



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus

21.2.2001

Karjunen, Timo

Raportti 2/2001

KATTILAVUOTOJEN VALVONTA JA OHJEISTUS

1 JOHDANTO	2
2 KYSELYIHIN VASTANNEET TEHTAAT JA TOIMITTAJAT.....	4
3 KATTILAVUOTOJEN VALVONTA.....	6
3.1 VALVONNASSA KÄYTETYT MITTAUKSET	6
3.2 AUTOMAATTISET HÄLYTYKSET	10
3.3 SUOJAUKSET	13
4 VUOTOJEN OHJEISTUS	16
4.1 KYSELYN TULOKSET	16
4.2 OHJEIDEN RAKENNE JA YLLÄPITO	17
4.3 KÄYTTÖHENKILÖKUNNAN KOULUTUS.....	21
4.4 OHJEET PIKAPYSÄYTYKSEN TEKEMISEKSI	22
4.5 TYÖTURVALLISUUDEN HUOMIOINTI OHJEISTUKSESSA	22
4.6 KAASURÄJÄHDYKSIEN HUOMIOINTI OHJEISTUKSESSA	23
5 VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄT	25
5.1 MASSATASEEN SEURANTA: ALERT SYSTEMS INC.	25
5.2 KEMIKAALIPITOISUUKSIEN SEURANTA: HERCULES JA NALCO.....	28
5.3 AKUSTISEN EMISSION VALVONTA: TRIPLE 5 INDUSTRIES JA ACUTEST	34
5.4 MUUT MENETELMÄT.....	50
5.5 YHTEENVETO VUODONVALVONTAJÄRJESTELMISTÄ.....	54
6 SUOSITUKSET	57
7 YHTEENVETO.....	62
LIITE 1. KATTILOILLE LÄHETETTY KYSELY	64
LIITE 2 SUOMESSA TAPAHTUNEET KATTILAVUODOT VUONNA 2000	67

1 JOHDANTO

Soodakattiloiden vesivuodot ovat - harvinaisuudestaan huolimatta - merkittävä käytettävyy- ja turvallisuusriski. Suuria vahinkoja aiheuttaneita räjähdyksiä on tapahtunut viimeksi vuonna 1998 Vallvikissa Ruotsissa ja Svetogorskissa Venäjällä. Vallvikissa syynä räjähdykseen oli tulipesän seinäputken repeämä noin puolen metrin matkalta. Svetogorskissa puolestaan syyksi epäillään vuotoa keittoputkistossa lähellä alalieriötä tai palavien kaasujen kerääntymistä tulipesään vuodon aikana. Vuodon alun ja räjähdysen välinen viive oli Vallvikissa noin 15 min ja Svetogorskissa 40 min. Molemmissa tapauksissa räjähdysen aiheuttamien vahinkojen korjaaminen vaati noin 4 kk pituisen seisokin. Vakavilta henkilövahingoilta välttyttiin vain hyvällä onnella, koska molemmissa tapauksissa käyttömiehet työskentelivät vuodon aikana kattilahuoneessa vuodon paikantamiseksi.

Soodakattilayhdistys teetätti Svetogorskin ja Vallvikin räjähdysten jälkeen selvityksen räjähdysmekanismeista. Selvitys ”Kaasuräjähdykset soodakattiloissa vesivuotojen aikana” on julkaistu Soodakattilayhdistyksen raporttisarjassa (numero 7/99). Selvityksen tulokset esiteltiin myös Soodakattilapäivillä, jonka esitelmät on koottu raportiksi (numero 6/99).

Selvityksen päätulos oli, että vesivuotojen aikana voi tapahtua sekä sulavesiräjähdyksiä että kaasuräjähdyksiä, mikäli vain olosuhteet ovat sopivat. Esimerkiksi Vallvikissa tapahtui ilmeisesti molemmat palavien kaasujen syttyessä ensin tulipesän yläosassa käynnistään muutamaa sekuntia myöhemmin sulavesiräjähdyksen tulipesän pohjalla. Aikaisempien räjähdysten joukosta löytyi myös tapauksia, joissa sekä kuulo- ja näköhavaintojen että räjähdysen aiheuttamien vaurioiden perusteella räjähdysen aiheuttajana on ollut yksinomaan palavien kaasujen kerääntyminen tulipesään.

Yleensä vesivuotoihin varauduttaessa on korostettu sulavesiräjähdyksien mahdollisuutta, kun taas kaasuräjähdyksiin on kiinnitetty huomiota vähän tai ei lainkaan. Mahdollisuudet vaikuttaa sulavesiräjähdyksien tapahtumiseen vuodon syntymisen jälkeen ovat rajalliset, jos vettä pääsee vuodosta suoraan tulipesään. Kaasuräjähdyksien tapahtuminen riippuu taasen kokonaan palavien kaasujen ja hapen pitoisuuksista tulipesässä, jotka ovat useimmiten hallittavissa vuodon aikanakin puhaltimia ja peltejä ohjaamalla, ellei ohjausta ole menetetty sähkökatkon tms. takia.

Kun edellisessä selvityksessä pääpaino oli räjähdysmekanismeissa, on nyt käsillä olevassa selvityksessä laajennettu tarkastelua kattiloilla käytössä oleviin ohjeisiin koskien vesivuotoihin varautumista ja vuotojenvalvontajärjestelmiin. Ohjeistoon paneutumisen taustalla oli edellisen selvityksen yhteydessä tehty havainto, että kattiloiden käyttöohjeissa on suomalaisten tehtaiden välillä eroja ja että ainakin osassa ohjeita voitiin tunnistaa selviä puutteitakin. Edellinen selvitys kattoi kuitenkin vain muutamia kattiloita, joten nyt selvitys laajennettiin kattamaan kaikki Suomessa käytössä olevat kattilat.

Vuodonvalvontajärjestelmien mukaan ottamisen syynä puolestaan oli alalla viime vuosien aikana tapahtunut kehitys, jonka ansiosta saatavilla alkaa olla useitakin erilaisia vuodonvalvontajärjestelmiä. Suomessa on tällä hetkellä käytössä ainoastaan akustisen emission valvontaan perustuvia järjestelmiä, joita on käytössä kahdeksassa soodakattilassa. Pohjois-Amerikassa on käytössä - akustisen emission seurannan ohella -

myös massataseen ja kattilaveden kemikaalipitoisuuksien seurantaan perustuvia järjestelmiä yhteensä noin 35:ssä soodakattilassa. Kaiken kaikkiaan kattiloita on käytössä Pohjois-Amerikassa noin 280, joten vuodonvalvontajärjestelmien käyttö on Suomessa huomattavasti yleisempää.

Vuodonvalvontajärjestelmien osalta oli selvityksen tarkoitus koota yhteen saatavilla olevat tiedot olemassa olevista järjestelmistä ja arvioida niiden soveltuvuutta suomalaisille kattiloille.

Selvityksessä tarvittu aineisto koottiin tekemällä kysely suomalaisille kattiloiden käyttäjille (ks. liite 1) sekä vuodonvalvontajärjestelmien toimittajille. Kyselyjä täydennettiin haastatteluin ja tehdaskäynnein. Ohjeiston ohella käyttäjille lähetetyssä kyselyssä selvitettiin tehtailla käytössä olevia vuodonvalvontajärjestelmiä, hälytyksiä ja suojausja. Suomalaisille tehtaille lähetettyihin kyselyihin saatiin vastaukset kaikilta käytössä olevilta soodakattiloilta.

Selvityksen laadinnassa sain arvokasta apua Soodakattilayhdistyksen kestoisuustyöryhmän jäseniltä ja yhdyshenkilöiltä, erityisesti Reijo Hukkaselta StoraEnson Oulun tehtaalta, Matti Takalalta StoraEnson Laminating Papersin Kotkan tehtaalta, Matti Alamaalta Metsä-Botnian Rauman tehtaalta ja Kari Auviselta Metsä-Botnian Kaskisten tehtaalta, josta heille kaikille suuret kiitokset.

2 KYSELYIHIN VASTANNEET TEHTAAT JA TOIMITTAJAT

Selvityksestä varten koottiin aineistoa soodakattiloiden käyttäjiltä ja vuodonvalvontajärjestelmien toimittajilta kirjallisella kyselyllä. Soodakattiloiden käyttäjille lähetettyyn kyselyyn saatiin vastaukset yhteensä 22 kattilalta, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Soodakattiloiden käyttäjille lähetettyyn kyselyyn vastanneet tehtaat.

	Tehdas	Kattilan tunnus	Valmistaja	Käyttöön-ottovuosi	Kapasiteetti (tk/vrk)
1	StoraEnso Laminating Papers Oy Kotka	K-12500	CE	1959	680
2	UPM-Kymmene Oyj Pietarsaari	K-12252	Wärtsilä/A A/SS	1962	1000
3	UPM-Kymmene Kuusanniemi	K-13100	Götaverken	1964	750
4	StoraEnso Kemijärvi	K-13327	Tampella	1965	1250
5	Sunila Oy Sunila	K-13705	Tampella	1965	750
6	UPM-Kymmene Oyj Tervasaari	K-15786	Tampella	1975	1150
7	UPM-Kymmene Oyj Pietarsaari	K-16210	Ahlström	1975	2000
8	StoraEnso Oyj Veitsiluoto	K15897	Tampella	1977	1600
9	UPM-Kymmene Kuusanniemi	K-16400	Götaverken	1977	1800
10	Oy Metsä-Botnia Ab Kaskinen	K-16215	Ahlström	1977	2150
11	StoraEnso Oyj Varkaus	K-16786	Ahlström	1980	1000
12	Oy Metsä-Botnia Ab Äänekoski	K-17353	Ahlström	1985	2300
13	StoraEnso Oyj Imatra	K-17300	Ahlström	1987	1700
14	Sunila Oy Sunila	K-17625	Tampella	1988	1000
15	StoraEnso Oyj Oulu	K-17442	Ahlström	1988	1600(2300)
16	StoraEnso Oyj Heinola	K-17410	Tampella	1990	300
17	Oy Metsä-Botnia Ab Kemi	K-17120	Tampella	1990	2600
18	UPM-Kymmene Oyj Kaukas	K-17800	Ahlström	1991	3150
19	StoraEnso Oyj Imatra	K-17777	Tampella	1992	3300
20	Enocell Uimaharju	K-17700	Kvaerner	1993	3000
21	Oy Metsä-Botnia Ab Rauma	K-17950	Kvaerner	1996	3000
22	Oy Metsä-Botnia Ab Joutseno	K-18369	Ahlström	1998	3150

Selvityksen muissa soodakattiloita koskevissa taulukoissa on kattilat esitetty samassa järjestyksessä kuin edellä, ellei toisin ole ilmoitettu.

Taulukko 2. Kyselyyn vastanneet vuodonvalvontajärjestelmien toimittajat.

Yritys	Tuotenimi	Toimittaja/edustaja
Alert Systems Inc.	Recovery Boiler Advisor	Henk J. Borsje P.O. Box 1257 Duxbury, MA 02331 puh. (800) 934 - 1338 fax. (781) 934 - 1339 email: hjborsje@alert-systems.com
Hercules Pulp and Paper Division	LeakTrac	Virginia Durham 4636 Somerton Road Trevose, PA 19053-6783 puh. 215-953-5159 fax. 215-942-3747 email: Virginia.E.Durham@BetzDearborn.com
Nalco	RBLI	John W. Diambri Nalco Chemical Company One Nalco Center Naperville IL 60563 - 1198 fax 630 - 305 2454 email: jdiambri@nalco.com Pekka Ojala Suomen Nalco Oy puh. 040 541 1841 email: pojala@nalco.com
Triple 5 Industries	AMS-3	Trudy Bryson email: trudy@triple5industries.com Karl-Olof Karlsson Diamond Superior AB P.O.Box 20035 S-161 02 Sverige puh. 8 29 04 40 fax. 8 98 35 58 email: kkarlsson@diamond-superior.se
Acutest Oy	ACM-Optimatic	Pentti Pataniitty Hermiankatu 8 D 33720 Tampere puh. 03 359 3900 fax. 03 359 3933 email: pentti.pataniitty@acutest.fi

3 KATTILAVUOTOJEN VALVONTA

3.1 Valvonnassa käytetyt mittaukset

Kokemuksien mukaan suurin osa vuodoista havaitaan joko käyttöhenkilöstön tekemillä kenttäkierroksilla tai syöttövesi-höyryvirtauseron kasvun perusteella. Kenttäkierroksilla vuoto voidaan havaita esim. keon paikallisen tummumisen, tuhkan kosteuden, vuotoäänien tai tulipesästä kuuluvan paukkeen perusteella. Yksittäisissä tapauksissa on ensimmäinen indikaatio vuodoista saatu myös esim. kattilaveden pH:n tai johtokyvyn muutoksista.

Valvottaessa vuotoja kenttäkierrosten ja syve-eron seurannan avulla voidaan suuret, useita kiloja sekunnissa olevat vuodot havaita kohtuullisen luotettavasti, mutta vuodon paikantaminen edellyttää useimmiten työskentelyä kattilahuoneessa vuodon aikana, jolloin myös räjähdysvaara on suurimmillaan.

Kenttäkierrosten ja syve-eron valvonnan perusteella ei yleensä voida tunnistaa pieniä vuotoja, jotka saattavat lisätä korroosiota ympäröivissä putkistoissa ja siten aiheuttaa äkillisen putkikatkon tai murtuman. Pieni vuoto itsessäänkin voi olla vaarallinen erityisesti jos se sijaitsee tulipesän pohjassa.

Näiden puutteiden korjaamiseksi on viime vuosien aikana kehitetty vuotoäänien sekä massa- ja kemikaalitaseiden seurantaan perustuvia, jatkuvatoimisia mittaustuloksia. Nykytilanteen kartoittamiseksi pyydettiin kattiloiden käyttäjille lähetetyssä kyselyssä nimeämään mittaukset tai järjestelmät, joita käytetään vuotojen valvontaan. Kyselyn tulokset on esitetty taulukossa 3.

Kyselyn tulosten mukaan suomalaisilla kattiloilla vuotoja valvotaan pääasiassa perinteisin menetelmin, uusista järjestelmistä käytössä on ainoastaan akustisen emission seurantaan perustuvia vuodonvalvontajärjestelmiä. Taulukossa 3 mainittujen mittausten lisäksi ainoa jatkuvatoiminen mittaus, jota ilmoitettiin käytettävän vuotojen valvontaan, oli kattilaveden fosfaattipitoisuus, jota seurataan Oulussa. Vastauksissa todettiin suurien vuotojen näkyvän myös vedossa ja savukaasupuhaltimien kierrosluvuissa.

Syöttövesi- ja höyryvirtausten eron mittaus ja seuranta

Vaikka syöttövesi- ja höyryvirtauksia mitataan (uloslaskua lukuun ottamatta) kaikilla kattiloilla, on tavassa käsitellä mittaustuloksia huomattavia eroja. Kotkassa, Tervasaassa, Kaskisessa, Varkaudessa ja Oulussa syöttövesi-höyryvirtauseroa ei ole jatkuvasti nähtävillä, sen sijaan valvomoon tulostuvat syöttövesivirtaus ja höyryvirtaus erikseen. Oulussa virtausten erotus lasketaan tunti- ja vuorokausiraportteihin, muilla em. kattiloilla sen sijaan eron arviointi perustuu yksinomaan erillisten mittaustrendien vertailuun. Yleensä kuitenkin valvomoon tulostuu jatkuvasti yksittäisten syöttövesi-, uloslasku-, päähöyry- ja nuohoushöyryvirtausten ohella myös vesi- ja höyryvirtausten välinen erotus.

Taulukko 3. Suomalaisilla soodakattiloilla käytössä olevat mittaukset ja järjestelmät vuotojen havaitsemiseksi. (J = jatkuvatoiminen, M = määräajoin tehtävä, Ei = ei käytössä).

		Syve- ero			Lierön pinta			Tulipe- sän paine			Kattila- veden pH			Kattila- veden johto- kyky			Aku poh- ja	Aku sei- nä	Aku kaa- sutil a	Tuli- pesä- kame- rat
	Tehdas	J	M	Ei	J	M	Ei	J	M	Ei	J	M	Ei	J	M	Ei				
1	Kotka			x	x			x				x		x			x	x		x
2	Pietarsaari	x			x			x			x			x						x
3	Kuusanniemi	x			x			x			x			x						
4	Kemijärvi		x		x			x			x				x					x
5	Sunila	x			x			x			x	x		x	x					x
6	Tervasaari			x	x			x			x			x						x
7	Pietarsaari	x			x			x			x			x						x
8	Veitsiluoto	x			x			x			x			x			x	x		x
9	Kuusanniemi	x			x			x			x			x						x
10	Kaskinen			x	x			x			x			x			x			x
11	Varkaus			x	x			x			x			x			x			x
12	Äänekoski	x			x			x			x	x		x	x					x
13	Imatra	x			x			x			x			x						x
14	Sunila	x			x			x			x	x		x	x		x			x
15	Oulu		x		x			x			x			x						x
16	Heinola	x			x			x			x	x		x	x					x
17	Kemi	x			x			x			x			x			x		x	x
18	Kaukas	x			x			x			x				x					x
19	Imatra	x			x			x			x			x						x
20	Uimaharju	x			x			x			x			x				x		x
21	Rauma	x			x			x			x			x			x		x	x
22	Joutseno	x			x			x			x			x			x		x	x

Useimmilla kattiloilla on syöttövesi- ja höyryvirtaukset ja niiden erotus esitetty valvomossa esim. minuuttikeskiarvoina, jolloin mittauksiin liittyvä kohina on suhteellisen vähäistä. Poikkeuksiakin löytyy erityisesti vanhempien kattiloiden joukosta, joissa valvomossa esitettävät virtaukset tuodaan paine-eroantureilta sellaisenaan. Virtausmittausten piste-arvojen vaihtelun vuoksi suodattamattomien mittausten seuranta ja vertailu on vaikeaa. Tämän seurauksena erotuksen syöttövesivirtauksen ja höyryvirtauksen välillä tulee olla huomattavan suuri, että se tulee varmasti havaittua. Useimmissa vastauksissa syve- ja höyryvirtausten eron tarkkuudeksi, jota suuremmat vuodot havaitaan, arvioidaan 2 - 5 kg/s, mutta joillakin kattiloilla, joissa suodatettua syve- ja höyryvirtausten eroa ei ole käytössä, vuodon arvioidaan olevan havaittavissa vasta kun sen suuruus on luokkaa 10 kg/s. Toisaalta muutamilla kattiloilla, joilla suodatettu mittausta on käytössä, jo 1 - 2 kg/s suuruisenkin vuodon ilmoitetaan olevan tunnistettavissa.

Myös tavassa esittää syve-eromittauksen tulos valvomossa on eroja kattiloiden välillä. Muutamilla kattiloilla ei mahdollisuutta trendien jatkuvaan seurantaan ole lainkaan tai nähtävillä on korkeintaan muutaman tunnin trendi, parhaimmillaan taasen syve-eron minuuttikeskiarvot ovat näkyvissä 1 - 2 viikkoa ja tuntikeskiarvot vähintään kuukauden.

Virtausmittausten luotettavuutta käyttöhenkilöstön parissa heikentää mittauksiin liittyvän kohinan lisäksi absoluuttiarvojen epätarkkuus, joka käytännössä näkyy usein esim. siten, että höyryvirtaus on jatkuvasti syöttövesivirtausta suurempi. Ongelma aiheutuu siitä, että virtausmittaukset kalibroinnissa ei tavallisesti huomioida paikallisten tekijöiden, kuten putken mutkien ja siinä olevien laitteiden, vaikutusta virtaukseen, jonka vuoksi mittaustulos voi erota todellisesta arvosta jatkuvasti. Vuotojen valvonnan kannalta tämä ei välttämättä ole ongelma, koska absoluuttiarvojen sijasta oleellista on virtausten välisen erotuksen muutos. Jatkuva virhe voidaan huomioida hälytysrajoissa esim. asettamalla rajat mittausten mukaan tai määrittämällä hälytysrajat virtausten eron sijasta eron muutosnopeuden perusteella.

Lieriön pinta ja tulipesän paine

Vastausten mukaan kaikilla tehtailla vuotoja valvotaan sekä lieriön pinnan että tulipesän paineen perusteella. Kyselylomakkeessa ei erikseen tiedusteltu käytettyjä mittausten menetelmiä, mutta haastattelujen perusteella eroavaisuuksia kattiloiden välillä on erityisesti lieriön pinnan mittauksessa. Osalla vanhimmista kattiloista käytetään jatkuvaan lieriön pinnan mittaukseen - lasin ja sitä seuraavan TV-kameran ohella - ainoastaan yhtä uimuria, kun taas uudemmilla kattiloilla on tavallisesti käytössä useampia, mahdollisesti sekä uimurin että paine-eron ja sähkövastuksen seurantaan, perustuvia mittauksia.

Ottaen huomioon lieriön pinnan mittauksen merkityksen sekä vuotojen valvonnan että erityisesti kattilan ohjauksen kannalta tulisi niillä kattiloilla, joilla kattilan ohjaus perustuu yhteen lieriön pinnan mittaukseen, harkita mittausten kahdentamista tai kolminkertaistamista niin, että yksittäisen mittauksen vikaantumisen mahdollisesti aiheuttavat häiriöt kattilan käytössä vältetään nykyistä luotettavammin.

Muut menetelmät

Ennakko-oletus kysymyslomaketta laadittaessa oli, että vuotojen valvonnassa käytetään pääasiassa syve- ja höyryvirtausten erotuksen seuranta. Tämän vuoksi muita jatkuvatoimisia menetelmiä, joita voitaisiin mahdollisesti soveltaa vuotojen valvontaan, koskevat kysymykset rajoitettiin kahteen: ko. menetelmien tunnistukseen (rasti ruutuun, jos ko. menetelmä on käytössä) ja arvioon muiden menetelmien havaintotarkkuudesta. Vaikka menetelmiä rastitusten perusteella on käytössä laajalti (ks. taulukko 3), niin vastaajat eivät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta pystyneet arvioimaan muiden kuin syve-höyryeron seurannan tarkkuutta lainkaan. Muutamissa vastauksissa todettiin, että jatkuvatoimisia menetelmiä syve-höyryeron seurannan ohella ei ole.

Syve-höyryeron seurannan ohella tunnistettiin vastauksissa ainoastaan kaksi jatkuvatoimista valvontajärjestelmää: kattilaveden fosfaattipitoisuuden seuranta (Oulu) ja syvelinjan ja ekonomaiserin akustiset mittaukset (Rauma), joiden molempien mittaustarkkuudeksi arvioitiin 1 kg/s. Rauman ohella akustiset mittaukset ovat käytössä Kotkassa, Veitsiluodossa, Kaskisissa, Varkaudessa, Kemissä, Uimaharjussa ja Joutsenossa, mutta ilmeisesti kokemuksia vuodoista on vielä sen verran vähän, että mittausten tarkkuutta vuodon tunnistuksessa ei tarkasti tunneta. Akustisia mittauksia ja niistä saatuja käyttökokemuksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

Syitä siihen, miksi kattilaveden fosfaattipitoisuuden, pH:n tai johtokyvyn seuranta ei laajemmin mainittu keinoina valvoa kattilavuotoja, ei kyselykaavakkeessa selvitetty.

Syyt ko. menetelmien käyttämättömyyteen saattavat olla teknisiä, esim. kattilaveden kemikaalipitoisuudet mitataan ainoastaan syöttövedestä, mutta ei ulospuhalluksesta. Kattilaveden pH, johtokyky ja kemikaalipitoisuudet voivat heilahdella myös ilman vuotoja esim. lauhteenpuhdistusjärjestelmän häiriöiden seurauksena, jolloin vuodon mahdolliset vaikutukset peittyvät muista syistä aiheutuvien muutosten alle.

Osin syynä saattaa olla myös se, että menettelyn tarjoamia mahdollisuuksia vuotojen valvontaan ei tunneta kattiloiden käyttäjien keskuudessa riittävän hyvin. Kattiloiden käyttöohjeissa ei aina edes mainita, että kattilaveden laatua seuraamalla voidaan tunnistaa vuotoja; tosin joillakin kattiloilla käytössä olevissa häiriöohjeissa on mainittu, että mikäli kattilaveden pitoisuuksia on mahdotonta pitää oikeina, tulee kattila pysäyttää ensimmäisessä sopivassa tilaisuudessa vuodon paikallistamiseksi ja korjaamiseksi. Kattilaveden seurantaan vuototilanteissa ei sen sijaan ole kiinnitetty huomiota yhdessäkään selvitystä tehtäessä käytettävissä olleessa käyttöohjeessa. Ohjeissa ei esim. syve-eron kasvaessa kehoitettu tarkistamaan, onko kattilaveden pH, johtokyky tai kemikaalipitoisuudet muuttuneet tavalla, joka viittaisi vesivuotoon kattilassa.

Kattilaveden muutoksia vesivuodoissa on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

3.2 Automaattiset hälytykset

Kyselyssä vastaajia pyydettiin rastittamaan ne hälytykset, jotka ko. kattilalla ovat käytössä kattilavuotojen varalta. Kyselyn tulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Suomalaisilla soodakattiloilla käytetyt, vesivuotojen varalle suunnitellut hälytykset. (Ä = ääni, poisto edellyttää operaattorin kuittausta, V = vilkkuva valo tai ilmoitus näytölle, poisto edellyttää operaattorin kuittausta, I = ilmoitus näytölle, No = hälytysten/mittausten lukumäärä)

		Syve-ero > hälytysraja				Lieriön pinta < hälytysraja				Lieriön pinta > hälytysraja				Lieriön eri pintamitta- sten ero				Tulipesän paine > hälytysraja			
	Tehdas	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No
1	Kotka					x	x	x	4	x	x	x	4					x	x	x	
2	Pietarsaari					x	x	x	3	x	x	x	3					x	x	x	1
3	Kuusanniemi	x	x	x		x	x	x	2	x	x	x	2					x	x	x	2
4	Kemijärvi					x	x	x		x	x	x						x	x	x	
5	Sunila					x	x	x	3	x	x	x	3					x	x	x	3
6	Tervasaari					x	x			x	x							x	x		
7	Pietarsaari					x	x	x	3	x	x	x	3					x	x	x	1
8	Veitsiluoto	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x	
9	Kuusanniemi	x	x	x		x	x	x	3	x	x	x	2					x	x	x	2
10	Kaskinen					x	x			x	x							x	x	x	
11	Varkaus					x		x		x		x						x		x	
12	Äänekoski	x	x	x		x	x	x		x	x	x						x	x	x	
13	Imatra					x	x	x	2		x	x	2	x	x	x	1	x	x	x	3
14	Sunila					x	x	x	3	x	x	x	3					x	x	x	3
15	Oulu					x		x	3	x		x	3	x		x		x		x	
16	Heinola					x	x	x		x	x	x						x	x	x	
17	Kemi	x		x		x		x	5	x		x	5	x		x		x		x	3
18	Kaukas	x	x	x	1	x	x	x	3	x	x	x	3	x	x	x	2	x	x	x	3
19	Imatra			x	1	x	x	x	3	x	x	x	3					x	x	x	3
20	Uimaharju	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
21	Rauma	x	x	x	1	x	x	x	2	x	x	x	2					x	x	x	3
22	Joutseno					x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x	

Syve-höyryeron kasvamisesta saadaan hälytys valvomoon kahdeksalla kattilalla. Muutamat vastaajat mainitsivat myös hälytysrajan suuruuden, joka vaihteli 3.5 kg/s (Kemi) ja 10 kg/s (Imatra) välillä. Syve-höyryeron hyödyntäminen keskittyy pääasiassa uusimpiin kattiloihin; ko. hälytys on käytössä Heinolaa ja Joutsenoa lukuun ottamatta kaikissa 1990-luvulla tehdyissä kattiloissa.

Kyselyn mukaan kaikilla kattiloilla on käytössä hälytykset lieriön ylä- ja alapinnasta sekä tulipesän paineesta. Sen sijaan esim. lieriön pintamittareiden keskinäisistä mittauseroista hälytyksiä saadaan ainoastaan seitsemästä kattilasta.

Lierion pintamittareiden keskinäisistä mittauseroista saatavan hälytyksen tarkoitus on varoittaa operaattoria tilanteessa, jossa yksi pintamittauksista vioittuu näyttäen muista mittauksista poikkeavaa lukemaa. Näin pyritään ehkäisemään mm. kattilan tarpeeton alasajo tilanteessa, jossa valvomoon tulostuva pinta, joka voi olla esim. pintamittausten keskiarvo tai ainoastaan yksi käytettävissä olevista mittauksista, on virheellinen. Vielä pahempi tilanne syntyy, jos viallinen pintamittaus esim. jää näyttämään normaalia pintaa tilanteessa, jossa pinta laskee tai nousee voimakkaasti. Tällöin operaattori tai kattilan automatiikka saattaa ohjata syöttövesivirtausta täysin väärin, jolloin vaarana on vakavien vaurioiden syntyminen ylikuumenemisen tai tulistimen täytön takia. Tällaisten tilanteiden estämiseksi suojaukset toteutetaan yleensä 2/3-logiikalla, jolloin yhden mittauksen vioittuminen ei vielä johda vikatoimintoon.

Taulukko 5. Suomalaisilla soodakattiloilla käytetyt, vesivuotojen varalle suunnitellut hälytykset. (Ä = ääni, poisto edellyttää operaattorin kuittausta, V = vilkkuva valo tai ilmoitus näytölle, poisto edellyttää operaattorin kuittausta, I = ilmoitus näytölle, No = hälytysten/mittausten lukumäärä)

		CO:n pitoisuus > hälytysraja				H ₂ :n pitoisuus > hälytysraja				TRS:n pitoisuus > hälytysraja				O ₂ :n pitoisuus > hälytysraja				Kattila- paine < hälytysraja			
	Tehdas	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No	Ä	V	I	No
1	Kotka	x	x	x						x	x	x		x	x	x		x	x	x	2
2	Pietarsaari									x	x	x	1	x	x	x	2	x	x	x	1
3	Kuusanniemi	x	x	x	1					x	x	x	1	x	x	x	2	x	x	x	1
4	Kemijärvi																	x	x	x	
5	Sunila									x	x	x		x	x	x		x	x	x	
6	Tervasaari																	x	x		
7	Pietarsaari	x	x	x	1					x	x	x	1	x	x	x	2	x	x	x	1
8	Veitsiluoto	x	x	x						x	x	x		x	x	x		x	x	x	
9	Kuusanniemi	x	x	x	1					x	x	x	1	x	x	x	2	x	x	x	1
10	Kaskinen			x														x	x		
11	Varkaus													x		x					
12	Äänekoski	x	x	x										x	x	x		x	x	x	
13	Imatra	x	x	x	1					x	x	x		x	x	x	2				
14	Sunila									x	x	x		x	x	x	2	x	x	x	
15	Oulu			x						x		x		x		x	2	x		x	
16	Heinola	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x	
17	Kemi	x		x	1									x		x	2	x		x	2
18	Kaukas	x	x	x						x	x	x		x	x	x	2				
19	Imatra	x	x	x	1					x	x	x		x	x	x	3				
20	Uimaharju	x		x										x		x		x		x	
21	Rauma	x	x	x	1					x	x	x	1	x	x	x	2	x	x	x	1
22	Joutseno	x	x	x						x	x	x		x	x	x		x	x	x	

Kattiloiden välillä on huomattavia eroja myös savukaasujen analysoinnin suhteen. Ainoastaan Tervasaassa ja Kemijärvellä ei hälytyksiä tule valvomoon sen enempää palavista kaasuista kuin hapen pitoisuudestaan, muissa kattiloissa sen sijaan hälytyksiä saadaan ainakin hapen pitoisuudesta (ainoa poikkeus Kaskinen) ja useimmiten myös hiilimonoksidin pitoisuudesta (poikkeuksina Tervasaaren ja Kemijärven ohella

Pietarsaaren vanhempi kattila, Sunilan molemmat kattilat ja Varkaus) ja TRS-pitoisuuksista (poikkeuksina Tervasaari, Kemijärvi, Uimaharju, Äänekoski, Kemi, Varkaus, Kemi ja Kaskinen). Vetypitoisuuksien mittausta ja siitä saatavat hälytykset ovat sen sijaan harvinaisia; kyselyyn vastanneista kattiloista ko. hälytykset olivat käytössä ainoastaan Heinolassa, jossa vetypitoisuus määritetään laskennallisesti muiden mittausten perusteella.

Savukaasumittauksien käyttöä suomalaisilla kattiloilla on selvitetty Soodakattilayhdistyksen automaatiotyöryhmän toimesta. Selvitystä tehtäessä oli käytettävissä tiedot 13 kattilalta. Selvityksen mukaan analysaattoreiden mittausalueet ovat suhteellisen alhaisia alueen ylärajan ollessa korkeintaan 1000 ppm. Ainoa poikkeus oli happipitoisuus, jonka mittausalue oli poikkeuksetta 0 - 10 %.

Selvityksen mukaan analysaattoreiden mittausalue on niin alhainen, että mittausten perusteella ei voida varmuudella tunnistaa tilanteita, joissa palavien kaasujen pitoisuus tulipesässä on noussut vaarallisen korkeaksi esim. palamisen keskeytymisen takia. Tämä havaittiin myös Vallvikin onnettomuuden aikana. Vuodon alettua nousi happipitoisuus savukaasuissa 5 %:iin samalla kun hiilimonoksidin pitoisuus ylitti mittausalueen ylärajan 1000 ppm. Palavia kaasuja on tulipesään vapautunut vuodon aikana muitakin kuin hiilimonoksidia, mm. vetyä sulan ja veden välisten reaktioiden tuloksena, joten palavien kaasujen pitoisuus kuivassa kaasussa on saattanut olla hyvinkin korkea. Vuodon aikana suuri osa tulipesän kaasusta on kuitenkin ollut vesihöyryä, jonka olemassaolo on luultavasti estänyt palon syttymisen aina siihen saakka kunnes höyryntuotto on vähentynyt sulan jäähtymisen ja vuodon pienentymisen takia. Kun höyryn pitoisuus tulipesässä on laskenut vedon palautuessa, on palavia kaasujen pitoisuus ilmeisesti edelleen ollut niin korkea, että palo saattoi syttyä. Kattilahuoneessa olleen käyttömiehen mukaan palo alkoi tulipesän yläosasta ja paloa seurasi noin 15 sekuntia myöhemmin räjähdys tulipesän pohjalla. Tämä on yleensäkin todennäköisin paikka kaasuräjähdykselle kattilavuodon aikana, koska palavat kaasut, erityisesti vety, kohoavat ilmaa ja höyryä kevyempinä tulipesän yläosaan ja höyryn pitoisuus tulipesän yläosassa saattaa laskea muuta osaa nopeammin, koska osa höyrystä lauhuu ekonomaiseriin.

BLRBAC:n piirissä on keskusteltu mahdollisuudesta havaita tulipesään suuntautuvat kattilavuodot TRS:n pitoisuuden kasvusta savukaasuissa, ja Alertin vuodonvalvontajärjestelmässä tätä tietoa käytetään hyväksi vuodon paikannuksessa. Suomessa asiaan ei tiettävästi ole kiinnitetty huomiota eikä mainintoja TRS:n pitoisuuden mahdollisista muutoksista kattilavuotojen aikana löydy vuoto- tai vaurioraporteista.

3.3 Suojaukset

Kattilalaitosten turvallisuuskomitean ohjeen G7 mukaan kattilan toiminnan edellytyksenä on, että kattilasuoja on kunnossa, eli kun seuraavat ehdot ovat voimassa

- tulipesän paine on pienempi kuin asetettu yläraja
- lieriön pinta on alavesirajan yläpuolella
- primääri-ilmapuhallin käy
- sekundääri-ilmapuhallin käy
- primääri-ilma- ja kokonaisilmavirtaus ovat riittäviä
- väh. yksi savukaasupuhallin käy ja pellit sen edessä ja jäljessä ovat auki.

Sen selvittämiseksi, miten automaattinen pysäytys on käytännössä järjestetty, pyydettiin kyselyssä rastittamaan ne suojaukset (lukitukset), jotka ko. kattilalla ovat käytössä erityisesti kattilavuotojen varalle. Valmiiksi annetut vaihtoehdot olivat seuraavat:

- syöttövesi-höyryvirtausero > suojausraja
- lieriön pinta < suojausraja
- lieriön pinta > suojausraja
- tulipesän paine > suojausraja
- kattilan paineen laskunopeus > suojausraja.

Tarkoituksena oli siis rastittaa ne ehdot, joiden lauetessa automatiikka ajaa kattilan alas. Ehdoista 2. ja 4. ovat samat kuin KLTK:n ohjeessa. Ensimmäinen ehto lisättiin listaan siksi, että syve-ero on mittausta, jota operaattorit käyttävät yleisesti pikapysäytystarvetta arvioitaessa, joten voisi olettaa mittauksen hyödynnetyn myös automaattisessa suojauksessa. Kolmas ehto on otettu joillakin kattiloilla käyttöön pääasiassa estämään lieriön ylitäyttö ja veden pääsy tulistimeen, mutta ehto voi tulla voimaan myös tulistinvuodon aikana. Viidennen ehdon voisi puolestaan olettaa sopivan erityisesti suurille kattilavuodoille, joissa kattilan paine laskee nopeasti.

Kyselyn tulokset on esitetty taulukossa 6. Taulukosta havaitaan, että lähes kaikilla kattiloilla on käytössä suojeluohjeen suosittelemat, lieriön alapintaa ja tulipesän painetta koskevat suojaus ehdot. Poikkeuksen muodostavat Kuusanniemen vanhempi kattila, jolla ei ole suojausta lainkaan, sekä Veitsiluoto, Kaskinen ja Kemijärvi, joilla ei ole tulipesän painetta koskevaa ehtoa. Kuusanniemen kattilalle kuivakeittosuojaus asennetaan syksyn 2000 aikana. Kaskisesta tulipesän painetta koskeva ehto on poistettu kattilasuojusta luultavasti koekäytön aikana ilmeisesti puhaltimien toimintahäiriöiden aiheuttamien tarpeettomien laukaisujen estämiseksi.

Useimmilla kattiloilla on käytössä kuivakeittosuojan lisäksi lieriön yläpintasuoja. Tällä tavoin pyritään suojaamaan tulistinputkia äkilliseltä vesijäähdytykseltä, joka pahimmillaan voi aiheuttaa putken katkeamisen liitoksestaan. Näin tapahtui mm. Östrandissa 1997, kun syöttöveden säätö menetettiin sähkökatkon takia.

Yhdelläkään kattilalla ei ole käytössä syve-höyryeromittauksella hyödynnettävää suojaus ehtoa. Luultavasti eräs syynä on, että syve-höyryeromittauksella ei pidetä riittävän luotettavana, jotta sen hyödyntäminen kattilan ohjauksessa voitaisiin automatisoida.

Taulukko 6. Suomalaisilla kattiloilla käytetyt suojaus ehdot kattilavuotojen varalle.

	Tehdas	Syve-ero > suojaus- raja	Lieriön pinta < suojaus- raja	Lieriön pinta > suojaus- raja	Tulipesän paine > suojaus- raja	Kattilan paineen lasku-nopeus > suojausraja
1	Kotka		x	x	x	
2	Pietarsaari		x	x	x	
3	Kuusanniemi					
4	Kemijärvi		x	x		
5	Sunila		x		x	
6	Tervasaari		x		x	
7	Pietarsaari		x	x	x	
8	Veitsiluoto		x	x	x	
9	Kuusanniemi		x		x	
10	Kaskinen		x	x		
11	Varkaus		x		x	
12	Äänekoski		x		x	
13	Imatra		x	x	x	
14	Sunila		x		x	
15	Oulu		x	x	x	
16	Heinola		x	x	x	
17	Kemi		x	x	x	
18	Kaukas		x	x	x	
19	Imatra		x	x	x	
20	Uimaharju		x	x	x	
21	Rauma		x	x	x	
22	Joutseno		x	x	x	

Luotettavuuteen vaikuttaa se, että sekä syöttövesi- että höyryvirtausta mitataan tavallisesti ainoastaan yhdellä mittauksella, esim. yhdellä mittauslaipalla ja siihen liittyvillä paine-eroantureilla. Yksittäisen paine-eromittauksen vikaantuminen aiheuttaa tällöin suoraan virheen syve-erossa. Mikäli suojaus ehdoissa käytettäisiin syve-eroa, voisi yksittäinen instrumenttivika aiheuttaa kattilan tarpeettoman alasajon. Tällaisten tilanteiden välttämiseksi on suojauksissa käytettävät mittaukset yleensä kahdennettu tai kolminnettu, jolloin suojaus voidaan toteuttaa 2/2- tai 2/3-periaatetta noudattaen. Virtausmittaukset voidaan kahdentaa esim. käyttämällä yhtä mittauslaippaa ja paine-eroanturia, mutta kahta mittausketjua anturilta eteenpäin. Vaihtoehtoinen toteutustapa on käyttää yhtä mittauslaippaa, mutta kahta paine-eroanturia erillisine mittausketjuineen.

Mikäli kattiloiden suojausautomaatiikkaa muutettaisiin niin, että syöttövesi-höyryvirtauseron kasvu yksinään riittää laukaisemaan pikapysäytyksen, saattaisi pikapysäytys tapahtua myös ekonomaiseri- ja tulistinvuodoissa. Näihin vuotoihin ei liity välitöntä tulipesäräjähdyksen vaaraa, joten pikapysäytykseen ei näissä tapauksissa olisi ilmeistä tarvetta. Toisaalta suurissa vuodoissa kattila jouduttaisiin ajamaan nopeasti alas joka tapauksessa, joten automaattinen suojaus ainoastaan nopeuttaisi kattilan alasajoa.

Syöttövesi-höyryvirtauseron kasvuun perusteella määritellyn suojaus ehdon puuttuminen nykyisestä kattilasuojasta merkitsee käytännössä sitä, että kattilaan voi syntyä enimmillään syöttöveden säätövaran suuruinen vesivuoto ilman, että suojaus pysäyttää

automaattisesti kattilan käytön. Nykyisillä kattiloilla, joissa syöttövesivirtaukset ovat jopa yli 100 kg/s ja käytössä on suurikapasiteettiset syöttövesipumput, säätövara on useita kymmeniä kiloja sekunnissa, joten myös vuodot, joissa automatiikka ei laukaise pikapysäytystä, voivat olla suuria.

Esimerkkinä suurista vuodoista, joissa kattilan automatiikka ei ole laukaissut kattilasuojaa, ovat Kaskisissa vuonna 1997 ja 2000 tapahtuneet vuodot.

Vuonna 1997 vuoto tuli tulipesän seinäputkeen kasvattaen syöttövesi-höyryvirtauseron yli 10 kg/s. Lierion pinta pysyi kuitenkin alarajan yläpuolella, joten kattilan käyttöä jatkettiin vuodosta huolimatta, kunnes paikalle saapunut käytönvalvoja totesi vettä vuotavan tulipesään ja määräsi kattilan pikapysäytettäväksi ja -tyhjennettäväksi. Vuodosta lensi vettä keon yli vastakkaiselle seinälle ja osa vedestä valui kourujen kautta ulos.

Vuoto 18.10.2000 aiheutui suuren kamin putoamisesta verhoputkien päälle, jolloin yksi putkista repesi 20 cm matkalta. Repeämän seurauksena vettä vuosi tulipesään, joka paineistui hetkellisesti, mutta säätö tasoitti tilanteen suurentamalla savukaasupuhaltimien kierroslukua. Syve-höyryvirtauseron perusteella vuodon koko oli noin 5 kg/s. Vuodon paikaksi epäiltiin tulistinta, joten keko päätettiin polttaa pois. Vasta kun tulet sammutettiin, varmistui vuodon paikka verhoputkistoon. Kaskisen vauriotapausta on käsitelty yksityiskohtaisemmin liitteessä 2.

Molemmissa Kaskisen vuototapauksissa automaattisen suojauksen puuttuminen mahdollisti kattilan käytön jatkamisen tilanteessa, jossa tulipesään vuosi vettä useita kiloja sekunnissa. Molemmissa tapauksissa vuodon paikkaa pyrittiin selvittämään kattilahuoneesta käsin, joten oli onni onnettomuudessa, että vuodoista ei aiheutunut tulipesäräjähdyistä.

4 VUOTOJEN OHJEISTUS

4.1 Kyselyn tulokset

Huomattava osa kyselystä oli varattu ohjeistusta ja henkilökunnan koulutusta koskeville kysymyksille. Ohjeita koskevissa kysymyksissä vastaajaa pyydettiin rastittamaan kyllä tai ei joko sen mukaan, miten ko. asiat on esitetty ohjeissa tai, jos ohjeita ei ollut käytettävissä, oma arvio siitä, miten ko. asia tulisi olla ohjeissa. Kyselyn tulokset on esitetty taulukoissa 7 ja 8. Taulukoissa kysymykset on esitetty lyhennetyssä muodossa, kokonaaisuudessaan kyselyssä esitetyt kysymykset on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 7. Vastaukset kattilavuotojen ohjeistusta koskeviin kysymyksiin. Numerointi viittaa kattiloihin taulukossa 1. (K = kyllä, E = ei, em = ei mainittu).

Kysymykset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Onko kattilavuodoista kirjalliset ohjeet ?	K	E	K	K	E	E	E	K	K	K	K	K
Onko ohjeissa huomioitu kattilan erityispiirteet ?	K	K	K	K	-	K	K	-	K	K	K	E
Ovatko vuorot käyneet ohjeet läpi viim. 2 v aikana ?	E	E	K	E	-	E	E	K	K	E	E	E
Onko vuototilanteita harjoiteltu viim. 3 v aikana ?	K	E	E	K	-	E	E	E	E	E	E	E
Onko ohjeita muutettu viim. 4 v aikana ?	K	E	K	E	-	E	E	E	K	K	K	K
Tuleeko suuressa vuodossa tehdä aina pikapysäytys ?	E	K	K	K	-	K	K	K	K	K	K	E
Onko ohjeessa kuvattu tarkasti "suuri vuoto" ?	E	E	E	K	-	E	E	K	E	-	K	E
Onko nimetty mittaus vuodon tunnistamiseksi ?	E	E	K	E	-	E	E	K	K	E	K	E
Tehdäänkö pikapysäytys heti jos pesään pääsee vettä ?	K	K	K	K	-	K	K	K	K	K	K	K
Saako kattilahuoneessa työskennellä ilman lupaa ?	E	E	E	E	-	E	E	E	E	E	E	E
Saako kattilahuoneessa olla pohjavuodon aikana ?	E	E	E	E	-	E	E	E	E	E	E	E
Onko ohjeet puhaltimien pysähtymiselle ?	E	K	E	K	-	K	K	K	E	E	E	E
Kehotetaanko kaasupitoisuuksien seurantaan ?	E	E	K	E	-	K	E	K	K	E	E	E
Ohjataan toimii jos pitoisuudet ovat korkeita ?	E	E	E	E	-	K	E	E	E	E	E	E
Onko vaaralliset pitoisuudet kuvattu ?	E	E	E	E	-	K	E	E	E	E	E	E

Taulukko 8. Vastaukset kattilavuotojen ohjeistusta koskeviin kysymyksiin. Numerointi viittaa kattiloihin taulukossa 1. (K = kyllä, E = ei, em = ei mainittu).

Kysymykset	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Onko kattilavuodoista kirjalliset ohjeet ?	K	E	K	K	K	K	K	K	K	K
Onko ohjeissa huomioitu kattilan erityispiirteet ?	K	-	K	K	K	K	K	E	K	K
Ovatko vuorot käyneet ohjeet läpi viim. 2 v aikana ?	E	-	K	E	E	K	E	E	K	K
Onko vuototilanteita harjoiteltu viim. 3 v aikana ?	E	-	K	E	K	E	E	E	E	E
Onko ohjeita muutettu viim. 4 v aikana ?	K	-	E	E	E	E	E	K	E	K
Tuleeko suuressa vuodossa tehdä aina pikapysäytys ?	E	-	K	K	E	K	K	K	K	K
Onko ohjeessa kuvattu tarkasti "suuri vuoto" ?	E	-	E	K	E	K	K	K	K	E
Onko nimetty mittaus vuodon tunnistamiseksi ?	E	-	E	K	K	K	E	E	E	E
Tehdäänkö pikapysäytys heti kun pesään pääsee vettä ?	K	-	K	K	K	E	K	K	K	K
Saako kattilahuoneessa työskennellä ilman lupaa ?	em	-	E	E	E	E	em	E	E	E
Saako kattilahuoneessa olla pohjavuodon aikana ?	E	-	E	E	E	E	em	E	E	E
Onko ohjeet puhaltimien pysähtymiselle ?	E	-	E	K	E	E	E	E	E	E
Kehoitetaanko kaasupitoisuuksien seurantaan ?	E	-	E	E	E	E	E	E	K	K
Ohjataan toimii jos pitoisuudet ovat korkeita ?	E	-	E	E	E	E	E	E	E	K
Onko vaaralliset pitoisuudet kuvattu ?	E	-	E	E	E	E	E	E	E	E

Eo. taulukoissa on esitetty kunkin kattilan vastaukset erikseen. Taulukoista voidaan laskea kysymyskohtaiset jakaumat, jotka on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Yhteenvedo kattiloita koskevista vastauksista. (Ei osaa sanoa = vastaus puuttuu tai asiaa ei ole kuvattu ohjeissa).

	Kysymykset	Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa
1	Onko kattilavuodoista kirjalliset ohjeet ?	17	5	
2	Onko ohjeissa huomioitu kattilan erityispiirteet ?	17	2	3
3	Ovatko vuorot käyneet ohjeet läpi viim. 2 v aikana ?	7	13	2
4	Onko vuototilanteita harjoiteltu viim. 3 v aikana ?	4	16	2
5	Onko ohjeita muutettu viim. 4 v aikana ?	9	11	2
6	Tuleeko suuressa vuodossa tehdä aina pikapysäytys ?	16	4	2
7	Onko ohjeessa kuvattu tarkasti "suuri vuoto" ?	8	11	3
8	Onko nimetty mittaus suuren vuodon tunnistamiseksi ?	7	13	2
9	Tehdäänkö pikapysäytys heti kun pesään pääsee vettä?	19	1	2
10	Saako kattilahuoneessa työskennellä ilman lupaa ?	0	18	4
11	Saako kattilahuoneessa olla pohjavuodon aikana ?	0	19	3
12	Onko ohjeet puhaltimien pysähtymiselle ?	6	14	2
13	Kehotetaanko savukaasupitoisuuksien seurantaan ?	6	14	2
14	Ohjataan toimii jos pitoisuudet ovat korkeita ?	2	18	2
15	Onko vaaralliset pitoisuudet kuvattu ?	1	19	2

4.2 Ohjeiden rakenne ja ylläpito

Ohjeiden laadintaa ja ylläpitoa käsiteltiin kysymyksissä 1, 2 ja 5. Vastausten perusteella käytäntö ohjeiden laadinnan suhteen on kirjavaa: lähes neljäsosalla kattiloista kattilavuotoja ei ole ohjeistettu lainkaan ja useimmilla niistäkin kattiloista, joilla on jonkinlaiset ohjeet, ohjeita ei ole muutettu viimeisen neljän vuoden aikana. Toisaalta ohjeita muuttaneiden kattiloiden lukumäärää (9) voidaan pitää yllättävänkin korkeana. Syynä saattaa olla, että useilla kattiloilla on laatujärjestelmän luomisen yhteydessä viety esim. kattilavalmistajan laatimia ohjeita osaksi tehtaan omaa ohjeistojärjestelmää ja tämän ovat jotkut vastaajat tulkinneet ohjeiden muuttamiseksi, vaikka ohjeiden sisältöä ei aina olekaan muutettu.

Kyselyssä pyydettiin myös kopioita vuotoja koskevista käyttöohjeista, joita saatiin yhdeksältä kattilalta. Useimmilla niistä tehtaista, joilla ohjeet ilmoitettiin olevan käytössä, käytettiin alkuperäisiä kattilatoimittajan käyttöohjeita. Näissä toimintaohjeet kattilavuotojen varalle on annettu taulukoissa, joissa on esitetty erilaiset vuototyyppit ja niitä vastaavat toimenpiteet. Esimerkkejä Tampellan ja Ahlströmin ohjeista on esitetty taulukoissa 10 ja 11.

Taulukko 10. Vuotoja koskeva käyttöohje (KÄO 23/SK6) Imatran Sellun kattilalla (valmistaja Tampella)

Häiriö	Oire	Toimenpiteet
Vuoto syöttövesilinjassa	Vuoto näkyy	Ota varalinja käyttöön, jos mahdollista.
Vuoto syöttöveden esilämmittimessä (epäilty tai todettu)	Häiriöitä tulipesän vedossa Vuotoääni Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta Vettä suolakuljettimilla	Pieni vuoto: • ota yhteyttä esimieheen pysäyttämistä varten • keskeytä lipeän poltto ja aloita keon loppuunpoltto Iso vuoto: • käynnistä pikapysäytys • neuvottele jatkotoimenpiteistä esimiehen kanssa
Vuoto keittoputkistossa (epäilty tai todettu)	Kuten edellä	Kuten edellä. Poikkeuksena tilanne, jossa on syytä epäillä, että vettä suihkuaa myös tulipesään. Tällöin edetään kuten alla.
Vuoto tulipesän putkessa tai verhoputkien uunin puoleisissa putkissa (epäilty tai todettu)	Paikallisia palamishäiriöitä keossa Paukahduksia tulipesässä Vuotoääni Vetohäiriöitä Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta	Aina: a) käynnistä pikapysäytys b) neuvottele jatkotoimista esimiehen kanssa c) käynnistä pikatyhjennys
Tulistinvuoto	Vetohäiriöitä Vuotoääni Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta Suurissa vuodoissa savua ja höyryä kattilahuoneessa	Pieni vuoto: • neuvottele alasajosta esimiehen kanssa • lopeta lipeän poltto ja aloita keon alasajo Iso vuoto: • käynnistä pikapysäytys • neuvottele jatkotoimista esimiehen kanssa
Vuoto savukaasutilan ulkopuolella	Vettä tai höyryä eristysten alta kattilahuoneeseen Vuotoääni Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta	a) ota yhteyttä esimieheen vuodon paikan pikaiseksi löytämiseksi b) tehosta veden syötön ja kaasunpuoleisten ilmiöiden tarkkailua c) vuotopaikasta ja suuruudesta riippuen aloita alasajo

Taulukko 11. Vuotoja koskeva käyttöohje Kaukaan tehtaan kattilalla (valmistaja Ahlström).

Vika/häiriö	Oire	Toimenpiteet
Vuoto syöttövesilinjassa	Vuoto on näkyvissä. Huom! Suuri vuoto vaarantaa kattilan vedensyötön.	a) Vuodon suuruuden mukaan. Jatka käyttöä sopivaan seisokkiin. b) Isossa vuodossa aja kattila alas.
Vuoto ekonomaisierissa	Häiriöitä tulipesän vedossa Vuotoääni Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta Vettä suolakuljettimilla Huom! Suuri vuoto vaarantaa kattilan vedensyötön. Jos vesi pääsee sekoitussäiliöön, on tilanne vaarallinen.	Pieni vuoto: • neuvottele alasajosta esimiehen kanssa • lopeta lipeän poltto ja aloita keon alaspoltto Iso vuoto: • käynnistä pikapysäytys • neuvottele jatkotoimenpiteistä esimiehesi kanssa
Vuoto keittoputkisto	Kuten edellä	Kuten edellä. Poikkeuksena tilanne, jossa on syytä epäillä, että vettä suihkuaa myös tulipesään. Tällöin edetään kuten alla.
Tulipesän putket tai verhoputkien uunin puoleisissa putkissa	Paikallisia palamishäiriöitä keossa Paukahduksia tulipesässä Vuotoääni Vetohäiriöitä Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta	Aina ehdottomasti: a) käynnistä pikapysäytys b) neuvottele jatkotoimista (pikatyhjennyksestä) esimiehen kanssa c) käynnistä pikatyhjennys
Tulistin	Vetohäiriöitä Vuotoääni Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta Suurissa vuodoissa savua ja höyryä kattilahuoneessa	Pieni vuoto: • neuvottele alasajosta esimiehen kanssa • lopeta lipeän poltto ja aloita keon alaspoltto Iso vuoto: • käynnistä ”vaarahälytys soodakattilalle” • käynnistä ”pikapysäytys” • neuvottele jatkotoimista esimiehen kanssa
Savukaasutilan ulkopuolella	Vettä tai höyryä eristysten alta kattilahuoneeseen Vuotoääni Syöttövesi/höyryvirtaus-ten epäsuhta	a) ota yhteyttä esimieheen vuodon paikan pikaiseksi löytämiseksi b) tehosta veden syötön ja kaasunpuoleisten ilmiöiden tarkkailua c) vuotopaikasta ja suuruudesta riippuen aloita alasajo

Kuten taulukoista 10 ja 11 havaitaan, ohjeet ovat likimain yhtenevät. Yhteistä on mm., että ohjeet ovat luonteeltaan kuvailevat, niissä ei ole esitetty mitään määrällisiä kriteerejä esim. syve-eron tai vetohäiriöiden suuruudelle, jotka edellyttävät tiettyjä toimenpiteitä. Tästä huolimatta ohjeissa puhutaan ”pienistä” ja ”suurista” vuodoista. Ohjeista puuttuu

myös kokonaan aikadimensio; ohjeissa ei kuvata esim. kuinka kauan vuodon kehittymistä voidaan seurata ilman toimenpiteitä tai sitä, kuinka pian pikapysytys tulee tehdä suuren vuodon havaitsemisen jälkeen.

Edellä olevissa käyttöohjeissa on vuodon paikka esitetty ensimmäisessä sarakkeessa, eli vuoto oletetaan periaatteessa jo paikannetuksi. Tavallisimmin vuodot havaitaan kenttäkierroksilla, joten useimmiten näin onkin. Ei ole kuitenkaan epätavallista, että kenttäkierroksen sijasta ensimmäiset merkit vuodosta havaitaan valvomossa kattilan käytössä ilmenevinä häiriöinä. Ahlströmin ohjeissa on huomioitu myös nämä tilanteet, joita varten on esitetty omat toimintaohjeensa. Nämä ohjeet on esitetty vuotojen osalta taulukossa 12.

Taulukko 12. Käyttöohjeessa esitetyt, vuotoja koskevat käyttöhäiriöohjeet Kaukaan tehtaan kattilalla (valmistaja Ahlström).

Käyttöhäiriö ja sen toteaminen	Häiriön syy	Korjaava toimenpiteet
Mahdoton pitää lieriön pintaa	Suurempi putkivuoto. Putkimurtuma, joka johtuu alhaisesta lieriön pinnasta, tukkeutuneesta putkesta tai lämpöpintojen eroosiosta.	Harkittava heti pikapysäytystä ja -tyhjennystä.
Syöttövesihäviö kasvaa - toteaminen syve-häviön häilytyksestä	Vuoto - tulipesässä - tulistimessa - eko/kattila-putki-alueella	Yritä paikallistaa vuoto. Jos häiriötä ei pystytä paikallistamaan, pysäytä normaalisti tai pikapysäytyksellä.
Musta primääri-ilma-aukko - toteaminen primääri-ilma-aukosta	a) Suurehko palamaton sulamöykky on pudonnut aukolle b) Vesivuoto tulipesän putkessa	a) Pidä aukot puhtaana käsilanssilla tai paineilmalla. Vältä kosketusta kattilaputkiin. Lisää primääri-ilmamäärää käsisääätöpellillä. Huom! Muista palauttaa säätöpelti ennalleen sen jälkeen, kun sulapeti on palanut alas. Lisää sekundääri-ilmamäärää mustuneen primääri-ilma-aukon yläpuolella. b) Jos kuullaan suhisevan höyryn ääntä tulipesästä, tai jos on mahdotonta pitää vesipintaa (jolloin myös syöttövesihäviömittaus osoittaa suurta arvoa), suorita pikapysäytys
Mahdotonta pitää oikeita kattilaveden pitoisuuksia - toteaminen näytteenoton mittareilla	a) Pienempi putkivuoto laipoista, saumoista, jne. b) Jälkiannoskemikaalien saostuminen pienellä kuormalla. Ilmiötä nimitetään ”hideout”.	a) Pysäytä kattila ensimmäisessä sopivassa tilaisuudessa. Paikallista ja korjaa vuoto. b) Kun ajovauhti nousee normaaliin, ”hideout” katoaa.

Ahlströmin käyttöohjeet on laadittu niin, että periaatteessa tunnistetaan häiriö käyttäen em. taulukkoa 12, jonka jälkeen edetään joko samassa taulukossa tai taulukossa 11 mainittuihin korjaaviin toimenpiteisiin.

Yhteisenä piirteenä sekä Ahlströmin että Tampellan ohjeissa, niin kuin niiden pohjalta tehdyissä kattilakohtaisissa ohjeissakin, on, että pikapysäytys ja -tyhjennys seuraustoimintoinen on käsitelty erillään em. käyttöohjeista. Yleensä pikapysäytyksen ja tyhjennyksen yhteydessä on listattu kattilan automatiikan tekemät toimenpiteet. Toiminnot tai suuret, jotka operaattorin tulee esim. pikapysäytyksen yhteydessä seurata, on kuvattu niukasti, jos lainkaan, eikä ohjeissa ole mainintaa korjaavista toimenpiteistä, jos esim. jokin seuraustoiminto jää toteutumatta.

Muiden kattilatoimittajien laatimia käyttöohjeita ei selvitystä tehtäessä ollut käytettävissä. Kuusanniemen Götaverkenin toimittamilla kattiloilla periaatteena todettiin olevan, että pikapysäytys tehdään, jos kattilaan tulee suuri vuoto, jonka seurauksena lieriön pinta laskee ja syve-ero kasvaa. Ohjeessa ei ole kuvattu tarkasti, mitä tarkoittaa suuri vuoto, ts. kuinka paljon pinnan tulee laskea ja syve-eron kasvaa pikapysäytyksen käynnistämiseksi. Käytännössä raja lienee, että pikapysäytys tehdään, mikäli kattilaan tulee vesivuoto, jonka suuruus ylittää syöttövesivirtauksen säätövaran, koska tätä pienemmissä vesivuodoissa lieriön pinta ei laske ainakaan hallitsemattomasti. Ohjeen mukaan pikapysäytystä ei siis myöskään tehdä, jos vuoto on tulistimessa, koska tällöin lieriön pinta ei välttämättä laske kuin mahdollisesti viiveellä. Kummallakaan kattilalla ei ole käytössä suojausta lieriön yläpinnasta, joten tulistinvuodossa ei myöskään kattilan automatiikka välttämättä pysäytä polttoa.

4.3 Käyttöhenkilökunnan koulutus

Kyselyyn sisällytettiin kaksi kysymystä liittyen henkilökunnan koulutukseen (kysymykset 3 ja 4) tarkoituksena lähinnä kartoittaa, kuinka laajasti vuototilanteita koskevia ohjeita käytetään käyttöhenkilökunnan koulutuksessa. Saatujen vastausten mukaan ainoastaan kolmasosalla kattiloista käyttöhenkilökunta on käynyt läpi ohjeiden sisällön ja perusteet muutoin kuin itseopiskeluna viimeksi kuluneen kahden vuoden aikana ja vain neljällä kattilalla käyttöhenkilökunta (kaikkien käyttövuorot) on harjoitellut vuototilanteiden hallintaa viimeksi kuluneen kolmen vuoden aikana.

Kysymyksissä rajattiin tarkastelujakso 2 - 3 vuoteen, jota voidaan pitää lyhyenä välinä kertauskoulutukselle erityisesti henkilöille, joilla on pitkä työkokemus. Toisaalta lyhyen kertauskoulutusvälin puolesta puhuu se, että erityisesti hyvin harvinaisten häiriöiden, jollaisia mm. kattilavuodot ovat, hallinnan käytännöt unohtuvat helposti, koska niitä ei käytännössä toteuteta juuri koskaan. Vaarana tällöin on, että ensivaiheessa korjaavat toimenpiteet improvisoidaan tai ne jäävät tekemättä, kun paikalle odotetaan päätöksen tekijää. Suurin osa kattilaräjähdyksistä tapahtuu alle puolen tunnin kuluessa vuodon synnystä, joten useimmissa tapauksissa on aikaa korjaavien toimenpiteiden tekemiselle käytettävissä vähän.

Toinen peruste suhteellisen taajaan järjesteltävälle kertauskoulutukselle on, että kahden - kolmen vuoden ajanjaksolla tapahtuu Suomessa ja muualla maailmassa kattilavuotoja ja niistä aiheutuvia räjähdyksiä tavallisesti määrä, joka on käsiteltävissä esim. päivän pituisessa koulutuspaketissa. Tällaisen koulutuksen etuna on, että tapahtumat ovat ajallisesti tuoreita, jolloin mahdollisesti tarvittavat lisätiedot ovat suhteellisen helposti

hankittavissa ja muualla saadut opit esim. vuotojen estämisessä tai hallinnassa ovat siirrettävissä omalle kattilalle lyhyellä viiveellä.

4.4 Ohjeet pikapysäytyksen tekemiseksi

Tärkein yksittäinen toimenpide vesivuotojen hallitsemiseksi on pikapysäytyksen tekeminen. KLT:n suojeluohjeen mukaan pikapysäytys tulee tehdä, jos

- on epäiltävissä tai todettu sellainen vuoto, että vettä pääsee tulipesään
- syöttövesivirtaus on ylisuuri höyrynkehitykseen verrattuna (vuodon paikasta riippuen)
- kattilassa on vuoto, josta vettä tai höyryä purkautuu yksinomaan tulipesän ulkopuolelle (vuodon laadun mukaan)
- tulistimessa on suuri vuoto, joka aiheuttaa vaikeuksia kattilan hallittavuudessa
- ekonomaisemmissa tai keittoputkistossa on suuri vuoto, joka aiheuttaa häiriöitä veden syötössä ja vedonsäätö tulee hallitsemattomaksi
- keittoputkistossa on vuoto, josta voi päästä vettä myös tulipesään.

KLT:n ohje on tulkinnanvarainen, joten kyselyssä pyrittiin tarkentamaan tapaa, jolla pikapysäytyksen tekeminen on käytännössä ohjeistettu. Kysymykseen onko ohjeissa mainittu, että suuressa vuodossa tulee tehdä pikapysäytys, vaikka vuodon paikkaa ei varmuudella tiedettäisikään, vastasi suurin osa myöntävästi poikkeuksien ollessa Kotka, Äänekoski, Imatra ja Kemi. Imatran käyttöohjeen (ks. taulukko 10) mukaan pikapysäytystä ei tarvitse tehdä, jos vuoto on savukaasutilan ulkopuolella, jolloin vuodosta ei aiheudu sisäpuolisten vuotojen oireita (vetohäiriöitä, paukahduksia tulipesässä, vettä suolakuljettimella). Kotkassa ohjeen mukaan pikapysäytys tulee tehdä suurissa vesivuodoissa sekä paikantamattomissa höyryvuodoissa. Äänekosken ja Kemin ohjeet eivät olleet käytettävissä selvitystä tehtäessä.

Kysyttäessä, onko ohjeessa kuvattu tarkasti, mitä tarkoittaa suuri vuoto ja onko nimetty mittaustapa, jonka perusteella suuri vuoto tunnistetaan, ainoastaan kolmasosa vastasi myöntävästi. Käytettävissä olleiden ohjeiden perusteella niissäkin tapauksissa, joissa suuri vuoto ilmoitettiin kuvattuna tarkasti, kuvaus koski vuodon vaikutuksia, kuten ”suurissa tulistinvuodoissa savua ja höyryä kattilahuoneesta” ja ”mahdoton pitää lieriön pintaa”. Yhdessäkään saatavilla olleessa ohjeessa ei suurta vuotoa määritelty syvehöyryeron suuruuden perusteella. Ilmeisesti mittauksella, joka perusteella suuri vuoto määritetään, tulkittiinkin tarkoitettavan yleensä lieriön pinnan mittausta.

Lähes kaikki vastaajat olivat sitä mieltä, että ohjeissa on mainittu, että mikäli tulipesään havaitaan pääsevän vettä, on pikapysäytys tehtävä välittömästi.

4.5 Työturvallisuuden huomiointi ohjeistuksessa

Kattilavuotoihin liittyvien työturvallisuusriskien vuoksi kaksi kysymyksistä koski tapaa, jolla työskentely kattilahuoneessa on rajoitettu vuototilanteissa. Vastaajien mukaan lähes kaikilla kattiloilla on ohjeet, joiden mukaan työskentely kattilahuoneessa edellyttää erityistä lupaa, kun kattilassa on todettu suuri vuoto, jonka paikkaa ei tiedetä. Ainoastaan kahdella kattilalla ohjeissa ei ole kuvattu rajoituksia kattilahuoneessa työskentelyyn suuren vuodon tapauksessa (Imatran molemmat kattilat). Kysyttäessä, saako ohjeiden

mukaan kattilahuoneessa työskennellä silloin, kun vuoto on havaittu ja sen paikaksi epäillään tulipesän pohjaa, lähes kaikki vastaajat vastasivat kielteisesti.

Käytettävissä olleet ohjeet eivät kaikilta osin anna yhtä positiivista kuvaa työturvallisuuden huomioimisesta. Pikemminkin tilanne vaikuttaa työturvallisuuden kannalta heikolta erityisesti mitä tulee toimintaan ennen pikapysäytystä. Esimerkiksi Kaukaan tehtaan ohjeissa (Ahlströmin toimittama kattila) kehoitetaan paikantamaan vuoto, jos syve-eron havaitaan kasvavan ja kuuntelemaan mahdollista höyryn ääntä tulipesästä, jos primääri-ilma-aukko on musta (ks. taulukko 12). Jopa tilanteessa, jossa on mahdotonta pitää lieriön pintaa, on korjaavana toimenpiteenä esitetty yksin pikapysäytyksen harkinta ilman mainintaa esim. vaarahälytyksen antamisesta.

Pikapysäytyksen osana on valo- ja sireenihälytys, jonka käynnistyttyä kattilahuoneessa työskentelevät siirtyvät valvomoon tai muuhun turvalliseen, ennalta osoitettuun paikkaan. Saatavilla olleista ohjeista puuttui yleensä kuvaus lupamenettelystä, jolla kattilahuoneeseen saa mennä pikapysäytyksen jälkeen, mutta ko. asia lienee kuvattu muulla, esim. henkilöturvallisuusohjeistuksessa. Poikkeuksena oli mm. Imatran käyttöohje KÄO 53/SK5, jossa todetaan, että ”kun pikapysäytys ja -tyhjennystoiminnot on käynnistetty, ei kattilahuoneeseen saa mennä ennen kuin tilanne on todettu turvalliseksi. Turvallisuuden arvioi kattilan käytönvalvoja..”

4.6 Kaasuräjähdyksien huomiointi ohjeistuksessa

Vaikka osaa vesivuotojen aikana tapahtuneista räjähdyksistä voidaan hyvällä syyllä epäillä kaasuräjähdyksiksi, ei kaasuräjähdyksien mahdollisuuteen yleensä ole kiinnitetty erityistä huomiota. Esimerkiksi KLT:n suojeluohjeessa kuvataan lipeän poltosta syntyvien kaasujen räjähdysten edellytykset, mutta kuvauksessa ei mainita kaasuräjähdyksen mahdollisuudesta kattilavuodon aikana. Tämän vuoksi oli odotettavissa, että kaasuräjähdyksien vaaraa kattilavuotojen aikana ei ole käsitelty myöskään kattiloiden käyttöohjeissa. Tästä huolimatta kyselyyn sisällytettiin neljä kysymystä, jotka liittyivät erityisesti palavien kaasujen käsittelyyn kattilavuotojen aikana.

Ensimmäisessä näistä neljästä kysymyksestä tiedusteltiin, onko ohjeissa annettu toimintaohjeet tilanteeseen, jossa kaikki paloilma- tai savukaasupuhaltimet pysähtyvät kattilavuodon aikana. Kysymyksen taustalla ovat räjähdykset Vallvikissa vuonna 1998 sekä Tervasaassa vuonna 1992, joissa molemmissa kattilan tuuletus vuodon aikana oli riittämätöntä kattilan automatiikan pysäyttäessä ilmapuhaltimet. Vastausten mukaan ko. häiriö on sisällytetty ainoastaan kahden kattilan käyttöohjeisiin (Veitsiluoto ja Heinola); kolme muuta vastaajaa piti tärkeänä häiriön sisällyttämistä ohjeisiin, jos sellaiset joskus laaditaan.

Kysyttäessä kehoitetaanko ohjeissa seuraamaan palokaasujen (hiilimonoksidi, vety ja/tai TRS) ja hapen pitoisuuksia savukaasuissa kattilavuotojen aikana vastasi kuusi myönteisesti; näistä viidellä (Kuusanniemen molemmat kattilat, Veitsiluoto, Rauma ja Joutseno) ovat ohjeet olemassa.

Kolmannessa aihetta käsittelevässä kysymyksessä tiedusteltiin, onko ohjeissa kuvattu miten tulee toimia, jos sekä palokaasujen että hapen pitoisuudet ovat korkeita kattilavuotojen aikana. Niistä kattiloista, joissa kattilavuodot on ohjeistettu, myönteisen vastauksen antoi ainoastaan Joutseno.

Viimeiseksi kysyttiin, onko ohjeessa kuvattu, milloin palokaasujen ja hapen pitoisuudet ovat vaarallisen korkeita. Tarkoitus oli selvittää, onko ohjeissa esitetty pitoisuudet, joissa operaattorin täytyy ryhtyä toimenpiteisiin räjähdysvaaran ehkäisemiseksi. Vastausten mukaan vaarallisia palavien kaasujen tai hapen pitoisuuksia ei ole määritetty yhtenkään kattilan käyttöohjeissa. Niistä viidestä kattilasta, jolla ohjeet puuttuvat, tärkeänä asiaa piti ainoastaan Tervasaari, jossa vuoden 1992 räjähdys oli ilmeisesti parhaiten muistissa.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että kattiloiden käyttöohjeissa ei ole huomioitu kaasuräjähdyksen mahdollisuutta käytännössä riittävästi, koska merkittävimmät osat - vaaran tunnistus korkeiden pitoisuuksien perusteella ja ennalta suunnitellut korjaavat toimenpiteet - puuttuvat kokonaan. Toisaalta savukaasumittausten soveltuvuus räjähdysvaaran tunnistukseen on kyseenalainen, koska analysaattorien mittausalue on nykyisellään useimmilla kattiloilla riittämätön havaitsemaan vaarallisen korkeat pitoisuudet.

5 VUODONVALVONTAJÄRJESTELMÄT

5.1 Massataseen seuranta: Alert Systems Inc.

Alert Systems Inc.:n järjestelmä on alunperin bostonilaisen insinööritoimiston Stone & Websterin kehittämä. Järjestelmän ensimmäinen versio tehtiin vuonna 1991 AF&PA:n tukemana ja ensimmäinen varsinainen asennus tehtaalle tehtiin vuonna 1993. Alert Systems Inc. osti järjestelmän oikeudet 1996.

Toimintaperiaate

Alertin järjestelmä Recovery Boiler Advisor (Soodakattilaneuvoja) on lähinnä olemassa olevien mittausten analysointiin kehitetty nk. asiantuntijajärjestelmä. Tärkein osa järjestelmää on vuotojen valvonta, joka tapahtuu kattilaan tulevien vesivirtauksien ja sieltä poistuvien vesi- ja höyryvirtauksien perusteella. Laskennassa pyritään ottamaan huomioon myös muutokset mm. lieriön pinnassa ja kattilan paineessa ja lämpötilassa. Vuodon paikannuksessa pyritään käyttämään hyväksi myös kattilaveden pH:n ja johtokyvyn seuranta.

Toimittajan ilmoituksen mukaan järjestelmä pystyy tunnistamaan vuodot, joiden suuruus on vähintään 0.15 - 0.5 % syöttövesivirtauksesta, kun käytettävissä on tärkeimmät massataseeseen vaikuttavat mittaukset. Kattilassa, jossa syöttövesivirtaus on luokkaa 70 kg/s järjestelmän avulla voitaisiin tällöin tunnistaa vuodot, joiden suuruus on 0.1 - 0.35 kg/s.

Järjestelmä myös analysoi tilanteet, joissa automatiikka pysäyttää kattilan käytön, ja ilmoittaa, mikäli pysäytyksen syynä on vuoto kattilassa.

Vuodon tunnistuksen lisäksi järjestelmä pyrkii myös paikantamaan vuodon käyttäen hyväksi kattilan tilasta kertovia mittauksia. Järjestelmän on suunniteltu antamaan ilmoitus mm. seuraavissa tilanteissa:

- syve-ero kasvaa ja savukaasujen opasiteetti ja TRS-pitoisuus kasvavat => suuri vuoto on tulipesässä tai keittopinnassa
- syve-ero kasvaa ja ulospuhallusvirtaus pienenee (automaattinen säätö) tai ulospuhallusvirtauksen johtokyky tai kemikaalipitoisuudet laskevat (jos ulospuhallusvirtaus on vakio tai säätyy syöttöveden virtauksen mukaan) => vuoto on tulipesässä tai keittopinnassa
- syve-ero kasvaa ja savukaasujen lämpötila laskee => suuri vuoto ekonomaisierissa (lisäindikaatioita voi tulla mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden laskusta, jos kosteutta kulkeutuu tuhkan mukana sekoitussäiliöön)
- syve-ero kasvaa ja höyryn paine laskee ja lieriön pinta nousee => suuri vuoto tulistimessa.

Toimittajan antama kuvaus on summittainen eikä sisällä sen enempää massataseen laskentamenetelmien kuin vuodon paikannuksessa käytetyn logiikankaan kuvausta. Luultavaa kuitenkin on, että järjestelmä ei ole kokonaan vakioitu, vaan se sovitetaan erikseen kullekin kattilalle olemassa olevien mittausten ja ohjausten mukaan.

Periaatteessa Alertin järjestelmän avulla on mahdollista erotella kattilan sisä- ja ulkopuoliset vuodot, mutta erottelun tarkkuus riippuu savukaasumittausten tarkkuudesta ja herkkyydestä reagoida kattilan sisäpuolisiin vuotoihin. Luultavasti vuodon paikka voidaan tarkentaa kattilan sisälle tai ulos ainoastaan suurissa vuodoissa.

Järjestelmän pääkomponentit

Järjestelmä sisältää seuraavat komponentit:

- tietokone
- ohjelmisto massataseen laskentaa ja vuodon paikan päättelyä varten
- yhteys tietokoneen ja kattilan automaatiojärjestelmän välille mittaustietojen automaattista syöttöä varten
- pääte kattilan tilatietojen, laskentatulosten ja hälytysten seuranta varten
- yhteys puhelinverkkoon ohjelmiston ylläpitoa ja tiedonsiirtoa varten.

Järjestelmä asennetaan erilliseen tietokoneeseen tai työasemaan. Järjestelmää käytetään sekä Vax- ja Unix-koneissa että mikrotietokoneissa.

Toimitus sisältää mittaustietojen siirtoon tarvittavat ohjelmistot edellyttäen, että tiedot ovat siirrettävissä joko TCP/IP tai DECnet-muodossa kattilan automaatiojärjestelmästä. Ohjelmisto tarvitsee kattiladataa viiden sekunnin välein.

Yhteys puhelinverkkoon tarvitaan, mikäli ohjelmisto ylläpidetään ja tallennetaan muualta kuin paikanpäältä (toimittajan tarjoama palvelu).

Asennus

Kokonaisuudessaan käyttöönotto vie noin kolme kuukautta, josta suurin osa kuluu järjestelmän hienosäätöön toimittajan toimesta. Asennukset paikan päällä vievät noin 2 - 3 viikkoa. Järjestelmän käyttöönotto ei edellytä kattilan alasajoa.

Toimittajan mukaan käyttöönoton edellyttämä koulutustarve on vähäinen, alle päivän.

Käyttö

Normaalin käytön aikana järjestelmä toimii itsenäisesti tulostaen mittaustietoja ja laskentatuloksia ja mahdollisia hälytyksiä näytölle. Operaattori voi valita näytön, mutta ei muuten vaikuta järjestelmän toimintaan.

Kunnossapito

Toimittaja tarjoaa kahta ylläpitosopimusta. Kevyempi vaihtoehto sisältää teknisen tuen, ohjelmistovirheiden korjauksen ja ohjelman päivityksen, raskaampi lisäksi kuukausittaisen tarkistuksen, ohjelmiston varmistustallennuksen ja järjestelmän uudelleen sovituksen, mikäli sellainen osoittautuu tarpeelliseksi. Ylläpidon hinta on, valitusta vaihtoehdosta riippuen, 3000 tai 4800 \$ vuodessa.

Toimittajan mukaan järjestelmää ei tarvitse virittää uudelleen esim. mittausten ryökimisen takia. Muutoksia ohjelmistoon tarvitaan vain, jos kattilan instrumentoinnissa, säädössä tai tietojärjestelmässä tehdään muutoksia.

Toimittajan mukaan järjestelmän tehokkuutta tai tarkkuutta vuotojen valvonnassa ei testata käytön aikana. Järjestelmää ei varsinaisesti koeteta määrärajoin.

Käyttökokemukset

Järjestelmä on käytössä 10 pohjoisamerikkalaisessa kattilassa. Nämä ovat:

- Georgia-Pacific (GP) Crosset, AR (käyttöönottovuosi 1993)
- GP Ashdown, kaksi kattilaa, AR (käyttöönottovuosi 1995)
- Champion Int. Courtland, AL (käyttöönottovuosi 1995)
- Consolidated Papers, Wisconsin Rapids, WI (käyttöönottovuosi 1996)
- GP Port Hudson, kaksi kattilaa, LA (käyttöönottovuosi 1997)
- Bowater Calhoun, TN (käyttöönottovuosi 1998)
- GP Toledo, kaksi kattilaa, CR (käyttöönottovuosi 1999).

Järjestelmän avulla on löydetty vuoto mm. tulipesän seinäputkessa Crossetin kattilalla. Kattilaa käytettiin normaaliteholla, kun järjestelmä hälytti mahdollisesta vuodosta, kun syve-ero kasvoi 0.25 kg/s verran. Hälytyksen jälkeen tehdyssä kattilahuonetarkastuksessa operaattori kuuli epämääräistä melua sekundääri-ilma-aukkojen luota, mutta ei ollut varma, oliko melu vuodon aiheuttamaa. Kahdeksan tuntia myöhemmin melu oli kuultavissa sen verran selvästi, että kattila päätettiin pikapysäyttää ja -tyhjentää. Tässä vaiheessa vuodon kooksi arvioitiin syve-eron kasvun perusteella yli 1 kg/s. Kun kattila tarkastettiin myöhemmin, havaittiin tulipesän seinäputkessa halkaisijaltaan noin 3 mm pistemäinen särö 2.6 m pohjan yläpuolella.

Em. lisäksi järjestelmän avulla on havaittu useita vuotoja, joiden koko ei ole tiedossa.

Toimittajan mukaan kattiloilla on ollut muutamia pieniä vuotoja, joita järjestelmän avulla ei ole havaittu. Vuotojen koosta ei ole tarkkaa tietoa, joten niiden voidaan olettaa olleen järjestelmälle annetun erotuskyvyn alapuolella.

Toimittajan esittämä erotuskyky, 0.15 - 0.5 % syöttövesivirtauksesta, on määritetty laskennallisesti. Kattiloilta kerättyyn mittausdataan on lisätty vuotovirtaus, jota on kasvatettu kunnes järjestelmä on havainnut vuodon tapahtuneen. Analyysissä siis oletetaan, että vuoto kasvaa tasaisesti eikä sen syntyminen vaikuta millään tavoin kattilan toimintaan. Todellisuudessa näin ei ole eikä simulointi siten täysin vastaa todellista tilannetta, koska analyysissä ei huomioida esim. kattilan automatiikkaa, joka pyrkii yleensä kompensoimaan vuodon vaikutukset.

Järjestelmän toimivuus ja tehokkuus riippuu olennaisesti kattilalla käytettävissä olevien mittausten tarkkuudesta ja ohjelmistoon asetetuista hälytysrajoista. Toimittajan mukaan järjestelmä tuottaa tarpeettomia hälytyksiä tavallisesti kerran muutamassa kuukaudessa/puolella vuodessa, mutta yleensä hälytyksen aiheuttaja on helposti tunnistettavissa. Järjestelmä saattaa tuottaa tarpeettomia hälytyksiä mm. jos kattilan olosuhteet muuttuvat nopeasti tai mittaukset vikaantuvat tai ryömivät. Järjestelmän käytössä painotetaan varmentavien toimenpiteiden merkitystä: jos järjestelmä hälyttää, operaattoreita kehoitetaan keskeyttämään nuohous ja tekemään kattilahuonekierros hälytyksen syyn selvittämiseksi. Vuotojen ohella hälytyksen syy voi olla esim. vuotava tai auki jätetty eristysventtiili. Mikäli ko. venttiilien asennonosoitus ei sisälly järjestelmän seuraamiin mittauksiin, ei järjestelmä myöskään pysty sitä

tunnistamaan. Toimittajan mukaan järjestelmän hälytykset eivät ole aiheuttaneet yhtään tarpeetonta pikapysäytystä.

Hinta ja saatavuus

Järjestelmän hinta on 69 900 \$/kattila sisältäen ensimmäisen vuoden ylläpidon. Toimitus ei sisällä tietokonetta tai kattiladatan syöttöön tarvittavia laitteita, mikäli tietoja ei saada suoraan kattilan automaatiojärjestelmästä. Toimittajan alustavan ilmoituksen mukaan hinta pätee myös toimituksissa Eurooppaan.

Alert on toimittanut järjestelmää tähän asti ainoastaan pohjoisamerikkalaisiin kattiloihin, mutta se on saatavilla myös muualla. Alertilla ei ole Pohjoismaissa jälleenmyyjää.

5.2 Kemikaalipitoisuuksien seuranta: Hercules ja Nalco

Kattilaveden kemikaalipitoisuuksien seurantaan perustuvia järjestelmiä tarjoavat sekä Hercules että Nalco. Herculeksen järjestelmän nimi on LeakTrac ja Nalcon RBLI. Molemmissa on mukana myös syöttövesi- ja höyryvirtausten eron seuranta.

Toimintaperiaate

Kattilassa kiertävään veteen konsentroituu syöttövedessä olevia kemikaaleja, jotka eivät haihdu ja kulkeudu vesihöyryn mukana. Kemikaalien pitoisuus kattilavedessä riippuu ulospuhalluksen suuruudesta: mitä pienempi ulospuhallusvirtaus on, sitä hitaammin vesi kattilassa vaihtuu ja sitä korkeampia ovat kemikaalien pitoisuudet ja myös pH ja johtokyky. Ulospuhalluksen kasvu puolestaan nopeuttaa kattilaveden vaihtumista ja johtaa siten sekä kemikaalipitoisuuksien että pH:n ja johtokyvyn laskuun. Em. suureet muuttuvat sitä nopeammin, mitä suuremmasta ulospuhallusvirtauksen lisäyksestä on kysymys.

Mikäli kattilaan tulee vesivuoto höyrystimeen tulipesään, verhoputkistoon tai keittoputkistoon, on vuodolla periaatteessa sama vaikutus kuin ulospuhalluksen kasvattamisella: kattilavesi alkaa laimentua. Vuodon aiheuttama laimentuminen voidaan havaita ulospuhallusvirtauksesta tehtävissä mittauksissa, mikäli muut kattilaveden laatuun vaikuttavat tekijät, erityisesti kemikaalien syöttönopeus (suhteessa syöttövesivirtaukseen) ja syöttöveden laatu, eivät muutu.

Hercules tai Nalco eivät ole erotelleet vuototilanteita sen mukaan, missä osassa höyrystintä vuoto on, vaan oletuksena on, että kattilavesi laimenee samalla nopeudella vuodon sijainnista riippumatta. Tällöin vuodon koko voidaan arvioida esim. ulospuhallusta säätämällä tehtyjen kokeiden tulosten perusteella. Todellisuudessa ulospuhalluksen lisääminen saattaa johtaa nopeampaa kattilaveden laimenemiseen kuin vuoto esim. tulipesän seinäputkessa, koska ulospuhallus otetaan lieriöstä läheltä veden pintaa, jossa kemikaalipitoisuudet ovat korkeampia kuin muussa osassa kattilaa.

Tulistinvuodoilla ei ole merkittävää vaikutusta kattilaveden kemikaalipitoisuuksiin, koska vuodonvalvonnassa käytettävät kemikaalit eivät kulkeudu höyryn mukana.

Ekonomaiserivuodolla on vaikutusta kattilaveden kemikaalipitoisuuksiin vain, jos kemikaalit lisätään syöttövedeen ennen ekonomaiseria ja kemikaalien syöttönopeus ei riipu syöttövesivirtauksesta: tällöin vuoto ekonomaiserissa johtaa syöttöveden

laimenemiseen, kun virtaus kasvaa lieriön pinnan pitämiseksi. Useimmissa tapauksissa vuodon vaikutus syöttöveden kemikaalipitoisuuksiin on kuitenkin niin vähäinen, että vuoto ekonomaisierissa tai syöttövesilinjassa ei vaikuta merkittävästi kattilaveden kemikaalipitoisuuksiin tai johtokykyyn. Mikäli kemikaalit lisätään syöttövedeen vasta ekonomaisierin jälkeen tai kemikaalien syöttöä säädetään syöttövesivirtauksen perusteella, ei ekonomaisier- tai syöttövesilinjavuodolla ole mitään vaikutusta kattilaveden kemikaalipitoisuuksiin.

Vuodot tulistimessa, ekonomaisierissa ja syöttövesilinjassa näkyvät syöttövesihöyryvirtauserossa, joten jos eron havaitaan kasvavan, mutta kattilaveden johtokyvyssä tai kemikaalipitoisuuksissa ei tapahdu muutoksia, voidaan vuodon päätellä olevan muualla kuin höyrystimessä.

Yksin kattilaveden pH:n, johtokyvyn tai kemikaalipitoisuuksien perusteella ei voida päätellä, vuotaako vettä tulipesään vai kattilahuoneeseen.

Vuodon aiheuttama kattilaveden laimeneminen voidaan havaita periaatteessa minkä tahansa haihtumattoman lisäkemikaalin pitoisuutta, kattilaveden pH:ta tai johtokykyä seuraamalla. Herculeksen LeakTrac-järjestelmässä seurattavana suurena on fosfaatti- tai molybdaattipitoisuus, kun taas Nalcon RBLI-järjestelmässä seurattavana aineena on erikseen lisättävä kemikaali, jonka pitoisuus voidaan analysoida jatkuvatoimisilla fluoresenssimittarilla (loistemittarilla). Yleisemmin Nalcon käyttämä kemikaali on natriumsuola, joka ei hohda valoa tavallisessa valaistuksessa eikä ole kemiallisesti reaktiivinen tai myrkyllinen nautittaessa. Kemikaali lisätään nestemäisenä syöttövedeen syötettävän fosfaatin tai muun kemikaalin joukkoon.

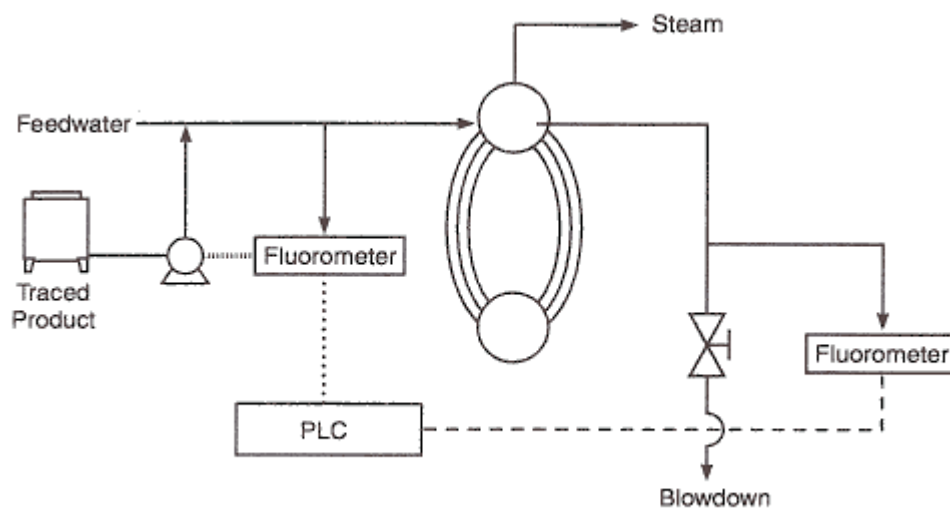
Herculeksen järjestelmässä ei ole mukana syöttöveden kemikaalipitoisuuden analysointia, koska niillä kattiloilla, joissa järjestelmä on käytössä, kemikaalit lisätään suoraan lieriöön. Nalcon järjestelmä on sen sijaan suunniteltu toimimaan tilanteessa, jossa kemikaalit lisätään syöttövedeen niin, että lisäyspaikan ja lieriön väliin voidaan sijoittaa näytteenottolinja, josta saatavasta näytteestä voidaan analysoida lieriöön syötettävän syöttöveden kemikaalipitoisuus. Mitattua syöttöveden kemikaalipitoisuutta voidaan hyödyntää vuodonvalvonnassa ja, mikäli niin halutaan, syöttöveden kemikaalisyötön säädössä.

Järjestelmän pääkomponentit

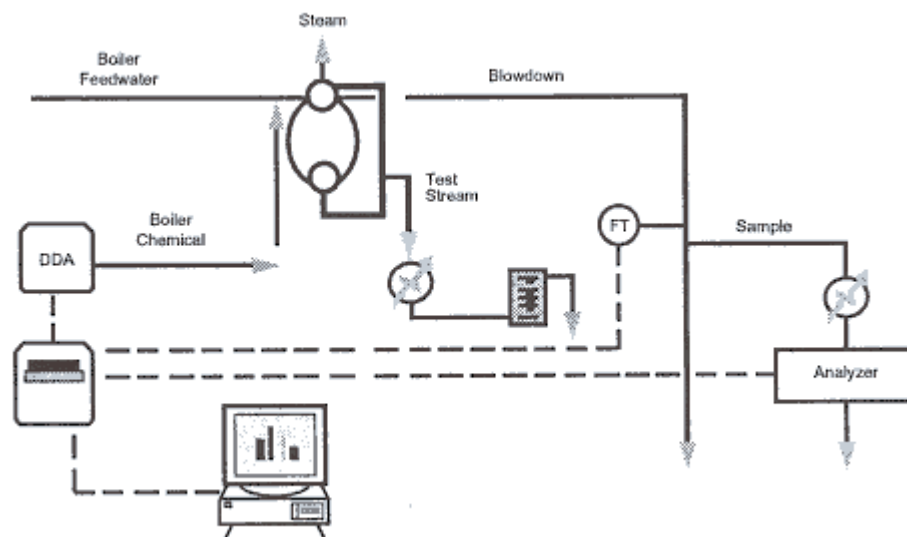
Käytössä olevat järjestelmät koostuvat tyypillisesti

1. kemikaalien syöttöjärjestelmästä (ml. syöttönopeuden mittausta ja säätö)
2. syöttöveden näytteenotosta ja analysaattorista (Nalcon järjestelmässä)
3. ulospuhalluksen näytteenotosta ja analysaattorista
4. tietokoneesta ja ohjelmistosta mittauksien keruuta ja käsittelyä sekä hälytysten tekoa varten.
5. tiedonsiirtoyhteydestä kattilan automaatiojärjestelmän ja laskentatietokoneen välillä syöttöveden, höyryn ja ulospuhalluksen virtaustietojen siirtoa varten.

Hercules suosittelee lisäksi erillisen ulospuhalluslinjan asentamista järjestelmän testaamista varten. Nalco puolestaan esittää testaukseen käytettävän tavanomaista ulospuhallusta. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty molempien järjestelmien pääkomponentit kemikaalitasen seurantaan perustuvan vuodonvalvonnan osalta.



Kuva 1. Nalcon järjestelmän pääkomponentit kemikaalipitoisuuksien seurannan osalta.



Kuva 2. Herculeksen järjestelmän pääkomponentit kemikaalipitoisuuksien seurannan osalta.

Hercules toimittaa tilauksesta kaikkia pääkomponentteja.

Nalco toimittaa tarvittaessa kaikki komponentit, mutta tavallisesti toimitus kattaa analysaattorit, näytteenottojärjestelmän, tietokoneen, printterin, kemikaalien syöttöpumput, tarvittavat ohjelmistot, koulutuksen ja kunnossapidon. Asiakkaan hankittaviksi jää tällöin asennukset, kaapeloinnit ja sähköistyksset. Halutessaan asiakas voi hankkia itse kaikki muut osat paitsi loisteanalysaattorit ja ohjelmistot, joihin Nalcolla on yksinoikeus.

Asennus

Molempien järjestelmien käyttöönotto edellyttää korkeapaineisen putkilinjan asentamista ulospuhalluslinjasta analysaattorille, joka tulee sijoittaa kosteudelta suojattuun tilaan. Analysaattori tulisi sijoittaa lähelle lieriötä näytteen ottoon ja käsittelyyn liittyvien viiveiden minimoimiseksi. Käytännössä riittää, että analysaattori on sijoitettu samaan kerrokseen.

Nalcon järjestelmään kuuluu analysaattori myös syöttövedelle, joka myöskin tulisi sijoittaa lähelle syöttövesilinjaa.

Molempien järjestelmien analysaattorit tarvitsevat jatkuvaa jäähdytystä puhtaalla vedellä. Mikäli jäähdytys menetetään, katkeaa analysaattorin toiminta sen lämpötilan noustessa. Nalcon analysaattoreille vietävä vesi tulee jäähdyttää 60°C lämpötilaan; tähän riittää jäähdytysvesivirtaus 10 l/min, kun veden lämpötila on korkeintaan 35°C.

Käyttöönottovaihe edellyttää työtä analysointiohjelman räätälöimiseksi kattilakohtaiseksi ja järjestelmän testaamiseksi.

Mikäli asennus edellyttää muutoksia kemikaalien syötössä tai lisämittausten asentamista, tulee asennus tehdä seisokin aikana. Nalcon järjestelmä edellyttää kemikaalien syöttämistä nestemäisinä.

Käyttö

Molemmat järjestelmät ovat normaalin käytön aikana jatkuvasti käytössä ja antavat hälytyksen, mikäli ennalta asetetut hälytysrajat ylitetään.

Syöttövesi-höyryvirtauseron valvonta on järjestetty niin, että järjestelmä laskee vesi- ja höyryvirtausten erotuksen tietynä ajanjaksona, ja mikäli erotus on positiivinen, kasvattaa laskuria yhdellä. Mikäli taas erotus on negatiivinen, laskuri pienenee yhdellä. Mikäli kattilaan tulee vuoto, muuttuu erotus jatkuvasti positiiviseksi, jolloin laskuri kasvaa hälytysrajaan saakka.

Kemikaalipitoisuuden valvonta on järjestetty muutoin samalla tavoin paitsi että verrattavina suureina ovat syöttövesivirtauksen, ulospuhallusvirtauksen ja kemikaalien syötön perusteella laskennallisesti määritelly pitoisuus ja mitattu pitoisuus kattilavedessä.

Herculeksen järjestelmässä näytteenotto ja fosfaattianalysointori täytyy käynnistää ylösajossa. Käyttökokemusten mukaan ylösajon aikana pitoisuudet heittelevät 12 - 24 tunnin ajan, kunnes kattilan teho stabiloituu. Pitoisuudet heiluvat myös, mikäli kattilan teho muuttuu enemmän kuin 30 %. Fosfaattipitoisuudet voivat heilahdella ylös- ja alasajojen aikana, kun kattilaputkistojen lämpötila muuttuu ja fosfaattia sitoutuu/vapautuu putkistojen pinnoilta (nk. hide out). Muutostavat ja -nopeudet ovat kattilakohtaisia riippuen kattilan ajotavasta tehonmuutostilanteissa.

Nalcon järjestelmässä syöttöveden kemikaalipitoisuutta pidetään vakiona säätämällä kemikaalipitoisuutta lisäyspaikan jälkeen tehdyn pitoisuuden määrittelyn perusteella, joten syöttövesivirtauksen muutoksilla ei ole vaikutusta kemikaalipitoisuuksiin. Lisäksi käytetty kemikaali on kemiallisesti inerttiä eikä se siis reagoi pidättyen tai vapautuen putkien pinnoille lämpötilan muuttuessa, joten hide out-ilmiötä ei ole. Näiden ominaisuuksien ansiosta Nalcon järjestelmää voidaan toimittajan ilmoituksen mukaan käyttää myös tehonmuutosten aikana.

Kummankaan järjestelmän käyttö ei edellytä erityisosaamista. Järjestelmien käyttämät tärkeimmät mittaukset, lasketut tulokset ja hälytykset esitetään omalla näytöllä.

Nalcon mukaan järjestelmää voidaan käyttää vuotojen valvonnan ohella myös mm. syöttövesivirtausmittausten kalibrointiin ja kunnonvalvontaan sekä syöttövesikemikaalien annostuksen säätöön.

Kunnossapito

Säännöllistä kunnossapitoa edellyttävät osat ovat Herculeksen järjestelmässä kemikaalien syöttölaite, analysaattori ja näytteenottolinja. Rutiininomainen kunnossapitotarve on suhteellisen vähäinen rajoittuen analysaattorin reagentin vaihtoon noin kerran kuukaudessa ja näytteenottolinjan suodattimen vaihtoon kerran viikossa - parissa kuukaudessa. Lisäksi näytteenottolinjan virtaus tulee tarkistaa ja säätää tarvittaessa säännöllisesti. Järjestelmän vikaantuessa korjaus on käynnin aikana mahdollista, kaikki osat ovat luoksepäästävissä.

Herculeksen mukaan järjestelmän toiminta tulisi testata 2 - 4 kertaa vuodessa. Testissä vettä lasketaan kattilasta ulos esim. ulospuhalluslinjan kautta ja havainnoidaan muutokset kemikaalipitoisuuksissa.

Nalco testaa järjestelmän toiminnan käyttöönottovaiheessa ja testauksia jatketaan määrävälein normaalin käytön aikana. Tavallisesti määräaikaiskoe tehdään kahden viikon - kuukauden välein. Nalcon tarjoamaan toimitussopimukseen kuuluu myös n. kahden viikon välein tehtävä analysaattoreiden kalibrointi ja muu tarvittava määräaikaishuolto, joka pitää sisällään pumpun huollon, tietokoneen kovalevyn vaihdot, jne. Tarvittavat varaosat varastoidaan tehtaalle tai ne ovat saatavilla 24 tunnin kuluessa.

Käyttökokemukset

Hercules on kehittänyt järjestelmää yhteistyössä Weyerhaeuser Co:n kanssa ja järjestelmä on ollut kaupallisesti saatavilla vasta muutaman vuoden ajan. Vuonna 1995 Herculeksen järjestelmä oli käytössä kolmella tehtaalla ja tilanne on sama tälläkin hetkellä.

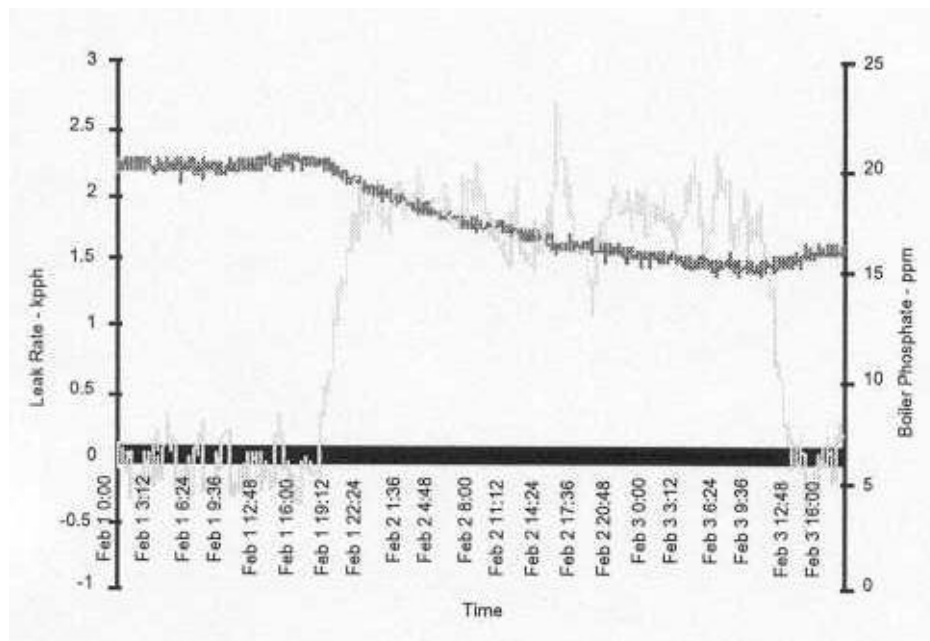
Taulukko 13. Tehtaat, joiden soodakattiloissa on käytössä Herculeksen järjestelmä

Yhtiö	Tehtas	Yhteyshenkilö
Weyerhaeuser	Colombus, Mississippi	Joe May, puh. 662-243-4225
Weyerhaeuser	New Bern, North Carolina	Phil Smith, puh. 252-633-7312
Eurocan Kitimat	British Colombia, Kanada	Jim Labossiere, puh. 250-639-3442

Herculeksella ei ole tarjota käyttökokemuksia soodakattiloissa tapahtuneista todellisista vuodoista. Järjestelmän toiminta voidaan kuitenkin koestaa käytön aikana laskemalla kattilasta vettä esim. pikatyhjennyslinjan venttiilejä avaamalla. Toimittajan mukaan tällä tavoin on voitu todeta järjestelmän tunnistavan vuodot, jotka ovat suuruudeltaan vähintään 0.13 kg/s, kun tarkastelujakso on 12 - 14 tuntia. Kun vuoto on luokkaa 0.25 kg/s voidaan se havaita jo 6 - 12 tunnissa. Amerikkalaisilla kattiloilla, joissa Herculeksen järjestelmä on käytössä, kemikaalit syötetään suoraan lieriöön, joten ekonomaisrivuotojen tunnistusta kemikaalipitoisuuksien perusteella ei ole voitu testata eikä käytännössä todeta. Sen sijaan toimittajan aineistossa on raportoitu yhdestä

ekonomaisierivuodosta, joka tunnistettiin Herculeksen massataseseurannan avulla. Vuoto oli selvästi havaittavissa massataseen perusteella, kun sen suuruus oli luokkaa 0.4 kg/s. Kokemuksia mahdollisista tulistinvuodoista ei ole raportoitu.

Herculeksen järjestelmän testaamista varten on ainakin yhdelle kattilalle, jossa järjestelmä on käytössä, asennettu höyrystimeen erillinen koestuslinja (tarkka sijainti ei tiedossa). Koestuksessa vettä laskettiin kattilasta 15 l/min (0.25 kg/s). Kuvassa 2 on esitetty ulospuhalluksesta mitattu fosfaattipitoisuus (musta viiva, asteikko oikealla) ja järjestelmän mittaustulosten perusteella laskema arvio vuotokoolle (harmaa viiva, asteikko vasemmalla). Vuotoarvioasteikon yksikkö on kpph (kilopounds per hour), joten 2 kpph vastaa 0.25 kg/s suuruista virtausta. Testin perusteella järjestelmä arvioi vuodon koon noin kymmenen prosentin tarkkuudella oikein.



Kuva 3. Herculeksen järjestelmän koestuksen aikana ulospuhalluksesta mitattu fosfaattipitoisuus (musta viiva, asteikko oikealla) ja järjestelmän laskema arvio vuotokoolle (harmaa viiva, asteikko vasemmalla).

Nalcon järjestelmä oli vuonna 1995 käytössä kolmella tehtaalla Yhdysvalloissa. Tällä hetkellä järjestelmä on käytössä 25:llä kattilalla ja 10:llä asennukset ovat käynnissä. Kattiloista soodakattiloita on kuusi kappaletta (taulukko 14).

Taulukko 14. Tehtaat, joiden soodakattiloissa on käytössä Nalcon järjestelmä

Yhtiö	Tehdas	Yhteyshenkilö
Weyerhaeuser	Plymouth, North Carolina	Rodney Simpson puh. (252) 793-8183 rodney.simpson@weyerhaeuser.com
Smurfit-Stone	Fernandina Beach, Florida	Hank Hagins puh. (904) 277-5728 E-mail: hhagins@smurfit.com
Georgia-Pacific	Brunswick, Georgia	Brian Farley puh. (912) 265-5780 alanro 3337, e-mail: jdfarley@gapac.com
Georgia-Pacific	Crossett, Arkansas	Chuck Davis puh. (870) 567-8407
Canfor Pulp	Prince George, British Columbia (Kanada)	Jim Norcross puh. (250) 962-3753 E-mail: jnorcross@mail.canfor.ca
International Paper	Prattville, Alabama	Gene Canavan puh. (334) 361-5616

Nalcon mukaan järjestelmän avulla voidaan havaita parhaimmissa tapauksissa vuodot, jotka ovat suuruudeltaan vähintään 1000 kg/hr (0.3 kg/s), kun vuoto on ekonomaisierissa tai tulistimessa (tunnistus massataseen perusteella), tai 8 l/min (0.13 kg/s), kun vuoto on höyrystimessä (tunnistus kemikaalipitoisuuden perusteella).

Nalcon järjestelmä pyrkii erottelemaan suuret ja pienet vuodot niin, että pienissä vuotoissa hälytys saadaan maksimissaan kolmen tunnin kuluessa vuodon syntymisestä ja suurissa vuotoissa puolessa tunnissa.

Nalcon ilmoituksen mukaan järjestelmän avulla on havaittu yli 40 vuotoa viimeksi kuluneen kahden vuoden aikana. Järjestelmän avulla on vältetty samana ajanjaksona pikapysäytys ja -tyhjennys viisi kertaa (pohjoisamerikkalaisilla kattiloilla pikapysäytyksiä ja -tyhjennyksiä tehdään pääsääntöisesti aina, kun vuoto havaitaan). Järjestelmän avulla on vuoto useissa tapauksissa voitu paikantaa ekonomaiseriin. Tiedossa ei ole, että kattiloissa olisi ollut vesivuoto, jota järjestelmä ei olisi havainnut.

Nalcon esitteissä kuvataan tapaus, jossa RBLI-järjestelmä ilmoitti vuodosta höyrystimessä. Operaattorit yrittivät varmentaa vuodon syntymistä kattilahuonekierrolla. Alalieriön tyhjennyslinja havaittiin kuumaksi, jonka jälkeen ko. linjan sulkuventtiili avattiin ja suljettiin uudelleen. Linja jäähdyi, joten vuodon oletettiin loppuneen. RBLI ilmoitti kuitenkin vuodon jatkuvan. Yrityksistä huolimatta varmistusta vuodolle ei saatu, mutta Nalcon edustajan suosituksesta kattila kuitenkin päätettiin ajaa alas. Päätöksentekohetkellä vuodon arvioitiin kasvaneen 8 litrasta minuutissa 400 litraa minuutissa. Myöhemmin vuodon syyksi paikannettiin tulipesän seinäputkessa ollut noin 3 cm pituinen särö.

Hinta ja saatavuus

Herculeksen ilmoituksen mukaan järjestelmän hinta määräytyy toimituslaajuuden perusteella.

Nalcon mukaan järjestelmän hinta vaihtelee huomattavasti toimituksen sisällön mukaan. Mikäli tehdas ostaa laitteet (analysointilaitteita lukuun ottamatta) omakseen, vaihtelee hinta toimituksen laajuuden mukaan 60 000 - 400 000 \$ välillä. Toimitukseen sisältyy viiden vuoden kestoisen huoltopalvelu, jonka kuukausikustannus on 3000 - 14 000 \$. Huoltopalvelu pitää sisällään tarvittavat määräaikaishuollot ja koestukset ja asiakastuen.

Jos laitteet eivät siirry tehtaan omistukseen, on keskimääräinen toimitushinta kahdelle kattilalle noin 200 000 \$. Viiden vuoden kestoisen huoltopalvelun kuukausikustannus on tällöin 8 000 - 9000 \$.

5.3 Akustisen emission valvonta: Triple 5 Industries ja Acutest

Toimintaperiaate

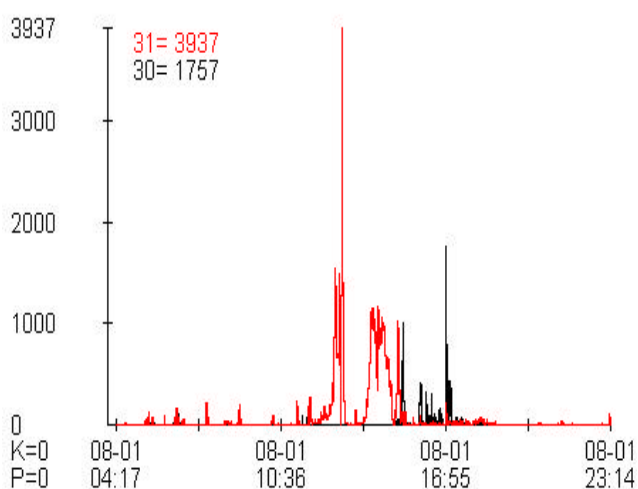
Kun korkeapaineiseen kattilaan tulee vuoto, synnyttää kattilasta ulos purkautuva vesi tai höyry voimakkaan äänen, joka voidaan havaita mikrofoneilla. Käytetyt mikrofonit ovat piezomikrofoneja, jotka muuttavat rakenteen värähtelyn jännitteen vaihteluksi. Piezomikrofonit kiinnitetään tavallisesti tankoon, joka on toisesta päästään hitsattu kiinni kattilaan.

Mikrofonin aikaansaama signaali johdetaan vahvistimille, josta se viedään keskusyksikköön, jossa signaali käsitellään suodattamalla siitä halutut taajuuudet. Signaalia käsiteltäessä pyritään keskittämään seuranta niille taajuuksille, joilla ero normaalin käytön ja vuototilanteiden välillä on suurin. Triple 5:n järjestelmässä käytetään taajuusaluetta 2 kHz - 11 kHz. Acutestin järjestelmässä kuuntelualue suoraan tangon välityksellä rakenteisiin kiinnitetyissä mikrofoneissa vaihtelee sen mukaan, kuuntelevatko mikrofonit vuotoja ja säröjä vai pelkästään vuotoja; edellisessä (anturityyppi R15) tapauksessa kuuntelualue on 150 - 200 kHz ja jälkimmäisessä (anturityyppi A3) n. 20 kHz. Suoraan ilmatilaa kuuntelevissa mikrofoneissa (tyyppiä R2) kuuntelualue on 8 - 10 kHz.

Eräs ero järjestelmien välillä on, että Triple 5:n järjestelmä kerää ja tallentaa mikrofonien aikaansaamia signaaleja taajempaan kuin Acutestin järjestelmä. Triple 5:n järjestelmässä mikrofonit lähettävät signaalin keskusyksikköön nopeimmillaan kolme kertaa sekunnissa ja yksikkö tallentaa mitatut signaalit vähintään kerran 20 sekunnissa. Acutestin järjestelmä tallentaa mikrofonin aikaansaaman signaalin vain, jos sen voimakkuus ylittää ennalta asetetun huomiorajan. Kun melu on jatkuvaa, tallentaa Acutestin järjestelmä mittausdataa 1 sekunnin välein. Näin menetellen voidaan tallennettavan datan määrä minimoida karsimalla "normaali" kohina kokonaan pois.

Acutestin toimittajan mukaan akustisen signaalin suuruus korreloi vauriotyyppin kanssa, joten signaalista pystytään päättelemään, onko särö pinnoitteessa vai perusaineessa. Signaalin voimakkuuden ollessa 2000 - 3000 on kyseessä särö pinnoitteessa, kun taas voimakkuuden ollessa luokkaa 10 000 tai korkeampi on aiheuttajana särö perusaineessa.

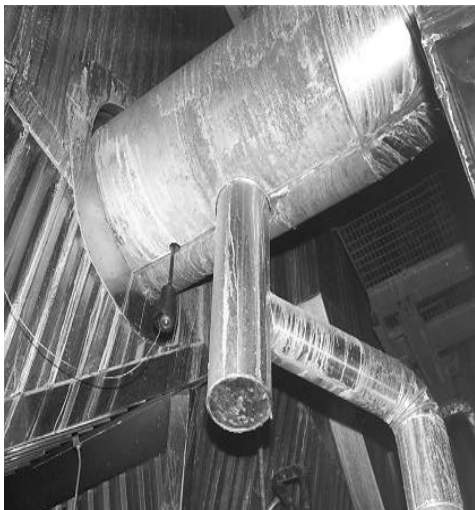
Mikrofonit pyritään sijoittamaan niin, että niiden kuuntelualueet sijoittuvat osin limittäin, jolloin vuodon tai särön aiheuttama ääni havaitaan useammalla mikrofonilla. Acutestin suoraan rakennetta kuuntelevat mikrofonit pystyvät keräämään signaaleja säröistä alueelta, jonka leveys on noin 1.5 m putkistoa kohtisuoraan ja pituus noin 6 m putkiston suuntaan. Vuotoääntä rakenteen kautta kuuntelevat mikrofonit pystyvät kuulemaan vuodon aiheuttaman äänen sopivissa olosuhteissa useiden kymmenien metrien päästä.



Kuva 4. Tyypillinen rakenteeseen kiinnitetystä Acutestin mikrofonista saatu signaali ilman vuotoa.

Aikaisemmin käytettiin myös tavanomaisia, ilman paineen vaihtelut sähköisen jännitteen vaihteluksi muuttavia mikrofoneja, jotka asennettiin tulipesään tai savukaasukanavaan yhteydessä olevaan putkeen. Näistä mikrofoneista on kuitenkin luovuttu lähinnä piezomikrofonien paremman erotuskyvyn ja luotettavamman toiminnan takia.

Kyselyyn vastanneet toimittajat käyttävät molemmat tangon välityksellä suoraan kattilarakenteeseen yhdistettyjä piezomikrofoneja. Ainoana poikkeuksena on ekonomaiseri- ja tulistinalueet, joita Acutestin järjestelmässä kuunnellaan sekä kaasutilaan suorassa yhteydessä olevaan, metalliseen putkeen kiinnitetyn piezomikrofonin kautta että jako- ja kokoojatukkeihin yhteydessä olevien mikrofoniin kautta. Kaasutilaa kuuntelemaan mikrofoniin on asennettu ilmapaineen muutoksiin reagoiva kalvo. Putken tukkeutumisen estämiseksi on putki kattilahuoneen puolelta avoin, joten putkeen virtaa jatkuvasti ilmaa. Triple 5 käyttää puolestaan ekonomaiserin ja tulistimien alueella äänten keräykseen sekä ”lautasantennia”, jonka kiinnitystankoon mikrofoni asennetaan, että membraaniputkistoon kiinnitettyjä mikrofoneja.

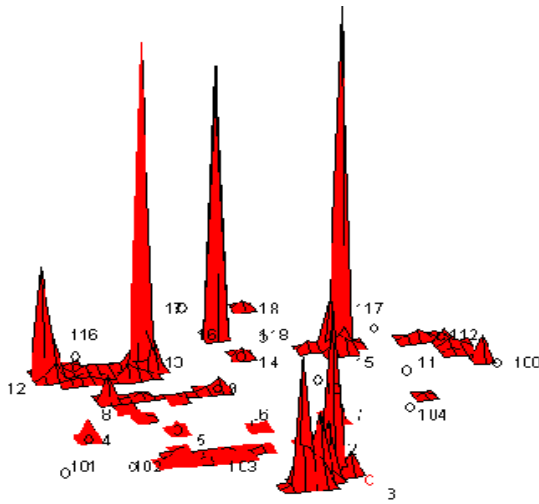


Kuva 5. Rakenteeseen kiinnitettävän Acutestin anturin asennus ekonomaiserin jakotukkiin.

Akustiseen emissioon perustuvat järjestelmät reagoivat myös kattilan nuohousvirtauksiin. Nuohouksen ja vuotojen erottelemiseksi toisistaan on käytössä erilaisia menetelmiä.

Triple 5:n järjestelmä erottelee nuohouksen ja vuodon kohonneesta melutasosta saadun signaalin keston perusteella: järjestelmä hälyttää vuodosta vain, jos melu kestää ennalta asetettua aikarajaa, esim. 30 min, pidempään. Acutestin järjestelmässä puolestaan on nuohous mahdollista huomioda niin, että signaalien keräys toimivien nuohoimien läheltä keskeytetään. Tiedon toiminnassa olevista nuohoimista järjestelmä saa kattilan automaatiojärjestelmästä, josta tietoja siirretään jatkuvasti Acutestin järjestelmään.

Mikrofonit pyritään sijoittamaan niin, että niiden havaitsemisalueet menevät hieman limittäin. Vuodot tai säröt tulevat havaituiksi useammalla kuin yhdellä mikrofoniin, jolloin niiden sijainti voidaan Acutestin järjestelmässä laskea kolmio-menetelmään perustuvalla ohjelmalla. Alla on esimerkki ko. ohjelman antama emissiolähteiden paikannekartta. Acutestin järjestelmä ei laske automaattisesti jokaisen signaalin paikkaa, vaan anturit on pyritty sijoittamaan siten, että signaalin lähteen voi myös ”nähdä” ilman laskemista.



Kuva 6. Kattilan pohjaan sijoitettujen Acutestin mikrofonien signaalien perusteella laskettu arvio käytön aikana syntyneiden säröjen paikoista.

Järjestelmän pääkomponentit

Järjestelmän pääkomponentit ovat:

1. anturit
2. kiinnitystangot tai ”aaltojohtimet”, jotka yhdistävät anturit kattilarakenteeseen
3. vahvistimet
4. mittausyksikkö signaalinkäsittelyohjelmineen, joka kerää mittausdatan
5. tietokone, jossa on valvontaohjelma
6. em. komponentit yhdistävä kaapelointi
7. modeemi järjestelmän kaukolukua varten

Acutestin järjestelmässä on anturi ja vahvistin nykyisin yhdistetty mittausyksiköksi, jota kutsutaan CDU:ksi (crack detection unit).

Triple 5:n järjestelmä ei välttämättä tarvitse yhteyttä kattilan automaatiojärjestelmään, mutta haluttaessa voidaan järjestelmä rakentaa niin, että vuodonvalvontajärjestelmän tulokset esitetään kattilan automaatiojärjestelmän näytöissä.

Molemmissa järjestelmissä voidaan samaa tietokonetta käyttää valvomaan useampaa kuin yhtä kohdetta. Triple 5:n järjestelmässä yhdellä koneella voidaan valvoa 192 mittausta.

Järjestelmän laajuus riippuu halutusta kattavuudesta ja käyttötarkoituksesta. Triple 5:n mukaan yhden mikrofonin avulla voidaan kuulla vuoto aina 9 - 12 metrin säteeltä, jos kattilan paine on 138 bar. Paineen ollessa tätä alhaisempi on kuuntelualueen säde pienempi, 6 - 9 metriä. Koska kuuntelualueen säde on määritelty näin suureksi, voidaan antureiden lukumäärä rajoittaa suhteellisen pieneksi: tyypillisessä Triple 5:n toimituksessa kattilaan asennetaan 24 mikrofonia.

Acutestin järjestelmän päätarkoitus on valvoa kattilan rakenteeseen kohdistuvia kuormituksia, joita valvomalla voidaan havaita kuormitusten aiheuttamaa säröilyä rakenteessa. Valvonnan avulla voidaan suunnata seisokin aikaiset tarkastukset niihin kohteisiin, joissa käytön aikaisten mittausten perusteella säröytyminen on ollut

voimakkainta. Säröytyneen alueen paikantaminen edellyttää tiheämpää mittausverkkoa, jossa äänen lähde tulee voida paikantaa useamman mittauksen perusteella. Tämän vuoksi Acutestin järjestelmä sisältää suuremman määrän mittauspisteitä, ihanteellisessa tapauksessa 60 - 70 kappaletta.

Asennus

Sekä Triple 5 että Acutest toimittavat pelkän järjestelmän (mikrofonit kiinnitystankoineen, vahvistimet suojakoteloineen, valvontaohjelmisto) ja sen kytkennät, dokumentoinnin ja käyttöönoton, varsinaiset asennukset ml. hitsaukset, komponenttien kiinnitykset, sähköistykset, kaapeloinnit ja mahdolliset muutokset kattilan automaatiojärjestelmässä tekee tai teettää tilaaja.

Acutestin järjestelmän asennuksessa tarvittavat tilaajan tekemät työt ovat seuraavat:

- kiinnitystankojen ("aaltojohtimien") asennus
- kaapelien (Jamak) asennus mikrofoniin ja vahvistimien välille
- yhteyden (tehtaan verkko tai erillinen koaksiaalikaapeli RG 58) käyttöönotto tai asennus vahvistimien ja mittausyksikön välille
- puhelinlinjan asennus tietokonetta varten tai yhteyden käyttöönotto tilaajan tietoverkkoliittymän kautta
- häiriöttömän maadoitetun virransyötön (230 V) asennus
- yhteyden asennus kattilan automaatiojärjestelmään ja prosessitiedon syöttö (mahdollisesti tarvittavine muutoksineen automaatiojärjestelmässä)
- ohjelmistojen virustorjunta (voidaan siirtää myös Acutestin tehtäväksi)
- Acutestin toimittamiin dokumentteihin tarvittavan informaation toimittaminen.

Acutest tarjoaa mahdollisuuden tilaajalle myös valmistaa kiinnitystangot (aaltojohtimet) itse Acutestin piirustusten pohjalta.

Acutestin järjestelmään voidaan lisätä mittauspisteitä jälkikäteen ja samaa keskussyksikköä voidaan käyttää esim. soodakattilalle ja meesauunille.

Asennuksesta aiheutuvat kustannukset riippuvat siitä, kuinka suuren osan työstä tilaaja voi tehdä itse ja kuinka paljon teetetään alihankkijoilla. Triple 5:n järjestelmän (24 mittauspistettä) käyttöönotto maksoi eräällä kattilalla toimittajan ilmoituksen mukaan 16 000 \$ eli noin 100 000 mk.

Käyttö

Molempien toimittajien järjestelmä tuottaa mittausdataa ja hälytyksiä näytöille. Molemmat toimittajat tarjoavat myös palvelua, jossa järjestelmän tuottama mittausdata kaukoluetta ja raportoidaan määrävällein, esim. luenta kerran viikossa ja raportointi kahden viikon välein.

Käytössä on myös puhelinpäivystys, jossa operaattorit voivat pyytää toimittajien edustajien neuvoja mittausdatan tulkinnaissa tai järjestelmän käytössä esille tulleista häiriöistä. Triple 5:n tarjoama päivystys on ympärivuorokautista, Acutest taas rajoittaa asiakastuen normaaliin työaikaan. Erikoistapauksissa asiantuntijan voi tavoittaa kännykstä.

Kunnossapito

Triple 5 ei suosittele järjestelmälleen säännöllistä testausta tai ennakkohuoltoa, vaan järjestelmää huolletaan vikoja korjaamalla.

Acutest tarjoaa huolto- ja kalibrointisopimusta, jossa em. työt tehdään kahdesti vuodessa. Sopimuksen hinta on 800 mk/anturi + matkakulut ja alv. Ennakoivaa kunnossapitoa ei ole, vaan varaosat vaihdetaan tarvittaessa. Toimitussopimuksen takuu kattaa vuoden ajan materiaali- ja valmistusvirheistä aiheutuvat korjaukset varaosineen. Muista virheistä aiheutuvat ja vuoden jälkeen tapahtuvat korjaukset ja varaosat laskutetaan erikseen.

Käyttökokemukset

Akustiseen emissioon perustuvien järjestelmien käytöstä on saatu jo suhteellisen runsaasti kokemuksia, koska molempien toimittajien järjestelmät ovat tällä hetkellä käytössä jo yli kymmenessä kattilassa (taulukot 15 ja 16).

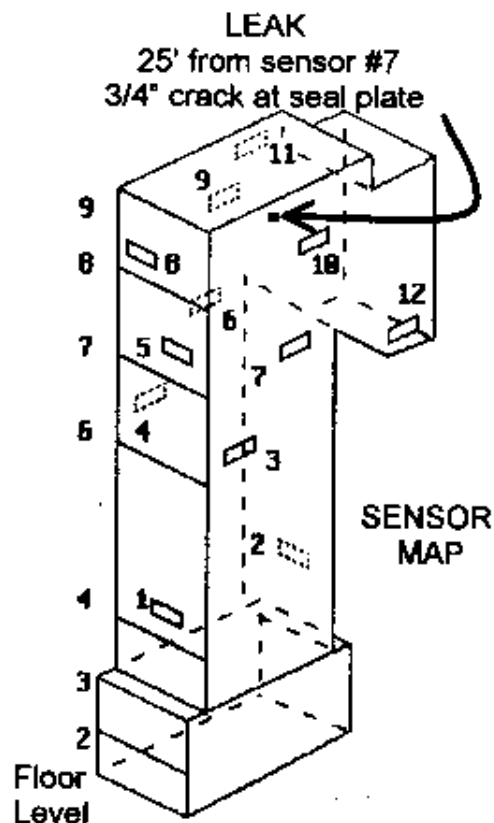
Taulukko 15. Tehtaat, joilla on käytössä Triple 5:n toimittama järjestelmä

Tehdas	Mittausten lukumäärä	Käyttöön-ottovuosi
International Paper, Mobile	18	1991
Boise Cascade, Jackson	12 + 4	1991, 1997
S. D. Warren, Somerset	24	1992
S. D. Warren, Westbrook	16	1994
Weyerhaeuser Canada, Kamloops	24 + 24	1994, 1997
Weyerhaeuser Canada, Prince Albert	24 + 8	1997, 1999
Weyerhaeuser Paper Company, Columbus	9 + 18 + 14	1995, 1996, 1997
Weyerhaeuser Paper Company, Longview	26	1995
Weyerhaeuser Paper Company, Springfield	24 + 24	1996, 1998
Weyerhaeuser Paper Company, Valliant	33	2000
Cariboo Pulp & Paper, Quesnel	24	1995
Champion International, Quinnesec	26	1996
Daishowa-Marubeni Int'l, Alberta	31	1996

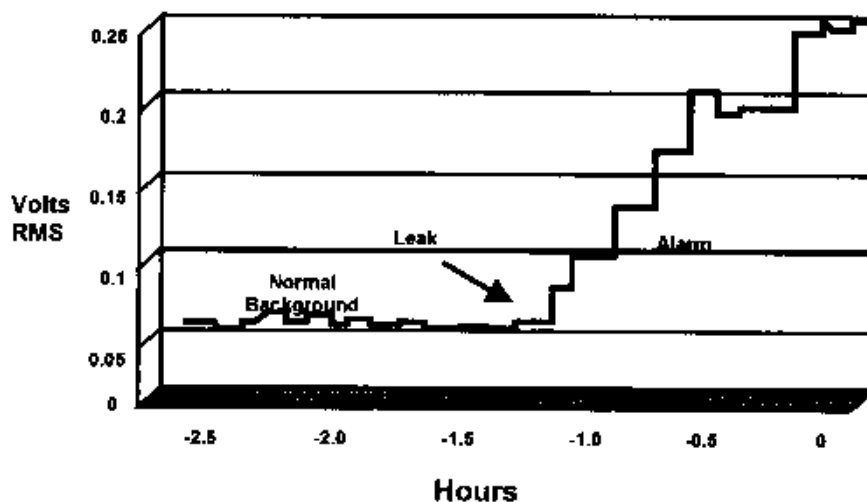
Triple 5:n esittämiä esimerkkitapauksia on yhteensä kuusi kappaletta. Vuodot ovat olleet ekonomaisierissa (2 kpl), tulipesän yläosassa, savukaasukanavassa, tulistimessa ja verhoputkessa. Vuodon havainnoinnissa käytetyt mikrofonit sijaitsivat esimerkkitapauksissa 3 - 7.5 m päässä vuotopaikasta. Putkeen syntyneen aukon halkaisijan koko (alasajon jälkeen todettuna) on raportoitu kolmessa tapauksessa. Aukon halkaisija vaihteli 1.5 mm ja 18 mm välillä. Ainoastaan yhdessä tapauksessa - kun halkaisija oli 1.5 mm - on myös ilmoitettu syve-höyryeron perusteella arvioitu vuotovirtauksen suuruus, joka oli 0.6 kg/s. Ensimmäinen merkki vuodosta saatiin, kun käyttömies havaitsi kattilahuonekierroksen aikana vettä ekonomaisierin tuhkakuljettimella. Kolme tuntia myöhemmin valvomoon saatiin hälytys syve-höyryeron kasvusta ja muutama minuutti tämän jälkeen myös akustinen vuodonvalvontajärjestelmä hälytti. Kattila ajettiin normaalisti alas. Jälkeenpäin voitiin todeta lähimmän mikrofonin mittaaman melutason alkaneen kasvaa hieman ennen kattilahuonekierrosta, mutta koska mikrofoni sijaitsi kaukana vuodosta, 7.5 m päässä, hälytysraja ylittyi suhteellisen

myöhään. Melutason nousu oli sen verran vähäistä, korkeintaan muutaman desibelin luokkaa, hälytysten saantihetkellä, että vuotoa ei luultavasti olisi havaittu kattilahuoneesta kuuntelemalla.

Kuvassa 7 on esitetty vuodon ja Triple 5:n järjestelmän antureiden paikat tapauksessa, jossa vuoto oli tulipesän yläosassa. Vuoto havaittiin vuodonvalvontajärjestelmän hälytyksen perusteella, jonka jälkeen nuohous keskeytettiin ja vuoto yritettiin paikantaa kuuntelemalla. Kun vuodon paikka varmentui tulipesän yläosaan, tehtiin pikapysäytys ja -tyhjennys. Alasajon jälkeisessä tarkastuksessa todettiin yläosan rakenteissa noin 2 cm pituinen särö, jonka aiheuttama vuoto suuntautui läheiseen kattoputkeen. Putki oli ohentunut, mutta vielä tiivis. Vuoto havaittiin anturilla, joka sijaitsi suhteellisen kaukana, noin 8 metrin päässä vuodosta. Ko. anturin signaalit vuodon ajalta on esitetty kuvassa 8.

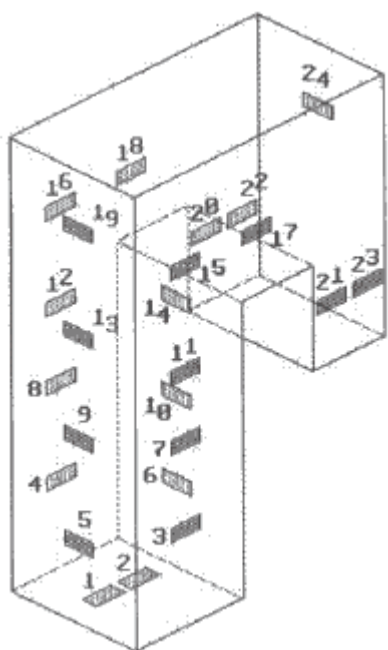


Kuva 7. Vuodon ja Triple 5:n antureiden paikat

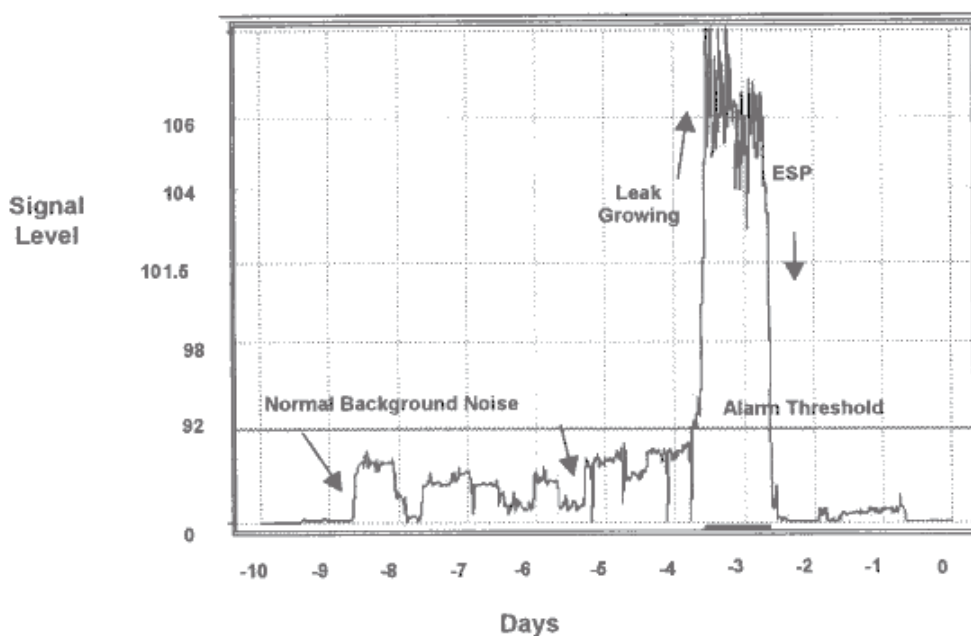


Kuva 8. Vuotokohtaa lähimmän anturin keräämät signaalit vuodon ajalta.

Toinen esimerkki tulipesävuodosta on vuoto verhoputkessa, joka myös havaittiin ensin akustista emissiota valvovan järjestelmän hälytyksen perusteella. Kun kattilan käyttöparametrit tämän jälkeen tarkistettiin, myös johtokyvyssä havaittiin laskua. Kattilahuonekierroksen aikana operaattorit näkivät tarkastusluukuista vuodon hälytyksen tehneen anturin lähellä. Tämän jälkeen tehtiin pikapysäytys ja -tyhjennys. Vuodon aiheutti kehänsuuntainen särö hitsausaumassa. Vuodosta hälyttänyt anturi sijaitsi kahden metrin päässä vuotokohdasta. Vuoto oli havaittavissa myös kahdella muulla anturilla, jotka olivat viiden ja kahdeksan metrin päässä vuotokohdasta. Kattilaan asennettujen antureiden sijainti ja lähimmän anturin signaalit vuodon ajalta on esitetty kuvissa 9 ja 10.



Kuva 9. Antureiden sijainti kattilassa, jossa oli vuoto verhoputkessa.



Kuva 10. Vuodon aikaiset signaalit anturilta 14, joka oli 2 m päässä vuotokohdasta. Tiedossa ei ole, että kattiloilla, joilla on käytössä Triple 5:n järjestelmä, olisi ollut vuotoja, joita järjestelmä ei ole havainnut.

Taulukossa 16 on esitetty Acutestin järjestelmän asennukset soodakattiloihin. Acutestin järjestelmällä on useita muitakin sovelluskohteita.

Taulukko 16. Tehtaat, joille on asennettu Acutestin järjestelmä (säroanturit ovat tyyppiä R15 ja vuotoanturit tyyppiä A3; mikrofonit ovat ilmatilaa kuuntelevia R2-mikrofoneja).

Kattila	Antureiden sijainti ja lkm	Asennus
Enocell Oy, Uimaharju	Eko II jakokammiossa 2 säröanturia Eko II kokoojakammiossa 2 säröanturia Eko II alueella 4 mikrofonia keittopinnan jakokammiossa 2 säröanturia nuohoimien alueella 2 mikrofonia	1994
Patria Papier&Zellstoff, Itävalta	36	1994
Stora Enso Laminating Oy Kotka	pohjassa 10 säröanturia etuseinässä 3 säröanturia alalieriössä 2 säröanturia ylälieriössä 2 säröanturia laskuputkissa 2 vuotoanturia kaasuturbiinissa 1 säröanturi vaihdelaatikossa 1 säröanturi	1995
Metsä-Botnia, Kaskinen	pohjassa 8 säröanturia lieriöissä 4 säröanturia pohjan jakotukeissa 2 vuotoanturia turbiniin öljypumpussa 1 säröanturi meesan vaihdelaatikossa 1 säröanturi imeyttimeissä 2 säröanturia	1995
Nettingsdorfer Papier, Itävalta	25	1995
Stora Enso Fine Papers, Varkaus	pohjassa 8 säröanturia pohjan jakotukeissa 2 vuotoanturia	1996
Metsä-Rauma, Rauma	pohjassa 23 säröanturia pohjan jakotukeissa 2 vuotoanturia ekojen jakotukeissa 6 säröanturia Eko III alueella 2 mikrofonia	1996
Metsä-Botnia, Kemi	pohjassa 4 säröanturia keittopinnan jakotukeissa 2 säröanturia Eko I jakotukeissa 2 säröanturia Eko II jakotukeissa 2 säröanturia Eko II kokoojatukeissa 2 säröanturia keittopinnan ja eko II 4 mikrofonia	1997
Kiani Kertas, Indonesia	8	1997
Metsä-Botnia Pulp, Joutseno	pohjassa 16 säröanturia pohjan jakotukeissa 2 vuotoanturia Eko I, II jakotukissa 2 säröanturia Eko I, II kokoojatukissa 2 säröanturia keittopinnan jakotukissa 2 säröanturia ja kokoojatukissa 2 säröanturia tulistinalueella 4 mikrofonia	1998
Stora Enso Gruvön, Ruotsi	35	1999
Klabin Barana, Brasilia	55	1999
Stora Enso Veitsiluoto Oy, Kemi	pohjan etuosassa 8 säröanturia pohjan takaosassa 8 säröanturia pohjan jakotukissa 2 vuotoanturia etuseinässä 7 säröanturia takaseinässä 7 säröanturia nuohoinalueella 2 mikrofonia ekon alaosassa 2 säröanturia	2000

	tulistinalueella 2 mikrofonia	
--	-------------------------------	--

Asennusten jälkeen on suomalaisilla kattiloilla Soodakattilayhdistyksen vauriotietokantaan vietyjen vaurioilmoitusten mukaan tapahtunut seuraavat vauriot:

Taulukko 17. Vauriot kattiloilla, joilla on ollut käytössä Acutestin vuodonvalvontajärjestelmä, Soodakattilayhdistyksen vauriotietokannassa olevien ilmoitusten perusteella.

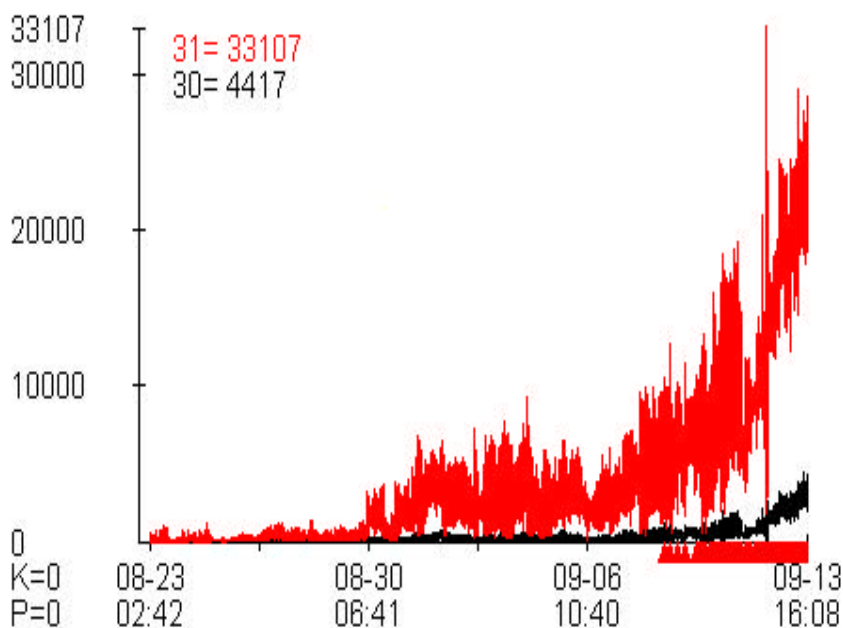
Kattila	Vuodon sijainti	Ajankohta
Enocell Oy, Uimaharju	keittopinta	22.5.1994
Stora Enso Laminating Oy Kotka	tulistin	19.9.1998
	tulipesä (vuoto ulkopuolelle)	24.7.1999
	tulistin	7.10.1999
	ekonomaiseri	16.2.2000
Metsä-Botnia, Kaskinen	tulipesän pohja	26.12.1997
	ekonomaiseri	31.3.1999
Stora Enso Fine Papers, Varkaus	tulistin	26.3.1997
	tulistin	29.4.1997
	tulistin	28.12.1996
Metsä-Botnia Pulp, Joutseno	ekonomaiseri	21.3.1999
	ekonomaiseri	15.2.1999
	ekonomaiseri	9.3.1999

Lisäksi Raumalla on ollut pieni vuoto syöttövesilinjan tyhjennysventtiilin poksissa ja Enocellissä keittopinnassa.

Edellä esitetyistä vuodoista ainoastaan osa on sijainnut sellaisessa osassa kattilaa, jonne on asennettu Acutestin antureita. Tällaisia ovat Raumalla venttiilipoksissa, Enocellin keittopinnassa, Joutsenon ekonomaiseriissa, Kotkan tulipesän seinäputkessa ja Kaskisen tulipesän pohjassa olleet vuodot.

Tapaus 1. Metsä-Botnia, Rauma

Raumalla vuoto oli pieni tyhjennysventtiilin poksivuoto syöttövesilinjassa ennen ekonomaiseria. Vuotokohta oli kaukana, yli 20 m päässä, lähimmästä anturista, mutta tästä huolimatta vuodon syntyminen oli selvästi havaittavissa (kuva 11). Vuoto voitiin kerätä hallitusti ja mitata, jolloin se suuruudeksi saatiin 0.12 kg/s. Raumalla ei antureita ole ekonomaisereiden yläjakotukeissa, joten antureiden avulla ei voitu päätellä, onko vuoto syöttövesilinjan vai ekonomaiserin puolella hälytyksen antanutta anturia.

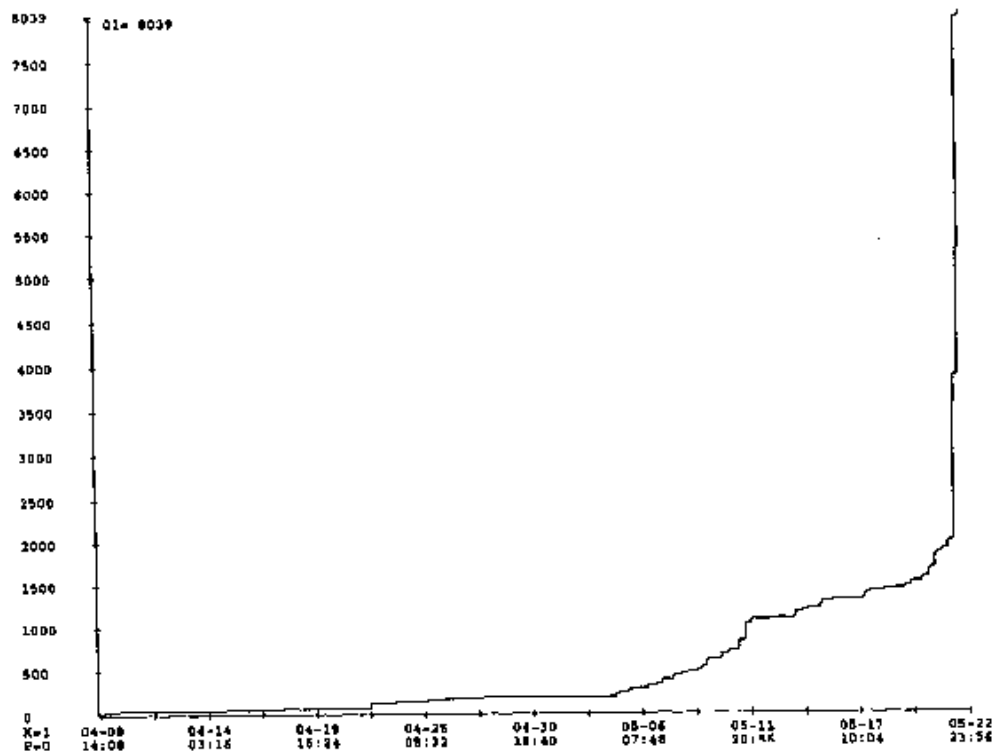


Kuva 11. Acutestin järjestelmän tuloste tyhjennysventtiilin poksivuodosta Raumalla.

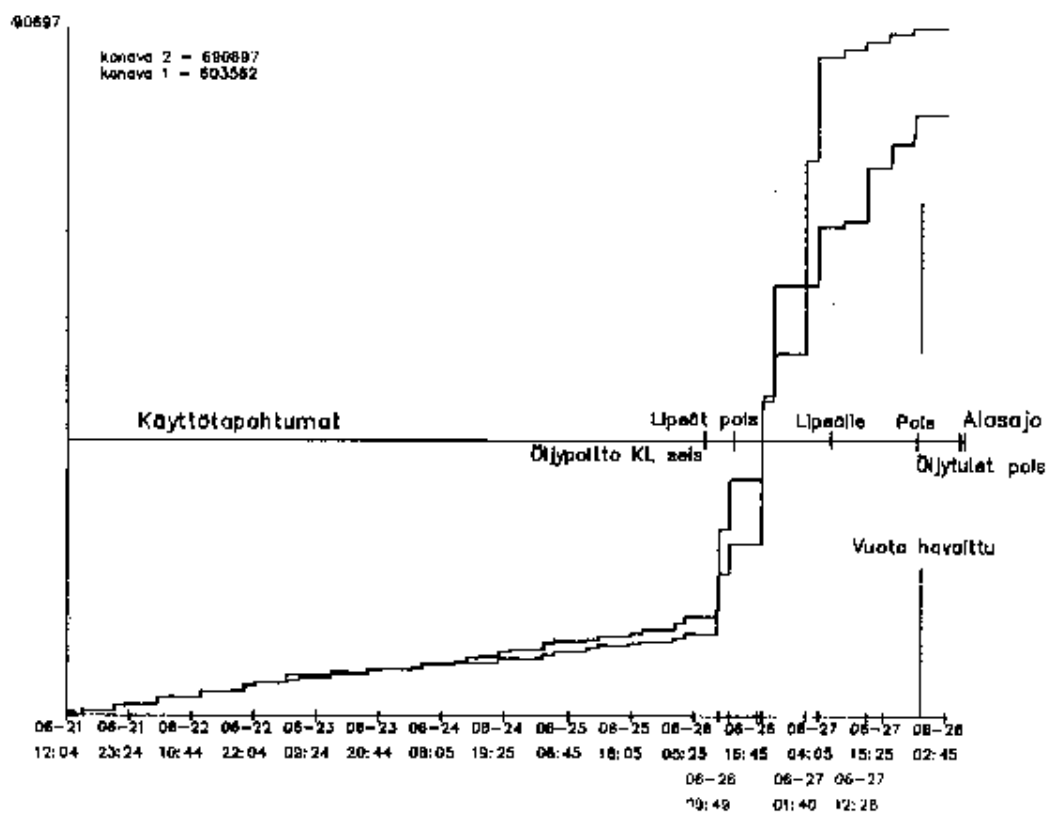
Tapaukset 2 ja 3. Enocell, Uimaharju

Uimaharjussa Enocellin tehtaalla on järjestelmällä voitu havaita kaksi vuotoa, joista ensimmäinen tapahtui 22.5.1994. Keittopinnan toisen anturin signaalitaso alkoi kasvaa 4.5. ja kasvu jatkui tasaisena aina 22.5. asti, jolloin signaalin voimakkuus nousi jyrkästi indikoiden mahdollista vuotoa (kuva 12). Havainto vahvistui, kun keittopinnan alaosassa ja kuljettimella todettiin kosteutta. Tämän jälkeen kattila ajettiin alas ilman pikapysäytystä. Myöhemmin tehdyssä tarkastuksessa todettiin yhden keittoputken revenneen ja sen viereisestä putkessa noin 5 mm pituinen särö. Ilmeisesti säröytyneeseen putkeen tullut pieni vuoto oli aiheuttanut viereisen putken vaurioitumisen.

Toinen järjestelmän avulla havaittu vaurio sijaitsi myös keittopinnan alaosassa. Vaurion kehittyminen havaittiin 26.6.1994, kun antureiden keräämä signaalitaso alkoi tasaisesti nousta (kuva 13). Tällä kertaa melutason nousu oli havaittavissa molemmilla jakotukissa olleilla antureilla. Kaksi päivää myöhemmin havaittiin keittopinnan alaosassa vettä. Tämän jälkeen kattila päätettiin ajaa normaalisti alas. Tarkastuksessa todettiin viisi säröä keittopinnan alaosan putkissa. Useimmat säröt olivat jo edenneet läpi seinän. Verrattuna aikaisemmin todettuun vaurioon tapahtui säröjen synty tällä kertaa huomattavasti nopeammin ja suuremmalla alueella. Tapahtumasta laadituissa raporteissa ei ole ilmoitettu, oliko vuoto havaittavissa syöttövesi-höyryvirtauseron kasvun tai kattilaveden laimenemisen perusteella. Vuodon aikaisia mittaustuloksia ei ole enää käytettävissä.



Kuva 12. Acutestin tuloste keittopinnan jakotukissa olleen anturin signaaleista Enocellistä ajalta 9.4-22.5.1994.

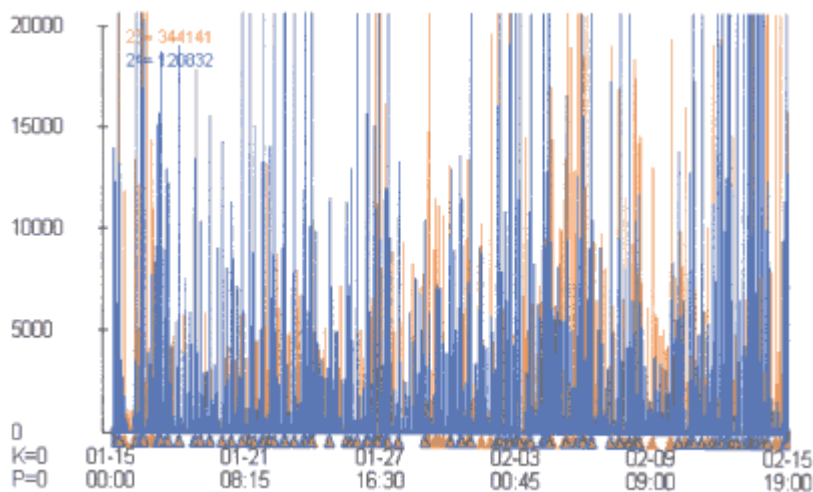


Kuva 13. Acutestin järjestelmän tuottama tuloste keittopinnan jakotukissa olleiden antureiden signaaleista Enocellissä ajanjaksolta 21.6. - 27.6.1994.

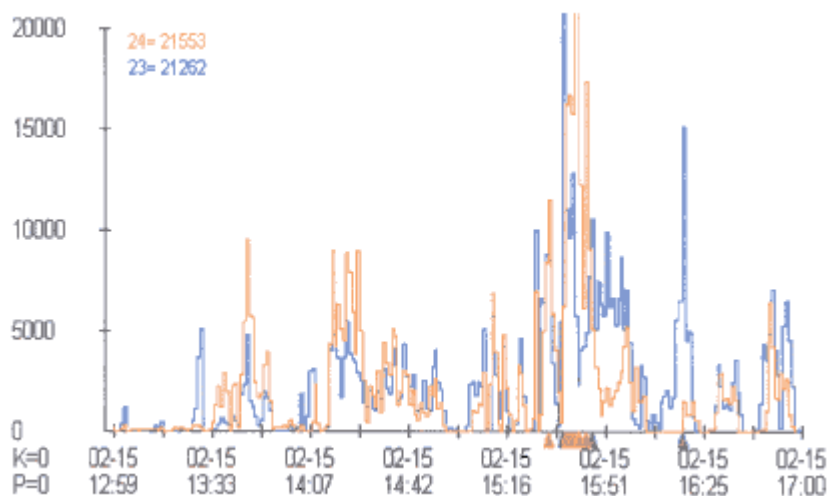
Tapaukset 4,5 ja 6. Metsä-Botnia Pulp, Joutseno

Joutsenossa olleet kolme ekonomaiserivuotoa helmi-maaliskuussa 1999. Ensimmäinen vuoto todettiin 15.2. Kattila oli ajettu ylös 30.12.1998. Ekonomaiseri II:n jakotukin antureiden signaaleissa havaittiin koko käyttöjakson ajan voimakasta ääntä, joka indikoi säröjen syntymistä (kuva 14). Kattilan ajamista jatkettiin, kunnes tuhkakuljettimelta havaittiin kosteutta. Vaurioraportin mukaan vuoto havaittiin klo 4. Vuoto ei näy ekonomaiseri II jakotukin antureilla jatkuvana signaalina vielä iltapäivälläkään (kuva 15). Sen sijaan alasajon aikana signaalit ovat jatkuvia (kuva 16).

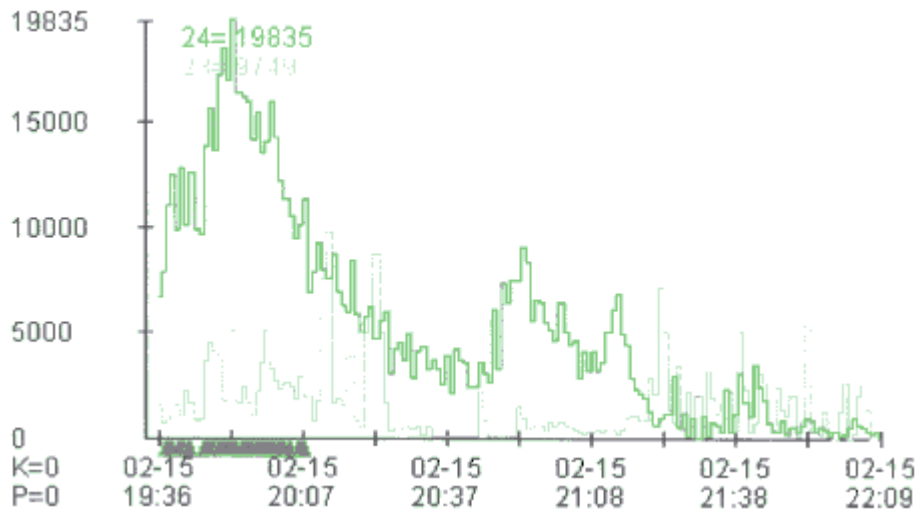
Signaalitason heilahteluihin vuodon aikana on syynä ilmeisesti vuodon määrän vaihtelu. Vuodon ajoittainen pieneneminen saattaa olla seurausta särön sulkeutumisesta ulkopinnan vetojännityksien purkautuessa särön läheisyydestä joko kattilan olosuhteissa tapahtuneiden muutosten tai vuotovirtauksen aiheuttaman jäähtytyksen seurauksena. Ilmeisesti alasajossa savukaasujen lämpötila laski niin, että lämpötilat putken ulkopinnalla särön läheisyydessä tasoittuivat. Tämän seurauksena särökohtaan kohdistuvat puristusjännitykset laukesivat ja särö avautui pysyvästi.



Kuva 14. Acutestin järjestelmän tuloste II ekonomaiserin jakotukin antureilta Joutsenosta ajanjaksolta 15.1. - 15.2.1999.

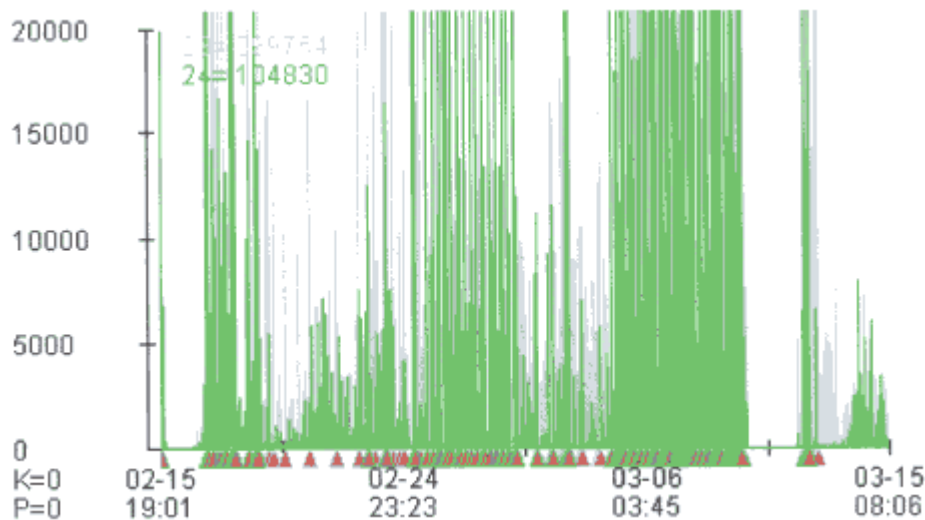


Kuva 15. Acutestin järjestelmän tuloste II ekonomaiserin jakotukin antureilta Joutsenosta ajanjaksolta klo 13.00 - 17.00 15.2.1999.



Kuva 16. Acutestin järjestelmän tuloste II ekonomaiserin jakotukin antureilta Joutsenosta ajanjaksolta klo 19.40 - 22.00 15.2.1999.

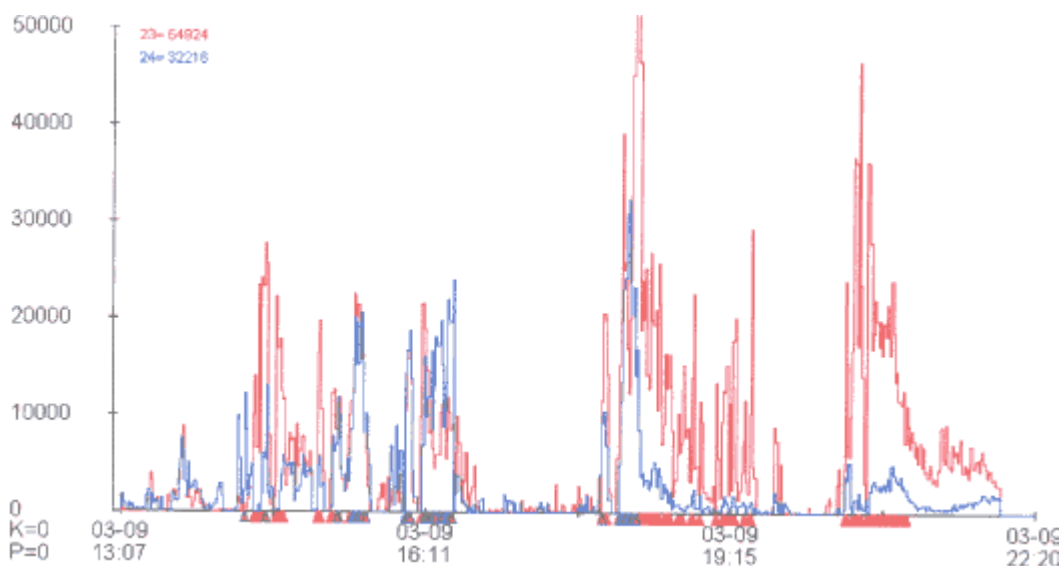
Vuodon aiheuttaneiden vaurioiden korjauksen jälkeen kattilan ajoa jatkettiin, mutta itse ongelmaa ei saatu poistettua. Kuten kuvasta 17 nähdään, melutaso II ekonomaiserilla pysyi edelleen korkeana. Tarkemmassa analyysissä melutasoista (kuva 18) on mahdollista havaita myös melutason nousu maaliskuun alun aikana. Säröytyminen johti vuotoon 9.3.1999. Tälläkin kertaa vuoto havaittiin kosteutena tuhkakuljettimella. Vaurioraportin mukaan havainto tehtiin klo 13. Antureiden signaalit olivat ajoittain jatkuvia, mikä viittaa vuodon määrän vaihdelleen (kuva 19).



Kuva 17. Acutestin järjestelmän tuloste II ekonomaiserin jakotukin antureilta Joutsenosta ajanjaksolta 15.2. - 15.3.1999.



Kuva 18. Acutestin järjestelmän tuloste II ekonomaiserin jakotukin antureilta Joutsenosta ajanjaksolta 3.3. - 10.3.1999.



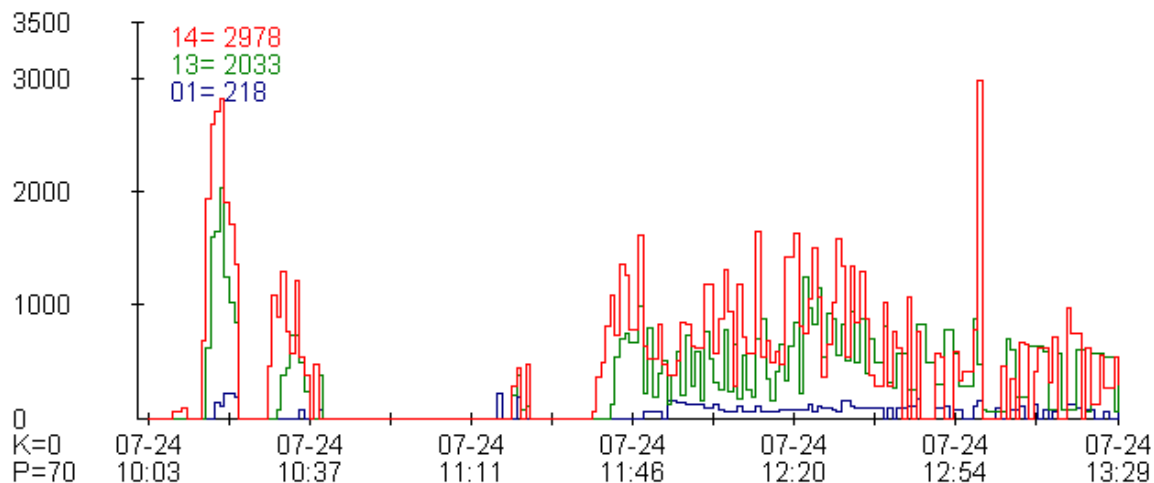
Kuva 19. Acutestin järjestelmän tuloste II ekonomaiserin jakotukin antureilta Joutsenosta ajanjaksolta klo 13.00 - 22.20 9.3.1999.

Kolmannesta vuodosta Joutsenossa 21.3.1999 ei ole käytettävissä Acutestin tulosteita.

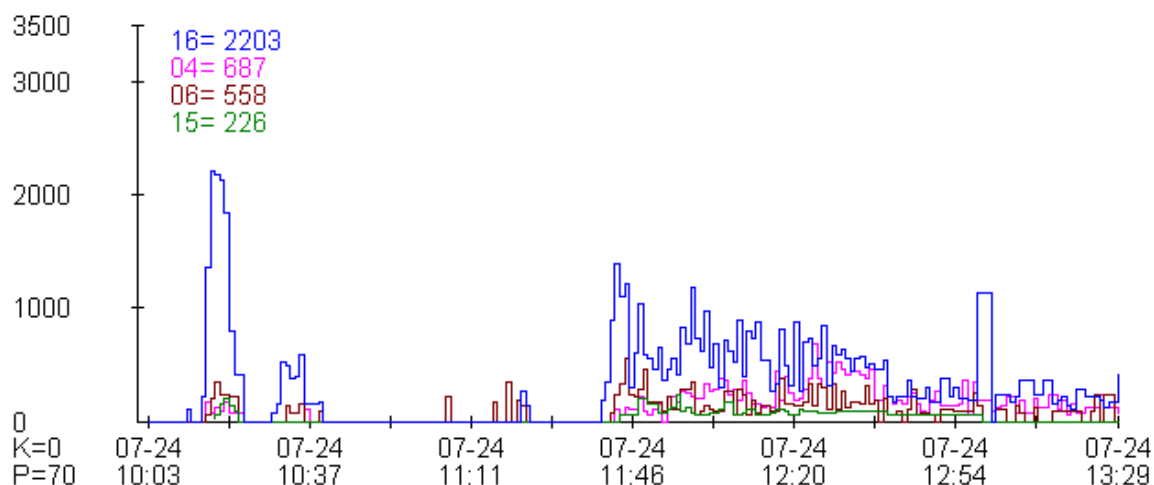
Joutsenossa ei vuotojen tapahtuessa ollut käytössä syöttövesi-höyryvirtauseron laskentaa, joten vuotojen koko ei ole tarkkaan tiedossa.

Tapaus 7. Laminating Papers, Kotka

Lämmittäjä havaitsi 24.7.1999 klo 10 kosteutta oikeaan sivuseinän eristeissä hoitotasolla. Vauriokohta oli compound-rajasaumassa noin 9 m korkeudella pohjasta sivulla, jossa ei ole Acutestin antureita. Vuoto oli havaittavissa alasajon aikana myös tulipesän pohjassa olleilla antureilla (kuvat 20 ja 21).



Kuva 20. Pohjan antureiden signaalit ajalta klo 10.00 - 13.30.



Kuva 21. Pohjan antureiden signaalit ajalta klo 10.00 - 13.30.

Ensimmäinen vauriota indikoiva emissio esiintyi n. klo 10.20, jolloin tapahtui myös pieni lämpötilanotkahdus lipeänpolton lopettamisen seurauksena. Vuodon kaltainen emissio alkoi klo 11.40. Parhaiten vaurion kuultiin pohjan oikeassa ja vasemmassa takanurkassa olleilla anturit 13 ja 14 sekä vasemmassa etunurkassa ollut anturi 16, mutta myös pohjan antureille 1, 4 ja 6 kantautui vuotoemissioita. Muut anturit pohjalla tai etuseinässä eivät havainneet vuotoa. Vuodon aikana ei kattilaan oltu vielä asennettu laskuputkien vuotoantureita. Ilmeisesti myös tässä tapauksessa vuoto muuttui jatkuvaksi vasta alasajon aikana, kun särö aukesi lämpötilan laskun aiheuttamien vetojännitysten takia.

Tapaus 8. Metsä-Botnia, Kaskinen

Kaskisen kattilalla todettiin tulipesän pohjan vuoto 26.12.1997, kun kattilan täyttöä aloitettiin jouluseisokissa tehdyn pesun jälkeen. Kattilan pohjalla havaittiin iso vesilammikko vasemman sivuseinän lähellä. Kun painetta nostettiin, niin jo 30 bar paineessa vuotokohdasta tuli vettä niin paljon, että veden tulon näki selvästi päähoitotason kulkuaukoista. Vuodon syyksi paljastui särö pohjan reunimmaisessa putkessa. Vaurioraportissa ei ole mainintaa, oliko vuodosta merkkejä käynnin aikana.

Luultavaa kuitenkin on, että vuoto on ollut olemassa jo ennen seisokkia. Kaskisissa oli vuodon aikana anturit ainoastaan kattilan nurkissa. Ilmeisesti anturit olivat liian kaukana vuotokohdasta, koska vuotoa indikoivaa emissiota ei seisokkia ennen ollut havaittavissa.

Hinta ja saatavuus

Triple 5:n ilmoituksen mukaan 24 anturin järjestelmä maksaa 102 500 \$ (ilman asennusta). Triple 5:n tarjoama käyttäjätuki maksaa 4200 \$/vuosi sisältäen ohjelmistopäivitykset ja ohjelmistovikojen korjauksen.

Acutestin ilmoituksen mukaan järjestelmän hinta on 100 000 mk (keskusyksikkö) plus 20 000 mk/mitta-anturi. Acutestin tarjoaman etävalvontasopimuksen, joka sisältää asiakastuen, hinta riippuu antureiden lukumäärästä ja on 3000 - 5000 mk/kk. Acutest tarjoaa ilmaiseksi ohjelman versiopäivitykset, joissa ohjelmaan tehdään pieniä korjauksia tai parannuksia, mutta ei laajoja ohjelmamuutoksia.

5.4 Muut menetelmät

Edellä kuvattujen, kaupallisesti saatavilla olevien vuodonvalvontajärjestelmien ohella tehtailla on mahdollisuus hyödyntää vuodon valvonnassa jo olemassa olevia tai helposti hankittavia laitteita. Yksikertaisimmillaan kyseeseen saattaa tulla jo olemassa olevien mittausten viritys esim. ylimääräisen kohinan suodattamiseksi ja sopivien automaattisten hälytysten laatiminen. Näin voidaan menetellä esim. syöttövesi-höyryvirtaustaseen suhteen, johon tarvittavat mittaukset ovat käytössä kaikilla kattiloilla (mahdollisesti ulospuhallusvirtausmittausta lukuun ottamatta).

Kattiloilla seurataan ulospuhallusveden laatua joko jatkuvatoimisin mittauksin ja/tai laboratoriomäärityksin, joten on periaatteessa mahdollista, että näitä mittauksia voitaisiin käyttää myös vuotojen valvontaan. Sen selvittämiseksi, kuinka nykyiset mittaukset soveltuvat vuodonvalvontaan, tehtiin selvityksen teon aikana Kotkassa, Raumalla ja Oulussa koe, jossa vuotoa kattilassa simuloitiin ulospuhallusta kasvattamalla. Alla on lyhyesti kuvattu koejärjestely ja tulokset kullakin kattilalla.

Laminating Papers Oy:n Kotkan tehdas

Kotkan tehtaalla koe toteutettiin kasvattamalla ulospuhallusvirtaus 1 - 1.5 kg/s verran normaaliin verrattuna. Kotkan kattilan syöttövesivirtaus on noin 24 kg/s, joten ulospuhalluksen lisäys oli huomattavan suuri, luokkaa 5 % syöttövesivirtauksesta.

Koe aloitettiin 27.11.2000 klo 15.00. Kattilavedestä otettiin näyte ennen kokeen aloittamista ennen klo 6.00 ja näytteiden ottoa jatkettiin klo 22.00, jonka jälkeen näytteitä otettiin kahdeksan tunnin välein.

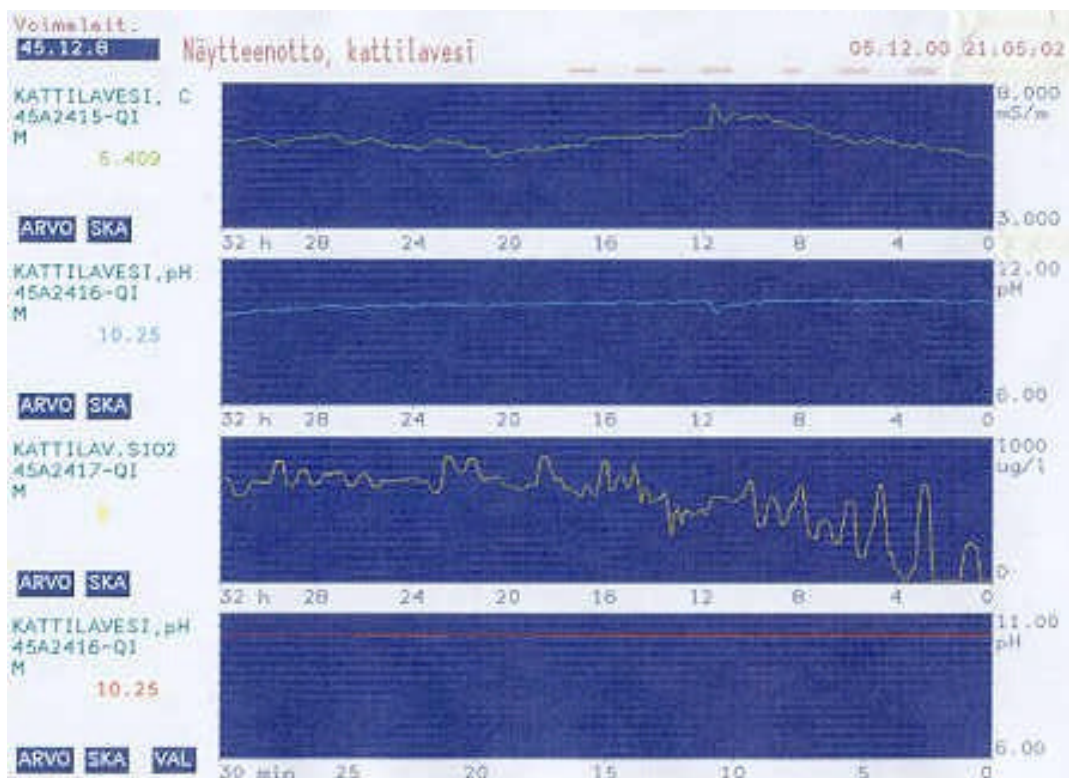
Kokeessa ulospuhalluksen lisäys oli sen verran suuri, että sekä kattilaveden johtokyvyn että fosfaatti- ja silikaattipitoisuuden perusteella kattilavesi saavutti uuden tasapainotilan jo kokeen aloituksen ja sitä seuranneen näytteenoton välillä eli ensimmäisen seitsemän tunnin aikana. Tämä on pääteltävissä siitä, että klo 22.00 otetun näytteen johtokyky ja kemikaalipitoisuudet ovat likimain samat kuin myöhemmin otetuissa näytteissä. Kokeen aloitusta ennen otetusta näytteestä analysoitiin ainoastaan pH ja johtokyky. Ulospuhalluksen lisäyksellä ei ollut havaittavaa vaikutusta pH:hon, sitä vastoin kattilaveden johtokyvyssä on selvä ero koetta edeltäneen tason (20 - 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ja kokeen

aikaisen tason (12.8 - 14.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$) välillä. Fosfaatti- ja silikaattipitoisuudet analysoitiin kattilavedestä viimeksi yli viikko ennen kokeen aloitusta. Mikäli koetta edeltäneen näytteenoton ja kokeen aloituksen välillä ei fosfaatti- ja silikaattipitoisuuksissa ole ollut vaihteluita, olisivat pitoisuudet laimenneet ensimmäisen seitsemän tunnin aikana kokeen alun jälkeen noin puoleen koetta edeltäneestä tasosta.

MetsäBotnian Rauman tehdas

Rauman tehtaalla koe suoritettiin niin, että ennen kokeen aloitusta ulospuhallus oli kokonaan kiinni 9.5 h. Koe aloitettiin 5.12.2000 klo 9.40 säätämällä ulospuhallusvirtauksen suuruudeksi noin 1.3 kg/s. Raumalla syöttövesivirtaus on luokkaa 120 kg/s, joten ulospuhallus vastasi noin 1.1 % syöttövesivirtauksesta. Koe pyrittiin tekemään ajanjaksolla, jolloin syöttöveden ominaisuuksissa ei ollut suuria vaihteluita.

Raumalla on käytössä jatkuvatoimiset mittaukset kattilaveden johtokyvyille, pH:lle ja silikaattipitoisuudella. Kuvassa 22 on esitetty em. mittausten historiatrendit ajan hetkeltä 21.05 eli hieman alle 12 tuntia kokeen aloituksen jälkeen.



Kuva 22. Kattilaveden johtokyky (mS/m), pH, silikaattipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{l}$) 4. - 5.12.2000 MetsäBotnian Rauman tehtaalla (koejakso on viimeiset 12 h oikeassa reunassa).

Kuvassa ylimpänä olevassa johtokykykäyrässä on nähtävissä piikki kokeen aloitushetken kohdalla. Kuvasta havaitaan ulospuhalluksen kasvattamisen laimentaneen kattilavettä niin, että johtokyky on laskenut kokeen aloitushetken arvosta (6.5 mS/m) noin 17 % (arvoon 5.41 mS/m) 12 tunnissa. Kattilaveden pH:ssa ei sen sijaan ole havaittavissa merkittävää laskua. Sitä vastoin silikaattipitoisuus on laskenut hyvin jyrkästi alkuperäisestä arvosta (535 $\mu\text{g}/\text{l}$) alle mittaustarkkuusrajan. Mitatussa silikaattipitoisuudessa on havaittavissa voimakasta heiluntaa kokeen aikana.

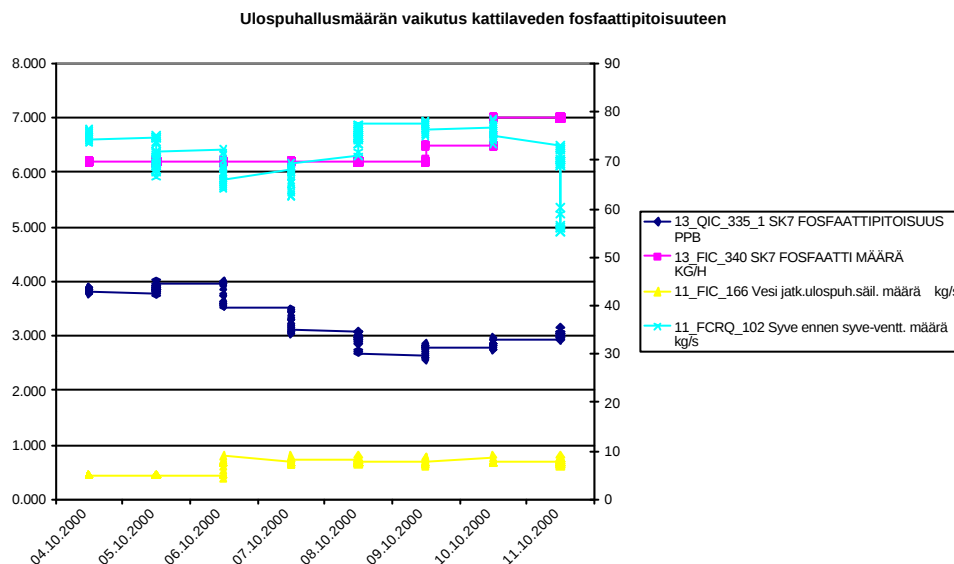
Koetta jatkettiin kahden vuorokauden ajan, jona aikana johtokyky laski jotakuinkin tasaisesti arvoon 4 mS/m eli 38 % alle kokeen aloitushetken tason. Myös pH:ssa on havaittavissa laskua, vaikkakin lievää pH:n ollessa 9.7 kokeen lopussa. Silikaattipitoisuus jatkoi kokeen loppujaksolla voimakasta heilahtelua.

Kokeen aikana otetuista kattilavesinäytteistä analysoitiin laboratoriossa fosfaattipitoisuus, joka laski tasaisesti aamun 5.12. arvosta 3.3 mg/kg aamun 7.12. arvoon 2.6 mg/kg. Lasku oli siis noin 20 % kahdessa vuorokaudessa.

StoraEnson Oulun tehdas

Testi toteutettiin yksinkertaisesti kasvattamalla ulospuhallusta noin 0.25 kg/s verran. Oulun kattilalla syöttövesivirtaus on luokkaa 70 kg/s, joten ulospuhallusta kasvattamalla simuloitu vuoto oli noin 0.4 % syöttövesivirtauksesta.

Testin tulokset on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Uloslaskun fosfaattipitoisuus (ppb), syöttöveteen lisätyn fosfaatin määrä (kg/h) ja ulospuhallus- ja syöttövesivirtaus (kg/s) Oulun kattilalla 4.10.-11.10.2000.

Ulospuhallusta kasvatettiin 6.10 noin klo 8.00, jolloin ulospuhalluksen fosfaattipitoisuus alkoi tasaisesti laskea saavuttaen 10 % tavanomaista pienemmän arvon ensimmäisen kerran klo 15 eli noin seitsemässä tunnissa. Vuodon jatkuessa fosfaattipitoisuuden lasku jatkui, mutta laskunopeus hidastui. Esimerkiksi 20 % alkuperäistä alhaisempi pitoisuus saavutettiin ensimmäisen kerran 7.10 klo 12 eli noin 29 tuntia ulospuhalluksen kasvattamisen jälkeen. Fosfaattipitoisuuden lasku ulospuhalluksessa jatkui aina 9.10 saakka, jolloin operaattorit havaitsivat fosfaattipitoisuuden laskeneen liian alhaiseksi ja korjasivat tilannetta kasvattamalla syöttöveteen lisätyn fosfaatin määrää.

Yhteenveto kokeista

Kokeiden pääparametrit ja tulokset on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Kotkassa, Raumalla ja Oulussa tehtyjen ulospuhalluskokeiden pääparametrit ja tulokset.

Suure	Kotka	Rauma	Oulu
ulospuhallusvirtauksen lisäys (kg/s)	1 - 1.5	1.3	0.25
lisäyksen suhteellinen suuruus (%)	5	1.1	0.4
pH laskunopeus	ei havaittavissa	hyvin pieni	ei tiedossa
johtokyvyn laskunopeus (%/h)	väh. 10	1.4	ei tiedossa
fosfaattipitoisuuden laskunopeus (%/h)	ei tiedossa	0.4	0.7 - 1.4
silikaattipitoisuuden laskunopeus (%/h)	ei tiedossa	10	ei tiedossa

Kokeiden tulosten perusteella kattilaveden laimeneminen näkyy johtokyvyn sekä fosfaatti- ja silikaattipitoisuuksien alenemisena, kun taas muutokset kattilaveden pH:ssa ovat huomattavasti vähäisempiä.

Fosfaattipitoisuus laski ainakin näennäisesti nopeammin Oulussa kuin Raumalla, vaikkakin ulospuhalluksen lisäys oli Raumalla sekä absoluuttisesti että suhteellisesti suurempi. Tulokset eivät kuitenkaan ole keskenään täysin vertailukelpoisia, koska Raumalla fosfaattipitoisuuden lasku tapahtui kahden vuorokauden kuluessa ja Oulussa seitsemän tunnin - reilun vuorokauden kuluessa. Luultavasti fosfaattipitoisuus on laskenut Raumallakin kokeen alussa vähintään samalla nopeudella kuin Oulussa, mutta koska Raumalla ei ole käytössä jatkuvatoimista mittausta, jäi tämä lasku havaitsematta.

Raumalla kattilaveden silikaattipitoisuus laski jatkuvatoimisen mittauksen mukaan huomattavan nopeasti kokeen aikana. Mittauksessa esiintyi kuitenkin voimakasta heiluntaa, joka ei tunnu uskottavalta. Myöskin aikaisempien käyttökokemusten mukaan mittaus ei ole täysin luotettava, vaan sen toiminnassa on suhteellisen usein häiriöitä. Valitettavasti kokeen aikana otetuista näytteistä ei määritetty silikaattipitoisuutta, johon jatkuvan mittauksen tuloksia olisi voitu verrata.

Kokeiden perusteella mahdollinen vuoto höyrystimessä saattaa olla havaittavissa seuraamalla jatkuvasti kattilaveden johtokykyä tai fosfaattipitoisuutta. Kattilaveden laimenemiseen reagoi herkiten fosfaattipitoisuus: fosfaattipitoisuuden laskunopeus Oulussa oli samaa luokkaa kuin johtokyvyn laskunopeus Raumalla, vaikka lisäys ulospuhalluksessa oli Oulussa huomattavasti pienempi.

Kokeet osoittivat selvällä tavalla myös kattilan koon merkityksen kattilaveden johtokyvyn tai kemikaalipitoisuuksien avulla tapahtuvan vuodonvalvonnan tarkkuudelle. Vaikka virtausmäärää muutettiin Kotkassa ja Raumalla saman verran, laski kattilaveden johtokyky selvästi nopeammin Kotkassa (laskunopeutta ei edes saatu tarkasti määritettyä, koska lasku tapahtui näytteiden keräämisen välissä). Kattiloiden vesitilavuudet Raumalla ja Kotkassa ovat noin 300 ja 120 m³.

Oulussa tehty koe osoitti, että ko. tehtaalla käytössä olevan, fosfaattipitoisuutta ulospuhalluksessa valvovan analysaattorin avulla on periaatteessa mahdollista havaita suhteellisen pieniä, luokkaa 0.25 kg/s olevia vuotoja höyrystimessä. Testin perusteella Oulussa käytetyn analysaattorin tarkkuus on samaa luokkaa kuin Herculeksen toimittamassa järjestelmässä. On tosin mahdollista, että Oulussa tehdyssä testissä

kattilaveden laimeneminen oli nopeampaa kuin jos vuoto olisi ollut esim. tulipesän putkistossa, koska nyt ulospuhallusta kasvattamalla aikaansaadussa vuodossa poistettiin kattilasta keskimääräistä väkevämpää vettä. Sen selvittäminen, kuinka suuri vaikutus vuodon sijainnilla on kattilaveden laimenemisnopeuteen, edellyttäisi em. kokeen toistamista niin, että lieriön sijasta ulospuhallus otetaan jostakin muualta höyrystimen alueelta.

Testi osoitti myös operaattorityökalujen ja koulutuksen tärkeyden kemikaalipitoisuuksien seurantaan perustuvassa vuodonvalvonnassa: vaikka ulospuhalluksen fosfaattipitoisuuden havaittiin laskevan, ei vuodon mahdollisuutta systemaattisesti kartoitettu (muuten ulospuhalluksen kasvu olisi havaittu ja tilanne olisi korjattu säätämällä ulospuhallusvirtaus normaaliin arvoonsa), vaan tilanne korjattiin kemikaalisyöttöä kasvattamalla. Mikäli vuoto olisi ollut todellinen, olisi se siis voinut jatkua aina siihen saakka, kunnes fosfaattipitoisuuden huojuntaan olisi kiinnitetty huomiota tai vuoto olisi kasvanut niin suureksi, että se olisi havaittu esim. syöttövesi-höyryvirtauseron kasvamisena.

5.5 Yhteenveto vuodonvalvontajärjestelmistä

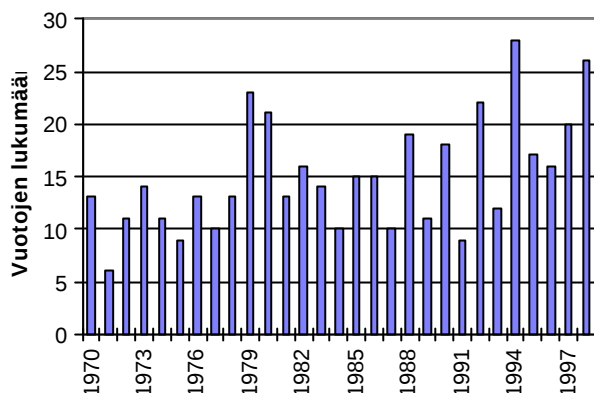
Kaupallisesti saatavilla olevia vuodonvalvontajärjestelmiä on nykyisellään käytössä noin 50:ssä kattilassa. Yleisimmin käytettyjä ovat akustisen emission seurantaan perustuvat järjestelmät, joista Triple 5:n järjestelmä on käytössä tietyvästi 16:ssa ja Acutestin järjestelmä 13:ssa kattilassa. Massa- ja kemikaalitaseiden seurantaan perustuvista järjestelmistä yleisin on Recovery Boiler Advisor, joka on käytössä 10:ssä kattilassa. Muita käytössä olevia järjestelmiä ovat RBLI, joka on käytössä kuudessa kattilassa, ja LeakTrac, joka on käytössä kolmessa kattilassa.

Tällä hetkellä on Pohjois-Amerikassa käytössä noin 300 kattilaa, joten vuodonvalvontajärjestelmiä on vain hieman yli 10 % kattiloista. Suomessa vuodonvalvontajärjestelmät ovat käytössä 8:ssa kattilassa, joten järjestelmiä käyttö on Suomessa huomattavasti yleisempää kuin Pohjois-Amerikassa.

Ensimmäiset vuodonvalvontajärjestelmien asennukset tehtiin soodakattiloihin 1990-luvun alussa, joten eri järjestelmistä on nyt käytettävissä käyttökokemuksia yhteensä noin 200 käyttövuoden ajalta. BLRBAC:n tilastojen mukaan (kuva 24) Pohjois-Amerikan soodakattiloissa tapahtuu vuodessa keskimäärin 15 vuotoa, joissa vettä pääsee tulipesään. Vuotoja tapahtuu siis keskimäärin noin kerran 20:ssä käyttövuodessa. Kattiloilla, joilla on käytössä vuodonvalvontajärjestelmät, olisi näiden tilastojen perusteella pitänyt tapahtua noin 10 vuotoa, jossa vettä pääsee tulipesään.

Vuodonvalvontajärjestelmien toimittajilta saatujen tietojen ja Soodakattilayhdistyksen keräämien vaurioraporttien mukaan kattiloilla, joilla on ollut käytössä jokin selvityksessä esitellyistä vuodonvalvontajärjestelmistä, on ollut yhteensä kuusi vuotoa, joissa vettä on päässyt tulipesään. Suomessa tällainen vuoto tapahtui Kaskisissa verhoputkessa 2000. Yhdysvalloissa vuotoja on ollut kaksi Triple 5:n järjestelmiä käyttävissä kattiloissa (yksi tulipesän yläosassa ja yksi verhoputkessa), yksi Nalcon järjestelmää käyttävässä kattilassa (vuoto tulipesän seinäputkessa) ja yksi Alertin järjestelmää (Recovery Boiler Advisor) käyttävässä kattilassa (vuoto tulipesän seinäputkessa). Vuodonvalvontajärjestelmien toimittajien raportoitujen vaarallisten vuotojen lukumäärä on alhaisempi kuin mitä käyttökokemusten perusteella olisi voitu odottaa, joten on

luultavaa, että osaa vuodoista ei ole raportoitu (näin onkin ainakin Alertin osalta, joka ei raportoinut vaurioita, joita järjestelmä ei havainnut).



Kuva 24. BLRBAC:n tilastoimat vuodot höyrystimessä (tulipesän putkistossa, verhoputkistossa tai keittoputkistossa), joissa vettä on päässyt tulipesään.

Järjestelmien toimittajien mukaan massa- ja kemikaalitaseen seurannan perusteella voidaan havaita ja paikallistaa vuodot, jotka ovat höyrystimessä ja joiden koko on 0.1 - 0.3 kg/s. Kokemuksia näiden järjestelmien toiminnasta tilanteissa, joissa vuodon seurauksena kattilaan pääsee vettä, on hyvin niukasti, joten järjestelmien toimintakykyä ei voida pitää täysin toteennäytettynä. Selvityksen yhteydessä tehtyjen kokeiden tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että em. tunnistustarkkuuden saavuttaminen on mahdollista, mutta ei yksinomaan nykyisten mittausten avulla, kuten Recovery Boiler Advisor-järjestelmässä pyritään tekemään, vaan käytössä tulee olla jatkuvatoimisia ja luotettavia analyysejä, jotka mittaavat esimerkiksi fosfaatti- tai silikaattipitoisuutta ulospuhallusvedestä. Nykyisellään tällaisia analyysejä on käytössä tietyillä ainoastaan yhdellä kattilalla Suomessa.

Varsinaisten käyttökokemusten niukkuuden takia korostuu massa- ja kemikaalitaseen seurantaan perustuvien järjestelmien (Recovery Boiler Advisor, LeakTrac, RBLI) toimintakyvyn arvioinnissa kokemukset järjestelmille tehdyistä testeistä ja koetuksista. Kattavin testaus on tehty LeakTrac-järjestelmälle, jonka vuodon tunnistuskyky on testattu synnyttämällä kattilaan vuoto erillisen höyrystimeen yhdistetyn testauslinjan kautta. Testaustapa vastannee hyvin todellista vuototilannetta.

RBLI-järjestelmän testaus on tehty kasvattamalla ulospuhallusvirtausta samaan tapaan kuin Oulussa, Raumalla ja Kotkassa tehdyissä testeissä. Tällaisen testauksen mahdollinen ongelma on, että ulospuhallusvesi otetaan lieriöstä läheltä veden pintaa, jossa kemikaalipitoisuudet ovat suurimpia, joten ulospuhallusta kasvattamalla simuloitu vuoto todennäköisesti yliarvioi kattilaveden laimenemisnopeuden. Testaustapa voi siten yliarvioida RBLI-järjestelmän erotuskyvyn höyrystinvuotojen suhteen.

Recovery Boiler Advisor-järjestelmä on testattu käsittelemällä mittausdataa laskennallisesti. Testatessa voidaan esim. virtausmittaustuloksiin lisätä vakiosuuruinen vuotovirtaus, joka järjestelmän tulisi pystyä havaitsemaan. Koestustapa ei luultavasti vastaa täysin todellisuutta, koska kaikkia takaisinkytkentöjä (esim. lieriön pinnan säädön

vaikutuksia) ei ole huomioitu. Asianmukainen testaus edellyttäisi höyrystinvuotojen ja ekonomaisierivuotojen simulointia erillisten ulospuhalluslinjojen kautta.

Akustisen emission seurantaan perustuvien järjestelmien, toimittajina Triple 5 ja Acutest, toimintakyvyn arvioinnin ongelma on, kuten edelläkin, vähäiset kokemukset höyrystinvuodoista. Triple 5:n järjestelmän avulla voitu havaita kaksi tällaista vuotoa eikä tiedossa ole, että kattiloissa olisi ollut vuotoja, joita järjestelmällä ei ole havaittu. Vuotoja tulipesän pohjassa tai sen lähellä ei kuitenkaan ole tiettävästi ollut, joten näiden osalta järjestelmän tehokkuutta ei ole asetettu todelliseen testiin. Niissä kattiloissa, joissa on ollut käytössä Acutestin järjestelmä, on ollut ainoastaan kerran vuoto, josta vettä pääsi tulipesään käytön aikana. Vuoto oli sellaisessa osassa kattilaa (verhoputkessa), jota kuuntelevia mikrofoneja ei ko. kattilalle ollut asennettu, joten järjestelmän toimintaa vaarallisen vesivuodon aikana ei tällöinkään voitu testata.

Nykyisellään Acutestin järjestelmän käyttöä vaarallisten vesivuotojen havainnointiin rajoittaa merkittävästi se, että useimmilla kattiloilla, joissa järjestelmä on käytössä, on antureita asennettu ainoastaan tulipesän pohjaan ja pohjan alla olevaan jakokammioon, kun taas yhdelläkään kattilalla antureita ei ole asennettu kaikkiin seiniin ja verhoputkistoon. Järjestelmän avulla voidaan tällöin kuulla parhaimmillaankin ainoastaan tulipesän pohjan vuodot ja osa seinäputkien vuodoista. Kotkan seinäputkivuodosta, jossa vuoto oli 9 metrin korkeudella pohjasta ja kattilahuoneeseen, saadut kokemukset kuitenkin viittaavat siihen, että pohjan antureilla voidaan havaita vuodot seinäputkista tulipesän alaosan alueella. Käyttökokemuksien puuttuessa ei voida kuitenkaan varmuudella arvioida, kuinka tarkasti anturit erottavat vuodot pohjaputkissa tai kuinka ylös tulipesän seiniä pohjan antureiden kuuntelualue ulottuu.

Akustisen emission valvontaan perustuvien järjestelmien vahvuus muihin vuodonvalvontajärjestelmiin verrattuna on, että niiden avulla voidaan vuotokohta paikantaa kohtuullisen tarkasti tiettyyn osaan kattilaa, mikäli antureita on riittävästi. Lisäksi erityisesti Acutestin järjestelmällä on mahdollista havaita vaurioiden syntyminen jo ennen varsinaisen vuodon syntymistä. Toisaalta puutteena on, että järjestelmien kykyä tunnistaa vuotoja ei voida testata käytön aikana.

6 SUOSITUKSET

Seuraavassa on esitetty joukko parhaita käytäntöjä, jotka ovat jo nykyisin käytössä osassa soodakattiloista tai muualla teollisuudessa, sekä potentiaalisia kehityskohteita, jotka edellyttävät muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin tai kokonaan uuden tekniikan käyttöön ottoa.

Parhaimmat käytännöt

1. Valvomossa tuodaan näytölle aikakeskiarvoistettu vesi- ja höyryvirtausten erotuksen pistearvo ja vuorokausitrendi. Erotuksen laskussa huomioidaan syöttövesi-, ulospuhallus-, nuohoushöyry- ja päähöyryvirtaukset.

Kokemuksien mukaan virtauseron perusteella voidaan havaita alle 1 kg/s suuruiset vuodot, jos mittaukset on esitetty sopivasti keskiarvoistettuina trendeinä. Jos näin ei ole menetelty, havaitsemistarkkuus on selvästi huonompi. Keskiarvoistetut mittaukset ovat käytössä osalla kattiloista.

2. Valvomoon tuodaan hälytykset virtauseron kasvusta sekä kattilaveden johtokyvyn laskusta.

Syöttövesi-höyryero ja kattilaveden johtokyky ovat tärkeimmät useimmilla kattiloilla käytössä olevat, jatkuvatoimiset mittaukset, joiden perusteella kattilavuoto voidaan havaita. Pienessä vuodossa muutokset em. parametreissa tapahtuvat kuitenkin hitaasti, joten muutoksen havaitsemista voidaan helpottaa automaattisilla hälytyksillä. Tarpeettomien hälytysten estämiseksi voi olla tarpeen rajoittaa hälytykset tilanteisiin, joissa esim. syöttöveden laadussa ei ole tapahtunut muutoksia.

3. Kattilan käyttöohjeista erotetaan erikseen häiriöohjeet, jotka laaditaan odotettavissa oleville käyttöhäiriöille, ml. kattilavuodoille. Ohjeissa kuvataan häiriöstä saatavat hälytykset ja muut indikaatiot sekä operaattorin toimenpiteet häiriön syyn tunnistamiseksi ja tilanteen korjaamiseksi. Kullekin häiriölle laaditaan oma ohjeensa.

Nykyisellään soodakattiloilla käytössä olevat häiriöohjeet ovat yleisluontoisia ja sisällöltään suppeita. Ohjeissa on yleensä esim. sanottu, että pikapysäytys ja -tyhjenys tulee tehdä, kun kattilassa on suuri vuoto ja on syytä uskoa, että vettä pääsee tulipesään. Ohjeissa ei kuitenkaan ole selvästi kuvattu, milloin vuoto on iso ja millä perusteella voidaan olettaa vettä pääsevän tulipesään ilman, että vuoto paikannetaan kattilahuoneesta käsin. Ohjeistopuutteet ovat olleetkin yksi syy siihen, että vuototilanteissa paikka yleensä aina pyritään varmentamaan kattilahuoneessa työskennellen, jolloin räjähdyksen sattuessa henkilövahinkoja vaara on suuri.

Yleensä teollisuudessa on havaittu tarkoituksenmukaiseksi laatia eri häiriöille omat yksityiskohtaiset ohjeet ja erottaa ne erilleen muista käyttöohjeista, jolloin ohjeet ovat nopeammin löydettävissä ja niiden käyttö mm. koulutuksessa on helpompaa. Yksityiskohtaisten ohjeiden

oikeellisuutta voidaan myös testata esim. harjoituksissa, jolloin väärät, kattilan tai henkilöturvallisuuden vaarantavat toiminnot voidaan tunnistaa ja karsia ennalta. Samalla voidaan myös tunnistaa esim. sellaiset puutteet kattilan instrumentoinnissa, jotka estävät tai viivästävät korjaavien toimenpiteiden käynnistämisen.

4. Käyttöhenkilöstölle järjestetään kahden - kolmen vuoden välein kertauskoulutus, jossa käydään läpi edellisen koulutuksen jälkeen Suomessa tapahtuneet kattilavuodot ja muualla maailmassa tapahtuneet räjähdykset ja toiminta vastaavissa tilanteissa omalla kattilalla. Samalla arvioidaan tarve järjestelmä- ja ohjeistomuutoksiin.

Muutaman vuoden välein järjestettävässä koulutuksessa voidaan lyhyessä ajassa käydä läpi esim. edellisen koulutuksen jälkeen tapahtuneet kattilavuodot Suomessa ja arvioida niiden pohjalta ohjeisto- ja järjestelmämuutostarpeet omalla kattilalla. Tällä tavoin voidaan varmistaa, että muilla kattiloilla saadut kokemukset hyödynnetään tehokkaasti ja esim. kattilan kunnossapitoa tai vuotojen valvontaa parantavat toimenpiteet toteutetaan viiveettä.

5. Vaurioraporteissa esitetään kattilavuotojen yhteydessä relevanttien mittausten tulokset. Relevantteja mittauksia voivat olla esim. virtausero, kattilaveden johtokyky ja kemikaalipitoisuudet sekä savukaasun TRS-pitoisuus vuodon ajalta.

Tapahtuneiden vuotojen käyttö opetusmateriaalina henkilökunnan koulutuksessa edellyttää, että käytettävissä on yksityiskohtaista materiaalia eri mittauksista vuodon ajalta. Nykyisellään tällaista tietoa ei systemaattisesti kerätä, jolloin tietojen tallentuminen on yksittäisten henkilöiden aktiivisuuden varassa eivätkä tiedot välttämättä siirry tehtaalta toiselle.

Selvityksen yhteydessä tehtyjen kokeiden perusteella kattilaveden johtokyky ja kemikaalipitoisuudet alenevat höyrystinvuodoissa, mutta havaintoa ei voitu varmentaa, koska vaurioilmoituksissa ei nykyisellään edellytetä em. suureiden raportointia. On myös esitetty, että veden ja sulan kohtaamisen seurauksena savukaasujen TRS-pitoisuus nousee. Tätäkään oletusta ei voitu raportoinnin puutteellisuuden vuoksi todentaa.

6. Kattilavuotojen valvonnassa käytettyjen mittausten trendit kootaan yhteen tai kahteen kuvaan valvomon näytöllä. Valvonnassa käytettyjä mittauksia voivat olla esim. syöttövesivirtaus, höyryvirtaus, lieriön pinta, kattilan paine, tulipesän paine, savukaasupuhaltimien kierrosluku ja kattilaveden sähkönjohtavuus.

Suurissa vuodoissa kattilan automaatiojärjestelmä tuottaa helposti niin paljon hälytyksiä, että häiriön syyn selvittäminen ja korjaavista toimenpiteistä päättäminen hälytysten perusteella ei ole mahdollista. Esimerkiksi Vallvikin vuodossa valvomoon tulostui ensimmäisen 15 minuutin aikana 432 hälytystä. Häiriön syy on tällöin tunnistettavissa helpommin jatkuvatoimisten mittausten perusteella, erityisesti jos

mittaukset on ryhmitelty näyttöihin valmiiksi niin, että relevanttien mittausten vertailu on helppoa.

Potentiaaliset kehityskohteet ja toimenpiteet

1. Kattiloilla otetaan käyttöön kattilaveden kemikaalipitoisuuden ja akustisen emission valvontaan perustuvat järjestelmät, joiden avulla voidaan tunnistaa ja paikantaa jo suhteellisen pienetkin höyrystinvuodot ja erotella, onko vuoto keittoputkistossa vai muussa osassa höyrystintä. Järjestelmät koestetaan määrääjain esim. pohjan tyhjennyslinjaan yhdistetyn ulospuhalluslinjan avulla.

Erilaisista vuodonvalvontajärjestelmistä saatujen kokemusten perusteella jo suhteellisen pienetkin vuodot voidaan tunnistaa sekä kemikaalipitoisuuden että akustisen emission seurantaan perustuvilla järjestelmillä. Käytännössä todennäköisesti parhaimpaan lopputulokseen päästään käyttämällä molempia järjestelmiä, jolloin kemikaalipitoisuuden seurannan perusteella voidaan tunnistaa nekin vuodot, jotka ovat akustista emissiota seuraavien antureiden kuuntelualueen ulkopuolella. Toisaalta kemikaalipitoisuuden muutosten perusteella ei voida erottaa, onko vuoto keittoputkistossa vai muussa osassa höyrystintä, joten vuodon sijainnin määrittämisessä myös akustista emissiota seuraava järjestelmä on tarpeen.

Koska vuototilanteet ovat suhteellisen harvinaisia, tulee järjestelmien kunto ja käyttöhenkilökunnan valmiudet käyttää vuodonvalvontajärjestelmiä varmentaa säännöllisesti tehtävillä koetuksilla.

2. Kattilasuojaan lisätään suojausehto, jonka mukaan suojaus laukeaa, mikäli syöttövesi-höyryvirtausero ylittää ennalta asetetun rajan (useita kiloja sekunnissa).

Suomalaisilla kattiloilla käytäntönä on, että ennen pikapysäytyksen tekemistä vuodon paikka pyritään varmentamaan niin, että "tarpeettomilta" pikapysäytyksiltä vältytään. Käytännön seurauksena on, että kattilahuoneessa työskennellään silloinkin, kun vuoto on tulipesään ja räjähdysvaara on ilmeinen. Viimeisin esimerkki tällaisesta tilanteesta on kuluvan vuoden aikana Kaskisissa tapahtunut vuoto.

Henkilöturvallisuuden varmistamiseksi tulisi pikapysäytys ainakin suurissa vuodoissa, joissa kattilan jouduttaisiin joka tapauksessa ajamaan nopeasti alas, automatisoimaan, jolloin tarve vuodon paikantamiseen poistuu. Vaihtoehtoinen ratkaisu olisi ottaa käyttöön sellaiset vuodonvalvontajärjestelmät, että vuodon paikka voidaan paikantaa valvomosta käsin (ks. ed. suositus).

3. Kattilan käytön valvonnassa otetaan käyttöön mittaus, jolla voidaan tunnistaa tilanteet, joissa palavien kaasujen pitoisuus savukaasuissa on vaarallisen korkea (useita prosentteja).

Nykyisellään savukaasuanalysaattorit ovat suunniteltu lähinnä normaalin käytön valvontaa varten, joten niiden mittaus- tai tulostusalue on riittämätön tilanteisiin, joissa palavien kaasujen pitoisuudet ovat vaarallisen korkeita. Tällainen tilanne voi syntyä suuren kattilavuodon aikana, kuten

mahdollisesti kävi Vallvikissa, tai mikäli palaminen keskeytyy jostakin muusta syystä. Korjaavien toimenpiteiden viiveettömän toteutuksen takaamiseksi olisi ensiarvoisen tärkeää, että operaattori tunnistaa vaaratilanteen ja voi seurata tilanteen kehittymistä suoraan tilanteen vaarallisuutta kuvaavien mittausten perusteella. Kaasuräjähdyksien kannalta kaikkein relevanteimmat mittaukset ovat juuri palavien kaasujen (vety, hiilimonoksidi) ja hapen pitoisuudet. Ainakin hiilimonoksidille sopivia mittareita on saatavissa likimain samaan hintaan kuin nykyisin käytetyt.

7 YHTEENVETO

Tulipesäräjähdysten luotettava ehkäisy edellyttää, että vuodot kattilassa tunnistetaan varhain ja että vuodon koko ja sijainti voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella, jotta päätös pikapysäytyksestä ja -tyhjennyksestä voidaan tehdä perustellusti.

Kattilavuodot ovat useimmiten sellaisissa osissa kattilaa (ekonomaisierissa tai tulistimessa), että ne voidaan suhteellisen helposti ja vaaratta havaita kattilahuoneesta käsin vuotoäänien tai tuhkan kosteuden perusteella. Vaaralliset vuodot tulipesän putkissa tai verhoputkissa ovat sen sijaan huomattavasti vaikeammin havaittavissa kattilahuonekierroksilla, joten erityisesti näiden vuotojen havaitsemista voidaan merkittävästi helpottaa saatavilla olevilla, massa- ja kemikaalitaseen tai akustisen emission seurantaan perustuvilla vuodonvalvontajärjestelmillä.

Ideaalitalanteessa käytössä on sekä massa- ja kemikaalitaseen että akustisen emission seurantaan perustuvat järjestelmät, jolloin kemikaalitaseen perusteella voidaan määrittää, onko vuoto höyrystimessä vai muussa osassa kattilaa ja akustisen emission seurannan perusteella paikantaa vuoto esim. keittoputkistoon, jolloin pikapysäytys ei välttämättä ole tarpeen, tai pohjaputkistoon, jolloin pikapysäytys on välttämätön. Myös vuodon koon arvioinnissa em. järjestelmät toimivat toisiaan tukien: vuodon koko voidaan arvioida massa- ja kemikaalitaseen seurantaan perustuvilla järjestelmillä, kun taas akustisen emission seurantaan perustuvalla järjestelmällä voidaan seurata vuodon kehittymistä reaaliaikaisesti ja mahdollisesti havaita vauriot jo ennen varsinaisen vuodon syntymistä.

Kaupallisesti saatavilla oleville, massa- ja kemikaalitaseen seurantaan perustuville järjestelmille vaihtoehtona on vastaavan järjestelmän rakentaminen nykyisten mittausten, erikseen hankittavissa olevien analysaattoreiden ja kattilan automaatiojärjestelmän avulla. Tällaisen tee se itse-järjestelmän etuna on, että vuodonvalvonta voidaan toteuttaa jo käytössä olevan automaatiojärjestelmän avulla ilman erillistä tietokonetta ja näyttöä. Haittapuolena puolestaan on, että erityisesti järjestelmän kehitys- ja käyttöönottovaihe edellyttää huomattavaa panosta käyttöhenkilökunnalta.

Massa- ja kemikaalitaseen seurantaan perustuvien järjestelmien toimintakyky on testattavissa käytön aikana laskemalla vettä esim. pohjan vesityslinjaan yhdistetyn koestuslinjan kautta. Toimintakyvyn varmistamisen ohella voidaan määräaikailla koetuksilla ylläpitää kattilan käyttöhenkilöstön valmiuksia järjestelmien käyttöön ja vuotojen tunnistukseen. Ottaen huomioon, että vuodonvalvontajärjestelmiä tarvitaan todellisuudessa hyvin harvoin¹, voidaan määräaikailla koetuksia pitää välttämättömänä käyttöhenkilöstön valmiuksien ylläpidon kannalta.

Vuodonvalvontajärjestelmien toimittajien mukaan järjestelmien avulla voidaan havaita vuodot, jotka ovat luokkaa 0.1 - 0.3 kg/s. Selvityksen yhteydessä tehtyjen testien ja järjestelmistä saatujen käyttökokemusten perusteella voidaan em. arviota järjestelmien kyvystä tunnistaa vuodot pitää realistisena. Järjestelmien avulla voidaan siten havaita vuodot, jotka aiheutuvat jo suhteellisen pienistä säröistä, joissa vuotoala vastaa reikää, jonka halkaisija on alle 0.5 mm. Mikäli vuodot voidaan korjata ajoissa ennen kuin ne

¹ BLRBAC:n tilastojen mukaan vuotoja, joissa vettä pääsee tulipesään, on keskimäärin kerran 20:ssä käyttövuodessa.

kasuvat suuriksi tai aiheuttavat vaurioita ympäröivissä putkissa, voidaan suurten vuotojen ehkäisyä varmentaa merkittävästi.

Vuodonvalvontajärjestelmien avulla ei sen sijaan voida ehkäistä äkillisiä vuotoja, jotka aiheutuvat esim. kamien putoamisesta, kuten tapahtui Kaskisessa syksyllä 2000, tai putkistojen tukkeutumisesta magnetiitin irrotessa putkiston pinnoilta, kuten tapahtui Äänekoskella 1965.

Nykyisellään erityisesti suurissa kattiloissa vuoto voi olla huomattavan iso, useita kiloja sekunnissa, ennen kuin kattilan automaattinen suojausjärjestelmä laukaisee pikapysäytyksen. Normaali käytäntö tällä hetkellä on, että vuotopaikka pyritään varmistamaan suurissakin vuodoissa ennen pikapysäytyksen ja -tyhjennyksen tekemistä, joten mikäli vuodosta seuraa tulipesäräjähdys, on henkilövahinkojen vaara ilmeinen. Henkilöturvallisuuden varmentaminen edellyttäisi joko ohjeistuksen ja käytännön muuttamista niin, että suurissa vuodoissa pikapysäytys ja -tyhjennys tehdään - käsin tai automatiikan ohjaamana - ilman vuotopaikan varmentamista tai että käyttöön otetaan vuodonvalvontajärjestelmät, joilla vuodon paikka voidaan selvittää valvomosta käsin.

LIITE 1. KATTILOILLE LÄHETETTY KYSELY

Tehdas: _____

Kattilan tunnus (nro): _____ Käyttöönottovuosi: _____

Kapasiteetti (tka/d): _____ Valmistaja: _____

VUODON VALVONTA

Kattilavuotojen valvonnassa käytetyt mittaukset ja järjestelmät ovat (rasti ruutuun):

	JATKUVA VALVONTA*	VALVONTA MÄÄRÄAJAIN**	EI VALVONTA
syöttövesi-höyryvirtausero			
lieriön pinta			
tulipesän paine			
kattilaveden pH			
kattilaveden sähkönjohtavuus			
akustiset mittaukset tulipesän pohjamateriaalissa			
akustiset mittaukset tulipesän seinämateriaalissa			
akustiset mittaukset kaasutilassa			
tulipesäkamerat			

* jatkuva valvonta = näyttö valvomossa

** valvonta määräajoin = määrävälein tehtävän näytteenoton, kierrosten tms. yhteydessä

jokin muu menetelmä tai järjestelmä (ja sen toimittaja) ? _____

Kuinka monta kiloa sekunnissa vuodon on oltava, jotta se havaitaan syöttövesi-
höyryvirtauseron perusteella ?

Kuinka monta kiloa sekunnissa vuodon on oltava, että se voidaan havaita jollakin muulla
jatkuvasti käytettävissä olevalla menetelmällä, ja mikä on tämä menetelmä ?

Onko valvomossa näkyvissä syöttövesi-höyryvirtausero, jossa mittauskohina on
suodatettu pois ?

Kuinka pitkän ajan syöttövesi-höyryvirtauserotrendit ovat seurattavissa ?

HÄLYTYKSET

Kattilavuotojen aikaisten vaaratilanteiden havaitsemiseksi on käytössä seuraavat valvomohälytykset (rasti ruutuun, jos ko. hälytys on käytössä):

	ÄÄNI*	VILKKU*	ILMOITUS NÄYTÖLL E	Luku- määrä**
syöttövesi-höyryvirtausero > hälytysraja				
lieriön pinta < hälytysraja				
lieriön pinta > hälytysraja				
lieriön eri pintamittausten ero > hälytysraja				
tulipesän paine > hälytysraja				
CO:n pitoisuus savukaasuissa > hälytysraja				
H ₂ :n pitoisuus savukaasuissa > hälytysraja				
TRS:n pitoisuus savukaasuissa > hälytysraja				
hapen pitoisuus savukaasuissa > hälytysraja				
kattilapaine < hälytysraja				

* poisto edellyttää operaattorin kuittausta

** ko. mittauksista käytössä olevien hälytysten lukumäärä (esim. erilaisten hälytysrajojen ja mittausten yhteenlaskettu lukumäärä)

muut vuotojen valvonnassa käytetyt hälytykset ? _____

SUOJAUKSET JA OHJEISTUS

Rastitetaan suojaukset (lukitukset), jotka ko. kattilalla ovat käytössä erityisesti kattilavuotojen varalle:

syöttövesi-höyryvirtausero > suojausraja	
lieriön pinta < suojausraja	
lieriön pinta > suojausraja	
tulipesän paine > suojausraja	
kattilan paineen laskunopeus > suojausraja	

jokin muu ? _____

Onko kattilassa ollut vuotoja, joissa em. suojaukset ovat laenneet ? Milloin, kuinka suuria ja missä osassa kattilaa ?

Onko kattilassa ollut suurehkoja vuotoja, joissa em. suojaukset eivät ole laenneet ? Milloin, kuinka suuria ja missä osassa kattilaa ?

Onko kattilassa ollut pieniä vuotoja, joissa em. suojaukset eivät ole laenneet ? Milloin, kuinka suuria ja missä osassa kattilaa ?

Vastaa seuraaviin kysymyksiin tietämyksesi mukaan. Jos kysymyksessä viitataan ohjeisiin ja ohjeita ei ole käytettävissä, vastaa kysymyksiin sen perusteella, miten asioiden mielestäsi tulisi olla ohjeissa.

	KYLLÄ	EI
Onko henkilökunnalla käytettävissä kirjalliset ohjeet kattilavuodoista ?		
Onko ohjeissa huomioitu ko. kattilan erikoispiirteet (kapasiteetti, virtaukset, puhaltimien määrä ja sijoittelu, käytettävissä olevat mittaukset, jne.) ?		
Onko käyttöhenkilökunta (kaikki vuorot) käynyt läpi ohjeiden sisällön ja perusteet muutoin kuin itseopiskeluna viimeksi kuluneen kahden vuoden aikana ?		
Onko käyttöhenkilökunta (kaikki vuorot) harjoitelleet vuototilanteiden hallintaa viimeksi kuluneen kolmen vuoden aikana ?		
Onko ohjeita muutettu viimeksi kuluneen neljän vuoden aikana ?		
Onko ohjeissa mainittu, että suuressa vuodossa tulee suorittaa pikapysäytys, vaikka vuodon paikkaa ei varmuudella tiedettäisikään ?		
Jos on, niin onko ohjeissa kuvattu tarkasti, mitä tarkoittaa ”suuri vuoto” ?		
Onko ohjeissa nimetty mittausta, jonka perusteella ”suuri vuoto” tunnistetaan ?		
Onko ohjeissa mainittu, että mikäli tulipesään havaitaan pääsevän vettä, pikapysäytys on tehtävä välittömästi ?		
Saako ohjeiden mukaan kattilahuoneessa työskennellä ilman erityistä lupaa silloin, kun kattilassa on todettu suuri vuoto, mutta vuotopaikkaa ei tiedetä ?		
Saako ohjeiden mukaan kattilahuoneessa työskennellä silloin, kun vuoto on havaittu ja sen paikaksi epäillään tulipesän pohjaa ?		
Onko ohjeissa annettu toimintaohjeet tilanteeseen, jossa kaikki paloilma- tai savukaasupuhaltimet pysähtyvät kattilavuodon aikana ?		
Kehotetaanko ohjeissa seuraamaan palokaasujen (CO, H ₂ ja/tai TRS) ja hapen pitoisuuksia savukaasuissa kattilavuodon aikana ?		
Onko ohjeissa kuvattu, miten tulee toimia jos sekä palokaasujen (CO, H ₂ , TRS) että hapen pitoisuudet savukaasuissa ovat korkeita kattilavuodon aikana ?		
Onko ohjeissa kuvattu, milloin palokaasujen (CO, H ₂ ja TRS) ja hapen pitoisuudet ovat vaarallisen korkeita ?		

Muu kattilavuotojen valvontaa, hälytyksiä, suojausta tai ohjeistusta koskeva palaute:

Vastaaja: _____

Puh.nro: _____

LIITE 2 SUOMESSA TAPAHTUNEET KATTILAVUODOT VUONNA 2000

Selvityksen teon aikana tapahtui Suomessa kaksi kattilavuotoa, joissa vuoto aiheutui vauriosta höyrystimessä (tulipesän putkissa, verhoputkissa tai konvektio-osassa) ja vuoto havaittiin käytön aikana. Vuodot tapahtuivat Heinolassa ja Kaskisissa.

Heinolan Fluting tehdas 17.1.2000

Kattilan ollessa maksimikuormalla (poltto 3,2 l/s) tuli kattilan konvektio-osaan suuri vuoto, jonka seurauksena kattilan paine ja lieriön pinta laskivat nopeasti laukaisten pikapysäytyksen. Vuoto paikannettiin konvektio-osaan tuhkasuppilossa ja suolakuljettimella havaitun kosteuden perusteella. Alasajon yhteydessä ei tehty pikatyhjennystä, ilmeisesti koska veden pinta kattilassa ja kattilan paine laskivat voimakkaasti jo muutoinkin.

Vuodon syyksi paljastui repeytynyt keittoputkiston putki. Vaurio oli aiheutunut viereisissä putkissa olleista vuodoista, jotka puolestaan olivat syntyneet hitsausvirheiden seurauksena. Putkivaihdot oli tehty jouluseisokissa ja hitsisaumat oli tarkastettu röntgenillä. Vauriot korjattiin avaamalla ja hitsaamalla vuotavat saumat ja vaihtamalla noin 2 m räjähtänyttä putkea.

Jälkeenpäin todettiin, että syöttöveden syöttö katkaistiin alasajon aikana liian aikaisin, jonka vuoksi oli ilmeinen vaara, että kattila oli kiehunut kuiviin. Mahdollisten vaurioiden toteamiseksi tehtiin seuraavat tarkastukset:

- pohjan vahvuus/särötarkastus
- aukkojen reunaputkien särötarkastus
- seinien silmämääräinen tarkastus
- verhoputkien ja nokan särötarkastus
- näyteputket otettiin pohjasta ja etuseinältä.

Tarkastuksessa havaittiin primääriaukkojen alueella neljä kappaletta ns. kylmiä saumoja, joissa compoud-osuus oli poikki. Edellisessä tarkastuksessa, joka suoritettiin jouluseisokissa, näitä vaurioita ei havaittu.

Osaltaan vaurioiden syntymiseen alasajon aikana vaikutti ilmeisesti se, että vuoto tapahtui keskellä yötä, jolloin käytönvalvojaa ei kutsuttu paikalle, vaan alasajo tehtiin päivystysvuorossa olleen toimihenkilön johtamana.

Heinolassa tapahtuneesta vauriosta ei ole käytettävissä mittaustuloksia vuodon ajalta, koska tulokset eivät Heinolassa tallennu automaattisesti ja paperitulosteet eivät enää vajaa vuosi tapahtuman jälkeen olleet löydettävissä.

Tapahtumasta laaditussa vaurioilmoituksessa on todettu opitun, että vastaavassa tilanteessa tulee vuotopaikka paikallistaa nopeasti ja sen jälkeen päätellä, onko veden pääsy tulipesään mahdollista; ellei ole, tulee syöttöveden ajoa kattilaan jatkaa - vuodosta huolimatta - kunnes tulipesä on jäähtynyt riittävästi.

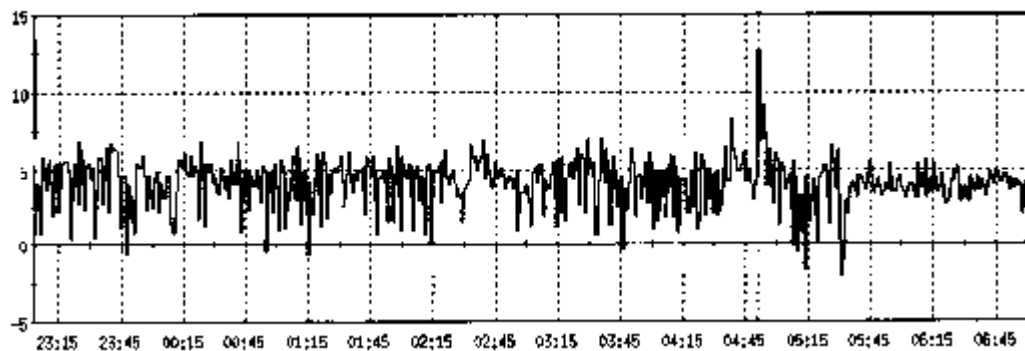
Tiedossa ei ole, millä tavoin Heinolassa valvottiin kattilan veden pintaa sen jälkeen, kun pinta ei ollut enää valvottavissa lieriön pinnanmittauksilla. Heinolassa on kuitenkin käytettävissä kokonaismäärämittaus, jonka perusteella olisi periaatteessa ollut

mahdollista valvoa, että kattilassa on riittävästi vettä ylikuumenemisen estämiseksi ja että syöttöveden syöttö on riittävä. Syöttöveden virtaus olisi siten voitu säätää asianmukaisesti ilman vuodon paikan selvittämistäkin.

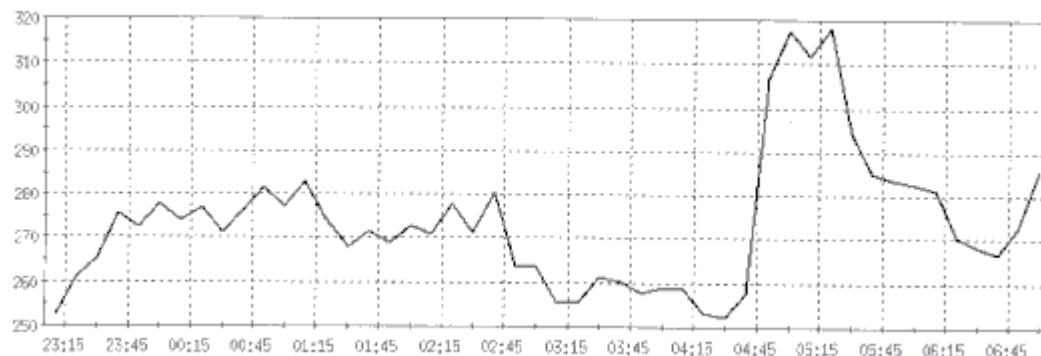
Heinolan tapauksessa voidaan pitää onnekkana sattumana, että vuoto oli keittopinnassa: mikäli vuoto olisikin ollut tulipesässä ja aiheuttanut räjähdyksen, olisivat henkilövahingot olleet hyvinkin mahdollisia, koska työskentelyä kattilahuoneessa jatkettiin vuodon paikantamiseksi.

MetsäBotnia Kaskisen tehdas 18.10.2000

Kaskisissa vuodon aiheutti suuren kamin putoaminen verhoputkien päälle, jolloin yksi putkista repesi 20 cm matkalta. Vaurio tapahtui 18.10 noin klo 4.50. Repeämän seurauksena vettä vuosi tulipesään, joka paineistui hetkellisesti (kuva 1), mutta säätö tasoitti tilanteen suurentamalla savukaasupuhaltimien kierroslukua. Kierrosluvun kasvaessa riittävästi paine-ero puhaltimien yli palautui normaaliksi (kuva 2).



Kuva 1. Tulipesän paine (vesipatsasmm) 17. - 18.10.2000.

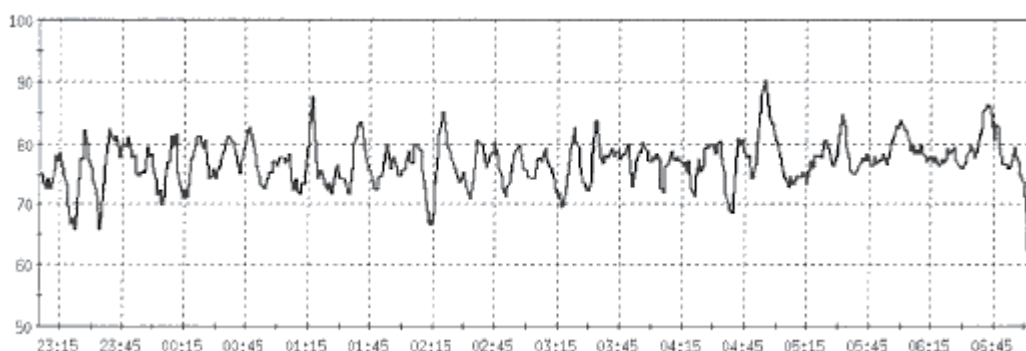


Kuva 2. Paine-ero (vesipatsasmm) savukaasupuhaltimen 4 yli 17. - 18.10.2000.

Vuoto aiheutti myös lieriön pinnan laskun (kuva 3), jonka kompensoimiseksi säätö kasvatti syöttövesivirtausta (kuva 4). Säätö palautti pinnan normaaliksi muuttamassa minuutissa, jonka jälkeen lieriön pinta ja syöttövesivirtaus pysyivät vuodon ajan normaaleina.

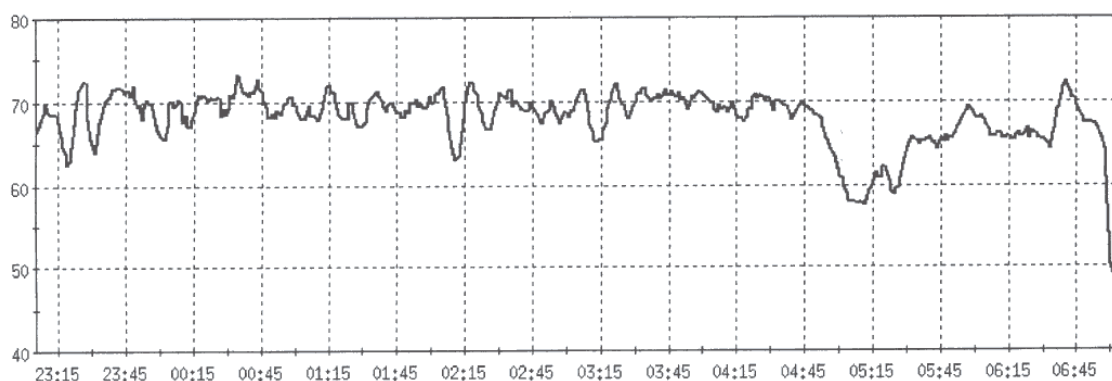


Kuva 3. Lieriön pinta (mm) 17. - 18.10.2000.



Kuva 4. Syöttövesivirtaus (kg/s) 17. - 18.10.2000.

Vuodon vaikutukset ovat nähtävissä selviten höyryvirtauksesta (kuva 5), joka laski huomattavasti. Tämän seurauksena syöttövesi-höyryvirtausero kasvoi noin 5 kg/s normaalia suuremmaksi.



Kuva 5. Tuorehöyryvirtaus (kg/s) 17. - 18.10.2000.

Vuodon aikana ei havaittu muissa kattilan mittauksissa, kuten kattilaveden pH:ssa tai johtokyvyssä, merkittäviä muutoksia, joiden perusteella vuoto olisi voitu varmuudella paikantaa höyrystimeen. Vuodon paikaksi kuitenkin epäiltiin tulistinta, joten keko päätettiin polttaa pois. Vasta kun tulet sammutettiin varmistui vuodon paikka verhoputkistoon.

Mittauksissa höyrystinalueen vuotoon viittaa lähinnä lieriön pinnan lasku vuodon alkamisen seurauksena. Tulistinvuodossa lieriön pinta pyrkii tavallisesti heti vuodon alkuvaiheessa nousemaan, kun höyrypaine vuodon seurauksena laskee.

Kaskisissa vuotovirtaus oli luokkaa 5 kg/s eli noin 6 % syöttövesivirtauksesta. Syöttövesivirtaukseen suhteutettuna vuoto oli siis samaa luokkaa kuin mitä ulospuhallusta kasvatettiin Kotkassa tehdyssä kokeessa. Kotkassa kattilaveden johtokyky puolittui seitsemässä tunnissa, joten olisi voinut odottaa johtokyvyn muutoksen näkyvän myös Kaskisissa. Syynä siihen, miksi ilmeisesti näin ei kuitenkaan ollut, saattoi olla se, että Kaskisissa kattilaveden johtokyky on normaalistikin alhainen, luokkaa 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suhteellisen suuresta ulospuhallusvirtauksesta johtuen. Vuodon aiheuttama lisäys normaaliin ulospuhallukseen verrattuna oli siten luultavasti pienempi kuin Kotkassa. Kattilaveden kemikaalipitoisuuden lasku vuodon aikana ei ollut Kaskisissa todettavissa, koska käytössä ei ole jatkuvatoimisia mittauksia.

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestarip@iv@ 2000, 26.-27.1.2000
Imatran Valtionhotelli/Joutseno Pulp, esitelm@t
16A0913-65, 00-A221-6A/E12
- 2/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Jaakko Pöyry Oy, Pekkanen Markku
Soodakattilassa poltettavat ainevirrat
19.1.2000
16A0913-66, 00-A221-16A/E13
- 3/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Jaakko Pöyry Oy, Jussila Pekka
Savukaasuanalysaattorikartoitus
23.3.2000
16A0913-68, 00-A221-16A/E14
- 4/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta. Vuosikertomus 1999
16A0913-73, 00-A221-16A/E15
20.3.2000
- 5/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
VTT Energia, Paterson McKeough
Rikkiyhdisteiden vapautuminen mustalipeän haihdutuksessa
Kokeet yhdellä mustalipeällä.
16A0913-78, 00-A221-16A/E16
23.3.2000
- 6/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Lehtinen. M, BLRBAC kevätkokous; matkaraportti.
16A0913-82, 00-A221-16A/E17
25.4.2000
- 7/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Vuosikokous 2000, 30.3.Oulu, Pöytäkirja
16A0913-85, 00-A221-16A/E18
- 8/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 2000, 12.10.2000
Sokos Hotel Vantaa, esitelmät
16A0913-99, 00-A221-16A/E19

9/2000 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Merkintäsuositus turvallisuuteen liittyvissä
järjestelmissä
16A0913-103, 00-A221-16A/E20

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

1/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestarip@iv@ 2001, 25.1.2001
Oy Metsä-Botnia Ab Äänekosken tehtaot/
hotelli Alexandra, Jyväskylä; esitelmät
16A0913-110, 00-A221-16A/E21

2/2001 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus
Karjunen, Timo
21.2.2001
16A0913-E0022