

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
School of Energy Systems
Energiatekniikka
BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

**FORSSAN JA LIEKSAN VOIMALAITOSTEN
RIKINSYÖTTÖJÄRJESTELMÄT**

Lappeenrannassa 1.9.2022
Vernerii Aleksejev

TIIVISTELMÄ

School of Energy Systems

Energiatekniikka

Verner Aleksejev

Kandidaatintyö 2022

Tarkastaja: Esa Vakkilainen

Ohjaaja: Tuure Laurila

29 sivua. 12 kuvaa ja 8 taulukkoa

Hakusanat: rikinsyöttö, seospoltto

Lieksan ja Forssan voimalaitoksilla vuonna 2021 turpeen ja biomassan seospoltosta on luovuttu. Molemmille voimalaitoksille on asennettu tämän johdosta rikinsyöttöjärjestelmät. Kandidaatin työn tavoitteena on antaa Nevel Oy:n etäkäyttökeskuksen operaattoreille tietopaketti, jonka avulla operaattorit pystyvät tutustumaan rikinsyötön tarpeellisuuteen ja tekniikkiin toteutuksiin. Turpeen ja biomassan seospoltolla on useita kattilaa suojaavia vaikutuksia. Turve muuttaa biopolttoaineissa olevat alkalikloridit kattilalle vaarattomaan muotoon, ehkäisee peti hiekan sintraantumista ja puhdistaa tulistinpintoja jatkuvan kevyen hiekkapuhalluksen tavoin. Turpeen suojaavien vaikutusten taustalla on pääosin turpeessa oleva rikki.

Kloridikorroosiota esiintyy, mikäli palamisprosessin savukaasuissa on tarpeeksi suuri alkalikloridi pitoisuus verrattuna savukaasujen rikkipitoisuuteen. Alkalikloridihöyryjen kohdassa sulamispistettään kylmemmän tulistinpinnan, alkalikloridit tiivistyvät tulistinputkien pintaan ja muodostavat suolakerroksen. Kloridisuolat rikkovat tulistinputkipinnan oksidikerroksen ja korrosio voi alkaa. Korroosionopeuteen vaikuttavat mm. tulistinputken lämpötila ja polttoaineen klooripitoisuus.

Rikki voidaan syöttää kattilaan esimerkiksi sulfaattiliuoksena tai kiinteänä rikkipastillina kattilaan. Sulfaattiliuosten etuna on tehokkaampi reagoiminen alkalikloridien kanssa verrattuna polttoaineen sekaan syötettyyn kiinteään rikkiin. Suihkutettavat liuokset soveltuvat paremmin yli 100 MW:n laitoksiin korkeampien rakennuskustannusten takia. Pienemmissä alle 100 MW:n laitoksissa, mukaan lukien Lieksan ja Forssan voimalaitokset, kiinteän rikinsyöttäminen polttoaineen joukkoon on todettu riittäväksi toimenpiteeksi.

Lieksan ja Forssan voimalaitoksissa syötetään rikkipastilleja polttoaineen sekaan. Forssassa rikkipastillit puhalletaan suoraan polttoaineen syöttötorviin, kun taas Lieksassa rikki syötetään nostavalle kolakuljettimelle, joka vie polttoaineen ja rikin seoksen päiväsiiloon. Pitkityneessä rikinsyöttöjärjestelmän häiriötilanteessa voidaan pohtia tapauskohtaisesti, olisiko järkevää laskea tuorehöyryn lämpötilaa, olisiko lisänuohoukselle tarvetta tai olisiko järkevää ajaa pelkästään toista polttoaineen syöttöpuolta.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 TURPEEN JA BIOPOLTTOAINEIDEN SEOSPOLTTO	6
2.1 Polttoaineiden ominaisuuksia	6
2.2 Pedin sintraantuminen	7
2.3 Turpeen osuus seospoltossa	8
3 KUUMAKORROOSIO	9
3.1 Korroosiomekanismi	9
4 RIKINSYÖTTÖ KATTILAAN	13
4.1 ChlorOut	13
4.2 Kiinteän rikin annostelulaitteisto	13
4.2.1 Rikkigranulaatti	14
5 LIEKSAN VOIMALAITOS	15
5.1 Lieksa rikinsyöttöjärjestelmä	17
5.2 Täyttö	18
5.3 Pölynpoisto	18
5.4 Täryvasarat	19
5.5 Sekoitin	19
5.6 Syöttöruuvi	19
5.7 Häiriötilanteessa	20
6 FORSSAN VOIMALAITOS	21
6.1 Forssa rikinsyöttöjärjestelmä	23
6.2 Häiriötilanteet	25
7 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28

SYMBOLILUETTELO

Roomalaiset

T	lämpötila	°C, K
V	tilavuus	m ³

Lyhenteet

BFB	Bulbbling Fluidized Bed
CFB	Circulating Fluidized Bed

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö on tarkoitettu Nevel Oy:n etäkäyttökeskukselle operaattoreiden tietopaketti. Vantaan Tikkurilassa sijaitsevalta etäkäyttökeskukselta operoidaan voima- ja lämpölaitoksia ympäri Suomen. Lieksan ja Forssan voimalaitokset kuuluvat näihin etävalvottaviin laitoksiin. Aiemmin näiden voimalaitosten kattiloissa on poltettu turvetta ja biomassaa erilaisin seoksin. Forssan ja Lieksan voimalaitoksilla luovuttiin turpeen seospoltosta 2021 loppupuolella, jonka seurauksena rikinsyöttöjärjestelmä oli välttämätön kattiloiden kuuma-korroosion ennaltaehkäisemiseksi. Etäkäyttökeskuksen operaattoreille rikinsyöttö on uusi konsepti ja se loi tarpeen tehdä tämä kandidaatintyö, joka antaa hyvän yleissilmäyksen aihealueeseen.

Vaikka turve on tunnetusti ollut mainio polttoaine seospoltossa, turve ei kuitenkaan kuulu Suomen tai EU:n luokitusten mukaan uusiutuviin energian lähteisiin, sillä sen uusiutuminen on hidasta. Turvetta käsitellään päästökaupassa kuten fossiilisia polttoaineita. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021, p. 18) Turpeen käytön verotuksen ja päästöoikeuksien kustannusten noustessa, turpeen polton vähentäminen tai siitä luopuminen kokonaan on taloudellisesti kannattavaa. (Afry, 2020, p. 42)

Turpeella on monia kattilaa suojaavia vaikutuksia, joista merkittävin suojaava tekijä on turpeen sisältämä rikki. Rikki pystyy muuttamaan palamisessa syntyvät korrosoivat yhdisteet kattilalle vaarattomaan muotoon. Rikinsyötöllä pyritäänkin täyttämään turpeen sisältämän rikin suojaavat vaikutukset. Työssä perehdytään niin seospolttoon kuin rikin suojaaviin vaikutuksiin.

Työn tarkoituksena on selvittää, miksi rikinsyöttö on tarpeellinen, sekä perehdytään erilaisiin rikinsyöttöjärjestelmiin. Tutkielmassa tarkastelomme myös Forssan ja Lieksan voimalaitosten rikinsyöttöjärjestelmien toimintaa. Työn lopussa pohditaan myös, mitä operaattori voisi mahdollisissa häiriötilanteissa tehdä korroosioriskin minimoimiseksi.

2 TURPEEN JA BIOPOLTTOAINEIDEN SEOSPOLTTO

Seospoltolla tarkoitetaan usean eri polttoaineen polttamista saman aikaisesti kattilassa. BFB-kattilat eli kuplaleijupetikattilat pystyvätkin hyödyntämään joustavasti erilaisia polttoaineita. Yleisesti Suomessa käytettyjä biopolttoaineita polttokattiloissa on mm. metsätähdehake, kuori, kierrätyspuu, puru ja kasviperäiset polttoaineet. Haasteita biopolttoaineiden poltolle asettaa etenkin puuperäisten polttoaineiden sisältämä kloori ja alkalit. Turve on mainio seospolttoaine sen kattilaa suojaavien ominaisuuksien vuoksi. Turpeessa tärkeimmät suoja-aineet ovat rikki ja alumiinisilikaatit, jotka pystyvät muuntamaan biopolttoaineissa esiintyvät alkalikloridit kattilalle vaarattomaan muotoon sekä sitomaan alkaleita (Alakangas et al., 2016, p. 200).

2.1 Polttoaineiden ominaisuuksia

Puupolttoaineet sisältävät monia mineraaleja, jotka voivat vaikuttaa kattilan ympäristöpäästöihin ja lämpöpintojen korroosioon. Ne eivät myöskään vapauta lämpöä palaessaan. Määrällisesti yleisimmät mineraalit ovat kalsium, kalium, fosfori ja magnesium. Kattilakorroosion kannalta merkittävimmät alkalit ovat natrium ja kalium, jotka yhdessä kloorin kanssa aiheuttavat lämpöpintojen korroosiota. (Knuutila et al., 2003)

Puupolttoaineet sisältävät vain vähäisen määrän rikkiä. Runkopuussa rikkiä on vain noin 0,01 %, kuoressa 0,02 % ja lehdisissä 0,04 - 0,2 % (Knuutila et al., 2003). Turpeen rikkipitoisuus on Suomessa keskiarvoltaan 0,24 % (Herranen, 2009, p. 19). Alkuaine klooria esiintyy pääasiassa puun lehtivihreässä ja havupuiden neulasissa. Itse puuaineessa klooria on vain hyvin pieniä pitoisuuksia, mutta metsähakkeessa, jossa neulasia on suuria määriä voi klooripitoisuus suhteellisen korkeaksi. (Knuutila et al., 2003) Seuraavassa taulukossa esitetään eri polttoaineiden rikki- ja klooripitoisuuksia.

Taulukko 1. Yleisimpien polttoaineiden rikki- ja kloori pitoisuuksia kuiva-aineessa, p-% (Vesanto, 2007, p. 210)

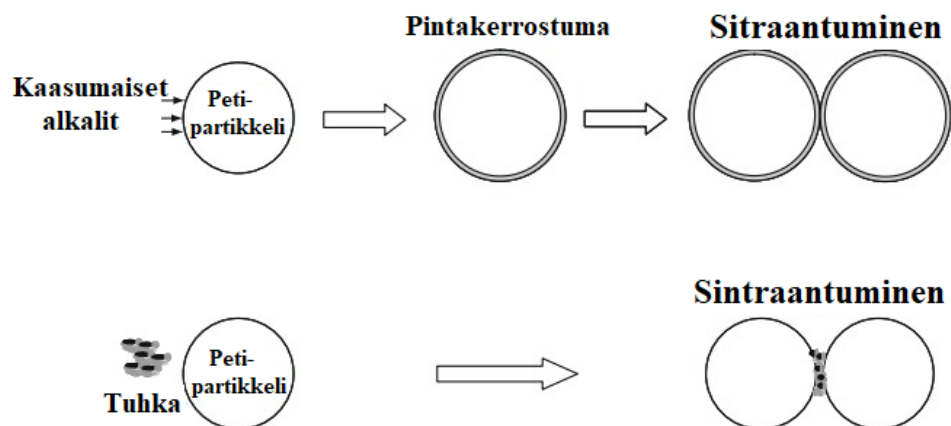
	S	Cl
Puu, yleensä	0,05	< 0,01
Kokopuuhake, mänty	0,01	0,0042
Metsätähdehake	0,02	0,0076
Havupuuhake	0,02–0,045	0,011–0,031

Sahanpuru, mänty, kuoreton	0	< 0,0050
Männyn kuori	0,03	0,0085
Kuusen kuori	0,03	0,0279
Jyrsinturve	0,22	-

Taulukosta 1 huomataan, että suurimmat klooripitoisuudet löytyvät erityisesti havupuuhakkeesta, sekä kuusen kuoresta. Puupurussa klooria taas ei juuri ole laisinkaan, mutta toisaalta se ei sisällä myöskään rikkiä. Arvioitaessa polttoaineen korroosioriskiä tulisi huomioon ottaa polttoaineen S/Cl suhde, jonka turvallisesta suhteesta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 3.

2.2 Pedin sintraantumisen

Petihiekan sintraantumisen polttoaineen sisältämät kalsium, kalium ja muut alkalit reagoivat kvartsihiekan kanssa. Reagoidessaan ne muodostavat alhaisissa lämpötiloissa sulavia silikaattiyhdisteitä. Hiekkapartikkeli voi reagoida kaasumaisten alkaleiden kanssa, jolloin partikkelin pintaan syntyy kerrostuma, jolloin se voi tarttua yhteen toisen partikkelin kanssa. Partikkelit voivat myös kiinnittyä toisiinsa sulan tuhkan vaikutuksesta. Seuraavassa kuvassa havainnollistetaan petihiekan sintraantumismekanismia. (Spliethoff, 2010, p. 378)



Kuva 1. Petihiekan sintraantumismekanismit (Spliethoff, 2010, p. 379)

Mahdolliset syyt miksi turve ehkäisee sintraantumista, on sen sisältämä rikki. Rikki reagoi biopolttoaineen sisältämien alkaliin, esimerkiksi kaliumin (K) kanssa muodostaen alkalisulfaatteja. Alkalisulfaateilla on korkeampi sulamislämpötila verrattuna alkalisilikaatteihin, jolloin ne eivät reagoi kvartsin kanssa. Alkalisulfaatit muodostavat pieniä kondensoituja partikkeleita, jotka kulkeutuvat helpommin pois savukaasujen tai tuhkan mukana. Tällöin

alkalit eivät pääse vaikuttamaan petimateriaalin kanssa, mikä vähentää alkalien vaikutusta pedin sintraantumiseen. (Brus et al., 2005)

Lundholm et al:n tutkimuksessa havaittiin, kun polttoaine sisälsi 5 % tietyn alueen turvetta pedin sintraantuminen pystyttiin estämään. Sintraantumisen estäminen on tärkeää, että kattilan hyötysuhde säilytetään. Pedin sintraantumisen seurauksena voi olla voimalaitoksen ylimääräinen alasajo, jossa sintraantunut petihiekka joudutaan poistamaan. (Lundholm et al., 2005, pp. 2273–2278)

Turpeen tuhka voi myös vähentää lämpöpintojen likaantumista. Turpeesta syntyvä inertti tuhka laimentaa alkalipitoista ja likaavaa tuhkaa, jolloin tuhkasta muodostuvat kerrokset lämpöpinnoille ovat hauraampia ja helpommin poistettavissa esimerkiksi nuohouksen avulla. Turpeen silikaattituhka on kevyesti kuluttavaa ja poistaakin jatkuvan hienovaraisen hiekkapuhalluksen tavoin lämpöpinnoille kertyneitä tuhkakerroksia. (Vesanto, 2007, p. 45)

2.3 Turpeen osuus seospoltossa

Afryn raportin mukaan tyypillisesti seospoltossa turpeen teknisenä käyttöminiminä ilman rikinsyöttöä on pidetty 20–30 % polttoaineen kokonaiskulutuksesta, jolla saataisiin ehkäistyä kuumakorrosio. Leijupetikattiloissa turpeen tekninen käyttöminimi kuumakorrosion estämiseksi ilman rikinsyöttöä on n. 25 %. Toisaalta lämpökattiloissa turpeen tekninen käyttöminimi on 0 %, sillä lämpökattiloiden paine ja lämpötila ovat matalia, jolloin korrosoivia olosuhteita ei muodostu. Puupolttoaineen osuuden kasvattaminen voi aiheuttaa kattilakorrosion lisäksi lämmönsiirtopintojen likaantumista, nuohoustarpeen lisääntymistä, petihiekan vaihtamistarpeen kasvamista, omakäyttötehon kasvamista ja suurempia savukaasumääriä, jotka voivat johtaa höyryntuotannon laskuun. (Afry, 2020, p. 15)

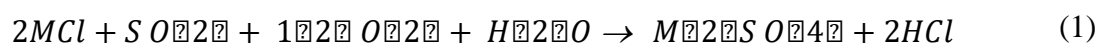
3 KUUMAKORROOSIO

Kattilan tulipuolen kuumakorroosio on merkittävä ongelma ja voi aiheuttaa esiintyessään tulistimien ennenaikaista kulumista. Joissain tapauksissa voidaan puhua jopa katastrofaalisesta korroosiosta, mikäli olosuhteet ovat otolliset (Klarin, 2009). Useimmissa biopolttoaineissa on korkeat alkalimetalli- ja klooripitoisuudet, sekä pieni rikkipitoisuus verrattuna turpeen rikkipitoisuuteen. Tämä luo omat haasteensa turpeen osuuden pienentyessä seospoltossa. Tässä kappaleessa selvennetään miksi biopolttoaineiden alkali- ja klooripitoisuudet ovat haitallisia, mikäli rikki ei ole läsnä palamisessa. Kuumakorroosiossa kuitenkin tulee ottaa huomioon, että siihen vaikuttaa monet eri tekijät klooripitoisuuden lisäksi, kuten tulistinputkimateriaali, höyryn ja metallin lämpötila, sekä tuhkakemia.

3.1 Korroosiomekanismi

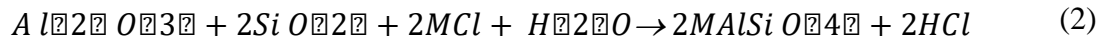
Polttoaineen palaessa kloorista (Cl) ja tuhkan alkaleista muodostuu alkalikloridisuoloja, kuten NaCl ja KCl. Natriumkloridin (NaCl) sulamispiste on 800 °C ja KCl:n sulamispiste on 790 °C. Aineet siis esiintyvät savukaasuissa pääosin höyrynä ja sulapisaroina. Kun alkalikloridi höyryt kohtaavat sulamispistettään kylmemmän tulistinpinnan, niin alkalikloridi höyryt kondensoituvat ja pisarat tarttuvat tulistinputken pintaan. Putken pinnalle siis kasautuu suolakerros, joka on otollinen kloorikorroosion syntymiselle. Suolakerroksessa suolojen sulamispisteet ovat huomattavasti alhaisempia kuin erillään olevat yksittäiset suolojen sulamislämpötilat. Kloridisuolat saavat aikaan putken pintaa suojaavan oksidikerroksen rikkoutumisen ja näin ollen kloorikorroosio voi alkaa, mikäli putken pintalämpötila on riittävän korkea. (Vesanto, 2007, p. 43)

Kun polttoaineen sekaan lisätään rikkiä alkalikloridit muuttuvat alkalisulfaateiksi, jolloin kloori muuntuu suolahapoksi ja poistuu savukaasujen mukana kattilasta aiheuttamatta kattilakorroosiota. Rikkidioksidi SO_2 reagoi alkalikloridien kanssa muodostaen vetykloridia (HCl), sekä natrium- tai kaliumhyposulfiittia (Na_2SO_3 , K_2SO_3). (Alakangas et al., 2016, p. 201)

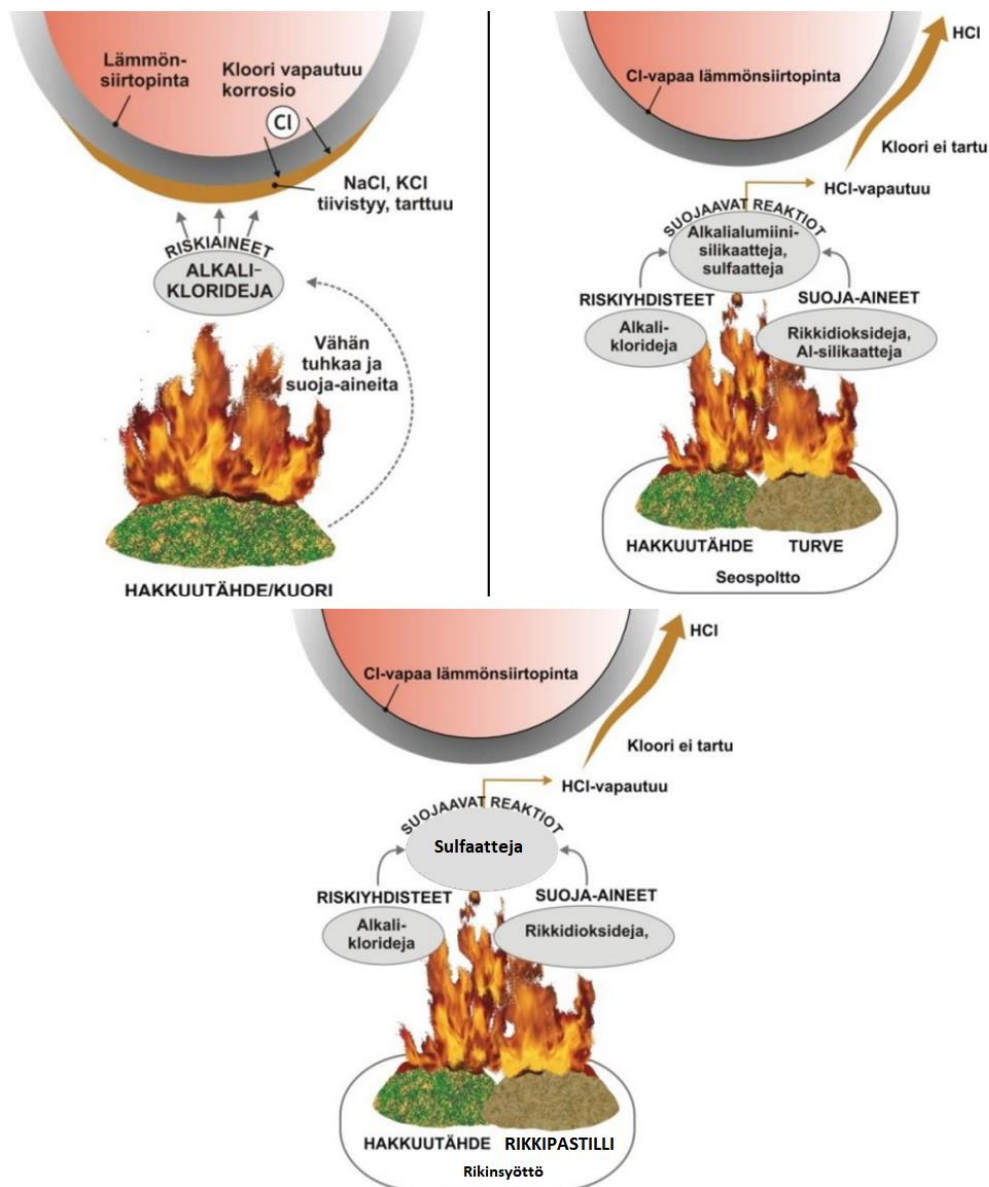


jossa M on K tai Na. Leijupoltto-olosuhteissa alkalisulfaatit tai suolahappo (HCl) eivät ole erityisen korrosoivia (Vesanto, 2007). Alumiinisilikaatit muodostuvat alumiinioksidista ja

piidioksidista. Alumiinisilikaatit voivat myös reagoida alkalikloridien kanssa muodostaen suolahappoa



jossa M on Ka tai Na. Turpeen ja biopolttoaineen seospoltossa turpeen korroosiota estävä vaikutus perustuu pääosin reaktioyhtälöön yksi, sillä suomalaisen turpeen alumiinisilikaattipitoisuudet eivät ole merkittäviä.



Kuva 2. Havainnekuva turpeen ja rikin korroosiota ehkäisevistä ominaisuuksista. Kuvaa muokattu.

(Vesanto, 2007, p. 201)

Pitämällä tulistin putkien lämpötila alle 450 °C kloorikorroosiota ei esiinny. Korkeilla klooripitoisuuksilla kloorikorroosiota voi esiintyä lämpötiloissa 460–480 °C. Yli 500 °C

lämpötiloissa kloorikorroosiota voi esiintyä jo pienillä polttoaineen klooripitoisuuksia. Mikäli kattilassa poltetaan kierrätyspolttoaineita, sen sisältämät raskasmetallit kuten sinkki (Zn) ja lyijy (Pb), madaltavat suolayhdisteiden sulamislämpötiloja ja näin ollen laskevat kloorikorroosion alkamislämpötilaa. Kierrätyspolttoainetta käyttävissä laitoksissa höyryn lämpötila onkin yleensä laskettu 460 °C:een. (Vesanto, 2007, p. 43)



Kuva 3. Helposti lohkeava sakkakerros on usein merkki alkavasta kloridikorroosiosta. (Klarin, 2009, p. 28)

Tulistinputkien korroosionkestävyyttä voidaan parantaa kalliimmilla seostetuilla materiaaleilla. Erityisesti metalliseoksia, joiden kromipitoisuus on yli 25 % pidetään riittävän vastustuskykyisinä poltettaessa hyvin klooripitoisia ja vähä rikkisiä polttoaineita. Tällaiset austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat kuitenkin erittäin kalliita. Normaaleilla ferriittisillä ja martensiittisillä teräksillä ei ole riittäviä ominaisuuksia, jotta ne kestäisivät hyvin olosuhteita, joissa on korkea klooripitoisuus. Tulistinmateriaalin valinta on kuitenkin kompromissi, jossa täytyy tasapainotella korroosion kestävyuden ja korroosiosta aiheutuneiden kulujen välillä. Joissain tapauksissa onkin viisaampaa valita edulliset, mutta vähemmän korroosiota kestävät materiaalit, kun taas toisessa tapauksessa voikin olla järkevämpää investoida kestävimpiin materiaaleihin. (Salmenoja, 2000, p. 87)

Kirjallisuuden perusteella korroosioriskiä voidaan arvioida polttoaineen molaarisella S/Cl suhteella. Eri tutkimuksissa on saatu erilaisia tuloksia sopivalle S/Cl suhteelle. Sen arvioidaan olevan luokkaa 4–5. (Alakangas et al., 2016, p. 202) Aho taas viittaa toiseen VTT:n tutkimukseen jossa turvallisiksi minimiksi S/Cl suhteelle saatiin 3. Turvallinen minimi turpeen osuudelle on Ahon laskelman mukaan 20-40 %. (Aho, 2012) Salmenojan tutkimusten mukaan, jos polttoaineen S/Cl suhde on alle 2, tulistimien korroosiota esiintyy lähes poikkeuksetta. Kun taas suhde on suurempi kuin 4, tulistinkorroosiota ei juurikaan esiinny. (Salmenoja, 2000, p. 87)

4 RIKINSYÖTTÖ KATTILAAN

Turpeen poistuessa poltettavien aineiden joukosta, turpeen kattilalle on korvattava vaihtoehtoisin keinoin. Vaihtoehtoja ovat kattilan tulipesään suihkutettavat sulfaattiliuokset tai kattilan kiinteän polttoaineen sekaan annosteltava kiinteä rikki.

4.1 ChlorOut

Vattenfallin kehittämässä ChlorOut menetelmässä kattilan tulipesään ennen tulistimia suihkutetaan nestemäistä ammoniumsulfaattia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Ammoniumsulfaatti hajoaa ammoniakiksi (NH_3) ja rikkiatrioksidiksi (SO_3) . Rikkiatrioksidi on paljon reaktiivisempi kuin rikkidioksidi (SO_2) . Rikkiatrioksidi reagoi alkalikloridien kanssa muodostaen harmittomampia sulfaatteja. Ammoniumsulfaatti vähentää myös savukaasuissa olevien typenoksidien NO määrää, kun ammoniakki reagoi typenoksidien kanssa. (Broström et al., 2007, pp. 1171–1172)

Vattenfall on myös kehittänyt laitteiston ”in-situ alkali chloride monitor”, joka mittaa Jatkuvasti SO_2 ja alkalikloridien summaa ennen tulistimia tai tulistinpakettien välissä. Tästä mittauksesta saatavalla datalla voidaan esimerkiksi optimoida kattilaan suihkutettavan ammoniumsulfaatin määrää. (Broström et al., 2007, pp. 1171–1172)

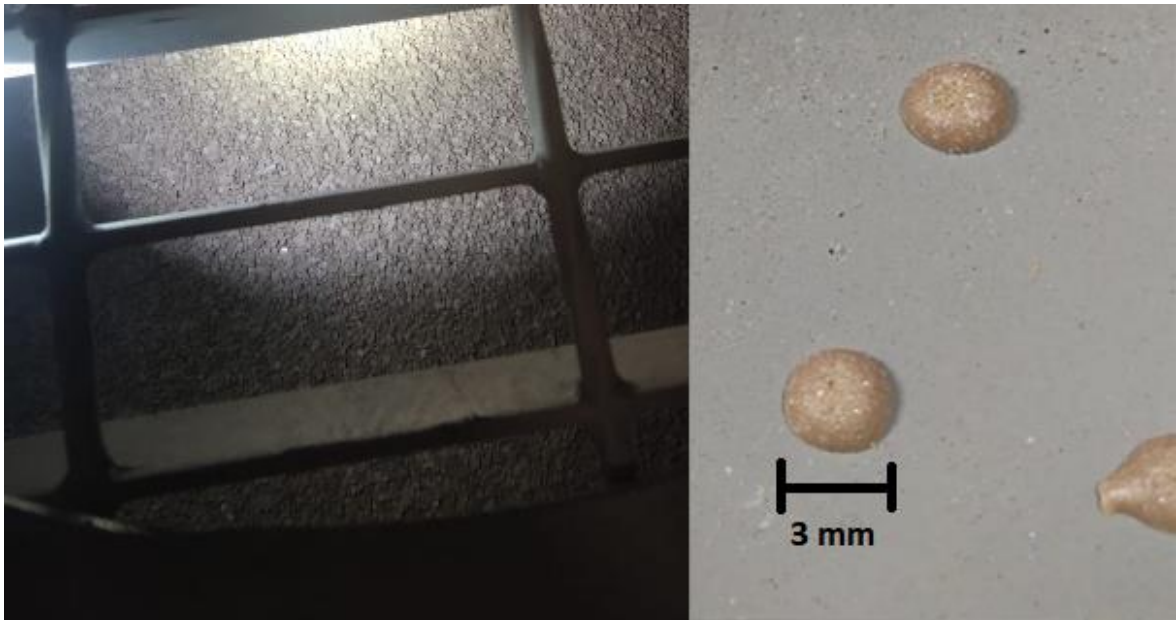
Afryn mukaan yli 100 MW:n laitosten oletetaan alkavan käyttämään sulfaattiliuoksia luovuttaessa turpeen seospoltossa. Sulfaattijärjestelmien investointi kustannus on huomattavasti suurempi kiinteän rikin syöttöön perustuviin järjestelmiin verrattuna. (Afy, 2020, p. 16)

4.2 Kiinteän rikin annostelulaitteisto

Pienemmillä 3-100 MW:n laitoksilla yksinkertaisen rikinsyöttölaitteiston asentaminen on Afryn mukaan riittävä keino turpeesta luopumiselle teknisestä näkökulmasta (Afy, 2020). Kiinteän polttoaineen sekaan annostellaan esimerkiksi rikkigranulaattia tai rikkipastilleja. Laitteistoja toimittaa esimerkiksi Raumaster ja Sumitomo SHI FW.

4.2.1 Rikkigranulaatti

Rikkiä annostellaan granulaatti muodossa. Rikkigranulaatti on koostumukseltaan kiinteää, raemaista ja väriltään kellertävää. (ICSC, 2000) Sen käytettävyys ominaisuudet ovat paremmat verrattuna jauhettuun alkuainerikkiin. Jauhettu alkuaine rikki voi aiheuttaa ongelmia säilytyksessä, kuljetuksessa sekä turvallisuudessa. Tällaisia ongelmia ovat holvaantuminen säiliön reunoille. Jauhettu rikki on myös räjähdys herkempää. Jauhemaisen rikin käsittelyssä onkin suurempi polyräjähdysvaara. (Työterveyslaitos, 2022) Granulaattia käytettäessä pölyräjähdysten riski pienenee, mutta räjähdysvaara on kuitenkin olemassa, mikäli rikkipölyä pääsee sekoittumaan ilman kanssa. Sähköstaattinen pyörivä liike, pneumaattinen kuljetus tai aineen kaataminen voi aiheuttaa aineen varautumista, jolloin räjähdysten riski kasvaa. (Työterveyslaitos, 2022)



Kuva 4. Rikkipastilleja Lieksan voimalaitoksella (Nevel, 2022)

5 LIEKSAN VOIMALAITOS

Lieksan voimalaitos on 1994 valmistunut Nevelin omistama voimalaitos, joka sijaitsee Lieksan kevätniemessä Pielisen rannalla. Laitoksella on leijukerroskattila (BFB), jossa poltetaan nykyisin pääosin sahan sivutuotteena saatavia puuteollisuuden tähteitä kuten purua ja kuorta. Voimalaitoksen vastapaineturbiini tuottaa sähköä omaan käyttöön sekä myyntiin. Voimalaitos tuottaa kuumaa vettä samalla alueella olevalle sahalle ja Lieksan kaukolämpöverkkoon.

Taulukko 2. Lieksan voimalaitoksen päämitoitussarvot (turpeen seospoltto) (Nevel, 2022)

Polttoaineteho	34 MW
Sähköteho	8 MW
Tuorehöyryn virtaus	maksimi 10.5 kg/s (Jyrsinturve 100%) minimi 2,7 kg/s
Tuorehöyryn paine	61 Bar
Tuorehöyryn lämpötila	510 C
Tuotanto (2021)	Sähkö 28,9 GWh (brutto) Saha 70,2 GWh Kaukolämpö 79,0 GWh

Kattila on ollut alun pitäen kierto-leijutekniikkaan (CFB) perustuva, mutta 12 käyttövuoden jälkeen vuonna 2006, laitos muutettiin kuplapetikattilaksi (BFB). Vuonna 2021 puolivuotisjaksolla ennen turpeen polton lopettamista Lieksassa poltettiin erilaisia polttoaineita seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 3. Lieksan voimalaitoksen polttoainejakauma 1.1.-29.6.2021 (Nevel, 2022)

Öljy	4 %
Turve	16 %
Energiapuu (Hake)	32 %
Puuteollisuuden tähte (puru ja kuori)	36 %

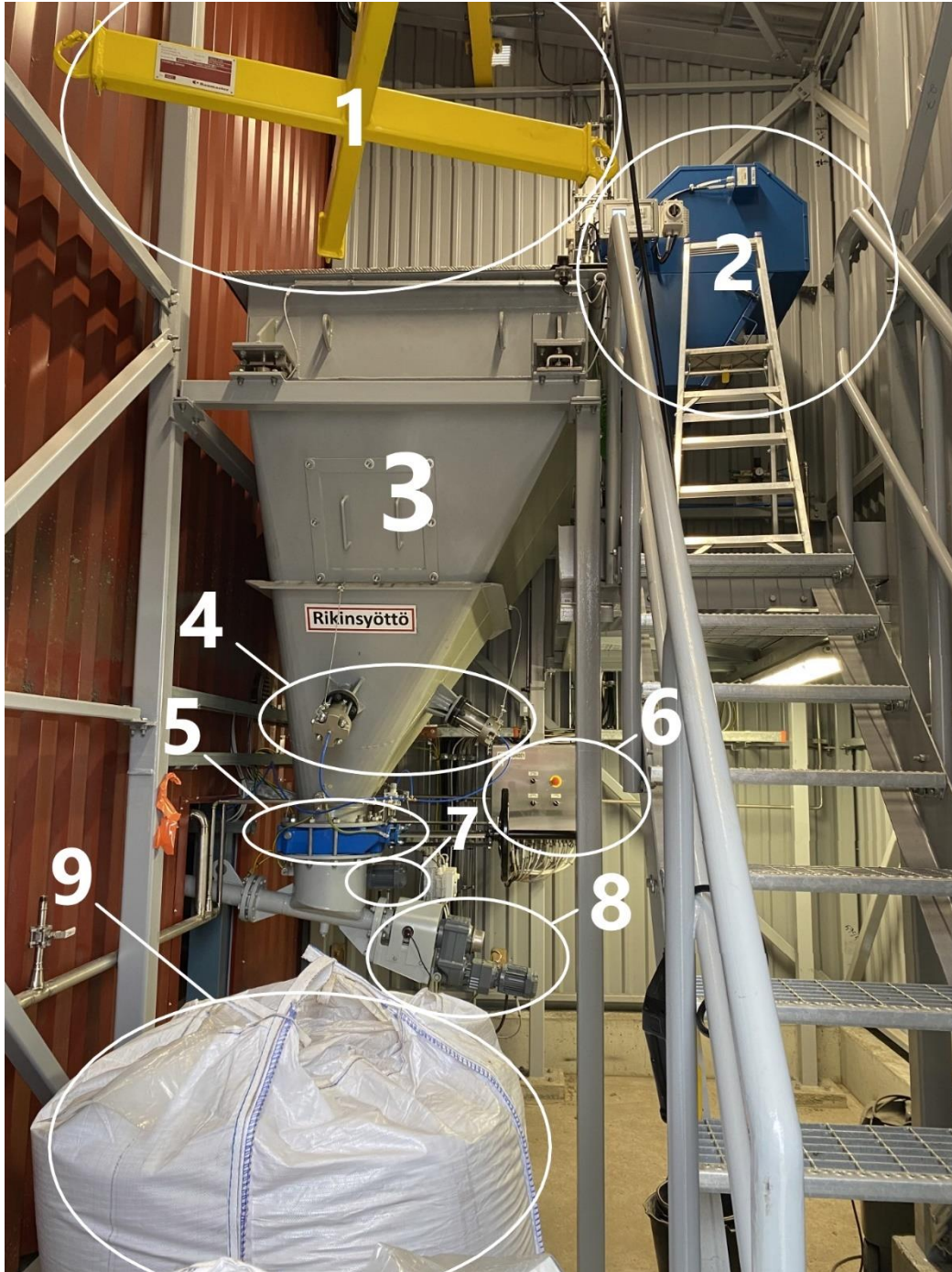
Tässä taulukossa on mukana myös apukattilat, joihin kuuluu öljykattilat ja 5 MW biokattila, jossa poltetaan pääosin haketta. Turpeen osuus on siis voimalaitoskattilalla suurempi kuin taulukossa. Vuoden 2021 kesärevision aikana voimalaitokselle asennettiin Raumaster Oy:n rikinsyöttöjärjestelmä ja turpeen poltosta luovuttiin.



Kuva 5. Lieksan voimalaitos (Nevel, 2022)

5.1 Lieksa rikinsyöttöjärjestelmä

Tämän rikinsyöttölaitteiston toiminnankuvauksen on tarkoitus antaa lukijalle selkeän yleiskuvan laitteiston eri komponenteista sekä toiminnasta. Toiminnankuvaus on tehty pääosin laitetoimittajan tiedostoista. Rikinsyöttötila, jossa on valtaosa rikinsyöttölaitteistosta, sijaitsee polttoaineen seulomon välittömässä läheisyydessä.



Kuva 6. Lieksan voimalaitoksen rikinsyöttölaitteistoa (Nevell 2022)

Taulukko 4. Osanumerointi rikisyöttöjärjestelmän osille kuvassa 6. (Nevel, 2022)

	Laitteiston osa	Automaatiopositio
1	Nostin	SMA10AE001
2	Pölynpoistoyksikkö	ERA10AT001
3	Suursäkkien purkusäiliö	ERA10BB001
4	Paineilmavasarat (2 kpl)	
5	Käsisulkuventtiili	
6	Paikallisohtauspaneeli	
7	Sekoittimen moottori	ERA20AF001
8	Rikinsyöttöruuvien moottori	ERA30AF001
9	Rikkiastillisäkki	

5.2 Täyttö

Rikkiastillit toimittavat Bang and Bonsomer. Ne saapuvat suursäkeissä, ja paikallishenkilökunta tarpeen vaatiessa täyttää rikinsyöttösäiliön. Kun purkusäiliö on melkein tyhjä siitä, tulee alarajahälytys. Lisäksi säiliössä on punnitusmittaus, joka ilmoittaa säiliössä jäljellä olevan rikin määrän (t). Täyttö aloitetaan ensin avaamalla purkusäiliön kansi. Purkusäiliön kannessa on rajakytkin, joka käynnistää automaattisesti pölynpoistoyksikön moottorin. Tämän jälkeen nostetaan suursäkki nostimella purkusäiliön päälle. Pussi tulee maadoittaa maadoituskapelilla rikinsyöttösäiliön runkoon staattisen sähkön aiheuttamien kipinöiden välttämiseksi. Tämän jälkeen tyhjennetään pussisäiliöön avaamalla pussi pohjasta.

5.3 Pölynpoisto

Rikki on jo hyvin pieninä pölypitoisuuksina erittäin räjähdysherkkää ainetta. Bang and Bonsomerin käyttöturvatiedotteen mukaan alin räjähdysraja rikkiöllylle on $1,2 \text{ g/m}^3$. Pölynpoistoyksikkö on täysin automaattinen, ja sen avulla varmistetaan, että rikkisäkkien purussa ilmaan vapautuva pöly suodatetaan välittömästi pois. Pölynpoistoyksikkö käynnistyy automaattisesti, kun purkusäiliön kannen rajakytkin havaitsee luukun avautuneen.

Pölynpoiston suodattimelle on oma puhdistusohjain. Puhdistusohjain varmistaa, että suodatinelementit tulee puhdistettua säännöllisin väliajoin. Se varmistaa suodattimien tehokkaan käytön. Puhdistusohjain aktivoituu, kun paine-ero suodattimen yli saavuttaa sille asetetun ylärajan. Puhdistusohjelma taas lopettaa puhdistuksen, kun paine-ero suodattimen yli saavuttaa sille asetetun alarajan. Suodattimen paine-eron ylärajaksi on asetettu 80 Pa, alarajaksi 40 Pa ja huoltohälytykseksi 160 Pa.

5.4 Täryvasarat

Rikkipastillien purkua säiliöstä rikinsyöttöruuville avustetaan kahdella paineilmakäyttöisellä täryvasaralla, jotka on sijoitettu purkusäiliön kahdelle seinämälle. Täryvasarat käynnistyvät aina syöttöruuvin käynnistymisen yhteydessä omalla sekvenssillä. Sekvenssi avaa täryvasaroiden paineilman magneettiventtiilin auki 3 sekunniksi kerrallaan 15 sekunnin tauoilla.

5.5 Sekoitin

Sekoitin sijaitsee syöttöruuvin sisääntulokohdassa, jossa sen tarkoituksena on estää tukoksia. Sekoitin käy automaattiohjauksella 60 minuutin aikana 10 sekuntia. Operaattorin on mahdollista käynnistää ja pysäyttää sekoitin manuaalisesti tarpeen mukaan. Paikallisesti sekoitinta saa käynnistyksen ja pysäytyksen lisäksi ajettua myös eteen ja taakse.

5.6 Syöttöruuvi

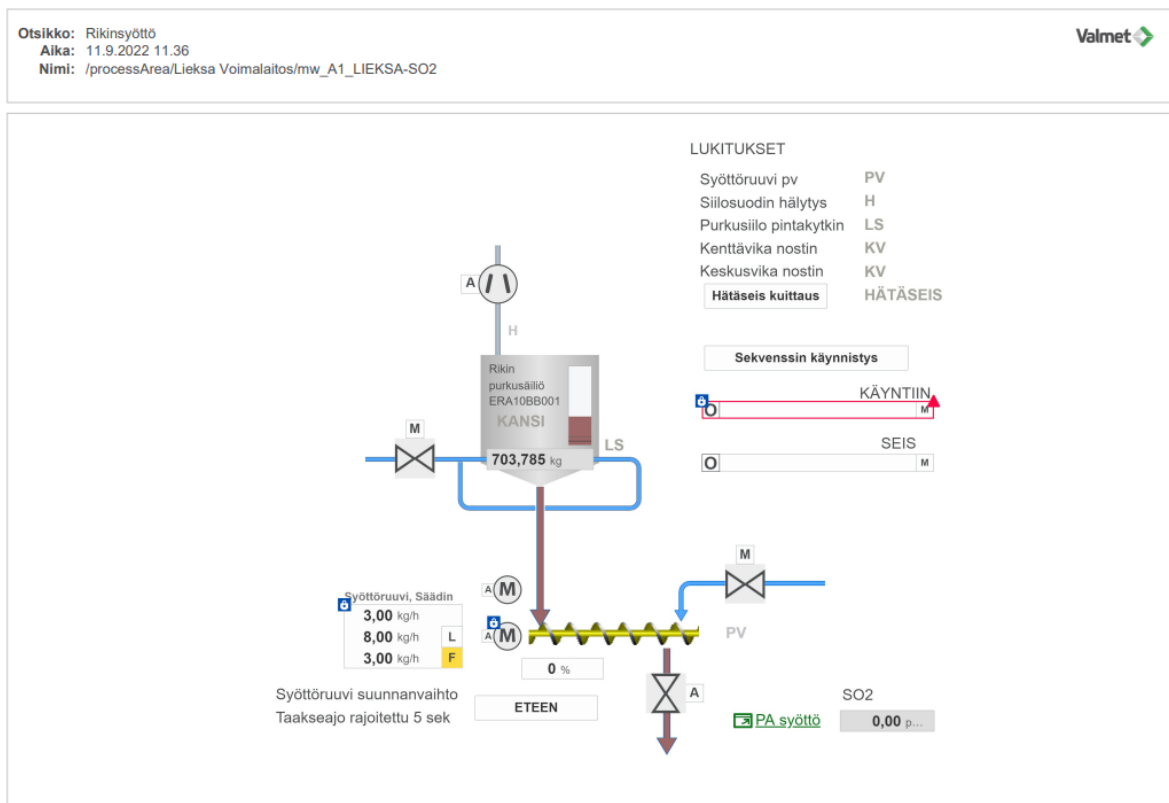
Rikinsyöttöruuvi kuljettaa purkusäiliöstä tulevan rikin polttoainekuljettimen päälle, josta se tippuu polttoainekuljettimelle. Syöttöruuvin moottorin läheisyyteen on myös asennettu pyörintävahti. Syöttöruuvi kuljettaa rikkipastillit polttoainekuljettimelle alla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 7. Syöttöruuvi kuljettaa rikkipastillit polttoainekuljettimen päälle. (Nevel, 2022)

5.7 Häiriötilanteessa

Mikäli rikinsyöttöjärjestelmään tulee häiriö, sen vaikutukset eivät ole välittömät, sillä rikki menee ensin polttoaineen mukana päiväsiiloihin. Päiväsiilojen täyttösekvenssi käynnistyy siilon alarajasta, jolloin myös rikinsyöttö käynnistyy. Mikäli rikinsyötön ollessa häiriötilassa halutaan estää rikittömän polttoaineseoksen pääsy siiloihin, on tankkaussekvenssi pysäytettävä. Polttoaineen syöttöruuvien suhteita muuttamalla täydemmän siilon puolelle, saadaan lisää aikaa vian korjaukseen. Parhaimmassa tapauksessa vika saadaan nopeasti korjattua, ja rikittömän polttoaineen pääsy siiloihin saadaan kokonaan estettyä.



Kuva 8. Rikinsyötön automaatiokuva (Nevel, 2022)

6 FORSSAN VOIMALAITOS

Forssan voimalaitos on rakennettu vuonna 1996 Forssan Kiimassuolle, joka sijaitsee Forssan keskustasta noin kolme kilometriä lounaaseen. Laitoskokonaisuus koostuu kerrosleijukattilasta, polttoaineen vastaanotto-, käsittely- ja siirtojärjestelmistä, turbiinista ja tarvittavista apulaitteista. Laitokselle on rakennettu jälkeempään savukaasupesuri (2014), kaukolämpöakku (2016), sekä rikinsyöttölaitteisto (2021). (Nevel, 2022)

Taulukko 5. Forssan voimalaitoksen päämitoitussarvot. Seospoltto. (Nevel, 2022)

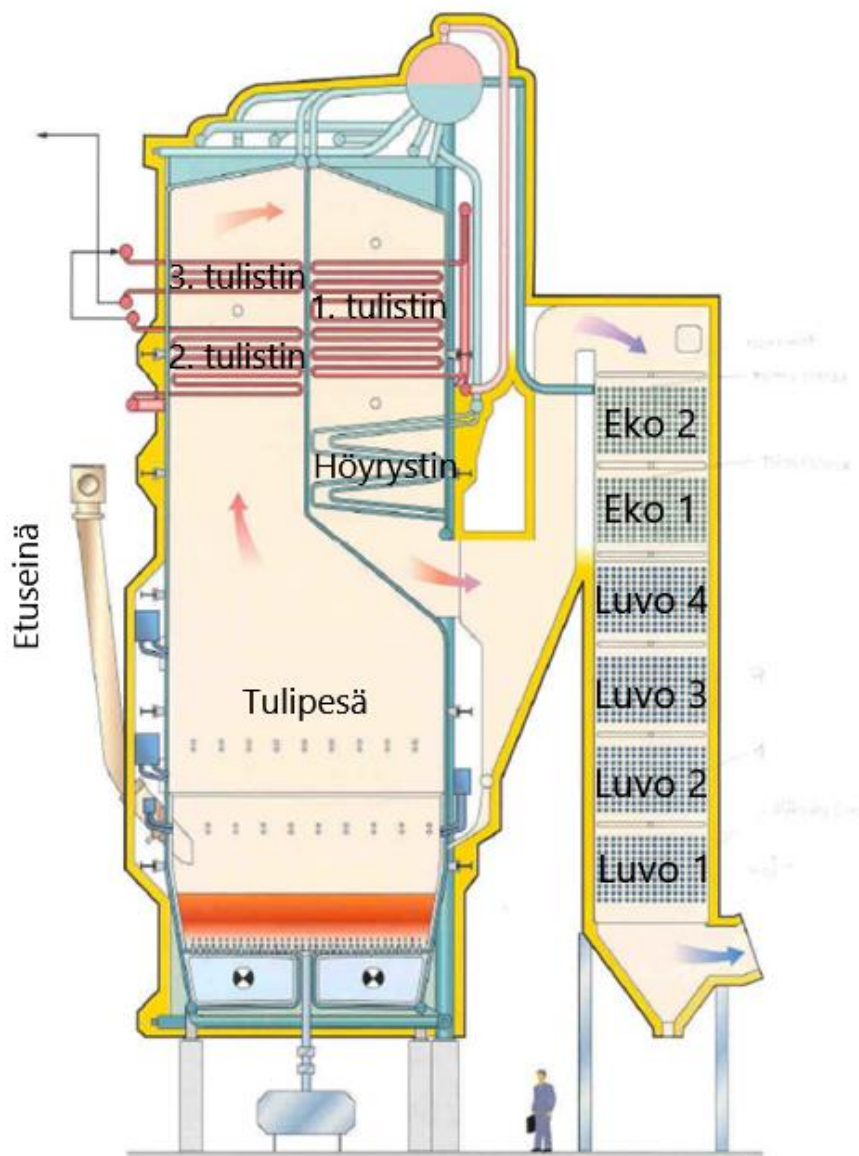
Polttoaineteho	70 MW
Kaukolämpöteho	46 MW turbiiniajossa 52 MW reduktioajossa (sähkö 10 MW)
Sähköteho	16,8 MW _e
Tuorehöyryvirtaus	maksimi 22,8 kg/s (palaturpeella kosteus 45%) minimi 2,9 kg/s
Tuorehöyryn paine	60 bar
Tuorehöyryn lämpötila	510 °C
Tuotanto (2021)	Lämpö 192,7 GWh Sähkö 44,6 GWh (brutto)

Voimalaitoksella poltettiin aikaisemmin biomassaa ja turvetta. Biomassan osuus on kattilan päämitoitussarvoilla 25–50 % ja turpeen osuus 50–75 %. Turpeen seospoltto lopetettiin kesällä 2021 jonka jälkeen tarkoituksena on polttaa vain biopohjaisia polttoaineita. Turvetta kuitenkin voidaan polttaa hetkellisesti, mikäli biopolttoaineiden saatavuudessa on ongelmia. Tukipolttoaineina kattilassa on mahdollista polttaa puupellettiä ja kevyttä polttoöljyä. Vuonna 2020 voimalaitoksella poltettiin erilaisia polttoaineita seuraavan taulukon mukaisesti. (Nevel, 2022)

Taulukko 6. Forssan voimalaitoksen 2020 polttoainejakauma (Nevel, 2022)

Jyrsinturve	38 %
Kierrätyspuu	26 %
Metsätähdehake	25 %
Rankahake	9 %
Puru	2 %

Voimalaitoksen luonnonkiertoisien leijupetikattilan on toimittanut Foster Wheeler Energia Oy:n (nyk. Sumitomo SHI FW) ja valmistanut Ahlström Oy (nyk. Sumitomo SHI FW omistuksessa). Polttoaineensyöttö kattilaan tapahtuu kahden polttoaineen syöttölinjan kautta tulipesään kattilan etuseinältä. Polttoaineen annostelee kattilaan syöttöruuvit, joiden pyörimisnopeutta säädetään automaatiolla tehontarpeen mukaan. Lämmönsiirto kattilaveteen tapahtuu kattilan seinissä, höyrystimessä, sekä kolmessa eri tulistinosassa. Lisäksi savukaasuista saadaan lämpöä talteen kahdella syöttöveden esilämmitys paketilla, sekä neljällä palamisilman esilämmityspaketilla eli luvolla. (Nevel, 2022)



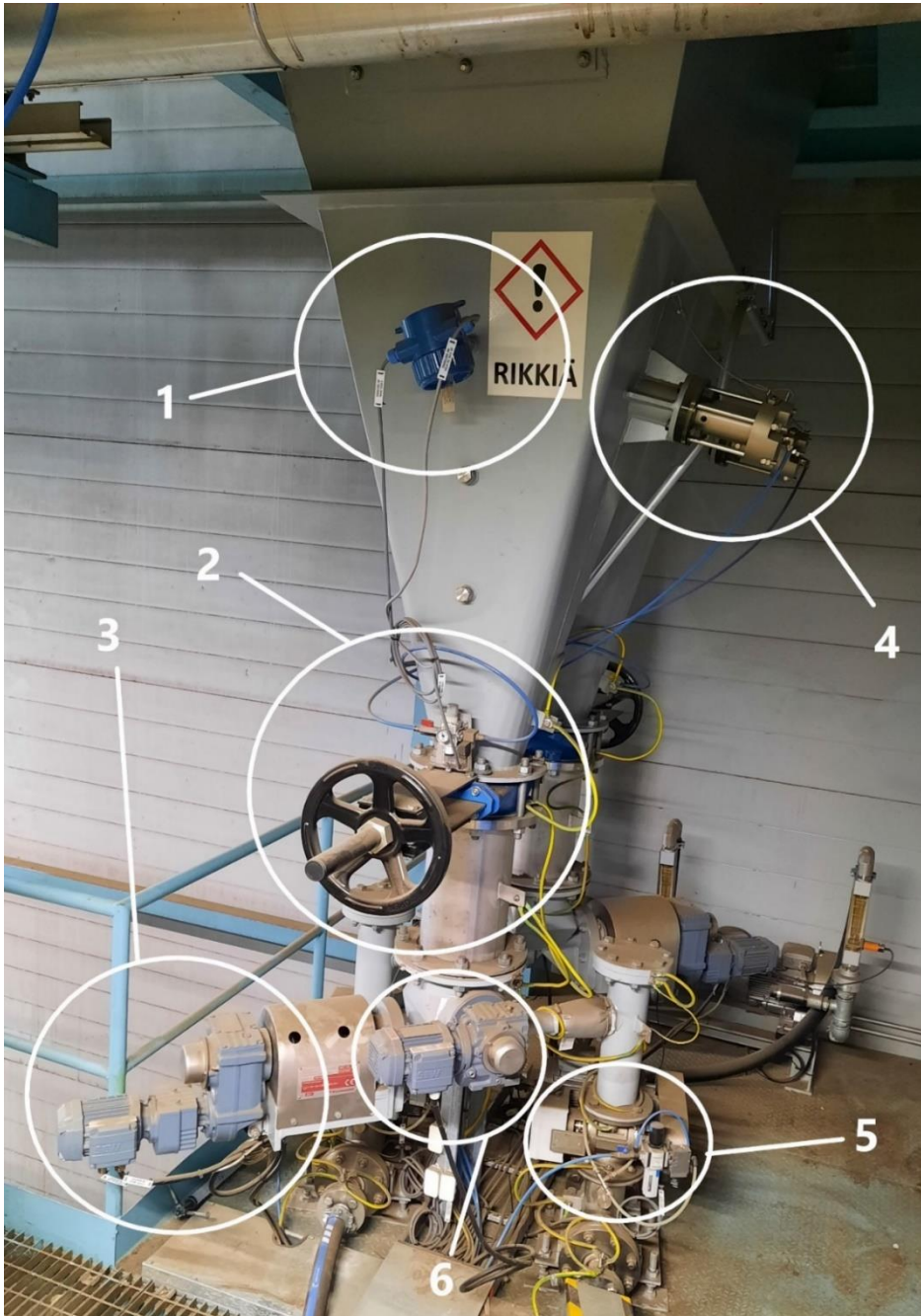
Kuva 9. Forssan voimalaitoksen kattilan halkileikkauskuva (Nevel, 2022)

Tulistin korroosio-ongelmia on ollut voimalaitoksella aiemmin. Voimalaitoksella on poltettu REF-polttoainetta vuodesta 1996 vuoteen 2006. REF-polttoaineen osuus oli enimmillään noin 15 %. Voimalaitoksen kaikki kolme tulistinpakettia on vaihdettu kestävämpään vuonna 2003 voimakkaan korroosion takia. Myös sekundääriluvopaketit 2 ja 3 on vaihdettu tuolloin korroosion takia. Kestävimpien tulistimien vaihtamisen jälkeen ongelma poistui. Viimeistään REF-poltton lopettamisen jälkeen vuonna 2006 korroosion vaikutuksia ei ole enää tulistimissa havaittu. REF-polttoaineen poltto aiheutti myös mm. lisääntyntä petihiekan vaihtotarvetta, joka johti siihen, että peti täytyi vaihtaa noin kolmen kuukauden välein. (Nevel, 2022)

6.1 Forssa rikinsyöttöjärjestelmä

Forssan voimalaitokselle rakennettiin vuoden 2021 kesäseisakissa rikinsyöttöjärjestelmä, joka syöttää rikkiä polttoaineen syöttötorviin kattilan etuseinämälle. Laitteiston toimitti Raumaster Oy. Rikinsyöttöjärjestelmä sijaitsee kattilahallissa ja purkusäiliön koko on noin 1,5 m³.

Forssan rikinsyöttöjärjestelmässä on muutamia eroavaisuuksia verrattuna Lieksan rikinsyöttöjärjestelmään. Sen sijaan, että rikki syötettäisiin päiväsiiloon menevälle kuljettimelle, rikki syötetäänkin suoraan polttoainerorviin. Molemmille polttoainerorville on oma rikinsyöttölinjansa. Purkusäiliö jakautuu alaosaan kahtia niin, että molemmille syöttölinjastoille on oma lähtönsä. Ennen polttoaineen ruuvikuljetinta on sekoitin, joka estää materiaalin holvaantumista. Purkusiilon pohjasta rikki syötetään ruuvikuljettimella sulkusyöttimelle. Sulkusyötin syöttää rikin puhaltimen kuljetuslinjaan, josta se puhalletaan polttoainerorveen. Polttoainerorven rikin syöttölinjassa toimii sulkuna pneumaattinen venttiili, joka on käytännössä aina auki, kun siirtopuhallin on päällä. Rikin ruuvikuljettimen pyörimisnopeutta säädetään polttoaineen syöttöruuvien pyörimisnopeuden mukaan. Automaatiokuvassa näkyy rikinsyöttömäärä eri polttoainemäärille.



Kuva 10. Forssan voimalaitoksen rikinsyöttölaitteistoa

Taulukko 7. Osaselitteet kuvaan 10. (Nevel 2022)

Laitteiston osa	Automaatiopositio
1 Pintavahti (2 kpl)	
2 Käsisulkuventtiili (2 kpl)	
3 Syöttöruuvien moottori (2 kpl)	ERA22AF001, ERA32AF001
4 Paineilmavasarat (2 kpl)	
5 Sulkusyötin (2 kpl)	ERA24AF001, ERA34AF001
6 Sekoittimen moottori (2 kpl)	



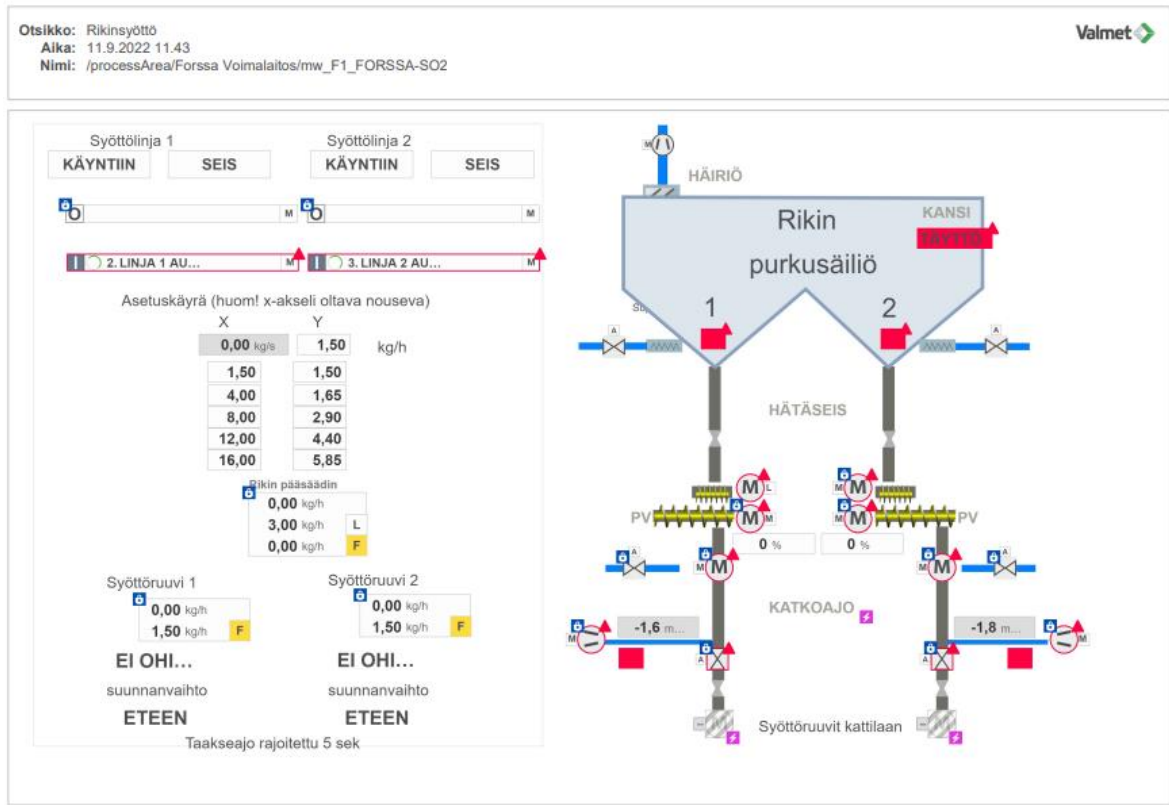
Kuva 11. Rikin siirtopuhallin ja syöttöyhde tulitorveen. Kuvat otettu revisioaikana. (Nevel, 2022)

Taulukko 8. Rikinsyöttölaitteiston osat kuvassa 11. (Nevel, 2022)

Laitteiston osa	Automaatiopositio
1 Sivukanavapuhallin (2 kpl)	ERA25AF001, ERA35AF001
2 Pneumaattinen sulkuventtiili	

6.2 Häiriötilanteet

Forssassa on kaksi rikinsyöttölinjastoa, joten vaikka toinen menisi häiriölle, niin toisen linjan kautta saadaan syötettyä rikkiä kattilaan. Voidaan myös arvioida, lisääkö toisen puolen rikinsyöttöä, mikäli rikinsyötön kapasiteetti riittää. Mikäli molemmat puolet menisivät yhtä aikaa häiriölle poltettaessa klooripitoista polttoainetta, tuorehöyryn lämpötilaa pienentämällä saadaan hetkellistä korroosioriskiä pienennettyä. Korrosiivinen polttoaineseos on myös usein likaava, joten tarvetta nuohoukselle mahdollisen rikkikatkoksen jälkeen voidaan arvioida, jotta saataisiin estettyä korrosiivisen kerroksen muodostuminen.



Kuva 12. Rikinsyötön automaatiokuva. Kuva otettu revision aikana. (Nevel, 2022)

7 YHTEENVETO

Rikinsyöttölaitteistoja tarvitaan turpeessa olevan rikin korvaamiseksi. Rikki muuttaa alkalikloridit kattilalle vaarattomaan muotoon muodostamalla suolahappoa ja sulfaatteja, jotka poistuvat savukaasujen tai tuhkan mukana kattilasta. Kiinteän rikinsyöttämisen polttoaineen sekaan on havaittu ehkäisevän petihiekan sintraantumista. Kuumakorroosioriskin minimoimiseksi turpeen ja kloorin molaarinen suhde S/Cl olisi hyvä olla 4–5.

Kloorikorroosiota ei esiinny, jos tulistin putkien lämpötila pidetään alle 450 °C. Korkeilla klooripitoisuuksilla kloorikorroosiota voi esiintyä lämpötiloissa 460–480 °C. Yli 500 °C lämpötiloissa kloorikorroosiota voi esiintyä jo pienillä polttoaineen klooripitoisuuksia. Korkeasti klooripitoisia polttoaineita poltettaessa tulistinputkien lämpötila olisi hyvä pitää alle 460 °C.

Forsassa rikki puhalletaan molempiin polttoaineen syöttötorviin. Rikinsyötön häiriö vaikuttaa siis heti palamiseen osallistuvan rikin määrään. Jos toinen linja menee häiriölle, voidaan arvioida, nostetaanko toisen puolen rikinsyötön määrää. Mikäli molemmat puolet menevät häiriölle, voidaan harkita tuorehöyrynlämpötilan laskemista 460 °C. Tällä saadaan hetkellinen korroosioriski minimoitua. Klooripitoinen polttoaine on kuitenkin likaavaa, joten kattilan nuohousta voidaan arvioida häiriötilanteen korjauksen jälkeen, ennen tuorehöyrynlämpötilan nostamista normaalille tasolle. Nuohouksella saataisiin estettyä kloridisuolakerroksen jääminen tulistin putkille ja näin ehkäistyä korroosiovaurioita.

Lieksassa rikki syötetään polttoainekuljettimelle ennen päiväsiiloja. Tällöin rikinsyötön häiriön vaikutus ei ole välitön kattilan palamisessa olevan rikin määrään. Häiriötilanteessa siilojen tankkaukseen olisi hyvä kiinnittää huomiota. Etenkin sellaista tilannetta, jossa molemmat siilot on tankattu täyteen rikittömällä polttoaineseoksella, tulisi välttää korroosioriskin minimoimiseksi.

LÄHTEET

Afry, 2020. Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa 74.

Aho, M., 2012. Maximising the safe portion of forest biomass in power plants by utilising protective properties of peat.

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., Korhonen, J., 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 263.

Broström, M., Kassman, H., Helgesson, A., Berg, M., Andersson, C., Backman, R., Nordin, A., 2007. Sulfation of corrosive alkali chlorides by ammonium sulfate in a biomass fired CFB boiler. *Fuel Processing Technology* 88, 1171–1177.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.06.023>

Brus, E., Öhman, M., Nordin, A., 2005. Mechanisms of Bed Agglomeration during Fluidized-Bed Combustion of Biomass Fuels. *Energy Fuels* 19, 825–832.
<https://doi.org/10.1021/ef0400868>

Herranen, T., 2009. Turvetutkimus Raportti 398 61.

ICSC, 2000. ICSC 1166 - RIKKI [WWW Document].

URL https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fi&p_card_id=1166&p_version=2 (accessed 9.13.22).

Klarin, A., 2009. Kattilan korroosio ja päästöt 2009, 26–29.

Knuutila, K., Alakangas, E., Moisio, T., 2003. Puuenergia. Jyväskylän teknologiakeskus, Jyväskylä.

Lundholm, K., Nordin, A., Öhman, M., Boström, D., 2005. Reduced Bed Agglomeration by Co-combustion Biomass with Peat Fuels in a Fluidized Bed. *Energy Fuels* 19, 2273–2278.
<https://doi.org/10.1021/ef050071p>

Nevel, 2022. Yrityksen sisäiset materiaalit.

Salmenoja, K., 2000. Field and laboratory studies on chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with biofuels. Akad., Åbo.

Spliethoff, H., 2010. Power Generation from Solid Fuels, Power Systems. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02856-4>

Työterveyslaitos, 2022. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Rikki [WWW Document]. URL <https://www.ttl.fi/ova/rikki> (accessed 13.9.22).

Vesanto, P., 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö: selvitys kierrätyspolttoaineiden laatuominaisuuksista ja soveltuvuudesta leijupolttoon. VTT, Vuorimiehentie.