

Ari-Kalle Väänänen

**VOIMAKATTILA K3:N KORJAUS- JA TARKASTUSHISTORIA-  
SELVITYS**

# **VOIMAKATTILA K3:N KORJAUS- JA TARKASTUSHISTORIA- SELVITYS**

Ari-Kalle Väänänen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Ari-Kalle Väänänen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Voimakattila K3:n korjaus- ja tarkastushistoriaselvitys

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Study of Power Boiler K3 Maintenance and Inspection History

Työn ohjaaja(t): Ville Vartiainen, Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 58 + 2 liitettä

---

Teollisuudessa kunnossapito on merkittävä osa laitosten toimintavarmuutta. Kunnossapitotoimien dokumentointi on tärkeää, jotta tiedetään mitä toimenpiteitä on tehty ja milloin. Painelaitteiden osalta dokumentointia vaaditaan myös tarkastuksista, joita laitteelle on tehtävä määrätyin väliajoin sekä silloin, kun laitteen rakennetta on muutettu. Työn tarkoituksena on selvittää Stora Enso Oulu Oy:n leijupetikattila K3:n korjaus- ja tarkastushistoria sekä luoda niiden pohjalta MS Excel -työkalu kattilan elinkaaren hallinnan avuksi.

Työ toteutettiin tarkastelemalla K3:n painelaitteasiakirjoja, etsimällä tietoja tehdyistä korjauksista ja tarkastuksista tehtaan painelaite- ja muista arkistoista sekä kyselemällä kokeneelta käyttöhenkilökunnalta heidän tietojaan. Korjauskertomukset ja tarkastusraportit taulukoitiin Excel-työkirjaan, johon liitettiin myös havainnollistavia ja töiden kannalta oleellisia piirustuksia, pöytäkirjoja ja valokuvia. Työkirjaan koottiin myös muita hyödyllisiä tietoja kattilamateriaaleista ja -mitoista. Työkirjasta tehtiin yksinkertainen ja helppokäyttöinen ajatellen tiedon hakua ja lisäystä.

Lopputuloksena luotu Excel-työkalu toimii kattilan käyttäjien ja käytönvalvojen apuvälineenä kattilan kunnossapitotapahtumien tarkastelussa ja kirjaamisessa. Painelaitteen viranomaistarkastusten taulukoinnin avulla löytyvät tarvittaessa pöytäkirjat määräaikais- ja muutostarkastuksista. Selvitettyjen putkimateriaalien ja nimellismittojen avulla on nopeaa tarkastaa halutun komponentin ominaisuudet esimerkiksi kunnossapitotapahtumien yhteydessä.

---

Asiasanat: höyrykattila, kunnossapito, elinkaari, painelaite

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 HÖYRYKATTILA	7
2.1 Suurvesitilakattilat	7
2.2 Vesiputkikattilat	8
2.2.1 Luonnonkiertokattilat	11
2.2.2 Pakkokiertokattilat	12
2.2.3 Läpivirtauskattilat	13
2.3 Leijukerrosoltto	14
3 VOIMALAITOS	19
4 PAINELAITELAINSÄÄDÄNTÖ	23
4.1 Painelaitteen rekisteröintitarve	24
4.2 Tarkastukset	25
4.3 Tarkastuslaitokset	26
5 KUNNOSSAPITO	27
5.1 Kunnossapitolajit	27
5.2 NDT-tarkastukset	30
5.2.1 Visuaalinen tarkastus	30
5.2.2 Magneettijauhetarkastus	31
5.2.3 Tunkeumanestetarkastus	31
5.2.4 Ultraäänitarkastus	31
5.2.5 Radiografinen tarkastus	32
6 VOIMALAITOSKATTILAN TYYPILLINEN VIKAANTUMINEN	33
6.1 Eroosio	34
6.2 Korroosio	35
6.3 Viruminen	38
6.4 Passivointi	39
6.5 Vesikemian merkitys	41
7 KATTILA K3	43
7.1 K3:n toimintakuvaus	44

7.2 Kunnossapito ja tarkastukset	46
7.3 K3:n elinkaari	48
8 DOKUMENTOINTITYÖKALU KATTILA K3:LLE	50
9 YHTEENVETO	55
LÄHTEET	56
LIITTEET	
Liite 1 Kattilan K3 sivukuva	
Liite 2 Oulun tehtaan höyrykaavio	

# 1 JOHDANTO

Prosessilaitteiden kunnossapito on olennainen osa luotettavaa ja toimivaa laitosprosessia. Tuotantolaitoksissa tavoite on päästä koko ajan tehokkaampaan tuotantoon ja laitteiden korkeampaan käyttöasteeseen, mikä tuo haasteita kunnossapidollisille toimille niin käytännön kuin aikataulullisten seikkojen suhteen. Kunnossapito- ja kunnontarkastustoimien dokumentointi on tärkeää, jotta voidaan varmistua laitteiden turvallisesta käytöstä, pysyä selvillä niiden tilasta ja tehdä tarvittavia hankintoja ja huoltoja ennakoivasti. Painelaitteiden rikkoutuessa on suuri riski vakaville materiaali- ja jopa henkilövahingoille. Lisäksi suunnittelemattomat seisokit laitteiden toimintahäiriöiden ja vikaantumisten johdosta tuovat usein huomattavia kustannuksia omistajalleen.

Painelaitteiden kanssa toimittaessa on erityisen tärkeää ja lisäksi myös lain edellyttämää, että laitteille tehdään kunnontarkastuksia säännöllisesti ja tarkastuksista laaditut asiakirjat säilytetään. Selkeän ja kronologisen dokumentoinnin avulla painelaitteelle tehdyistä tarkastuksista ja huolloista sekä tulevaisuudessa tarvittavista toimista pysytään ajan tasalla, mikä lisää laitteen toimintavarmuutta sekä käyttö- ja muun henkilöstön työturvallisuutta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Stora Enso Oulu Oy:n voimalaitoksen leijupetikattila K3:n korjaus- ja tarkastushistoriaa ja luoda MS Excel -pohjainen työkalu kattilan kunnossapidon seurannan ja sähköisen dokumentoinnin pohjaksi. Työn perustan muodostivat dokumentit kunnossapitotoimista sekä NDT- ja viranomaistarkastuksista, joita kattilalle ja siihen olennaisesti liittyville painelaitteille on niiden käyttöaikana tehty.

## 2 HÖYRYKATTILA

Höyrykattilan tarkoituksena on muuttaa kattilaputkiin pumpattu vesi höyryksi. Höyryn käyttökohteita voivat olla esimerkiksi sähkön tuotanto höyryturbiinilla, kaukolämmön tuotanto lämmönsiirtimien välityksellä tai prosessihöyryn tuottaminen teollisuuden tarpeeseen. Kattilaan syötetty vesi kuumentuu painettaan vastaavaan höyrystymislämpötilaan ja höyrystyy kylläiseksi höyryksi. Usein kylläistä höyryä lämmitetään edelleen, jolloin siitä muodostuu tulistettua höyryä.

Veden höyrystämiseksi tarvitaan lämpöenergiaa. Polttamalla kattilan tulipesässä polttoainetta saadaan polttoaineen sisältämä kemiallinen energia muutettua lämpöenergiaksi. Yleisiä höyrykattiloiden polttoaineita ovat turve, puupolttoaineet kuten hake ja kuori, kivihiili, öljy ja maakaasu. Sellunkeiton sivuvirtana syntyvää mustalipeää käytetään soodakattiloiden polttoaineena.

Polttoaineen palaminen vaatii palamisilmaa, jota syötetään tulipesään polttoilmapuhaltimilla. Kattilan syöttövesi pumpataan syöttövesipumpuilla, jotka tuottavat syöttövedelle ja sitä kautta myös kattilasta ulos saatavalle tuorehöyrylle halutun paineen. Tarvittava höyrynpaine riippuu höyryn käyttökohteesta.

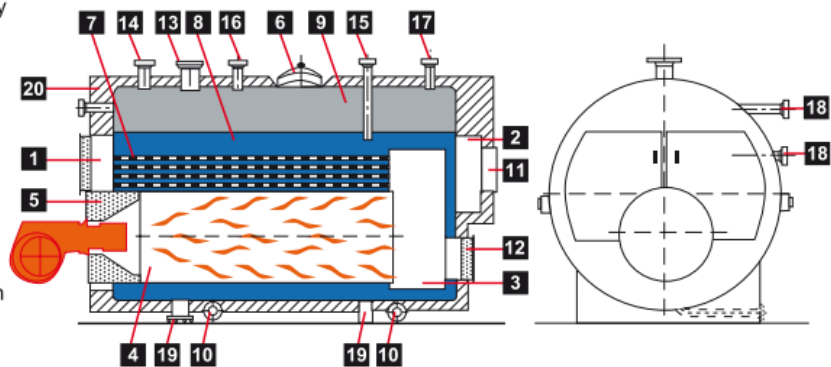
Höyrykattilat voidaan luokitella usealla tavalla. Usein kattilat luokitellaan vesi-höyrypiirin rakenteen mukaan suurvesitilakattiloihin ja vesiputkikattiloihin. Kattiloita voidaan luokitella myös polttoaineen ja -tekniikan sekä tulipesärakenteen perusteella.

### 2.1 Suurvesitilakattilat

Suurvesitilakattilalla tarkoitetaan tulitorvi-tuliputkikattilaa, jonka polttoaineena käytetään yleensä öljyä tai kaasua. Kattilan alaosassa on tulitorvi, jossa polttoaine palaa. Tulitorven jälkeen on kääntökammio, jossa savukaasut ohjautuvat tuliputkiin. Kolmivetoisessa kattilassa on toinenkin kääntökammio, jossa savukaasujen suunta jälleen kääntyy ja ne virtaavat seuraavia tuliputkia pitkin kattilan perään, josta savupiippuun. Tulitorvea ja -putkia ympäröi kattilan vesitila, jossa vesi höyrystyy putkien seinämien läpi johtuvan lämmön ansiosta. Höyry johdetaan tämän jälkeen käyttöön. Tulitorvi-tuliputkikattilan rakenne on esitetty kuvassa 1.

Suurvesitilakattiloita ei yleensä käytetä, mikäli tarvitaan yli 20 bar höyrynpainetta. Tämä johtuu siitä, että paineen kasvaessa tulisi kattilan rakenteiden paksuutta myös kasvattaa, minkä vuoksi kustannukset nousisivat. Suurvesitilakattiloita käytetään lähinnä teollisuudessa matalapaineisen prosessihöyryn tuotantoon, höyryn tarpeen ollessa kuitenkin niin vähäinen, ettei sähköntuotanto sen avulla kannata. Suuria paineita varten tulee siis edullisemmaksi rakentaa vesiputkikattila. (1, s. 111–112.)

- 1 Front reversal chamber
- 2 Flue gas chamber
- 3 Combustion chamber
- 4 Furnace
- 5 Burner plate with refractory
- 6 Manhole
- 7 Smoke tubes
- 8 Water space
- 9 Steam space
- 10 Drainage and blow down
- 11 Flue gas duct connection
- 12 Explosion hatch
- 13 Main steam connection
- 14 Level control connection
- 15 Feed water connections
- 16 Auxiliary steam connection
- 17 Safety relief valve connections
- 18 Water level indicator
- 19 Support
- 20 Insulation



KUVA 1. Tulitorvi-tuliputkikattilan rakenne (2)

## 2.2 Vesiputkikattilat

Vesiputkikattiloita käytetään, kun tarvitaan korkeampaa höyrynpainetta. Käyttöpaine vesiputkikattiloilla on yleensä noin 85–220 bar, minkä vuoksi voimalaitoskattilat ovat vesiputkikattiloita. Vesiputkikattilat voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan luonnonkiertokattiloihin, pakkokiertokattiloihin sekä läpivirtauskattiloihin. (3.) Tyypillinen vesiputkikattilan vesi-höyrypiirin rakenne käsittää syöttöveden esilämmittimen (ekonomaiser eli eko), lieriön (lieriökattiloissa), höyrystimen sekä tulistimet.

Ekonomaiser sijaitsee kattilan savukanavassa, jossa kuumat savukaasut lämmittävät ekonomaiserin putkipatteristossa kulkevaa syöttövettä. Eko voi olla joko



höyryttämätön tai höyryttävä. Höyryttämättömissä ekoissa veden loppulämpötila on noin 20 °C kiehumispistettä matalampi, höyryttävissä ekoissa taas vesi saavuttaa kiehumispisteen ja osa vedestä höyryttyy. (1, s. 194–195.)

Ekonomaisesta vesi tai vesi-höyryseos johdetaan lieriöön. Lieriö on kattilan tärkeimpiä komponentteja, ja sen tehtävä on erottaa vesi- ja höyryfaasit toisistaan. Lieriön pohjalla on kylläinen vesi, joka lähtee laskuputkia pitkin kohti höyryttinputkia. Lieriön yläosasta kylläinen höyry johdetaan tulistimille. Lieriössä veden ja höyryn erottuminen perustuu neste- ja höyryfaasien tiheyseroon ja sitä voidaan tehostaa rakentamalla lieriöön erilaisia erotusrakenteita, kuten ohjauslevyjä, syk-loneja ja pisaranerotimia. (1, s. 117–118.)

Höyryttimellä tarkoitetaan kattilan tulipesää ympäröivää keittoputkistoa. Lieriöstä laskuputkia pitkin tuleva vesi jakaantuu jakokammioiden välityksellä keittoputkiin, joissa se tulipesän säteilylämmön seurauksen höyryttyy osittain ja palaa takaisin lieriöön. Höyryttinputkistossa virtaavan vesivirran suhdetta höyryttävään vesivirtaan kuvataan kiertoluvulla, joka luonnonkiertokattiloilla on kattilan painetason mukaan 5–100 ja pakkokiertokattiloilla 3–8. Putkissa virtaavan veden jäädyttävä vaikutus putkiin on tehokas, eikä höyryttinputkien pintalämpötila nousekaan pal-joa yli veden höyryttymislämpötilan. Tämän vuoksi keittoputkien materiaalit eivät joudu niin kovaan lämpörasitukseen kuin tulistimien, ja materiaaliksi voikin sovel-tua tavallinen hiiliteräs. Soodakattilassa tosin tulipesän olosuhteet ovat varsin eri-laiset kemikaalien vuoksi, joten niiden keittoputkien alaosat tehdään esimerkiksi compound-putkesta. (1, s. 115, 118, 186–188.)

Tulistimissa kylläisen höyryn lämpötilaa nostetaan entisestään, jolloin höyry tulis-tuu. Tulistimet sijaitsevan heti savukaasukanavan alkuosassa, jossa savukaasun lämpötila on korkea. Tulistuksen ansiosta savukaasun lämpöenergiaa saadaan hyödynnettyä tuorehöyryn lämpötilan nostoon, mikä parantaa kattilan hyötysuh-detta. Tulistintyyppejä ovat niiden sijainnista savukanavassa ja toimintaperiaat-teesta riippuen säteilytulistin, verhotulistin, konvektiotulistin ja yhdistelmätulistin. Säteilytulistin nimensä mukaisesti ottaa vastaan lähinnä liekkien lämpösäteilyä ja sijaitsee tulipesän yläosassa. Verhotulistin toimii myös säteilytulistimena, mutta sen tehtävä savukaasukanavan alussa on myös ottaa vastaan savukaasussa

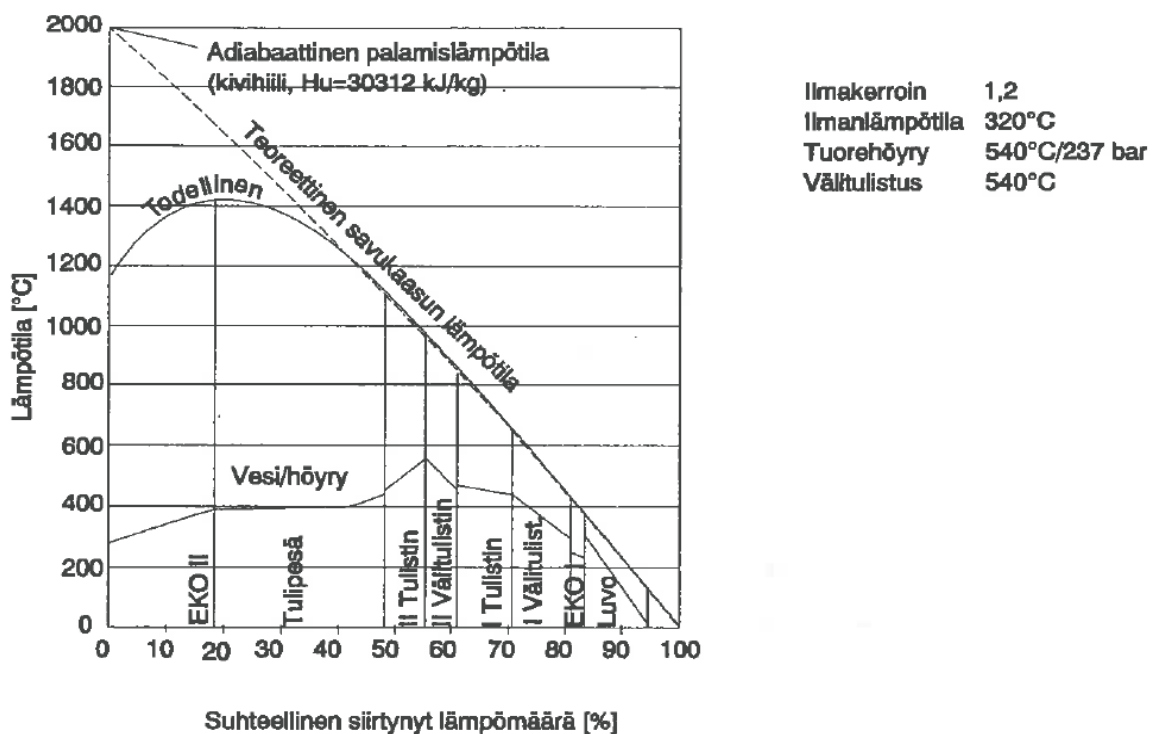
olevia epäpuhtauksia ja suojata näin takanaan olevia konvektiotulistikkeita liialliselta likaantumiselta ja myös säteilylämmöltä. Konvektiotulistin ottaa savukaasun lämpöenergiaa vastaan vain olemalla kosketuksessa kuuman savukaasuvirtauksen kanssa savukaasukanavassa. Yhdistelmätulistikella tarkoitetaan tulistiketta, joka on yhdistetty säteily- ja konvektiotulistikkeeseen. (1, s. 188–190.)

Tuorehöyryn lämpötilan tulisi pysyä mahdollisimman stabiilina. Tavanomaisin keino höyryn lämpötilan säätöön tulistusvaiheiden välillä on vesiruiskutus, jossa ruiskutusvetenä käytetään yleensä kattilan syöttövettä. Toinen vaihtoehto ruiskutusvedeksi on Doletzal-lämmönvaihtimella lieriön kylläisestä höyrystä lauhdutettu vesi. Tämän menetelmän etu on, ettei veden mukana ruiskuteta tulistikkeisiin niitä epäpuhtauksia, joita kattilan syöttövedessä voi vielä olla. Ylärajan tuorehöyryn lämpötilalle asettavat materiaalitekniset seikat, joiden johdosta maksimi tuorehöyryn lämpötila tulistikkeiden jälkeen on noin 550 °C. Suurissa laitoksissa höyryä kannattaa myös välitulistaa, mikä tarkoittaa sitä, että korkeapaineturbiinissa paisunutta höyryä johdetaan uudestaan kattilaan välitulistikkeille, jossa sen lämpötila nousee. Tämän jälkeen höyry johdetaan välipaineturbiiniin. (1, s. 188–189, 274–275.)

Palaminen tarvitsee riittävän määrän ilmaa. Ilma tuodaan kattilaan palamisilmapuhaltimilla, ja yleensä palamisilmalle on useita eri tasoja; primääri- sekundääri- ja tertiääritasot, joskus myös kvartiääritaso, joiden ilmamäärät säädetään kattilan kuorman ja palamisolosuhteiden mukaan. Palamisilma kannattaa esilämmittää ennen tulipesään viemistä, sillä se stabiloi palamisolosuhteita, etenkin jos polttoaine on kostea tai koostumukseltaan heterogeenista. Palamisilman esilämmittintä kutsutaan luvoksi (luftvorwärmer). Savukaasuluvo sijaitsee savukaasukanavassa viimeisenä lämmönsiirtimenä, jonka jälkeen savukaasun loppulämpötila on tyypillisesti polttoaineesta riippuen noin 100–160 °C. Savukaasun loppulämpötilaa ei kannata laskea liian alas, koska vaarana on happokastepisteen saavuttaminen. Se tarkoittaa, että savukaasuun sitoutunut rikki tiivistyy muodostaen rikkihappoa, joka syövyttää lämmönsiirrin- ja savukaasukanavan rakenteita. Mikäli savukaasun loppulämpötila haluttaisiin viedä happokastepisteen alapuolelle, vaatisi se kalliita investointeja mm. rikkihappoa kestäviin materiaaleihin. Jotta ta-

vallisilla materiaaleilla pysytään happokastepisteen yläpuolella, voidaan palamisilman esilämmitykseen ennen savukaasuluvoa käyttää höyryluvoa. Höyryluvolla esilämmitetään palamisilmaa matala- tai välipainehöyryn avulla, jolloin savukaasuluvon lämmitystarve vähenee eikä savukaasun loppulämpötila painu liian matalaksi. (1, s. 196–197, 201.)

Kuvassa 2 on havainnollistettu kattilassa vallitsevia savukaasun, palamisilman sekä vesi-höyrypiirin lämpötilatasoja käyttäen esimerkkinä suurta läpivirtaustyyppistä hiilipölykattilaa.



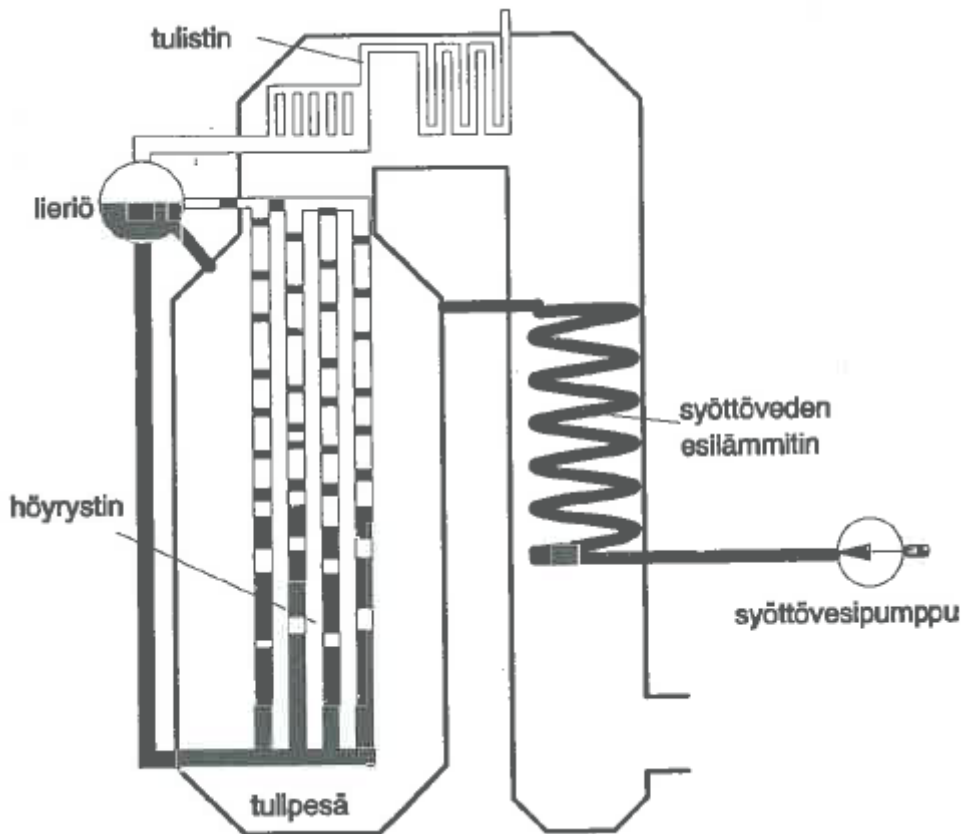
KUVA 2. Esimerkki suuren hiilipölykattilan lämpötilatasoista (1, s. 185)

## 2.2.1 Luonnonkiertokattilat

Luonnonkiertokattilassa veden ja höyryn virtaus kattilan putkistossa perustuu veden ja höyryn tiheuseroon. Syöttövesipumpun pumppaama syöttövesi johdetaan ensin ekonomaiseriin, jossa siihen siirtyy savukaasujen lämpöenergiaa. Ekonomaiseriistä esilämmitetty syöttövesi kulkee lieriöön. Lieriöstä vesi johdetaan laskuputkia pitkin kattilan alaosaan, jossa se jakaantuu kattilan tulipesää ympäröiviin höyrystinputkiin. Höyrystinputkissa vesi alkaa höyrystyä tulipesän säteilylämmön vaikutuksesta. Veden höyrystyessä sen tiheys pienenee, minkä

vuoksi muodostunut veden ja höyryn seos nousee höyrystinputkia pitkin takaisin lieriöön. Lieriössä vesi ja höyry erottuvat kylläisen höyryn jatkaessa matkaansa lieriön yläosasta tulistinputkiin kylläisen veden lähtiessä lieriön alaosaan takaisin kattilan laskuputkiin ja höyrystykseen. (1, s. 113.)

Luonnonkierrolle rajoitteen asettaa tarvittava höyrinpaine. Kriittisessä paineessa 221 bar veden ja vesihöyryn tiheys on yhtä suuri,  $315 \text{ kg/m}^3$ . Käytännössä maksimipaine tulistimesta ulos tulevalle tuorehöyrylle on alle 170 bar, jotta luonnonkierto toimii. (1, s. 114.) Luonnonkierrolla toimivan kattilan periaate on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Luonnonkiertokattilan periaatekuva (1, s. 113)

## 2.2.2 Pakkokierto-kattilat

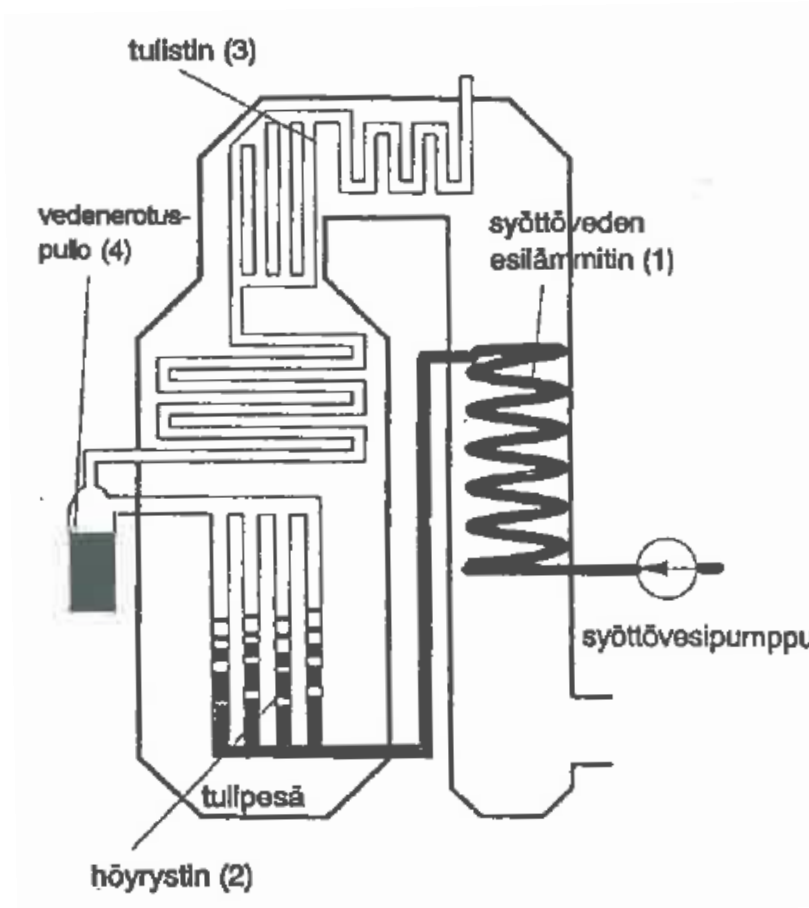
Pakkokierto-kattilan toimintaperiaate on muutoin sama kuin luonnonkierto-kattilassa, mutta veden ja höyryn kierto lieriön ja höyrystimen välillä perustuu pakko-kiertopumppuun, joka sijaitsee lieriön alaosaan lähtevässä laskuputkessa. Pumppu pakottaa kylläisen veden höyrystimeen, josta veden ja höyryn seoksen

takaisin lieriöön. Pumpun ansiosta pakkokierto-kattilasta saatavan tuorehöyryn paine voi olla hieman suurempi, muttei kuitenkaan yli kriittisen paineen. Käytännössä maksimi höyrynpaine pakkokierto-kattilalla on noin 190 bar. Pakkokierto-pumpun vuoksi kattilan omakäyttöteho on kuitenkin suurempi kuin luonnonkierto-kattilalla. Tyypillisesti pakkokiertopumppu käyttää noin 0,5 % tuotetusta sähkö-energiasta. (1, s. 118.)

### **2.2.3 Läpivirtauskattilat**

Läpivirtauskattila voidaan yksinkertaistettuna ajatella ulkoapäin lämmitetyksi putkeksi, johon syötetään toisesta päästä vesi ja toisesta päästä poistuu tulistunut höyry. Läpivirtauskattilat eroavat luonnon- ja pakkokierto-kattiloista siten, että niissä ei ole lieriötä eikä näin ollen kattilan sisäistä vesikiertoa. Läpivirtauskattiloita on kolmea toimintaperiaatteeltaan hieman erilaista tyyppiä, jotka on nimetty alkuperäisten kehittäjiensä mukaan Sulzer-, Benson- ja Ramzin-kattiloiksi. (1, s. 120.)

Koska läpivirtauskattiloissa kaikki vesi höyrystyy, vaativat ne puhtaampaa syöttövedettä kuin lieriökattilat. Lieriökattiloissa poistetaan veteen liuenneena ja veden höyrystyessä rikastuvia suoloja ja epäpuhtauksia lieriön jatkuvalla ulospuhalluksella. Läpivirtauskattiloissa lieriön puuttuessa ei ole ulospuhallustakaan, joten syöttöveden laatuun on kiinnitettävä suurempaa huomiota. Toisaalta, koska vettä ja höyryä ei erotella, soveltuvat läpivirtauskattilat jopa ylikriittisille paineille. Niitä käytetäänkin suurissa voimalaitoksissa maksimoimaan sähköntuotto korkeiden tuorehöyryn paineiden avulla. Läpivirtauskattilan syöttövesipumppujen tehon tosin tulee olla myös huomattavan suuri korkeasta syöttöveden paineesta johtuen. Kattilaputkien tuoma painehäviö voi lisäksi olla jopa 40–50 bar. Tämä johtuu siitä, että kattilaputkien läpimitta tulee olla pieni, jotta ei tarvita suurta seinämävahvuutta tietyn paineen kesto- on, verrattuna suurempiläpimittaisiin putkiin, jotka tarvitsisivat suuremman seinämävahvuuden kestääkseen vastaavan paineen. (1, s. 120.) Läpivirtauskattilan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Sulzer-tyyppisen läpivirtauskattilan periaatekuva (1, s.122)

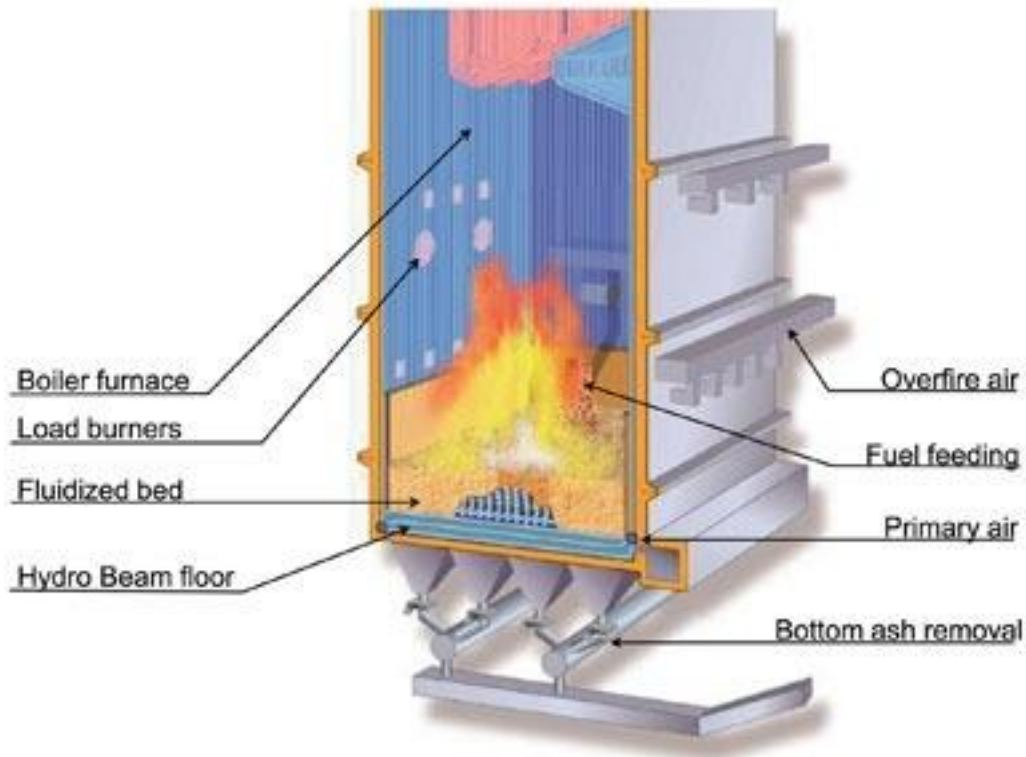
### 2.3 Leijukerrospoltto

Erilaisia polttotekniikoita ja polttolaiteratkaisuja on useita riippuen käytettävästä polttoaineesta. Polttotekniikan perustana on polttoaineen mahdollisimman täydellinen palaminen, jotta palamisen hyötysuhde saadaan hyväksi. Palamisilma tulisi saada sekoittumaan polttoaineeseen tasaisesti ja polton säätöjen tulisi olla toimivat. Erilaisia polttotekniikoita ovat esimerkiksi poltinpoltto nestemäisille ja kaasumaisille polttoaineille ja kiinteästä polttoaineesta jauhetulle pölylle sekä kiinteälle polttoaineelle arina-, leijupeti- ja kiertopetiratkaisut. Soodakattilalla mustalipeää poltettaessa käytetään erityisiä lipeäruiskuja pisaroimaan mustalipeä tulipesään.

Leijukerrospoltto on viime vuosikymmenien aikana yleistynyt laajalti. Leijukerros-  
poltto mahdollistaa mm. lämpöarvoltaan vaihtelevan polttoaineen tehokkaam-

man polttamisen, koska tulipesän hiekkamassa tasoittaa palamisolosuhteita suuren lämpökapasiteettinsa ansiosta. Polttoaine myös sekoittuu leijukerrossessa tehokkaasti. Lisäksi palamislämpötilat ovat suhteellisen alhaiset, minkä ansiosta typenoksidipäästöt ovat pienet. (1, s. 153, 157; 4.) Kuitenkin, nykyisten päästörajojen vuoksi leijukerroskattilatkin vaativat usein NO<sub>x</sub>-päästöjen pienentämiseen sekundäärisiä ratkaisuja, kuten SNCR-järjestelmän. Leijukerrospolton haittapuolina voidaan pitää polttoaineen partikkelikoon rajoituksia leijumisen aikaansaamiseksi sekä suurempaa omakäyttötehoa verrattuna esimerkiksi arinakattilaan johtuen suuritehoisesta leijuilmapuhaltimesta (4).

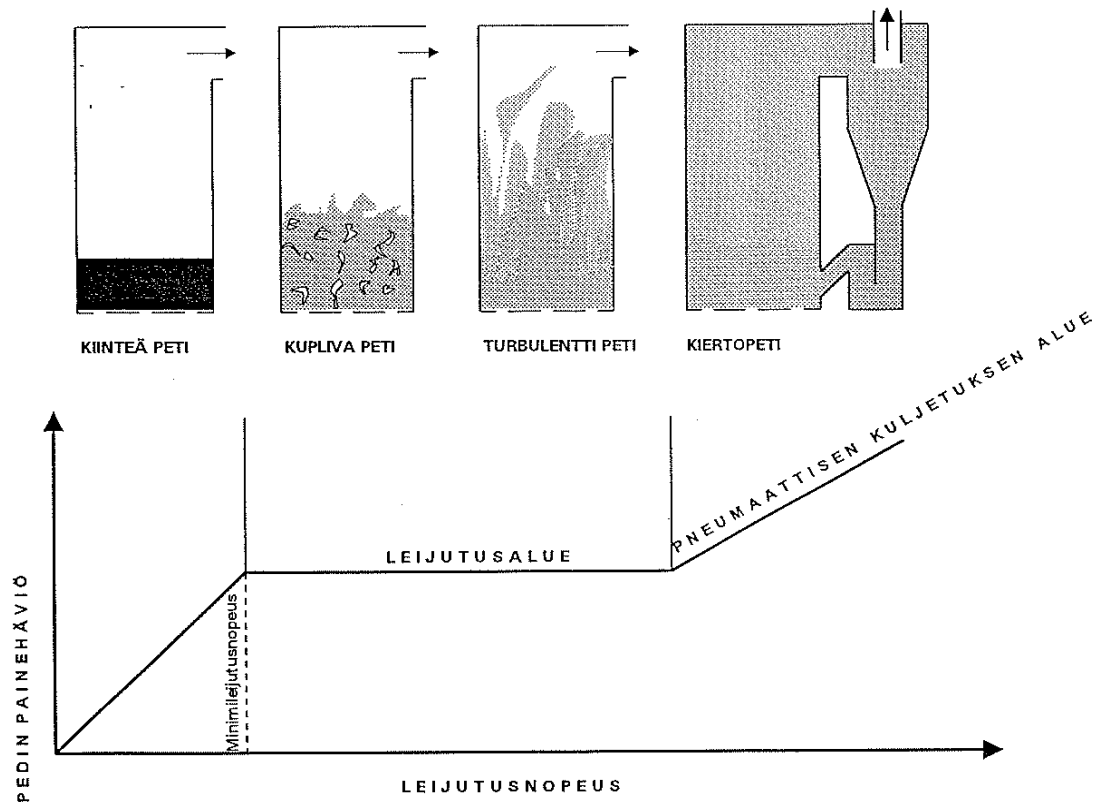
Leijukerroskattila saa nimensä siitä, että kattilan tulipesän pohjalla on hiekkapatja, jonka alla kattilan pohjassa ovat leiju- eli primääri-ilmasuuttimet. Hiekka on partikkelikooltaan määriteltyä ja seulottua, tyypillisesti luonnonhiekkaa. Kun ilma-suuttimista hiekkapatjan alle puhalletaan palamisilmaa riittävällä nopeudella, ts. minimileijutusnopeudella, hiekkakerros alkaa fluidisoitua. Minimileijutusnopeus saavutetaan, kun ilman nopeutta kasvatettaessa paine-ero hiekkapatjan yli kasvaa ollen lopulta sama kuin hiekkapatjan luoma hydrostaattinen paine. Tällöin ilmavirtauksen hiekkapartikkeliin kohdistama voima on yhtä suuri kuin partikkeliin vaikuttava maan vetovoima, eli partikkeli alkaa leijua. Ilman virtausnopeutta kasvatettaessa leijukerros alkaa kuplia kiehuvan nesteen tavoin. Tästä syystä käytetään myös nimitystä kupliva leijukerros (BFB, Bubbling Fluidized Bed). Kupliva leijukerroskattilaa nimitetään yleisesti leijupetikattilaksi. (1, s. 154–155.) Kuvassa 5 on poikkileikkaus leijupetikattilan tulipesästä.



*KUVA 5. Leijupetikattilan tulipesän poikkileikkaus (5)*

Mikäli ilman virtausnopeutta kasvatetaan edelleen leijutusnopeudesta, tempautuvat petihiekkapartikkelit ilmavirran mukaan kohti savukanavaa. Leijupetikattilassa tämä ei ole tarkoitus, vaan hiekka pidetään tulipesässä. Kattilatyyppeä, jossa tarkoituksella leijutetaan petimateriaalia savukaasun mukaan, kutsutaan kiertopetikattilaksi. Tällöin savukanavassa savukaasun mukana kulkevat partikkelit erotetaan savukaasusta syklonilla ja palautetaan takaisin tulipesään. Kiertopetikattilan leijutusilman nopeus on siis suurempi ja petihiekan raekoko hieman pienempi kuin leijupetikattilassa. (1, s. 155.) Kuva 6 esittää erilaiset leijukerros-tyypit leijutusnopeuden mukaisesti.





KUVA 6. Leijukerrostyyppit (4)

Polttoaineen syöttö leijupetikattilaan tapahtuu petin yläpuolelle. Jotta palamista tapahtuma saataisiin tulipesässä mahdollisimman tasaiseksi, on polttoaineen pudotusputkia useita eri puolilla tulipesää. Pudotusputkeen polttoaineen annostelee pyörivä sulkusyötin, johon polttoaine tulee esimerkiksi kolakuljettimen ja ruuvisyöttimen välityksellä polttoainesiihosta. Pudotessaan tulipesään polttoaine sekoittuu kuumaan leijuvaan hiekkamassaan, kuivuu tehokkaasti ja syttyy. Sopiva polttoaine leijupetikattilalle on runsaasti haihtuvia aineita sisältävä sekä matalassa lämpötilassa syttyvä. Esimerkiksi kivihiili ei ole parhaimmasta päästä sen matalan haihtuvien aineiden pitoisuuden (n. 20–45 %) ja koksen alhaisissa lämpötiloissa pitkän palamisajan vuoksi. Puupolttoaineet taas sisältävät haihtuvia aineita runsaasti, noin 70–85 %. (1, s. 40–41, 158–159; 6, liite H.)

Taulukossa 1 on lueteltu yleisien kiinteiden polttoaineiden haihtuvien aineiden pitoisuuksia ja syttymislämpötiloja.

TAULUKKO 1. Polttoaineiden ominaisuuksia (1, s. 41)

Polttoaine	Haihtuvat aineet (%)	Syttymislämpötila (°C)
Puu	70 – 85	200 – 400
Turve	70 – 55	200 – 250
Ruskohiili	40 – 60	300 – 400
Kivihili (kaasu- ja kaasuliekkihili)	28 – 37	300 – 500
Antrasiitti	3 – 9	500 – 600
Koksi	1 – 3	600 – 700
Polttoöljy	82 – 100	255 – 265

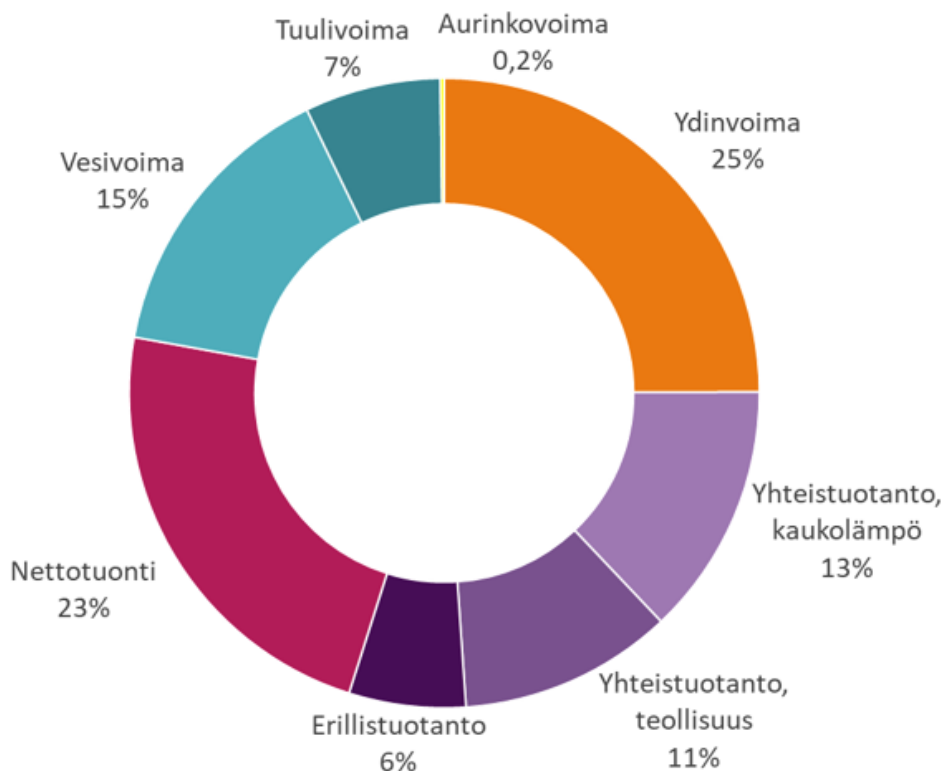
Jotta kiinteään polttoaineen palamiselle saadaan luotua otolliset ominaisuudet, täytyy kattilan käynnistyksissä hiekkapeti lämmittää riittävään lämpötilaan, noin 500–600 °C:seen ennen pääpolttoaineen syötön aloittamista. Tämä tapahtuu käynnistys- eli petipolttimilla. Petipolttimet sijaitsevat hieman petin yläpuolella ja ovat öljy- tai kaasutoimisia. Petipolttimien lisäksi kattiloissa on kuormapolttimet, joissa voidaan tarvittaessa polttaa esimerkiksi raskasta polttoöljyä turvaamaan riittävä höyryntuotanto. (1, s. 158.)

Kiinteää polttoainetta poltettaessa tulipesässä luonnollisesti muodostuu tuhkaa. Hienojakoiseksi jauhautunut tuhka kulkeutuu savukaasujen mukaan lentotuhkana, joka erotetaan savukaasuista yleensä sähkösuotimilla. Sähkösuotimien erottamaa lentotuhkaa käytetään mm. metsälannoitteena ja maanrakennusaineena. Petiin jäävän pohjatuhkan ja leijumattoman aineksen poistamiseksi kattilan pohjassa on tuhkan poistoputket, joiden kautta petihiekkaa säädetysti poistetaan kattilasta. Hiekka seulotaan ja karkea aines erotetaan hienommasta hiekasta. Hieno hiekka palautetaan takaisin petiin. Polton aikana petin lämpötila täytyy pitää sopivana, noin 700–900 °C. Tätä korkeammassa lämpötiloissa on vaara tuhkan pehmenemisestä ja sulamisesta, mikä johtaisi hiekkapetin sintraantumisen eli kiinteytymiseen. Petiä voidaan tarvittaessa jäähdyttää kiertokaasulla eli savukaasun osittaisella takaisinkierrätyksellä primääri-ilman sekaan. (1, s. 158.)

### 3 VOIMALAITOS

Voimalaitos-käsitteen alle voidaan lukea usean tyyppisiä laitoksia, joiden tarkoituksena on yleensä tuottaa sähköä, lämpöä tai molempia. Erilaisia voimalaitoksia ovat esimerkiksi höyry-, moottori-, ja kaasuturbiinilaitokset, tai vaikkapa vesi-, aurinko-, tai tuulivoimalaitokset. Yhteistä kaikille voimalaitoksille on, että ne tarvitsevat ulkoista primäärienergiaa, jota ne muuttavat mahdollisimman korkealla hyötysuhteella halutuksi sekundäärienergiaksi. Energiamuunnokset ovat aina häviöllisiä prosesseja, joten hyötysuhteen yksi saavuttaminen on mahdotonta.

Suomessa tuotetusta sähköstä neljännes tuotettiin vuonna 2018 ydinvoimalla. Seuraavaksi suurin sähköntuotantomuoto oli hieman alle neljänneksen osuudellaan sähkön ja lämmön yhteistuotanto, joka sisältää niin kaukolämmön kuin teollisuuden yhteistuotannon. (7.) Suomen sähkönhankinta energialähteittäin on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Suomen sähkönhankinta 2018 (7)

Ydinvoimalaitokset ovat lauhdevoimalaitoksia, mikä tarkoittaa, että laitos on suunniteltu pelkästään sähkön tuotantoon, jolloin höyry paisutetaan turbiinissa mahdollisimman matalaan paineeseen, jopa noin 0,02 baariin, maksimoiden näin turbiinin liike-energia ja sähköntuotanto. Lauhdevoimalaitokset ovat suuria peruskuormalaitoksia, joiden polttoaineena käytetään fossiilia polttoaineita, kuten kivihiiltä, turvetta ja maakaasua. Niiden hyötysuhde on parhaassakin tapauksessa korkeintaan 46 %. (8, s. 39–40.)

Yhteistuotanto- eli CHP (Combined Heat and Power) -laitokset puolestaan ovat vastapainelaitoksia, joissa turbiinilta ulos tulevan höyryn paine ja lauhtumislämpötila ovat korkeammat, joten sitä voidaan hyödyntää edelleen esimerkiksi kaukolämpöveden lämmittämiseen tai teollisuuden prosessihöyrynä. CHP on yleisin voimalaitoskytkentä Suomessa. Vastapainelaitoksen kokonaishyötysuhde on varsin korkea, noin 85–93 %, riippuen vastapainehöyryn käytöstä. Vastapainelaitoksen turbiini voidaan varustaa myös ns. lauhdeperällä, eli matalapaineturbiinilla, jolloin esimerkiksi kaukolämmönvaihtimen tarvitsema höyry otetaan väliotosta, loppuosan höyrystä jatkaessa matalapaineturbiiniin. Näin voidaan lisätä sähkön tuotantoa etenkin silloin, kun lämmön kulutus on vähäistä. (8, s. 38.)

### **Vastapainevoimalaitos teollisuudessa**

Teollisuudessa tarvitaan usein suuria määriä lämpöenergiaa prosessien ylläpitoon. Höyryvoimalaitos on käyttökelpoinen tapa tuottaa tarvittava lämpöenergia, koska höyryn lämmönsiirto-ominaisuudet ovat hyvät ja sen välityksellä energian siirtäminen helppoa. Höyryä voidaan käyttää joko lämmönsiirtimien välityksellä tai suoraan prosessiin. Kun höyryntarve on riittävän suurta, ts. lämpötehon tarve on noin 10 MW, voi olla järkevää rakentaa kattilalaitoksen yhteyteen turbiinilaitos. Tällöin höyry ajetaan turbiiniin, joka muuttaa höyryn energiaa pyörimisliikkeeksi ja tuottaa generaattorin välityksellä sähköä. Turbiinia varten tosin täytyy kattilan painetasoa korottaa. Tyypillisesti teollisuuden voimalaitosten tuorehöyryn paine on alle 100 bar ja kattilat luonnonkierrolla toimivia lieriökattiloita. Turbiinin jälkeen höyry ohjataan kulutuskohteisiin prosessissa. Teollisuuslaitoksissa sähköä siis tuotetaan tarvittavan prosessihöyryn ”sivutuotteena”, kattiloiden tehon määrittäessä prosessin höyryntarpeen mukaan. (1, s. 12–13; 9, s. 63–65.)

Usein teollisuudessa tarvittavia höyryn painetasoja on useita. Niitä varten turbiinissa voi olla väliottoja, joista saadaan höyryä tarvittavalla painetasolla. Turbiinin ohitusta varten höyryverkko täytyy varustaa paineenpudotus- eli reduktioventtiileillä, joilla korkeapaineisen tuorehöyryn paine lasketaan halutuille tasoille silloin, jos turbiinia ei syystä taikka toisesta voida käyttää. Turbiinin perästä lähtevän matalapaineisen höyryn paine on teollisuuden vastapainelaitoksessa tyypillisesti 2-3 bar. Vastapainehöyryn halutaan yleensä olevan kylläistä höyryä, jotta siitä saadaan mahdollisimman paljon lämpöenergiaa. Tämä johtuu siitä, että lauhtuvan höyryn lämmönsiirtokerroin on huomattavasti suurempi kuin jäähtyvän höyryn. (9, s. 64.)

Polttoaineina teollisuuden laitoksissa käytetään pääasiassa puupolttoaineita, turvetta ja mustalipeää. Sellun valmistuksessa syntyvää mustalipeää poltetaan erityisesti sitä varten suunnitellussa soodakattilassa, jossa mustalipeän sisältämä orgaaninen aines palaa ja kemikaalit regeneroituvat takaisin sellun keittoprosessissa käytettävään muotoon. Soodakattila on siis höyrykattilana osa tehtaan voimalaitosta, mutta kuuluu myös oleellisena osana sellutehtaan kemikaalikiertoon.

Selluprosessissa syntyvän mustalipeän kuiva-ainekoostumuksesta noin kaksi kolmasosaa on sellun keitossa puusta liuennutta orgaanista ainesta ja yksi kolmasosa epäorgaanisia suoloja. Soodakattilaan syötettävän mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on yleisesti yli 75 %, ja se saadaan aikaan poistamalla haihdutinyksiköillä vettä keittämöltä tulevasta laihamustalipeästä, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 15–18 %. Mustalipeä esilämmitetään noin 115–130 °C:seen viskositeetin pienentämiseksi ja pisaroidaan soodakattilan tulipesään erityisillä lipeäruiskuilla. Tulipesässä pisaran sisältämä vesi haihtuu, orgaaninen aines palaa ja epäorgaaniset aineet sulavat kemikaalisulaksi, joka valutetaan ulos kattilan pohjalta sularännejä pitkin ja liuotetaan laihavalkolipeään. (9, s. 70, 72; 10.)

Orgaanisen aineen palaminen ja epäorgaanisen aineksen kemialliset reaktiot vaativat erityyppiset olosuhteet, minkä vuoksi tulipesässä vallitseekin hapetus- ja pelkistysvyöhykkeet. Kemikaalien regeneroituminen vaatii alihappiset olosuhteet, jolloin pelkistysvyöhykkeellä tapahtuvat reaktiot pelkistävät natriumsulfaatin

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  natriumsulfidiksi  $\text{Na}_2\text{S}$ . Pelkistymisen onnistumista, eli natriumsulfidin ainemäärän suhdetta natriumsulfidin ja natriumsulfaatin ainemäärien summaan kuvataan reduktioasteella, joka voi hyvin toimivalla soodakattilalla olla jopa 95–98 %. (9, s. 72; 10.)

## 4 PAINELAITELAINSÄÄDÄNTÖ

Painelaitteille valmistuksen ja käytön aikaisia määräyksiä ja ohjeita antavat Euroopan unionin painelaitedirektiivi 2014/68/EU sekä Suomen painelaitelaki 1144/2016. Lait ja asetukset on määritelty sen vuoksi, että painelaitteiden käyttö olisi mahdollisimman turvallista, koska painelaitteetonnettomuuksissa voivat vahingot olla erittäin vakavia. Määräyksiä on asetettu niin painelaitteiden suunnittelulle, valmistukselle että käytölle. Lainsäädäntö korostaa laitteen valmistajan, omistajan ja haltijan vastuuta turvallisuudesta (11, s. 3). Painelaitteiden suunnittelua, valmistusta ja vaatimustenmukaisuuden arviointia varten laitteet ja laitekokonaisuudet luokitellaan kahteen luokkaan, minkä perusteella tiedetään mitä vaatimuksia suunnittelussa ja valmistuksessa on huomioitava. Luokittelun lopputulokseen vaikuttavat painelaitteen tyyppi, suurin sallittu käyttöpaine, tilavuus tai nimellisuuruus (DN), sisältö ja sisällön vaarallisuus. Luokittelun tuloksena painelaitteen suunnittelulle ja valmistukselle voidaan joko soveltaa hyvää konepajakäytäntöä, tai suunnittelussa ja valmistuksessa on noudatettava olennaisia turvallisuusvaatimuksia. (12.)

Suomen painelaitelaisissa painelaitteella tarkoitetaan säiliötä, putkistoa ja muuta teknistä kokonaisuutta, jossa on ylipaine tai johon voi kehittyä sellainen, sekä teknisiä kokonaisuuksia, jotka on tarkoitettu painelaitteen suojaamiseksi. Painelaitelaki määrittelee höyrykattilan nesteen kuumentamiseen yli sadan celsiusasteen lämpötilaan tai vesihöyryn tuotantoon tarkoitetuksi laitekokonaisuudeksi, johon kuuluu vähintään yksi lämmitetty painelaite, jolla on ylikuumenemisen vaara (13, 2. §). Painelaitedirektiivin soveltamisohjeiden mukaan laitekokonaisuus muodostuu vähintään itse kattilasta mukaan lukien kaikki paineenalaiset osat syöttöveden tuloputkesta alkaen (myös syöttövesiputken venttiili) höyryn ja/tai kuumen veden lähtöputkeen saakka (myös lähtöputken venttiili, tai jos sitä ei ole, lähtöputken ensimmäinen laippa tai poikittaisliitos mukaan lukien). Edellä mainittuun kuuluvat siis kaikki esilämmittimet, tulistimet ja yhdysputket, joilla on ylikuumenemisen mahdollisuus ja joita ei voida eristää pääjärjestelmästä sulkuventtiileillä. Myös liitetyt varolaitteet sekä esimerkiksi tyhjennys- ym. kattilaan liitetyt

putkistot, kattilan suunnasta katsottuna putkiston lähtöpuolella olevaan ensimmäiseen sulkuventtiiliin saakka sulkuventtiili mukaan lukien, kuuluvat laitekokoaisuuteen. Edellä mainittu on vain vähimmäiskokoonpano, ja kattilakokonaisuuteen voi myös kuulua muita kuin mainittuja komponentteja, kuten syöttöveden tai polttoaineen käsittelylaitteita, mikäli kattilan valmistaja niin määrittelee. (14, s. 106.)

#### **4.1 Painelaitteen rekisteröintitarve**

Painelaite täytyy usein rekisteröidä. Rekisteröintitarpeen määrittävät painelaitteen sisältämä aine, käyttöpaine sekä -lämpötila. Sisällön vaarallisuuden ja lämpötilan perusteella määräytyy raja-arvo suurimman sallitun käyttöpaineen (ylipainetta) sekä tilavuuden tulolle, yksikkönä baarilitra (barl). Höyrykattilan tapauksessa raja-arvo määräytyy kattilan vesi-höyrypiirin rakenteen mukaan. Rekisteröintivelvoitetta ei ole, mikäli kyseessä on vesiputkikattila, kattilaputkien ulkohalkaisijan ollessa enintään 38 millimetriä, suurimman sallitun käyttöpaineen enintään 16 baaria ja suurimman sallitun käyttöpaineen sekä pienimmän sallitun nestetilavuuden tulo ollessa enintään 750 baarilitraa. Käyttöpaineen ja tilavuuden tuloa ei kuitenkaan sovelleta, mikäli veden virtaus kattilassa saadaan aikaan syöttölaitteiden avulla ja suurimmalla jatkuvalla kuormituksella toimittaessa kattilaputkien läpi virratessaan vesi höyrystyy kokonaan tai suurimmaksi osaksi. Muiden höyrykattiloiden tapauksissa, mikäli kattilan suurin sallittu käyttöpaine on enintään 10 bar ja suurimman sallitun käyttöpaineen ja nestetilavuuden tulo on maksimissaan 500 barl, ei rekisteröintivelvoitetta ole. (15, 6. §.)

Mikäli painelaitteen rekisteröintivelvoite täyttyy, täytyy sille nimetä riittävän pätevyyden omaavat käytönvalvoja ja varavalvoja, joilla on riittävä asiantuntemus ja kokemus liittyen painelaitteen rakenteeseen, käyttöön ja kunnossapitoon. Käytönvalvojan tehtävä on painelaitteen kunnon ja käytön valvonta, määräaikaistarkastusten teettäminen ajallaan sekä laitetta koskevien muutoksien ilmoittaminen painelaiterekisteriä ylläpitävällä Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesille. Kattilalaitoksien käytönvalvojalla täytyy lisäksi olla laitoksen höyry- tai kuumavesikattiloiden yhteenlasketun tehon ja suurimman sallitun käyttöpaineen tulo (barMW)



suuruuden mukaan määritetty pätevyyskirja. Sopivan tutkinnon suorittanut insinööri tai diplomi-insinööri ei tarvitse pätevyyskirjaa, mikäli hänellä on riittävä työkokemus kattilalaitokselta. (16.)

## **4.2 Tarkastukset**

Rekisteröitävälle painelaitteelle on suoritettava painelaitelain mukaiset tarkastukset sekä vaatimustenmukaisuuden todentamiset. Ensimmäisessä määräaikaistarkastuksessa suoritetaan painelaitteen rekisteröinti, sekä varmistetaan painelaitelain 55. §:n mukaisesti, että painelaitteen käyttö on turvallista aloittaa. Valtioneuvoston asetuksen painelaiteturvallisuudesta 9. §:n mukaisesti kattilalaitoksen ensimmäisessä määräaikaistarkastuksessa tarkastetaan myös, että esimerkiksi laitoksen vaaran arviointi on tehty lain edellyttämällä tavalla ja että mahdollisissa häiriötilanteissa laitteisto on hallittavissa operaattorin toimesta tai se ohjautuu itse turvalliseen tilaan. (13, 55. §; 15, 9. §.)

Painelaitelain 61. ja 62. §:n määrittelemissä tilanteissa tulee painelaitteelle suorittaa muutostarkastus ennen uutta käyttöönottoa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi laitteen vahingoittuminen tai sen turvallisuuteen vaikuttavien laitteiden tai järjestelmien merkittävä muuttaminen. (13, 61.–62. §.)

Käytön aikana painelaitteelle tehdään määräaikaistarkastuksia painelaitelaissa määritellyin aikavälein. Laitteen omistaja tai haltija voi pyytää tarkastuksen siirtoa tai tarkastusvälin pidentämistä laissa määritetyin ehdoin. Tietyissä tapauksissa määräaikaistarkastukset voidaan korvata painelaitteen seurannalla tai kunnonvalvontajärjestelmällä, josta laitteen omistajan tai haltijan tulee tehdä suunnitelma ja sopimus hyväksytyn laitoksen kanssa. (13, 56.–59. §, 63.–64. §.)

Määräaikaistarkastuksia on kolmea eri tyyppiä:

Käyttötarkastuksessa tarkastetaan mm. varojärjestelmien toiminta, painelaitteen ja sen varusteiden yleinen kunto, laitteen turvallinen toiminta sekä kattilalaitoksen ollessa kyseessä vaaran arvioinnin ja käytön valvonnan asianmukaisuus. Käyttötarkastusten aikaväli höyry- ja kuumavesikattilalaitoksille saa olla enintään kaksi vuotta. (13, 57. §.)

Sisäpuolisessa tarkastuksessa varmistetaan, ettei painelaitteeseen tai sen varusteisiin ole muodostunut turvallisen käytön vaarantavia vikoja. Höyrykattiloille sisäpuolisten tarkastusten aikaväli saa olla enintään neljä vuotta. (13, 58. §, 63. §.)

Painekoe suoritetaan joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä. Siinä varmistetaan, että paineenalaiset seinämät ovat tiiviit koepaineessa ja että koepaine ei aiheuta turvallisuutta vaarantavia muodonmuutoksia. Käytettävä koepaine määräytyy laitteen suurimman sallitun käyttöpaineen mukaan ollen nesteellä tehtävissä painekokeissa vähintään 1,3- ja kaasulla tehtävissä painekokeissa 1,1-kertainen suurimpaan sallittuun käyttöpaineeseen nähden. (13, 59. §; 15, 11. §.)

### **4.3 Tarkastuslaitokset**

Vaativien painelaitteiden suunnittelua, valmistusta, tarkastuksia ennen markkinoille saattamista ja lopulta käytön aikaisia tarkastuksia suorittavat tarkastuslaitokset. Laitoksen tyyppin mukaan sillä on oikeus tietynlaiseen tarkastustoimintaan: ilmoitettu laitos, päteväintilaitos ja käyttäjien tarkastuslaitos suorittavat painelaitteiden suunnitteluun ja valmistukseen liittyviä vaatimustenmukaisuuden arviointoja ja hyväksymisiä. Hyväksytyt laitos ja omatarkastuslaitoksen tehtävät liittyvät käytönaikaiseen valvontaan ja tarkastuksiin. (11, s. 4.) Laitosten nimeämistä Suomessa hoitaa ilmoitettujen laitoksien, päteväintilaitoksien, ja käyttäjien tarkastuslaitoksien osalta työ- ja elinkeinoministeriö, hyväksytyt laitokset ja omatarkastuslaitokset hyväksyy Tukes. Painelaitteiden määräaikaistarkastuksia tekevät laitokset ovat hyväksytyjä- tai omatarkastuslaitoksia.

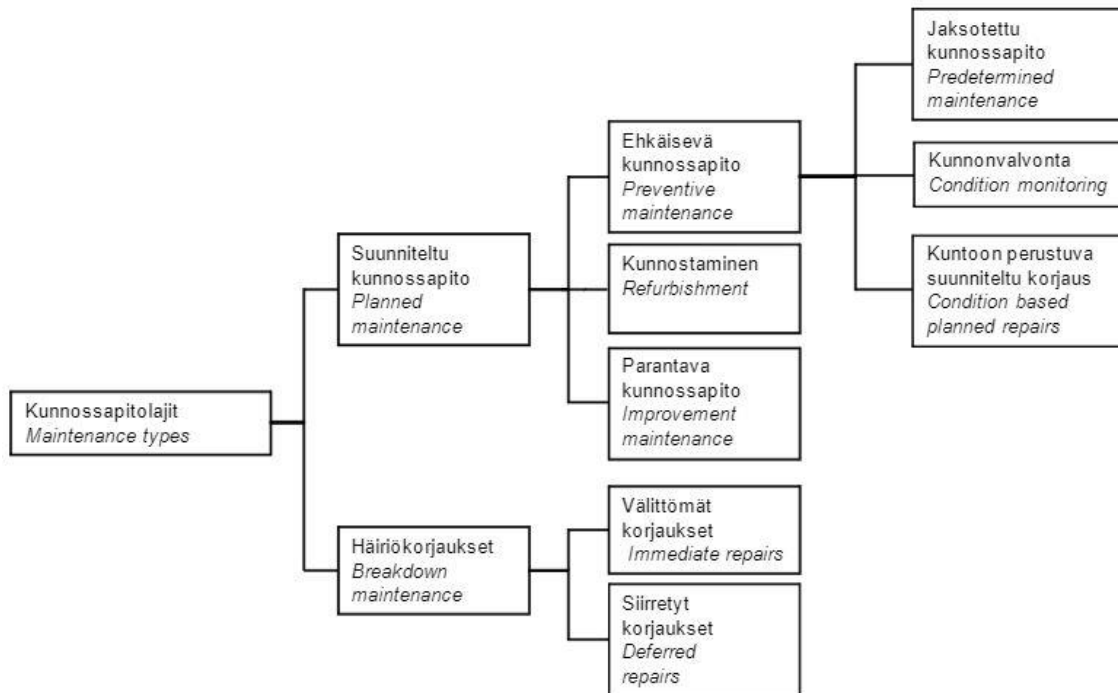
## 5 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on laaja käsite, joka teollisuuden alalla voi sisältää esimerkiksi koneiden ja laitteiden ylläpidon, käyntivarmuuden takaamisen, ajoitetut huollot sekä vikatilanteiden selvittämisen. Kunnossapito ei yleensä koske pelkästään koneita ja tuotantolaitteita, vaan usein se käsittää myös laitosinfrastruktuurin sekä tuotanto-olosuhteiden ylläpitoa.

Kunnossapidon tavoite on pitää yllä ja säilyttää tuotantokyky, varmistaa mahdollisimmat hyvät tuotanto-olosuhteet mahdollisten ongelmien ennakkoinnilla, kunnon seurannalla sekä ilmestyvien ongelmien nopealla ja tehokkaalla ratkaisulla. Tehokkaan tuotannon ollessa yhä tärkeämpää kunnossapidon merkitys on noussut. (17, s. 12–13.)

### 5.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitoa voi jaotella eri lokeroihin, ja eri standardien ja kunnossapidon ajattelumallien kesken jaottelu voi hieman poiketa. Eurooppalainen standardi SFS-EN 13306 on pohja EU:n alueen kansallisille määräyksille ja määritelmille. Suomessa PSK Standardisointi on laatinut EN-standardiin pohjautuvia suomenkielisiä standardeja liittyen. (17, s. 32.) PSK 7501 jaottelee kunnossapitolajit kuvan 8 mukaisesti.



KUVA 8. Kunnossapitolajit (18, s. 3.)

Yhteistä monille jaotteluille ja kunnossapitologiikoille on, että kunnossapito jaetaan ennakoiviin ja reagoiviin toimiin. Ennakoiviin toimiin kuuluu siis vikaantumisen estäminen kokonaan joko jaksotetulla kunnostuksella tai vaihtamalla laite tai kone uuteen ennen vikaantumista. Myös vikaantumisen havaitseminen, ennen kuin se johtaa rikkoontumiseen ja tuotannon keskeytymiseen, luetaan ennakoivaksi kunnossapidoksi. Joillekin laitteille, jotka eivät ole tuotannon keskeyttömän toiminnan kannalta elintärkeitä, ei välttämättä sovelleta varsinaista ehkäisevää kunnossapitoa vaan niitä käytetään, kunnes ne hajoavat, minkä jälkeen ne korjataan tai vaihdetaan uusiin. (17, s. 47–48.)

Vaikka kunnossapito on elinehto laitteiden ja prosessien toiminnalle, sitä ei kuitenkaan ole syytä tehdä liikaa. Usein tapahtuvat laitteen pysäytykset, aukaisut ja käynnistykset rasittavat laitetta ja altistavat sen aina uudelleen käytön alkamisen vikaantumismekanismeille. Konetta kannattaa tarkastella ja tarkastaa mahdollisuuksien mukaan kajoamatta koneen toimintaan. (17, s. 60.)

Tuotantolaitoksen jokapäiväisessä kunnossapidossa pystytään tunnistamaan viisi pääalajia:

- Huoltoihin kuuluu koneen toimintaympäristön ja olosuhteiden pitäminen suotuisina. Usein huolto on jaksotettua koneen käyttötavan mukaisesti. Huoltotoimenpiteitä ovat puhdistukset, rasvaukset, voitelut, kulutusosien vaihdot ja kalibroinnit.
- Ehkäisevään kunnossapitoon luetaan toimia, joilla pyritään pitämään kone käytössä estämällä vikaantumisia tai havaitsemalla ne niin aikaisin, etteivät ne johda koneen pysähtymiseen. Tämä voi olla jaksotettua, jatkuvaa tai tarpeen vaatiessa tehtävää toimintaa. Ehkäiseviä toimia ovat mm. tarkastukset, parametrien analysointi ja käynninvalvonta.
- Korjaava kunnossapito käsittää havaittujen vikojen tunnistamisen, paikallistamisen ja väliaikaisella tai pysyvällä korjauksella suoritetun toimintakunnon palauttamisen.
- Parantavan kunnossapidon tavoitteena on parantaa koneen luotettavuutta ja käytettävyyttä sekä kehittää mahdollisesti vikaantuvia kohtia paremmiksi. Myös vanhojen laitteiden modernisointi sekä suorituskyvyn parantamiseksi tehtävät toimet kuuluvat tähän.
- Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen tähtää vikaantumismekanismien etsimiseen, tunnistamiseen ja uuden vikaantumisen ehkäisyyn vika-analysoinneilla, mallinnuksella, materiaalianalyseilla sekä vikaantumisen riskikartoituksella. (17, s. 49–51.)

Vikaantumisille ajan suhteen on aikojen saatossa esitetty erilaisia malleja. Perinteinen käsitys on ollut, että laitteen elinkaaren alussa vikoja, ”lastentauteja”, on paljon, minkä jälkeen vikaantuminen vähenee ja toimintavarmuus paranee. Elinkaaren lopussa vikaantuminen taas lisääntyy laitteen vanhenemisen vuoksi. Myöhemmin käsitys tästä mallista on muuttunut ja tutkimuksissa on löydetty useita erilaisia malleja vikaantumistiheyksille eri kohdissa laitteen elinikää. Asiantuntijoiden mukaan teollisuudessa vikaantumismallit noudattavat hyvin pitkälti satunnaisen vikaantumisen malleja, eli vikaantumiset eivät ole laitteen eliniän mukanaan tuomia ongelmia eivätkä ne yleisesti ottaen lisäänty käyttötuntien kasvaessa. Nykyisin laitteiden ollessa monimutkaisia useista mahdollisista vikaantuvista komponenteista muodostuvia kokonaisuuksia voidaan usein pitää vikaantumistodennäköisyyttä laitteen lastentautien ja käytön aloituksen ongelmien

jälkeen lähes samalla tasolla pysyvänä vakiona koko laitteen eliniän ajan. (17, s. 57–59.)

## **5.2 NDT-tarkastukset**

Rikkomaton aineenkoetus eli NDT (Non-Destructive Testing) on yleistynyt menetelmä kunnossapitotoimissa. Rikkomattoman aineenkoetuksen etu on nimensä mukaisesti rakenteen tarkastaminen ottamatta siitä näytepaloja. Joskus NDT:tä voidaan suorittaa jopa laitteiston käynnin aikana, mutta usein tarkastusten tekeminen käytännön syistä tai työturvallisuuden vuoksi keskittyy huoltoseisokkien yhteyteen. Rikkomattoman aineenkoetuksen tärkein tarkastusmenetelmä on visuaalinen tarkastus, mutta ihmissilmän havaintojen avuksi on myös useita fysiikkaan perustuvia tekniikoita.

NDT-tarkastuksen ensimmäinen tavoite on havaita materiaalista epäjatkuuskohtia, kuten materiaalin ohentumia ja säröjä. Seuraavaksi tulee määrittää löydetyn indikaation dimensiot. Kun nämä tiedetään, voidaan analysoida vian etenemisnopeus ja kriittinen vikakoko. Vian löytämiseksi tarvitaan usein kokemusta, jotta vikaa osataan etsiä oikeasta paikasta oikealla menetelmällä. Eri NDT-menetelmät soveltuvat erityyppisten vikojen etsimiseen, ja eri tarkastusmenetelmiä yhdistämällä päästään korkeampaan luotettavuuteen tarkastustulosten suhteen. (17, s. 252–254.)

### **5.2.1 Visuaalinen tarkastus**

Visuaalinen eli ihmissilmällä suoritettava tarkastus (VT) on vanhin ja eniten käytetty NDT-menetelmä. Visuaalinen tarkastus onkin aina suoritettava muiden NDT-tarkastusten yhteydessä tai ennen niitä. Riittävässä valossa ihmissilmä pystyy erottamaan noin 50 µm paksuisen taustaväristään eroavan halkeaman ja noin 100 µm halkaisijaltaan olevan pisteen. Visuaalisen tarkastuksen apuvälineinä voidaan käyttää suurennuslaseja, peilejä, endoskooppeja ja kameroita. (17, s. 256.)

### **5.2.2 Magneettijauhetarkastus**

Magneettijauhetarkastus (MT) soveltuu ferromagneettisten materiaalien pintaan asti ulottuvien ja aivan pinnan alla olevien vikojen etsimiseen. Materiaaliin aiheutetaan magneettivuo, joka pysyy kappaleessa, mikäli se on ehjä. Vauriokohtat aiheuttavat magneettivuon vuotamisen ulos, mikä saa aikaan materiaalin pinnalle siroteltujen rautaoksidijauheen tai magnetoituvia partikkeleita sisältävän nesteen kerääntymisen epäjatkuvuuskohtiin kasaumiksi. Epäjatkuvuuskohtien olisi hyvä olla mahdollisimman suuressa, yli 45 asteen kulmassa magneettivuon suuntaan nähden. Kappaletta voidaan tarvittaessa magnetoida useasta suunnasta luotettavuuden varmistamiseksi. Näin voidaan havaita esimerkiksi säröjä, joiden pituus on noin millimetrin ja leveys sadasosamillin. (17, s. 257–258; 19, s. 32; 20, s. 829.)

### **5.2.3 Tunkeumanestetarkastus**

Tunkeumanestetarkastuksella (PT) voidaan havaita pintaan asti ulottuvia säröjä, painumia ja huokosia kaikista materiaaleista, jotka eivät ole luonnostaan huokoisia. Pintaan levitetään värillistä tai fluoresoivaa tunkeumanestettä, joka tunkeutuu epäjatkuvuuskohtiin. Pinta puhdistetaan ja sille levitetään valkoinen kehiteaine, joka saa vikakohtiin jääneen tunkeumanesteen imeytymään itseensä ja leviämään silmällä havaittavaksi. Tunkeumanestetarkastus on herkempi vaihteluille suoritustavassa ja ulkoisille vaikutuksille, joten suositeltavampaa on käyttää ferromagneettisille materiaaleille magneettijauhetarkastusta. Tunkeumanestetarkastus kykenee ilmaisemaan noin 0,1 µm ja muutaman millimetrin pituisen särön. Menetelmällä voidaan etsiä myös vuotokohtia levittämällä tunkeumaneste esimerkiksi säiliössä seinämän toiselle puolelle ja kehite toiselle puolelle. Neste tunkeutuu vuotokohtaa pitkin kehitteeseen ja antaa indikaation. (17, s. 259–260; 20, s. 827.)

### **5.2.4 Ultraäänitarkastus**

Ultraäänitarkastuksen (UT) alle kuuluvat materiaalin paksuusmittaus sekä volumetrinen tarkastus, jolla etsitään materiaalin sisäisiä epäjatkuvuuskohtia. Paksuusmittausta käytetään esimerkiksi säiliöiden ja kattilaputkien seinämien pak-

suuden mittaamiseen, jolloin saadaan yleiskuva mahdollisesta seinämän ohentumasta. Toimintaperiaate on lähettää ultraäänilaitteen mittauspäällä signaaleja materiaaliin ja niiden heijastuttua takaisin materiaalin rajapinnasta ja palattua mittauspäähän mitata kulunut aika, jonka perusteella laite määrittää materiaalin paksuuden. Paksuusmittausluotain ei erottele yksittäisiä pistekorrosioita, vaan se antaa mittausalueeltaan keskiarvon mittaamistaan tuloksista. Paksuusmittauksen mitta-alue voi olla esimerkiksi 1–100 mm noin 0,1 mm:n tarkkuudella. (17, s. 261; 19, s. 33.)

Volumetrisessa tarkastuksessa lähetetään materiaaliin signaali, jonka heijastuu mahdollisista epäjatkuvuuskohdista materiaalin sisällä tai materiaalin rajapinnasta. Tulosten lukemisessa vaaditaan kokemusta, jotta osataan tulkita, onko heijastus viasta vai kappaleen geometriasta johtuva. (17, s. 261–262.)

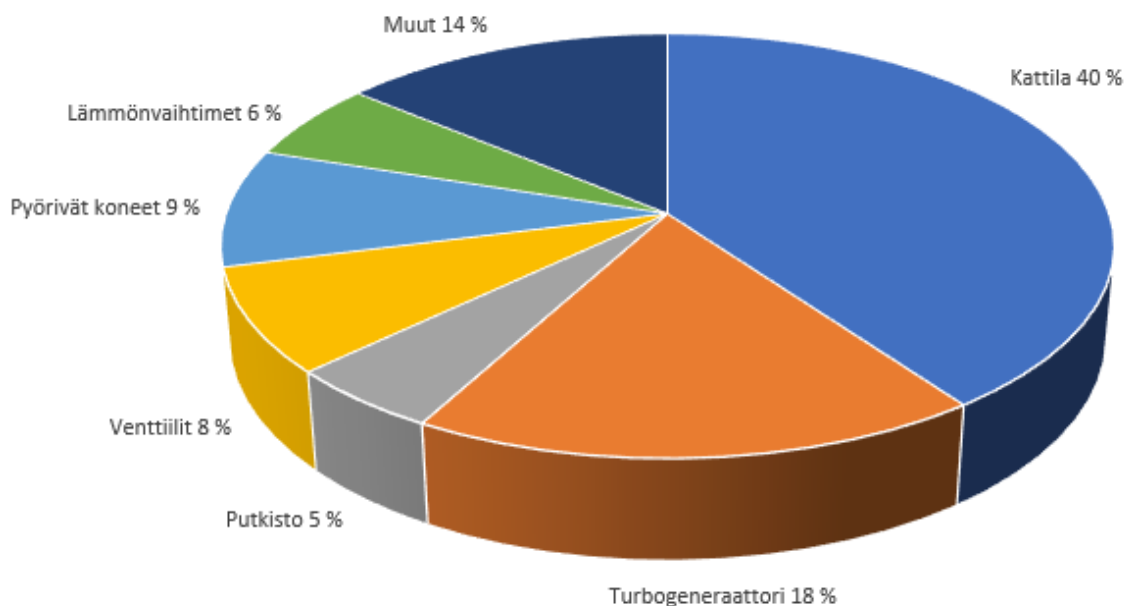
### **5.2.5 Radiografinen tarkastus**

Röntgen- tai gammakuvauksessa (RT) säteilytettävän materiaalin tai kokonaisen komponentin epäjatkuvuuskohdat läpäisevät säteilyä enemmän kuin ehjä materiaali, aiheuttaen röntgenfilmille muodostuvassa kuvassa mustumaeroja. Kuvia tulkitsemalla voidaan erottaa hyvin kolmiulotteisia vikoja, mutta kaksiulotteisten vikojen, kuten säröjen löytäminen voi olla hankalaa. Maksimi teräseinämän paksuus röntgenkuvauksessa on noin 60–80 mm, gammakuvauksessa jopa 200 mm. (17, s. 264; 19, s. 33.)



## 6 VOIMALAITOSKATTILAN TYYPILLINEN VIKAANTUMINEN

Voimalaitoshöyrykattilan suunnittelussa ja kunnossapidossa täytyy kiinnittää huomiota kattilan käyttöolosuhteisiin. Jo suunnitteluvaiheessa voidaan ehkäistä kattilan käytönaikaista vikaantumista oikeilla materiaalivalinnoilla sekä rakenteellisilla ratkaisuilla. Yleisimpiä kattilan vikaantumismenetelmiä ovat materiaalien eroosio, korroosio, viruminen, säröytyminen ja kattilaputkien sisäpuolelle muodostuvat saostumat (21, s. 20). Useat näistä mekanismeista ovat väistämättömiä, eikä niitä voida koskaan täysin välttää, mutta niiden syntymiseen ja etenemisnopeuteen voidaan oikeilla toimintatavoilla vaikuttaa. Voimalaitosympäristön vaurioitumisalttiita kohteita on koottu kuvan 9 kaavioon. Kattilan ja turbogeneraattorin huomataan olevan tyypillisesti voimalaitoksen vikaantumisherkimmät kohteet. Etenkin niissä lämpötila ja paine ovat korkeat, mikä altistaa komponentteja virumis- ja väsymisvaurioille.

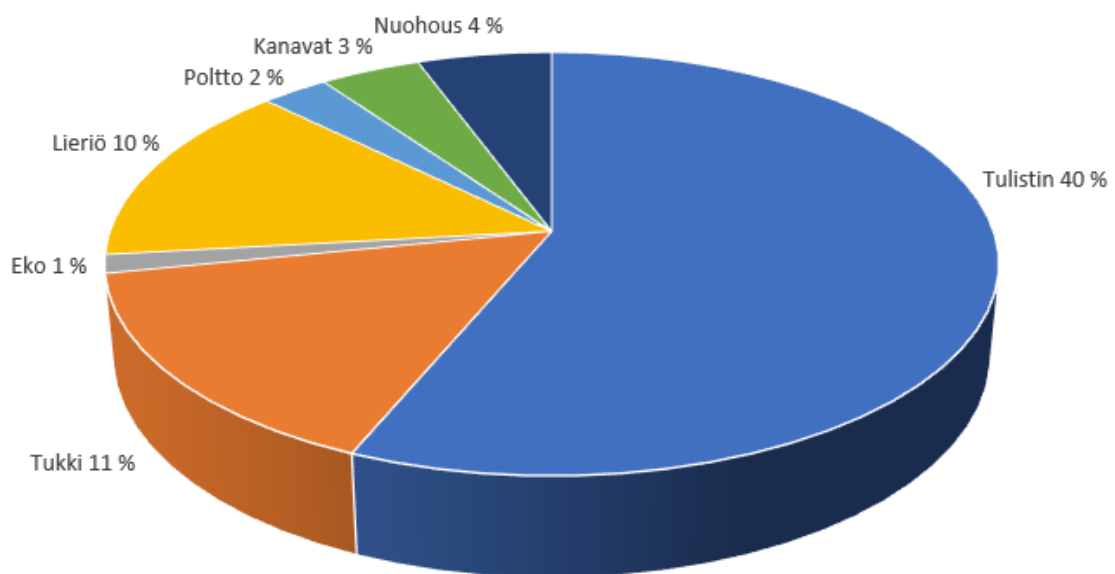


*KUVA 9. Voimalaitoksen tyypilliset vauriokohteet (17, s. 254)*

Kattilassa on useita komponentteja, jotka joutuvat kovaan rasitukseen. Kattilan käytössä tulee huomioida materiaalien suunnitellun kestävyuden kannalta, ettei materiaalien anneta ylikuumentua tai altisteta niitä liian suurelle paineelle. Jo kattilaputkien suunnittelussa tulee ottaa huomioon putkivirtauksen säilyminen joka

kohdassa, koska putkeen muodostuva virtaushäiriö saattaa aiheuttaa lämmönsiirron heikkenemisen ja putkimateriaalin paikallisen ylikuumentumisen. Ylikuumentuminen johtaa materiaalin väsymiseen ja kestoiän lyhenemiseen ja pahimmillaan yllättävään putkivaurioon.

Kuvan 10 kaaviossa on kattilalaitosten kriittisimpiä komponentteja, joista huomataan tulistimilla olevan ylivoimaisesti suurin osuus. Myös korkean paineen ja lämpötilan alaiset lieriö ja höyryn jakotukki ovat alttiita vaurioitumismekanismien läsnäololle.



*KUVA 10. Kattilalaitoksen kriittiset komponentit (17, s. 255)*

## 6.1 Eroosio

Eroosio eli kuluminen tarkoittaa materiaalin mekaanista kulumista. Leijupetikattiloissa sitä aiheuttaa mm. leijukerroksena toimiva hiekka. Leiju- ja kiertopetikattiloissa tulipesän alaosan seinäputket onkin suojattu muurauksella paitsi putkien ylikuumentumisen vuoksi, myös pyörteilevän hiekan aiheuttaman eroosion vähentämiseksi. Kiertopetikattilassa kiertävä petimateriaali tosin kuluttaa lämpöpintoja myös tulistimissa ja esilämmittimissä sekä hiekanerotusjärjestelmässä. Leijupetikattilassakin savukaasu sisältää lämpöpintoja kuluttavaa lentotuhkaa. Siihen, kuinka paljon kovia, kuluttavia partikkeleja lentotuhka sisältää, vaikuttaa käytetty polttoaine. Esimerkiksi turpeessa on suuri määrä kuluttavia kvartsiyhdisteitä.

Rakenteellisella suunnittelulla tulisi välttää tilanteet, joissa virtaavaan savukaasuun syntyy pyörteitä esimerkiksi tulistinputkipakettien läheisyyteen tai virtausnopeudet kasvavat liian suuriksi. (1, s. 158, 213.)

Toinen eroosiota aiheuttava tekijä erityisesti tulistimille ja esilämmittimille on höyrynuohous. Nuohoushöyryn paine on yleensä 20–30 bar, joten varsinkin väärin suunniteltuna se voi aiheuttaa huomattavia vaurioita. Nuohouksen kuluttavaa vaikutusta voidaan ehkäistä nuohoinputkien oikeilla sijoituksella ja mitoituksella sekä lämpöpintojen suojaksi asennettavilla levyillä. Myös nuohoussekvenssin toimintaan on kiinnitettävä huomiota. Erittäin vahingollinen tekijä höyrynuohouksessa on, että nuohoushöyrylinjoissa on lauhdetta uuden nuohoussekvenssin alkaessa. Lauhdepisaroiden iskeytyessä lämpöpinnoille aiheuttavat ne nopeasti materiaalin eroosiota ja putkivaurioita. (1, s. 216; 22.)

## **6.2 Korroosio**

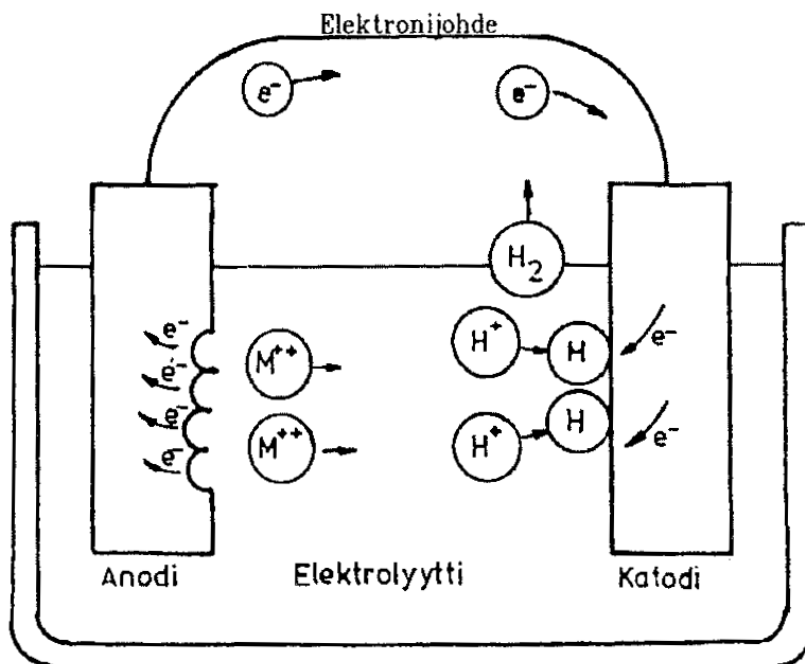
Korroosiolla tarkoitetaan materiaalin syöymistä tai muuttumista muuten käyttökelvottomaksi. Korroosion syntymismekanismeja ja esiintymismuotoja on useita. Sen voi saada aikaan esimerkiksi kemialliset olosuhteet, sähkökemiallinen korrosoituminen tai korkea lämpötila. Perimmäinen syy metallien korrosoitumiselle on, että ne esiintyvät luonnossa yleensä yhdisteinä ja ulkoisen energian avulla niistä jalostetut puhtaat metallit pyrkivätkin muuttumaan takaisin luonnonmukaiseen minimienergiatilaansa (23). Korrosoitumisessa muodostuu usein materiaalin pintaan kiinteää korroosiotuotetta, kuten ruostetta eli rautaoksidia. Oksidikerros vaikeuttaa korroosion etenemistä, koska se vaikeuttaa metallin ja hapen reagoimista. Korroosio vaikuttaa heikentävästi materiaalin laatuun ja lujuusominaisuuksiin ja se aiheuttaakin merkittäviä kustannuksia sekä turvallisuusriskejä. (20, s. 17–18; 24)

Kemiallinen korroosio on materiaalin suoraa liukenemista toiseen aineeseen. Materiaalin pintaan ei tällöin synny korroosiotuotekerrosta eikä reaktiossa tapahdu sähkövarausten liikkumista. Huomattavasti yleisempi korroosion muoto on sähkökemiallinen eli galvaaninen korroosio, joka perustuu kahden eri jalousasteen omaavan metallin tai jopa saman metallin eri kohtien potentiaalieroihin. Tällöin epäjalompi metalli anodina luovuttaa elektroneja jalomman metallin katodille ja

hapettuu muodostaen samalla liukenevia metalli-ioneja. Katodilla elektrolyytin ionit tai happi vastaanottavat elektronit. (19, s. 239–240; 20, s. 25, 29–31, 168; 24.)

Galvaaninen korroosio tarvitsee siis elektronijohteen metallien välille sekä ionipitoisen liuoksen elektrolyytiksi. Hyvin usein elektrolyytinä toimii vesi. Korroosipari, eli anodi ja katodi voivat olla erittäin lähellä toisiaan tai hyvinkin kaukana. Kuitenkin, välimatkan lisääminen heikentää korroosion voimakkuutta. Eri metallien seosteiden jalousasteet voivat vaihdella hyvinkin suuresti perusmetallien jalouksista. Myös metallin muodostaman oksidikerroksen jalous voi joissain tapauksissa olla eri kuin perusmetallin, ja siten aiheuttaa korroosiota perusmetallille tai muille metalleille. Potentiaaliero voi syntyä myös elektrolyytin vaikutuksesta esimerkiksi tilanteessa, jossa kapeassa raossa elektrolyytin happikonsentraatio on pienempi kuin muualla. Tällöin rakometalli muuttuu anodiseksi ja syöpyy. Saman metallikappaleen pinnan syöpymistä tasaisesti kutsutaan yleiseksi tai ilmastolliseksi syöpymiseksi. Silloin metalliin muodostuvat anodi- ja katodikohtiot vaihtavat paikkaansa jatkuvasti. (19, s. 239–240; 20, s. 23, 25, 29–31, 168; 24.)

Galvaanisen korroosion toimintaperiaate eri metallikappaleiden välillä on havainnollistettu kuvassa 11.



KUVA 11. Galvaanisen korroosion periaate (20, s. 30)

Korkean lämpötilan korroosio ei vaadi toteutuakseen nestemäistä elektrolyyttiä, vaan metalli reagoi suoraan kaasumaisen faasin kanssa. Sillä tarkoitetaan siis metallin syöpymistä kuivissa olosuhteissa, kuten savukaasuissa. Korkean lämpötilan korroosio ilmenee materiaalin hapettumisena, "hilseilynä", ja usein se on materiaalin tasaista syöpymistä. Korroosion etenemisnopeuteen vaikuttavat suu-  
restesti metallin pintaan syntyvän oksidikerroksen pysyvyys ja ominaisuudet. Oksidikerroksen syntymistä haastavissa oloissa voidaan parantaa sopivalla metallien seostuksella. Usein seosaineena käytetään kromia, jonka muodostaman kromioksidikerroksen ioninjohtavuus on heikko. Yli tuhannen asteen lämpötiloissa alumiinioksidi tulee tosin paremmaksi korroosiosuojaksi kromioksidin höyrystymisen vuoksi. (1, s. 210–211; 20, s. 178.)

Mikäli kaasufaasi sisältää hapen lisäksi muitakin aktiivisia komponentteja, kuten rikkioksidia, reaktiomekanismit muuttuvat ja korroosionopeus voi kasvaa varsinkin pelkistävässä olosuhteissa, eli kun hapen osapaine kaasufaasissa on alhainen. Rikkioksidi saattaa sopivissa olosuhteissa muodostaa metallin kanssa sulfidia päästessään oksidikerroksen läpi diffundoitumalla tai oksidin vaurioiden kautta. Sulfidikerrokset ovat huokoisia ja niiden ioninjohtokyky on hyvä, minkä lisäksi ne huonontavat muodostuvan oksidin korroosiolta suojaavia ominaisuuksia tekemällä oksidikerroksesta huokoista ja helposti irtoavaa. (1, s. 211; 20, s. 127–128.)

Lämpötilan ollessa tarpeeksi korkea voivat tuhkan sisältämät alkalit olla ensin höyrystyneinä ja tiivistyä vaikkapa tulistinpinnalle. Tämä voi johtaa korroosionopeuden huomattavaan kasvamiseen lähinnä siksi, että nestefaasissa ionien kulunopeus on huomattavasti suurempi kuin kiinteässä. Savukaasun lämpötila olisi siis syytä pitää tuhkan sulamispisteen alapuolella. Muita keinoja korkean lämpötilan korroosion estämiseksi ovat oikeanlaisten materiaalien käyttö oikeissa lämpötiloissa, olosuhteiden muuttaminen mahdollisuuksien mukaan vähemmän korrosoiviksi ja lämmönsiirtopintojen riittävä jäähdytys materiaalilämpöjen nousun ja korrosoivien aineiden rikastumisen estämiseksi. (1, s. 209, 212; 20, s. 127, 178.)

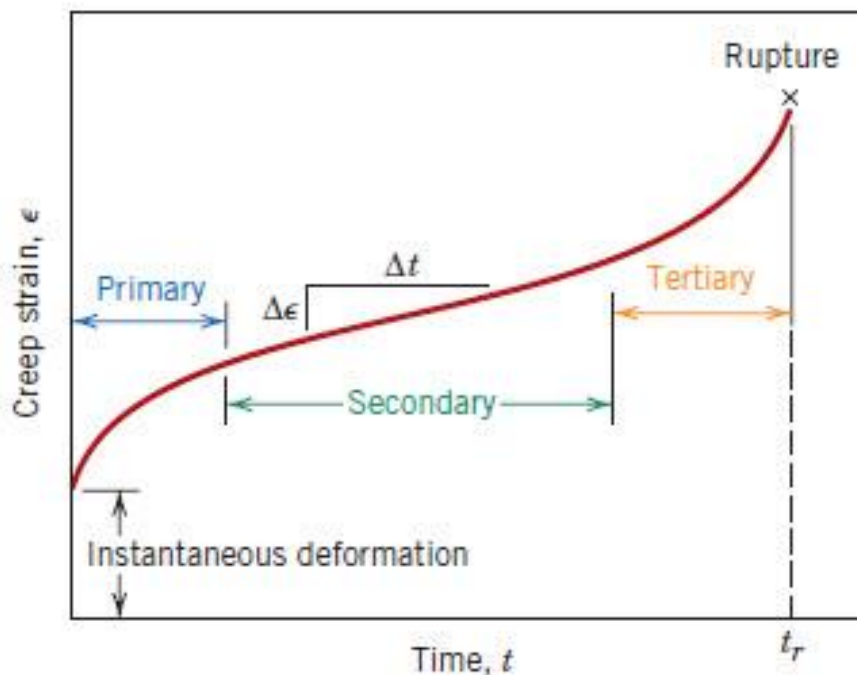
Matalan lämpötilan korroosiota voi muodostua etenkin savukaasukanavan loppupäässä, luvoilla ja piipussa, mikäli savukaasun lämpötila laskee riittävän alas.

Alle 200 °C:een lämpötilassa alkaa muodostua rikkihappohöyryä, jonka tiivistyminen pinnoille alkaa, kun alitetaan happokastepistelämpötila eli noin 150 °C. (1, s. 212.)

### 6.3 Viruminen

Virumisella tarkoitetaan korkeissa lämpötiloissa jännityksen tai kuormituksen materiaaliin aikaansaamaa palautumatonta muodonmuutosta. Viruminen on pitkähkön aikajakson aikana tapahtuva ilmiö ja sen voimakkuuteen vaikuttavat lämpötila, jännitys, materiaalin mikro- ja dislokaatorakenne ja faasien termodynaaminen stabiilisuus. Tietyillä seoksilla virumistaipumukseen voidaan vaikuttaa lämpökäsittelyllä ja muokkauksella. (25; 26, s. 21, 22, 24,)

Kuvan 12 virumiskäyrä havainnollistaa termisesti stabiilin metallin vakio­lämpötilassa ja -jännityksessä tapahtuvan virumisen kolmea vaihetta: primäärinen, sekundäärinen ja tertiäärinen viruminen. Primäärinen viruminen tapahtuu nopeasti heti alussa. Siinä virumisnopeus on hidastuva, todennäköisesti materiaalin dislokaatiotiheyden kasvun johdosta. Sen jälkeen alkaa sekundäärisen virumisen vaihe, jossa virumisnopeus pysyy vakiona pitkälti metallin elpymisen ja muokauslujittumisominaisuuksien vuoksi. Tämän vaiheen perusteella voidaan komponentin halutun käyttöiän perusteella valita sille sopiva materiaali, jonka virumisikä tietyllä kuormituksella on riittävän pitkä. Vakiovirumisvaihetta seuraa tertiäärivirumisen vaihe, jossa virumisnopeus kiihtyy mikrorakennemuutosten, raerajakolojen yhdistymisen sekä säröjen syntymisen vuoksi johtaen lopulta kapaleen murtumiseen. (25; 26, s. 22, 24, 30, 31)



KUVA 12. Virumisen vaiheet (25)

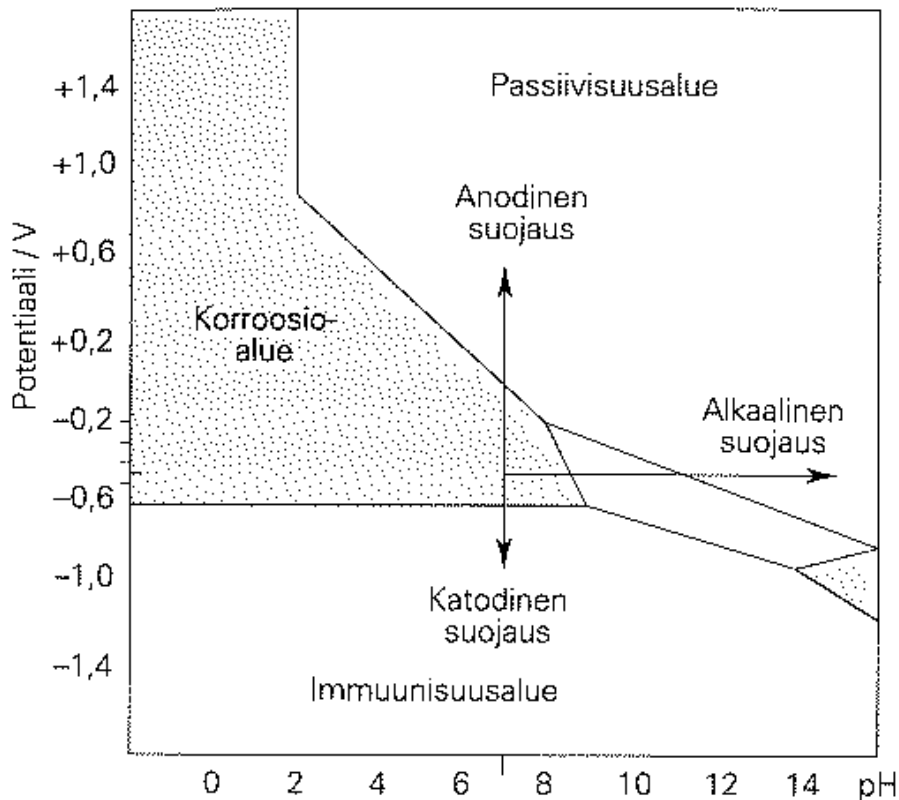
Virumisen hidastamiseksi helpoin keino on usein valita materiaali, jonka virumisnopeus on pieni. Yleensä virumisen aiheuttavia olosuhteita eli korkeaa lämpötilaa ja materiaaliin kohdistuvaa kuormitusta, joka voi johtua vaikkapa höyryputken tai -tukin sisäisestä paineesta, ei ole mahdollista paljонkaan muuttaa.

#### 6.4 Passivointi

Metallien pinnalle muodostuvan suojaavan kalvon syntymistä ja sen korroosiota hidastavaa tai jopa pysäyttävää vaikutusta kutsutaan passivoitumiseksi. Tasainen, tiivis kalvo voi suojata metallia korroosion etenemiseltä erittäin hyvin, mutta mikäli kalvo jostain syystä vaurioituu, voi vauriokohdan paikallinen korroosionopeus kasvaa hyvin suureksi. Passiivikerroksen ei siis tulisi olla liian paksu, koska paksu kerros murtuu ja irtoaa helpommin perusaineen lämpölaajenemismuutosten seurauksena. Passiivikalvon muodostumiseen ja materiaalin syöpymisriskiin voidaan vaikuttaa mm. metallin seostuksella tai olosuhteiden muuttamisella. Olosuhteiden muuttaminen tarkoittaa syövyttävän ympäristön ominaisuuksien muuttamista, kuten syövyttävän aineen tai kosteuden poistamista, hapen syrjäyttämistä inerttikaasulla, inhibiittorien käyttöä tai vesiympäristöissä veden käsittelyä, jolloin sen toimiminen elektrolyytinä vaikeutuu. Inhibiittorien käyttö muodostaa

suojattavalle pinnalle kalvon, jolloin ympäristön syövyttävä vaikutus heikkenee. Prosessivesien käsittelyssä yleisiä keinoja ovat kaasujen ja suolan poisto sekä pH:n nostaminen hieman emäksisen puolelle. Galvaaniselta korroosiolta suojaavia mekanismeja ovat myös sähköiset katodinen ja anodinen suojaus, materiaalin pinnoitus ja epäjalon uhrimetallin käyttö. (19, s. 243–245; 20, s. 231, 796–797.)

Kuvassa 13 on esitetty Pourbaix'n diagrammi raudalle. Pourbaix-diagrammi on sähkökemiallinen tasapainopiirros, jonka perusajatus on selvittää reaktioyhtälöiden ja termodynaamisten arvojen avulla materiaalin stabiilisuusalueet. Piirroksia on luotu eri metalleille ja metalliseoksille, ja vaikka ne ovatkin teoreettisia, on niistä usein hyötyä lähdeettäessä selvittämään esimerkiksi materiaalin passivoitumismahdollisuuksia. Diagrammissa korroosioalueelta pois liikuttaessa, joko potentiaali tai alkaliteettiä muuttamalla, päästään alueelle, jossa rauta joko passiivoituu tai on immuuni eli säilyy metallisessa muodossaan. (20, s. 20.)



KUVA 13. Raudan Pourbaix-diagrammi 25 °C:ssa vedessä (19, s. 244)



## 6.5 Vesikemian merkitys

Kattilalaitoksen vesikemialla on kattiloiden sekä niihin liittyvien komponenttien, turbiinien ynnä muiden prosessilaitteiden käytettävyyden sekä käyttöiän kannalta valtava merkitys. Huono vesikemia voi johtaa suurin ongelmiin jo lyhyelläkin aikavälillä, ja niiden estämiseksi täytyy veden laatu pitää kattilalle suotuisana puhdistamalla ja kemikalisoinnilla. Jokainen kattila on oma yksilönsä eikä samanlainen vesi käy kaikille kattiloille. Muutokset vesikemiassa, esimerkiksi uuden kemikaalin koeajo, tulee tehdä hitaasti ja vaikutuksia maltillisesti seuraten.

Voimalaitosveden puhdistuksessa käytetään yleensä mahdollisen mekaanisen puhdistuksen ja suodatuksen jälkeen suolanpoistoon ioninvaihdinsarjaa, käänteisosmoositekniikkaa (RO, Reverse Osmosis) tai molempia. Myös uudempia tekniikoita, kuten elektrodeionisaatiota (EDI), voidaan käyttää varmistamaan suolojen poisto. Täyssuolanpoiston tarkoitus on saada vesi mahdollisimman ionivapaaksi, jottei se toimisi elektrolyytinä putkistoissa ja näin edistäisi korroosiota. Vedestä poistetaan lisäksi kaasut, kuten happi termisellä kaasunpoistolla ja kemikalisoinnilla, minkä lisäksi kemikaaleja käytetään mm. veden pH:n säätöön ja ehkäisemään epäpuhtauksien saostumista kattilaputkiin. Veteen rikastuvien mineraalien ja muiden epäpuhtauksien poistoa varten on lieriöstä myös jatkuva ulospuhallus, eli pieni osa kattilavedestä ohjataan lieriöstä ulospuhallussäiliöön ja siitä viemäriin.

Kattilaveden pH on yleensä välillä 7,5–9,5, eli se on hieman emäksistä johtuen alkaliteetin korroosiota pienentävästä vaikutuksesta. Liian emäksinen kattilavesi voi tosin aiheuttaa kuohumista, mikä voi johtaa nestepisaroiden joutumiseen tulistimiin ja kerrostumien syntymiseen tulistinputkiin. pH-arvoa pidetään yllä syötämällä sopivaa alkalointikemikaalia, kuten ammoniakkia. (1, s. 307.)

Sopivien kerrostumien muodostumisesta on hyötyä. Kattilavedessä oleva kiinteä rauta palaa kiinni kattilaputkien sisäpintoihin sekä lieriöön ja muodostaa siten tummanharmaan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-oksidikalvon, jota kutsutaan magnetiitiksi. Magnetiitti suojaa putkia tehokkaasti korrodoitumiselta. Kalvo ei saa kasvaa liian paksuksi, sillä se voi alkaa heikentää putkien lämmönsiirto-ominaisuuksia ja siten nostaa lämpöpintojen lämpötilaa ja aiheuttaa kuumakorroosiota. Liian paksusta kalvosta

saattaa myös irtoilla etenkin lämpötilamuutosten yhteydessä rautaputken ja magnetiitin välisten jännitysten vuoksi palasia, jotka voivat aiheuttaa kulumista joutuessaan esimerkiksi turbiinin siivistöön. Magnetiittikalvon sopivaan paksuuteen vaikuttaa erittäin suuresti vesikemian onnistuminen. Kun uusi kattila otetaan käyttöön, se peitataan, mikä tarkoittaa, että kattilaputkistosta poistetaan kemiallisesti epäpuhtaudet, kuten ruoste, rasva ja metallikuona sekä luodaan magnetiittikalvo mahdollisimman nopeasti puhdistuksen jälkeen. Peittaukseen kuuluu useita eri vaiheita eri peittäusaineilla; tyypillisesti peittäuskäsittelyjä tehdään sekä emäksisillä aineilla että hapoilla, käsittelyiden välillä huuhdellen ja lopuksi neutraloiden. Viimeisen huuhtelun jälkeen kehitetään magnetiittikalvo sopivalla kattilan ajo-ohjelmalla. (1, s. 297, 307; 4)

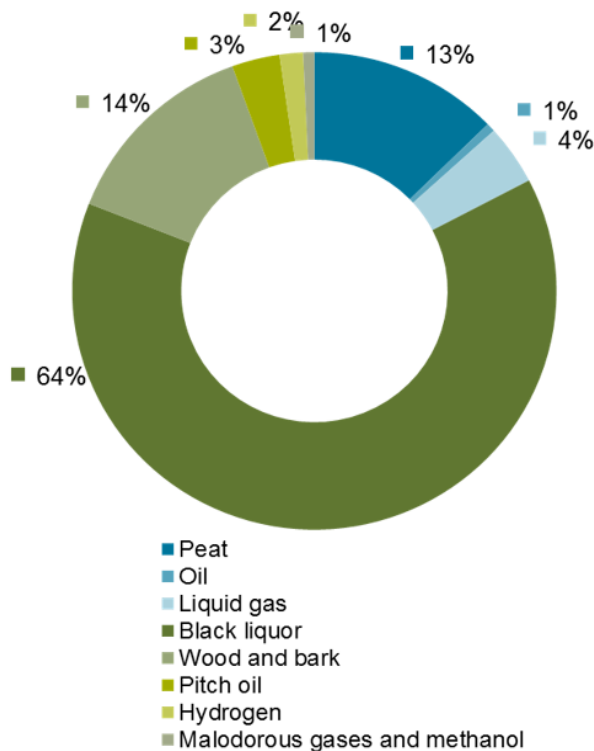
## 7 KATTILA K3

Stora Enso Oulu Oy:n kattila K3 on ylhäältä ripustettu luonnonkierrolla toimiva leijupetikattila. Sen lämpöteho on 246 MW, maksimihöyrykuorma leijupoltolla 95 kg/s ja tuorehöyryn arvot 90 bar ja 525 °C. Polttoaineenaan se käyttää tehtaan kuorimolta tulevaa havupuun kuorta, purua sekä kuivattua aktiivilietelaitoksen biolietettä. Kattilassa poltetaan myös jrsinturvetta, metsähaketta ja tehdasalueella syntynyttä polttokelpoista keräilyjätettä sekä vara- ja käynnistyspolttoaineena polttoöljyä ja mäntypikeä. Kattila on Kvaerner Pulping Oy:n valmistama, ja se on otettu käyttöön 1997. Sivukuva kattilasta on liitteenä 1.

K3 toimii tehdasalueen höyryverkossa säätökattilana, eli se seuraa höyryakun painetta, jonka mukaan kattilan kuorma säätyy. Höyryverkon eri painetasoja ovat 100/85 baarin korkeapaineverkko, 10 baarin välipaineverkko ja 2 baarin matalapaineverkko. Höyryverkossa on kaksi väliotoilla varustettua vastapaineturbiinia, joilla tuotetaan noin 60 % tehdasalueen tarvitsemasta sähköenergiasta. Prosesihöyryä verkosta ottavat Stora Enson sellu- ja paperitehtaat sekä alueen kemianteollisuus. Höyryllä tuotetaan myös kaukolämpöä Oulun Energialle kaukolämmönvaihtimella, jonka maksimiteho on 100 MW. Verkoston höyrynkulutuksen muutoksissa höyryakku toimii nopeana reservinä äkillisiin höyryn kulutuspiikkeihin, kun taas yhtäkkisten höyrynkulutuksen romahtamisten varalla on apulauhdutin, jolla voidaan tarvittaessa lauhduttaa ylimääräinen höyry sen aikaa, että kattilan höyryntuotanto sopeutuu verkoston kysyntään. Höyryakkua ladataan välipainehöyryllä, ja kun akun paine laskee sen pitäessä yllä höyryverkon painetta eli purkautuessa matalapaineverkkoon, kasvaa kattila K3:n kuorma. Kulutuksen muutokset voivat aiheutua esimerkiksi tuotantokatkosta paperikoneella, joka on suuri höyrynkuluttaja. Tehtaan höyrykaavio on esitetty liitteessä 2.

Voimalaitoksen toinen korkeapainehöyryä tuottava vesiputkikattila, vuonna 1987 käyttöön otettu soodakattila 7 ajaa peruskuormaa. SK7:n höyrykehitykseen vaikuttaa poltettavan mustalipeän määrä, joka taas riippuu pohjimmiltaan sellunkeiton tuotantokapasiteetista. Tukipolttoaineena kattilassa käytetään polttoöljyä tai mäntypikeä, lähinnä ylös- ja alasajotilanteissa. Lipeäpoltolla soodakattila 7:n

maksimi höyrykehitys on noin 90 kg/s. Lisäksi voimalaitokseen kuuluu hajukaasukattila, joka on tulitorvi-tuliputkityyppinen kattila. Siinä poltetaan prosesseissa syntyviä väkeviä hajukaasuja ja metanolia. Kuvassa 14 on Oulun tehtaan energian tuotannossa käytettyjen polttoaineiden prosenttiosuudet vuonna 2014. (4; 27.)



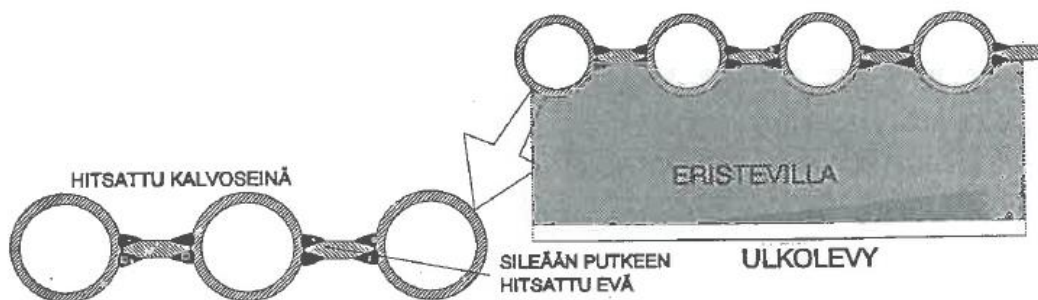
KUVA 14. Stora Enso Oulu Oy:n voimalaitoksen käyttämät polttoaineet vuonna 2014 (28)

### 7.1 K3:n toimintakuvaus

Kattila K3:n tarvitsema palamisilma imetään kattilahuoneen yläosasta sekä ulkoa johtosiipisäätöisellä primääri- eli leijuilmapuhaltimella sekä kierrosnopeussäätöisellä sekundääri-ilmapuhaltimella. Osa sekundääri-ilmasta johdetaan tertiääri-ilmaksi. Primääri-ilma jakautuu ilmalaatikon välityksellä hiekkakerroksen alle leijuilmasuuttimiin, joita kattilan pohjassa on yhteensä 4173 kappaletta. Sekundääri- ja tertiääri-ilma syötetään tulipesään etu- ja takaseiniltä. Palamisilman esilämmitystä varten on savukaasukanavan luvotornissa sileäputkiluvot leiju- ja sekundääri-ilmalle. Savukaasuluvojen lisäksi molemmille on myös höyryluvot, joita

voidaan käyttää rikkihappokorroosion välttämiseksi, mikäli savukaasun loppulämpötila uhkaa laskea liiaksi. Höyryluvojen lämmityshöyrynä voidaan käyttää matala- tai välipainehöyryä. (4; 27.)

Syöttövesipumppuja kattilalla on kaksi rinnakkain, joista toinen on käytössä ja toinen varalla. Syvepumppu 1 on taajuusmuuttajaohjattu, kun taas syvepumppu 2:n kierrosnopeus säädetään nestekytkimellä. Syvepumput pumppaavat syöttöveden korkeapaine-esilämmittimiin, joissa lämmittävänä aineena toimii välipainehöyry. KP-esilämmittimistä syöttövesi menee neliosaiseen, höyrystävään ekonomaiseriin. Ekot 1 ja 2 ovat ripaputkityyppisiä ja 3 ja 4 sileäputkiekoja ja ne sijaitsevat kattilan toisen vedon yläosassa. Ekonomaisereista vesi johdetaan lieeriön, josta se laskeutuu laskuputkia pitkin kattilakiertoihin höyrystettäväksi. Kattilan tulipesän seinäputkiin vesi jakaantuu taka-, oikean ja vasemman seinän jakokammioista. Seinäputket ovat yhteen hitsattuja, nimellismitoiltaan 60,3 x 6,3 mm, ja ne muodostavat kaasutiiviin membraaniputkiseinämän, jonka rakenteellinen periaate selviää kuvan 15 poikkileikkauksesta. Lisäksi kattila K3:ssa on erillinen, etuseinän yläosassa sijaitseva höyrystinelementtiputkisto, jonka vesi-höyrykierto tapahtuu lieeriöstä luonnonkiertoisesti. (4; 27.)



KUVA 15. Membraaniputkiseinän rakenne (1, s. 186)

Kylläinen höyry jatkaa matkaansa lieriön yläosasta kohti kolmivaiheista tulistusta. Primääritulistimen alkuosa muodostuu tulipesän kattoputkista sekä toisen vedon katosta ja seinien yläosien putkista. Varsinainen primääritulistin on kaksiosainen, sijaiten osaksi toisessa vedossa ja osin kattilan nokan yläpuolella. Primääritulistin 1:ssä tulistinelementtejä on 90 kpl ja 2:ssa 45 kpl. Sekundääritulistin sijaitsee tulipesän yläosassa ja on tyypiltään säteilytulistin. Tulistinelementtejä siinä on 22

kpl. Tertiäritulistin on sijoitettu nokan yläpuolelle primääri- ja sekundäritulistimien väliin, ja se on tyypiltään konvektiotulistin 45 elementillään. Primääri- ja sekundärivera-aikeiden sekä sekundääri- ja tertiärivera-aikeiden välissä on ruiskutusvesijähdytys, jolla säädetään tulistetun höyryn lämpötilaa. Ruiskutusvetenä käytetään syöttövettä. (4; 27.)

Tulistinpaketit, ekonomaiserit sekä savukaasuluvot pidetään puhtaina höyrynuohouksella. Nuohoushöyry otetaan primääritulistimen kokoojatukilta ja sen paine pudotetaan paineenalennusventtiilillä nuohoukselle sopivaksi; tulistinputket nuohotaan noin 25 baarin, ekot 18 baarin ja luvot 17 baarin höyrynpaineella. (4; 27.)

Polttoaine kattilalle tulee voimalaitosalueen biopolttoainekentältä sekä turvesiilosta. Polttoaineen annostelua varten kattilan oikealla ja vasemmalla puolella on syöttölinjat, joilla on omat polttoainesiilonsa. Siiloissa biopolttoaine sekä turve sekoittuvat. Polttoaine syötetään kattilaan kolakuljettimen, syöttöruuvien sekä sulkusyöttimien avulla. Polttoaineen pudotusta varten oikealla ja vasemmalla seinällä on kolme pudotustorvea, jotka syöttävät polttoaineen leijupedin yläpuolelle. Kattilan pohjassa on 24 karkeanpoistoputkea, joiden kautta automaation ohjaamana poistetaan pedistä pohjatuhkaa ja sekä leijumatonta ainesta. (4; 27.)

## **7.2 Kunnossapito ja tarkastukset**

Stora Enso Oulu Oy:n tehtaalla kunnossapito-organisaationa toimii Stora Enson omistama Efora Oy. Lisäksi huoltotoimissa ja tarkastuksissa käytetään ulkopuolisia palveluntoimittajia.

K3 on ollut koko käyttöikänsä ajan varsin luotettava ja hyvin toimiva kattila, eikä siihen juuri ole tarvinnut tehdä suurempia rakenteellisia muutoksia käyttöönoton jälkeen. Ensimmäisinä vuosina käyttöönotosta kattilan painerunkoa on muutama otteeseen hieman seinäputkien osalta muutettu käyttökokemusten perusteella. Noissa toimenpiteissä esimerkiksi sekundääri-ilman jakoa sekä muita aukkoja painerungossa on muutettu. Lisäksi kattilalle on tehty pienempiä muutoksia ja parannuksia sujuvan käytön varmistamiseksi.

Suurimpiin korjauksiin ja muutoksiin lukeutuvat yhden tertiäritulistinelementin poisto vuonna 2004, uuden elementin asennus vuonna 2014 sekä yhden sekundaäritulistinelementin vaihto vuonna 2015. Tertiärielementti vaurioitui vuonna 2004 primääritulistin 2:n vuodon seurauksena. Syy primääritulistimen putkien puhkeamiseen oli nuohoussekvenssin liian lyhyt lämmitysaika, johtuen nuohouslinjaan jääneiden lauhdepisaroiden iskeytymiseen tulistinputkiin ja eroosion syntymiseen. Lopulta primääritulistin 2:een tuli vuoto kolmeen putkeen, joista höyry puhalsi savukaasuvirtaa vasten, kohti tertiäritulistin 2:n putkia, aiheuttaen myös sen vaurioitumisen. Vaurion jälkeen nuohoussekvenssiin tehtiin muutoksia.

Vuonna 2017 asennettiin SNCR-järjestelmä kattilan päästöjen pienentämiseksi. SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction) pienentää poltossa syntyvien typen oksidien määrää kemiallisien reaktioiden avulla, joita syntyy ruiskutettaessa tulipesään reagenssia, eli ammoniakkia tai ureaa. SNCR-ruiskuja kattilaan K3 asennettiin kolmeen eri tasoon yhteensä 27 kpl, lisäksi tehtiin viisi lämpötilanmittausaukkoa ja yksi aukko tulipesäkameraa varten.

K3 on käytössä huoltoseisokkeja lukuun ottamatta käytännössä koko ajan. Sillä ajetaan yleensä osakuormilla, kesäaikana jopa minimikuormilla, kun lämmöntarve on vähäistä. Noin viikon mittainen huoltoseisokki pidetään vuosittain. Painelaitteena kattila K3:a koskevat myös painelaitelain mukaiset määräajoin järjestettävät viranomaistarkastukset.

Vuosiseisokissa tehdään lukuisia kuntotarkastuksia kattilan eri osille. Kattavalla NDT:llä pysytään ajan tasalla kattilan kunnan seurannassa sekä voidaan ehkäistä vaurioita ja niistä mahdollisesti koituvia yllätysseisokkeja. Komponentteja, joille NDT:tä suoritetaan ovat mm. paineenalaiset osat sekä painerunkoon liittyvät rakenteet, ilma- ja savukaasukanavat sekä -puhaltimet, sekä kattilan pohja- ja lentotuhkan poistolaitteet. K3:lla yleisimpiä menetelmiä kunnonselvitykseen ovat visuaalinen tarkastus, ultraäänipaksuusmittaus, magneettijauhetaarkastus, tunkeumanestetarkastus sekä radiografinen tarkastus. Paksuusmittauksia suoritetaan seinä-, tulistin-, eko- ja luvoputkille, jotta saadaan selville mahdolliset putkiohentumat. Usein seisokeissa putkissa havaitaankin seinämän ohentumia ja

niitä vaihdetaan uusiin tai täytehitsataan. Tulistinputket ovat kovassa lämpötilassa, minkä lisäksi niitä kuluttaa savukaasun mukana kulkeva lentotuhka sekä höyrynuohous. Luvoputket taas ovat alttiita savukaasun aiheuttamalle happokorroosiolle etenkin luvopakettin kylmässä päässä. Muita yleisiä huoltokohteita seisokeissa ovat leijuilmasuuttimet, tulipesän muuraukset, polttoaineen pudotustorvien loppupäät, nuohoimet ja karkea-aineksen poistoputkien liitossaumat painerunkoon.

### **7.3 K3:n elinkaari**

Valmistajan määrittelemä käyttöikä kattila 3:lle on virumislujuuden perusteella laskettu 200 000 tuntia, ja tällä hetkellä kattilan käyttötunnit ovat noin 170 000 tunnin paikkeilla. Painelaitteen käyttötuntien saavuttaessa suunnitellun enimmäismäärän vaatii painelaitteviranomaisen laajempaa tarkastusta laitteen turvallisen käytön jatkamiseksi. Kattavaan elinkaariselvitykseen kuuluvat mm. yhteenvedot kattilalle tehdyistä korjauksista ja muutoksista sekä kriittisimpien komponenttien näytepala-analyyssejä. Materiaalinäytteiden ja -jäljenteiden perusteella pystytään analysoimaan metallurgisia muutoksia kattilan materiaaleissa. Dokumentoitujen korjausraporttien avulla voidaan tarkastella eri komponenttien vikaantumisherkkyyttä ja suunnitella sopiva tarkastusohjelma kattavan kunnonvalvonnan takaamiseksi. Elinkaarimalliin sisältyvien selvityksien perusteella voidaan arvioida komponenttien uusimistarvetta ja lopulta koko kattilan jäljellä olevaa käyttöikä. Kattilan tehokkaan käytön ja käyttöiän maksimoimisen vuoksi laitteen käyttötuntien kasvaessa järjestelmällinen kunnonvalvonta muodostuu siis hyvin tärkeäksi, ja tarkastusten ja testausten tiheyttä voi olla syytä kasvattaa.

Kattila 3:n tulistimille tehtiin vuonna 2017 elinkaaritutkimus, joka yhdessä vuosittaisten NDT-tarkastusten kanssa auttaa luomaan kokonaiskuvaa tulistinrakenteen sen hetkisestä kunnosta. Elinikätarkastuksen suoritti Replico Oy, ja se toteutettiin jäljennetarkastuksina ja kovuusmittauksina, joilla selvitettiin tulistinmateriaalien mahdollista virumista. Tarkastuksen mukaan yksittäisiä raerajakoloja pidemmälle edenneitä virumisvaurioita ei ollut, ja mitatut kovuudet olivat standardin määrittelemien raja-arvojen sisällä. Sekundääritulistimen yhdessä tarkaste-



tussa elementissä havaittiin mikrorakennetutkimuksessa raerajoilla runsaasti karbideja sekä vierasta, mahdollisesti sigmafaasia. Tutkimuksen perusteella sekundaaritulistimelle olisi syytä suorittaa myöhemmin kattavampi elinikä tarkastus.

## 8 DOKUMENTOINTITYÖKALU KATTILA K3:LLE

Tehtävä selvitystyö rajattiin koskemaan K3:n painerunkoa ja siihen liittyviä rakenteita sekä tärkeimpiä paineenalaisia osia. Kattilan historiaa lähdettiin selvittämään tehtaan painelaittearkistoa tutkimalla. Korjaus- ja tarkastuskertomuksia alettiin dokumentoimaan sähköiseen muotoon ja muotoilemaan niistä käyttäjätasvällistä ja selkeää työkalua kattilan käytönvalvojien, käyttäjien sekä kunnossapito-organisaation henkilöstön tarpeisiin. Kertomuksista poimittiin olennaisimmat tiedot, kuten työn suoritus aika, suorittaneen tahon nimi, kuvaus työstä sekä siihen liittyvät piirustuksien ja pöytäkirjojen numerot sekä muut olennaiset dokumentit. Piirustuksia muutettiin myös sähköiseen muotoon ja liitettiin suoraan Excel-työkaluun.

Haasteita työn edetessä tuotti löytää osaa tarvittavasta materiaalista. Painelaittearkiston ohella materiaalia on arkistoitu ainakin K3:n toimistotiloissa sijaitsevaan arkistohuoneeseen sekä soodakattila 7:n toimistotiloihin. Lopulliseen työhön jäikin huoltohistorian kohdalle hieman arveluttavia aukkoja, sillä vaikka kattila onkin toiminut hyvin vailla suurempia huoltotarpeita, oli dokumentoinnissa liian pitkiä välejä ilman minkäänlaista kirjattua kunnossapitotoimenpidettä. Voimallaitoksen osastomestareina ja kattilalaitoksen käytönvalvojina on K3:n elinkaaren aikana toiminut useita eri henkilöitä, joiden työtavat ja käytännöt ovat eronneet merkittävästikin toisistaan myös tietojen dokumentoinnin ja arkistoinnin osalta. Nykyisin sähköisenä toiminnanohjausjärjestelmänä tehtaalla on SAP. Kattilan käytön alkuaikoina käytössä olleet sähköiset kunnossapidon hallintajärjestelmät ovat muuttuneet useaan kertaan ja kaikkea niissä ollutta tietoa ei enää löydy. Epäselviksi jääneet aukot sijoittuivat kuitenkin kattilan vajaan kymmeneen ensimmäiseen käyttövuoteen, joten niihin sisältyneillä kunnossapitotoimilla todettiin olevan suhteellisen pieni merkitys nykypäivän kannalta.

Useassa tapauksessa tuli todettua etenkin vanhempien korjauskertomusten raportoinnin ylimalkaisuus ja jopa suoranainen puutteellisuus, joiden seurauksena tarkkaa käsitystä tehdystä työstä oli vaikea kertomuksen perusteella muodostaa. Tällöin oli etsittävä lisätietoja NDT-raporteista, mikäli sellaisia oli laadittu, ja usein myös piirustuksista, PI-kaavioista sekä fyysisesti itse kattilaa tai komponentteja

tarkastellen. Tänä päivänä korjausten suunnittelu ja raportointi on onneksi huomattavasti paremmalla tasolla.


Käytettävissä olevien ja selvitettyjen tietojen pohjalta muodostui mittava Excel-työkalu, johon sisältyivät kattilan käytön aikaiset korjaukset, NDT-tarkastukset, viranomaistarkastukset sekä hyödyllisiä tietoja ja kuvia kattilasta. Kuvakaappaus työkalun korjauksia käsittelevältä sivulta on kuvassa 16. Käyttäjystävällisyys toteutettiin pitämällä työkalu yksinkertaisena ja selkeänä tiedon etsimisen ja uusien tietojen lisäämisen kannalta. Korjausvälilehden tapahtumiin määritettiin linkitykset suoraan oikeaan tarkastustapahtumaan NDT-välilehdellä. Käytön sujuvoittamiseksi tehtiin myös navigointipainikkeita työkirjan välilehdillä liikkumiseen sekä tiedon etsimiseen. Painikkeet toimivat kaavapohjaisten linkityksien sekä Excel Visual Basic for Applications -koodien perusteella.

**K3 korjaushistoria**

Haku

NDT Viranomaistarkastukset Putkimater. ja -mitat Tulistimien materiaaliarajat Mittalinjat Nuohokartta

YLÖS ALAS



Päivämäärä	Tekijä	Kohde	Kuvaus	Kansio	Piirustusnumero	Muuta	Tarkastukset	NDT-pöytäkirjan nro
10.8.2015	Foster Wheeler Energia Oy	Syöttövesilinja	Syöttövesilinjan säätöventtiili 19FV105.1 vaihto	Korjaus- ja muutostyöt 10-14.08.2015 Työnro 40113887300, 40113949000	216588		NDT	JPE01-15-399, JPE01-15-400
12.8.2015	KL-Company Oy	KP-esilämmittimet	KP-esilämmittin 1 vaihto ja putkistotyöt	KL-Company Oy, Syöttöveden korkeapaine-esilämmittin (voimalaitos 3) vaihto ja putkistotyöt 2015	1469631		NDT	WO-00103931-001, WO-00103931-002, WO-00103931-003, WO-00103931-004
20.5.2016	Valmet	Höyryluvo	Sekundääri-ilman esilämmittimen höyryputkiston muutostyöt	K3 höyryluvon vaihto	P00378003, P00378004		NDT	JEH02-16-014, MSU01-16-028, MSU01-16-027
23.5.2016	Foster Wheeler Energia Oy	Tertääritulistin	Keskimmäisten sisälenkkien uusinta, elementit nro 12,29,35,36, K10CrMoVNb91	K3-kattila Korjaus- ja muutostyöt 23.5.-26.5.2016 Työnro 40114166300		Kuva	NDT	MSU01-16-025, STY01-16-001
26.5.2016	Valmet	Primääritulistin 2	25.5. tarkastuksen perusteella mittalinjalle 503 putkien vaihto 3kpl (25,25,38), mat. 13CrMo4-5. Noin 800mm	Painealiteasiakirjakansio; K3 seisokki vko 21/2016	P00379388		NDT	MSU01-16-026
26.5.2016	Valmet	Tertääritulistin 2	Mittalinjalle 411 suorien putkien vaihto 5kpl (4,6,7,12,13), mat. AC66, noin 800mm pitkiä ptkkiä.	621100 SEOU2016	P00379388		NDT	MSU01-16-033
29.5.2017	Valmet	SNCR	Tulipesän seinäin +17,300, +22,000 ja +26,000, tehtävät muutokset: SNCR-aukkoja 27kpl, lämpötilanmittausaukkoja 5kpl, kamera-aukko 1kpl	130142 OUKSNCR Stora Enso Oy, Oulu	P00468564, P00468565, P00468566, P00468567	P00451622, P00451623, P00451624	NDT	JPE02-17-088, JPE02-17-089, JPE02-17-090, JPE02-17-091
1.6.2017	Valmet	Primääritulistin 2	29.5. tarkastuksen perusteella vaihdettavaksi 18 putkea (n. 400mm), mat. 13CrMo4-5, sekä 20 vauriokohdan	seisakkiytöt K3-kattilalla vko 22, 28.6.2017	P00468451	Primääritulistin 2	NDT	JEH02-017-170, JPE02-17-094
14.5.2018	Valmet	Päähöyrylinja	LK119-HKP-400 putken näyteenottoalijan juurventtiiliin (2 kpl) vaihto (7.krs)	624508 EFOU2018 Efora Oy, Nuottasaaren tehtaat	P00581681		NDT	MSU02-18-055, MSU02-18-056
14.5.2018	Valmet	Päähöyrylinja	Turbiinille T6 tulevan päähöyryalijan (turb. sali 2. krs) ilmausventtiilien TG1059 TG1060 vaihto.	624508 EFOU2018 Efora Oy, Nuottasaaren tehtaat	P00581492		NDT	MSU02-18-061, MSU02-18-062
14.5.2018	Valmet	Reduktiot	R4.1, R4.2, R5 lämmitysventtiilien hitsaus (turb. sali. 4. krs).	624508 EFOU2018 Efora Oy, Nuottasaaren tehtaat	P00580540		NDT	MSU02-18-063, MSU02-18-064
14.5.2018	Valmet	Reduktiot	R5 höyry- ja vesiliittaintöjen hitsaus (turb. sali. 4. krs).	624508 EFOU2018 Efora Oy, Nuottasaaren tehtaat	P00577537		NDT	MSU02-18-065, MSU02-18-066
14.5.2018	Valmet	Reduktiot	R4.2 höyry- ja vesiliittaintöjen hitsaus (turb. sali. 4. krs).	624508 EFOU2018 Efora Oy, Nuottasaaren tehtaat	P00577537		NDT	MSU02-18-067, MSU02-18-068

KUVA 16. Kuvakaappaus Excel-työkirjasta

Viranomaistarkastuksia koskevaan välilehteen koottiin kaikki dokumentoidut määräaikaistarkastukset ja korjaustöiden johdosta tehdyt muutostarkastukset. Näistä tarkastuksista laaditut pöytäkirjat myös muutettiin sähköisiksi ja liitettiin

taulukon yhteyteen nopean tarkastelun ja mahdollisen todentamisen helpottamiseksi.

Työkirjaan koottiin myös kartat kattilan nuohoimista ja mittalinjoista. Mittalinjat ovat määritettyjä kohtia lämmönsiirtoputkissa, joihin kohdistetaan seinämänpaksuusmittauksia seisokeissa. Mittalinjoja on seinäputkissa yhteensä 6 kpl, höyrystinelementissä 2 kpl, tulistimissa 6–11 kpl kussakin, hilaputkissa 1 kpl, sileäputkikoissa yhteensä 7 kpl ja luvoissa yhteensä 10 kpl. Mittalinjojen lisäksi seinämänvahvuuksia mitataan pistokokein myös muualta ja aina mikäli visuaalinen tarkastus antaa indikaatiota mahdollisesta putken materiaalihävikistä. Mittalinjat on usein sijoitettu nuohointen vaikutusalueelle, koska siellä materiaalihäviö on monesti eroosion vuoksi suurempaa. Tästä huolimatta on syytä myös havainnoida ja suorittaa tarkastuksia seinämänvahvuuksille myös täysin satunnaisesti eikä sokeasti tukeutua vain mittalinjoihin, jotta löydetään myös esimerkiksi lentotuhkaeroosion aiheuttamia mahdollisesti yllättäviäkin kulumakohtia.

Lisäksi työssä koottiin kartta tulistinmateriaalien osalta ja kuvan 17 listaus kattilaputkien sekä tulistinputkien, -kammioiden ja -siteiden materiaaleista. Näiden tarkoituksena on helpottaa korjaus- ja tarkastustoimia, kun voidaan nopeasti selvittää halutun putken materiaali ja nimellismitta. Vuosien aikana muutoksia alkuperäisiin materiaaleihin on hieman tullut putkien uusimisen seurauksena, joten oli paikallaan tehdä katsaus nykytilaan ja luoda ajan tasalla oleva listaus ja kartta materiaalarajoista. Lista on tosin tehty vain löydettyjen tietojen perusteella käyttäen lähteinä kattilan valmistajan alkuperäistä painelaitedokumentaatiota sekä tehtyjen korjausten asiakirjoja. Hämärän peittoon jääneiden aikavälien osalta tehtyistä korjauksista ei siis luonnollisesti ole varmuutta.

### K3 putkimateriaaleja ja mittoja

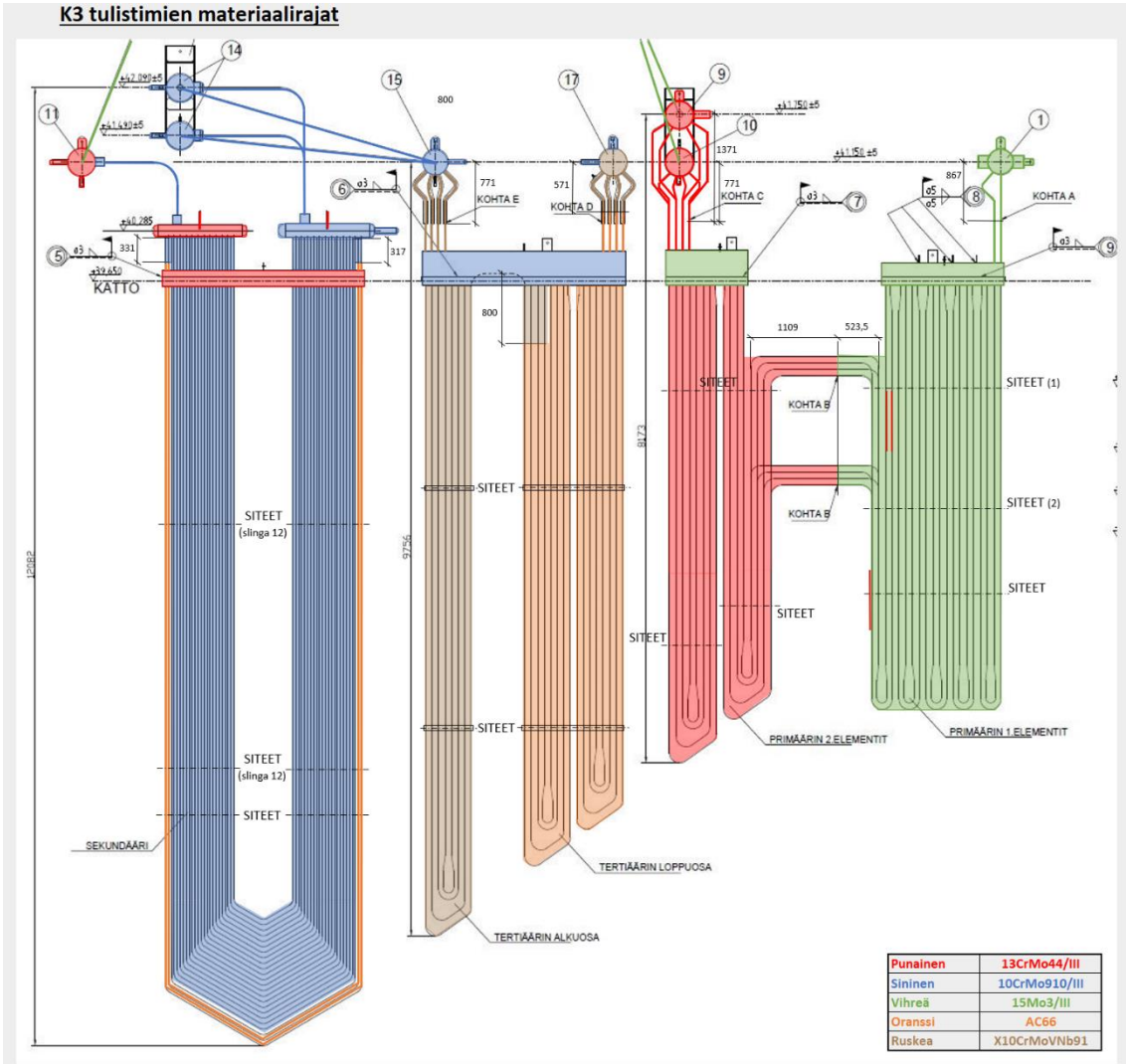


Korjaukset NDT Viranomais-tarkastukset Tulistimien materiaalarajat Mittalinjat Nuohoin-kartta

	Materiaali	Nimellismitat	Laskennallinen minimiseinämänpaksuus, mm						Max käyttöpaino, bar	Max sisällön lämpötila, C	Siteet	Tulistinkammioden materiaalit		
			Suora putki	Putkitavutus			Max käyttöpaino, bar	Max sisällön lämpötila, C				Jako	Kokoja	Ruisutus
				Säde	Sisäkehä	Ulkokehä								
Seinäputket	St 45.8/III	60,3 x 6,3	3,93	R 110	6,4	5,1	125	328						
Pohjan putket	St 45.8/III	76,1 x 8,0	4,96	R 152	6,1	5,2	125	328						
Höyrystin	St 45.8/III	48,3 x 5,0	2,9	R 140	4,9	4,3	125	328						
Primääritulistin 1	15Mo3/III	48,3 x 4,5	2,61	R 65	3,4	4,8	125	440	10CrMo910/III	Side	15Mo3/III			
Primääritulistin 2	13CrMo44/III	48,3 x 5,6	3,22	R 130	4,2	3,6	125	440	Nicrofer 3127 LC	Side		13CrMo44/III		
Sekundääritulistin	10CrMo910/III	31,8 x 6,3	4,3	R 50	4,6	3,6	125	510	AISI 316L	Side	13CrMo44/III	10CrMo910/III		
uloimmat 2 lenkkiä	AC66	31,8 x 5,0	3,0	R 95	6,2	5,2	125	510				10CrMo910/III		
slinga 12	10CrMo910	31,8 x 6,3	4,3	R 80	5,8	5,0	125	510	253MA	Side (slinga 12)				
Tertääritulistin 1	X10CrMoVNB91	44,5 x 4,5	2,7	R 67,5	4,7	3,5	125	525	Nicrofer 3127LC	Side	10CrMo910/III			
Tertääritulistin 2	AC66	44,5 x 6,3	4,2	R 124	4,3	3,7	125	525	235MA (slinga 22)	Side (slinga 22)		X10CrMoVNB91		
Kattoputket	13CrMo44/III	51,0 x 5,6	2,23	R 120	3,8	3,2	125	350			15Mo3/III			
2. vedon katto ja takaseinä	St 45.8/III	51,0 x 5,6	3,36	R 120	5,1	4,2	125	350				15Mo3/III		
2. vedon shuseinät	St 45.8/III	60,3 x 6,3	3,97	R 152	5,8	4,8	125	350				15Mo3/III		
Hilaputket	St 45.8/III	60,3 x 6,3	3,82	R 152	6,0	5,1	125	328				15Mo3/III		
Kylläisen höyryn putket	St 45.8/III	168,3 x 14,2	9,98	R 500	12,2	10,2	125	328						
Eko 1/2	St 45.8/III	38,0 x 4,5	2,39	R 39,5	4,5	3,0	125	328						
Eko 3/4	St 45.8/III	38,0 x 4,5	2,39	R 50,8	4,1	3,1	125	328						
Leijuluvo 1	Fe37	48,3 x 2,6		R 38,1	5,5	3,5	125	328						
Leijuluvo 2	Fe37	48,3 x 2,6		R 114,3	4,2	3,7	125	328						
Sekundääriluvo 1	Fe37	48,3 x 2,6												
Sekundääriluvo 2	Fe37	48,3 x 2,6												
Sekundääriluvo 3	Fe37	48,3 x 2,6												

KUVA 17. K3:n materiaaleja ja nimellismittoja

Työn aikana suunniteltiin mahdollista selvitystä seuraavaan seisokkiin, joka on kesällä 2019. Siinä todelliset tulistinmateriaalit ja materiaalien vaihtumisrajat voisi selvittää materiaalianalysaattorilla ja verrata saatuja tuloksia tässä työssä tehtyyn selvitykseen ja päivittää se tarvittaessa. Kuvassa 18 on tämän työn selvityksenä syntynyt materiaalikartta, jossa eri materiaalit on kuvattu eri värein.



KUVA 18. K3:n tulistimien materiaalikartta

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä katsaus Stora Enso Oulu Oy:n voimalaitoksen leijupetikattila K3:n korjaus- ja tarkastushistoriaan ja luoda arkistoitujen dokumenttien avulla työkalu kattilan elinkaaren hallinnan tueksi. Painelaitteenä höyrykattilaa sitovat mm. painelaitelain mukaiset tarkastusveloitteet, joten on hyödyllistä, että laitetta koskevat korjaukset ja tarkastukset ovat selkeästi lueteltuna ja helposti löydettävissä.

Työ toteutettiin tutkimalla kattila K3:n painelaitedokumentaatiota sekä löydettyjä korjauskertomuksia- ja tarkastuspöytäkirjoja. Kaikkia dokumentteja kattilan reilun kahdenkymmenen käyttövuoden ajalta ei löytynyt, mutta työhön jääneet aukot dokumentoinnissa sijoituivat 2000-luvun vaihteeseen ja alkuun, joten todettiin niillä olevan varsin vähäinen merkitys nykypäivän kannalta. Tarkasteltujen materiaalien perusteella syntyi Excel-pohjainen työkalu, josta käyttäjä pystyy etsimään helposti haluamaansa tulosta. Pelkän tekstipitoisen listauksen sijaan työkirjaan linkitettiin runsas määrä piirustuksia, valokuvia sekä pöytäkirjoja. Tulevaisuudessa tehtävät toimet on myös helppo lisätä taulukon jatkoksi.

Korjaus- ja tarkastushistorian lisäksi työkaluun koottiin selkeä listaus kattilaputki- materiaaleista ja niiden nimellismitoista. Tulistinkokonaisuudesta luotiin selvitettyjen tietojen pohjalta ajantasainen materiaalikartta, jonka tarkoitus putkimateriaalilistauksen kanssa on helpottaa esimerkiksi tulevien seisokkien huolto- ja tarkastustöitä sekä varaosahankintoja. Pohdittiin lisäksi vaihtoehtoa tarkistaa ja päivittää kartta seuraavassa seisokissa sataprosenttisesti todellisuutta vastaavaksi.

Tämän työn tuloksena syntynyt Excel-työkalu on hyödyllinen lisä kattila K3:n käyttäjille sekä painelaitteen käytönvalvojille. Sen avulla myös painelaitteen määräaikaistarkastusten tarkastelu ja todentaminen on nopeaa selkeän taulukon ja sähköiseen muotoon muutettujen tarkastuspöytäkirjojen johdosta. K3:n lisäksi työkirjapohjaa on mahdollista hyödyntää jatkossa myös muiden laitteiden kunnossapitotapahtumien dokumentointiin ja seurantaan.

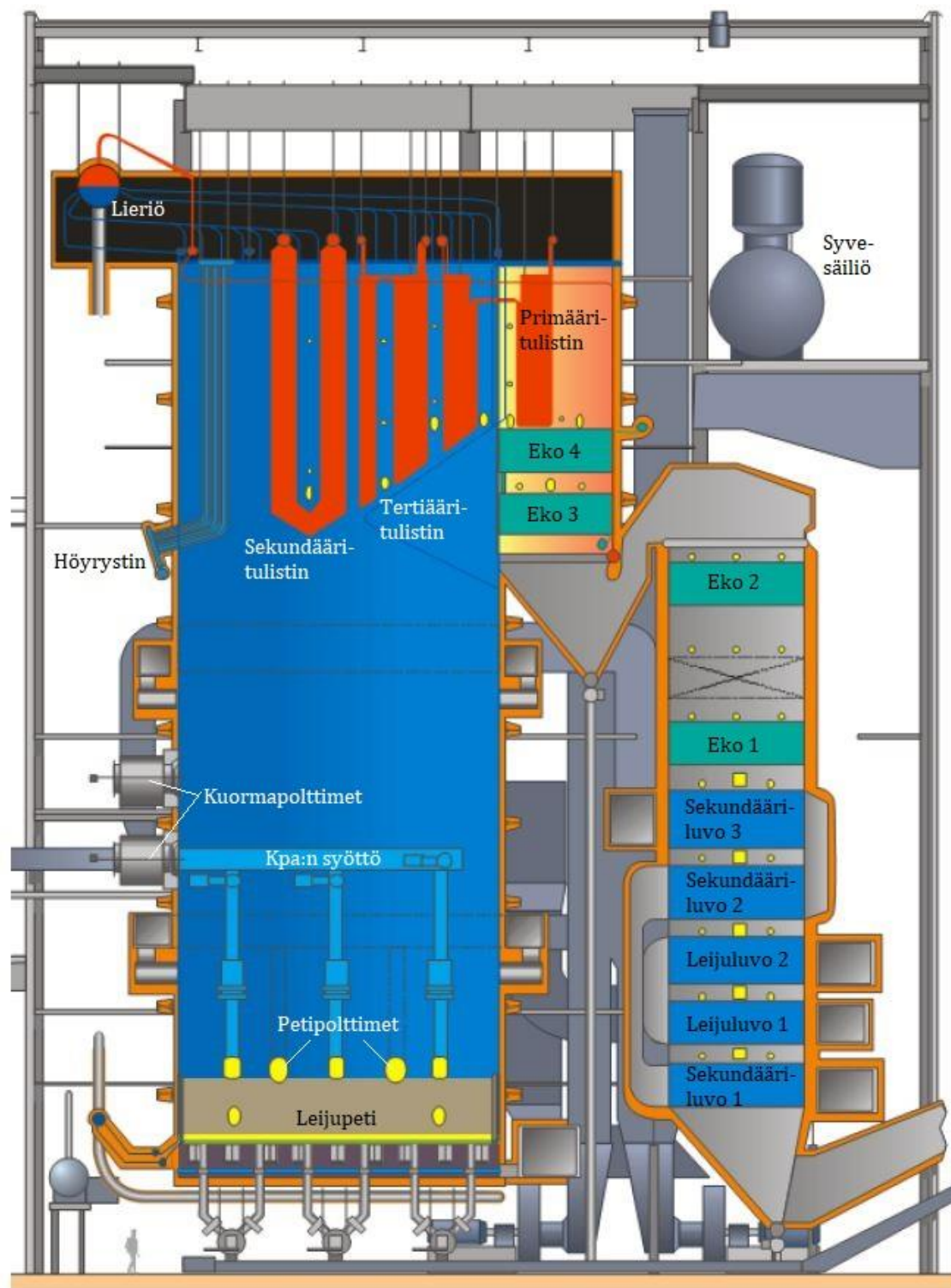
## LÄHTEET

1. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
2. Vapor TTK- höyrykattilat, tekniset tiedot. Vapor Power and Heat. Saatavissa: [http://vapor.fi/wp-content/uploads/2017/05/Vapor\\_TTK\\_steam-boiler-technical-data.pdf](http://vapor.fi/wp-content/uploads/2017/05/Vapor_TTK_steam-boiler-technical-data.pdf). Hakupäivä 6.2.2019.
3. Höyrykattilan toimintaperiaate. KnowEnergy. Saatavissa: [http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt\\_kattilat/5\\_0\\_hoyrykatt\\_periaate/fr\\_text.htm#1](http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/fr_text.htm#1) Hakupäivä 11.1.2019.
4. Niemi, Eino – Rantee, Asko 1997. Kerrosleijukattila K3 käyttöohjeet. Kvaerner Pulping Oy.
5. Steaming ahead at Dalkia biomass plant. 2011. Process Engineering. Saatavissa: <http://processengineering.co.uk/article/2009368/steaming-aheads-teami>. Hakupäivä 17.1.2019.
6. Alakangas, Eija – Hurskainen, Markus – Laatikainen-Luntama, Jaana – Korhonen, Jaana 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>. Hakupäivä 17.1.2019.
7. Energiavuosi 2018 – sähkö. Energiateollisuus. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energia-vuosi\\_2018\\_-\\_sahko.html#material-view](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energia-vuosi_2018_-_sahko.html#material-view). Hakupäivä 16.5.2019.
8. Kauppinen, Jukka 2018. Turbiinitekniikka. Tampere: Tammertekniikka.
9. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
10. Mustalipeä. KnowPulp. Saatavissa: [http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/recovery\\_boiler/3\\_black\\_liquor/frame.htm](http://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/recovery_boiler/3_black_liquor/frame.htm) (Vaatii käyttäjätilin). Hakupäivä 21.2.2019.

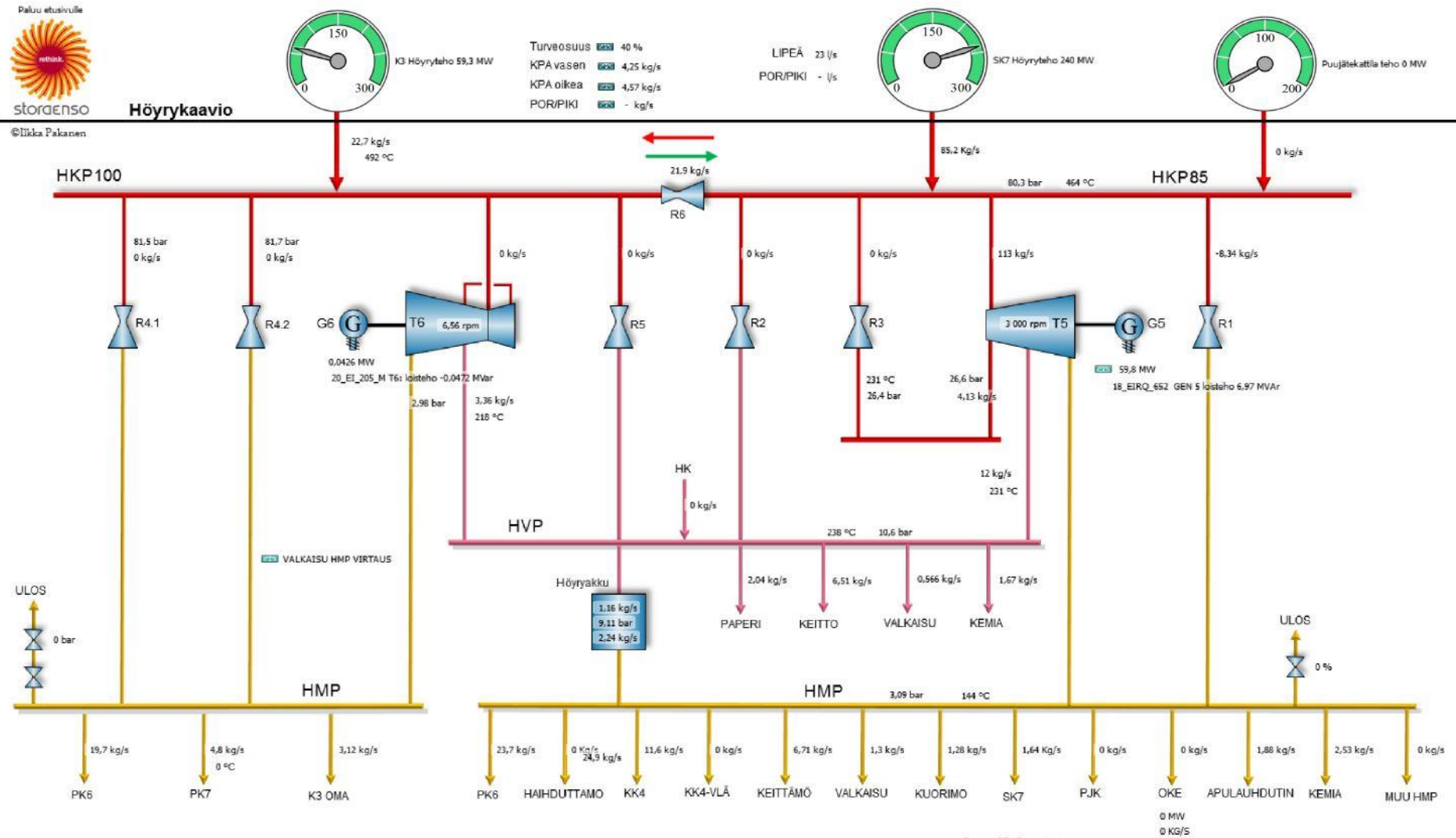


11. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Tukes opas. Painelaitteet. Helsinki.
12. Kiviahde, Timo 2017. Paineastiasuunnittelu. Kurssin luentomateriaali. Oulun ammattikorkeakoulu.
13. Suomen painelaitelaki. 2016. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161144>. Hakupäivä 21.1.2019.
14. Painelaitedirektiivin 2014/68/EU soveltamisohjeet. 2018. Tukes. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/6372817/Painelaitedirektiivin+soveltamisohjeet/f503f680-7e9b-40ff-80a0-4b81f5f193bd/Painelaitedirektiivin+soveltamisohjeet.pdf>. Hakupäivä 21.1.2019.
15. Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta 1549/2016. 2016. Helsinki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161549>. Hakupäivä 21.1.2019.
16. Painelaitteen käytönvalvoja. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet/painelaitteen-kaytto/painelaitteen-kaytonvalvoja>. Hakupäivä 13.3.2019.
17. Kunnossapito. 2007. Kunnossapidon julkaisusarja, nro 10. 4., uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.
18. PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. PSK-standardisointi. 2. painos. Saatavissa: <https://docplayer.fi/69726242-Psk-standardisointi-standardi-psk-7501-psk-standards-association-2-painos-2nd-edition.html>. Hakupäivä 21.1.2019.
19. Koivisto, Kaarlo – Laitinen, Esko – Niinimäki, Matti – Tiainen, Tuomo – Tiilikka, Pentti – Tuomikoski, Juho 2004. Konetekniikan materiaalioppi. 10. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.
20. Korroosiokäsikirja. 2006. Kunnossapidon julkaisusarja, nro 12. 3. painos. Helsinki: KP-Media Oy.

21. Väisänen, Jutta 2016. CFB-kattilan elinikäselvitys: Etelä-Savon Energia, Purssialan voimalaitos. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112704/Vaisanen\\_Jutta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112704/Vaisanen_Jutta.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Hakupäivä 24.2.2019.
22. How to Destroy a Boiler, Part 2. 1999. The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors. Saatavissa: <https://www.nationalboard.org/Index.aspx?pageID=164&ID=242>. Hakupäivä 20.2.2019.
23. Botana, F. Javier. Corrosion. Saatavissa: <http://www.chemistryexplained.com/Co-Di/Corrosion.html>. Hakupäivä 20.2.2019.
24. Korroosio. Tampereen teknillinen yliopisto, materiaaliopin laitos. Saatavissa: [http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv\\_2\\_1\\_6.php](http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_6.php). Hakupäivä 20.2.2019.
25. Creep and Stress Rupture Properties. Total Materia. Saatavissa: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=296>. Hakupäivä 16.4.2019.
26. Kauppi, Timo 2013. Korkeiden lämpötilojen teräkset. Kirjallisuustutkimus. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja, sarja B: raportit ja selvitykset. Kemi: Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu.
27. Törmänen, Timo 1997. Voimala 3, lyhyet ajo-ohjeet. PVO-Yhtiöt.
28. Energy. 2018. Stora Enso Oulu Oy, sisäinen dokumentti.
29. K3-kattila. Stora Enso Oulu Oy, sisäinen dokumentti.
30. Höyrykaavio. Savcor Wedge -prosessinhallintajärjestelmä. Pakanen, Ilkka. Efora Oy.



KUVA 19. Kattilan K3 sivukuva (2.) (muokattu)



KUVA 20. Oulun tehtaan höyrykaavio (30)