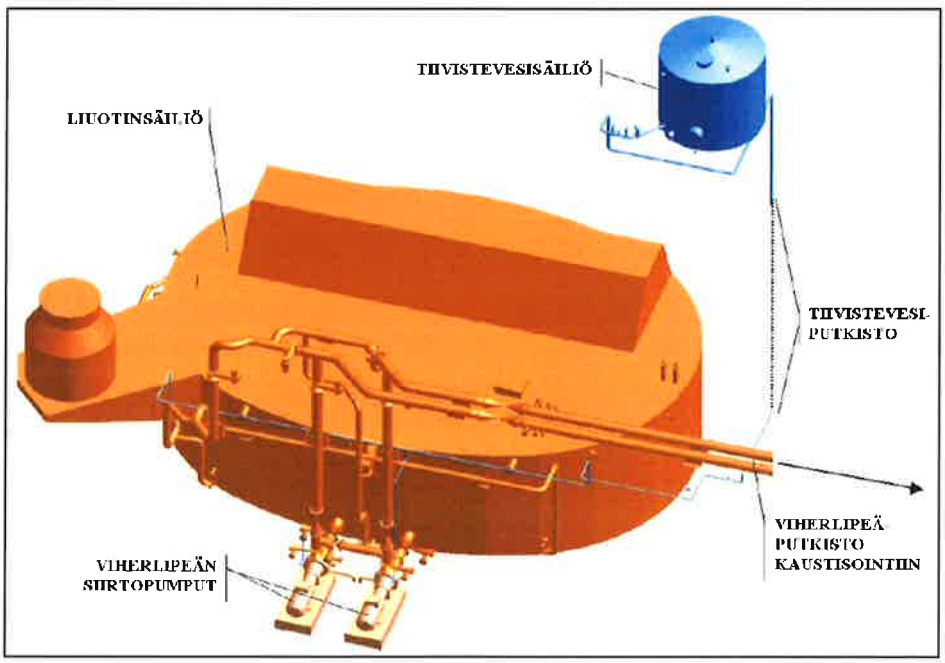
Kuva 10. Tyypillisiä tulistimien rakenteita. (Andritz s.a., koulutusmateriaali)

5 LIUOTINSÄILIÖ

Liuotinsäiliö on suuri, joko kahdeksikon- tai soikean muotoinen lieriömäinen säiliö (kuva 11.). Liuotinsäiliö on yleensä vuorattu betonilla, joko sisä- tai ulkopuolelta. Tällä saadaan pienennettyä meluhaittoja, jotka syntyvät kuuman sulan törmätessä liuottajan nestepintaan. Jos betonivuoraus on tehty ulkopuolelle, liuotinsäiliö on valmistettu haponkestävästä teräksestä, esim. 316L. Jos taas betonivuoraus on tehty sisäpuolelle, materiaaliksi kelpaa hiiliteräs. (Virkola 1983, 1236.)

5.1 Liuotinsäiliön toiminta

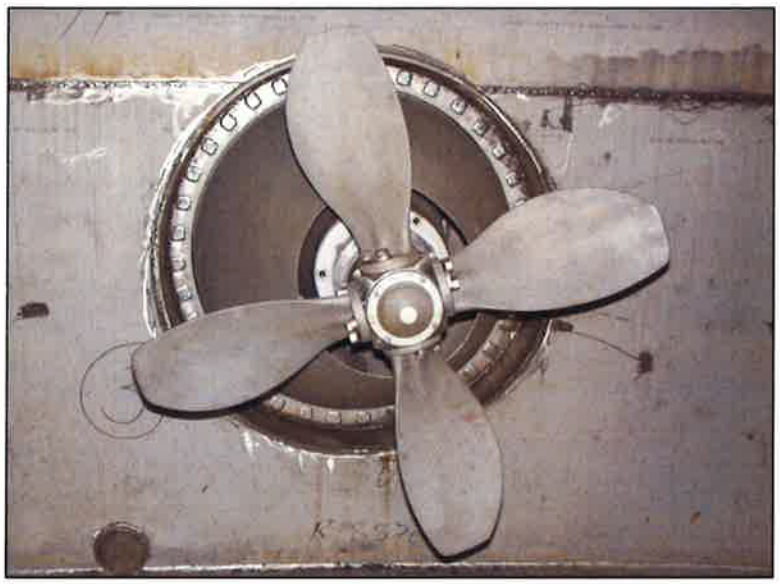
Soodakattilan pohjalla oleva sula, jonka lämpötila on noin 800-900°C, johdetaan sulakouruja pitkin liuotinsäiliöön. Muodostunutta sulan ja heikkovalkolipeän yhdistettä kutsutaan viherlipeäksi. Säiliöstä pumpataan muodostunutta viherlipeää edelleen kaustisointiin. Laihavalkolipeäsyötöllä säädetään säiliön pintaa ja viherlipeän konsentraatiota. (Vakkilainen, E. 2007, 7-20.)



Kuva 11. Liuotinsäiliö (Andritz 2008)

5.1.1 Liuotinsäiliön laitteet

Sulan sekoittuminen valkolipeään varmistetaan käyttämällä liuotinsäiliössä sekoittimia. Sekoittimet ovat pysty- tai vaaka-akselisia sekä kolme- tai neljälapaisia. (Andritz 2008). Kuvassa 12 on neljälapainen sekoitin.



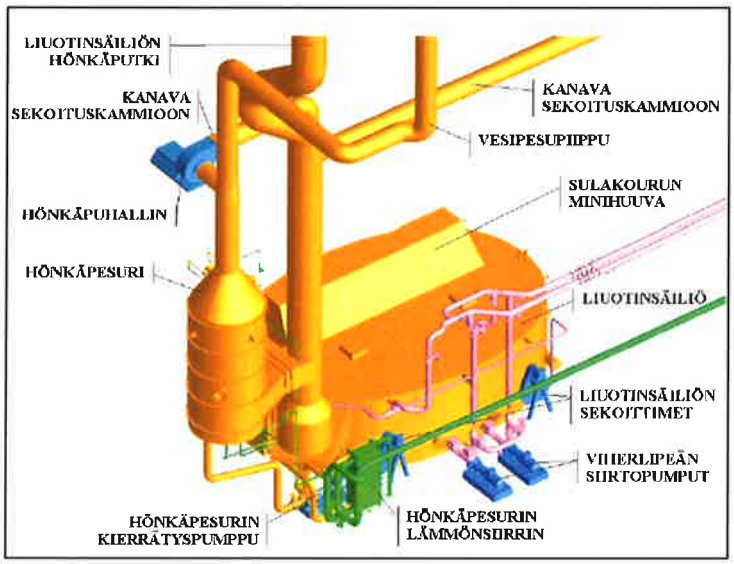
Kuva 12. Liuotinsäiliön sekoitin

Viherlipeä pumpataan säiliöstä viherlipeälinjaa pitkin kaustisointiin. Näitä linjoja on kaksi. Toista linjaa käytetään viherlipeän pumppaamiseen pois säiliöstä ja toista linjaa pitkin syötetään säiliöön valkolipeää. Näitä linjoja vaihdetaan tasaisin väliajoin linjojen tukkeutumisen estämiseksi. (Vakkilainen, E. 2007, 7-20)

6 LIUOTTAJASÄILIÖN HÖNKIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ

6.1 Liuottajahöngän käsittely

Kattilasta tulevan sulan valuessa liuotinsäiliöön, lämpötilan kohotessa hönkää (vesihöyryä) alkaa muodostua. Ennen kuin hönkää voidaan ohjata kattilaan poltettavaksi, sitä käsitellään hönkäpesurissa. Ensin hönkää jäähdytetään kosteuden poistamiseksi, jonka jälkeen hönkää lämmitetään ("tulistetaan"), jotta se ei muodostaisi lauhdetta kanaviin. Hönkäjärjestelmässä liuotinsäiliöltä on myös suora yhteys kattilarakennuksen katolle. Tässä hönkätorvessa on vastapainolla toimiva varopelti, joka avutuu, mikäli liuottajasäiliön paine kohoaa äkillisesti. Tyypillisesti näin voi tapahtua, mikäli kattilasta purkautuu suuri määrä sulaa äkillisesti liuottajasäiliöön (Vihavainen E. 2014.)



Kuva 13. Hönkien käsittelyjärjestelmä. (Andritz 2008)

6.2 Liuotinsäiliön höngän koostumus ja hönkämäärä

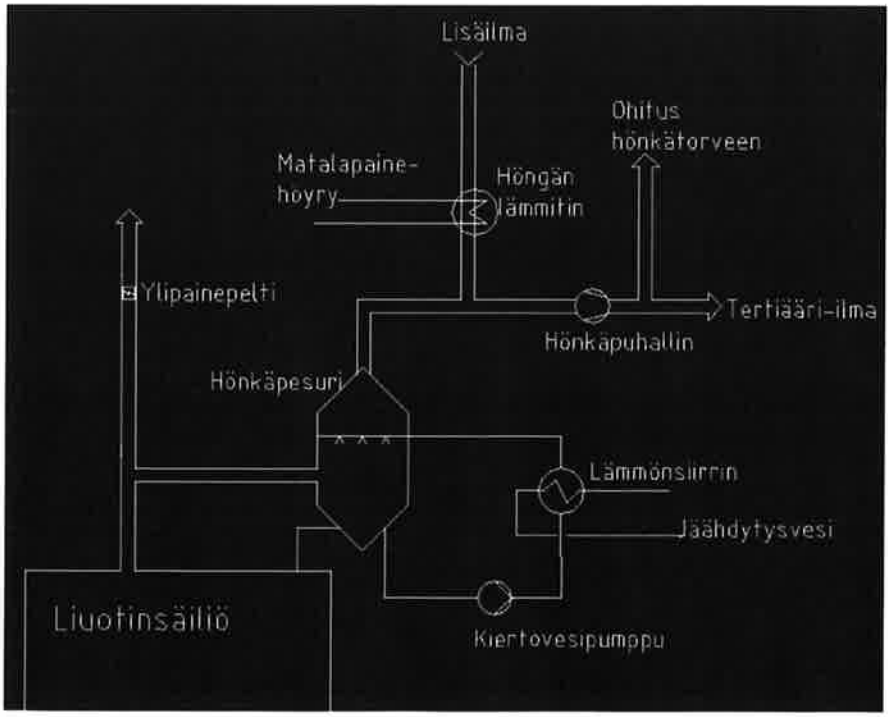
Liuotinsäiliön hönkä on suurimmaksi osaksi ilmaa ja vesihöyryä (40–60 til.%). Liuotinsäiliön höngän pöly on pääosin natriumkarbonaattia (Na_2CO_3) sekä natriumsulfaattia (Na_2SO_4). Hönkä sisältää myös pienen määrän viherlipeää ja pienhiukkasia (Virkola 1983,1228) sekä TRS-yhdisteitä, lähinnä rikkivetyä (H_2S). Tyypillisiä liuottajahöngän arvoja on esittetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Liuottajahöngän koostumus ennen hönkäpesuria.(Vakkilainen, E. 2004 teoksesta, Rantanen 1987)

Liuottajahöngän - määrä	0.4-0.8	m^3n/kgka
- lämpötila	85-95	°C
- kosteus	40-80	til.-%
- hiukkaspäästöt	1000-5000	mg/m^3n
- TRS- päästöt	0-50	mg/m^3n
- rikkipäästöt pesurin jälkeen	0,01-0,1	kg S/ADt
- hiukkaspäästöt pesurin jälkeen	100-400	mg/m^3n
- TRS- päästöt pesurin jälkeen	1-10	mg/m^3n

6.3 Laitteisto

Höngän käsittelyjärjestelmän päälaitteet ovat hönkäpesuri, kiertonestepumppu ja lämmönsiirrin, puhallin, sekä höngän lämmitin. Kuvassa 14 on periaatekuva höngänkäsittelyjärjestelmästä.



Kuva 14. Liuottajahöngän käsittelyjärjestelmän päälaitteet.

6.3.1 Hönkäpesuri

Hönkäpesuri on lieriön muotoinen, joko täytekappale- tai suihkutornipesuri (kuva 15). Hönkäpesurissa höngästä poistetaan kiinteitä partikkeleita, rikkiyhdisteitä ja vesihöyryä. Liuotinsäiliön hönkä imetään pesuriin missä sen kosteutta poistetaan jäähdyttämällä lämmönsiirtimen avulla. Höngän lämpötila lasketaan alle 50 °C, jolloin sen sisältämä kosteus on riittävän alhainen. Hönkä kulkee ylöspäin pesurissa, joko täytekappalekerroksen tai suihkukerrosten läpi. Lauhtunut vesi poistetaan liuottajasäiliöön ja "kuivattu" hönkä jatkaa kulkuaan kohti pisaraneroittimia pesurin yläosassa.

Kuva 15. Hönkäpesurin suihkutaso. (Andritz 2008)

6.3.2 Kiertonestepumppu ja lämmönsiirrin

Pesuriin suihkutettavaa, sekä höngästä lauhtuvaa vettä kierrätetään ja jäähdytetään kiertopumpulla ja lämmönsiirtimellä. Kiertopumppu kohottaa kiertonesteen pesurin alaosasta lämmönsiirtimen läpi ruiskusuutintasolle halutussa paineessa (tavallisesti 1-3 bar).

Pesukierron lämmönsiirrin jäähdyttää tehdasveden avulla kiertonestettä lämpötilasta 70-80 °C tavoitelämpötilaan 45 – 50 °C:een ennen ruiskutussuuttimia (Kaksonen, K. 2009).

6.3.3 Höngän lämmitin

Pesurista ulostulevaa hönkää (noin 50 °C) täytyy lämmittää, ettei siinä jäljellä oleva vesihöry kondensoituisi kanavistoon ja että se voidaan syöttää kattilaan poltettavaksi. Höngän lämpötilaa nostetaan tavallisesti vähintään 20 °C erillisellä lämmittimellä. Höngässä on jäljellä vähän pölyä, joka voi tukkia lämmittimen mikäli lämmitin sijaitsee hönkävirtauksessa. Likaantumisen estämiseksi hönkää lämmitetään sekoittamalla siihen kuumaa ilmaa. Tämä esilämmitin sijaitsee ilmavirtauksessa, joten likaantuminen voidaan välttää. (Vihavainen E. 2014.)

6.3.4 Hönkäpuhallin

Hönkäpuhallin imee höngät liuotinsäiliöstä pesurin läpi ja puhaltaa ne kattilaan poltettavaksi. Hönkäpuhallin kohottaa kaasupaineen halutulle tasolle 2000-5000 Pa ennen syöttöä tulipesään. (Vihavainen E. 2014.)

7 HÖNKÄJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Alla on kuvattu pääpiirteittäin liuottajasäiliön hönkäjärjestelmän mitoitusta.

Liuottajasäiliön hönkäjärjestelmän mitoituksessa lähtöarvona on kattilan kapasiteetti (tka/vrk), jolloin vastaavasti hönkää muodostuu noin 400 - 800 m^3n/tka.

Muita tarvittavia arvoja ovat:

- Höngän lämpötila ennen pesuria
- Höngän haluttu lämpötila pesurin jälkeen

Nämä ovat päämitoitusarvot jotka määrittelevät suurimmalta osin pesurin ja siihen kytkeytyvän laitteiston mitoituksen.

7.1 Pesuri

Pesurin mitoituksessa lähtökohtana on muodostuneen höngän tilavuusvirta [m^3n/s]. Tämän jälkeen valitaan haluttu virtausnopeus [m/s]. Kun tilavuusvirta jaetaan virtausnopeudella, saadaan tulokseksi pinta-ala [m^2], josta saadaan edelleen laskettua ympyrän pinta-alan kaavalla (kaava 2) pesurin halkaisija (kaava 3).

$$\frac{\dot{V}}{v} = A, \qquad (1)$$

jossa $\dot{V}$ on tilavuusvirta [m^3n/s]

v on virtausnopeus [m/s]

A on pesurin poikkileikkaus pinta-ala [m^2]

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \qquad (2)$$

jossa d on halkaisija

$$\sqrt{\frac{4A}{\pi}} = d. \qquad (3)$$

Pesuri varustetaan tavallisesti 2.5m korkealla täytekappalekerroksella, jonka päälle asennetaan ruiskutussuuttimet. Täytekappalekerroksen virtaus- ja lämmönsiirtolaskelmat tekee täytekappaletoimittaja.

7.2 Lämmönsiirrin

Lämmönsiirtimen mitoitus perustuu haluttuun höngän loppulämpötilaan. Kun hönkää jäähdytetään pesurissa, vapautuva lämpöenergia siirtyy kiertonesteeseen. Kiertonestettä jäähdytetään tehdasvedellä lämmönsiirtimen avulla.

Tarvittavat lähtöarvot ovat:

- Kiertonesteen virtausmäärä
- Kiertonesteen lämpötila pesurilta ja haluttu lämpötila ennen suuttimia
- Tehdasveden lämpötila

Höngän luovuttama lämpöenergia määritetään vesihöyryn aineominaisuusohjelmien avulla. Osa höngän lämpöenergiasta siirtyy kiertonesteeseen ja osa jatkaa hönkäkaasujen mukana kohti kattilaa. Tämän kiertonesteeseen sitoutuneen lämpöenergian siirtämiseen jäähdytysveteen sovelletaan seuraavia kaavoja.

Lämmönsiirtimen lämpöteho lasketaan kaavalla,

$$\Phi = \dot{m} c_p \Delta t, \qquad (4)$$

jossa	Φ	on lämmönsiirtimen lämpöteho [W]
	$\dot{m}$	on kiertonesteen massavirta [kg/s]
	c_p	on kiertonesteen ominaislämpökapasiteetti [kj/kgK]
	Δt	on kiertonesteen lämpötilaero jäähdyttimessä [K]

Lämmönsiirtimen tarvittava lämpöpinta voidaan laskea kaavalla,

$$A = \frac{\Phi}{k\theta}, \qquad (5)$$

jossa	A	on lämmönsiirtopinta-ala [m^2]
	k	on k-arvo [$\frac{W}{m2*K}$]
	θ	on logaritminen lämpötilaero (t_1-t_2) [K].

7.3 Kiertopumppu ja -putkisto

Pumpun ja putkistojen mitoitukseen tarvitaan tietää tilavuusvirta ($\dot{V}$) [m^3/s], virtausnopeus (v) [m/s] ja sallittu painehäviö (Δp) [Pa].

7.3.1 Pumppu

Pumpun kokonaisnostokorkeus (H) kuvaa, kuinka paljon pumpun on kyettävä nostamaan nestettä ylemmälle tasolle.

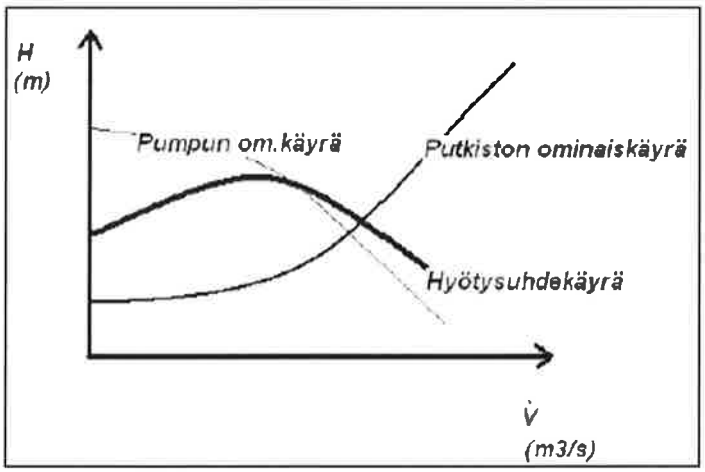
$$H = \Delta H_g + \Delta H_{\Delta p} + \Delta H_{dyn}, \qquad (6)$$

jossa ΔH_g on nestepintojen korkeusero [m]

$\Delta H_{\Delta p}$ on säiliöiden paine-ero [Pa]

ΔH_{dyn} on putkiston painehäviö [Pa].

Sopiva kiertopumppu ja juoksupyörä valitaan pumpputoimittajien mitoistuskäyrästöjen avulla siten, että pumppu toimii hyvällä hyötysuhteella.



Kuva 16. Pumpun hyötysuhteen määritys (Aalto-yliopisto 2011)

Kuvassa pysytyakselilla on tarvittava nostokorkeus (H) metreinä ja vaaka-akselilla on virtaavan nesteen tilavuusvirta ($\dot{V}$) kuutioina sekunnissa [m^3/s].

7.3.2 Putkiston mitoitus

Tilavuusvirta määritellään kaavalla

$$\dot{V} = \dot{m}v, \tag{7}$$

jossa $\dot{m}$ on massavirta [kg/s]

v on ominaistilavuus [m^3/kg].

Putken koko valitaan halutun virtausnopeuden mukaan seuraavasti

$$A = \frac{\dot{V}}{w}, \tag{8}$$

jossa A on putken poikkipinta-ala

$\dot{V}$ on tilavuusvirta [m^3/s]

w on virtausnopeus [m/s].

Kun tiedetään tarvittava virtausala, putken koko valitaan putkistotaulukosta.

7.4 Puhallin

Puhaltimen mitoitus tehdään periaatteessa samalla tavalla kuin pumpun mitoitus, mutta nostokorkeuden sijaan puhaltimelle määritetään haluttu kaasun paineennousu (Δp).

Puhaltimen tilavuusvirtaus valitaan kattilan kapasiteetin (hönkävirtaus) perusteella riittävällä marginaalilla. Lämmitysilman määrä on huomioitava puhaltimen mitoituksessa.

Puhaltimen Δp valitaan siten, että hönkäkanaviston ja pesurin painehäviöt sekä haluttu paine ilmarekisterissä voidaan kompensoida kaikissa ajotilanteissa.

Puhaltimen on toimittava mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella niin osa- kuin kokonaiskuormalla. Hönkäpuhaltimia säädetään pääosin taajuusmuuttajilla. Johtosiipisäätöä ei käytetä hönkäpuhaltimissa likaantumisriskin vuoksi.

7.5 Ilmanesilämmitin

Ilmanesilämmittimen mitoituksen lähtöarvoina ovat ilman lämpötila kattilahuoneessa, lämmityshöyryn paine ja lämpötila, sekä haluttu lämpötila ilmanesilämmittimen jälkeen. Ilmanesilämmittimen mitoitus ja laskenta tehdään vastaavalla tavalla kuin kiertonesteen lämmönsiirtimen mitoitus.

8 LASKENTAOHJELMAN KÄYTTÖ MITOITUKSESSA

DI Sakari Lammentausta teki ensimmäisen version laskentaohjelmasta vuonna 2005. Ensiksi laskentaohjelmaa käytettiin pelkästään liuottajanhönkäpesurin laskentaan. Kun huomattiin miten paljon ohjelma säästää aikaa ja helpottaa laskentatyötä, sitä alettiin kehittää edelleen.

Esa Vihavainen jatkoi ohjelman kehittämistä ja on lisännyt osioita, joilla saadaan mitoitettua päälaitteet. Topi ja Eemi Vihavainen osallistuivat kesällä 2014 kehitystyöhön, syöttäen ohjelmaan tarvittavia tietoja putkistoista ja apulaitteista. Heidän lisäkseen ohjelmaa on kehittänyt Kari Kaksonen, joka on lisännyt mm. kanavistojen laskentaosuuden.

Ensimmäiset versiot vaativat paljon perehtymistä prosessilaskentaan sekä ohjelman käyttöön. Tätä haluttiin helpottaa uudessa versiossa ja tehdä siitä mahdollisimman helppokäyttöinen työkalu hönkäjärjestelmän laskentaan.

Ohjelmasta saatavat putkistojen, kanavien, venttiileiden, pumpun, puhaltimen ja lämmönsiirtimen valmiit tiedot voidaan lähettää laitetoimittajille tarjouskyselyjen liitteiksi. Laskentaohjelmaan syötettyjen taulukoiden ja kaavojen avulla laskentaohjelma laskee jokaisen edellä mainitun osan erilliselle välilehdelle. Ohjelmasta saadaan tulostettua esimerkiksi putkilistat, jossa on eritelty kaikki tarvittavat putkikoot ja määrät. Tämä säästää huomattavasti aikaa, kun jokaisen osan tietoja ei tarvitse hakea erikseen.

Ohjelmassa laskenta tapahtuu pääasiassa peruslaskutoimituksilla, sekä Excelissä olemassa olevilla perusfunktioilla, kuten IF ja TRUE.
Ensimmäisellä sivulla annetaan projektin perustiedot:

- Projektin nimi
- Tehdas ja kattila
- Tekijä
- Päivämäärä

Tämän jälkeen aloitetaan arvojen syöttäminen ohjelmaan seuraavissa alaluvuissa kuvatussa järjestyksessä.

8.1 Pesuri

Ohjelmaan syötetään ensiksi soodakattilan kapasiteetti (tka/vrk) ja höngän lämpötila ennen ja jälkeen pesurin. Kun on saatu laskettua syntyvän höngän määrä ja tilavuusvirta, voidaan mitoittaa kanavistot pesurille, sekä pesurin koko. Pesurissa on noin 2,5 metriä korkea täytekappalekerros jonka yläpuolelle sijoitetaan ruiskutussuuttimet ja pisaraneroitin.

8.2 Kanavat

Hönkäkanavistot liuotinsäiliöltä pesurille ja pesurilta edelleen ilmarekistereille lasketaan ensimmäisellä välilehdellä. Edellä mainittujen kanavien koot ohjelma poimii erilliselle välilehdelle, jossa valitaan haluttu materiaalin paksuus ja lasketaan tämän jälkeen kanavien painot. Kanavien painojen ja tarvittavan määrän lisäksi ohjelma laskee tarvittavan eristyksen määrän. Oikeat eristyspaksuudet ovat myös syötetty ohjelmaan. Tavallisesti käytetään 100 mm paksuutta sisällön lämpötilan ollessa 81 °C - 120 °C. Tarvittava eristyspaksuus on määritelty standardissa SFS-3977. Kun tiedetään valmistuskustannukset tietylle kanavakoolle, sekä eristyksen hinta, voidaan koko kanaviston kustannukset laskea yhteen (kuva 17).

DUCT MATERIAL LIST

PROJECT
WBS
Made by
Rev
Date

ANDRITZ Pulp & Paper

							TOTAL	Price	TOTAL	Delivery
POS	LINE ID	Description	Outer diameter	Wall thickness	NOTES!	Material	[m]	[m] or [pcs]	Price	time
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										

Kuva 17. Kanaviston kokonaiskustannukset.

8.3 Puhallin

Pesurin ja kanavien mitoituksen jälkeen määritetään puhaltimen koko. Puhaltimen valinta tehdään yhdessä puhallintoimittajan kanssa. Ohjelmasta saatavat mitoitustiedot voidaan lähettää toimittajille tarjouskyselyn liitteeksi (kuva 18). Puhallintoimittaja laskee tarvittavan puhaltimen tehon ja koon, jonka jälkeen paras mahdollinen puhallin valitaan.

ANDRITZ
Pulp & Paper

VENT GAS FAN

PROJECT
WBS
Made by
Rev
Date

FAN SPECIFICATION

Variable	Unit	MCR	MIN	DES
Fan load	%	100	60	120
Capacity *)	Nm^3/s			
	kg/s			
Density of gas	kg/m^3			
Static head	kPa			
Temperature	°C			
Vacuum in suction opening	Pa			
Altitude from sea level	m			
Voltage	V			
Fan efficiency	%			
Speed control				
Axial power	kW			
Rotation Speed	rpm			

*) Nm^3 refers to conditions: Temp. [°C] = 0
P [Pa] = 101325

Kuva 18. Puhaltimen spesifikaatiot.

8.4 Höngän lämmitin

Höngän "tulistamiseen" tarvittavan ilmanlämmittimen mitoitustiedot ovat myös kerätty omalle välilehdelle (kuva 19).

ANDRITZ
Pulp & Paper

AIR HEATER

PROJECT
WBS
Made by
Rev
Date

AIR HEATER SPECIFICATION

Variable	Unit	MCR	MIN	DES
Airheater load	%	100	60	120
Design air flow (MCR) in *)	Nm^3/s			
Inlet air temperature	°C			
Outlet air temperature	°C			
Steam pressure	bar (a)			
Steam temperature	°C			
Max. air pressure loss	Pa			
Duct size: -height	mm			
-width	mm			
-depth	mm			

*) Nm^3 refers to conditions: Temp. [°C] = 0
P [Pa] = 101325

Kuva 19. Ilmanlämmittimen spesifikaatiot.

8.5 Putkistot

Ohjelmaan on lisätty putkistotaulukko, josta ohjelma käy hakemassa halutun putkikoon mukaiset tiedot. Tämän jälkeen lasketaan putkiston paino, kun pituus on tiedossa. Yhdelle välilehdelle on koottuna kaikki hönkäjärjestelmässä käytettävät putket ja DN-taulukko. Kun kaikki putkistot on valittu ja mitoitettu, tältä välilehdeltä nähdään putkiston kokonaismäärä, sekä jokainen DN-koko erikseen (kuva 20). Lisäksi ohjelmasta saadaan tulostettua valmis putki lähetettäväksi tarjouskyselyn liitteeksi (kuva 21).

Pipes total					
DN	Meters	Weight (kg	Material	Cost Eur/kg	Cost Eur
15	0	0	304	10	0
20	0	0		0	0
25	100	129	316	16	2067
32	0	0		0	0
40	0	0		0	0
50	325	776	304	10	7756
65	300	37	316	16	590
80	0	0		0	0
90	0	0		0	0
100	0	0		0	0
125	0	0		0	0
150	10	113		0	0
200	0	0		0	0
250	30	678		0	0
300	30	937		0	0
350	0	0		0	0
400	0	0		0	0
450	0	0		0	0
500	10	593		0	0
550	0	0		0	0
600	0	0		0	0
650	0	0		0	0
700	0	0		0	0
750	0	0		0	0
Total		3264			10414

Kuva 20. Putkiston yhteenveto

PIPING MATERIAL LIST

PROJECT
WBS
Made by
Rev
Date

ANDRITZ Pulp & Paper

POS	LINE ID	DN	PN	Descriptio	Outer diamete	Wall thicknes	Standard	NOTES	Materia	TOTAL [m] or [pcs]	Price [m] or [pcs]	m] or [pcs	Not according RF Notes	TOTAL Price	Delivery time
1		15		Pipe					0	0					
2		20							0	0					
3		25							316	100					
4		32							0	0					
5		40							0	0					
6		50							304	325					
7		65							316	300					
8		80							0	0					
9		90							0	0					
10		100							0	0					
11		125							0	0					
12		150							0	10					
13		200							0	0					
14		250							0	30					
15		300							0	30					
16		350							0	0					
17		400							0	0					
18		450							0	0					
19		500							0	10					
20		550							0	0					
21		600							0	0					
22		650							0	0					
23		700							0	0					
24		750							0	0					

Page 1

Kuva 21. Tarjouskyselyn liitteeksi lähetettävä putkistolista.

8.6 Lämmönsiirrin

Kun tiedetään pesurin tarvitsema kiertovesimäärä ja haluttu lämpötilan muutos ennen ja jälkeen lämmönsiirtimen, mitoitetaan lämmönsiirrin. Ohjelma kerää yhdelle välilehdelle lämmönsiirtimen mitoitustiodot, jotka voidaan lähettää toimittajalle tarjouskyselyn liitteeksi (kuva 22).

ANDRITZ Pulp & Paper

HEAT EXCHANGER

PROJECT
WBS
Made by
Rev
Date

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Variable	Unit	MCR	MIN	DES
Heat exhanger load	%	100	60	120
HOT				
Flowrate	kg/s			
Inlet Temp.	°C			
Outlet Temp.	°C			
COLD				
Flowrate	kg/s			
Inlet Temp.	°C			
Outlet Temp.	°C			
dp	kPa			
Power	kW			

Kuva 22. Lämmönsiirtimen spesifikaatiot.

8.7 Pumppu

Putkistojen ja lämmönsiirtimen laskennan jälkeen mitoitetaan kiertopumppu. Ohjelma kerää yhdelle välilehdelle kiertonestepumpun mitoitustiedot, jotka voidaan lähettää toimittajalle tarjouskyselyn liitteeksi (kuva 23).

ANDRITZ
Pulp & Paper

CIRCULATION PUMP

PROJECT
WBS
Made by
Rev
Date

PUMP SPECIFICATION

Variable	Unit	MCR	MIN	DES
Pump load	%	100	60	120
Inlet	DN			
Outlet	DN			
Fluid	-			
Head	m			
Inlet temp.	°C			
Outlet temp.	°C			
Density	kg/m^3			
Flowrate	kg/s			
Pressure	bar			

Kuva 23. Kiertonestepumpun spesifikaatiot

8.8 Venttilit

Kun on saatu mitoitettua putkistot, valitaan tämän jälkeen sopivat venttiilit. Ohjelmaan on syötetty lista käytetyistä venttiilityypeistä, josta ohjelma valitsee oikean kokoiset venttiilit yhdelle välilehdelle. Tältä välilehdeltä saatava venttiililista voidaan lähettää toimittajalle tarjouskyselyn liitteeksi (kuva 24).

HAND VALVE LIST

PROJECT
VBS
Made by
Rev
Date

ANDRITZ
Pulp & Paper

VALVE		PIPELINE								VALVE												
VALVE TAG	PID	PIPELINE TAG	MEDIUM	PIPE SIZE	TEMPERATURE, OPERATION (C)	PRESSURE, OPERATION (bar(g))	TEMPERATURE DESIGN(C)	PRESSURE, DESIGN (bar(g))	PIPELINE CLASS	VALVE SPEC NO	VALVE CODE	VALVE TYPE	VALVE MANUFACTURER	VALVE MODEL	DESCRIPTION	VALVE SIZE	VALVE END CONNECTION	CLASS	BODY MATERIAL	SEAT MATERIAL	SEAL MATERIAL	DISK MATERIAL
MVTAG *	PID *	PITAG_C *	PSERV *	PIS2 *	PCPT *	PCPP *	PDET *	PDEP *	PCLA *	*	VCODE *	VTYP *	MAN *	M *	VDESC *	VSIZ *	END_CI *	CLAS *	BOY *	EAL_I *	MAT *	CUSTDI *
1001																						
1002																						
1003																						
1004																						
1005																						
1006																						
1007																						
1008																						
1009																						
1010																						
1011																						
1012																						
1013																						
1014																						
1015																						
1016																						
1017																						
1018																						
1019																						
1020																						
1021																						
1022																						
1023																						
1024																						
1025																						
1026																						
1027																						
1028																						

Kuv 24. Tarjouskyselyn liitteeksi lähetettävä venttiililista.

9 YHTEENVETO

Työssä kehitettiin liuottajasäiliön hönkäjärjestelmän laskentaohjelmaa. Työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet, niin yrityksen, kuin oman oppimiseni osalta. Työ oli selvästikin hyödyllinen yritykselle, mutta erityisesti oppimisprosessina itselleni.

Laskentaohjelmasta tehtiin käyttökelpoinen työkalu laitteiden ja osien mitoitukseen, sekä hinnoitteluun tarjouslaskentaa varten.

Tämän hetkinen versio ohjelmasta antaa valmiit pohjat tarjouskyselyihin eri laitteille, sekä muille hönkäjärjestelmän osille. Tämä säästää huomattavasti aikaa ja helpottaa tarjouslaskentaprosessia.

Tarjouskyselypohjat ovat valmiita lähetettäväksi toimittajille, mutta niihin tulee vielä muutoksia ajan kuluessa. Mitoitus ohjelmat ovat jatkuvan kehityksen alla ja valmiita ne ovat tuskin koskaan. Tämän hetkinen versio ohjelmasta auttaa jo huomattavasti tarjouslaskentaa.

Laskentaohjelman ja COMOS:n yhdistäminen olisi varmastikin erittäin hyödyllinen. Laskentaohjelmassa suoritettaisiin itse laskenta ja COMOSilla saataisiin tehtyä valmiit PI-kaaviot, sekä valmiit tarkemmat listat kaikista tarvittavista laitteista sekä hönkäjärjestelmän eri osista.

Työn laajuus rajattiin jo alussa riittävän suppeaksi. Tämä osoittautui erittäin onnistuneeksi valinnaksi.
Työtä oli miellyttävä tehdä, eikä se missään vaiheessa tuntunut liian suurelta tai vaikealta. Aiemmat diplomityöt soodakattiloista ja erityisesti Kari Kaksosen tekemä diplomityö, jossa hän käsittelee hönkäjärjestelmän laskentaa täytekappalepesurilla, olivat merkittävässä roolissa pohjatietoja etsiessäni. Hönkäjärjestelmästä oli vähän kirjallista materiaalia saatavilla, joten edellä mainitut diplomityöt, sekä Esa Vihavaisen ammattitaito ja henkilökohtainen avustaminen olivat erityisen tärkeitä.

LÄHTEET

2011. Peruskaavat ja – käsitteet. Aalto-yliopisto.

2011. KnowPulp 10.0 Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö.

ADAMS, Terry;FREDERICK, James;GRACE, Thomas;HUPA, Mikko;IISA, Kristiina;JONES, Andrew;TRAN, Honghi 1997. Kraft Recovery Boilers. American Forest & Paper Associaton (AF&PA). ISBN 0-9625985-9-3.

Andritz Oy, 2007, soodakattilasta ja sen toiminnasta, yhtiön sisäinen koulutusmateriaali.

Andritz Oy, 2014, lehdistötiedote.

Andritz Oy, 2008, yhtiön sisäinen koulutusmateriaali.

HUHTINEN, Markku;KETTUNEN, Arto;NURMINEN Pasi;PAKKANEN, Heikki 1997.Höyrykattilatekniikka. Helsinki:Oy Edita Ab. ISBN 951-37-1327-X.

HUHTINEN, Markku;KORHONEN, Risto;PIMIÄ, Tuomo & URPALAINEN, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. Tampere: Juvenes Print- Suomen Yliopistopaino Oy. ISBN 978-952-13-5426-7

Kaksonen, Kari, 2009, Liuottajasäiliön hönkien käsittely täytekappalepesurilla. Diplomityö, Energiatekniikan osasto, Lappeenranta.

Pohto, 2009, Soodakattila paineastiana-rakenne ja laitteet, Andritz Oy, yhtiön sisäinen koulutusmateriaali.

Pynnönen Petri, 2002, yleinen prosessikoulutus, Andritz Oy, yhtiön sisäinen koulutusmateriaali.

RAIKO, Risto;SAASTAMOINEN, Jaakko;HUPA, Mikko&KURKI-SUONIO, Ilmari (toim.)2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. ISBN 951-666-604-3.

Rantanen, Asmo, 1987, Soodakattilan liuotinhöngän koostumuksen ja käsittelymenetelmien tutkiminen. Diplomityö LTKK, Energiatekniikan osasto, Lappeenranta.

VAKKILAINEN, Esa 2007. Kraft recovery boilers- principles and practice. Helsinki:Pikaset Oy. ISBN 952-91-8603-07.

VAKKILAINEN, Esa 2004. Recommended procedure for incineration of non-condensible gases. Finnish Recovery Boiler Association.

Vihavainen Esa 2014 Product Manager, Andritz Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2014-08-06; 2014-09-11.

VIRKOLA, Nils-Erik (toim.) 1983. Puumassan valmistus osa 2. Turku: Oy Turun Sanomat/Serioffset. ISBN 951-99452-0-2.