

Erkki Helanummi

**KUITUSAVEN KOEPOLTON SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA
ANALYSOINTI**

KUITUSAVEN KOEPOLTON SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA ANALYSOINTI

Erkki Helanummi
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Erkki Helanummi

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Kuitusaven koepolton suunnittelu, toteutus ja analysointi

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Planning, Executing and Analyzing the Trial Burning Periods of Deinking Sludge

Työn ohjaajat: Jukka Yli-Kunnari, Esa Ruonala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 52

Opinnäytetyö tehtiin Stora Enso Veitsiluodon sellutehtaan voimalaitokselle. Työssä suunniteltiin kuitusaven polttamista varten koepolttojaksoja ja tutkittiin kuitusaven polttamisen vaikutuksia kattilan polttoainejärjestelmiin, tulipesään, ilmapäästöihin ja koepolttojaksoilla muodostuneisiin tuhkiin. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, pystytäänkö kuitusavea hävittää polttamalla sitä Veitsiluodon leijupetikattilassa.

Kuitusaven koepolttoa varten suunniteltiin aluehallintoviraston myöntämän ympäristöluvan puitteissa kaksi viikon mittaista koepolttojaksoa. Koepolttojaksoja suunniteltiin kattilakuormien mukaan. Koepolttojaksoilla kattilasta tutkittavia parametreja oli yhteensä 33 kappaletta. Ensimmäinen koepolttojakso suoritettiin maalikuussa ja toinen koepolttojakso toukokuussa. Kuitusavea poltettiin sekoitettuna muihin voimalaitoksella käytettävissä oleviin polttoaineisiin suhteilla 1:10 ensimmäisellä koepolttojaksolla ja 1:4 toisella koepolttojaksolla.

Koepolttojaksoilla huomattiin kattilan ilmapäästöjen kohonneen ja tuhkien bariumin liukoisuuden kasvaneen, jopa sellaiselle tasolle ettei tuhkia voida hävittää kaatopaikalle. Kattilan ilmapäästöjä voitaisiin hallita, jos kattilan polttoilmoja säädettäisiin paremmin kuitusaven polttoa varten. Kuitusaven todettiin olevan huono polttoaine, koska sen poltto vaikuttaa poltossa syntyvien tuhkien laatuun merkittävästi.

Asiasanat: kuitusavi, leijukerroskattila, voimalaitos

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Energy Technology

Author: Erkki Helanummi

Title of thesis: Planning, Executing and Analyzing the Trial Burning Periods of Deinking Sludge

Supervisors: Jukka Yli-Kunnari, Esa Ruonala

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Pages: 52

The thesis was done to Stora Enso, Veitsiluoto pulp mills powerplant. In this thesis the trial burning periods of deinking sludge were planned and effects of burning the deinking sludge to the powerplants fuel systems, furnace, air emissions and ashes was carefully researched. The goal of this thesis was to figure if it is possible to burn deinking sludge in the Veitsiluoto pulp mills powerplant.

Two trial burning periods were planned within the environmental permit granted by Aluehallintovirasto. 33 different parameters were closely observed during the trial burning periods. The first period was taken place in March and the second period in May. Deinking sludge was first mixed with other types of fuels used by the powerplant before insertion to the main fuel supply line.

Within the trial burning periods the air emissions were high, and quality of ashes formed during the trial burning periods were bad. The air emissions problem could be solved if the combustion air was adjusted better. Deinking sludge was determined to be lousy fuel because it brings down the quality of ashes forming from the powerplant.

Keywords: Deinking sludge, Bubbling fluidized bed boiler, Powerplant

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 STORA ENSO	8
2.1 Konserni	8
2.2 Veitsiluoto	8
3 PALAMINEN	11
3.1 Leijukerros poltto	11
3.2 Veitsiluodon K7-leijupetikattila	13
4 TUHKA	18
4.1 Eri polttoaineista muodostuva tuhka	18
4.1.1 Puu	18
4.1.2 Turve	19
4.2 Tuhkan hyötykäyttö	20
4.2.1 Lannoituskäytön vaikutukset	20
4.2.2 Maanrakennuskäyttö	21
4.3 Veitsiluodon K7-leijupetikattilalla syntyvien tuhkien ominaisuudet	22
4.3.1 Lentotuhkan liukoisuus	22
4.3.2 Pohjatuhkan liukoisuus	23
4.3.3 Lento- ja pohjatuhkan alkuaineanalyysi	24
5 KUITUSAVI	26
5.1 Kuitusaven lähteet	26
5.2 Kuitusaven määrä ja ominaisuudet	27
5.3 Kuitusaven poltto	28
6 KOEPOLTTOJAKSOJEN TOTEUTUS	30
6.1 Maaliskuun koepolttojakso	31
6.1.1 Ajojärjestelyt	31
6.1.2 Tuhkanäytteiden otto koepolttojaksolla	33
6.2 Toukokuun koepolttojakso	33

6.2.1 Ajojärjestelyt	33
6.2.2 Näytteidenotto	34
7 KOEPOLTTOJAKSOJEN TULOSTEN ANALYSOINTI	36
7.1 Maaliskuun koepolttojakso	36
7.1.1 Polttoaineiden ja tuhkien määrät	36
7.1.2 Kattilan toiminta	37
7.1.3 Tuhkien laboratoriotulokset	38
7.2 Toukokuun koepolttojakso	41
7.2.1 Polttoaineiden ja tuhkien määrät	41
7.2.2 Kattilan toiminta	42
7.2.3 Tuhkien, kuitusaven ja lietteen laboratoriotulokset	44
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Stora Enso Veitsiluodon paperitehtailla syntyvän lietteen, kuitusaven, polttamisen mahdollisuuksia ja vaikutuksia Stora Enso Veitsiluodon leijukerroskattila K7:ssa. Opinnäytetyössä selvitettiin myös kuitusaven poltossa muodostuvien tuhkien laatu.

Kuitusaven poltto järjestettiin Alueviraston myöntämän ympäristöluvan puitteissa kahtena viikon mittaisena koepolttojaksona. Koepolttojaksot suunniteltiin kattilakuormien mukaan maaliskuulle ja toukokuulle. Tarkoituksena oli selvittää kuitusaven polton vaikutuksia talviaikaan suurilla kattilakuormilla ja kevätaikaan, jolloin kattilakuorma olisi lähellä minimiä.

Koepolttojaksoilla seurattiin kuitusaven vaikutuksia polttoainekuljettimien likaantumiseen ja toimivuuteen, kattilan olosuhteisiin, lämpötiloihin ja ilmapäästöihin. Koepolttojaksoilta kerättiin laajasti lento- ja pohjatuhka näytteitä, jotka analysoitiin yhteistyössä Lassila & Tikanoja Oyj:n kanssa laajoin laboratoriotestein tarkoituksena selvittää muodostuvien tuhkien hyötykäyttömahdollisuuksia.

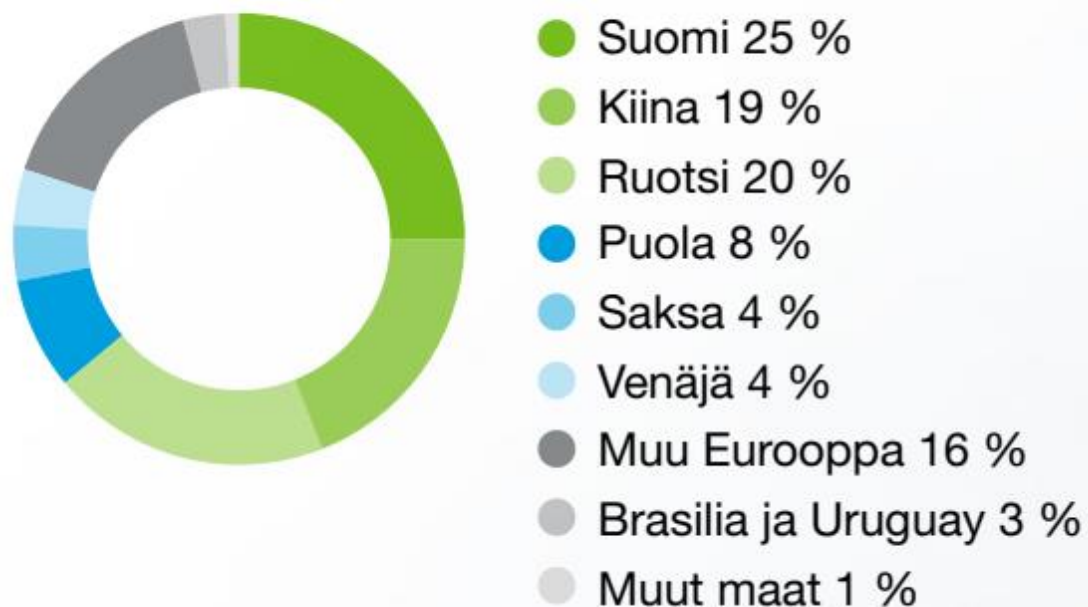
Kuitusavea käytetään tällä hetkellä läheisellä kaatopaikalla maisemointitarkoitukseen, mutta lähivuosina uuden ympäristöluvan myötä kuitusavea ei maisemointitarkoitukseen voida käyttää. Tämän vuoksi tehtaalla oli tarve selvittää uusia mahdollisuuksia hävittää syntyviä lietteitä.

2 STORA ENSO

2.1 Konserni

Stora Enso kuuluu maailmaan suurimpiin kartongin, paperin ja sahatavaran tuottajiin. Stora Ensolla on yhteensä 26 000 työntekijää, ja kuvasta 1 voidaan nähdä työntekijöiden jakautuminen eri maiden välillä. Stora Enson liikevaihto oli vuonna 2019 10,1 miljardia euroa. (1.)

Henkilöstö maittain¹



KUVA 1. Stora Enson henkilöstö jakauma (1)

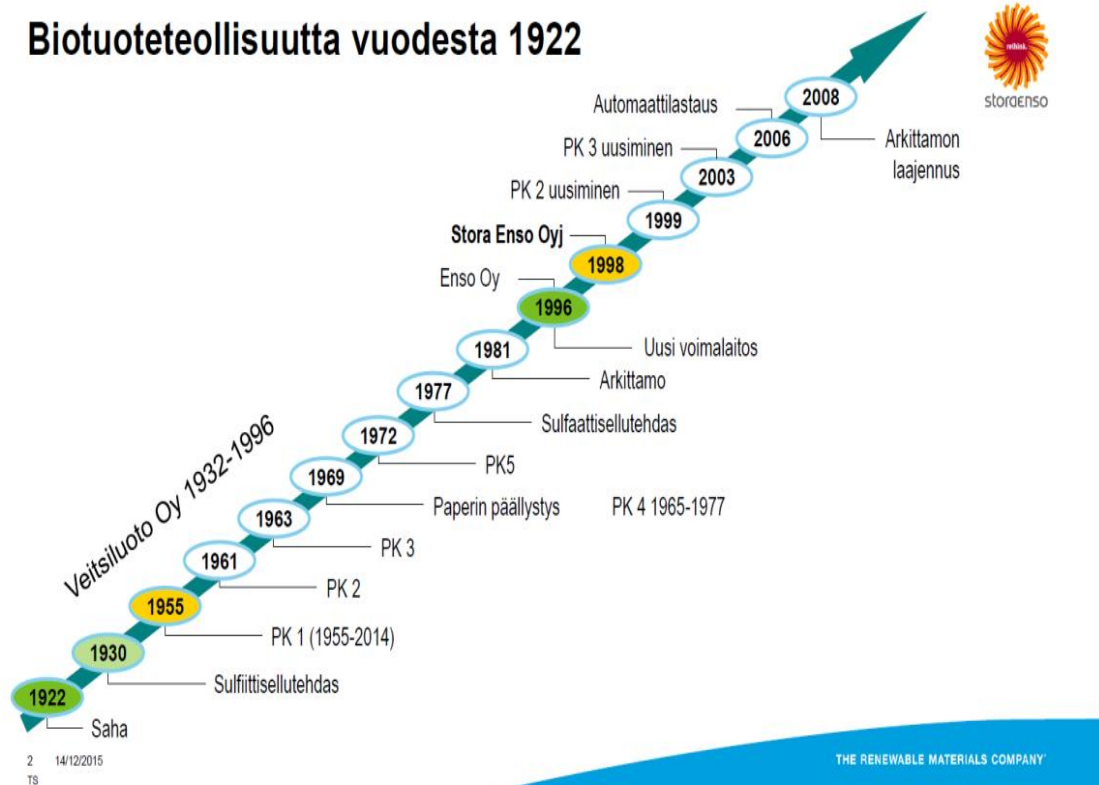
Suurin osa Stora Enson henkilöstöstä, tuotantokapasiteetista ja liikevaihdosta sijoittuu Eurooppaan. Itä- ja Keski-Eurooppa ovat tärkeitä aaltopahvin ja puutuotteiden tuotantoalueita. (2.)

2.2 Veitsiluoto

Veitsiluodon saarella toiminta alkoi vuonna 1922, jolloin saarelle rakennettiin saha. Vuonna 1930 veitsiluotoon rakennettiin sulfiittisellutehdas. Veitsiluoto Oy

perustettiin vuonna 1932, ja se toimi aina vuoteen 1996 asti, minä aikana yhtiö rakennutti viisi paperikonetta. PK 1 oli toiminnassa vuodesta 1955 vuoteen 2014, PK 4 vuodesta 1965 vuoteen 1977 ja PK 2, PK 3 ja PK 5 ovat toiminnassa vieläkin. Vuonna 1977 sulfiittisellutehtaan tilalle rakennettiin sulfaattisellutehdas ja vuonna 1981 rakennettiin arkittamo. Vuonna 1996 Veitsiluoto Oy ja Enso-Gutzeit-Oy yhdistettiin Enso Oy:ksi ja samana vuonna rakennettiin uusi voimalaitos. Vuonna 1998 Enso Oy ja ruotsalainen Stora-yhtymä yhdistettiin nykyiseksi Stora Enso Oy:ksi. (3.) Kuvasta 2 nähdään veitsiluodon tehtaan kehitystä vuodesta 1922.

Biotuoteteollisuutta vuodesta 1922



KUVA 2. Veitsiluodon tehtaan historia (3)

Veitsiluodon tehdas sisältää arkittamon, kolme paperikonetta, hiomon, sahan, kuorimon, sellutehtaan ja voimalaitoksen. Paperikoneet 2 ja 3 valmistavat kirjekuori-, kouluvihko- ja tulostus- ja lomakepapereita 285 000 t/a/pk ja arkittamalla valmistetaan A4- ja A3-arkkeja. Paperikone 5 valmistaa päällystettyjä aikaka-

lehti- ja pakkauspapereita 280 000 t/a. Hiomolla valmistetaan mekaanista massaa aikakauslehtipapereihin 90 000 t/a. Sahalla valmistetaan mäntysahatavaraa rakennus- ja puusepänteollisuudelle 200 000 m³/a. Sellutehtaalla valmistetaan happivalkaistua koivu- ja havusellua 375 000 t/a. Henkilöstöä Veitsiluodossa on yhteensä noin 850, joista 600 toimii Stora Enson alaisina, 150 Eforan alaisina ja muita työntekijöitä on n. 100. (4.)

Veitsiluodon tehdas käyttää puuta 2 500 000 m³/a. Yli puolet tästä puumäärästä saadaan Pohjois-Suomen yksityismetsistä. Puut kuljetetaan junilla ja autoilla tehtaalle. Veitsiluodon tehtaalle tulevan puuraaka-aineen alkuperä voidaan jäljittää 100-prosentisesti. (4.)

Voimalaitokselta ja sellutehtaalta saadaan 9 100 TJ lämpöenergiaa tehtaiden käyttöön. Sähkön tarve tehtaalla on 900 GWh vuodessa, ja tästä määrästä saadaan tuotettua voimalaitoksella yli puolet. Polttoaineina voimalaitoksella käytetään puuta, kuorta ja puujätettä (26 %) ja turvetta (20 %). Sellutehtaan soodakattilalla poltetaan mustalipeää (54 %). Näistä polttoaineista kotimaisia on 99 % ja biopolttoaineita 80 %. (4.)

3 PALAMINEN

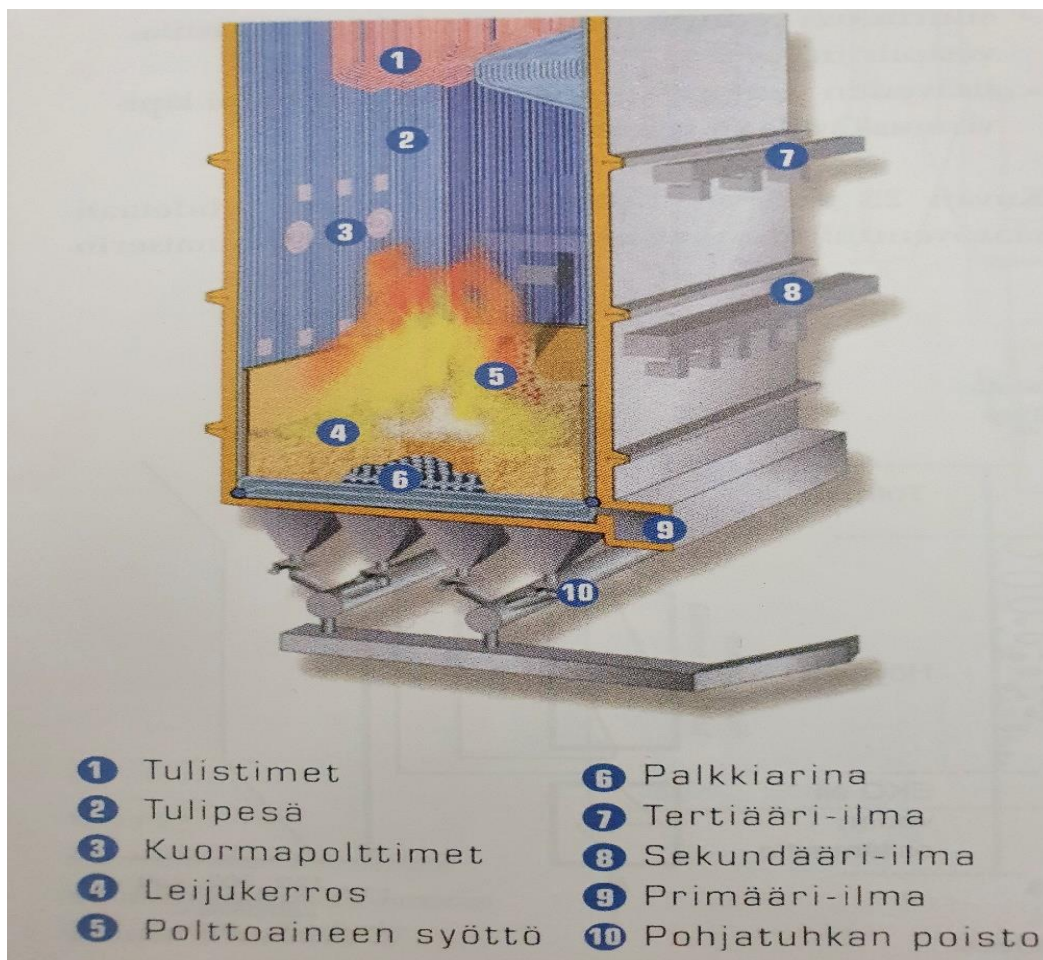
Yleensä palamisella tarkoitetaan aineen kemiallista yhtymistä happeen. Polttoaineissa palavina aineina toimivat muun muassa vety, rikki, ja hiili. Näiden aineiden reagoiessa hapen kanssa vapautuu lämpöä ja tätä kutsutaan palamiseksi. Syttymisellä tarkoitetaan, että palavan aineen ja hapen välinen reaktio kiihtyy siihen pisteeseen, että reaktio pitää itseään yllä. Terminen syttymisteoria sanoo polttoaine-ilmaseoksen syttyvän lämpötilan kasvaessa riittävän korkeaksi. Seos voi syttyä itse, mikä vaatii tarvittavan energian saamisen suoraan palamisreaktiosta. Seos voidaan myös pakottaa syttymään tuomalla siihen ulkopuolista energiaa kipinän tai liekin avulla. (5.)

3.1 Leijukerros poltto

Leijukerros polttoon ryhdyttiin käyttämään energiantuotannossa 1970-luvulla, ja se on syrjäyttänyt yli 20 MW:n tehoilla kokonaan arinatekniikan. Leijukerros poltto on myös hyvä vaihtoehto pienemmilläkin tehoilla. (6, s. 36 - 37.)

Leijukerrostekniikka on polttotapa, jossa polttoaineen palaminen tapahtuu leijuttettavan hiekan seassa. Leijuttaminen tapahtuu ilman avulla, jota syötetään alhaalta päin petiin. Leijukerroskattiloita on kahdenlaisia: kerrosleijukattilat ja kiertoleiju- eli kiertopetikattilat. Kattilatyypin periaatteellinen ero on leijutusnopeudesta johtuva hiekan käyttäytyminen. Kerrosleijukattilassa kattilan pohjalle muodostetaan hiekasta 0,4–0,8 m paksu kerros, jonka pinta on selvästi erotettavissa. Kerrosleijukattiloissa peti pysyy kattilan pohjalla paikallaan. Kiertopetikattiloissa käytetty hiekka on hienompaa ja poistuu kaasuvirran mukana tulipesästä. Hiekka erotetaan syklonin avulla savukaasuista ja palautetaan kattilaan. Leijukerroskattiloiden hyötynä on mahdollisuus polttaa kosteita polttoaineita, koska polttoaineet kuivuvat hautautuessaan kuumaan petihiekkaan. Kiertoleijukattilalla voidaan polttaa myös kivihiiltä kosteiden polttoaineiden lisäksi. Palamattomat hiilipartikelit saadaan syklonin avulla palautettua hiekan tavoin tulipesään. (6, s. 36-37.)

Kuvassa 3 on esitetty leijukerroskattilan rakennetta. Leijukerrospoltojärjestelmien polttotila muodostuu leijusuutinarinasta, muurauksista ja petihiekkakerroksesta. Kiinteä polttoaine syötetään kattilaan yhdestä ja useammasta pudotustorvesta. Pienemmät partikkelit palavat heti kattilaan syötettäessä leijukerroksen yllä, ja suuremmat partikkelit putoavat petiin, jossa ne kuivuvat ja palavat. Jäänöshiili palaa pääasiassa leijupedissä ja haihtuvat aineet palavat niin pedissä kuin sen yläpuolella. Tulipesän alaosa on muurattu, mikä suojaa tulipesää eroosiolta. Tulipesän muuraus myös edesauttaa kosteiden polttoaineiden palamista korkean lämpötilan vyöhykkeessä. Leijukerrokseen kertyy ajan myötä karkeaa petimateriaalia, kiviä ja rautaesineitä. Nämä poistetaan pedistä pohjatuhkan suppioiden kautta vesijäähdytetyille pohjatuhkaruuveille ja sitä kautta pohjatuhkavalle. (6, s. 36 - 37.)



KUVA 3. Leijukerroskattilan rakenne (6, s. 36 - 37)

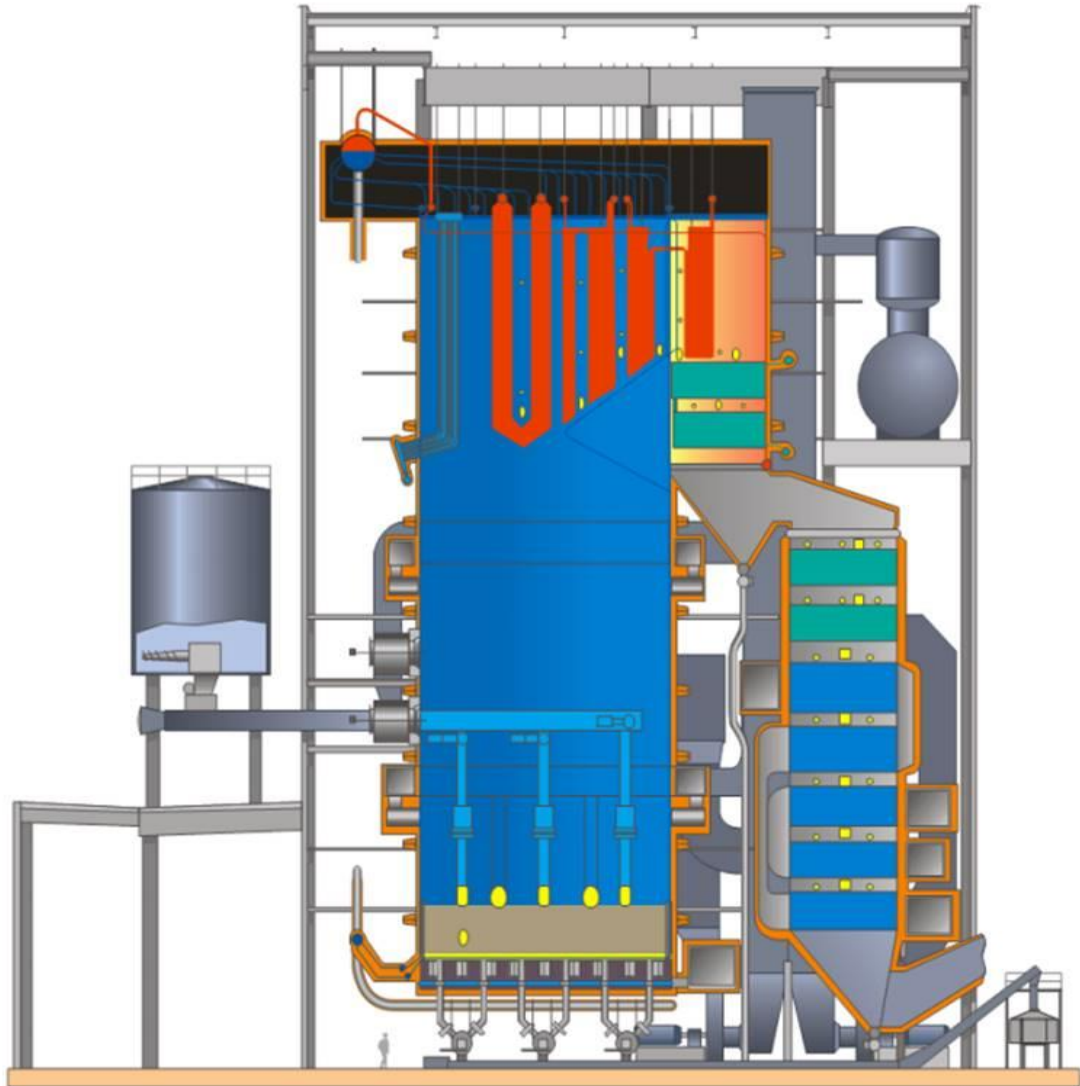
Savukaasut puhdistetaan lentotuhkasta sähkösuotimien avulla ja lisäksi lentotuhkaa kerätään savukaasukanavien vedoista. Näistä kerätty lentotuhka kuljetetaan paineilman avulla lentotuhkasiilon. Lento- ja pohjatuhkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi maan lannoitukseen tai maanrakennukseen. (6, s. 36 - 37.)

Leijupolton onnistumiseen tarvitaan leijutuskaasun tasaista jakautumista läpi ariinan. Polttoaineen laadun ja syötön on oltava tasaista. Peti on pidettävä polttoaineelle sopivana, yleensä 700–900 °C, jotta tuhka ei sula. Polttoaineen palamisnopeuden on oltava suuri, jotta petiin ei pääse muodostumaan polttoainevarastoa vaan kaikki syötetty polttoaine palaisi nopeasti. Polttoaine on sekoitettava tehokkaasti ennen kattilaan syöttöä. Petihiekan raekoko on pidettävä sopivana, että leijutus toimii. Pedin korkeus on pidettävä riittävänä. Ilman ja polttoaineen suhde on pidettävä oikeana. (6, s. 36 - 37.)

Leijupedin ylösajoa varten kattilalla on käynnistyspolttimet, jotka käyttävät maakaasua tai kevyttä polttoöljyä polttoaineenaan. Kattilalaitokset on yleensä myös varusteltu maakaasulla tai öljyllä toimivilla kuormapolttimilla, jotka takaavat riittävän kattilatehon saavuttamisen, jos kiinteän polttoaineen syötössä on häiriöitä tai poltetaan liian huonolaatuista polttoainetta. (6, s. 36 - 37.)

3.2 Veitsiluodon K7-leijupetikattila

Veitsiluodon K7-leijupetikattila on ylhäältä kannatettu luonnonkiertokattila. Kuvasta 4 nähdään Veitsiluodon leijupetikattilan rakennetta. Tulipesän pohjalla on leijuarina, joka mahdollistaa leijukerrospolton. Leijukerros on kuplivaa petityyppiä, jossa hiekkakerros pysyy matalana eikä lähde kiertoon. Tämä polttotekniikka sopii hyvin huonolämpöarvoisten ja märkien polttoaineiden, kuten kuoren, puujätteen ja lietteen polttoon. (7.)



KUVA 4. Veitsiluodon leijupetikattila (8)

Kattilan päämitoitussarvot:

- | | |
|--------------------------------|-------------------|
| • Valmistaja | Tampella Power Oy |
| • Rakennusvuosi | 1995 |
| • Mitoituskuorma leijupoltolla | 95 kg/s |
| • Maksimikuorma öljyllä | 70 kg/s |
| • Höyryn paine | 90 bar (y) |
| • Höyryn lämpötila | 525 °C |
| • Nettolämpöteho leijupoltolla | 246,2 MW |

Puhaltimien jälkeen ilman esilämmitystä jatketaan höyryluvoilla sekä savukaasuluvoilla. Palamisilma johdetaan kattilaan leiju- ja sekundääri-ilmapuhaltimen kautta. Molempien mitoituskapasiteetti on 1 x 100 %. Savukaasupuhaltimien mitoituskapasiteetti on n. 2 x 70 %. (7.)

Kattila on varustettu yhdellä 3-kenttäisellä sähkösuodattimella. Sähkösuodatin erottaa lentotuhkan savukaasuista. Lentotuhka kuljetetaan suodattimen kuu-desta tuhkasuppilosta paineilman avulla lentotuhka siiloon. Osa lentotuhkasta kerätään toisen vedon ja luvotornin suppiloihin ja kuljetetaan mekaanisesti karkeanpoistolavalle. Tulipesän pohjalle on sijoitettu pudotustorvet, joiden kautta poistetaan karkeaa petimateriaalia ja pohjatuhkaa. (7.)

Kattilalaitos on varustettu puupolttoaineen, kuoren, lietteen ja turpeen kerrosleijupolttolaitteilla. Raskas ja kevyt polttoöljy toimivat käynnistys- ja varapolttoaineena. Kiinteän polttoaineen petiin syöttöä varten on kaksi rinnakkaista kuljetinlinjaa, joiden mitoituskapasiteetti on 2 x 70 %. Kattila on varustettu neljällä kuormapolttimella, jotka sijaitsevat kahdella eri poltintasolla. Kuormapolttimilla voidaan saavuttaa n. 70 %:n kattilateho. Alemman tason kuormapolttimilla on mahdollista polttaa kattilan käynnistyksen yhteydessä kevyttä polttoöljyä, mutta normaalisti kuormapolttimilla poltetaan raskasta polttoöljyä. Leijupedin neljä käynnistyspoltinta sijaitsevat kattilan molemmilla sivuseinillä, noin kolme metriä pedin yläpuolella. (7.)

Kuori

Veitsiluodon voimalaitoksella poltetaan sellutehtaan sellun valmistuksessa syntyvää havu- ja koivukuorta. Kuori tuodaan hihnakuljetinta pitkin kuorimolta polttoaineen jakajalle, joka jakaa polttoaineen kuoren välivaraston ruuvipurkaimen päälle tasaisesti 100 asteen sektorilla.

Turve

Turvetta tuodaan rekkarahdilla voimalaitokselle. Rekat purkavat turpeen kolakuljettimelle, jonka kautta turve kulkee raudanerottimen, seulomon ja turvemurskai-

men läpi turvesiiloon. Turvesiilon pohjalla on ruuvipurkain, joka asetusten mukaan purkaa turvetta polttoon. Turvetta pyritään polttamaan 10–20 %:n suhteella muuhun polttoaineeseen.

Liete

Tehtaan jätevesilaitokselta tulevaa lietettä poltetaan hävitys tarkoituksella voimalaitoksella. Sekaliete säiliön jälkeen lietteeseen lisätään polymeeriä ja ajetaan kahden suotonauhapuristimeen, jossa lietteestä puristetaan vettä pois ja kuivaainetta saadaan korkeammaksi, noin 25 %:n tasolle. Puristimien jälkeen liete revitään repijäruuveilla pienemmäksi ja tuodaan hihnakuuljetinta pitkin voimalaitoksen polttoainevirtaan.

Polttoöljyt

Voimalaitoksella käytetään kevyttä ja raskasta polttoöljyä käynnistys- ja tukipolttoaineena. Kevyttä polttoöljyä voidaan käyttää neljässä petipolttimessa ja kahdessa kuormapolttimessa. Kattilan käynnistyksessä petipolttimia käytetään pedin lämmitykseen, jotta peti saadaan tarpeeksi kuumaksi kiinteän polttoaineen palamista varten. Kahdella kuormapolttimella voidaan polttaa kevyttä polttoöljyä tukipolttoaineena silloin, kun raskaan polttoöljyn polttamiseen tarvittavaa hajotushöyryä ei ole saatavilla. Raskasta polttoöljyä poltetaan silloin kun kiinteän polttoaineen syötössä on häiriöitä, tai silloin kun kiinteän polttoaineen avulla saatava kattilakuorma ei riitä tehtaan tarpeisiin.

Muut puu polttoaineet

Voimalaitokselle tuodaan lähialueilta rekoilla kuorta ja sahan puujätettä. Näitä polttoaineita ajetaan kuori- ja turvetaskun kautta polttoainevirtaan.

Polttojäte

Tehdasalueelta kerätään polttojätteitä, jotka tuodaan voimalaitokselle poltettavaksi. Kaikki polttojäte ajetaan murskaimen kautta kolakuljettimelle ja varastoidaan turpeen kanssa turvesiilossa, josta sitä annostellaan purkuruuvien avulla polttoon.

4 TUHKA

Energia- ja metsäteollisuudessa syntyy vuosittain lähes 600 000 tonnia turve- ja puutuhkaa. Puupohjainen tuhka sisältää runsaasti ravinteita ja on hyödynnettävissä lannoitekäyttöön. Energia- ja metsäteollisuudessa syntyvä tuhka sopii ominaisuuksiltaan myös erilaisiin maarakennuskohteisiin, esimerkiksi Suomessa vuosittain käytetystä noin 100 miljoonasta tonnista kiviainesta voitaisiin osa korvata tuhkillä. (9, s. 60.)

Yleistasolla tuhkasta puhuttaessa tarkoitetaan joukkoa erilaatuisia tuhkia. Syntyneen tuhkan laatuun ja ominaisuuksiin vaikuttavat merkittävästi polton raaka-aineet, tuhkan keräyspaikka eli onko tuhka lento- vai pohjatuhkaa sekä polttoprosessi. Lannoitevalmisteena tuhkaa voidaan käyttää lannoitteena, kasvualustoissa ja kalkitusaineena. Maanrakennusmateriaalina käytettyä tuhkaa voidaan käyttää meluvalleihin, päällysrakenteisiin ja penkereihin. Tuhkaa käytetään hyödyksi myös betonin ja sementin valmistuksessa. Käyttökohteen valinta tehdään tuhkan laadun ja ominaisuuksien perusteella. (9, s. 60.)

4.1 Eri polttoaineista muodostuva tuhka

4.1.1 Puu

Puhdas puutuhka sisältää käytännössä kaikki puun tarvitsemat ravinteet tyypeä lukuun ottamatta (9, s. 26).

TAULUKKO 1, Puutuhkan ravinnepitoisuudet (9, s. 26)

Ravinne	%
Fosfori (P)	0,2–3
Kalium (K)	0,5–10
Kalsium (Ca)	5–40
Boori (B)	< 0,1

Puutuhka sisältää aina myös rautaa, joka sitoo fosforin itseensä ja luovuttaa sen hitaasti kasvillisuuden käyttöön (9, s.26).

4.1.2 Turve

Puhtaassa turvetuhkassa on puutuhkaan verrattuna vähemmän kaliumia, booria ja kalsiumia (9, s. 26).

TAULUKKO 2, Turvetuhkan ravinnepitoisuudet (9, s. 26)

Ravinne	%
Fosfori (P)	0,5–2
Kalium (K)	0,2–0,4
Kalsium (Ca)	5–10
Boori (B)	< 0,01

4.2 Tuhkan hyötykäyttö

4.2.1 Lannoituskäytön vaikutukset

Maanparannusaineena käytetyllä tuhkalla on pitkä historia. Luonnonvarakeskus (ent. Metsäntutkimuslaitos) teki ensimmäiset kokeet tuhkalannoitukseen jo 1930-luvun lopulla. Tuhkalannoitus parantaa pitkäaikaisesti puuston ravinnetilaa. Ravinnetilan muutoksiin vaikuttavat esimerkiksi levitetyn tuhkan laatu ja määrä, puulaji, kasvupaikan ravinteisuus sekä puuston ravinnetila ennen lannoitusta. Kangasmailla kasvavat metsät ovat typpirajoitteisia ja turvemilla paras lannoitevaste saadaan fosforilla ja kaliumilla. Fosforia ja kaliumia löytyy runsaasti tuhkasta, mutta typpi poistuu palamisreaktiossa savukaasujen mukana. (9, s. 25 - 26.)

Suometsät

Tuhkalannoituksella saadaan parhaat tulokset kivennäisravinteiden puutoksesta ja ravinne-epätasapainosta kärsivissä ojitetuissa turvemaiden metsissä. Metsälannoitteena käytetty tuhka voi vaikuttaa puuston ravinnetilaan nopeasti. Esimerkiksi kaliumin ja boorin puutostilasta johtuva kasvurajoitus voi korjaantua jo seuraavana vuonna tuhkan levityksestä. Ulkoiset ravinnepuutosoireet voivat hävitä puista jo samana vuonna, kun tuhka levitetään, jolloin neulasten väri muuttuu kellertävästä tummanvihreäksi. Puiden fosforinpuutoksen korjaantumiseen kuluu keskimäärin 3–4 vuotta, koska fosfori liukenee tuhkasta hitaasti. Kuitenkin parhaimmillaan tuhkalannoituksesta saatava fosforin vaikutusaika voi olla jopa 50 vuotta. (9, s. 27 - 28.)

Kangasmetsät

Kangasmailla puiden kasvua rajoittaa käyttökelpoisen typen puute, mutta joskus myös fosforista ja boorista voi olla puutetta. Tuhkalannoitus nostaa booripitoisuutta ja auttaa myös fosforin puutteeseen. Kangasmetsissä usein tuhkalannoituksen lisäksi tarvitaan typen lisäystä. Kun typpilannoituksen lisäksi lannoitetaan maita tuhkalla, on karuillakin kangasmailla havaittu puiden kasvussa lisääntynyttä. Tuhkalannoitus voi tehostaa kivennäismaiden puuston kykyä hyödyntää typpilannoitusta. (9, s. 28.)

Kangasmailla tehtävän tuhkalannoituksen vaikutus puuston kasvuun voi jäädä pieneksi, ja tästä syystä myös lannoituksen kannattavuus voi olla heikko. Tuhkalannoituksesta johtuvaa kasvumuutosta on havaittakin vain kaikista viljavimmilla kangasmailla. Tuhkalannoituksen on todettu parantavan enemmän maaperää ja sen biologista aktiivisuutta kuin puiden kasvua. (9, s. 28.)

Entiset turvetuotantoalueet ja suopellot

Tuhkalannoituksella on positiivinen vaikutus metsän syntyyn turvetuotannosta vapautuneilla suopohjilla. Tuhkalannoitus auttaa peittävän kasvillisuuden ja puuntaimien alkukehitykseen paljaalla suopohjalla. Nopeasti syntynyt peittävä aluskasvillisuus hidastaa ravinneainesten kulkeutumista vesistöihin ja on metsän kasvun alkuvaiheessa merkittävä hiilensitoja, jopa puuntaimia merkittävämpi. Tästä syystä voidaan todeta tuhkalannoituksen edistävän ympäristönhoitoa turvetuotannosta vapautuneilla suopohjilla. (9, s. 29.)

4.2.2 Maanrakennuskäyttö

Suomessa käytetään noin 100 miljoonaa tonnia kiviaineksiä maanrakennukseen vuosittain. Tästä määrästä osa voitaisiin korvata tuhkillä. Tuhkia voidaan käyttää korvaamaan maanrakennuksessa käytettäviä kiviaineksiä joko sideaineena, seostettuna, tiivistettynä tai sellaisenaan. Tuhkan laadusta riippuen tuhkia voidaan soveltaa katu-, tie- ja kenttärakenteiden eri kerroksiin. Tuhkan käyttö maanrakennukseen vaatii joko ilmoitusmenettelyn tai ympäristöluvan, koska tuhka luetaan jätteeksi. Suurin osa tällä hetkellä syntyvistä tuhista käytetään maanrakennukseen. (9, s. 41 - 42.)

Tuhkan käyttö maanrakennuksessa sitoo myös kiviaineksiä ja parantaa sen kautta teiden kantavuutta. Lentotuhkan sisältämä kalsium parantaa tuhkien lujittumisominaisuuksia. Tuhkan sisältämät epäpuhtaudet, tuhkan kosteana varastointi sekä lujittumisvaiheen alhainen lämpötila heikentävät lujittumista. (9, s. 41 - 42).

Esimerkiksi metsätienrakennuksessa tuhkan käytöstä on saatu erittäin hyviä kokemuksia. Tapion tekemissä pitkäaikaisilla testeillä tuhkan lisääminen rakennusmateriaaliksi on todettu parantavan metsäteiden kantavuutta. Myös teiden kantavuus paranee vuosien edetessä tuhalla perusparannetuilla teillä. (9, s. 41 - 42.)

Tuhkalisäykset eivät testien mukaan aiheuta raskasmetallien kulkeutumista pohjaveteen eivätkä muuta merkitsevästi pohja- tai pintaveden laatua. Tuhkaa on mahdollista käyttää turvallisella tavalla ympäristön kannalta, kunhan tuhkan ympäristökelpoisuudesta varmistutaan ja tuhkaa sisältävä tierakenne suunnitellaan ja toteutetaan ammattitaidolla. (9, s. 41 - 42.)

4.3 Veitsiluodon K7-leijupetikattilalla syntyvien tuhkien ominaisuudet

Veitsiluodon K7-leijupetikattilan tuhkista testataan laboratoriokokein kerran vuodessa kaksivaiheisella ravistelutestauksella alkuaineiden liukeneminen ja tuhkista tehdään myös alkuaineanalyysi. Tuhkien kokoomanäyte muodostetaan muutamasta pistonäytteestä parilta eri päivältä. Kaksivaiheiset ravistelutestit tehdään standardin SFS-EN 12457-3 mukaan. Tuhkien pH- ja johtokykytulokset on saatu L/S -8 testin mukaan.

4.3.1 Lentotuhkan liukoisuus

Taulukosta 3 nähdään vuoden 2020 lentotuhkan liukoisuustestin tulokset ja raja-arvot pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikka vaatimuksille. Taulukosta voidaan lukea, että kaikki liukoisuusarvot alittavat ainakin tavanomaisen jätteen kaatopaikalle vaadittavat raja-arvot.

TAULUKKO 3, Lentotuhkan liukoisuustestien tulokset vuodelta 2020

**Tuhka-altaan maisemointi. Sijoitettavien jätteiden
kaatopaikkakelpoisuus.
K7-kattilan lentotuhka.**

Kaksivaiheinen ravistelutesti (L/S 10, SFS-EN 12457-3),
liukoinen pitoisuus mg/kg.

Alkuaine/muuttuja	Tulokset Vuosi 2020	Raja-arvo pysy- vän jätteen kaa- topaikalle mg/kg	Raja-arvo tavan- omaisen jätteen kaatopaikalle mg/kg
As	< 0,01	0,5	2
Ba	2,6	20	100
Cd	< 0,005	0,04	1
Co	-	-	-
Cr	0,55	0,5	10
Cu	< 0,05	2	50
Hg	< 0,004	0,01	0,2
Mo	2,1	0,5	10
Ni	< 0,01	0,4	10
Pb	0,38	0,5	10
Sb	< 0,01	0,06	0,7
Se	0,19	0,1	0,5
Zn	0,92	4	50
Cl	2 400	800	15 000
F	< 5	10	150
V	< 0,01	-	-
SO ₄	13 000	6 000	20 000
DOC	76	500	800
TDS	49 000	4 000	60 000
pH	12,8		
Johtokyky, mS/m	1 100		

4.3.2 Pohjatuhkan liukoisuus

Taulukosta 4 nähdään vuoden 2020 pohjatuhkan liukoisuustestin tulokset ja raja-arvot pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikkavaatimuksille. Taulukosta voidaan lukea, että kaikki liukoisuusarvot alittavat ainakin tavanomaisen jätteen kaatopaikalle vaadittavat raja-arvot.

TAULUKKO 4, Pohjatuhkan liukoisuustestien tulokset vuodelta 2020.

**Tuhka-altaan maisemointi. Sijoitettavien jätteiden
kaatopaikkakelpoisuus.
K7-kattilan pohjatuhka.**

Kaksivaiheinen ravistelutesti (L/S 10, SFS-EN 12457-3),
liukoinen pitoisuus mg/kg.

Alkuaine/muuttuja	Tulokset Vuosi 2020	Raja-arvo pysyvän jätteen kaatopaikalle mg/kg	Raja-arvo tavanomaisen jätteen kaatopaikalle mg/kg
As	< 0,01	0,5	2
Ba	7,5	20	100
Cd	< 0,005	0,04	1
Co		-	-
Cr	0,46	0,5	10
Cu	< 0,05	2	50
Hg	< 0,004	0,01	0,2
Mo	0,11	0,5	10
Ni	< 0,01	0,4	10
Pb	< 0,005	0,5	10
Sb	< 0,01	0,06	0,7
Se	< 0,04	0,1	0,5
Zn	< 0,05	4	50
Cl	110	800	15 000
F	< 5	10	150
V	0,021	-	-
SO ₄	190	6 000	20 000
DOC	51	500	800
TDS	5 000	4 000	60 000
pH	12,1		
Johtokyky, mS/m	170		

4.3.3 Lento- ja pohjatuhkan alkuaineanalyysi

Taulukosta 5 voidaan nähdä lento- ja pohjatuhkalle tehtyjen alkuaineanalyysien tuloksia. Näitä tuloksia on käytetty referenssiarvoina koepolttojaksoilla kerättyjen tuhkanäytteiden laborioritotituloksien vertailuun.

TAULUKKO 5, Lento- ja pohjatuhkan alkuaineanalyysi vuodelta 2020

Alkuaine		Yksikkö	Lentotuhka	Pohjatuhka
Elohopea	Hg	mg/kg ka	0,3	< 0,04
Alumiini	Al	mg/kg ka	33 000	14 000
Arseeni	As	mg/kg ka	19	< 3
Boori	B	mg/kg ka	140	38
Barium	Ba	mg/kg ka	1 700	250
Beryllium	Be	mg/kg ka	< 1	< 1
Kalsium	Ca	mg/kg ka	280 000	27 000
Kadmium	Cd	mg/kg ka	7,0	0,32
Koboltti	Co	mg/kg ka	18	6,8
Kromi	Cr	mg/kg ka	140	35
Kupari	Cu	mg/kg ka	140	41
Rauta	Fe	mg/kg ka	93 000	13 000
Kalium	K	mg/kg ka	13 000	6 800
Magnesium	Mg	mg/kg ka	18 000	5 400
Mangaani	Mn	mg/kg ka	7 400	710
Molybdeeni	Mo	mg/kg ka	12,0	< 1
Natrium	Na	mg/kg ka	6 300	5 500
Nikkeli	Ni	mg/kg ka	94	20
Fosfori	P	mg/kg ka	13 000	960
Lyijy	Pb	mg/kg ka	71	7,3
Rikki	S	mg/kg ka	17 000	190
Antimoni	Sb	mg/kg ka	< 2	3,2
Seleeni	Se	mg/kg ka	3,9	< 3
Titaani	Ti	mg/kg ka	770	350
Vanadiini	V	mg/kg ka	190	28
Sinkki	Zn	mg/kg ka	1 200	790
Tina	Sn	mg/kg ka	< 3	< 3
Fosfori + Kalium	(P+K)	%	2,6	0,8

5 KUITUSAVI

Veitsiluodossa on kolme paperikonetta, joista kaksi valmistaa hienopaperia ja yksi painopaperia. Paperitehdas käyttää pääosin mänty- ja koivusellua paperin valmistukseen. Paperitehtaalta syntyy kiintoainehävikkiä, jota kutsutaan kuitusaveksi. Kuitusaven orgaaninen aines muodostuu suurimmalta osin paperitehtaalla käytettävästä mänty- ja koivusellun kuiduista. Sellun lisäksi kuitusavi sisältää täyteaineena käytettävää saostettua kalsiumkarbonaattia eli PCC:tä ja liitua. Kuitusaveen päätyy myös päällystyspigmenttinä käytettyä kaoliinia. (10.)

Paperitehtaalla on avokanaaliverkosto, johon kaikki prosessista poistuva kiintoainepitoiset vedet kerätään. Jokaisella paperikoneella on oma pienempi kanaali, johon kiintoainepitoiset vedet johdetaan ja nämä pienemmät kanaalit yhtyvät yhdeksi pääkuitukanaaliksi. Tätä kanaalia pitkin vedet johdatetaan paperitehtaan poistovesilaitokselle puhdistettavaksi. Poistovesilaitoksella vedet puhdistetaan kiintoaineesta ja ne päätyvät tehtaan läheisyydessä olevaan vesistöön. Vesien puhdistuksen sivutuotteena muodostuva kuitusavi kuljetetaan lavoilla maisemointitarkoitukseen tehtaan läheisyyteen. (10.)

5.1 Kuitusaven lähteet

Paperitehtaan kiintoainehävikin lähteet voidaan jakaa jatkuviin ja satunnaisiin lähteisiin. Suurin osa paperitehtaalta tulevasta kuitusavesta muodostuu jatkuvien lähteiden kautta. Häiriö- ja poikkeustilanteissa myös satunnaisista lähteistä muodostuu kuitusavea huomattava määrä, mutta satunnaisia lähteitä ei tässä yhteydessä tarkastella. (10.)

Jatkuvat kuitusaven lähteet

PK2:lla ja PK3:lla pääsääntöiset jatkuvat kiintoainepäästöt tulevat pp-laitokselta ja hyllyn lajittelun rejektistä. PK2:lla hyllyn lajittelun tärysihti ja puristinvesien puhdistuksessa käytettävä kaarisihti aiheuttavat tukkeutumisillaan päivittäin ylikäidon kautta tulevaa kiintoainepäästöjä kanaaleihin. (10.)

PK5:lla pyörrepuhdistuslaitoksen rejekti ajetaan yleensä Atrexin kautta, ja tämän takia kyseisen paperikoneen kiintoainepäästöt ovat pienemmät verrattuna PK2:n ja PK3:n kiintoainepäästöihin. Atrex on dispergointilaitte, jolla rejekti voidaan jauhaa vastaamaan päällystyspigmenttien ja täyteaineiden alkuperäistä kokoa. Tämä takaa, että suurin osa rejektistä voidaan palauttaa takaisin prosessiin. Jatkuvaksi lähteeksi PK5:n pyörrepuhdistuslaitos lasketaan sen takia, että Atrexin ollessa pois käytöstä rejekti ajetaan suoraan kanaaliin. (10.)

PK5:lla jatkuvana lähteenä on myös kuitujen talteenotossa käytettävä flotaatioallas. Flotaatiossa erotetaan kiintoaine kiekkosuotimilta tulevasta kirkassuodoksesta ja kiintoaine päätyy pohja- ja pintalietteenä kanaaliin. (10.)

5.2 Kuitusaven määrä ja ominaisuudet

Paperitehtaan käydessä normaalisti ilman suurempia ratakatkoja, seisokkeja tai häiriöitä kuitusavea muodostuu noin kahdeksan lavallista vuorokauteen. Lavat painavat kahdeksasta tonnista aina 12 tonniin. Kuitusaven keskimääräinen kuiva-aineprosentti on 45 % ja kuitusaven tuhkapitoisuus 54 %, joten kuitusavea muodostuu päivittäin 28–44 tonnia/kuiva-aine.

Taulukosta 6 voidaan lukea kuitusavesta vuonna 2020 tehty 1-vaiheinen ravistelutesti, joka on tehty standardin SFS-EN 12457-2 mukaan, tulokset ja raja-arvot pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Kaikki muut muuttujat alittavat vähintään tavanomaisen jätteen raja-arvot paitsi liuennut orgaaninen hiili- DOC.

TAULUKKO 6, Kuitusaven laboratoriotestien tulokset

Tuhka-altaan maisemointi. Sijoitettavien jätteiden kaatopaikkakelpoisuus.

Kuitusavi (paperitehtaan liete).

1-vaiheinen ravistelutesti (L/S 10, SFS-EN 12457-2), liukoinen pitoisuus mg/kg.

Alkuaine/Muuttuja	Tulokset Vuosi 2020	Yksikkö	Raja-arvo pysyvän jätteen kaatopaik- kalle	Raja-arvo tavan- omaisen jätteen kaatopaikalle
As	<0,01	mg/kg ka	0,5	2
Ba	0,14	mg/kg ka	20	100
Cd	<0,005	mg/kg ka	0,04	1
Cr	<0,01	mg/kg ka	0,5	10
Cu	0,52	mg/kg ka	2	50
Hg	<0,004	mg/kg ka	0,01	0,2
Mo	0,82	mg/kg ka	0,5	10
Ni	0,14	mg/kg ka	0,4	10
Pb	0,011	mg/kg ka	0,5	10
Sb	<0,01	mg/kg ka	0,06	0,7
Se	<0,04	mg/kg ka	0,1	0,5
V	0,01	mg/kg ka		
Zn	0,26	mg/kg ka	4	50
Cl	76	mg/kg ka	800	15000
F	9,6	mg/kg ka	10	150
SO ₄	410	mg/kg ka	6000	20000
DOC	1800	mg/kg ka	500	800
TDS	4400	mg/kg ka	4000	60000
pH	9			
Johtokyky, mS/m	31	mS/m		
Kuiva-ainepitoisuus	45	%		

5.3 Kuitusaven poltto

1990-luvulla paperi- ja sellutehtailla syntyvistä lietteistä noin 20 % poltettiin. Jo tuolloin polttaminen oli yleinen tapa hävittää syntyviä jätteitä. Lietteitä polttamalla ei pelkästään säästyä kaatopaikalle vienniltä vaan voidaan hyödyntää lietteissä

olevaa energiaa. Lietteitä polttamalla saadaan hävitettyä kaikki orgaaninen materiaali ja jäljelle jäänyt tuhka on epäorgaanista. Epäorgaaninen tuhka on helpompi ja edullisempi jatkojalostaa tai hävittää lopullisesti kaatopaikalle. (10.)

Lietteet poltetaan yleisesti tehtaalla olevalla polttokattilalla muun polttoaineen kanssa. Suurin ongelma lietteen poltossa on lietteen suuri kosteuspitoisuus, joka aiheuttaa kattilassa lämpötilan alenemista (10). Lietteiden mahdollisesti korkea tuhkapitoisuus voi lisätä kattilalla muodostuvan tuhkan määrää ja lisätä sähkösuotimien kuormitusta.

Veitsiluodon tehtaalla muodostuvan kuitusaven kuiva-aineprosentti on keskimääräisesti 45 % ja tuhkapitoisuus on 54 % (10). Kuitusaven merkittävimmät vaikutukset kattilan toimintaan ovat polttoaineen kosteuden kasvaminen ja rikin sidonta. Turpeen vähentäminen vaikuttaa myös alenevasti polttoaineen rikkipitoisuuteen. Suurimmat haasteet kuitusaven poltossa muodostuvat kattilan ollessa minimikuormalla kesäisin, koska kuitusavi lisää polttoaineen kosteutta. Minimikuormalla ajettaessa pedin lämpötila laskee jo muutenkin ja lietteiden prosentuaalinen osuus polttoaineseoksessa kasvaa. Veitsiluodon leijukerroskattila K7:n nimiteho on noin 80 MW, joka on noin 30 % kattilan nimellistehosta. Minimikuormalla ajettaessa pystytään operoimaan noin 58 % kosteutta sisältävillä polttoaineilla. Tässä tapauksessa lietteiden ja kuitusaven yhteismäärä voi maksimissaan olla 6,5 kg/s. (8.)

6 KOEPOLTTOJAKSOJEN TOTEUTUS

Ennen kuin koepolttojaksoja voitiin alkaa suunnitella, tarvittiin aluevirastolta ympäristölupa kuitusaven polttamista varten. Koepolttamiseen tarvittava lupa saatiin aluevirastolta 26.2.2021. Luvan myötä voitiin järjestää kaksi viikon mittaista koepolttojaksoa.

Ensimmäinen koepolttojakso suunniteltiin maaliskuun alkuun, että nähtäisiin kuitusaven vaikutus kattilan käydessä suurilla kuormilla. Toinen koepolttojakso suunniteltiin mahdollisimman pitkälle kevättä, jotta ilmat ehtisivät lämmetä ja kattila näin ollen kävisi pienemmillä kuormilla. Toinen koepolttojakso suoritettiin toukokuun loppupuolella.

Koepolttojaksoilla seurattiin kattilan toimintaa, päästöjä, polttoaineen syöttölaitteiston likaantumista, normaalin toiminnan poikkeamista ja tuhkanlaatua. Yhteensä seurattavia parametrejä oli 33 kappaletta, jotka nähdään taulukosta 7. Koepolttojaksojen seurattavia parametrejä varten otettiin samoista parametreista referenssijakso. Referenssijakso valittiin aikavälille 15.3.2021–21.3.2021 yhdessä voimalaitoksen käyttöinsinöörin kanssa. Ajankohta valikoitui voimalaitoksen käydessä tasaisesti koko viikon jakson.

TAULUKKO 7, Koepolttojaksoilla seurattut parametrit

LEIJUP. LÄMPÖTILA 1	K7-TUMMUUS
LEIJUP. LÄMPÖTILA 2	NOX-PIT KUIVA RED 6% O2
LEIJUP. LÄMPÖTILA 3	NOX TUNNIN KESKIARVO PIT
LEIJUP. LÄMPÖTILA 4	SO2-PIT KUIVA RED 6% O2
LEIJUP. LÄMPÖTILA 5	SO2 TUNNIN KESKIARVO PIT
LEIJUP. LÄMPÖTILA 6	HIUK. PIT KUIVA KOR 6% O2
LEIJUP. LÄMPÖTILA 7	HIUK TUNNIN KESKIARVO PIT
LEIJUP. LÄMPÖTILA 8	CO-PIT KUIVA RED 6% O2
LEIJUP. LÄMPÖTILA 9	CO TUNNIN KESKIARVO PIT
LEIJUP. LÄMPÖTILA KA	TERT. TUL. JÄLK. LT.
SAVUK. LT. PIIPPU	TUOREHÖYRYN VIRTAUS
H2O-VESIPITOISUUS K7- PIIPULLA	KIERTOKAASUN MÄÄRÄ
O2-PITOISUUS K7-PIIPULLA	HIEKKAPETIN KORKEUS
NOX-PITOISUUS K7-PIIPULLA	ILMALAATIKON PAINE
SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	LEIJUILMAN MÄÄRÄ
CO-PITOISUUS K7-PIIPULLA	KPA POLTTOARV. ESTIM.
NH3-PITOISUUS	

6.1 Maaliskuun koepolttojakso

6.1.1 Ajojärjestelyt

Maaliskuun koepolttojakso ajoittui 3.3.2021–14.3.2021. Ensimmäisen koepolttojakson ajan kuitusavea suunniteltiin poltettavaksi 12 lavallista, noin 108 tonnia, vuorokaudessa. Koepolttojakso kuitenkin aloitettiin suunniteltua pienemällä määrällä, jotta nähtäisiin, kuinka voimakkaasti kattila reagoi kuitusaven polttoon. Ensimmäisenä päivänä kuitusavea poltettiin 8 lavaa, joka vastaa noin 72 tonnia. Ensimmäisen koepolttopäivän jälkeen kuitusaven määrä nostettiin suunniteltuun 12 lavaan.

Kuitusavi tuotiin paperikoneilta vaihtolava-autoilla voimalaitoksen kuoren välivarastolle, jossa kuitusavi sekoitettiin suhteella 1:10 välivarastolla olleeseen muihin puupolttoaineeseen. Sekoitettavia polttoaineita oli turve, kuorintajäte, sahalta tuleva puujäte ja muut ostetut puupolttoaineet. Kuvassa 5 nähdään kuitusaven

sekoitusprosessia. Kuitusaven ja muun polttoaineen sekoitus syötettiin polttoainevirtaan kuoritaskun kautta. Kuoritaskussa olevat tankopurkaimet työntävät polttoainetta hydraulikan avulla kolakuljettimelle.



KUVA 5. Kuitusaven sekoitus

Kuitusavea syötettiin polttoainevirtaan ensimmäisen koepolttojakson aikana 184 tuntia, joka vastaa seitsemää vuorokautta ja 16:ta tuntia. Tunnit on saatu kuori- ja turvetaskun käyntitiedoista. Tällä tarkastelulla kuitusaven polttoainevirtaan syötetty aika vastaa myös aikaa, jolloin kuitusavea on poltettu.

Häiriöt ensimmäisen koepolttojakson aikana

Ensimmäinen koepolttojakso oli hyvin katkonainen. Suunniteltu ajankohta ensimmäiselle koepolttojaksolle oli 3.3.2021–10.3.2021, mutta toteutunut ajankohta oli 3.3.2021–14.3.2021. Katkoja aiheutti kattilassa havaittu vuoto, jonka vuoksi kattila jouduttiin ajamaan alas ja kuitusaven polttaminen keskeyttämään. Kattilassa havaitun vuodon ja alasajon takia koepolttojakso viivästyi 50 tunnilla. Kuoritaskun seula hajosi koepolttojakson aikana keskiviikkona 10.3., mikä pysäytti kuitusaven polton. Kuoritaskun seulan hajoaminen viivästytti koepolttojaksoa 33 tuntia. Tors-

taina 11.3. tehtiin päätös siirtää kuitusavea sisältävän polttoainesekoituksen polttoainevirtaan syöttö turvetaskun puolelle kuoritaskun seulan ollessa korjauksessa. Perjantaina 12.3. turvetaskun kolakuljetin rikkoontui ja tästä aiheutui koepolttojaksoon viivästystä yhteensä viisi tuntia, ennen kuin kuitusavi saatiin polttoon kuoritaskun kautta seulan remontin tullessa valmiiksi.

6.1.2 Tuhkanäytteiden otto koepolttojaksolla

Kattilan käynnissä olon aikana voimalaitoksella syntyy kahdenlaista eri tuhkaa: pohja- ja lentotuhkaa. Lentotuhka voidaan viedä voimalaitokselta joko kuivana tai kostutettuna.

Molemmista tuhkalaaduista otettiin koepolttojakson aikana laajasti osanäytteitä. Osanäytteitä otettiin 52 kappaletta molemmista tuhkalaaduista. Näytteitä ottivat voimalaitoksen prosessinhoitajat joka kuudes tunti ympärivuorokautisesti. Pohjatuhkanäytteet otettiin pohjatuhkakolalta ja osanäytteen koko oli 5 dl. Lentotuhkanäytteet otettiin kostutetusta lentotuhkasta ja osanäytteen koko oli 2 dl.

Koepolttojakson jälkeen, kun kaikki osanäytteet oli otettu, osanäytteistä tehtiin kokoomanäytteitä. Lentotuhkan jokaisesta osanäytteistä otettiin puolet ja yhdistettiin yhdeksi 52 dl:n näytteeksi. Tämä näyte homogenisoitiin huolellisesti ja jaettiin kahdeksi eri kokoomanäytteeksi. Pohjatuhkan osanäytteet yhdistettiin yhdeksi 260 dl:n näytteeksi, homogenisoitiin huolellisesti ja jaettiin kolmeksi eri kokoomanäytteeksi. Yksi pari lento- ja pohjatuhka kokoomanäytteitä lähetettiin Kotkaan SGS:n laboratorioon ja toinen pari L&T:n laboratorioon Poriin. Lentotuhkanäytteiden puolikkaat ja yksi pohjatuhkan kokoomanäyte jäivät Veitsiluotoon säilöttäväksi sitä varten, jos tarvitaan jatkossa tehdä lisätutkimuksia koepolttojakson tuhkanäytteille.

6.2 Toukokuun koepolttojakso

6.2.1 Ajojärjestelyt

Toukokuun koepolttojakso ajoittui 19.5.2021–25.5.2021 väliselle ajalle. Koepolttojakso aloitettiin 19.5. kello 12 ja lopetettiin 25.5. kello 5. Kuitusavea syötettiin

polttoainevirtaan toisella koepolttojaksoilla yhteensä 121 tuntia, joka vastaa viittä vuorokautta ja yhtä tuntia. Tunnit on saatu kuoritaskun käyntitiedoista. Tällä tarkastelulla kuitusaven polttoainevirtaan syötetty aika vastaa kuitusaven poltossa ollutta aikaa.

Toukokuun koepolttojaksoilla kuitusavea suunniteltiin poltettavan 12 lavaa, 108 tonnia vuorokautteen. Pienentyneiden kattilakuormien ja sahalta tulevan puupolttoaineen paljouden vuoksi kuitusaven todellinen poltettu määrä jäi tavoitellusta pienemmäksi.

Kuitusavi tuotiin kuoren välivarastolle ensimmäisen koepolttojakson tavoin. Poiketen ensimmäisestä koepolttojaksosta, kuitusaven sekoitussuhdetta laskettiin 1:4. Sekoitussuhde laskettiin pienentyneiden kattilakuormien takia ja tällä varmistettiin se, että kuoritaskun ollessa käynnissä taskulta tulisi suhteessa enemmän kuitusavea.

Häiriöt toisen koepolttojakson aikana

Toinen koepolttojakso oli tasainen. Ainoana häiriönä koepolttojakson aikana oli 22.5. kuoritaskun hydraulikka tankopurkaimien rikkoontuminen. Tankopurkaimien rikkoontuminen aiheutti kuitusaven polttoainevirtaan syötön katkeamisen 18 tunniksi. Kuoritasku saatiin käyntiin 23.5. kello 9.30.

6.2.2 Näytteidenotto

Toukokuun koepolttojaksoilla otettiin pohja- ja lentotuhkanäytteitä maaliskuun koepolttojakson kaltaisesti. Lisäksi toukokuun koepolttojaksoilla näytteenottoon lisättiin kuitusavesta ja voimalaitoksella poltettavasta lietteestä otettavat näytteet.

Lento- ja pohjatuhkasta kerättiin koepolttojakson aikana 40 osanäytettä kummas-takin tuhkalaadusta. Näytteitä ottivat voimalaitoksen prosessinhoitajat. Tuhkista otettavien osanäytteiden koot pysyivät samana ensimmäiseltä koepolttojaksolta, lentotuhkan osanäyte 2 dl ja pohjatuhkan osanäyte 5 dl. Kuitusavesta otettiin koe-

polttojaksolla yhteensä 12 kappaletta 5 dl:n osanäytettä. Voimalaitoksella poltetavasta lietteestä otettiin koepolttojaksolla yhteensä kahdeksan kappaletta 5 dl:n osanäytettä.

Koepolttojakson jälkeen osanäytteistä tehtiin kokoomanäytteet. Jokaisesta lentotuhkan osanäytteestä otettiin puolet ja yhdistettiin yhdeksi 40 dl:n näytteeksi. Näyte homogenisoitiin ja jaettiin kahdeksi kokoomanäytteeksi. Kaikki pohjatuhkan osanäytteet yhdistettiin yhdeksi 20 l:n näytteeksi ja homogenisoitiin. Näyte jaettiin kahdeksi kokoomanäytteeksi. Kuitusaven osanäytteet yhdistettiin yhdeksi 6 l:n näytteeksi, homogenisoitiin ja jaettiin kahdeksi kokoomanäytteeksi. Lietteen osanäytteet yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi.

Yksi lentotuhkan kokoomanäyte lähetettiin Ouluun Eurofinsin laboratorioon. Toinen lentotuhkan kokoomanäyte, yksi pohjatuhkan kokoomanäyte, toinen osa kuitusaven kokoomanäyte ja lietteen kokoomanäyte lähetettiin SGS:n laboratorioon Kotkaan. Lentotuhkan osanäytteiden puolikkaat, toinen pohjatuhkan kokoomanäyte ja toinen kuitusaven kokoomanäyte jätettiin säilöön Veitsiluotoon sitä varten, jos näytteille tarvitsee tehdä jatkossa enemmän laboratoriokokeita.

7 KOEPOLTTOJAKSOJEN TULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa käsitellään molempien koepolttojaksojen polttoaineiden ja muodostuneiden tuhkien määrät, kattilan toiminta ja tuhkanäytteiden laboratoriotestien tulokset. Toisesta koepolttojaksosta käydään läpi myös kuitusavelle ja lieteelle tehtyjen laboratoriotestien tulokset. Kattilan toiminnan osalta ei käsitellä kaikkia 33:a parametriä erikseen vaan tulosten läpikäyntiin on valittu kattilan toiminnan kannalta tärkeimpiä parametrejä ja selvästi koepolttojaksoilla muuttuneita parametrejä. Esimerkiksi leijupedin lämpötiloista ei käydä läpi kaikkia yhdeksää mittausta vaan keskitytään leijupedin lämpötilojen keskiarvomittaukseen.

7.1 Maaliskuun koepolttojakso

7.1.1 Polttoaineiden ja tuhkien määrät

Koepolttojaksoilla tarkkailtiin jakson aikana poltettujen polttoaineiden määrää ja niistä syntyvien tuhkien määrää. Taulukossa 8 on listattuna ensimmäisellä koepolttojaksolla poltettujen polttoaineiden, kuitusaven ja muodostuneiden tuhkien määrät tonneina.

TAULUKKO 8, Ensimmäisen koepolttojakson polttoaineiden ja tuhkien määrät

Määrät	
Turve	6130,26 t
Puupolttoaineet	11274,76 t
Liete	2077,76 t
Kuitusavi (poltettu)	946,76 t
Kuitusavi (kokonais)	2211,62 t
Lentotuhka	641,76 t
Pohjatuhka	112,38 t

Ensimmäisellä koepolttojaksolla puupolttoaineita poltettiin 55 m-%, turvetta 30 m-%, lietettä 10 m-% ja kuitusavea 5 m-%. Turvesuhde ensimmäisellä koepolttojaksolla on normaalia suurempi ja tällä oli vaikutuksia kattilan ilmapäästöihin. Kui-

tusavea poltettiin ensimmäisellä koepolttojaksolla hieman enemmän suunnitelusta 720 tonnista. Kuitusavea myös muodostui ensimmäisellä koepolttojaksolla huomattavasti suurempia määriä, mitä normaalisti.

Lentotuhkaa muodostui 3,1 % kaikesta poltetusta massasta ja pohjatuhkaa muodostui 0,6 % kaikesta poltetusta massasta. Molempia tuhkalaatuja muodostui ensimmäisellä koepolttojaksolla enemmän kuin normaalien polttoaineiden kanssa.

7.1.2 Kattilan toiminta

Maaliskuun koepolttojaksolla kattilan toiminnasta seurattiin yhteensä 33:a parametria. Näiden lisäksi voimalaitoksen työntekijät tarkkailivat polttoainejärjestelmän toimivuutta ja likaantumista. Kuvasta 6 nähdään otanta tärkeimmistä ja muuttuneista parametreista.

Referenssijakso

LEIJUP. LÄMPÖT KA	NOX -PITOISUUS K7- PIIPULLA	SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	K7: NO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: SO2-PIT KUIVA RED 6% O2	TUOREHÖYRY VIRTAUS	KPA POLTTOARV.ESTIM.
°C	mg/Nm3	mg/Nm3	mg/m3(n)	mg/m3(n)	kg/s	MW/kg
6478TIA- 301KA:av	6478QI-351.8:av	6478QI-351.6:av	647K7L1R.Lc	647K7L2R.Lc	6478FIQ-168:av	6478XQ-160:pos
833,22	138,02	64,69	184,98	60,15	63,30	6,38

1. Koepolttojaks

LEIJUP. LÄMPÖT KA	NOX -PITOISUUS K7- PIIPULLA	SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	K7: NO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: SO2-PIT KUIVA RED 6% O2	TUOREHÖYRY VIRTAUS	KPA POLTTOARV.ESTIM.
°C	mg/Nm3	mg/Nm3	mg/m3(n)	mg/m3(n)	kg/s	MW/kg
6478TIA- 301KA:av	6478QI-351.8:av	6478QI-351.6:av	647K7L1R.Lc	647K7L2R.Lc	6478FIQ-168:av	6478XQ-160:pos
826,76	155,60	90,09	208,30	83,04	67,27	6,46

Muutos

LEIJUP. LÄMPÖT KA	NOX -PITOISUUS K7- PIIPULLA	SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	K7: NO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: SO2-PIT KUIVA RED 6% O2	TUOREHÖYRY VIRTAUS	KPA POLTTOARV.ESTIM.
°C	mg/Nm3	mg/Nm3	mg/m3(n)	mg/m3(n)	kg/s	MW/kg
6478TIA- 301KA:av	6478QI-351.8:av	6478QI-351.6:av	647K7L1R.Lc	647K7L2R.Lc	6478FIQ-168:av	6478XQ-160:pos
-6,46	17,58	25,40	23,32	22,89	3,96	0,08

KUVA 6. Ensimmäisen koepolttojakson parametrien muutokset referenssijaksoon verrattuna

Ensimmäisellä koepolttojaksolla kattilan toiminnassa tai polttoaineen syöttöjärjestelmissä ei havaittu isoja muutoksia. Kuitusaven polton ajateltiin vaikuttavan eniten petilämpötiloihin, koska kuitusaven lisäys polttoainevirtaan lisää kostean polttoaineen kokonaismäärää. Petilämpötilat eivät kuitenkaan muuttuneet huomattavasti, mikä nähdään kuvasta 5.

Huomattavampina muutoksina nähdään NO_x- ja SO₂-pitoisuuksien kasvu. Nämä ilmastopäästöjen kasvut voidaan osaksi selittää kattilakuorman nousulla ja korkealla turvesuhteella. Kattilakuorma oli noin 4 kg/s korkeampi ensimmäisellä koepolttojaksolla kuin referenssijaksolla, mikä osaksi selittää NO_x-päästöjen kasvua. Ensimmäisellä jaksolla turvetta poltettiin korkealla suhteella ja se selvittää osakseen SO₂-päästöjen kasvua. Lisääntyneet pitoisuudet pysyvät päästörajoiden sisällä.

7.1.3 Tuhkien laboratoriotulokset

Lento- ja pohjatuhka kokoomanäytteet lähetettiin SGS:n laboratorioon Kotkaan laajoihin testeihin. Tuhkista testattiin muun muassa haihtuvat orgaaniset yhdisteet, öljyhiilivedyt C10-C40, PCB-yhdisteet, kuiva-ainepitoisuus, polyaromaattiset hiilivedyt, liukoisuus, orgaanisen hiilen määrittäminen, metallit, neutralointikapasiteetti, hehketushäviö, pH, vesipitoisuus ja neutraloivakyky.

Pohjatuhka

Kuvasta 7 nähdään SGS:n laboratoriossa pohjatuhkan kokoomanäytteelle tehdyn liukoisuustestin tulos.

Liukoisuustestin kumulatiivinen liennut määrä L/S=10 Menetelmä: EN 16192

Arseeni	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Barium	mg/kg KA.	4	24
Kadmium	mg/kg KA.	0.01	<0.01
Kromi	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Kupari	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Molybdeeni *	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Lyijy	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Nikkeli	mg/kg KA.	0.1	0.3
Antimoni	mg/kg KA.	0.05	<0.05
Seleeni	mg/kg KA.	0.03	<0.03
Vanadiini *	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Sinkki	mg/kg KA.	0.8	<0.8
Elohopea	mg/kg KA.	0.002	<0.002
Kloridi	mg/kg KA.	160	<160
Sulfaatti	mg/kg KA.	200	<200
Fluoridi	mg/kg KA.	2	<2.0
DOC	mg/kg KA.	100	<100
Fenoli-indeksi	mg/kg KA.	0.5	<0.5
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS)	mg/kg KA.	800	13000

KUVA 7. Ensimmäisen koepoltojakson pohjatuhkan liukoisuustestin tulos

Testitulosten perusteella ensimmäisellä koepoltojaksolla syntynyt pohjatuhka on tavanomaiseksi jätteeksi luokiteltavaa ja täyttää tavanomaisen jätteen kelpoisuuden. Bariumin liukoisuus ylittää pysyvän jätteen kaatopaikka kelpoisuuden. Pohjatuhka soveltuu Mara-asetuksen mukaiseen hyötykäyttöön väylärakenteissa, päällystetyssä kentässä, tuhkamurskateissa ja varastorakennuksien pohjarakenteissa. Bariumin liukoisuuden vuoksi pohjatuhkaa ei voida käyttää hyödyksi peitettyssä kentässä.

Lentotuhka

Kuvasta 8 nähdään SGS:n laboratoriossa lentotuhkan kokoomanäytteelle tehdyn liukoisuustestin tulos.

Liukoisuustestin kumulatiivinen liennut määrä L/S=10 Menetelmä: EN 16192

Arseeni	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Barium	mg/kg KA.	4	120
Kadmium	mg/kg KA.	0.01	<0.01
Kromi	mg/kg KA.	0.1	0.1
Kupari	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Molybdeeni *	mg/kg KA.	0.1	0.3
Lyijy	mg/kg KA.	0.1	0.1
Nikkeli	mg/kg KA.	0.1	0.1
Antimoni	mg/kg KA.	0.05	<0.05
Seleeni	mg/kg KA.	0.03	<0.03
Vanadiini *	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Sinkki	mg/kg KA.	0.8	<0.8
Elohopea	mg/kg KA.	0.002	<0.002
Kloridi	mg/kg KA.	160	1081
Sulfaatti	mg/kg KA.	200	<200
Fluoridi	mg/kg KA.	2	2.5
DOC	mg/kg KA.	100	<100
Fenoli-indeksi	mg/kg KA.	0.5	<0.5
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS)	mg/kg KA.	800	32000
Fosfori *	mg/kg KA.	0.5	<0.5

KUVA 8. Ensimmäisen koepolttojakson lentotuhkan liukoisuustestin tulos

Testitulosten perusteella ensimmäisellä koepolttojaksolla muodostunut lentotuhka ei täytä tavanomaisenkaan jätteen kelpoisuusvaatimuksia bariumin liukoisuuden vuoksi. Mara-asetuksen mukaiseen hyötykäyttöön lentotuhkaa ei voida käyttää. Lentotuhkan kalium ja fosfori yhteispitoisuudet eivät täytä metsätaloudessa käytettävien tuhkalannoitteiden vähimmäispitoisuutta. Kuitusaven poltto on vähentänyt lentotuhkassa sulfaatin liukoisuutta. Vaikka sulfaatin liukoisuus jäi alle määritysrajan liukoisuustestissä, niin kuvasta 9 nähdään että lentotuhka sisältää rikkiä.

Kuiva-ainetta kohti *			
Arseeni	mg/kg KA.	10	<10
Barium	mg/kg KA.	5	310
Kadmium *	mg/kg KA.	0.4	2.6
Kromi	mg/kg KA.	5	53
Kupari	mg/kg KA.	10	53
Antimoni *	mg/kg KA.	10	<10
Lyijy	mg/kg KA.	5	17
Molybdeeni *	mg/kg KA.	10	<10
Nikkeli	mg/kg KA.	10	36
Vanadiini	mg/kg KA.	10	74
Sinkki	mg/kg KA.	10	470
Fosfori *	mg/kg KA.	5	6400
Kalium *	mg/kg KA.	20	7500
Rikki *	mg/kg KA.	50	7800

Kuva 9. Ensimmäisen koepolttojakson lentotuhkan metallien määritys

Rikki ei esiintynyt lentotuhkassa liukoisessa sulfaattimuodossa, toisella koepolttojaksoissa tutkittiin rikin mahdollisia muita esiintymismuotoja.

7.2 Toukokuun koepolttojakso

7.2.1 Polttoaineiden ja tuhkien määrät

Toisella koepolttojakso oli kestoltaan lyhyempi kuin ensimmäinen koepolttojakso ja sen mukaan polttoaineita poltettiin myös vähemmän. Taulukosta 9 nähdään toisella koepolttojaksolla poltettujen polttoaineiden määrä ja muodostuneiden tuhkien määrät.

TAULUKKO 9, Toisen koepolttojakson polttoaineiden ja tuhkien määrät

Määrät	
Turve	2125,29 t
Liete	1121,22 t
Puupolttoaineet	8195,83 t
Kuitusavi (poltettu)	254,40 t
Kuitusavi (kokonais)	798,78 t
Lentotuhka	351,34 t
Pohjatuhka	69,34 t

Taulukossa 9 näkyvä puupolttoaineiden määrä on suuntaa antava, koska kyseinen mittaus ei ollut kunnossa toisen koepolttojakson alkuun alkaen 19.5. kello 12 ja päättyen 20.5. kello 08.30. Tämän aikavälin puupolttoaineen määrä on laskettu toisen koepolttojakson puupolttoainemäärän keskiarvolla.

Toisella koepolttojaksolla puupolttoaineita poltettiin 70 m-%, turvetta 18 m-%, lietettä 10 m-% ja kuitusavea 2 m-%. Toisen koepolttojakson turvesuhde on lähes normaali, ja tämä näkyy kattilan ilmapäästöissä SO₂-päästöjen normalisoitumisena ensimmäiseen koepolttojaksoon verrattaessa. Kuitusavea ei toisella koepolttojaksolla saatu poltettua suunniteltua määrää. Kuitusaven määrän vähyys voidaan selittää pienentyneillä kattilakuormilla, muiden polttoaineiden määrän paljoudella ja kuoritaskun ajoittaisella käynnillä. Kuitusaven muodostumismäärä on lähellä normaalia tasoa toisella koepolttojaksolla.

Lentotuhkaa toisella koepolttojaksolla muodostui 3 % ja pohjatuhkaa muodostui 0,6 % kaikesta poltetusta massasta. Luvut ovat melkein identtisiä ensimmäisen koepolttojakson muodostuneisiin tuhkan määriin. Myös toisella koepolttojaksolla molempia tuhkalaatuja syntyi enemmän mitä normaalien polttoaineiden kanssa.

7.2.2 Kattilan toiminta

Toisen koepolttojakson turvesuhteen normalisoituminen vaikutti toisen koepolttojakson SO₂-päästöjen laskuun, jopa referenssijakson arvojen alapuolelle. Ku- vasta 7 nähdään otanta toisen koepolttojakson muuttuneista ja tärkeimmistä pa- rametreista.

Referenssijakso

LEIJUP. LÄMPÖT KA	NOX -PITOISUUS K7- PIIPULLA	SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	K7: NO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: SO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: CO-PIT KUIVA RED 6% O2	TUOREHÖYRY VIRTAUS	KPA POLTTOARV. ESTIM.
°C	mg/Nm3	mg/Nm3	mg/m3(n)	mg/m3(n)	mg/m3(n)	kg/s	MW/kg
6478TIA- 301KA:av	6478QI-351.8:av	6478QI-351.6:av	647K7L1R.Lc	647K7L2R.Lc	647K7L4R.Lc	6478FIQ-168:av	6478XQ- 160:pos
833,22	138,01	64,69	184,98	60,14	32,18	63,30	6,38

2. Koepolttojakso

LEIJUP. LÄMPÖT KA	NOX -PITOISUUS K7- PIIPULLA	SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	K7: NO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: SO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: CO-PIT KUIVA RED 6% O2	TUOREHÖYRY VIRTAUS	KPA POLTTOARV. ESTIM.
°C	mg/Nm3	mg/Nm3	mg/m3(n)	mg/m3(n)	mg/m3(n)	kg/s	MW/kg
6478TIA- 301KA:av	6478QI-351.8:av	6478QI-351.6:av	647K7L1R.Lc	647K7L2R.Lc	647K7L4R.Lc	6478FIQ-168:av	6478XQ- 160:pos
828,64	160,53	62,59	221,55	59,21	47,88	59,27	6,80

Muutos

LEIJUP. LÄMPÖT KA	NOX -PITOISUUS K7- PIIPULLA	SO2-PITOISUUS K7 PIIPULLA	K7: NO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: SO2-PIT KUIVA RED 6% O2	K7: CO-PIT KUIVA RED 6% O2	TUOREHÖYRY VIRTAUS	KPA POLTTOARV. ESTIM.
°C	mg/Nm3	mg/Nm3	mg/m3(n)	mg/m3(n)	mg/m3(n)	kg/s	MW/kg
6478TIA- 301KA:av	6478QI-351.8:av	6478QI-351.6:av	647K7L1R.Lc	647K7L2R.Lc	647K7L4R.Lc	6478FIQ-168:av	6478XQ- 160:pos
-4,58	22,52	-2,10	36,57	-0,93	15,70	-4,03	0,42

KUVA 10. Toisen koepolttojakson parametrien muutokset referenssijaksoon verrattuna

Toisella koepolttojaksolla kattilakuormaa ei saatu niin alhaiselle tasolle kuin koepolttojaksojen suunnitteluvaiheessa toivottiin. Kattilakuormat olivat vain 4 kg/s pienemmät kuin referenssijaksolla. Kattilan ilmapäästöissä tapahtuneet muutokset ovat SO₂-päästöjä lukuun ottamatta suuremmat kuin referenssijaksolla. Poiketen ensimmäisestä koepolttojaksosta myös CO-päästöt ovat hieman kohonneet toisella koepolttojaksolla. Kohonneet päästöt pysyvät kuitenkin päästörajoi-
tuksien sisällä. Petilämmöt pysyivät toisellakin koepolttojaksolla suhteellisen muuttumattomina.

Toisen koepolttojakson jälkeen kattilan pedissä huomattiin petihiekan sintraantumista. Petihiekan sintraantumisen syytä lähdettiin tutkimaan ottamalla peti-

hiekaista näytteitä talteen ja näytteet tullaan lähettämään laboratorioon analysoitavaksi, jotta saadaan selville, voiko kuitusaven poltto olla syynä petihiekan sint-raantumiseen.

7.2.3 Tuhkien, kuitusaven ja lietteen laboratoriotulokset

Ensimmäisen koepolttojakson tuloksien perusteella testeistä jätettiin orgaanisten haitta-aineiden analyysit pois, koska ne todettiin olemattomiksi. Ensimmäisellä koepolttojaksolla tutkittujen tuhkien suurten barium- ja rikkipitoisuuksien vuoksi tutkittiin myös kuitusaven ja lietteen alkuainepitoisuudet. Tällä pyrittiin kartoittamaan, mistä lento- ja pohjatuhkissa oleva rikki on peräisin. Ensimmäisellä koepolttojaksolla kuitusaven polton havaittiin myös vähentävän lentotuhkan sulfaatin liukenemistä, mutta kokonaisrikin määrä oli varsin suuri.

Toisen koepolttojakson lento- ja pohjatuhka, kuitusaven ja lietteen kokoomanäytteet lähetettiin SGS:n laboratorioon Kotkaan testeihin. Yksi lentotuhkan kokoomanäyte lähetettiin myös Eurofinsin laboratorioon Ouluun testeihin, jossa tutkittiin esiintyykö lentotuhkassa oleva rikki mahdollisesti vesiliukoisena sulfiitti- tai sulfidimuodossa. Tuhkien kokoomanäytteistä testattiin SGS:n laboratoriossa pH, neutralointikapasiteetti kuiva-ainepitoisuus, liukoisuus, hiilen määräitys, metallit ja hehkutushäviö. Eurofinsin laboratoriossa kokoomanäytteistä testattiin 1-vaiheisen ravistelutestin suodoksesta rikin kokonaispitoisuus, sulfaattipitoisuus, sulfidipitoisuus sekä sulfiittipitoisuus uuttosuhteessa L/S 10.

Pohjatuhka

Toisella koepolttojaksolla syntyneen pohjatuhkan liukoisuustestin tulokset näkyvät kuvasta 11.

Liukoisuustestin kumulatiivinen liennut määrä L/S=10 Menetelmä: EN 16192

Arseeni	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Barium	mg/kg KA.	4	28
Kadmium	mg/kg KA.	0.01	<0.01
Kromi	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Kupari	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Molybdeeni *	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Lyijy	mg/kg KA.	0.1	0.1
Nikkeli	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Antimoni	mg/kg KA.	0.05	<0.05
Seleeni	mg/kg KA.	0.03	<0.03
Vanadiini *	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Sinkki	mg/kg KA.	0.8	<0.8
Elohopea	mg/kg KA.	0.002	<0.002
Kloridi	mg/kg KA.	160	<160
Sulfaatti	mg/kg KA.	200	<200
Fluoridi	mg/kg KA.	2	<2.0
DOC	mg/kg KA.	100	<100
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS)	mg/kg KA.	800	16000
Kalsium *	mg/kg KA.	20	7100

KUVA 11. Toisen koepolttojakson pohjatuhkan liukoisuustestin tulos

Toisen koepolttojakson pohjatuhkan tulokset ovat lähes identtisiä ensimmäisen koepolttojakson tulosten kanssa. Ainoana erona bariumin liukoisuuden pieni kasvu. Tämä bariumin kasvu ei estä mara-asetuksen mukaista pohjatuhkan hyötykäyttöä.

Lentotuhka

Toisella koepolttojaksolla syntyneen lentotuhkan liukoisuustestin tulos nähdään kuvasta 12.

Liukoisuustestin kumulatiivinen liuennut määrä L/S=10 Menetelmä: EN 16192 (continued)

Arseeni	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Barium	mg/kg KA.	4	140
Kadmium	mg/kg KA.	0.01	<0.01
Kromi	mg/kg KA.	0.1	0.6
Kupari	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Molybdeeni *	mg/kg KA.	0.1	0.3
Lyijy	mg/kg KA.	0.1	0.1
Nikkeli	mg/kg KA.	0.1	<0.1
Antimoni	mg/kg KA.	0.05	<0.05
Seleeni	mg/kg KA.	0.03	0.04
Vanadiini *	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Sinkki	mg/kg KA.	0.8	<0.8
Elohopea	mg/kg KA.	0.002	<0.002
Kloridi	mg/kg KA.	160	1176
Sulfaatti	mg/kg KA.	200	1962
Fluoridi	mg/kg KA.	2	<2.0
DOC	mg/kg KA.	100	<100
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS)	mg/kg KA.	800	32000
Kalsium *	mg/kg KA.	20	9700
Fosfori *	mg/kg KA.	0.5	<0.5

KUVA 12. Toisen koepoltojakson lentotuhkan liukoisuustestin tulos

Toisen koepoltojakson lentotuhkan liukoisuustestin tulokset ovat samanlaisia mitä ensimmäisellä koepoltojaksolla. Poiketen ensimmäisen koepoltojakson tuloksista toisen koepoltojakson lentotuhkan sulfaatin liukoisuus on yli määräysrajan. Kokonaisriikkiä on lentotuhkassa ensimmäisen koepoltojakson tavoin. Tämä nähdään kuvasta 13.

Kuiva-ainetta kohti *			
Arseeni	mg/kg KA.	10	<10
Barium	mg/kg KA.	5	530
Kadmium *	mg/kg KA.	0.4	2.0
Kromi	mg/kg KA.	5	49
Kupari	mg/kg KA.	10	43
Antimoni *	mg/kg KA.	10	<10
Lyijy	mg/kg KA.	5	8
Molybdeeni *	mg/kg KA.	10	<10
Nikkeli	mg/kg KA.	10	24
Vanadiini	mg/kg KA.	10	54
Sinkki	mg/kg KA.	10	390
Fosfori *	mg/kg KA.	5	6300
Kalium *	mg/kg KA.	20	7900
Rikki *	mg/kg KA.	50	6500
Seleeni *	mg/kg KA.	10	<10
Kalsium *	mg/kg KA.	50	340000

KUVA 13. Toisen koepoltojakson lentotuhkan metallien määritys

Kuvasta 13 nähdään, että lentotuhkassa esiintyy rikkiä myös muussa muodossa kuin sulfaattina. Bariumin pitoisuus on myös kasvanut ensimmäisestä koepoltojaksoista.

Eurofinsin laboratoriotestien tulokset lentotuhkasta eivät aikataulutusta syistä ehtineet raporttiin.

Kuitusavi

Kuitusavesta testattiin SGS:n laboratoriossa hehketushäviö, metallit ja kuiva-ainepitoisuus. Kuvasta 14 nähdään kuitusaven testitulokset.

Hehkutushäviö jätenäytteestä (550 C) Menetelmä: SFS 3008

Hehkutushäviö (550 C) *	paino-% KA.	0.1	56.1
-------------------------	-------------	-----	------

Metallit jäte ICP-AES kuningasvesi Menetelmä: ISO 22036, SFS-EN 16170, SFS-EN 16174, SFS-EN 13657

<i>Kuiva-ainetta kohti *</i>			
<i>Elohopea *</i>	mg/kg KA.	0.2	<0.2

Metallit jättemateriaali ICP-AES kuningasvesi Menetelmä: SFS-EN ISO 11885, SFS-EN 16170, SFS-EN 16174, SFS-EN 13657

<i>Kuiva-ainetta kohti *</i>			
Arseeni	mg/kg KA.	10	<10
Barium	mg/kg KA.	5	11
Kadmium *	mg/kg KA.	0.4	<0.4
Kromi	mg/kg KA.	5	6
Kupari	mg/kg KA.	10	<10
Antimoni *	mg/kg KA.	10	<10
Lyijy	mg/kg KA.	5	<5
Molybdeeni *	mg/kg KA.	10	<10
Nikkeli	mg/kg KA.	10	<10
Vanadiini	mg/kg KA.	10	<10
Sinkki	mg/kg KA.	10	<10
Rikki *	mg/kg KA.	50	610
Seleeni *	mg/kg KA.	10	<10
Kalsium *	mg/kg KA.	50	160000

Kuiva-ainepitoisuus Menetelmä: Sis.menet. SGSF1003 perustuu SFS-ISO 11465, EN 15934, SFS-EN 14346 kumottu

Kuiva-ainepitoisuus	paino-%	2	42.4
---------------------	---------	---	------

KUVA 14. Kuitusaven laboriotestien tulokset

Kuvasta 14 nähdään, että kuitusavi sisältää pieniä määriä bariumia ja rikkiä, mutta lento- ja pohjatuhkan suuret barium ja rikki määrät eivät ole peräisin kuitusavesta. Barium ja rikki tulee tuhkiin muista voimalaitoksella poltettavista polttoaineista.

Liete

Voimalaitoksella poltettavasta lietteestä tutkittiin SGS:n laboratoriossa hehkutushäviö, metallit ja kuiva-ainepitoisuus. Kuvasta 15 nähdään lietteen laboriotestien tulokset.

Hehkutushäviö jätenäytteestä (550 C) Menetelmä: SFS 3008

Hehkutushäviö (550 C) *	paino-% KA.	0.1	30.7
-------------------------	-------------	-----	------

Metallit jäte ICP-AES kuningasvesi Menetelmä: ISO 22036, SFS-EN 16170, SFS-EN 16174, SFS-EN 13657

Kuiva-ainetta kohti *			
Elohopea *	mg/kg KA.	0.2	0.5

Metallit jättemateriaali ICP-AES kuningasvesi Menetelmä: SFS-EN ISO 11885, SFS-EN 16170, SFS-EN 16174, SFS-EN 13657

Kuiva-ainetta kohti *			
Arseeni	mg/kg KA.	10	<10
Barium	mg/kg KA.	5	200
Kadmium *	mg/kg KA.	0.4	1.7
Kromi	mg/kg KA.	5	27
Kupari	mg/kg KA.	10	28
Antimoni *	mg/kg KA.	10	<10
Lyijy	mg/kg KA.	5	<5
Molybdeeni *	mg/kg KA.	10	<10
Nikkeli	mg/kg KA.	10	28
Vanadiini	mg/kg KA.	10	52
Sinkki	mg/kg KA.	10	280
Rikki *	mg/kg KA.	50	4900
Seleeni *	mg/kg KA.	10	<10
Kalsium *	mg/kg KA.	50	280000

Kuiva-ainepitoisuus Menetelmä: Sis.menet. SGSF1003 perustuu SFS-ISO 11465, EN 15934, SFS-EN 14346 kumottu

Kuiva-ainepitoisuus	paino-%	2	24.5
---------------------	---------	---	------

KUVA 15. Lietteän laboratoriotestien tulokset

Kuvasta 15 voidaan nähdä, että voimalaitoksella poltettava liete sisältää bariumia ja suuria määriä rikkiä. Lietteän sisältämät barium ja rikki pitoisuudet selittävät osaksi pohja- ja lentotuhkan korkeita barium ja rikki pitoisuuksia.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää paperitehtaan lietteen, kuitusaven, poltto mahdollisuutta. Tätä varten järjestettiin aluehallintoviraston myöntämän ympäristöluvan puitteissa kaksi koepolttojaksoa. Koepolttojaksot suunniteltiin kattilakuormien mukaan, että saataisiin tietoa kattilan toiminnasta kuitusaven ollessa poltossa talvi- ja kesäkuormilla. Koepolttojaksolla tarkkailtiin kattilan käyttäytymistä trendeistä ja käyttöhenkilöstön toimesta silmämääräisesti. Koepolttojaksoiden aikana muodostuneista tuhista teetettiin laajat laboratorionkokeet. Ensimmäinen koepolttojako suoritettiin 3.3.2021 - 14.3.2021 ja toinen koepolttojako suoritettiin 19.5.2021 - 25.5.2021.

Kuitusaven polttaminen suoritettiin sekoittamalla kuitusavi turpeeseen, hakkeeseen ja kuoreen. Sekoitusta syötettiin koepolttojaksolla tasaisesti polttoainevirtaan. Ensimmäisellä koepolttojaksolla kuitusavea sekoitettiin suhteella 1:10 ja syötettiin polttoainevirtaan 184 tuntia. Ensimmäisellä koepolttojaksolla kuitusavea poltettiin yhteensä 946,76 tonnia, joka vastaa 5 m-% koepolttojakson polttoaineista. Toisella koepolttojaksolla kuitusavea sekoitettiin suhteella 1:4 ja syötettiin polttoainevirtaan 121 tuntia. Toisella koepolttojaksolla kuitusavea poltettiin yhteensä 254,4 tonnia, joka vastaa 2,2 m-% koepolttojakson polttoaineista.

Koepolttojaksolla ei kattilan toiminnassa huomattu ongelmia kuitusaven ollessa poltossa. Polttojaksojen jälkeen datankeruusta löytyi kuitenkin huomattavia muutoksia referenssijaksoon. Ensimmäisellä koepolttojaksolla kattilan SO₂-päästöt olivat kasvaneet. Tämä selitettiin kuitenkin ensimmäisellä koepolttojaksolla lisääntyneellä turpeen poltolla. Toisella koepolttojaksolla turvesuhteen laskettua normaaliin SO₂-päästöt eivät olleet enää kasvaneet referenssijakson arvojen yli. Molemmilla koepolttojaksolla kattilan NO_x-päästöt ja toisella koepolttojaksolla myös CO-päästöt ovat kohonneet.

Koepolttojaksolla muodostuneille pohja- ja lentotuhkille tehtiin laajat laboratorionkokeet. Kokeista havaittiin kuitusaven polton vaikuttavan merkittävästi tuhkan laatuun. Varsinkin lentotuhkan barium ja rikki pitoisuudet olivat niin korkeat, ettei

kuitusaven polton yhteydessä muodostuvaa lentotuhkaa voidaan käyttää hyödyksi sellaisenaan vaan lentotuhka joudutaan käsittelemään ennen kuin se voidaan sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Pohjatuhkaan kuitusaven poltto ei niin paljoa vaikuttanut. Kuitusaven polton yhteydessä muodostuvaa pohjatuhkaa voidaan käyttää hyväksi mara-asetuksen mukaisesti.

Toisen koepolttojakson jälkeen huomattiin, että kattilan petihiekka oli alkanut sintraantumaan. Jatkossa kannattaa tutkia tarkemmin, johtuuko petihiekan sintraantumisen kuitusaven poltosta.

Kaiken kaikkiaan koepolttojaksojen ansiosta saatiin selville, että Veitsiluodon leijukerroskattilalla on mahdollista polttaa kuitusavea. Ongelmaksi kuitusaven poltossa todettiin lento- ja pohjatuhkien bariumin liukoisuuden ja kattilan ilmapäästöjen kasvu. Jos kuitusavea päätetään alkaa polttamaan säännöllisesti voimalla poltosta muodostuville tuhille on tarve löytää sopiva loppusijoituspaikka tai hyödyntämiskohde. Kattilan lisääntyviin päästöihin voitaisiin vaikuttaa kattilan polttoilma säädöillä, jotta polttoprosessista saataisiin tasaisempaa. Polttoilman säätöjä kannattaa jatkossa tutkia.

LÄHTEET

1. Stora Enso vuonna 2019. Stora Enso. Saatavissa: https://vuosikertomukset.net/resources/Stora_enso/fin/vuosikertomukset/Stora_enso_vuosikatsaus_2019.pdf. Hakupäivä 26.5.2021.
2. Piisilä Noora 2015. Klooridioksidin käytön optimoiminen sellutehtaan valkaisuulla. Opinnäytetyö. Kemi: Lapin ammattikorkeakoulu, tuotantotekniikka.
3. Historia. 2015. PowerPoint-diasarja. Sisäinen lähde. Stora Enso Veitsiluoto Oyj.
4. Veitsiluodon esittely huhtikuu 2021. 2021. PowerPoint-diasarja. Sisäinen lähde. Stora Enso Veitsiluoto Oyj.
5. Tourunen Ossi 2016. Kuitusaven hyödyntäminen leijupetikattilassa. Opinnäytetyö Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, paperikoneteknologioan tutkinto-ohjelma.
6. Huhtinen Markku – Korhonen Risto – Pimiä Tuomo – Urpalainen Samu, 2018 Voimalaitostekniikka. 4. painos. Helsinki: Opetushallitus.
7. Rantee, Asko 1995. Käyttöohjeet, Kerrosleijukattila K7, Veitsiluodon voima Oy.
8. Luokkanen Timo-Olli, Käyttöinsinööri, Stora Enso Veitsiluoto, Kemi. Keskustelut tammikuu 2021 – kesäkuu 2021.
9. Arnkil N. – Joensuu S. – Kauppila M. – Kontinen K. – Kotiharju A. – Lahti E. – Tenhola T. 2020. Tuhka osana kestäväää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. Saatavissa <https://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/tuhka-osana-kestavaa-liiketoimintaa-opas-tuhkan-tuottajille-ja-kayttajille/> Hakupäivä 29.3.2021.
10. Honkarinta Essi 2020. Paperitehtaan kiintoainehävikin kartoitus ja minimointi. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, prosessitekniikka.