

PUUJÄTEKATTILAN JA ÖLJYKATTILAN NYKYKUNNON
SEKÄ TULEVAISUUDEN SELVITYS

Alexi Kokkonen
2011
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

PUUJÄTEKATTILAN JA ÖLJYKATTILAN NYKYKUNNON SEKÄ TULEVAISUUDEN SELVITYS

Alexi Kokkonen

Opinnäytetyö

24.2.2011

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

| | | | | |
|------------------------------|--|--------|---|-----------|
| Koulutusohjelma | Opinnäytetyö | Sivuja | + | Liitteitä |
| Kone- ja tuotantotekniikka | Insinöörityö | 88 | + | 2 |
| Suuntautumsvaihtoehto | Aika | | | |
| Tuotantotalous | 2011 | | | |
| Työn tilaaja | Työn tekijä | | | |
| Stora Enso Oyj Oulun tehtaat | Aleksi Kokkonen | | | |
| Työn nimi | Puujätekattilan ja öljykattilan nykykunnan ja tulevaisuuden selvitys | | | |
| Avainsanat | Voimalaitos, vesiputkikattila, kuntoselvitys, käytettävyys | | | |

Stora Enso Oyj Oulun tehtaiden varakattiloina toimii puujäte- ja öljykattila. Varakattiloita käytetään pääasiassa leijupetikattilan vuosihuoltojen yhteydessä tai tämän ollessa muista syistä huollon kohteena. Voimalaitoksen varakattiloiden nykykunnossa on havaittu puutteita syksyn 2010 käyntiinajossa. Tämän vuoksi on nähty tarpeelliseksi tehdä kattiloille kuntokartoitus. Työssä selvitetään kattiloiden nykyinen kunto, mahdollinen korvaava kattilalaitos ja tarvittavat toimenpiteet kattiloiden käyttökuntoon saattamiseksi.

Työssä on keskitytty tarvittavien toimenpiteiden selvittämiseen kattiloiden käyttökuntoon saattamiseksi. Tämä on toteutettu pääasiassa yhteistyönä Stora Enson käyttöhenkilökunnan sekä Efora Oy:n kunnossapitohenkilökunnan kanssa. Lisäksi työssä on jaksotettu toimenpiteet ja näiden kustannukset ajanjaksolle 2011–2016. Työssä on tarkoituksenmukaisesti jätetty vähemmälle huomiolle korvaavan kattilalaitoksen hankinta tämän verraten suuren investointiarvon vuoksi.

Lopputuloksena työssä luetteloitiin ja priorisoitiin tarpeelliset työt sekä näiden kustannukset, jotka kattiloille tulee tehdä vuoteen 2016 mennessä. Tästä käy ilmi, että lopulliset kokonaiskustannukset ovat ennen työn aloittamista arvioitujen kustannusten kanssa samaa suuruusluokkaa. Kuitenkin suuri osa töistä, joita olisi ollut toivottavaa toteuttaa vuoden 2011 aikana, oli siirrettävä myöhemmälle ajankohdalle budjetin ylittymisen välttämiseksi.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 TYÖN TEOREETTISTA TAUSTAA | 9 |
| 2.1 Höyrykattilatekniikka | 9 |
| 2.1.1 Höyrykattilan rakenne | 9 |
| 2.1.2 Höyrykattilan toimintaperiaate | 11 |
| 2.1.3 Palaminen ja polttoaineet | 16 |
| 2.1.4 Polttotekniikat | 17 |
| 2.2 Stora Enso Oulun tehtaat | 23 |
| 2.3 Sellutehdas | 25 |
| 2.4 Voimalaitos ja lipeälinja | 26 |
| 2.4.1 Haihdutus | 26 |
| 2.4.2 Mäntyöljyn tuotanto | 28 |
| 2.4.3 Soodakattila | 29 |
| 2.4.4 Kaustisointi | 32 |
| 2.4.5 Meesanpoltto | 33 |
| 2.4.6 Leijupetikattila K3 | 34 |
| 2.4.7 Veden käsittely | 35 |
| 2.4.8 Savukaasujärjestelmä | 39 |
| 2.4.9 Päästöt ja niiden vähentäminen | 41 |
| 2.4.10 Hajukaasujen käsittely | 45 |
| 2.4.11 Prosessivesien käsittely | 47 |
| 3 PUUJÄTEKATTILA | 48 |
| 3.1 Yleistä | 48 |
| 3.2 LCP-direktiivi | 50 |
| 3.3 Syöttövesi- ja höyryjärjestelmä | 52 |
| 3.3.1 Syöttövesipumput | 52 |
| 3.3.2 Venttiilit ja mittaukset | 57 |
| 3.4 Ilma- ja savukaasujärjestelmä | 58 |
| 3.4.1 Puhaltimet | 58 |
| 3.4.2 Pellit ja kanavat | 59 |
| 3.5 Arinan hydraulikka | 60 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.6 | Öljyjärjestelmä | 60 |
| 3.7 | Nuohoimet | 61 |
| 3.8 | Sähkökeskukset | 61 |
| 3.9 | Mittaukset | 62 |
| 3.10 | Kuorijärjestelmä | 63 |
| 3.11 | Rakennustyöt | 63 |
| 3.11.1 | Tiilipiippu | 64 |
| 3.11.2 | Syöttövesipumput | 65 |
| 3.12 | Seinäputkisto | 65 |
| 3.12.1 | Takaseinän putkisto | 65 |
| 3.12.2 | Oikean seinän putkisto | 66 |
| 3.13 | Muita kunnostustoimenpiteitä | 66 |
| 3.13.1 | Ennakkohoolto ja laiterekisteri | 66 |
| 3.13.2 | Tuhkakuljettimet | 67 |
| 4 | ÖLJYKATTILA | 68 |
| 4.1 | Yleistä | 68 |
| 4.2 | Öljyjärjestelmä | 69 |
| 4.3 | Syöttövesi- ja höyryjärjestelmä | 70 |
| 5 | KATTILALAITOSTEN YHTEISET TOIMENPITEET | 71 |
| 5.1 | Automaatiojärjestelmät | 71 |
| 5.2 | Laitteiston positiointi | 71 |
| 5.3 | Koulutus- ja koekäyttötarpeet | 72 |
| 6 | INVESTOINNIT | 74 |
| 6.1 | Low-NO _x -polttimet | 74 |
| 6.2 | Mittaukset | 74 |
| 6.3 | Sähkösuodatin | 75 |
| 6.4 | Puujättekattilan automaatiojärjestelmä | 76 |
| 6.5 | Savukaasupuhallin | 76 |
| 7 | VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET | 78 |
| 7.1 | Käyttötarkastus | 79 |
| 7.2 | Kattilan sisäpuolinen tarkastus | 79 |
| 7.3 | Määräaikainen painekoe | 79 |
| 8 | YHTEENVETO | 80 |
| | LÄHTEET | 83 |
| | LIITTEET | 88 |

Liite 1 Lähtötietomuistio
Liite 2 Yhteenvetotaulukko

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on toiminut Stora Enso Oyj Oulun tehtaat, josta yhteyshenkilönä ja ohjaajana työn tilaajan puolesta toimi voimalaitoksen päällikkö Jaakko Hettula. Stora Enso Oyj Oulun tehtailla käytetään varakattiloina puujätekattilaa ja öljykattilaa. Kattiloita käytetään leijupetikattilan ollessa vuosihuollossa tai muusta syystä huollon kohteena.

Tällä hetkellä varakattilat ovat olleet käytössä pääasiassa ainoastaan leijupetikattilan vuosihuollon yhteydessä suunniteltuina aikoina, noin viikon ajan vuodessa. Tämä on kuitenkin ollut mahdollista ainoastaan leijupetikattilan harvinaisen korkean käyttöasteen ansiosta. Näin ollen ei ole lainkaan varmuutta, että tulevaisuudessa varakattiloiden käyttö jäisi samalle tasolle.

Huolimatta pyrkimyksestä jatkaa puujätekattilan käyttöikä, on kattilan yhteenlaskettu käyttöaika alle yksi vuosi. Tämän vuoksi korjauksien sekä investointien kustannuksissa pyritään mahdollisimman alhaiselle tasolle. Tarve varakattiloiden kuntoselvitykseen on todettu elokuussa 2010 ennen leijupetikattilan vuosihuoltoa tehdyissä valmisteluissa ja vuosihuollon yhteydessä.

Työssä selvitetään varakattiloiden kunto ja toimenpiteet kattiloiden käyttö-kuntoon saattamiseksi. Kattiloille nykykunnan selvitys toteutetaan tuotannon ja kunnossapidon yhteistyönä. Lisäksi määritetään tarvittavat toimenpiteet, joilla varmistetaan varakattiloiden luotettava käynti tulevaisuudessa. Puujätekattilalla on käyttöaika niin pitkään, kuin sen kunto sallii, mutta kiristyvien ympäristömääräyksiä vuoksi vuoden 2015 loppuun asti. Käyttö siitä eteenpäin vaatii mahdollisesti ympäristömääräysten vuoksi parannuksia muun muassa savukaasujen puhdistuslaitteisiin ja mittauksiin. (Liite 1.)

Työ on jaettu kolmeen vaiheeseen, joista ensimmäisen oli määrä olla valmis lokakuun 2010 loppuun mennessä. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään puujätekattilan ja öljykattilan nykyinen kunto. Nykytilan selvityksessä tulee

selvitä tällä hetkellä keskeneräiset työt, välittömästi tehtävät työt, töiden aikataulus ja vastuuhenkilöt sekä resurssit. (Liite 1.)

Toinen vaihe valmistuu tammikuun 2011 loppuun mennessä. Siinä tulee olla tehtynä ennakkohuolto-ohjelma, kunnossapidon sekä tuotannon käyttöönottosuunnitelma, koekäyttötarpeet sekä resurssit. Lisäksi toisessa vaiheessa selvitetään varaosatarpeet. Kolmas vaihe tulee olla valmis maaliskuun 2011 loppuun mennessä, ja siitä tulee selvitä puujätekattilan ja öljykattilan tulevaisuuden suunnitelmat sekä mahdolliset muut varakattilavaihtoehdot. (Liite 1.)

Puujäte- ja öljykattiloita tulee pystyä käyttämään varakattiloina tulevaisuudessa. Tarkoituksena on nostaa kattiloiden käyttövarmuutta sekä saada etenkin käynnistys mahdollisimman yksinkertaiseksi. Tämän vuoksi painopiste työssä on tulevien parannusten kartoitus sekä näiden priorisointi. Työssä selvitetään myös, kuinka ylläpidetään kattiloiden käytettävyyttä sekä kartoitetaan henkilöstön osaaminen ja koulutuksen tarve.

2 TYÖN TEOREETTISTA TAUSTAA

2.1 Höyrykattilatekniikka

Yleisesti höyrykattilan tehtävänä on tuottaa höyryä turbiinille, lämmitystarkoitukseen tai yhdistetysti näihin molempiin. Energiaa luovuttavaa puolta kutsutaan savukaasupuoleksi, josta lämpö siirtyy vastaanottavalle vesipuolelle. Höyrykattila on näin ollen suuri lämmönsiirrin, jolla siirretään kuumasta kaasusta tai palavasta polttoaineesta lämpö säteilynä, savukaasun konvektiona tai näiden yhdistelmänä, kuten yleensä on kannattavinta syöttöveteen (1, s. 1).

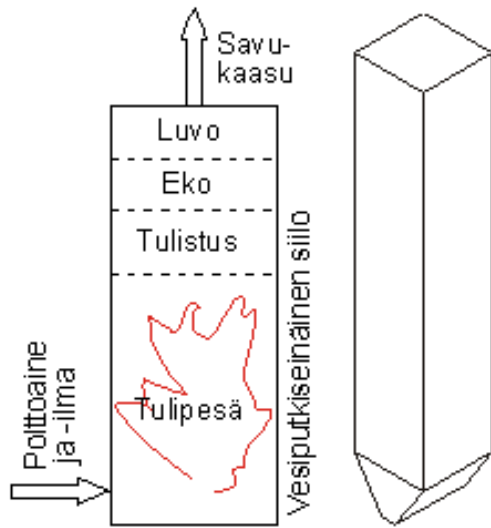
Savukaasupuolella on savukaasun kulkusuunnan mukaisesti osalämmönsiirtimiä. Näitä lämmönsiirtimiä ovat suuressa höyrykattilassa höyrystin, tulistin, ekonomaiserin ja polttoaineen esilämmitin, jota kutsutaan yleisesti luvoksi (luftvorwärmer). Höyrystimessä lämpö siirtyy lähes täydellisesti säteilyn vaikutuksesta putkistossa virtaavaan syöttöveteen. Tulistimessa lämpö siirtyy yleensä osittain säteilynä ja loppuosassa konvektiona ja ekonomaiserissa sekä luvossa täysin konvektion vaikutuksesta. (1, s. 1.)

Höyrykattilan käyttöä sekä suunnittelua ja valmistusta valvotaan tiukasti, sillä väärin toteutettuna se voi olla vaarallinen laite. Nykyisellään höyrykattiloihin käytetään Suomessa yleiseurooppalaista lainsäädäntöä. Tämä kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 953/1999 yleisestä painelaiteturvallisuudesta määrittelee edellä mainittujen toimenpiteiden toteutuksen sekä näiden valvonnan. (1, s. 1.)

2.1.1 Höyrykattilan rakenne

Kattilat voivat olla rakenteeltaan yksi- tai kaksivetoisia. Vetoisuus määräytyy savukaasun kulkutien mukaan. Yksivetoisessa kattilassa on kuvan 1 mukaisesti kaikki osalämmönsiirtimet peräkkäin yhdessä korkeassa siilossa. Vesi

höyrystyy kattilan seinäputkistoissa jäädyttäen kattilan seinäpintoja. (1, s. 3.)



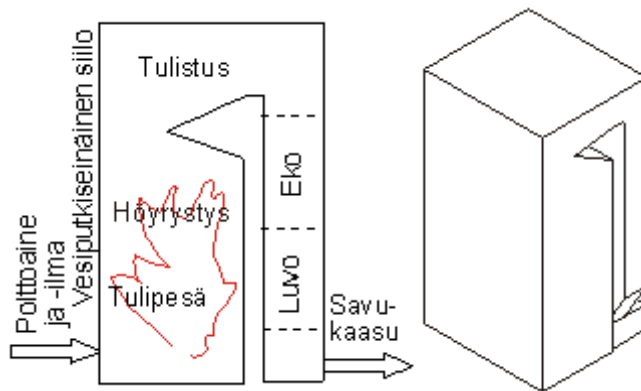
KUVA 1. Yksivetoinen vesiputkikattila (1, s. 3)

Tulipesä on vapaata tilavuutta, jossa lämpö siirtyy säteilyn vaikutuksesta kattilan putkistoon. Tulistusalueella on vaakasuuntaisia tulistinpattereita. Näistä ensimmäinen patteri on säteilylämmönsiirrin ja jälkimmäiset konvektiivisia lämmönsiirtimiä. Lämmönsiirto on säteilymäistä, mikäli lämmönsiirtopatterin ja tulipesässä sijaitsevan liekin näköyhteys on estymätön. (1, s. 3.)

Savukaasuvirrassa on vielä tulistuksen jälkeen runsaasti energiaa. Energiaa otetaan talteen syöttöveden ja polttoilman esilämmittimissä eli ekonomaiserissä ja luvossa, jotka sijaitsevat tulistinalueen jälkeen savukaasuvirrassa. Tämän jälkeen savukaasu johdetaan savupiippuun. Suurimmat höyrykattilat maailmalla ovat yleensä rakenteeltaan yksivetoisia ja toimintaperiaatteeltaan läpivirtauskattiloita. (1, s. 3.)

Kuvassa 2 näkyvän kaksivetoisen kattilan ensimmäinen veto on myös korkea siilo, jonka seinäputkistoissa virtaava ja höyrystyvä vesi jäädyttää kattilan seinäpintoja. Ensimmäisen ja toisen vedon välillä on vaakakanava, jossa sijaitsevat tulistimet. Savukaasuvirta kääntyy ensimmäisen vedon ja vaakakanavan jälkeen toiseen vetoon, jossa sijaitsevat kattilan ekonomaiserit

ja luvo. On myös mahdollista, että toinen veto sijaitsee höyrystinsiilossa, eikä kuten kuvassa erillisenä kanavana. Tulistinpatterit riippuvat vaakakanavassa. Näistä ensimmäinen on säteily tai säteilykonvektiolämmönsiirrin ja myöhemmät konvektiivisia lämmönsiirtimiä, kuten yksivetoisessakin. Ensimmäisen tulistimen lämmönsiirtotyyppi riippuu tulistimen tarkasta sijainnista, koska se voi sijaita myös ensimmäisen vedon yläosassa, jolloin lämmönsiirto tapahtuu säteilynä tulipesästä. (1, s. 3.)



KUVA 2. Kaksivetoinen vesiputkikattila (1, s. 3)

2.1.2 Höyrykattilan toimintaperiaate

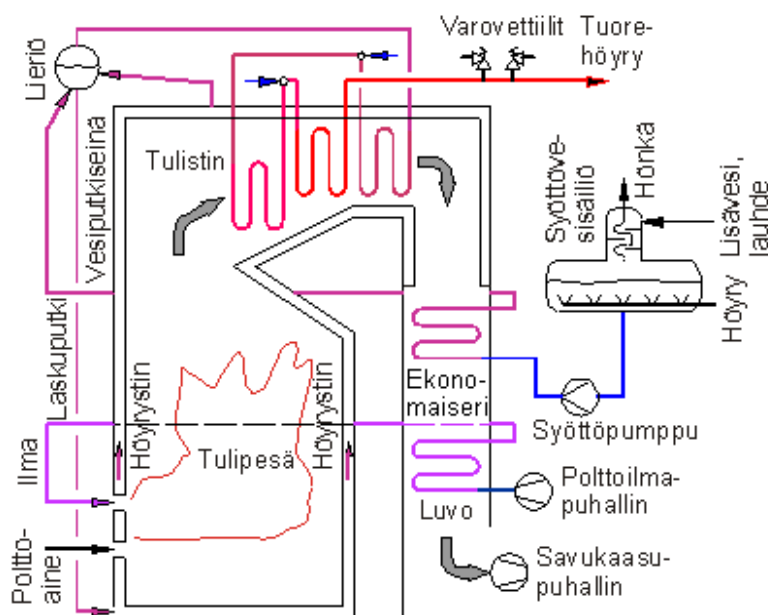
Kattilat jaetaan toimintaperiaatteensa mukaan luonnonkierto-, pakkokierto- ja läpivirtauskattiloihin. Luonnonkiertokattila on periaatteeltaan vanhin, ja siinä vesi höyrystyy kattilan sisäisessä höyrystyskierrrossa. Tämä on mahdollista ilman prosessiin tuotua ulkoista voimaa, kun veden tiheyserojen muodostamat sisäiset paine-erot tuottavat virtausta kattilan sisäiseen kiertoon. (1, s. 4.)

Pakkokiertokattilassa sisäinen kierto on hoidettu erillisillä pumpuilla, jolloin tilanne muuttuu luonnonkierrosta pakkokierroksi. Läpivirtauskattiloita on alettu kehittää, kun veden höyrystämispaine alkoi olla lähellä veden kriittistä painetta ja sen yläpuolella eli ylikriittistä painetta. Vedelle kriittinen piste on, paineeltaan 221 bar abs ja lämpötilaltaan 374 °C. Ylikriittisessä vaiheessa arvot ovat ylittyneet, eikä vedessä ei enää ole selvää faasimuutosta. (1, s. 4; 2, s. 1.)

Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattilassa on sisäinen kierto eli höyrystinkierto sekä ulkoinen vesikierto. Kattilan vesikierron keskuksena on kattilan päällä sijaitseva lieriö. Lieriöön pumpataan syöttövesipumpuilla samansuuruinen syöttöveden massavirta lieriöstä lähtevä jatkuvan ulospuhalluksen ja höyryn yhteenlasketun massavirran kanssa. (1, s. 4.)

Sisäisessä vesikierrossa syöttövesipumpuilta kattilan lieriöön tuleva syöttövesi höyrystetään. Lieriöstä vesi lähtee kuvan 3 mukaisesti kattilan höyrystimen alaosaan laskuputkia pitkin. Pohjalla oleva veden paine on kattilan korkeuden muodostaman hydrostaattisen paineen verran lieriön painetta suurempi. Näin ollen myös höyrystymislämpötila on höyrystimen alaosassa hieman suurempi kuin lieriössä, ja vesi on siten alijäähtynyttä. (1, s. 5.)



KUVA 3. Kaksivetoisen luonnonkiertokattilan periaate (1, s. 5)

Höyrystimen alaosassa vesi jaetaan kattilan neljälle seinälle, joissa kattilan sisäpuolelta tuodun lämmön vaikutuksesta neste lämpenee ja tiheys pienee. Kattilan sisäinen vesikierto on mahdollista, kun lieriöstä lähtevän nesteen paine on höyrystimestä lieriöön virtaavaa höyryä suurempi. Suurinta lie-

riöpainetta kuitenkin rajoittaa se, että lieriöpaineen noustessa myös sisäisen kierron tiheysero pienenee. Suurin lieriöpaine luonnonkiertokattiloissa rajoittuu 185 baariin. Tulistimissa tapahtuva painehäviö laskee tuorehöyryn todellisen paineen noin 170...175 baarin tasolle. (1, s. 6.)

Lieriöstä höyry lähtee edelleen tulistimiin tai kylläisenä lämmityskohteisiin. Jäljelle jäävä vesi lähtee uudelleen sisäiseen höyrystyskiertoon. Tästä johtuen vesi kiertää useita kertoja sisäisen kierron, ennen täydellistä höyrystymistä. Veden sisäisten kiertojen lukumäärää ennen täydellistä höyrystymistä kutsutaan kiertoluvuksi. Luonnonkiertokattilassa kiertoluku on pienimmillään viidestä kymmeneen määräytyen kuormituksen sekä lieriöpaineen mukaan. (1, s. 6.)

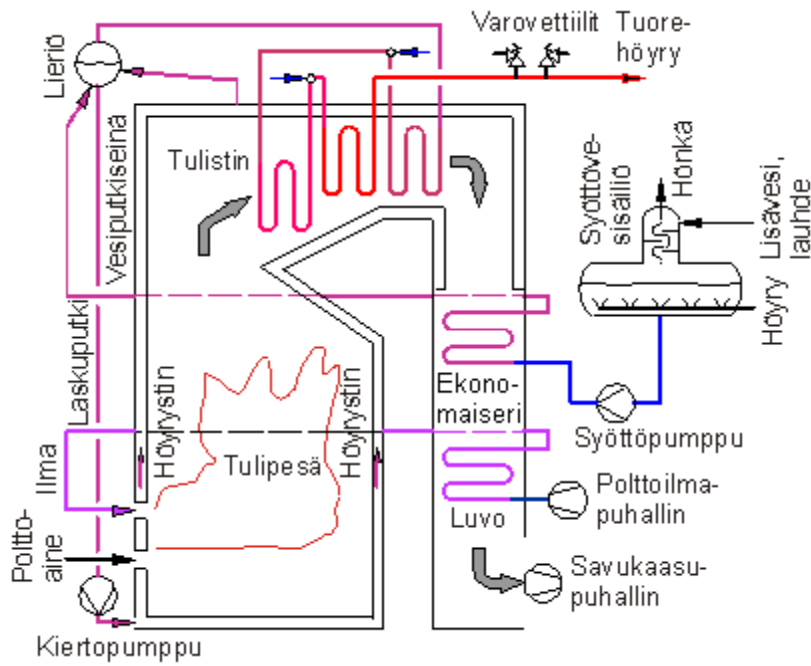
Pakkokiertokattila

Pakkokiertokattila kehitettiin lisäämällä luonnonkiertokattilaan kiertopumput laskuputkiin. Pumput toteuttivat sisäisestä kierrosta pakkokierron. Höyrystymispiste pakkokiertokattilassa on luonnonkiertokattilan tavoin kiinteänä lieriössä. (1, s. 7.)

Etuina luonnonkiertokattilaan nähden pakkokiertokattilassa on suurempi lieriön ja tuorehöyryn paine. Tämän mahdollistaa pumppujen aiheuttama kattilan sisäisen kierron pakkovoima, kun tiheyseron pieneminen lieriön paineen kasvaessa ei rajoita sisäistä kiertoa. Tästä johtuen pakkokiertokattilan lieriön ylärajaksi tuli noin 200 bar, joka perustuu lieriön erotuskykyyn. Tulistimissa tapahtuvan painehäviön ollessa noin 10...15 bar on tuorehöyryn suurin mahdollinen paine pakkokiertokattilassa noin 185...190 bar. (1, s. 7.)

Pumput aiheuttavat pakkokiertokattilaan myös toisen edun lopullisen tuorehöyryn paineen lisäksi. Pumput mahdollistavat huomattavasti pienemmän kiertoluvun luonnonkiertokattilaan nähden luvun ollessa pakkokiertokattilassa kolmesta kahdeksaan. Lisäksi kiertoa pystytään säätämään pumpuilla ja pitämään se vakiona. Suurempi paine-ero pakkokiertokattilassa mahdollistaa myös höyrystinputkien pienemmän halkaisijan. (1, s. 7.)

Pakkokiertokattilan höyrystinputket voivat olla myös vaakasuunnassa, kun on valittu tähän sopivat virtausnopeus sekä kiertoluku. Kiertopumput tulee asentaa alaosiin laskuputkia kuvan 4 mukaisesti kavitoinnin välttämiseksi. (1, s. 7.)



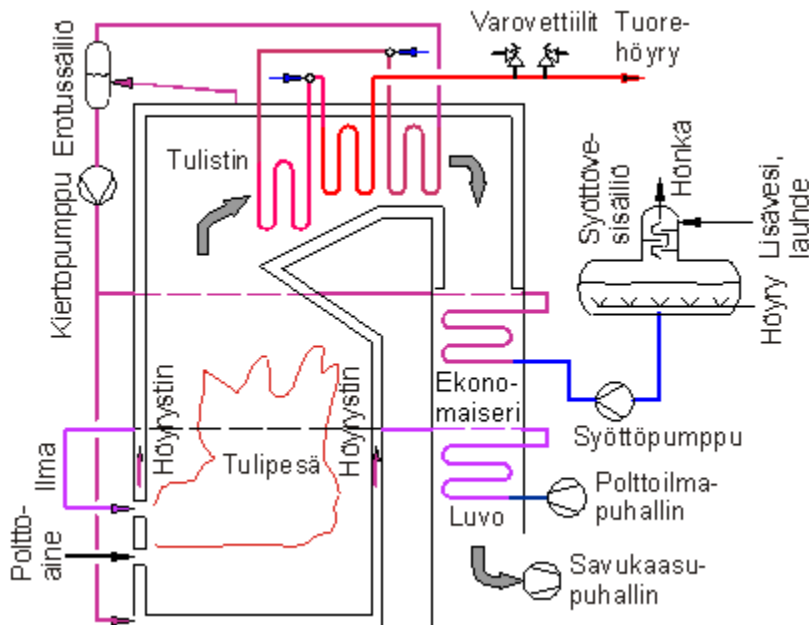
KUVA 4. Kaksivetoisen pakkokiertokattilan periaate (1, s. 7)

Läpivirtauskattila

Läpivirtauskattilassa vesi virtaa nimensä mukaisesti kattilan läpi. Tässä kattilatyypissä ei ole sisäistä kiertoa eikä näin ollen tarvita lieriötä, kun faasimuutos tapahtuu joko kiinteässä tai liikkuvassa höyrystymispisteessä. Kattilan tehoa pystytään säätämään täydestä tehosta alaspäin noin 50 %:iin saakka. Tätä pienemmällä osateholla höyrystinputkien massavuo on liian pieni putkien jäädytykseen ja virtaus epävakaa. (1, s. 8.)

Kattilassa höyrystymispisteen ollessa kiinteä, on höyrystymispiste toteutettu nesteenerotusastialla, josta nestemuodossa oleva vesi pumpataan höyrystimen tulopuolelle ja höyry edelleen tulistimiin. Tämän voi havaita kuvasta 5. Nesteenerotusastia luo prosessiin osakuormakierron, joka on periaatteessa samanlainen kuin pakkokiertokattilan sisäinen kierto. Nesteenerotinta käy-

tään ainoastaan hyvin pienillä kuormilla. Tämä mahdollistaa erottimen hyvin pienen tilavuustarpeen sekä tämän suhteellisen pienihalkaisijaisen lieriön sijoittamisen pystyyn. Tämä taas tuo lujusteknisiä etuja suurilla paineilla käytettäessä. (1, s. 8.)



KUVA 5. Kierrolla varustetun läpivirtauskattilan periaate (1, s. 8)

Lämpivirtauskattilassa ei tarvita tiheyseroa olomuotojen erotukseen eikä sisäiseen kiertoon. Tämä mahdollistaa ylikriittisen paineen käytön kattilassa, jolloin paine voi olla yli 221 bar abs. Kattilan painehäviö on kuitenkin täydellä kuormalla ajettaessa useita kymmeniä bareja. (1, s. 8.)

Kattilan ajotilanteiden muutokset voidaan läpivirtauskattilassa viedä läpi nopeammin kuin muissa tyypeissä, sillä vettä on tehoon nähden vähemmän ja näin ollen muutoksiin reagointi tapahtuu prosessissa nopeammin. Lisäksi kattilassa ei ole lieriön kaltaisia paksuseinäisiä rakenteita, joten myös rakenteiden lämpöjännitykset ovat pienemmät. Syöttöveden tulee olla erittäin puhdasta etenkin, mikäli kattilassa ei ole erillistä epäpuhtauksienkeräysastiaa, josta ne voitaisiin poistaa jatkuvalla ulospuhalluksella. (1, s. 9.)

2.1.3 Palaminen ja polttoaineet

Palaessa polttoaine reagoi hapen kanssa. Reagoinnin seurauksena vapautuu reaktion terminen energia (1, s. 28). Kattilalaitoksilla on mahdollista polttaa polttoaineina kaasuja, nesteitä sekä kiinteitä polttoaineita. Kaasujen palaminen tapahtuu koko tilavuudeltaan, eli se on homogeenista. Tämä on luonnollinen ilmiö kaasulle. (1, s. 33.)

Nesteissä ja kiinteissä polttoaineissa tulee ensin tapahtua höyrystymistä tai haihtumista, ennen kuin se on homogeenista. Höyrystymätöntä ainesta kutsutaan hiiltojäännökseksi, mikä palaa hitaasti heterogeenisesti. Tämä tarkoittaa, että jäännös palaa ainoastaan päältä, sillä happi ei voi tunkeutua hiilipartikkelin sisään. Tätä varten jäännöksellä tulee olla riittävän pitkä viipymäaika sen loppuun palamisen mahdollistamiseksi. (1, s. 33.)

Kiinteää polttoainetta poltettaessa on palamisessa kolme vaihetta. Nämä ovat polttoaineen lämpeneminen ja kuivaus, kaasuuntuminen ja kaasujen palaminen sekä kolmannessa vaiheessa tapahtuva jäännöshiilen eli koksen palaminen. Poltettaessa puuta on haihtuvien aineiden osuus noin 80 % kuivamassasta. Tämä pätee koko puuhun. Esimerkiksi selluteollisuuden haketuksesta jäljelle jäävän kuoren ominaisuudet ovat täysin toiset. Kuori sisältää esimerkiksi huomattavasti enemmän tuhkaa, kuin puun muut osat. (1, s. 34.)

Polttolaitteistoon kuuluu polttolaitteen lisäksi polttoaineen vastaanotto- ja kuljetuslaitteistosta. Polttotekniikka valintaan olomuodon, kappalekoon ja kosteuden perusteella. Helpointa on polttaa pelkkiä palavia kaasuja, jotka ovat jo valmiiksi palavassa olomuodossa. Kuitenkaan kaikki kaasut eivät täytä tätä vaatimusta, sillä esimerkiksi jätekaasuissa palavaa osuutta voi olla alle puolet. Epäorgaaninen aines haittaa palavien ainesosien ja hapen kohtaamista ja haittaavat näin ollen palamisprosessia. (1, s. 38.)

Nesteitä poltettaessa polttoaineen tulee ensin höyrystyä. Tämän vuoksi neste tulee hajottaa pieniksi pisaroiksi, jotta haihtuvien komponenttien on helppompaa höyrystyä. Ongelmana voi silti olla palamaton kiinteä hiiltojäännös. Li-

säksi raskaiden polttoöljyjen viskositeetti normaalilämpötiloissa on liian suuri pumppaamiseen ja sumuttamiseen. Tämän vuoksi sitä pitää esilämmittää ennen näiden suorittamista. Jätenesteitä poltettaessa tulee pitää huoli, ettei palamattoman aineksen ja veden osuus ole liian suuri. (1, s. 38.)

Kiinteitä aineita poltettaessa kolme keskeistä piirrettä vaikuttaa käytettävään tekniikkaan. Näitä ovat kosteus, haihtuvien aineiden osuus sekä kappalekoko. Haihtuvien aineiden osuuden ollessa suuri on poltto helpompaa. Kiinteät polttoaineet voidaan jakaa kappalekoon perusteella. (1, s. 38.)

2.1.4 Polttotekniikat

Kaasujen ja nesteiden poltto

Kaasut ja nesteet poltetaan polttimilla, jotka voivat sijaita etuseinässä, takaseinässä, etu- ja takaseinissä, nurkissa tai joissakin tapauksissa myös pohjassa tai katossa. Tulitorvi-tuliputkikattiloissa poltin on putken päässä (1, s. 39). Liekki ei kuitenkaan minkään tapauksen ollessa kyseessä saa koskettaa tulipesän seinämiä, jotteivät nämä pääse nokeentumaan (1, s. 39).

Liekin sammussa ja syttyessä tämän jälkeen uudelleen on kyseessä aina tulipesäräjähdysvaara. Tämän vuoksi liekinvalvonta varusteena on polttoturvallisuuden kannalta erittäin tärkeää. Liekinvalvojan havaitessa liekin loppumisen, ohjautuvat polttoaineventtiilit välittömästi kiinni. Polttimissa on lisäksi nestekaasulla toimiva sytytyspoltin, joka syttyy sytytyskipinällä, joka tuotetaan kilovoltitasoisella jännitteellä. Sytytyspolttimessa on myös oma liekinvalvojansa. Liekinvalvojan liekin havainnon loppuessa poltinturva-automaatiikka tuulettaa tulipesän automaattisesti, jolloin sytytys ei ole edes manuaalisesti mahdollista. (1, s. 40.)

Kaasuja ja öljyä voidaan polttaa suihkupolttimella, pyörrepolttimella sekä voimakattilalla yleisimmin kaasujen ja öljyn polttoon tarkoitetulla yhdistelmäpolttimella. Yhteistä kaikissa on, että poltossa tarvittava primääri-ilma syötetään polttimista. Yhdistelmäpolttimessa kannessa ovat kiinni rinnakkain öljy-

ja kaasupolttimet. Näin ollen kaasun toimitushäiriöiden yhteydessä on mahdollista aloittaa öljynpoltto rakenteessa kiinteästi kiinni olevalla öljypolttimella (1, s. 42). Kuitenkin täytyy ottaa huomioon tulipesän tuuletus sekä kuuma lämpötila tulipesässä. Tämän vuoksi polttimia ei ole syytä pitää valmiiksi pesässä, vaan nämä tulee asettaa pesään vasta tarpeen vaatiessa.

Poltinta varten vesiputkikattilan sisäpuolisessa seinässä olevat seinäputket ovat taivutettu poltinten kohdalta. Vesiputkiseinät muodostavat pyöreät aukot, joissa polttimet sijaitsevat. Seinän sisällä on rakenteeltaan avautuvan kartion mallinen poltinkivi, joka on valmistettu tulenkestävästä massasta (1, s. 43).

Polttoöljyjärjestelmä on kaasujärjestelmää kalliimpi, sillä yleensä öljy joudutaan varastoimaan voimalaitosalueella (1, s. 50). Kuitenkin polttoöljyn ollessa varapolttoaineena ei varaston tarvitse olla kovinkaan suuri. Raskas polttoöljy tulee lämmittää ensin pumppaus- ja sitten sumutuslämpötilaan, jottei sen viskoosi estä tätä.

Kiinteiden polttoaineiden poltto

Kiinteitä polttoaineita poltetaan pesäpolttolaitteilla, joita ovat arinat sekä leijuja ja kiertopetit. Arinat ovat vanhimpia ja näitä alettiin yleisesti Suomessa muuttaa leijupetityyppisiksi 1980-luvulla (1, s. 44). Polttoaineen ollessa esimerkiksi jyrshinturvetta tai kuorta ovat nämä jo valmiiksi polttokelpoista lukuun ottamatta mahdollisia turpeen mukana tulevia kantoja ja kiviä (1, s. 51).

Arina

Polttoaineen muodostaessa petimateriaalin on polttotekniikkana kiinteäpetinen arinatekniikka. Tällaista tekniikkaa käytetään eteenkin, kun polttoaineen palakoko on suuri, sillä silloin ei leiju- tai kiertopetitekniikka tule kysymykseen. Polttoaineen on lisäksi oltava niin karkeaa, ettei arinan alta tuleva primääri-ilma ala leijuta petiä (1, s. 38). Kuitenkin tulipesästä poistuu savukaa-

sun mukana jonkin verran hienoa ainesta, vaikka polttoaineena olisikin hake, kuori tai palaturve (1, s. 38). Tämä puhdistetaan savukaasuista (1, s. 38).

Jyrsinturvetta ja purua arinakattilalla tulee polttaa ainoastaan pieniä määriä karkeampien polttoaineiden joukossa näiden verraten hienon rakenteen vuoksi (1, s. 44). Lämmitysteho arinakattilalla on melko alhainen tämän noin 100 m² pinta-alamaksimin sekä kuoren alhaisen pintarasituksen vuoksi (1, s. 44). Tämän vuoksi arinakattiloissa poltetaan yleisesti tukipolttoaineena polttoöljyä tai kivihiiltä (1, s. 44), joiden lämpöarvosta saadaan lisätehoa kattilalle.

Jätteenpolttoon sekä useiden biopolttoaineen polttoon, arinatyyppinen rakenne on soveliaain näiden karkean rakenteen vuoksi. Arinaratkaisuja on useita. Näitä ovat vapaasti viettävä sekä mekaaninen viistoarina, valssiarina sekä ketjuarina (1, s. 44).

Biomassalle Suomessa yleisimmin käytetään mekaanista viistoarinaa (1, s. 44). Tämä antaa tiettyjä helpotuksia arinakattilan suunnitteluun, sillä arinan ei tarvitse olla yhtä jyrkässä kulmassa, kuin vapaasti viettävä ja näin ollen kattilan korkeus laskee. Lisäksi mekaanisessa viistoarinassa polttoainemattoon ei synny epätasaisesta valumisesta johtuvia aukkoja, eikä arinaraudat näin ollen pala niin helposti puhki (1, s. 44). Arinaraudat sijaitsevat peräkkäin limitetyissä riveissä (1, s. 44). Mekaaninen viistoarina on yleensä toteutettu edestakaisin liikkuvien hydraulisylintereiden, jolloin arinaraudat liikkuvat kuljetimen tavoin (1, s. 44).

Polttoaine arinakattilassa syötetään syöttötorvien kautta arinalle. Näissä tulee olla kaksi automaatiokäyttöistä sulkua, joista vain toinen saa olla kerrallaan auki. Nämä muodostavat takatulisuojan, joilla estetään palamisen eteneminen polttoaineen tulosuuntaan. (1, s. 45.)

Polttoainepetin ja arinan alle tuodaan primääri-ilma, joka lävistää arinan arinaraudoissa olevista aukoista tai rautojen väleistä. Lämpötila primääri-ilmalla saa olla enintään 200 °C, mikäli arina ei ole vesijäähdytetty ja nopeut-

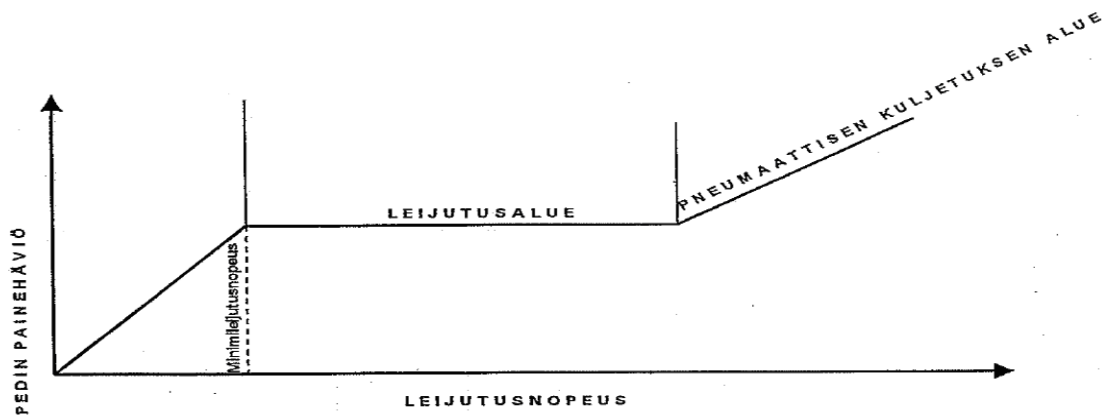
ta saa olla maksimissaan 1,5 m/s, ettei petimateriaalia lähde savukaasujen mukaan. (1, s. 45.)

Polttoaineesta lähtevät kaasut, poltetaan sekundääri tai sekundääri- ja tertiääri-ilmoilla arinan yläpuolisessa tilassa. Tuhka poistetaan kattilasta suppiloiden ja arinan lopussa olevan poikittaisen tuhkakuljettimen avulla. Poikittaiselle tuhkakuljettimelle putoavat myös suppiloiden alla olevan pitkittäisen tuhkakuljettimen tuhkat. (1, s. 45.)

Polttoaineen sisältäessä runsaasti haihtuvia ainesosia, kuten biomassassa, on primääri-ilma selvästi alistokiömetrinen. Näin ollen polttoa siirretään selvästi arinan yläpuoliseen tilaan. Tulipesän seinät ja katto verhotaan tulenkestävällä massalla, joka lämmön säteilyllään auttaa palamisen jatkuvuutta. (1, s. 46.)

Leijupeti

Leiju- ja kiertopetitekniikassa petimateriaalina on yleensä hiekka. Petimateriaalia pienennettäessä ja ilmavirtausta lisättäessä minimileijutusnopeudesta kuvan 6 mukaisesti, läpäisee ilmavirta petin ja peti alkaa kuplia (1, s. 39). Tästä tulee nimitys leijupeti. Kattiloiden polttotekniikkana leijupeti on verraten uusi, sillä tämä alkoi yleistyä Suomessa 1980-luvulla. Muutos vanhoista kattilatyypeistä oli kohtalaisen helppoa ja taloudellisesti kannattavaa tämän laajemman polttoainesoveltuvuuden ansiosta (1, s. 46). Lisäksi käyttövarmuus ja kunnossapitokustannukset (1, s. 46) olivat tiettyjä kattilatyyppejä huomattavasti alhaisemmat.



KUVA 6. Leijutusnopeus ja -tyypit (3, s. 49)

Leijupetin kyky polttaa laajempaa polttoainevalikoimaa sekä kosteitakin polttoaineita perustuu pitkälti petin kuumaan noin 800...900 °C lämpövarantoon. Onkin tärkeää, että petin lämpötila pysyy alarajan yläpuolella, jottei palaminen ole sen seurauksena puutteellista (1, s. 46).

Hiekan sulamispiste on verraten korkea, noin 1 500 °C (4). Kuitenkin tulee seurata, ettei petilämpötila ylitä tuhkan pehmenemislämpötilaa (1, s. 46). Tuhkan pehmeneminen liimaa partikkeleita yhteen ja hiekan sulaminen aiheuttaisi petin toimimattomuuden (1, s. 46). Lämpötilan nousun voi aiheuttaa myös puutteet polttoaineen laadussa, esimerkiksi kuoren mukana tulevat kivetyt sekä tuhkan osuus. Osittain tuhkan pelkistävään vaikutukseen voidaan vaikuttaa nostamalla polton osuutta petissä suuremman primääri-ilman avulla. Normaalisti petiin tuotava primääri-ilman määrä on selvästi stökiometristä pienempi (1, s. 46).

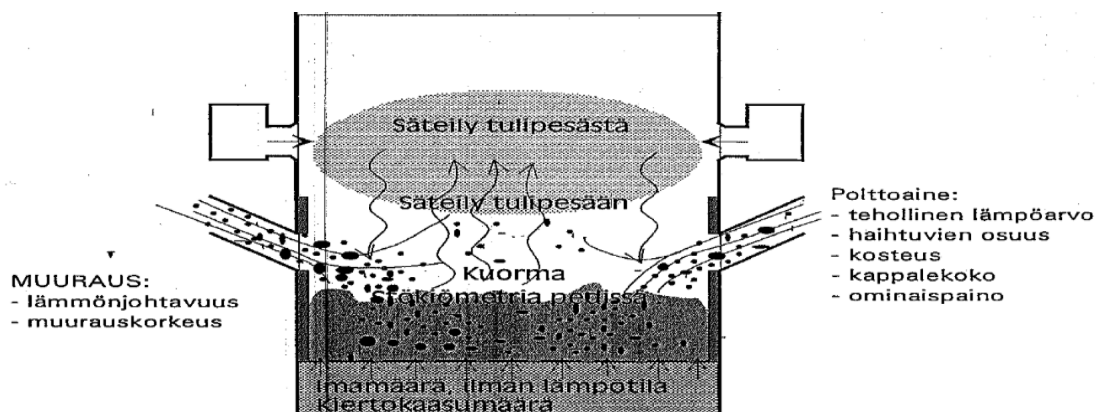
Petihiekka täytyy vaihtaa tietyin määräajoin, jotta vältetään petin sintraantumisen aiheuttamilta riskeiltä. Etenkin hiiltä poltettaessa on vaarana lämpötilan nousu (1, s. 46). Tämän vuoksi leijupeti ei ole kannattava vaihtoehto hiilen polttoon suuressa määrin, huolimatta mahdollisuudesta kierrättää savukaa-sua takaisin tulipesään (1, s. 47).

Tulipesässä kiinteä polttoaine kuumenee, kuivuu ja siitä poistuu haihtuvat ainesosat, joiden palaminen alkaa tapahtua petin yläpuolella. Jäännöshiilen

palaminen alkaa tapahtua myös hyvin nopeasti. Polttotekniikkana leijupeti on parhaita tekniikoita kiinteille polttoaineille. Tämä on seurausta vähäisistä termisistä typen oksidien päästöistä sekä rikkipäästöjen vähentämisestä. Nämä ovat mahdollista vaiheistuksen sekä alhaisen lämpötilan ansiosta sekä mahdollisuudesta syöttää kalkkia suoraan petille rikin sitomiseksi. (1, s. 47.)

Rakenteeltaan leijupetikattilan pohja on suutin- tai avopohja, joka muodostuu ilmapalkeista. Näiden yläpinnalla ovat ilmasuuttimet, joiden välistä palamaton materiaali pääsee valumaan kattilan alla oleviin tuhkasuppiloihin. Tulipesän seinissä on tulenkestävää massausta jonkin verran petin pintaa korkeammalle. (1, s. 47.)

Polttoaineen syöttö tapahtuu seinissä olevista aukoista sulkusyöttimin torvissa tai ruuveilla kuvan 7 mukaisesti. Ruuveilla syötettäessä polttoaine on mahdollista syöttää patjaan vähentäen polttoaineesta peräisin olevan typen oksidin muodostumista. Tuhkan kanssa poistuva hiekka voidaan seuloa ja palauttaa takaisin kiertoon, mutta tästä huolimatta hiekkahäviöitä joudutaan korvaamaan ylimääräisellä petihiekalla. Käynnistyksessä leijupetikattilalla käytetään tukena seinillä olevia alaspäin suunnattuja öljypolttimia. (1, s. 47.)



KUVA 7. Leijupetikattilan toimintakuvaus (3, s. 59)

Kiertopeti

Petimateriaalia lähtee ilmavirtauksen mukaan, kun petimateriaalia pienennetään tai ilmavirtausta suurennetaan edelleen leijupetitekniikan verrattuna. Tällöin se pitää palauttaa kiertoon, ja kyseessä on näin ollen kiertopetitekniikka. Kiertopetissä petillä ei ole leijupetin kaltaista selvää ylärajaa, koska koko tulipesän täyttää petimateriaali, tuhka ja polttoainepartikkelit (1, s. 48).

Partikkelit tulee erottaa savukaasuista ja tämä tapahtuu yleisimmin kuumasykloneilla. Polttoainepartikkelien palauttaminen kiertoon helpottaa suuremman polttoaineen palakoon polttamisessa ja etenkin hiilen ollessa kyseessä tämä saa aikaan säästöjä. Pystysuoran syklonin yläpäähän johdetaan savukaasun ja kiintoaineen seos. Tällöin savukaasu lähtee syklonin yläpäästä ja kiintoaine tippuu seiniä myöten pohjalle, josta se palautetaan kiertoon. (1, s. 48.)

Tulipesässä partikkeleita kiertää sisäisesti pesän keskellä pienemmällä virtauksella ylöspäin ja isommalla pesän reunoilla alaspäin. Virtausten sekoittumisen ansiosta kattilan tulipesän lämpötila on käytännössä vakio. Kiertopetissä ei tämän ansiosta tule suurempia lämpövuon muutoksia korkeussuunnassa, eli lämpövirta pinta-alaa kohden pysyy vakiona. Tästä johtuen kuiviinkiehumisen vaara on muita tyyppisiä pienempi. (1, s. 48–49.)

Petimateriaalin ollessa pölykokoa ja sen lentäessä ilmavirran mukana, kyseessä on pölypoltto. Tässä petimateriaalina on pölypolttoaine. Polttoaineen on näin ollen oltava pölymuodossa. (1, s. 49.)

2.2 Stora Enso Oulun tehtaat

Oulun tehdas on yksi maailman suurimmista ja nykyaikaisimmista puuvapaiden taidepainopapereiden valmistajista. Oulun tehdasalueen suunnittelu, integraatio ja sijainti ovat ainutlaatuisia. Päämääränä on valmistaa huippulaatuinen tuote asiakkaalle: lähes kaikki raaka-aineet, energia mukaan lukien, kulkevat putkia pitkin laitoksesta toiseen. (5.)

Paperin valmistus alkoi Oulussa vuonna 1991 paperin valmistuslinjan (PK6) ja arkittamon valmistumisen myötä. Toinen paperinvalmistuslinja päätettiin rakentaa Veitsiluoto Oy:n ja Enso Gutzeit Oy:n yhdistyttyä. Tuotantolinja (PK7) käynnistyi vuonna 1997. Sen hetkinen vuosittainen tuotantokapasiteetti lähes kolminkertaistui investoinnilla 270 000 tonnista 800 000 tonniin. Tämän lisäksi vuonna 1997 aloitti uusi leijupetityyppinen voimalaitos (K3) ja arkittamon tuotantokapasiteettia nostettiin kahdella uudella arkkileikkurilinjal- la. (6.)

Suomalainen Enso Oyj ja ruotsalainen Stora Kopparbergs Bergslags Ab yhdistyivät vuoden 1998 lopussa Stora Enso Oyj:ksi. Vuonna 2001 paperitehtaan vuosituotantoa nostettiin investoinneilla 800 000 tonnista 915 000 tonniin. Tämän lisäksi vuosina 2001–2006 toteutetuilla tuotannontehostamisprojekteilla saatiin tuotantokapasiteetti nostetuksi yli miljoonaan tonniin vuodessa. Nykyisellään vuosituotantokapasiteetti on 1 085 000 tonnia. Tätä on edelleen tavoitteena nostaa 1 100 000 tonniin.

Oulun tehtaiden osuus Stora Enson graafisten papereiden tuotantokapasiteetista on noin 70 prosenttia nykyisellä 1 085 000 tonnien vuosituotannolla. Päämarkkina-alueet Oulun tehtaille ovat Euroopassa, jonne suuntautuu noin kolme neljänestä kaikista toimituksista. (6.)

Paperitehtaan pääraaka-aine eli happivalkaistu sellu pumpataan putkissa omalta sellutehtaalta paperikoneille. Paperin valmistuksessa tarvittavat pigmentit tuodaan säännöllisin väliajoin tehdasalueen satamaan. Höyry ja sähkö saadaan sellutehtaan alueella sijaitsevasta voimalaitoksesta ja sellutehtaaseen kuuluvasta soodakattilasta sekä yhtiön muista sähkönhankintalähteistä. Tehdasalueeseen kiinteästi liitetty satama tekee tuotteiden loppukäsittelyn tehokkaaksi ja tuo tuotantoa lähemmäksi asiakasta. (5.)

Oulun sellutehdas tuottaa täysvalkaistua havusellua. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 370 000 tonnia vuodessa, josta noin puolet käytetään omassa paperitehtaassa. Oulun sellutehtaan pitkäkuituisen havusellun lisäksi paperi-

tehdas käyttää muilla Stora Enson tehtailta valmistettua lyhytkuituista sellua paperinvalmistuksessa.

Oulun tehtaan tuotteet on tarkoitettu korkealaatuisiin, vaativiin painotöihin, kuten vuosikertomuksiin, esitteisiin ja muuhun markkinointimateriaaliin sekä taide- ja kuvakirjoihin. Tehtaan tuotemerkit ovat LumiArt ja LumiSilk. Avainasiakkaiksi määritellyt paperitukkuliikkeet myyvät niitä myös omilla tuotemerkeillään. Oulun tehtaan tuotteet muodostavat maailman laajimman yhtenäisen taidepainopapereiden tuoteperheen. (5.)

Nuottasaaren tehdasalue sijaitsee aivan Oulun keskustan tuntumassa lähellä Oritkarin satamaa. Alueen pinta-ala on noin 160 hehtaaria. Tehdasalueella toimivat Stora Ensoon kuuluvat yhtiöt ovat Stora Enso Oyj, Fine Paper, Oulun tehdas sekä Efora Oy. Stora Ensoon kuulumattomat yhtiöt ovat yhdysvaltalaisen sijoitusyhtiö Rhône Capitalin omistama Arizona Chemical Oy sekä hollantilaisen Akzo Nobelin Eka Chemicals Oy ja Eka Polymer Latex Oy, jossa on mukana myös saksalainen Polymer Latex. Lisäksi tehdasalueella toimii Oplax Oy, joka valmistaa pakkauslavoja lähinnä Oulun arkittamon tarpeisiin. (5.)

2.3 Sellutehdas

Stora Enson Oulun tehtaat sijaitsee Nuottasaaren tehdasalueella, hyvin lähellä Oulun keskustaa. Tehdas on ollut osana ympäröivää yhteiskuntaa jo 70 vuoden ajan. Valkaisemattoman sulfaattisellun tuotanto Oulun Nuottasaassa alkoi vuonna 1937 kaksi vuotta Oulu Osakeyhtiön perustamisen jälkeen. Yhtiön perusti yhteistyössä Veitsiluoto Oy sekä Kajaani Oy (7). Tuotanto perustamisen jälkeisinä vuosina oli 100 000 tonnia valkaisematonta sulfaattisellua.

Nykyisellään Stora Enso Oyj:n omistuksessa olevan sellutehtaan tuotantokapasiteetti on 370 000 tonnia valkaistua sulfaattisellua. Kemiantehtailta saadaan voimalaitoksella sekä meesauunilla tarvittava puuperäinen piki se-

kä vety, joita poltetaan raskaan polttoöljyn sijasta. Näin ollen polttoöljyn tuottamia päästöjä pystytään vähentämään käyttämällä uusiutuvaa energiaa.

Nykyisellään Nuottasaassa sulfaattisellunkeiton raaka-aineena käytetään ainoastaan pitkäkuituista havupuuta, joista männyn lisäksi kuusta tulee pieniä määriä puukuljetusten joukossa. Puuraaka-aine kuljetetaan tehtaalte pääosin auto- ja rautatiekuljetuksina. Pääosa raaka-aineesta tulee kotimaasta, mutta osittain myös Baltiasta ja Venäjältä.

Puu kuoritaan ja haketetaan puunkäsittelyssä. Tämän jälkeen hake siirretään hakekasoille, joista se puretaan ruuvipurkaimilla kuitulinjan käyttöön. Kuitulinja käsittää sellun keiton, pesun, lajittelun, happivaiheen, valkaisuun sekä kuivatuksen ja pulperoinnin. Kuitulinjan tarvitsema keittokemikaali, valkolipeä saadaan lipeälinjan kaustisoinnista.

2.4 Voimalaitos ja lipeälinja

Nykyään kaikki Nuottasaassa tarvittava prosessihöyry tuotetaan lipeälinjan osana toimivassa soodakattilassa (SK7), leijupetikattilassa (K3), hajukaasukattilassa sekä varakattiloina toimivissa puujätekattilassa (PJK2) ja öljykattilassa (ÖK). Lisäksi kaikki sellutehtaan tarvitsema sähköenergia syntyy myös välillisesti kattiloissa tuotetusta korkeapainehöyrystä ja ylijäävä sähköenergia käytetään paperitehtaalla.

Oulun Energialla on kaukolämpöasema Nuottasaaren tehdasalueella, jonka kautta Stora Enson voimalaitoksella syntyvää ylimääräistä lämpöä on mahdollista myydä myös Oulun Energian kaukolämpöverkkoon. Luovutettavan kaukolämmön tehon maksimi on lämmönsiirtimestä johtuen 35 MW.

2.4.1 Haihdutus

Sellun keiton jälkeinen kemikaaliliuos mustalipeä pumpataan haihuttamolle. Haihuttamon tehtävänä on haihuttaa mustalipeän ja muiden lisäainevirtojen sisältämää vettä. Keiton jälkeisen pesulipeän kuiva-aine on noin 18 %,

jonka vahvuusena se tulee haihduttamolle. Haihduttamalla mustalipeän kuiva-ainepitoisuus nostetaan nykyään noin 70–85 %:iin, jotta tämä voidaan polttaa soodakattilassa. Soodakattilan tarvitseman korkean kuiva-ainepitoisuuden lisäksi haihduttamon sekundäärilauhteet tulee saada mahdollisimman puhtaina talteen (8). Muita sellunkeiton sivutuotteita mustalipeän lisäksi ovat suopa, tärpähti ja metanoli, jotka haihduttamalla tulee myös ottaa talteen.

Kuiva-ainepitoisuus

Soodakattilalle pumpattavan kuiva-ainepitoisuus on vuosien aikana noussut. Kuitenkin tämän tulee minimissään olla noin 55 %, jotta vältetään soodakattilassa vaarana oleva sularäjähdyks. Aikaisemmin on pidetty yli 65 % kuiva-aineisen lipeän tuottamista mahdottomana (8). Kuitenkin nykytekniikalla on mahdollista päästä jo yli 85 % kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-aineiden nousun on mahdollistanut pumppaustekniikan parantuminen, haihduttimien kehittyminen sekä käytössä oleva muu tekniikka, kuten konsentraattoriratkaisut (8). Nämä ovat mahdollistaneet kuiva-aineiden noston yli 80 %:iin ja tarvittavan viskositeetin laskun.

Korkeat kuiva-ainepitoisuudet tarvitsevat kuitenkin haihdutukseen väli-painehöyryn ja säilytykseen paineelliset säiliöt. Paineelliset säiliöt tarvitaan, koska ilmakehän paineisena näin vahvan mustalipeän pumppaus olisi hyvin vaikeaa. Toinen huomattavasti harvinaisempi ratkaisu olisi mustalipeän lämpökäsittely, jossa tämä pidetään noin 190 °C lämpötilassa noin 20 minuuttia (8). Tässä viskositeetti laskee pilkkoutuvien molekyylien vaikutuksesta ja näin ollen kuiva-aineen on mahdollista nousta yli 80 % (8).

Sivutuotteiden talteenotto

Suopa erotetaan lipeästä järjestämällä välilipeäsäiliöihin tarvittavat viiveajat. Tämän avulla suopa ehtii erkaantua lipeästä ja pienemmän tiheydensä ansiosta nousee lipeän pinnalle. Lipeän pinnalta tämä voidaan kuoria mekaanisin kaavarein, joiden avulla se siirretään suovan vastaanottosäiliöön. Lipe-

ään jäävä suopa on suurin yksittäinen syy haihduttamon likaantumiselle ja tukkeutumiselle. Suovan poisto on tehtävä sopivassa vaiheessa ja näin ollen sopivan vahvuisesta lipeästä, joista välilipeä on osoittautunut kuiva-ainepitoisuudeltaan soveliaimmaksi.

Lipeästä vapautuu haihdutuksessa metanolia, joka otetaan talteen likais-lauhteina. Tämä puhdistetaan stripperissä, josta ne johdetaan polttoon tai nesteytetään metanolilaitoksessa. Nesteytettynä metanolia voidaan varastoida säiliöissä ennen polttoa. Tällä tavoin saadaan kemikaaleja talteen ja nämä voidaan poltossa siirtää lämpönä höyryyn. Poltto voi tapahtua erillisellä soihdulla, tulitorvi-tuliputkirakenteisella kattilalla tai soodakattilassa.

Sellutehtaalla erotettu tärpähti tislataan tehtaan sisällä tai kuljetetaan säiliö-autoilla erillisiin tislamoihin. Erotus tapahtuu tärpähtidekanterin avulla. Dekanterissa tärpähti vettä kevyempänä ja heikosti liukenevana nousee veden pinnalle. Veden pinnalta se on mahdollista erottaa ylikaatona. Tärpähti on palava neste, joten se kuuluu palavista nesteistä säädetyn asetuksen alaisuuteen (9).

2.4.2 Mäntyöljyn tuotanto

Suovan erotus ja tästä tapahtuva mäntyöljyn tuotanto tuo lisätuottoa sellutehtaalle, kun sellutehtaat myyvät tuottamansa raakamäntyöljyn. Tämän avulla haihduttamo ja soodakattila toimivat paremmin, suuremmalla kapasiteetilla ja lisäksi tämä auttaa kyseisten prosessien hallittavuutta. Tässä tarkoitettu mäntysuopa ja suopa puulajista riippumatta ovat peräisin puun pihkasta. Sulfaattikeitossa suopa liukenee saippuoitumisen vaikutuksesta lipeään. (9.)

Suopaa erotetaan lipeästä usealla eri tavalla. Useimmiten tämä tapahtuu kuorimalla lipeäsäiliöissä pintaannoussut suopa laahaimilla. Kuitenkin on mahdollista, että erotus tapahtuu pelkällä ylikaadolla putkien ja kourujen avulla ilman laahaimia (9). Tämä voi tapahtua jaksoittain tai jatkuvana prosessina (9).

Suovan sisältämä lipeän alkali, suolat ja ligniini kuluttavat rikkihappoa. Rikkihappoa käytetään jo pelkästään suojaamaan mäntyöljyntuotantolaitteiston likaantumista. Erotusta voidaan kuitenkin tehostaa injektoimalla ilmaa mustalipeään, jolloin suopa irtoaa paremmin. Mäntyöljynkeitto voi olla jatkuva- toimista tai jaksottaista. Suomessa käytössä on yleisesti jatkuvatoiminen mäntyöljynkeitto. Tällaisia keittomenetelmiä ovat separaattorikeitto, säiliödekanterikeitto ja HDS-keitto. (9.)

Separattorikeitossa suopa, vesi ja rikkihappo sekoitetaan erillisessä sekoituskappaleessa. Tämän jälkeen mäntyöljy erkanee jatkuvatoimisesti separoinnissa. Erkaantunut emävesi ja ligniini poistetaan emävesisäiliöön. Kuitujen poisto tapahtuu ”poksauttamalla”, jolloin reaktioseos pääsee poistoventtiin kautta huuhtoutumaan ulos separaattorista. Suovan nykyisen kuitu- ja kalsiumpitoisuuden vuoksi monet tehtaat ovat alkaneet luopua separaattorimenetelmästä mäntyöljynkeittomenetelmänä (9).

Säiliödekanterikeitossa hapotus tapahtuu reaktorissa, jonka jälkeen reaktioliuos ohjataan dekanterisäiliöön. Dekanterissa selkeytynyt mäntyöljy virtaa ylikaatona erillisiin säiliöihin. Tiheydeltään suurempi emävesi, kipsi ja ligniini erotetaan dekanterin pohjalta. HDS-menetelmässä hapotus tapahtuu reaktiolinjassa, josta se jatkuu loppuun reaktorissa. Mäntyöljyn erotus tapahtuu dekanterissa jatkuvatoimisesti. Dekanteri on jaettu lamellein, jolloin on mahdollistettu noin kolminkertainen erotus perinteiseen dekanteriin verrattuna. (9.)

2.4.3 Soodakattila

Soodakattilat ovat yleensä rakenteeltaan kaksivetoisia ja toimintaperiaatteeltaan luonnonkiertokattila. Soodakattiloiden tuorehöyryn paine pyritään rajoittamaan 85 baariin ja lämpötila noin 480 °C:seen. Rajoitus tulee tehdä, sillä korkeammat arvot lisäävät korroosiovaaraa kattilan putkistoissa. Nykytekniikka on kuitenkin mahdollistanut myös soodakattiloiden paineiden ja lämpötilojen nostamisen. Ekonomaiserien puhtaana pysymisen edistämiseksi putkistot ovat rakenteeltaan pystyputkisia (10).

Syöttövesi virtaa luonnonkiertoisesti ekonomaiserin kylmimmästä alaosaan yläosaan, josta se menee seuraavan ekonomaiserin alaosaan, josta se virtaa edelleen lieriöön. Soodakattiloissa on muihin kattilatyyppeihin nähden erityinen vaaratilanteiden riski, mikäli kattilan pohjalla olevaan kemikaalisulaan pääsee virtaamaan vettä. Veden kohdatessa sulan on vaarana tapahtua ns. sulavesiräjähdykset.

Pienen vesimäärän joutuessa sulaan tapahtuu tulipesän pohjalla räjähdystä (11). Suuremman putkivaurion sattuessa on vaarana, että sulavesiräjähdykset synnyttävät paineaallon, joka rikkoo tulipesän rakenteet sekä vaarantaa ihmishenkiä (11). Tätä varten soodakattilassa on oltava pikatyhjennys (12). Höyrystinputket ovat yleensä komppound-putkia, jotka koostuvat sisä- ja ulkopuolen kerroksista. Sisäpuoli on yleensä normaalia höyrykattiloissa käytettyä seostamatonta terästä, kun taas ulkopuolen materiaali on yleensä korkealle jalostettua ruostumatonta austeniittistä terästä (13). Kerrokset ovat kiinnitetyissä metallurgisella sidoksella. Komppound-putkia käytetään yleensä tulipesässä sekundääri-ilmatasolle saakka (14, s. 24).

Soodakattilan päätehtävänä on valmistaa viherlipeä kaustisoinnin tarpeisiin sekä lämpöenergia ja välillisesti sähköenergian tuotanto. Mustalipeä on sellun keitossa syntyvä sivutuote, joka sisältää lähes kaikki epäorgaaniset keitokemikaalit, puusta irronneen ligniinin ja muut orgaaniset yhdisteet. Haihduttamolta tuleva mustalipeä pumpataan soodakattilan sekoitussäiliöön, jossa lipeään sekoitetaan sähkösuodattimista sekä ekonomaisereista kerättyä lentotuhkaa. Mustalipeä ruiskutetaan esilämmityksen jälkeen lipeäruiskuilla soodakattilaan, jossa pisarat paisuvat, vesi haihtuu ja orgaaninen aine palaa. Kuiva-aineen epäorgaaninen aine sulaa korkeassa lämpötilassa ja virtaa sulan muodossa tulipesän pohjalta liuottajaan.

Liuottajassa syntyy viherlipeää, kun soodakattilan epäorgaaninen kemikaalisula sekä kaustistamon meesapesuprosessista saatava laimennusneste, heikko valkolipeä sekoitetaan. Tämä seos sisältää pääasiassa natriumsulfidia (Na_2S), natriumsulfiittia (Na_2SO_3) sekä jonkin verran natriumsulfaattia (Na_2SO_4) (10). Soodakattilassa pyritään pelkistämään natriumsulfaatti natri-

umsulfidiksi (10). Pelkistymistä kuvaa reduktio- eli pelkistymisaste. Reduktioaste saadaan yleensä viherlipeästä, mutta myös suoraan sulasta se on mahdollista määrittää. Soodakattilan reduktioaste on hyvin toimiessaan noin 96–97 % (15, s. 5). Tähän pyritään vaikuttamaan primääri-ilman määrällä sekä keon lämpötilalla, jonka tulisi olla noin 1 000–1 100 °C (10).

Polton aikana syntyneet savukaasut johdetaan kattilan sisällä verhoputkilla suojattuun tulistinosaan. Verhoputkien tehtävänä on suojata tulistimia säteilyn aiheuttamalta liian suurelta lämpötilalta. Tulistimissa kylläinen vesihöyry tulistetaan eli vesihöyryä lämmitetään yli höyrystymislämpötilan. Savukaasut pestään ekonomaiserien ja sähkösuodattimien jälkeen savukaasupesurissa vesi- ja natriumhydroksidi (NaOH)-pesulla. Näiden avulla piipusta lähtevien savukaasujen lämpötila on mahdollista pitää noin 70°C lämpötilassa. On kuitenkin huomattava, että pesurien korkeasta erotusasteesta huolimatta lipeäsäiliöiden sekä sekoitussäiliön höngät sisältävät pesureissa erottumattomia yhdisteitä (10). Näin ollen kyseisistä prosessilaitteista irtoavat höngät tulee kerätä ja polttaa (10).

Soodakattilassa käytetään primääri-, sekundääri- ja tertiääri-ilmoja. Nykyaikaisissa soodakattiloissa ilmapuhallus voi olla jaoteltuna normaalia useampiin ilmatasoihin päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen hallinnan lisäksi ilman jaottelu parantaa pelkistymistä ja näin ollen reduktioastetta.

Yleensä soodakattilassa on lipeänpolttimien ja käynnistysöljypolttimien lisäksi myös kuormaöljypolttimet. Näillä on myös oma ilmansyöttö. Polttoilma esilämmitetään yleensä vähintään 150 °C lipeän alhaisen lämpöarvon vuoksi (10).

Soodakattilan tuhka on noin 95-prosenttisesti natriumsulfaattia (Na_2SO_4), 4 % natriumkarbonaattia eli soodaa (Na_2CO_3) ja 1 % natriumkloridia (NaCl). Pääasiallinen kemikaali natriumsulfaatti on ympäristölle ystävällistä neutralisoivan vaikutuksensa ansiosta. Kuitenkin ongelmaksi muodostuu tuhkan eli suolan pienen partikkelikoon aiheuttama terveysriski sekä korvaavien kemikaalien korkea hinta. Tämän vuoksi tuhka tulee suodattaa ja ottaa talteen

useassa osassa estäen pääsyn savupiippuun. Lisäksi suola muodostaa korkeissa lämpötiloissa erittäin vaikeasti poistettavia kerrostumia. Tämän vuoksi tulipesä pyritään mitoittamaan siten, ettei tulistinalueen lämpötila nouse yli 850 °C:seen. (10.)

2.4.4 Kaustisointi

Kaustisointi kuuluu niin kutsuttuun kalkkikiertoon, joka toimii apukemikaalina soodakattilasta tulevan viherlipeän muuttamisessa valkolipeäksi. Kaustisoinnin tehtävänä on muuttaa natriumkarbonaatti eli sooda (Na_2CO_3) sulfaattikeitossa tarvittavaksi natriumhydroksidiksi (NaOH). Sulfaattikeitossa reagoiva toinen kemikaali natriumhydroksidin lisäksi on natriumsulfidi (Na_2S), jota on luonnostaan viherlipeässä. Natriumsulfidin määrää valkolipeässä kuvaa sulfiditeetti. (16.)

Kaustisoinnin reaktiot tapahtuvat kahdessa vaiheessa. Kalsiumoksidi (CaO) reagoi niin sanotussa kalkin sammutuksessa selkeytetyn viherlipeän kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2) (16). Reagoinnissa viherlipeän lämpötila nousee noin 15 °C. Sammutuksessa lämpötila nousee siis noin 100 °C:seen. Välittömästi tämän jälkeen kalsiumhydroksidi taas reagoi viherlipeän sisältämän natriumkarbonaatin kanssa muodostaen natriumhydroksidia (16). Syntynyt kalkkimaito virtaa lajitinosaan, jossa erotetaan ruuvilla sammumaton kalkki sekä muut epäpuhtaudet seoksesta.

Kaustisoinnin reaktiot alkavat sammutuksessa ja jatkuvat kaustisointisäiliöissä. Tasapainon saavuttamiseksi reaktion viipymäaika kaustisointisäiliöissä on pitkä. Nykyisellään viipymä on noin kolme tuntia (16). Tällä varmistutaan, ettei vapaa kalsiumhydroksidi tuki suodattimia (16).

Kaustisointireaktion kemiallista tehokkuutta mitataan seuraamalla natriumkarbonaatin muuttumista natriumhydroksidiksi. Tätä kutsutaan kaustisointiasteeksi. Normaalisti aste on hieman yli 80 %. Tämän arvon ylittyessä alkaa ylikalkitustilanne, joten kalkin annostelun epätarkkuudesta sekä viiveistä

johtuen ei kannata pyrkiä kaustisointiasteen maksimiarvoon, joka on noin 85–87 %. (16; 17, s. 11.)

Kaustisoinnista saadaan sulfaattikeitossa tarvittavaa valkolipeää, josta tärkeimmät seurattavat arvot ovat tehollinen alkali, aktiivialkali sekä sulfiditeetti. Tehollinen alkali mittaa valkolipeän natriumhydroksidin ja puolittaisen natriumsulfidin määrää (17, s. 11). Aktiivialkali mittaa natriumhydroksidin ja natriumsulfidin yhteismäärää ja sulfiditeetti mittaa natriumsulfidin osuutta valkolipeässä (17, s. 11).

Kaustisoinnin jälkeinen valkolipeä sisältää sulfaattikeitossa tarvittavat kemikaalit. Siitä on kuitenkin erotettava kaustisoinnissa muodostunutta kalsiumkarbonaattia, meesaa, jonka jälkeen valkolipeä on valmista sulfaattikeittoon. Tämä tapahtuu selkeyttämällä valkolipeä. Selkeytyksestä saatu meesa tulee pestä meesanpesuekossa, joka on meesanpolttoa ajatellen välttämätöntä.

2.4.5 Meesanpoltto

Meesanpoltto ja siihen liittyvät prosessit muodostavat kaustisoinnin kanssa kalkkikierron. Kaustistamolta tuleva kalsiumkarbonaatti eli meesa on lämmön avulla tarkoitus muuttaa takaisin kalsiumoksidiksi (16). Näin ollen teoriassa prosessikierto on tältä osin omavarainen. Kuitenkin prosessissa tapahtuvien häviöiden vuoksi on kalkkia osittain korvattava myös ulkopuolelta ostetulla kalkilla.

Meesanpoltossa kalkiksi päälaitteena toimii meesauuni. Tämä on noin sata metriä pitkä ja sisähalkaisijaltaan kolmesta neljään metriä sylinterin muotoinen teräsrakenne. Uunin sisäosa on vuorattu tulenkestävillä tiilillä, jotka vähentävät uunin lämpöhäviötä. Etenkin polttopään korkeissa yli 1 100 °C lämpötiloissa ja lämpötilan vaihtelun vaikutuksessa vuoraus voi joutua kovalle lämpörasitukselle. Uuni viettää lievästi alaspäin niin kutsutusta märästä päästä kohti polttopäätä. Pituussuunnassa uuni on tuettu kannatinpyörillä kannatinrullastoihin.

Hajoaminen kalsiumkarbonaattista eli meesasta kalsiumoksidiksi eli poltetuksi kalkiksi ja lisäksi hiilidioksidiksi tapahtuu verraten korkeassa lämpötilassa. Reaktio alkaa tapahtua lämpötilan ylittäessä 850 °C (16). Tämä kiihtyy voimakkaasti lämpötilan noustessa ja riittävän suuri reaktionopeus saavutetaan noin 1 100 °C lämpötilassa (16). Tämän vuoksi polttopään lämpötila on suurimmillaan yli 1 100 °C.

Kaustistamolta meesa tulee silloihin, josta se pumpataan meesasuoitimelle. Suotimelta tämä kuljetetaan edelleen hihna- ja ruuvikuljettimilla kuivatuksen kautta uuniin. Kuivatus tapahtuu syklonissa savukaasujen avulla. Meesauunissa on mahdollisuus käyttää useita polttoaineita. Näitä ovat mm. maakaasu, vety, kevyt- ja raskaspolttoöljy, piki ja metaani. Lisäksi hajukaasujen varapoltto voidaan toteuttaa meesauunissa.

Meesauunin savukaasut ohjataan sähkösuodattimiin, josta tuhka palauteetaan takaisin uuniin ja rikkidioksidi käsitellään venturipesurilla (16). Venturipesuri on märkätoiminen pesuri, jossa vesi johdetaan matalassa paineessa venturin kurkkuun (18, s. 120). Samalla ilman suuri nopeus pisaroittaa veden (18, s. 120). Vesipisarot ja kaasu törmäävät toisiinsa ja lopullisesti erotus tapahtuu pisaranerotimissa (18, s. 120). Meesan polttoa kalkiksi ohjataan jäännöskarbonaatin avulla, jonka tulisi olla noin 2 %. Mittaus tapahtuu poltusta kalkista ja tätä voidaan verrata uunin lämpötilanmittauksiin.

2.4.6 Leijupetikattila K3

Kattila kolme on leijupetikattila, jonka polttoaineena käytetään lähialueiden turvesoilta hankittu jyrshinturve sekä sellutehtaan kuorimolta saatava mäntykuori. Leijupetikattila on valmistunut vuonna 1997 ja tuottaa soodakattilan ohella apukattilana kaiken Nuottasaareen tarvittavan lämmön. Valmistuksessaan leijupetikattila vastasi lisääntyneeseen lämmönkulutukseen, joka tuli toisen paperinvalmistuslinjan valmistuessa Nuottasaareen.

Leijupetikattilan lämpöteho leijupoltolla on noin 246 MW, tuorehöyryn paine 90 baaria ja lämpötila 525 °C. Korkeapainehöyryä kattila kehittää 95 kg/s ja

tämä ohjataan pääsääntöisesti reduktioventtiilien kautta soodakattilan paineelle mitoitettulle höyryturbiinille. Toinen vaihtoehto on käyttää leijupetikattilalla sijaitsevaa höyryturbiinia, joka on mitoitettu leijupetikattilan paineeseen.

2.4.7 Veden käsittely

Kattilaan syötettävän veden laadun on oltava erittäin tarkkaa kattilan korroosiokestävyyden kannalta. Lauhteiden lisäksi tarvitaan kattilaan normaalisti noin 30 % lisäsyöttövettä. Lisäveden valmistuksessa ja käytössä on erittäin tärkeää pitää huolta tarvittavasta suolanpoistosta, hapenpoistosta sekä pH:n eli happamuuden säädöstä.

Veden mekaaninen ja kemiallinen puhdistus

Normaalisti joesta otettava vesi puhdistetaan ensin ohjaamalla vesi välppien ja imusiivilöiden kautta mekaaniseen puhdistukseen. Mekaanisessa puhdistuksessa käytetään yleensä rumpusiivilöitä, koriketjusuodattimia, painesihtejä sekä suodattimia. Tällaisenaan vettä voidaan käyttää prosessissa jäähdytystarpeisiin, mutta muihin tarpeisiin, kuten kattilavettä varten vesi tulee puhdistaa edelleen kemiallisesti.

Kemiallisessa puhdistuksessa vesi ensin hämmennetään, jolloin mikroflokittormäävät ja yhtyvät toisiinsa (19, s. 84). Näin ne muodostavat niin suuria kiintoainehiukkasia, jotka voidaan erottaa mekaanisesti. Tätä kutsutaan yleisesti flokkaukseksi.

Flokkauksen jälkeen toteutetaan flotaatio. Tässä vedestä pyritään ilman tai muun inertin kaasun kuplien avulla nostamaan kiintoainehiukkasia veden pinnalle, josta kiintoaineet poistetaan mekaanisesti (19, s. 85). Vaiheiden jälkeen vesi selkeytetään ja lopuksi mahdollisesti laitoksesta riippuen pikasuodatetaan (19, s. 86). Kemiallisessa puhdistuksessa mm. veden desinfiointiin voidaan laitoksesta riippuen seostaa esimerkiksi natriumhypokloriittia sekä klooridioksidia.

Suolan poisto

Suolan poistoa varten on kattilalaitoksella kattilan lisäveden puhdistamiseksi oltava täyssuolanpoistolaitos. Täyssuolanpoistolaitoksella veteen tehdään ioninvaihto, käänteisosmoosi tai vesi tislataan. Jokaisessa prosessissa on tarkoituksena poistaa suoloja (NaCl), jonka tehokkuutta valvotaan jokaisessa prosessissa mittaamalla veden johtokykyä. Näistä ioninvaihto on yleisimmin käytössä oleva tekniikka, mikä on myös suuressa mittakaavassa taloudellisin. (20.)

Veteen liuetessa suolat muodostavat kationeja (Na⁺) ja anioneja (Cl⁻), joista kationit saavat vedessä positiivisen ja anionit negatiivisen sähkövarauksen. Ioninvaihtoyksiköissä puolestaan on ioninvaihtohartseja, joiden reaktiiviset atomiryhmät vetävät puoleensa näitä. Kationivaihtimessa erotetaan positiivisia ioneja, kuten natriumia (Na⁺), kun nämä korvataan hartseissa olevilla vetyatomeilla (H⁺). Anionivaihtimessa erotetaan negatiivisia ioneja, kuten klooria (Cl⁻), jotka korvataan vedyn ja hapen muodostamalla hydroksidiryhmällä (OH⁻). Yhdessä luovutetut vetyatomit ja hydroksidiryhmät muodostavat vettä (H₂O). (20.)

Hartsit ionivaihtimessa ovat halkaisijaltaan alle 1 mm suuruisia palloja, jotka suodatetaan vedestä suihkuputkityyppisillä suodattimilla. Tällä estetään hartsien pääsy syöttöveeseen. Hartsit tulee ajoittain regeneroida eli elvyttää, jotta ionivaihtimen teho ei heikkenisi liian nopeasti. Elvytyksessä hartsit puhdistetaan ja niistä poistetaan niihin tarttuneet suolaionit.

Elvytys tapahtuu ensin vastavirtahuuhtelulla, jossa poistetaan likahiukkaset ja tämän jälkeen kääntämällä käyttötilanteen reaktio päinvastaiseksi. Vetyionien lisäys kationivaihtimeen tapahtuu rikki- tai suolahapon avulla. Anionivaihtimeen lisätään hydroksidiryhmiä lipeän avulla. Tämän jälkeen puhtaalla vedellä syrjäytetään happo tai lipeä. Lopuksi sarja huuhdellaan ja seurataan johtokyvyn avulla, että happo tai lipeä on poistunut massoista. (20.)

Huolimatta elvytyksestä suodattimet tulee ajoittain vaihtaa tukkeentumisen vuoksi. Suolanpoistosarjassa on kationi- ja anionivaihtimia sekä lisäksi yhdistelmävaihtimia, joissa on sekä kationi- että anionihartseja. Tällaista yhdistelmävaihtinta kutsutaan MB-yksiköksi (Mixed Bed) (20). Käänteisosmoosissa vesi ohjataan kalvon läpi, jonka vesi läpäisee, mutta suolat eivät (20). Tislausta käytetään prosesseissa, joissa on käytettävissä halpaa jäte- lämpöä tai prosessista vapautuvaa vesihöyryä (20). Näin tehdään mm. laivoilla sekä meijereissä (20).

Suolan poiston jälkeen syöttövedestä poistetaan kaasuja. Vedessä olevia kaasuja ovat mm. liuennut happi, typpi sekä hiilidioksidi. Typpi ei ole höyryjärjestelmässä erityisen haitallista ja hiilidioksidi on suolanpoistossa enimmäkseen poistunut ja on lisäksi mitattavana hankalaa. (20.)

Liuenneeseen happeen ja sen poistoon sen sijaan on syytä kiinnittää enemmän huomiota, sillä se aiheuttaa korroosiovaaraa kattilan putkistoissa. Tyypillisesti hapen osuus kattilaan menevässä syöttövedessä saa korkeimmillaan olla 0,01 mg/l. Lisävesi sisältää happea yleisesti noin 10 mg/l. Lauhde sen sijaan ei yleensä sisällä kovinkaan suuria määriä happea. (20.)

Happi poistetaan vedestä pääosin termisesti (20). Tämä on mahdollista kiehattamalla, kun fysiikan lakien mukaisesti kaasujen liukoisuus kiehuvaan veteen on nolla (20). Lisäksi käytetään yleisesti varmistukseksi kemiallista hapen sidontaa. Tämä tapahtuu lisäämällä syöttöveteen kemikaaleja, kuten hydratsiinia.

Hydratsiinin käyttöä pyritään terveydellisistä syistä korvaamaan muilla kemikaaleilla. Korvaamaan on pyritty, sillä hydratsiini on luokiteltu hengitettäessä erittäin vaaralliseksi aiheuttaen mm. syöpää. Kuitenkaan kaukolämpöverkkojen vuotojen yhteydessä ei hydratsiini aiheuta ihmiselle terveydellistä vaaraa veden matalan noin 0,1 mg/l hydratsiinipitoisuuden vuoksi (21, s. 6).

Muita syöttöveteen lisättäviä kemikaaleja on muun muassa fosfaatti lieriökattiloissa, joissa on mahdollisuus poistaa jatkuvan ulospuhalluksen kautta

syöttöveden epäpuhtauksia. Fosfaattia käytetään saostumisen estämiseksi putkiston pinnoille sitoen veden kovuusioneja, kuten kalsiumia hienoksi lietteeksi (22, s. 28). Tämä poistetaan jatkuvan ulospuhalluksen kautta, eikä tätä näin ollen ole mahdollista käyttää läpivirtauskattiloissa. Lisäksi fosfaatti nostaa hieman syöttöveden pH:ta, jonka tulee olla selvästi alkalinen. Fosfaatin annostelu tapahtuu ennen ekonomaiseriä, ruiskutusveden ottokohdan jälkeen.

Suolavapaa syöttövesi, kuten myös lauhteet ohjataan syöttövesisäiliöön kaasunpoistimen kautta. Kaasunpoistin on yleisimmin syöttövesisäiliön päällä sijaitseva levykaasunpoistin, joka näkyy myös kuvassa 5 sivulla 15. Toimintaperiaatteeltaan levykaasunpoistin on kuten vastavirtapesuri (20). Vesi valuu levykaasunpoistimessa ryöppylevyjen lävitse ja levyltä levyille (20). Pudotessaan vesi kohtaa aina puhtaampaa höyryä, jonka pieni osa poistuu tornin yläosasta hönkähöyrynä kuljettaen kaasut pois tornista (20). Syöttövesisäiliö on aina paineellisena ja veden lämpötila pidetään yli 100 °C.

Lauhteen käsittely

Useimmat voimalaitoksen höyry- ja lauhdeputkilinjat ovat verraten pitkiä kiertäen suuriakin lämmönsiirtimiä. Näin ollen laitteiston altistumista jonkin asteiselle korroosiolle on veden suojakemikaalien annostuksesta huolimatta miltei mahdotonta estää. Voimalaitokselle palaavan lauhteen puhdistamiseen tulee siis monin paikoin kiinnittää erityistä huomiota näiden sisältäessä kiinteitä tai veteen liuenneita korroosiotuotteita (20).

Päästessään kattilaan epäpuhtaudet rikastuvat prosessikierrossa aiheuttaen kerrostumia, korroosiota, turbiinin likaantumista ja näin ollen kattilatyypistä riippuen jopa katastrofiriskin. Onkin pidettävä huoli, että mittalaitteet ovat kunnossa, sillä syöttöveden mukana on mahdollista kulkeutua rautayhdisteiden lisäksi myös muita yhdisteitä. Kaikkien yhdisteiden poisto etenkin öljyn ja mustalipeänpoisto on syöttövedestä erittäin vaikeaa (20). Näin ollen öljyiset lauhteet tulee viemäroidä ja johtokyvyn ja pH:n mittausten tulee kääntää hapon tai lipeän likaamat lauhteet pois syöttövesijärjestelmästä (20).

Lauhteita on mahdollista puhdistaa kemiallisesti ja fysikaalisesti, joista kemiallinen rajoittuu lähinnä edellä käytyyn ioninvaihtoon. Fysikaaliset puhdistusmenetelmät ovat suodattimia. Suodatintyyppi valitaan käyttökohteen mukaan, esimerkiksi precoat-suodatin soveltuu myös kuumille lauhteille. Aktiivihilisuodattimella taas on mahdollista poistaa myös öljyä. Uutta tekniikka lauhteenpuhdistuksessa edustaa kokonaisvirtasuodatin, jossa kylmä, alle 50 °C lämpöinen vesi virtaa sekaioninvaihtimen läpi. (20.)

2.4.8 Savukaasujärjestelmä

Savukaasujen puhdistus

Savukaasujen suurimpia hiukkasia voidaan erottaa mekaanisesti. Tällaisia menetelmiä ovat pääasiassa erilaiset syklonit ja savukaasupesurit. Pienimmät hiukkaset erotetaan sähkösuodattimin. Tiukentuvien rikkipäästö määräysten vuoksi myös rikinpoistolaitteistoa on alettu enenevässä määrin kehittää. Mahdollisia polttoaineperäisiä raskasmetalleja tai säteileviä hiukkasia ei voida savukaasuista poistaa. Seuraavassa on käsitelty lyhyesti eräitä käytössä olevia menetelmiä.

Savukaasupesurit

Savukaasupesureilla päästään yleisesti noin 90 % erotusasteeseen kiintoainesten ja rikinoksidien poistossa. Pesurissa neste ja savukaasupuoli ovat kosketuksissa toistensa kanssa. Savukaasun tai nesteen nopean virtauksen ansiosta vesi hajoaa pieniksi pisaroiksi keräten itseensä pölyhiukkasia. Seos erotetaan pisaranerottimissa. (23, s. 255.)

Soodakattilaa lukuun ottamatta pesurit harvoin ovat kannattava vaihtoehto näissä syntyneiden jätevesien puhdistuslaitteiston kustannusten vuoksi. Selviteollisuuden ollessa kyseessä jätevedet voidaan kuitenkin käyttää prosessissa lämpönä sekä kemikaaleina hyödyksi. Lisäksi pesureita on mahdollista käyttää myös korkeissa lämpötiloissa, joissa muiden puhdistusmenetelmien käyttö ei ole mahdollista. Muissakin voimalaitostyypeissä on mahdollista kui-

tenkin ottaa pesurin lämpöä talteen esimerkiksi kaukolämpöveden lämmitämisenä. (23, s. 255.)

Sähkösuodattimet

Sähkösuodattimessa erotettavat hiukkaset saavat negatiivisen varauksen. Tämä tapahtuu hiukkasten kulkeutuessa ionisoituneen vyöhykkeen lävitse. Hiukkasten erotus tapahtuu voimakkaassa sähkökentässä. Emissioelektrodeissa syntyy sekä negatiivisesti että positiivisesti varautuneita kaasumolekyylejä. Emissio- ja erotuselektrodien ollessa vastakkaisesti varattu, alkavat positiiviset ionit liikkua kohti negatiivisesti varautunutta emissioelektrodia. Samalla ionit luovuttavat varaustaan ja muuttuvat neutraaleiksi kaasumolekyyleiksi. (23, s. 252–253.)

Negatiivisten ionien törmätessä pölyhiukkasiin varautuvat hiukkaset negatiiviksi. Voimakkaan sähkökentän ansiosta pölyhiukkaset liikkuvat törmäten erotuselektrodiin ja kiinnittyen siihen. Tästä pölyhiukkaset poistetaan yleensä ravistimien avulla. (23, s. 253)

Sähkösuodatin on hankintahinnaltaan verraten kallis laite. Kuitenkin alhaisen käyttökustannusten sekä pitkän käyttöiän ansiosta laite on investointina kannattava. Lisäksi sähkösuodattimen käyttöä puoltaa tämän soveltuvuus lähes kaikkiin prosesseihin sekä kyky käsitellä suuriakin kaasumääriä. (23, s. 253.)

Rikinpoisto

Märässä rikinpoistossa savukaasuihin suihkutetaan alkalista pesunestettä. Tällaisia voivat olla esimerkiksi natriumhydroksidi (NaOH), veteen seostunut kalsiumkarbonaatti eli kalkkikivi (CaCO_3) sekä kalsiumoksidi eli kalkki (CaO). Märkämenetelmässä poistetaan rikkidioksidi (SO_2) sekä käsitellään pesuliuos ja lopputuote (23, s. 257).

Muita menetelmiä rikinpoistoon ovat puolikuiva-, kuivamenetelmä sekä muut kehitellyt menetelmät, kuten Outokumpu Oyj:n kehittämä Sulfred-menetelmä. Myös kalkin lisäys leijupetipolttoon on kuivamenetelmä, jolla on päästy noin 90 % erotusasteeseen. Tämän vuoksi leijupetikattila ei vaadi erillistä rikinpoistolaitteistoa savukaasukanavistoon. (23, s. 257–258.)

2.4.9 Päästöt ja niiden vähentäminen

Voimalaitoksella syntyy polttoaineesta riippuen päästöjä, joita on pyritty lainsäädännön puolesta kontrolloimaan. Polttoaine on täysin määrävänä tekijänä hiilidioksidin, rikkidioksidin ja veden osuuksiin päästöissä. Typen ja hapen osuuksiin taas vaikuttaa polttoaineen lisäksi myös ilmakerroin. (1, s. 31.)

Happipitoisuuden polton jälkeisissä savukaasuissa tulisi olla n. 1,5–2,5 %. Tässä tulee olla tarkka ja luotettava mittaus, joka voidaan toteuttaa muun muassa zirkoniumoksidiantureilla, jotta voidaan päästä parhaaseen hyötysuhteeseen polttoprosessissa. Mikäli happea on riittämättömästi, syntyy polttoainehukkaa, haitallisia ympäristöpäästöjä sekä lisääntyviä kunnossapitokustannuksia kattilalaitokselle. Toisaalta jos happipitoisuus on liian suuri, polttoainetta hukkaantuu, kun lämmitetään turhaan savukaasun mukana poistuvaa liikailmaa. Oikeanlaisilla happiolosuhteilla pystytään vaikuttamaan myös nuohouksen toimintaan sekä häviöiden ja korroosiovaaran optimointiin. (24, s. 6–7.)

Päästöjä vähennetään primäärisesti ja sekundäärisesti. Primäärinen tarkoittaa, että päästöihin pyritään vaikuttamaan poltossa. Sekundäärisesti päästöjen vähennykseen pyritään vaikuttamaan lisäämällä tulipesään tai savukaasuihin lisäaineita.

Hiilidioksidi

Hiilidioksidi voimistaa kasvihuoneilmiötä ja on määrällisesti suurin polttoprosessissa syntyvä kasvihuonekaasu. Määränsä vuoksi tämä on seuratuin te-

ollisuuden sekä liikenteen päästö (1, s. 35). Kuitenkin monet muut päästöt ovat jo vähemmässä määrin huomattavasti vaarallisempia ilmastolle.

Hiilidioksidipäästöihin on pyritty vaikuttamaan lainsäädännön lisäksi päästölähteisiin vaikuttamalla, kuten taajuusmuuttajakäytöllä, jotka säästävät energiaa (25). Hiilidioksidia syntyy täydellisen palamisen tuotteena, kun taas epätäydellisestä palamisesta seuraa hiilimonoksidia (1, s. 35).

Eräistä hankkeista huolimatta tällä hetkellä hiilidioksidipäästöjä ei voida taloudellisesti kannattavasti poistaa savukaasuista. Hiilidioksidin määrään voidaan kuitenkin vaikuttaa polttoainevalinnalla. Käytännössä maakaasua poltettaessa vety-hiilisuhteen ollessa suurempi vähenee hiilidioksidipäästöt. Lisäksi poltettaessa maanpinnalla kasvavia uusiutuvia polttoaineita fossiilisten sijaan voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä. Tällä tarkoitetaan sitä, ettei maanpäälliseen hiilikiertoon tuoda lisää hiiltä.

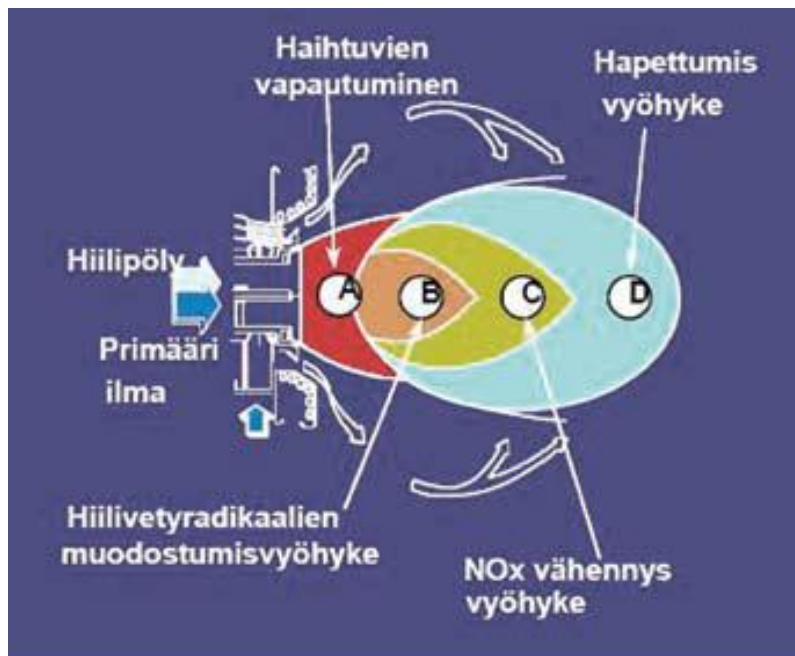
Typpi

Typhen oksideista käytetään yleisnimitystä NO_x , sillä tyypellä on useita oksideja. Palamisprosessissa kyseeseen tulee typpimonoksidi (NO), typpidioksidi (NO_2) sekä dityppioksidi (N_2O) eli ilokaasu. Yleensä yhteisnimityksellä NO_x tarkoitetaan typpimonoksidia ja typpidioksidia. Nämä aiheuttavat happamia sateita, joita dityppioksidi ei aiheuta. Tämä kuitenkin tuhoaa yläilmakehän otsonia ja vaikuttavat näin ollen kasvihuoneilmiötä voimistaen. (1, s. 35.)

Dityppioksidia esiintyy voimalaitoksella lähinnä petipalamisen ja katalyyttisen typenpoiston jälkeisissä savukaasuissa. Typpimonoksidia syntyy sekä termisesti että polttoaineesta, kun ilmassa ja polttoaineessa oleva typpi reagoi hapen kanssa. Termisten typhen oksidien muodostumiseen voidaan vaikuttaa riittävän alhaisella palamislämpötilalla. Esimerkiksi leijupetitekniikassa tämä tulee luonnostaan petihiekan matalan sulamispisteen ja siten myös tulipesän matalahkon lämpötilan seurauksena. (1, s.35; 23, s. 258.)

Low-NO_x-polttimissa käytetään vaiheistusta ilman ja polttoaineen syötössä. Käytännössä poltto tapahtuu aina ylistökiömetrisessä tilassa ja öljyä poltettaessa ilmakerroin on yleensä noin 1,10 (1, s. 29). Low-NO_x poltossa kuitenkin polton vaiheistuksesta johtuen liekin alkuosa on alistökiömetrinen. Näin ollen primääri-ilman ja vielä sekundääri-ilman jälkeen kokonaisilmamäärä on alistökiömetrinen (1, s. 37).

Ilmamäärä muutetaan ylistökiömetriseksi tertiääri-ilmalla, joka syötetään heti poltinten yläpuolelle. Ylimääräisellä ilmalla varmistetaan polttoaineen ja ilman kohtaaminen. Näin ollen liekin alkuosassa palamislämpötila madaltuu, liekin alkuosan toimiessa ali-ilmaisena polttoaineen täydelliseen palamiseen nähden. Liekin alkuosassa syntyy näin ollen hiilivetyradikaaleja, jotka tuhoavat NO_x-päästöjä, joita syntyy polttoaineen palamisessa. Kuvassa 6 näkyy kuinka hiilipölyn poltossa syntyvä typen oksidi vähenee liekin alkuosan ali-ilmaisella vyöhykkeellä syntyvän hiilivetyradikaalien vaikutuksesta. Vastaava ilmiö tapahtuu öljyä poltettaessa ja kyseistä polttoratkaisua on mahdollista soveltaa öljyn ja hiilen lisäksi myös kaasuun. (1, s. 29, 37.)



KUVA 6. Low-NO_x-polton periaate (26, s. 56)

Termisten typen oksidien syntymistä on mahdollista vähentää, kun optimoidaan yläilman syöttötasolle syötettävän ilman määrää ja sekoittumista. Lisäksi liekin huippulämpötilan jäädessä normaalipolttoa matalammaksi, vähentää tämä termisen typen oksidien muodostumista. Low-NO_x-poltolla ei voida täysin poistaa typen oksidien syntyä, mutta tällä tekniikalla on saatu öljykattiloissa 40–65 % vähennys typen oksidipäästöihin. Ilmaan päästessä typen oksidit aiheuttavat happamia päästöjä yhdessä veden kanssa. (27, s. 53.)

Typen oksidien päästöjen ollessa ongelmana kattilalaitoksella, on kattilan savukaasukanavaan mahdollista asentaa katalyyttinen typenpoistolaitteisto. Menetelmässä lisätään savukaasuihin ammoniakkia tai ureaa, jolloin savukaasu pelkistyy katalyyttielementeistä koostuvassa reaktorissa (27, s. 55).

Katalyyttisellä typenpoistolaitteistolla on mahdollista päästä jopa 90 % typen oksidien erotusasteeseen (27, s. 55). Yhtenä mahdollisuutena olisi tutkia fosforin käyttöä ammoniakkin tai urean korvaajana. Tätä on mahdollista rikastua muun muassa lipeälinjan kalkkikierrossa. Kierto on tämä tulee nykyisen tiedon mukaan ostokalkin mukana. Prosessissa se on haittana ja tällä tavoin mahdollistettaisiin tämän hyötykäyttö. Yleisesti typen oksidien päästöjä on mahdollista vähentää ilman ja polttoaineen vaiheistuksella sekä savukaasujen kierrätyksellä.

Rikki

Rikkiä esiintyy mm. öljyssä hiilessä ja turpeessa. Palamisessa muodostuu rikkidioksidia ja -trioksidia. Reagoidessaan veden kanssa nämä muodostavat rikkihapoketta ja -happoa. Reagoinnin tapahtuessa savukaasukanavissa on vaarana laitteistojen syöpyminen. Tähän voidaan kuitenkin vaikuttaa savukaasujen lämpötilojen hallinnalla, sillä yhdisteet eivät reagoi, mikäli savukaasun lämpötila on riittävän suuri, eikä saavuteta happokastepistettä. (1, s. 25.)

Oksidien poistuessa kaasuna savupiipusta sade liuottaa niitä ja tämä ilmenee ympäristössä happamana sateena (1, s. 25). Tämä on ympäristöhaitta,

johon on lakisääteiset rajoitukset, joiden on määrä tiukentua vuoden 2016 alusta. Lakisääteisten raja-arvojen alitukseen voidaan vaikuttaa polttoaineella ja savukaasujen puhdistuksella. Esimerkiksi soodakattilan savukaasupesureilla päästään selvästi yli 90 % rikin oksidien poistoasteeseen. Lisäksi mustalipeän käsittelyssä syntyviä lauhtumattomia rikkiyhdisteitä, TRS-yhdisteitä (Total Reduced Sulphur) poistetaan nykyään tehokkaasti hajukaasujen keräilyllä ja poltolla.

Petipoltossa rikkidioksidin syntyyn voidaan vaikuttaa lisäämällä tulipesään kalkkia. Tämä sitoo rikkidioksidia ja yhdiste voidaan poistaa pohjan kautta. Rikin poistoa voidaan toteuttaa myös sekundäärisesti lisäämällä kalkkia savukaasuihin ja erottaa kiinteässä muodossa olevaa yhdistettä mekaanisesti savukaasuista. Erilliset rikinpoistolaitokset ovat hintansa vuoksi vain lähinnä hiilipölyä polttoaineenaan käyttävissä voimalaitoksissa. (1, s. 36.)

2.4.10 Hajukaasujen käsittely

Lipeää käsitellessä jokaisessa prosessissa syntyy hajukaasuja. Nykyisellä tekniikalla on mahdollista polttaa sekä laimeita, että vahvoja hajukaasuja soodakattilassa. Etuna soodakattilassa poltossa on laitteiston yksinkertaisuus (28), mutta erillisellä hajukaasukattilalla poltettaessa voidaan pitää soodakattilapolttota varalla ja näin ollen minimoida riskit ympäristöpäästöihin. Vahvat ja laihat hajukaasut on erotettava ennen polttoa ja näistä vahvat ovat erittäin räjähdysherkkiä.

Vahvat hajukaasut

Vahvojen hajukaasujen polttoon tuottaa haasteita räjähdysherkkyys ja myrkyllisyys (28). Kerääminen suoritetaan suljetuista säiliöistä siten, ettei näihin pääse vuotoilmaa (28). Puhaltimia ei yleensä käytetä mahdollisten näistä aiheutuvien kipinöiden vuoksi. Tämän vuoksi vahvojen hajukaasujen kuljetuksessa käytetään yleensä höyry-ejektoreja. Lisäksi putkistoon tulee sisältyä pisananerottimet, liekinestimet, vesitykset, maadoitukset ja muut turvallisuuslaitteet turvallisen käsittelyn ja polton mahdollistamiseksi (28).

Hajukaasujen poltin on rakenteeltaan hyvin paljon maakaasupoltinta muistutava. Kuitenkin tähän on liitetty paljon turvallisuutta lisääviä lukituksia. Esimerkiksi häiriötilanteiden varalta tulee hajukaasuille olla varapolttopaikka, kuten meesauuni. Poltto tapahtuu lipeäruiskujen tasolla tai usein hieman sen alapuolella. Kaasujen sisältämä rikki sitoutuu soodakattilassa poltettaessa tulipesässä natriumiin, joka sitoo poistettavaan lentotuhkaan, joten rikki ei yleensä ole ongelma. Soodakattilan lisäksi väkevät hajukaasut on mahdollista polttaa erillisessä soih tupolttimessa tai tuliputki-tulitorvityyppisessä kattilassa. Mahdolliset ongelmat vahvojen hajukaasujen käsittelyssä ovat erityisen ratkaisevassa osassa sellutehtaalla, koska tällä on suuri merkitys myös tehdasalueen ulkopuolella. (28.)

Laimeat hajukaasut

Laimeita hajukaasuja kerätään pääasiassa sellutehtaan säiliöistä ja pesuisista. Yleensä nämä ohjataan ensin pesurille, jossa näistä poistuu vesihöyryä ja tärpättiä (28). Pesurin jälkeiset kylmät hajukaasut lämmitetään lämmönsiirtimissä, jonka jälkeen ne ohjataan polttoon.

Laimeiden hajukaasujen poltto tapahtuu soodakattilassa joko omilla suuttimilla tertiäri-ilmatasolla tai sekoittamalla ne suoraan palamisilmaan. Laimeiden hajukaasujen happipitoisuus on hyvin lähellä ilman happipitoisuutta ja sen rikkipitoisuus pidetään alemman räjähdysrajan alapuolella (28). Tämä antaa mahdollisuuden korvata laimeilla hajukaasuilla vastaava määrä polttoilmaa sekä varmistaa, ettei väkevyys nouse räjähdysrajalle (28). Kuitenkin kaasun syöttöpaine tulee olla lähellä ilman syöttöpainetta, jotta varmistutaan optimaalinen kaasun tunkeutuvuus tulipesäprosessissa (28).

Ennen polttoa tulee tehdä vedenpoisto. Tämä on tärkeää, jotta vältetään soodakattilassa mahdolliselta sularäjähdykseltä. Tavallisimmin vedenpoisto tapahtuu ensin jäädyttämällä vesi tai kaasu, jonka jälkeen hajukaasu lämmitetään kuivalle alueelle. (28.)

2.4.11 Prosessivesien käsittely

Prosessilaitoksessa, kuten lipeälinja käytetään suuria määriä vettä jäähdytykseen sekä muihin tarpeisiin. Käytännössä kaikki vesi otetaan Oulujoesta, kun ei oteta huomioon puun sisältämän kosteuden kaltaisia tekijöitä.

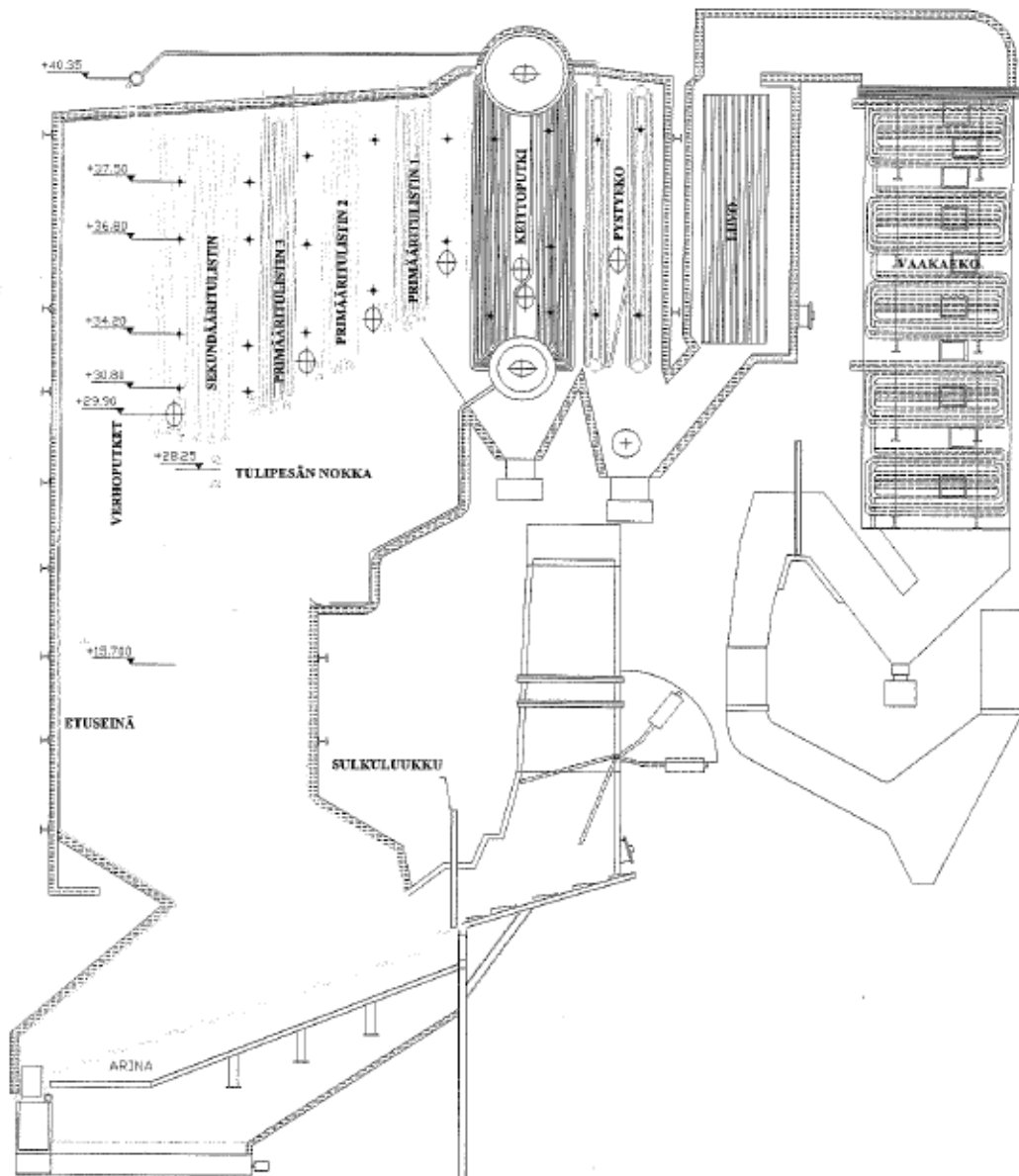
Otettuaan vedestä sen sisältämä teho käyttöön tehtaan tarpeisiin esimerkiksi jäähdytykseen, on tämä tarkoituksen mukaista palauttaa jokeen. Tämä tapahtuu osaprosessien pumppauskaivojen kautta. Pumppauskaivoihin keräytyy myös muut yhdisteet, jota prosessista on mahdollista vuotaa. Onkin tärkeää, että alueella on jatkuvatoiminen pumppauskaivojen johtokyvynmittaus, jotta välttyttäisiin ympäristöä kohtaan tapahtuvalta mahdolliselta katastrofilta. Johtokyvyn kohotessa seos pumpataan takaisin prosessiin, eikä päästetä ympäristön haitaksi. Lisäksi lipeälinjan likaiset jätevedet ohjataan aktiiviliete-laitokselle, jonne kerätään kaikki tehdasalueen jätevedet puhdistettavaksi.

3 PUUJÄTEKATTILA

3.1 Yleistä

Puujätekatilla on aloittanut toimintansa soodakattilana vuonna 1964. Vuonna 1988 valmistuivat muutostyöt puujätekatillaksi (29, s. 1). Katilla on valmistanut Ab Götaverken ja muutoksesta arinakattilaksi on vastannut A. Ahlström Osakeyhtiö (29, s. 1). Vuonna 1987 valmistui uusi soodakattila 7, joka korvasi soodakattila 6:na toimineen nykyisen puujätekatillan. Vuoteen 1998 puujätekatilla toimi soodakattila 7:n apukatillana höyryntuotannossa. Vuonna 1998 valmistui uusi leijupetikattila Nuottasaaren tehdasalueelle, jonka myötä puujätekatillan käyttö väheni merkittävästi. Nykyään puujätekatillaa käytetään noin viikon ajan vuodessa leijupetikatillan korkean käyttöasteen ansiosta.

Puujätekatilla on rakenteeltaan kuvan 7 mukainen arinakattila, jossa arina on tyypiltään mekaaninen viistoarina, jossa arinarautarivit liikkuvat kuljettimen tavoin hydraulisynterien työntäminä. Mekaanisen viistoarinan lisäksi puujätekatillassa on käytössä kippiarina. Tämä on viistoarinan jatkeena, jonka akselit ovat vesijäähdytetyt.



KUVA 7. Puujätekattilan rakennekuva (30, s. 1)

Arinan tehollinen pituus ja -leveys ovat 13,2 metriä ja 8,6 metriä. Näin ollen tehollinen pinta-ala on noin 114 m². Arinaputkisto on liitetty kattilan vesikiertoon jako- ja kokoojalaatikon avulla. Tämä on kiinnitetty teräsrakenteeseen, joka on kannatettu kattilan sivuseinäputkista. Arinan etupää on tuettu erikseen vakivoimakannakkeilla. Arinaraudat ovat ladottu teräsrakenteen päälle. (31, s. 1.)

Puujätekatilla on tätä edeltäneen soodakattilan tekniset suoritusarvot. Näin ollen höyrynpaine on 82 baaria ja lämpötila 480 °C. Kuorta poltettaessa höyryn kehitys on 35 kg/s ja käytettäessä öljyä tukipolttona on höyryn kehitys 50 kg/s (29, s. 1).

Puujätekatilan käyttöoikeus loppuu 31.12.2015. Yhtenä vaihtoehtona on korvata puujätekatilla uudella noin 100 MW:n tehoisella katilla, joka tuotaisi noin 45 kg/s höyryä. Uuden kattilan hankintakustannukset olisivat arviolta noin 30 miljoonaa euroa. Eliniän jatkamiseksi tehtävien parannusten sekä korjausten arvo on arviolta noin kolmesta viiteen miljoonaan euroa, joka on käyttötärpeeseen nähden huomattavasti kannattavampaa.

3.2 LCP-direktiivi

Euroopan parlamentti on määrännyt direktiivin suurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauksien hallitsemiseksi. Tämä direktiivi käsittää kaikki energian tuotantoon käytettävät polttolaitokset polttoaineeseen katsoimatta, joiden nimellisteho ylittää 50 MW:n tehon.

Direktiivin mukaan jokaisen jäsenvaltion tulee huolehtia siitä, että uudet polttolaitokset sekä kaasuturbiinit alittavat direktiivin määräämät raja-arvot. Lisäksi jo olemassa olevien laitosten päästöt tulee rajoittaa uusien laitosten tasolle tai niiden on kuuluttava kansalliseen päästöjen vähentämishjelmaan ja noudatettava tätä. Tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta jokaisen kattilalaitoksen tulee täyttää nämä kriteerit. Tässä työssä käsiteltävät kattilat voidaan lukea poikkeukselliseksi, koska näiden käyttö on tilapäistä ja laitokset alittavat direktiivin asettamat käyttöajat. Lyhyestä vuotuisesta käyttöajasta johtuen sovelletaan kattiloille tiettyjä erityisehtoja, jotka on esitetty myöhemmin.

Terminen teho puujätekatilla on 142 MW ja tämän savukaasut johdetaan samaan savupiippuun, kuin 51 MW tehoisen öljykattilan. Vuonna 2007 on hyväksytty LCP-asetuksen (Large Combustion Plant – Suuret voimalaitokset) kansallisen suunnitelman muutos. Tämän täytäntöön panto on hyväksytty valtioneuvoksen päätöksellä. Päätöksessä komissio on katsonut, että

LCP-direktiivin mukaisesti on uusien ja vanhojen kattiloiden osalta noudatettava yhteisen savupiipun lähestymistapaa. Tässä lähestymistavassa tarkoitetaan kahta kattilaa, joiden savukaasut johdetaan samaan piippuun tai sen ulkokuorelle. Mahdolliset sisäpiiput eivät muuta tilannetta, vaan kattilat käsitetään yhdeksi laitokseksi aina, kun savukaasut johdetaan saman ulkovai-pan sisälle. (32; 33.)

Laskettaessa kaksi erillistä kattilalaitosta yhdeksi laitokseksi, tarkoittaa tämä, että myös päästörajat määräytyvät yhteenlasketun tehon perusteella. Yhteenlaskettu teho on kyseisessä tapauksessa 193 MW. Näin ollen suurten kattilalaitosten raja, joka on LCP-asetuksen mukaan 50 MW, ylittyy reilusti. Puujättekattila ja öljykattila ovat kuitenkin saaneet toimia kevennetyillä lupaehdoilla. Tämä on ollut mahdollista, kun käyttöaika ennen vuotta 2016 on alle 10 000 tuntia puujättekattilan ja alle 20 000 tuntia öljykattilan osalta (34).

Varavoimakattiloiden nykyinen käyttö lupa on voimassa 31.12.2015 asti. Kokonaiskäyttöaika puujättekattilalla on 10 000 h 27.11.2004–31.12.2015 välisenä aikana. Käytössä olevien asetusten mukaisesti vuoden 2015 loppuun saakka on puujättekattilan hiukkaspäästöraja 150 mg/Nm^3 . Mittaus hiukkaspäästöistä tehdään kolmella erillisellä manuaalimittauksella, joista yksikään ei saa ylittää raja-arvoa. (34.)

Vuonna 2007 Euroopan komission esittämän IE-direktiivin (Industrial emissions directive eli teollisuuspäästöjen direktiivi) päästöraja-arvot tulevat voimaan vuonna 2016. Direktiivi yhdisti IPPC-direktiivin ja kuusi muuta toimialakohtaista direktiiviä yhdeksi. Tämän tarkoituksena on vähentää suurten polttolaitosten päästöjä. Näin ollen direktiivi asettaa uudet raja-arvot kattilalaitoksen ympäristölupiin. Lisäksi on mahdollista, että myöhemmin saatavalla ympäristölupapäätöksellä tulee lisämääräyksiä. Valtioneuvostolla on kansallisesti mahdollista asettaa direktiiviä tiukemmat arvot. (34.)

Nykyisessä valtioneuvoston päätöksessä LCP-asetuksen muutoksesta (798/2007) on annettu tiettyjä joustoja vanhoille laitoksille, joiden lupa on myönnetty ennen 1.7.1987. Rikkidioksidipäästöraja (SO_2) puujättekattilalla on

1.1.2016 alkaen 800 mg/Nm^3 , kun toiminta-aika rajoittuu alle 1500 h/a. Mikäli tämä käyntiaikaraja ylittyy, on kattilan rikkidioksidipäästöraja biomassan 200 mg/Nm^3 . (34.)

Typhen oksidien (NO_x) päästöraja puujätekattilalla on 450 mg/Nm^3 , mikäli toiminta-aika on alle 1500 h/a. Toiminta-ajan ylittyessä päästöraajat ovat biomassalle ja turpeelle pätevä 250 mg/Nm^3 . Voidaan kuitenkin pitää lähtökohdana, että nykyisellä käytöllä vuosittainen toiminta-aika ei puujätekattilalla tule ylittymään. Hiukkaspäästöraja tiukkenee 20 mg/Nm^3 :iin, kun se ennen vuotta 2016 oli 150 mg/Nm^3 . Lisäksi rikinpoiston vähimmäisasteeksi tulee 90 % kokonaismäärästä. Jatkuvatoimisessa tarkkailussa tulee olla rikkidioksidin ja typhen oksidipitoisuudet sekä hiukkas-, happi-, lämpötila-, paine- ja vesihöyrynpitoisuudet. (34.)

Jatkuvatoimisen tarkkailun osalta lupapäätösvalta on kuitenkin viranomaisella. Jäljellä olevan käyttöajan ollessa alle 10 000 h, on viranomaisen mahdollista myöntää lupapäätös, jonka nojalla laitos ei tarvitse jatkuvatoimista mittausta. Kun kyseessä on biomassaa polttava laitos, viranomaisen on myös mahdollista myöntää lupapäätös, jolla laitos ei tarvitse jatkuvatoimista mittausta SO_2 päästöihin, mikäli käyttäjä pystyy osoittamaan, etteivät SO_2 -päästöt missään olosuhteissa voi olla määrättyjä päästöarvoja korkeampia. (34.)

3.3 Syöttövesi- ja höyryjärjestelmä

3.3.1 Syöttövesipumput

Syöttövesijärjestelmän vedenpaine saadaan aikaan syöttövesipumppujen voimalla. Lainsäädäntö antaa tiettyjä rajoitteita koskien syöttövesipumppujen käyttöä ja syöttövesijärjestelmän suunnittelua. Omat rajoitteensa tuottavat myös puujätekattilan arinatyyppinen polttoratkaisu sekä pääpolttoaineena toimiva puujäte eli kuorimolta tuleva puun kuori.

Syöttövesipumput ovat rakenteeltaan monivaiheisia sarjapumppuja. Jokainen vaihe nostaa painetta useita bareja veden kulkiessa johtopyörien kautta

seuraavalle juoksupyörälle poistuen lopuksi viimeisen juoksupyörän paine-
aukosta paineputkeen. Syöttöveden paineen ylittäessä 100 baaria on yleen-
sä käytettävä ns. barrel-pumppuja, joissa pumppu on asennettu taotun vai-
pan sisään. (35, s. 19.)

Syöttövesipumppuja koskeva lainsäädäntö

Yksi syöttövesipumppu riittää arinakattilassa ainoastaan, mikäli polttoaineen
saannin päättyessä pystytään välittömästi lopettamaan lämmitys automaatti-
sesti. Lisäksi kattilan tulee olla öljy- tai kaasulämmitteinen tai kattila tulee olla
suunniteltu siten, että lämmityksen lopettamisen jälkeen ei kattilan rakentei-
siin tai tulipesään varautunut lämpö mahdollista kattilan putkistoissa olevan
veden höyrystymistä. (12, s. 23.)

Lopetettaessa polttoaineensyöttö automaattisesti, jää arinalle edelleen polt-
toainetta. Tästä johtuen on kattilassa oltava varajärjestelmä syöttöveden
pumppauksessa, mikä tarkoittaa käytännössä kahta syöttövesipumppua. Li-
säksi arinakattilatyypin kattilan syöttövesijärjestelmän käyttövoiman läh-
teitä tulee olla vähintään kaksi. Poikkeuksena kuitenkin on mahdollinen yh-
teinen korkeapaineverkko (12, s. 23). Tällä varmistutaan, ettei
sähkökatkoksen sattuessa ole vaaraa kattilan seinäputkissa olevan syöttö-
veden höyrystymiseen (12, s. 23). Käytännössä yhden pumpuista tulee olla
joko korkeapainehöyrykäyttöinen tai vaihtoehtoisesti varavoimaan liitettynä.

Kyseisessä tapauksessa varavoimageneraattorin tuottama teho on ainoas-
taan 350 kW, yksittäisen syöttövesipumpun tehon ollessa 1 000 kW. Tästä
syystä on yksi syöttövesijärjestelmän pumpuista oltava korkeapainehöyry-
käyttöinen.

Syöttövesijärjestelmä on turvattu varmennetun syöttöveden pumppauksen
lisäksi syöttövesisäiliöllä. Syöttövesisäiliön tilavuus on 320 m². Tällä tulee
pystyä suojaamaan kattilan kuivakeitonvaara vähintään puoleksi tunniksi.
Normaalisti syöttövesisäiliö toimii höyrymääräntasaajana. Tämä tapahtuu li-
säveden ohjauksena syöttövesisäiliöön höyrytilanteen mukaan. (15, s. 6.)

Syöttövesijärjestelmä puujättekattilalla

Syöttövesijärjestelmässä on kolme syöttövesipumppua. Nämä ovat numeroitu yhdestä kolmeen ja asennettu 1960-luvun sähköverkon mukaisesti. Syöttövesipumppu yksi ja kolme ovat sähkökäyttöisiä. Syöttövesipumppu yhden käyttömoottori on 6,3 kV jännitteellä toimiva suurjännitemoottori, jonka akseliteho on 1 000 kW ja pyörimisnopeus 3 000 r/min.

Syöttövesipumppu kahden käyttövoimana on korkeapainehöyry. Tämä pumppu on varapumppuna syöttövesijärjestelmässä. Pumppua käytetään ainoastaan, mikäli sähkösyötössä havaitaan ongelmia. Syöttövesipumppu kolmen käyttömoottori on 1960-luvulta peräisin oleva sähkömoottori. Moottorissa on säätömahdollisuus hydraulisen nestekytkimen avulla. Moottorin teho on 1 000 kW ja tässä on oma jäähdytysvesijärjestelmä.

Pumpulla yksi on vaarana, ettei syöttövesiputkisto kestä suoraikäyttöisen 1 000 kW moottorin synnyttämää painetta. Tämä on vaarana huolimatta siitä, että putkisto on mitoitettu kyseiselle pumpulle. Näistä syistä ensisijaisesti käytössä on ollut syöttövesipumppu kolme. Moottorin nestekytkin mahdollistaa pumpun säädön, eikä näin ollen aiheuta suuria paineiskuja syöttövesiputkiston rasitteeksi.

Pumpun kolme jäähdytysvesiputkisto on viime aikoina vuotanut, mikä on tuottanut ongelmia. Tämän on paikannut ja kuivannut ABB Oy kesällä 2010 (36). Ongelma ei kuitenkaan ole pitkällä tähtäimellä ratkaistu, sillä pumppua ei voida käyttää ensisijaisena pumppuna syöttövesijärjestelmässä, mikäli jäähdytys ei ole kunnossa.

Syöttövesipumppu kolmen moottorista on poistettu ylijännitesuoja, joka on asennettu sekä ollut tarpeellinen 1960-luvulla. Ylijännitesuojan tarkoituksena on suodattaa ylijännitepiikkejä eli estää herkkien laitteiden vaurioituminen ylijännitteistä, joita voi aiheutua esimerkiksi sähköverkon häiriöistä. (36.)

Nykyaikaisessa sähköverkossa tulee huomattavasti vähemmän ylijännitepiikkejä verrattuna aikaan, jolloin käyttömootorit ovat asennettu. Lisäksi nykyaikaisten käyttömootorien sisäiset suojaukset ovat huomattavasti 1960-luvun moottoreita paremmat. Tästä johtuen pumpun kolme moottoriin ei enää ole syytä asentaa ylijännitesuojaa ja on mahdollista, että myös syöttövesipumppu yhden moottorista tämä poistetaan. (36.) Ongelmana syöttövesijärjestelmässä on, ettei siinä ole tällä hetkellä varmatoimista pumpua käyttömootoreineen, jossa olisi säätömahdollisuus.

Ongelmat syöttövesipumppu kolmella ovat olleet tiedossa jo vuonna 2008, jolloin on tehty suunnitelmat syöttövesipumppu yhden käyttömootorin siirtämiseksi syöttövesipumppu kolmelle. Mikäli kyseinen käyttömootoreiden vaihto olisi tehty, olisi tämä vaatinut muutoksia syöttövesipumppu kolmen moottorin alustassa, jota olisi tullut laskea. Tuolloin vaihtotyö oli kuitenkin varma, eikä kustannusarviota tämän vuoksi tehty.

Moottoreiden vaihdosta luovuttiin vuonna 2008, koska nähtiin mahdolliseksi korjata syöttövesipumppu kolmen käyttömootorin jäähdytysvesiputkisto. Lisäksi moottorien vaihtotyö vaatii itse moottorien siirron lisäksi syöttövesipumppu yhden akselilla olevan kytkinpuolikkaan irrottamista. Kytkimen navan reikää tulee suurentaa ja kytkinpuolikas asentaa pumpun kolmen ensiöakselille. (37.)

Syöttövesipumppu kolmen moottori tulee poistaa paikoiltaan ja tälle paikalle nostetaan alustan muutostöiden jälkeen pumpun yksi entinen käyttömootori, joka tasapainotetaan paikoilleen (37). Syöttövesipumppu kolmen uudelle käyttömootorille tulee asentaa uudet sähkösyötöt sekä seisontalämmitys (37). Käyttömootorin korkeajännitekaapeleiden uusinta asennuksineen on verraten kallista kyseiseen kohteeseen.

Kolmas vaihtoehto on hankkia syöttövesipumppu yhdelle uusi taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajan hankinnalla saadaan käyttöön kaksi syöttövesipumpua, joissa molemmissa on säätömahdollisuus. Tämä on mahdollista, koska

syöttövesipumppu kolmen on mahdollista toimia varapumppuna, vaikkei tämän jäähdysvesijärjestelmä ole kunnossa.

Selvitettäessä taajuusmuuttajan hankintaa, löytyi ABB:n valikoimasta kaksi mahdollista taajuusmuuttaja vaihtoehtoa, jotka kävisivät 6,3 kV korkeajänniteverkon sekä 1 000 kW:n käyttömoottorille. Tällä hetkellä ABB:n valikoiman suurin malli on ACS 2 000. Tässä ei kuitenkaan 90 A nimellisvirta riitä, koska moottorilla nimellisvirta on 104 A. (38.)

Kesällä 2011 on ABB:n mallistoon tulossa uusi taajuusmuuttajamalli. Tämän nimellisvirta tulee olemaan yli 104 A, joka vaaditaan nykyiselle syöttövesipumppu yhden käyttömoottorille. Kustannusarvio kyseiselle taajuusmuuttajalle on noin 150 000 euroa. ABB:n toinen kyseiseen kohteeseen soveltuva taajuusmuuttaja on ACS 1 000i. Tämän asentamiseksi tulisi moottori kytkeä kolmioon, jolloin kaapeloinnin virtamitoitus tulisi tarkistaa, koska kolmioon kytkettynä virta on noin 1,73 kertaa suurempi, kuin tähtikytkennän virta. Kustannusarvio ACS 1000i –taajuusmuuttajalle on luokassa 180 000 euroa. (38.)

Uusittaessa kohteeseen matalampijännitteinen 1 000 kW tehoinen käyttömoottori sekä tälle taajuusmuuttaja, olisi tämän kustannuksiltaan hieman edullisempi. Tämän hintaluokka on 1 000 kW:n kokoluokassa noin 125 000 euroa, kun ei tarvita IP31-suojauksen omaavaa kuivamuuntajaa. (38.)

Normaalisti käytössä olevassa kohteessa taajuusmuuttajalle voidaan laskea takaisinmaksuaika. Tämä on mahdollista taajuusmuuttajan säästämien energian ansiosta. Kuitenkin otettaessa huomioon aika, jonka kattila on käytössä, ei ole kannattavaa ajatella asiaa energiansäästön kannalta. Taajuusmuuttajakäyttöhankinnat menevät näin ollen huomattavasti yli budjetoinnin.

Taajuusmuuttajien ja moottoriuusintojen ylittäessä budjetoinnin, on kannattavin vaihtoehto tehdä syöttövesipumppujen yksi ja kolme käyttömootteiden vaihtotyö. Kustannukset moottorin vaihdolle ovat arviolta yhteensä noin 30 000 euroa. Tässä on laskettu yhteen sähkö-, rakennus- ja mekaanisten

töiden kustannusarviot. Muutostyöt syöttövesipumpuille tehtäen vuonna 2012.

Muita vaihtoehtoja syöttövesipumpuille olisi muuttaa syöttövesipumppu yksi kuristussäätöiseksi tai vaihtoehtoisesti poistaa yksi pumpun vaiheista. Pumppusäädössä moottorin ominaisuuksia ei rajoiteta, vaan pumpun tuottama paine muutetaan pienemmäksi, jolla varmistettaisiin putkiston kestävyys. Kuristussäätö tuhlaa energiaa ja voi koitua ongelmalliseksi, kun virtausta säädetään venttiilein myös lieriöltä. Huolimatta Stora Enso Oyj Oulun tehtaiden pyrkimyksistä energiatehokkuuteen jokaisella osa-alueella on otettava huomioon pumpun lyhyt käyttöaika.

Pumppua käytettäessä ainoastaan noin viikon vuodessa ei energiatehokkuutta kannata nostaa liian korkeaksi prioriteetiksi. Toisaalta pumpun ollessa vuodelta 1964, on pumpun vaiheiden poisto ja tämän muuttaminen säädettäväksi mahdollista koitua ongelmalliseksi.

Kunnostustoimenpiteet syöttövesipumpuille on mahdollista tehdä ajanjaksoina, jotka eivät ole sesonkiaikaa huoltotöitä tekeville yrityksille. Tällaisina aikoina huoltotyöt voidaan saada huomattavasti alhaisempaan hintaan. Toimenpiteiden kohdistaminen on mahdollista, kun kattilan käyttö suunnitellaan pääasiassa kesälle. Todennäköisyys kattilan käyttöön keväällä ja syksyllä on siis pieni.

3.3.2 Venttiilit ja mittaukset

Useita syöttövesijärjestelmän venttiileitä tulee uusia tai huoltaa. Lieriön ylitäytön eston säätö- ja sulkuventtiilit eivät ole toimineet vuosiin ja tuottavat suurimmat kustannukset venttiileiden osalta. Kyseiset venttiilit ovat jumissa ja nämä tulee uusia toimilaitteineen. Venttiileiden säädön ei ole välttämätöntä toimia, mutta mikäli nämä eivät ole kunnossa, on prosessin ohjaus huomattavasti hankalampaa ja epävarmempaa.

Syöttöveden laadun tarkkailu on hyvin oleellista korroosion estämiseksi. Tästä syystä on syöttövedelle uusittava pH:n, johtokyvyn ja liunneen hapen mittalaitteet. Kyseiset suureet vaikuttavat myös toisiinsa siten, että esimerkiksi, poistettaessa happia tulee veden olla lievästi emäksistä.

Täyssuolanpoistolaitoksella on useita vaiheita, joissa veden ionitasapaino muutetaan ja vesi seostetaan tarvittavilla lisäaineilla, kuten hydratsiinilla ja fosfaatilla. Syöttöveden happamuus ilmoitetaan logaritmisella pH-asteikolla ja teräsputkia käytettäessä sen arvon tulee olla yli yhdeksän. Happamuutta pyritään säätämään erällä kemikaaleilla, kuten ammoniakilla sekä natriumhydroksidilla. Kyseessä olevat mittaukset tullaan uusimaan vuosina 2012–2015.

Höyryjärjestelmässä huoltoa tarvitsevat päähöyryventtiili ja tämän ohitusventtiili. Lisäksi näihin tulee uusia sähkökotelot ja päähöyryventtiilin toimilaitte. Päähöyryventtiilin kautta johdetaan tulistettu höyry turbiinille tai reduktioventtiileille, josta höyryä ajetaan matalampipaineisiin verkkoihin.

3.4 Ilma- ja savukaasujärjestelmä

3.4.1 Puhaltimet

Primääri-ilmapuhaltimille on tehtävä kuntotarkastus, jonka perusteella tehdään tarkemmat toimenpiteet. Kuntotarkastus tulee tehdä vuoden 2011 aikana, mutta tarvittavat toimenpiteet jäävät vuodelle 2012. Kunnonmääritys tulee tehdä myös apulaitteille. Voidaan olettaa, että sekä moottori ja puhallin tulee huoltaa.

Molempiin savukaasupuhaltimiin tulee tehdä kuntotarkastus, jonka perusteella määritellään tarkemmat toimenpiteet. Kuitenkin puhaltimien siipipyörien säätöjen purku, voitelu- ja pyöritys- sekä moottorin hiiliharjahuolto ovat välttämättömiä töitä.

Pääasiassa savukaasupuhallin yksi on käytössä. Tämän vuoksi kyseiselle puhaltimelle tulee tehdä toimenpiteet jo vuoden 2011 aikana. Kuitenkin suuremman kapasiteetin saavuttamiseksi on puhaltimilla pyritty ajamaan sarjaan kytkettyinä. Tämän vuoksi savukaasupuhallin kahden siipipyörien säädöt tulee myös purkaa. Tämä on kuitenkin mahdollista tehdä myös vuonna 2012, jolloin kustannukset jakaantuvat näiden vuosien kesken. Molempien puhaltimien laakereiden öljynkiertojärjestelmä tulee myös käydä läpi. Näihin ei ole varaosia, joten mahdollinen varaosien kartoitus on myös suositeltavaa.

3.4.2 Pellit ja kanavat

Ilma- ja savukaasukanavien palkeisiin on tehty kuntotarkastus, jonka perusteella voidaan todeta suurien palkeiden olevan kunnossa, mutta pieniä tulee vaihtaa. Nämä ei tuota suuria kustannuksia, mutta tulee hoitaa vuoden 2011 aikana.

Osa ilma- ja savukaasujärjestelmän peltitoimilaitteista on sijoitettu siten, ettei asennoittimiin ja kytkentöihin pääse käsiksi. Osa toimilaitteista on niin kuumissa paikoissa käynnin aikana, että pelkästään kuumuus on saanut männän tiivisteet huonoon kuntoon.

Etenkin sekundääri-ilman virtaus- sekä painepeltien toimilaitteet ovat huonossa kunnossa. Peltejä on jumissa, niiden varsia on irti ja toimilaitteita on rikki. Kyseiset laitteet tuottivat paljon ongelmia vikojensa vuoksi elokuussa 2010 puujätekattilaa käynnistettäessä. Jotta tulevaisuudessa pystyttäisiin välttämään kyseiset ongelmat, tulee sekä toimilaitteita uusia että peltejä huoltaa ja korjata.

Laitteiden paikoitusta tulee miettiä ja sijaintia paikoitellen muuttaa, jotta ne olisivat käyttöä sekä huoltoa ajatellen paremmassa paikassa. Toimenpiteet aiheuttavat yhteenlaskettuna suuren kustannuserän. Kuitenkin ne on tehtävä vuoden 2011 aikana, ennen seuraavaa käynnistystä kattilan toimintavarmuuden takaamiseksi. Lisäksi Neles asennoittimien toimilaittekokoluokkaa tulee suurentaa sekä osaa asennoittimista siirtää ja asennoittimet ja rajapa-

ketit vaihtaa. Tämä on kuitenkin mahdollista toteuttaa myöhempänä ajankohtana, esimerkiksi vuonna 2014.

Peltitoimilaitteista kuormapolttimien pellit ovat myös jumitelleet. Viat ovat peleissä, ei toimilaitteissa. Suurta kustannuserää näistä ei synny, mutta nämä on mahdollista tehdä vuoden 2012 aikana, jolloin vuoden 2011 budjetti ei täytä osin kuormitu.

3.5 Arinan hydraulikka

Hydraulisesti toimivan arinan sylinterit ovat vuoden 2010 lopussa huollettu ja osa näistä on vaihdettu. Näin ollen itse sylinterit ovat tällä hetkellä kunnossa. Kuitenkin hydraulijärjestelmässä on havaittu puutteita putkistossa, magneettiventtiileissä ja rajakytkimissä, joita tulee korjata vuoden 2011 aikana. Putkisto on osittain irti ja tämä tulee kiinnittää ja kannakoida. Magneettiventtiilit ja rajakytkimet ovat viallisia, joten ne tulee vaihtaa.

Öljynjäähdytyksen lämmönsiirrin on huonossa kunnossa ja hajotessaan tätä ei pystytä korjaamaan. Tällä hetkellä laitetta voidaan silti käyttää, joten korjaus tehtäneen vuonna 2012. Lisäksi järjestelmässä oleva paineakku on väärässä paikassa ja kooltaan liian pieni. Tämä on havaittu järjestelmässä ilmenevistä paineiskuista. Tästä johtuen pumppu ei pysy päällä, mikä tuottaa ongelmia. Kuitenkaan tämän kriittisyys kattilalle ei ole niin suuri, että tämä olisi pakollista tehdä vuoden 2011 aikana. Onkin mahdollista, että työ tehdään vasta vuonna 2013.

3.6 Öljyjärjestelmä

Puujätekatilassa poltetaan öljyä käynnistyksen sekä tukipoltona käynnin aikana. Nykyiset tukipolttimet ovat Ahlströmin vuonna 1988 valmistamat ja nämä ovat jaettu kahteen tasoon polttotavan ollessa seinäpoltto. Yhteensä polttimia on viisi, joista kolme on alaöljypolttimia ja kaksi poltinta yläöljypolttimia. Alemmat polttimet ovat teholtaan 16 MW ja ylemmät 32 MW. Tukipolttimien lisäksi on kaksi kappaletta myös Ahlströmin valmistamia käynnistysöl-

jypolttimia. Polttimet ovat varustettu asiaan kuuluvin varustein sekä toiminoin, kuten liekinvalvojin (39, s. 17).

Poltinten tehoa tullaan tulevaisuudessa nostamaan. Tämä voidaan hoitaa joko perinteisillä öljypolttimilla, tai nykyaikaisemmilla Low-NO_x-polttimilla. Low-NO_x-polttimet alentavat kattilan typen oksidi päästöjä, joita syntyy polttoaineen sisältämästä tpeestä sekä palamisilman tpeestä korkeissa lämpötiloissa. Low-NO_x-polttimet ovat kuitenkin investointikustannuksiltaan arviolta yli kaksinkertaiset perinteisiin nykyistä tehokkaampiin polttimiin nähden. Puujättekattilan vuotuisen toiminta-ajan ollessa hyvin vähäistä, ei välttämättä ole kannattavaa, eikä tarpeellista uusia polttimia Low-NO_x-tyyppisiksi.

Typen oksidien päästöjen vähentäminen ei ole puujättekattilalla kattilan lyhyen käytön vuoksi suuressa osassa. Tämän vuoksi katalyyttisen typenpoistojärjestelmän asentaminen savukaasukanavaan ei ole vaihtoehto. Tämän kustannukset olisivat poltinmuutosta huomattavasti korkeammat etenkin, kun otetaan huomioon joka tapauksessa kyseessä oleva poltinten uusinta.

3.7 Nuohoimet

Puujättekattilan lyhyen käyttöajan vuoksi ei nuohointen käyttö ole pakollista. On kuitenkin huomioitava myös syyt, joiden vuoksi puujättekattilan käyttöaste on tällä hetkellä melko vähäinen. Tämä ei ole tulevaisuudessa taattu ja pidemmällä käyntijaksolla nuohointen toimimattomuus voi tuoda suuriakin ongelmia kattilan käytölle.

Nuohoimissa tulisi uusia näiden moottorit ja rajakytkimet, jotta nämä voisivat olla käyttökunnossa. Tämä aiheuttaa kustannuksia, joiden vuoksi toimenpiteet voidaan kuitenkin tällä hetkellä siirtää kokonaan pois tehtävistä töistä.

3.8 Sähkökeskukset

Sähkökeskuksille tulee tehdä kuntoarviointi vuonna 2011, jonka perusteella tehdään tarvittavat toimenpiteet. Sähkökeskuksiin on liitettyä muun muassa

puujättekattilan polttoilmapuhaltimia, nosturi, työpaikkakeskuksia sekä valaistusta, joiden tulee olla käyttökunnossa.

Valaistuskeskukset tulee uusida ja työpaikkakeskukset tulee vaihtaa vikavirtasuojakeskuksiksi ja näitä tulee lisätä. Toimenpiteet tullaan tekemään valaistuskeskusten osalta vuosien 2011–2014 aikana ja vikavirtasuojakeskusten osalta vuosien 2011–2013 aikana. Puujättekattilan vanhoja valaisimia on huollettu ja näitä on myös uusittu vuoden 2010 lopussa noin 50 kappaletta, joten toimenpiteitä ei näille enää tarvitse tehdä.

3.9 Mittaukset

Osa mittalaitteista on välttämätöntä uusida vuonna 2011. Tästä huolimatta myös seuraavina vuosina näiden uusinnat tulevat tuottamaan suurehkojakin kustannuseriä. Polttoainepatjan paksuusmittaukset ovat virhetilassa. Mittalaitteet tähän on kokonaan uusittava ja lisäksi on syytä uusida myös muita laitteita tähän liittyen, jotta mittaus saadaan kerralla kuntoon. Kaksi petin paksuusmittausta on uusittava vuoden 2011 aikana. Loput kolme tulee uusida vuoden 2012 aikana.

Syöttösuppilon pinnanmittauksen mittalaitteet ja tuhkasäiliön pintakytkin ovat elinkaarensa päässä ja näin ollen vaihdettava. Lisäksi varaosat kyseisessä kohteessa ovat vähissä, joten mahdollinen varaosatarve kyseisten laitteiden apulaitteille olisi hyvä kartoittaa. Syöttösuppilon pinnan mittaus tulee uusida vuoden 2013 aikana ja tuhkasäiliön pintakytkin vuoden 2014 aikana.

Lämpötilalähettimet ovat Nokeval lähettäjiä, jotka ovat peräisin 1980-luvulta. Tarkoituksena on uusida muuallakin alueella olevat vastaavat laitteet. Lähettimien vaihto tehdään, koska lähettimen tiedot eivät ole nykyisellään varmoja. Toimenpiteet tulee tehdä vuosien 2012–2016 aikana.

3.10 Kuorijärjestelmä

Kuoren ohjaus leijupetikattilan ja puujätekattilan välillä on hyvin epävakaa. Tämä ongelma tulee työntösynterinin liian alhaisesta työntövoimasta. Synterini jaksaa tehdä miinusliikkeen, mutta ei plusliikettä.

Tähän mennessä plusliikkeen aikaansaamiseksi on tarvittu työntekijä auttamaan työntösynteriniä. Näin ollen synterini on hyvä vaihtaa suurempitehoiseen vuoden 2012 aikana. Ohjattaessa kuori kuorikentältä puujätekattilalle tämän tulee mennä SEG-vaa'an kautta, mikä punnitsee kohteen. Vaaka ei kuitenkaan nykyisellään ole toimintakuntoinen, mutta tämä olisi hyvä saada kuntoon viimeistään vuoden 2014 aikana.

3.11 Rakennustyöt

Puujätekattilan rakennuksessa on tehty huomattava määrä kunnostustoimenpiteitä vuoden 2010 lopulla. Näihin on kuulunut muun muassa kattilarakennuksen siistiminen jokaisessa kerroksessa. Lisäksi vesikaton ylösnostoiissa on ollut huovat irti, reunapeltejä puuttunut useiden metrien matkalta ja sadevedet ovat päässeet suoraan rakenteisiin. Nämä asiat ovat myös korjattu laittamalla pellitykset ylösnostoihin sekä vesikaton sadevesiputken juureen helmipelti. Kuitenkin edelleen rakennuksen kunnostustoimenpiteitä, kuten sadevesiviemäreiden ja lattiakaivojen kunnostusta, joka tulee suorittaa vuoden 2011 aikana, on paljon jäljellä.

Puujätekattilan alaosassa on tulenkestävä muuraus, joka tulee uusida. Tämä työ on tehtävä vuoden 2011 aikana. Mahdollinen ajankohta olisi seinäputkistojen kunnostuksen yhteydessä. Lisäksi kattilarakennuksessa tulee tarkastaa ulko-ovien toimivuus, joista tarkastetaan myös pumpput sekä vetimet ja rakennuksen yhdennentoista kerroksen hissihuoneen ikkunoiden kunto ja lukitus.

3.11.1 Tiilipiippu

Varakattiloiden savukaasut ohjataan yhteiseen tiilisavupiippuun. Puujätekat-tilan savukaasut olisi mahdollista ohjata myös leijupetikattilan savupiippuun, mikäli tämän savukaasukanava rakennettaisiin kyseiseen piippuun. Leijupe- tikattilan savupiippuun olisi mahdollista tehdä toinen sisävaippa, jonka hal- kaisija olisi kolme metriä. Näiden muutostöiden jälkeen olisi mahdollista pur- kaa tiilipiippu ja näin ollen poistaa tämän aiheuttamat kiinteät korjaustyöt ja korjauskustannukset. Kuitenkin niin kauan, kuin öljykattila toimii varakattilal- la, ei kyseistä muutostyötä ole mahdollista tehdä.

Savukaasujen leijupetikattilan piippuun ohjaamisen jälkeen olisi vaarana, et- tä nykyään varakattiloina toimivan puujätekattilan sekä leijupetikattilan tehot laskettaisiin LCP-asetuksen nojalla yhteen. Tämän myötä on mahdollista, et- tä molempien kattiloiden päästöjen raja-arvot tiukkenisivat. Tämä on mah- dollista, sillä yhteenlaskettu tehoarvo ylittää puujätekattilalla ja leijupetikatti- lalla 300 MW, joka on eräs tehon raja-arvo päästörajoissa. Näiden tekijöiden vuoksi eivät kyseiset työt ole järkeviä toteuttaa.

Tiilipiipulle tulee tehdä tiettyjä kunnostustoimenpiteitä, jotta tämän käyttöä on mahdollista jatkaa turvallisesti. Tällä hetkellä tiilipiippuun ole syytä mennä, sillä tämän nousukisko tulee uusia. Nousukisko toimii piippuun kiivettäessä varmennuksena työturvallisuudelle.

Yksi tiilisavupiipulle tehtävistä toimenpiteistä on vuosittainen tarkastus, jossa todetaan piipun yleiskunto. Tarkastuksen tekoa varten ei ole tarve nousta piippuun, vaan kunto voidaan todeta myös kuvaamalla piipun kunto etäältä riittävän tarkalla laitteistolla. Tämän vuoksi vuosittain ei ole pakko nousta piippuun. Nousukiskon uusinta onkin tämän vuoksi siirretty vuodelle 2012. Lisäksi kiskon uusinnan jälkeen tulee piipun kunto tarkastaa sekä korjata mahdolliset säröt sekä vauriot muurauksissa. Lisäksi lentoliikenteelle tarkoi- tettujen huomiovalojen kunto tulee tarkastaa ja korjata.

3.11.2 Syöttövesipumput

Toteutuessaan syöttövesipumppu yhden moottorin siirto syöttövesipumppu kolmelle vaaditaan työssä myös tiettyjä rakennusteknisiä muutostöitä. Syöttövesipumppu kolmen vanhan moottorin teräspeti ja jälkivalu tulee poistaa pois ja tälle paikalle asennetaan ja jälkivaletaan uudet peruslevyt. Teräspetin jälkivalu toteutetaan koneasennuksen jälkeen.

Kuitenkin näille töille on useita vaihtoehtoisia ratkaisuja, joilla on mahdollista parantaa syöttövesipumppujen toimintaa. Vaihtoehtoisia ratkaisuja on käyty läpi kohdassa 3.3 Syöttövesijärjestelmä.

3.12 Seinäputkisto

Puujätekattilan seinäputkistoille on tehty mittavaa remonttia vuodesta 2006 lähtien ja muun muassa vasen seinä on uusittu kokonaisuudessaan. Kattilan ollessa säilöntäkierrolla ei vuotoja ole havaittu. Seinäputkistojen uusintaan on vuodesta 2006 lähtien käytetty yli 1,5 miljoonaa euroa. Tästä huolimatta on edelleen mahdollista, että seinäputkistojen pitävyyden kanssa tulee ongelmia kattilaa paineistettaessa. Etenkin kattilan taka- ja oikea seinään tullaan kiinnittämään huomiota tulevien vuosien huoltoja sekä korjauksia suunnitellessa ja toteutettaessa.

3.12.1 Takaseinän putkisto

Puujätekattilan takaseinän kuntoon ei voida luottaa, vaan on mahdollista, että takaseinä tulee vuotamaan kattilaa paineistettaessa. Tästä syystä takaseinän putkiston uudistukset ovat hyvinkin tarpeellisia kattilan käytön kannalta. Takaseinän seinäputkistoja, eli kattilan toisen vedon puoleisia seinäputkistoja on jo korjattu vuosina 2007–2010.

Vuonna 2011 on edelleen määrä uusia takaseinän putkistoja vanhojen putkien ollessa hyvin huonossa kunnossa. Uusittavien putkien sijainti on taka-

seinällä sijaitsevien öljypolttimien korkeudella. Putkia uusittaessa tulee ottaa huomioon öljypolttimien uusinta ja polttimien kapasiteetin muutos.

Uusien suurempitehoisten polttimien asennus vaatii enemmän tilaa, kuin nykyiset polttimet. Näin ollen kattilan seinämäputkistoa, joka on samalla kattilan sisäseinä ulkokuoren ollessa lämpöeristetty, uusittaessa tulee öljypolttimien kohdalla jättää suurempi aukko kuin nykyisellään. Tällä valmistaudutaan uusien kapasiteetiltaan suurempien polttimien sekä näiden ilmayhteiden asentamisen mahdollistamiseen. Näin ollen ei tarvita suurta muutostyötä poltinten uusinnan yhteydessä.

3.12.2 Oikean seinän putkisto

Kattilan oikean seinän putkiston kunto on myös riski kattilan käytettävyydelle, jonka vuoksi on syytä selvittää putkiston todellinen kunto. Tälle seinälle olisi hyvä uusita putkistot takaseinän seinäputkistojen uusinnan jälkeen vuonna 2012.

3.13 Muita kunnostustoimenpiteitä

3.13.1 Ennakkohuolto ja laiterekisteri

Stora Enson Oulun tehtailla on käytössä SAP-tuotannonohjaus- ja varastonhallintajärjestelmät. Jokaisen kunnossapitoalueen osalta olisi hyvä käydä läpi puujätekattilan laitteisto SAP-laiterekisteriin, jotta tietokannat olisivat puujätekattilan varaosatarpeiden suhteen ajan tasalla. Lisäksi SAP-järjestelmään tulisi tehdä ennakkohuoltoselvitys ja -ohjelma, jonka perusteella olisi mahdollista toteuttaa tarvittavat ennakkohuollolliset kunnossapitotyöt. Myös kriittisyysluokitus töille tulisi tehdä, jotta olisi mahdollista nähdä tarvittavien töiden kiireellisyys.

3.13.2 Tuhkakuljettimet

Puujätekattilalla on kiikkukuljetintyyppiset tuhkakuljettimet. Kiikkujen peruskorjauksen lisäksi näiden ohjaussysteemi tulee uusia ohjelmoitavalle logiikalle. Efora Oy on selvittänyt asian ja ohjaussysteemi, jonka mukaisesti kuljetin toimii, tullaan vuoden 2011 aikana uusimaan.

Nykyisellään kattilassa syntyneitä tuhkia on pyritty ajamaan ulos kattilalaitoksesta vaihtolavoille, joiden on ollut tarkoitus liikkua tarpeen vaatiessa rullaradoilla. Lavoja on ollut neljä, joilla jokaisella on oma rullarata ja oma ohjainpelti. Nämä eivät ole kuitenkaan toimineet vuosiin ja on nähty mahdolliseksi purkaa kyseiset laitteet. Purkutyön lisäksi kuljetin, joka on vienyt tuhkan jokaiselle lavalle, on mahdollista lyhentää, jolloin tuhkat tiputetaan lähemmäksi puujätekattilan rakennuksen ulkoseinää. Tuhkat poistetaan pyöräkuormajalla.

4 ÖLJYKATTILA

4.1 Yleistä

Öljykattila on Alströmin vuonna 1973 valmistama luonnonkiertoinen vesiputkikattila. Polttoaineena on mahdollista käyttää kevyen ja raskaan polttoöljyn lisäksi pikiöljyä. Lämpöteholtaan öljykattila on 51 MW.

Öljykattila on suunniteltu siten, että pienillä muutoksilla sen käyttöpaine on mahdollista nostaa 115 baariin (40, s. 4). Kuitenkin kattilan käyttöpaineena käytetään 32 baarin painetta. Nykyisellään käyttöpaineen nostaminen 115 baariin toisi mittavia muutostöitä, koska laitteistousinnat ovat 1980-luvulta lähtien tehty alemman käyttöpaineen mukaisesti.

Toinen tulistin on vaakaputkituksesta ja suurinta suunnittelupainetta pienemmästä paineesta johtuen pakkokiertoinen. Tähän on näin ollen asennettu erillinen kiertovesipumppu. Tämä on ollut mahdollista, kun toinen tulistin on alhaisemmassa paineessa kytketty keittopinnaksi. Tällöin yläieristä lähtee kantoputkissa kylläinen höyry alas ensimmäiseen tulistimeen. Tästä höyry kulkee edelleen ruiskutusjäähdytyksen kautta kolmanteen tulistimeen, jonka jälkeen päähöyryventtiilin kautta päähöyryputkeen ja reduktiolle. (40, s. 5.)

Höyryn lämpötila öljykattilalla on 410 °C ja kehitys 22 kg/s (40, s. 4). Höyry ohjataan öljykattilalta reduktioventtiilien kautta pääasiassa matalapaineverktoon ja käytetään lämpönä prosesseissa. Tarpeen vaatiessa on kuitenkin mahdollista ohjata höyry myös kymmenen baarin välipaineverktoon.

Erillisiä savukaasupuhaltimia kattilalla ei tarvita, koska tämän tulipesä ja toinen veto ovat täysin kaasutiiviitä. Savukaasut poistuvat siis tiilisavupiipun aiheuttamalla luonnonvedolla ja polttoilmapuhaltimien paineella. Rakenne kattilassa on tyyppiä tornikattila, jonka kolme öljypoltinta on sijoitettuna tulipesän kattoon. (40, s. 4–5.)

Tuleva IE-direktiivi määrittää vastaavanlaiset säädökset öljykattilalle, kuin aikaisemmin on esitetty kohdassa 3.1.1 puujätekattilalle. Tämän hetkinen hiukkaspäästöraja öljykattilalla on 150 mg/Nm^3 , kun kokonaiskäyttöaika kattilalla on 20 000 tuntia ajalla 27.11.2004–31.12.2016. Hiukkaspäästöjen valvonta on tähän asti suoritettu kolmella manuaalimittauksella, joista yksikään ei saa ylittää kyseistä raja-arvoa. (34.)

Koska öljykattilan polttoaine on öljy, ovat säädökset erit suhteessa puujätekattilaan. Rikkidioksidipäästöjen tulee alittaa 850 mg/Nm^3 , mikäli vuotuinen toiminta-aika on alle 1 500 tuntia. Muutoin rikkidioksidipäästöt tulee olla alle 250 mg/Nm^3 . Voidaan kuitenkin olettaa, ettei vuotuinen käyttöaika tule ylitymään. Typenoksidit tulee olla alle 450 mg/Nm^3 . Hiukkaset rajoitetaan alle 30 mg/Nm^3 , kun ne aikaisemmin olivat 150 mg/Nm^3 . Rikinpoiston vähimmäisasteeksi on määritetty 80 % kokonaismäärästä. Päästömittaukset tulee suorittaa 6 kk välein. (34.)

4.2 Öljyjärjestelmä

Nykyiset öljypolttimet ovat Ahlströmin sähkö-nestekaasusytytteisiä höyryhajoitteisia polttimia. Suurin yhteenlaskettu poltettavan öljyn massavirta on 5400 kg/h (40, s. 3). Kattilalla on oma öljyasema, joka on varustettu kahdella pumpulla ja lämmönsiirtimellä tarpeellisine varusteineen.

Aluksi öljykattilan ohjaamo on sijainnut öljykattilan yhteydessä. Nykyisellään lipeälinjan ja voimalaitoksen ohjaamo sijaitsee soodakattila 7:n yhteydessä, josta öljykattilankin ohjataan. Nykyään molempien kattiloiden öljypolttimien sytytys tapahtuu ohjaamosta, mutta mahdolliset palamiseen liittyvät häiriöt, on kuitattava öljypolttimilta. Tämä on aikaisemmin ollut mahdollista tehdä myös öljykattilan ohjaamosta.

Häiriöiden kuittaus sitoo nykyisellään resursseja, sillä etenkin käyntiinajovaiheessa on työntekijöiden oltava kokoajan valmiina öljypolttimilla kuittaamassa häiriöitä. Mahdollisuutena öljypolttimien käytön helpottamiseksi on käyttöhenkilökunta ehdottanut, että öljypolttimiin asennettaisiin vastaavanlainen

järjestelmä, kuin leijupetikattilassa käytössä oleva. Tällaisessa järjestelmässä häiriöiden kuittaukset tapahtuvat suoraan kattilan ohjaamosta.

Muutostyöt olisi hyväksi tehdä joka tapauksessa, mutta etenkin, mikäli öljykattilan poltinten vaihto tulee kyseeseen. Öljykattilan poltinuusinta tulisi tehdä puujättekattilan poltinuusinnan jälkeen esimerkiksi vuonna 2014. Tämä on kohtalaisen suuri investointi, jolla kattilan käytettävyys parantuisi huomattavasti.

Polttoöljyn magneettiventtiilit ovat mallia, jota ei enää valmisteta. Lisäksi nämä ovat erittäin epävarmat ja tähänkin asti tuottaneet suuria ongelmia kattilan käynnistyksessä. Myös polttoöljynmääränmittaus on epäluotettava, joten tämä on syytä vaihtaa jo vuoden 2011 aikana.

4.3 Syöttövesi- ja höyryjärjestelmä

Öljykattilan ekonomaiserin on korjattu ja todettu tiiviiksi. On kuitenkin havaittu, ettei syöttövesi kulje oikealla tavalla ekonomaiserissä ja että se muodostaa höyrylukkoja. Tämän vuoksi ekonomaiserin elementteihin on asennettu lämpötilan mittausantureita siten, että ne kertovat ekonomaiseriin menevän ja siitä lähtevän syöttöveden lämpötilan. Tämän avulla voidaan nähdä, kuinka syöttövesi kulkee ekonomaiserissä.

Öljykattilan ekonomaiserille on tehty kunnostustoimenpiteitä, joilla on pyritty vaikuttamaan veden virtaukseen. Kuitenkin on mahdollista, että nämä pienehköt työt eivät riitä. Tämän vuoksi on testattava veden virtaus koekäyttämällä kattila. Mikäli tulos ei ole toivottu, on myös ekonomaiserin suurempiin putkiin tehtävä muutostöitä. Muutokset ovat tehtävä välittömästi.

5 KATTILALAITOSTEN YHTEISET TOIMENPITEET

5.1 Automaatiojärjestelmät

Automaatiojärjestelmän powereissa tai I/O-korteissa ilmenevät viat voivat lamaannuttaa prosessin ohjauksen koko alueella, johon laitteet ovat kytketty. Lipeälinjalla prosessi on liitetty samaan kehikkoon, joten yhden powerin rikkoutuessa, kaikkien prosessien ohjaus on vaarassa tällä alueella. Näin ollen powerien tulee olla erityisen varmasti kunnossa, jottei prosessi ja tuotannon jatkuvuus ole vaarassa. (41.)

Osa puujätekattilan, öljykattilan sekä höyryjärjestelmän powereista on yli 20 vuotta vanhoja, valmistajan suositellessa näiden vaihtoväliksi 12 vuotta. Joissakin kohteissa ongelmaksi muodostuu myös varaosien saatavuus, sillä automaatiojärjestelmän toimittaja Honeywell ei enää valmista kyseisiä tuotteita. Tuotteita on silti Honeywellilla jätetty varalle ja osa tuotteista on pystytty hankkimaan muilta tehtailta, jotka ovat uusineet vanhoja järjestelmiään, jolloin vanhat ja silti kunnossa olevat powerit ovat jääneet tarpeettomiksi. (41.)

Vaihdettavat powerit ovat SAC-, 5 V- ja LPS-tyyppisiä. Soodakattila 7:n automaatiojärjestelmän uusinnan yhteydessä vuonna 2012, siellä olevat kortit jäävät ylimääräisiksi. Soodakattilalla vastaavat powerit ovat korvattu Phoenixin neljällä Quint-powerilla. Vastaavanlainen muutostyö on tehtävä myös puujätekattilalle vuonna 2012, kun kyseiset osat vapautuvat soodakattilalta. (41.)

5.2 Laitteiston positiointi

Varakattiloilla on huomattava määrä kenttälaitteistoa, joiden positionointi puuttuu. Laitteet ovat kattilarakennuksessa verraten laajalla alueella ja näiden löytäminen ilman laajaa kokemusta voi olla erittäin vaikeaa. Tämä tu-

lee ongelmaksi, kun osa työntekijöistä siirtyy eläkkeelle ja uudemmilla työntekijöillä ei välttämättä ole samanlaista vahvaa kokemusta vanhemmista laitteista. Laitteet tulisi merkitä PI-kaavion mukaisesti, joka helpottaisi ja nopeuttaisi laitteiden löytämistä tarvittaessa myös nuoremmilla työntekijöillä.

5.3 Koulutus- ja koekäyttötarpeet

Voimalaitoksella on tällä hetkellä kohtalaisen paljon kokemusta varakattiloista. Kuitenkin ikääntyvän henkilökunnan siirtyessä eläkkeelle voimalaitoksen henkilökunnan koulutustarpeet tulee huomioida. Tämä tulee tehdä, jotta myös nuoremmilla työntekijöillä olisi tarvittava kokemus sekä taito tehdä tarvittavat toimenpiteet kattiloiden ylösajamiseksi.

Tieto-taito on selvää prosesseissa, joita käytetään päivittäin. Kuitenkin varakattiloiden kaltaisten laitteistokokonaisuuksien kohdalla, joita käytetään esimerkiksi kerran vuodessa, tilanne on täysin toinen. Tämän vuoksi tulisi tarkkaan harkita, kuinka usein kattiloita koekäytetään.

Mahdollisuutena koekäytölle olisi, että esimerkiksi kahden kuukauden välein kattiloiden kuljettimet sekä muut liikkuvat laitteet koekäytettäisiin. Lisäksi esimerkiksi neljän tai kuuden kuukauden välein käytettäisiin kattilat toimintakunnossa. Näillä toimenpiteillä olisi käyttäjien kokemuksen ja ammattitaidon kehittämisen lisäksi myös laitteistokeskeisiä vaikutuksia. Tämän avulla varmistuttaisiin laitteiston toimivuudesta ja yleisesti kattiloiden kunnosta.

Tiedettäessä huoltotarpeet ja huollettaessa laitteet jo ennakkoon, on mahdollista liittää kattilat tarpeen vaatiessa helpommin ja nopeammin höyryntuotantoon. Tätä kautta on mahdollista saada myös säästöjä. Säästöt voivat toteutua saataessa varakattilat nopeasti toimintaan. Tämä mahdollistaa leijupetikattilan vian ilmaantuessa, ettei tilanteessa tarvitse tehdä nykyään tehtyjä toimenpiteitä.

Kustannuksien syntymistä leikkautuu, kun pystytään pitämään tehtaan pääprosessit ja pääliiketoiminta-alueet toiminnassa. Näin ollen tuotantotappioi-

den minimoimisen lisäksi tehtaan ylös- ja alasajoista ei tule myöskään mahdollisia kunnossapitokustannuksia ja vaaratilanteet vähenevät. Näitä voi tulla tuotannon muutostilanteessa rikkoontuneista laitteista.

6 INVESTOINNIT

6.1 Low-NO_x-polttimet

Puujätekatilalla on edessä öljypoltinten uusinta. Poltinten uusinta on tarpeellista nykyisten heikon kunnon vuoksi. Samassa yhteydessä tullaan kuitenkin myös poltinten kapasiteettia nostamaan. Yhtenä vaihtoehtoista on low-NO_x-polttimet.

Low-NO_x-polttimilla on mahdollista saada typenoksidien päästöt jopa alle puoleen nykyisestä. Näiden hinta on kuitenkin yli kaksinkertainen perinteisiin öljypolttimiin verrattuna. Onkin syytä miettiä kyseisen poltintyyppin tarpeellisuutta, ottaen huomioon puujätekatilan vuotuinen käyttöaika.

Typen oksidienpäästöjen raja-arvo puujätekatilalle on 450 mg/Nm³ vuoden 2016 alusta, kun kattilan käyttöasteen oletetaan pysyvän nykyisellään. Typen oksidien raja-arvoihin pääsemisen ollessa ongelmana on kyseinen poltintyyppin vaihdos välttämätön ongelman ratkaisuun.

6.2 Mittaukset

Puujätekatilalla tulee uusia päästömittauksia näitä koskevan tiukentuvan lainsäädännön vuoksi. Lainsäädännön muutos vaatii, että rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkaspäästöjen seuranta tulee olla jatkuvatoiminen. Lisäksi savukaasuista tulee mitata happipitoisuus, lämpötila-, paine- sekä vesihöyrypitoisuus. Lakimuutos astuu voimaan vuoden 2016 alusta, joten mittalaitteuusinnat tulee tehdä ennen tätä.

Jatkuvatoimisen tarkkailun osalta puujätekatilalla on mahdollisuus hakea muutosta raja-arvoihin. Tämä on mahdollista, mikäli kattilan jäljellä oleva käyttöaika ei ylitä 10 000 tuntia. Lisäksi rikkidioksidin osalta vastaavat muutokset ovat mahdollisia, mikäli on mahdollista todistaa, ettei päästöjen ole mahdollista ylittää raja-arvoja.

Päästöjen jatkuvatoimiset mittalaitteet ovat verraten kalliita. Kuitenkin mikäli edellä mainitut kriteerit eivät täyty, ovat nämä pakollista uusia. Näiden yhteiskustannukset ovat arviolta paikoilleen asennettuina yli 150 000 euroa. Ajankohta mittalaitteiden uusinnalle sekä asennukselle on kohdistettu vuodelle 2015. Tämän ajankohdan jälkeen mittalaitteiden tulee olla käytössä kattiloita käytettäessä.

6.3 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimelle on tehtävä mittavia parannustöitä näiden käytettävyyden ja toimintavarmuuden nostamiseksi. Kustannuksiltaan suurimmat investoinnit kohdistuvat sähkösuodattimen tasasuuntaajamuuntajiin T5 ja T6. Tilannetta on selvitetty kunnossapitoyhtiö Eforan toimesta.

Sähkösuodattimelle on Alstom Oy tehnyt huoltotarkastuksen. Tarkastuksen perusteella sähkösuodattimen laahan ja tuhkan kuljetusjärjestelmän palauttaminen alkuasentoon on vikatilanteissa vaikeaa. Korjaus vaatisi sähkösuunnitelman ja lisäreleistyksen. Lisäksi sytytyskortin saatavuus on epävarmaa.

Sähkösuodatin on muuntajien osalta peräisin 1960-luvulta ja kriittisin tilanne on sähkösuodattimen rikkoontuessa. Huolto ja korjaus ovat etenkin muuntajille kyseenalaista, koska varaosien saatavuus voi tuottaa ongelmia.

Vaihtoehtoista kannattavin olisi investoida sähkösuodattimeen SIR-tasasuuntaajayksikkö. Yksikössä olisi tarvittava ohjauselektroniikka valmiina. Tämä tarvitsee ainoastaan kolmivaihesähkösyötön ja valvomoyhteyden, joka on mahdollista tehdä nykyisillä kaapeleilla. Tarvittaessa SIR-yksikköä on mahdollista käyttää myös muissa sähkösuodattimissa. Kyseisestä laitteistosta on pyydetty tarjous, jota ei vielä ole saatavissa. Toimenpiteiden jatkoselvittelystä vastaa Eforan voimalaitoksen kunnossapitopalveluvastaava.

Sähkösuodattimen useisiin kohteisiin tulee tehdä vielä kuntoselvityksiä, joiden perusteella tullaan toteuttamaan tarvittavia toimenpiteitä. Etenkin kiikku-

kuljettimien hallittavuus on tuottanut ongelmia, johon on puututtava vuoden 2011 aikana. Lisäksi sähkösuodattimella on tehtävä komponenttiusintoja sekä varaosakartoitusta.

6.4 Puujättekattilan automaatiojärjestelmä

Kokonaisuudessaan automaatiojärjestelmän uusinta olisi hyvä tehdä viimeistään vuosikymmenen loppupuolella esimerkiksi vuonna 2016. Tätä ennen on kuitenkin uusittava useiden merkittävästi suuremmalla käytöllä olevien prosessialueiden automaatiojärjestelmät.

Automaatiojärjestelmän uusintainvestointi tulisi tehdä, koska vanhan järjestelmän varaosatilanne yleisesti alkaa olla tällä hetkellä myös järjestelmän valmistajalla Honeywellillä erittäin heikko. Kattilalaitos on väärin käytettynä vaarallinen laitos, jonka prosessia on pystyttävä hallitsemaan aina. Etenkin arinakattilatyypinen ratkaisu, jossa on mahdollista jäädä polttoainetta kattilan tulipesään, on myös huomioitava mahdolliset ongelmat, mikäli kattilalaitoksen ohjaus keskeytyy.

Investoinnin arvo on arviolta noin puoli miljoonaa euroa. Tämä arvio on tehty aikaisempien järjestelmä uudistusten kustannusten perusteella. Nämä eivät näin ollen ole kysytyjä tarjouksia kyseiseen kohteeseen, koska toteutusajankohta toimenpiteille tulee olemaan aikaisintaan viiden vuoden kuluttua.

6.5 Savukaasupuhallin

Puujättekattilan savukaasukanaviin ja -puhaltimiin tulee tehdä nykyisen kunnan ylläpitämiseksi verraten paljon kunnostustoimenpiteitä. Puhaltimien kapasiteetti on kuitenkin edelleen liian alhainen ja tähän on pyritty vaikuttamaan ajamalla kahta savukaasupuhallinta sarjaan kytkettyinä.

Savukaasupuhaltimien sarjaan kytkennällä saadaan vain pieni kapasiteetin nosto. Tarpeen olisi näin ollen edelleen nostaa savukaasupuhaltimien kapa-

siteettia, joka onnistuu ainoastaan investoimalla uusi puhallin puujätekattilalle. Uuden savukaasupuhaltimen investointi tulisi tehdä jo vuoden 2012 aikana. Tämä tuottaa töineen arviolta noin neljännesmiljoonan kustannuslisän vuodelle 2012, mutta on kattilan käytettävyydelle erittäin tärkeää.

7 VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET

Puujäte- ja öljykattiloille on tehty edelliset painelaitetarkastukset samana vuonna. Näin ollen määrätyt vesiputkikattiloita koskevat tarkastukset tullaan myös käsiteltävänä ajanjaksona tekemään samoina vuosina. Tavallinen aikaväli kattilan määräaikaistarkastuksille on kaksi, neljä tai kahdeksan vuotta. Tämä riippuu täysin kattilalle tehtävän tarkastuksen laajuudesta. Kattiloille ei tällä hetkellä ole tarvetta tehdä ylimääräisiä NDT-tarkastuksia (42).

Ensimmäinen määräaikaistarkastus on tehtävä kattilalle käyttöönoton yhteydessä. Tässä tulee tarkastaa, että painelaite on turvallista ottaa käyttöön. Lisäksi kattilaan tehtävien muutostöiden yhteydessä on tarvittaessa otettava huomioon tarkastukset. Tällaisissa tilanteissa tarkastetaan töiden aiheuttamat muutokset kuntoon sekä turvallisuuteen.

Painelaitteeseen liittyvän putkiston tarkastukset voidaan korvata seurannalla, josta ei tarvitse ilmoittaa valvontaviranomaiselle. Haltijan ja hyväksytyt laitoksen tulee kuitenkin sopia painelaitteen seurannasta. Tämä on mahdollista, mikäli seurannalla voidaan varmistua painelaitteen turvallisuudesta. Tästä on tehtävä kirjallinen suunnitelma sekä ilmoitettava valvontaviranomaisille seurannasta sekä tämän piiriin kuuluvien painelaitteiden rekisterinumero. (43.)

Yhdenkin osapuolen katsoessa seurannan riittämättömäksi vaaditulle turvallisuudelle, on painelaitteen palattava takaisin määräaikaistarkastusten piiriin. Seurannalla voidaan korvata tässä yhteydessä seuraavia tarkastuksia: sisäpuolelta massauksella suojatun painelaitteen sisäpuoliset tarkastukset, putkiston tarkastus, mikäli nämä eivät ole rakenteellisesti kohtuudella mahdollisia sekä määräaikainen painekoe, jonka poisjättäminen on perusteltava ja arvioitava uudestaan jokaisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä. (43.)

7.1 Käyttötarkastus

Käyttötarkastus on tehtävä kattiloille kahden vuoden välein ja on laajuudeltaan määräaikaistarkastuksista vähäisin. Painesäiliöille tämän tarkastuksen suorittaminen riittää neljän vuoden välein. Tarkastus tehdään kattilan normaalin käytön aikana vallitsevissa olosuhteissa. Asioiden on oltava kunnossa painelaitteen ja sen käytön osalta. (43.)

7.2 Kattilan sisäpuolinen tarkastus

Sisäpuolinen tarkastus tulee tehdä kattiloille ja painesäiliöille neljän vuoden välein. Tarkastuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa kattila on tyhjä sekä puhdas ja sen kunto tarkastetaan perusteellisesti. Tarkastuksessa on tarkastettava, että painelaitteessa ja sen varusteissa ei ole vikoja tai ominaisuuksia, jotka vaarantavat painelaitteen turvallisen käytön. Tarkastusten tekoon ei tarvita vaativampia NDT-tarkastuksia, vaan se tehdään silmämääräisesti. Molemmille kattiloille kyseiset toimenpiteet tulee tehdä vuoden 2011 aikana. (43.)

7.3 Määräaikainen painekoe

Tarkastuksessa tehdään painekoe 1,43 kertaa käyttöä vastaavassa paineessa tai 1,25 kertaa osan laskentapaineella, joka kerrotaan edelleen materiaalin myötörajalalla $R_{p\ 0,2}$, joka jaetaan materiaalin lujuusarvolla. Painekoe tehdään arvoista suuremmalla ja tutkitaan mahdollisia vuotoja ja muodonmuutoksia. Painekoe tulee tehdä kyseisten kattiloiden tapauksessa aina nesteellä. Kokeessa on noudatettava erityistä varovaisuutta sekä otettava huomioon painelaitteen valmistajan mahdolliset ohjeet. Määräaikainen painekoe tulee tehdä joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä eli kahdeksan vuoden välein. (43.)

8 YHTEENVETO

Työn alussa tiedossa oli, että Stora Enso Oyj Oulun tehtaiden nykyisille varakattiloille on tehtävä suuria muutoksia, mikäli niitä ei tulla korvaamaan uudella kattilalla. Tämä oli todettu tiukentuvien viranomais määräysten ja käytövarmuuden ylläpitämisen vuoksi.

Uuden noin sadan megawatin tehoisen, noin 45 kg/s höyryä kehittävän kattilan hankintakustannus olisi noin 30 miljoonaa euroa. Ennen työtä oli arvioitu, että nykyisten varakattiloiden laitteiston korjaus- ja päivitystoimenpiteiden kustannuksiksi tulisi kolmesta viiteen miljoonaa euroa. Näin ollen työssä keskityttiin nykyisten varakattiloiden kunnon sekä laitteiston korjaus- ja päivitystoimenpiteiden tuomien kustannusten selvitykseen.

Työssä otettiin tavoitteeksi selvittää kunnostustyöt puujäte- ja öljykattiloiden käyttökuntoon saattamiseksi. Työt tuli jaotella vuosille 2011–2016. Töiden jaottelusta huolimatta vuodelle 2011 kohdistuvia kustannuksia kertyi alun perin yli miljoonan euron edestä. Kuitenkin varakattiloiden kokonaisbudjetin paljastuttua 580 000 euroksi vuodelle 2011 nähtiin pakolliseksi töiden priorisointi sekä tämän myötä jaottelu useille vuosille. (Liite 2.)

Kattiloille tehtäviä toimenpiteitä on yksittäisinä töinä erittäin paljon. Määrällisesti suurin osa töistä on venttiiliuusintoja ja -huoltoja. Kuitenkin tietyt suuremmat investoinnit tuottavat merkittäviä kustannuseriä. Valtaosa investoinneista on kuitenkin kattiloiden käytettävyyden kannalta erittäin merkittäviä. Näistä esimerkkinä voidaan todeta kattilan seinän korjaukset, joita ilman on kattilan käytettävyyys erittäin kyseenalaista.

Kaikkien töiden ollessa listattuina ja priorisoituina voitiin havaita kokonaiskustannusten olevan samaa suuruusluokkaa ennen työn aloitusta arvioituihin korjauskustannuksiin nähden. Puujättekattila tuottaa kustannuksista noin 90 %, mikä oli oletettavaa ennen työn aloitustakin (Liite 2).

Määrällisesti automaatiokunnossapidon töitä on erittäin paljon, ja näitä tulee tehdä melko kiireelliselläkin aikataululla. Näiden yksittäiset kustannukset eivät ole kovin suuria, mutta verraten suuren määrän vuoksi kustannukset nousevat yli 300 000 euroon (Liite 2). Käytännössä automaatioon liittyvät työt tulee olla suoritettuina vuoden 2014 loppuun mennessä (Liite 2). Tähän sisältyy laitteisto kokonaisuudessaan, pois lukien automaatiojärjestelmän uusintainvestointi.

Mekaanisen kunnossapidon töitä ei ole yhtä paljon kuin automaatiokunnossapidossa, mutta suuret investointiarvot nostavat lukeman täysin toiseen suuruusluokkaan. Kokonaisuudessaan jo vuosille 2011–2012 on kohdistettu lähes miljoonan euron edestä kunnossapitotöitä (Liite 2). Töiden priorisointi on toteutettu ja tietyt suuret työt vaativat toteutuksen kyseisellä ajankohdalla. Kustannuksia ei myöskään ole enää mahdollista jaotella näiden kertaluontoisuuden vuoksi.

Sähkötyöt eivät tuo suuria kustannuksia laitteiston uusinnassa, mutta mahdolliset investoinnit ovat vielä kustannusten osalta auki. Sähkösuodatinta koskeva investointi voi nostaa sähkötöiden ja myös kokonaiskustannuksia kohtalaisen paljon. Tarjouspyyntö toimenpiteestä on lähetetty. Kuitenkaan vastausta ei opinnäytetyön päätökseen mennessä ole saatu. Selvitystyö on edelleen menossa. On kuitenkin huomioitava sähkösuodattimen kriittisyys puujätekattilan käytön kannalta.

Rakennusosaston töistä suurin toimenpiteiden kohde tulee olemaan tiilipiipun korjaus. Korjaus on kuitenkin välttämätön, koska piipulle on asetettu tietyjä turvallisuuteen liittyviä rajoitteita, jotka tulee täyttää. (Liite 2.)

Yksittäisinä toimenpiteinä suurimmat kustannusten aiheuttajat tulevat varakattiloiden kunnostuksessa olemaan puujätekattilan öljypoltinten uusinta, seinien korjaus ja mahdollinen sähkösuodattimen SIR-tasasuuntaajyksikön investointi. Ne tulevat tuottamaan arviolta noin kolmanneksen varakattiloiden kunnostamisen kokonaiskustannuksista. Kokonaiskustannukset tulevat ole-

maan noin neljä miljoonaa euroa ennen SIR-tasasuuntaajayksikön kustannuksia. (Liite 2.)

LÄHTEET

1. Marttila, Seppo 2010. 350307 Höyrykattilat, 7 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
2. Seppälä, Malla 2005. Ydin- ja energiatekniikan seminaari. Saatavissa: http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/Tfy-56.170_05/Seppala_SCWR.pdf. Hakupäivä 5.1.2011.
3. Niemi, Eino – Rantee, Asko 1996. Kerrosleijukattila K3 Käyttöohjeet. Oulu: Kvaerner Pulping Oy.
4. Aineiden ominaisuuksia. 1999. E-oppimateriaalit. Turun kaupungin opetustoimi. Saatavissa: <http://www.tkukoulu.fi/info/aineet.html>. Hakupäivä 3.2.2011.
5. Yksi suurimmista ja nykyaikaisimmista. 2011. Esite. Stora Enso Fine Paper, Oulun tehtaat.
6. Oulun tehdas ennen ja nyt. 2011. Esite. Stora Enso Fine Paper, Oulun tehtaat.
7. Oulu 1901–1938. 2007. Oulun historiaa. Oulun kaupunki. Saatavissa: <http://www.ouka.fi/historia/1901.htm>. Hakupäivä 12.1.2011
8. KnowPulp 9.0 -oppimisympäristö, linkit Kemikaalikierto -> Haihdutus. 2010. CD-ROM. Vantaa: VTT.
9. KnowPulp 9.0 -oppimisympäristö, linkit Kemikaalikierto ->Rinnakkaistuotteet. 2010. CD-ROM. Vantaa: VTT.

10. KnowPulp 9.0 -oppimisympäristö, linkit Kemikaalikierto -> Soodakattila. 2010. CD-ROM. Vantaa: VTT.
11. Räjähdyksen siemen – Uusi ohjeistus soodakattilan käyttöporukan turvaksi. 2003. Työsuojelurahasto. Saatavissa: http://www.tsr.fi/tsarchive/files/Uutistori/tiedonsilta/2003_2/sivut/19soodakattila.html. Hakupäivä 29.12.2010.
12. SFS-EN 12952-7. 2002. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 7: Vaatimukset kattilan varusteille. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
13. Compound-putket soodakattilassa. 1999. Kunnossapitoyhdistys Pro-maint ry, nro 8. S. 26.
14. Lahtinen, Onni 2007. Membranseinän ohituspiirrustusten ohjeistus. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tutkintotyö.
15. Maanselkä, Jorma 2010. Kattilalaitoksen prosessinhoitajan työopastusohje. Työopastusohje. Oulu: Stora Enso Oyj Oulun tehtaat.
16. KnowPulp 9.0 -oppimisympäristö, linkit Kemikaalikierto -> Valkoliipeän valmistus. 2010. CD-ROM. Vantaa: VTT.
17. Peltola, Risto 2007. Suovan hallinta pesemöllä. Pori: Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
18. Kulmala, Ilpo – Riipinen, Hannu – Säämänen, Arto – Welling, Irma 2004. Pölyntorjunta. VTT. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>. Hakupäivä 22.1.2011.
19. Kiuru, Heikki 2008. Veden perusominaisuudet. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. Saatavissa:

<http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/Yhd-12.1020/Luento7.pdf>. Hakupäivä 22.1.2011.

20. KnowPulp 9.0 -oppimisympäristö, linkit Kemikaalikierto -> Kattilaveden valmistus. 2010. CD-ROM. Vantaa: VTT.
21. Turvallisuustiedote Helsingin energian Vuosaaren voimalaitoksen ympäristön asukkaille. 2006. Helsingin energia. Saatavissa: <http://www.helen.fi/pdf/VuosTurvaTied2011.pdf>. Hakupäivä: 22.1.2011.
22. Kaasalainen, Joonas 2007. Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energia- ja ympäristötekniikan osasto. Kandidaattityö.
23. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uudistettu painos. Helsinki: Edita.
24. Kukkonen, Ari 2004. Päästömittausanalysointit ja niiden kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, nro 8. S. 6.
25. WWF. 2001. Kestävästä energiasta uudet nokiät – Suomen kestävästi energiategnologian vienti. Saatavissa: <http://www.wwf.fi/www/uploads/pdf/Energiavientiselvitys%2027.11.pdf>. Hakupäivä 22.1.2011.
26. Typpidioksidipäästöt alas voimalaitoksissa. 2008. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, nro 2. S. 56.
27. Majanne, Yrjö 2010. ACI-21030 Prosessiautomaation sovellukset, 7op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2010. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
28. KnowPulp 9.0 -oppimisympäristö, linkit Päästöjen hallinta. 2010. CD-ROM. Vantaa: VTT.

29. Matilainen, J. 1988. Käyttö-ohje. Arinakattila PJK 2. Osa 2. Varkaus: Ahlström Osakeyhtiö.
30. PJK-Kattila NDT-tarkastukset. 2004. Tarkastuskirja. NDT-konsultit Oy. Kemi: NDT-konsultit Oy.
31. Matilainen, J. 1988. Käyttö-ohje Arinakattila PJK 2. Osa 5. Varkaus: Ahlström Osakeyhtiö.
32. L 16.8.2007/798. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen rajoittamisesta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta.
33. L 23.10.2001/80/EY. Direktiivi tiettyjen suurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauspäästöjen rajoittamisesta.
34. Partanen, Mervi 2010. Varavoimakattiloiden ympäristömääräykset. Oulu: Stora Enso Oyj Oulun tehtaat.
35. Tuikka, Henri 2007. Hyötysuhteen parantaminen höyryvoimalaitoksissa. Oulu: Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Kandidaattityö.
36. Ojalehto, Juha 2010. Kunnossapitopalveluvastaava, Efora. Haastattelu 9.12.2010.
37. Haapamäki, Markku 2008. Syöttövesipumppu 3:n moottorin uusinta. Oulu: Stora Enso Oyj Oulun tehtaat. Työseloste.
38. Mård, Olli 2010. Myynti-insinööri, ABB. Puhelinhaastattelu 18.11.2010.
39. SFS-EN 12952-8. 2002. Water-tube boilers and auxiliary installations. Part 8: Requirements for firing systems for liquid and gaseous fuels for the boiler. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

40. Seppänen, Armas 1988. Öljykattilan käyttöohje. Oulu: Veitsiluoto Oy.
41. Rautioaho, Matti. Järjestelmäsuunnittelija, Stora Enso. Haastattelu 15.12.2010.
42. Sillanpää, Jussi. Tiimityönjohtaja, Inspecta. Puhelinhaastattelu 12.1.2011.
43. L 18.10.1999/953 §18. Päätös painelaiteturvallisuudesta.

LIITTEET

Liite 1. Lähtötietomuistio

Liite 2. Yhteenvetotaulukko