

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Soodakattiloiden käynninaikaiset
tiivetydenvalvontajärjestelmät**

**Timo Karjunen, Varo Oy
19.9.2017**

Raportti 6/2017

16A0913-E0181

1	TIIVISTELMÄ	2
2	JOHDANTO.....	4
3	VUODOT JA TULIPESÄRÄJÄHDYKSET SOODAKATTILOISSA.....	6
4	PIENET JA SUURET VUODOT.....	13
5	PIENTEN VUOTOJEN VALVONTA	23
5.1	Massataseen seurantaan perustuvat järjestelmät.....	23
5.2	Kattilan höyrystinosan tiiveyden valvonta kattilaveden laadun seurannan avulla	26
5.3	Akustisen emission seurantaan perustuvat järjestelmät.....	33
6	SUURTEN VUOTOJEN VALVONTA.....	41
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	48
7.1	Lähteet	50

1 TIIVISTELMÄ

Suomalaisille soodakattiloiden käyttäjille tehdyn kyselyn mukaan lähes kaikkien soodakattiloiden tiiveyttä valvotaan nykyisin syöttövesi-höyryeroa seuraamalla. Osalla tehtaista on syöttövesi-höyryeron laskenta toteutettu niin, että eron kasvun perusteella voidaan havaita jo suhteellisen pienten säröjen aiheuttamat vuodot. Pienimmät syöttövesi-höyryeron kasvun perusteella tunnistetut vuodot ovat olleet n. 0,2 - 0,3 kg/s. Osassa tehtaista syöttövesi-höyryeron perusteella voidaan tunnistaa ainoastaan suuret vuodot, joissa vuodon koko on 3 – 9 kg/s tai suurempi.

Kun vuoto on kattilan höyrystinosassa (keittopinnassa, tulipesässä tai verhossa), karkaa vuodon mukana myös natriumia ja fosfaattia, kun kattilaveden pH säädetään natriumfosfaatilla. Tällaiset vuodot voidaan siten tunnistaa kattilaveden fosfaatti- tai natriumpitoisuuden laskun tai johtokyvyn alenemisen perusteella. Mittaamalla sekä kattilaan menevän fosfaatin määrää että kattilaveden fosfaattipitoisuutta voidaan kattilaveden fosfaattitaseesta ratkaista vuotovirtaus. Tällainen kattilavesivuodon valvonta on käytössä kolmella tehtaalla.

Vuonna 2001, kun selvitys suomalaisilla tehtailla käytettäviä soodakattiloiden tiiveydenvalvontajärjestelmiä selvitettiin edellisen kerran, käytössä oli myös akustisen emission seurantaan perustuvia järjestelmiä. Nämä järjestelmät ovat jääneet pois käytöstä. Suomen ulkopuolella akustisen emission seurantaan perustuvia vuodonvalvontajärjestelmiä on sen sijaan edelleen käytössä.

Soodakattilan tiiveydenvalvontajärjestelmiä on otettu käyttöön Pohjois-Amerikassa BLRBAC:n arvion mukaan noin puolessa soodakattiloista. Pohjois-Amerikassa on käytössä 188 soodakattilaa, joten tiiveydenvalvontajärjestelmiä on noin sadassa kattilassa. Useimmat käytössä olevat järjestelmät perustuvat syöttövesi-höyryeron seurantaan. Noin kolmessakymmenessä kattilassa on käytössä Nalcon toimittama järjestelmä, jossa tiiveyttä seurataan sekä syöttövesi-höyryeron että Nalcon oman merkkiaineen kattilavesipitoisuuden perusteella. Lisäksi noin kahdessakymmenessä kattilassa on käytössä akustisen emission seurantaan perustuvaa järjestelmää.

Kokemukset soodakattiloiden tiiveydenvalvontajärjestelmistä osoittavat, että järjestelmien avulla on mahdollista havaita pienet, vähitellen kasvavat vuodot niin aikaisessa vaiheessa, että kattila voidaan ajaa alas korjauksia varten ennen kuin vuoto saa aikaan laajempia vaurioita tai nostaa merkittävästi riskiä, että alasajon yhteydessä tapahtuisi tulipesäräjähdyks. Ottaen huomioon miten vakavista riskeistä soodakattilavuodoissa voi olla kysymys, tuntuisi luonnolliselta, että tällaiset järjestelmät otettaisiin käyttöön kaikissa soodakattiloissa, varsinkin kun useimmissa tapauksissa parannukset vuotojen valvonnassa ovat tehtävissä suhteellisen vähäisin investoinnein.

Tiiveydenvalvontajärjestelmät eivät auta äkillisissä, suurissa vuodoissa, joita tapahtuu esim. tulipesän putkien ylikuumentuessa kiertohäiriön seurauksena tai verho- tai pohjaputkien vaurioituessa esim. suolakamin tai nuohoimen putoamisen takia. Näissä tilanteissa olisi ensiarvoisen tärkeää, että operaattorit tekevät viiveettä käyttöhenkilökunnan turvallisuuden kannalta tarpeelliset toimenpiteet, eli käynnistävät vaarahälytyksen kattilahuoneessa ja tekevät pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen.

Kokemukset suomalaisilla tehtailla tapahtuneista kattilavuodoista osoittavat, että operaattoreilla ei ole aina käytettävissään työkaluja, joiden avulla he voisivat selvittää tästä tehtävästä viiveettä ja virheettä. Käytännössä haasteena usein on, että vuodon seurauksena hälytyslistalle tulostuu nopeassa tahdissa kymmeniä tai jopa satoja hälytyksiä. Oikean tilannekuvan muodostaminen hälytysten perusteella on tällöin vaikeaa, jolloin tarvittavat toimenpiteet jäävät helposti tekemättä.



Tämä havaittiin Pölsin tehtaalla Itävallassa 2014, kun kattilaan tuli suurehko vuoto tulipesän seinäputkeen. Vuodosta ei aiheutunut välitöntä paukkumista, joten operaattorit eivät tehneet pikapysäytystä ja -tyhjennystä, vaan ainoastaan pysäyttivät lipeän polton. Yksi operaattoreista kävi ottamassa lipeäruiskut pois pesästä. Pian tämän jälkeen tapahtui tulipesässä voimakas räjähdys. Räjähdyksen aikaan kattilahuoneessa oli kaksi henkilöä, mutta vakavilta henkilövahingoilta välttyttiin.

Pölsin tehtaalla on soodakattilan käyttöturvallisuutta parannettu sittemmin laatimalla suurista vuodoista omat hälytyksensä, jotka tulostuvat omalle sivulleen kattilan automaatiojärjestelmässä, ja järjestämällä operaattoreille vuosittain simulaattorikoulutusta, jossa harjoitellaan myös suurten vuotojen tunnistusta.

On hyvin todennäköistä, että näillä toimenpiteillä voitaisiin parantaa käyttöturvallisuutta myös suomalaisilla tehtailla.



2 JOHDANTO

Tein vuonna 1999 Soodakattilayhdistykselle selvityksen otsikolla ”Kaasuräjähdykset soodakattiloissa vesivuotojen aikana”. Pontimena selvityksen tekoon oli tekemäni havainto, että BLRBAC:n raporteissa säännönmukaisesti räjähdys luokiteltiin sulavesiräjähdykseksi, jos räjähdys tapahtui kattilavuodon aikana. Osassa tapauksia vaurioiden sijainti ja paikalla olleiden havainnot viittasivat pikemminkin siihen, että räjähdys aiheuttajana oli voimakas kaasupalo.

Näin oli mm. Ruotsissa Vallvikin tehtaalla 1998 tapahtuneessa räjähdyksessä, jossa räjähdystä edelsi tulipesän seinäputken repeäminen. Kattilasuojan laukeamisen jälkeen operaattorit oletivat, että syynä häiriöön oli liian alhainen kuiva-ainepitoisuus, ja yksi operaattoreista meni kattilahuoneeseen ottamaan ruiskuja pois tulipesästä. Vauriosta laaditun raportin mukaan tapahtumat etenivät tämän jälkeen seuraavasti:

”Yksi operaattoreista oli alkanut ottaa pois lipeäruiskua länsipuolen seinällä, kun ensimmäinen räjähdys (kaasuräjähdyks) tapahtui. Räjähdys suihkautti lipeää visiiriin, siinä kaikki. Operaattori kääntyi ja alkoi mennä portaita alas vanhaan valvomoon, ja suuri räjähdys tapahtui heti sen jälkeen. Räjähdys heitti hänet alas portaita, kattilahuoneessa tuli erittäin kuuma ja haisi palaneelle.”

Operaattorin tekemät havainnot viittaavat siihen, että kattilasuojan laukeamisen jälkeen tulipesään kertyi palavia kaasuja, joiden äkillinen palo sekoitti tulipesän pohjalla olleen sulan ja veden saaden aikaan voimakkaan sulavesiräjähdyksen.

Vuonna 1999 tehty selvitys osoittautui enteelliseksi, sillä vuonna 2001 Kotkassa tapahtui tulipesäräjähdyks, joka vaurioiden sijainnin perusteella oli mitä todennäköisimmin kaasuräjähdyks. Räjähdystä edelsi tulipesän seinäputken repeäminen kattilan ajaessa normaalia kuormaa ja kattilasuojan laukeaminen tulipesän ylipaineesta. Noin 20 min tämän jälkeen kuului ”isompi tössäys”, joka aukaisi heikon nurkan ja taivutti tulipesän seinät pulleiksi. Räjähdys ei vaurioittanut lainkaan kattilan pohjaa, mikäli olisi hyvin poikkeuksellista sulavesiräjähdykselle.

Vuonna 1999 laatimani selvityksen loppuun olen kirjannut suosituksenomaisesti, että:

”Kokemukset tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä osoittavat, että käytöturvallisuuden varmistamiseen vesivuototilanteissa ei ole kaikilta osin kiinnitetty riittävää huomiota. Vastaavien läheltä piti tilanteiden välttäminen jatkossa edellyttää, että operaattoreiden valmiuksia tunnistaa ja paikantaa kattilavuotoja kehitetään niin, että vuodot tulevat selvästi tunnistettua nykyistä aikaisemmin ja tarvittavista toimenpiteistä voidaan päättää ilman, että esim. vuodon paikkaa tarvitsee varmentaa kattilahuoneesta käsin. Mahdollisia keinoja ovat:

- massa-, energia- tai kemikaalitaseiden, vuodon aiheuttaman äänen tai tuhkan kosteuden seurantaan perustuvien vuodonvalvontamenetelmien käyttöönotto
- syöttövesi- ja höyryvirtauksen erosta, höyryvirtauksen laskusta ja/tai kattilan paineen laskusta tulevien hälytysten käyttöönotto
- kattilakohtaisten häiriö- ja suojaohjeiden laadinta.”

Soodakattilayhdistys tilasi minulta vuonna 2001 selvityksen tuolloin käytössä olleista kattilavuotojen valvontamenetelmistä ([Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus, raportti 2/2001](#)). Tuolloin Suomessa käytettyjä menetelmiä olivat syöttövesi-höyryeron seuranta ja akustisen emission seuranta. Syöttövesi-höyryerosta käytössä oli hälytys ainoastaan kahdeksassa kattilassa (22:sta). Akustisen emission seuranta oli käytössä yhdeksässä kattilassa. Ulkomailla oli käytössä myös kemikaalitaseen seurantaan perustuvia menetelmiä.

Vuonna 2001 tapahtuneen tulipesäräjähdyksen jälkeen päätettiin Kotkaan hankkia Suomen ensimmäinen erityisesti vuotojen valvontaan suunniteltu järjestelmä. Järjestelmän toimittajana oli allekirjoittanut ja se toimitettiin 2002. Kattilavahdiksi ristitty järjestelmä koostui erillisestä tietokoneesta, joka sai syöttövesi-höyryeron ja kattilaveden fosfaattitaseen seurantaan tarvittavien suureiden tiedot kattilan automaatiojärjestelmästä, ja valvomossa olleesta erillisestä näytöstä, jossa oli operaattoreiden nähtävissä syöttövesi-höyryeron ja kattilavesivuodon trendit ja hälytykset.

Kotkan Kattilavahdin käyttöönottoa seuranneina vuosina on useimmilla tehtailla tehostettu soodakattiloiden tiiveydenvalvontaa parantamalla syöttövesi-höyryeron ja kattilaveden laadun valvontaa. Osalla tehtaista on otettu käyttöön myös kattilaveden fosfaatti- tai silikaattitaseen perusteella toteutettu kattilavesivuodon valvonta.

Tehdyistä parannuksista huolimatta vaarallisia vuotoja, joita ei havaita niin aikaisessa vaiheessa kuin olisi mahdollista, esiintyy yhä. Viimeisin tällainen vuoto oli vuonna 2015 Heinolassa, kun vettä pääsi tulipesään tulipesän seinäputken vaurion seurauksena. Vuoto havaittiin vasta alasajon jälkeen, kun sularänneistä valui vettä. Tilanteesta selvittiin onnekkaasti ilman räjähdystä.

Kattavan kuvan saamiseksi suomalaisten soodakattiloiden tiiveydenvalvonnan nykytilanteesta päätti Soodakattilayhdistys teettää aiheesta kyselyn. Samalla yhdistys päätti selvittää mitkä ovat tällä hetkellä parhaat käytössä olevat menetelmät Suomen ulkopuolella käytössä olevissa soodakattiloissa. Tähän raporttiin on dokumentoitu em. selvitysten tulokset.

Kiitän Soodakattilayhdistyksen yhdyshenkilöitä sekä Kari Auraa Andritz Oy:stä selvitystä tehdessäni saamastani avusta.

Helsingissä 19.9.2017

Timo Karjunen



3 VUODOT JA TULIPESÄRÄJÄHDYKSET SOODAKATTILOISSA

Mikäli kuuma suolasula ja vesi pääsevät kosketuksiin, voi tapahtua nk. sulavesiräjähdys, jossa vesi höyrystyy nopeasti saaden aikaan voimakkaan paineaallon. Tulipesään tai savukaasukanavaan purkautuva vesi voi myös höyrystyessään estää palavien kaasujen poistumisen tulipesästä. Vuodon seurauksena voi tulipesässä tai savukaasukanavassa tapahtua siten myös kaasuräjähdys tai voimakas palo.

Voimakkain Suomessa tapahtunut soodakattilaräjähdys tapahtui Äänekoskella 1965. Räjähdys tapahtui noin 15 min kattilan verhoputken repeämisen jälkeen. Räjähdyksessä kuolivat ylikonemestari Reino Rönneberg, lämmittäjä Erkki Kolu ja Edward Hyvärinen sekä pillimies Viljo Nieminen, jotka kaikki olivat räjähdysen sattua kattelahuoneessa.

Äänekosken soodakattilaräjähdysen jälkeen on soodakattiloiden turvallisuutta pyritty parantamaan mm. ottamalla käyttöön kestävämpiä materiaaleja ja tehostamalla kattiloiden kunnonvalvontaa. Pyrkimyksenä on ollut ensi sijassa estää veden pääsy tulipesään ehkäisemällä kattilavuodot, sillä yrityksistä huolimatta mitään varmaa keinoa estää räjähdys tilanteessa, jossa vesi vuotaa tulipesään, ei ole keksitty. Kattilavuotojen taajuutta onkin saatu laskettua, mutta vuotoja – eikä myöskään tulipesäräjähdysä – ole pystytty täysin ehkäisemään.

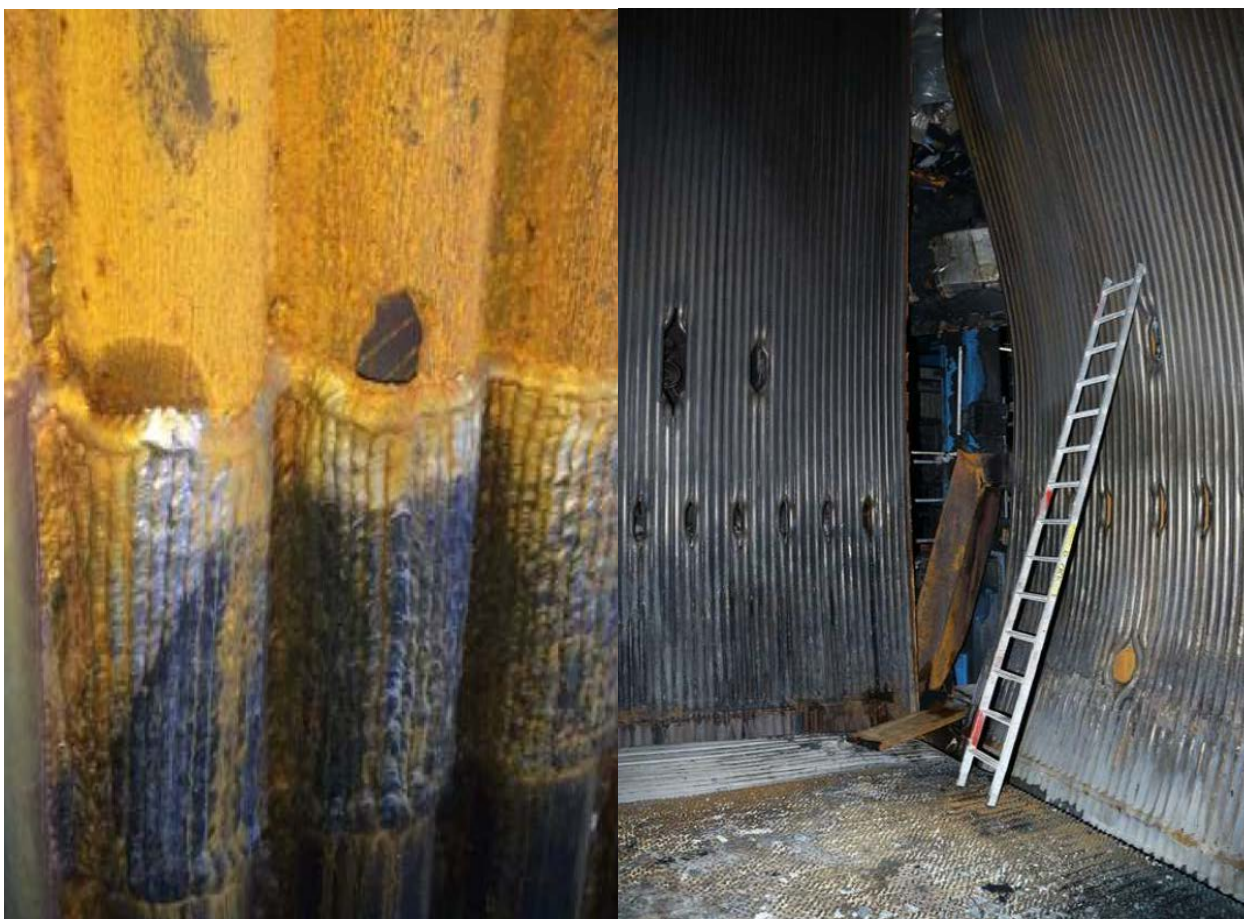
Viimeisimmät vakavat muistutukset soodakattiloiden käyttöön liittyvistä riskeistä saatiin 21.1.2014 Stora Enso Skoghallin tehtaalla Ruotsissa, 23.3.2014 Zellstoff Pölsin tehtaalla Itävallassa ja 26.7.2016 Natron Hayatin Maglajin tehtaalla Bosnia-Hertsegovinassa.

Skoghallin tehtaan soodakattilassa, jonka kapasiteetti on 2200 tKA/vrk, tapahtui voimakas räjähdys, kun kattilaa ajettiin noin 1500 tKA/vrk lipeäkuormassa. Räjähdys tapahtui kaksi tuntia liuottajan hönkäjäjärjestelmän pesun aloituksen jälkeen. Räjähdysen seurauksena heikko nurkka aukesi, enimmillään noin 70 millimetriä. Seinien taipumat olivat enimmillään 96 mm. Räjähdysen seurauksena kattelahuoneeseen purkautui palavia kaasuja niin voimallisesti, että myös osa kattelahuoneen ulkoseinää irtosi niin että osa kaasuista purkautui suoraan ulos (kuva 1). Onneksi räjähdysen sattua ei ollut kattelahuoneessa, joten henkilövahingoilta vältyttiin. Vaurioiden korjaus aiheutti 18 vuorokauden pituisen katkoksen tehtaan tuotannossa. Räjähdysen syyksi todettiin myöhemmin liuottajan hönkäjäjärjestelmän tyhjennyslinjojen osittainen tukkeutuminen, jonka seurauksena pesuveden pinta järjestelmässä nousi niin ylös, että vettä kulkeutui tertiääri-ilmakanavan kautta tulipesään.



Kuva 1. Stora Enson Skoghallin tehtaan soodakattila räjähdysen jälkeen

Zellstoff Pölsin tehtaalla käytössä olleessa soodakattilassa, jonka kapasiteetti oli 2200 tKA/vrk, repesi takaseinän seinäputki tertiääritason yläpuolelta (kuva 2).



Kuvat 2 ja 3. Zellstoff Pölsin tehtaan soodakattilan seinäputken repeämä ja soodakattila räjähdysen jälkeen



Putken repeämän seurauksena vettä pääsi suoraan tulipesään saaden aikaan voimakkaan räjähdysen. Räjähdysen aikana kattilahuoneessa oli kaksi työntekijää, jotka onneksi selvisivät räjähdyksestä vähäisin vammoin. Kattila kärsi pahoja vaurioita. Tulipesän kaikki kulmat aukesivat useiden metrien matkalta, seinät taipuivat voimakkaasti varsinkin tulipesän alaosassa (kuva 3).

Vauriot todettiin niin vakaviksi, että kattila päätettiin rakentaa kokonaan uudelleen. Uusi kattila otettiin käyttöön joulukuussa 2015, joten uudelleenrakennus aiheutti 21 kk pituisen osittaisen käyttökätkon tehtaassa toiminnassa. Tänä aikana tehdasta ajettiin käyttäen varalla ollutta pienempikapasiteettista soodakattilaa, jota käyttäen tehtaassa tuotanto pystyttiin pitämään hieman alle puolessa aiemmasta selluntuotantokapasiteetista (400 000 t/a).

Natron-Hayatin Maglajin tehtaassa soodakattilassa, jonka kapasiteetti oli 600 tKA/vrk, repesi seinäputki lähellä primääri-ilma-aukkoja saaden aikaan kattilasuojaan laukeamisen. Pian tämän jälkeen tulipesässä tapahtui räjähdys, jonka seurauksena tulipesän kaksi kulmaa aukesivat. Räjähdyksessä kuoli lämmittäjä, joka räjähdysketkellä oli katsomassa tulipesään tarkastusluukusta. Muut kattilahuoneessa olleet selvisivät palovammoilla ja ruhjeilla. Kattila vaurioitui räjähdyksessä niin, että kaikki seinät ja tulistimet vaihdettiin. Korjaustyöt aiheuttivat noin 5,5 kuukauden pituisen katkoksen tehtaassa toiminnassa.

Yhteistä kaikille neljälle edellä kuvatulle tapaukselle on, että jokaisessa niissä vettä virtasi tulipesään huomattavan paljon.

Äänekoskella todettiin jälkeinpäin, että tulipesän oikeassa seinässä oli noin metrin levyinen kaista, jonka verhoputkesta purkautunut vesi oli pessyt puhtaaksi. Vettä on siten valunut pohjalle samaan tapaan kuin Skoghallissa, jossa vesi valui tertiääri-ilma-aukoista seinää pitkin.

Pölsin ja Maglajin räjähdyksissä vuodon koko on arvioitavissa karkeasti seinäputkiin tulleen aukon alan perusteella. Kuvasta 3 arvioiden Pölsissä repeämän ala oli noin 2,5 cm², ja Maglajissa repeämän kooksi arvioitiin 4,5 cm². Kokemukset muissa kattiloissa tapahtuneista vuodoista osoittavat, että tällaisissa tapauksissa vuoto tulipesään on huomattavasti yli 10 kg/s.

Nämä kokemukset viittaavat siihen, että voimakas tulipesäräjähdys edellyttää, että tulipesään vuotaa vettä vuolaasti, vähintään useita kiloja sekunnissa, joko putken repeämän tai muuta kautta.

Tätä olettamusta tukevat myös aiemmat kokemukset Pohjoismaissa tapahtuneista voimakkaista soodakattilaräjähdyksistä. Tällaisia räjähdysä on tapahtunut Vallvikissa Ruotsissa 1998 seinäputken repeytyessä puolen metrin matkalta, Stora Enson Oulun tehtaalla 1981 verhoputken katkeamisen takia ja Stora 2, Enso Kotkan tehtaalla 2001 seinäputken repeytyessä samaan tapaan kuin Pölsissä.

Vallvikissa räjähdysen seurauksena kattila kärsi vakavia vaurioita, joiden korjaaminen aiheutti 4 kk pituisen seisokin. Myös Oulussa vauriot olivat huomattavat, etunurkat aukesivat 20 cm, sivuseinät ja sidepalkit taipuivat maksimissaan 25 cm ja kattilan pohjaputket taipuivat yhdeltä nurkalta alaspäin 20 cm. Räjähdys tapahtui 14 min putken katkeamisen jälkeen.

Eniten kokemuksia tulipesäräjähdyksistä on Pohjois-Amerikassa, ja niistä yhteenvedon esitti Tom Grace Soodakattilayhdistyksen 30-vuotisseminaarissa 1994. Esitys kattoi jaksolla 1970 – 1993 tapahtuneet räjähdykset. Esityksessä mm. listattiin räjähdysen aiheuttaneiden vuotojen koot, sijainnit ja niistä seuranneet vahingot, ks. taulukko 1.

Taulukko 1. Pohjois-Amerikassa 1970 – 1993 tapahtuneiden soodakattilaräjähdysten, joiden syynä oli vuoto painerungossa, aiheuttaneiden vuotojen koot, sijainnit ja vahinkojen voimakkuus

Vuodon koko	Vuodon sijainti	Räjähdyksen voimakkuus		
		Suuri	Kohtalainen	Vähäinen
Suuri	Tulipesän pohja	1	2	0
	Tulipesän seinät	3	5	0
	Tulipesän katto	1	0	0
	Verhoputket	4	2	2
	Keittopinta	0	1	1
	Tulistin	1	0	0
	Yhteensä	10	10	3
Pieni	Tulipesän pohja	1	0	1
	Tulipesän seinät	0	0	4
	Tulipesän katto	0	0	0
	Verhoputket	0	0	0
	Keittopinta	0	0	0
	Tulistin	0	0	0
	Yhteensä	1	0	5

Suurten vuotojen aiheuttamia räjähdysä oli 23 ja pienten 6. Pienten vuotojen koot olivat seuraavat:

- pohjaputkivuodot: puolen tuuman särö ja pistemäinen reikä halkaisijaltaan alle 1 mm
- seinäputkivuodot: neulanpäävuoto, puolen tuuman särö, halkaisijaltaan 3 mm reikä ja 3 x 5 mm suuruinen reikä

Ainoa huomattavia vaurioita aiheuttanut pieni vuoto oli pohjaputken puolen tuuman särö. Poikkeuksellista ko. tapauksessa oli, että räjähdys tapahtui 3 h 15 min pikapysäytyksen jälkeen. Pohjalle on todennäköisesti kertynyt vuodon seurauksena vettä pikapysäytyksen jälkeen ja ”alkupanoksena” räjähdykselle on todennäköisesti ollut tulistimista pudonnut kami. Ko. tapauksessa ei kokonaan voida sulkea pois myöskään kaasuräjähdyksen mahdollisuutta.

Suurista vuodoista lähes kaikki olivat puolestaan putken katkoja tai repeämiä, joissa vuotovirtaus on ollut hyvin suuri, selvästi yli 10 kg/s. Tapauksia, joissa vuodon koko on saattanut rajoittaa veden virtaamista tulipesään, olivat ainoastaan seuraavat:

- verhoputkivuoto, ei vaurioita, vuodon koko 5 mm x 25 mm, aikaa kului hetkestä, kun vuoto tunnistettiin, pikapysäytyksen tekoon 25 min
- verhoputkivuoto, suuret vauriot, vuodon koko 10 mm x 37 mm, aikaa kului hetkestä, kun vuoto tunnistettiin, pikapysäytyksen tekoon 3 min
- pohjaputkivuoto, suuret vauriot, vuodon koko 6 mm x 25 mm, vuodon alusta ei tietoa (vuotoa ei tunnistettu eikä pikapysäytystä tehty ennen räjähdystä)

Vuotovirtaus em. tapauksissa on ollut arviolta 8 - 25 kg/s.

Suomessa on tapahtunut 2000-luvulla neljä kattilavuotoa, jotka aiheutuivat (suoraan tai välillisesti) tulipesäräjähdyksen:

- seinäputken repeämä Stora Enso Laminating Paper Oy:n tehtaalla Kotkassa 2001
- tulistinputken katko Metsä Fibren Kemin tehtaalla 2008
- verhoputken vuoto Metsä Fibren tehtaalla Raumalla 2011
- kattoputken repeämä Stora Enson Veitsiluodon tehtaalla 2014

Huomattavia vahinkoja aiheutui ainoastaan Kotkan räjähdyksestä (seisokkiaika 302 h). Kemissä, Raumalla ja Veitsiluodossa vauriot rajoittuivat pääosin heikon nurkan avautumiseen maksimissaan 100 mm ja seinien lievään taipumaan (seisokkiajat 117 h, 85 h ja 82 h).

Kemin tapaus oli poikkeuksellinen, koska räjähdys tapahtui tulistimien vesipesun aikaan noin 18 tuntia pikapysäytyksen jälkeen ja noin tunti tulistimien vesipesun aloituksen jälkeen. Muut tapaukset sitä vastoin vaikuttavat tyypillisiltä: yhteistä kaikille kolmelle vuodolle on, että vuodot olivat huomattavan suuria, luokkaa 20 kg/s tai enemmän.

Edellä esitetyt havainnot tukevat sitä luonnolliselta tuntuva oletusta, että vuodon koko ja sijainti vaikuttavat huomattavasti:

- todennäköisyyteen, että vuodosta seuraa räjähdys
- todennäköisyyteen, että räjähdys on tarpeeksi voimakas aiheuttaakseen huomattavia vahinkoja.

Vaarallisimpia ovat suuret vuodot tulipesän seinä-, verho- tai kattoputkissa sekä sellaiset suuret vuodot keittopinnassa, joissa vesi suihkuu tulipesään. Lähes kaikki vakavia vahinkoja aiheuttaneet tulipesäräjähdykset olivat tällaisten vuotojen aiheuttamia.

Vaarallisista vuodoista ei aina seuraa tulipesäräjähdyksiä: suomalaisillakin tehtailla on kokemusta esim. suurista seinäputkivuodoista, joista on selvitty ilman vahinkoja.

Suomessa on 2000-luvulla tapahtunut ainakin yhdeksän vuotoa, joissa vettä pääsi tulipesään (taulukko 2). Neljässä tapauksessa kattilan käyttö pysäytettiin pian vuodon alun jälkeen joko operaattorin toimesta tai kattilasuojan laukeamisen takia. Pikatyhjennys tehtiin ainoastaan yhdessä tapauksessa.

Taulukko 2. Vaaralliset vuodot suomalaisissa soodakattiloissa 2000 - 2016

	Tehdas	Vuodon paikka	Pikapysäytys/kattilasuoja	Pikatyhjennys
2000	MF Kaskinen	Verho	Ei kumpaakaan	Ei
2001	Kotkamills	Seinä	Molemmat	Ei
2006	UPM Kaukas	Verho	Pikapysäytys	Kyllä
2007	UPM Tervasaari	Seinä	Ei kumpaakaan	Ei
2011	Stora Enso Imatra	Seinä	Molemmat	Ei
2011	MF Rauma	Verho	Ei kumpaakaan	Ei
2012	MF Rauma	Verho	Ei kumpaakaan	Ei
2014	Stora Enso Veitsiluoto	Katto	Pikapysäytys	Ei
2015	Stora Enso Heinola	Seinä	Ei kumpaakaan	Ei

Ko. jaksolla käyttövuosia kertyi noin 300, joten keskimäärin vaarallisia vuotoja näyttäisi tapahtuvan noin kerran 30 vuodessa.

Tulipesäräjähdyksessä sattui Kotkassa, Raumalla ja Veitsiluodossa, joten räjähdyksiä tapahtui yhdessä tapauksessa kolmesta. Samansuuruiseen arvioon (30 %) räjähdysten todennäköisyydestä tilanteesta, jossa vettä pääsee tulipesään, päättyi myös Tom Grace vuonna 1994 BLRBAC:n vaurio- ja räjähdystilastojen perusteella.

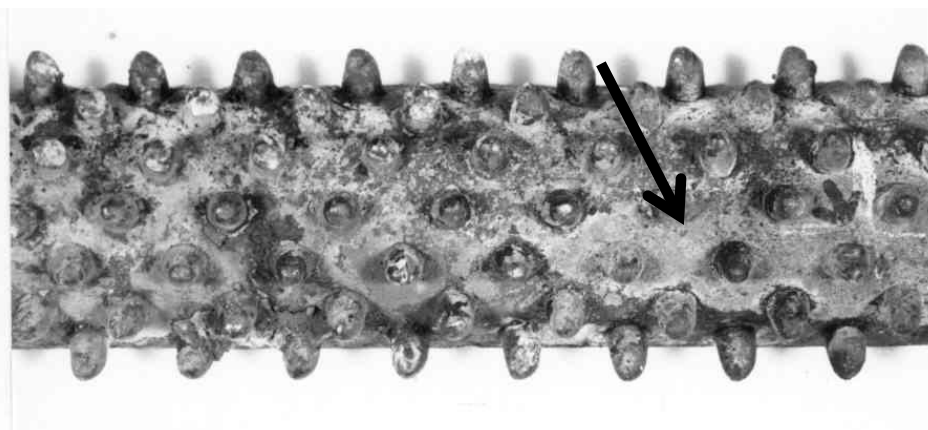
Pienet vuodot näyttäisivät aiheuttavan tulipesäräjähdyksiä sitä vastoin hyvin harvoin. Esim. Suomessa ei ole tapahtunut yhtään pienen vuodon aiheuttamaa tulipesäräjähdyksiä ainakaan viimeiseen 30 vuoteen.

Osaltaan tähän on myötävaikuttanut se, että Suomessa kattiloita on onnistuttu käyttämään niin, että pohjaputkivuotoja on ollut hyvin harvoin. Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannasta löytyi jaksolta 1986 - 2016 ainoastaan kolme raporttia pohjaputkivuodoista, Oulun B&W:n soodakattilasta vuodelta 1986, Sunilan T-9-kattilasta vuodelta 1987 ja Kaskisten soodakattilasta vuodelta 1997. Kaskisten vuoto havaittiin vesipainekokeen aikana. Oulun ja Sunilan pohjaputkivuodot tapahtuivat käynnin aikana, joten molemmissa tapauksissa kyse oli vaaratilanteesta.

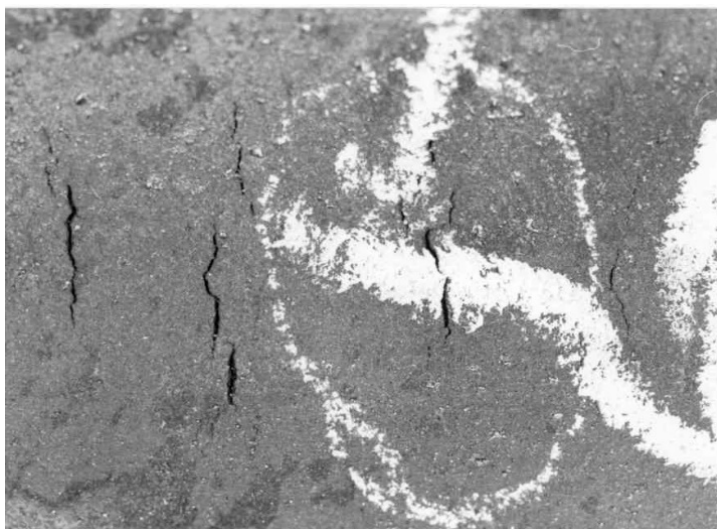
Oulun soodakattilan K-11681 vuodosta laaditussa raportissa on tilanteen kulku kuvattu seuraavasti:

”Kattilalta oli lipeänpoltto keskeytyksissä yövuoron alkupuolella 14.12.1986 tulistimien tukkeutumien poistamiseksi. Noin klo 3.50 kuului tulipesästä 2 – 3 jysähdyksiä ja pesä kävi hetkellisesti ylipaineen puolella. Ajoittain voitiin nähdä tarkastusluukun kohdalla sulan roiskuvan 20 - 30 cm korkealle. Ko. hetkellä oli päällä lipeänpolton lisäksi myös kaksi öljypoltinta. Vuorossa oleva käyttökonekunta lopetti lipeän polton ja ilmoitti asiasta käytönvalvojalle. Äänihavaintojen jälkeen oli kattilalla kaikki olosuhteet normaalit, eikä tarkastuksen perusteella voitu mitään vuotoa siinä paikallistaa. Kattila päätettiin kuitenkin ajaa alas normaalisti perusteellista tarkastusta varten. Kattilan paine laskettiin nopeasti 60 Bar => 32 Bar, ja kun sulan muodostus oli enää vähäistä ja keko oli poltettu lähes pois, niin havaittiin kattilan pohjalta oikean sivuseinän läheltä tulevan pienen höyrystysputken. Tämän jälkeen lopetettiin öljyn poltto ja siirryttiin hoitamaan paineenlaskua yms. kauko-ohjauspaikalta. Tulipesää jäähdytettiin primääri-ilmalla. Tulistimien ja tulipesän vesipesuun päästiin samana päivänä noin klo 15.30. Noin klo 22 lopetettiin nuohoilma pesu, jolloin nähtiin hyvin pieni, noin puolen metrin korkeuteen nouseva (staattinen paine) vesisuihku kattilan pohjaputkesta.”

Vuodon syyksi paljastui pieni särö pohjaputkessa, ks. kuvat 4 ja 5.



Kuva 4. Oulun soodakattilan K-11681 pohjaputki vuonna 1986 (vuoto nuolen kohdalla)



Kuva 5. Oulun soodakattilan K-11681 pohjaputken sisäpinta vuonna 1986 (putken läpi edennyt särö kuvassa ympyröitynä)

Sunilan T-9-kattilan vuodosta laaditun raportin mukaan:

”12.1.1997 klo 12.20 vuoromestari soitti, että tulisin katsomaan T-9-kattilan takaseinän primääri-ilma-aukkoja kun keskellä seinää on kummallinen kova möykky, joka ei sula. Kattilassa sillä hetkellä ollut yksi lipeäsuutin otettiin ulos ja avattiin vasemmalla sivuseinällä sekundäärikerroksessa oleva kulkuluukku. Heti näkyi selvästi, että keskellä tulipesää takaseinästä eteenpäin m. 0,5 m oli ”tulivuoren” muotoinen n. 1000 - 1200 mm korkea jähmeästä sulasta ja lipeästä muodostunut katkaistu kartio, jonka aukon halkaisija oli noin 400 – 500 mm. Tämä muodostelma oli täynnä vettä, joka kiehui ja aaltoili erittäin voimakkaasti ja roiskui ympärilleen.

Toteamuksen jälkeen heti klo 12.40 suoritettiin keskusvalvomosta käsin pikapysäytys ja kattilahuoneen eteläinen osa, joka katsottiin vaara-alueeksi, tyhjennettiin väestä.

Syöttöveden pumppaus kattilaan keskeytettiin ja kattilan paine laskettiin suurinta sallittua nopeutta. Kattilan annettiin jäähtyä noin 10 tuntia. Tänä aikana vesipinta laski 22 metristä 17 metriin. ”Tulivuori” oli sulanut ja palanut pois ja pohjalla oli vain aukko, joka oli täynnä vettä. Vuoto oli noin 7 mm pitkä poikittainen särö noin 300 mm takaseinästä etuseinään päin.”

Molemmissa tapauksissa vuodon aiheuttaja oli pieni särö, joten voidaan olettaa, että myös vuotovirtaus on ollut pieni, alle 1 kg/s.

Mielenkiintoista edellä kuvatuissa tapauksissa on, että tilanteista selvittiin ilman räjähdystä, vaikka molemmat kattilat ajettiin alas normaaliin tapaan. Pohjois-Amerikassa on raportoitu räjähdys, joka aiheutui pienestä pohjaputken säröstä ja jossa vahinkoja kuvattiin ”laajoiksi”, räjähdys tapahtui yli 3 tuntia pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen aloituksen jälkeen. Toisesta Pohjois-Amerikassa tapahtuneesta pienen pohjaputkivuodon (reikä halkaisijaltaan alle 1 mm) aiheuttamasta räjähdyksestä ei aiheutunut lainkaan vaurioita, pikapysäytyksestä ja -tyhjennyksestä huolimatta.

Kokemukset pienistä pohjaputkivuodoista viittaavat siihen, että pienet vuodot myös pohjaputkissa ovat suhteellisen vaarattomia. Varsinkin, jos kattila ajetaan alas normaalisti niin, että keko pysyy kuumana alasajon ajan aina niin kauan kun pohjalla on palavaa materiaalia, ja palamisen loputtua pohja jäähtyy nopeasti.



4 PIENET JA SUURET VUODOT

Edellä on käytetty termejä ”pieni vuoto” ja ”suuri vuoto” tarkentamatta mitä näillä termeillä tarkoitetaan. Tulipesäräjähdyksriskin kannalta relevantti määrittely voisi olla seuraava:

- vuoto on pieni, kun vettä purkautuu tulipesään niin vähän, että se haihtuu kaasutilassa eikä sulavesiräjähdyksen vaaraa ole
- vuoto on suuri, kun vettä purkautuu tulipesään niin paljon, että osa siitä putoaa tulipesän pohjalle ja voi siten saada aikaan tulipesäräjähdyksen.

Tällaisen määrittelyn hankaluutena on, että käytännössä vuodon ”pienuus” ja ”suuruus” riippuisi sekä vuodon paikasta että kattilan käyttötilasta. Alhaalla tulipesässä jo 1 kg/s suuruinen vuoto voisi olla ”suuri” varsinkin sen jälkeen kun lipeänpoltto keskeytetään, koska tällöin vettä todennäköisesti pääsee pohjalle saakka. Toisaalta esim. 10 kg/s suuruinen vuoto kattilan yläosassa lipeänpolton aikana olisi ”pieni”, sillä vesi haihtuu matkalla eikä räjähdysvaaraa siten olisi niin kauan kun lipeänpolttoa jatketaan.

On myös epäselvää, mitä käytännön hyötyä em. määrittelystä olisi, sillä operaattoreiden voi olla mahdotonta paikantaa vuotoa luotettavasti tulipesän alueella, jolloin edellä kuvatun kaltaista määrittelyä ei voitaisi useimmiten tehdä vuodon aikana.

Onkin selvempää määritellä ”pieni” ja ”suuri” vuoto yksinkertaisesti vuodon koon perusteella niin, että vuoto on ”pieni” kun vuodon aiheuttaa läpiseinän oleva särö tai pieni reikä, kun taas suuressa vuodossa putkessa on virtausalaltaan tyypillisesti useita neliösenttejä oleva repeämä tai aukko.

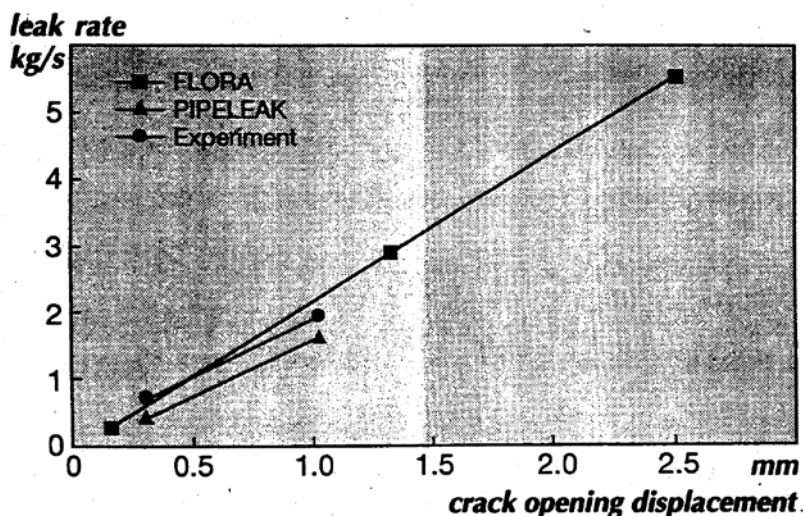
Säröjen aikaansaaman vuodon suuruuteen vaikuttavat monet seikat, kuten

- särön pituus
- särö aukeama
- särön muoto
- pinnan karheus

Luonnollisestikin vuoto on sitä suurempi, mitä suuremmasta säröstä on kysymys, mitä enemmän särö on auki ja mitä suurempia ja sileämpiä ovat särön synnyttämät metallipinnat, joiden välissä vesi virtaa.

Säröjen aikaansaamien vuotojen koon arviointiin on laadittu laskentaohjelmia, mutta tässä tapauksessa riittää, että ”pienelle vuodolle” määritetään realistinen yläraja. Tämä yläraja on määritettävissä kokeellisten tulosten perusteella.

Tarkoitukseen sopiva koe tehtiin 1990-luvun alussa Saksassa. Kokeessa mitattiin vuoto putkesta, jonka halkaisija oli 88,9 mm, seinämänpaksuus oli 5,6 mm ja paine oli 105 bar. Putkeen oli tehty poikittainen särö, jonka pituus oli 100 mm. Putken materiaali oli 1.4571. Materiaalia lukuun ottamatta koeolosuhteet vastasivat siten kohtalaisen hyvin soodakattilan tulipesän putken olosuhteita tilanteessa, jossa putkessa on koko kuuman puolen poikki ulottuva särö. Materiaalilla on vaikutusta lähinnä särön pinnan karheuteen, joka hiiliteräksellä on tavallisesti suurempi kuin austeniittisilla teräksillä. Koetulosta voidaan siten pitää yläarvona vastaavalle vuodolle hiiliteräspanputkessa. Kokeessa putkea taivutettiin asteittain niin, että vuodon kokoa voitiin havainnoida sekä putken ollessa suorassa että taivutettuna. Tulokset (yhdessä laskentamallien tulosten kanssa) on esitetty kuvassa 4.



Kuva 6. Vuotovirtaus 88,9 x 5,6 mm putkesta, jossa oli 100 mm pitkä poikittainen särö ja jonka paine oli 105 bar, erilaisilla taivutuksilla [1].

Kuvan 6 tulosten mukaan särön aiheuttama vuoto on korkeintaan luokkaa 0,2 kg/s särön ollessa kiinni, mutta särön avautuessa vuoto kasvaa useisiin kiloihin sekunnissa.

Koetulokset vastaavat hyvin kokemuksia soodakattilavuodoista. Soodakattilayhdistyksen keräämissä vaurioraporteissa on kuvattu useita tilanteita, joissa vuotoa on alettu epäillä, kun syöttövesi-höyryero on 0,2 - 0,3 kg/s. Esimerkkinä tällaista vuodosta on Sunilan soodakattilassa SK10 2004 todettu vuoto, jota koskevan vaurioraportin teksti on seuraava:

”Ma 29.3.04 n. klo 07.00 havaittiin vesitasekäyrissä selkeää nousua alkaen su 28.3.04 n. klo 16.00 ollen luokkaa 0,2 - 0,3 kg/s. Kattila normaalilla kuormalla 8,5 l/s (KA 79,5%) höyrystys 33 kg/s. Kattilakierrokset eivät tuoneet esiin mitään vuotoon viittaavaa, toiminta normaalia. Tilannetta seurattiin puolille öin mm. tarkkailemalla suolan laatua kuljettimilla, ei poikkeavaa. Ti 30.3.04 aamulla tutkimuksia jatkettiin ja todettiin tasekäyrissä hienoista nousua ollen nyt luokkaa 0,4 kg/s. Polttoa pienennettiin, nuohous keskeytettiin ja pyrittiin kuuntelemaan miesluukuista mahdollista vuodon aiheuttamaa ääntä. Kohisevan äänen havaittiin tulevan jostakin lieriöiden väliltä keittopinnalta. Päätettiin ajaa kattila alas, suoritettiin tarvittavat viranomaisilmoitukset, pienennettiin polttoa edelleen ja suoritettiin pikapysäytys klo 10.54. Ylälieriöllä ja keittopintaputkissa havaittiin puhallusjälkiä mutta vuotokohtaa ei voitu paikantaa. N. klo 20.00 kattilan ollessa paineeton havaittiin alalieriön päällä valuvan vettä, vuotokohtaa ei voinut todeta. Ke 31.3.04 iltapäivällä telinetöiden jälkeen päästiin vuotokohteeseen. Kattilaa hetken täytettyä vettä tuli alalieriön vaipan/keittoputken välistä. Kattilan tyhjennyksen jälkeen alalieriöstä ei kuitenkaan voitu todeta vuotokohtaa. Alalieriön ulkopuolelle vuotoalueelle suihkutettiin purkillinen punaista tunkeumanesteväriä, jolloin hetken kuluttua väri tuli läpi putkesta 39H. Vuoto oli ilmeisesti mankelointilaitteen rissan jättämän poikittaisen, terävähkön lopetusjäljen suuntainen n. 12 mm pitkä halkeama n. 10 mm vaipan ulkopinnasta. (Em. terävähköjä jälkiä lienee lähes kaikissa reikäkentän 980:ssä putkissa).”

Kuvassa 7 on ko. putki tunkeumavärin avulla tehdyn vuodon paikannuksen jälkeen.



Kuva 7. Pieni särö keittopinnan putkessa 29.3.2004 Sunilan soodakattilassa SK10

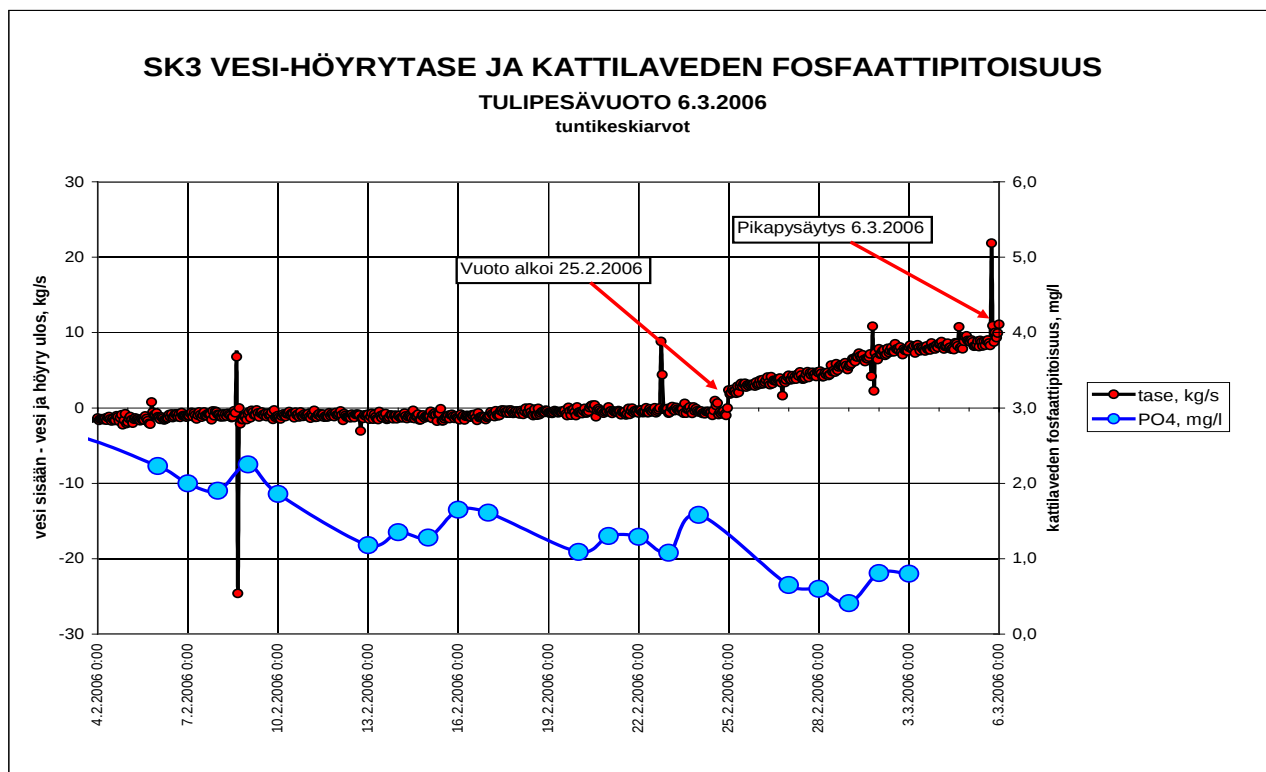
Edellä kuvattu Sunilan vaurio havainnollistaa hyvin miten pieniä vuotoja on mahdollista löytää yksinomaan syöttövesi-höyryeron seurannan perusteella, kun eron laskenta on toteutettu niin, että mittauksen kohinan ja lieriön pinnan vaihtelun aiheuttama huojuunta on suodatettu pois.

Mikäli Sunilan vuotoa ei olisi havaittu niin nopeasti kuin se ko. tapauksessa havaittiin, olisi vuoto vähitellen kasvanut ja saanut luultavasti aikaan myös vaurioita ympäröivissä putkissa.

Vastaava vaurio UPM Kymmenen Tervasaaren soodakattilassa 1992 johti viereisen putken ohentumiseen niin, että lopulta ko. putkeen repesi 10 x 25 mm suuruinen aukko. Putken repeämisen seurauksena syöttövesivirtaus kasvoi yli 17 kg/s (yli piirturin alueen), mutta lieriön pinta laski tästä huolimatta kattilasuojan laukaisurajan alle, joten kattilasuoja keskeytti lipeän syötön kattilaan. Myös polttoilmapuhaltimet pysähtyivät. Syöttövesipumppu pysäytettiin operaattoreiden toimesta. Tunti ja 15 min kattilasuojan laukeamisen jälkeen tulipesässä tapahtui kaasuräjähdyks. Kaikki tulipesän neljä kulmaa aukenivat useiden metrien matkalta. Syynä kaasuräjähdykseen oli, että kattilan kuivakeittosuoja oli laadittu niin, että se esti polttoilmapuhaltimien käytön tulipesän tuulettamiseksi. Räjähdyksestä selvittiin ilman henkilövahinkoja.

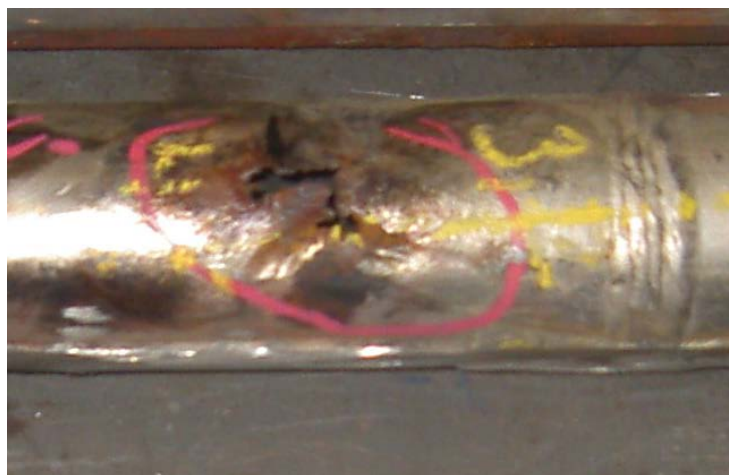
Soodakattilayhdistyksen keräämissä vaurioraporteissa ei yleensä ole kuvattu tarkasti, miten vuoto on kehittynyt, joten kovin selvää kuvaa siitä, miten nopeasti vuodot kasvavat ja miten nopeasti sekundäärisiä vaurioita syntyy, ei ole. Jonkinlainen käsitys on kuitenkin saatavissa tarkastelemalla muutamia yksittäistapauksia, joissa vuodon kehitys on suht tarkkaan tiedossa. Seuraavassa on kuvattu neljä tällaista tapausta.

Ensimmäinen esimerkki on tulipesän seinäputken vuoto UPM Kaukaan soodakattilassa vuonna 2006. Kuvassa 8 on esitetty syöttövesi-höyryeron ja kattilaveden fosfaattipitoisuuden trendit. Kuva on Jukka Savolaisen esitelmästä vuoden 2007 Konemestaripäiviltä.



Kuva 8. Syöttövesi-höyryero ja kattilaveden fosfaattipitoisuus UPM Kaukaalla 4.2. – 6.3.2006

Kuvan 8 tekstin mukaan vuoto alkoi 25.2., jolloin ero kasvoi hyppäyksellisesti noin 3 kg/s. Kuvassa näkyy syöttövesi-höyryerossa pienempi muutos kuitenkin jo 6.2.2006, jolloin syöttövesi-höyryero kasvoi noin 0,5 kg/s. Samaan aikaan myös kattilaveden fosfaattipitoisuus alkoi laskea, joten on todennäköistä, että muutos syöttövesi-höyryerossa on vuodon aikaansaama. Vuoto kasvoi hyvin hitaasti 25.2. saakka, jolloin syöttövesi-höyryeron trendissä näkyy selvä pomsahdus. Tämän jälkeen vuoto kasvoi huomattavasti nopeammin, noin 0,7 kg/s vuorokaudessa, reilun viikon ajan kunnes se oli noin 10 kg/s. Tässä vaiheessa vuoto sai aikaan niin vakavan kiertohäiriön ko. seinäputkessa, että putki ylikuumeni ja repesi compound- ja hiiliteräspotken sauman yläpuolelta (mustalta osalta) 6.3. Ensimmäisen vuodon aiheuttanut vaurio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. UPM Kaukaan seinäputken alempi vaurio maaliskuussa 2006 (10 m pohjasta)

Ylikuumenemisen aiheuttama repeämä on puolestaan kuvassa 10.



Kuva 10. UPM Kaukaan tulipesän seinäputkivaurio 6.3.2006 (22 m pohjasta)

Seuraava teksti on lainaus Jukka Savolaisen esityksestä Konemestaripäivillä:

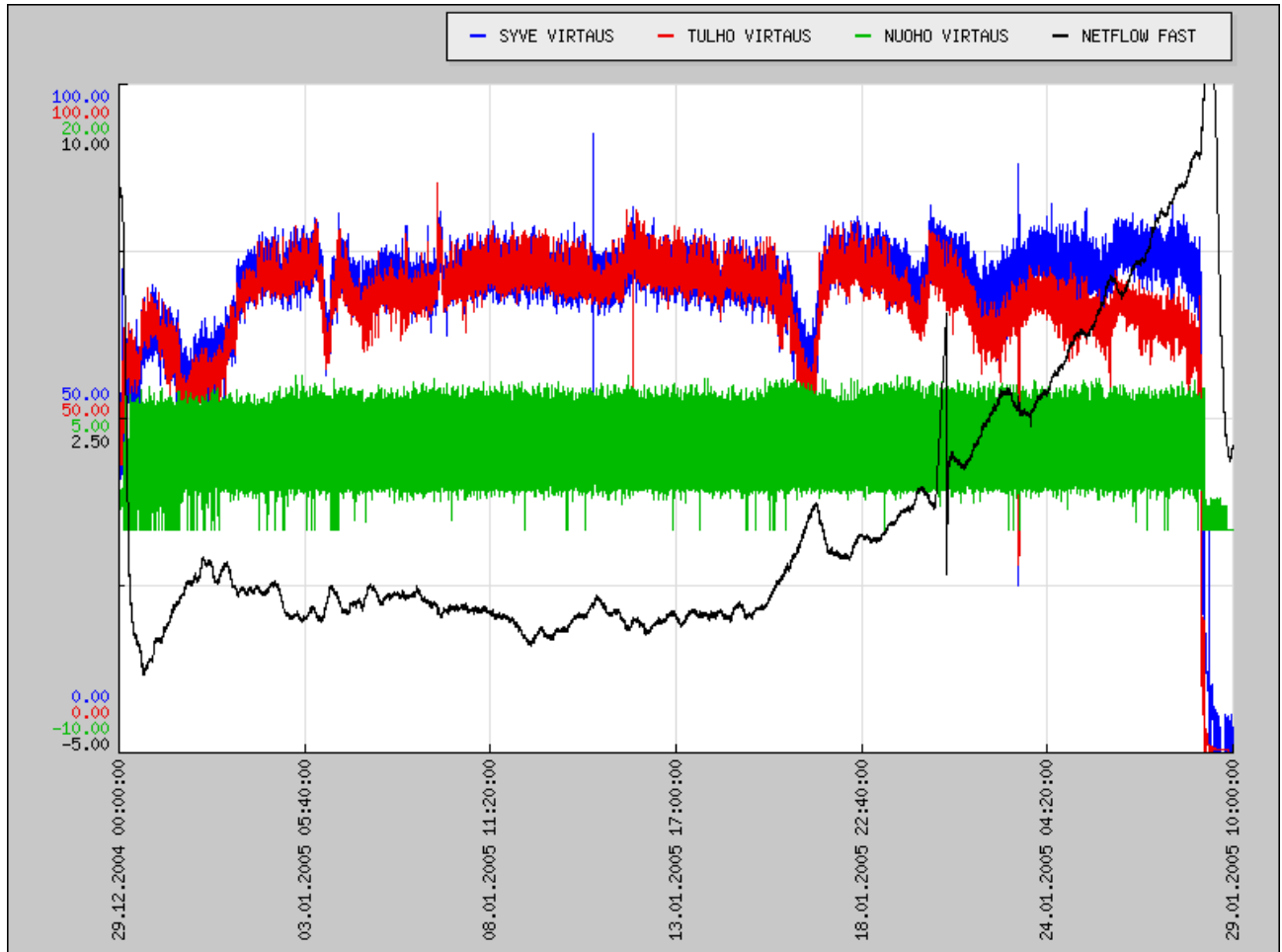
”Kattilassa oli havaittu kattilaveden fosfaattipitoisuuden laskua ja savukaasupuhaltimien likaantumista muutaman päivän ajan maaliskuun ensimmäisellä viikolla 2006.

Sunnuntaina 5.3.2006 kattilan vesi-höyrytaseen laskenta oli alkanut heitellä. Taselaskenta oli tuolloin reaaliaikainen. Nuohoushöyryn virtausmuutokset ja lieriön pinnansäätö-heilahtelut aiheuttavat taselaskentaan häiriötä niin, että hetkellinen tasearvo heiluu huomattavasti. Tämän vuoksi laskennan hälytysraja oli 10 kg/s. Tämä oli alkanut hälytellä sunnuntaina 5.3.2006 ja asiaa alettiin tutkia. Vuotoa ei oltu ehditty varmistaa, vaikka viimeiset tuntikeskiarvotkin osoittivat (jälkeenpäin tutkittuna) jo 10 kg/s:n eroa.

Yöllä n. 00:55 kattilan vesipinta hävisi lieriöstä ja kattila pysähtyi alapintalukituksesta. Vesipintaa yritettiin ensin saada takaisin syöttövettä lisäämällä, mutta vesi-höyry-taseen eron kasvettua yli 100 kg/s:n ja kun kattilan tulipesästä alkoi kuulua jymähtelyä, tehtiin pikapysäytys ja pikatyhjennys. Kattila tyhjeni suunnitellusti noin 20 minuutissa päälaskuputkien pikatyhjennysputkien tasolle eli n. 2,5 metriin (pohjasta) asti. Kattilalta ei valvomoon asti kuulunut enää jymähtelyä. Kattilahuoneessa liikkumisesta pitäydyttiin 10 tuntia pikapysäytyksestä.”

Putken repeämisestä selvittiin Kaukaalla ilman tulipesäräjähdystä, joka olisi aiheuttanut merkittäviä vaurioita.

Toinen esimerkki vuodon kehittymisestä on Stora Enson Veitsiluodon tehtaalta tammikuusta 2005. Kuvassa 11 on esitetty syöttövesi-höyryeron, syöttöveden, höyryn ja nuohoushöyryn trendit 29.12.2004 – 29.1.2005.



Kuva 11. Syöttöveden, höyryn, nuohoushöyryn ja syöttövesi-höyryeron trendit Stora Enson Veitsiluodon tehtaalla soodakattilassa 29.12.2004 – 29.1.2005

Syöttövesi-höyryeron trendin perusteella arvioiden vuoto alkoi 15. - 16.1., jolloin ero kasvoi noin 1,0 kg/s verran. Vuoto kasvoi 18. - 24.1. noin 0,8 kg/s vuorokaudessa, jonka jälkeen kasvu nopeutui ollen loppujakson noin 1,1 kg/s vuorokaudessa. Ennen alasajo vuoto oli noin 10 kg/s.

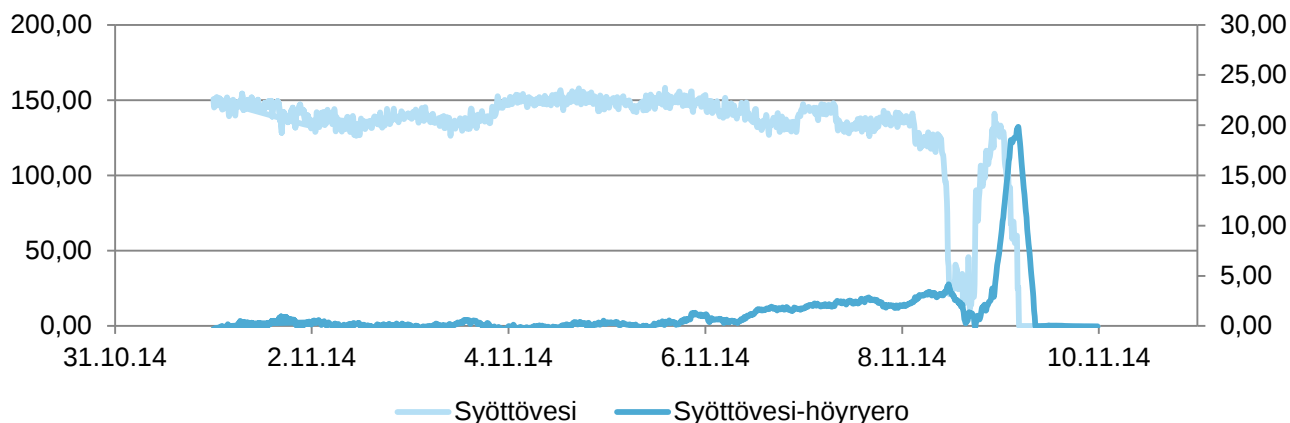
Vuoto paikannettiin 27.1. ekonomaiseriin tuhkan kosteuden perusteella, ja tämän jälkeen tehtiin päätös kattilan ajamisesta alas. Vuoto sijaitsi aivan ekonomaiserin yläosassa, joten tarvittiin huomattavan suuri vuoto, jotta edes osa vedestä selvisi haihtumatta tuhkakuljettimille saakka.

Kolmas esimerkki on suuresta vuodosta tulipesän seinäputkessa aasialaisessa soodakattilassa vuonna 2014, kuvat 12 ja 13. Seinäputkesta oli revennyt pala, kuten kuvasta 13 näkyy.



Kuvat 12 ja 13. Suuri vuoto aasialaisen soodakattilan seinäputkessa sekä lähikuva vaurioituneesta seinäputkesta

Vaikka kyse on putken repeämisestä, on todennäköistä, että tässäkin tapauksessa repeämistä edelsi hitaasti kasvanut pieni vuoto. Tähän viittaa syöttövesi-höyryeron trendi vuotoa edeltäneeltä jaksolta, kuva 14.



Kuva 14. Syöttövesivirtaus (kg/s) ja syöttövesi-höyryero (kg/s) 31.10. – 10.11.2014 aasialaisessa soodakattilassa

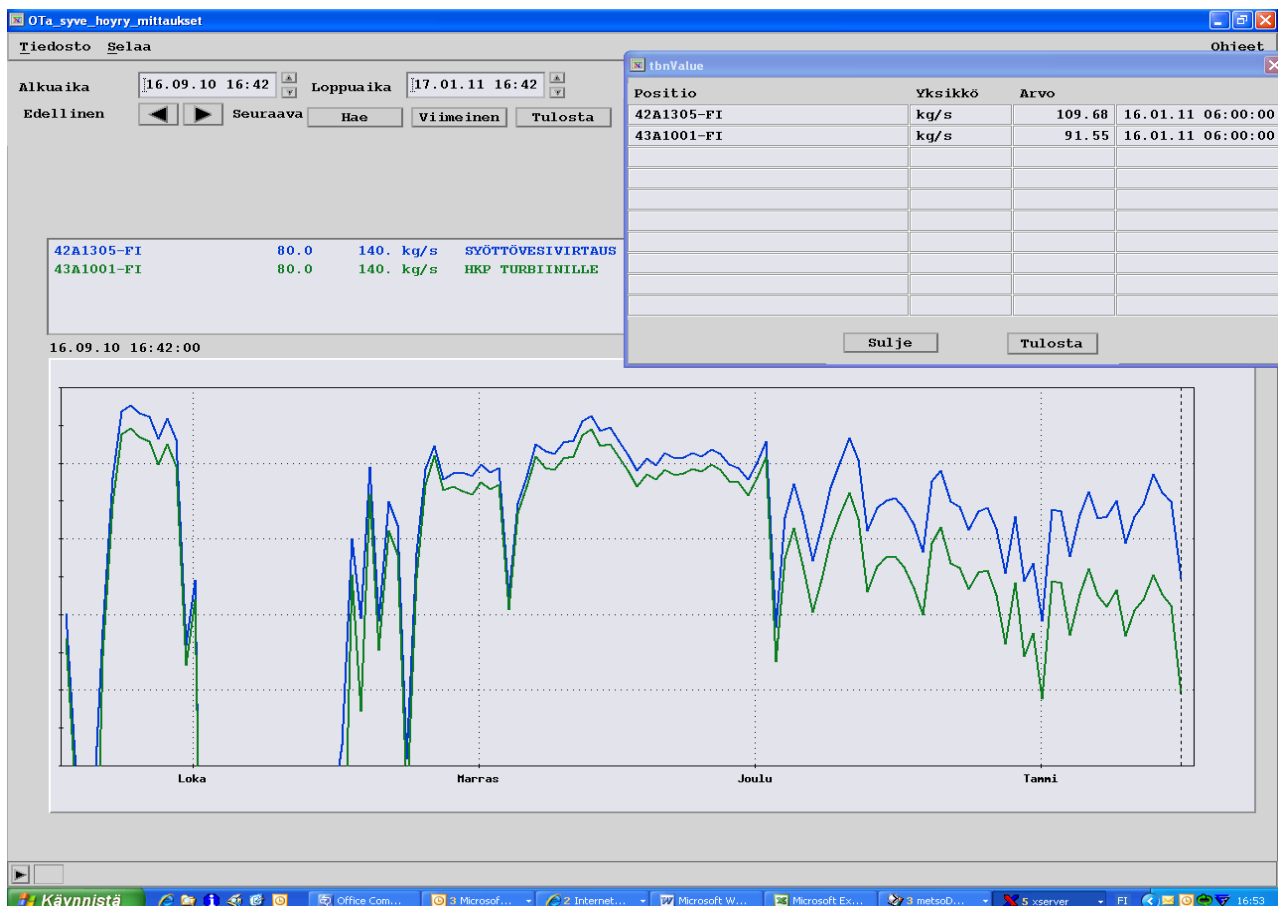
Syöttövesi-höyryeron mukaan kattilan seinäputkeen tuli pieni vuoto hieman ennen puoltapäivää 6.11., jolloin ero kasvoi noin 1,5 kg/s. Ero kasvoi kaksinkertaiseksi kahden seuraavan vuorokauden aikana. Kattilan kuorma laski 8.11. kun lipeän poltto katkaistiin noin kahdeksan tunnin ajaksi. Varsinainen repeämä tapahtui neljä tuntia sen jälkeen kun lipeän poltto oli aloitettu uudelleen ja kattila oli taas täydessä kuormassa. Repeämän seurauksena syöttövesi-höyryero kasvoi arvosta 3,3 kg/s arvoon 20 kg/s. Kattilassa oli siten pieni vuoto 2,5 vuorokauden ajan ennen repeämää.

Neljäs esimerkki on verhoputken vaurio MF Rauman soodakattilassa tammikuussa 2011, kuva 15. Vauriota koskeva raportti on päivätty 17.2.2011.



Kuva 15. Verhoputkivuoto MF Rauman soodakattilassa 2011

Syöttövesi- ja höyrytrendit jaksolta 16.9.2010 – 16.1.2011 esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Syöttöveden ja höyryn trendit MF Rauman soodakattilassa 16.9.2010 – 16.1.2011.

Trendien perusteella näyttäisi syöttövesi-höyryero olleen Raumalla ennen joulukuuta 2010 noin 2,5 kg/s, mutta joulukuun alussa tapahtuneen kuormanpudotuksen yhteydessä ero näyttää pomsahtavan arvoon 6,4 kg/s eli kasvua on noin 4 kg/s verran. Tämän jälkeen vuoto kasvoi tasaisesti lähes 1,5 kk ajan olleen 16.1. noin 15,6 kg/s. Vuoto kasvoi noin 0,35 kg/s vuorokaudessa.

Raumalla vuoto havaittiin, kun verhoputken vuoto suuntautui verhojen läpivientiin ja muurauksen syöpyessä vuoto näkyi kattilan ulkopuolella. Vaurion aiheuttaja oli kattoon ja tulistimiin muodostunut suolakami, joka pudotessaan rikkoi elementtien 15 ja 16 putkia. Elementin 15 ylimmässä putkessa alapuolinen evä oli painunut putken sisään ja aiheuttanut vuodon. Vuotosuihku oli osunut viereiseen elementtiin 14 kuluttaen reiän toiseksi ylimpään putkeen.

Kun kattila ajettiin alas, tapahtui noin 1,5 tuntia öljytulien sammuttamisen jälkeen tulipesäräjähdyks, jonka seurauksena kattilan heikko nurkka aukesi. Valvomohenkilökunnan mukaan todennäköinen räjähdysten aiheuttaja oli tulistimista pudonnut kami, joka rikkoi jäähtyneen suolapedin kuoren niin, että vesi ja kuuma sula pääsivät kosketuksiin. Tätä tukee se, että tulipesäkameran kuvassa näkyi kirkkaampia ”säkenöiviä palloja”.

Vauriomekanismit, jotka saivat aikaan vuodot em. tapauksissa, olivat huomattavan erilaisia. Kaukaalla ensimmäisen vuodon syynä oli sisäpuolinen korroosio ja toisen ylikuumentumisen aiheuttama viruminen. Veitsiluodossa vuodon syynä oli todennäköisesti väsymisen ja korroosion aiheuttama säröytyminen. Aasialaisessa soodakattilassa puolestaan syynä luultavasti oli, Kaukaan tapaan, sisäpuolinen korroosio, mutta Kaukaan tapauksesta poiketen korroosion aiheuttama vetyhaurastuminen oli niin voimakasta, että putkesta repesi pala. Raumalla puolestaan vaurion aiheutti mekaaninen isku putkeen ja putken painuminen kasaan. Erilaisista perussyistä huolimatta kaikki vuodot alkoivat säröinä, joiden aikaan saama vuoto oli 0,5 - 2,5 kg/s, eli juuri samaa luokkaa kuin vuotokokeessa.

Kuten olettaa sopii, nopeuteen, jolla särö kasvoi, vaikutti em. tapauksissa putken kunto. Särön eteneminen ja vuodon kasvu olivat nopeimpia aasialaisessa soodakattilassa, jossa putkimateriaali oli heikentynyt sisäpuolisen korroosion takia eniten. Tällöinkin vuodon kasvuun suureen vuotoon saakka aikaa kului muutamia päiviä.

Em. tapausten valossa näyttäisi siltä, että ainoat vauriomekanismit, jotka voi saada aikaiseksi äkillisen suuren vuodon, on putken puhkeaminen ylikuumentumisen aiheuttaman virumisen tai korroosion tai mekaanisen kulumisen aiheuttaman seinämän ohentumisen takia.

Muissa tapauksissa, joita voidaan olettaa olevan suurin osa kaikista vuodoista, vuoto alkaa pienenä särönä ja kestää useita päiviä tai jopa viikkoja tai kuukausia, ennen kuin vuoto kasvaa suureksi vuodoksi tai saa aikaiseksi suuren vuodon ko. putken tai naapuriputken repeämän takia.

Jonkinlainen käsitys siitä, miten suureen osaan vuodoista ja räjähdyksistä on mahdollista vaikuttaa kattiloiden tiiveydenvalvontaa tehostamalla, on saatavissa tarkastelemalla Tom Gracen tekemää yhteenvetoa Pohjois-Amerikassa 1970 – 93 tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä, taulukko 3.

Taulukko 3. Pohjois-Amerikassa vuosina 1970 – 93 tapahtuneiden soodakattilaräjähdyksien aiheuttaneiden painerungon vuotojen syyt [2, 3]

Syy	Tapaukset	Osuus
Ylikuumentuminen – syy tuntematon/tukkeutuminen/matala pinta lieriössä	13	43 %
Puutteellinen hitsaus	7	23 %
Korroosio (irronnut pinnoite, jännityskorroosio, väsymiskorroosio, yms.)	5	17 %
Mekaaninen vaurio (suolakamin putoaminen tms.)	2	7 %
Pienen vuodon aiheuttama eroosio	1	3 %
Kylmän puolen korroosion aiheuttama murtuma	1	3 %
Nuohojen aiheuttama eroosio/korroosio	1	3 %



Suurin osa, ellei kaikki, puutteellisen hitsauksen, korroosion ja pienen vuodon aiheuttamasta eroosiosta seurannaista vuodoista alkoivat todennäköisesti pienestä säröstä. Lisäksi osa ylikuumenemisen tai mekaanisen vaurion aiheuttamista vuodoista on saattanut olla samanlaisia kuin Kaukaan 2006 seinäputkivaurio tai Rauman verhoputkivaurio, joissa molemmissa vuoto oli aluksi pieni. Voidaankin arvioida, että huomattava osuus, karkeasti arvioiden noin 50 %, 1970 – 93 tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä olisi voinut olla estettävissä tehokkaalla vuodonvalvonnalla.

Suomessa äkillisiä vuotoja ovat taulukossa 2 esitetyistä tapauksista Sunilassa, Kotkassa ja Imatralla tapahtuneet vuodot, kun taas muissa tapauksissa vauriot etenivät suhteellisen hitaasti. Tehokkaasta vuotojen valvonnasta olisi siten voinut olla apua noin 70 % vaarallisista vuodoista.

Edellä kuvatut arviot ovat suuntaa-antavia, mutta suunta on selvä: huomattava osa suurista vuodoista, joita soodakattiloissa on vuosien saatossa tapahtunut, olisi voitu estää, jos vuodot olisi havaittu jo siinä vaiheessa, kun ne olivat pieniä. Kaikkia suuria vuotoja ei kuitenkaan voida estää ennalta edes tehokkaalla tiiveydenvalvonnalla, joten myös niihin on syytä varautua. Tämän vuoksi on seuraavissa kappaleissa käsitelty sekä pieniin että suuriin vuotoihin varautumista.



5 PIENTEN VUOTOJEN VALVONTA

Tulipesäräjähdyksistä saadut kokemukset viittaavat siihen, että tulipesäräjähdyksen riskiä voidaan pienentää merkittävästi havaitsemalla vuodot, jotka ovat säröjen aiheuttamia, niin että kattilan alasajo voidaan toteuttaa 1 – 2 vuorokauden kuluessa vuodon alusta. Tällöin kattila ehditään todennäköisesti ajaa alas tilanteessa, jossa tulipesään vuotaa vettä vielä suhteellisen vähän, ja tilanne on tällöin huomattavasti vähemmän vaarallinen kuin jos alasajoon jouduttaisiin tilanteessa, jossa vuoto on jo edennyt suureen vuotoon saakka.

Seuraava kysymys kuuluu: onko tämä mahdollista?

Voidaanko soodakattilan tiiveyttä valvoa niin tarkasti, että säröjen aiheuttamat vesivuoto tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa ovat havaittavissa viimeistään vuorokauden kuluessa vuodon alusta?

Tähän kysymykseen haetaan vastausta tässä kappaleessa käymällä läpi kattiloiden tiiveydenvalvontaan kehitettyjä järjestelmiä ja niistä saatuja käyttökokemuksia.

5.1 Massataseen seurantaan perustuvat järjestelmät

Kattilan tiiveyden valvonta massataseen perusteella perustuu siihen yksinkertaiseen periaatteeseen, että tarpeeksi pitkällä aikajaksolla kattilaan syötetyn vesimäärän täytyy olla yhtä suuri kuin kattilasta poistuneen veden ja höyryn määrän, koska ainetta ei synny eikä häviä kattilassa. Sopivaa tarkastelujaksoa käytettäessä lieriön pinnan ja kattilan vesimäärän vaihtelut kumoavat toisensa, joten niitä ei tarvitse huomioida tasetarkastelussa. Mikäli tase osoittaa, että vettä kuitenkin häviää, on syytä epäillä vuotoa.

Vuotovirtaus saadaan massataseesta:

$$\text{vuotovirtaus} = \text{syöttövesivirtaus} - \text{höyryvirtaus} - \text{nuohoushöyryvirtaus} - \text{ulospuhallus}$$

Taseeseen saattaa kuulua myös esim. ruiskutusvesivirtaus.

Määäävät termit ovat yleensä syöttövesivirtaus ja höyryvirtaus, ja näin saatua vuotovirtausta kutsutaankin yleisesti syöttövesi-höyryeroksi.

Virtausmittaukset eivät yleensä ole absoluuttisen tarkkoja, joten em. yhtälön antama vuotovirtaus poikkeaa nolasta suodatuksen jälkeenkin usein silloinkin, kun kattila on tiivis. Ero voidaan sovittaa nolaksi käyttämällä sovitteena vuotovirtauksen pitkän ajankeskisarvoa.

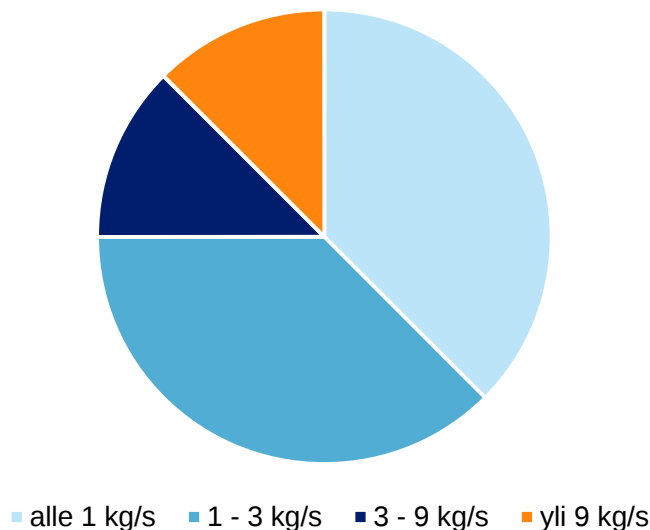
Koska vuotovirtaus lasketaan yhtälöstä, jossa ei yleensä ole mukana kattilan vesitilavuus, on vuotovirtauksella taipumus kasvaa kattilan kuorman pudotessa. Kuorman putoamisen seurauksena höyryntuotto kattilassa vähenee, jolloin höyryn määrä kattilassa kiertävässä virtauksessa pienenee. Tämän seurauksena lieriön pinta pyrkii laskemaan, ja pinnan säätö reagoi tähän lisäämällä syöttöveden virtausta. Syöttövesi-höyryero käy tässä tilanteessa normaalia suurempana, mutta palaa pian takaisin lähelle nolaa, kun kattilan kuorma tasaantuu, joten trendiä seuraamalla on helposti havaittavissa, että kyse ei ole vuodosta. Ajoittaiset hypähdykset ylöspäin ovat kuitenkin ei-toivottavia, sillä ne voivat aiheuttaa tarpeettomia hälytyksiä. Mikäli tällaisia hälytyksiä tapahtuu usein, kasvaa riski, että hälytys jää huomiotta myös silloin kun se aiheutuu todellisesta kattilavuodosta.

Kuorman muutosten aiheuttamaa syöttövesi-höyryeron huojuntaa voidaan hillitä huomioimalla laskennassa kuorman muutostilanteet ja/tai lisäämällä hälytyksiin viiveitä.

Syöttövesi-höyryeron laskentatapa vaihtelee tehtaittain. Yksinkertaisimmillaan laskenta on tehty käyttäen suoraan mittausdataa ja suodattamalla tulosta niin, että tulos vaihtelee esim. ± 5 kg/s verran. Lopputuloksena voi olla tällöin syöttövesi-höyryero, jonka suuruus normaalisti on keskimäärin $+ 8$ kg/s, mutta joka huojuu jatkuvasti välillä 3 kg/s – 12 kg/s. Suuren huojunnan takia hälytysraja joudutaan asettamaan korkealle, esim. arvoon $+18$ kg/s, joten hälytys aktivoituu vasta kun vuoto on yli 10 kg/s. Hälytys toimii tällöin käytännössä suuren kattilavuodon hälytyksenä. Syöttövesi-höyryero ei tällöin indikoi pientä vuotoa (trendimuutokset jäävät suurella todennäköisyydellä havaitsematta) eikä se siten auta suurten vuotojen ennaltaehkäisyssä.

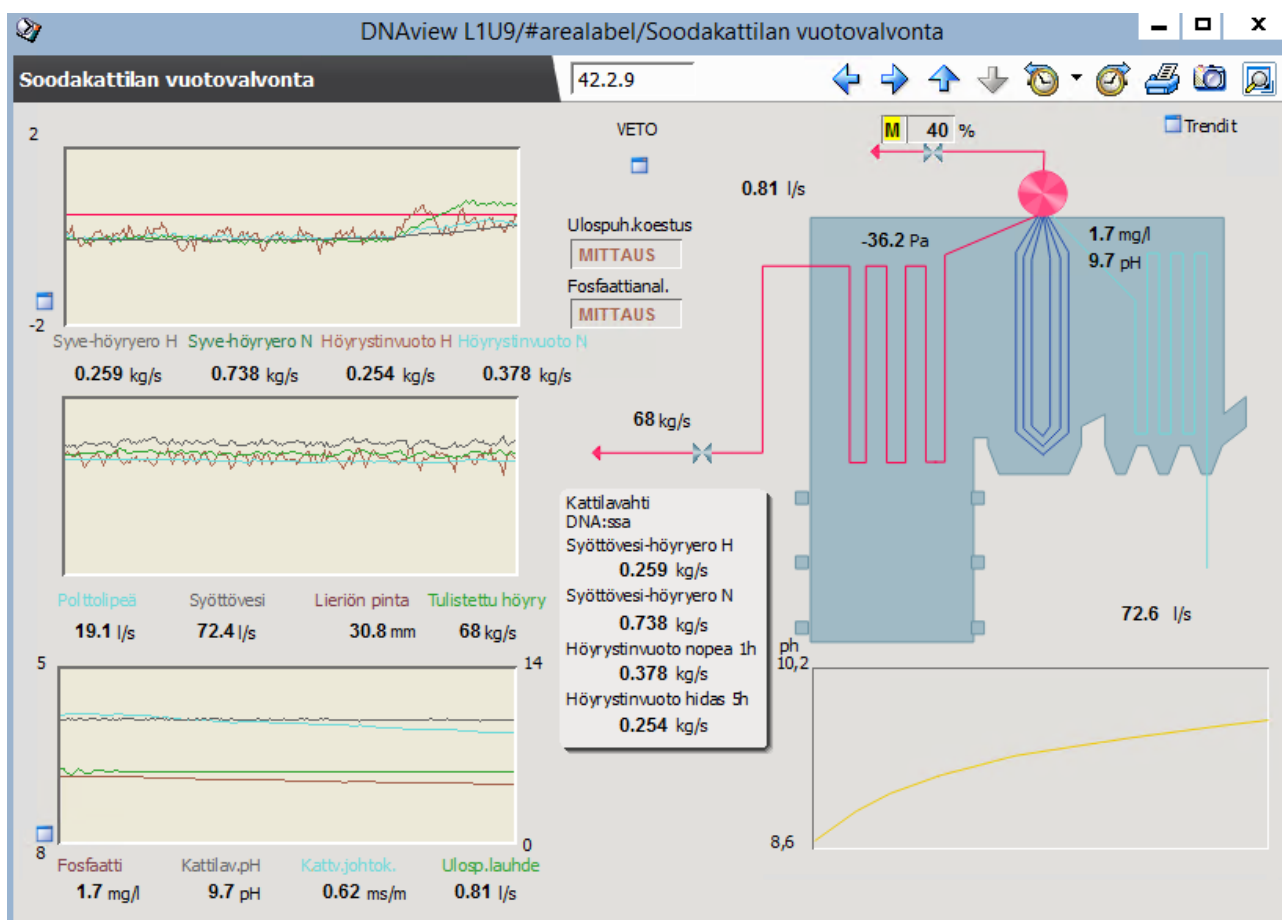
Osassa tehtaita syöttövesi-höyryeron laskenta on toteutettu niin, että ero on saatu asettumaan normaalitilanteessa lähelle 0 kg/s ja huojunta on niin vähäistä, että eron seurannan avulla voidaan havaita huomattavasti pienemmätkin vuodot.

Tehtaille lähetettyyn kyselyyn saatujen vastausten perusteella näin on tehty tätä nykyä suurimmassa osassa tehtaita. Vastausten mukaan 75% tehtaista syöttövesi-höyryeron seurannan avulla voidaan havaita vuodot, jotka ovat alle 1 kg/s tai $1 - 3$ kg/s, kuva 17.



Kuva 17. Syöttövesi-höyryeron avulla havaittavat vuodot Suomen soodakattiloilla

Esimerkiksi Veitsiluodon tehtaalla syöttövesi-höyryeron seuranta on järjestetty niin, että erosta saadaan hälytys, kun ero ylittää $0,5$ kg/s. Hälytyksen toiminta on testattavissa jäädyttämällä ulospuhalluksen arvo automaatiojärjestelmässä ja avaamalla ulospuhalluksen säätöventtiili, jolloin ulospuhalluksen lisäyksen tulisi näkyä syöttövesi-höyryeron kasvuna. Kuvassa 18 on esitetty näin toteutetun testin tulokset.



Kuva 18. Syöttövesi-höyryeron testaus Veitsiluodon soodakattilassa (tilanne testin päätyttyä)

Verrattuna tilanteeseen vuonna 2001 on syöttövesi-höyryeron käytössä tapahtunut selvää edistystä.

Syöttövesi-höyryeron seurannan tarkkuus on parantunut huomattavasti. Vuonna 2001 ainoastaan muutamalla tehtaalla arvioitiin seurannan avulla voitavan tunnistaa 1 – 2 kg/s suuruiset vuodot. Osuus oli vain noin 10 % kaikista kattiloista. Nyt tähän tarkkuuteen arvioitiin päästävän yhdeksässä kattilassa eli yli puolessa kattiloista.

Vuonna 2001 jatkuva syöttövesi-höyryeron seuranta oli käytössä 16:ssa kattilassa 22:sta kattilasta, mutta hälytyksiä käytössä oli vain kahdeksassa kattilassa, kun nyt Soodakattilayhdistyksen yhteyshenkilöille tehdyn kyselyn perusteella seuranta ja hälytykset olivat käytössä yhtä vaille kaikissa.

Syöttövesi-höyryeron seuranta on tehtailla laadittu joko tehtaan automaatiosta vastaavien tai Valmet Automaation toimesta.

Valmetin laatimia seurantoja oli käytössä Veitsiluodon, Rauman ja Äänekosken tehtailla. Hälytysrajat ko. seurannoissa olivat 0,5 – 1 kg/s. Kaikissa järjestelmissä on järjestetty myös mahdollisuus eron testaukseen.

Erinomaiseen erotustarkkuuteen päästään myös Joutsenon, Sunilan ja Varkauden kattiloissa, joissa tehtaan henkilökunnan arvion mukaan havaittavissa ovat vuodot, joiden koko on selvästi alle 1 kg/s. Sunilassa seuranta perustuu trendien säännölliseen läpikäyntiin lähes päivittäin. Varkaudessa erotustarkkuutta ylläpidetään virtausmittausten säännöllisellä kalibroinnilla.



5.2 Kattilan höyrystinosan tiiveyden valvonta kattilaveden laadun seurannan avulla

Kattilavesivuodon valvonta kattilaveden fosfaattipitoisuuden tai johtokyvyn alarajahälytysten avulla

Kun syöttöveteen lisätä merkkiainetta, joka ei kulkeudu höyryn mukana, voidaan kattilan höyrystinosan (tulipesän, verhojen ja keittopinnan) tiiveyttä valvoa seuraamalla ko. merkkiaineen pitoisuutta kattilavedessä. Käytännössä merkkiaine voi olla esim. fosfaatti, jonka pitoisuutta kattilavedessä voidaan seurata jatkuvatoimisella analysaattorilla ja laboratoriomäärityksin.

Kattilavuotojen valvonta voidaan toteuttaa hyvin yksinkertaisin menetelmin, kun merkkiainetta annostellaan kattilaan aina suhteessa ulospuhallusvirtaukseen. Tällöin merkkiaineen pitoisuus kattilavedessä on likimain vakio, kun kattilan höyrystinosa on tiivis. Vuodolla esim. keittopinnassa on tällöin samanlainen vaikutus kuin ulospuhalluksen lisäykselle, eli se johtaa merkkiaineen pitoisuuden laskuun kattilavedessä. Jos esimerkiksi kattilan höyrystinosaan tulee yhtä suuri vuoto kuin kattilan ulospuhallus, kun fosfaatin annostelu ja ulospuhallus on sovitettu niin, että fosfaattipitoisuus on 3 mg/l ja kattilaveden johtokyky on noin 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, laskee fosfaattipitoisuus vuodon seurauksena arvoon 1,5 mg/l ja johtokyky arvoon 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (johtokyky ei laske puoleen, koska johtokykyyn vaikuttaa myös syöttövesikemikaalien pitoisuus, joka ei muutu ulospuhalluksen lisäyksen tai vuodon seurauksena yhtä paljon kuin esim. fosfaatin pitoisuus).

Kun merkkiaineena käytetään fosfaattia ja fosfaatin pitoisuutta kattilavedessä seurataan jatkuvatoimisella analysaattorilla tai päivittäin tehtävillä määrityksellä, voidaan kattilaveden fosfaattipitoisuudelle asettaa alarajahälytys. Kun fosfaattipitoisuus laskee alarajaan, on syytä epäillä vuotoa kattilan höyrystinosassa, jos annostelu toimii normaalisti eikä ulospuhallusta on lisätty normaalia suuremmaksi. Tällöin fosfaattipitoisuuden lasku kattilavedessä kielii vuodosta kattilan höyrystimestä, kuten esim. kuvassa 8.

Edellä kuvatun menetelmän etuna on yksinkertaisuus: mitään varsinaista laskentaa ei tarvita, vaan vuodon tunnistukseen riittää yksin kattilaveden johtokyvyn tai fosfaattipitoisuuden seuranta.

Haittapuolia on useita:

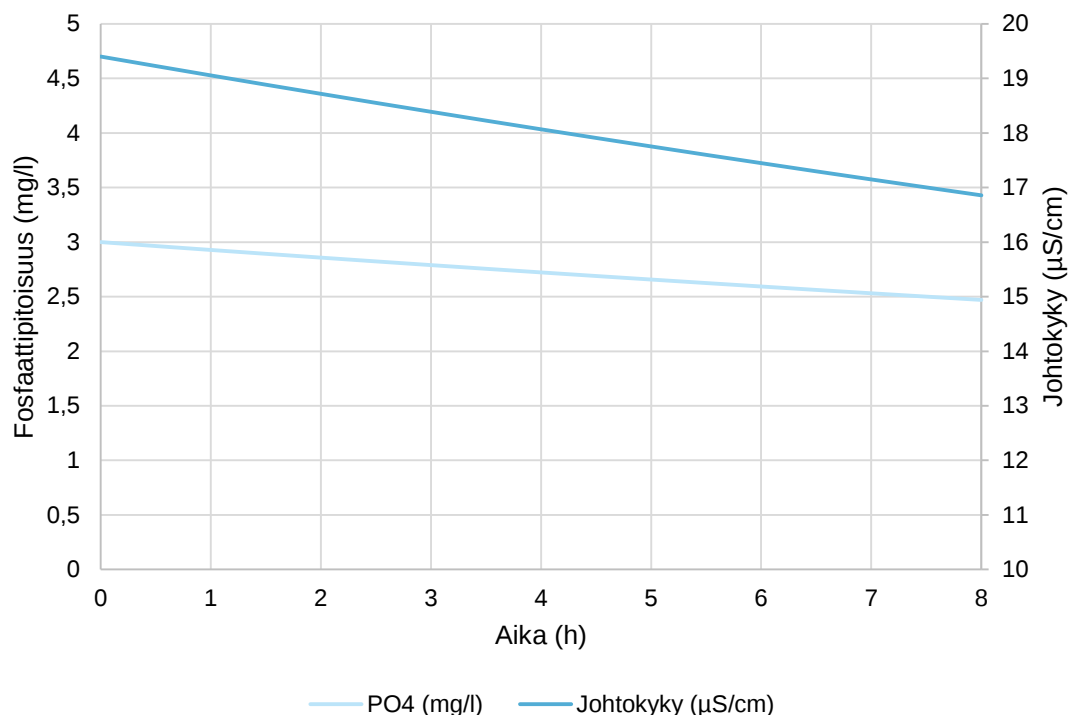
- Kun vuoto on suuri, esim. luokkaa 5 – 10 kg/s, ja kattilaveden fosfaattipitoisuutta valvotaan pelkästään laboratoriomäärityksin, voi vuodon tunnistus viivästyä 1 – 3 vuorokautta. Viive voi pahimmillaan johtaa siihen, että vuotoa ei tunnisteta tai paikanneta vaaralliseen osaan kattilaa ennen kuin vuoto saa aikaan putken repeämän ja/tai tulipesäräjähdyksen.
- Hälytys ei viittaa suoraan vuotoon. On siten mahdollista, että hälytystä ei tunnisteta merkiksi vuodosta, vaan tilanteeseen reagoidaan yksinomaan lisäämällä fosfaatin annostelua. Tällöin voi käydä niin, että vuotoa kattilassa aletaan epäillä vasta, kun kattilaveden fosfaattipitoisuutta ei saatu pidettyä hallinnassa edes maksimiannostelulla. Tähän voi kulua, tapauksesta riippuen, useita päiviä tai jopa viikkoja. Tänä aikana jo pienikin vuoto voi saada aikaan sekundäärisiä vaurioita läheisissä putkissa, ja johtaa siten putken repeämään ja siitä seuraavaan tulipesäräjähdykseen.
- Hälytys alhaisesta kattilaveden fosfaattipitoisuudesta tai johtokyvystä ei anna viitteitä vuodon koosta, joten tuloksia on vaikea verrata esim. syöttövesi-höyryeron muutoksiin. Tämä vaikeuttaa tilannekuvan muodostamista ja lisää riskiä, että päätös kattilan alasajosta lykkääntyy niin, että vuoto etenee putken repeämään ja siitä seuraavaan räjähdykseen asti.

Kyselyyn saatujen vastausten perusteella kattilaveden fosfaattipitoisuuden alarajahälytystä hyödynnetään kattilan tiiveyden valvonnassa Oulun ja Wisan tehtailla.

Käynninaikainen tiiveyskoe

Kattilaveden laadun seurannan avulla voidaan varmistaa kattilan höyrystinosan tiiveys normaalin käytön aikana. Varmistus on tehtävissä katkaisemalla fosfaatin annostelu ja sulkemalla ulospuhallus. Jos kattilaveden fosfaattipitoisuus ja johtokyky pysyvät muuttumattomina (sen jälkeen kun em. toimenpiteiden aikaan ekonomaisereissa ollut, fosfaattipitoinen vesi on virrannut kattilaan), voidaan todeta kattilan höyrystinosan olevan tiivis. Jos taas fosfaattipitoisuus ja johtokyky laskevat tasaisesti fosfaatin annostelun lopetuksen ja ulospuhalluksen sulkemisen jälkeen, on kattilan höyrystinosassa vuoto.

Jos esimerkiksi kattilassa, jonka höyrystimen vesitilavuus on 300 m³ ja kattilaveden fosfaattipitoisuus tiiveyskokeen alussa on 3 mg/l ja johtokyky on 19,5 µS/cm, on 1 kg/s suuruinen vuoto tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa, laskevat kattilaveden fosfaattipitoisuus ja johtokyky tiiveyskokeen aikana kuten kuvassa 19 on esitetty. Jos taas kattilan höyrystinosa on tiivis, pysyvät kattilaveden fosfaattipitoisuus ja johtokyky tiiveyskokeen aikana likimain vakioina.



Kuva 19. Kattilaveden fosfaattipitoisuuden ja johtokyvyn muutokset 1 kg/s suuruisen vuodon aikana, kun vuoto on tulipesässä, verhossa tai keittopinnassa ja ulospuhallus ja fosfaatin annostelu on katkaistu (kattilan vesitilavuus on 300 m³)

Tiiveyskokeen aikana kattilaveden silikaattipitoisuus nousee, joten mikäli ulospuhallus pidettäisiin kiinni hyvin pitkään, nousisi kattilaveden silikaattipitoisuus niin korkeaksi, että silikaattia alkaisi karata höyryyn ohjearvoja ylittäviä määriä. Tavallisesti kuitenkin riittää, että tiiveyskoe tehdään suhteellisen lyhyenä niin, että ulospuhallus on keskeytetty esim. 4 – 8 tuntia. Tämä aikana kattilaveden silikaattipitoisuus ei yleensä vielä nouse merkittävästi ja vaikka nousisikin, jää höyryyn kulkeutuvan silikaatin kokonaismäärä niin vähäiseksi, että sillä ei ole käytännön merkitystä esim. turbiinin likaantumiseen.

Edellä kuvattuun tapaan toteutettavan käynninajan tiiveyskokeen etuna on yksinkertaisuus ja nopeus: tarvittavat toimenpiteet ovat helppoja toteuttaa ja tulos on nähtävissä nopeimmillaan muutamassa tunnissa.

Menettelyn ainoa heikkous on, että koetta ei voida tehdä tehtailla, joiden soodakattilassa kattilavesinäyte tulee ulospuhalluslinjasta, sillä ulospuhalluslinjan sulkeminen estää tällöin myös edustavan näytteen saamisen kattilavedestä.

Käytönaikainen tiiveyskoe ei ole käytössä vielä yhdelläkään tehtaalla.

Kattilavesivuodon seurantajärjestelmät

Kun syöttöveteen annosteltavan merkkiaineen annostelua ja pitoisuutta kattilavedessä seurataan reaaliaikaisesti, voidaan ko. merkkiaineelle laatia massatase, jossa ainoa tuntematon on kattilavesivuoto. Taseesta voidaan siten laskea (lähes) reaaliaikainen arvo kattilavesivuodolle.

Fosfaattianalysointori antaa kattilaveden fosfaattipitoisuudelle uuden arvon tavallisesti noin joka 15. minuutti, joten taselaskelma voidaan päivittää samassa tahdissa. Perätaisten mittauksen sijaan tase voidaan laatia esim. tunnin tai muutaman tunnin jaksolle, jolloin huojunta tuloksissa on vähäisempää. Näin toimien voidaan laskenta toteuttaa niin, että laskettu vuotovirtaus seuraa todellista vuotoa esimerkiksi neljän tunnin viiveellä.

Tällä tavoin toteutetun kattilan höyrystinosan tiiveydenvalvonnan etuja pelkästään kattilaveden fosfaattipitoisuuden tai johtokyvyn alarajahälytysten perusteella tapahtuvaan valvontaan on:

- kattilavesivuoto voidaan määritellä huomattavasti tarkemmin kuin yksin alarajahälytysten perusteella, joten jo pienetkin vuodot tulevat havaituiksi
- laskenta huomioi muutokset merkkiaineen annostelussa ja kattilan ulospuhalluksessa, joten kattilavesivuotoa ei aleta epäillä esim. tilanteessa, jossa kattilaveden fosfaattipitoisuus laskee alarajaan annostelussa tapahtuvan häiriön tai ulospuhalluksen lisäyksen takia
- laskenta reagoi vuotoon huomattavasti alarajahälytyksiä nopeammin, joten riski, että vuoto ehtisi saada aikaan sekundäärisiä vaurioita ennen vuodon havaitsemista, pienenee
- kattilavesivuoto ilmoitetaan samoissa yksiköissä kuin syöttövesi-höyryero (kg/s, t/h), joten tulosten perusteella on helppo päätellä onko kyseessä vuoto ja jos on, onko vuoto kattilan höyrystinosassa vai muualla (ekoissa tai tulistimissa). Päätös kattilan alasajosta on siten helpommin tehtävissä. Samalla riski, että päätös alasajosta lykkääntyy niin, että pieni vuoto saa aikaan suuren, pienenee.

Kemikaalitaseen perusteella tapahtuvan kattilavesivuodon laskennan haasteita ovat suuret vuodot, joiden hallinta vaatii operaattorilta nopeita toimenpiteitä. Kemikaalitaseen perusteella tapahtuvaan laskentaan liittyy väistämättä viiveitä. Vuodon aiheuttama kattilaveden laimeneminen on havaittavissa vasta:

- kun vuodon alun jälkeen kattilaveteen virrannut syöttövesi on sekoittunut koko kattilan vesitilavuuteen
- kun laimenneen veden näyte ehtii kattilavedestä analysointorille
- kun merkkiaineen mittaava analysointori saa analysoitua uuden näytteen
- kun näytteitä on analysoitu riittävän monta peräkkäin, jotta on varmaa, että merkkiaineen pitoisuuden muutos on kattilaveden laimenemisen aiheuttamaa eikä johdu esim. analysointorin toimintahäiriöstä.

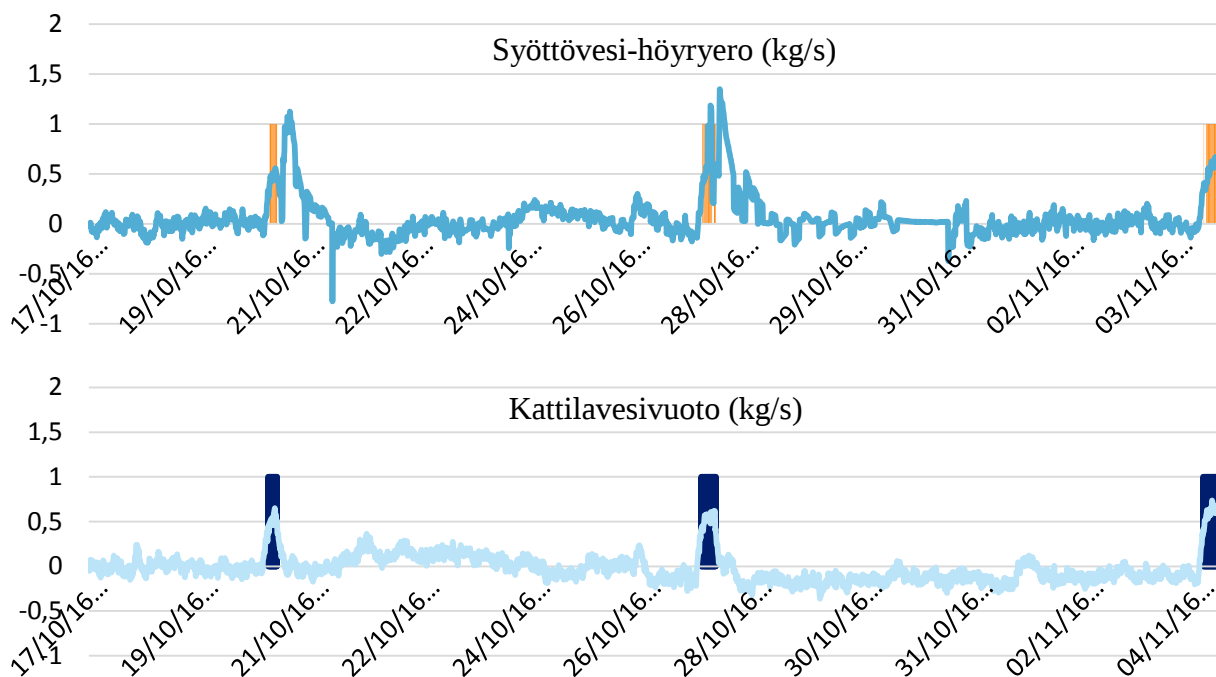
Käytännössä eniten viivettä aiheuttavat kattilaveden analysointi ja useamman kuin yhden näytteen analysointi. Esim. fosfaattianalysointori tekee uuden määrittelyn tavallisesti noin 15 minuutin välein. Kattilaveden laimeneminen kahden tai kolmen peräkkäisen näytteen perusteella vie siten vähintään 30 – 45 minuuttia. Viive on siten liian pitkä, jotta näin saadun kattilavesivuodon perustella voitaisiin tehdä päätöstä kattilan pikapysäytyksestä ja -tyhjennyksestä esim. tilanteessa, jossa keittopinnan putki katkeaa äkillisesti ja vuotovesi suihkuu suoraan tulipesään.

Kattilavesivuodon reaaliaikainen seuranta on tällä hetkellä käytössä neljällä suomalaisella tehtaalla: Joutsenossa, Veitsiluodossa, Raumalla ja Kaukaalla. Käytetyt hälytysrajat kattilavesivuodolle ovat Joutsenossa, Veitsiluodossa ja Raumalla 0,5 – 1 kg/s ja Kaukaalla 5 – 10 kg/s. Veitsiluodossa ja Raumalla kattilaveden vuodon laskenta on toteutettu Valmet Automaation toimesta. Joutsenossa ja Kaukaalla laskennat on toteutettu tehtaan toimesta. Kaikissa tapauksissa on merkkiaineena fosfaatti. Kaikki seurannat on otettu käyttöön vuoden 2001 jälkeen.

Vastaavia järjestelmiä on käytössä myös Suomen ulkopuolella. Tällaisia järjestelmiä toimittavat mm. Valmet Automaatio ja Pohjois-Amerikassa Nalco. Molemmissa järjestelmissä pyritään vuodot tunnistamaan sekä syöttövesi-höyryeroa että kattilaveden kemikaalitaseen perusteella.

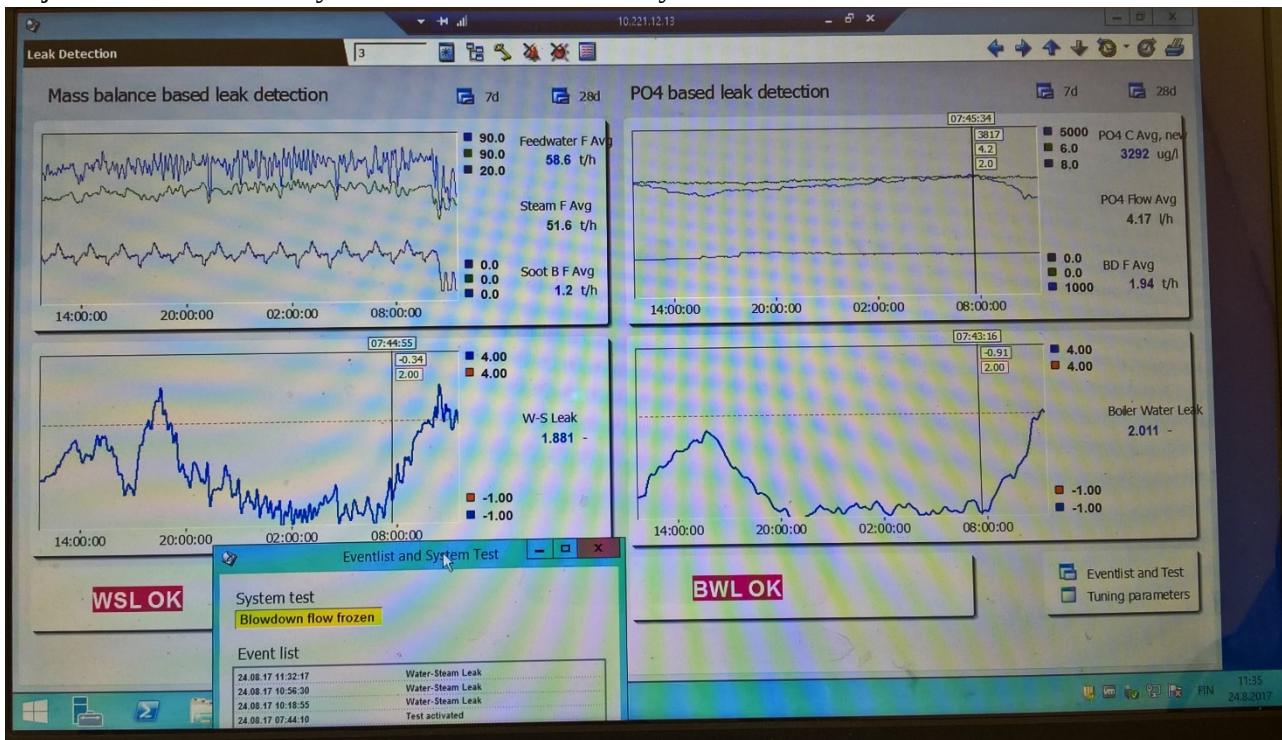
Valmet Automaation Valmet Leak Detector käyttää merkkiaineena fosfaattia. Laskennassa tarvittavat mittaussuureet ovat annosteluliuksen virtaus, kattilaveden fosfaattipitoisuus ja ulospuhallusvirtaus. Fosfaattitaseen ohella Valmetin järjestelmässä on myös syöttövesi-höyryeron laskenta, joka on toteutettu niin, että normaalitilanteessa syöttövesi-höyryero on lähellä 0 kg/s ja normaali heilahtelu on sen verran vähäistä, että hälytysraja voidaan asettaa alhaiseksi.

Valmetin tiiveydenvalvontajärjestelmä on rakennettu niin, että valvonta voidaan testata ja koestaa normaalin käynnin aikana. Testi tehdään jäädyttämällä ulospuhallusvirtauksen arvo Valmetin vuodonlaskennassa ja avaamalla tämän jälkeen ulospuhallusvirtausta säätävä venttiili täysin auki. Virtauksen lisäyksen tulisi tällöin näkyä sekä syöttövesi-höyryeron että kattilavesivuodon kasvuna. Esimerkki näin toteutettujen testien tuloksesta on ao. kuvassa.



Kuva 20. Valmetin tiiveydenvalvontajärjestelmän kattilavesivuoto ja syöttövesi-höyryero Stora Enson Veitsiluodon tehtaan soodakattilassa 17.10. – 4.11.2016 (jaksolla kolme testiä, hälytykset merkitty vahvennettuina)

Samanlainen Valmetin järjestelmä on otettu käyttöön myös Maglajin tehtaalla Bosniassa. Järjestelmän valvomonäyttö testin aikana on esitetty kuvassa 21.



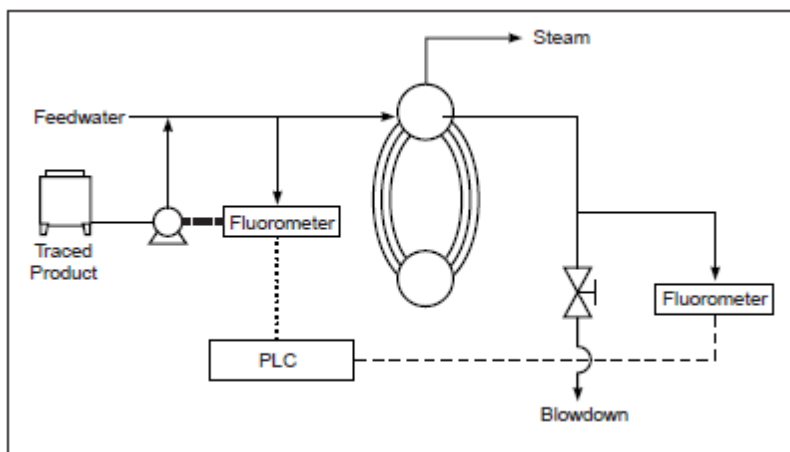
Kuva 21. Valmetin vuodonvalvontajärjestelmän näyttö Maglajin tehtaalla, vasemmalla puolella syöttövesi-höyryeron ja oikealla kattilavesivuodon trendit testin ajalta

Maglajin tehtaalle toimitetussa Valmetin vuodonvalvontajärjestelmässä on hälytysrajoiksi sekä vesi-höyryerolle että kattilavesivuodolle asetettu 2 t/h (= 0,56 kg/s).

Maglajin tehtaalla tiiveydenvalvonnan ja hälytysten toiminta testataan kuukausittain tehtävällä määräaikaistestillä, joka tehdään ulospuhallusta lisäämällä, kun ulospuhalluksen arvo on ensin jäädytetty Valmetin järjestelmässä.

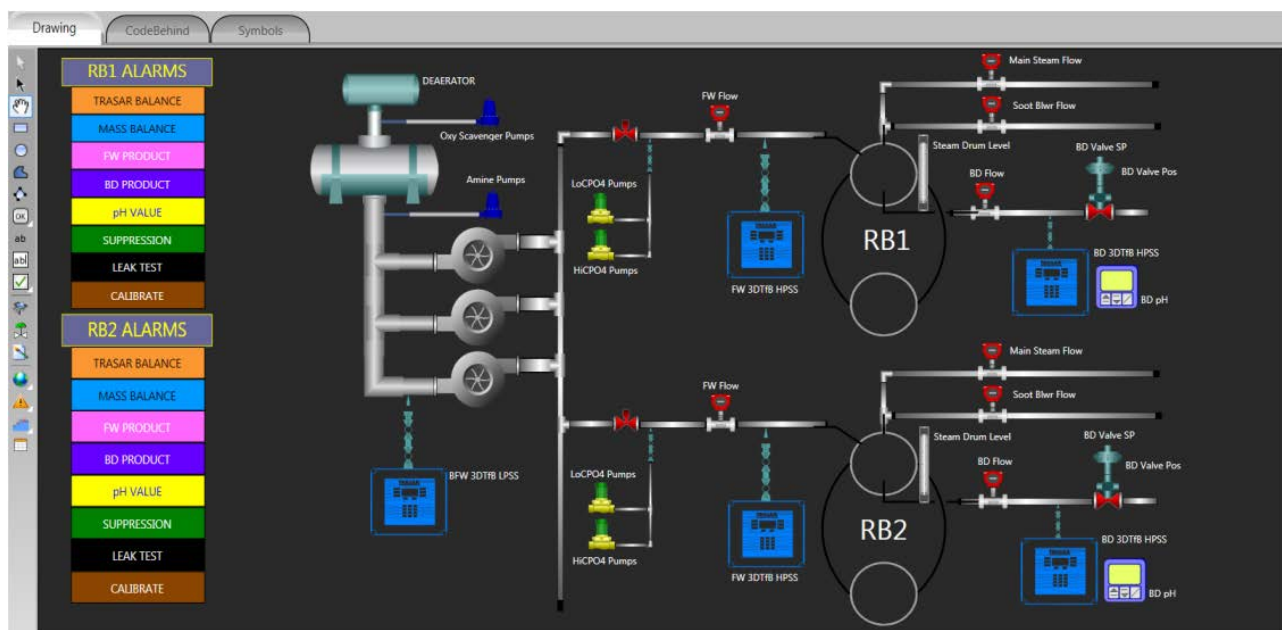
Nalcon toimittama "Recovery Boiler Leak Indicator"-järjestelmä esiteltiin jo vuonna 2001 laaditussa raportissa, ja järjestelmä on pysynyt sekä toimintaperiaatteiltaan että tekniikaltaan samanlaisena. Vuonna 2001 järjestelmä oli käytössä kuudella tehtaalla Pohjois-Amerikassa. Nyt käytössä olevia järjestelmiä on Nalcon ilmoituksen mukaan 34 kappaletta. Uusia asennuksia on siten ollut keskimäärin kaksi kappaletta vuodessa. Nalco toimittaa järjestelmiä ainoastaan USA:han ja Kanadaan.

Nalcon järjestelmä perustuu oman merkkiaineen käyttöön ja analysointiin. Kattiloissa, joissa fosfaatti annostellaan suoraan lieriöön, merkkiaine annostellaan tavallisesti erillisellä annostelupumpulla syöttövedeen, ja merkkiaineen pitoisuutta mitataan sekä syöttövedestä että kattilavedestä erillisillä analysaattoreilla (ks kuva 22).



Kuva 22. Nalcon vuodonvalvontajärjestelmän rakenne ja käyttämät mittaukset kemikaalitaseen avulla tapahtuvan vuodonvalvonnan osalta

Merkkiaine voidaan ainakin osassa tapauksia annostella myös syöttövedeen annosteltavien kemikaalien mukana (kuva 23). Nalcon edustajan mukaan merkkiaine annostellaan yleensä kuitenkin erikseen, jos fosfaatti annostellaan ekojen jälkeen.



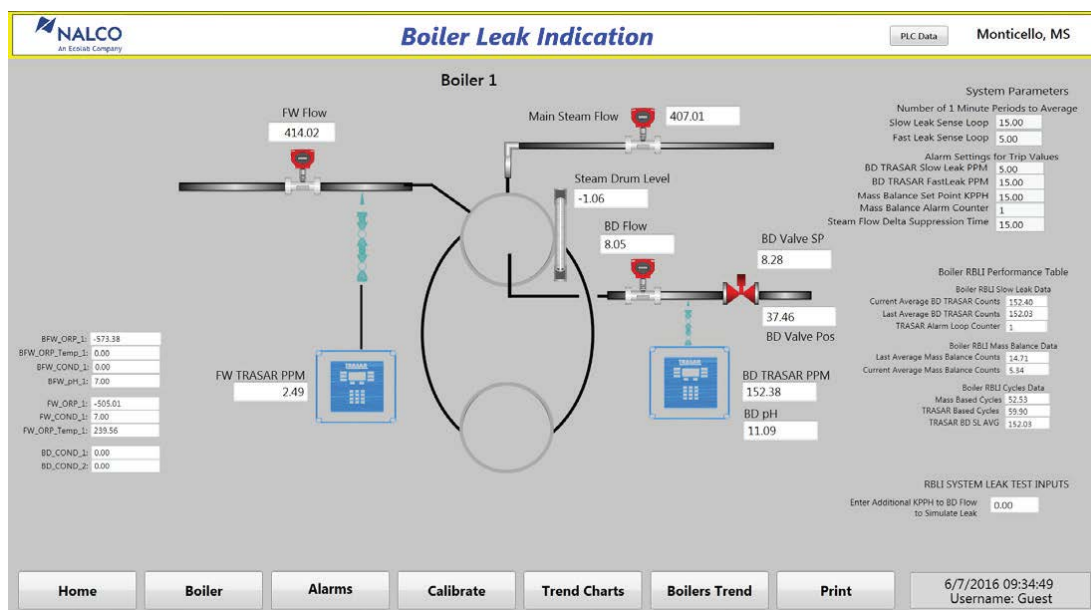
Kuva 23. Nalcon vuodonvalvontajärjestelmän toteutus kahdelle kattilalle, kun merkkiaine on lisätty syöttövesikemikaalien joukkoon (merkkiaineen pitoisuutta syöttövedessä ja kattilavedessä mitataan nyt yhteensä viidellä analysaattorilla)

Syöttövedeen annosteltavan kemikaalin perusteella tehtävän vuotojen valvonnan toteutusta on kuvattu Nalcon esitteessä seuraavasti:

”Ensimmäisellä fluorometrillä mitataan merkkiaineen pitoisuutta syöttövedessä, jolloin sen pitoisuutta syöttövedessä voidaan myös kontrolloida tarkasti. Toisella fluorometrillä mitataan merkkiaineen pitoisuutta ulospuhalluksessa. Virtausmittausten tulosten perusteella pidetään syöttöveden ja ulospuhalluksen suhdetta vakiona, ja merkkiaineen pitoisuutta ulospuhalluksessa valvotaan jatkuvasti. Merkkiaineen pitoisuuden lasku voidaan siten havaita. Laskunopeus analysoidaan statistisia menetelmiä käyttäen ja kun se todetaan merkittäväksi, järjestelmä hälyttää vuodosta kattilassa.”

Kuvauksen perusteella menetelmässä säädetään merkkiaineen annostelua ja ulospuhallusta niin, että merkkiainetta menee koko ajan kattilaan sama määrä kuin sitä poistuu ulospuhalluksen mukana kattilasta ulos. Tilanne on tällöin sama, kun kattilaan annostellaan fosfaattia ja fosfaatin annostelupumpun tuotto ja ulospuhallusvirtaus pidetään muuttumattomina: kattilaveden fosfaattipitoisuus pysyttelee vakaana, jolloin fosfaattipitoisuuden lasku indikoi vuodosta kattilan höyrystinosassa.

Nalcon järjestelmässä ei vuotovirtausta lasketa, vaan vuoto havaitaan kattilaveden pitoisuuden laskun perusteella. Hälytysrajatkin on aseteltu kattilaveden kemikaalipitoisuuden perusteella, kuten kuvassa 24.



Kuva 24. Esimerkki Nalcon vuotojen valvontajärjestelmän valvomonäytöistä

Kuvan 24 esimerkki on Georgia-Pacificin Monticellon tehtaalla, jossa on kaksi soodakattilaa, joiden molempien kapasiteetti on 1100 tKA/vrk (2,5 Mlb/vrk).

Hälytysrajat asetetaan Nalcon järjestelmässä seuraavasti:

- **Pienet vuodot** (vuodon koko 0,3 – 1,0 l/s, 5 – 15 gpm)
Merkkiaineen pitoisuudelle määritetään uusi arvo 15 minuutin välein, ja hälytys aktivoituu ensimmäisen kerran, kun seitsemästä peräkkäisestä arvosta kuusi on vähintään 0,35 mg/l verran edellistä pienempi. Toisen kerran hälytys aktivoituu, kun kahdeksasta peräkkäisesti arvosta seitsemän on vähintään 0,35 mg/l edellistä pienempi. Hälytyksen saantiin kuluu siten vähintään 1,5 tuntia vuodon alusta.
- **Suuret vuoto** (vuoto on suurempi kuin 1,0 kg/s = 15 gpm)
Merkkiaineen pitoisuudelle määritetään uusi arvo 5 minuutin välein, ja hälytys aktivoituu kahdesta peräkkäisestä arvosta jotka ovat vähintään 10 mg/l verran edellistä pienempiä. Hälytyksen saantiin kuluu siten vähintään 15 min vuodon alusta.
- **Syöttövesi-höyryero**
Syöttövesi-höyryerolle hälytysraja asetetaan tavallisesti käyttäen yksikköä KHHP (1000 lb tunnissa). Esimerkiksi kuvan 24 tapauksessa syöttövesi-höyryeron hälytysraja on 15 KPPH = 1,9 kg/s.

Tiedossa ei ole, miten suurissa soodakattiloissa Nalcon järjestelmiä on käytössä ja miten järjestelmän tarkkuus vaihtelee kattilan koon ja virtausten mukaan. Yhdysvalloissa soodakattilan ovat kuitenkin keskimäärin pieniä, keskikapasiteetti on 1300 tKA/vrk, joten voidaan olettaa, että suurin osa käytössä olevista Nalcon järjestelmistä on käytössä kattiloissa, jotka ovat suurinta osaa suomalaisia kattiloita pienempiä.

BLRBAC:n syys- ja kevätkokousten pöytäkirjoissa 2007 – 2017 on 70 vaurioraporttia vuodoista kattiloissa, joissa oli vaurion aikaan käytössä Nalcon tiiveydenvalvontajärjestelmä. Näistä 31:ssä vuoto havaittiin tai sen olemassaolo voitiin varmentaa Nalcon järjestelmän avulla. Suurin osa ko. tapauksista oli vuotoja ekoissa (26), tulistimissa (12) tai muissa ei-vaarallisissa osissa kattilaa (2). Osa kattilan höyrystinosan vuodoista suuntautui kattilahuoneeseen tai oli tulipesän ulkopuolelle.

Kun em. 70 vuototapauksen joukosta poistetaan sekä ekoissa, tulistimissa ja muissa ei-vaarallisissa osissa kattilaa olleet vuodot että ne höyrystinosan vuodot, joissa vuoto suuntautui kattilahuoneeseen, jäi jäljelle 19 vuototapausta. Näistä Nalcon järjestelmä tunnisti 12 (63 %).

Seitsemässä vuototapauksessa, joissa Nalcon järjestelmä ei reagoinut vuotoon, vuoto oli joko niin pieni, että se jäi alla hälytysrajan (yhdessä tapauksessa vuodon kooksi arvioitiin jälkeinpäin 0,3 kg/s, muissa kahdessa tapauksessa vuodon aiheuttaja oli pieni särö tai kaksi pientä pistemäistä syöpymää) tai hyvin suuri ja äkillinen aiheuttaen välittömästi kattilasuojan laukeamisen (neljä tapausta).

Pienet vuodot, joita Nalcon järjestelmä ei havainnut, havaittiin vasta alasajon jälkeen joko vesipainekokeessa tai veden virratessa sulakouruun tunti alasajon jälkeen. Kahdessa tapauksessa alasajon syynä oli ylimääräinen kosteus tai höyry kattilahuoneessa, ja yhdessä alasajo tehtiin tehtaan tuotannon rajoittamiseksi.

Nalcon järjestelmä tunnisti siis 12 vuotoa, joissa vuoto oli tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa ja vesi vuosi tulipesään tai savukaasukanavaan. Näistä 10 tapauksessa ensimmäinen indikaatio vuodosta tuli Nalcon järjestelmästä. Kahdessa tapauksessa vuodon havaitsi operaattori joko keittopinnan tuhkan kosteuden tai kattilahuoneeseen tulleen kosteuden perusteella (vuoto alkoi kattilan katon yläpuolella mutta myöhemmin vettä tippui myös katon läpi tulipesään).

Vuonna 2001 myös Hercules toimitti kattilan kemikaalitaseen seurantaan perustuvia vuodonvalvontajärjestelmiä, joita tuolloin oli käytössä kymmenessä soodakattilassa Pohjois-Amerikassa. Yritysostojen myötä ko. järjestelmien toimittaja on vaihtunut ja on nykyisin Solenis, jolla on toimintaa myös Suomessa. Yrityksen Suomen edustajilla oli käytössä ainoastaan yksi järjestelmää kuvaava esite, jossa laitteisto esiteltiin lähinnä kemikaaliannostelulaitteistona. Kattilavuotojen valvontaan esitteessä ainoastaan viitataan kerran todeten, että sellaiseenkin laitteistoa voidaan käyttää. Toimittajalta ei ollut saatavissa yksityiskohtaisempaa aineistoa järjestelmästä.

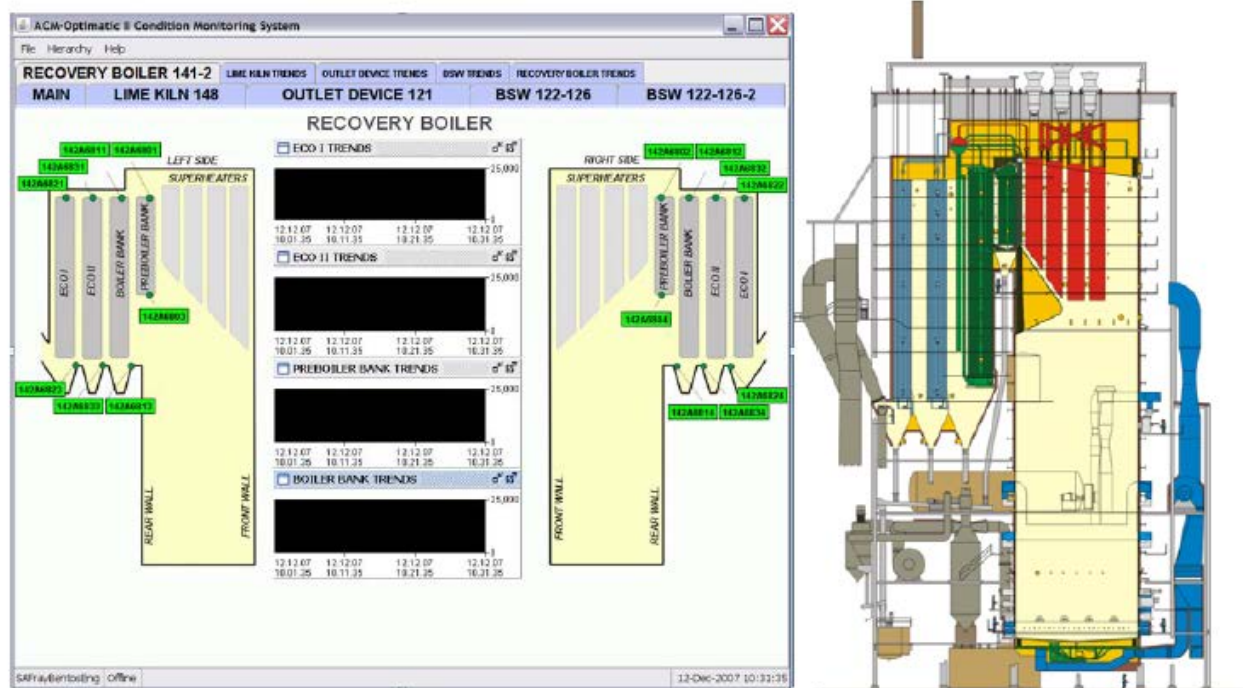
5.3 Akustisen emission seurantaan perustuvat järjestelmät

Vuonna 2001 akustisen emission seuranta oli käytössä Raumalla, Kotkassa, Veitsiluodossa, Varkaudessa, Kemissä, Uimaharjussa, Joutsenossa ja Kaskisissa. Akustisen emission seurantajärjestelmien toimittaja oli tuolloin Acutest, joka sittemmin siirtyi osaksi Andritzia.

Tällä hetkellä akustisen emission seurantaan perustuvia menetelmiä ei kyselyyn saatujen vastausten perusteella ole enää käytössä yhdelläkään tehtaalla Suomessa.

Andritzin mukaan akustisen emission seurantajärjestelmiä on asennettu 18 soodakattilaan 20 vuoden aikana [4].

Kuvassa 25 on esitetty esimerkki akustisen emission järjestelmästä Fray Bentosin tehtaalta Uruguaysta. Akustiset anturit on asennettu ekojen ja keittopinnan jakotukkien päihin.

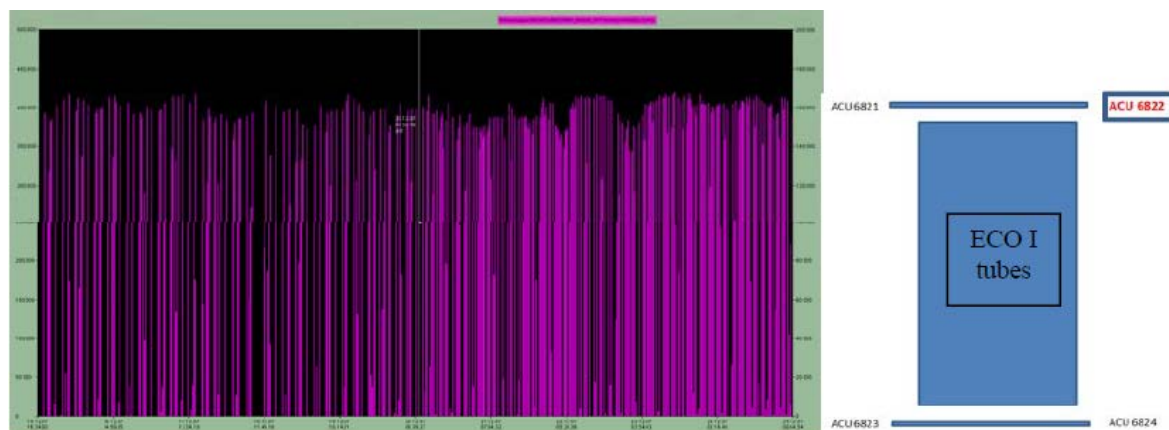


Kuva 25. Andritzin akustisen emission seurantajärjestelmän näyttökuva ja kattilakuva Fray Bentosin tehtaalta Uruguaysta [4]

Akustisen emission antureilla on voitu todeta ekonomaisierivuotoja. Seuraavassa on esitetty tarkemmin kaksi tällaista tapausta [4].

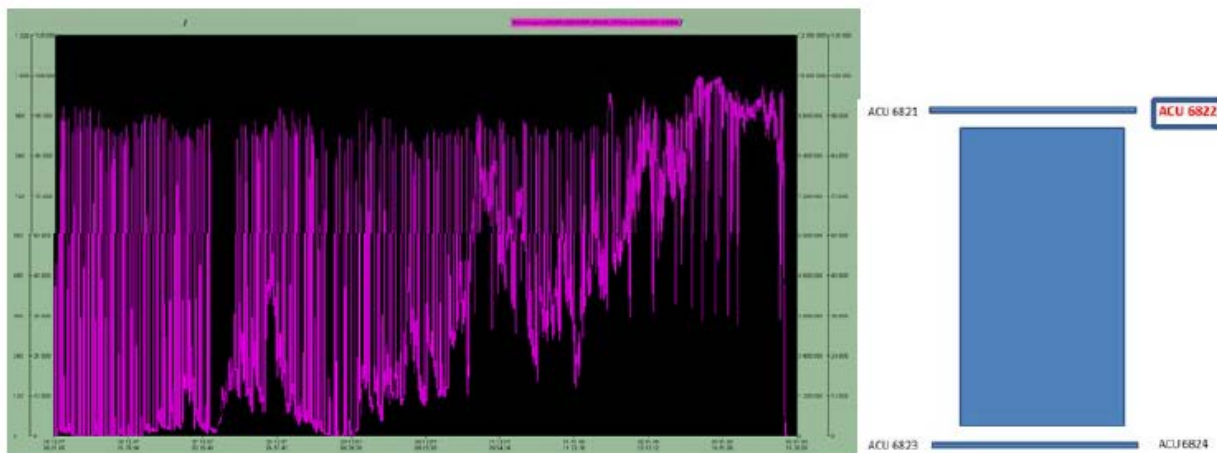
Tapaus 1. Vuoto 1-ekonomaisierissa 2007

Andritzin mukaan akustinen emissio indikoi ko. tapauksessa vauriosta viisi vuorokautta ennen varsinaisen vuodon alkua ja 15 vuorokautta ennen kuin vuoto oli havaittavissa tuhkan kosteutena. Ko. anturin signaalien amplitudi kasvoi jo joulukuun 20. päivästä lähtien, ks. kuva 26. Signaalitaso ei tuolloin kuitenkaan ollut jatkuvasti korkea, joten kyse ei ollut vuodosta.



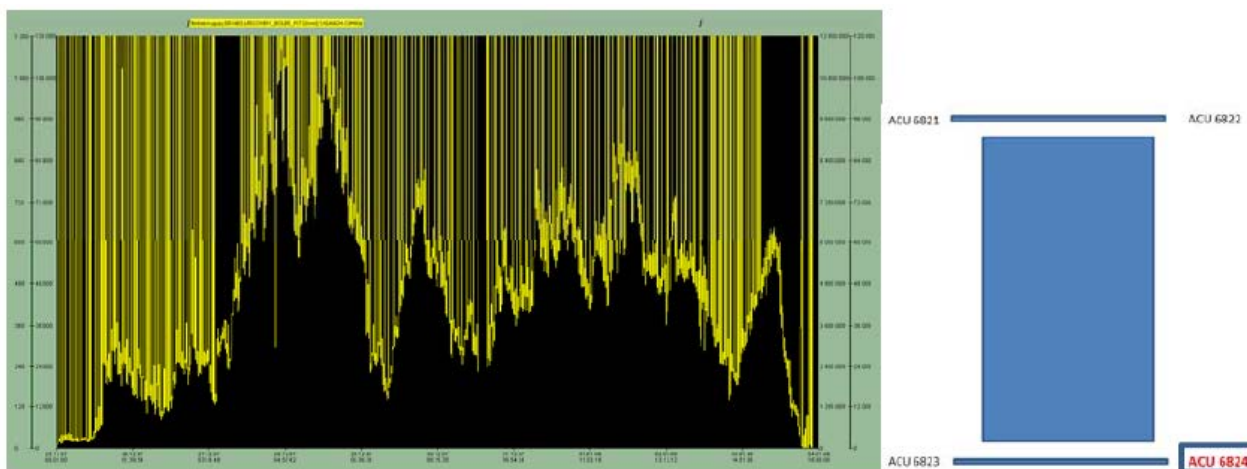
Kuva 26. Ekonomaisierin yläjakotukin oikeanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 15.12. – 25.12.

Jatkuvasti koholle signaalitaso jäi 26.12. lähtien, kuva 27., indikoiden vuodon alkamisesta.

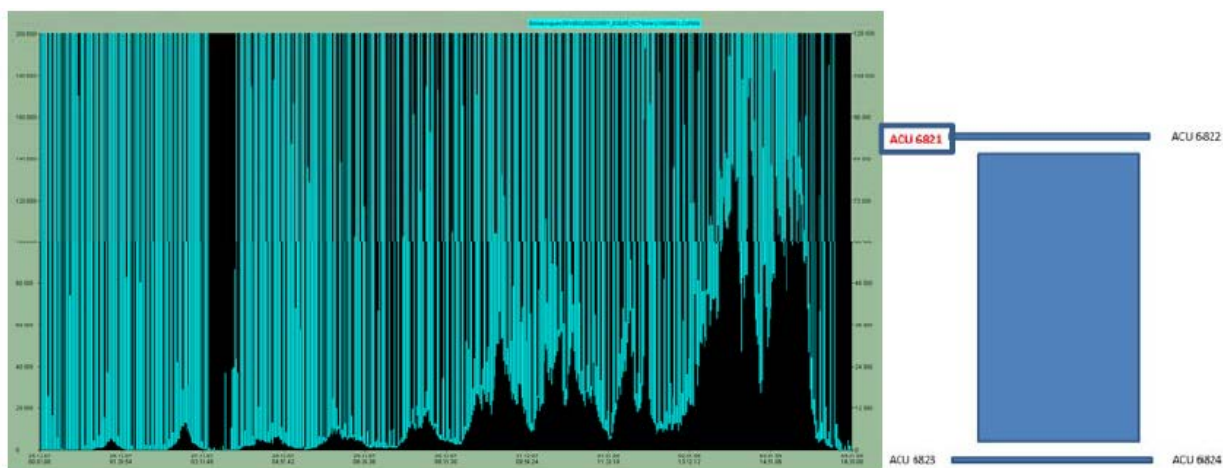


Kuva 27. Ekonomaiserin yläjakotukin oikeanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)

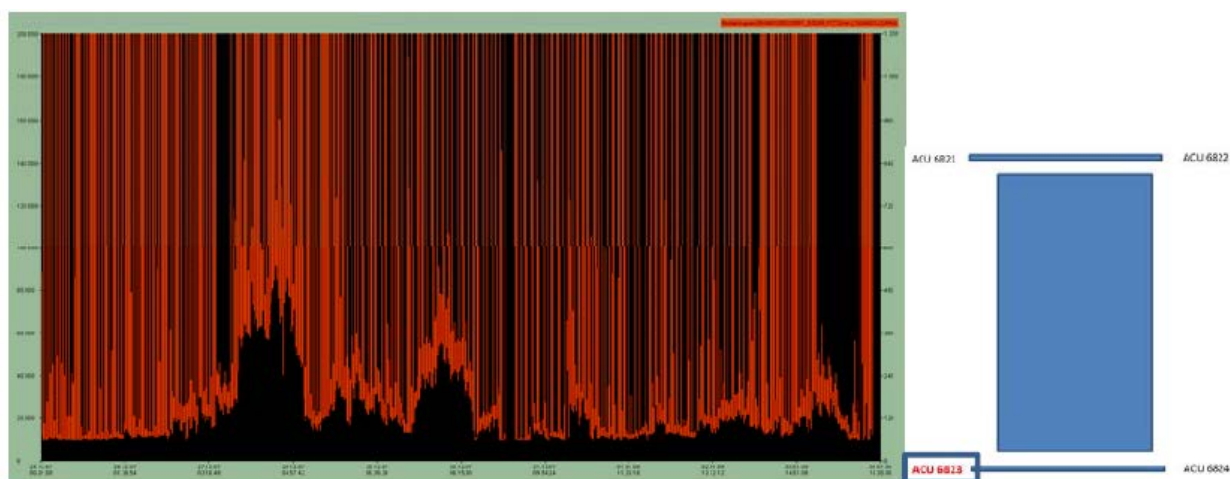
Vuodon aiheuttama akustinen emissio oli havaittavissa myös muilla antureilla, mutta niiden signaalitaso oli matalampi, joten tuloksista voitiin päätellä, että vuoto on lähinnä yläjakotukin oikeanpuoleista anturia.



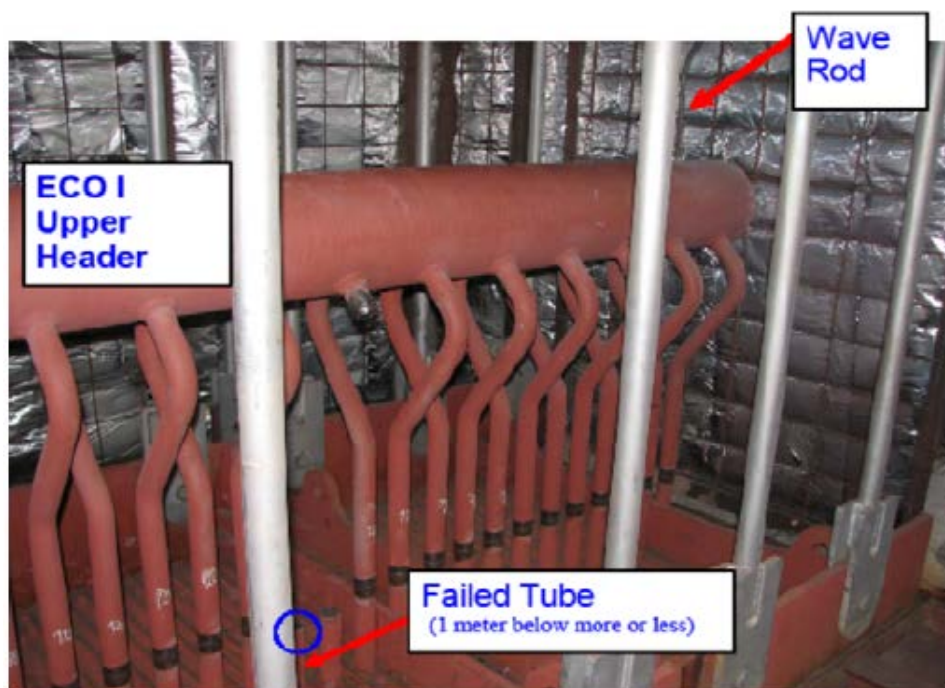
Kuva 28. Kuva B. Ekonomaiserin alajakotukin oikeanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)



Kuva 29. Ekonomaiserin yläjakotukin vasemmanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)



Kuva 30. Kuva B. Ekonomaiserin alajakotukin vasemmanpuoleisen päädyn akustisen emission anturin näyttämä 25.12. – 4.1. (alasajoon saakka)

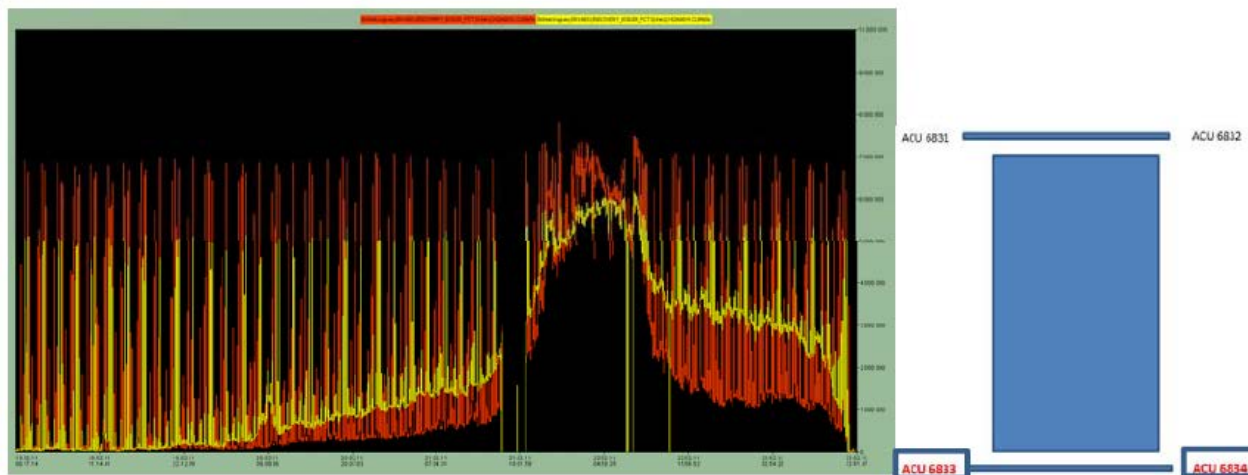


Kuva 31. Vuotanut putki 1-ekonomaisierissa

Vuotanut putki löytyi läheltä yläjakotukkia ja oikealta puolelta, kuten antureiden näyttämistä oli pääteltävissä. Koska vuoto oli suhteellisen ylhäällä, ei vuoto näkynyt alkuvaiheessa kosteutena tuhkassa, koska vuotovesi haihtui savukaasuihin vuodolle ollessa pieni.

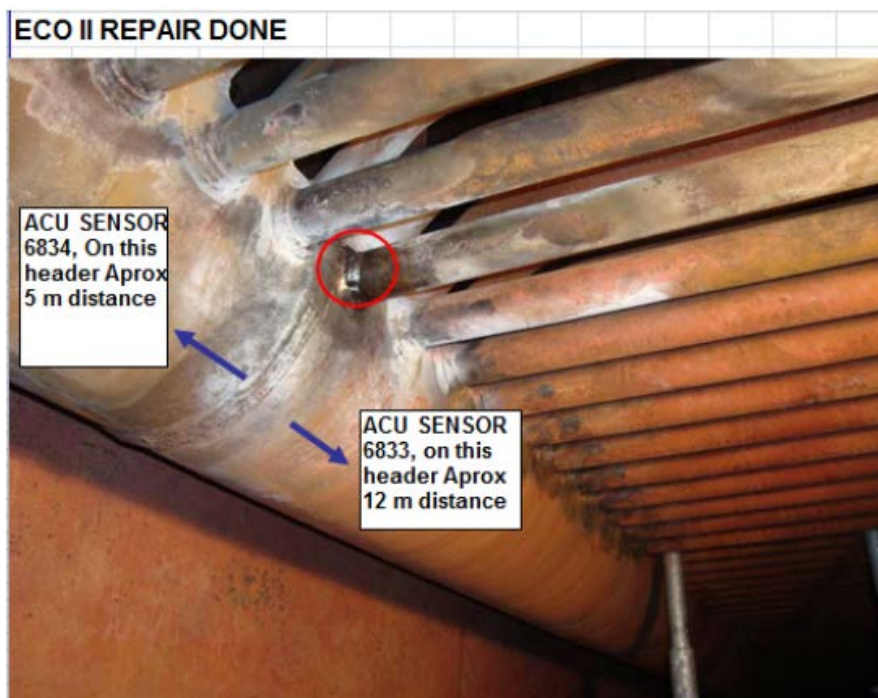
Tapaus 2. Vuoto 2-ekonomaisierissa helmikuussa 2011

Akustisen emission järjestelmän 2-ekon alajakotukin antureiden signaalitasoissa havaittiin 11.2. muutoksia, joiden perusteella tehdasta varoitettiin tulevasta vuodosta ekossa. Vuoto havaittiin yhdeksän päivää myöhemmin jatkuvasti koholla olleiden signaalien perusteella (ks kuva 32) ja päivä myöhemmin tuhkan kosteuden perusteella.



Kuva 32. Eko-2:n alajakotukin akustisen emission antureiden signaalit 19. – 23.2.2011

Yläjakotukin antureiden signaalitasoissa ei ollut havaittavissa yhtäjaksoista korkeaa signaalia, joten vuodon voitiin päätellä olevan lähellä alajakotukin antureita. Vuoto paikantui alajakotukkiin, ks. kuva alla.



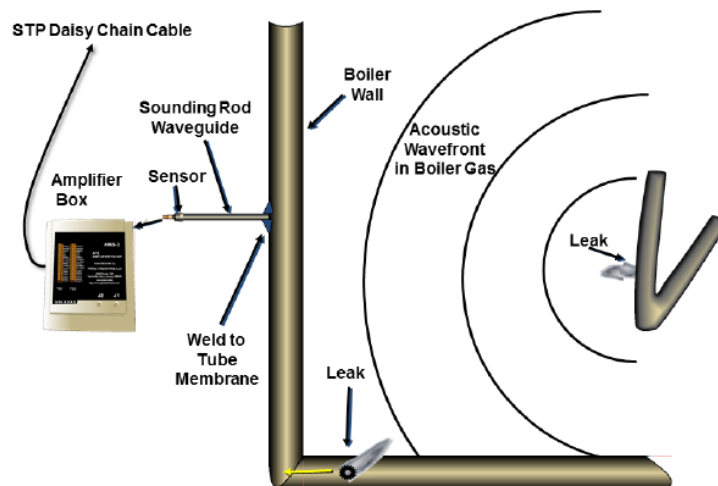
Kuva 33. Eko-2:n alajakotukki vuodon korjauksen jälkeen

Alajakotukin antureiden avulla on voitu havaita myös tyhjennyslinjan venttiilivuotoja. Ko. tapauksissa vuoto on ollut havaittavissa ainoastaan alajakotukin antureilla.

Vuonna 2001 Pohjois-Amerikassa on käytössä Triple 5:n toimittamia akustisen emission seurantajärjestelmiä. Järjestelmiä oli tuolloin käytössä 13 kattilassa. Nyt Triple 5:n järjestelmiä on

käytössä Pohjois-Amerikassa 16 kattilassa. Antureita on käytössä 16 - 48 kpl per kattila. Yhteensä antureita on käytössä 481 kpl, eli keskimäärin 30 kpl per kattila.

Triple 5:n anturit ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin Andritzin anturit, eli anturit on kiinnitetty metallitankoon, jonka toinen pää hitsataan kattilan painerunkoon. Antureiden mittaama taajuusalue on 2 – 11 kHz.



Kuva 34. Triple 5:n antureiden asennus

BLRBAC:n kevät- ja syyskokousten pöytäkirjoissa 2007 – 2017 oli 25 vaurioraporttia, joissa mainittiin vuodon tapahtuneen soodakattilassa, jossa oli käytössä Triple 5:n järjestelmä. Vuoto voitiin tunnistaa tai varmistaa akustisen emission perusteella 13 tapauksessa, eli noin puolessa kaikista tapauksista.

Kun tarkastellaan vuotojen tunnistusta vuodon paikan suhteen, olivat tulokset seuraavat:

- ekovuodot: 8 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 4 kpl
- keittopintavuodot: 1 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 0 kpl
- tulipesävuodot: 6 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 2 kpl
- verhovuodot: 6 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 4 kpl
- tulistinvuodot: 4 kpl, akustisen emission avulla tunnistettuja tai varmistettuja 3 kpl

Luotettavimmin akustisen emission seurannan avulla näyttäisi siis löytyvät vuodot, jotka ovat verhoissa, ekoissa tai tulistimissa. Tähän viittaa sekin, että toimittajalta saadussa materiaalissa on esitelty tapaus, jossa järjestelmä on tunnistanut vuodon ekoissa.

Suurin osa ko. vuodoista oli ei-kriittisiä, eli vuotoihin ei liittynyt tulipesäräjähdyksen vaaraa. Vaarallisia vuotoja, joissa vettä vuosi tulipesään tai keittopinnalta, oli kahdeksan. Näistä akustisen emission avulla tunnistettiin tai paikannettiin neljä, eli tasan puolet. Merkille pantavaa on, että kaikissa neljässä tapauksessa, joissa kriittinen vuoto tunnistettiin akustisen emission avulla, ensimmäinen merkki vuodosta saatiin juuri akustisen emission järjestelmästä. Kolmessa tapauksessa kyse oli verhoputkivuodosta ja yhdessä seinäputkivuodosta.

Neljässä tapauksessa akustisen emission järjestelmä ei reagoinut kriittiseen vuotoon. Kaksi vuodoista oli verhoputkessa, yksi keittopinnassa ja yksi tulipesän seinäputkessa.

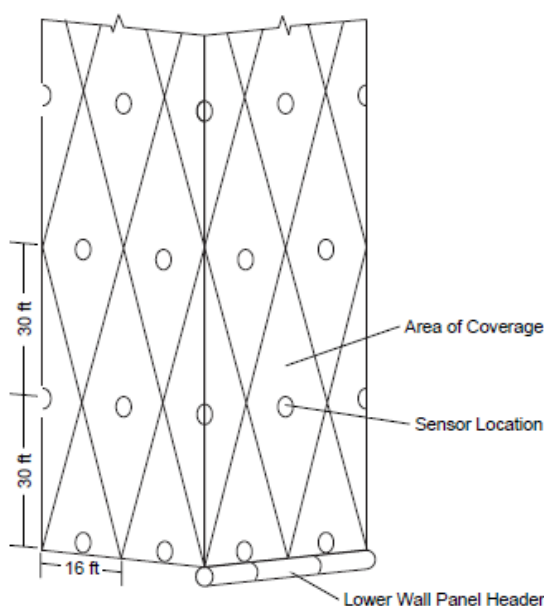
Keittopintavuodon löysi operaattori sattumalta tarkastaessaan savukaasukanavan tukkeutumia. Yksi verhoputkivuodoista oli suuri ja äkillinen aiheuttaen kattilasuojan laukeamisen, ja toisen löysi operaattori sattumalta tarkastaessaan kattilaa tulistimien puhdistamiseksi tehdyn lipeänpolttokatkon aikana.

Yhdessä tapauksessa vuodon syynä oli pohjaputken ylikuumenemisen aiheuttama vaurio, jonka seurauksena putkeen tuli kolme pistemäistä reikää. Vuoto sai aikaan paineiskuja tulipesässä, ja operaattori reagoi kolmanteen tössähdykseen tekemällä pikapysäytyksen. Kattilaveden johtokyky ja fosfaattipitoisuus olivat alkaneet laskea jo kuusi tuntia ennen pikapysäytystä, joten vuodot olisivat olleet todettavissa jo aiemmin syöttövesi-höyryeron ja kemikaalitaseen seurannan avulla, jos nämä menetelmät olisivat olleet ko. kattilassa käytössä.

BLRBAC:n vaurioraporteissa ei ole mainittu, oliko vuotojen lähellä Triple 5:n antureita eli oliko edes periaatteessa mahdollista, että järjestelmä olisi voinut havaita vuodot. Ko. tapausten perusteella ei siten voida arvioida akustisen emission soveltuvuutta vuotojen tunnistukseen puoleen eikä toiseen.

Tietävästi kattavimmin akustisen emission soveltuvuutta soodakattiloiden tiiveyden valvontaan on selvittänyt B&W, joka tutki ja kokeili sekä ilmaa kuuntelevien että painerunkoon liitettyjen antureiden soveltuvuutta soodakattiloihin 1980 ja 90-luvuilla [5]. Suurin osa kokeista tehtiin painerunkoon liitetyillä antureilla. Selvityksissä ja kokeissa päädyttiin seuraaviin johtopäätöksiin:

- vuotosignaalit olivat kuultavissa tulipesän seinien jakotukkeihin asennetuilla antureilla ainoastaan lyhyeltä etäisyydeltä
- tulipesän seinäputkien tiiveyttä voidaan valvoa akustisen emission antureilla, kun anturit on asennettu sivusuunnassa korkeintaan 4,8 m ja korkeussuunnassa korkeintaan 10 m välein ao. kuvan tapaan
- on mahdollista, että pohjaputkien vuodot tuottavat akustista emissiota jaksoittaisina purkauksina yhtäjaksoisen ”sihinän” sijaan, joten tavanomainen vuotojen tunnistustekniikka ei luultavasti sovellu pohjaputkien vuotojen tunnistukseen



Kuva 35. B&W:n suositus akustisen emission antureiden sijoittamisesta tulipesän seiniin [5]

B&W:n raportissa mainitaan, että 1000 tKA/vrk soodakattilassa, jossa pohjan ala on 12 m x 10 m ja tulipesän korkeus on 36 m, tarvittaisiin antureita neljään tasoon, kahdeksan kappaletta kussakin tasossa, eli yhteensä 32 kpl. Suuressa soodakattilassa, jonka pohjan ala on esim. 14 m x 14 m ja korkeus 60 m, antureita tarvittaisiin vastaavasti 72 kpl.

6 SUURTEN VUOTOJEN VALVONTA

Suuret, äkilliset vuodot tulipesän tai keittopinnan alueella ovat – onneksi – suhteellisen harvinaisia. Esimerkiksi pohjoisamerikkalaisissa soodakattiloissa, joissa oli käytössä Nalcon tiiveydenvalvontajärjestelmä, tapahtui vuosina 2007 – 2017 yhteensä 19 vuotoa, joissa vettä saattoi päästä tulipesään. Näistä 15:ssä kyse oli pienestä vuodosta ja ainoastaan neljässä tapauksessa kyse oli putken äkillisestä repeämisestä.

Suuria äkillisiä vuotojakin siis kuitenkin esiintyy, ja muuallakin kuin Pohjois-Amerikassa. Suomessa tapahtuneita suuria äkillisiä vuotoja on esitetty ao. taulukossa.

Taulukko 4. Äkillisiä suuria kattilavuotoja Suomessa 2000 - 2016

Tehdas	Ajankohta	Vuoto	Alasajo ja tehdyt suojaustoimet
MF Kaskinen	10/2000	Verhoputken vuoto	Normaali alasajo
Kotkamills	4/2001	Seinäputken repeämä	Kattilasuoja Pikapysäytys
UPM Kaukas	1/2005	Keittopinnan putken repeämä	Kattilasuoja
UPM Kaukas	3/2006	Seinäputken repeämä	Kattilasuoja Pikapysäytys Pikatyhjennys
MF Kemi	2/2008	Tulistinputken katko	Pikapysäytys
Stora Enso Imatra (SK5)	8/2011	Seinäputken repeämä	Kattilasuoja Pikapysäytys
Stora Enso Veitsiluoto	4/2014	Kattopotken repeämä	Pikapysäytys
Stora Enso Imatra (SK5)	4/2016	Tulistinputken katko	Normaali alasajo 10 päivää myöhemmin

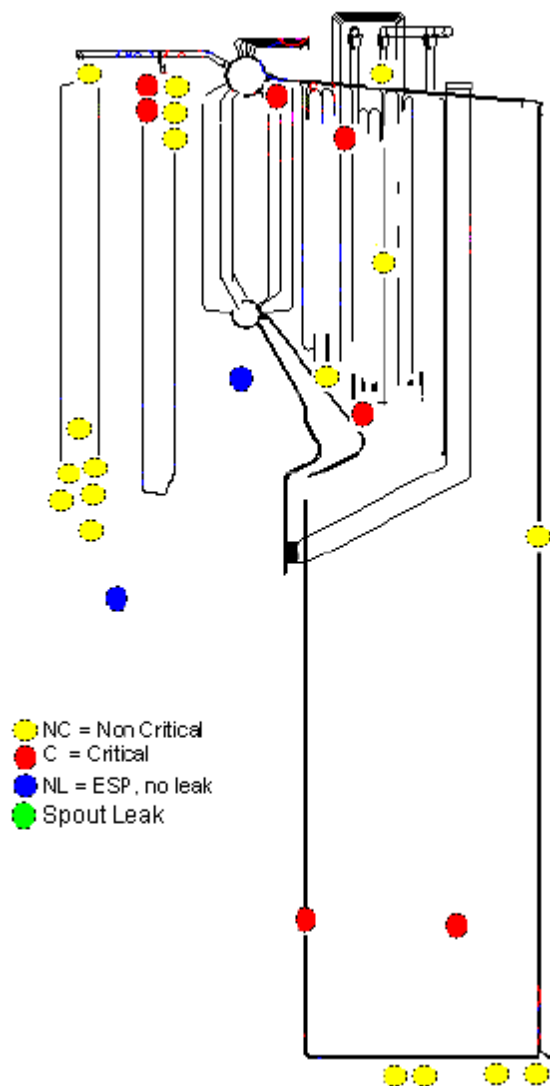
Taulukossa 4 on kolme seinäputkivuotoa ja yksi verhoputkivuoto, joissa vettä pääsi varmuudella tulipesään, ja yksi keittopinnan putken repeämä, josta vettä olisi voinut päästä tulipesään (näin ei nyt onneksi käynyt, repeämä oli nokan takana). Viidestä tapauksesta ainoastaan yhdessä operaattorit tekivät sekä pikapysäytyksen että pikatyhjennyksen.

Suomessa kynnys pikatyhjennyksen tekemiseen on ollut perinteisesti korkea, kuten em. tapauksetkin osoittavat. Pikatyhjennyksiä on tehty niin harvoin, että Soodakattilayhdistyksen tietokonnasta on vaikea löytää tapauksia, joissa pikatyhjennys olisi tehty. Haku pikatyhjennyksellä antaa ainoastaan kolme tapausta, joista kaksi on mahdollisesti väärin luokiteltu. Kaukaan seinäputken repeämä 2006 ei ole yksikään ko. tapauksista. Ainoa luotettavalta vaikuttava pikatyhjennystapaus, jonka haku antaa, on sekin Kaukaalta, on verhoputkivaurio vuodelta 1991.

Pohjois-Amerikassa pikatyhjennyksiä tehdään huomattavasti useammin. BLRBAC:n pöytäkirjojen mukaan vuosina 2010 – 2017 Pohjois-Amerikassa tehtiin 135 pikatyhjennystä. Syksyllä 2017

Pohjois-Amerikassa on käytössä 188 soodakattilaa. Olettaen, että pikatyhjennyksiä tehdään kaikissa kattiloissa likimain samaa tahtia, tarkoittaisi se, että pikatyhjennyksiä tehdään keskimäärin yhdeksän vuoden välien jokaisessa kattilassa.

BLRBAC pitää myös kirjaa siitä, ovatko pikatyhjennykset tehty aiheesta ja tarvetilanteessa. Aiheellisena pidetään pikatyhjennystä, joka tehdään kun kattilassa on vuoto, josta vettä pääsee tulipesään. Jokainen vuoto arvioidaan erikseen ja arvio vedenpääsystä tulipesään tehdään vuodon sijainnin ja suunnan perusteella. Näin ollen myös esim. ekonomaiservuoto voi olla kriittinen, jos vuoto on tarpeeksi ylhäällä ja suuntautuu tulipesän (ks. kuva 36).



Kuva 36. Esimerkki BLRBAC:n tekemästä kattilavuotojen luokittelusta (syksyn 2017 kokouspöytäkirjasta)

Vuodon koolla ei sen sijaan ole merkitystä. Myös esim. vesipainekokeessa havaitut vuodot luokitellaan kriittisiksi, jos niiden sijainnin ja suunnan perusteella vettä on voinut päästä tulipesään ennen kattilan alasajoa tai vettä olisi voinut päästä tulipesään, jos vuotoa ei olisi huomattu vesipainekokeessa.

BLRBAC:n tilastojen mukaan pikatyhjennys tehdään keskimäärin 72 %:ssa kriittisistä vuodoista, jotka on havaittu kattilan käytön aikana (eikä esim. vesipainekokeessa).

Jos Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannan haun tulokset pitävät paikkansa, on Suomessa tehty ainoastaan yksi pikatyhjennys 2000 – 2016. Kriittisiä vuotoja, joissa vettä pääsee tulipesään, tapahtuu kuitenkin huomattavasti useammin. Esim. Soodakattilayhdistyksen tietokannasta löytyy haulla ”normaalikäyttö” ja ”vesivuoto tulipesään” 15 tällaista vuotoa. Tällä perusteella pikatyhjennys on tehty Suomessa alle 10 % kriittisistä vuodoista.

Syitä siihen, että pikatyhjennyksiä tehdään Suomessa harvoin, voi olla useita. Yksi ainakin on huoli kattilan vaurioitumisesta pikatyhjennyksen seurauksena. Voisi olettaa, että jos pikatyhjennykset aiheuttaisivat kattilavaurioita, olisi aihe noussut keskustelun piiriin Pohjois-Amerikassa, onhan todennäköistä, että käytössä on kattiloita, joissa on tehtyä useitakin pikatyhjennyksiä. Näin ei ole kuitenkaan käynyt, joten on luultavaa, että huoli kattilan vaurioitumisesta pikatyhjennyksen seurauksena on ylimitoitettu.

Toisaalta varsinkin tilanteessa, jossa kyse on suuresta vuodosta, josta vettä pääsee tulipesään, on vaurioriski konkreettinen ja käytännössä suureksi todettu. Suomalaisissa soodakattiloissa tapahtuneiden vahinkojen perusteella arvioiden tulipesäräjähdyriski on noin 30 %, kun tulipesään pääsee vettä suuresta vuodosta eikä pikatyhjennystä tehdä. Samansuuruiseen arvioon oli aiemmin päätyntä myös Tom Grace BLRBAC:n vaurioraporttien perusteella.

Kokemukset Pohjois-Amerikasta tukevat olettamusta, että pikatyhjennyksellä voidaan estää tulipesäräjähdyksiä ja vähentää niiden voimakkuutta.

Gracen mukaan vuosina 1970 – 93 Pohjois-Amerikassa tapahtuneista tulipesäräjähdyksistä, joiden syynä oli vuoto kattilan painerungossa, 66 % tapauksista räjähdys tapahtui pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen jälkeen, ja kolmasosassa räjähdys tapahtui ilman, että kattilassa tehtiin pikapysäytystä ja -tyhjennystä. Vaurioiden vakavuudessa on huomattava ero: vakavia vaurioita aiheutui ainoastaan noin joka viidennessä räjähdyksessä, joka tapahtui pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen jälkeen, kun taas puolessa niistä räjähdyksistä, jotka tapahtuivat ilman pikapysäytystä ja -tyhjennystä, vauriot olivat vakavia.

Toinen syy pikatyhjennyksen tekemättä jättämiseen on todennäköisesti se, että Suomessa pikatyhjennyksen teko vaatii erillistä päätöstä, kun taas Pohjois-Amerikassa pikatyhjennys seuraa automaattisesti pikapysäytyksestä.

Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannan mukaan pikapysäytys on tehty Suomessa 11 kertaa 2000 – 2016. Tasaisella vauhdilla pikapysäytyksiä tehtiin siten kerran noin 26:tta käyttövuotta kohden. Tahti on edelleen harvempi kuin Pohjois-Amerikassa, jossa pikapysäytyksiä tehtiin keskimäärin kerran yhdeksässä käyttövuodessa, mutta ero on huomattavasti pienempi kuin pikatyhjennysten suhteen.

Koska pikatyhjennyksen teko vaatii erillisen päätöksen, vaikuttaa yleinen käytäntö olevan, että päätös pikatyhjennyksestä tehdään vasta kun on havaittu, että vettä pääsee jatkuvasti tulipesään ja aina sulan joukkoon saakka. Tämä edellyttää, että veden pääsy on joko nähtävissä tai kuultavissa. Hyvä esimerkki tästä on ainoa tiedossa oleva tapaus tältä vuosituhanelta, jossa pikatyhjennys on tehty. Vaurioraportin mukaan tapahtumat etenivät seuraavasti:

”Kattilan lipeäkuorma oli 51 kg(ka)/s, höyrykuorma 125 kg/s. Kattilan tulipesän ja ekojen paine-erot alkoivat heittelehtiä sekä lieriön pinta hälyttämään alarajaa n. klo 00.58. Syöttövesivirtaus kasvoi yli 40 kg/s, joten operaattori painoi kattilasuoja-painiketta klo 01.04 ts. teki pikapysäytyksen. Voimakkaan suhinan ja epänormaalin töminän seurauksena painoi operaattori myös pikatyhjennyksen klo 01.29.”



Luultavaa on, että ilman ”voimakasta suhinaa ja epänormaalia töminää” pikatyhjennys olisi tässäkin tapauksessa jäänyt tekemättä, koska näin on käynyt ilmeisesti kaikissa niissä tapauksissa, joissa vettä on päässyt tulipesään, mutta pikatyhjennystä ei ole tehty.

Käytäntöä ei voida pitää erityisesti turvallisuutta korostavana, sillä voimakas räjähdys voi tapahtua ilman, että sitä edeltäisi ”voimakas suhina ja epänormaali töminä”. Esimerkiksi Vallvikin räjähdyksessä vuonna 1998 Ruotsissa operaattori oli juuri ennen räjähdystä lipeäruiskuilla, ja Ruotsin soodakattilayhdistyksen kokouspöytäkirjan mukaan:

”Operaattorin näkemyksen mukaan sen lyhyen aikaa, jonka hän oli lipeäruiskuilla, tulipesä oli täysin rauhallinen. Mikään ei viitannut siihen, että tulipesään on päässyt suuri määrä vettä, kuten on täytynyt tapahtua sen lyhyen ajan sisällä, mikä kului putken repeämisestä räjähdykseen. Mikään ei osoittanut, että tulipesässä oli putki revennyt”

Räjähdys, joka tapahtui, oli kuitenkin hyvin voimakas. Operaattori pelastui, koska hän selvisi paineiskusta loukkaantumatta ja pääsi kattilahuoneesta ulos turvaan nopeasti.

Suomessa vastaavista tilanteista ollaan selvitty lähinnä hyvällä onnella. Useimmissa tapauksissa, joissa vettä on päässyt tulipesään, työskentelyä kattilahuoneessa on jatkettu senkin jälkeen, kun vuoto on tunnistettu, mahdollisesti juuri sen selvittämiseksi, kuuluuko tai näkyykö merkkejä veden pääsystä sulan joukkoon ja onko siten tarpeen tehdä pikatyhjennys.

Käytännöstä on seurannut läheltä piti-tilanteita, joista onneksi ollaan selvitty ilman vakavia henkilövahinkoja.

Osaltaan em. toimintatapojen muodostumiseen on vaikuttanut luultavasti se, että operaattoreiden ei ole helppo havaita valvomosta käsin onko vuoto vaarallinen.

Erityisen vaikeaa tämä voi olla tilanteessa, jossa vuoto on niin suuri, että se aiheuttaa kattilasuojan laukeamisen, sillä kattilasuojan laukeamisen seurauksena aktivoituu niin suuri joukko hälytyksiä, että se vaikeuttaa varsinaisen alkusyy selvittämistä.

Esim. Vallvikissa ensimmäisen 15 minuutin aikana putken repeämisen jälkeen hälytyksiä tuli 432 kpl. Kotkassa puolestaan hälytyksiä tuli putken repeämisestä seuranneen 30 minuutin aikana lähes 200 kpl. Tämä on sama jakso, jolloin räjähdysriski on kaikkein suurin, ja välittömät toimenpiteet olisivat siten tarpeen.

Kun kattilasuoja on laadittu Soodakattilayhdistyksen Turva-automaatiosuosituksen mukaisesti, tapahtuu kattilasuojan lauetessa seuraavat seuraustoiminnot:

- lipeän syöttö kattilaan estetään
- apupolttoaineen syöttö pysähtyy
- hajukaasut käännetään pois kattilasta.

Kattilasuojan laukeaminen ei siten esim. katkaise syöttöveden pumppausta kattilaan tai käynnistä vaarahälytystä kattilahuoneessa, vaan niiden tekoon vaaditaan operaattorin toimenpiteitä. Operaattoreiden tulisi pystyä tekemään molemmat toimenpiteet vaaratilanteessa mahdollisimman pian kattilasuojan laukeamisen jälkeen.

Valitettavan usein tässä ei onnistuta, vaan operaattorit eivät tunnista tilannetta oikein ja esim. yrittävät pitää lieriössä pintaa nopeuttamalla syöttöveden säätöventtiilin avautumista. Samalla jää huomiotta, että olosuhteet kattilahuoneessa saattavat olla hyvin vaaralliset, ja työskentelyä kattilahuoneessa jatketaan normaaliin tapaan. Harvinaista ei ole myöskään se, että tilannekuvan

selventämiseksi osa operaattoreista lähtee tekemään kattilahuonekierrosta pian kattilasuojan laukeamisen jälkeen.

Tällaisessa tilanteessa on henkilövahinkojen vaara ilmeinen. Valitettavasti ainakaan kaikilla tehtailla tilanne ei ole tässä suhteessa parantunut merkittävästi sitten Äänekoskella vuonna 1965 tapahtuneen räjähdysten: esim. Bosnian Maglajissa 2016 operaattorit menivät kattilasuojan lauettua kattilahuoneeseen pian kattilasuojan laukeamisen jälkeen ja olivat tarkastamassa kattilaa juuri kun tulipesässä räjähti.

Tämän puutteen on tunnistanut myös BLRBAC, jonka ohjeessa ”Recommended Good Practise Safe Firing of Black Liquor in Recovery Boilers” [6] todetaan:

“Vaikka kattilan käyttö keskeytyy todennäköisesti korkean tulipesän paineen tai matalan lieriön pinnan takia, jos operaattori ei puutu asiaan, syöttöveden säätöventtiili ohjautuu täysin auki lieriön pinnan säädön pyrkiessä jatkuvasti palauttamaan lieriön pinnan mahdollistaen siten vuodon jatkumisen. BLRBAC:n tekemä vaurioraporttien katsaus osoittaa, että operaattorit eivät aina tunnista suurta vuotoa matalan lieriön pinnan ja korkean tulipesän paineen aiheuttajiksi eivätkä he siten aina tee pikapysäytystä ja –tyhjennystä¹.

Tästä johtuen BLRBAC suosittaa suojauslogiikkaan lisäystä, joka sulkee syöttöveden säätöventtiilin ja kääntää säätöventtiilin ohjauksen tämän jälkeen käsiohjaukselle, kun kattilasuoja laukeaa sekä korkean tulipesän paineen että lieriön matalan pinnan takia ja

- korkean tulipesän paineen raja-arvo tulee arvioida. Harkitse yhteyden ottoa kattilatoimittajaan ja vakuutusyhtiöön mikäli mitään viiveitä otetaan käyttöön.
- lieriön matalan pinnan raja-arvo tulee arvioida. Harkitse yhteyden ottoa kattilatoimittajaan ja vakuutusyhtiöön mikäli mitään viiveitä otetaan käyttöön.

Kun molemmat em. lukitusehdot tulevat voimaan korkeintaan 45 sekunnin viiveellä, syöttöveden säätöventtiili tulee ohjautua kiinni ja ohjaus tulee sen jälkeen kääntyä manuaaliseksi. Lisäksi hälytysnäyttöille tulee tulostua viesti, että molemmat em. lukitusehdot ovat aktivoituneet ja tämä voi olla merkki suuresta vuodosta kattilassa.”

Suomessa vastaavaa suositusta suojauslogiikan muuttamiseksi ei ole tehty.

BLRBAC:n suositukseen koskien hälytysviestin lisäämisestä ko. tilanteessa voi suhtautua skeptisesti, sillä ilmeinen vaara on, että sekin jää operaattoreilta huomaamatta todellisessa tilanteessa. Tämän vuoksi tulisi selvittää, millä tavoin hälytys on ilmaistava, että se varmasti tulee havaituksi. Samalla tulisi harkita, olisiko syytä varmistaa vaarahälytyksen teko mahdollisimman nopeasti ko. tilanteessa siten, että vaarahälytys käynnistyisi automaattisesti.

Suuren vuodon hallinnan haasteet havaittiin konkreettisella tavalla myös Zellstoffin Pölsin tehtaalla Itävallassa 2014, kun kattilan tulipesän seinäputkeen repesi noin 2,5 cm² suuruinen reikä kattilan ajaessa normaalia kuormaa [7].

Putken repeämisen jälkeen syöttöveden virtaus nousi 2,5 minuutissa 80 t/h (22 kg/s) (virtaus oli 320 t/h ennen repeämistä ja enimmillään 400 t/h repeämisen jälkeen). Samaan aikaan höyryvirtaus laski 50 t/h (14 kg/s). Putken repeäminen sai myös aikaan tulipesän paineen nousun 1000 Pa (10 mbar) verran. Operaattori reagoi häiriöön pysäyttämällä lipeän syötön tulipesään ja jatkamalla tulipesän tuuletusta (kaikki puhaltimet olivat päällä) ja syöttöveden pumppausta tulipesään. Kiertomies otti lipeäruiskut pois käytöstä ja huomasi samalla, että tulipesän pohja näytti tummalta. Kiertomiehen mukaan olosuhteet tulipesässä olivat rauhalliset, mitään ylimääräistä ääntä ei kuulunut. Kun kiertomies palasi valvomoon noin 30 min seinäputken repeämisen jälkeen, tapahtui tulipesässä

voimakas räjähdys. Mahdollista on, että räjähdysten sai tässä vaiheessa aikaiseksi tulistimista tippunut suolakami.

Operaattori ei siis Pölsissäkään tunnistanut tilannetta vaaralliseksi, koska tulipesässä kaikki vaikutti rauhalliselta eikä mitään selviä merkkejä ("suhinaa ja töminää") veden pääsystä tulipesään ollut kuultavissa tai nähtävissä.

Pölsissä operaattori pystyi havaitsemaan oleelliset oireet, korkean tulipesän paineen, syöttövesi-höyryeron kasvun ja lieriön pinnan laskun heti vuodon alun yhteydessä, joten tarpeelliset tiedot tilanteen analysointiin olivat käytettävissä.

Oikeiden johtopäätösten teko jäi silti tekemättä, ja esim. syöttövesipumppuja ei pysäytetty eikä vaarahälytystä tai pikatyhjennystä tehty.

Pölsin tapauksessa tärkeimpiä syitä siihen, että operaattori ei kyennyt ko. tilanteessa toimimaan oikein, oli luultavasti kaksi:

- harjoituksen puute
- erityisesti kattilavuotoja koskevien hälytysten puute.

Vakavat kattilavuodot ovat – onneksi – niin harvinaisia, että kyse on todennäköisesti ainutkertaisesta tilanteesta vuorossa olevalle operaattorille. Useimmilla operaattoreilla ei ole kokemusta edes vaarattomista vuodoista, joten rutiinia erottaa vaaraton ja vaarallinen vuoto ei ole voinut kertyä käytännön myötä.

Pölsissä tätä puutetta on pyritty korjaamaan hankkimalla uuden kattilan hankinnan yhteydessä tehtaalla soodakattilasimulaattori ja edellyttämällä, että sekä uudet että jo työssä olevat operaattorit harjoittelevat erilaisten käyttö- ja häiriötilanteiden hallintaa vuosittain. Työssä olevien operaattoreiden vuosittaiseen koulutusohjelmaan kuuluu simulaattoriharjoittelua kahden vuoron verran vuosittain. Koulutusvaiheessa olevat operaattorikokelaat harjoittelevat jokaisen simulaattorille tehdystä 32 ajo- ja häiriötilanteesta vähintään kolme kertaa korkeintaan 14 kk kestäväen koulutuksen aikana (kenttähoitajan koulutus on kokonaisuudessaan 650 tuntia enimmillään 8 kk aikana ja operaattorin 420 tuntia enimmillään 6 kk aikana). Häiriötilanteiden joukossa on kolme vuototilannetta, jotka kuvaavat suurta vuotoa kattilan höyrystinosassa, tulistimissa ja ekoissa.

Pölsissä oli räjähdysten aikaan käytössä tavanomainen kattilan automaatio- ja suojausjärjestelmä, jossa on kyllä omat hälytyksensä useille oireille, jotka liittyvät suureen kattilavuotoon, kuten tulipesän paineelle, lieriön pinnalle ja korkealle syöttövesi-höyryerolle, mutta ko. hälytyksiä ei oltu järjestetty tai esitetty niin, että niiden liittyminen erityisesti kattilavuotoihin olisi ollut ilmeistä.

Tämän puutteen korjaamiseksi on Pölsissä valvomoon lisätty oma, pelkästään vuotojen tunnistamiseen tarkoitettu näyttö, johon on koottu 10 tärkeimmät parametrin arvot ja trendit sekä vuotoja koskevat hälytykset. Hälytyksiä on mm.

- suuresta syöttövesi-höyryerosta (hälytys, kun ero $> 20 \text{ t/h} = 5,5 \text{ kg/s}$)
- nopeasta lieriön paineen laskusta (hälytys, kun muutos $> 0,4 \text{ bar}$ minuutissa)
- savukaasupuhaltimien kierrosluvun nopeasta kasvusta (hälytys, kun kierrokset kasvavat $> 4 \%$ minuutissa)

Hälytysrajat on aseteltu 2014 tapahtuneen vuodon yhteydessä saatujen kokemusten pohjalta.



Hälytykset on esitetty ko. näytöllä niin, että operaattorin on helppo havaita niiden aktivoituminen. Koska ko. näyttö on varattu ainoastaan kattilavuotojen havaitsemiseen tarkoitetuille hälytyksille ja suureille, on operaattorin helppo tunnistaa häiriön syy hälytysten aktivoituessa.



7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Soodakattilan tiiveydenvalvonnalle haasteita asettavat sekä pienet, vähitellen kasvavat vuodot että suuret, äkilliset repeämät. Pieniä vuotoja syntyy mm. väsymisen ja hitsausvirheiden seurauksena, kun taas repeämiä saa aikaan esim. putkien oheneminen korroosion vaikutuksesta ja ylikuumeneminen kiertohäiriön tai pinnan säädön häiriön takia. Erilaiset vauriomekanismit voivat vaikuttaa myös samanaikaisesti esim. niin, että väsymisen tai hitsausvirheen aiheuttama pieni vuoto saa aikaan korroosiota ja kulumista ympäröivissä putkissa. Lopputuloksena voi tällöin olla suuri vuoto putken repeämisen seurauksena.

Lähes kaikki tiedossa olevat voimakkaat tulipesäräjähdykset, joiden aiheuttajana on ollut vuoto kattilan painerungossa, ovat aiheutuneet suurista vuodoista, joissa vettä on virrannut tulipesään putken repeämisen seurauksena tyypillisesti kymmeniä kiloja sekunnissa. Osassa tällaisia räjähdyksiä putken repeämää on edeltänyt särön tai pistemäisen syöpymän aiheuttama pieni vuoto, joka on voinut olla kattilassa viikkoja tai jopa kuukausia ennen putken repeämistä.

Soodakattiloiden tiiveydenvalvonnassa käytetään edelleen järjestelmiä, jotka perustuvat syöttövesi-höyryeron, kemikaalitaseen ja/tai akustisen emission seurantaan.

Verrattuna vuoteen 2001 käytetään Suomessa aiempaa useammalla tehtaalla syöttövesi-höyryeron ja kemikaalitaseen seurantaan perustuvia järjestelmiä, kun taas akustisen emission seurantajärjestelmistä on luovuttu kokonaan. Akustisen emission seurantaan perustuvia järjestelmiä, joita toimittavat mm. Andritz and Triple-5, on käytössä edelleen Suomen ulkopuolella.

Sekä Suomesta että Pohjois-Amerikasta saatujen kokemusten mukaan jo suhteellisen pienetkin vuodot voidaan tunnistaa syöttövesi-höyryeron perusteella, kun eron laskenta on toteutettu niin, että mittausvirheiden ja mittausten aiheuttaman kohinan aiheuttamat virheet ovat eliminoitu.

Myös vuotojen paikannus vaaralliseen/vaarattomaan osaan kattilaa on mahdollista sekä kattilaveden kemikaalitaseen seurannan että akustisen emission perusteella, kun vuoto on tarpeeksi suuri (mutta ei niin suuri että se aiheuttaa nopeasti kattilasuojan laukeamisen) ja akustisen emission anturit ovat tarpeeksi lähellä vuotokohtaa. Akustisen emission seurannalla on joissakin tapauksissa voitu jopa ennakoita vuodon syntymistä.

Parhaimpaan tulokseen tiiveydenvalvonnassa päästäisiin käyttämällä sekä syöttövesi-höyryeron, kattilaveden kemikaalitaseen että akustisen emission seuranta samanaikaisesti. Tällaisilla järjestelmillä olisi mahdollista järjestää soodakattiloiden tiiveydenvalvonta niin, että pienet vuodot tulevat luotettavasti havaittua ja paikannettua jo siinä vaiheessa, kun riski, että vuoto aiheuttaisi sulavesiräjähdyksen, on pieni. Näin olisi voitu estää todennäköisesti suuri osa, mahdollisesti jopa yli puolet, tulipesäräjähdyksistä, joiden aiheuttajana on ollut painerungon vuoto.

Osa soodakattiloissa tapahtuneista vuodoista on aiheutunut putken äkillisestä repeämisestä paikallisen korroosion ja/tai ylikuumenemisen takia. Mikäli vuoto on riittävän suuri (ja kattila on riittävän pieni), aiheuttaa vuoto kattilasuojan laukeamisen tulipesän korkean paineen tai lieriön matalan pinnan takia. Toisinaan myös operaattori laukailee ko. tilanteessa pikapysäytyksen ennen kuin kattilan suojausjärjestelmä ehtii laukaista kattilasuojan.

Aina ei käyttöhenkilökunta ole kuitenkaan tunnistanut tällaista tilannetta vaaralliseksi edes silloin, kun vettä on vuotanut suoraan tulipesään. Tämän vuoksi käyttöhenkilökunta ei aina ole ryhtynyt tarpeellisiin suojaustoimenpiteisiin, vaan esim. työskentelyä kattilahuoneessa on saatettu jatkaa vielä kattilasuojan laukeamisen jälkeenkin. Tällaisen virheen seurauksena yksi operaattori kuoli

bosnialaisella tehtaalla 2016. Kokemukset Suomessa tapahtuneista vaarallisista vuotoista viittaavat siihen, että henkilövahinkojen riskiä ei tällaisissa tilanteissa ole luotettavasti eliminoitu myöskään tšekäläisillä tehtailla.

Vaaratilanne saattaa syntyä kattilavuodon seurauksena myös silloin, kun vuoto on suuri, mutta sen aiheuttama tulipesän paineen nousu tai lieriön pinnan lasku ei riitä laukaisemaan kattilasuojaa. Näin voi käydä varsinkin uusissa, suurissa soodakattiloissa, joissa äkillisen vuodon vaikutus tulipesän paineeseen ja lieriön pintaan on huomattavasti vähäisempi kuin samankokoisen vuodon vaikutus esim. kattilassa, jonka kapasiteetti on 1000 – 1500 tKA/vrk.

Kattilan käytön jatkaminen tilanteessa, jossa tulipesään vuotaa vettä, pidentää aikaa, jona voimakas tulipesäräjähdys on mahdollinen ja lisää siten vahinkoriskiä. Koska vuodosta ei tällöin seuraa ainakaan automaattisesti myöskään vaarahälytystä, kasvaa samalla henkilövahinkojen vaara.

Suurten, äkillisten kattilavuotojen, joissa vettä pääsee tulipesään, varalta tulisi soodakattilat varustaa hälytys- ja suojausjärjestelmillä, jotka:

- varoittavat operaattoreita ja kattilahuoneessa olevia vaaratilanteesta jo ennen kattilasuojan laukeamista
- laukaisevat automaattisen suojauksen, kun kattilaan tulee suuri, äkillinen vesivuoto

Järjestelmät tulisi suunnitella niin, että ne toimivat vuototilanteessa luotettavasti ja niin, että operaattorit voivat niiden avulla tunnistaa vaaratilanteen ja huolehtia, että alasajo tapahtuu turvallisesti.



7.1 Lähteet

1. Experiences with leak rate calculation methods for LBB application, Grebner, H., Kastner, W., Höfler, A., Mausner, G., Leak Before Break In Reactor Pipinf And Vessels, Specialist Meeting, Lyons, Ranska, 9. – 11.1.1995, NEA/CSNI/R(95)18, Vol II, Session 2: Issues In LBB Technology, 127 – 139.
2. Changing Perspectives on Recovery Boiler Explosions, Grace T., 30 Year Recovery Boiler Co-operation in Finland, Proceedings, s. 107 – 119, Soodakattilayhdistys 1994.
3. Recommended Good Practice Guidelines for Post-ESP Procedure for Black Liquor Recovery Boilers, The Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, October 2002.
4. Advanced Condition Diagnostic for Pulp and Paper Mills, Kari Aura, Steve Crotty, Andritz, esitelmä Tappi-seminaarissa
5. Recent Advances in the Application of Acoustic Leak Detection to Process Recovery Boilers, Koveceovich, J.J., Nuspl, S., Robertson, M., BR-1594, Tappi Engineering Conference, syyskuu 1995, Dallas, U.S.A.
6. Recommended Good Practice Safe Firing of Black Liquor in Black Liquor Recovery Boilers, The Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, April 2016.
7. Recovery Boiler Incident and Learned Lessons, Duer, W. Recovery Boiler Safety Forum, Stendal, 24.5.2016.

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY, RAPORTTISARJA

- 1/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta
Optimal design of boiler feed water pumping system
Esa Vakkilainen ja Bahnam Zakri , Lappeenrannan teknillinen yliopisto
(16A0913-E0163) 13.1.2016
- 2/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, Phase 2
Nikolai DeMartini, Henri Holmblad, Emil Vainio, Patrik Yrjas ja Leena Hupa, Åbo Akademi
(16A0913-E0164) 13.1.2016
- 3/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, Phase 2
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0165) 13.1.2016
- 4/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 28.1.2016, esitelmät
Sokos hotelli Koli, Lieksa, Stora Enso Oyj, Enocellin tehdas
(16A0913-E0166) 28.1.2016
- 5/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab
(16A0913-E0167) 28.1.2016
- 6/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hyvät hälytyskäytännöt - yhteenveto
Automaatiotyöryhmä, (16A0913-E0168) 23.3.2016
- 7/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2015
(16A0913-E0169) 20.4.2016
- 8/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 20.4.2016, Radisson Blu Plaza hotelli, Helsinki
(16A0913-E0170) 20.4.2016
- 9/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan materiaalit ja tarkastukset
Kestoisuustyöryhmä, (16A0913-E0171) 14.4.2016
- 10/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Mustalipeän ei-Newtonilaisuus
Ari Kankkunen, Jorma Torniainen, Mika Järvinen
Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Energiatekniikan laitos, Labtium Oy
(16A0913-E0172) 2.9.2016
- 11/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa
Satu Tuurna, Pekka Pohjanne, Sanni Yli-Olli,
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
(16A0913-E0173) 2.9.2016
- 12/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 27.10.2016
Sokos hotelli Tornio, Tampere, (16A0913-E0174) 27.10.2016
- 13/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipeäsakan syrjäytyspesu, osa 2
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab, (16A0913-E0175) 31.10.2016

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY, RAPORTTISARJA

- 1/2017 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 26.1.2017, esitelmät
Scandic hotelli Oulu, Stora Enso Oyj, Oulun tehdas
(16A0913-E0176) 26.1.2017
- 2/2017 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2016
(16A0913-E0177) 27.4.2017
- 3/2017 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 27.4.2017, Holiday Inn Helsinki City Centre, Helsinki
(16A0913-E0178) 27.4.2017
- 4/2017 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 2.11.2017
Clarion hotelli, Helsinki, (16A0913-E0179) 2.11.2017
- 5/2017 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, Phase 3
Nikolai DeMartini, Emil Vainio, Åbo Akademi
(16A0913-E0180) 22.9.2017
- 6/2017 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattiloiden käynninaikaiset tiiveydenvalvontajärjestelmät
Timo Karjunen, Varo Oy
(16A0913-E0181) 19.9.2017