

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

SOODAKATTILAN ELINKAARIANALYYSI

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

TIIVISTELMÄ

Soodakattilan elinkaarianalyysi

Hakusanat: sellutehdas, soodakattila, elinkaarianalyysi, kapasiteetinnosto, päästörajat

84 sivua, 28 kuvaa ja 4 liitettä

Cay Gunnila

Diplomityö, 2020

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tarkastaja: Prof. Esa Vakkilainen
Ohjaaja: DI Markku Kauppinen

Tässä diplomityössä ollaan tutkittu Kaukaan sellutehtaan vuonna 1991 rakennetun soodakattilan käyttöiän loppuajan näkymiä. Näkymiä tutkimalla saatiin luotua elinkaarimalli siihen mitä soodakattilan painerungon osia sekä oheislaitteita joudutaan uusimaan, jotta kattilan käyttöä voitaisiin jatkaa vuoteen 2035 - 2040 sellutehtaan nykyisellä 770 000 tonnin kapasiteetilla. Elinkaarimalli pyrittiin luomaan optimoimalla soodakattilan suurimpien komponenttien investoinnit mahdollisimman kustannustehokkaiksi sekä niin, että investoinneista saataisiin mahdollisimman suuri hyöty soodakattilan käyttöiän loppuun asti.

Työssä luotiin nykyisen tilanteen lisäksi kolme muuta elinkaarimallia, joissa tutkittiin mistä soodakattilan osista muodostuu mahdollisesti rajoittavia tekijöitä sellutehtaan kapasiteetin noustessa 800 000, 830 000 tai 860 000 tonniin vuodessa.

Lisäksi elinkaarimallin yksi tarkastelunäkökanta oli soodakattilan päästörajat. Työssä arvioitiin mitä soodakattilalle pitää mahdollisesti investoida vuoteen 2030 mennessä, jotta mahdollisesti tiukentuvat päästörajat pystytään saavuttamaan nykyisellä sellutehtaan kapasiteetilla sekä mahdollisten kapasiteetinnostojen yhteydessä.

ABSTRACT

Recovery boiler life cycle analysis

Keywords: pulp mill, recovery boiler, life cycle analysis, production growth, emission limits

84 pages, 28 figures and 4 appendices

Cay Gunnila,

Master's thesis, 2020

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Degree Program in Energy Technology

Examiner: Professor, Ph.D. Esa Vakkilainen
Instructor: M.Sc. (Tech) Markku Kauppinen

In this master's thesis the prospects for the end of the service life of a recovery boiler built in 1991 at the Kaukas pulp mill have been studied. By studying, the prospects a life cycle model was created for which parts of the recovery boiler pressure body and peripherals will have to be renewed in order to continue the use of the boiler until 2035-2040 with the pulp mill's current capacity of 770,000 tons. The aim was to create a life cycle model by optimizing the investments of the largest components of the recovery boiler as cost-effectively as possible and so as to maximize the benefits of the investments until the end of the life time of the recovery boiler.

In addition to the current situation, three other life cycle models were created in the study, which examined which parts of a recovery boiler form potentially limiting production when the capacity of a pulp mill increases to 800,000, 830,000 or 860,000 tons per year.

In addition, one aspect of the life cycle model was the emission limits for recovery boiler. The work assessed what might need to be invested in the recovery boiler by 2030 in order to be able to meet the possible tightening emission limits with the current pulp mill capacity and in connection with possible capacity increases.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty UPM-Kymmene Oyj:lle Lappeenrannan Kaukaan sellutehtaalla keväällä 2020.

Kiitän lopputyöni tarkastajaa professori Esa Vakkilaista ja Markku Kauppista ohjauksesta diplomityössä sekä tutkijaopettaja Ahti Jaatinen-Värriä opintojen ohjaamisesta yleisesti. UPM-Kymmene Oyj:lle kuuluu kiitos siitä, että yhtiö mahdollisti joustavuuden työnantajan puolelta työnohessa opiskeluilleni.

Opiskelut suoritin Entedi-ohjelmassa ja pääsääntöisesti työni ohella. Entedi-ohjelma on loistava mahdollisuus henkilöille, jotka haluavat opiskella työnsä ohella maisterivaiheen. Voinkin lämpimästi suositella kaikille jatko-opinnoista kiinnostuneille tätä vaihtoehtoa.

Opiskelut aloittaessani vuoden 2018 syksyllä tavoitteenani oli valmistua 1,5 vuodessa. Tavoite oli kohtuullisen haastava perheelliselle ja töissä käyvälle miehelle. Tavoite kuitenkin lähestulkoon saavutettiin ja siitä haluan muistaa eniten Karoliinaa, Emiliaa ja Neaa. He antoivat minulle opiskelurauhan iltaisin ja viikonloppuisin sekä sopivaa vastapainoa työlle ja opiskeluille. Iso kunnia ja kiitos kuuluu teille rakas perhe!

Lappeenranta, 29.4.2020

Cay Gunnila

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	SOODAKATTILA.....	9
2.1	Soodakattilan toiminta.....	9
2.1.1	Kemikaalien regenerointiprosessi	10
2.1.2	Höyrykehitysprosessi	17
2.1.3	Sekundääriset prosessit	18
2.2	Soodakattilan rakenne	19
2.2.1	Painerunko	23
2.2.2	Tärkeimmät oheislaitteet.....	31
3	KAUKAAN SOODAKATTILAN HISTORIA	46
3.1	Kaukaan nykyinen soodakattila.....	47
3.2	Kaukaan nykyisen soodakattilan vauriot.....	47
3.3	Kaukaan nykyisen soodakattilan muutostyöt	49
4	ELINKAARIMALLIT TUOTANNOLLISESSA MIELESSÄ.....	52
4.1	Nykytilanne	52
4.1.1	Vuoden 2020 huoltoseisokki.....	53
4.1.2	Vuoden 2022 huoltoseisokki.....	54
4.1.3	Vuoden 2024 huoltoseisokki.....	56
4.1.4	Vuoden 2026 huoltoseisokki.....	60
4.1.5	Vuoden 2028 huoltoseisokki.....	60
4.1.6	Vuosien 2030 – 2040 huoltoseisokit.....	62
4.2	Tilanne 800 000 tonnin sellutuotannolla	62
4.3	Tilanne 830 000 tonnin sellutuotannolla	63
4.4	Tilanne 860 000 tonnin sellutuotannolla	64
5	ELINKAARIMALLI PÄÄSTÖMIELESSÄ VUOTEEN 2030 MENNESSÄ.....	71
5.1	Päästörajojen vuoksi tehtävät investoinnit	72
5.1.1	Teollisuuden päästädirektiivi	72
5.1.2	Metsäteollisuuden BAT	73
5.1.3	Kaukaan sellutehtaan ympäristölupa	76
5.1.4	Investoinnit Kaukaan soodakattilaan ympäristö- ja energitehokkuusnäkökulmasta.....	77

6 YHTEENVETO 79

LÄHTEET 82

LIITTEET

Liite I	KAUKAAN VAURIOT
Liite II	SOODAKATTILAN TULIPESÄN POHJAN UUSINTAINVES- TOINTI
Liite III	LIUOTTAJAN HÖNKÄKAASUJEN POLTTOINVESTOINTI
Liite IV	5. SÄHKÖSUODATTIMEN KANNATTAVUUSLASKELMA

SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet

EU Euroopan Unioni

tDs/d Kuiva-ainetonnina päivässä

1 JOHDANTO

Sellutehdas tarvitsee toimiakseen paljon höyryä ja suurin osa tarvittavasta höyrystystä tuotetaan soodakattilalla. Soodakattila on sellutehtaan kallein yksittäinen komponentti, joten tavoitteena on pitää se aina toiminnassa lukuun ottamatta sellutehtaan vuosihuoltoseisokkeja. Pitkien ajojaksojen vuoksi soodakattilalle asetetaan kovat toimintavarmuusvaatimukset. Lisäksi soodakattilan on oltava aina mekaanisesti moitteettomassa kunnossa, jolloin sen käyttäminen on turvallista. Mikäli soodakattilan kunnosta ei huolehdi, saattaa sen käyttö muuttua vaaralliseksi ja tällöin esimerkiksi sulavesiräjähdyksen mahdollisuus kasvaa. Soodakattilan kuntoa valvotaan viranomaistarkastuksien sekä tehtaan teettämien tarkastuksien avulla. Tarkastukset tehdään vuosihuoltoseisokkien aikana, jolloin myös soodakattila on operoitu huoltoseisokkiin. Korkean käytettävyyssastetavoitteen sekä moitteettoman kuntovaatimuksen vuoksi soodakattilan painerungon sekä kattilan oheislaitteiden onkin oltava aina hyvässä kunnossa, jolloin niiden systemaattiseen kunnossapitoon panostetaan paljon.

Sellun kysyntä kasvaa maailmalla jatkuvasti, jolloin sellunhintaa ja tuotannon kannattavuus ovat mahdollistaneet sellutehtaiden kapasiteettiennostot Suomenkin sellutehtailla. Tehtaita etsitään selluntuotantoa rajoittavia tekijöitä, joihin investoimalla voidaan kasvattaa tuotantokapasiteettia. Lisääntynyt selluntuotanto tarkoittaa myös sellutehtaan lipeäkierron kasvua, jolloin talteenotto-osastolla käsiteltävän lipeän määrä kasvaa ja siten myös soodakattila kuormittuu enemmän. Sellutehtaiden kapasiteettiennostojen vuoksi monia soodakattiloita operoidaan jo reilusti suuremmalla kapasiteetilla kuin mitä kattilan alkuperäinen suunnittelukapasiteetti on ollut.

Maapallon lämpötilannousun seurauksena ympäristöpäästöihin kiinnitetään koko ajan enemmän huomiota. Näin ollen myös muun muassa sellutehtaiden ilmapäästörajoja on tiukennettu ja tullaan todennäköisesti tiukentamaan tulevaisuudessa vielä lisää. Tällöin soodakattila sellutehtaan suurimpana ilmapäästölähteenä on luonnollisesti tarkastelujen kohteena.

Tämän diplomityön tavoitteena on luoda suunnitelma Kaukaan sellutehtaan soodakattilan elinkaarelle. Ensimmäiseksi työssä pyritään kartoittamaan mahdollisimman hyvin mitä komponentteja Kaukaan soodakattilaan joudutaan vaihtamaan kunnossapidon vuoksi vielä sen elinkaaren aikana. Tärkeää tässä on huomioida kustannustehokkuus sekä milloin komponentteja vaihdetaan, jotta niistä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty irti soodakattilan elinkaaren loppuun asti.

Toiseksi työssä tarkastellaan Kaukaan soodakattilaa siitä näkökulmasta, että jos sellutehtaan kapasiteetti nousee tulevaisuudessa, niin mitä tällöin soodakattilaan joudutaan investoimaan, koska nykyisellä kattilan painerungon rakenteella sekä kattilan oheislaitteilla ei enää paljon suurempaa kuiva-ainemäärää pystytä läpäisemään nykyisellä laitteistolla. Tässä diplomityössä tarkastellaan kolmea eri suuruista kapasiteettipistettä nykyisen kapasiteetin lisäksi. Tarkastelun jälkeen olisi tarkoitus olla tiedossa kuinka korkealle sellutehtaan tuotanto voidaan nostaa soodakattilan puolesta.

Kolmanneksi työssä tarkastellaan Kaukaan soodakattilaa ympäristönäkökulmasta. Tarkastelulla pyritään arvioimaan minkälaisia investointeja nykyiselle laitteistolle kunnossapidollisesti pitää tehdä, sekä kuinka sellutehtaan mahdolliset tuotannonnostot ja tiukkenevat päästörajoitukset vaikuttavat esimerkiksi Kaukaan soodakattilan savukaasujen puhdistuslaitteistojen puhdistuskapasiteetin riittävyteen.

2 SOODAKATTILA

Soodakattilalla on merkittävä rooli sulfaattisellutehtaalla, koska sillä on kaksi tärkeää tehtävää sellutehtaan kannalta, tehtaan keittokemikaalien regenerointi ja energiantuotanto tehtaalle.

Sulfaattiselluolosuhteissa käytettävät keittokemikaalit ovat arvokkaita yhdisteitä, minkä vuoksi on taloudellisesti kannattavaa kierrättää kemikaalit uudelleenkäytettäviksi. Soodakattilassa poltettava mustalipeä sisältää tärkeitä kemikaaleja, jotka eivät kuitenkaan kelpaa sellaisenaan uudelleen keittokemikaaliksi. Tämän vuoksi soodakattilassa otetaan talteen keittokemikaalien sisältämä rikki ja natrium regeneroimalla ne uudelleen käytettävään muotoon tulipesän kuumissa olosuhteissa.

Soodakattilassa poltettava mustalipeä sisältää lisäksi orgaanisia aineksia, suurimmaksi osaksi ligniiniä, jolloin orgaanisen aineksen palamisreaktion tuloksena vapautuu lämpöä höyrykehitykseen sekä kemikaalien regenerointiin. Soodakattilan vesi-höyrypiiri toimii luonnonkiertoperiaatteella.

2.1 Soodakattilan toiminta

Soodakattilan pääpolttoaineena käytetään polttolipeää, jonka kuiva-aine on nykyaikaisilla soodakattiloilla 80 - 85 %. Polttolipeä esilämmitetään sopivaan lämpötilaan ennen soodakattilaan syöttöä ja se syötetään tulipesään lipeäruiskujen avulla.

Soodakattilalla toiminta voidaan jakaa kahteen primääriseen prosessitapahtumaan:

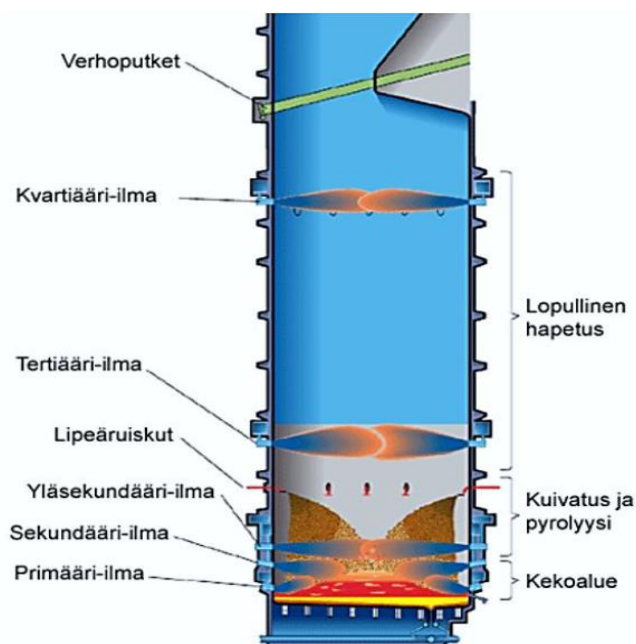
1. Polttolipeän sisältämien kemikaalien regenerointi palamisprosessin avulla.
2. Kattilaan syötettävän syöttöveden muuttaminen tulistetuksi korkeapainehöyryksi palamisprosessista syntyvän lämmön avulla.

Primääristen prosessitapahtumien lisäksi soodakattilaan liittyy sekundäärisiä prosessitapahtumia ja niitä ovat:

1. Väkevien sekä laimeiden hajukaasujen poltto ja niiden sisältämien rikkiyhdisteiden talteenotto.
2. Polttolipeän poltosta syntyvän tuhkasuolan talteenotto.
3. Tukipolttoaineen polttaminen tehtaan höyrytarpeen kattamiseksi.
4. Sulan muuttaminen viherlipeäksi liuottajassa.

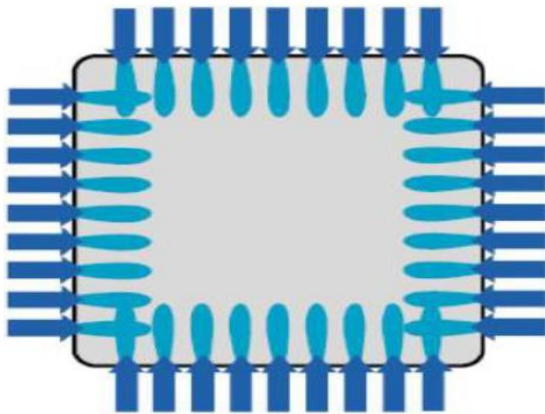
2.1.1 Kemikaalien regenointiprosessi

Soodakattilan palamisilmajärjestelmän tarkoituksena on taata tarvittava määrä happea palamisreaktioihin kattilan eri palamisvyöhykkeille. Soodakattilan palamisilmajärjestelmä muodostuu useasta palamisilmatasosta. Palamisilmatasot koostuvat puhaltimista, ilmakanavista, palamisilman höyrykäyttöisistä esilämmittimistä, säätöpelleistä ja prosessiarvojen mittauksista. Soodakattilan palamisilmatasot, eli ilmajako, jaetaan moderneissa kattiloissa primääri-, sekundääri-, tertiääri-, ja kvartiääri-ilmoihin. Kuvassa 1 on esitetty modernin soodakattilan ilmanjako.



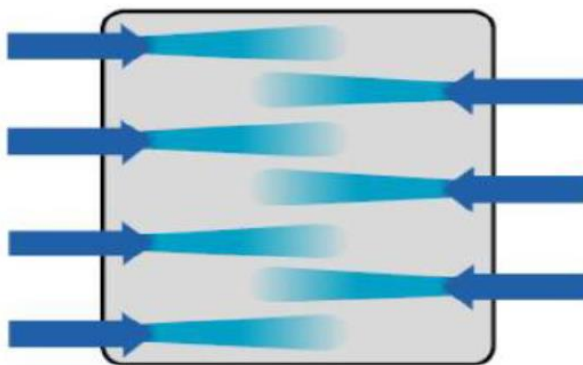
Kuva 1. Modernin soodakattilan ilmanjako (Knowpulp 2016)

Esilämmitetty primääri-ilma syötetään soodakattilan tulipesään jokaiselle seinällä sijoitettujen primääri-ilmasuuttimien kautta. Primääri-ilmasuuttimet sijaitsevat noin 1 - 1,5 metrin korkeudella soodakattilan tulipesän pohjasta. Kuvassa 2 on esitetty ylhäältä päin katsottuna primääri-ilmansyöttö. Primääri-ilman tarkoituksena on tuoda happea soodakattilan tulipesän pohjalla sijaitsevan sulakeon reunoille, jolloin sulakeon muotoa voidaan hallita. Lisäksi primääri-ilman tehtävänä on estää sulan pääseminen primääri-ilmakanavaan sekä pitää sulakeko riittävän kuumana ja sula juoksevana.



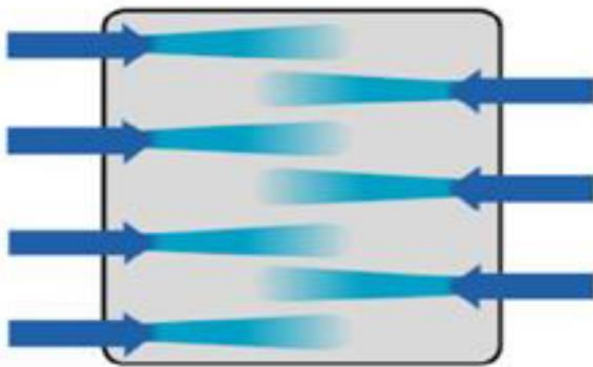
Kuva 2. Primääri-ilmasyöttö (Penttinen 2018)

Esilämmitetty sekundääri-ilma syötetään tulipesään yleensä kahdessa tasossa noin 1 - 4 metriä primääri-ilmatason yläpuolelle. Sekundääri-ilmansyöttö toteutetaan nykyään soodakattiloilla etu- ja takaseiniltä. Kuvassa 3 on esitetty ylhäältä päin katsottuna sekundääri-ilmansyöttö. Sekundääri-ilman tarkoituksena on hallita sulakeon korkeutta, tuoda happea haihtuvien aineiden ja koksen palamiseen sekä kemikaalien regenerointiin.



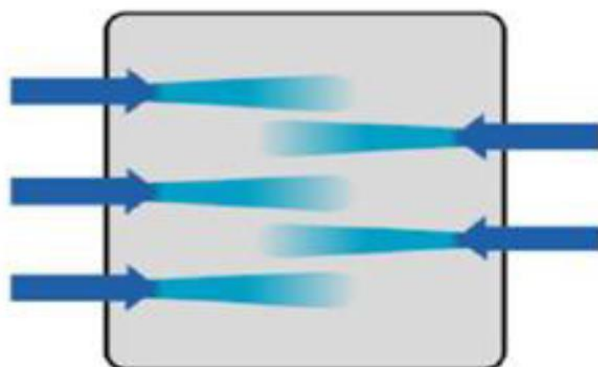
Kuva 3. Sekundääri-ilmasyöttö (Penttinen 2018)

Esilämmitetty tertiääri-ilma syötetään tulipesään noin 3 - 6 metriä lipeäruiskujen yläpuolelle. Tertiääri-ilmansyöttö toteutetaan soodakattiloilla etu- ja takaseiniltä. Kuvassa 4 on esitetty ylhäältä päin katsottuna tertiääri-ilmansyöttö. Tertiääri-ilman tarkoituksena on polttaa loppuun palamattomat kaasut ilmapäästöjen vähentämiseksi sekä muodostaa tulipesän yläosaan niin sanottu sekoitinvyöhyke, jolla pyritään tasaamaan savukaasuvirtaukset tulistimia. Lisäksi tertiääri-ilmaan voidaan sekoittaa sellutehtaalta tulevia laimeita hajukaasuja ja/tai soodakattilan liuottajan hönkäkaasuja.



Kuva 4. Tertiääri-ilmansyöttö (Penttinen 2018)

Esilämmitetty kvartääri-ilma syötetään tulipesään tertiääri-ilmatason yläpuolelle huomattavasti korkeammalle. Kvartääri-ilmansyöttö toteutetaan soodakattiloilla etu- ja takaseiniltä. Kuvassa 5 on esitetty ylhäältä päin katsottuna kvartääri-ilmansyöttö. Kvartääri-ilman tarkoituksena on samat asiat kuin tertiääri-ilmalla, mutta kvartääri-ilmalla pyritään säätämään tertiääri-ilmaa enemmän soodakattilan savukaasujen jäännöshappea.

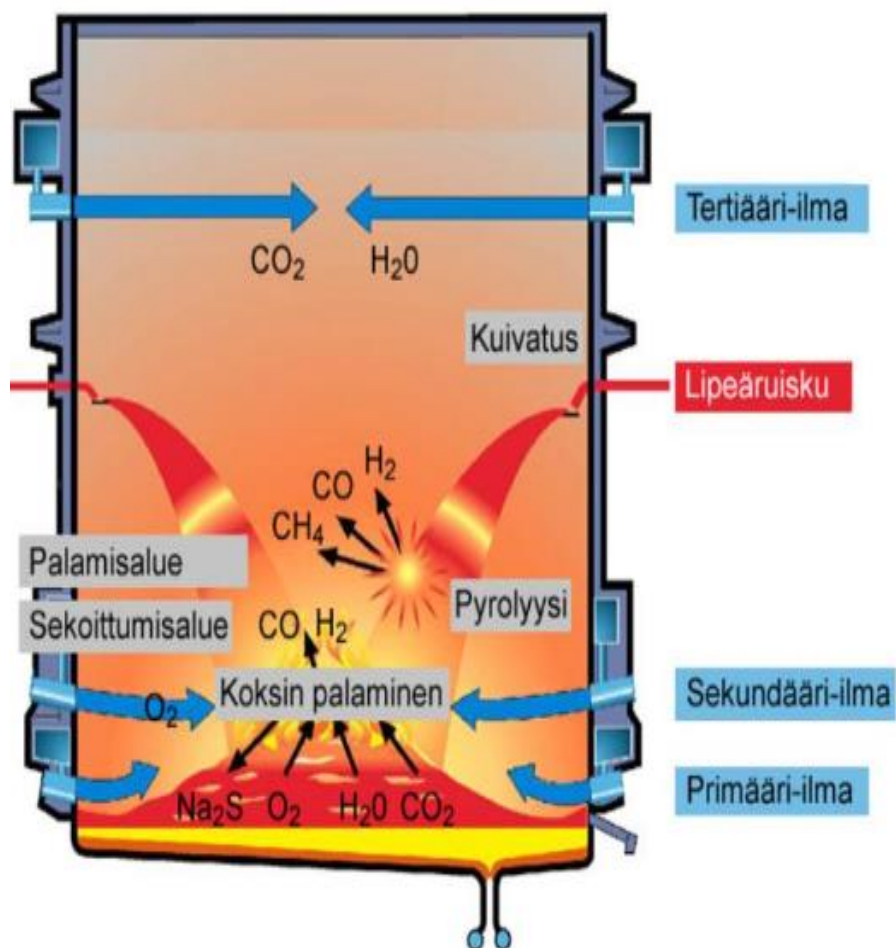


Kuva 5. Kvartääri-ilmansyöttö (Penttinen 2018)

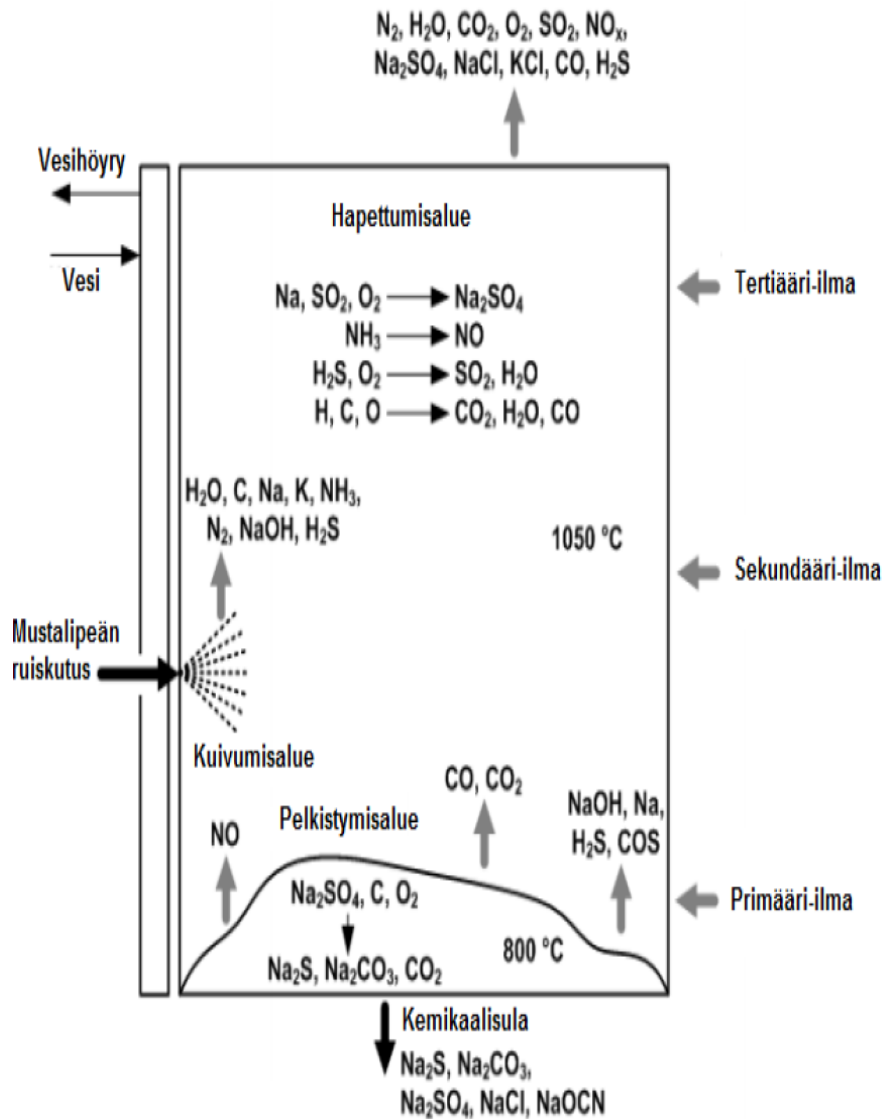
Soodakattilassa tapahtuvan polttoliipeänpolton palamisreaktiot voidaan jakaa yksinkertaisesti neljään vaiheeseen. Vaiheet ovat:

1. kuivuminen.
2. Pyrolyysi.
3. Koksen palaminen.
4. Sulakeon reaktiot.

Kuvassa 6 on esitetty polttoliipeän palamisen vaiheet ja siitä voidaan havaita edellä mainituista vaihteista 1-3- Kuvassa 7 on esitetty soodakattilan tulipesän kemialliset reaktiot ja siitä voidaan havaita vaihe 4.



Kuva 6. Polttoliipeän palamisen vaiheet (Rantanen 2017)



Kuva 7. Soodakattilan tulipesän kemialliset reaktiot (Penttinen 2018)

Polttolipeä ruiskutetaan soodakattilan tulipesään lipeäruiskuilla, joilla muodostetaan polttolipeän lämpötilaa ja ruiskutuspainetta säätämällä sopivan kokoisia lipeäpisaroita. Sopivan kokoinen pisara ei saa olla liian iso, koska tällöin se tippuu liian nopeasti tulipesän pohjalle kuivumatta. Tämä saattaa aiheuttaa liian suuren sulakeon syntymisen soodakattilan tulipesän pohjalle ja mahdollisesti huonoa palamisprosessia. Pisara ei saa olla myöskään liian pieni, koska tällöin se nousee savukaasuvirran mukana palamattomana tulipesän yläosiin, jolloin sulakeko tulipesän pohjalta palaa pois. Tätä ilmiötä kutsutaan Carry over-ilmiöksi. Tulistinalueella carry over aiheuttaa tulistimien lämmönsiirtopintojen likaantumista, jolloin tulistimien lämmönsiirtokyky huononee. Pahimmassa tapauksessa raju carry over aiheuttaa soodakattilan tukkeutumisen niin pahasti, että kattila joudutaan vesipesemään.

Sopivan kokoisten lipeäpisaroiden pudotessa kohti tulipesän pohjaa alkaa välittömästi lipeäpisaroiden kuivuminen. Lipeäpisaroiden kuivuminen tapahtuu samaan aikaan kuin pyrolyysivaihe. Pyrolyysivaiheessa mustalipeäpisara paisuu ja pisanan sisältämät haihtuvat aineet kaasuuntuvat. Mustalipeän kuivumis- ja pyrolyysivaiheet tapahtuvat tulipesässä lipeäruiskujen ja sekundääri-ilmatason välisellä vyöhykkeellä. Kuivumis- ja pyrolyysivyöhyke on esitetty kuvassa 6.

Koksin palaminen ja sulan reaktiot tapahtuvat reduktio- eli pelkistymisalueella. Pelkistymisalue sijaitsee tulipesän pohjalla, jossa on myös sulakeko. Pelkistymisalue on esitetty kuvassa 7.

Sulakeko sisältää pääasiassa koksia sekä epäorgaanisia yhdisteitä ja se koostuu seuraavista kerroksista:

1. Aktiivinen sulakerros, jossa tapahtuu koksin palaminen ja natriumsulfaatti-natriumsulfidi-kiertoa.
2. Pelkistävä sulakerros, jossa natriumsulfidi pysyy pelkistyneessä muodossa.
3. Nestemäinen sulakerros, jossa sula pysyy nestemäisessä muodossa lämpötilan ollessa yli 750 °C.
4. Kiinteä sulakerros, jossa sula pysyy kiinteässä muodossa lämpötilan ollessa alle 750 °C.

Sulakeon päällimmäisen, eli aktiivisen sulakerroksen tarkoituksena voidaan yksinkertaistettusti ajatella olevan polttaa pyrolyysistä jäljelle jäänyt koksi pois tuottaen lämpöä sulakekoon sekä pitää yllä natriumsulfaatti-natriumsulfidi-kiertoa. Koksi on aktiivisessa sulakerroksessa kosketuksissa tulipesän kaasujen, kuten hapen, kanssa, jolloin se palaa. Aktiivisessa sulakerroksessa esiintyvällä natriumsulfaatti-natriumsulfidi-kierrolla tarkoitetaan natriumsulfaatin muuttumista natriumsulfidiksi ja toisin päin. Soodakattilassa natriumsulfaatin pelkistymisen voidaan ajatella tapahtuvan pääasiassa koksin, eli hiilen kanssa. Näin ollen koksin ei ole hyvä palaa kokonaan pois soodakattilassa, koska sitä tarvitaan aktiivisessa sulakerroksessa lämmöntuottamisen lisäksi myös natriumsulfaatin pelkistämiseen natriumsulfidiksi. Aktiivisessa sulakerroksessa pelkistynyt natriumsulfidi pääsee kuitenkin vielä

kosketuksiin myös hapen kanssa, jolloin se hapettuu jälleen natriumsulfaatiksi. Tätä kiertoa tapahtuu niin kauan, kunnes natriumsulfidi valuu aktiivisen sulakerroksen alla olevaan sulakerrokseen eli pelkistävään sulakerrokseen. Pelkistävässä sulakerroksessa natriumsulfidi ei enää pääse reagoimaan hapen kanssa, jolloin natriumsulfidi säilyy pelkistyneessä muodossa.

Nestemäisessä sulakerroksessa sula valuu kohti tulipesänpohjaa kiinteän sulakerroksen päälle, josta se valuu sula-aukkojen kautta liuottajaan. Nestemäisessä sulakerroksessa on vielä riittävästi lämpöä sulan nestemäisenä pysymiseen, mutta kiinteässä sulakerroksessa näin ei enää ole, jolloin kiinteän sulakerroksen pääasialliseksi tehtäväksi jääkin suojata soodakattilan painerunkoa, tulipesän pohjaa, korroosiolta.

Aktiivinen- ja pelkistävä sulakerros ovat tärkeimmät alueet tulipesän pelkistymisvyöhykkeellä, koska tällä alueella vaikutetaan eniten reduktioasteen muodostumiseen. Reduktioaste kertoo natriumsulfidiksi pelkistyneen natriumsulfaatin määrän. Mikäli soodakattilan reduktioaste on alhainen, niin tällöin sellutehtaan kemikaalikierto sisältää vielä natriumsulfidiksi muuttumatonta natriumsulfaattia. Natriumsulfaattia ei reagoi sellunkeitossa, jolloin sellunkeiton onnistumiseksi tarvitaan sellutehtaan oman kemikaalikierron lisäksi lisäkemikaaleja, make-up-kemikaaleja. Make-up kemikaalien käytöstä sellutehtaalalle syntyy ylimääräisiä kustannuksia. Lisäksi alhaisen reduktioasteen vuoksi kaustisointilaitos joutuu käsittelemään turhaan ylimääräistä regeneroitumatonta kuormaa, jolloin kaustisointilaitos saattaa muodostua sellutehtaan tuotannon pullonkaulaksi. Muun muassa edellä mainituista syistä soodakattilalla pyritään mahdollisimman korkeaan reduktioasteeseen.

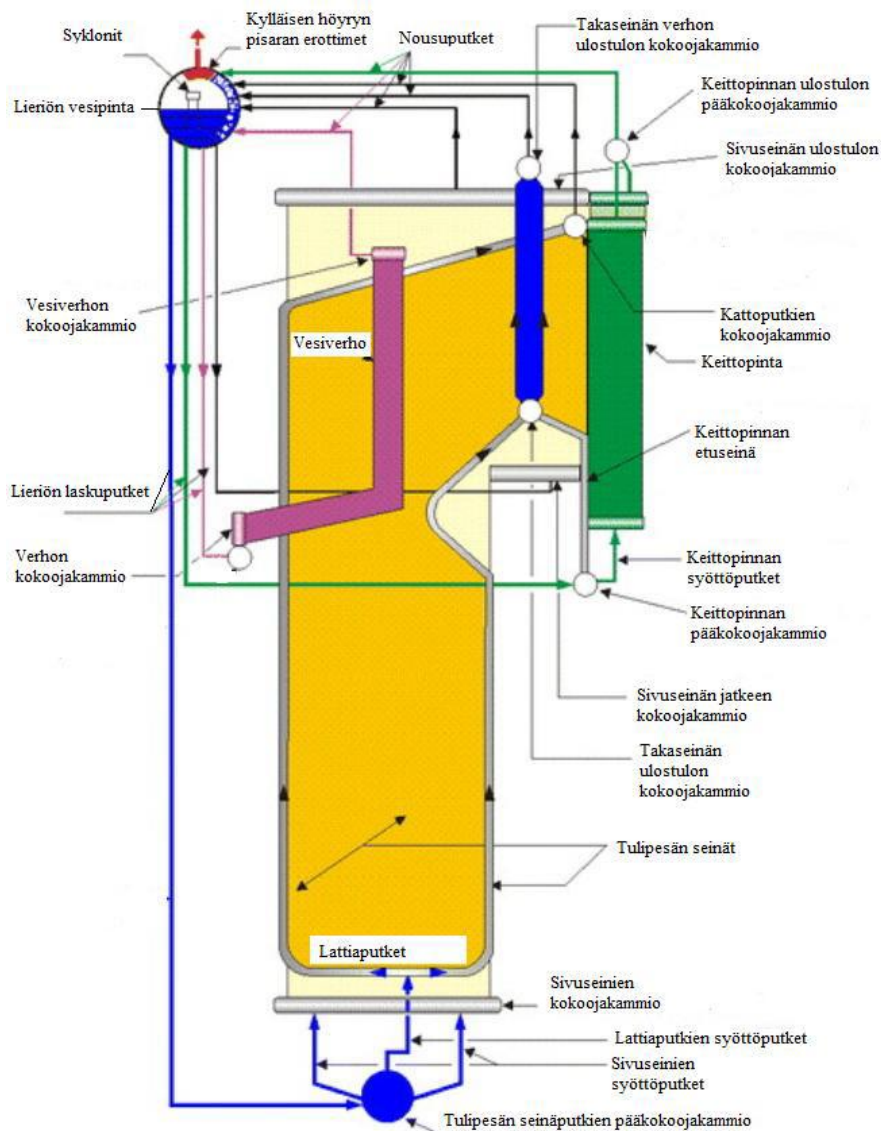
Korkean reduktioasteen saavuttamiseen tarvitaan lämpöä, hiiltä ja sopivasti happea sulakerroksen aktiiviselle kerrokselle. Moderneilla soodakattiloilla reduktioaste on noin 95 - 97 %. Tavallisesti reduktioaste mitataan soodakattilan liuottajasta lähtevästä viherlipeästä automaattisen titraattorin tai/ja laboratorion toimesta, mutta se voidaan mitata myös soodakattilan sulasta. Sulassa reduktioaste on yleensä noin 1 – 2 % korkeampi.

2.1.2 Höyrykehitysprosessi

Soodakattilassa höyryä tehdään kattilaan syötettävästä syöttövedestä. Syöttövesi tuodaan ensin syöttöveden esilämmittimien, jos sellaiset on, kautta ensimmäisen ekonomaiserin jakokammioille, joista vesi jaetaan ekonomaiserin lämmönsiirtopinnoille. Ekonomaisereissa veden nimi muuttuu syöttövedestä kattilavedeksi. Lämmönsiirtopinnoilta kattilavesi tulee ekonomaiserin kokooajakammioille. Yleensä soodakattiloissa on kaksi ekonomaiseria, joten ensimmäisen ekonomaiserin kokooajakammioilta kattilavesi kulkeutuu toisen ekonomaiserin jakokammioille ja niiltä lämmönsiirtopintojen kautta jälleen kokooajakammioille. Ekonomaisereilla kattilavesi kuumennetaan lähelle kylläistä lämpötilaa.

Viimeiseltä ekonomaiserilta kattilavesi tulee lieriölle, josta kattilavesi laskeutuu laskuputkia pitkin kattilan höyrystinosille, eli tulipesän, keittopinnan ja vesiverhon, jos verho kattilassa on, jakokammioille. Jakokammioista kattilavesi jakautuu höyrystinosien lämmönsiirtopinnoille, joissa kattilavesi alkaa höyrystyä, jolloin vesi-höyryseos nousee höyrystinosien kokooajakammioille. Höyrystinosien kokooajakammioilta höyry-vesiseos palautuu lieriöön, josta höyry-vesiseoksen vesi lähtee laskuputkia pitkin uudelle kierrokselle kattilan höyrystinosille ja höyry kulkeutuu pisaranerotimien läpi ensimmäisen tulistimen jakokammioille. Lieriöstä tulistimille lähtevää höyryä kutsutaan kylläiseksi höyryksi.

Ensimmäisen tulistimen jakokammioilta kylläinen höyry siirtyy tulistimen lämmönsiirtopinnoille, joissa höyryä tulistetaan. Lämmönsiirtopinnoilta tulistettu höyry siirtyy ensimmäisen tulistimen kokooajakammioille. Kokooajakammioilta tulistettu höyry siirtyy höyrynjäähdyttimille, joissa tulistetun höyryn lämpötilaa lasketaan ennen seuraavaan tulistimen jakokammioita. Kattilaan koosta riippuen tulistus- ja jäähdytysvaiheiden määrä vaihtelee. Viimeisen tulistimen kokooajakammioilta tulistettu höyry siirtyy kattilan päähöyryputkeen, josta se kulkeutuu höyryturbiinille. Kuvassa 8 on esitetty luonnonkiertokattilan vesi-höyrykierron periaate.



Kuva 8. Luonnonkiertokattilan toimintaperiaate (Koso 2015)

2.1.3 Sekundääriset prosessit

Soodakattilan kahden päätarkoituksen eli kemikaalien regeneroinnin ja höyryntuottamisen lisäksi soodakattilassa on sekundäärisiä prosesseja. Sekundääriset prosessit ovat tärkeitä prosessin osia sellutehtaan kokonaisuuden kannalta ja niitä ovat:

1. Liuottajan hönkien, väkevien sekä laimeiden hajukaasujen poltto ja niiden sisältämien rikkiyhdisteiden talteenotto.
2. Polttolipeän poltosta syntyvän tuhkasuolan talteenotto.
3. Tukipolttoaineen polttaminen tehtaan höyrytarpeen kattamiseksi.

4. Sulan muuttaminen viherlipeäksi liuottajassa.

2.2 Soodakattilan rakenne

Moderni soodakattila on luonnonkiertokattila, jonka tuottaman tulistetun höyryn lämpötila on tyypillisesti 480 - 510 °C ja paine 85 - 110 bar. Soodakattiloiden koot kuiva-ainetonneissa mitattuna vaihtelevat paljon riippuen sellutehtaiden koosta. Tätä työtä kirjoitettaessa kapasiteetiltaan maailman suurin soodakattila on Indonesiassa Sumatran saarella sijaitseva soodakattila, jonka kapasiteetti on 12 000 tDs/d ja sen tulistetun höyryn arvot ovat 515 °C ja 115 bar.

Soodakattilan tärkeimmät komponentit ovat:

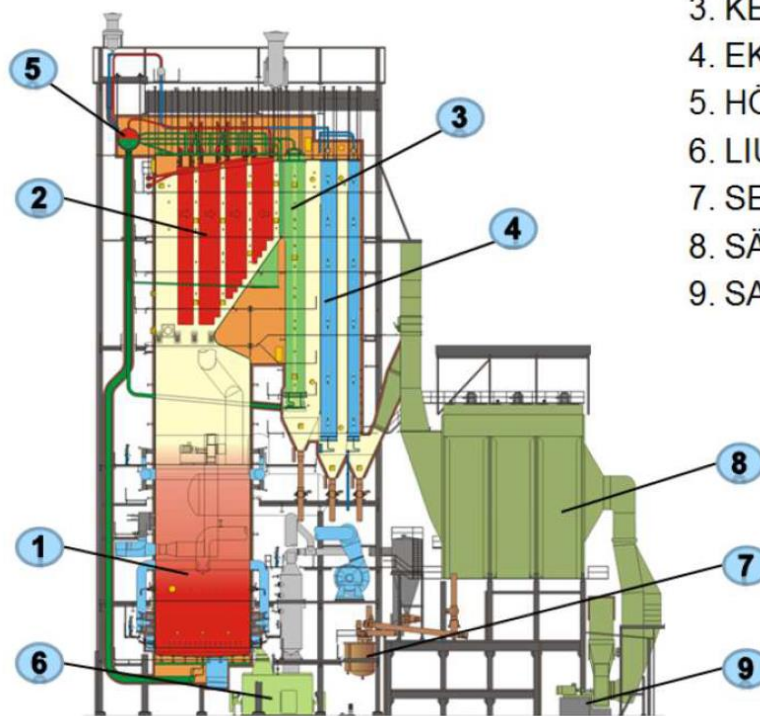
1. Painerunko, jossa vesi- ja höyrykierto tapahtuu.
2. Oheislaitteet, joita ovat esimerkiksi sulakourut, sähkösuodattimet, savukaasupesuri, syöttövesipumput, ilma- ja savukaasupuhaltimet, tuhkakuljettimet, höyrynuohoimet.

Lisäksi soodakattilaitokseen kuuluu paljon muitakin pienempiä pumppuja ja puhaltimia, putkistoa, venttiileitä sekä säiliöitä. Tässä työssä keskitytään painerunkoon ja suurimpien oheislaitteiden tarkasteluun. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty läpileikkauskuvat kahdesta erilaisesta soodakattilan rakenteesta.

Kuvassa 9 on esitetty soodakattila, jossa ei ole verhoputkistoa. Soodakattilan lämmönsiirtopinnat sijaitsevat kuvassa savukaasun virtaussuunnan mukaisessa järjestyksessä eli:

1. Tulipesä.
2. Tulistimet.
3. Keittopinta
4. Ekonomaiserit.

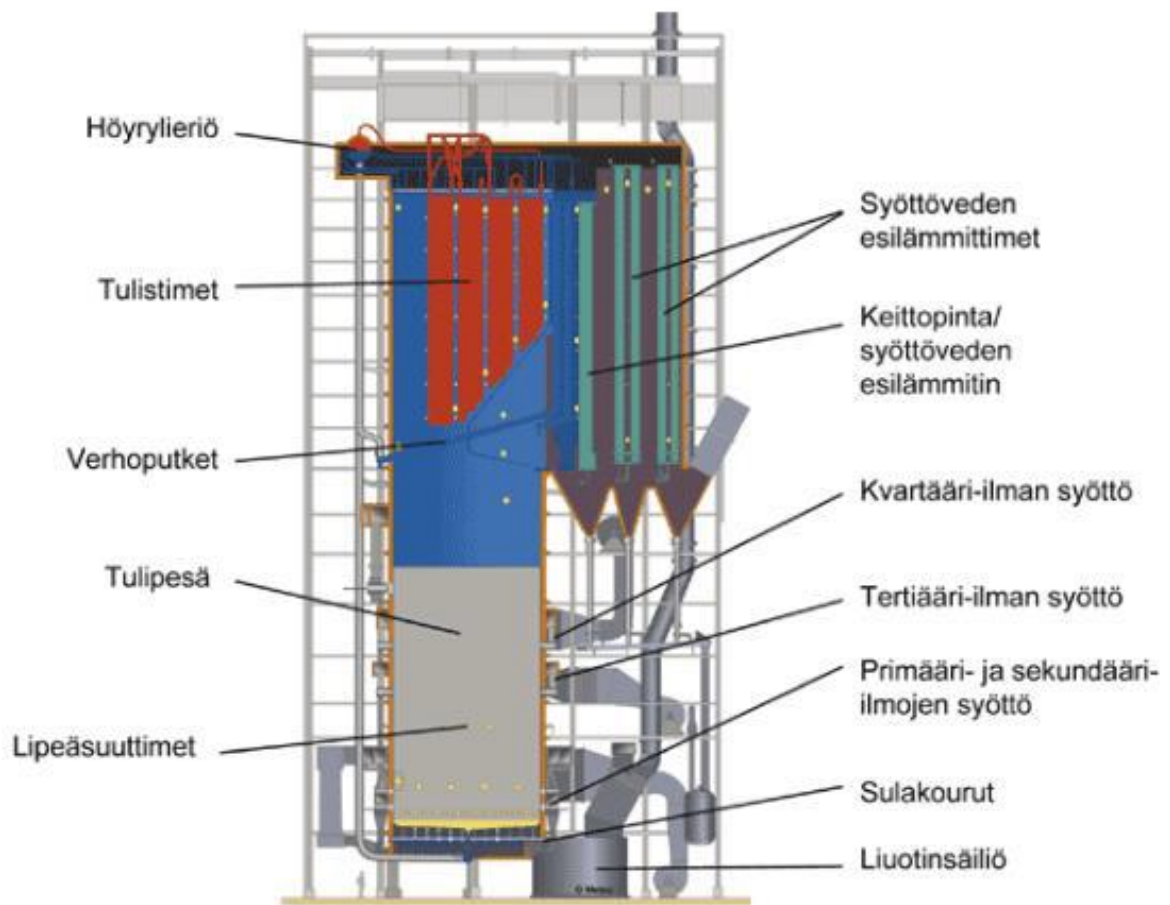
SOODAKATTILAN RAKENNE



1. TULIPESÄ
2. TULISTIMET
3. KEITTOPINTA
4. EKONOMAISERIT
5. HÖYRYLIERIÖ
6. LIUOTINSÄILIÖ
7. SEKOITUSSÄILIÖ
8. SÄHKÖSUODATIN
9. SAVUKAASUPUHALLIN

Kuva 9. Soodakattilan rakenne (Vänttinen 2017)

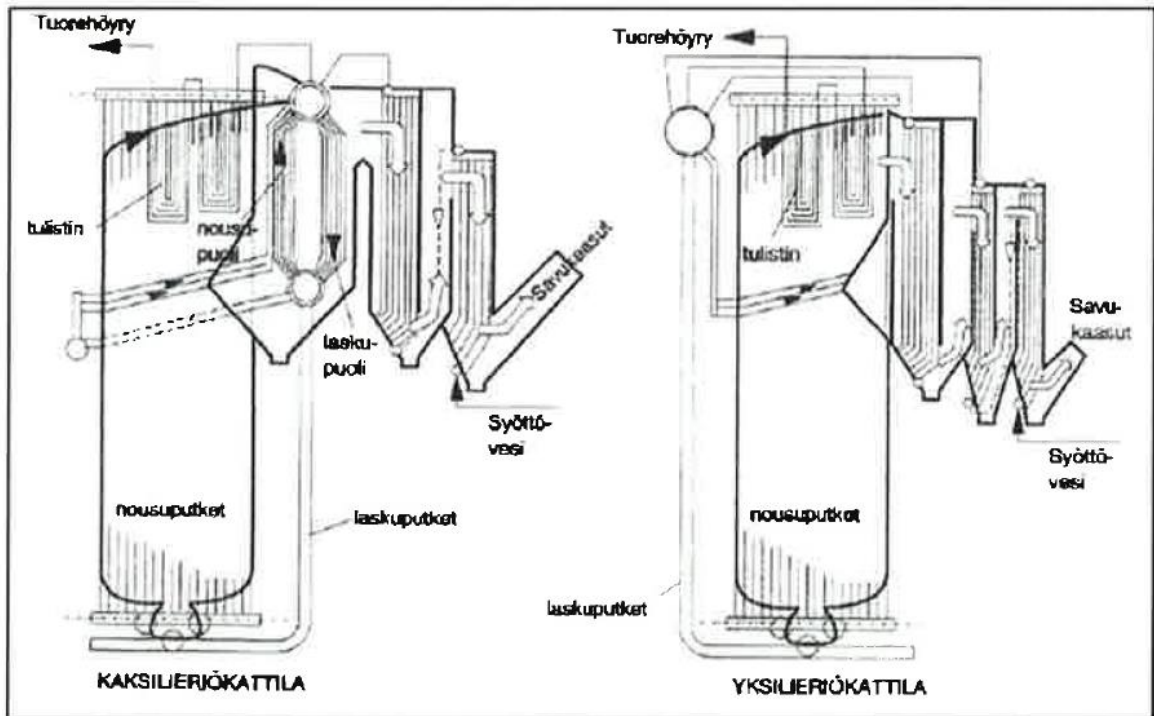
Kuvassa 10 on esitetty vesiverhoptukellinen soodakattila. Verhoptukisto sijaitsee niin sanotun nokan ja kattilan etuseinän välissä. Verhoptukiston tarkoituksena on alentaa savukaasujen lämpötilaa ja näin ollen myös suojata tulistimia kuumilta savukaasuilta. Lisäksi vesiverholla varustetun soodakattilaan voidaan suunnitella matalampi tulipesä. Uusissa soodakattiloissa verhoa harvoin enää on, koska niissä tulistuksen tarve on suurempi. Kaukaan soodakattila on verhoptukistolla varustettu.



Kuva 10. Soodakattilan rakenne (Knowpulp (2) 2003)

Kuvassa 11 on esitetty yksi- ja kaksilieriöiset soodakattilat. Aikaisemmin käytettiin kaksilieriöisiä soodakattiloita, mutta nykyään on siirrytty lähestulkoon kokonaan yksilieriöisiin kattiloihin, koska;

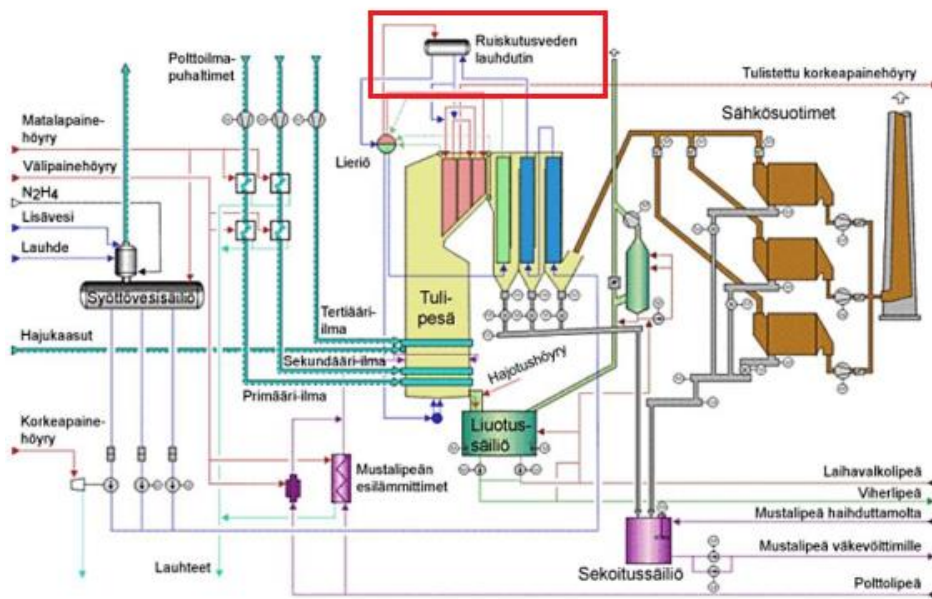
- kaksilieriöinen soodakattila on kalliimpi valmistaa
- kaksilieriöisen soodakattila on vaurioalttiimpi ja näin ollen sen kunnossapitäminen on kalliimpaa.



Kuva 11. Yksi- ja kaksilieriöiset soodakattilat (Huhtinen, Kettunen, Nurminen ja Pakkanen 1997)

Soodakattilan tulistetun höyryn jäädyttämiseen käytettävän syöttöveden puhtauden vaatimustaso on korkea, jotta voidaan olla varmoja siitä, ettei epäpuhtauksia päädy tulistimiin tai jopa höyryturbiinille asti. Tulistimilla epäpuhtaudet jäävät tulistinputkien sisäpintoihin kiinni eristäen putkea jäädyttävän höyryn putkesta. Tällöin tulistimen putki voi ylikuumentua ja vaurioitua ylikuumenemisen seurauksena. Höyryturbiinilla tulistetun höyryn epäpuhtaudet voivat vaurioittaa muun muassa turbiinin siipipyöriä.

Mikäli syöttöveden puhtaudesta ei voida olla täysin varmoja, eli toisin sanoen laitoksen vesikemia ei toimi täysin optimaalisesti, niin tällöin soodakattilaan voidaan asentaa Dolezal. Dolezal on eräänlainen pintalauhdutin eli lämmönvaihdin, jossa lauhdutetaan lieriöltä tulevaa puhdasta kylläistä höyryä ekonomaisierilta tulevan kattilaveden avulla. Kylläisestä höyrystä syntynyt lauhde käytetään tulistetun höyryn lämpötilansäätöön. Dolezal on rajattu punaisella neliöllä kuvassa 12. Kaukaan soodakattila on varustettu Dolezalilla.



Kuva 12. Dolezalilla varustetun soodakattilan layout (Knowpulp 2016)

Täysin uusi soodakattila suunnitellaan aina loppuasiakkaan tarpeiden mukaan. Suunniteluun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

1. Sellutehtaan lipeäkierron ominaisuudet, eli mitä puuta keittämöllä käytetään.
2. Veden- sekä höyryn laatuvaatimukset, eli minkälaista raakavettä on käytettävissä sekä minkälaista höyryä soodakattilan halutaan tuottavan.
3. Dolezalien tarve.
4. Vesiverhon tarve.
5. Lieriörakenne.
6. Painerungon eri osien materiaalit.
7. Palamisilmatasojen määrä.

Nykyisin kaikki modernit soodakattilat ovat yksilieriöisiä. Modernin yksilieriöisen verhol-la varustetun soodakattilan rakenne on esitetty kuvassa 10.

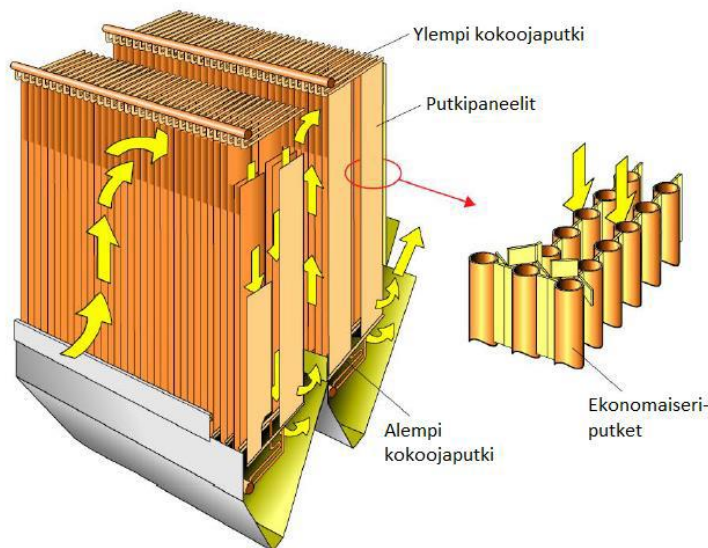
2.2.1 Painerunko

Soodakattilan painerungon osien tarkoituksena on kuumentaa kattilavesi lähelle veden kyl-läistä tilaa, höyrystää kattilavesi kylläiseksi höyryksi ja tulistaa kylläinen höyry tulistetuksi

höyryksi. Modernin soodakattilan painerunko koostuu ekonomaisereista, höyrylieriöstä, tulipesästä, keittopinnasta sekä tulistimista ja mahdollisesta vesiverhosta.

2.2.1.1 Ekonomaiserit

Soodakattilassa on yleensä kaksi ekonomaiseria. Ekonomaiserien tarkoitus on lämmittää kattilavesi lähelle veden kylläistä tilaa. Vastaavasti savukaasujen lämpötila laskee ekonomaisereissa alle 300 °C, jolloin savukaasujen lämpö ei vaurioita sähkösuodattimia. Ekonomaiserit sijaitsevat savukaasuvirrasta katsottuna keittopinnan jälkeen. Ekonomaiseri ja sen putkisto on esitetty kuvassa 13.



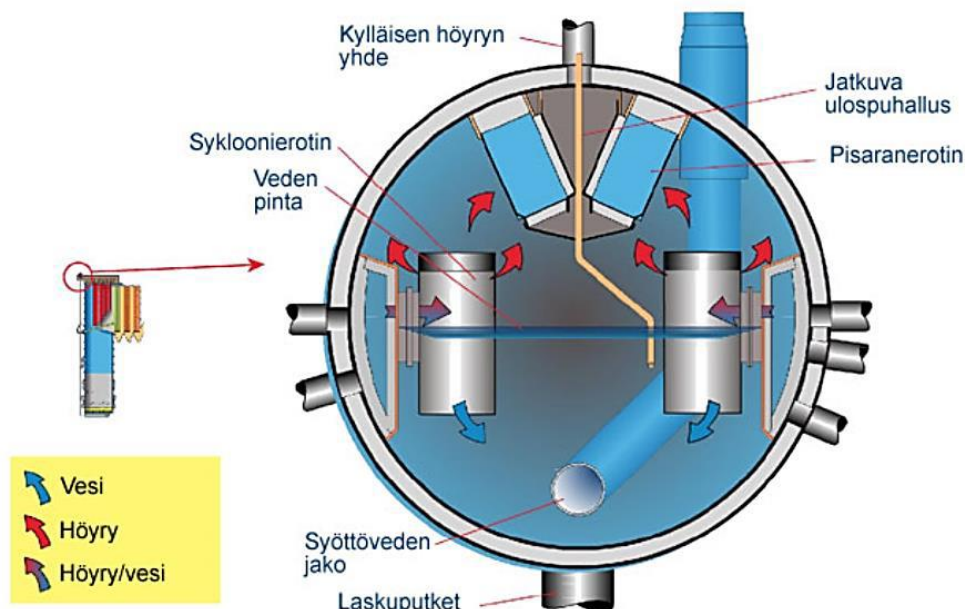
Kuva 13. Ekonomaiseri (Penttinen 2018)

Ekonomaiserit ovat lämmönsiirtopinta-alaltaan soodakattilan suurimmat painerungon osat, koska savukaasun ja kattilaveden lämpötilaero on alhaisempi kuin muilla kattilan lämpöpinnoilla. Ekonomaisereissa savukaasut kulkevat ylhäältä alaspäin ja putken sisällä kattilavesi kulkee vastavirtaan alhaalta ylöspäin. Suunnittelun määrittämä kattilaveden lämpötila määrää putken pintalämpötilan ekonomaisereissa. Putken pintalämpötila ekonomaisereissa ei saa laskea savukaasun happokastepisteen alapuolelle, jolloin ekonomaiserit voivat vaurioitua korroosion vuoksi. Riippuen savukaasujen rikkipitoisuudesta on savukaasujen happopiste noin 120 – 140 °C.

2.2.1.2 Lieriö

Soodakattilan lieriön tarkoituksena on erottaa kylläinen höyry ja kylläinen vesi toisistaan. Lieriöön tuodaan ekonomaisereissa lähes kylläiseen lämpötilaan kuumennettua kattilavettä. Lieriöstä kattilavesi laskeutuu laskuputkia pitkin kattilan höyrystinisiin eli tulipesän, keittopinnan ja vesiverhon, jos sellainen kattilassa on, putkistoihin. Polttolipeän palamisreaktion seurauksena syntyvä lämpö siirtyy kattilaputkien läpi kattilaveteen, jolloin vesi alkaa kiehua. Kiehuva vesihöyryseos nousee ylöspäin takaisin lieriöön. Ilmiötä kutsutaan kaksifaasivirtaukseksi, jossa tiheusero höyrystinosien putkien sisäisen kylläisen vesihöyryseoksen ja laskuputkien kylläisen veden välillä aiheuttaa nostevoiman. Kaksifaasivirtaukseen perustuvia kattiloita kutsutaan luonnonkiertokattiloiksi ja kaikki soodakattilat ovat luonnonkiertokattiloita.

Lieriöön palattuaan vesihöyryseos jakautuu lieriössä olevissa sykloonierottimissa kylmäiseksi höyryksi ja kylläiseksi vedeksi. Kylläinen kattilavesi palaa uudelle höyrystymiskierrokselle kattilan höyrystinisiin ja kylläinen höyry siirtyy lieriössä olevien pisaranerotimien kautta tulistimille. Höyrylieriön rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Lieriön rakenne ja toimintaperiaate (Penttinen 2018)

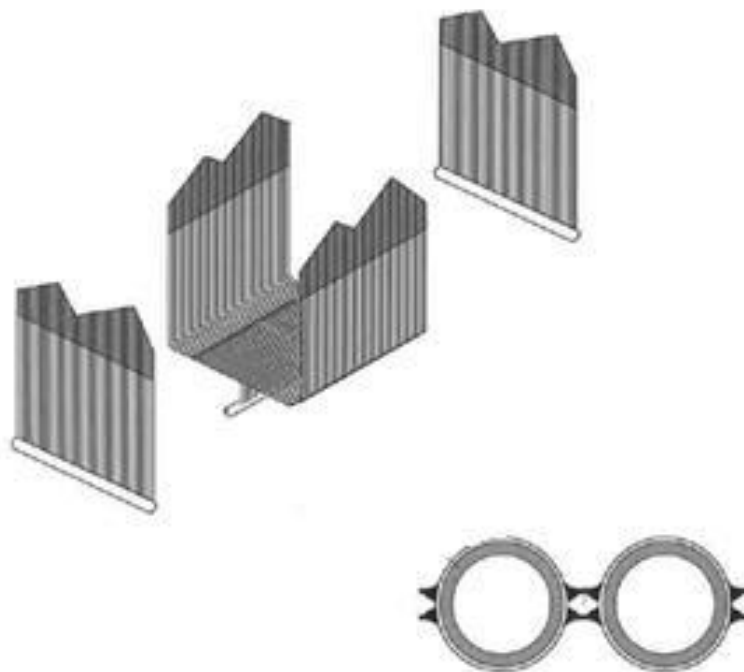
2.2.1.3 Tulipesä

Soodakattilan tulipesällä tarkoitetaan sitä osaa kattilasta, joka sijaitsee nokan sekä mahdollisen vesiverhon alapuolella. Soodakattilan tulipesän putkisto toimii kattilan yhtenä höyrysinosana ja pääosa, 70 - 90 %, soodakattilan höyrykehityksestä tehdäänkin tulipesän seinäputkissa. Kuten edellisessä kappaleessa kerrottiin, niin polttoliipeän palaminen tapahtuu tulipesässä ja palamisreaktiossa syntyvä lämpö säteilee tulipesän putkistoihin. Soodakattilan takaseinällä sijaitsevan nokan tarkoituksena on suojata osaa tulistimista suoralta lämpösäteilyltä, ohjata savukaasuvirtauksia kulkemaan kaikkien tulistimien läpi sekä pitää sulakourujen aukot suojassa tulistimilta tippuvilta likakertymiltä ja näin estää sulakourujen aukkojen tukkeentumiset. Takaseinällä sijaitsevat sulakouruaukot sijoitetaan niin korkealle tulipesän pohjasta, että tulipesän pohjaputket ovat jähmettyneen sulakerroksen suojaamia.

Soodakattilan tulipesän pohjaputkien tulee olla 2 – 5 ° kaadolla, jotta riittävä jäähditys saadaan varmistettua tulipesän pohjaputkissa. Vaakasuoran pohjaputken yläosaan saattaa jäädä höyrykuplia, jolloin putki mahdollisesti ylikuumenee ja puhkeaa.

Nykyaikaisen soodakattilan tulipesän pohjassa ja seinissä käytetään kaasutiivistä eväputkirakennetta. Soodakattilan tulipesän alaosan putket ovat hyvin alttiita korroosiolle pelkistävien olosuhteiden vuoksi. Tulipesän alaosassa rikkivetyttöisyys on suuri, jolloin hiiliteräs korrosoituu nopeasti joutuessaan kosketuksiin rikkivedyn kanssa. Tämän vuoksi soodakattiloissa käytetään yleensä tulipesän alaosassa compound-putkia.

Compound-putki on erikoisvalmistettu putki, jossa on austeniittinen pintakerros ja hiiliteräksinen runko. Pintakerros muodostaa korroosiosuojan ja runko on soodakattilan käyttöpainetta kantava osa. Yleisimmät soodakattiloissa käytettävät compound-materiaalit ovat Sanicro 38 ja AISI 304L, joilla pinnoitetaan tulipesä kvartiääri-ilma-aukkojen yläpuolelle asti. Tertiääri- ja kvartiääri-ilmalämpö hävettävät rikkivedyn, joten kvartiääri-ilmatason yläpuolella tulipesän putkimateriaalina käytetään yleensä hiiliterästä. Kuvassa 15 on esitetty soodakattilan pohjakupin rakenne sekä kaasutiivistä eväputkirakenne.



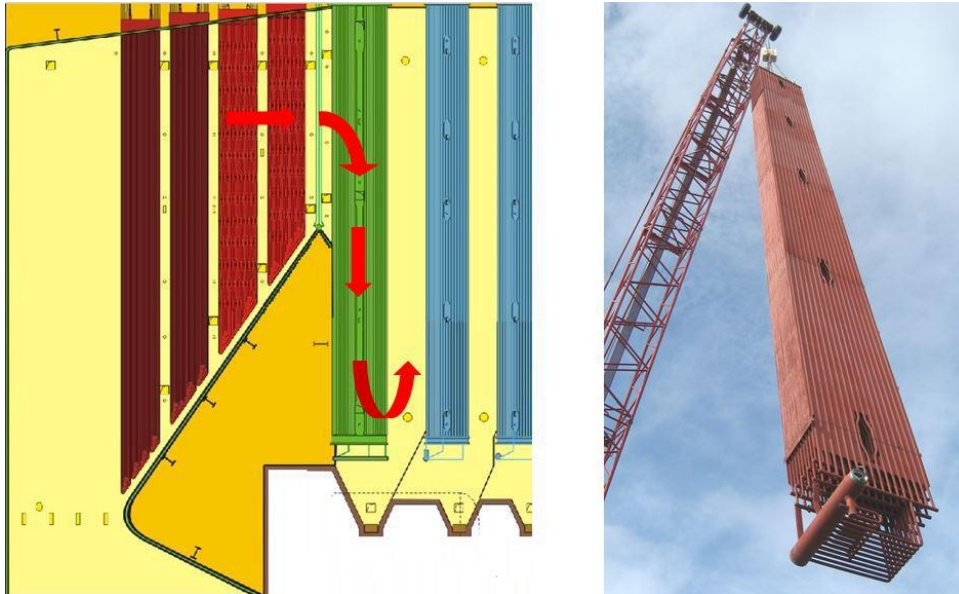
Kuva 15. Soodakattilan pohjakupin ja eväputken rakenteet (Koso 2015)

2.2.1.4 Keittopinta

Soodakattilan keittopinnan putkisto toimii kattilan yhtenä höyrystinosana ja noin 10 - 30 % soodakattilan höyrykehityksestä tehdään keittopinnalla. Soodakattilan keittopinta sijaitsee savukaasuvirrassa tulistimien ja ekonomaiserien välissä. Savukaasujen lämpötila ennen keittopintaa on noin 600 – 650 °C. Alhaisemman savukaasujen lämpötilan johdosta keittopinnalla tarvitaan enemmän lämmönsiirtopinta-alaa suhteessa tulipesän lämmönsiirtopinta-alaan. Nykyaikaisissa soodakattiloissa keittopinta koostuu eväputkipaneeleista, jotka kiinnitetään yhteisiin jako- ja kokooajaputkiin. Keittopinnan putket sijoitetaan lähelle toisiaan, jolloin savukaasujen virtausnopeutta saadaan kasvatettua tulistinaluetta suuremmaksi ja näin ollen keittopinta ei likaannu niin helposti.

Toinen huomioonotettava seikka soodakattilan keittopinnalla on se, etteivät savukaasut saa olla liian kuumia keittopinnalla. Liian kuumat savukaasut siirtävät soodakattilan niin sanottun Sticky-pisteen keittopinnalle, jolloin keittopinnalla oleva tuhka on tahmeaa ja näin ollen se tukkii keittopinnan. Ilmiö on erittäin tunnettu, varsinkin korkeasti kuormitetuilla, soodakattiloilla, joissa savukaasuja ei saada jäähdytettyä riittävästi ennen keittopintaa.

Keittopinnan rakenne on esitetty kuvassa 16 oikealla. Savukaasut kulkevat keittopinnalla ylhäältä alas eli vastavirtaan keittopinnan putkiston sisällä virtaavan vesihöyryseoksen kanssa. Savukaasujen virtaus keittopinnalla on esitetty kuvassa 16 vasemmalla.



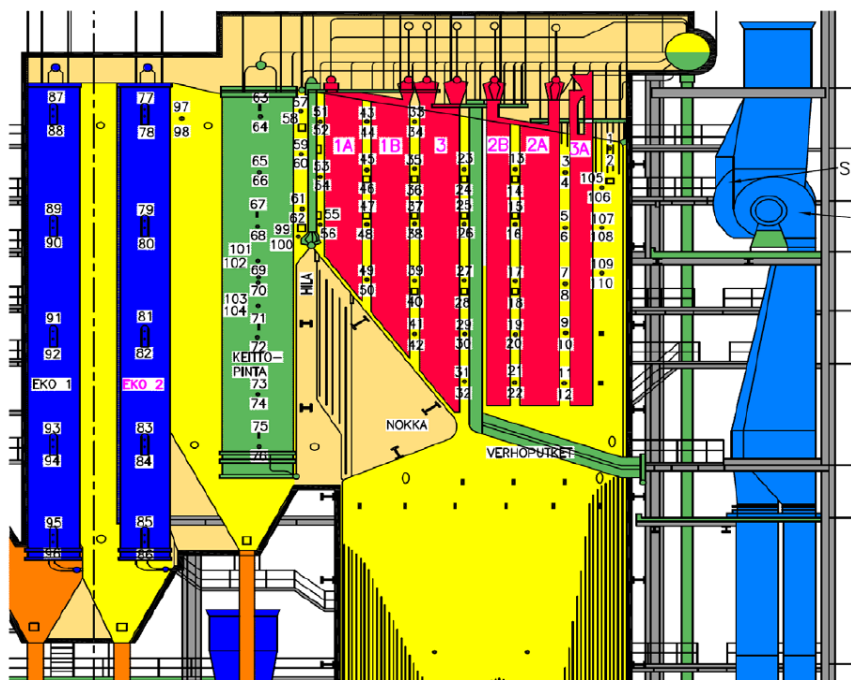
Kuva 16. Savukaasujen virtaus keittopinnalla sekä keittopinnan rakenne (Koso 2015)

2.2.1.5 Vesiverho

Soodakattilan vesiverho sijaitsee savukaasuvirrassa tulipesän ja tulistimien välissä niin sanotusti nokan jatkeena. Vesiverhon putkisto toimii soodakattilan yhtenä höyrystinosana, mutta sen tärkein tehtävä on suojata tulistimia tulipesän suoralta lämpösäteilyltä. Vesiverhon avulla voidaan kattilan suunnitteluvaiheessa tulipesän korkeutta madaltaa, jolloin kattilan rakentaminen on edullisempää. Toisekseen vesiverho alentaa savukaasujen lämpötilaa ennen tulistimia ja sen seurauksena myös ennen keittopintaa, jolloin Sticky-piste siirtyy enemmän tulipesään päin.

Vesiverho voi muodostua turvallisuusriskiksi, mikäli tulistinalueelle kertyy suuria tuhkakertymiä, jotka alas tippuessaan mahdollisesti hajottavat vesiverhon. Tällöin verhon sisältämä vesi putoaa suoraan tulipesään ja saattaa aiheuttaa sularäjähdyksen. Toisaalta vesiverho suojaa soodakattilan pohjaa suurilta tuhkakertymiltä ottaen iskut vastaan ennen tulipesän pohjaa, jolloin suuren tuhkakertymän pohjalle putoamisen aiheuttama tulipesän pohjan repeäminen voisi olla vesiverhon repeämää tuhoisampaa.

Vesiverhot olivat yleisiä vanhemmissa soodakattiloissa, joissa on matalampi käyttöpaine ja pienempi tulistustarve. Uusissa korkeamman käyttöpaineen kattiloissa tulistustarve on suurempi, joten verhoputkistoa ei välttämättä tarvita. Tulipesien madaltamisen tuoma rakennuskustannuksien laskun tuoma etu on jälleen yleistänyt vesiverhojen käyttöä myös uudemmissa soodakattiloissa. Kuvasta 17 voidaan havaita Kaukaan soodakattilan vesiverhoputkiston sijainti.



Kuva 17. Kaukaan soodakattilan vesiverho (Kaukaan sellutehdas (1) 2020)

2.2.1.6 Tulistimet

Soodakattilan tulistimet sijaitsevat savukaasuvirrassa kattilan tulipesän ja nokan päällä ennen keittopintaa. Tulistimien tarkoituksena on tulistaa kylläinen höyry tulistetuksi höyryksi, koska tulistettu höyry sisältää enemmän energiaa kuin kylläinen höyry, jota tarvitaan esimerkiksi höyryturbiinin pyörittämiseen. Toisekseen tulistettu höyry ei sisällä vettä, kuten kylläinen höyry, jolloin tulistettu höyry ei aiheuta vesipisaroista aiheutuvaa eroosiota höyryturbiinin siivistöihin.

Soodakattilan tulistimet jaetaan yleensä kolmeen vaiheeseen eli primääri-, sekundääri-, ja tertiäritulistimiin. Jokaisen vaiheen välissä on höyryn lämpötilansäätö eli ruiskujäähdyttimet. Kaukaan soodakattilalla höyry virtaa ensin 1A- ja 1B-tulistimille, jotka ovat primääri-

ritulistimet, sitten 2A- ja 2B-tulistimille, jotka ovat sekundääritulistimet, ja viimeiseksi 3A- ja 3-tulistimille, jotka ovat tertiääritulistimet. Tulistamalla sekä jäähdyttämällä mahdollistetaan monivaiheinen tulistus, jolloin suojellaan tulistimia ylikuumenemiselta ja pidetään tulistuslämpötila vakiona soodakattilan eri kuormitusasteilla. Mikäli tulistettua höyryä ei jäähdytetä välillä, niin tällöin höyryn lämpötila nousisi liian korkeaksi suurilla kattilan kuormitusasteilla ja vastaavasti pienillä kuormitusasteilla höyryn tulistus ei olisi riittävää. Ruiskutusjäähdyttimille syötetään korkeapaineista syöttövettä syöttövesipumppujen jälkeisestä linjasta tai/ja dolezalilta tulevaa lauhdetta. Kaukaalla primääri- ja sekundääritulistimien jälkeistä tulistettua höyryä jäähdytetään ensin dolezalien lauhteella ja mikäli höyryn lämpötila on edelleen korkea, niin sen jälkeen käytetään syöttövettä lauhteen lisäksi.

Tulipesän yläpuolella olevat tulistimet ovat säteilytulistimia ja nokan päällä olevat tulistimet ovat konvektiotulistimia. Kaukaan soodakattilan tulistimien järjestys savukaasuvirtaan nähden on 3A, 2A, 2B, 3, 1B ja 1A, eli järjestys ei ole täysin päinvastainen suhteessa höyryvirtaan, koska osa tulistimista on vastavirtaisia ja osa myötävirtaisia tulistimia. Tämä tarkoittaa sitä, että vastavirtaisissa tulistimissa höyry virtaa savukaasuvirtaan nähden vastakkaiseen suuntaan ja myötävirtaisissa samaan suuntaan. Kaukaan soodakattilalla vastavirtaisia tulistimia ovat 1A-, 1B-, ja 3-tulistimet ja myötävirtaisia tulistimia ovat 2A-, 2B- ja 3A-tulistimet. Kuvassa 17 on esitetty Kaukaan soodakattilan tulistimien järjestys fyysisesti.

Tulistimien elementtipakettien väleissä täytyy olla suurempi poikittaisjako kuin mitä keittopinnassa, koska tulistinalueella savukaasujen lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin keittopinnan alueella, jolloin sticky-piste sijaitsee tulistinalueella ja tuhka on tarttuvaa. Eniten käytetyt tulistinmallit ovat paneelitulistin ja putkitulistin. Tulistinmalli riippuu sen valmistajasta. Paneelitulistimessa tulistimen putken halkaisija on yleensä pienempi ja savukaasun virtaussuunnassa peräkkäiset tulistinputket asetetaan hyvin lähelle toisiaan. Putkitulistimessa tulistimen putken halkaisija on vastaavasti suurempi ja putkien väliin jää savukaasun virtaussuunnassa suurempi väli kuin paneelitulistimessa. Kaukaan soodakattilassa on molempien mallisia tulistimia ja molempien tulistintyyppien voidaan sanoa toimineen yhtä hyvin.

2.2.2 Tärkeimmät oheislaitteet

Soodakattilan rakenne sekä oheislaitteisto poikkeaa merkittävästi muista höyrykattiloista. Soodakattilan tärkeimpiä oheislaitteistoja ovat;

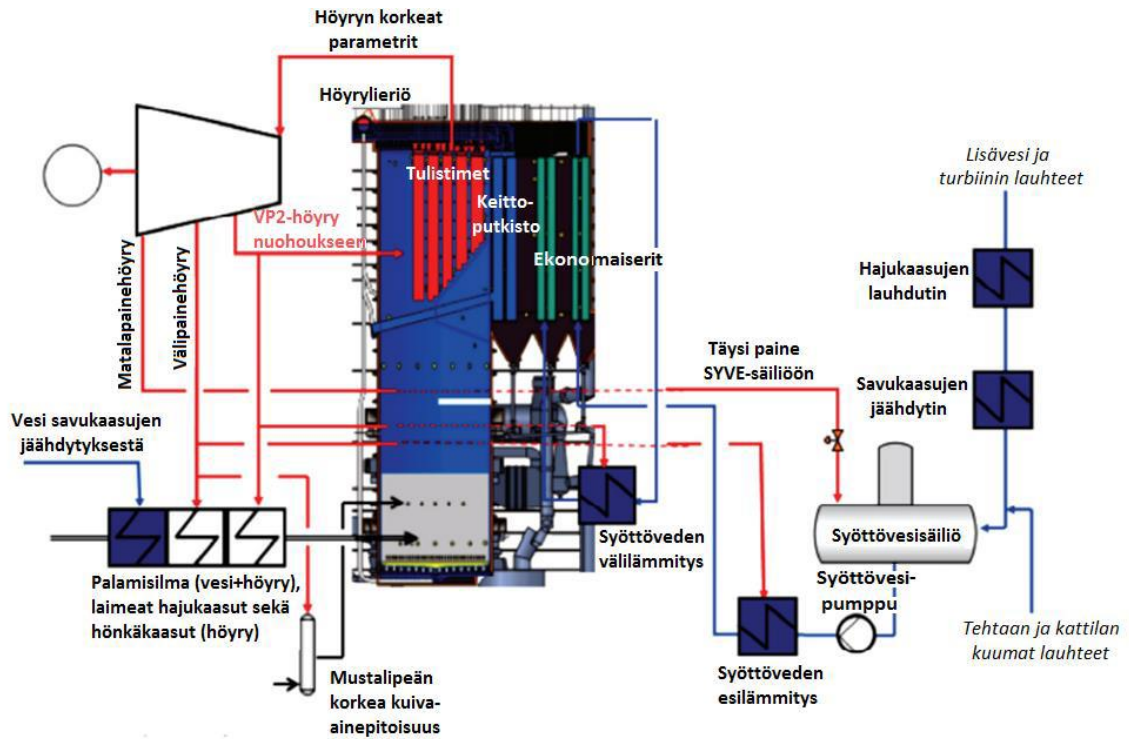
- syöttövesilaitteisto
- savukaasulaitteisto
- palamisilmalaitteisto
- tukipolttoainelaitteisto
- polttolipeälaitteisto
- sula- ja viherlapeälaitteisto
- tuhkan käsittelylaitteisto
- nuohouslaitteisto
- hajukaasujen käsittelylaitteisto
- turvallisuuden liittyvä laitteisto.

2.2.2.1 Syöttövesilaitteisto

Syöttövesilaitteiston tarkoituksena on siirtää syöttövesisäiliöstä syöttövettä soodakattilan höyrykehityksen tarpeisiin sekä esilämmittää syöttövesi mahdollisimman hyvin, jotta kattilan hyötysuhde saataisiin mahdollisimman korkeaksi. Soodakattilan painerungon ulkopuolisiksi oheislaitteiksi luettavat syöttövesilaitteet koostuvat syöttövesisäiliöstä, syöttövesipumpuista ja syöttöveden esilämmittimistä.

Syöttövesisäiliöön tuodaan tehtaalta palautuvia lauhteita puhdistuslaitteiston läpi sekä vesilaitoksella valmistettua lisävedettä. Sellutehtaalla lauhteenpalautus pyritään maksimoimaan, koska lauhdehävikkiä korvaavan lisäveden valmistus on kallista. Syöttövesisäiliöön pumpataan myös pH:n-säätö- sekä hapenpoistokemikaalia soodakattilan painerungon korroosion ehkäisemiseksi. Syöttövesisäiliöstä syöttövesi pumpataan kattilaan korkeapainepumpuilla, joiden sähkötehot saattavat suurilla kattiloilla olla useita megawatteja. Yleensä yksi pumpuista on höyryturbiinikäyttöinen, jolla turvataan sähkökatkoksen aikana soodakattilan vedensaanti, jottei kattilan painerunko pääsisi vaurioitumaan häiriötilanteissa. Ennen ensimmäistä ekonomaiseria moderneissa soodakattiloissa syöttövesisäiliöstä lähtevä noin 140 °C vesi esilämmitetään vieläkin korkeampaan lämpötilaan korkeapaine-esilämmittimissä,

jolloin kattilan hyötysuhde saadaan korkeammaksi. Kuvassa 18 on esitetty soodakattilan vesi-höyrypiiri.



Kuva 18. Modernin soodakattilan vesi-höyrypiiri (Penttinen 2018)

2.2.2.2 Savukaasulaitteisto

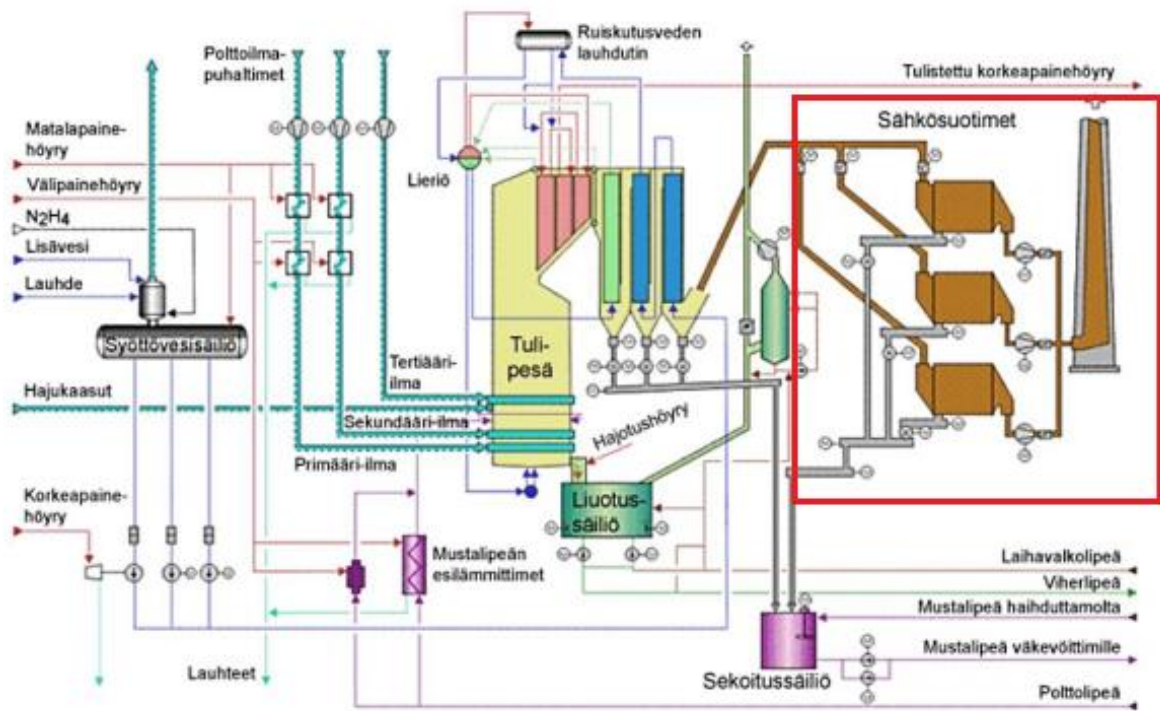
Savukaasulaitteiston tarkoituksena on siirtää soodakattilan palamisprosessissa syntyvät savukaasut pois kattilan tulipesästä luomalla tulipesään alipainetta savukaasupuhaltimien avulla. Savukaasulaitteistoon kuuluu myös savukaasujen puhdistuslaitteistoa ja yleisimmin soodakattiloissa käytettyjä puhdistuslaitteistot ovat sähkösuodattimet ja savukaasupesurit. Uusimmissa soodakattiloissa on myös letkusuodattimia varmistamassa alhaiset hiukkas-päästöt.

Savukaasupuhaltimilla luodaan pieni alipaine soodakattilan tulipesään, jolloin kuumat savukaasut virtaavat kattilan tulipesästä tulistimien, keittopinnan ja ekonomaiserien läpi luovuttaen lämpöä vesi-höyrypiiriin. Ensimmäisestä ekonomaiserista poistuessaan savukaasut johdetaan sähkösuodattimiin, joissa savukaasuista poistetaan suurin osa hiukkasista eli tuhkapartikkeleista.

Sähkösuodattimen toimintaperiaate on jokaisessa negatiivisella alueella toimivassa suodatinmallissa sama. Tällöin emissioelektrodeihin johdetaan negatiivinen tasajännite ja keräilypinnan positiivinen varaus maadoitetaan. Savukaasu kulkee emissiopinnan ja keräilypinnan välistä, johon syntyy jännitteestä ja savukaasun sisältämistä molekyyleistä toivottu koronapurkaus, jolloin savukaasun vapaat elektronit lähtevät liikkeelle ja tempaavat mukansa varautuneet tuhkapartikkelit keräilypinnalle. Keräilypinnoille kiinnittyneet tuhkapartikkelit ravistellaan irti, jolloin ne tippuvat sähkösuodattimen alla kulkevaan laahakuljettiin, joka kuljettaa tuhkaa tuhkan käsittelyjärjestelmään. Suuremmissa soodakattiloissa sähkösuodattimia on 4 - 6 kappaletta.

Sähkösuodattimista puhdistetut savukaasut kulkeutuvat savukaasupuhaltimien läpi joko suoraan savupiippuun tai savukaasupesuriin. Savukaasupesurissa, jollainen on myös Kaukaalla, savukaasut puhdistetaan vielä paremmin poistamalla niistä loputkin tuhkapartikkelit. Savukaasupesurissa kierrätetään vettä, johon savukaasujen sisältämä lämpöenergia siirtyy. Savukaasupesurissa syntyvää lämmintä vettä voidaan käyttää sellutehtaan eri tarpeisiin, esimerkiksi lisäveden esilämmittämiseen erillisen lämmönvaihtimen avulla.

Joissakin soodakattiloissa on sähkösuodattimien jälkeen ennen savukaasupuhaltimia savukaasujen jäähdyttimet, joissa savukaasujen sisältämä lämpöenergia siirretään jäähdyttimen lämmönsiirtopintojen sisällä virtaavaan veteen. Kuumenneella vedellä voidaan lämmittää esimerkiksi lisävetä erillisen lämmönvaihtimen avulla. Soodakattilan, jossa ei ole savukaasunjäähdyttimiä, savukaasulaitteisto on rajattu punaisella neliöllä kuvassa 19.

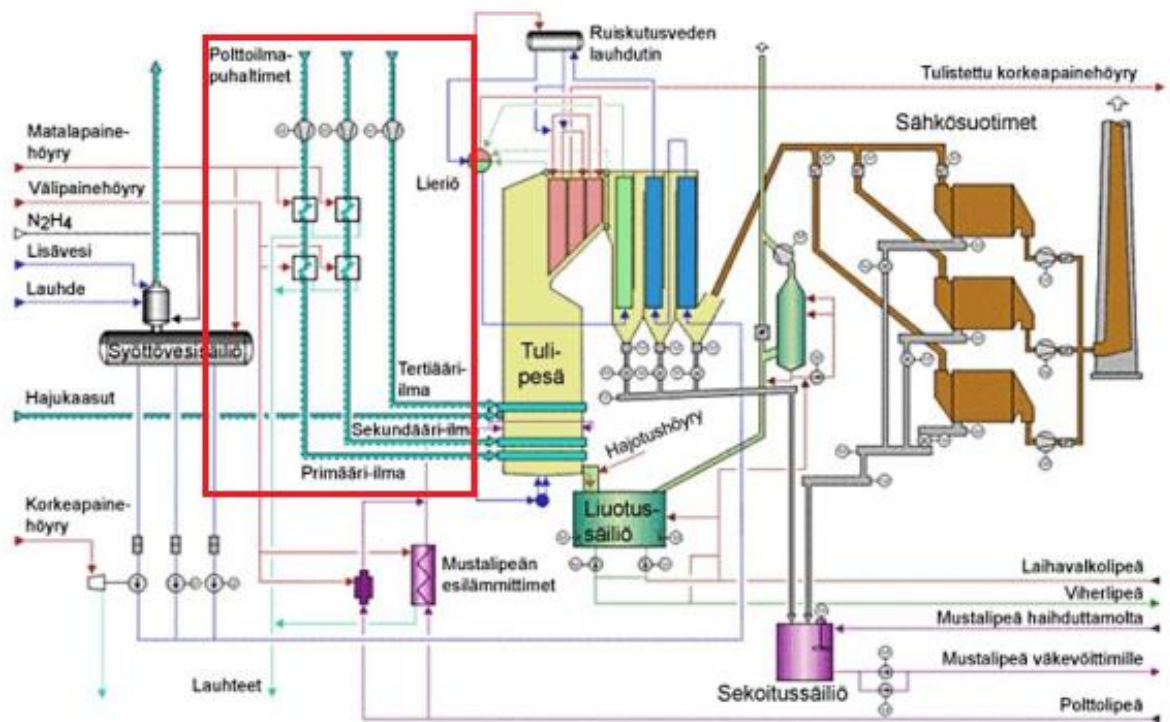


Kuva 19. Soodakattilan savukaasulaitteisto (Knowpulp 2016)

2.2.2.3 Palamisilmalaitteisto

Palamisilmalaitteiston tarkoituksena on syöttää soodakattilaan palamisprosessissa tarvittavaa palamisilmaa sekä esilämmittää palamisilmaa paremman hyötysuhteen saamiseksi ja palamisprosessin paremman hallittavuuden vuoksi.

Palamisilma imetään palamisilmapuhaltimilla joko ulkoilmasta tai kattilahuoneesta. Ulkoilmasta otettaessa palamisilma on esilämmitettävä Suomen olosuhteissa pakkaskeleillä palamisilman esilämmittimien eli luvon jäätymisen estämiseksi. Palamisilmapuhaltimia on suuremmissa soodakattiloissa jokaiselle ilmatasolle omansa eli primääri-, sekundääri-, tertiääri-, ja kvartiääri-ilmoille on omat puhaltimet. Joillakin soodakattiloilla kuormapolttimilla on vielä oma puhaltimensa. Käynnistyspolttimille palamisilma otetaan joko primääri- tai sekundääri-ilmasta. Puhaltimien jälkeen palamisilma kulkeutuu luvon läpi, joissa palamisilma lämmitetään luvon avulla uusimmissa soodakattiloissa 150 - 200 °C lämpötilaan. Luvon jälkeen palamisilma kulkeutuu soodakattilan painerungossa sijaitsevien ilma-aukkojen kautta kattilan tulipesään. Soodakattilan palamisilmalaitteisto on rajattu punaisella neliöllä kuvassa 20. Kuvasta poiketen uusimmissa soodakattiloissa on kvartiääri-ilmataso ja kaikki palamisilmat ovat esilämmitettyjä.



Kuva 20. Soodakattilan palamisilmalaitteisto (Knowpulp 2016)

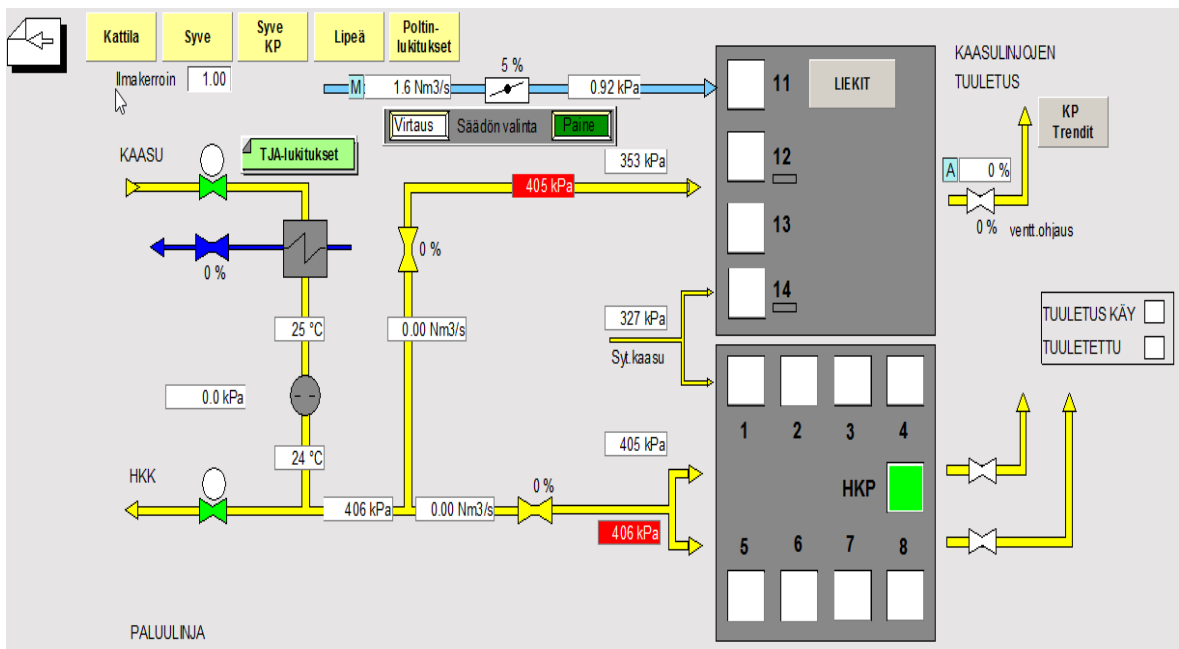
2.2.2.4 Tukipolttoainelaitteisto

Soodakattilaa ei voi käynnistää suoraan polttamalla polttoilpeää, vaan kattilan käynnistämiseen tarvitaan käynnistyspolttimia kuumentamaan soodakattilan pohjaa, jotta polttoilpeä syttyisi palamaan. Käynnistyspolttimien lisäksi soodakattiloissa on yleensä myös kuormapolttimet, joilla voidaan tarvittaessa tukea kattilan höyrykehitystä.

Käynnistyspolttimissa polttoaineena käytetään yleisimmin maakaasua, kevyttä- tai raskasta polttoöljyä. Uusimmissa soodakattiloissa käytetään käynnistyspolttimien polttoaineena myös sellutehtaan sivutuotteita, kuten metanolia, tärpähtiä tai mäntyöljyä. Käynnistyspolttimet sijaitsevat soodakattilan tulipesän alaosassa, suurin piirtein sekundääri-ilmatason korkeudella. Käynnistyspolttimien määrät ja tehot vaihtelevat paljon soodakattilan koon mukaan, mutta esimerkiksi Kaukaan soodakattilalla on kahdeksan kappaletta 10,5 MW:n poltinta.

Kuormapolttimien polttoaineina käytetään yleisimmin maakaasua, kevyttä- tai raskasta polttoöljyä. Kuormapolttimet sijaitsevat yleensä tertiääri- ja kvartiääri-ilmatasojen välissä. Myös kuormapolttimien määrät ja tehot vaihtelevat kattiloittain, mutta Kaukaan soodakattilalla on 4 kappaletta 15 MW:n poltinta.

Kaukaan soodakattilan käynnistys- ja kuormapolttimien polttoaineena käytetään maakaasua. Kuvassa 21 on esitetty Kaukaan soodakattilan polttimet. Polttimet 1 - 8 ovat käynnistyspolttimia ja ne sijaitsevat kattilan tulipesä sivuseinillä. Polttimet 11 - 14 ovat kuormapolttimia ja ne sijaitsevat kattilan etuseinällä. Kuvassa oleva HKP on väkevien hajukaasujen poltin ja se sijaitsee kattilan takaseinällä Kaukaalla.



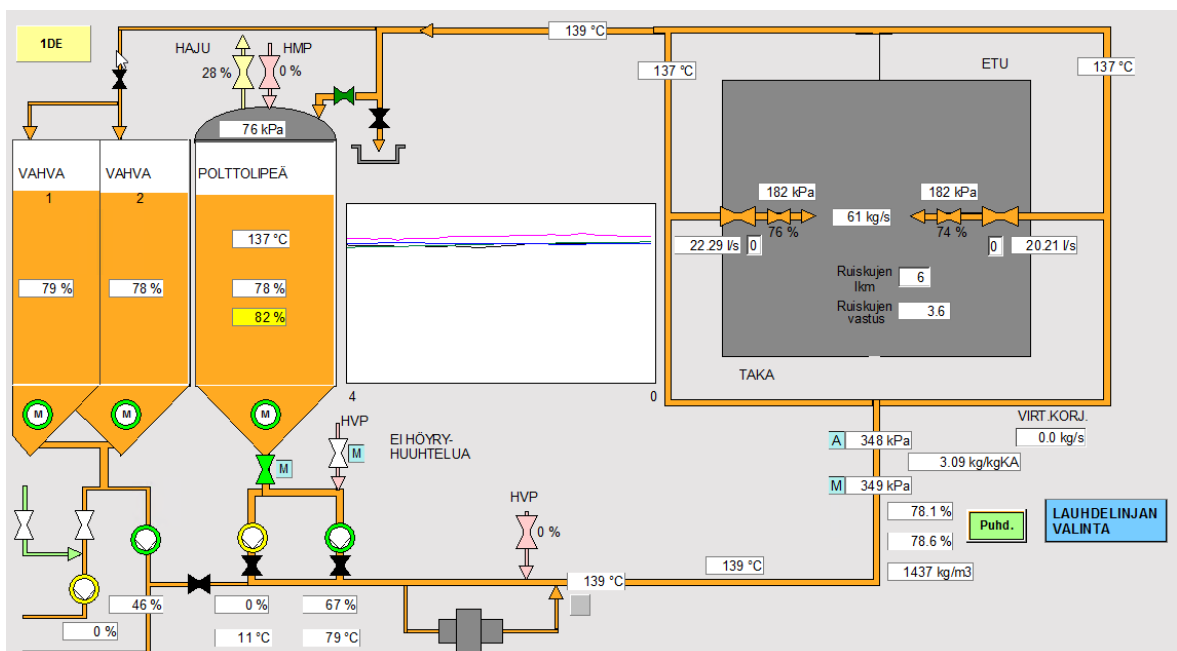
Kuva 21. Kaukaan soodakattilan polttimet (Kaukaan sellutehdas (2) 2020)

2.2.2.5 Polttoliipeälaitteisto

Polttoliipeälaitteiston tarkoituksena on siirtää polttoliipeä polttoliipeäsäiliöstä soodakattilan tulipesään. Polttoliipeäsäiliö on yleensä laitoksissa paineellinen säiliö, johon haihuttamalla valmistettu polttoliipeä varastoidaan. Polttoliipeäsäiliö on paineellinen, koska polttoliipeän kuiva-aine on nykyaikaisilla laitoksilla jopa 85 %, eli se sisältää vain 15 % vettä. Kuiva-aineen ollessa näin korkea on polttoliipeän lämpötilan oltava noin 140 °C, jotta sen ruiskut-

taminen soodakattilan tulipesään on optimaalista. Polttolipeän lämpötilan ollessa näin korkea, on polttolipeäsäiliössä oltava ylipaine, jottei lipeä alkaisi kiehumään.

Polttolipeäsäiliöstä polttolipeä pumpataan niin sanotulle lipeärenkaalle, joka kiertää soodakattilan ympäri. Lipeärenkaalta polttolipeää ohjataan putkiston ja letkujen avulla lipeäruiskuille, joiden avulla polttolipeä ruiskutetaan soodakattilan tulipesään. Osa polttolipeästä palautetaan lipeärenkaalta palautuslinjaa pitkin polttolipeäsäiliöön putkiston auki pysyvyyden varmistamiseksi. Kuvassa 22 on esitetty Kaukaan soodakattilan polttolipeälaitteisto. Polttolipeää ruiskutetaan tulipesään Kaukaalla kattilan sivuseiniltä ja lipeäruiskuja on normaalitilanteessa käytössä 6 kappaletta.



Kuva 22. Kaukaan soodakattilan polttolipeälaitteisto (Kaukaan sellutehdas (2) 2020)

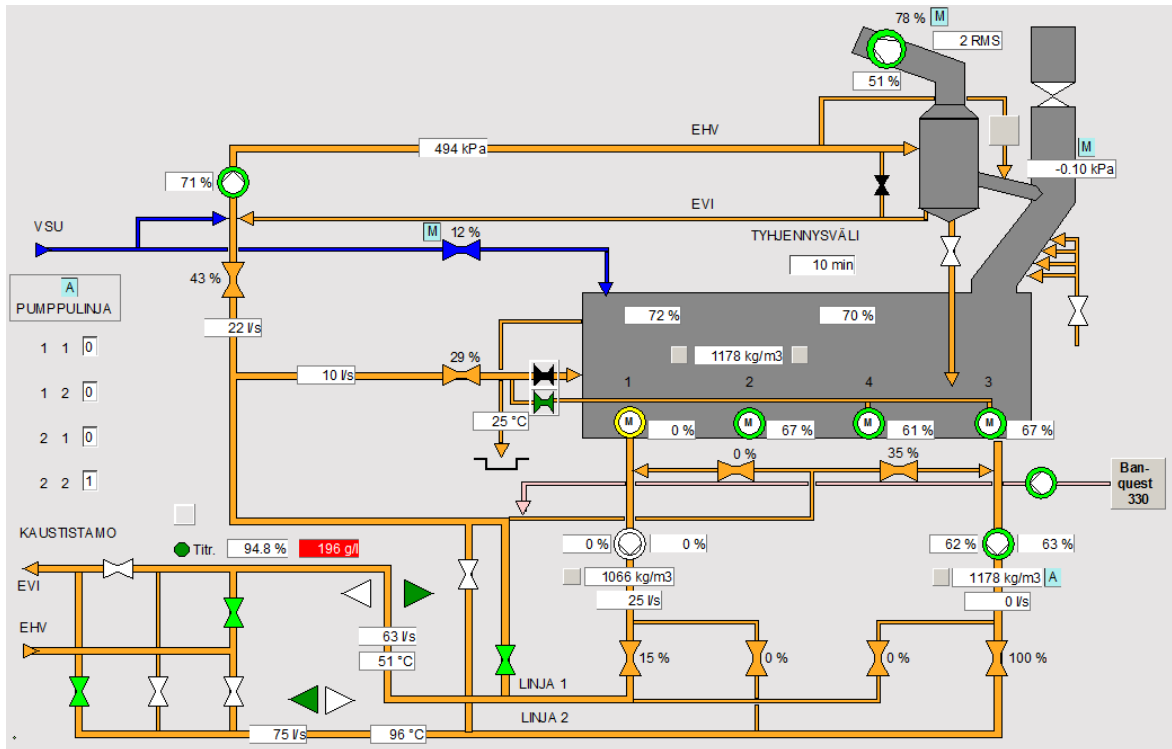
2.2.2.6 Sula- ja viherlipeälaitteisto

Sula- ja viherlipeälaitteisto koostuu sulakourujärjestelmästä, sulakourujen jäädytysjärjestelmästä, liuottajasta, liuottajan hönkäjäjärjestelmästä, sekoittimista ja viherlipeäpumpuista. Soodakattila poikkeaa muihin höyrykattiloihin verrattuna monessakin suhteessa ja yksi poikkeavuus on se, että soodakattilan palamisprosessin seurauksena syntyy kemikaalisulaa, jonka sisältämät kemikaalit halutaan saada talteen mahdollisimman hyvin sellutehtaan kemikaalikustannuksien vähentämiseksi. Sula- ja viherlipeälaitteiston tarkoituksena on joh-

dattaa soodakattilassa muodostuva sula sulakouruja pitkin liuottajaan, sekoittaa sula liuottajassa veteen sekä/tai laihavalkoliipeään sopivassa suhteessa ja pumpata liuottajassa muodostuva viherlipeä kaustisointilaitokselle.

Sulakourujen määrä riippuu soodakattilan koosta. Pienillä soodakattiloilla voi olla vain yksi sulakouru, kun taas suurilla kattiloilla toistakymmentä. Kaukaan soodakattilassa kouruja on tällä hetkellä kuusi kappaletta. Sulakourut ovat vesijähdytteisiä, eli niiden läpi virtaa vesi, jota jäähdytetään sulakourujen jäähdytysvesilaitteiston avulla. Sulakourulta valuva sulavirtaus hajotetaan väli- tai matalapainehöyryllä pisaroiksi, ennen putoamistaan liuottajaan. Liuottajassa sulapisararat sekoittuvat sekoittimien avulla veteen sekä/tai laihavalkoliipeään. Laihavalkoliipeä pumpataan liuottajaan kaustistamolta. Sulan ja veden/laihavalkoliipeän sekoitussuhdetta seurataan viherlipeän väkevyyden avulla. Väkevyyden pitää olla aina sopiva, jotta kaustisointiprosessi toimii optimaalisesti. Liuottajasta viherlipeä pumpataan kaustistamolle viherlipeäpumpun avulla viherlipeälinjaa pitkin. Viherlipeälinjoja on vähintään kaksi, joista toisessa virtaa viherlipeä kaustistamolle ja toisessa laihavalkoliipeä kaustistamolta liuottajaan. Linjoja vaihdetaan tehtaasta riippuen keskenään noin kerran vuorokaudessa, jolloin laihavalkoliipeällä oleva linja puhdistuu. Joillakin tehtailla on myös kolmas viherlipeälinja varalinjana siltä varalta, jos jompikumpi varsinaisista linjoista tukkeutuu tai vaurioituu.

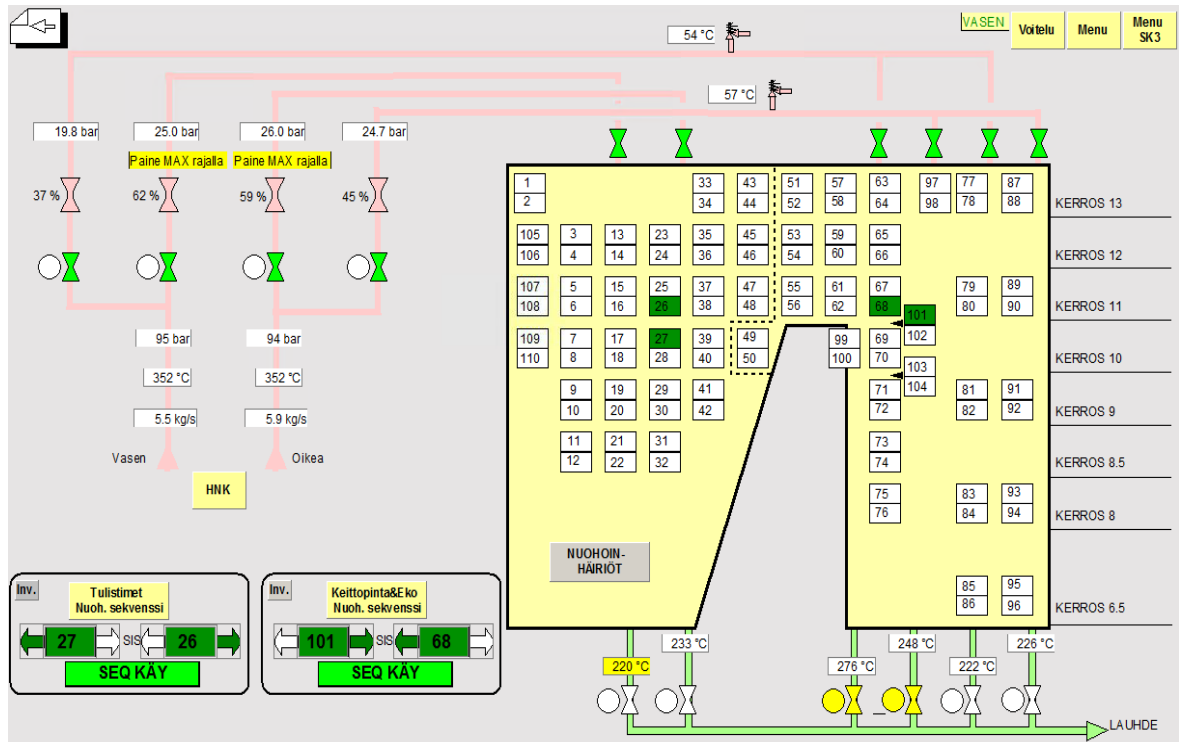
Liuottajan hönkäjärjestelmällä liuottajasta imetään hönkäkaasuja hönkäpuhaltimen avulla. Ennen hönkäpuhallinta hönkäkaasut kulkeutuvat hönkäpesurin läpi, jossa kaasut pestään laihavalkoliipeällä. Hönkäkaasut sisältävät vesihöyryä, rikkiyhdisteitä ja pölyä. Hönkäpesurista laihavalkoliipeään sitoutuneet kemikaalit ja epäpuhtaudet johdetaan liuottajaan. Puhdistetut hönkäkaasut johdetaan kuivaimien, eli pisaranerotimien, kautta hönkäpuhaltimelle. Useimmiten hönkäpesurista hönkäkaasut johdetaan soodakattilaan, jossa kaasujen sisältämät palavat ainesosat poltetaan. Tällöin hönkäkaasut esilämmitetään ennen soodakattilaa höyryllä toimivan lämmönvaihtimen avulla palamisprosessin parantamiseksi. Liuottajan hönkäkaasut johdetaan soodakattilaan yleensä tertiääri- tai ylemmän sekundääri-ilmatason kautta. Kaukaan soodakattilalla liuottajan hönkiä ei polteta soodakattilassa, vaan ne johdetaan hönkäpesurilta savukaasupesuriin, josta ne kulkeutuvat piippuun. Kuvassa 23 on esitetty Kaukaan soodakattilan sula- ja viherlipeänsäätelylaitteisto.



Kuva 23. Kaukaan soodakattilan sulan- ja viherlipeänlaitteisto (Kaukaan sellutehdas (2) 2020)

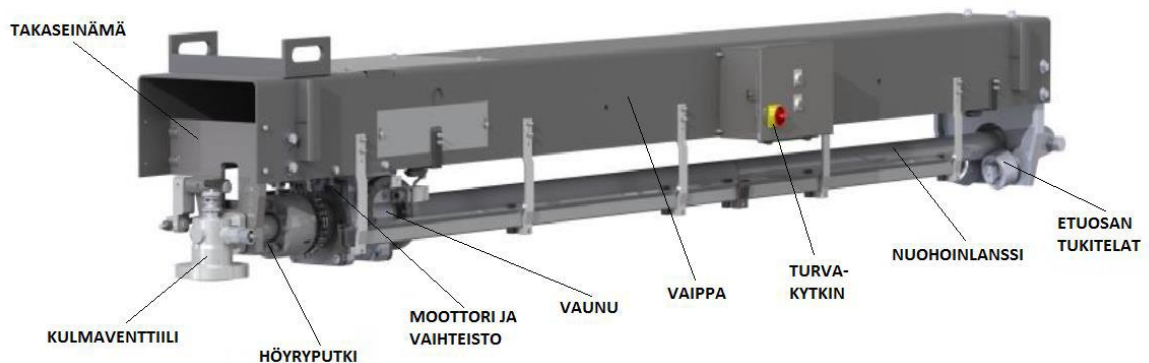
2.2.2.7 Nuohouslaitteisto

Soodakattilan nuohouslaitteiston tarkoituksena on pitää kattilan lämpöpinnat puhtaina. Soodakattilan nuohouslaitteisto sekä sen käyttö poikkeaa muihin höyrykattiloihin verrattuna melko paljon. Ensinäkin soodakattilaa nuohotaan jatkuvasti, kun taas muita höyrykattiloita yleensä kerran päivässä. Toisekseen soodakattilassa on nuohoimia huomattavasti enemmän kuin muissa höyrykattiloissa. Esimerkiksi Kaukaan voiman kiertopetikattilalla, joka on höyrystykseltään lähes saman kokoinen kuin Kaukaan soodakattila, nuohoimia on 36 kappaletta ja Kaukaan soodakattilalla nuohoimia on 110 kappaletta. Edellä mainitut poikkeavuudet johtuvat siitä syystä, että soodakattila likaantuu todella nopeasti, jollei sitä nuohota jatkuvasti tehokkaasti. Tästä syystä nuohouslaitteisto on soodakattilassa huomattavasti merkittävämmässä roolissa kuin muissa höyrykattiloissa. Kuvassa 24 on esitetty Kaukaan soodakattilan nuohouslaitteisto.



Kuva 24. Kaukaan soodakattilan nuohouslaitteisto (Kaukaan sellutehdas (2) 2020)

Soodakattilaa nuohotaan höyrynuohoimien avulla. Höyrynpaine höyrynuohoimilla vaihtelee 20 - 35 bar välillä riippuen siitä minkälainen suutin nuohoimessa on ja millä kattilan alueella nuohoin sijaitsee. Höyry nuohoimille tulee vanhemmilla soodakattiloilla primääritulistimien jälkeisestä väliotosta. Uudemmissa laitoksissa nuohoushöyryä otetaan myös höyryturbiinin väliotosta, jolloin saadaan maksimoitua sähköntuotanto. Kaukaalla nuohoushöyry tulee nuohoimille primääritulistimelta. Kuvassa 25 on esitetty soodakattilan nuohoin.



Kuva 25. Soodakattilan nuohoin (Penttinen 2018)

Perinteisessä nuohousjärjestelmässä höyrynuohoimia ohjataan nuohoussekvenssiin tehdyn järjestyksen mukaan. Uudemmissa soodakattiloissa on nuohouksen ylätasosäätö, joka ohjaa nuohousjärjestelmää tulipesän painemittauksien avulla, jolloin nuohousta tehostetaan sillä alueella, jossa savukaasuvirtauksen synnyttämä paine-ero alkaa kasvamaan jonkin lämpöpinnan yli. Kaukaalla on käytössä perinteinen sekvenssinuohous.

Vanhemmissa soodakattiloissa nuohotaan niin sanotulla yksi-parinuohouksella, jolloin soodakattilassa on kaksi höyrynuohointa kerrallaan nuohoamassa. Uusissa soodakattiloissa kattila on jaettu kolmeen osaan, ekonomaisereihin, keittopintaan ja tulismiin, jolloin jokaisella alueella nuohoaa koko ajan kaksi höyrynuohointa. Tätä tapaa kutsutaan kolmi-parinuohoukseksi. Kaukaan soodakattilalla on käytössä kaksi-parinuohous, jolloin ekonomaisereilla sekä keittopinnalla nuohoaa kaksi nuohointa ja tulistimien alueella kaksi nuohointa. Lisäksi soodakattiloilla nuohouslaitteistoa käytetään kattilan pesulaitteistona esimerkiksi vuosihuoltoseisokkiin valmistauduttaessa. Tällöin nuohoimille syötetään höyryn sijasta kuumaa vettä, jonka avulla kattilan lämpöpinnoille kertyneet kerrostumat saadaan poistettua todella tehokkaasti.

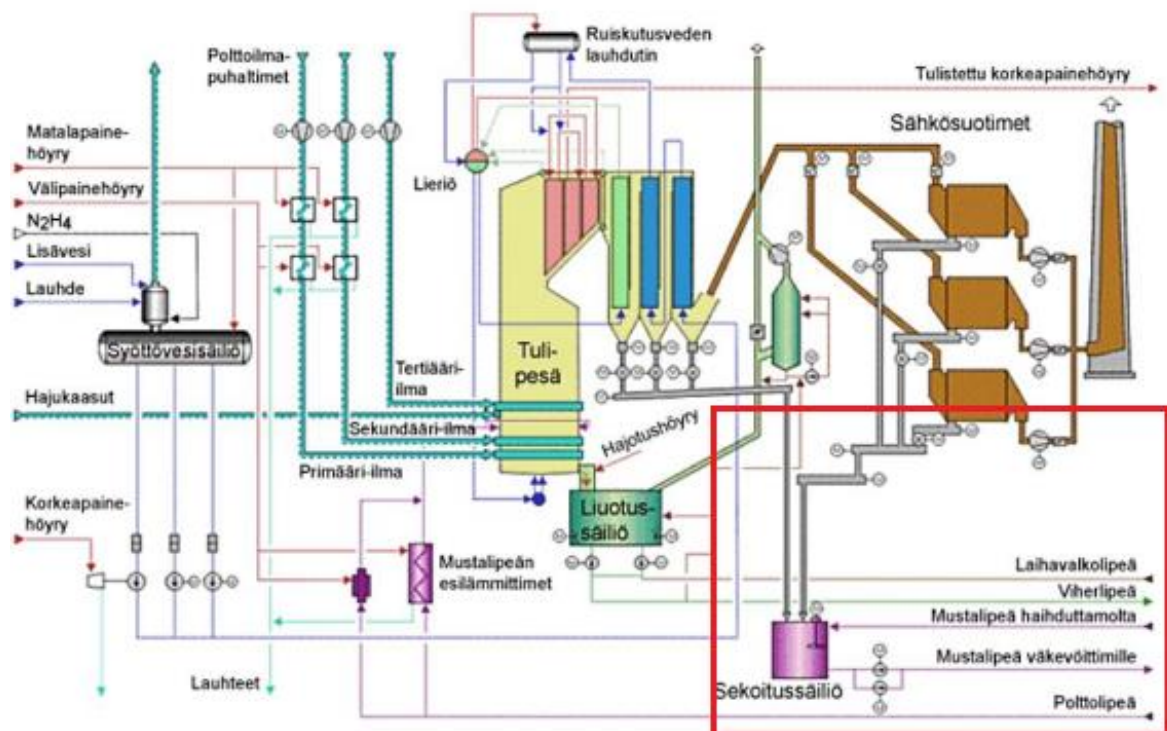
2.2.2.8 Tuhkankäsittelylaitteisto

Soodakattila poikkeaa tuhkankäsittelynkin suhteen paljon muista höyrykattiloista, joissa palamisprosessin ylijäämätuote, tuhka, otetaan prosessista ulos ja viedään esimerkiksi kaatopaikalle. Soodakattilassa tuhkankäsittelylaitteiston tarkoituksena on ottaa talteen soodakattilassa syntyvä tuhka ja siirtää se takaisin sellutehtaan kemikaalikiertoon, jotta tuhkan sisältämät kemikaalit saadaan talteen ja näin ollen sellutehtaan kemikaalikustannuksia saadaan pienennettyä.

Soodakattilassa tuhkaa kerätään talteen ekonomaiserien ja keittopinnan lämmönsiirtopinnoilta sekä sähkösuodattimilta. Keittopinnan ja ekonomaiserien alueelta tuhka tippuu höyrynuohouksen seurauksena lämmönsiirtopintojen alla oleviin suppiloihin, joista tuhka kuljetetaan kolakuljettimien ja sulkusyöttimien avulla sekoitussäiliöön. Sähkösuodattimilta savukaasuista erotettu tuhka kuljetetaan laaha- sekä kolakuljettimien ja sulkusyöttimien avulla sekoitussäiliöön.

Sekoitussäiliöön pumpataan jatkuvalla virtauksella haihduttamolta vahvalipeää, johon tuhka sekoittuu sekoittimien avulla. Sekoitussäiliöstä tuhka/lipeäseos pumpataan takaisin haihduttamolle, jossa se johdetaan haihduttamon vahvan pään yksiköille. Tämän prosessikytkennän suurena etuna voidaan mainita se, että tuhka/vahvalipeäseoksen sisältämät tuhkakiteet toimivat oivallisesti haihduttamon vahvan pään haihdutinyksiköiden lämmönsiirtojen puhdistajana, jolloin näitä yksiköitä ei tarvitse pestä kovinkaan usein.

Toinen tapa, varsinkin vanhemmissa soodakattiloissa yleinen, on sekoittaa tuhkat suoraan polttolipeään, jolloin haihduttamolta tulevaan polttolipeään sekoitetaan sekoitussäiliössä tuhkat, jonka jälkeen polttolipeä/tuhkaseos ruiskutetaan soodakattilaan. Tämän prosessikytkennän etuna on sen edullisemmat rakennuskustannukset, mutta toisaalta tämän kaltaisessa kytkennässä menetetään tuhkan puhdistava elementti haihduttamalla. Toisekseen tuhka ei sekoitu korkeammassa kuiva-aineessa olevaan polttolipeään kovin hyvin, jolloin esimerkiksi polttolipeäruiskut saattavat tukkeutua tuhkaosuuksista. Kaukaalla sekoitussäiliöstä tuhka/vahvalipeäseos pumpataan takaisin haihduttamolle. Soodakattilan tuhkankäsitteilylaitteisto on rajattu punaisella neliöllä kuvassa 26.



Kuva 26. Soodakattilan tuhkankäsitteilylaitteisto (Knowpulp 2016)

Uusilla soodakattiloilla on käytössä erilaisia tuhkanliuotusjärjestelmiä. Niiden tarkoituksena on hallita polttoliipeänlipeän kalium- ja klooritasoja. Polttoliipeän korkeiden kalium- ja klooritasojen on havaittu aiheuttavan soodakattiloille tukkeentumis- ja korroosiovaikutuksia, jolloin lipeäkierrosta poistetaan kaliumia sekä kloridia.

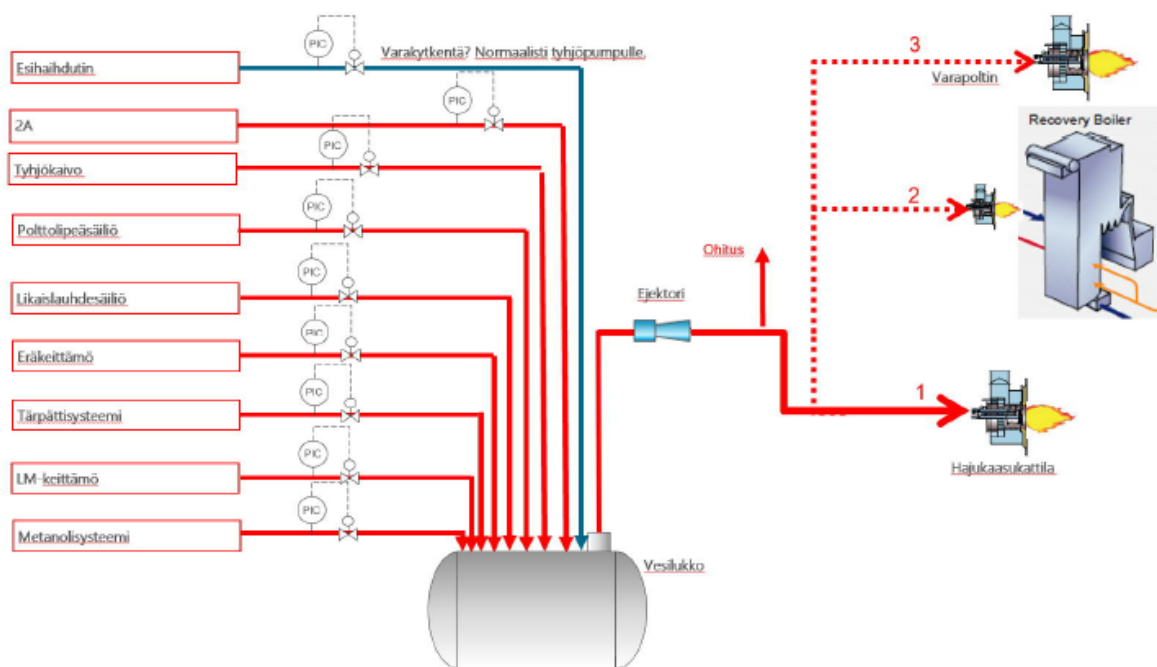
2.2.2.9 Hajukaasujen käsittelylaitteisto

Sellutehtaan eri prosessivaiheista syntyy kaasumaisia haisevia rikkiyhdisteitä. Näitä kaasuja kutsutaan laimeiksi- ja väkeviksi hajukaasuiksi. Laimeat hajukaasut ovat nimensä mukaisesti huomattavasti laimeampia kaasuja kuin väkevät hajukaasut ja ne voidaan sekoittaa esimerkiksi soodakattilan, hajukaasukattilan tai meesauunin palamisilmojen joukkoon. Yleensä laimeat hajukaasut lämmitetään höyryllä toimivan lämmönvaihtimen avulla ennen syöttöä polttokohteeseen. Kaukaalla laimeita hajukaasuja poltetaan meesauunissa, jossa poltetaan kaustistamolta ja mäntyöljylaitokselta syntyvät laimeat hajukaasut, sekä soodakattilalla kaikki muut tehtaalla syntyvät laimeat hajukaasut.

Väkevien hajukaasujen käsittely on astetta haastavampaa, koska ne sisältävät huomattavasti enemmän palavia yhdisteitä kuin laimeat hajukaasut, jolloin niitä ei voi sekoittaa palamisilman joukkoon räjähdysriskin vuoksi. Tämän vuoksi väkeville hajukaasuille pitää olla erillinen polttolaitteisto, jossa ne poltetaan. Yleensä väkeviä hajukaasuja poltetaan sellutehtailla meesauunissa, soodakattilassa, hajukaasukattilalla tai soihdussa. Kaukaalla on tällä hetkellä polttopaikkoina soodakattilan hajukaasupoltin, erillinen hajukaasukattila sekä varapoltin eli maasoihtu. Jos mikään edellä mainituista polttopaikoista ei ole käyttökuntoinen, niin tällöin väkevät hajukaasut ohjataan suoraan piippuun.

Uudemmissa tehtailla väkeviä hajukaasuja poltetaan sooda- tai voimakattilan hajukaasupolttimella sekä maa- tai kattosoihduilla. Sellutehtailla, joissa halutaan tehdä natriumbisulfiittia keittämön tarpeisiin, on hajukaasukattila, jolloin hajukaasukattilan savukaasupesurilla tehdään natriumbisulfiittia. Hajukaasujen käsittelylaitteistoja suunniteltaessa, rakennettaessa ja käytettäessä on tärkeää muistaa, etteivät laimeat hajukaasut pääse rikastumaan, jolloin niistä muodostuu väkeviä hajukaasuja, ja ne voivat ilman hapen kanssa sekoittuessaan räjähtää. Samasta syystä väkeviä hajukaasuja ei saa koskaan päästä laimeiden hajukaasujen joukkoon. Täten laimeiden- ja väkevien hajukaasujen järjestelmät on aina pidettävä

erillään toisistaan. Kuvassa 27 on laitetoimittajan tekemä parannussuunnitelman periaatekuva Kaukaan väkevien hajukaasujen käsittelyn toimintavarmuuden parantamiseksi. Päivittämällä väkevien hajukaasujen järjestelmä kuvan mukaiseksi saataisiin Kaukaan nykyistä järjestelmää nykyaikaistettua sekä yksinkertaistettua.



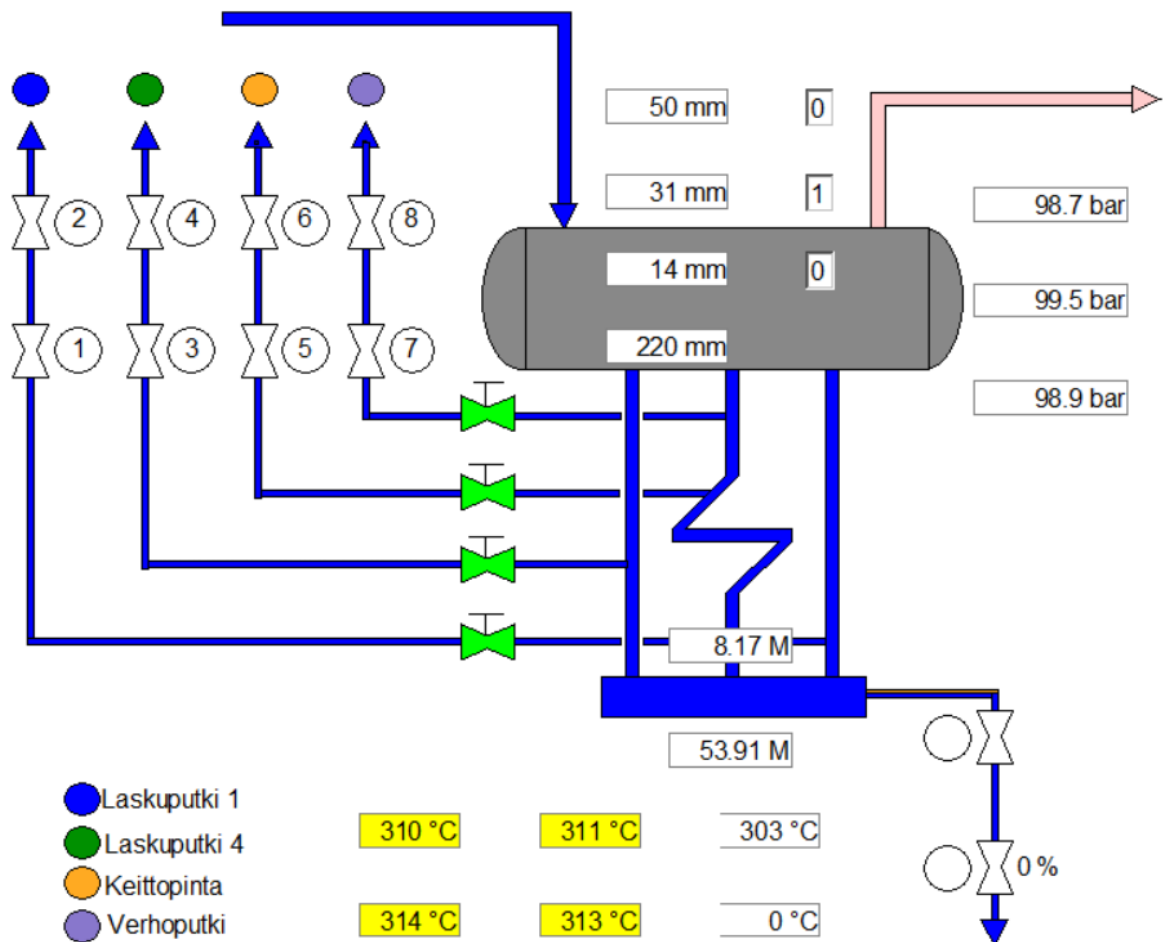
Kuva 27. Kaukaan soodakattilan väkevien hajukaasujen käsittelylaitteiston parannusehdotuksen periaatekuva (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

2.2.2.10 Turvallisuuden liittyvä laitteisto

Soodakattilan turvallisuuden liittyvä laitteisto ei muuten poikkea merkittävästi muihin höyrykattiloihin verrattuna kuin siten, että soodakattiloilla on kattilan pikatyhjennysjärjestelmä sekä useimmiten höyryturbiinikäyttöinen syöttövesipumppu. Soodakattilan pikatyhjennysjärjestelmän avulla voidaan kattila tyhjentää nopeasti pikapysäytyksen jälkeen. Pikatyhjennys suoritetaan vain äärimmäisissä tilanteissa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi soodakattilan tulipesän alueelle syntyvät painerungon vuodot, jolloin soodakattiloille tyyppinen, äärimmäisen harvinainen mutta vaarallinen, sulavesiräjähdyks on mahdollinen. Pikatyhjennystilanteessa pikatyhjennysnappia painettaessa soodakattilasta puhalletaan kattilan vesi-höyryjärjestelmän paineen avulla kattilavedet pikatyhjennysputkiston kautta soodakattilan katolta atmosfääriin. Kaukaan soodakattilalla pikatyhjennyslinjoja on neljä ja kattilan vesipinta lasketaan noin 53 metristä noin 8 metriin. Kaksi linjoista lähtee laskuput-

kista, yksi verhoputkistolta ja yksi keittopinnalta. Kaukaan pikatyhjennysjärjestelmä on esitetty kuvassa 28.

Turbiinikäyttöisen syöttövesipumpun avulla voidaan varmistaa esimerkiksi sähkökatkok-sien aikana soodakattilan vedensaanti. Soodakattiloiden toiminta on siinä mielessä erilaista muihin höyrykattiloihin nähden, että tulipesän pohjalla olevaan sulakekoon on varautunut huomattava määrä lämpöenergiaa sekä lämpöä tuottavaa palavaa ainesta, jolloin kattilan pysäytystilanteissa palamisprosessi ei pysähdy läheskään yhtä nopeasti kuin esimerkiksi leijupetikattilalla. Uusimmilla soodakattiloilla turbiinikäyttöistä syöttövesipumppua ei vält-tämättä ole, koska laitetoimittajat eivät näe sitä nykyään enää välttämättömyydeksi.



Kuva 28. Pikatyhjennysjärjestelmä (Kaukaan sellutehdas (2) 2020)

3 KAUKAAN SOODAKATTILAN HISTORIA

Kaukaan tehtaat muodostavat biometsteollisuuden integraatin, jossa tuotetaan sellua, aikakauslehtipaperia, sahatavaraa, energiaa sekä biopolttoaineita. Tehtaan toiminta alkoi vuonna 1892 lankarullatehtaasta ja tänä päivänä sellutehdas työllistää 260 henkilöä. Sellutehtaaseen kuuluu kaksi kuitulinjaa, kemikaalien talteenotto, jäteveden puhdistamo ja kaksi kuivauskonetta. Sellutehdas valmistaa kemiallisesti valkaistua havu- sekä koivusellua 770 000 tonnia vuodessa ja laatuina ovat muun muassa UPM Betula koivusellu, UPM Conifer havusellu ja Conifer Reinforcement armeerausmassa. (Kaukaan sellutehdas (4) 2020)

Kaukaan sellutehdasta uudistettiin isommassa mittakaavassa 1990-luvulla, jolloin vuonna 1991 tehtaaseen investoitiin uusi soodakattila sekä haihduttamo, jotka ovat käytössä tänäkin päivänä. Uusi soodakattila korvasi kaksi vanhaa pienempää soodakattilaa. Nykyisellä soodakattilalla ajettiin vajaata kuormaa vuosina 1991 – 1996, koska se oli hiukan ylisuuri muuhun tehtaaseen nähden. Vuonna 1996 tehtaan mitoituskapasiteettia nostettiin 720 000 sellutonniin vuodessa, jolloin investoitiin muun muassa uuteen havukuitulinjaan ja toiseen kuivatuskoneeseen. Investoinnin yhteydessä soodakattilan kapasiteettia nostettiin. Talteenotossa uusittiin kaustisointilaitos sekä meesauuni ja haihduttamolle lisättiin esihaihdutin sekä haihdutinyksikkö 2A. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

720 000 sellutonnin vuosituotantoa yritettiin saavuttaa pitkään ja 700 000 tonnin tuotanto saavutettiin vuonna 2012, Vuonna 1996 suunniteltu mitoituskapasiteetti saavutettiin vuonna 2013. Vuonna 2016 investoitiin tehtaan molempiin kuivatuskoneisiin sekä haihduttamoon, jolloin tehtaan mitoituskapasiteetti nostettiin 740 000 sellutonniin. Tämä tuotanto saavutettiin heti seuravana vuotena ja vuonna 2018 investoitiin soodakattilan ilmanjako- muutokseen, kaustisointilaitokseen ja haihduttamoon, jolloin tehtaan mitoituskapasiteetti nostettiin 770 000 sellutonniin vuodessa. 770 000 sellutonnin vuosituotanto saavutettiin vuonna 2019. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

3.1 Kaukaan nykyinen soodakattila

Kaukaan soodakattila on otettu käyttöön vuonna 1991, jolloin kattilan kapasiteetti oli 2 700 tDs/d ja tulistetun höyryn arvot olivat 118 kg/s, 480 °C ja 84 bar. Vuonna 1996 soodakattilalle tehtiin kapasiteetinnosto, jolloin kattilan kapasiteetiksi tuli 3 780 tDs/d ja tulistetun höyryn arvoiksi 141 kg/s olivat 480 °C ja 84 bar. Vuonna 2018 tehtiin toinen kapasiteetinnosto, jolloin kapasiteetiksi tuli 4 200 tDs/d ja tulistetun höyryn arvoiksi 170 kg/s, 480 °C ja 84 bar. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

Kaukaan soodakattilan pohjankuormitus on korkeahko eli 3,8 - 4,0 MW/m². Suurin kapasiteetti mitä soodakattilalla on ajettu, on vuoden 2019 syksyllä suoritettu koeajo, jolloin kattilan kapasiteetti nostettiin hetkellisesti 4 450 tDs/d. Tällöin kattilan vesi-höyrykierrossa oli havaittavissa kiertohäiriöitä, jolloin todettiin Kaukaan soodakattilan maksimikapasiteetin olevan tänä päivänä noin 4 200 tDs/d eli juuri sen mitä laitetoimittaja on kattilalle taannut kapasiteetinnoston yhteydessä vuonna 2018.

3.2 Kaukaan nykyisen soodakattilan vauriot

Liitteessä 1 on esitetty Suomen soodakattilayhdistyksen vauriotietokannasta löytyvät vauriot Kaukaan nykyisen soodakattilan osalta kirjaamisjärjestyksessä vuosien 1994 ja 2018 väliltä. Liitteestä voidaan havaita, että yhdistyksen vauriotietokantaan raportoidut Kaukaan soodakattilan vauriot on esitetty seuraavassa siinä järjestyksessä missä vaurioita on tapahtunut määrällisesti eniten:

1. 7 kertaa vuotoja 2. ekonomaiserissa pääjakokammion ja elementtien yhdysputken liitoshitsauksissa. Syynä elementtien puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohouspaine, joiden seurauksena elementit päässeet heilumaan ja liitoshitsauksen pääjakokammioon alkaneet säröilemään.
2. 3 kertaa vuotoja 1. ekonomaiserissa pääjakokammion ja elementtien yhdysputken liitoshitsauksissa. Syyt samat kuin 2. ekonomaiserissa.
3. Vuodot nuohoimien 1 ja 2 aukkojen ohitusputkissa. Syynä liian leveät evät aukkoissa, jonka seurauksena eviin kohdistunut suuri lämpöjännitys soodakattilan ylös- ja

alasajotilanteissa. Lämpöjännityksen seurauksena evät alkaneet säröilemään, jolloin säröt ovat jatkuneet evän hitsisauman yli myös painerunkoon.

4. Sulavuoto primääri-ilma-aukon massakotelosta kattilahuoneeseen. Syynä liian korkea sulakeko, jolloin sula pääsi primääri-ilma-aukoille asti.
5. Vuoto 2B-tulistimen konepajalla tehdyissä jatkosaumoissa. Syynä virheellisesti suoritettu soodakattilan alasajo, jolloin kattilavesi pääsi täyttämään tulistimet vaurioittaen 2B-tulistimen.
6. Hallitsematon sulasyöksy liuottajaan, jolloin liuottajassa tapahtui sularäjähdyks. Syynä soodakattilan ajotapavirhe, jonka seurauksena laitoksen alasajossa suoritettua kattilan vesipesun suolaa runsaasti sisältävät jätevedet ajettiin haihduttamolle. Haihduttamolta polttolipeän mukana soodakattilaan tuli suuri määrä suolaa ja sen seurauksena palaminen kattilassa loppui aiheuttaen sulasyöksen.
7. Vuoto keittopinnan alaosassa. Syynä liian nopea soodakattilan jäähtytys alasajon yhteydessä.
8. Vuoto nuohoimen 92 aukon kohdalla. Syynä nuohoimen vuotava höyryventtiili, jonka seurauksena ekonomaiserin putkeen syntynyt korroosion vuoksi kulumaa.
9. Sulakouru 4 tukkeutumisen seurauksena sula kaatoi sulakourusta ulos liuottajan kannelle. Syynä kulunut sulan hajoitushöyrysuutin, jolloin höyryä suihkutettiin vastavirtaan sulavirtaan nähden. Tämän seurauksena sula jähmettyi sulakouruun tukkien kourun ja sula valui kourusta liuottajan kannelle liuottajan sijaan.
10. Vuoto keittopinnan keskiosassa. Syynä putken sisäpuolelle muodostuneen magnetiittikerrostuman aiheuttama vetyhyökkäys, joka aiheutti voimakkaan paikallisen korroosion putken sisäpuolelle.
11. Vuoto hilaputkiston jakokammion vasemmassa laidassa. Syynä huono kattilavesikemia, jonka seurauksena kattilavedessä runsaasti putkistoa tukkivaa sakkaa.
12. Vuoto tulipesässä compound-alueen yläpuolelta oikealla seinällä. Syynä huono kattilavesikemia, jonka seurauksena putken sisäpintaan kertynyt paksu kerros muun muassa kuparia. Kertymän seurauksena putki ylikuumentui ja vaurioitui.
13. Vuoto keittopinnan keskiosassa. Syynä putkeen asennuksessa jäänyt kangastulppa, joka tukki putken. Tukoksen seurauksena putki ylikuumentui ja vaurioitui.
14. Vuoto 5. sulakourun aukon ohitusputkessa. Sulakouruaukon vuodon aiheutti vanhemmuuttaan ohentunut putki.

15. Vuoto keittopinnan yläosassa. Syynä huonon kattilavesikemian seurauksena tukkeutunut putki, joka ylikuumentui ja vaurioitui tukkeutumisen seurauksena.
16. Vuoto 3-tulistimen putkiston alakäyrissä. Syynä systemaattinen konepajavirhe tulistimen alakäyrän 1.4912/13Crmo hitsisaumassa.
17. 1. sulakourun vaurioituminen. Syynä sulakouruun tullut särö, joka aiheutti jäähdytysveden kiertohäiriön. Ylikuumentumisen seurauksena kouru vaurioitui täysin ja sulaa valui liuottajan kannelle. (Suomen soodakattilayhdistys 2020)

Suurin osa edellä mainituista vaurioista on tapahtunut ekonomaiserien jakokammioiden sekä elementtien liitossaumoissa, jolloin soodakattila on voitu operoida hallitusti pysähdyksiin. Vakavimmat vauriot ovat tapahtuneet soodakattilan tulipesässä, keittopinnalla, 2B-tulistimella ja sulakouruilla, jolloin kattilan turva-automaatiojärjestelmä on pysäyttänyt kattilan tai vakavimmissa tapauksissa on operaattori joutunut tekemään kattilalle pikapysäytyksen sekä pikatyhjennyksen saadakseen kattilan turvalliseen tilaan.

3.3 Kaukaan nykyisen soodakattilan muutostyöt

Soodakattilan teknisenä käyttöikäenä pidetään tyypillisesti 20 vuotta, jolloin käyttötunteja on kattilalle kertynyt yli 200 000. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että soodakattilan elinikä on loppu, vaan elinikää voidaan pidentää huomattavasti tarkastamalla kattilaa systemaattisesti, huoltamalla laitteita sekä vaihtamalla kuluneita laitteita ja painerungon osia uusiin. Näin on toimittu myös Kaukaan soodakattilan osalta, jolloin kattilan elinikää ollaan pystytty pidentämään.

Kaukaan soodakattilan painerunkoon on vuosien varrella tehty paljon muutoksia edellisessä kappaleessa esitettyjen vaurioitumiskohtien poistamiseksi sekä kunnossapitotöiden ja kapasiteetinnostojen yhteydessä. Alla muutamia poimintoja aikajärjestyksessä siitä, mitä painerungon osia on lisätty ja vaihdettu sekä tullaan vaihtamaan alkuperäiseen painerungon rakenteeseen eri vuosina:

- 1996, 3A-tulistin lisättiin soodakattilan kapasiteetinnoston yhteydessä.
- 1999, compound-rajaa nostettiin tulipesän pohjasta mitattuna ylöspäin 12 metristä 22 metriin. Rajaa nostettiin, koska vuoden 1996 kapasiteetinnostossa uusittujen

yläilmojen seurauksena alueelle syntyi redusioiva kohta, jolloin hiiliteräs alkoi korrosoitua.

- 2006, tulipesän seinäputkia vaihdettiin 300 metriä tulipesävuodon jälkeisissä tarkastuksissa havaittujen kerrostumien vuoksi. Samalla soodakattilalle suoritettiin peittäus ja magnetiittikalvonajo.
- 2014, höyrynjäähdyttimet, ekonomaiserien pääjakokammiot sekä 3-tulistin uusittiin kulumisien vuoksi. Lisäksi ekonomaisereiden elementtien sidontoja parannettiin elementtien heilumisen ehkäisemiseksi.
- 2015, sulakouru- sekä primääri-ilma-aukot uusittiin aukkojen ohitusputkien pinnoitteiden ohentumien vuoksi.
- 2016, tulistinalueella sijaitsevien nuohoimien aukkojen säröytyvien evien systemaattinen poistaminen aloitettiin.
- 2016, keittopinnan elementtien sidontoja parannettiin elementtien heilumisen ehkäisemiseksi.
- 2016, 3-tulistimen alalenkit vaihdettiin 13Crmo-käyriin lenkkien valmistusvirheen vuoksi.
- 2018, lipeäruisku-, sekundääri- ja kvartiääri-ilma-aukot sekä tulipesän alimmat miesluukut uusittiin kapasiteetinnoston yhteydessä.
- 2018, kvartiääri-ilmapuhallin lisättiin kapasiteetinnoston yhteydessä.
- 2018, nuohousjärjestelmä muutettiin 2-parinuohoukseksi.
- 2018, kaksi päähöyrylinjan varoventtiiliä uusittiin ja isonnettiin sekä niin kutsuttu työvaroventtiili muutettiin varsinaiseksi varoventtiiliksi kapasiteetinnoston yhteydessä.
- 2018, tulistinalueen nuohoimien viimeisetkin säröytyvät evät poistettiin.
- 2018, 3-tulistimen 13Crmo-alalenkkejä vaihdettiin 309L-päällehitsattuun putkeen. Vain osa vaihdettiin, koska lähes puolta konepajalla valmistetuista putkista ei kelpuutettu asennettaviksi huonon laadun vuoksi.
- 2019, ekonomaisereiden ja keittopinnan elementtien sidontoja parannettiin lisää elementtien heilumisen ehkäisemiseksi.
- 2020, kuormapoltinaukot uusitaan aukkojen ohitusputkien pinnoitteiden ohentumien vuoksi.
- 2020, 3-tulistimeen vaihdetaan loputkin 13Crmo-alalenkit 309L-päällehitsattuihin.

- 2020, entinen työvariventtiili uusitaan rikkoontumisen vuoksi.
- 2020, höyryjäähdyttimet uusitaan kulumisen vuoksi. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

4 ELINKAARIMALLIT TUOTANNOLLISESSA MIELESSÄ

Kaukaan sellutehtaan huoltoseisokkien väli on seuraavanlainen:

1. Joka toinen vuosi on lyhyt seisokki, jonka kesto on 2 - 3 päivää, jossa soodakattilaan vaihdetaan sulakourut.
2. Joka toinen vuosi on suurseisokki, jonka kesto on 1 - 3 viikkoa, jossa soodakattilaan tehdään suurempia kunnossapitotöitä sekä prosessimuutoksia.

Edellä sekä seuraavissa kappaleissa esitetyt aika-arviot ovat se aika, jonka soodakattilan arvioidaan olevan pois tuotannollisesta käytöstä. Tässä työssä tarkastellaan suurseisokissa tehtäviä töitä, joiden tavoitteena on kunnossapitää soodakattilaa sekä parantaa prosessia.

4.1 Nykytilanne

Kaukaan sellutehtaan tuotanto oli vuonna 2019 ennätysellinen niin kuukausitasolla, jolloin saavutettiin lähes 72 000 tonnin kuukausituotanto, kuin vuositasolla, jolloin vuodessa saavutettiin yli 770 000 tonnin vuosituotanto. Soodakattilan vuoden 2019 keskimääräinen kuormitusaste oli noin 3700 tDs/d, ennätyskuukauden keskimääräinen kuormitusaste oli noin 3 930 tDs/d ja korkein yhden päivän keskimääräinen kuormitusaste oli 4 100 tDs/d. Lisäksi soodakattilalla voidaan tarvittaessa ajaa korkeampaakin kapasiteettia, jolloin talteenoton säiliötaseita voidaan muuttaa tarvittaessa, esimerkiksi pieniä huoltotöitä varten. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

Voidaankin siis todeta, että Kaukaan nykyinen soodakattila on optimaalisesti toimiessaan riittävä kapasiteetiltaan Kaukaan sellutehtaan tarpeisiin. Nykyisellä tuotannontasolla tarvittavat kunnossapitotyöt ja parannukset Kaukaan soodakattilalla liittyvätkin elinkaarensa päässä olevien komponenttien vaihtoon, parempien materiaalien valintaan sekä mahdollisesti tiukkenevien päästöluparajojen vuoksi tehtäviin prosessiparannuksiin. Seuraavissa kappaleissa onkin esitelty arviot vuosien 2020 – 2040 soodakattilaan tehtävistä investoinneista. Lisäksi kappaleissa on esitelty muutamia tärkeimpiä talteenoton investointeja, jotka liittyvät oleellisesti soodakattilan toimintaan.

4.1.1 Vuoden 2020 huoltoseisokki

Vuoden 2020 huoltoseisokin kesto on noin 10 vuorokautta ja seuraavat investoinnit on jo päätetty tehdä seisokissa soodakattilalle:

1. Soodakattilan kuormapoltinaukot uusitaan ohitusputkien pinnoitteiden ohentumien vuoksi. Uudet aukot ovat vastaavanlaiset kuin nykyiset aukot. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)
2. Soodakattilan höyryjäähdyttimet 1 ja 2 uusitaan jäähdyttimien eroosion sekä rakenteen säröilyjen vuoksi. Uudet jäähdyttimet ovat pidemmät, jäähdyttimien materiaalivahvuus on paksumpi ja materiaalivalinoissa on pyritty valitsemaan parempia materiaaleja kuin mistä nykyiset jäähdyttimet oli valmistettu. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)
3. Soodakattilan tulipesäkamerat uusitaan, jotta tulipesän tilasta olisi operaattoreilla parempi kuva saatavilla. Lisäksi hankittavat kamerat voidaan halutessa yhdistää soodakattilan ohjausjärjestelmän ylätasosäätöön tulevaisuudessa. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)
4. Soodakattilan savukaasupesuriin uusitaan täytekappaleet sekä pesurin pisaranerotuskykyä parannetaan tuplaamalla pisaranerottimien määrä, jotta pesurin toimintaa saataisiin parannettua muun muassa hiukkaspäästöjen suhteen. Uudet täytekappaleet ja pisaranerotimet ovat materiaaliltaan vastaavanlaisia kuin nykyiset. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)
5. Soodakattilan tulipesän pohja puhdistetaan sulasta ja pohja tarkastetaan kokonaisuudessaan tulevaisuuden pohjanvaihtoinvestoinnin kartoitusta varten. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)

Soodakattilalle tehdään edellä mainittujen investointien lisäksi paljon pienempiä kunnossapitotöitä huoltoseisokkien aikana, mutta niitä ei tässä työssä käsitellä. Edellä mainittujen

soodakattilan investointien lisäksi tehdään seuraavat investoinnit, jotka liittyvät oleellisesti soodakattilaan:

1. Soodakattilalaitoksen höyryturbiinille tehdään avarrus, jossa turbiinin siipipyörästä vaihdetaan kokonaan ja turbiinin väliottoja suurennetaan. Nykyinen höyryturbiini pystyy ottamaan vastaan soodakattilalta tulevaa höyryä enintään 135 kg/s, jolloin loput, noin 15 - 20 kg/s, korkeapainehöyrystä joudutaan ohjaamaan turbiinin ohi 10,5 bar reduktioventtiilille. Tämä ei ole kustannustehokasta, koska kaikki soodakattilan tuottama höyry kannattaa aina ajaa höyryturbiinin läpi, jolloin sähköntuotanto saadaan maksimoitua. Avarruksen jälkeen höyryturbiini pystyy ottamaan vastaan 170 kg/s höyryä, eli koko soodakattilalla tuotettavan höyrymäärän. Lisäksi tehdään 10,5 bar höyrytarve saadaan kokonaisuudessaan höyryturbiinin isommasta väliotosta ja turbiini sähköntuotantokapasiteetti nousee 74 MW 80 - 82 MW. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)
2. Soodakattilalaitoksen reduktioventtiili 4 uusitaan ja sen kapasiteettia kasvatetaan. Nykyinen reduktioventtiili pystyy muuntamaan 84 bar höyryä 10,5 bar höyryksi maksimissaan 25 kg/s, kun uusi reduktioventtiili pystyy muuntamaan 50 kg/s. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)

4.1.2 Vuoden 2022 huoltoseisokki

Vuoden 2020 huoltoseisokissa tehtävien soodakattilan tarkastuksien perusteella oli tarkoitus tehdä päätös, että vaihdetaanko kattilan tulipesän pohja ja 2AB-tulistin vuoden 2022 vai 2024 seisokissa. Vuoden 2020 huoltoseisokki oli tarkoitus pitää huhtikuussa, mutta Korona-viruksen vallattua maailman, siirtyi Kaukaan 2020 seisokki marraskuulle. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, ettei soodakattilan tulipesän pohjanvaihtoa pystytä toteuttamaan vuoden 2022 huoltoseisokissa, koska uuden pohjan toimitusaika on noin 26 kuukautta. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)

Suunnitelmana on ollut, että soodakattilan tulipesän pohja sekä 2AB-tulistin vaihdettaisiin samassa huoltoseisokissa. Tämä siksi, että pohjanvaihtoa tehtäessä huoltoseisokin kesto on

noin 16 vuorokautta ja 2AB-tulistimen vaihdossa seisokin pituus on noin 14 vuorokautta. Vaihtamalla soodakattilan tulipesän pohja ja 2AB-tulistin samassa huoltoseisokissa vältytään kahdesta peräkkäisestä pitkästä seisokista vuosina 2022 ja 2024. Nyt suunnitelmien muuttuessa voi hyvinkin olla mahdollista, että 2AB-tulistin vaihdetaan vuonna 2022 ja tulipesän pohja vuonna 2024. Korona-viruksen tuomien mahdollisten aikataulumuutoksien lisäksi toinen tekijä on investointien rahoitus. Korona-virus vaikuttaa vahvasti maailmantalouden tilaan, jolloin voi hyvinkin olla haastavaa saada rahoitusta kahteen suureen investointiin samaan huoltoseisokkiin, koska UPM investoi muun muassa juuri uuteen sellutehtaaseen sekä biojalostamoon.

Tässä työssä arvioidaankin suunnitelmien menevän niin, että 2AB-tulistin sekä soodakattilan tulipesän pohja vaihdetaan vuoden 2024 huoltoseisokissa, koska rahoituksen saaminen 2022 seisokkiin voi olla haastavaa ja toisekseen kaksi peräkkäistä pitkää huoltoseisokkia ei ole kustannustehokkain malli. Aikataulut saattavat kuitenkin hyvinkin muuttua, mikäli vuoden 2020 huoltoseisokin tarkastuksissa havaitaan tulipesän pohjan ja/tai 2AB-tulistimen kunnan olevan niin huonoja, että toinen tai jopa molemmat pitää vaihtaa mahdollisimman nopeasti. 2AB-tulistimen uusinta vuoden 2022 huoltoseisokissa on mahdollista, koska sen toimitusaika on noin 12 kuukautta, mutta tulipesän pohjanvaihto voidaan toteuttaa aikaisintaan vuonna 2023.

Vuoden 2022 huoltoseisokin pituudeksi arvioidaan noin 9 vuorokautta ja seisokissa toteutetaan soodakattilan pienempien kunnossapitotäiden lisäksi soodakattilalaitoksen reduktioventtiilien 1 ja 2 uusinta, jotta venttiileiden toimintavarmuus saataisiin palautettua vaadittavalle tasolle. Reduktioventtiilit uusitaan vastaavanlaisiksi, niin materiaaleiltaan kuin kapasiteetiltaan, kuin nykyiset venttiilit. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)

Vuonna 2022 soodakattilalaitokseen investoidaan höyryjaon toiminnan varmistamiseen. Lisäksi vuoden 2022 huoltoseisokissa joudutaan mahdollisesti huoltamaan tai uusimaan soodakattilan tärkeimpiä oheislaitteita sekä uusimaan kattilan painerunkoa kunnossapitomielessä. Näitä töitä on kuitenkin hyvin vaikeaa arvioida useita vuosia etukäteen, joten soodakattilan tärkeimpien oheislaitteiden ja painerungon pienempiä huoltoja tai uusintoja ei käsitellä tässä työssä vuoden 2020 huoltoseisokin jälkeen.

4.1.3 Vuoden 2024 huoltoseisokki

Mikäli vuosien 2020 ja 2022 huoltoseisokkien tarkastuksissa havaitaan soodakattilan tulipesän pohjan sekä 2AB-tulistimen olevan niin hyvässä kunnossa, että niillä voidaan operoida vuoteen 2024 asti ja investointeihin saadaan rahoitus, niin vuoden 2024 huoltoseisokista tulisi vuosikymmenen pisin. Huoltoseisokin pituudeksi tulisi 16 vuorokautta.

Soodakattilan tulipesä pohja uusitaan, koska vuoden 2018 ja 2019 seisokkien tarkastuksissa havaittiin primääri-ilma-aukkojen ohitusputkien compound-pinnoitteissa merkittäviä ohenemia. Uuden compound-putken pinnoitepaksuus on 1200 - 1500 µm ja Kaukaalla pinnoitteen minimipaksuuden on päätetty olevan 500 - 600 µm. Vuonna 2018 ohuin havaittu pinnoitepaksuus oli 440 µm, joten oltiin menty jo kaavailtujen minimipinnoitepaksuuksien alle. Kaukaan soodakattilan tulipesän nykyinen compound-pinnoite on tehty AISI 304L-materiaalilla ja se on vuodelta 1991, jolloin vuonna 2024 sillä olisi oltu 33 vuotta. Viime vuosina on havaittu, ettei AISI 304L ole nykyisille korkeilla polttolipeän kuiva-ainepitoisuuksilla operoiville ja korkeasti kuormitetuille soodakattiloille riittävän hyvä compound-pinnoitemateriaali. Tämän seurauksena laitetoimittajat ovat alkaneet suosittelemaan pinnoitemateriaaliksi Sanicro 38:aa soodakattilan pahiten korrosoituvilla osuuksilla. Pahiten korrosoituvia osuuksia ovat tulipesän pohjakuppi sekä sulakouru- ja ilma-aukot. (Kaukaan sellutehdas (5))

Edellä mainittuja seikkoja tarkasteltaessa voidaan todeta olevan erittäin epätodennäköistä, että nykyisellä tulipesän pohjalla pystyttäisiin operoimaan vielä 15 - 20 vuotta lisää ilman riskiä pohjan suurempia vaurioita. Todennäköisin vaihtoehto uuden pohjan compound-pinnoitteeksi on Sanicro 38 ja perusmateriaaliksi 16Mo3. Myös muita pinnoitemateriaaleja kartoitetaan, kuten Sanicro 67, mutta vielä Sanicro 38-materiaalia paremmilla materiaaleilla ei nähdä saatavan riittävän paljon hyötyä suhteessa materiaalien hintaeroon. Soodakattilan tulipesän pohjanuusintainvestointi on esitetty liitteessä 2.

Soodakattilan tulipesän pohjanvaihdon yhteydessä kannattaa liuottajan hönkäkaasut johtaa soodakattilaan poltettaviksi. Nykyään hönkäkaasut johdetaan liuottajan hönkäpesurin kautta savukaasupesurin imupuolelle, jolloin mahdollisia rikkiyhdisteitä pääsee piipusta ulos.

Uudessa liuottajan hönkäkaasujen käsittelyjärjestelmässä kaasut imetään hönkäkaasupuhaltimella hönkäpesurin, lauhduttimen ja pisananerottimien läpi. Hönkäkaasupuhaltimelta kaasut johdetaan soodakattilaan poltettavaksi. Savukaasujen sisältämien rikkiyhdisteiden minimointi on todennäköisesti tehtävä ennen vuotta 2030, jolloin viimeistään viranomais-ten laatimat ilmapäästöjen luparajat todennäköisesti tiukkenevat. Liuottajan hönkäkaasujen polttamiseen liittyvä investointi on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

Soodakattilan sekundääritulistimet 2A ja 2B uusitaan, koska aikaisempien vuosien seisokien tarkastuksissa havaittiin tulistinputkissa materiaalien ohentumista. Vuonna 2B-tulistimilla materiaalivahvuutta oli ohuimmassa kohdassa 1,4 mm jäljellä laskennalliseen minimivahvuuteen, joka on 2B-tulistimen osalta 2,51 mm. Materiaalin kulumisen edistymä ei ole huolestuttavalla tasolla, mutta 2AB-tulistimilla ei voida kuitenkaan ajatella pystyttävän operoimaan soodakattilan loppu elinkaaren ajanjaksoa.

Nykyiset sekundääritulistimet ovat paneelimallisia. Uusien sekundääritulistimien mallia tai materiaalia ei ole vielä valittu, mutta ne voivat olla myös putkimallisia. Laitetoimittajasta riippuen, niin kokemusten mukaan putkimalliset tulistimet ovat mekaanisesti kestävämpiä kuin paneelityyppiset, sillä niissä ei ole merkittävää eroa rinnakkaisten putkien pituuksien välillä. Rinnakkaisten putkien pituuksien ollessa lähellä toisiaan höyry jakaantuu niihin tasaisesti. Höyryn tasainen jakaantuminen on edellytys sille, että kaikkien putkien jäähdytys on riittävä. Toisaalta paneelimallisen tulistimen likaantuminen ja sen seurauksena kattilan tukkeentuminen on epätodennäköisempää, koska paneelimallisessa tulistimessa putket ovat lähempänä toisiaan kuin mitä putkimallisessa tulistimessa on, jolloin putkien väleihin ei kerry niin herkästi likaa.

Tulistimien putkikoot ja materiaalit pyritään valitsemaan mahdollisimman hyvin vallitseviin olosuhteisiin ja kriittisimpiin osuuksiin tultaneen käyttämään esimerkiksi 309L-materiaalilla pinnoitehitsattu putkea. Tulistimien uusinnan yhteydessä on myös tarkoitus avartaa kyseisiä tulistimia, jotta tulistimien yli vallitsevaa paine-eroa saadaan laskettua.

Tulistimien avarruksella on tavoitteena saada laskettua lieriön painetta vähintään 3,5 bar, jolloin paine tulipesän alaosassa laskee saman verran. Tällöin veden kiehumispiste laskee

tulipesän alaosan putkistossa. Veden kiehumispisteen laskiessa höyrystinosan höyrystystehostuu, jolloin luonnonkiertotyypin kattilan vesikierto paranee höyrystinosassa. Tällä uskotaan olevan merkitystä soodakattilan pohjan pitkäaikaisempaan mekaaniseen kestävyteen. Lisäksi lieriön paineen alentamisen mahdollistaa korkeamman kuormituksen soodakattilalla tulevaisuudessa.

Tulistimen avarrus tehdään putkikokoa kasvattamalla, kuitenkin niin, ettei putkikokoa kasvateta liikaa. Liiallinen putkikoon kasvatus pienentää tulistimien yli vallitsevan paine-eron liian pieneksi, jolloin korkeasti kuormitetun soodakattilan ja sen alhaisella painehäviöllä toimiviin tulistimiin voi yksittäisiin tulistinputkiin tai kyseessä olevan putken kammioon tulla isompi lämpötila kuin mitä normaaleilla laskelmilla painelaitemitoittaja olettaisi. Tulistimesta ulos tulevan höyryn keskilämpötila on kuitenkin sama, jolloin siis hajonta tulistinelementin putkien välillä nousee. Jos tulistimelle on suunnitteluvaiheessa määritetty liian alhainen suunnittelulämpötila, niin jonkin yksittäisen putken kuumentuessa on kyseessä olevaa tulistinta pakko ajaa keskimäärin kylmempänä vaurioiden välttämiseksi. Tämän seurauksena kyseessä olevan tulistimen tulistus ei mahdollisesti riitäkään. Kyse ei ole siis lämpöpinta-alan suuruudesta, vaan ainoastaan suunnitteluarvoista, jotta ”laillinen” toiminta olisi mahdollista. 2AB-tulistinta suunniteltaessa, ja sen varsinkin paine-eroa pienennettäessä, on mietittävä tarkkaan tulistimen materiaalivalinnat, eli riittääkö esimerkiksi 50 C° lämpötilavara tulistinelementtien putkiin ja kammioihin verrattuna tulistimelta ulostulevan höyryn keskilämpötilaan.

Tulistimien uusinnan yhteydessä on huomioitava myös se seikka, että nykyisellä rakenteella ei ole ollut tukkeentumisongelmia, vaikka Kaukaan soodakattila on korkeasti kuormitettu. Mikäli tulistimien uusinnan yhteydessä tulistimien tehokasta pinta-alaa muutetaan merkittävästi, niin tällöin savukaasujen lämpötiloissa tapahtuu myös muutos, jolloin on oletettavissa soodakattilan sticky-pisteen sijainnin muuttuminen. Tällöin soodakattila ei välttämättä enää pysy puhtaana yhtä hyvin kuin nykyisellä rakenteella.

Edellä mainittujen investointien sekä soodakattilan pienempien kunnossapitotöiden lisäksi toteutetaan talteenotossa investointi, jossa haihduttamon 2- sekä 2A-haihdutinyksiköt uusi-

taan ja tällä hetkellä käytöstä pois olevan 3-yksikkö uusitaan ja otetaan käyttöön nykyisen 4-yksikön rinnalle. Investointi toteutetaan seuraavanlaisesti:

1. Haihdutinyksiköt 2- ja 2A uusitaan, koska ne eivät tule kestäämään haihduttamon elinkaaren loppuun asti ilman uusintaa. Uusinnan yhteydessä 2- ja 2A-yksiköiden haihdutuskapasiteettia kasvatetaan korottamalla yksiköitä, jolloin niiden lämmönsiirtopinta-ala kasvaa. Haihdutustehoa tarvitaan lisää 2- ja 2A-yksiköihin, jotta nykyisiltä IDE-yksiköiltä tuleva haihdehönkä saataisiin jäähdytettyä paremmin. Tällä hetkellä hönkä ei jäähdy riittävästi, jolloin 2-yksiköiden jälkeen olevaan 4-yksikköön hönkä tulee liian kuumana. Liian kuuma hönkä 4-yksikössä aiheuttaa kalsiumin saostumista, joka likaa voimakkaasti yksikön lämmönsiirtopinnat.
2. Haihdutinyksikön 3 hajonneet lämmönsiirtopinnat uusitaan ja yksikkö kytketään nykyisen 4-yksikön rinnalle. Yhden yksikön lisääminen haihdutinsarjaan tuo lisää haihdutuskapasiteettia haihduttamoon.

2-, 2A- ja 3-haihdutinyksiköiden käyttöönoton jälkeen on haihduttamon puolesta mahdollista investoida ligniinerotuslaitokseen, koska jälkeen 2. yksiköiden jälkeisen lipeän, eli välilipeän kuiva-aine saadaan pidettyä kaikissa haihduttamon kuormitustilanteissa ligniinerotukseen optimaalisella tasolla, noin 40 - 42 %. Nykylaitteistollakin tähän kuiva-aineeseen päästään, mutta kuiva-aineen heilunta aiheuttaisi vaikeuksia ligniinerotuksen optimaaliseen toimintaan.

Haihduttamon investointia edesauttaa se, että 3-yksikköön voidaan vaihtaa haihduttamon käynnin aikana uudet lämmönsiirtopinnat sekä asentaa kaikki putkilinjat valmiiksi, koska tällä hetkellä 3-yksikkö on erotettu prosessista kokonaan sen lämmönsiirtopintojen vakavien vaurioiden vuoksi. Prosessiin uusittu 3-yksikkö kytkettäisiin huoltoseisokissa.

4.1.4 Vuoden 2026 huoltoseisokki

Vuonna 2026 ei olisi pitkää seisokkia huoltoseisokkia, jolloin soodakattilalle tehtäisiin vain pienimuotoisia kunnossapitotöitä, ja sen seurauksena seisokin pituus olisi 7 vuorokautta. Talteenotossa haihduttamon pintalauhduttaja uusitaan, koska nykyinen pintalauhduttaja on vuodelta 1991, eikä se kestä todennäköisesti haihduttamon elinkaaren loppupäähen vaurioitumatta, joten se on hyvä uusida tässä vaiheessa. Voi kuitenkin olla, että pintalauhdutin joudutaan uusimaan jo vuonna 2024, mikäli sen katsotaan jäävän liian pieneksi kapasiteetiltaan 2- ja 3-yksiköiden uusinnan yhteydessä. Pintalauhduttajan uusintaan ei tarvita pitkää huoltoseisokkia, koska uusi lauhdutin voidaan rakentaa haihduttamon käynnin aikana ja lyhyessä huoltoseisokissa se kytketään prosessiin.

4.1.5 Vuoden 2028 huoltoseisokki

Vuoden 2028 huoltoseisokki on tämän suunnitelman mukaan viimeinen pitkä seisokki Kaukaan soodakattilalle, jolloin seisokin pituus on noin 14 vuorokautta ja siinä toteutetaan seuraavat investoinnit:

1. Soodakattilan sähkösuodattimet ovat vuodelta 1991 ja ne eivät tule kestäämään mekaanisesti soodakattilan elinkaaren loppuun asti. Lisäksi viranomaiset tiukentavat todennäköisesti viimeistään vuonna 2030 hiukkaspäästörajoja nykyisistä rajoista, jotka ovat nyt $50 \text{ mg/m}^3\text{n.}$, jolloin nykyinen laitteisto ei ole todennäköisesti riittävä suodatuskyvyltään. Mikäli tehdään tuotantokapasiteettia aiotaan nostaa tulevaisuudessa, niin sähkösuodattimien suodatuskykykapasiteetti jää väistämättä vajaaksi laitteiston vanhetessa. (Majander ja Hiltunen 2015) Kustannustehokkainta olisi rakentaa 5. sähkösuodatin nykyisen neljän rinnalle. Lisäksi 5. sähkösuodattimen rakentaminen tuo huomattavasti lisää käytettävyyttä laitokselle, koska tällöin yksi nykyisistä sähkösuodattimista voi olla huollossa riippumatta tehtaan kuormitustasosta. 5. sähkösuodatin olisi tuplasti isompi kuin nykyiset, jolloin sillä voitaisiin puhdistaa 50 % savukaasuista. 5. sähkösuodatin rakennettaisiin täysin valmiiksi laitoksen käynnin aikana ja se liitettäisiin huoltoseisokissa prosessiin. Uuteen sähkösuodattimeen investoiminen kannattaa sen vuoksi, että nykyisten sähkösuodattimien uusinta vie aikaa noin 24 vuorokautta. Tästä johtuen pitkänkin, eli 14 vuoro-

kauden, huoltoseisokin aikana uusintaa ei kerkeä tekemään, jolloin tehdasta jouduttaisiin operoimaan vajaalla kapasiteetilla noin 10 vuorokauden ajan. Kolmella sähkösuodattimella pystytään operoimaan arviolta noin 80 - 85 % tehtaan maksimikapasiteetista, jolloin tuotannonmenetys olisi noin 15 %. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020) 5. sähkösuodattimen investoinnin kannattavuuslaskelma on esitetty liitteessä 4. Edellä mainitulla suunnitelmalla vuoden 2028 huoltoseisokin jälkeen pystyttäisiin uusimaan käynninaikana osa nykyisistä sähkösuodattimista, koska yhdellä uudella ja isolla sähkösuodattimella sekä kolmella pienellä sähkösuodattimella voitaisiin yksi nykyinen sähkösuodatin erottaa prosessista tehtaan täyden käynnin aikana. Voi kuitenkin olla niin, että nykyisiä sähkösuodattimia ei tarvitsisi uusia laisinkaan, koska niiden kuormitustaso pienenesi huomattavasti 5. sähkösuodattimen myötä. Tällöin 5. sähkösuodattimen rakentaminen muodostuisi vieläkin kannattavammaksi ratkaisuksi. 5. sähkösuodattimen rakentaminen on kustannustehokkain vaihtoehto siihen asti, että kaksi nykyistä sähkösuodatinta joudutaan uusimaan. Tällöin hinta-arvio on suurin piirtein sama kuin se, että kaikki nykyiset sähkösuodatinta uusittaisiin. Tähän toki vaikuttaa hyvinkin paljon sellusta saatava hinta, jolloin investointien ajankohta saattaa muuttaa eri vaihtoehtojen kannattavuutta paljonkin. Mikäli nykyisiä sähkösuodattimia jouduttaisiin uusimaan, niin tällöin niistä uusittaisiin sähkösuodattimien kaasunjakoverhot, emissioelektrodijärjestelmä (langat), erotuselektrodit (levyt) ja niiden kolistelu-järjestelmä, emissiojärjestelmän kattokannatus ja kannatineristys sekä tuhkakuljettimet tarvittavilta osin. Sähkösuodattimien betonikammioita tai tasasuuntaajia ei ole tarve uusia, koska kammiot eivät ole kulumineet ja tasasuuntaajat on uusittu vuonna 2018. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

2. Soodakattilan tertiääritulistin 3A uusitaan, koska se ei tule todennäköisesti kestämään soodakattilan elinkaaren loppuun asti, vaikka vuoden 2018 huoltoseisokin tarkastuksissa ei havaittu merkittävää ohenemaa kyseisen tulistimen materiaalivahvuuksissa verrattuna vuoden 2016 mittaustuloksiin. 3A-tulistimen kuntoa pitää seurata aktiivisesti tulevina vuosina ja pyrkiä tekemään päätös 3A-tulistimen vaihdosta viimeistään vuoden 2026 huoltoseisokin tarkastuksien jälkeen, jotta 3A-tulistimen uusinnan ajankohta saataisiin optimoitua mahdollisimman hyvin. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020) Nykyinen 3A-tulistin on paneelimallinen, eikä uuden tulistimen

mallia tai materiaaleja ole vielä päätetty. Voihan lisäksi olla, että seuraavien vuosien aikana laitetoimittaja/laitetoimittajat kehittävät jonkin täysin alaa mullistavan tulistinmallin, josta tänä päivänä ei ole vielä tietoa laisinkaan. Todennäköistä kuitenkin on, että myös 3A-tulistin tullaan avartamaan samaan tapaan kuin 2AB-tulistin, jotta tulistimien yli vallitsevaa paine-eroa saataisiin pienennettyä. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)

Vuonna 2028 soodakattilan investoinnit kohdistuisivat soodakattilan viimeisiin uusintoihin, jotta kyseisellä kattilalla voidaan operoida sen elinkaaren loppuun asti.

4.1.6 Vuosien 2030 – 2040 huoltoseisokit

Vuoden 2028 huoltoseisokista eteenpäin ei näillä näkymin enää tehdä suurinvestointeja Kaukaan soodakattilaan, koska kattila on elinkaarensa päässä vuosina 2035 - 2040. Investointeja voivat aiheuttaa kuitenkin tehtaan kapasiteetinnostot, laitteiston yllättävät rikkoutumiset tai viranomaisten asettamat tiukemmat päästöraajat. Vuoden 2028 huoltoseisokin jälkeen Kaukaan soodakattilalle tehdään vain pienimuotoisempia kunnossapitotöitä, joiden avulla varmistetaan kattilan elinkaaren loppuun operoiminen.

4.2 Tilanne 800 000 tonnin sellutuotannolla

Kaukaan sellutehtaan tuotannon noustessa 800 000 tonniin vuodessa, nousee soodakattilan keskimääräinen vuosittainen kuormitusaste $3\,700\text{ tDs/d} \Rightarrow 3\,850\text{ tDs/d}$. Kuormitusaste on saatu suhteuttamalla sellutehtaan vuoden 2019 tuotanto soodakattilan keskimääräiseen kuormitusasteeseen nähden. Tällä suhdeluvulla on jaettu 800 000 tonnin tuotanto, jolloin saadaan soodakattilan keskimääräiseksi kuormitusasteeksi noin 3850 TdS/d . 800 000 sellu-
tonnin tuotantoon päästään, jos tehtaan käytettävyydestä saadaan nostettua. Tällöin saavutettaisiin useammin vuoden 2019 ennätyskuukauden 72 000 tonnin tuotanto tai ainakin päästäisiin lähelle sitä. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

800 000 tonnin tuotanto ei juurikaan nosta soodakattilalla keskimääräistä kuukausittaista kuormitustasoa, koska jos tehtaan käytettävyydestä saadaan nostettua, niin tällöin vo-

den 2019 tuotannollisesti heikommat kuukaudet korvautuvat paremmilla. Suurempi tekijä on se, että soodakattilan tasaisen kuormitustason noustessa 3 850 tDs/d ollaan lähempänä kattilan maksimikapasiteettia 4 200 tDs/d ja huomattavasti useampana päivänä vuodessa joudutaan kattilaa kuormittamaan yli 4 000 tDs/d kuormitustasolla kuin mitä vuonna 2019 jouduttiin. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

Perustuen vuoden 2019 kokemuksiin voidaankin todeta, että soodakattilan puolesta sellutehtaalla on mahdollista saavuttaa 800 000 tonnin tuotanto. Soodakattilaan ei näin ollen tarvita merkittäviä investointeja tämän tuotannon saavuttamiseksi, mutta kunnossapidollisissa investoinneissa, kuten pohjan- ja tulistimien uusinnoissa, kannattaa myös kattilan kapasiteetinnostoa tarkastella. Lisäksi on hyvä pitää mielessä, että 800 000 sellutonnin tuotanto vähentää nykylaitteistolla operoitaessa tehtaan lipeätaseen säädettävyyttä, koska soodakattilan peruskuormitustason noustessa lähemmäksi huippukuormitustasoa, ei kattilan kuormitustasoa nostamalla tai laskemalla voida enää säätää niin paljon lipeätasetta, esimerkiksi huoltotöiden vuoksi, kuin nykytilanteessa. Lisäksi soodakattilan kuormitustason noustessa myös laitteisto joutuu kovemmalle kuormitukselle, jolloin voidaan olettaa kunnossapitotarpeen kasvavan kattilan oheislaitteilla.

4.3 Tilanne 830 000 tonnin sellutuotannolla

Sellutehtaan tuotannon noustessa 830 000 tonniin vuodessa, nousee soodakattilan keskimääräinen vuosittainen kuormitusaste noin 4 000 tDs/d. 830 000 sellutonnin tuotantoon päästään nostamalla tehtaan käytettävyydestä vielä lisää verrattuna 800 000 tonnin tuotantoon. 830 000 tonnin saavuttamiseksi pitäisi 6 – 9 kuukautena saavuttaa vuoden 2019 ennätyskuukauden 72 000 tonnin tuotanto tai päästä ainakin lähelle sitä. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

830 000 tonnin tuotanto nostaa useana kuukautena soodakattilan keskimääräisen kuormitusasteen 4 050 – 4 100 tDs/d, jolloin useana päivänä kuukaudessa joudutaan operoimaan kattilan maksimikuormaa 4 200 tDs/d. Kuormitustason noustessa 4 000 – 4 200 tDs/d alkaa soodakattila muodostumaan tehtaan pullokaulaksi. Tämä olisi kuitenkin hyvä asia, koska

sellutehtaan ajaminen soodakattilaa vasten on sellutehtaalle optimitilanne, koska soodakattila on sellutehtaan kallein yksittäinen komponentti.

Perustuen vuoden 2019 kokemuksiin sekä koeajoihin voidaan todeta, että soodakattilan puolesta Kaukaan sellutehtaalla on mahdollista saavuttaa 830 000 tonnin tuotanto. Tämä kuitenkin tarkoittaa korkeaa kuormitusastetta, 4 000 – 4200 tDs/d, lähes jatkuvasti soodakattilalle, jolloin kattila muodostuu tehtaan pullonkaulaksi aika-ajoin. Arviolta soodakattila alkaa rajoittamaan tehtaan tuotantoa 800 000 – 830 000 tonnin välillä. Lisäksi on muistettava, että näin korkealla kuormitusasteella soodakattilalla ei enää pystytä säätämään tehtaan lipeätasetta, vaan kattilalla pyritään pysymään muun tehtaan vauhdissa mukana. Tällöin ajaudutaan väkisinkin tilanteisiin, joissa soodakattilalla ei enää pystytä tekemään esimerkiksi tilaa polttoliipeäsäiliöön savukaasupuhaltimen pesua varten ilman että haihdutettua ja sitä kautta sellutehtaan tuotantoa rajoitetaan. Teoriaan ja käytäntöön tukien on 830 000 tonnin tuotanto kuitenkin mahdollista saavuttaa ja näin ollen soodakattilalle ei tarvita merkittäviä investointeja tämän tuotannon saavuttamiseksi. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

4.4 Tilanne 860 000 tonnin sellutuotannolla

Jos sellutehtaan tuotanto nostetaan 860 000 tonniin vuodessa, niin tällöin tehtaan pitää operoida jokaisena kuukautena vuoden 2019 ennätystuotanto, tällöin soodakattilan keskimääräinen vuosittainen kuormitusaste on noin 4 150 tDs/d, jolloin kattilalla jouduttaisiin ajamaan maksimikuormitusta lähes koko ajan. Soodakattilan operoidessa jatkuvasti maksimikapasiteetilla ei enää pystytä säätämään tehtaan lipeätasetta, vaan kattilan kuormitusasteen lasku vaikuttaa välittömästi sellutehtaan tuotantoon. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

Kaukaan soodakattilalle on tehty laitetoimittajan toimesta vuonna 2014 vedenkiertotarkastelu mallintamalla kattilaa 4 400 tDs/d kuormituksella. Alla on poimintoja tarkastelun johdopäätöksistä:

1. Tulipesän laskuputkien virtausnopeudet ovat korkeahkot, mutta suurempiakin nopeuksia esiintyy soodakattiloissa maailmalla, eikä niissä ole ongelmia havaittu. Laskuputkien liian korkeat virtausnopeudet voivat aiheuttaa laskuputkeen lieriöstä

lähdeettäessä kavitointia, joka voi aiheuttaa eroosiota laskuputkessa kuplan ”romah- taessa”. Ilmiöstä ei ole kuitenkaan havaintoa historiassa ja magnetiittikalvo suojelee putken sisäpintaa tehokkaasti eroosiolta. Syöttöveden laadun on kuitenkin tärkeää olla kunnossa, jotta magnetiittikalvo säilyy putken pinnalla. Keittopinnan ja vesi- verhon laskuputkien virtausnopeudet ovat normaali alueella. (Hämäläinen 2014)

2. Tulipesän sivuseinien alakiertoputkien virtausnopeudet ovat korkeahkot, mutta muuten nopeudet ovat normaalilla tasolla. Yläkiertoputkien virtausnopeudet ovat normaalilla tasolla. (Hämäläinen 2014)
3. Höyrystinosissa:
 - a) Tulipesässä kattilan vedenkierto täyttää tarvittavat kriteerit. Veden virtausno- peus on riittävän korkea ja höyryn tilavuusosuus ei nouse myöskään kriittisiin lukemiin. Yleisinä ehtoina tulipesän osalta pidetään miniminä virtausnopeutta 0,5 m/s ja maksimissaan 70 % höyryä tilavuudesta. Kaukaalla virtausnopeudet ovat 1,2 – 1,6 m/s ja höyryä tilavuudesta maksimissaan 48 %. (Hämäläinen 2014)
 - b) Vesiverhon ja keittopinnan virtausnopeudet ovat hyvällä tasolla ja riittävät jäähdyttämään putkia. Keittopinnan alueella ei tarvita merkittäviä nopeuksia putkissa, koska savukaasun lämpötilat ovat alhaisemmat, jolloin pystysuoralla putkella lähes seisova vesi pystyy jäähdyttämään putken pinnan. Keittopinnan etuseinän virtaus vaihtelee kuorman mukaan joko ylöspäin tai alaspäin. Kytken- tä takaseinän välikammioista keittopinnan jakokammioon aiheuttaa mahdolli- suuden virtaussuunnan vaihteluun, koska seinämä ei saa paljoa lämpöä, joka ai- heuttaa epävakaisuutta virtauksissa. Heikon lämmöntuonnin takia jäähdytys toimii silti. (Hämäläinen 2014)
4. Lieriön höyrynerotussyklonit ovat eri tyyppiset kuin tarkastelun tehneen laitetoimit- tajan syklonit. Täten höyrynerotuskapasiteetin arviointia ei voitu tehdä, joten kapa- siteettiä kasvattaessa höyrynerotussyklonien riittävyys on tarkistettava. Höyrynero- tussyklonit ovat tiheään asennettu lieriön sisälle kuristaen lieriön sisäisiä virtauksia. Tulipesän laskuputket lähtevät tasaisesti lieriön pituudelta, joka pienentää lieriön

aksiaalinopeuksia, jolloin aksiaalivirtauksien aiheuttamat ongelmat vähenevät. Jos veden virtauspoikkipinta-ala on liian pieni verrattuna virtaaviin nopeuksiin, voi veden pinta nousta paikoitellen lieriön eri kohdissa. Toisin sanoen lieriö alkaa lainehdittamaan ja tämä voi aiheuttaa höyrynerotusongelmia. Lieriön pinnanmittaukset mittaavat lieriön päistä, joissa ei esiinny suuria aksiaalivirtauksia, jolloin pinnanmittaukset ovat vakaat. (Hämäläinen 2014)

Teoriassa 860 000 tonnin tuotanto olisi mahdollista saavuttaa soodakattilan puolesta, mutta käytännössä se on mahdotonta, koska soodakattilan kaltainen laitos ei pysty ajamaan vuoden jokaisena päivänä teoreettista maksimikapasiteettiaan. Näin ollen 860 000 tonnin tuotannon saavuttaminen nykylaitteistolla ei ole mahdollista, vaan ainakin jokin tai useita seuraavista investoinneista/operointitavoista pitää tehdä:

1. 2AB-tulistimien uusinnan yhteydessä avarretaan kyseisiä tulistimia. Laitetoimittajien mukaan tulistimia voidaan avartaa niin, että niiden yli vallitseva paine-ero laskee noin 3,5 bar. Paine-eron lasku tulistimien yli laskee myös lieriön painetta, jolloin soodakattilan kuormitusta voidaan kasvattaa höyry-vesikierron puolesta noin 50 tDs/d. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)
2. 3A-tulistimen uusinnan yhteydessä avarretaan myös tätä tulistinta. Jos 3A-tulistimen yli vallitsevaa paine-eroa voidaan laskea noin 1,5 bar, niin tällöin soodakattilan kuormitusta voidaan kasvattaa noin 25 tDs/d.
3. Tulipesän pohjanvaihdon yhteydessä alaosan vesikiertoa parannetaan sivuseinien osalta, jolloin sivuseinien alakiertoputkien virtausnopeuksia saadaan laskettua. Tällöin syksyn 2019 maksimi kuormitusasteen 4 450 tDs/d kaltaista kiertohäiriötä ei pitäisi syntyä, ainakaan herkästi. Suuret virtausnopeudet oli huomioitu myös vuonna 2014 tehdyssä vesikiertotarkastelussa, jossa oli havaittu tulipesän sivuseinien alakiertoputkien virtausnopeuksien olevan korkeat. Tulipesän vesikierron parannuksella mahdollistetaan 4 300 – 4 400 tDs/d maksimikuormien operoiminen soodakattilalla. (Hämäläinen 2014)

4. Soodakattilan pohjanvaihdon yhteydessä lisätään seitsemäs sulakouru, jolloin sulakourukohtaista kuormitusta saadaan laskettua sekä sulanpoistuvuus kattilan tulipesästä pidettyä jouhevana myös kattilan suuremmilla kuormitusasteilla.
5. Tarkastetaan lieriön höyryerotussyklonien kapasiteetti soodakattilan kuormituksen noustessa 4 200 – 4 400 tDs/d.
6. Operoidaan kolmen sähköpumpun lisäksi turbopumpulla korkeilla soodakattilan kuormitusasteilla. Vesikiertomallinnuksen raportin mukaan Kaukaan soodakattilalla 4 400 tDs/d kuormituksella kattilan höyrystys on noin 160 kg/s. Tämän lisäksi tulistetun höyryn jäähtyksiin kuluu syöttövettä tilanteesta riippuen 10 – 20 kg/s, nuohoushöyryn tuottamiseen 12 - 14 kg/s ja jatkuvan ulospuhalluksen määrä noin 3 kg/s. Edellä mainitut määrät yhteenlaskettuna syöttöveden tarve 4 400 tDs/d kuormitusasteella on noin 200 kg/s. (Hämäläinen 2014) Yleisen ohjeistuksen mukaan syöttövesipumpuilla tulee pystyä pumpaamaan 115 % soodakattilalaitoksen syöttöveden tarpeesta. Kaukaan tapauksessa tämä tarkoittaa sitä, että syöttövesipumpuilla pitää pystyä pumpaamaan noin 230 kg/s. Kaukaalla yksi sähköllä toimiva syöttövesipumppu pystyy tuottamaan virtausta noin 74 kg/s, jolloin kolme sähköpumppua tuottavat 222 kg/s. Höyryturbiinikäyttöinen pumppu tuottaa 74 kg/s, jolloin kaikkien pumppujen kokonaistuotto on 296 kg/s, joka on riittävä 4 400 tDs/d kuormitukseen. (Kaukaan sellutehdas (6) 2020) Lisäksi 2AB- ja 3A-tulistimien avarrus laskee myös syöttövesipumppujen kuormitus, koska lieriön paine eli pumppujen vastapaine pienenee, jolloin syöttövesipumppujen kuormitus laskee.
7. Vuoden 2018 kapasiteetinnoston yhteydessä laitetoimittaja takasi soodakattilalle 4 000 tDs/d kapasiteetin tilanteessa, jossa väkeviä hajukaasuja sekä metanolia poltetaan soodakattilassa. Ilman väkevien hajukaasujen ja metanolin polttoa maksimikapasiteetiksi laitetoimittaja takasi 4 200 tDs/d. Vuonna 2019 Kaukaan soodakattilassa poltettiin koko ajan hiukan väkeviä hajukaasuja sekä metanolia. Näin ollen voidaan olettaa, että mikäli väkevien hajukaasujen ja metanolin poltto voitaisiin toteuttaa tulevaisuudessa kokonaisuudessaan esimerkiksi hajukaasukattilalla, niin tällöin

soodakattilan kuormitusta voidaan kasvattaa noin 25 – 50 tDs/d. (Kaukaan sellutehdas (6) 2020)

8. Operoidaan soodakattilaa viileämmillä palamisilmoilla. Viileämmillä palamisilmoilla operoitaessa soodakattilan höyrystys pienenee suurin piirtein saman verran kuin mitä palamisilman esilämmittimille menevän höyryn määrä vähenee. Eli jos esimerkiksi sekundääri-ilman esilämmittimelle menevää höyrymäärää vähennetään 3 kg/s, niin tällöin kattilan höyrystys vähenee suurin piirtein saman verran. Tällöin kattilaa voidaan kuormittaa hiukan enemmän. Palamisilmojen viilentämisellä voidaan myös helpottaa tilannetta, jossa primääri- tai sekundääri-ilmaa ei saada riittävästi syötettyä kattilan tulipesään. Ilmojen viilentäminen pienentää ilman massaa, jolloin samassa tilavuudessa on enemmän hapetta, jota palamisprosessissa tarvitaan. Palamisilmojen viilentäminen ei kuitenkaan ole kannattavaa tilanteessa, jossa kattilan höyrystys ei ole maksimissaan, sillä tällöin laitos menettää sähköntuotantoaan, koska höyryturbiinille ei saada täyttä höyrymäärää. Lisäksi palamisilmojen viilentäminen saattaa aiheuttaa kattilalle palamisongelmia, jolloin ilmojen viilentäminen ei välttämättä ole mahdollista.

9. Nostetaan polttoliipeän kuiva-ainepitoisuus 78 % => 80 % tai jopa 78 % => 82 – 85 %, jolloin savukaasujen määrä vähenee ja savukaasujärjestelmän kuormitus laskee. Haihduttamon nykyiselle väkevoittimelle laitetoimittaja on taannut, että sillä pystytään valmistamaan kuiva-aineeltaan 67 % vahvaliipeästä 80 % polttoliipeää aina 4200 tDs/d kapasiteettiin asti. Ajokokemuksien perusteella väkevoittimellä pystytään luvattua suurempaan kapasiteettiin, sekä korkeamman kuiva-ainepitoisen polttoliipeän valmistamiseen. (Kaukaan sellutehdas (7) 2020) Polttoliipeän tuotantokapasiteetin nostossa tai yli 80 % kuiva-aineen tuotannossa on haihduttamalla uusittava 2- ja 2A-yksiköt sekä nyt pois käytöstä oleva 3-yksikkö otettava käyttöön, jolloin väkevoittimeltä tuleva kuuma hönkä voidaan käsitellä ilman haihdutinyksiköiden 2, 2A ja 4 likaantumista. Liian suuri määrä kuumaa hönkää aiheuttaa edellä mainituilla haihdutinyksiköillä nykytilanteessa sen, että lipeä palaa kiinni lämpöpintoihin, jolloin lämpöpinnat likaantuvat ja haihduttamon haihdutusteho laskee oleellisesti. Lisäksi edellä mainittujen yksiköiden uusinnalla voidaan varmistaa se,

että väkevoittimelle syötettävän vahvalipeän kuiva-ainepitoisuus on vähintään 67 % suurillakin haihdutuskapasiteeteilla. Polttolipeän kuiva-ainepitoisuutta nostettaessa yli 80 % on soodakattilan ja haihduttamon materiaalit on tarkasteltava tarkoin läpi. Korkea kuiva-aine saattaa aiheuttaa haihdutinyksiköissä sekä lipeäputkistoissa jännityskorroosiota materiaalien ollessa väärät. Soodakattilalla, varsinkin korkeasti kuormitetulla, korkea polttolipeän kuiva-ainepitoisuus saattaa aiheuttaa tulipesässä compound-putkistojen pinnoitteiden korroosiota esimerkiksi ilma-aukkojen alueilla.

10. Palamisilman tarve soodakattilan 4 400 tDs/d kuormitusasteelle on noin 180 Nm³/s. Vuonna 2018 tehdyn ilmanjakomuutoksen jälkeen palamisilmapuhaltimien kapasiteetit ovat seuraavanlaiset;
- primääri-ilmapuhaltimen kapasiteetti on 55,3 Nm³/s
 - sekundääri-ilmapuhaltimen kapasiteetti on 86,8 Nm³/s
 - tertiääri-ilmapuhaltimen kapasiteetti on 26,0 Nm³/s
 - kvartääri-ilmapuhaltimen kapasiteetti on 29,0 Nm³/s. (Kaukaan sellutehdas (6) 2020)

Tällöin palamisilmajärjestelmällä pystytään tuottamaan noin 197 Nm³/s palamisilmaa palamisprosessin tarpeisiin. Näin ollen voidaan olettaa, että nykyinen palamisilmajärjestelmä on riittävä kapasiteetiltaan soodakattilan 4 400 tDs/d kuormitusasteelle. Soodakattilan pohjanuusinnan yhteydessä tarkasteltava tarkemmin kattilan ilmanjakoa, liuottajan hönkienpolton lisäksi, siltä kantilta, että onko palamisilmajärjestelmä riittävä 4 400 tDs/d kuormitusasteelle vai käykö jokin yksittäinen puhallin liian pieneksi kapasiteetiltaan.

11. Investoidaan yhteen uuteen sähkösuodattimeen sekä savukaasupuhaltimeen, koska soodakattilan polttolipeän kuiva-aineen ollessa 80 % ja kuormitusasteen ollessa 4 400 tDs/d savukaasujen määrä nousee noin 210 Nm³/s. Nykyiset neljä savukaasupuhallinta pystyvät imemään tulipesästä 180 asteisia savukaasuja 228 Nm³/s. Teoriassa olisi siis mahdollista käsitellä nykyiselläkin savukaasulaitteistolla soodakattilan 4 400 tDs/d kuormitusaste, mutta käytännössä oltaisiin hyvin lähellä lait-

teiston teoreettista maksimikapasiteettia, jolloin kattilan tulipesän paineensäädössä ei olisi riittävää säätövaraa. Lisäksi soodakattilan lämpöpinnat eivät saisi juurikaan likaantua, koska likaantuminen aiheuttaa savukaasupuhaltimille lisäkuormitusta. On myös huomioitava, että nykyisten sähkösuodattimien erotuskapasiteetti ei riitä 210 Nm³/s savukaasuvirtaukselle, jolloin hiukkaspäästöt väistämättä nousisivat. (Kaukaan sellutehdas (6) 2020)

12. Investoidaan ligniininerotuslaitokseen, jolla avarretaan lipeäkiertoa. Ligniinin poistaminen lipeästä vähentää polttoliipeän sisältämää orgaanista ainesta huomattavasti, jolloin lipeäkiertoa voidaan kasvattaa ilman soodakattilan kuormitusasteen nousua. Lipeästä poistettua ligniiniä voidaan käyttää meesauunin tai voimakattilan polttoaineena, jolloin tehtaan fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee. Toinen vaihtoehto on myydä ligniiniä jatkojalostukseen tai jatkojalostaa sitä itse. Erään Suomalaisen sellutehtaan yhteyteen rakennetun ligniininerotuslaitoksen on arvioitu poistavan lipeästä ligniiniä niin paljon, että soodakattilan kuormitusta voidaan nostaa 5 – 10 %. Kaukaan sellutehtaan tapauksessa 5 % tarkoittaisi noin 200 tDs/d kuormitusasteen nousua. Ligniininerotuslaitos on kallis investointi, eikä ligniininpolttaminen meesauunissa tai voimakattilassa ole ollut nykytietämyksen mukaan ongelmallista. Lisäksi ligniininerotusprosessissa joudutaan käyttämään paljon rikkihappoa, joka ajautuu ligniininerotuksessa syntyvien happamien suodoksien mukana kemikaalikiertoon. Tämä nostaa tehtaan kemikaalikierron sulfiditeettitasoa, jolloin esimerkiksi Kaukaan tapauksessa, jossa on jo valmiiksi korkea sulfiditeettitaso, saattaa sulfiditeettitason nousu aiheuttaa ongelmia, kuten esimerkiksi soodakattilan tukkeutumista. Ligniininerotuslaitos on kuitenkin tarkastelun arvoinen vaihtoehto silloin, kun soodakattila on sellutehtaan pullonkaulana ja tehtaan fossiilisten polttoaineiden määrää halutaan vähentää.

Edellä mainituilla keinoilla voidaan soodakattilan kapasiteetti nostaa niin ylös, että 860 000 tonnin tuotannon ajaminen sellutehtaalla on mahdollinen. Keinoja voidaan ja kannattaakin käyttää jo aikaisemmin, jos esimerkiksi 830 000 tonnin tuotantoa ei saavuteta soodakattilan vuoksi.

5 ELINKAARIMALLI PÄÄSTÖMIELESSÄ VUOTEEN 2030 MENNESSÄ

EU ja Suomi EU-maana ovat sitoutuneet Pariisin ilmastosopimuksessa vähentämään hiilidioksidipäästöjä alueillaan ainakin 40 % alle vuoden 1990 tason vuoteen 2030 mennessä ja työskentelemään hiilineutraaliuden saavuttamiseksi vuosisadan toiselle puoliskolle mennessä. Sopimuksien tavoitteena on estää ilmastonmuutoksen vaarallisia vaikutuksia. (Euroopan parlamentti 2019)

Teollisuuden hiilidioksidipäästöjä hillitäkseen EU on luonut päästökauppasysteemin. Päästökauppasysteemin tavoitteena on vähentää teollisuuden hiilidioksidipäästöjä velvoittamalla yritykset hankkimaan päästöoikeuden jokaiselle tuottamalleen hiilidioksiditonille. (Euroopan parlamentti 2019)

Energiavirasto on Suomen kansallinen päästökauppaviranomainen, jonka tehtäviin kuuluvat lupa-, rekisteri- ja valvonta-asiat sekä päästöoikeuksien huutokauppa. Lisäksi päästöoikeuksia jaetaan maksutta tietyille päästökaupassa mukana oleville toimialoille, kuten metsäteollisuudelle. Nykyisellä eli kolmannella päästökauppakaudella työ- ja elinkeinoministeriö toimii kansallisena päästöoikeuksien ilmaisjaosta vastaavana viranomaisena. Tehtävä siirtyy Energiaviraston vastuulle neljännellä päästökauppakaudella. (Energiavirasto 2020)

Vuodesta 2021 alkaen eli neljännellä päästökauppakaudella päästöoikeuksien ilmaisjakoa myönnetään kerrallaan viideksi vuodeksi. Hakemukset vuosille 2021-2025 tuli jättää Energiavirastolle 31.5.2019 mennessä. Energiavirasto ja työ- ja elinkeinoministeriö käsittelevät hakemukset yhteistyössä. Kaukaan sellutehdas on mukana päästökaupassa ja se haki sekä myös sai ilmaisia päästöoikeuksia vuosille 2021 – 2025. Kaukaan sellutehdas tuotti hiilidioksidipäästöjä 87 586 tonnia vuonna 2019. (Energiavirasto 2020). Sellutehtaan suurimmat maakaasun kuluttajat olivat vuonna 2019;

- meesauuni 298 080 MWh
- soodaakttila 44 438 MWh
- hajukaasukattila 13 285 MWh
- apukattilat 13 189 MWh. (Kaukaan sellutehdas (3) 2020)

Hiilidioksidipäästön hinta on noussut vuoden 2018 alkupuolen noin 8 euroa / CO₂-tonni vuoden 2020 maaliskuuhun mennessä noin 25 euroa / CO₂-tonni. (Energiavirasto 2020). Hiilidioksidipäästöjen hinnan noustua kolminkertaiseksi, on hiilidioksidipäästöt alkaneet laskea. Hiilidioksidipäästöjen hinnannousun sekä jo valmiiksi kalliin maakaasun vuoksi on esimerkiksi Kaukaan sooda- ja apukattiloilla pyritty välttämään maakaasunpolttoa.

5.1 Päästörajojen vuoksi tehtävät investoinnit

Päästökaupalla on osuutensa soodakattiloiden toimintaan ja niihin tehtäviin investointeihin, mutta soodakattiloissa poltetaan kuitenkin melko vähän fossiilisia polttoaineita, kuten maakaasua, koska sen pääpolttoaine on polttoliipeä. Suurempi ohjaava tekijä onkin päästöjen, etenkin ilmapäästöjen, luparajat, joita viranomainen määrittää laitoksille. Seuraavissa kappaleissa on esitetty Kaukaan soodakattilan päästöjen luparajat ja kuinka ne muodostuvat.

5.1.1 Teollisuuden päästädirektiivi

Euroopassa luotiin Euroopan Unionin johdolla vuonna 2011 teollisuuden päästöjä koskeva IE-direktiivi. IE-direktiivillä uudistettiin alun perin vuodelta 1996 ja 2008 kodifioitu IPPC-direktiivi. Teollisuuden päästöjä koskevalla IE-direktiivillä oli tarkoitus yhtenäistää eri teollisuusalojen päästädirektiivit yhdeksi direktiiviksi. Entisiä direktiivejä uudistettiin muun muassa niin, että parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) käsitteen oikeudellista sitovuutta korostettiin sekä jälkivalvontaa koskevat säännöksiä täsmennettiin. (Puheloinen 2011)

EU:n tavoitteena oli vahvistaa pilaantumisen hallinnan kannalta tärkeimpien teollisuudenalojen ympäristönsuojelullista ennakoivalvontaa. IE-direktiivin yleisenä tavoitteena oli edistää ilmansuojelun, maaperänsuojelun sekä resurssien kestävä käytön strategioiden jalkaannuttamista. (Puheloinen 2011)

Yhtenä EU:n keskeisenä huolena oli aikaisemmin ollut lupamääräyksissä esiintyvät erot EU:n jäsenvaltioiden välillä. EU pyrki uuden IE-direktiivin avulla lisäämään niin kutsuttujen BREF-dokumenttien sitovuutta vahvistamalla näiden keskeisimmän sisällön komitea-

menettelyssä. IE-direktiivin muita keskeisiä tavoitteita oli ympäristönsuojelun tason kustannustehokas parantaminen ja uusien teknisten ratkaisujen synnyn edistäminen. Tavoitteena oli myös hallinnollisen tehokkuuden lisääminen sekä paremman ja selkeämmän lainsäädännön luominen. (Puheloinen 2011)

Suomen osalta voidaan todeta, että Suomen ympäristönsuojelulain mukaisissa lupamenettelyissä noudatettiin jo ennen uuden direktiivin tuloa hyvin pitkälle direktiivin vaatimuksia muun muassa ympäristötarkkailun ja päästöjen raja-arvojen osalta. Ympäristönsuojelulais- ja sen nojalla annetuissa asetuksissa ei kuitenkaan oltu säädetty kaikista kyseessä olevista asioista uuden direktiivin edellyttämällä tarkkuudella. Voimaantullessaan IE-direktiivi edellyttikin merkittäviä muutoksia ympäristönsuojelulakiin sekä sen nojalla annettuihin asetuksiin. (Puheloinen 2011)

5.1.2 Metsäteollisuuden BAT

Vuonna 2014 Euroopan Unionin komissio teki täytäntöönpanopäätöksen liittyen parhaita käytettävissä olevia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien vahvistamisesta massan, paperin ja kartongin tuotantoa varten. Täytäntöönpanopäätökseen on muun muassa kirjattu mitä päästöjä soodakattilalla on tarkkailtava ja kuinka usein. Lisäksi päätöksestä löytyy raja-arvot tarkkailtaville päästöille sekä keinoja kuinka parhaita käytettävissä olevia tekniikoita voidaan soodakattilassa soveltaa. (Potocnik Janez 2014) Seuraavassa poimintoja päätöksestä soodakattilaan liittyen.

BAT 9, soodakattilan osalta tarkkailtavat ilmapäästöt ovat;

- NO_x, SO₂ ja TRS, tarkkaillaan jatkuvatoimisesti
- hiukkaset, tarkkaillaan jatkuvatoimisesti tai jaksottaisesti
- hajukaasut, jatkuvatoimisesti
- NH₃, jaksoittain soodakattiloilla, joissa SNCR käytössä (Potocnik Janez 2014).

BAT 19, soodakattilan osalta on varmistuttava, että kattila on kapasiteetiltaan riittävä tehta-
aan tuotantohuipputilanteisiin nähden (Potocnik Janez 2014).

BAT 20, lauhtumattomien väkevien ja laimeiden hajukaasujen polttamisessa voidaan käyttää polttopaikkana soodakattilaa (Potocnik Janez 2014).

BAT 21, soodakattilasta peräisin olevien SO₂- ja TRS-päästöjen vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on hyödyntää seuraavassa mainittujen tekniikoiden yhdistelmää;

- mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden lisääminen
- optimoidut poltto-olosuhteet
- märkäpesuri (Potocnik Janez 2014).

BAT 22, soodakattilan NO_x-päästöjen vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on käyttää optimoitua polttojärjestelmää, jossa on kaikki seuraavassa mainitut ominaisuudet;

- tietokoneohjattu palamisen säätäminen
- polttoaineen ja ilman hyvä sekoitus
- vaiheistettu ilmansyöttöjärjestelmä, jossa käytetään esimerkiksi erilaisia ilma-rekistereitä ja ilmantuloaukkoja (Potocnik Janez 2014).

BAT 23, soodakattilan hiukkaspäästöjen vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on käyttää sähkösuodatinta tai sähkösuodattimen ja märkäpesurin yhdistelmää (Potocnik Janez 2014).

BAT 30, jätteiden syntymisen estämiseksi ja hävitettävän kiinteän jätteen määrän minimoimiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on kierrättää mustalipeäsoodakattilan sähkösuodattimesta peräisin oleva pöly takaisin prosessiin (Potocnik Janez 2014).

BAT 31, lämpöenergian (höyryn) kulutuksen vähentämiseksi, käytettävistä energialähteistä saatavan hyödyn maksimoimiseksi ja sähkönkulutuksen vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on soodakattilan osalta muun muassa lämmön talteenotto soodakattilasta peräisin olevasta savukaasusta sähkösuodattimen ja puhaltimen välillä (Potocnik Janez 2014).

BAT 32, energiantuotannon tehostamiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on hyödyntää seuraavassa mainittujen tekniikoiden yhdistelmää;

- mustalipeän korkea kuiva-ainepitoisuus (tehostaa soodakattiloiden toimintaa lisäten höyryntuotantoa ja sitä kautta sähköntuotantoa)
- soodakattilan korkea paine ja lämpötila; uusissa soodakattiloissa paine voi olla ainakin 100 bar ja lämpötila 510 °C
- vastapaineturbiinin poistohöyryn paine niin matala kuin teknisesti mahdollista
- lauhdutusturbiinin käyttö energian tuottamiseksi ylimääräisestä höyrystä
- turbiinien korkea hyötysuhde
- syöttöveden esilämmitys niin, että lämpötila lähestyy kiehumispistettä
- polttoilman ja kattiloihin syötettävän polttoaineen esilämmittäminen (Potocnik Janez 2014).

BAT 35, pesusta, lajittelusta ja haihduttamolta peräisin olevien hajupäästöjen ja rikkihaittojen hajupäästöjen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on kerätä nämä laimeat kaasut ja hyödyntää jotain seuraavassa mainituista tekniikoista;

- polttaminen soodakattilassa
- märkäpesuri (Potocnik Janez 2014).

BAT 36, soodakattilan NO_x-päästöjen vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on käyttää optimoitua polttojärjestelmää, mukaan lukien seuraavassa mainitut tekniikat yksin tai yhdistelminä;

- soodakattilan toiminnan optimointi poltto-olosuhteita säätelemällä
- polttolipeän vaiheistettu ruiskutus
- selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistys (SNCR) (Potocnik Janez 2014).

BAT 37, soodakattilan hiukkas- ja SO₂-päästöjen vähentämiseksi parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on hyödyntää jotain seuraavassa mainituista tekniikoista sekä pitää pesureiden happolisäys mahdollisimman vähäisenä niiden moitteettoman toiminnan varmistamiseksi;

- sähkösuodatin tai multisyklonit, joissa on monivaiheiset venturipesurit

- sähkösuodatin tai multisyklonit, joissa on monivaiheiset kaksoissyöttöpesurit (Potocnik Janez 2014).

Kaukaan soodakattilan osalta parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on käytössä kaikkiin edellä mainittuihin BAT-kohtiin, lukuun ottamatta:

- BAT 9, NH₃ ei tarvitse mitata Kaukaan soodakattilalla, koska kattilalla ei ole SNCR-tekniikka käytössä.
- BAT 31, savukaasun jäädyttimiä Kaukaan soodakattilalla ei ole, mutta savukaasujen sisältämä lämpö otetaan talteen savukaasupesurissa syntyvästä kuumasta vedestä.
- BAT 32:
 - o soodakattilan korkea paine ja lämpötila; uusissa soodakattiloissa paine voi olla ainakin 100 baaria ja lämpötila 510 °C. Kaukaan soodakattila ei ole uusi, joten ei voida soveltaa.
 - o lauhdutusturbiinin käyttö energian tuottamiseksi ylimääräisestä höyrystä. Kaukaalla on vastapaineturbiini, joten ei voida soveltaa.
 - o syöttöveden esilämmitys niin, että lämpötila lähestyy kiehumispistettä. Tätä voitaisiin tehostaa Kaukaalla lisäämällä höyryllä toimiva syöttöveden korkeapaineesilämmitin.
- BAT 36, selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistys (SNCR). Kaukaalla ei voida soveltaa räjähdysvaaran vuoksi.

5.1.3 Kaukaan sellutehtaan ympäristölupa

Edellisissä kappaleissa esitettyjen ehtojen ja suositusten perusteella on Etelä-Suomen aluehallintovirasto myöntänyt Kaukaan sellutehtaalle ympäristöluvan, jossa myös soodakattilalle on asetettu päästörajat. Kaukaan soodakattilan SO₂-, TRS- ja NO_x-päästöjä seurataan vuositasolla suhteuttamalla päästöt tuotettuihin sellutonneihin nähden. Kaukaan sellutehtaan ympäristölupa on kirjattu seuraavat ominaispäästörajat soodakattilan osalta;

- SO₂ 0,13 kg / tuotettu sellutonni
- TRS 0,13 kg / tuotettu sellutonni
- NO_x 1,7 kg NO₂/ tuotettu sellutonni (Majander ja Hiltunen 2015).

Kaukaan soodakattilan SO₂-, TRS- ja hiukkaspäästöjä seurataan kuukausi- ja päivätasolla pitoisuusrajojen avulla. Kaukaan sellutehtaan ympäristölupaan on kirjattu seuraavat pitoisuusrajat soodakattilan osalta;

- TRS 10 mg S/m³N
- SO₂ 50 mg/m³N
- hiukkaset 50 mg/m³N (Majander ja Hiltunen 2015).

Lisäksi soodakattilan hiukkaspäästö saa olla enintään 200 mg/m³N lyhytaikaisissa häiriötilanteissa, joiden yhteenlaskettu kesto ei ylitä 180 tuntia yhden kalenterivuoden aikana. Hiukkaspäästön ylittäessä 200 mg/m³N on ryhdyttävä välittömästi toimiin päästön rajoittamiseksi. Mikäli normaalitoimintaan ei voida palata 48 tunnin kuluessa päästörajan ylityksen alkamisesta, on toiminta keskeytettävä. Soodakattilan sähkösuodattimen häiriö- ja rikkoontumistilanteista on 48 tunnin kuluessa ilmoitettava Kaakkois-Suomen ELY-keskukselle sekä Lappeenrannan kaupungin ja Taipalsaaren kunnan ympäristönsuojeluviranomaisille (Majander ja Hiltunen 2015).

5.1.4 Investoinnit Kaukaan soodakattilaan ympäristö- ja energiatehokkuusnäkökulmasta

Kaukaan soodakattilalle ei ole välitöntä tarvetta tehdä investointeja ympäristön päästörajojen saavuttamiseksi tai energiatehokkuuden parantamiseksi. Ympäristön päästörajojen suhteen saattaa kuitenkin tulla haasteita sellutehtaan tuotantoa nostettaessa. Erityisesti TRS- ja hiukkaspäästöjen suhteen saattaa nykyiset ja mahdollisesti tulevaisuudessa vieläkin tiukemmat päästörajat muodostua ylitsepääsemättömäksi haasteeksi saavuttaa nykyisellä laitteistolla. Näin ollen soodakattilan kuormitusastetta nostettaessa tai päästörajojen tiukentumisessa joudutaan seuraavien investointien tarvetta tarkastella huolellisesti:

1. Liuottajan hönkienpoltto soodakattilassa. Investointi laskee TRS-päästöjä oleellisesti. Investointi suunniteltu tehtäväksi vuoden 2024 huoltoseisokin yhteydessä.
2. 5. sähkösuodatin. Investointi laskee hiukkaspäästöjä oleellisesti. Investointi suunniteltu tehtäväksi vuoden 2028 huoltoseisokin yhteydessä.

Soodakattilan energiatehokkuutta voidaan parantaa lisäämällä syöttöveden esilämmitystä. Tällöin soodakattilan ennen 1. ekonomaiseria syöttövesilinjaan asennettaisiin syöttöveden korkeapaineesilämmitin, jolla syöttövettä lämmitettäisiin lähelle kiehumispistettä välipainehöyryn avulla. Lisäksi toinen vastaavanlainen korkeapaineesilämmitin voitaisiin asentaa 1. ja 2. ekonomaiserien väliin, jolla lämmitetään kattilavettä. Investointi voidaan toteuttaa missä huoltoseisokissa tahansa. (Kaukaan sellutehdas (5) 2020)

6 YHTEENVETO

Kaukaan sellutehtaan soodakattilalla pystytään operoimaan nykylaitteistolla nykyinen sekä hiukan yli 800 000 sellutonnin tuotanto. Sellutehtaan tuotannon noustessa 830 000 alkaa soodakattila muodostumaan tehtaan pullonkaulaksi. Tällöin ollaan optimitilanteessa tehtaan kannalta, koska sellutehdasta tulisi pyrkiä ajamaan sen kalleinta yksittäistä komponenttia eli soodakattilaa vasten. Nykylaitteistolla 860 000 sellutonnin tuotanto on tehtaan ja soodakattilan kannalta teoriassa mahdollista mutta käytännössä ei, koska mikään tehdas tai soodakattila ei pysty operoimaan vuoden jokaisena päivänä maksimikapasiteetilla. Tällöin soodakattilaan tarvitaan investointeja, jotka mahdollistavat kattilalle korkeamman kuormitusasteen.

Suurin osa soodakattilan kapasiteettia nostavista investoinneista voidaan toteuttaa laitteiston pakollisten uusintojen yhteydessä, koska kyseisillä prosessinosilla ei pystytä operoimaan soodakattilan käyttöä loppuun asti. Tällaisia investointeja ovat:

1. Tulistimien avarrusinvestoinnit. 2AB- ja 3A-tulistimia kannattaa avartaa ehdottomasti tulistimien uusintojen yhteydessä. Avarruksen jälkeen voidaan soodakattilan vesi-höyrypiiriä kuormittaa nykyistä enemmän.
2. Tulipesän pohjan uusinnan yhteydessä kannattaa ehdottomasti tulipesän sivuseinien vesikiertoa parantaa, lisätä 7. sulakouru ja modernisoida primääri-ilmajärjestelmää suuremmille kuormitusasteille sopivaksi. Lisäksi kannattaa harkita liuottajan hönkien polttamista soodakattilassa sekä varmistaa tulipesän alaosan ilmajärjestelmä olevan sopiva suuremmille kuormitusasteille.
3. Sähkösuodattimien uusinnan yhteydessä kannattaa ehdottomasti rakentaa 5. sähkösuodatin neljän nykyisen rinnalle. Uuden sähkösuodattimen tulee olla riittävän iso, jolloin investointi on mahdollisimman kustannustehokas ja sähkösuodattimien käytettävyyttä saadaan parannettua.

Edellä mainitut investoinnit mahdollistavat Kaukaan sellutehtaan soodakattilalle 4 400 tDs/d kuormitusasteen, jolloin 860 000 sellutonnin tuotannon saavuttaminen on mahdollista soodakattilan puolesta. Vaikka edellä mainitut investoinnit näyttäisivätkin riittävän 860 000 tonnin tuotantoon sekä ympäristöpäästöjen luparajojen saavuttamiseen, on tehtaan tuotantotason nostojen yhteydessä tarkastettava aina kuitenkin sen hetkinen tilanne soodakattilan oheislaitteiden sekä talteenoton muiden osastojen suhteen. Tarkastelua vaativat esimerkiksi:

1. Polttolipeän määrän ja laadun varmistaminen soodakattilan tarpeisiin, jolloin haihduttamolle tarvittaneen esimerkiksi tässä työssä esitettyjä investointeja.
2. Soodakattilalla tuotetun viherlipesäntä käsittelykapasiteetin varmistaminen kaustisointilaitoksella, jolloin tarvitaan esimerkiksi 4. viherlipesäntäsuodatin.
3. Soodakattilalta tuotetun höyryn käyttökohteiden ja käsittelylaitteiston toiminnan varmistaminen, jolloin höyryjakeluun tarvittaneen esimerkiksi tässä työssä esitetyjä investointeja.
4. Soodakattilalla syntyvien päästöjenhallinta on varmistettava aina, jolloin tarvitaan investointeja liuottajan hönkien- sekä hajukaasujen käsittelyyn tarvittaneen investointeja.

Talteenoton muiden osastojen laitteiden, kuten haihduttamon haihdutinyksiköiden tai kaustisointilaitoksen viherlipesäntäsuodattimien, investointitarpeet pitää tarkastella tarkemmin tuotantotasojen nostojen yhteydessä, koska tässä työssä on tarkasteltu talteenoton muiden osastojen laitteita vain siltä osin, kuinka soodakattilan kapasiteettia sekä käytettävyyttä pystyttäisiin nostamaan.

Työssä tehtyjen tarkastelujen perusteella ei soodakattilalle tarvita enää suuria investointeja vuoden 2028 huoltoseisokin jälkeen, jolloin kattilalla pystytään operoimaan sen elinkaaren loppuun asti, vuoteen 2035 - 2040. Tällöin UPM:n on aloitettava harkitsemaan Kaukaan sellutehtaan tulevaisuudennäkymiä viimeistään 2030 vuosikymmenen alussa, jolloin on puntaroitava kolme seuraavaa eri vaihtoehtoa:

1. Operoidaan nykyinen sellutehdas loppuun, eikä uutta rakenneta ja tehtaen toiminta loppuu.
2. Operoidaan nykyisellä sellutehtaalla siten, että osastoja tai niihin liittyviä suurimpia komponentteja, kuten soodakattilaa, uusitaan ja toimintaa jatketaan.
3. Operoidaan nykyinen sellutehdas loppuun, aloitetaan rakentamaan uutta, jopa isompaa, tehdasta vanhan rinnalle ja uuden valmistuessa vanha tehdas lopetetaan.

Ennustaminen on aina vaikeaa, jolloin esimerkiksi 3A-tulistin voi olla hyvässä kunnossa vuonna 2026, jonka seurauksena sitä ei päätetä vaihtaa vuonna 2028, ja vuonna 2030 huomataankin että se on pakko vaihtaa vuonna 2032. Tällaisen tapahtumaketjun voidaan kuitenkin ajatella olevan niin ennalta-arvaamaton, ettei sellaista voida osata ottaa huomioon tässä työssä. Kaikkia muuttuvia tekijöitä ei siis voida osata mitenkään ottaa huomioon kymmentä vuotta etukäteen.

Tämän työn tarkoitus oli pyrkiä kartoittaa tämänhetkisen tietämyksen perusteella mahdollisimman hyvin tulevien vuosien Kaukaan sellutehtaan soodakattilan sekä siihen liittyvien laitteiden investointitarpeet eri näkökulmista tarkasteltuna. Investointitarpeet saatiin kartoitettua melko hyvin niin nykylaitteistolla operoitaessa soodakattilan käyttöään loppuun, nostettaessa sellutehtaan tuotantoa kuin päästörajojen tarpeiden suhteen. Voidaankin siis sanoa työn tavoitteen saavutetuksi niin hyvin kuin tämän hetkiselällä tietämyksellä on mahdollista.

LÄHTEET

Energiavirasto. 2020. Päästökauppa. [Viitattu 5.4.2020] Saatavissa:

<https://energiavirasto.fi/paastokauppa>

Euroopan parlamentti. 2019. Hiilidioksidipäästöjä vähentämässä: EU:n tavoitteet ja toimet.

[Viitattu 5.4.2020] Saatavissa:

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180305STO99003/hiilidioksidipaastoja-vahentamassa-eu-n-tavoitteet-ja-toimet>

Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P. ja Pakkanen H. 1997. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab. ISBN 951-37-1327-X.

Hämäläinen Joonas. 2014. Kaukas soodakattilan höyrystimen vedenkierto. Laitetoimittaja. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (1). 2020. Soodakattilan sivu-layout. UPM Kymmene Oyj. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (2). 2020. Soodakattilan prosessinohjausjärjestelmä. UPM Kymmene Oyj. [Viitattu 18.2.2020]. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (3). 2020. SAP-tietojenhallintajärjestelmä. UPM Kymmene Oyj. [Viitattu 14.4.2020]. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (4). 2020. Kaukaan sellutehtaan esittelymateriaali. UPM Kymmene Oyj. [Viitattu 14.4.2020]. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (5). 2020. Laitetoimittajien hintaindikaatiot. UPM Kymmene Oyj. [Viitattu 14.4.2020]. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (6). 2020. Soodakattilan käyttö- ja huolto-ohje. UPM Kymmene Oyj. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

Kaukaan sellutehdas (7). 2020. Haihduttamon käyttö- ja huolto-ohje. UPM Kymmene Oyj. Luottamuksellinen, ei julkisesti saatavilla.

KnowPulp. 2016. KnowPulp-oppimisympäristö. Versio 16.0. [Viitattu 27.9.2019]. ProWledge Oy, AEL. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/suomi>. Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjätunnuksen.

KnowPulp. 2003. Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. VTT Tuotteet ja tuotanto.

Koso Tommi. 2015. Korkeasti kuormitetun soodakattilan likaantumisen ja päästöjen vähentäminen. Diplomityö, energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Majander Harri ja Hiltunen Ilpo. 2015. Kaukaan sellutehtaan ympäristölupa. Aluehallintovirasto.

Penttinen Kimmo. 2018. Soodakattilan tukkeentuminen. Diplomityö, energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Potocnik Janez. 2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/75/EU mukaisien parhaita käytettävissä olevia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien vahvistamisesta massan, paperin ja kartongin tuotantoa varten. Komission täytäntöönpanopäätös. Euroopan unioni.

Puheloinen Eeva-Maija. 2011. Teollisuuden päästädirektiivin (IED) voimaansaattaminen ja muita ympäristönsuojelulain kehittämisajatuksia. Ympäristöministeriö.

Rantanen Eetu. 2017. Soodakattilan sulakourujen toimintaolosuhteet: lämpörasitukset ja sulavirtaukset. Diplomityö, energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Suomen soodakattilayhdistys. 2020. Vauriotietokanta. [Viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.soodakattilayhdistys.fi/vauriotietokanta>. Palvelu vaatii käyttäjätunnuksen.

Vänttinen Lari. 2017. Compound-putkien pituuden optimointi. Opinnäytetyö, energiatekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu.

LIITE 1: KAUKAAN VAURIOT

Suomen soodakattilayhdistyksen vauriotietokanta, Kaukas:

- **13.2.1994**, sulavuoto primääri-ilma-aukon massakotelosta. Syynä liian korkea sula-keko, jolloin sula pääsi primääri-ilma-aukkoihin.
- **12.3.1996**, vuoto 2B-tulistimen konepajalla tehdyissä jatkosaumoissa. Syynä virheellinen kattilan alasajo, jolloin kattilavesi pääsi täyttämään tulistimet vaurioittaen 2B-tulistimen.
- **11.10.1997**, hallitsematon sulasyöksy liuottajaan, jolloin liuottajassa tapahtui sularäjähdyks. Syynä ajotapavirhe, jonka seurauksena alasajossa suoritettua kattilan vesipesun suolaa runsaasti sisältävät jätevedet ajettiin haihduttamolle, jonka seurauksena soodakattilaan tuli suuri määrä suolaa ja sen seurauksena palaminen kattilassa loppui.
- **16.10.1997**, vesipainekokeen aikainen vuoto keittopinnan ala-osaan. Syynä liian nopea jäähdytys kattilan alasajon yhteydessä.
- **23.6.2000**, vesipainekokeen aikainen vuoto tulipesässä tulistinalueella 1. nuohoimen aukon ohitusputkesta. Syynä liian leveä evä aukossa, jonka seurauksena siihen kohdistunut suuri lämpöjännitys kattilan ylös- ja alasajotilanteissa. Lämpöjännityksen seurauksena evä alkanut säröilemään, jolloin särö on jatkunut hitsisauman yli myös painerunkoon.
- **1.1.2001**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaisierissa pääjakokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohospaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjakokammioon alkoi säröilemään.
- **23.6.2002**, käynnistyksen aikainen vuoto tulipesässä tulistinalueella 2. nuohoimen aukon ohitusputkesta. Syynä liian leveä evä aukossa, jonka seurauksena siihen kohdistunut suuri lämpöjännitys kattilan ylös- ja alasajotilanteissa. Lämpöjännityksen seurauksena evä alkanut säröilemään, jolloin särö on jatkunut hitsisauman yli myös painerunkoon.
- **24.10.2002**, ajonaikainen vuoto 1. ekonomaisierissa nuohoimen 92 aukon kohdalla. Syynä nuohoimen vuotava höyryventtiili, jonka seurauksena ekonomaisierin putkeen syntynyt korroosio vuoksi kulumaa.

- **18.11.2002**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaisierissa pääjakokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohospaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjakokammioon alkoi säröilemään.
- **20.12.2003**, ajonaikainen 4. sulakourun tukkeutumisen seurauksena sula kaatoi sulakourusta ulos liuottajan kannelle. Syynä kulunut sulan hajoitushöyrysuutin, jolloin höyryä suihkutettiin vastavirtaan sulavirtaan nähden, jolloin sula jähmettyi sulakouruun ja sula valui kourusta liuottajan kannelle liuottajan sijaan.
- **10.1.2005**, ajonaikainen vuoto keittopinnan keskiosassa. Syynä putken sisäpuolelle muodostuneen magnetiittikerrostuman aiheuttama vetyhyökkäys, joka aiheutti voimakkaan paikallisen korroosion putken sisäpuolelle.
- **23.6.2005**, vesipainekokeen aikainen vuoto hilaputkiston jakokammion vasemmassa laidassa. Syynä huono kattilavesikemia, jonka seurauksena kattilavedessä runsaasti putkistoa tukkivaa sakkaa.
- **6.3.2006**, ajonaikainen vuoto tulipesässä compound-rajan yläpuolelta oikealla seinällä. Syynä huono kattilavesikemia, jonka seurauksena putken sisäpintaan kertynyt paksu kerros muun muassa kuparia, jonka seurauksena putki ylikuumeni ja sen seurauksena vaurioitui.
- **3.10.2010**, ajonaikainen vuoto 1. ekonomaisierissa pääjakokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohospaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjakokammioon alkoi säröilemään.
- **28.12.2010**, ajonaikainen vuoto 1. ekonomaisierissa pääjakokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohospaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjakokammioon alkoi säröilemään.
- **22.12.2012**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaisierissa pääjakokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohospaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjakokammioon alkoi säröilemään.
- **16.9.2013**, ajonaikainen vuoto 1. ekonomaisierissa pääjakokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdolli-

- sesti liian korkea nuohouspaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjäkokammioon alkoi säröilemään.
- **10.10.2013**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaiserissa pääjäkokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohouspaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjäkokammioon alkoi säröilemään.
 - **19.11.2013**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaiserissa pääjäkokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohouspaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjäkokammioon alkoi säröilemään.
 - **30.3.2014**, vuosihuoltoseisokissa havaittu putkivaurio keittopinnalla ja seisokin jälkeisessä vesipainekokeessa vuoto 5. sulakourun aukon ohitusputkessa. Keittopinnan putken vaurioitumisen syynä putkeen asennuksessa jäänyt kangastulppa, joka tukki putken, jonka seurauksena putki ylikuumeni. Sulakouruaukon vuodon aiheutti vanhemmuuttaan ohentunut putki.
 - **23.3.2016**, ajonaikainen vuoto keittopinnan yläosassa. Syynä huonon kattilavesikemian seurauksena tukkeutunut putki, joka ylikuumeni tukkeutumisen seurauksena.
 - **15.9.2016**, seisokin jälkeisessä vesipainekokeessa vuoto 3-tulistimen alalenkissä. Syynä systemaattinen konepajavirhe tulistimen alakäyrän 1.4912/13Crmo rajapinnan hitsisaumassa mustan puolella.
 - **23.7.2017**, ajonaikainen 1. sulakourun vaurioituminen. Syynä sulakouruun tullut särö, joka aiheutti jäähdytysveden kiertohäiriön. Ylikuumenemisen seurauksena ränni vaurioitui täysin ja sulaa valui liuottajan kannelle.
 - **26.6.2018**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaiserissa pääjäkokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohouspaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjäkokammioon alkoi säröilemään.
 - **7.9.2018**, ajonaikainen vuoto 2. ekonomaiserissa pääjäkokammion ja elementin yhdysputken liitoshitsauksessa. Syynä elementin puutteellinen tuenta ja mahdollisesti liian korkea nuohouspaine, joiden seurauksena elementti päässyt heilumaan ja liitoskohta pääjäkokammioon alkoi säröilemään.