



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ- AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KATTILALAITOKSEN VAARAN ARVIOINTI JA RISKIEN HAL- LINTA ENERGIATUOTANOSSA

TEKIJÄ:

Heidi Kuiri

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Heidi Kuiri	
Työn nimi Kattilalaitoksen vaaran arviointi ja riskien hallinta energiantuotannossa	
Päiväys 19.4.2022	Sivumäärä/Liitteet 33/39
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Yara, Siilinjärvi	
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin kattilalaitoksen turvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli Yara Siilinjärven kattilalaitoksen vaaran arvioinnin päivitys. Lisäksi tavoitteena oli kehittää vaaranarviointidokumentaatiota kattilalaitoksella. Opinnäytetyössä päivitettiin lannoitetehtaan energiayksikön riskinarviointiasiakirjoja. Tämä työ rajattiin Yaralla koskemaan rikkihappolaitosta ja sen kattiloita, mutta samat HAZOP, HAZID-menetelmät, ennakkohuollot, koulutus ja turvallisuusmääräykset koskevat kaikkia kuutta kattilaa. Kattiloita ja kattilalaitoksia koskevat säädökset perustuvat osin painelaitteita ja niiden turvallisuutta koskevaan lainsäädäntöön. Painelaitelaki säätelee kattilaitosten toimintaa sekä turvallisuutta.</p> <p>Yara Siilinjärven kattilalaitoksen toimintaperiaate on selostettu opinnäytetyössä. Kattiloiden ja kattilalaitosten velvoitteet määritellään painelaitemääräysten perusteella. Yksi niistä on vaaranarviointi. Riskinarviointiprosessia tarkasteltiin vaiheittain ja laajennettiin sisältämään yleisesti käytettyjen turvallisuusanalyysimenetelmien peruseriaatteet. Opinnäytetyö tehtiin Yaralta saatujen taustamateriaalien pohjalta.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää kattilalaitoksen vaaran arviointi vastaamaan tämän hetken tarpeita, sekä kehittää riskien arviointia Yaralla. HAZOP tarkastelu toi esille koulutuksen merkityksen osana kattilalaitoksen turvallisuusjohtamista. Käytännönharjoitusten merkitys korostui poikkeusoloissa. Vaaran arvioinnin tarkoituksena oli tunnistaa, hallita ja varautua vaaroihin. Riskiarviointi tulee tehdä säännöllisesti ja myös laitostilojen muutosten yhteydessä. Opinnäytetyön tuloksena oli yhteenveto Yara Siilinjärven kattilalaitoksen turvallisuusnäkökohdista.</p>	
Avainsanat Vaaran arviointi, kattilalaitoksen riskienhallinta	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Heidi Kuiri	
Title of Thesis Hazard Assessment and risk Management of a Boiler Plant in energy Production	
Date 19 April, 2022	Pages/Appendices 33/39
Client Organisation /Partners Yara, Siilinjärvi	
<p>Abstract</p> <p>In this thesis, the legislation related to the safety of a boiler plant was investigated. The purpose of the thesis was to update the hazard assessment of the Yara Siilinjärvi boiler plant, and to develop the hazard analysis documentation at the boiler plant to meet the current needs, and to develop risk assessment at Yara. The purpose of hazard analysis is to identify, manage and prepare for hazards. In the thesis the risk assessment documents of the energy unit of the fertilizer plant were updated. This work was limited in Yara to the sulfuric acid plant and its boilers, but the same HAZOP, HAZID methods, preventive maintenance, training, and safety regulations apply to all six boilers. The regulations for boilers and boiler plants are largely based on legislation on pressure equipment and its safety. The Pressure Equipment Act regulates the operation and safety of boiler plants.</p> <p>The operating principle of the Yara Siilinjärvi boiler plant is presented in the thesis. The obligations for boilers and boiler plants are defined based on the pressure equipment regulations. One of them is risk assessment. The risk assessment process was reviewed in stages and expanded to include the basic principles of commonly used safety analysis methods. The thesis was done based on the background materials received from Yara.</p> <p>The HAZOP review highlighted the importance of training as part of boiler plant safety management. The importance of practical exercises was emphasized in exceptional circumstances. The risk assessment must be carried out regularly and in connection with changes in the plant premises. The result of the thesis is a summary of the safety aspects of the Yara Siilinjärvi boiler plant.</p>	
<p>Keywords</p> <p>hazard analysis, boiler plant risk management</p>	

ERITYISSANASTO

AMM	Ammoniakkivarasto
Apukattila	Apukattilalaitoksella tuotetaan omakäyttöhöyryä pääkattilan seisokin aikana.
CEN	European Committee for Standardization, eurooppalainen standardisoimisjärjestö
Cenelec	European Committee for Electrotechnical Standardization, eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö
Ekonomaiseri	(Eko) on höyrykattilakomponentti, jolla kattilassa höyrystettävää vettä ensin lämmitetään lähemmäksi höyrystymislämpötilaa savukaasuilla. Eko sijaitsee kattilan savukaasukanavassa tulistimien jälkeen savukaasun virtaussuuntaan nähden.
HAZOP	Hazard and Operability Study, poikkeamatarkastelu
HAZID	Suuronnettomuusvaarojen, isojen riskien tunnistamismalli
Hyvä konepajakäytäntö	Laitteet täytyy suunnitella ja valmistaa, jotta laitteiden turvallisuus voidaan taata. Laitteiden mukana täytyy tulla riittävät käyttöohjeet. Hyvän konepajakäytännön mukaisiin laitteisiin ei saa kiinnittää CE- hyväksyntää.
Kt	Käyttötarkastus, Käyttöä vastaavissa olosuhteissa tarkastetaan, että painelaitteen ja sen käytön osalta asiat ovat kunnossa
PED	Pressure Equipment Directive, painelaitedirektiivi
Riskianalyysi	Onnettomuuksien todennäköisyyksien ja seurausten vakavuuden systemaattinen analyysi, jonka tavoitteena on määrittää järjestelmään tai toimintaan liittyvä riski. Esimerkiksi kemiallisten onnettomuuksien yhteydessä tämä tarkoittaa yleensä mm. kaasun leviämismallien, myrkyllisyystiedon ja väestötiedon hyväksikäyttöä.
Rc	Rikin polttolaitos (sulan rikin)
Riski	Epäonnistuminen, vaaran tai menetyksen uhka, tappionuhka, tappion vaara, vahingonvaara
Reduktioventtiili	Reduktioventtiiliä, eli höyrymuuntoventtiiliä, käytetään voimalaitoksissa höyryn paineen alentamiseen
RHT	Rikkihappolaitos
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
SIL	Safety Integrity Level; turvallisuuden eheyden taso, jolla arvioidaan turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän kykyä suorittaa turvatoiminto virheettömästi.
SJA	Työn turvallisuusanalyysi. Pilkotaan suoritettava työ vaiheisiin ja jokaiselle vaiheelle määritellään riskit ja niille hallintakeinot. Tämä mm. korkean riskin töihin kuten suljetussa tilassa työskennellessä.
SSJA	Työturvallisuusanalyysi

Sp	Kattilan sisäpuolinen tarkastus. Laite tyhjennetään, puhdistetaan ja sen kunto tarkastetaan perusteellisesti
SWOT	Tulee englannin kielen sanoista strengths, weaknesses, opportunities ja threats. Suomeksi vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Nelikenttäanalyysi (SWOT) on yksinkertainen ja yleisesti käytetty yritystoiminnan analysointimenetelmä. Analyysin avulla voidaan selvittää yrityksen vahvuudet ja heikkoudet sekä tulevaisuuden mahdollisuudet ja uhat. Nelikenttärudukon avulla yritys pystyy vaivattomasti arvioimaan omaa toimintaansa
THT	Typpihappolaitos
Valmet DNA	Automaatiojärjestelmä, Dynamic Network of Applications
VL	Voimalaitos

ESIPUHE

Suuri unelma on toteutunut, se on tässä; valmis opinnäytetyö. Minulla oli suuri etuoikeus saada tehdä työ Yara Siilinjärvelle.

Haluan kiittää Yara Siilinjärveä; Jari Kurikkala, Timo Hynynen, Ville Sonninen mahdollisuudesta tehdä tämä työ. Läheisiäni, että minuun on uskottu. Kiitokset Aku Viljanen, Ville Nissinen. Matkan varrella kaikkia, joilta olen oppia saanut kuten Ilpo Raatikainen, Niko Salminen, Mauri Pekkarinen.

Eriyiskiitoksen haluan sanoa molemmille minun opinnäytetyöni ohjaajille Teija Honkanen ja Petri Holopainen, teidän molempien tuki oli korvaamaton.

Mikko Turunen, kiitos oponoinnista.

Siilinjärvi 19.04.2022

Heidi Kuiri

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	KATTILAT	9
2.1	Yara Siilinjärvi	9
2.2	Kattilatyypit ja toimintaperiaate	11
2.2.1	Yaran kattilat	11
2.2.2	Typpihapon valmistus	13
2.2.3	Pyriitin poltto	13
2.2.4	Pakkokierto-kattila	15
2.2.5	Leijukerros-poltto pasutolla	16
2.2.6	Leijukerros-poltto	16
3	KATTILALAITOKSIA VELVOITTAVAT SÄÄDÖKSET	18
3.1	Painelaitedirektiivi	18
3.2	Painelaitelaki	19
3.3	Valtioneuvoston asetukset	19
3.3.1	Muita säännöksiä	20
4	VAARAN ARVIOINTI	21
4.1	Vaaran arvioinnin perusta	21
4.2	Painelaitteiden vaarojen sekä riskien arviointi	23
5	RISKIEN TUNNISTAMINEN JA ARVIONTIMENETELMÄT	24
5.1	Kohteen rajaus	24
5.2	Vaarojen tunnistaminen sekä nykyinen varautuminen	24
5.3	Vaarojen merkittävyyden arviointi	26
5.3.1	HAZOP	26
5.3.2	HAZID	28
5.4	Parannusehdotukset	29
6	OMA POHDINTA	33
	LÄHTEET	34
	LIITE 1	36

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Yara Siilinjärvelle. Opinnäytetyössä keskitytään kattilaitoksen vaaranarviointiin. Opinnäytetyön keskeinen sisältö käsittelee vaaranarvioinnin dokumentointia, ja riskien hallintaa. Suomessa on useampi laki ja direktiivi, mitkä ohjaavat ja säätelevät kattilalaitosten toimintaa ja turvallisuutta.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Yaran Siilinjärven kattilalaitoksen vaaran arviointia, ja riskien hallintaa. Tämä työ rajattiin Yaralla koskemaan pasuttoja 1, 2, 3 ja niiden kattiloita, mutta samat HAZOP, HAZID-menetelmät, ennakkohuollot, koulutus, ja turvallisuusmääräykset koskevat kaikkia kuutta kattilaa. Opinnäytetyön materiaali koostuu Yaran omasta materiaalista sekä lakiteksteistä, ja alan kirjallisuudesta. Tavoitteena on selvittää lakien, asetusten ja standardien vaatimukset sekä löytää toimivat toimintamallit vaatimusten täyttämiseksi.

Kattiloita ja kattilalaitoksia koskevat säädökset perustuvat isolta osin painelaitteita, ja niiden turvallisuutta koskevaan lainsäädäntöön. Painelaitelaki säätelee kattilaitosten toimintaa sekä turvallisuutta.

Painelaiteturvallisuutta koskeva päätös 20 § (Vaaran arviointi ja hallinta) jonka mukaan:

Painelaitelaki 10 §:ssä tarkoitettu vaaran arviointi on tehtävä kattilalaitoksessa:

- 1) höyrykattila, jonka teho on yli 6 MW, tai kuumavesikattila, jonka teho on yli 15 MW; tai
- 2) joka sijoitetaan maan alle

Kohteet, joita tarkastellaan kattilalaitoksella vaaran arvioinnissa ovat kattilan paineenalainen vesi- ja höyrypiiri, polttoaineen käsittely ja syöttöjärjestelmät, kattilan poltto- ja savukaasujärjestelmä, ja kattilahuone (Tukes 2000).







2 KATTILAT

2.1 Yara Siilinjärvi

Yaran Siilinjärven tehdas on perustettu vuonna 1969. Siilinjärven esiintymä löytyi kuitenkin jo 1950-luvulla kalkkinäytteen perusteella. Tehtaiden yhteydessä toimii EU-alueen ainoa fosfaattikaivos. Siilinjärven tehtaalta löytyy neljä tuotantolaitosta: lannoitetehtas, fosforihappotehtas, typpihappotehtas ja rikkihappotehtas. Rikkihappoa tuotetaan vuodessa 800 000 tonnia. Kaivosalueella on kaksi louhosta, Särkijärven päälouhos ja Saarisen louhos sekä rikastamo, jossa malmi erotetaan fosfaattista. Kaivoksen kokonaislouhinta määrä on vuodessa 20 000 000–30 000 000 tonnia. Yara on Siilinjärven suurimpia työllistäjiä, päivittäin tehdasalueella liikkuu 700 ihmistä. Kaivoksen ympäristölupa on voimassa 2035 asti. Yara tekee koko ajan uusia kartoituksia ja kairauksia fosfaattien lisäesiintymien löytämiseksi. Mahdolliset lisäesiintymät toisivat kaivokselle jatkoa. Yara on perustanut hankkeen nimeltä Tulevaisuudessakin leipää (Tule), jonka tavoitteena on selvittää toiminnan jatkumisen mahdollisuuksia vuoden 2035 jälkeen. (Yara 2022.)

Siilinjärven tehdas on normaalituotannossa omavarainen sähkön tuotannon suhteen. Tehtaiden kuluttamasta sähköstä noin 45 % n.330 GWh /a tuotetaan omavaraisesti, kahdella turbiini- generaattorilla. Prosessilämpöä riittää oman kulutuksen lisäksi kaukolämpöverkkoon, jonka omistaa, ja hallitsee Savon voima. Siilinjärven taajamassa hyödynnetään Yaran ylijäämä lämpöä kaukolämpönä. (Yara 2022.)

Yaran tavoitteena on olla hiilineutraali yritys 2050 mennessä. Yaralla kehitetään koko ajan tuotantoa kohti ilmastoneutraalia ruoantuotantoa. Yara panostaa vahvasti ilmastomuutoksen torjumiseen tuotannossaan. Yaralla kehitetään koko ajan tuotteita, sekä tarjotaan ratkaisuja ja työkaluja sekä osaamista resurssitehokkaaseen viljelyyn. Lannoitteiden valmistuksessa hiilijalanjälki syntyy suurelta osin typpihappotuotannon ilokaasupäästöistä (N₂O), ja ammoniakkituotannon energiankulutuksesta. Yara on kehittänyt katalyytin, joka muuntaa typpihappotuotannossa muodostuvan haitallisen ilokaasun vaarattomaksi typeksi ja hapeksi. Suomen lannoiteteutannon CO₂ -päästöt ovat katalyytin ansiosta pienentyneet huomattavasti. Yaran Suomen tehtailla kehitetään uusia menetelmiä prosessilämmön laajempaan hyödyntämiseen, sekä uusiin ratkaisuihin lämmön talteenotossa. (Yara 2022.)

YARAN TURVALLISUUDEN KULTAISET SÄÄNNÖT		
	Korkealla työskentely	Altistuminen putoamisvaaralle on minimoitava. Jos putoamisvaara tunnistetaan riskinarvioinnissa, on henkilökohtaisia putoamissuojaimia käytettävä.
	Vaarallisten aineiden käsittely	Kemikaaliriskeille altistuminen tulee pienentää niin pieneksi kuin mahdollista. Riskinarvioinnissa määritellyjä henkilökohtaisia suojaimia on käytettävä.
	Koneiden, laitteiden ja turvajärjestelmien turvasuojaus	Koneiden, laitteiden ja turvajärjestelmien turvasuojauksia ja turvalaitteita ei saa irrottaa tai erottaa ilman kirjallista lupaa (useimmiten työ lupa).
	Koneiden ja laitteiden käyttövoima	Ennen työn aloitusta kaikki energialähteet on erotettava ja on käytettävä turvalukitusta.
	Työskentely suljetussa tilassa	Kaikissa suljetun tilan töissä on oltava työ lupa ennen suljettuun tilaan menoa. Suljettu tila on erotettava prosessista ja energialähteistä, tarvittavat pitoisuusmittaukset on tehtävä ja luukkuvahdin on oltava aina paikalla.
	Liikenneturvallisuus	Kaikkien Yaralla käytettävien ajoneuvojen ja liikkuvien kulkuneuvojen on oltava yhtiön sääntöjen ja kansallisten vaatimusten mukaisia. Noudata aina liikennesääntöjä ja -määräyksiä sekä käytä turvallista, ennakoivaa ajotapaa. Ainoastaan perehdytetyt henkilöt saavat käyttää kulkuneuvoja/työkoneita. Jalankulkijoiden on tehtävä itsensä näkyviksi kuljettajille ja käytettävä merkittyjä kävelyteitä.

KUVA 1. Yaran kultaiset säännöt (Yara 2022.)

31.1.2022 Yara Siilinjärvi juhlisti merkkipaalu 900 päivää ilman tapaturmaa. Yaralla turvallisuutta pidetään tärkeänä kaikessa toiminnassa, tavoitteena on nolla vahinkoa. Vaatimukset turvallisuudessa ovat tiukemmat kuin mitä viranomaismääräykset edellyttävät. Periaatteena on, että vahingot ovat estettävissä ennakoivalla työllä, ja jatkuvalla toimintatapojen parantamisella. Yaralla on otettu käyttöön Safe by Choice turvallisuus-toimintamalli, joka kehittää turvallisuuskulttuuria toimipaikoilla jatkuvasti. Lähtökohtana on turvallinen toimintatapa aina. Jokainen toimipaikalla työskentelevä on vastuussa turvallisuudesta. Koko henkilöstö on sitoutunut tavoittelemaan tapaturmatonta työyhteisöä. Kaikissa Yaran toimipaikoissa noudatetaan turvallisuuden kultaisia sääntöjä. Kuvassa 1. voi tutustua tarkemmin Yaran kultaisiin sääntöihin. (Yara 2022)

Käytössä Yaralla on työlupamenetelmä, työn turvallisuusanalyysi, jonka lyhenne on SJA. Siinä käsitellään työn vaarat ja riskit analysoidaan. Tämä tehdään mm. korkean riskin töihin kuten suljetussa tilassa työskennellessä. Viime hetken työturvallisuusanalyysi eli SSJA tehdään aina ennen työn aloitusta työkohteessa, jossa varmistetaan, että työsuorittaja tietää työtehtävänsä riskit ja vaarat. Kaikkien Yaran työntekijöiden, ja alueella työskentelevien urakoitsijoiden on suoritettava Siilinjärven turvallisuusperhdytys sekä tarvittavat työhön liittyvät perhdytykset. Turvallisuusperhdytykset ovat voimassa yhden vuoden. (Yara 2022.)

Kuvassa 2 on yleiskuva Yaran Siilinjärven tehdasalueesta.



KUVA 2. Yleiskuvaus Siilinjärven tehdasalueesta (Yara 2022.)

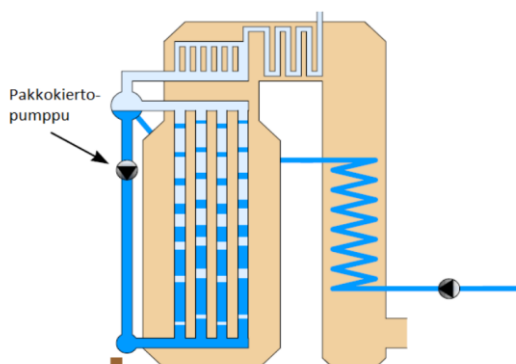
2.2 Kattilatyypit ja toimintaperiaate

2.2.1 Yaran kattilat

Kattilat Yaran rikkihappotehtaalla ovat pakkokierto-kattiloita, La Mont-prosessikattila. Kattilalaitoksen käyttöpaine on 60 bar ja tulistetun höyryn lämpötila on 490 °C sekä tehot on esitetty taulukossa 1. (Pasuton kattilalaitoksen vaaran arviointi ja hallinta 2002, 3).

Suurin ero pakkokierto-kattilan, ja luonnonkierto-kattilan välillä on pumppu, joka avustaa veden/höyrynkiertoa. Luonnonkierto-kattilan nimi tulee siitä, että veden kierto putkistossa tapahtuu kuin itsestään, ilman pumppua. Luonnonkierto-kattilassa veden, ja vesihöyryn kierto lieriöstä höyrystimeen, ja takaisin tapahtuu veden, ja vesihöyryn tiheyseron perusteella. Vastaavasti pakkokierto-kattilassa lieriöstä vesi johdetaan höyrystimeen pakkokiertopumppujen avulla.

Yaran pakkokierto-kattilat rikkihappolaitoksella ovat La mont-kattiloita, jonka toimintaperiaate on sama kuin luonnonkierrossa, ainoana erona pumppu, joka avustaa kiertoa (kuva 3). Pumpun ansiosta pakkokierron käyttöpaine on hieman korkeampi kuin luonnonkierrossa. On huomioitava, että lieriö toimii höyryn, ja veden tiheyseron ansiosta, joten nämä kattilat eivät sovellu superkriittisille paineille (>221 bar). Käytännössä maksimikäyttöpaine pakkokierto-kattiloissa on korkeimmillaan 190 bar, ja painehäviö kattilassa on noin 2–3 bar. (Teir 2003.)



KUVA 3. Lamont pakkokierto-kattilan vesihöyrykierto (Teir 2003)

TAULUKKO 1. Yara Siilinjärven kattiloiden tehot (Pasuton kattilalaitoksen vaaran arviointi 2002,3)

Kattilat	Teho	Kattiloiden käyttöarvot: höyryn lämpötila 490 °C
Pas 1	22,4 MW	Höyryn paine 60 bar
Pas 2	22,4 MW	
Pas 3	33,0 MW	
THT	15,6 MW	
Apukattila	19,6 MW	
Rc	20,0 MW	

Rikkihappotehtaalla on kolme uunia, ja kolme prosessikattilaa. Heti uunien jälkeen, on höyrykattila, jotka on liitetty uuniin joustavalla kompensattorilla lämpöliikkeiden vuoksi. Uunista kaasu virtaa kaasuaukon kautta kattiloihin. Kaasu virtaa kattiloissa vaakatasossa ensin säteilyosaan. Säteilyosan alkuosassa on vesikiertoinen säteilyhöyrystin, jossa vesi kiertää seinä- ja katto-osassa. Seuraavana on 1- tulistin, joka on säteilytulistin rakenteeltaan. Pasutto 2:lla on ennen 1-tulistinta virtauksenohjain, joka on poikittain kaasun virtaukseen rakennettu harva putkirakenne. Sen tehtävänä on tasata kaasuvirtausta koko pinta-alalle. 1-tulistimen säteilyosan sisään on rakennettu katosta roikkuva verhotulistin, jossa on virtaussuunnassa neljä putkiverhoa. Höyryn virtaus on kaasun suuntainen eli myötävirtainen. Höyryn lämmön säätö tapahtuu tämän jälkeen ennen 2-tulistinta.

2-tulistin on poikittain kaasuvirrassa ja roikkuu kattilan katosta. 3-tulistimen jälkeen höyry tulee kolmitieventtiileille, jolla ohjataan höyry jäähtymään lieriöön ennen 4-tulistinta. 4-tulistin on ykkösen ja kolmosen välissä, jossa tapahtuu viimeinen tulistusvaihe.

Kattilaan kuuluu lieriö eli höyry/vesiseos kokoojakammio sekä syöttöveden ja höyryn sulku- ja säätöventtiilit. Pasuton kattilat pidetään puhtaina ääninuohoimilla, ja kattilapakettien kolistussysteemillä. Lieriön tarkoituksena on varmistaa, että kattilassa on aina vettä, ja sitä syötetään höyrynkulutuksen tarpeen mukaan. Lieriökattiloiden syöttöveden säädön tavoitteena on pitää lieriön pinnankorkeus sovitussa rajoissa. Jos lieriön pinnankorkeus laskee liian alas, seurauksena on lieriön kuivuminen. Jos lieriön pinnankorkeus on liian korkea, seurauksena voi olla veden joutuminen tulistimiin. Lieriön pinnankorkeuden ylärajalukitus pysäyttää syöttövesipumpun, jottei vesi pääse tulistimiin. Syöttöveden säätö toteutetaan kolmipistekaskadisäätönä. (Turunen 2019.)

Tehtaiden kuluttamasta sähköstä noin 45 % noin 330 GWh /a tuotetaan omavaraisesti, kahdella turbiini- generaattorilla. Rikkihapon, ja energian tuotantoon kuuluvat kolme pasuttoa, kaksi

rikkihappotehdasta sekä voimalaitos. Pasuttojen korkeapainehöyryt ohjataan voimalaitokselle, jossa on myös apukattila. Energiayksikköön kuuluvan typpihappotehtaan korkeapainehöyryt ohjataan myös voimalaitokselle. (Yara 2022.)

2.2.2 Typpihapon valmistus

Raaka-aineena typpihapon valmistukseen käytetään ammoniakkia, ilmaa sekä vettä. Ammoniakki-ilmaseoksen poltto tapahtuu prosessikattilassa. Prosessikattilassa kaasuseos lämpenee noin 900 °C:n lämpötilaan. Ensin ammoniakki poltetaan kuumentamalla sitä hapen kanssa. Katalyyttinä reaktiossa käytetään platinarodiumverkkoja.

Ammoniakki hapettuu seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Typpihappotehtaan korkeapainehöyryt syntyvät ammoniakin palamisesta prosessikattilassa. Reaktio on voimakkaasti eksoterminen eli lämpöä tuottava. Poltossa syntyneet kaasut jäädytetään noin 390 °C:n lämpötilaan prosessikattilanhöyrystin- ja tulistinosissa, jolloin saadaan sivutuotteena tuotettua korkeapainehöyryä voimalaitokselle. (Turunen 2004, 8.)

2.2.3 Pyriitin poltto

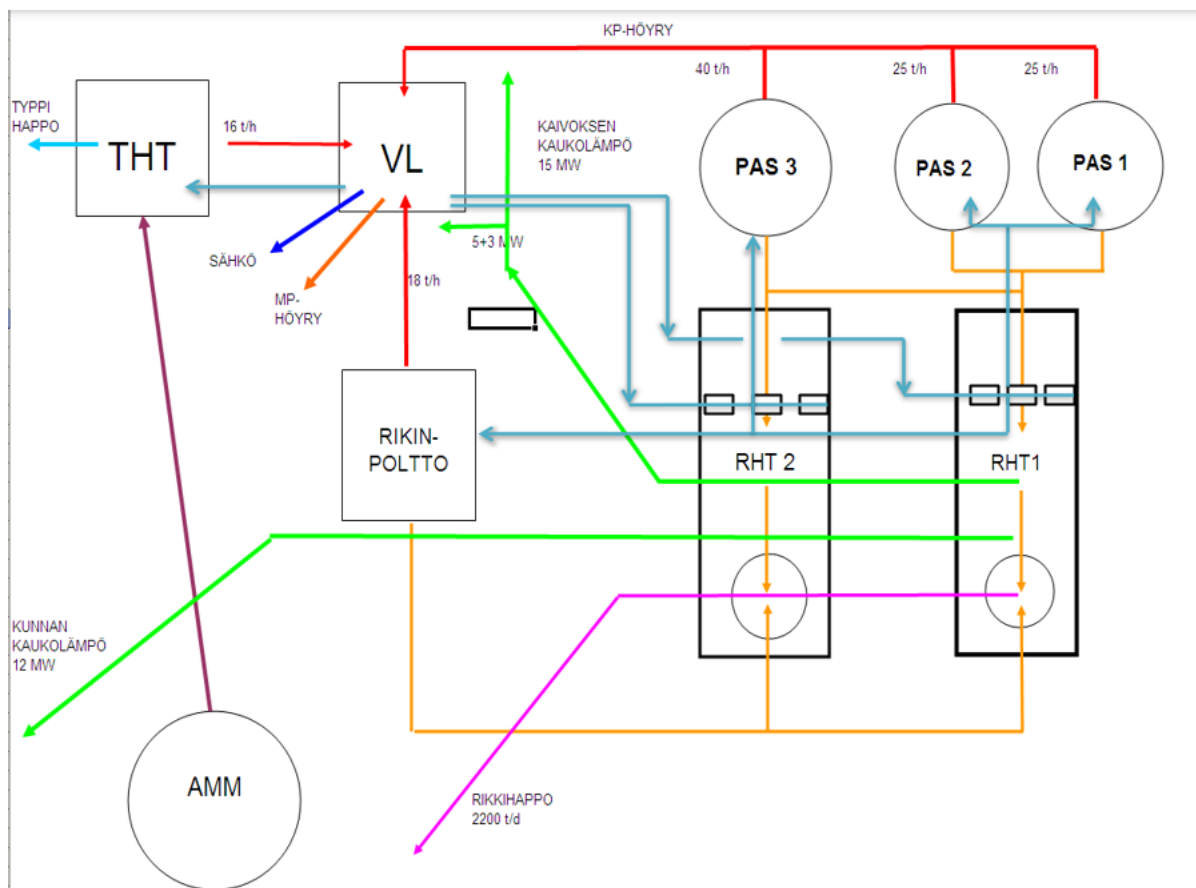
Rikkihappotehtaan pasuttojen korkeapainehöyryt syntyvät, kun pyriittiä poltetaan uunissa. Palamisilma puhalletaan arinan alle, ja sieltä pasutepetiin suuttimien läpi. Pasutepeti leijuu ilmavirrassa. Rikkirikaste syötetään kahden ruuvikuljettimen kautta leijuvaan petiin, jossa rikki syttyy välittömästi.



Reaktiossa rauta poltetaan hematitiksi, ja rikki rikkidioksidiksi. Pyriitin reaktio alkaa noin 500 °C lämpötilassa, kun kattilan normaali lämpötila on 800 °C. Petiä jäädytetään kattilavesikiertoisilla elementeillä. Pasuttojen korkeapainehöyryt ohjataan voimalaitokselle kahdella turbiinilla vastapaine- ja lauhdeturbiinilla. Voimalaitoksella tuotetaan sähköä, ja tehdas höyryä. (Sonninen 2022)

Tuotettavan höyryn kokonaismäärä on 138 t/h, joista 90 t/h pasutot tuottavat, ja typpihappotehdas 15 t/h. Kokonaishöyryn määrästä noin 90 % käytetään vastapaineturbiinissa. Noin 10 % käytetään lauhdeturbiinilla. Sähkön myyntihinnan ollessa korkea on taloudellista käyttää lauhdeturbiinia, ja tehdä optimaalinen määrä sähköä. Kun sähkön myyntihinta on matala, ja prosessihöyryille käyttöturvettä (Fosforihappotehtaan väkevöinnille) kannattaa ajaa kaikki höyry väkevöinnille turbiinin välitoista (reduktio), ja loput lauhdeturbiinin kautta sähköksi.

Voimalaitoksella hoidetaan vesien puhdistus, syöttöveden valmistus ja jäähdysvesien pumppaus reduktioventtiilin avulla. Kaikkien kattiloiden paineen säätö tapahtuu voimalaitoksen turbiinien avulla. (Kattilalaitoksen vaaran arviointi ja hallinta 2002, 1)



KUVA 4. Kaaviokuva Yara Siilinjärven Kattilalaitoksen toiminnasta (Kurikkala 2022)

Prosessikattilat pasutot 1, pasutto 2, pasutto 3 tuottavat korkeapainehöyryä (punainen linja kuvassa 4), joka johdetaan voimalaitokselle (VL). Prosessikattiloilla pasutto 1, pasutto 2 tuotettu rikkidioksidi johdetaan rikkihappotehtaalle (RHT) 1:lle.

Pasutto 3:lta rikkidioksidi johdetaan rikkihappotehdas 2:lle (oranssi linja). Rikin polttolaitoksesta tuleva rikkidioksidi johdetaan rikkihappotehtaille 1 ja 2.

Kaikkia kuutta kattilaa yhdistää yhteinen kattilaveden syöttövesiverkko (sininen linja), ja yhteinen korkeapaine (kp) höyryverkko (punainen linja). Prosesseissa saatava hukkalämpöä otetaan talteen toisiopiiri lämmönvaihtimessa, mistä lämpö johdetaan kaukolämpöverkkoon (vihreä linja).

Tuotettu rikkihappo varastoidaan varastosäiliössä, josta se pumpataan fosforihappotehtaalle. Nestemäinen ammoniakki pumpataan ammoniakkivarastosta (AMM) typpi- ja rikkihappotehtaalle. (THT), jossa se poltetaan prosessikattilassa, ja sivutuotteena syntyy korkeapaine höyryä.

Pasuton kattilat ovat osana rikkihappoprosessia. Pasutolla valmistetaan rikkihappotehtaan käyttämä rikkidioksidi-kaasu. Polttoaineena käytetään rikkikiisua eli pyriittiä (FeS_2). Pyriitti tulee Pyhäsalmen kaivokselta junalla 1456 t kerralla. Junia tulee viikossa viisi kertaa.

Poltossa syntyvä lämpö otetaan talteen prosessikattiloissa. Kattiloista Pasutto1, Pasutto 2 ja Pasutto 3 ovat samanlaisia. Pasutto 3 on hieman uudempi kattila. Se on rakennettu 1982 vuonna. Pasutto 3 valmistaja on Ahlström Oy, kattila on jätelämpökattila. Pasutto 1 ja 2 on rakennettu vuonna 1968, ja käyttöön otettu 1969. Ne ovat Rosenlewin valmistamia La-Mont jätelämpökattiloita. (Hynynen 2022)

Kattiloiden 1 ja 2 rikkidioksidi johdetaan rikkihappotehdas 1:lle ja Pasutto 3:n kaasut johdetaan rikkihappotehdas 2:lle. Kattilalaitoksen kattilat ovat pakkokierto-kattiloita, joissa sähkökäyttöisellä pumpulla hoidetaan kattilaveden kierrätys normaalitilanteessa. Häiriötilanteita varten on olemassa saman tehoiset höyrykäyttöiset turbiinipumput. Kattilavesi kiertää uunin alaosassa eli jäähdytysselementeissä, sekä höyrystimissä. Syöttövesi tulee kattilaan voimalaitoksen syöttövesisäiliöstä syöttövesipumpuilla. Syöttövesi esilämmitetään rikkihappotehtailla olevilla ekonomaisereilla, ja sen jälkeen se tulee säätöventtiilien kautta lieriöön. Tämän jälkeen syöttövesi muuttuu kattilavedeksi. (Sonninen 2022)

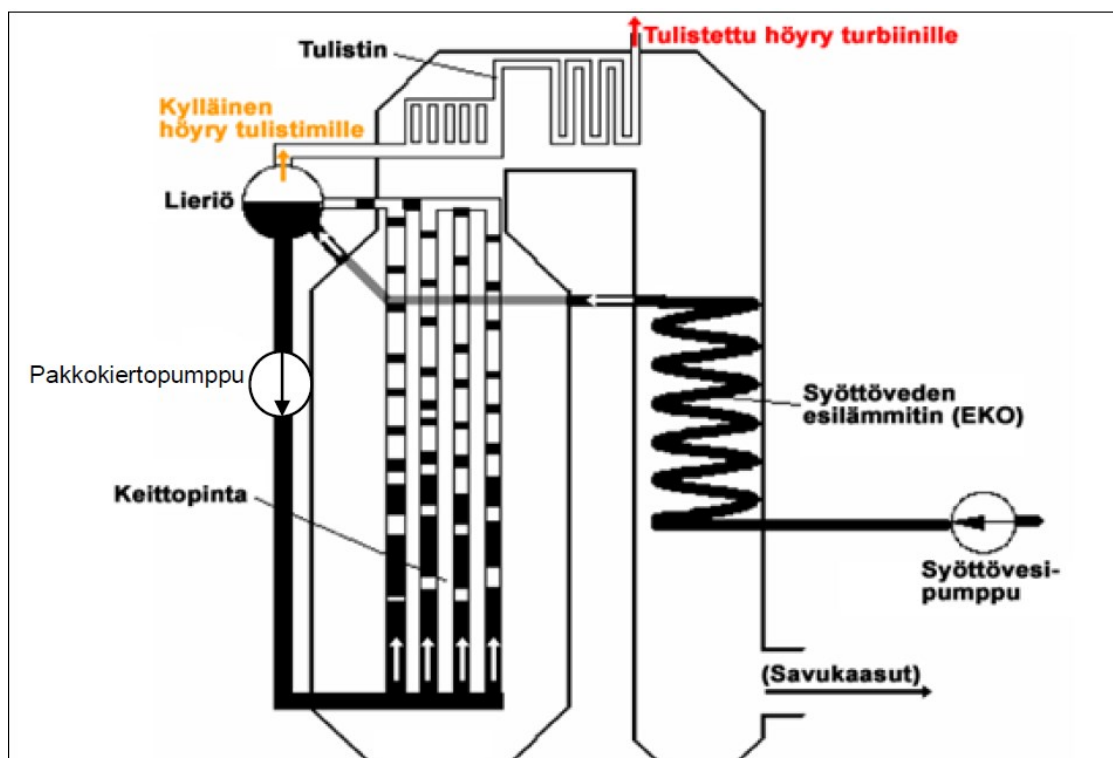
Rikkihappotuotannossa on kaksi prosessinhoitajaa, rikkihappotehtailla yksi prosessinhoitaja, sekä ohjaamon hoitaja. Voimalaitoksella on ohjaamonhoitaja, ja prosessinhoitaja. Rikkihappotehtaan prosessinhoitaja ohjaa rikkihappotehdas 1 ja rikkihappotehdas 2 prosesseja, sekä huolehtii happonäytteistä, ja RC- laitoksen toiminnasta. (Sonninen 2022)

Pasuton kattiloiden energia saadaan uunissa poltetusta pyriitistä (sulfidimalmi) jossa on rikkiä 51 % ja loppu osa rautaa ja pieniä määriä arseenia ja sinkkiä. Rikkilaitoksen kattilan energia saadaan puhtaan rikin (sularikin) poltosta, joka tulee Porvoosta Nesteen jalostamolta autokuljetuksina. Typpihappotehtaan prosessikattilan energia saadaan ammoniakkaasun poltosta. Apukattilan lämpöenergia saadaan raskaasta polttoöljystä (POR 180). Apukattilaa käytetään pääkattilan seisokkiaikana. (Pasuton kattilalaitoksen vaaran arviointi 2002, 3)

2.2.4 Pakkokierto-kattila

Pakkokierto-kattilan toimintaperiaate perustuu pumpulla tuotettavaan paineeseen, jonka avulla vesi kiertää kattilan höyrystinputkistossa. Syöttövesi pumpataan esilämmittimen (Ekonomaiseri) kautta lieriöön niin kuin luonnonkierto-kattilassakin. Höyrystimessä muodostunut vesi ja vesihöyryn seos jatkaa pumppujen muodostaman paineen avulla takaisin lieriöön, joka on pakkokierto-kattilassa yleensä samanlainen kuin luonnonkierto-kattilassa. Lieriöstä vettä pumpataan pakkokierto-kattilalle tyypilliseen tapaan höyrystimeen pumppua apuna käyttäen. Pumpun tulee olla luotettava, ettei vedenkierto kattilassa loppuisi, minkä seurauksena kattila ylikuumentuu ja tulipesään tulisi putkistovaurio. (Lahtinen, 2007)

Syklonilla varustettu lieriö erottelee veden ja vesihöyryn, minkä jälkeen vesi palaa takaisin kiertoon, ja vesihöyry johdetaan tulistimille. Pumpun kavitointia saadaan estettyä sijoittamalla pumppu lieriön alapuolelle, jottei kylläinen vesi höyrystyisi pumppussa. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2000, 117.)



KUVA 5. Pakkokierto-kattilan vesihöyrypiiri (Huhtinen ym. 2000, 113)

Pakkokierto-kattilan etu on, että se soveltuu korkeammille paineille kuin luonnonkierto-kattila. Höyrystinputkisto voidaan tarpeen mukaan rakentaa, vaikka vaakaan, sekä mitoittaa putkisto suuremmille painehäviöille kuin esimerkiksi luonnonkierto-kattilassa. Pakkokierto-kattiloiden kierto-oluvut ovat yleensä 3–5, minkä takia höyrystinputket voivat olla pakkokierto-kattilassa halkaisijaltaan pienempiä, ja hinnaltaan edullisempia kuin luonnonkierto-kattilassa. Kuvassa 5 on esitettyä pakkokierto-kattilan toimintaperiaate. (Huhtinen ym. 2000, 118.)

2.2.5 Leijukerros-poltto pasutolla

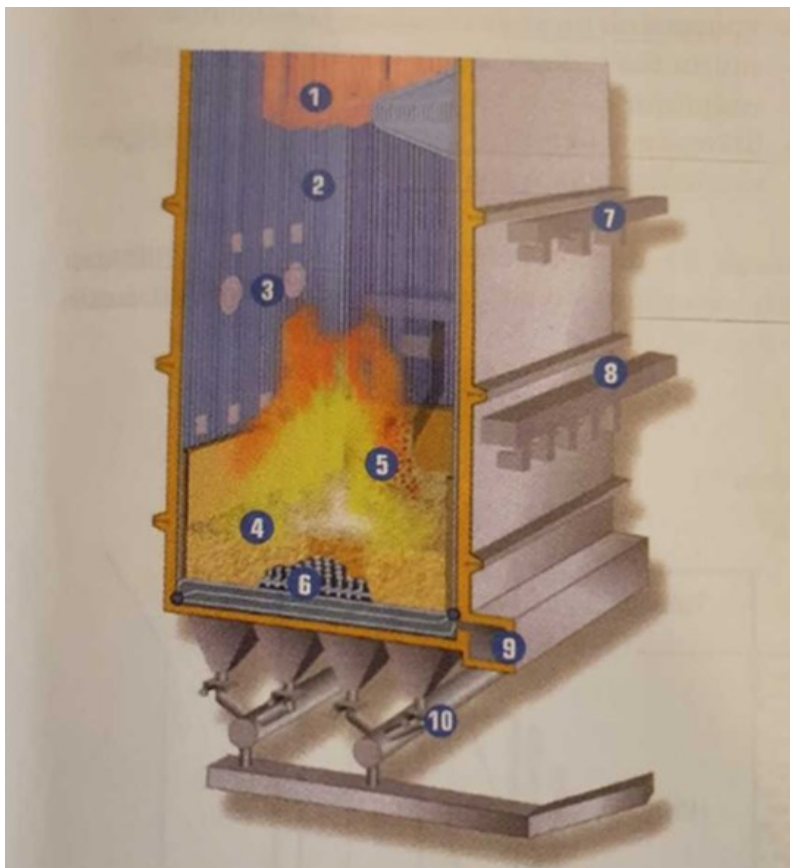
Kiisun poltosta pasutus-uunissa käytetään nimeä pasuttaminen. Kiisun poltto tapahtuu Yaralla kolmessa pyörekerros-uunissa. Uunin halkaisija on noin seitsemän metriä ja korkeutta on kaksitoista metriä. Rakenteena on tiilimuuraus, ja teräs-vaippa sekä lämpöeriste. Pohjalla oleva arina on tehty teräslevyistä tai arinasuuttimista. Uunissa on noin metrin paksuinen pasute-hiekka kerros leijupetinä. Uunien petiä pidetään noin 800°C: en lämmössä jäähdyttämällä sitä kattilavesikierrolla uunin elementeissä. Koko rikin polton energiasta puolet siirtyy tässä kattilaveden höyrystämiseen. Uuniin lisätään sekundääri-ilmaa, jolla varmistetaan rikin täydellinen palaminen. Kaasu SO_2 jatkaa matkaansa 950°C:n lämpötilassa kattilaan ja lähes kaikki rautapöly eli pasute kulkeutuu kaasuvirran mukana. Leijupedin lämpöä säädelään kattilan vesikierrolla. (Turunen 2019.)

Yaran uunit ovat leijukerros-poltto-uuneja. Leijukerros-poltto toimintaperiaate pohjautuu nimensä mukaisesti kattilan tulipesässä leijuvaan hiekkakerrokseen, jota kutsutaan pediksi tai patjaksi.

2.2.6 Leijukerros-poltto

Leijutus tulipesässä saadaan aikaseksi ilmavirtauksen avulla, jonka aiheuttaman paine-eron on oltava yhtä suuri kuin hiekkakerroksen hydrostaattisen paineen, jotta hiekkapeti saadaan leijumaan.

Leijutukseen tarvittavan ilmavirran nopeuteen vaikuttaa leijutettavan hiekan jyväkoko. Tämä tarkoittaa, että mitä pienempi on pedissä olevan hiekan hiukkaskoko, sitä pienemmällä ilman virtausnopeudella polttokerros saadaan leijumaan. Leijukerrospolttoa hyödyntäviä kattilatyyppejä on kahdenlaisia, kuplivia leijupetikattiloita ja kiertopetikattiloita. (Huhtinen ym. 2000, 154.)



KUVA 6. Leijupetikattilan toiminta ja rakenne. 1. tulistimet, 2. tulipesä, 3. kuormapolttimet, 4. leijukerros, 5. polttoaineensyöttö, 6. palkkiariina, 7. tertiääri-ilma, 8. sekundaari-ilma, 9. primaari-ilma, 10. pohjatuhkan poisto (Huhtinen ym. 2021, 37)

Leijupetikattila, josta käytetään lyhennettä BFB-kattila (Bubbling Fluidized-Bed Boiler), hyödyntää edellä kerrottua leijutustekniikkaa. Hiekkapatjaa leijutetaan tulipesässä minimileijutusnopeudella, ja kun minimileijutusnopeus ylittyy, alkaa hiekkapatja kuplia ja kiehua veden tavoin, mistä kattilan nimitys johtuu. Leijupetikattilalle on tyypillistä hiekkapatjan suuri lämpökapasiteetti, jonka ansiosta sillä voidaan polttaa kosteita polttoaineita ilman erillistä kuivausta. Tällä tavoin kuumaan hiekkakerrokseen sekoittuva kostea polttoaine saadaan kuivumaan nopeasti, ja lämpenemään syttymislämpötilaansa. Kuvassa 6 on esitettyä leijupetikattilan toimintaperiaate. (Huhtinen ym. 2000,157–159).

3 KATTILALAITOKSIA VELVOITTAVAT SÄÄDÖKSET

3.1 Painelaitedirektiivi

Painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelua, ja valmistusta koskevat säädökset ovat osa EU:n tuotelainsäädäntöä, ja siten yhteiset kaikissa jäsenmaissa ja ETA-alueella (Tukes 2000).

Velvoittava lainsäädäntö perustuu Euroopan parlamentin, ja neuvoston direktiiviin 2014/68/EU. Direktiivi painelaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta, joka on nimetty painelaitedirektiiviksi tai PED:ksi.

Painelaitelakia käytetään painelaitteisiin. Direktiivin päämääränä on taata, että painelaitteesta ei saa koitua vaaraa kenenkään terveydelle, turvallisuudelle eikä omaisuudelle. (Tukes 2000).

Valmistajan tehtävä on suunnitella, ja tehdä laite turvallisesti paineesta johtuvien vaarojen -ja mahdollisten riskien minimoimiseksi (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU, L 189/202.)

Direktiivin säädöksiä vastaava painelaite tai laitekokonaisuus CE merkitään, jonka jälkeen se voidaan tuoda markkinoille EU / ETA alueella tai se voidaan asentaa käytettäväksi kentällä (Tukes 2000).

Kattila/kattilalaitos luokitellaan painelaitteeksi direktiivin artiklassa 4, ja sen on vastattava direktiivin ensisijaisia turvallisuusvaatimuksia. Kattilalaitos ei ole yksittäin painelaite vaan se kokonaisuus kuten esim. painetta sisältävät putkistot, paineventtiilit, ekonomaiseri. Direktiiviä käytetään, kun kattila on liekillä tai muulla tavoin lämmitetty painelaite, jossa on ylikuumenemisen vaara, ja joka on tarkoitettu höyryn tai ylikuumennetun veden tuotantoon yli 110 °C:n lämpötilassa, kun tilavuus on yli 2 litraa (Direktiivi 2014/68/EU, L 189/176).

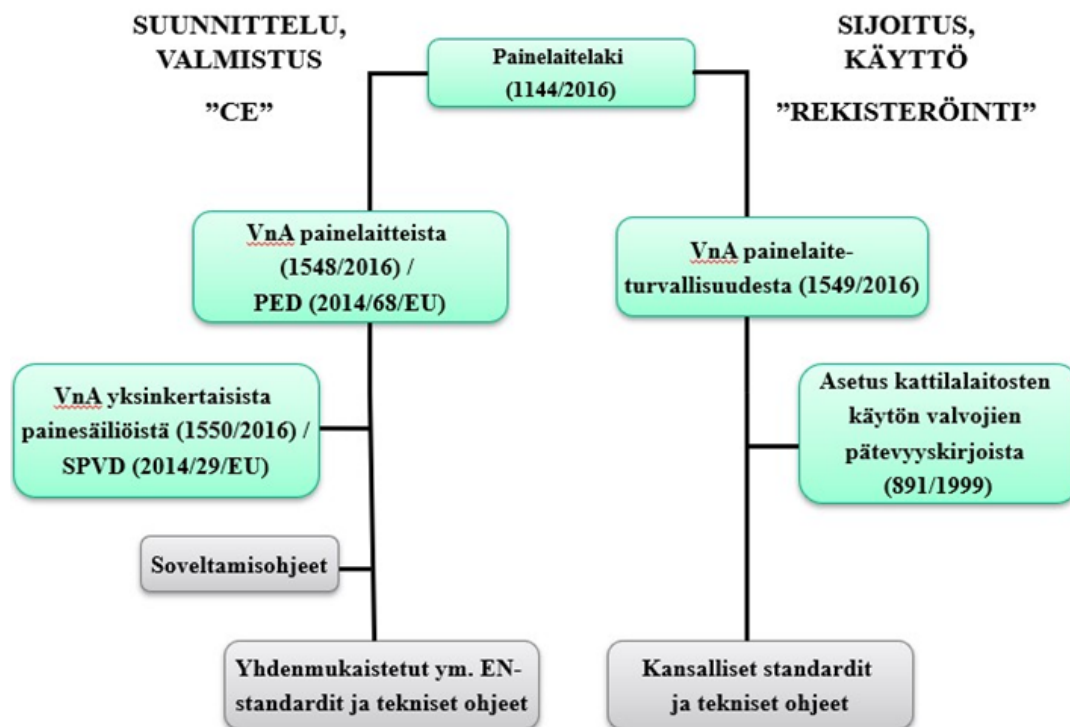
Lisäksi artiklassa kerrotaan laitekokonaisuuksista, että ”höyryn tai ylikuumennetun veden tuotantoon yli 110 °C:n lämpötilassa tarkoitettut laitekokonaisuudet, joihin kuuluu vähintään yksi liekillä tai muulla tavoin lämmitetty painelaite, jossa on ylikuumenemisen vaara” on täytettävä merkittävät turvallisuusvaatimukset. (Direktiivi 2014/68/EU, L 189/177)

Turvallisuusvaatimusten ja muiden velvoitteiden täyttämisen osoittamiseksi direktiivissä on määritetty erilaisia arviointitapoja. Vaatimusten tason määrittää painelaitteen vaarallisuusluokka. Painelaitteet määritellään vaaran mukaan hyvän konepajakäytännön painelaitteisiin (SEP) tai luokkiin I – IV. Vaaran luokka luokitellaan painelaitteen tyyppin, sisällön, käyttöpaineen (PS), ja tilavuuden (V) mukaan. (Tukes. Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi, 2)

Painelaitedirektiivi koskee vain painelaitteita, ja laitekokonaisuuksia olennaisten turvallisuus vaatimusten osalta. Tekniset vaatimukset painelaitteiden, ja laitekokonaisuuksien suunnittelemiselle, valmistamiselle sekä tarkastamiselle määritetään yhdenmukaistetuissa standardeissa. Niiden käyttäminen on vapaaehtoista, mutta se helpottaa vaatimustason arvioimista, ja osoittamista, koska ne täyttävät olennaiset turvallisuusvaatimukset. Euroopan alueella yhdenmukaisten standardien vahvistamisesta vastaavat eurooppalaiset standardointiorganisaatiot kuten Euroopan standardointikomitea (CEN), Euroopan sähkötekniikan standardointikomitea (CENELEC) ja Euroopan telealan standardointilaitos (Euroopan Parlamentin ja Neuvoston asetus asetus 1025/2012, L 316/12).

3.2 Painelaitelaki

Kansallinen lainsäädäntö tarkentaa direktiiviä, esimerkiksi painelaitelaille 1144/2016, ja sitä täydentävillä valtioneuvoston asetuksilla. Lain vaatimusten täyttämistä ja sen noudattamista valvoo Euroopassa kansalliset valvontaviranomaiset. Kuvassa 7 on esitelty painelainsäädännön rakenne Suomessa. Suomessa valvontaviranomainen on Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Tukesin tehtäviin kuuluu valvoa painelaiteturvallisuutta käyttövalvonnan, markkinavalvonnan ja painelaiterekisterin avulla (Tukes 2000.)



KUVA 7. Painelaitelaki Suomessa rakentuu seuraavasti (Tukes 2000.)

3.3 Valtioneuvoston asetukset

Valtioneuvoston asetus sisältää tekniset vaatimukset painelaitteiden, ja laitekokonaisuuksien suunnittelusta, valmistuksesta, ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnista. Asetuksessa määritellään muun muassa tarkempia säännöksiä painelaitteiden luokitukseen. Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta sisältää muun muassa tekniset vaatimukset painelaitteiden sijoituksesta, rekisteröinnistä, kattilalaitosten käytön valvonnasta, sekä painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöistä (Tukes 2020)

Valtioneuvoston asetuksessa painelaiteturvallisuudesta määritellään tarkasti tekniset vaatimukset painelaitteiden sijoituksesta, rekisteröinnistä, kattilalaitosten käytönvalvonnasta, ja painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöistä (Tukes 2000).

Asetuksessa tarkennetaan kattilalaitoksen omistajan tai haltijan velvoitteita koskien rekisteröintiä ja määräaikaista tarkastuksia. Asetuksen 9. §:ssä veloitetaan, että vaaran arviointi painelaitteelle tai laitekokonaisuudelle tulisi olla tehty ennen ensimmäistä määräaikaistarkastusta (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016).

3.3.1 Muita säännöksiä

Kattilalaitokseen liittyy painelaitesäädösten lisäksi myös paljon muita koneita, ja laitteita, rakenteita sekä järjestelmiä, joiden pitää täyttää niille asetetut vaatimukset. Laitoksen prosesseihin liittyvien mekaanisten koneiden, ja laitteiden, kuten kuljettimien, pumppujen, ja sulkupeltien tulee olla standardien vaatimusten mukaisia. Standardien taustalla on yhdenmukaistaa koneisiin sovellettavat terveys - ja turvallisuusvaatimukset. Standardilla turvataan terveyden, ja turvallisuuden suojelun korkea taso, että varmistetaan koneiden vapaa liikkuvuus EU:n markkinoilla. (Konedirektiivi 2006/42.)

Kattilahuoneeseen kohdistuu lujuuteen, ja paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia. Niitä on esitetty Ympäristöministeriön asetuksessa 848/2017. Kattilalaitoksen rakenteiden tulisi olla palonkestävyydeltään luokkaa P1 tai P2. Yleisin on P 2 luokka, koska se on usein kustannuskysymys. Kantavat ja osastoivat rakennusosat jaetaan paloluokkiin sen perusteella, miten ne hyvin ne kestävät paloa. Kun käytetään seuraavia merkintöjä R, REI, RE, EI tai E, puhutaan kantavuudesta, tiiviyydestä tai tiiviyydestä, ja eristävydestä. Näiden merkintöjen jälkeen ilmoitetaan palonkestävyyssaika minuutteina yhdellä seuraavista luvuista: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240. Näin muodostuva merkintä on rakennuksen paloluokka. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017)

4 VAARAN ARVIOINTI

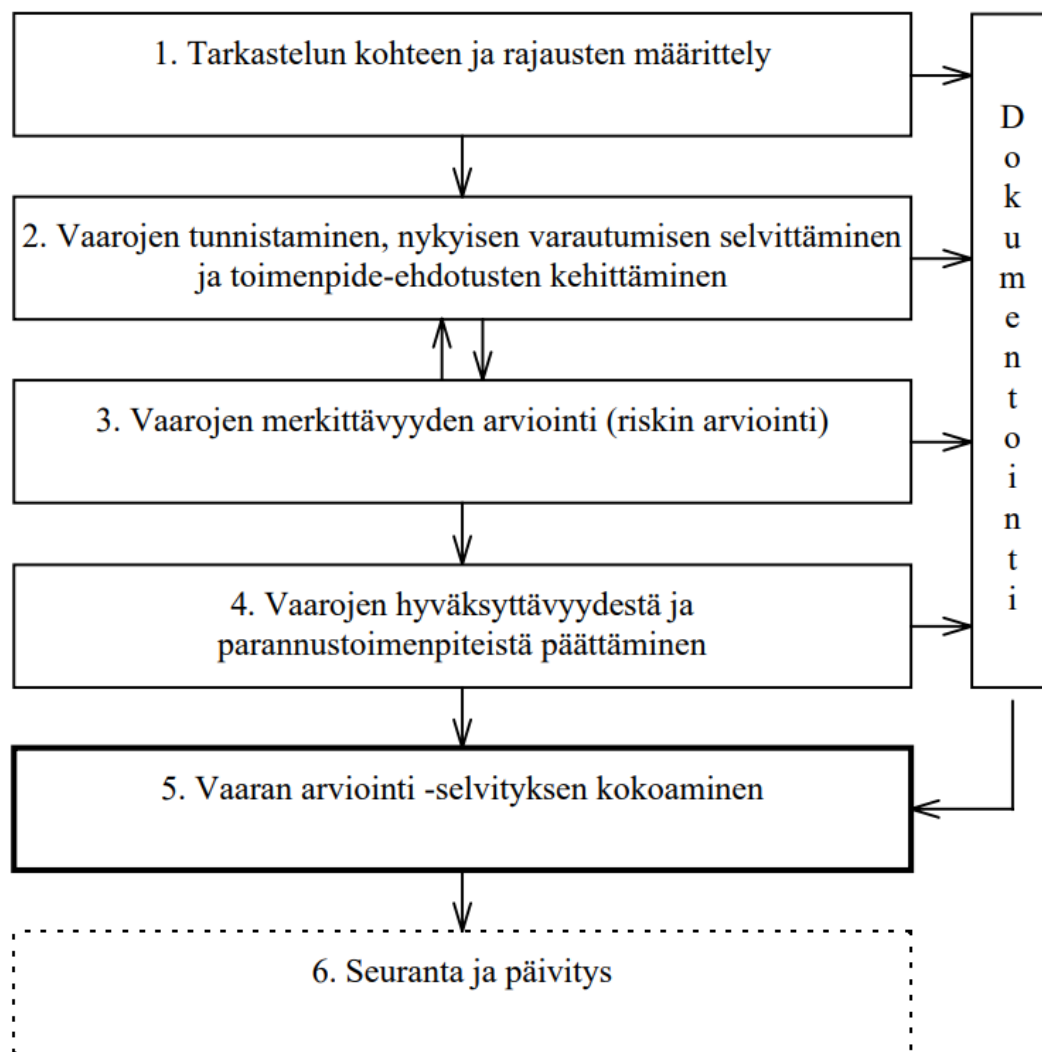
4.1 Vaaran arvioinnin perusta

Työturvallisuuslaki velvoittaa yksi selitteisesti työnantajan huolehtimaan työntekijän turvallisuudesta, ja terveydestä. Vaaran arvioinnin velvoite määritellään lain 10 §:ssä näin:

”Työnantajan on työn ja toiminnan luonne huomioon ottaen riittävän järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työstä, työajoista, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta ja vaaratekijät sekä, jos niitä ei voida poistaa, arvioitava niiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle” (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738 10. §).

Vaaranarviointi on osa turvallisuusanalyysiä, koska sen pohjalta tehdään toimintamalli turvallisuuden parantamiseksi. Oleellista on tunnistaa vaarat ajoissa, sekä niiden aiheuttajat. Tunnistamisen jälkeen vaarat analysoidaan, ja luokitellaan arvioimalla niiden vaikutuksia, sekä niiden merkittävyys. Samanaikaisesti tulisi tarkastella nykyisiä hallintakeinoja, mutta myös varautumista. Riskien analysoinnin jälkeen voidaan päättää vaarojen hyväksyttävyydestä, ja miettiä parannusehdotuksia sekä arvioida niiden vaikuttavuuksia, ja päättää minkälaisiin toimiin tulisi ryhtyä. (Sarsama ym. 2000, 9; Kotkansalo, Parkkila & Tarvainen 2017, 16)

Kattilalaitoksen vaaran arvioinnin selvityksen rakenne, yksityiskohdat sekä laajuus vaihtelevat tarkasteltavan kohteen mukaan. Arvioinnissa tulee esittää tarpeelliset tiedot kattilasta tai kattiloista, jos laitoksella on useampi kattila. Arvioinnissa tulee olla kuvaus kattilan toiminnasta, ja toimintaympäristöstä, sekä viittaukset lakikohtiin arvioinnin perusteiksi. Arvioinnissa tulee ilmetä tarkat tiedot painelaitelaisissa määritellyistä kattilan toimintaan oleellisesti liittyvistä vaaratilanteista. Laitoksen erityispiirteet, ominaisuudet, ja paikalliset olosuhteet tulee ottaa huomioon arvioinnissa. Arvioinnissa selvitetään vaaratilanteisiin johtaneet syyt, sekä arvioidaan mahdollisten seurausten vakavuus, ja nykyisen varautumisen riittävyys. Arvioinnissa tulee näkyä tiedot tarkastelun olettamuksista, rajauksista, toteutuksessa käytetyistä menetelmistä, ja osallistuneesta henkilöstöstä. (Sarsama ym. 2000, 9; Kotkansalo, Parkkila & Tarvainen 2017,12)



KUVA 8. Vaaran arviointi -prosessin vaiheet. (Tukes 2000)

Vaarojen tunnistaminen, ja niiden merkittävyyden arviointi kannattaa tehdä vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa tarkastelu voidaan tehdä yleisellä tasolla koskien koko kattilalaitosta. Kuvassa 8 on osoitettu vaaran arviointi prosessin kulku. Tärkeimmiksi arvioitujen vaaratilanteiden, ja riskien osalta tarkastelua tulee jatkaa perusteellisemmalla tasolla. Dokumentointi on tärkeä osa vaaran arvioinnin, ja riskien hallinnan jokaista vaihetta. Kuvassa 8. nähdään kaaviokuva vaaran arviointi prosessista. (Tukes 2000)

Painelaiteturvallisuutta koskevan päätöksen 20 § (Vaaran arviointi ja hallinta) mukaan vaaran arvioinnista tulee näkyä seuraavat kohdat: 1.Kattilalaitoksen käytön aikana tapahtuvat mahdolliset vaaratilanteet, 2. Olosuhteet, joissa onnettomuus on mahdollinen, 3.Kattilalaitoksen käyttökonekannasta johtuvat vaaratilanteet, 4. Kuvaus tyypillisistä, ja vakavimmasta mahdollisista vaaratilanteista, sekä niihin johtaneesta käyttövirheistä, virhetoiminnoista, laitteiden vikaantumista, vaurioista ja muista syistä. (Tukes 2000)

Vaaran arvioinnissa tunnistetut vaaratilanteet on huomioitava, ja selvitetävä miten kattilalaitoksen vaaratilanteiden ehkäisemiseen on varauduttu kattilalaitoksen normaalikäytön, sekä erilaisten häiriötilanteiden sattuessa. Toimenpiteet tulee kartoittaa vaaran arvioinnin perusteella. Suojausjärjestelmät tulee olla ajan tasalla tunnistettujen vaarojen, ja riskien estämiseksi. Vaaran arvioinnin pohjalta

selvitettävä mitä järjestelmien toiminnoilta, ja luotettavuudelta vaaditaan, sekä miten näiden vaatimusten täytyminen on varmistettu. (Tukes 2000)

4.2 Painelaitteiden vaarojen sekä riskien arviointi

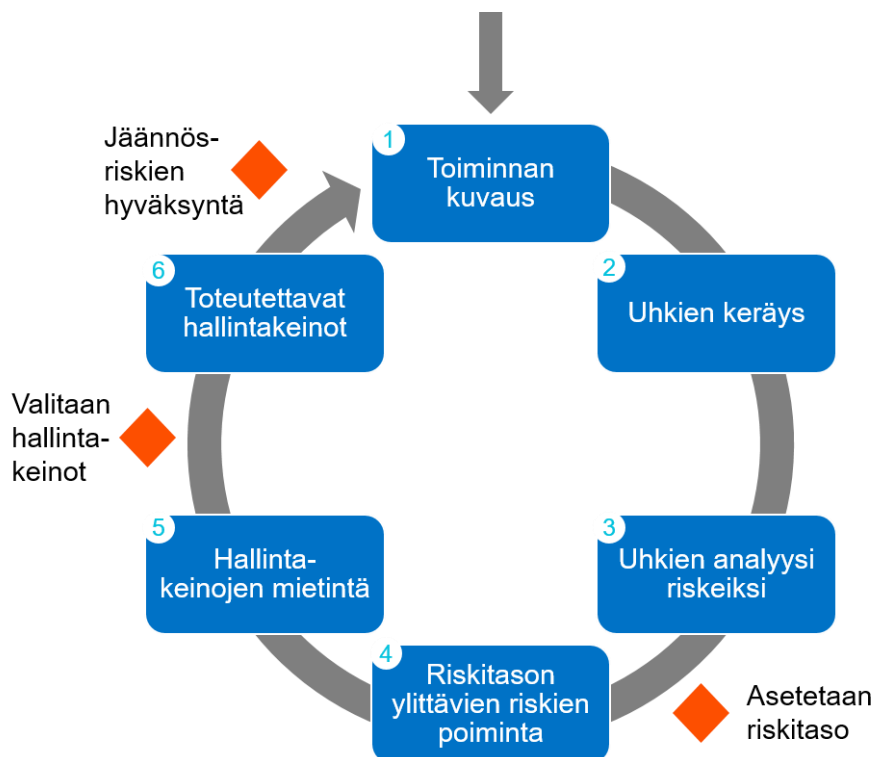
Painelaitteiden valmistajien, ja käyttäjien sisäistävä turvallisuuskulttuuri, toimintatavat sekä asenteet vaikuttavat merkittävästi onnettomuuksien ehkäisemiseen. Painelaiteturvallisuuden takaamiseksi on lainsäädännössä yhteinen käytäntö, että laitteen valmistajan lisäksi markkinoille saattajan, omistajan, haltijan sekä käyttäjän vastuuta laitteen turvallisuudesta korostetaan. (Hallituksen esitys HE 117/2016, 2.1.1).

Painelaitteen ja laitekokonaisuuden valmistajalla on velvoite vaarojen tunnistamiseen sekä riskien arvioimiseen, ja pienentämiseen. Riskien arviointi on sisällytettävä painelaitteen käyttöohjeisiin, joiden sisältövaatimuksia yksilöidään CEN:n teknisessä raportissa. Raportissa luetellaan kaikki painelaitteisiin kohdistuvat mahdolliset, ja huomioitavat vaarat kuormituksessa, kun niitä asennetaan ja käytetään kohtuudella ennakoitavissa olevissa olosuhteissa. Esimerkiksi varolaitteet, painerajoittimet tai lämpötilailmaisimet estävät vikaantumisen. (Tekninen raportti CEN/TR 764-6 2012, 6).

5 RISKIEN TUNNISTAMINEN JA ARVIONTIMENETELMÄT

5.1 Kohteen rajaus

Tarkastelu tulee koskea kattilalaitoksen niitä osia, ja toimia, joissa tapahtuvista häiriöistä, toimintovirheistä, poikkeamista, vikaantumisista jne. voi aiheutua vahinkoa kattilalaitoksessa tai sen ympäristössä oleville henkilöille tai omaisuudelle. (Tukes 2000)



KUVA 9. Riskianalyysin vaiheet (Helsingin kaupunki, 2022).

Riskianalyysi pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin; Mikä voi mennä vikaan (Vaarojen tunnistaminen), Miten todennäköisesti tämä tulee tapahtumaan (taajuusanalyysi), mitkä ovat seuraukset tapahtuneelle (seurausanalyysi) (Honkanen 2020)

Riskianalyysissä selvitetään uhkat, todennäköisyydet niille, ja mahdollisten vahinkojen suuruus. Kuvassa 9 on kuvattu riskianalyysin vaiheet. Riskienhallinnan avulla tunnistetaan, analysoidaan, ja hallitaan riskejä. Ajan tasalla olevan riskianalyysin avulla pystytään tekemään toimenpiteitä riskien ehkäisemiseksi, ja varmistamaan tarvittavien toimenpiteiden seuranta ja dokumentointi. (Qreform 2022.)

Tämä opinnäytetyö rajattiin Yaralla koskemaan pasuton 1, 2, 3 kattiloita, mutta samat HAZOP, HAZID-menetelmät, ennakkohuollot, koulutus, ja turvallisuusmääräykset koskevat kaikkia kuutta kattilaa.

5.2 Vaarojen tunnistaminen sekä nykyinen varautuminen

Poikkeamatarkastelu HAZOP on prosessijärjestelmien riskien tunnistamisen yksityiskohtaisempi menetelmä. HAZOPIA täydennetään usein kokonaisturvallisuuden arvioinnilla (SIL, Safety Integrity Level). Nämä varmistavat riittävän suojaustason HAZOPISSA tunnistettuja riskejä vastaan.

(Tutkimusraportti, Riskianalyysimenetelmien tarkastelu, Arja Kotkansalo, Leena Parkkila, Jaana Tarvainen, 2017, 74).

Riskianalyysi pohjautuu siedettävään riskiin. Kun riski on kohonnut lievästi, voidaan puhua siedettävästä riskistä. Tällöin riskille altistavat vaarat on otettava erityistarkkailuun, ja tarvittaessa ryhdyttävä toimiin riskin pienentämiseksi. (Työsuojeluhallinto 2022).

Yara Siilinjärvellä on käytössä HAZOP, poikkeamatarkastelu sekä HAZID suuronnettomuusvaarojen, isojen riskien tunnistamismalli. Nykyinen varautuminen Yaralla on hyvällä mallilla, yritys panostaa tapaturmien vähäisyyteen ja turvallisuusasenteeseen. Kattilalaitokset ovat 1980- ja 1969 luvulla rakennettuja, jatkuvassa käytössä olevia laitoksia. Lainsäädännössä on vaade, että kattilalaitoksella tehdään käyttötarkastus (kt) 2 vuoden välein. Tällöin varmistetaan painelaitteen turvallinen toiminta. Turvalaitteiden testausta on esimerkiksi varoventtiilien legatest eli koestus, polttimien liekinvartioiden testaus, lieriön pintojen testaus eli käytännössä alarajahälytys. (Hynynen 2022)

Kattilan sisäpuolinen tarkastus (sp) tehdään 4 vuoden välein, mutta käytännössä Yaralla se tapahtuu 2 vuoden välein seisakkien yhteydessä. Kattila jäähdytetään, jonka jälkeen kattila tarkistetaan likaisena, ja tyhjennetään. Seuraavaksi kattilalle tehdään tyhjänä sisäpuolinen tarkistus. Omistajalla ja painelaitetarkastajalla on iso rooli työn laajuuden osalta. Paineekoe (pk) tehdään 8 vuoden välein, usein käyttöpaine testataan esimerkiksi kattilapaketin vaihdon yhteydessä. Tällöin ulkopuolinen osaaja, eli Yaralla Inspecta, on aina tarkastuksissa mukana valvojana ja hyväksyjänä. On myös mahdollista tehdä käyttötarkastus, sisäpuolinen tarkastus ja painekoe samalla kerralla. Taulukosta 2 näkyy kattilalaitoksen määräaikaistarkastukset ja aikavälit, jolloin ne on tehtävä. (Hynynen 2022)

TAULUKKO 2. Painelaitteiden määräaikaistarkastukset (Tukes 2000.)

Tarkastus	Toimenpide	Tavallinen aikaväli	Tavallinen aikaväli
		Painesäiliöt, muut painelaitteet	Kattilat
Ensimmäinen määräaikaistarkastus	Tarkastetaan, että painelaite voidaan turvallisesti ottaa käyttöön	Käyttöön-oton yhteydessä	Käyttöön-oton yhteydessä
Käyttötarkastus	Käyttöä vastaavissa olosuhteissa tarkastetaan, että painelaitteen ja sen käytön osalta asiat ovat kunnossa	4 vuotta	2 vuotta
Sisäpuolinen tarkastus	Laite tyhjennetään, puhdistetaan ja sen kunto tarkastetaan perusteellisesti	4 vuotta	4 vuotta
Määräaikainen painekoe	Tehdään painekoe ja tutkitaan mahdollisia vuotoja ja muodonmuutoksia	8 vuotta	8 vuotta
Muutostarkastus	Kunto ja turvallisuus tarkastetaan korjausten ja erilaisten muutosten yhteydessä	Tarvittaessa	Tarvittaessa

5.3 Vaarojen merkittävyyden arviointi

5.3.1 HAZOP

Vaaran arvioinnissa Yaralla on käytössä HAZOP ja HAZID-menetelmät, joissa poikkeama pilkotaan osiin kuten taulukossa3 nähdään. HAZOPISSA tarkastellaan poikkeamaa, sille syytä, ja turvaluokitusta sekä toimenpide ehdotusta, jolla poikkeamaa hallitaan. Esimerkiksi pyriitti/ilmasuhde korkea, mistä seuraus olisi epätäydellinen palaminen, joka aiheuttaisi alhaisen lämpötilan pedille. Tämä saattaisi aiheuttaa prosessihäiriöitä pyriitin polttotapahtumassa. Tätä poikkeamaa hallitaan kahdenne-tulla mittauksella, ja alarajahälytyksillä (automaatio). Turva-automaatiot kuten esimerkiksi kattila-suoja ovat erillään käyttöautomaatiosta eli toisin sanoen käyttöautomaation vika ei saa vaikeuttaa turva-automaation toimivuutta. Yara Siilinjärvellä HAZOP ja HAZID tarkastelu perustuu kolmen osa

alueen tarkasteluun; henkilöstöturvallisuus, ympäristöturvallisuus ja taloudelliset riskit. (Kurikkala 2022)

TAULUKKO 3. HAZOP tarkastelu

Avainsana	Poikkeama	Mahdolliset syyt	Seuraukset	Tarvittava toimenpide
Pasuteilma; ei virtausta	Ei virtausta	Puhaltimen akseli poikki/moottori tai puhallin rikki. Pasutusilmaventtiili kiinni. Johtosiivet kiinni Putkirikko Imuritulä tukossa Leijupeti alhaalla Uunin pohjakartio täynnä	Poltto loppuu, peti putoaa O ₂ -hälytykset Vastapaine hälytykset Lieriön pinta heilahtaa Virtausmittari näyttämä Koko linjastossa hälytyksiä Uunin paine vaihtelee	Yaralla on sähkövirran mittausta Venttiililtä tulee rajatieto Yllärajahälytykset vastapaineesta= Automaatio Uunin pohjakartiossa on automaattiset kolistimet, jolloin hieno jakoinen kiintoaine putoaa pohjakartion poistoputkiin, jotka ovat johdettu tyhjennettäviin metallikuoppiin. Joka vuorossa 12 h välein prosessihoitaja tyhjentää kartion pohjat.

Suurin osa riskeistä hallitaan tällä hetkellä automaatiojärjestelmällä. Opinnäytetyössä tarkasteltiin HAZOPEJA, joista kävi ilmi, että, että koulutukseen liittyvät toimenpiteet ovat heikoin lenkki. Koulutukseen kannattaisi panostaa enemmän esimerkiksi perehdytyksen ja harjoitusten avulla Tämä käy ilmi HAZOP tarkastelussa (taulukko 3).

HAZOP tarkastelussa ilmeni, että jatkuvan koulutuksen seuranta edistäisi näin kattilaitoksen turvallisuusjohtamista. HAZOP ja HAZID poikkeama tarkastelut päivitetään kolmen vuoden välein tai tarvittaessa, ja ne dokumentoidaan jokaisesta kattilasta erikseen. Vaarojen hyväksyttävyydestä ja parannustoimenpiteistä päättäminen tehdään HAZOPIN päivityksen yhteydessä. (HAZOP tarkastelu,

Kurikkala, 2022) Taulukko 6 löytyy Liitteestä 1, josta voi katsoa lisää Yaran HAZOP-tarkasteluja. Siinä on käsitelty pasuttojen SIL 1 ja 2 luokkien poikkeamat.

Poikkeama tarkastelussa oli 49 poikkeamaa, ja hallintakeinoina 26 tapauksessa oli automaatio, kuten esimerkiksi kattilasuoja, joka ajaa kattilalaitoksen turvalliseen tilaan. Taulukossa 4 on tarkasteltu koulutuksen osuutta hallintakeinoina poikkeamissa. Koulutuksen osuus oli 18 tapausta, mikä tarkoittaa 37 % 49 poikkeamasta voitaisiin hallita koulutuksella. Huolto / ennakkohuolto oli hallintakeinona 17 poikkeamassa.

TAULUKKO 4. HAZOP tarkastelu

Poikkeama	Hallintakeinot
	Automaatio 26
	Koulutus 18
	Huolto/Ennakkohuolto 17
Yhteensä 49	

5.3.2 HAZID

Taulukossa 5 on esitetty kattilalaitoksen suuronnettomuudet, jotka on tunnistettu ja joihin on tehty varautumissuunnitelma. Suuronnettomuusharjoitus on lakisääteinen, pelastuslain mukaan harjoitus on pidettävä joka kolmas vuosivaarallisia aineita käsitteleville tuotantolaitoksille. (Pelastuslaki 379/2011).

Siilinjärvellä suuronnettomuusharjoitukset pidetään yhdessä Pohjois-Savon pelastuslaitoksen kanssa. Edellinen suuronnettomuusharjoitus on pidetty Yaralla vuonna 2021, ja seuraava on suunnitteilla vuodelle 2024. Yaralla toimii oma tehdaspalokunta, jonka miehistövahvuus on yhdeksän palomiestä. Tehdaspalokunnassa toimii ammattitaitoinen henkilöstö. Yara jakaa lähialueen kotitalouksiin turvallisuustiedotteen viiden vuoden välein, jossa kerrotaan toimipaikan toiminnasta sekä käsiteltävistä kemikaaleista ja turvallisuusohjeet onnettomuuksien varalta. Turvallisuustiedotteen jakaminen on lain vaatima edellytys. Siilinjärven toimipaikalle on laadittu sisäinen pelastussuunnitelma onnettomuuksien ennaltaehkäisemiseksi (Taskinen 2022)

TAULUKKO 5. Yara Siilinjärven kattilan riskiarvio (Yara, Siilinjärvi suuronnettomuuksien ja riskien tunnistamismalli, HAZID, Kauppila, Kurikkala, Uusitalo 2015)

Vaaratekijä	Mahdolliset seuraukset	Riskiarvio S T R	Nykyinen varautuminen	Jäännös-riski S T R	Toimenpide ehdotus
Kattilan syöttövesi loppuu ja kierto pysähtyy sähkökatkon vuoksi	Kattila räjähdys, joka aiheuttaa henkilövahingon	2 4 •	Höyrykäyttöiset turbo-pumput, joilla on koe-käytöt sekä jatkuva kun- nontarkkailu. Kattiloien määräaikaistarkas- tukset. Höyrykäyttöinen syöttövesipumppu sekä lisävesisäiliö, kaksi syöt- tövesilinjaa	3 2 •	Riski pienenee päivittäisillä ope- raattoreiden tark- astuskierroksilla. Ennakkohuolloilla. Ajantasaisella turva-automaati- olla, joka ajaa kat- tilan turvalliseen tilaan.
Massiivinen kattilavuoto uunin pedin sisällä	Höyryräjähdys uunissa, mikä aiheuttaa henkilövahingon	3 4 •	Määräaikaistarkastukset	3 2 •	Riski pienenee päivittäisillä ope- raattoreiden tark- astuskierroksilla. Ajantasaisella turva-automaati- olla.
Vaaratekijä	Mahdolliset seuraukset	Riskiarvio S T R	Nykyinen varautuminen	Jäännös-riski S T R	Toimenpide ehdotus
Kattilan syöttövesi loppuu ja kierto pysähtyy sähkökatkon vuoksi	Kattila räjähdys, joka aiheuttaa henkilövahingon	2 4 •	Höyrykäyttöiset turbo-pumput, joilla on koe-käytöt sekä jatkuva kun- nontarkkailu. Kattiloien määräaikaistarkas- tukset. Höyrykäyttöinen syöttövesipumppu sekä lisävesisäiliö, kaksi syöt- tövesilinjaa	3 2 •	Riski pienenee päivittäisillä ope- raattoreiden tark- astuskierroksilla. Ennakkohuolloilla. Ajantasaisella turva-automaati- olla, joka ajaa kat- tilan turvalliseen tilaan.
Massiivinen kattilavuoto uunin pedin sisällä	Höyryräjähdys uunissa, mikä aiheuttaa henkilövahingon	3 4 •	Määräaikaistarkastukset	3 2 •	Riski pienenee päivittäisillä ope- raattoreiden tark- astuskierroksilla. Ajantasaisella turva-automaati- olla.

5.4 Parannusehdotukset

Parannusehdotuksiin päästiin HAZOP tarkasteluissa ilmenneiden seikkojen avulla. Jatkuvalle koulutuksella parannetaan riskien hallintaa, ja kattilaitoksen varautumista poikkeusoloihin, sekä riskien tunnistamista. Jatkuva kouluttaminen on kustannus, mutta estää ammattitaidon henkilöitymisen. Eläkkeelle jää jatkuvasti kokeneita työntekijöitä, jotka vievät mukanaan arvokasta tietoa kattilasta. Tämän tiedon siirtäminen nuoremmille olisi hyvin tärkeää.

Opinnäytetyön palaverissa ehdotin koulutusmallia, joka on käytössä useimmilla tehtailla, ja myös Savonia amk käyttää koulutuksessa simulaattoreita, mutta hinta tuli tässä vastaan. Simulaattorit ovat yllättävän kalliita investointeja. Palaverissa nousi esille toisenlainen tapa toteuttaa simulaattorikoulutukset, joten tämä ehdotus jää tulevaisuuteen.

Kuukausi palaverit ja vahinkojen jälkeiset palaverit omalta osaltaan auttaisivat sitouttamaan työntekijää työhönsä. Turvallisuusjohtamisen näkökulmasta oppia pitäisi ottaa virheistä, kuinka vältetään sama virhe uudestaan. Tämä lisäisi taloudellista säästöä jatkossa, mutta myös parantaisi työturvallisuutta. Yaralla tulisi olla selkeät toimintamallit onnettomuuksien varalle, niin että se on selvää jokaiselle työntekijälle. Oma ehdotukseni olisi vuosittaiset toimintatestaukset, jossa operaattorin toimintakyky testataan poikkeusoloissa. Tässä saisivat operaattorit valmiuksia sille varalle, jos jotain sattuu.

Päiväseisakit tuovat mahdollisuuden koulutukselle, jossa voisi harjoitella poikkeustilanteita. Näitä varten pitäisi olla vuosittainen koulutus suunnitelma ja sen seuranta. Päiväseisakissa voidaan ajaa tehdasta käsin erikoistilanteita operaattoreille tehden, jolloin voidaan mallintaa esimerkiksi sähkökatkosta. Siilinjärven tehtailla on mahdollista tehdä pimeä harjoituksia, jotka toisivat kallisarvoista kokemusta, ja valmiutta poikkeustilanteita varten. Pimeä harjoitukset olisivat käytännössä päiväseisakkipäiville tehtyjä harjoituksia, jolloin olisi mahdollista sammuttaa valot pois tuotantohallista. Näin voisi demonstroida sähkökatkotilannetta.

Yaralla on käytössä Valmet-dna automaatiojärjestelmä, ja siinä on historiatiedot, eli trend data. Automaatiojärjestelmällä voi kelata operaattorien tekemiä valintoja kuten esimerkiksi kattilan ylösajossa. Tällä jo olemassa olevalla järjestelmällä saisi paljon hyvää koulutusmateriaalia, sekä operaattorien koulutuksia pidettyä. Valmetin -dna automaatiojärjestelmän trend-työkalulla voidaan palata prosesseissa, vaikka viisi vuotta taaksepäin. Koulutus suunnitelmat ylös- alasajo, ja erilaisiin häiriötilanteisiin olisi helppo toteuttaa Valmetin automaation trend-työkalulla, sekä päivittää tarvittaessa.

Kattilalaitoksille tulisi luoda koulutus suunnitelma, jossa jokaiselle päiväseisakille, ja kevät/ syksy huoltoseisakeille olisi koulusteema. Vuorotyöjohtajat voisivat luoda kyselyn, johon operaattorit vastaisivat, millaista koulutusta tarvitaan. Harjoitusten jälkeen olisi tärkeää käydä läpi harjoitus, missä onnistuttiin, ja missä on parannettavaa. Harjoitukset tulisi dokumentoida. Nykyajan tekniikalla onnistuisi kypärä kameran avulla videoida harjoitus. Näin saataisiin kerättyä arvokasta tietoa, sekä saatua tietoa voisi käyttää sisäisenä koulutusmateriaalina uusille työntekijöille.

TAULUKKO 6. (SWOT-analyysi kattilalaitoksesta)

Vahvuudet	Heikkoudet
Turvallisuus asenne	Viestintä
Tietotaito	Tiedon löytäminen vaikeaa
Määräaikaistarkastukset	Prosessin luonne
Koulutukset	Kattilan ikä
Ammattihenkilöt operaattoreina	Koulutukset
Varasto	
SAP	
Turva-automaatio	
Mahdollisuudet	Uhat
Tapaturmien minimointi	Viikkohuoltojen erilaisuus
Viikko palaverit	Suurkatastrofit
Varautumiset	Todennäköisyys
Toimintasuunnitelmat	Taloudellisuus
Turvallisuusanalyysi	Inhimilliset virheet
Turvakoulutukset	Eläköityminen
Varautumisharjoitukset	
Turvallisuusjohtaminen	

Opinnäytetyössä esille nousi SWOT analyysi, joka voisi sopia Yaralle osaksi turvallisuusanalyysin tekoa. Taulukon 6 mukainen SWOT analyysi voisi olla osa Yaran kattilaitoksen riskien hallintaa. SWOT-analyysissä näkyvät vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

SWOT-analyysi on nelikenttämenetelmä, jota käytetään strategian laatimisessa, Taulukon vasemman puoliskoon kuvataan myönteiset, ja oikeaan puoliskoon negatiiviset asiat. Taulukon alapuoliskoon kuvataan organisaation ulkoiset, ja yläpuoliskoon sisäiset asiat. SWOT-analyysin pohjalta voidaan tehdä päätelmiä, miten vahvuuksia voidaan käyttää hyväksi, miten heikkoudet muutetaan vahvuuksiksi, miten tulevaisuuden mahdollisuuksia hyödynnetään, ja miten uhat vältetään. SWOT-analyysin pohjalta saadaan toimintasuunnitelma siitä, mitä millekin asialle pitää tehdä. SWOT-mallia käyttää yleensä ideointiin ja jatkokehittelyyn. (Suomen riskienhallinta yhdistys 2021)

Selkeä vahvuus Yaralla on SWOT-analyysissä turvallisuuskulttuuri. Yaralta löytyy paljon osaavaa henkilökuntaa, ja koulutuksiin suhtaudutaan positiivisesti. SAP-toiminnanohjausjärjestelmä on käytössä, josta laitteiden vikaantumiset menevät kunnossapitohenkilöille. Varaosia Yaralla on hyvin saatavilla omasta varastosta. Turva-automaatio on Yaralla asianmukaista, ja siihen liittyy vankkaa osaamista.

Mahdollisuuksissa Yaralla on kattavat turvakoulutukset. Turvallisuusjohtaminen on hyvällä tasolla, ja siihen panostetaan. Siitä hyvänä esimerkkinä ovat turvavartit, ja viikoittaiset turvapalaverit. Pelastuslaki vaatii suuronnettomuusharjoituksia joka kolmas vuosi, mutta Yaralla harjoitellaan säännöllisesti joka vuosi. Yaralla turvallisuusanalyysijä päivitetään tarvittaessa ja käytössä ovat HAZOP ja HAZID menetelmät. Varautumiskoulutuksille tehtaalla on hyvät puitteet, on osaavia henkilöitä niitä toteuttamaan, kuten esimerkiksi poikkeustilaharjoituksia.

Heikkoudet liittyvät SWOT-analyysin mukaan viestintään, ja nimenomaan sisäiseen viestintään. Henkilökuntaa on paljon, ja kaikkien saavuttamisessa on haasteita. Oikean tiedon löytäminen voi olla haastavaa, koska tietoa on paljon, sitä on kirjotetussa muodossa, mutta myös eri tiedostoissa. Kattilakirjat esimerkiksi ovat vielä kirjamuodossa.

Kattilalaitoksen prosessi on normaalissa tilassa vakaa, mutta poikkeusoloissa tarvitaan ammattiosaamista. Kattilalaitos on suhteellisen vanha, ja ennakkohuollot/ huollot ovat tärkeässä asemassa. Niiden oikea aikainen toteuttaminen riittävässä laajuudessa on taloudellinen kysymys.

Kattilalaitokset viikoittaiset huollot ovat myös uhka, koska huoltoa harvemmin tekee sama ihminen. Eläköitymisen myötä arvosta tietoa kattilalaitoksesta ja prosesseista häviää. Vaarana tässä on tiedon henkilöityminen. Kun uhka on todennäköisyys niin, silloin on mahdollista, että jotain tulee tapahtumaan. Tätä hallitaan varautumisella kuten esimerkiksi koulutuksella, toimivalla automaatiolla. Taloudellisella tilanteella voidaan ymmärtää maailman tilannetta, kuten nyt Ukrainan sota, ja sitä myöden raaka-aineiden heikompi saatavuus. Varautuminen uhkiin on taloudellisesti kallista.

6 OMA POHDINTA

Opinnäytetyössä oli tarkoitus päivittää Yara Siilinjärven vaaran arviointi, ja riskien hallinta vastamaan 2022-luvun tarpeita. Työn teko oli itselle hyvin mielekästä, ja avasi mahdollisuuden syventää omaa oppimista. Oma kiinnostus on kattilatekniikassa, ja kattilaitoksen turvallisuusjohtamisen kehittämisessä. Tulevaisuudessa haluaisin olla kehittämissä operattoreiden koulutusta kattilaitoksilla poikkeusoloissa tai tekemässä kattilaitoksen riskien arviointia.

Työntilaaja sai tästä opinnäytetyöstä työkaluja turvallisuusjohtamiseen sekä kattilalaitoksen vaaran arvioinnin päivityksen rikkihappolaitokselle. HAZOP tarkastelussa kävi ilmi, että koulutukseen tulisi satsata tulevaisuudessa enemmän. Esille nousi HAZOP:ssa käytännönharjoitusten merkitys, koska niillä voidaan hallita poikkeusoloihin varautumista.

Opinnäytetyön teoria osuutta kasatessa oman haasteensa toi lakitekstit, niiden tulkinta. Jos voisi sano yhdellä lauseella, että olipahan melkoinen lakiviidakko. Onneksi apuna oli Yaran edustajat kuin myös omilta ohjaajilta sai apua ja tukea. Opinnäytetyön rajausta tehdessä pasutot 1,2,3 tulivat luonnostaan valituksi, koska itsellä on eniten kokemusta sieltä.

Mielestäni onnistuin työssäni tuomaan esille Yara Siilinjärven riskien hallinnan vahvuudet ja heikkoudet esille. Opin myös työtä tehdessä, että hyvä idea kuten esimerkiksi operaattoreiden simulaattorikoulutus on hyvin kallis investointi, mutta se voidaan toteuttaa yhtä tehokkaasti päiväseisäkin aikana tehtaalla käytännössä. Poikkeustilanteita ei juurikaan koskaan harjoitella liikaa. Nykyaikana on rajattomat mahdollisuudet tehdä koulutusmateriaalia, kuten esimerkiksi harjoitusten videointi kypärä kameralla, jolloin harjoitusta voi käyttää oppimistilanteena. Olisi tärkeää tehdä koko toimintavuotta koskeva koulutus suunnitelma sekä dokumentoida se. Jatkuva koulutus on osa kattilalaitoksen turvallisuusjohtamista.

Poikkeustilanteessa kuten esimerkiksi sähkökatkoksen aikana toiminta kattilaitoksella on hyvin erilaista kuin normaali tilanteessa. Poikkeustilanteet ovat aina yllättäviä, yhtäkkiä tuttu reitti kattilaitoksella onkin vieras. Sähkökatkon sattuessa tehtaalla on pimeää, kaasua vuotaa, stressitekijät nousevat pintaan. On hyvin tärkeää osata toimia oikein itsensä, ja muiden työntekijöiden kannalta. Näitä valmiuksia saa vain käytännön harjoituksilla. Koulutus on kiistatta paras tapa satsata turvallisuuteen. Itse näen merkittävänä uhkana tiedon henkilöitymisen. Jokaisen tehdasta operoivan tulisi omata lähes samat tiedot laitoksesta ja sen toiminnasta. Vaaratilanne voi sattua kenelle tahansa työvuorossa olevalle operaattorille, joten olisi tärkeää osata toimia ripeästi ja oikein.

Minusta pitäisi hyödyntää paremmin olemassa olevia järjestelmiä kuten Valmetin dna trend dataa. Sillä voisi opettaa uusia työntekijöitä esimerkiksi kattilan ylösajossa, tai kerrata yhdessä ylösajoon liittyviä seikkoja. Näistä tilanteista saisi kerättyä arvokasta koulutusmateriaalia.

Opinnäytetyö oli kyllä melkoinen urakka. Muutenkin koko kouluaika on ollut poikkeavaa, koronan takia. Lähes kaikki kurssit olen suorittanut etänä. Opinnäytetyöklinit olivat monessa asiassa pelastus. Opinnäytetyön ohjaukset suoritettiin etänä tai puhelimen välityksellä. Ohjaajille iso kiitos siitä, että kiireistä huolimatta aikaa aina järjestyi. Työn tilaajan kanssa nähtiin jokunen kerta tehtaalla, mutta muuten ohjaukset tapahtuivat etänä. Seuraava opinnäytetyö menee jo vähemmällä stressillä.

LÄHTEET

- Direktiivi 2006/42/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 157 17.5.2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&>. Luettu 19.10.2021
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 1025/2012 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX%3A32012R1025>. Luettu 8.1.2022
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30 EMC direktiiviä2014/30/EU <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32014L0030>. Luettu 8.1.2022
- Hallituksen esitys HE 117/2016 vp. 7.7.2016. Eduskunta: Vaski / Hallituksen esitys / HE 117/2016 vp / Hallituksen esitys eduskunnalle painelaitelaiksi. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_117+2016.asp. Luettu 15.10.2021
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. painos. Helsinki: Oy Edit
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2018. Voimalaitostekniikka. 4. painos. Tampere: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino
- Hynynen Timo, 2022. Tuotantoinsinööri. Puhelin haastattelu 4.4.2022
- Kattilalaitoksen vaaran arviointi ja hallinta, Kemphos oy Siilinjärvi, kattilalaitoksen turvallisuusselvitys,1
- Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka. Tampere: Tammertekniikka.
- Kauppinen, Kurikkala, Uusitalo, 2015, Yara, Siilinjärvi suuronnettomuuksien ja riskien tunnistamismalli
- Kehmet 2022. Tietoturvan riskianalyysi verkkojulkaisu <https://kehmet.hel.fi/menetelmalaari/riskianalyysi/>. Luettu 25.3.2022
- Kotkansalo, A., Parkkila, L. & Tarvainen, J. 2017. Riskianalyysimenetelmien tarkastelu – Kirjallisuusselvitys. <https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=14f882d8-7843-42f6-bff1-48b9507169c6>. Luettu 22.3.2022
- Kurikkala, 2014, HAZOP-taulukot
- Kurikkala, 2022, haastattelut ja Teams-palaverit.
- Lahtinen Onni, Insinööriyö MEMBRANESEINÄN OHITUSPIIRUSTUSTEN OHJEISTUS, 6. Luettu 19.10.2021
- Painelaitelaki 1144/2016. Oikeusministeriö 19.12.2016 <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161144>. Luettu 8.1.2022.
- Painelaitelaki 2016. Valtionneuvosto 1549/2016 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161548,1>. Luettu 13.3.2022
- Pasuton kattilalaitoksen vaaran arviointi, Kemphos Oy Siilinjärvi, pasuton kattilalaitoksen vaaran arviointi 2002,1–3

- Qreform 2022. Riskienhallinta, verkkojulkaisu. www.qreform.com. Luettu 13.3.2022
- Sarsama, J., Nissilä, M. & Lehtinen, P. 2000. Opas kattilalaitosten vaaran arvioinnin laatimiseksi. Luettu 8.1.2022
- Savonia amk, luentomateriaali, ppt esitys, Teija Honkanen, Kunnossapidon kurssi 2020
- Sonninen Ville, 2022. Prosessihoitaja. Teams-palaverit ja Haastattelu 2022.
- Suomen riskienhallintayhdistys 2022. Verkkojulkaisu NELIKENTTÄANALYYSI - SWOT <https://pk-rh.fi/tools/swot.html>. Luettu 24.3.2022
- Suomen standardisoimisyhdistys 2013. Verkkojulkaisu <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID5/7/235187.html.stx>. Luettu 9.1.2022
- Suomen standardisoimisyhdistys, CEN/TR 764-6:fi. 29.10.2012. Tekninen raportti: Painelaitteet. Luettu 13.3.2022.
- Sähköturvallisuuslaki 2016. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>. Luettu 8.1.2022
- Taskinen Jukka, 2022. Turvallisuuspäällikkö. Puhelin haastattelu 28.3.2022.
- TEIR, Sebastian 2003. Steam boiler technology. Helsinki: Picaset Oy. Luettu 4.4.2022
- Tukes 2020. Verkkojulkaisu. Painelaitteet. 8.1.2022. /b. <https://tukes.fi/tuotteet-japalvelut/painelaitteet#3ef665bb>. Luettu 9.1.2022
- Tukes 2020. Verkkojulkaisu. Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. 9.1.2022. /a. Luettu 8.1.2022
- Tukes 2022. Verkkojulkaisu <https://tukes.fi/documents/5470659/6410007/Opas+kattilalaitoksen+vaaran+arvioinnin+laatimiseksi,6-15>. Luettu 19.1.2022
- Tukes 2022. Verkkojulkaisu <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>. Luettu 19.1.2022
- Turunen Mikko 2019. Yksikköprosessien hallinta, Sakky, luentomateriaali
- Turunen Mikko, Insinööri Typpihappotehdas, 2004,8. Luettu 1.3.2022
- Tutkimusraportti, Riskianalyysimenetelmien tarkastelu, Arja Kotkansalo, Leena Parkkila, Jaana Tarvainen, 2017, 74. Luettu 4.4.2022
- Työsuojeluliitto 2021. Verkkojulkaisu <https://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/vaarojen-arviointi/riskien-hallinta>. Luettu 24.3.2022
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738 10. §. Luettu 8.1.2022
- Yara 2022. Verkkojulkaisu. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/siilinjarvi/tuotantolaitos>. Luettu 22.3.2022
- Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>. Luettu 23.3.2022

LIITE 1

TAULUKKO 6. HAZOP (Jari Kurikkala, 2014)

Uuni	Syy	Seuraus	Toimenpide
Pasuteilma; ei virtausta	Puhaltimen akseli poikki/moottori tai puhallin rikki. Pasutusilmaventtiili kiinni. Johtosiivet kiinni Putkirikko Imuritulä tukossa Leijupeti alhaalla Uunin pohjakartio täynnä	Poltto loppuu, peti putoaa O ₂ -hälytykset Vastapaine hälytykset Lieriön pinta heilahtaa Virtausmittari näyttämä Koko linjastossa hälytyksiä Uunin paine heijaa	Yaralla on sähkövirran mittausta Venttiililtä tulee rajatieto Yllärajahälytykset vastapaineesta= Automaatio Uunin pohjakartio kopistellaan peti lattialle. Mekaaninen, koulutus
Kattilaredlerin ilmaventtiili kiinni	Ei redlerin välipohjan jäädytystä -> korroosiota ja pöly kuumempaa rumpuun	-> hihnojen palaminen	'Järjestelmäohjattu säätöventtiili redlerien jäädytysilmaan PAS1 ja PAS2 Automaatio
Arinan romahtaminen		Kartion vaurioituminen, kuuma kiisu hallitilaan, tulipalovaara	Uunikuviin virtamittaus näkyviin Automaatio
Pyriitti/ilmasuhde korkea	'Epätäydellinen palaminen,	lämpötilat alhaiset -> pedin sintraantuminen	Kahdennettu mittaus, alarajahälytykset Automaatio
Liikkuvien kuljettimien tarkastaminen/huoltaminen kamien poistokäynnin aikana	Huoltotoimet	Tapaturmavaara	Mekaaninen, koulutus
Ajetaan kiisua ylimäärin uuniin	Rikkipitoisuuden vaihtelu	Pedin jäähtyminen, sintraantuminen, tulipesän paineen nousu	Kiisunsyötön lukitusten suunnittelu. Kiisun syötölle asetusarvorajoitus Tasalaatuinen pyriitti Automaatio
Öljyn virtausmittaus näyttää liian pientä lukemaa Liian suuri suutin Polttoilman säätö ei toimi	Öljyn poltto ali-ilmalla Öljy/ilmasuhde liian korkea -> Öljyn poltto ali-ilmalla -> pelkistävä liekki	Öljyn polton säädöt ja hälytykset öljyn poltosta ali-ilmalla	Polttoilmamäärän mittaus, säätöpiiri sekä yliilmakertoimella ajo. Automaatio
Pedinkäännön aikana savukaasupuhaltimen pysähtyminen	Pasutusilmapuhaltimen pysähtyminen uunin paineesta	Kuumaa kaasua ulos uunista (pedin kääntöä valvotaan paikan päällä)	Mekaaninen, koulutus
Öljyn syöttö jää päälle polttimen sammutuksen yhteydessä, Kipinä öljyn purun aikana	Vikaantuminen	Öljyä uuniin -> tulipesäräjähdykset Öljypalo (maadoituskaapeli vaurioitunut)	Automaatio Mekaaninen, koulutus
Pääkaasupuhallin seis	Puhaltimen rikkoontuminen	Poltto pysähtyy uunin painemittauksista	Automaatio Mekaaninen, koulutus, Huolto
Savukaasupuhallin seis seisakkipäivänä	Pelti kiinni Sokea linjassa Puhallin häiriö Linja tukossa	SO ₂ -kaasua hallitilaan Paine nousee (ei saada alipainetta)	Automaatio ylipainelukitus, pasutusilma seis, öljysyöttö seis Mekaaninen, koulutus, Huolto, Kannettava monikaasumittari

Kaasulinjassa tukkeumaa	Kameja	Paine uunissa kasvaa (mahdollinen lukitus) -> polton pysähtyminen -> kaminpoisto	Automaatio Mekaaninen, koulutus
Välikaasupuhaltimen gijotiiniventtiili menee kiinni Välikaasupuhallin pysähtyy	Vikaantuminen	Virtaus pienenee, paine kasvaa, SO2 käryä halliin	Automaatio Mekaaninen, koulutus, Huolto, Kannettava monikaasumittari
Höyryvuoto kattilan sisällä	Rikkoontuminen	Virtaus pienenee, paine kasvaa, pöly kostuu, paikallisia kohtia, joissa lämpötila alle kastepisteen	Automaatio
Jäähdytys ei toimi (syötövesi ei kierrä) Höyry/vesivuoto kattilassa	Kattila/KSS/RHT laitteiden rikkoutuminen	Lukitus pysäyttää pasutusilmapuhaltimen lieriön alarajan johdosta> alarajo	Turva-automaatio
Liian pieni ilma/pyriitti suhde	Pyriitti ei pala kunnolla	Uunin sintraantuminen. Rikkiä pasutteessa.	Automaatio, koulutus
Käynnistyshetkellä savukaasupuhallin jäänyt päälle	Vikaantuminen, inhimillisuus	SO2 kaasua ja pölyä savukaasulinjaa pitkin ulos	Automaatio, koulutus
Sykloonaan unohtunut telineet huoltojen jälkeen	Inhimillinen erehdys	Kaasulinja tukkeutuu	Työlupakäytäntö, koulutus
Elementtivuoto uunissa	Rikkoontuminen	Räjähdyks uunissa, kuumaa kaasua ulos uunista kattilalta, sähkösuodattimesta. Tulipalo. Tulipesän paine nousee, henkilövaara. Linja pysähtyy, vesi loppuu	Räjähdyksluukut, Turva-automaatio, materiaalien kehittäminen, Huollot.
Savukaasupuhallin käynnistyy ja imupuolen venttiili ja läppä auki pasutolle pyriittipolton ollessa päällä		Korkea SO2 ja pölypäästö katolta -> kaasuvaarahälytys	Automaatio Savukaasupuhaltimen käynnistysehdot (huomioitava myös uunin lämmitys)
Pasutetta ylimäärin rumpulinjalle	(jumi auennut, redleri ollut pois käytöstä)	Pasutteen jäähdytys rumpulilla ei riitä -> pölyä ympäristöön	Automaatio
Kaksoisläpät eivät pidä -> kylmää ilmaa kuljetinta pitkin kaasulinjaan		Vuotoilmaa, käyttämättä olevan rumpulinjan kunnon heikentyminen (hapon muodostuminen kastepisteen laskiessa)	
Vararumpulinjan käynnistyksessä kostutuksen säätäminen ei onnistu		Pasutteen jäähdytys rumpulilla ei riitä -> pölyä ympäristöön	Rumpulinjan vaihdon suunnittelu/automaatio
Kostutuslietettä ei laitettu päälle rumpulinjan käyttönotossa		Pasutteen jäähdytys rumpulilla ei riitä -> pölyä ympäristöön	
Vararumpulinja huollossa ja käytössä oleva linja rikkoontuu		Kaikkien pasuttojen alarajo (vaihtoehtoisesti yhden jättäminen päälle ja pölyn kerryttäminen linjastoon)	

Pasute jumien aukaisu kattilasta tai kaksoisläppien alta		Kuuma pasute fluidaa ulos kuljettimilta, tulipalo	Pasute jumien turvalliset aukaisumenetelmiin SJA
Kiertovesipumput seis		Kattilaputkivaurio, putken rikkoontuminen -	Automaatio
Turbopumppu ei käynnisty, kun sähköpumppu pysähtyy	Turbot rikki	Kattilan kuivuminen ja putkien rikkoontuminen, vesivuoto kattilaan, höyryräjähdys	Koekäynnistykset< huolto
Lieriö tyhjä	Kattilaputkivaurio, uunin elementtiputkien vaurioituminen	Kattilaputkivaurio, uunin elementtiputkien vaurioituminen	Automaatio, Koulutus
Kiertovesilinjassa vuoto (pumpun painepuolen laippa, venttiilin kansi, putkivaurio)		Kylläisen veden vuoto ympäristöön. Tapaturmavaara. Pasuton alasajo kiertovesimäärästä.	Turva-automaatio
Turbon testauksessa takaisku ei sulkeudu	Laakerien hajoaminen, kun voitelu ei toimi turbon pyöriessä väärinpäin.	Turbo takaisin käyntiin, jos takaisku ei mene kiinni	Koulutus, ennakkohuolto
Kiertovesimäärän nousu - > kiertovesilinjassa vuoto virtausmittauksen jälkeen	Kylläisen höyryn vuoto ympäristöön.	Tapaturmavaara. Pasuton alasajo viimeistään lieriön pinnasta. Massiivinen kattilaputkivaurio uunin sisällä.	Uunin elementin rikkoontumisen havaitseminen/varautuminen. Automaatio, koulutus
Ei höyryä pasuton päähöyrylinjasta turbiinipumppulle	Rikkoontuminen	Sähkökatkossa ei kiertovettä mahdollista kierrättää kattilassa	Turva-automaatio, koulutus
Sähkö/raakavesi katkossa ei vettä kiertovesipumppujen jäädytykseen palovesilinjastakaan	Rikkoontuminen	Pumpun hajoaminen	Automaatio, koulutus
Koeponnistuksessa lieriö aina täynnä		Veden ajo voimalaitokselle höyrylinjaa pitkin	Automaatio
Kattilaputken eroosio kattilapaketissa	Rikkoontuminen	Kattilaputkivaurio -> vesivuoto kattilaan	Ennakkohuollot, Automaatio
Kattilakolliutukset eivät toimi	-> pöly kertyy kattilaan -> kattilaputken eroosio	Kattilaputkivaurio -> vesivuoto kattilaan	Ennakkohuolto
Kattilasuoja ohitettu valvomon avainpainikkeella	Lieriön pintojen ja kiertoveden lukitukset ohitettu - > turvatoiminnot eivät toimi	Ohituspainikkeiden toiminnantarkastelu ja muutokset. Lukitustenohituskäyttöä selvennetty. TLJ järjestelmän tarkastelu tehty.	Koulutus
Kattilaputken katastrofaalinen hajoaminen uunin pedin sisällä.	Rikkoontuminen, materiaalien käyttöikä tullu vastaan	Veden höyrystyminen -> vetyräjähdys -> kuumaa SO2 kaasu ja höyryä hallitilaan, tulipalo, laitteistovauriot rikkihappotehaalla	Turva-automaatio, ennakkohuollot, koulutus
Varoventtiilin laukeaminen työskenneltäessä kattolla		Säikähdys, horjahtaminen. Höyryä/vettä päälle	Koulutus, työlupa

Varoventtiilin laukeaminen työskenneltäessä lieriön päällä			
Lieriön 60 % varon laukeaminen.	Häiriötila	Tulistetun höyryn lämpötila nousee. Höyry ei virtaa lieriöön (yhteensä varokapasiteettia 180 %)	Automaatio
Lieriöiden varojen laukeaminen yhtä aikaa. 120 %.	Häiriötila	Tulistetun höyryn lämpötila nousee. Höyry virtaa lieriöön -> tulistimien ja lieriön vaurioituminen (yhteensä varokapasiteettia 180 %).	Automaatio
Lieriön 100 % varon laukeaminen.	Tulistetun höyryn lämpötila nousee.	Höyry virtaa lieriöön -> tulistimien ja lieriön vaurioituminen (yhteensä varokapasiteettia 260 %).	Automaatio
Lieriön kahden 100 % varon laukeaminen yhtä aikaa.	Tulistetun höyryn lämpötila nousee	. Höyry virtaa lieriöön -> tulistimien ja lieriön vaurioituminen yhteensä varokapasiteettia 260 %)	Automaatio
Höyryn lämpötila näyttää väärin	Kattilaputkien vaurioituminen	Höyryn lämpötilamittauksen vikaantumissuunta	Automaatio
Venttiilien poksivuotojen korjaaminen paineellisena (poxsin kiristys)	Rikkoontuminen	Venttiilin hajoaminen -> tapaturmavaara	Automaatio
Höyryvuotojen injektointi furmanointimenetelmällä	Rikkoontuminen	Höyryventtiilin hajoaminen -> tapaturmavaara	Automaatio
Tulistimen vuoto kattilan sisällä (erosio pasutteen virratessa paketin ohi)	Höyryn vuoto kattilaan ->	pasuton alasajo ja kylmä seisakki	Automaatio