



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SOODAKATTILAN PROSESSIPUTKISTOJEN ESTIMOINTITYÖKALU

ANDRITZ Oy, KRP-divisioona, Varkaus

TEKIJÄ/T: Tommi Markkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tommi Markkanen	
Työn nimi Soodakattilan prosessiputkistojen estimointityökalu	
Päiväys 21.3.2017	Sivumäärä 30
Ohjaaja(t) Lehtori Seppo Ryynänen ja lehtori Jukka Huttunen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ANDRITZ Oy – Varkauden toimipiste/Tero Nokka ja Henri Lähdeniemi	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Andritz Oy:n KRP-divisioonalle. Työssä perehdyttiin talteenoton prosesseihin, prosessiputkistoihin liittyviin standardeihin ja prosessiputkistojen painojen ja pituuksien jakautumiseen erikokoisissa soodakattiloissa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli koota 13 soodakattilaprojektista toteutuneet paino-, pituus- ja materiaalitiedot ja luoda työkalu, joka pystyy laskemaan arvion erikokoisten soodakattilaprojektien prosessiputkistojen painoista, pituuksista ja materiaaleista tarkasti ja luotettavasti. Työkalu luotiin uskattilaprojektien, järjestelmien ja korjausprojektien prosessiputkistojen hinnoittelun tueksi.</p> <p>Työssä käydään läpi, kuinka toteutuneet tiedot on koottu, mitä ominaisuuksia työkalulle on valittu ja millaisia tuloksia työkalu tuottaa kunkin soodakattilaprojektin kohdalla. Työn tuloksena saatiin soodakattiloiden prosessiputkistojen estimointityökalu.</p>	
Avainsanat Soodakattila, prosessiputkisto, excel, työkalu, kehitys	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Tommi Markkanen			
Title of Thesis Recovery Boiler Process Piping Estimation Tool			
Date	21.3.2017	Pages	30
Supervisor(s) Lecturer Seppo Ryyänen and Lecturer Jukka Huttunen			
Client Organisation /Partners ANDRITZ Oy - Varkaus office/Tero Nokka and Henri Lähdeniemi			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was commissioned by KRP division at Andritz Oy. This thesis covers recovery processes, standards which are related to the process piping and process piping weight and length distributions in recovery boilers of different sizes.</p> <p>The primary aim of the thesis was to gather the actual weight, length and material data from 13 recovery boiler projects and to create a tool which can calculate accurately and reliably recovery boiler's process piping weights, lengths and materials. The tool was created to support pricing in upcoming recovery boiler projects, systems and maintenance projects.</p> <p>The thesis describes how the actual data was gathered, the features which were selected for the tool and what kind of results the tool provides for each recovery boiler project. As a result of this thesis an estimation tool for recovery boiler process piping was developed.</p>			
<p>Keywords Recovery Boiler, process piping, excel, tool, development</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Tausta ja tavoite	5
1.2	Toimeksiantajan esittely	5
1.3	Lyhenteet ja määritelmät.....	6
2	SULFAATTIPROSESSIN KEMIKAALIEN TALTEENOTTOKIERTO	7
2.1	Soodakattila	7
2.2	Haihdotus ja kalkkikierto	8
3	SOODAKATTILAN JÄRJESTELMÄT	9
3.1	Ilmajärjestelmä.....	9
3.2	Savukaasujärjestelmä.....	9
3.3	Vesi- ja höyryjärjestelmä	10
3.4	Lipeä- ja tuhkejärjestelmä	11
3.5	Öljy- ja kaasujärjestelmä	12
3.6	Viherlipeäjärjestelmä	12
3.7	Apujärjestelmät	13
4	SOODAKATTILAN PROSESSIPUTKISTOT.....	15
4.1	Putkistojen materiaalien ja koon valintakriteerit	15
4.2	Prosessiputkisto	15
5	TAUSTAMATERIAALIN KERÄÄMINEN.....	17
5.1	Menetelmät	17
5.2	Referenssisoodakattilaprojektit	18
6	TYÖKALUN KEHITTÄMINEN.....	19
6.1	Käyttöliittymän ja ominaisuuksien valinta.....	19
6.2	Parametrien laskeminen	19
6.3	Parametrien määrittäminen	21
7	TYÖN TULOKSET	23
7.1	Työkalun esittely.....	23
7.2	Tulokset	26
7.3	Yhteenveto.....	28
	LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoite

Uuskattilaprojektien myynnissä kilpailu on kiristynyt. Kiristyneen kilpailun takia jokaisen osa-alueen hinnoitteluun on käytettävä enemmän tarkkuutta ja resursseja. Prosessiputkistojen hinnoittelu määräytyy putkistojen painojen ja materiaalien avulla. ANDRITZ Oy:n prosessiputkistojen suunnittelu ja hinnoittelu on asiantuntevaa, mutta asiantuntemuksen lisäksi vaaditaan myös laskelmia hinnoittelun taustalle. Tämän vuoksi ANDRITZ Oy:llä oli tarvetta työkalulle, joka pystyisi arvioimaan aiempaa tarkemmin uuskattilaprojektien, järjestelmien ja korjausprojektien prosessiputkistojen painot ja pituudet.

Prosessiputkistojen osuus verrattuna kokonaiseen soodakattilaan on hinnaltaan muutamia prosentteja. Kaikista pienemmistä osuuksista kertyvä kokonaisuus on avaintekijänä projektin lopulliseen katteeseen nähden. Resurssien kohdentaminen näihin pienempiin osuuksiin ja resurssien virtaviivaistaminen esimerkiksi työkalujen muodossa on huomattu olevan entistäkin tärkeämpää. Tästä syystä kehitystyö on ollut alati kasvavassa roolissa yrityksissä.

Prosessiputkistojen kokonaishinta koostuu muun muassa putkistojen suunnittelusta, käytetyistä standardeista, vaaranarvioinneista, lujuuslaskuista, asennuksista, tarkistuksista, putkistojen määristä ja muista liittyvistä osista. Tässä opinnäytetyössä prosessiputkisto on rajattu koskemaan vain painoja, pituuksia, materiaaleja ja standardeja. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda referenssitaulukko ja estimointityökalu, joita hinnoittelijat voivat käyttää uusien myytävien projektien prosessiputkistojen painojen, pituuksien ja materiaalien arvioinnissa.

1.2 Toimeksiantajan esittely

“ANDRITZ on yksi maailman johtavimmista vesivoimateollisuuden, sellu- ja paperiteollisuuden sekä metalli- ja terästeollisuuden toimittajista.” (ANDRITZ Oy, 2017). Toimintaa sillä on yli 250 toimipai- kassa ympäri maailmaa ja konsernin juuret ulottuvat 1850-luvulle asti.

ANDRITZ PULP & PAPER -toimiala käsittää kaiken tyyppisen sellun, paperin, pehmopaperin ja kartongin tuotantoon liittyvät toimitukset. Toimiala käsittää myös biomassa-, höyry- ja soodakattilat, energian tuotantoon käytettävät kaasutuslaitokset sekä muita tuotanto- ja kierrätyslaitoksia. (ANDRITZ Oy, 2017)

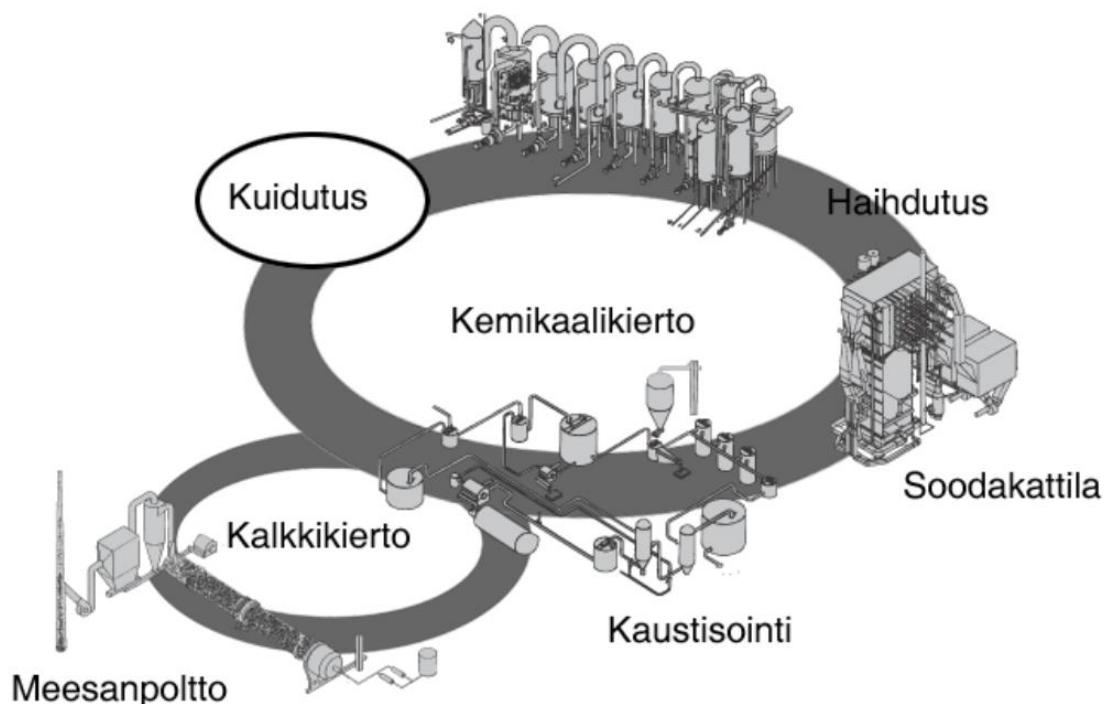
ANDRITZ Oy toimittaa puolestaan sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmiä, laitteita ja palveluita. Sen tuotealueita ovat puunkäsittely, kuituprosessit, kemikaalien talteenotto ja massan käsittely. Lisäksi se tarjoaa ratkaisuja erilaisille energiantuotantoon tarkoitetuille biomassakattiloille ja kaasutuslaitoksille. Lisäksi ANDRITZ HYDRO Oy toimittaa järjestelmiä, laitteita ja palveluita vesivoimateollisuudelle. ANDRITZ-yhtiöiden henkilöstön määrä Suomessa on noin 1200. (ANDRITZ Oy, 2017)

ANDRITZ Oy:n alainen ANDRITZ KRP eli "The Recovery and Power" -divisioona tarjoaa energiaratkaisuja sellu-, paperi-, voima-, kunta- ja terästeollisuudelle. KRP-divisioonan pääosaaminen on soodakattiloissa, voimalaitoskattiloissa, kaasuttimissa, haihduttamoissa, päästöjen hallintajärjestelmissä ja näihin liittyvissä teknologioissa kuten hajukaasujen käsittelyjärjestelmissä. (ANDRITZ Oy, 2017)

1.3 Lyhenteet ja määritelmät

PDMS	Plant Design Management System, laitosten 3D-suunnitteluohjelma
LVHC	Low Volume High Concentration, rikkiyhdisteinen laimea hajukaasu
DNCG	Diluted Non-Condencible Gases, rikkiyhdisteinen laimea hajukaasu
HVLC	High Volume Low Concentration, rikkiyhdisteinen vahva hajukaasu
CNCG	Concentrated Non-Condencible Gases, rikkiyhdisteinen vahva hajukaasu
VBA	Visual Basic for Applications, Microsoftin kehittämä yleiskäyttöinen ohjelmointikieli
Makro	Visual Basic ohjelmointikielen toimintaa ohjaava toiminto. Makrot suorittavat tietyt tehtävät käyttäjän puolesta
tds/d	Tons of dry solids, soodakattilan kapasiteettiä kuvaava yksikkö
Stripperi	Laite, joka erottaa metanolia, rikkiyhdisteitä, etanolia ym. haihduttamon lauheteista
Parametri	Numerovakio. Ohjelmalle tai funktiolle annettava alkuarvo
Tie-in	Putkiston toimitusrajan piste
Algoritmi	Kuvaus tai ohje, kuinka tehtävä tai prosessi suoritetaan
Revisio	Tietojen tarkennus tai uudelleen muovailu
PI-kaavio	Prosessi- ja instrumentointikaavio, prosessia havainnollistava kaavio

2 SULFAATTIPROSESSIN KEMIKAALIEN TALTEENOTTOKIERTO



Kuva 1. Sulfaattiprosessin kemikaalien talteenottokierto (Knowpulp, 2017)

2.1 Soodakattila

Sulfaattisellun keitossa syntyvän mustalipeän polttoon ja keittokemikaalien talteenottoon sekä regenerointiin suunniteltua kattilaa kutsutaan soodakattilaksi. Soodakattilalla on periaatteessa kolme tehtävää: kemikaalien talteenotto, prosessissa syntyvän palamislämmön talteenotto ja orgaanisen aineksen ympäristöystävällinen poltto. Soodakattilassa keittokemikaalit rikki ja natrium vapautuvat mustalipeästä, jonka jälkeen ne otetaan talteen jatkokäsittelyä varten. Soodakattila toimii myös höyrykattilana, kun soodakattilassa poltettavan mustalipeän orgaanisesta aineksesta vapautuva energia on käytettävissä höyryn tuottamiseen. (Knowpulp, 2017)

Soodakattilan oheisjärjestelmät tekevät kattilan rakenteen monimutkaisemmaksi ja lipeän poltossa käytetyt syövyttävät aineet tekevät kattilan käytön vaativammaksi verrattaessa normaaleja polttoaineita polttaviin voimalaitoskattiloihin. Polttoaineen laatu ja kemikaalien talteenotto sekä halutut kemialliset reaktiot vaativat soodakattiloihin erikoisratkaisuja, jollaisia muissa kattiloissa ei ole.

Soodakattilassa mustalipeän sisältämä rikki pelkistetään natriumsulfidiksi. Osa rikkiyhdisteistä jää pelkistymättä. Mustalipeän muussa muodossa oleva natrium muodostaa poltossa hiilidioksidin kanssa reagoitessaan natriumkarbonaattia. Kattilan tulipesän alaosan sulakourujen kautta ulos valuva kemikaalisula sisältää natriumsulfidia, natriumkarbonaattia ja natriumsulfaattia. Sulamateriaali liuotetaan laihavalkolipeään, jolloin syntyy viherlipeää. Viherlipeä johdetaan kaustistamoon edelleen prosessoitavaksi keitossa käytettävään muotoon. (Knowpulp, 2017)

2.2 Haihdutus ja kalkkikierto

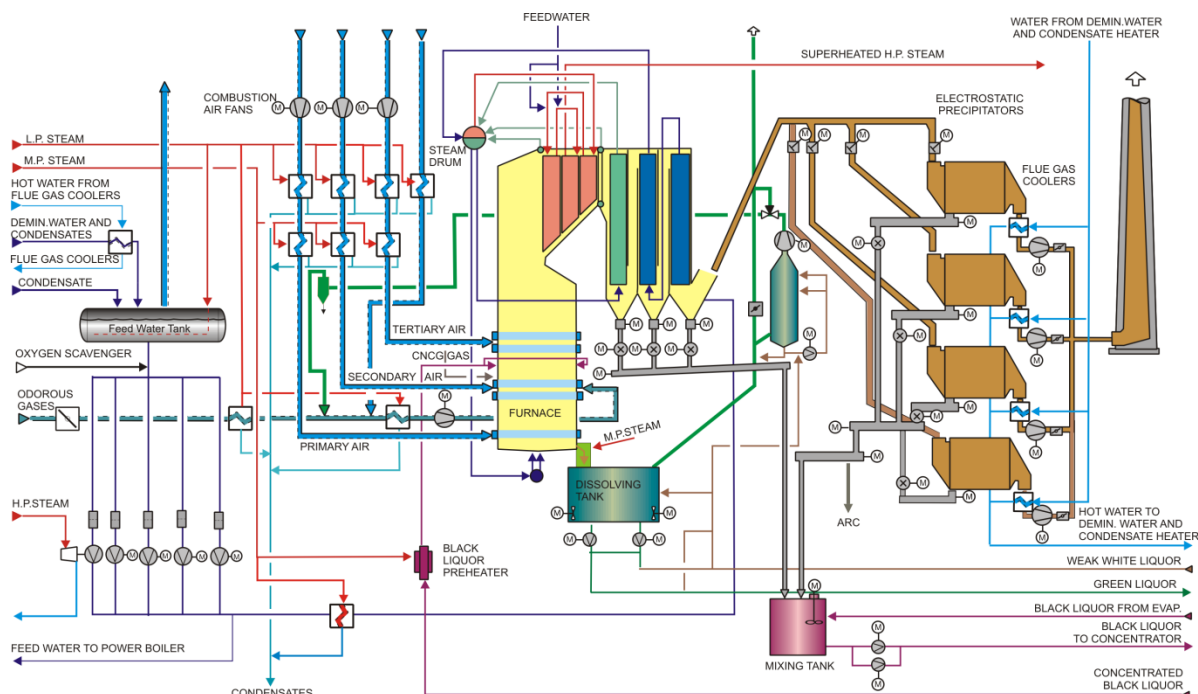
Haihduksen ensisijainen tehtävä on veden poistaminen keitossa syntyvästä lipeästä. Vettä poistetaan mustalipeästä sekä siihen sekoitettavista lisävirroista. Nykyaikaiselta haihduttamolta edellytetään soodakattilaan syötettävän polttoliipeän korkean kuiva-ainepitoisuuden lisäksi myös syntyvän sekundäärilauhteen saamista mahdollisimman puhtaana ulos haihduttamolta. Lisäksi haihduttamalla tulee kiinnittää huomiota puun keitossa syntyviin ja talteenotettaviin sivutuotteisiin, joista tärkeimmät ovat metanoli, tärpätti ja suopa. (Knowpulp, 2017)

Prosessia, jonka avulla natriumkarbonaatti muutetaan natriumhydroksidiksi sanotaan kaustisoinniksi. Kuvasta 1 (s. 7) nähdään, että kaustisointi on osa kemikaalikiertoa, ja kuuluu siinä niin sanottuun kalkkikiertoon. Kalkki on kiertävä apukemikaali, jota käytetään soodakattilasta tulevan viherliipeän muuttamiseksi valkolipeäksi. Soodakattilalta palaava viherliipeä selkeytetään, jonka jälkeen se on valmis kaustisoitavaksi. Kalkki reagoi viherliipeään veden kanssa, jolloin muodostuu kalsiumhydroksidia. Muodostunut kalsiumhydroksidi reagoi välittömästi viherliipeässä olevan natriumkarbonaatin kanssa, jolloin syntyy natriumhydroksidia. Reaktioista muodostuneesta valkolipeästä erotetaan meesa, eli kalsiumkarbonaatti. (Knowpulp, 2017)

Meesanpoltto on osana kemikaalikiertoa ja kuuluu kalkkikiertoon, kuten kuvasta 1 (s. 7) nähdään. Meesanpolton tehtävänä on palauttaa kalkin olomuoto takaisin karbonaatista oksidiksi. Kalkin regenerointia eli palauttamista kutsutaan poltoksi, koska se vaatii ulkoa prosessiin tuotua lämpöä ja tapahtuu verrattain korkeassa lämpötilassa. (Knowpulp, 2017)

3 SOODAKATTILAN JÄRJESTELMÄT

Soodakattilassa tapahtuvat prosessit jaetaan yleensä väliaineiden mukaan. Kuvasta 2 nähdään, että väliaineita ovat vesi, höyry, ilma, musta-, valko- ja viherlipeä ja savukaasut.



Kuva 2. Medioihin perustuva prosessikuvaus (Vakkilainen 2005, 197)

3.1 Ilmajärjestelmä

Pävaatimuksina ilmajärjestelmälle ovat ilman ja lipeän mahdollisimman täydellinen sekoittuminen ja mahdollisimman tasainen sekä joustava ilman jakaminen tulipesään. Primääri-ilmansyöttö tapahtuu läheltä tulipesän lattiaa lipeäruiskujen alapuolelta. Primääri-ilmansyötön tarkoituksena on hallita tulipesän kekoa muotonsa ja siinä tapahtuvien reaktioiden kannalta. Sekundääri-ilmansyöttö tapahtuu myös lipeäruiskujen alapuolelta, mutta tapauskohtaisesti kuitenkin tulipesän keon yläpuolelta. Sekundääri-ilmansyötön tarkoituksena on palamisen stabilisointi, keon hallinta, palavien hajukaasujen polttaminen, päästöjen, tulipesän virtausten ja tulipesän lämpötilan hallinta. Tertiääri-ilman syöttö tapahtuu lipeäruiskujen yläpuolelta. Tertiääri-ilmansyötön tarkoituksena on palamisen jälkisäätäminen ja päästöjen hallinta. (Vakkilainen 2005, 198–202)

Ilmajärjestelmään liittyvät putkistot ovat paineilmalinjoja, instrumentointiin käytettäviä ilmalinjoja ja tiivisteilmalinjoja. Ilmajärjestelmään liittyvät putkistot ovat ruostumatonta terästä ja ne kattavat noin 10 prosenttiyksikköä soodakattilan prosessiputkiston painosta.

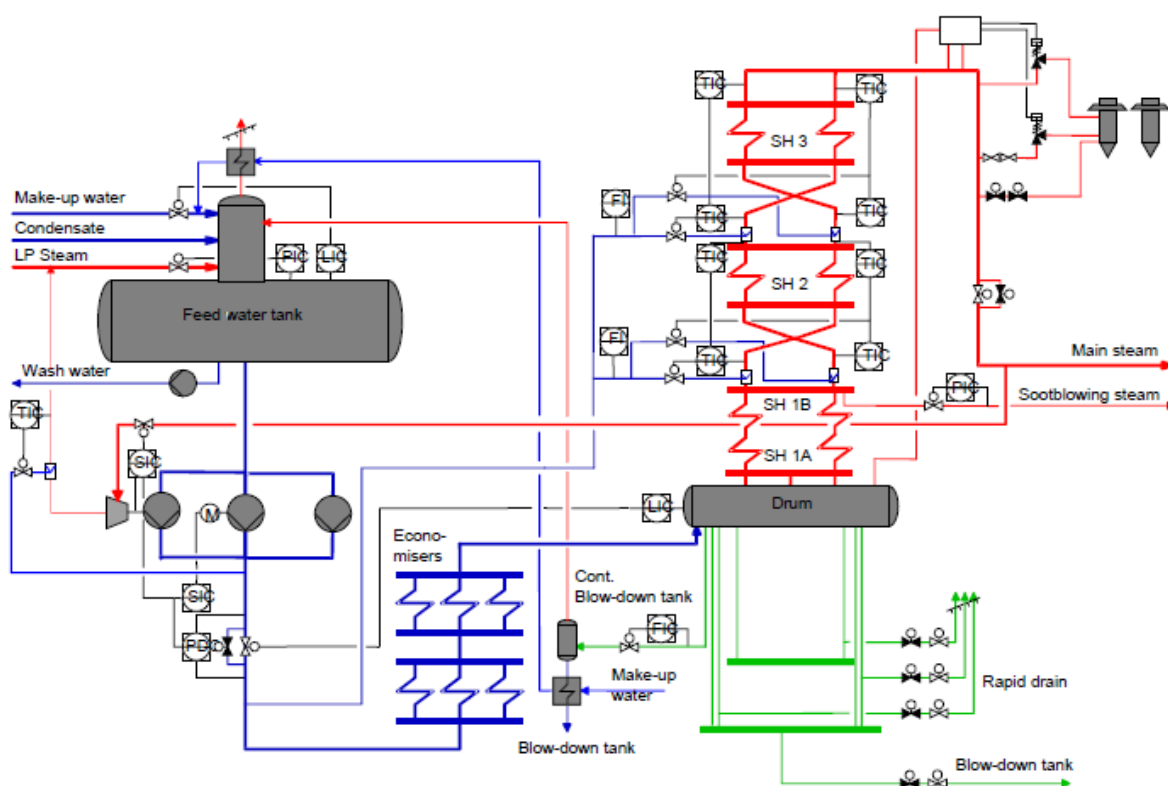
3.2 Savukaasujärjestelmä

Savukaasujärjestelmän tarkoitus on kuljettaa palamisesta syntyneet savukaasut suodatettuna ilma-kehään. Savukaasut virtaavat tulipesästä tulistimien läpi savukaasukanavistoihin. Savukaasukanavis-

toilta ne johdetaan vaimentimien, tuulettimien, sähkösuotimien, pesureiden ja mahdollisen savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmän läpi savupiipusta ulos ilmakehään. Tiheyserojen takia savukaasut eivät virtaa luonnollisesti ulos tulipesästä. Vakkilainen (2005, 210) toteaa, että savukaasujen virtausta täytyykin säätää tuottamalla lisää virtausta tuulettimilla. Tuulettimet säätävät myös tulipesästä lähtevän savukaasun virtausta.

Savukaasujärjestelmään liittyvät putkistot ovat lähinnä savukaasupesureiden ja savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmän vesi-, höyry- ja tyhjennyslinjoja. Savukaasujärjestelmään liittyvät putkistot ovat hiiliterästä ja ne kattavat noin 10 prosenttiyksikköä koko soodakattilan prosessiputkiston painosta.

3.3 Vesi- ja höyryjärjestelmä

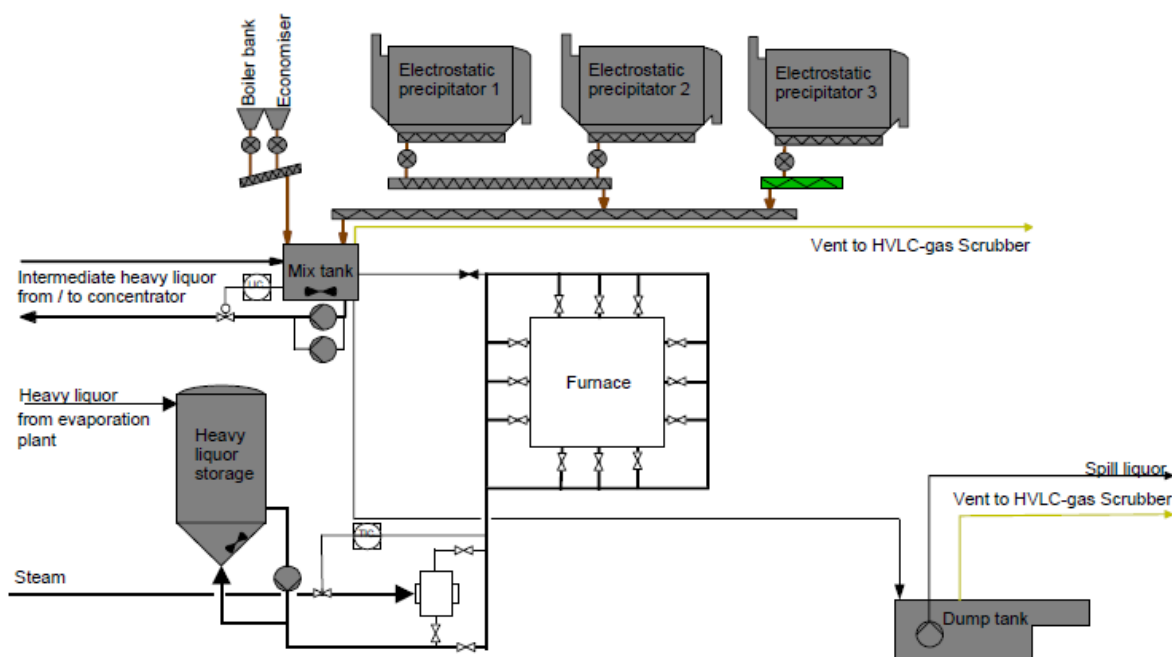


Kuva 3. Vesi- ja höyrykierto (Vakkilainen 2005, 213)

Vesi- ja höyrykierto alkavat matalapaineisesta syöttövedestä ja päättyvät korkeapaineiseen ja korkean lämpötilan omaavaan höyryyn. Kuten kuvasta 3 selviää, muutokset, jotka kierrossa tapahtuvat ovat kulkeutuminen, paineistuminen, esilämmittäminen, höyrystyminen ja tulistuminen. Syöttövesijärjestelmä on edellä mainitun järjestelmän lähtökohta. Toimiakseen luotettavasti ja vaatimukset täyttäen on syöttöveden oltava puhdistettua. Syöttövedestä poistetaan mineraalit ja happi sekä säädetään veden PH-arvo. Syöttövesisäiliöstä syöttövesi menee ekonomaisereille. Ekonomaisereilta lähtevä vesi johdetaan lieriöön. Vakkilainen (2005, 212–213) toteaa, että lieriössä höyry ja vesi eroteetaan toisistaan gravitaation, seulojen ja sykloonierottimien avulla. Lieriöstä kylläinen vesi menee lasakuputkia pitkin höyrystymispinnoille. Suurin osa höyrystymisestä tapahtuu tulipesän seinissä. Osittain höyrystynyt vesihöyryseos nousee nousuputkia pitkin takaisin lieriöön. Lopuksi kylläinen höyry poistuu lieriöstä ja virtaa tulistimien läpi turbiineille.

Vesi- ja höyrykiertoon liittyvät putkistot ovat apuhöyryjärjestelmissä käytettäviä höyry- ja kondensaatiolinjoja, tankkeihin ja laitteisiin liittyviä vesilinjoja, tuuletus- ilmaus- ja tyhjennyslinjoja ja mekaanisesti puhdistetun tehdasveden linjoja. Höyryputkistot ovat hiiliterästä ja vesiputkistot ovat hiiliterästä sekä ruostumatonta terästä. Vesi- ja höyryjärjestelmään liittyvät putkistot kattavat noin 60 prosenttiyksikköä koko soodakattilan prosessiputkiston painosta.

3.4 Lipeä- ja tuhka järjestelmä



Kuva 4. Lipeä- ja tuhka järjestelmä (Vakkilainen 2005, 224)

Lipeä- ja tuhka järjestelmän suunnittelu pohjautuu hyvin tarkasti standardeihin ja turvallisuussuosiin. Lipeä- ja tuhka järjestelmä jaetaan yleensä kahteen eri kiertoon, jotka ovat poltto- ja mustalipeäkierto. Kuten kuvasta 4 nähdään, polttolipeäkierrossa polttolipeää pumpataan lipeärenkaaseen. Lipeärenkaaksi kutsutaan tulipesää kiertävää putkistoa, jonka tarkoitus on pitää lipeänvirtaus tasaisena jokaiselle lipeäruiskulle.

Lipeän polttamisesta muodostuva tuhka kerätään talteen tulipesästä, ekonomaisereista ja sähkösuotimista. Tuhka ohjataan kuljettimien ja sulkusyöttimien kautta sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliön mustalipeäkiertoa pidetään kokonaan erillisenä prosessina. Haihduttamolta tuleva mustalipeä sekoitetaan sekoitussäiliössä talteenotettuun tuhkaan ja pumpataan takaisin haihduttamolle. Lipeä- ja tuhka järjestelmässä on myös ylivuodon ja tyhjennyksien varalta omat säiliöt. (Vakkilainen 2005, 224)

Lipeä- ja tuhka järjestelmiin liittyvät putkistot ovat mustalipeän liikuttamiseen, tyhjentämiseen ja ylivuotoon tarkoitetut putkistot. Lipeä- ja tuhka järjestelmään liittyvät putkistot ovat haponkestävää tai duplex-terästä ja kattavat noin 5 prosenttiyksikköä koko soodakattilan prosessiputkien painosta.

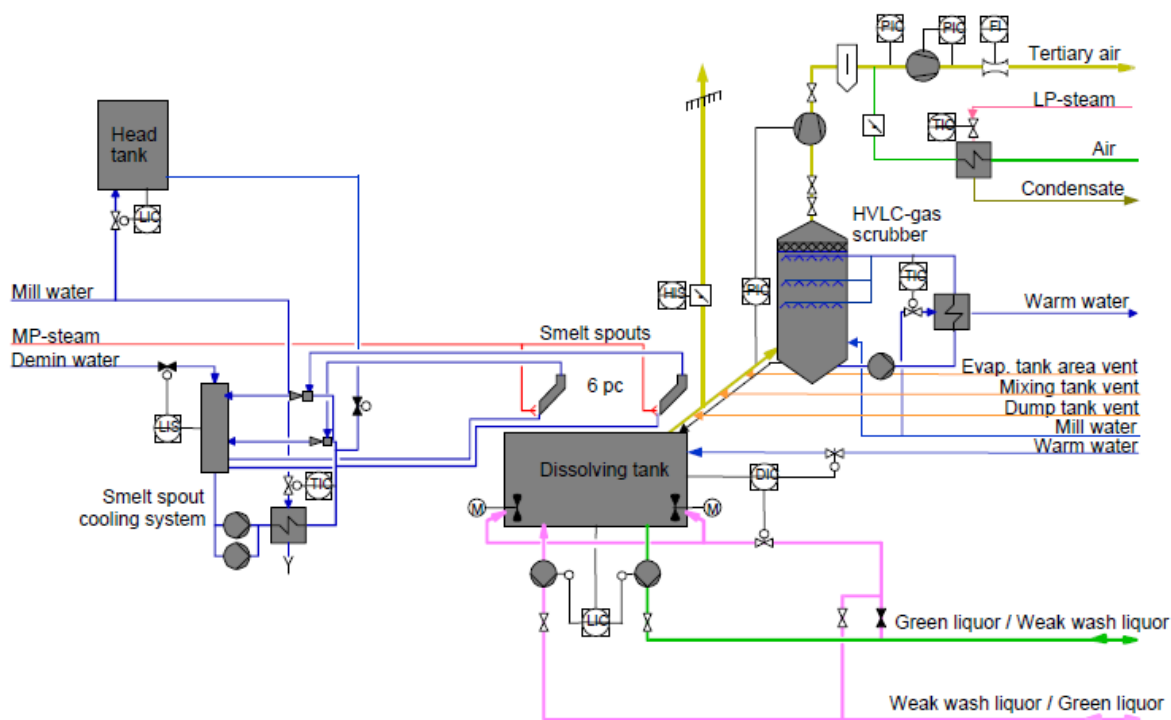
3.5 Öljy- ja kaasujärjestelmä

Soodakattilat käyttävät öljyä ja kaasua apupolttoaineinaan. Apupolttoaineiden tehtävinä ovat kattilan käynnistys ja sammutus, kuorman nostaminen ja hajukaasujen polttaminen. Kuormituspolttimien tarkoituksena on kattilan höyryntuoton nostaminen. Käynnistyspolttimien tarkoituksena on lämmitellä kattilaa, tukea lipeän polttoa ja keon muotoilua (Knowpulp, 2017). Käynnistyksessä käytettävää kaasua kutsutaan sytytyskaasuksi, joka on yleensä propaania. Kuorma- ja käynnistyspolttimissa käytetään yleensä raskasta polttoöljyä, mutta myös maakaasua ja kevyttä polttoöljyä on mahdollista käyttää. Vakkilaisen (2005, 226) mukaan, maakaasua ja sytytyskaasua käytettäessä on järjestelmään liitettävä myös tuuletus. Tuuletuksella varmistetaan, ettei kaasuvuotoja tapahdu.

Öljy- ja kaasujärjestelmiin liittyvät putkistot kattavat polttimien käyttämät polttoainelinjat. Öljy- ja kaasujärjestelmään liittyvät putkistot ovat hiiliterästä ja ne kattavat noin 5 prosenttiyksikköä koko soodakattilan prosessiputkien painosta.

3.6 Viherlipeäjärjestelmä

Kuvassa 5 on esitetty erään viherlipeäjärjestelmän prosessikuvaus. Viherlipeää syntyy, kun lipeän poltossa muodostuva epäorgaaninen sulamateriaali ja heikkovalkolipeä sekoitetaan toisiinsa liuotussäiliössä. Sulamateriaali on erittäin aggressiivista ja sekoitettaessa veteen se tuottaa runsaasti lämpöä (Knowpulp, 2017). Sulan ja heikkovalkolipeän sekoittuminen aiheuttaa hajukaasuja. Hajukaasut johdetaan erilliseen pesuriin, jossa rikkiyhdisteet pestään pois. Moderneissa soodakattiloissa kuormapolttimien yhteyteen on laitettu myös polttimet hajukaasuille, joka mahdollistaa hajukaasujen polttamisen lipeän polton yhteydessä.



Kuva 5. Viherlipeäjärjestelmä (Vakkilainen 2005, 226)

Viherlipeäjärjestelmään liittyvät putkistot ovat yleensä liuotussäiliöön tulevat pääputkilinjat. Viherlipeälinja, jonka kautta pumpataan viherlipeää kaustistamolle ja heikkovalkolipeälinja, jolla syötetään heikkovalkolipeää liuotussäiliöön. Viherlipeäjärjestelmään liittyvät putkistot ovat ruostumatonta ja haponkestävää terästä. Putkistot kattavat noin 5 prosenttiyksikköä koko soodakattilan prosessiputkien painosta.

3.7 Apujärjestelmät

Soodakattila tarvitsee pääjärjestelmien lisäksi myös muutamia apujärjestelmiä. Apujärjestelmät turvaavat, parantavat ja tehostavat muita järjestelmiä.

Yksi tärkeimmistä apujärjestelmistä on nuohousjärjestelmä. Mustalipeän suolapitoisuus aiheuttaa lämmönsiirtopintojen likaantumista ja savukaasukanavistojen tukkeutumista. Tästä syystä soodakattiloissa käytetään nuohoimia lämmönsiirtopintojen puhdistamiseen. Nuohoukseen käytettävää höyryä otetaan joko tulistimelta tai turbiinilta. Nuohouksessa käytettävät höyrylinjat kuuluvat apujärjestelmien putkistoihin.

Sulfaattiprosessissa syntyy niin kutsuttuja hajukaasuja, jotka ovat peräisin pelkistyneistä rikkiyhdisteistä. Laimeista hajukaasuista käytetään lyhenteitä DNCG (Diluted Non-Condencible Gases) tai HVLC (High Volume Low Concentration) ja väkeviä hajukaasuista CNCG (Concentrated Non-Condencible Gases) tai LVHC (Low Volume High Concentration). Väkeviä hajukaasuja syntyy pääosin keittämöltä ja haihduttamolta. Laimeita hajukaasuja syntyy pääosin säiliöihin mustalipeää käsitellessä ja mäntyöljyä keitetessä. Molempia hajukaasuja kerätään kootusti soodakattilalle jatkokäsittelyä varten. Vahvat hajukaasut jatkokäsittelään pääasiassa polttamalla joko kattilassa tai varapolttimella tai ne suodatetaan ilmakehään. Vakkilainen (2005, 208–209) toteaa, että polttamiseen käytetään apupolttoaineita, jotka ovat yleensä maakaasu ja nestemäinen metanoli. Laimeat hajukaasut poltetaan joko tertiääri-ilman syötön yhteydessä kattilassa tai suodatetaan ilmakehään. Moderneissa soodakattiloissa laimeat hajukaasut ajetaan pesurin läpi.

Soodakattilassa syntyvän sulamateriaalin aggressiivisuuden, korkean lämpötilan ja syövyttävyyden vuoksi sulakouruja täytyy jäähdyttää tehokkaasti. Tätä varten moderneissa soodakattiloissa on sulakourujen jäähdytysjärjestelmät. Sulamateriaalin aggressiivisuuden vuoksi jäähdyttävä aine on vesi. Sulakourujen jäähdytysjärjestelmään liittyvät putkistot ovat jokaiselle sulakourulle erikseen tulevat jäähdytyslinjat. Sulakourujen jäähdytysjärjestelmän putkiston paino on riippuvainen sulakourujen lukumäärästä.

Nykyaikaisissa kattiloissa, jokaisen sähkösuotimen jälkeen on savukaasujen jäähdytykseen käytettäviä lämmönsiirtimiä. Lämmönsiirtimet siirtävät lämpöä kuumista savukaasuista erilliseen vesikiertoon. Vesikiertoon siirtynyt lämpö siirretään eteenpäin toisen lämmönsiirtimen kautta demineralisoi-tuun veteen tai kondensaatioon. Jäähdytynyt vesi palaa takaisin savukaasupuolen lämmönsiirtimelle. Vaikka sähkösuotimien jälkeinen savukaasu on puhdistettua, silti savukaasujäähdyttimet ovat varus-

teltu nuohoimilla. Nämä nuohoimet pitävät savukaasujäähdyttimet puhtaina käytön aikana. Savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmään liittyvät putkistot ovat usein nuohouksessa käytettävät nuohoushöyrylinjat ja lämmöntalteenotossa käytettävät vesikiertolinjat. Savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmän putkistojen paino riippuu sähkösuotimien lukumääristä ja niiden sijoittumisesta kattilaan nähden.

4 SOODAKATTILAN PROSESSIPUTKISTOT

4.1 Putkistojen materiaalien ja koon valintakriteerit

Yleisesti putkistojen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat operoitavat tekijät (virtaava aine, operointilämpötila, operointipaine ja standardit), ekonomiset tekijät (saatavuus, käyttöikä, hinta ja yhteensopivuus muiden osien kanssa) ja ulkopuoliset tekijät (altistuminen uv-säteilylle, korrosoiva ympäristö ja järjestelmän huoltaminen). Vääristä materiaalivalinnoista voi koitua taloudellisia ja henkilövahinkoja. Vahinkojen välttämiseksi on luotu standardeja, joiden mukaan materiaalit pitää valita.

Prosessiputkistostandardit EN 13480 ja ASME B31.3 huomioon ottaen materiaaliin ja kokoon vaikuttavat tekijät ovat virtaavan aineen nopeus, suunnittelupaine, maksimikäyttöpaine, käyttöpaine, suunnittelulämpötila, joka on myös maksimikäyttölämpötila ja käyttölämpötila. Painetta koskevat määritykset EN 13480 mukaan ovat maksimikäyttöpaineelle: "In process piping, operation maximum pressure equals calculation pressure. In high pressure piping (boiler pipes and tubes) this is same than maximum pressure defined by safety system (same than drum calculation pressure)." (EN 13480-3:2014, 10.2.2017). Suunnittelupaineelle ne ovat: "Highest possible pressure in a pipe (including hydrostatic head and pressure losses)" (EN 13480-3:2014, 10.2.2017) ja käyttöpaineelle ne puolestaan ovat: "The operating pressure, p_o , shall be below the maximum allowable pressure, PS " (EN 13480-3:2014, 10.2.2017). Lämpötilaa koskevat määritykset, EN 13480 mukaan, ovat suunnittelulämpötilalle: "The calculation temperature, t_c , shall be the maximum temperature likely to be reached at the mid-thickness of the piping, under normal operating conditions, at the calculation pressure p_c " (EN 13480-3:2014, 10.2.2017). Käyttölämpötilalle ne ovat: "The operating temperature, t_o , shall be below the maximum allowable temperature, TS , specified for the piping system" (EN 13480-30:2014, 10.2.2017).

Soodakattilan prosessiputkistomateriaalit jaetaan karkeasti kahteen ryhmään, hiiliteräksiin ja ruostumattomiin teräksiin. Ruostumattomat teräkset jaetaan erikseen kolmeen ryhmään, jotka ovat austeniittiset CrNi-teräkset (ruostumattomat teräkset), austeniittiset ruostumattomat CrNiMo-teräkset (haponkestävät teräkset) ja austeniittis-ferriittiset teräkset (duplex-teräkset). Hiiliteräsputkistojen suunnitteluun ja kokoon vaikuttavat standardit EN 10216 ja ASME B36.10M. Ruostumattomien teräsputkistojen suunnitteluun ja kokoon vaikuttavat standardit EN 10217 ja ASME B36.19M. Tyypillisimmät putkistojen materiaalilaadut EN-standardien puolella ovat P235GH 1.0345, P265GH 1.0425, X2CrNi18-9 1.4307, X2CrNiMo17-12-2 1.4432, X2CrNiMoN22-5-3 1.4462 ja ASME-standardien puolella ne ovat A106 GR B, A312 GR TP304L, A312 GR TP316L ja A790 Gr S32205. Materiaalilaatujen käyttö riippuu käytetyistä standardeista, käyttökohteesta, saatavuudesta ja asiakkaan vaatimuksista.

4.2 Prosessiputkisto

Työn alkuvaiheessa sovittiin, että soodakattilan prosessiputkistot jaetaan taulukon 1 (s.16) mukaisiin jaoksiin. Jaokset olivat apuhöyryputkisto, kondensaatioputkisto, paineilmaputkisto, ilmaputkisto, vesiputkisto, tuuletus-, tyhjennys- ja ylivuotoputkisto, lähtevä kondensaatioputkisto, apujärjestelmäputkisto, polttoaineputkisto, muu lipeäputkisto, hajukaasuputkisto ja sulakourujen jäähdytysjärjes-

telmäputkisto. Jaokset jaettiin vielä tehtävätasolle, jotka kertovat tarkemmin eri putkistojen tehtävät. Tehtävätasolle jakaminen selkeyttää putkiston kuvausta. Esimerkiksi apuhöyryputkistoon kuuluvat matalapaineiset ja keskipaineiset apuhöyrylinjat, kemikaalisulan pirstoutumishöyrylinjat ja hajukaasujen höyrylinjat.

621	Auxiliary steam piping
622	Condensate pipes
623	Compressed air piping
624	Air piping
625	Water piping
626	Vent-, drain- & overflow piping
627	Condensate piping
629	Auxiliary system piping
631	Fuel piping
632	Other liquor piping
633	Gas piping
643	Smelt spouts with cool. system

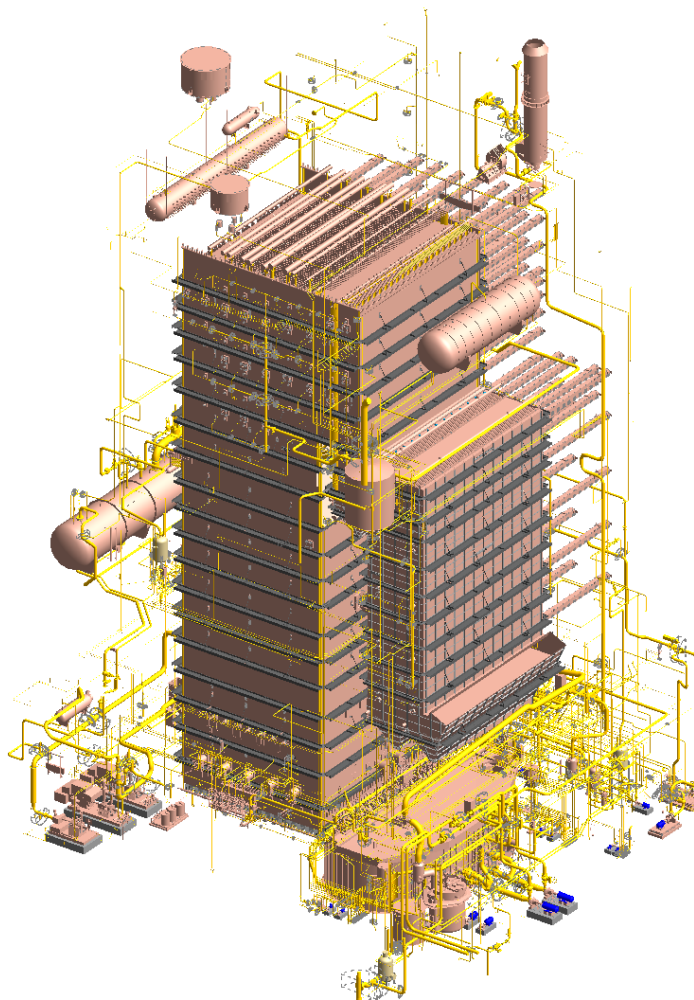
Taulukko 1. Työssä käytetty jaosjärjestelmä

Sovittiin myös, että prosessiputkistojen kokonaispainoihin lasketaan mukaan kaulukset, laipat, tyhjörankaat, putkikäyrät, putkitaivutukset ja suoran putken osuus. Kokonaispainosta jätettiin pois venttiilit, kannakkeet, pultit ja mutterit.

5 TAUSTAMATERIAALIN KERÄÄMINEN

5.1 Menetelmät

Aineiston ja datan keräämiseen käytettiin pääosin kahta ohjelmaa Microsoft Officen Exceliä ja AVEVA 3D:n Plant Design Management Systemiä (PDMS), joka on 3D:hen perustuva monipuolinen tilanmallinnusohjelma (katso kuva 6).



Kuva 6. PDMS (ANDRITZ Oy, 2017)

Aineiston kerääminen oli iso osa opinnäytetyötä. Perehtyminen putkistojen tehtäviin tapahtui soodakattiloiden prosessikuvauksia lukemalla, eri laitteiden toimintaan perehtymällä, soodakattiloiden PDMS-malleihin, materiaalilistoihin ja PI-kaavioihin tutustumalla. Uusimpien soodakattiloiden mallien kohdalla linjakohtaisten materiaalilistojen luominen PDMS-malleista onnistui hyvin. Uusimmista kattilaprojekteista aineisto saatiin luotua luotettavasti suoraan malleista, mutta vanhempien projektien kohdalla materiaalilistat piti etsiä ja tarvittaessa täydentää niitä vertailemalla PI-kaavioihin ja muihin projekteihin. Vanhemmissa malleissa putkilinjoja ei ollut välttämättä eritelty yhtä tarkasti tehtävätasolle kuin uusimmissa. Materiaalilistojen puuttuminen ja vaillinaisten PDMS-mallien tuomat ongelmat hidastivat aineiston keräämistä huomattavasti. Ongelmat ratkaistiin täydentämällä vaillinaisia malleja ja luomalla uusia materiaalilistoja.

5.2 Referenssisoodakattilaprojektit

Projekti	Kapasiteetti	Standardi
Santa Fe	3800	ASME
Obbola	1000	EN
Navia	1800	EN
Syktyvkar	3560	EN
Zhanjiang	4500	EN
Laja	2500	ASME
Iggesund	2400	EN
Montes Del Plata	5710	EN
Frantschach	1200	EN
Ruzomberok	1750	EN
Swiecie	2300	EN
OKI	11600	ASME/EN
Fibria	7900	ASME

Taulukko 2. Referenssisoodakattilat

Referenssisoodakattilaprojekteiksi valittiin 13 projektia yli 10 vuoden ajanjaksolta. Tarkoituksena oli valita projekteja, jotka kattaisivat mahdollisimman laajasti koko kapasiteettiskaalan ja muodostaisi tarpeeksi luotettavan pohjan molempien standardien osalta. Kuten taulukosta 2 nähdään, pienin projekti oli kapasiteetiltään 1000 tds/d ja isoin 11600 tds/d. EN-standardiin pohjautuvia projekteja oli yhdeksän, ASME-standardiin pohjautuvia oli kolme ja yhdessä projektissa oli käytetty molempia. Referenssitaulukolta vaadittiin jokaisen projektin osalta painot ja pituudet materiaaleittain jaoteltuna aina tehtävätasolle asti. Projektit sijoittuvat Euroopan, Aasian ja Etelä-Amerikan maanosiin.

6 TYÖKALUN KEHITTÄMINEN

Työkalun lähtökohdiksi määriteltiin mahdollisimman yksiselitteinen ja helppo käytettävyys, nopeus, joustavuus ja luotettavuus. Koska prosessiputkien osuus kokonaisesta soodakattilaprojektista on pieni, myös resurssien hyödyntäminen prosessiputkien hinnoitteluun ja myyntiin on rajallista. Myyntivaiheessa resursseja ei sidota suunnitteluun, joten primäärisiksi tavoitteeksi nostettiin työkalulla saavutettava tarkkuus. Tämän takia työkalun käyttö pitää olla mahdollisimman nopeaa, ettei arvioiden tekemiseen kulu liikaa aikaa ja sen on oltava luotettava. Projektien erilaisuuksien vuoksi työkalun on oltava myös mukautuvainen erilaisten järjestelmäratkaisujen edessä.

6.1 Käyttöliittymän ja ominaisuuksien valinta

Työkalun käyttöliittymäksi oli valittavana kaksi ohjelmistoa, jotka olivat Qlickview ja Microsoft Office Excel. Käyttöliittymäksi valittiin Excel, koska siinä oli helpompi muokattavuus, parempi päivitettävyys, tarvittava yhteensopivuus, yleisesti tunnettu käytettävyys ja monipuolisemmat käyttöominaisuudet.

Ensisijaisiksi ominaisuuksiksi työkalulle vaadittiin painojen ja pituuksien jakautumista jaoksittain, kokonaisvaltaista valintaa standardien EN-ASME väliltä, materiaalien jakautumista kolmeen osaan (hiili-teräs, ruostumaton teräs ja duplex-teräs) kokonaispainosta ja helppokäyttöisyyttä. Toissijaisiksi ominaisuuksiksi vaadittiin tie-in -optiota, päivitettävyyttä, jaoksittaista valintaa standardien EN-ASME väliltä, vapaavalinnaisuutta jaoksittain painoihin ja pituuksiin.

6.2 Parametrien laskeminen

Työkalun laskennassa käytetyt funktiot toimivat lineaarisen funktion tavoin. Parametrit määritettiin seuraavien laskuperiaatteiden mukaisesti.

Lineaarinen funktio:

$$y = ax + b \quad (1)$$

jossa

y	laskettava reaaliluku
x	syötetty reaaliluku
a	funktion parametri (kulmakerroin)
b	funktion parametri (leikkauspiste)

Parametrien a ja b määrittämiseksi oli laskettava kaikkien x ja y pisteiden keskihajonta, korrelaatio ja kovarianssi.

a :n funktio:

$$a = r * s_y / s_x \quad (2)$$

jossa

a	laskettava parametri
r	korrelaatio
s_y	kaikkien y -havaintoarvojen keskihajonta
s_x	kaikkien x -havaintoarvojen keskihajonta

b :n funktio:

$$b = \bar{y} - (\bar{x} * a) \quad (3)$$

jossa

a	a -parametri
\bar{y}	kaikkien y -havaintoarvojen aritmeettinen keskiarvo
\bar{x}	kaikkien x -havaintoarvojen aritmeettinen keskiarvo

Aritmeettisen keskiarvon funktio

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4)$$

jossa

\bar{x}	laskettava aritmeettinen keskiarvo
x_i	x -havaintoarvot
n	havaintojen lukumäärä

Korrelaation funktio:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (5)$$

jossa

r	laskettava korrelaatio kerroin
s_{xy}	muuttujien x ja y kovarianssi
s_x	kaikkien x -havaintoarvojen keskihajonta
s_y	kaikkien y -havaintoarvojen keskihajonta

Keskihajonnan funktio:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (6)$$

jossa

s	laskettava keskihajonta
x_i	x -havaintoarvot
\bar{x}	x -havaintoarvojen aritmeettinen keskiarvo
n	havaintojen lukumäärä

Kovarianssin funktio:

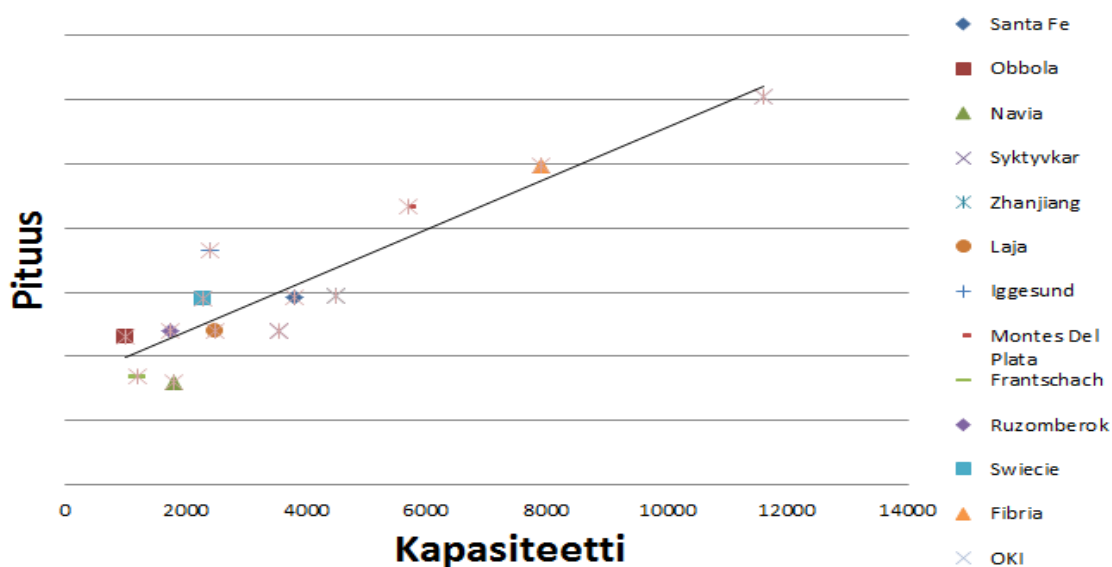
$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (7)$$

jossa

s_{xy}	laskettava kovarianssi x:n ja y:n välillä
x_i	x:n havaintoarvot
\bar{x}	x-arvojen aritmeettinen keskiarvo
y_i	y:n havaintoarvot
\bar{y}	y-arvojen aritmeettinen keskiarvo
n	havaintojen lukumäärä

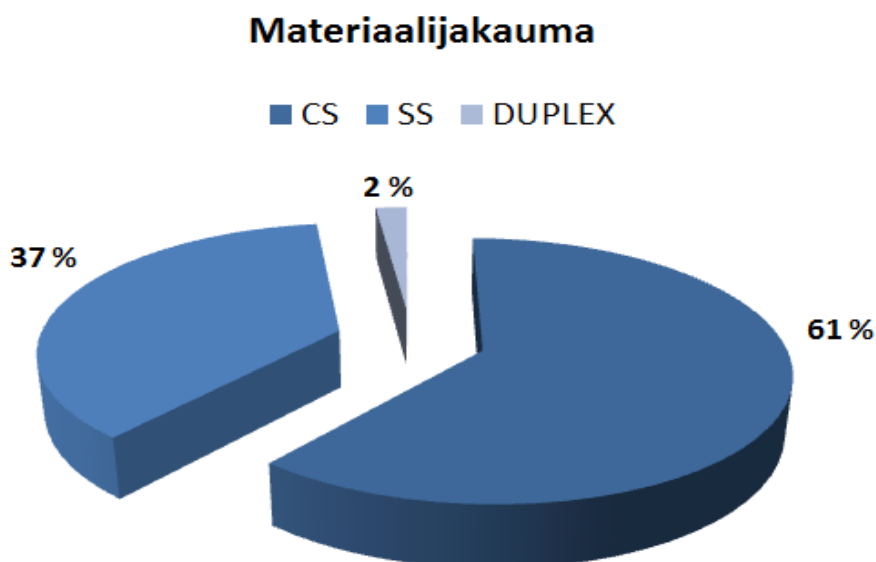
6.3 Parametrien määrittäminen

Työn alkaessa oli selvää, että parametrit piti määrittää joko projektin kapasiteetin ja painon mukaan ja liittää ne pituuteen tai kapasiteetin ja pituuden mukaan ja liittää ne painoon. Kuten kuvasta 7 selviää, prosessiputkistojen pituudet käyttäytyvät hyvin lineaarisesti, joten parametrit määritettiin niiden avulla. Pituusparametrit toimivat lähtökohtana muiden parametrien määrittämiseen.



Kuva 7. Pituus-kapasiteettitaulukko

Tiedettiin, että pituuksien ja painojen välille oli luotava yhteys tulosten aikaansaamiseksi. Yhteys luotiin laskemalla jokaiselle jaokselle keskimääräiset putkipainot. Tätä varten luotiin jokaisesta kattilasta erillinen painotaulukko, josta kävi ilmi vain suorien putkiosuukien painot jaoksittain ja kokoluokittain. Keskimääräiset painot heittelivät jaosten välillä huomattavasti. Painotaulukoon luotiin painot EN- ja ASME-standardeille. EN- ja ASME-standardeja varten oli projektien materiaalilistoja muutettava. EN-pohjaiset materiaalilistat täytyi muuttaa ASME-pohjaisiksi materiaalilistoiksi ja toisinpäin. Huomattavaa oli, että käännettyjen ja alkuperäisten materiaalilistojen painojen suhde painottui tietylle alueelle, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Painotaulukon luonnin jälkeen pituusparametrit ja painotaulukosta luodut painoparametrit yhdistettiin yhteen taulukkaan, josta saatiin luotua toimiva funktio, joka kykeni laskemaan prosessiputkiston painot jaoskohtaisesti.



Kuva 8. Materiaalijakauma

Putkien ja osien hinnat vaihtelevat huomattavasti materiaalista riippuen. Halvinta on hiiliteräs ja kalleinta duplex-teräs. Tästä johtuen prosessiputkiston materiaalien jakautumisella on hinnan suhteen todella suuri vaikutus. Selvitettäessä kuinka prosessiputkistojen materiaalit jakautuvat, luotiin karkea materiaalijakaumataulukko. Kuten kuvasta 8 selviää, noin kaksi kolmasosaa on hiiliterästä, vähän alle kaksi viidesosaa on ruostumatonta terästä ja loput duplex-terästä. Tämä toimii hyvänä hihavakiona, mutta tutkittavana oli kuinka materiaalijakauma muuttuu soodakattilan kapasiteetin kasvaessa. Tämän takia luotiin referenssitaulukon pohjalta materiaalitaulukko. Materiaalitaulukosta luotiin parametrit, jotka yhdistettiin aiemmin määritettyihin painoparametreihin, jonka seurauksena saatiin luotua toimiva funktio, joka kykeni määrittämään materiaalien osuudet kokonaispainosta.

Toimitusrajojen vaihtuvuuden takia työkaluun päädyttiin lisäämään ominaisuus tie-in -putkistojen laskemiselle. Tie-in -putkistojen painot ja pituudet määräytyivät putkisillan ja soodakattilarakennuksen seinän välisestä osuudesta. Normaalissa tapauksessa tämä osuus on vain metrin kattilarakennuksen seinästä poispäin, mutta joissain tapauksissa väliä voi tulla jopa 40 metriä. Erikoistapauksissa tie-in -putkisto-osuuden vaikutus todelliseen prosessiputkiston määrään on huomattava, jopa 15–20 %-yksikköä koko prosessiputkiston painosta. Tie-in -putkistoja varten oli jokaisesta kattilaprojektista laskettava lähtevien ja tulevien putkilinjojen lukumäärät, painot ja pituudet. Näiden tietojen pohjalta luotiin tie-in -taulukko, jonka avulla muodostettiin tie-in -parametrit. Tie-in -parametreilla muodostettiin funktio, joka pystyi määrittämään tie-in -putkiston painot. Tie-in -putkiston painoon vaikuttavat myös lähtevien ja tulevien putkilinjojen lukumäärä. Tästä johtuen työkaluun lisättiin ominaisuus, jossa käyttäjä voi valita itse tie-in -linjojen lukumäärän tai käyttäjä voi valita laskentaan perustuvan lukumäärän.

7 TYÖN TULOKSET

Tässä osiossa käsitellään kuinka kohdassa 6.1 vaaditut työkalun ominaisuudet on otettu huomioon. Tähän osioon on koottu myös työkalun tuottamat tulokset ja yhteenveto.

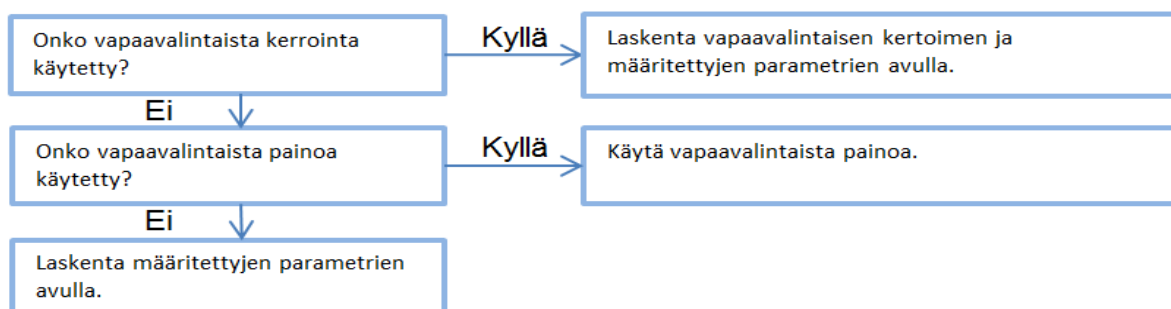
7.1 Työkalun esittely

Kuvasta 9 nähdään työkalun käyttöliittymä. Käyttöliittymästä käy ilmi makrot, tunnistealue, lähtötiedot, tie-in -laskenta, varsinainen painojen ja pituuksien laskenta, materiaalien jakautuminen ja yhteenveto.

ANDRITZ		Recovery Boiler Process Piping Estimation Tool				Project Name:	
Initial data		Capacity		0 ldsld		Project Code:	
Pipe length		0 m		Add New Project		Dok.num:	
Standard		ASME EN		Update EN Factors		Date:	
				Update ASME Factors		Revision:	
				Convert To PDF		Issued:	
						Approved:	
Tie-in point		Standard		ASME			
Weight		0.0 kg/m					
Distance		0 m					
Calculated number of tie-ins		0					
Optional number of tie-ins		0					
Total Weight		0 kg					
Total Length		0 m					
Calculation		Reset Weight		Reset Length		Reset Standard	
WBS		Weight		Optional Weight		Reset Factor	
		Length		Optional Length		Reset	
		Standard		Optional Factor		Count	
621- Auxiliary Steam Piping		0		0		ASME 0 YES	
622- Condensate Pipes		0		0		ASME 0 YES	
623- Compressed Air Piping		0		0		ASME 0 YES	
624- Air Piping		0		0		ASME 0 YES	
625- Water Piping		0		0		ASME 0 YES	
626- Vent - Drain-&Overflow Piping		0		0		ASME 0 YES	
627- Condensate Piping		0		0		ASME 0 YES	
629- Auxiliary System Piping		0		0		ASME 0 YES	
631- Fuel Piping		0		0		ASME 0 YES	
632- Other Liquor Piping		0		0		ASME 0 YES	
633- Gas Piping		0		0		ASME 0 YES	
643- Smelt Spouts with Cool System		0		0		ASME 0 YES	
Total		0		0			
Material		CS		0 kg			
		SS		0 kg			
		Duplex		0 kg			
Summary		Total Weight		0 kg			
		Total Length		0 m			

Kuva 9. Työkalun käyttöliittymä

Jaaksien ja yhteenvedon painojen laskennoissa käytetyt algoritmit luotiin Excelin IF-funktiolla. Algoritmeissa käytettiin useampia IF-funktioita peräkkäin. IF-funktion toiminta perustuu kolmeen määrittelyyn, jotka ovat looginen testi, arvo loogisen testin ollessa tosi ja arvo loogisen testin ollessa epätosi. Kuvassa 10 on jaaksien painon laskentaperiaate.



Kuva 10. Jaaksien painon laskentaperiaate

Kuvasta 11 nähdään, että työkalun makrot ohjelmoitiin Excelin VBA-ohjelmointikieltä hyväksi käyttäen. Työkalun päivitettävyyden otettiin huomioon luomalla työkaluun kolme makroa. Yksi makro luo uudelle soodakattilaprojektille kuvan 12 (s. 25) mukaisen lomakkeen. Kaksi makroa päivittää parametritiedot funktioihin täytetyn lomakkeen pohjalta. Lomakkeeseen täytyy kerätä uudesta projektista kapasiteetti-, paino-, pituus- ja materiaalitiedot. Lomakkeen täytön jälkeen on käytettävä toista makroa, että työkalun parametrit päivittyvät. Työkalun tarkkuuden oletetaan parantuvan uusien projektien lisäämisen myötä.

```

Microsoft Visual Basic for Applications - Process_piping_estimation_tool_V4.xlsm - [Module1 (Code)]
Type a question for help

Project - VBAProject
VBAProject (Process_piping_estimation_tool_V4.xlsm)
  Microsoft Excel Objects
  Modules
  Module1
  Module2
  Module5

[General] ASMEupdate

ActiveWindow.SmallScroll Down:=-9
Range("D22").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("A36").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range( _
"D22:AA22,D24:AA24,D26:AA26,D28:AA28,D30:AA30,D32:AA32,D34:AA34,D36:AA36,D38:AA38,D40:AA40,D42:AA42,D44:AA44,D46:AA46,D48:AA48,D50:AA50,D52:AA52,D54:AA54,D56:AA56,D58:AA58,D60:AA60,D62:AA62,D64:AA64,D66:AA66,D68:AA68,D70:AA70,D72:AA72,D74:AA74,D76:AA76,D78:AA78,D80:AA80,D82:AA82,D84:AA84,D86:AA86,D88:AA88,D90:AA90,D92:AA92,D94:AA94,D96:AA96,D98:AA98,D100:AAA0,D102:AAA2,D104:AAA4,D106:AAA6,D108:AAA8,D110:AAA10,D112:AAA12,D114:AAA14,D116:AAA16,D118:AAA18,D120:AAA20,D122:AAA22,D124:AAA24,D126:AAA26,D128:AAA28,D130:AAA30,D132:AAA32,D134:AAA34,D136:AAA36,D138:AAA38,D140:AAA40,D142:AAA42,D144:AAA44,D146:AAA46,D148:AAA48,D150:AAA50,D152:AAA52,D154:AAA54,D156:AAA56,D158:AAA58,D160:AAA60,D162:AAA62,D164:AAA64,D166:AAA66,D168:AAA68,D170:AAA70,D172:AAA72,D174:AAA74,D176:AAA76,D178:AAA78,D180:AAA80,D182:AAA82,D184:AAA84,D186:AAA86,D188:AAA88,D190:AAA90,D192:AAA92,D194:AAA94,D196:AAA96,D198:AAA98,D200:AAAA0,D202:AAAA2,D204:AAAA4,D206:AAAA6,D208:AAAA8,D210:AAAA10,D212:AAAA12,D214:AAAA14,D216:AAAA16,D218:AAAA18,D220:AAAA20,D222:AAAA22,D224:AAAA24,D226:AAAA26,D228:AAAA28,D230:AAAA30,D232:AAAA32,D234:AAAA34,D236:AAAA36,D238:AAAA38,D240:AAAA40,D242:AAAA42,D244:AAAA44,D246:AAAA46,D248:AAAA48,D250:AAAA50,D252:AAAA52,D254:AAAA54,D256:AAAA56,D258:AAAA58,D260:AAAA60,D262:AAAA62,D264:AAAA64,D266:AAAA66,D268:AAAA68,D270:AAAA70,D272:AAAA72,D274:AAAA74,D276:AAAA76,D278:AAAA78,D280:AAAA80,D282:AAAA82,D284:AAAA84,D286:AAAA86,D288:AAAA88,D290:AAAA90,D292:AAAA92,D294:AAAA94,D296:AAAA96,D298:AAAA98,D300:AAAA100,D302:AAAA102,D304:AAAA104,D306:AAAA106,D308:AAAA108,D310:AAAA110,D312:AAAA112,D314:AAAA114,D316:AAAA116,D318:AAAA118,D320:AAAA120,D322:AAAA122,D324:AAAA124,D326:AAAA126,D328:AAAA128,D330:AAAA130,D332:AAAA132,D334:AAAA134,D336:AAAA136,D338:AAAA138,D340:AAAA140,D342:AAAA142,D344:AAAA144,D346:AAAA146,D348:AAAA148,D350:AAAA150,D352:AAAA152,D354:AAAA154,D356:AAAA156,D358:AAAA158,D360:AAAA160,D362:AAAA162,D364:AAAA164,D366:AAAA166,D368:AAAA168,D370:AAAA170,D372:AAAA172,D374:AAAA174,D376:AAAA176,D378:AAAA178,D380:AAAA180,D382:AAAA182,D384:AAAA184,D386:AAAA186,D388:AAAA188,D390:AAAA190,D392:AAAA192,D394:AAAA194,D396:AAAA196,D398:AAAA198,D400:AAAA200,D402:AAAA202,D404:AAAA204,D406:AAAA206,D408:AAAA208,D410:AAAA210,D412:AAAA212,D414:AAAA214,D416:AAAA216,D418:AAAA218,D420:AAAA220,D422:AAAA222,D424:AAAA224,D426:AAAA226,D428:AAAA228,D430:AAAA230,D432:AAAA232,D434:AAAA234,D436:AAAA236,D438:AAAA238,D440:AAAA240,D442:AAAA242,D444:AAAA244,D446:AAAA246,D448:AAAA248,D450:AAAA250,D452:AAAA252,D454:AAAA254,D456:AAAA256,D458:AAAA258,D460:AAAA260,D462:AAAA262,D464:AAAA264,D466:AAAA266,D468:AAAA268,D470:AAAA270,D472:AAAA272,D474:AAAA274,D476:AAAA276,D478:AAAA278,D480:AAAA280,D482:AAAA282,D484:AAAA284,D486:AAAA286,D488:AAAA288,D490:AAAA290,D492:AAAA292,D494:AAAA294,D496:AAAA296,D498:AAAA298,D500:AAAA300,D502:AAAA302,D504:AAAA304,D506:AAAA306,D508:AAAA308,D510:AAAA310,D512:AAAA312,D514:AAAA314,D516:AAAA316,D518:AAAA318,D520:AAAA320,D522:AAAA322,D524:AAAA324,D526:AAAA326,D528:AAAA328,D530:AAAA330,D532:AAAA332,D534:AAAA334,D536:AAAA336,D538:AAAA338,D540:AAAA340,D542:AAAA342,D544:AAAA344,D546:AAAA346,D548:AAAA348,D550:AAAA350,D552:AAAA352,D554:AAAA354,D556:AAAA356,D558:AAAA358,D560:AAAA360,D562:AAAA362,D564:AAAA364,D566:AAAA366,D568:AAAA368,D570:AAAA370,D572:AAAA372,D574:AAAA374,D576:AAAA376,D578:AAAA378,D580:AAAA380,D582:AAAA382,D584:AAAA384,D586:AAAA386,D588:AAAA388,D590:AAAA390,D592:AAAA392,D594:AAAA394,D596:AAAA396,D598:AAAA398,D600:AAAA400,D602:AAAA402,D604:AAAA404,D606:AAAA406,D608:AAAA408,D610:AAAA410,D612:AAAA412,D614:AAAA414,D616:AAAA416,D618:AAAA418,D620:AAAA420,D622:AAAA422,D624:AAAA424,D626:AAAA426,D628:AAAA428,D630:AAAA430,D632:AAAA432,D634:AAAA434,D636:AAAA436,D638:AAAA438,D640:AAAA440,D642:AAAA442,D644:AAAA444,D646:AAAA446,D648:AAAA448,D650:AAAA450,D652:AAAA452,D654:AAAA454,D656:AAAA456,D658:AAAA458,D660:AAAA460,D662:AAAA462,D664:AAAA464,D666:AAAA466,D668:AAAA468,D670:AAAA470,D672:AAAA472,D674:AAAA474,D676:AAAA476,D678:AAAA478,D680:AAAA480,D682:AAAA482,D684:AAAA484,D686:AAAA486,D688:AAAA488,D690:AAAA490,D692:AAAA492,D694:AAAA494,D696:AAAA496,D698:AAAA498,D700:AAAA500,D702:AAAA502,D704:AAAA504,D706:AAAA506,D708:AAAA508,D710:AAAA510,D712:AAAA512,D714:AAAA514,D716:AAAA516,D718:AAAA518,D720:AAAA520,D722:AAAA522,D724:AAAA524,D726:AAAA526,D728:AAAA528,D730:AAAA530,D732:AAAA532,D734:AAAA534,D736:AAAA536,D738:AAAA538,D740:AAAA540,D742:AAAA542,D744:AAAA544,D746:AAAA546,D748:AAAA548,D750:AAAA550,D752:AAAA552,D754:AAAA554,D756:AAAA556,D758:AAAA558,D760:AAAA560,D762:AAAA562,D764:AAAA564,D766:AAAA566,D768:AAAA568,D770:AAAA570,D772:AAAA572,D774:AAAA574,D776:AAAA576,D778:AAAA578,D780:AAAA580,D782:AAAA582,D784:AAAA584,D786:AAAA586,D788:AAAA588,D790:AAAA590,D792:AAAA592,D794:AAAA594,D796:AAAA596,D798:AAAA598,D800:AAAA600,D802:AAAA602,D804:AAAA604,D806:AAAA606,D808:AAAA608,D810:AAAA610,D812:AAAA612,D814:AAAA614,D816:AAAA616,D818:AAAA618,D820:AAAA620,D822:AAAA622,D824:AAAA624,D826:AAAA626,D828:AAAA628,D830:AAAA630,D832:AAAA632,D834:AAAA634,D836:AAAA636,D838:AAAA638,D840:AAAA640,D842:AAAA642,D844:AAAA644,D846:AAAA646,D848:AAAA648,D850:AAAA650,D852:AAAA652,D854:AAAA654,D856:AAAA656,D858:AAAA658,D860:AAAA660,D862:AAAA662,D864:AAAA664,D866:AAAA666,D868:AAAA668,D870:AAAA670,D872:AAAA672,D874:AAAA674,D876:AAAA676,D878:AAAA678,D880:AAAA680,D882:AAAA682,D884:AAAA684,D886:AAAA686,D888:AAAA688,D890:AAAA690,D892:AAAA692,D894:AAAA694,D896:AAAA696,D898:AAAA698,D900:AAAA700,D902:AAAA702,D904:AAAA704,D906:AAAA706,D908:AAAA708,D910:AAAA710,D912:AAAA712,D914:AAAA714,D916:AAAA716,D918:AAAA718,D920:AAAA720,D922:AAAA722,D924:AAAA724,D926:AAAA726,D928:AAAA728,D930:AAAA730,D932:AAAA732,D934:AAAA734,D936:AAAA736,D938:AAAA738,D940:AAAA740,D942:AAAA742,D944:AAAA744,D946:AAAA746,D948:AAAA748,D950:AAAA750,D952:AAAA752,D954:AAAA754,D956:AAAA756,D958:AAAA758,D960:AAAA760,D962:AAAA762,D964:AAAA764,D966:AAAA766,D968:AAAA768,D970:AAAA770,D972:AAAA772,D974:AAAA774,D976:AAAA776,D978:AAAA778,D980:AAAA780,D982:AAAA782,D984:AAAA784,D986:AAAA786,D988:AAAA788,D990:AAAA790,D992:AAAA792,D994:AAAA794,D996:AAAA796,D998:AAAA798,D1000:AAAA800,D1002:AAAA802,D1004:AAAA804,D1006:AAAA806,D1008:AAAA808,D1010:AAAA810,D1012:AAAA812,D1014:AAAA814,D1016:AAAA816,D1018:AAAA818,D1020:AAAA820,D1022:AAAA822,D1024:AAAA824,D1026:AAAA826,D1028:AAAA828,D1030:AAAA830,D1032:AAAA832,D1034:AAAA834,D1036:AAAA836,D1038:AAAA838,D1040:AAAA840,D1042:AAAA842,D1044:AAAA844,D1046:AAAA846,D1048:AAAA848,D1050:AAAA850,D1052:AAAA852,D1054:AAAA854,D1056:AAAA856,D1058:AAAA858,D1060:AAAA860,D1062:AAAA862,D1064:AAAA864,D1066:AAAA866,D1068:AAAA868,D1070:AAAA870,D1072:AAAA872,D1074:AAAA874,D1076:AAAA876,D1078:AAAA878,D1080:AAAA880,D1082:AAAA882,D1084:AAAA884,D1086:AAAA886,D1088:AAAA888,D1090:AAAA890,D1092:AAAA892,D1094:AAAA894,D1096:AAAA896,D1098:AAAA898,D1100:AAAA900,D1102:AAAA902,D1104:AAAA904,D1106:AAAA906,D1108:AAAA908,D1110:AAAA910,D1112:AAAA912,D1114:AAAA914,D1116:AAAA916,D1118:AAAA918,D1120:AAAA920,D1122:AAAA922,D1124:AAAA924,D1126:AAAA926,D1128:AAAA928,D1130:AAAA930,D1132:AAAA932,D1134:AAAA934,D1136:AAAA936,D1138:AAAA938,D1140:AAAA940,D1142:AAAA942,D1144:AAAA944,D1146:AAAA946,D1148:AAAA948,D1150:AAAA950,D1152:AAAA952,D1154:AAAA954,D1156:AAAA956,D1158:AAAA958,D1160:AAAA960,D1162:AAAA962,D1164:AAAA964,D1166:AAAA966,D1168:AAAA968,D1170:AAAA970,D1172:AAAA972,D1174:AAAA974,D1176:AAAA976,D1178:AAAA978,D1180:AAAA980,D1182:AAAA982,D1184:AAAA984,D1186:AAAA986,D1188:AAAA988,D1190:AAAA990,D1192:AAAA992,D1194:AAAA994,D1196:AAAA996,D1198:AAAA998,D1200:AAAA1000,D1202:AAAA1002,D1204:AAAA1004,D1206:AAAA1006,D1208:AAAA1008,D1210:AAAA1010,D1212:AAAA1012,D1214:AAAA1014,D1216:AAAA1016,D1218:AAAA1018,D1220:AAAA1020,D1222:AAAA1022,D1224:AAAA1024,D1226:AAAA1026,D1228:AAAA1028,D1230:AAAA1030,D1232:AAAA1032,D1234:AAAA1034,D1236:AAAA1036,D1238:AAAA1038,D1240:AAAA1040,D1242:AAAA1042,D1244:AAAA1044,D1246:AAAA1046,D1248:AAAA1048,D1250:AAAA1050,D1252:AAAA1052,D1254:AAAA1054,D1256:AAAA1056,D1258:AAAA1058,D1260:AAAA1060,D1262:AAAA1062,D1264:AAAA1064,D1266:AAAA1066,D1268:AAAA1068,D1270:AAAA1070,D1272:AAAA1072,D1274:AAAA1074,D1276:AAAA1076,D1278:AAAA1078,D1280:AAAA1080,D1282:AAAA1082,D1284:AAAA1084,D1286:AAAA1086,D1288:AAAA1088,D1290:AAAA1090,D1292:AAAA1092,D1294:AAAA1094,D1296:AAAA1096,D1298:AAAA1098,D1300:AAAA1100,D1302:AAAA1102,D1304:AAAA1104,D1306:AAAA1106,D1308:AAAA1108,D1310:AAAA1110,D1312:AAAA1112,D1314:AAAA1114,D1316:AAAA1116,D1318:AAAA1118,D1320:AAAA1120,D1322:AAAA1122,D1324:AAAA1124,D1326:AAAA1126,D1328:AAAA1128,D1330:AAAA1130,D1332:AAAA1132,D1334:AAAA1134,D1336:AAAA1136,D1338:AAAA1138,D1340:AAAA1140,D1342:AAAA1142,D1344:AAAA1144,D1346:AAAA1146,D1348:AAAA1148,D1350:AAAA1150,D1352:AAAA1152,D1354:AAAA1154,D1356:AAAA1156,D1358:AAAA1158,D1360:AAAA1160,D1362:AAAA1162,D1364:AAAA1164,D1366:AAAA1166,D1368:AAAA1168,D1370:AAAA1170,D1372:AAAA1172,D1374:AAAA1174,D1376:AAAA1176,D1378:AAAA1178,D1380:AAAA1180,D1382:AAAA1182,D1384:AAAA1184,D1386:AAAA1186,D1388:AAAA1188,D1390:AAAA1190,D1392:AAAA1192,D1394:AAAA1194,D1396:AAAA1196,D1398:AAAA1198,D1400:AAAA1200,D1402:AAAA1202,D1404:AAAA1204,D1406:AAAA1206,D1408:AAAA1208,D1410:AAAA1210,D1412:AAAA1212,D1414:AAAA1214,D1416:AAAA1216,D1418:AAAA1218,D1420:AAAA1220,D1422:AAAA1222,D1424:AAAA1224,D1426:AAAA1226,D1428:AAAA1228,D1430:AAAA1230,D1432:AAAA1232,D1434:AAAA1234,D1436:AAAA1236,D1438:AAAA1238,D1440:AAAA1240,D1442:AAAA1242,D1444:AAAA1244,D1446:AAAA1246,D1448:AAAA1248,D1450:AAAA1250,D1452:AAAA1252,D1454:AAAA1254,D1456:AAAA1256,D1458:AAAA1258,D1460:AAAA1260,D1462:AAAA1262,D1464:AAAA1264,D1466:AAAA1266,D1468:AAAA1268,D1470:AAAA1270,D1472:AAAA1272,D1474:AAAA1274,D1476:AAAA1276,D1478:AAAA1278,D1480:AAAA1280,D1482:AAAA1282,D1484:AAAA1284,D1486:AAAA1286,D1488:AAAA1288,D1490:AAAA1290,D1492:AAAA1292,D1494:AAAA1294,D1496:AAAA1296,D1498:AAAA1298,D1500:AAAA1300,D1502:AAAA1302,D1504:AAAA1304,D1506:AAAA1306,D1508:AAAA1308,D1510:AAAA1310,D1512:AAAA1312,D1514:AAAA1314,D1516:AAAA1316,D1518:AAAA1318,D1520:AAAA1320,D1522:AAAA1322,D1524:AAAA1324,D1526:AAAA1326,D1528:AAAA1328,D1530:AAAA1330,D1532:AAAA1332,D1534:AAAA1334,D1536:AAAA1336,D1538:AAAA1338,D1540:AAAA1340,D1542:AAAA1342,D1544:AAAA1344,D1546:AAAA1346,D1548:AAAA1348,D1550:AAAA1350,D1552:AAAA1352,D1554:AAAA1354,D1556:AAAA1356,D1558:AAAA1358,D1560:AAAA1360,D1562:AAAA1362,D1564:AAAA1364,D1566:AAAA1366,D1568:AAAA1368,D1570:AAAA1370,D1572:AAAA1372,D1574:AAAA1374,D1576:AAAA1376,D1578:AAAA1378,D1580:AAAA1380,D1582:AAAA1382,D1584:AAAA1384,D1586:AAAA1386,D1588:AAAA1388,D1590:AAAA1390,D1592:AAAA1392,D1594:AAAA1394,D1596:AAAA1396,D1598:AAAA1398,D1600:AAAA1400,D1602:AAAA1402,D1604:AAAA1404,D1606:AAAA1406,D1608:AAAA1408,D1610:AAAA1410,D1612:AAAA1412,D1614:AAAA1414,D1616:AAAA1416,D1618:AAAA1418,D1620:AAAA1420,D1622:AAAA1422,D1624:AAAA1424,D1626:AAAA1426,D1628:AAAA1428,D1630:AAAA1430,D1632:AAAA1432,D1634:AAAA1434,D1636:AAAA1436,D1638:AAAA1438,D1640:AAAA1440,D1642:AAAA1442,D1644:AAAA1444,D1646:AAAA1446,D1648:AAAA1448,D1650:AAAA1450,D1652:AAAA1452,D1654:AAAA1454,D1656:AAAA1456,D1658:AAAA1458,D1660:AAAA1460,D1662:AAAA1462,D1664:AAAA1464,D1666:AAAA1466,D1668:AAAA1468,D1670:AAAA1470,D1672:AAAA1472,D1674:AAAA1474,D1676:AAAA1476,D1678:AAAA1478,D1680:AAAA1480,D1682:AAAA1482,D1684:AAAA1484,D1686:AAAA1486,D1688:AAAA1488,D1690:AAAA1490,D1692:AAAA1492,D1694:AAAA1494,D1696:AAAA1496,D1698:AAAA1498,D1700:AAAA1500,D1702:AAAA1502,D1704:AAAA1504,D1706:AAAA1506,D1708:AAAA1508,D1710:AAAA1510,D1712:AAAA1512,D1714:AAAA1514,D1716:AAAA1516,D1718:AAAA1518,D1720:AAAA1520,D1722:AAAA1522,D1724:AAAA1524,D1726:AAAA1526,D1728:AAAA1528,D1730:AAAA1530,D1732:AAAA1532,D1734:AAAA1534,D1736:AAAA1536,D1738:AAAA1538,D1740:AAAA1540,D1742:AAAA1542,D1744:AAAA1544,D1746:AAAA1546,D1748:AAAA1548,D1750:AAAA1550,D1752:AAAA1552,D1754:AAAA1554,D1756:AAAA1556,D1758:AAAA1558,D1760:AAAA1560,D1762:AAAA1562,D1764:AAAA1564,D1766:AAAA1566,D1768:AAAA1568,D1770:AAAA1570,D1772:AAAA1572,D1774:AAAA1574,D1776:AAAA1576,D1778:AAAA1578,D1780:AAAA1580,D1782:AAAA1582,D1784:AAAA1584,D1786:AAAA1586,D1788:AAAA1588,D1790:AAAA1590,D1792:AAAA1592,D1794:AAAA1594,D1796:AAAA1596,D1798:AAAA1598,D1800:AAAA1600,D1802:AAAA1602,D1804:AAAA1604,D1806:AAAA1606,D1808:AAAA1608,D1810:AAAA1610,D1812:AAAA1612,D1814:AAAA1614,D1816:AAAA1616,D1818:AAAA1618,D1820:AAAA1620,D1822:AAAA1622,D1824:AAAA1624,D1826:AAAA1626,D1828:AAAA1628,D1830:AAAA1630,D1832:AAAA1632,D1834:AAAA1634,D1836:AAAA1636,D1838:AAAA1638,D1840:AAAA1640,D1842:AAAA1642,D1844:AAAA1644,D1846:AAAA1646,D1848:AAAA1648,D1850:AAAA1650,D1852:AAAA1652,D1854:AAAA1654,D1856:AAAA1656,D1858:AAAA1658,D1860:AAAA1660,D1862:AAAA1662,D1864:AAAA1664,D1866:AAAA1666,D1868:AAAA1668,D1870:AAAA1670,D1872:AAAA1672,D1874:AAAA1674,D1876:AAAA1676,D1878:AAAA1678,D1880:AAAA1680,D1882:AAAA1682,D1884:AAAA1684,D1886:AAAA1686,D1888:AAAA1688,D1890:AAAA1690,D1892:AAAA1692,D1894:AAAA1694,D1896:AAAA1696,D1898:AAAA1698,D1900:AAAA1700,D1902:AAAA1702,D1904:AAAA1704,D1906:AAAA1706,D1908:AAAA1708,D1910:AAAA1710,D1912:AAAA1712,D1914:AAAA1714,D1916:AAAA1716,D1918:AAAA1718,D1920:AAAA1720,D1922:AAAA1722,D1924:AAAA1724,D1926:AAAA1726,D1928:AAAA1728,D1930:AAAA1730,D1932:AAAA1732,D1934:AAAA1734,D1936:AAAA1736,D1938:AAAA1738,D1940:AAAA1740,D1942:AAAA1742,D1944:AAAA1744,D1946:AAAA1746,D1948:AAAA1748,D1950:AAAA1750,D1952:AAAA1752,D1954:AAAA1754,D1956:AAAA1756,D1958:AAAA1758,D1960:AAAA1760,D1962:AAAA1762,D1964:AAAA1764,D1966:AAAA1766,D1968:AAAA1768,D1970:AAAA1770,D1972:AAAA1772,D1974:AAAA1774,D1976:AAAA1776,D1978:AAAA1778,D1980:AAAA1780,D1982:AAAA1782,D1984:AAAA1784,D1986:AAAA1786,D1988:AAAA1788,D1990:AAAA1790,D1992:AAAA1792,D1994:AAAA1794,D1996:AAAA1796,D1998:AAAA1798,D2000:AAAA1800,D2002:AAAA1802,D2004:AAAA1804,D2006:AAAA1806,D2008:AAAA1808,D2010:AAAA1810,D2012:AAAA1812,D2014:AAAA1814,D2016:AAAA1816,D2018:AAAA1818,D2020:AAAA1820,D2022:AAAA1822,D2024:AAAA1824,D2026:AAAA1826,D2028:AAAA1828,D2030:AAAA1830,D2032:AAAA1832,D2034:AAAA1834,D2036:AAAA1836,D2038:AAAA1838,D2040:AAAA1840,D2042:AAAA1842,D2044:AAAA1844,D2046:AAAA1846,D2048:AAAA1848,D2050:AAAA1850,D2052:AAAA1852,D2054:AAAA1854,D2056:AAAA1856,D2058:AAAA1858,D2060:AAAA1860,D2062:AAAA1862,D2064:AAAA1864,D2066:AAAA1866,D2068:AAAA1868,D2070:AAAA1870,D2072:AAAA1872,D2074:AAAA1874,D2076:AAAA1876,D2078:AAAA1878,D2080:AAAA1880,D2082:AAAA1882,D2084:AAAA1884,D2086:AAAA1886,D2088:AAAA1888,D2090:AAAA1890,D2092:AAAA1892,D2094:AAAA1894,D2096:AAAA1896,D2098:AAAA1898,D2100:AAAA1900,D2102:AAAA1902,D2104:AAAA1904,D2106:AAAA1906,D2108:AAAA1908,D2110:AAAA1910,D2112:AAAA1912,D2114:AAAA1914,D2116:AAAA1916,D2118:AAAA1918,D2120:AAAA1920,D2122:AAAA1922,D2124:AAAA1924,D2126:AAAA1926,D2128:AAAA1928,D2130:AAAA1930,D2132:AAAA1932,D2134:AAAA1934,D2136:AAAA1936,D2138:AAAA1938,D2140:AAAA1940,D2142:AAAA1942,D2144:AAAA1944,D2146:AAAA1946,D2148:AAAA1948,D2150:AAAA1950,D2152:AAAA1952,D2154:AAAA1954,D2156:AAAA1956,D2158:AAAA1958,D2160:AAAA1960,D2162:AAAA1962,D2164:AAAA1964,D2166:AAAA1966,D2168:AAAA1968,D2170:AAAA1970,D2172:AAAA1972,D2174:AAAA1974,D2176:AAAA1976,D2178:AAAA1978,D2180:AAAA1980,D2182:AAAA1982,D2184:AAAA1984,D2186:AAAA1986,D2188:AAAA1988,D2190:AAAA1990,D2192:AAAA1992,D2194:AAAA1994,D2196:AAAA1996,D2198:AAAA1998,D2200:AAAA2000,D2202:AAAA2002,D2204:AAAA2004,D2206:AAAA2006,D2208:AAAA2008,D2210:AAAA2010,D2212:AAAA2012,D2214:AAAA2014,D2216:AAAA2016,D2218:AAAA2018,D2220:AAAA2020,D2222:AAAA2022,D2224:AAAA2024,D2226:AAAA2026,D2228:AAAA2028,D2230:AAAA2030,D2232:AAAA2032,D2234:AAAA2034,D2236:AAAA2036,D2238:AAAA2038,D2240:AAAA2040,D2242:AAAA2042,D2244:AAAA2044,D2246:AAAA2046,D2248:AAAA2048,D2250:AAAA2050,D2252:AAAA2052,D2254:AAAA2054,D2256:AAAA2056,D2258:AAAA2058,D2260:AAAA2060,D2262:AAAA2062,D2264:AAAA2064,D2266:AAAA2066,D2268:AAAA2068,D2270:AAAA2070,D2272:AAAA2072,D2274:AAAA2074,D2276:AAAA2076,D2278:AAAA2078,D2280:AAAA2080,D2282:AAAA2082,D2284:AAAA2084,D2286:AAAA2086,D2288:AAAA2088,D2290:AAAA2090,D2292:AAAA2092,D2294:AAAA2094,D2296:AAAA2096,D2298:AAAA2098,D2300:AAAA2100,D2302:AAAA2102,D2304:AAAA2104,D2306:AAAA2106,D2308:AAAA2108,D2310:AAAA2110,D2312:AAAA2112,D2314:AAAA2114,D2316:AAAA2116,D2318:AAAA2118,D2320:AAAA2120,D2322:AAAA2122,D2324:AAAA2124,D2326:AAAA2126,D2328:AAAA2128,D2330:AAAA2130,D2332:AAAA2132,D2334:AAAA2134,D2336:AAAA2136,D2338:AAAA2138,D2340:AAAA2140,D2342:AAAA2142,D2344:AAAA2144,D2346:AAAA2146,D2348:AAAA2148,D2350:AAAA2150,D2352:AAAA2152,D2354:AAAA2154,D2356:AAAA2156,D2358:AAAA2158,D2360:AAAA2160,D2362:AAAA2162,D2364:AAAA2164,D2366:AAAA2166,D2368:AAAA2168,D2370:AAAA2170,D2372:AAAA2172,D2374:AAAA2174,D2376:AAAA2176,D2378:AAAA2178,D2380:AAAA2180,D2382:AAAA2182,D2384:AAAA2184,D2386:AAAA2186,D2388:AAAA2188,D2390:AAAA2190,D2392:AAAA2192,D2394:AAAA2194,D2396:AAAA2196,D2398:AAAA2198,D2400:AAAA2200,D2402:AAAA2202,D2404:AAAA2204,D2406:AAAA2206,D2408:AAAA2208,D2410:AAAA2210,D
```


Project Name		TOTAL WEIGHT			
Capacity tss/d		Total Length	CS	SS	DUPLEX
Auxiliary Steam Piping	621				
Condensate Pipes	622				
Compressed Air Piping	623				
Air Piping	624				
Water Piping	625				
Vent, Drain & Overflow piping	626				
Condensate Piping	627				
Auxiliary System Piping	629				
Fuel Piping	631				
Other Liquor Piping	632				
Gas Piping	633				
Smelt Spouts With Cool. System	643				
Total		0	0	0	0

Average Tie-In weight	EN	ASME	kg/m	kg/m

New Project EN				
WBS	DN	Total	Average Weight	
621-Auxiliary Steam Piping		621	0	0.0
622-Condensate Pipes		622	0	0.0
623-Compressed Air Piping		623	0	0.0
624-Air Piping		624	0	0.0
625-Water Piping		625	0	0.0
626-Vent, Drain & Overflow piping		626	0	0.0
627-Condensate Piping		627	0	0.0
629-Auxiliary System Piping		629	0	0.0
631-Fuel Piping		631	0	0.0
632-Other Liquor Piping		632	0	0.0
633-Gas Piping		633	0	0.0
643-Smelt Spouts With Cool. System		643	0	0.0

New Project ASME				
WBS	DN	Total	Average Weight	
621-Auxiliary Steam Piping		621	0	0.0
622-Condensate Pipes		622	0	0.0
623-Compressed Air Piping		623	0	0.0
624-Air Piping		624	0	0.0
625-Water Piping		625	0	0.0
626-Vent, Drain & Overflow piping		626	0	0.0
627-Condensate Piping		627	0	0.0
629-Auxiliary System Piping		629	0	0.0
631-Fuel Piping		631	0	0.0
632-Other Liquor Piping		632	0	0.0
633-Gas Piping		633	0	0.0
643-Smelt Spouts With Cool. System		643	0	0.0

Kuva 12. Soodakattilaprojektin lomake

Standardin valintaominaisuus otettiin huomioon luomalla työkaluun makrot, jotka muuttavat käsiteltävän laskennan EN- tai ASME-perusteiseksi. Lisäksi luotiin pudotusvalikoita, joiden mukaan standardia voi vaihtaa jaoskohtaisesti. Remonttitapauksia varten luotiin sarake, josta pystytään valitsemaan mukaan laskettavat jaokset. Esimerkiksi hajukaasujärjestelmän ja savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmän modernisoinnissa saadaan laskenta rajattua koskemaan vain kyseisiä järjestelmiä.

Työkaluun lisättiin mahdollisuus valita omia parametreja eri jaosten painoille. Tällä ominaisuudella on mahdollista muuttaa työkalun tuottamia arvoja oikeaan suuntaan, mikäli projektista on saatu ennakkotietoa. Ennakkotieto voi olla esimerkiksi jonkin jaoksen osan (polttoaineputkiston maakaasulinjan) puuttuminen.

Työkaluun kehitettiin myös makro, jonka avulla työkalun tuottaman sisällön voi muuntaa dokumentoitavaan PDF-tiedostomuotoon. Makro piilottaa työkalussa olevia käyttöohjeita ja ylimääräisiä välilaskentavaihtoehtoja ja luo PDF-tiedoston käyttäjän valitsemaan kansioon. PDF-tiedoston luonnin jälkeen makro palauttaa työkalun alkuperäiseen muotoonsa.

7.2 Tulokset

Taulukosta 3 nähdään soodakattilaprojekti Santa Fen tulokset. Tulokset saatiin muuttamalla kolmea painoparametriä ja kahta pituusparametriä.

	Santa Fe					
	Paino			Pituus		
	Oikea paino	Laskettu paino	Erotus	Oikea pituus	Laskettu pituus	Erotus
Auxiliary Steam Piping	27.1 %	28.4 %	1.4 %	17.0 %	15.4 %	-1.6 %
Condensate Pipes	10.3 %	8.5 %	-1.9 %	12.2 %	11.9 %	-0.3 %
Compressed Air Piping	3.1 %	3.0 %	0.0 %	7.8 %	9.3 %	1.5 %
Air Piping	2.3 %	2.3 %	0.0 %	2.0 %	5.3 %	3.3 %
Water Piping	18.6 %	24.5 %	5.9 %	22.4 %	22.4 %	0.0 %
Vent.- , Drain-&Overflow piping	6.2 %	6.2 %	0.0 %	5.4 %	5.4 %	0.0 %
Condensate Piping	1.3 %	2.0 %	0.7 %	1.4 %	1.3 %	-0.1 %
Auxiliary System Piping	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Fuel Piping	14.6 %	14.3 %	-0.3 %	13.6 %	13.9 %	0.3 %
Other Liquor Piping	9.8 %	9.2 %	-0.5 %	8.2 %	6.7 %	-1.5 %
Gas Piping	4.5 %	4.5 %	0.0 %	6.1 %	8.6 %	2.4 %
Smelt Spouts With Cool. System	2.2 %	1.4 %	-0.8 %	3.7 %	3.7 %	0.0 %
Total	100.0 %	104.5 %	4.5 %	100.0 %	103.9 %	3.9 %

Taulukko 3. Soodakattilaprojekti Santa Fen tulokset

Eniten virhettä painon osalta oli vesiputkistossa. Virhe oli 5.9 prosenttiyksikköä. Pituudessa ei ollut huomattavia virheitä. Santa Fen eroavaisuuksia hajukaasuputkistojen osalta selittää stripperin hajukaasulinjan puuttuminen hajukaasuputkistosta ja apuhöyryputkiston osalta korkeamman keskipaineisen höyrylinjan puuttuminen.

Soodakattilaprojekti Obbolan tulokset saatiin muuttamalla yhtä painoparametriä ja yhtä pituusparametriä. Painoparametrin muutos oli suhteellisen iso. Ainoa huomattava virhe oli kokonaispainon virhe, joka oli 10.9 prosenttiyksikköä. Projektissa huomattavaa olivat turbiinihuoneen höyryputkistot, jotka lisäsivät apuhöyryputkiston painoa. Perinteisesti höyryputkistolinjat tuodaan soodakattilalle putkisiltaa pitkin tie-in -pisteeseen.

Soodakattilaprojekti Navian tulokset saatiin muuttamalla kolmea painoparametriä ja neljää pituusparametriä. Muutosten lukumäärästä voidaan todeta, että projekti poikkesi huomattavasti keskimääräisestä projektista. Huomattavia virheitä olivat apuhöyryputkiston painon virhe, joka oli 7.3 prosenttiyksikköä ja kondensaatioputkiston pituusvirhe, joka oli 11.2 prosenttiyksikköä. Apuhöyry- ja kondensaatioputkiston virhettä selittää höyryjakeluun tulevan putkilinjan huomattava paino, joka oli noin 50 prosenttiyksikköä koko apuhöyryputkiston painosta.

Soodakattilaprojekti Syktykarin tulokset saatiin muuttamalla kahta painoparametriä ja kolmea pituusparametriä. Huomattavia virheitä olivat polttoaineputkiston painon virhe, joka oli 11.2 prosenttiyksikköä ja vesiputkiston pituusvirhe, joka oli 7.3 prosenttiyksikköä. Polttoaineputkiston virhettä selittää maakaasuputkiston paino, joka oli noin 60 prosenttiyksikköä koko polttoaineputkiston painosta.

Soodakattilaprojekti Zhanjiangin tulokset saatiin muuttamalla yhtä pituusparametriä. Huomattavat virheet olivat hajukaasuputkiston painon ja pituuden virheet, jotka olivat 5.3 ja 5.6 prosenttiyksikköä. Hajukaasuputkiston virhettä selittää stripperin hajukaasulinjan puuttuminen hajukaasujärjestelmästä.

Soodakattilaprojekti Lajan tulokset saatiin muuttamalla kolmea painoparametriä ja yhtä pituusparametriä. Ainoa huomattava virhe oli putkiston kokonaispituudessa, joka oli 10.3 prosenttiyksikköä. Paineilmaputkiston pieni osuus näkyy tuloksissa.

Soodakattilaprojekti Iggesundin tulokset saatiin muuttamalla neljää painoparametriä ja kolmea pituusparametriä. Muutosten lukumäärästä voidaan todeta, että projekti erosi huomattavasti keskimääräisestä projektista. Ainoa huomattava virhe oli putkiston kokonaispituudessa. Virhe oli 7.4 prosenttiyksikköä. Virheitä ja eroavaisuutta selittää savukaasupesuri ja poltto- ja hukkalipeäsäiliöt. Savukaasupesuriin liittyvät vesi- ja tyhjennysputkistot toivat huomattavasti lisää painoa. Polttolipeä- ja hukkalipeälinjat kulkevat normaalisti putkisillan kautta haihduttamolle säiliöihin, mutta tässä projektissa säiliöt kuuluivat soodakattilan ympäristöön. Linjoista koostuvat putkistot toivat lisää painoa polttoaineputkistoihin ja muuhun lipeäputkistoon.

Soodakattilaprojekti Montes Del Platan tuloksia varten muihin parametreihin ei tarvinnut tehdä muutoksia, kuin tie-in -parametrin pituuteen, joka oli huomattava verrattuna muihin projekteihin. Ainoa huomattava virhe oli apuhöyryputkiston painossa. Virhe oli 5.9 prosenttiyksikköä.

Soodakattilaprojekti Frantschachin tulokset saatiin muuttamalla kuutta painoparametriä ja neljää pituusparametriä. Muutosten lukumäärästä voidaan todeta, että projekti erosi huomattavasti keskimääräisestä projektista. Huomattavat virheet olivat putkistojen kokonaispainoissa ja -pituuksissa. Virheet olivat 15.4 ja 11.7 prosenttiyksikköä. Eroavaisuuksia selittää korkeamman keskipaineisen höyrylinjan puuttuminen, joka vaikuttaa apuhöyry- ja kondensaatioputkistoihin. Kondensaatiosäiliön sijoittuminen lähelle tie-in -pistettä selittää lähtevän kondensaatioputkiston painon eroavaisuutta.

Soodakattilaprojekti Ruzomberokin tulokset saatiin muuttamalla yhtä painoparametriä. Huomattavia virheitä ei ollut.

Soodakattilaprojekti Swiecien tulokset saatiin muuttamalla yhtä painoparametriä ja kahta pituusparametriä. Huomattava virhe oli putkistojen kokonaispituuden virhe, joka oli 6.6 prosenttiyksikköä. Eroavaisuutta selittää savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmän sijoittuminen. Sijoittuminen aiheutti huomattavaa kasvua apujärjestelmäputkistojen painoissa ja pituuksissa.

Soodakattilaprojekti OKI:n tulokset saatiin muuttamalla yhtä painoparametriä. Huomattavaa virhettä ei ollut, mutta polttoaineputkiston eroavaisuutta selittää maakaasuputkiston puuttuminen, koska tässä kattilassa ei ole kuormapolttimia. Polttoaineputkiston painovirhe oli 4.1 prosenttiyksikköä.

Soodakattilaprojekti Fibrian tulokset saatiin muuttamalla kahta painoparametriä. Huomattavaa virhettä ei ollut, mutta hajukaasuputkiston virhettä selittää stripperin hajukaasulinjan puuttuminen hajukaasujärjestelmästä. Hajukaasuputkiston pituusvirhe oli 3.4 prosenttiyksikköä.

	Kaikki referenssisoodakattilat			
	Paino		Pituus	
	Virheiden keskiarvo	Maksimivirhe	Virheiden keskiarvo	Maksimivirhe
Auxiliary Steam Piping	-0.8 %	-7.3 %	0.4 %	2.0 %
Condensate Pipes	0.0 %	-4.1 %	0.5 %	11.2 %
Compressed Air Piping	0.1 %	1.6 %	0.2 %	4.9 %
Air Piping	1.3 %	3.9 %	0.1 %	3.3 %
Water Piping	0.7 %	5.9 %	1.0 %	7.3 %
Vent.- , Drain-&Overflow piping	-0.1 %	6.3 %	-0.5 %	-4.1 %
Condensate Piping	-0.1 %	-2.8 %	0.0 %	-1.2 %
Auxiliary System Piping	-0.4 %	-4.4 %	-0.8 %	-3.4 %
Fuel Piping	0.8 %	-11.2 %	0.0 %	-2.8 %
Other Liquor Piping	0.5 %	3.6 %	0.5 %	-4.9 %
Gas Piping	-0.2 %	-5.3 %	0.4 %	-5.6 %
Smelt Spouts With Cool. System	0.5 %	1.3 %	0.5 %	-3.1 %
Total	2.3 %	15.4 %	2.3 %	13.3 %

Taulukko 4. Virheiden keskiarvo- ja maksimivirhetaulukko

Kuten taulukosta 4 nähdään, kaikkien referenssisoodakattilaprojektien painojen virheiden keskiarvo oli 2.3 prosenttiyksikköä ja maksimivirhe oli 15.4 prosenttiyksikköä. Pituuksien virheiden keskiarvo oli 2.3 prosenttiyksikköä ja maksimivirhe oli 13.3 prosenttiyksikköä. Maksimivirheet olivat pienen kokoluokan soodakattilassa. Maksimivirheiden perusteella kyseinen soodakattila on huomattavasti laskennasta poikkeava.

7.3 Yhteenveto

ANDRITZ Oy:ltä saadun opinnäytetyön aiheena oli soodakattiloiden prosessiputkistojen estimaatio-työkalun kehittäminen. Opinnäytetyön tavoitteena oli koota 13 soodakattilaprojektista paino-, pituus- ja materiaalitiedot ja luoda työkalu, joka laskee arvion erikokoisten soodakattilaprojektien prosessiputkistojen painot, pituudet ja materiaalit mahdollisimman tarkasti ja luotettavasti. Työkalu luotiin jo olemassa olevien tietojen, uuskatilaprojektien, järjestelmien ja korjausprojektien prosessiputkistojen hinnoittelun tueksi.

Työkalun kehitys meni odotetusti, joskin materiaalin kerääminen vanhoista projekteista oli osittain hankalaa puuttuvien tietojen takia. Laskentastrategioita piti toteuttaa useammalla tavalla ennen kuin oikeat algoritmit ja funktiot työkaluun löytyivät. Varsinkin parametrien määrittämisessä oli testattava useita parametrikombinaatioita.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi referenssitaulukko ja estimaatiotyökalu. Referenssitaulukosta pystytään vertailemaan prosessiputkistojen pituuksia, painoja ja materiaaleja, mikäli uudet soodakattilaprojektit ovat kapasiteetiltaan samankokoisia kuin referenssitaulukoon valitut soodakattilat. Tuloksena syntynyt työkalu pystyy laskemaan arvion erikokoisten soodakattiloiden prosessiputkistojen painoille, pituuksille ja materiaaleille. Työkalun paikkaansa pitävyys nähdään vasta myöhemmin, kun työkalua käytetään hinnoittelussa teknisen asiantuntevuuden tukena. Taulukosta 4 (s. 28) nähtävien virheiden keskiarvojen ja maksimivirheen mukaan voidaan todeta ennusteen olevan hyvin paikkaansa pitävä. Työkalun tulokset riippuvat uusien projektien toimitusrajoista ja varsinkin toimitusrajojen tuomien muutosten huomioon ottamisessa laskelmissa. Toimitusrajojen ja lähtötietojen täsmällisyys on riippuvainen informaation kulusta eri osastojen välillä. Hinnoittelun edetessä, mahdolliset toimitusrajamuutokset voidaan ottaa huomioon revisioimalla uusi laskentapohja. Työkalun käyttäminen on käyttäjälle helppoa, joustavaa ja aikaa säästävää.

Jatkossa työkalua kehitetään vähintäänkin projektien lisäämisen muodossa. Työkalu tullaan esittelemään myynti- ja teknologiapalaverissa, josta saadaan lisää kehitysnäkökulmia työkalun varsinaisilta käyttäjiltä. Työkalun tehtävänä on toimia suunnantajana hinnoittelussa varsinaisen teknisen asiantuntevuuden ollessa perustana, mutta käyttökokemuksen karttuessa päämääränä on tehtävien kääntyminen päinvastoin.

Jo tässä vaiheessa voidaan todeta, että työkalua pitäisi kehittää ainakin kahden asian kannalta. Työkalu pitäisi saada kattamaan myös putkistokannakkeiden painot ja putkistojen hinnat. Kannakkeiden painot ovat riippuvaisia kannakointiin liittyvistä standardeista, putkien pituuksista ja painoista, joten kannakkeiden arviointia varten olisi luotava samankaltainen referenssitaulukko, jonka pohjalta pystyttäisiin määrittämään kannakkeiden paino- ja määräparametrit. Putkistojen hintoja varten olisi kehitettävä toteutuneita kustannushintoja edellisistä soodakattilaprojekteista. Toteutuneet tiedot voisi liittää työkaluun erilliseksi funktioksi.

LÄHTEET

ANDRITZ Oy, Intranet [Viitattu 2017-02-08.]

ASME B31.3-2014, Process Piping, ASME code for Pressure Piping, B31, The American Society of Mechanical Engineers

ASME B36.10M-2015, Welded and Seamless Wrought Steel Pipe, The American Society of Mechanical Engineers

ASME B36.19M-2004, Stainless Steel Pipe, The American Society of Mechanical Engineers

KnowPulp, [Viitattu 2017-02-11.] Saatavissa: <http://www.knowpulp.com>

SFS-EN 13480-3:2012, Metallic industrial piping, Part 3: Design and calculation, Suomen Standardisoimisliitto, Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry

SFS-EN 10217-7:2014, Welded steel tubes for pressure purposes. Technical delivery conditions. Part 7: Stainless steel tubes, Suomen Standardisoimisliitto, Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry

SFS-EN 10216-2:2014 Seamless steel tubes for pressure purposes. Technical delivery conditions. Part 2: Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties, Suomen Standardisoimisliitto, Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys

Vakkilainen, Esa K. 2005. Kraft recovery boilers - Principles and practice. Suomen Soodakatilayhdistys r.y., Valopaino Oy, Helsinki, Finland.