

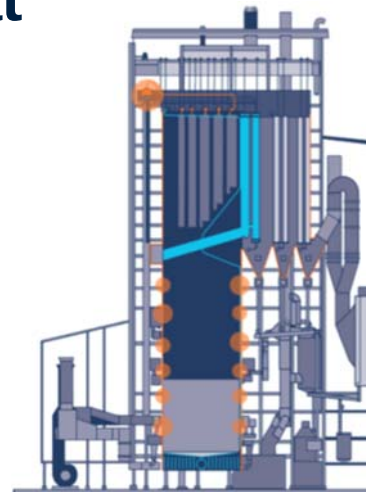


Soodakattiloiden käynninaikaiset tiiveydenvalvontamenetelmät

Timo Karjunen

VARO
TEOLLISUUSPALVELUT

1.2.2017



Soodakattilaräjähdyks Natron Hayatin Maglajin tehtaalla Bosnia-Hertsegovinassa 2016

Räjähdyks tapahtui Götaverkenin vuonna 1979 toimittamassa soodakattilassa, jonka kapasiteetti on 600 tKA/vrk.

Tapahtumat 26.7.2016

- Seinäputki repesi primääri-ilma-aukkojen tasolla (repeämä 32 x 14 mm)
- Kattila alas tulipesän korkeasta paineesta
- Tulipesässä voimakas räjähdys noin 15 min myöhemmin, kaksi kulmaa auki
- Räjähdyshetkellä kattilahuoneessa oli kuusi henkilöä
- Yksi käyttömies kuoli ja viisi loukkaantui saaden lähinnä palovammoja. Loukkaantuneet ovat palanneet töihin.

Kattilan korjaustyöt ovat edelleen käynnissä. Ylösajo tulee olemaan helmikuun lopussa tai maaliskuun alussa.



VARO



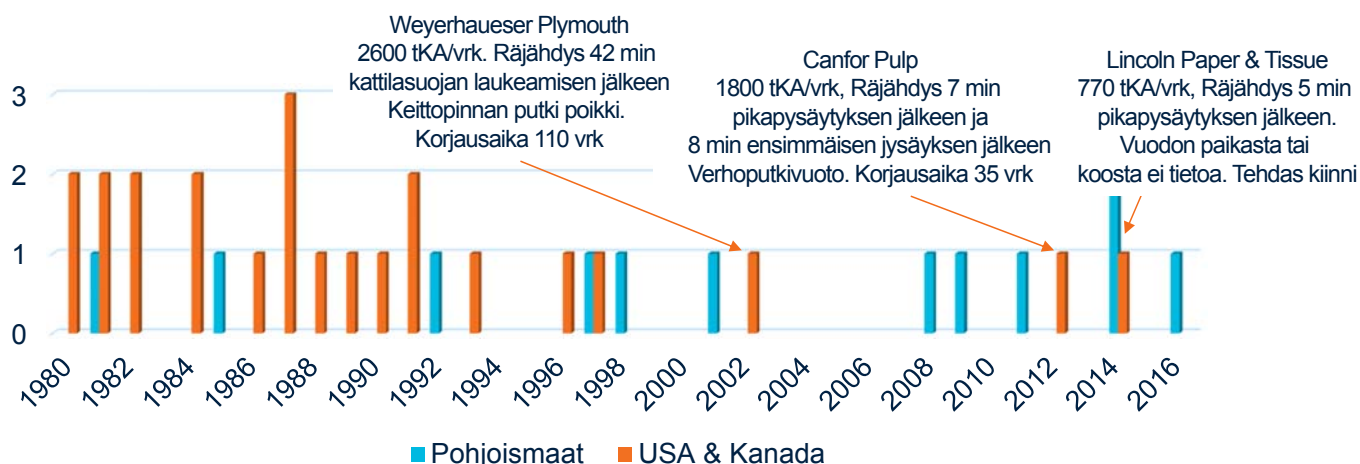


Vesivuotojen aiheuttamat räjähdys 1980 - 2016 Suomen, Ruotsin ja Norjan soodakattiloissa

Vuosi	Tehdas	Vuoto	Vauriot	Seisokki
1981	Oulu	Verhoputki poikki	Etunurkat auki, taipuma seinissä 25 cm	3 kk
1985	Frövi	Vettä pesään lipeäputkiston pesussa	Heikennetty nurkka auki 30 cm	
1992	Tervasaari	Suuri vuoto keittoputkessa	Kaikki neljä nurkkaa auki	7,4 vrk
1997	Östrand	Tulistinputki poikki sähkökatkon aikana		23 vrk
1998	Vallvik	Seinäputki repesi puolen metrin matkalta	Heikennetty nurkka auki 1 m, huomattavaa taipumaa seinissä, pohja putosi paikoiltaan	4 kk
2001	Kotka	Suuri vuoto seinäputkessa	Heikennetty nurkka auki, taipumaa seinissä ja tukipalkeissa	13 vrk
2008	Kemi	Tulistinputki poikki (räjähdys tulistimien vesipesun aikana)	Heikennetty nurkka auki 100 mm	5 vrk
2009	Frövi	Suuri vuoto verhoputkessa	Pientä taipumaa seinissä	8 vrk
2011	Rauma	Suuri vuoto verhoputkessa	Heikennetty nurkka auki, 8 tappia poikki	3,5 vrk
2014	Veitsiluoto	Suuri vuoto kattoputkessa	Heikennetty nurkka auki, 2 tappia poikki	3,5 vrk
2014	Skoghall	Liutinsäiliön hönkäjäjärjestelmän pesuvesi tulvi tulipesään	Heikennetty nurkka auki, taipuma seinissä max 10 cm	18 vrk
2016	Uimaharju	Vettä tulipesään kouruvaurion takia	Ränni irti, sula poltti kaapeleita ja sähkömoottoreita	4 vrk



Veden pääsystä tulipesään aiheutuneet räjähdykset Pohjolassa ja Pohjois-Amerikassa 1980 - 2016



Pohjois-Amerikassa soodakattiloita 2016 190 kpl: räjähdys joka 305. käyttövuosi

Pohjoismaissa soodakattiloita 44 kpl: räjähdys joka 135. käyttövuosi

Pohjoismaissa tapahtui 1980 - 2016 räjähdyksiä kaksi kertaa useammin ja 2000 - 2016 kymmenen kertaa useammin suhteessa kattiloiden lukumäärään

VARO



Kokemukset P-Amerikasta 1970 - 1993

Kattilavuotojen aiheuttamia räjähdyksiä yhteensä 35 kpl

Räjähdykset luokiteltuna vahinkojen mukaan

- Vakavat vahingot 12 kpl
- Kohtalaiset vahingot 11 kpl
- Korkeintaan vähäiset vahingot 12 kpl

Räjähdykset, joissa vahingot olivat vakavia tai kohtalaisia, luokiteltuna ilmoitetun vuodon koon mukaan

- Putki/useita putkia poikki tai halki 20 kpl
 - Repeämä 1,5 – 4 cm² 2 kpl
 - Sentin särö pohjaputkessa 1 kpl
- } 95 %

VARO



Kokemukset P-Amerikasta 1970 - 1993

Pikapysäytyksen ja –tyhjennyksen käyttö

– Pikapysäytys ja pikatyhjennys	23 kpl (66%)	Vauriot vakavia 22 %
– Ei pikapysäytystä ja pikatyhjennystä	12 kpl (33 %)	50 %

Pikatyhjennyksen käyttö räjähdystapauksissa

– Pikatyhjennys max 10 min vuodon alun jälkeen	18 kpl
– Pikatyhjennys 11 – 25 min vuodon alun jälkeen	3 kpl
– Pikatyhjennys 40 - 70 min vuodon alun jälkeen	2 kpl

Räjähdykset luokiteltuna räjähdysten tapahtuma-ajan mukaan

– Korkeintaan 27 min pikatyhjennyksen alun jälkeen	21 kpl
– 89 ja 195 min pikatyhjennyksen alun jälkeen	2 kpl

(särövuodot pohja- tai seinäputkessa vesipinnan alla)

VARO



Kokemukset Suomesta 2000 - 2016

Kattilan alasajotapa normaalin käynnin aikaisissa vuodoissa (12 kpl), joissa vettä pääsi tai saattoi päästä tulipesään (vuoto tulipesässä, verhoissa tai keittopinnassa)

– Normaali alasajo (ilman kattilasuojan laukeamista)	8 kpl (66 %)
– Kattilasuojan aiheuttama nopea alasajo	2 kpl (17 %)
– Pikapysäytys	4 kpl (33 %)
– Pikapysäytys ja pikatyhjennys	1 kpl (8 %)

Pikapysäytyksen ja –tyhjennyksen käyttö normaalin käynnin aikaisissa vuodoissa (8 kpl), joissa vettä pääsi varmasti tulipesään (vuoto tulipesässä tai verhoissa)

– Normaali alasajo	4 kpl (50 %)
– Kattilasuoja + pikapysäytys	2 kpl (25 %)
– Pikapysäytys (ei kattilasuojaa)	1 kpl (12 %)
– Pikapysäytys ja pikatyhjennys (ei kattilasuojaa)	1 kpl (12 %)

Pikatyhjennys tehtiin ainoastaan Kaukaan vuodossa 2006, ja sielläkin vasta 30 min vuodon alun jälkeen.

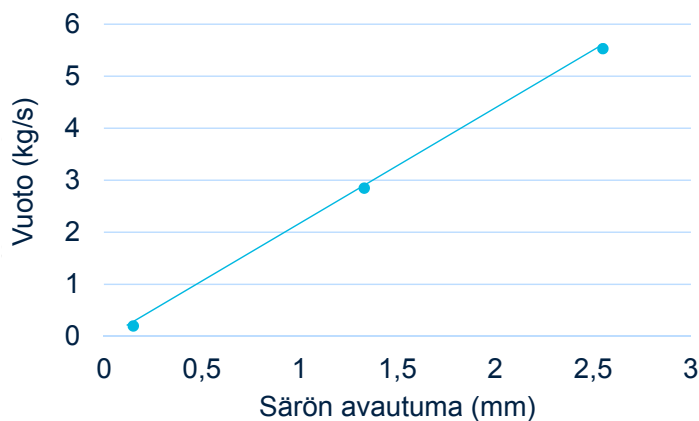
VARO



Särön aiheuttama vuoto

HDR-koe, Saksa

Putken halkaisija (mm)	88,9
Seinämän paksuus (mm)	5,6
Materiaali	1.4571
Paine (bar)	105
Särön pituus (mm)	100



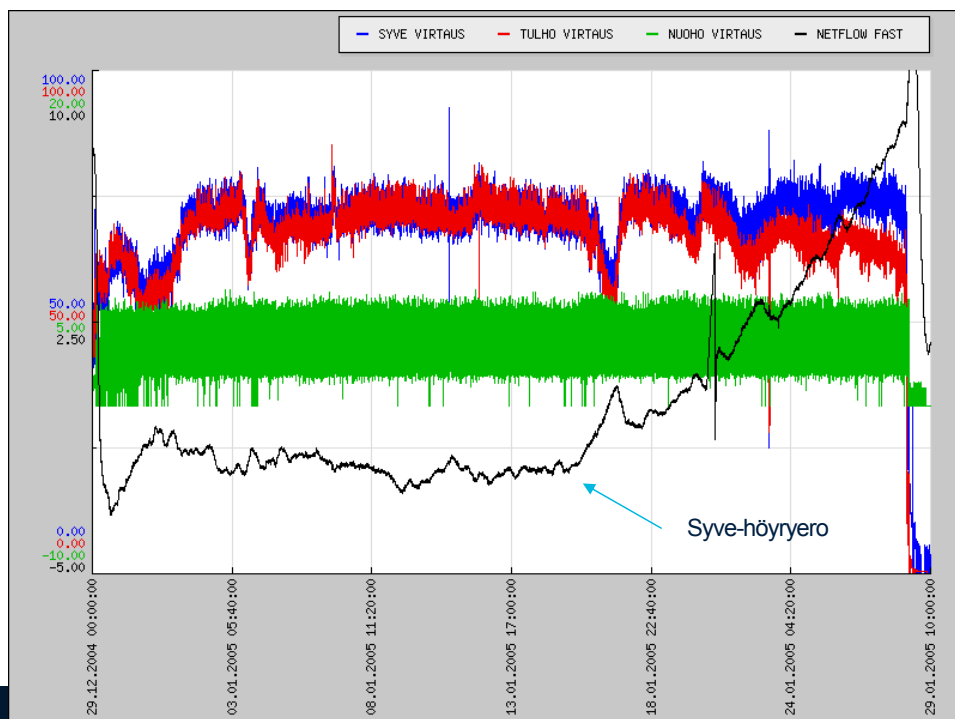
Vuoto $\approx 0,2$ kg/s kun särö on kiinni

Vuoto kasvaa särön avautuessa useisiin kiloihin sekunnissa

VARO



Suomalainen soodakattila 2005: ekonomaiserivuoto



Vuodon kehitys

16.1. 1,1 kg/s

18. – 24.1. +0,8 kg/s/vrk

24. – 27.1. +1,1 kg/s/vrk

Vuoto ennen alasajoa
noin 9 kg/s

Vuotoja kaksi kappaletta,
molemmat Eko III
yläkokoojakammion
lähellä

VARO



Suomalainen soodakattila: verhoputkivuoto

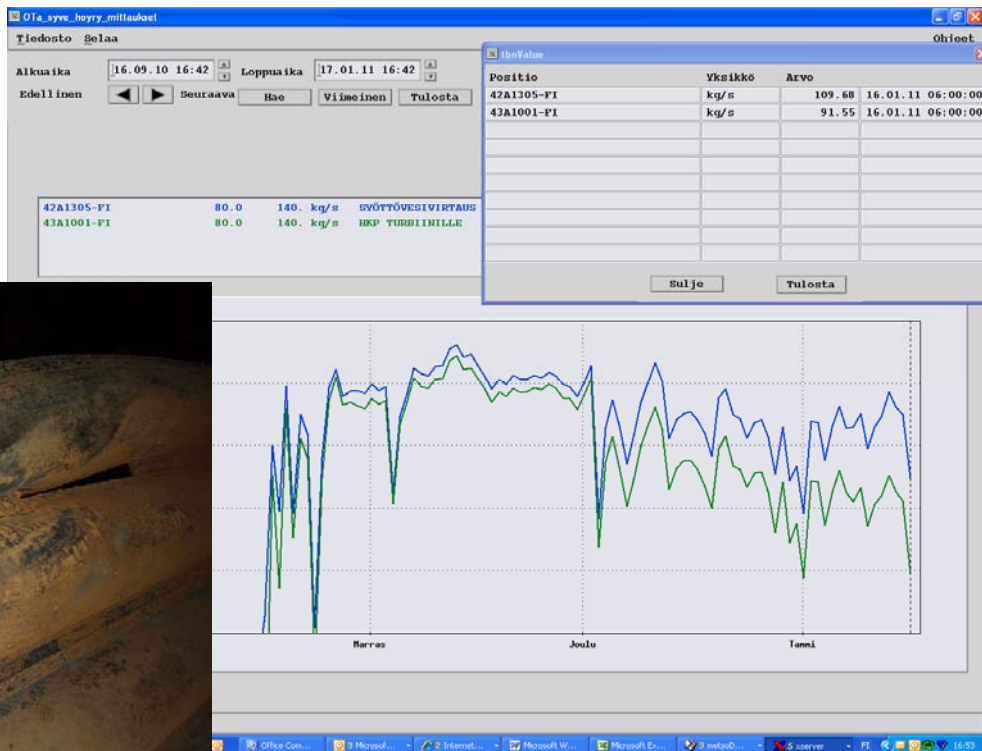
Vuodon kehitys

5.12. ≈ 4 kg/s

5.12. – 16.1. $+0,35$ kg/s/vrk

Vuoto ennen alasajoa 16.1.

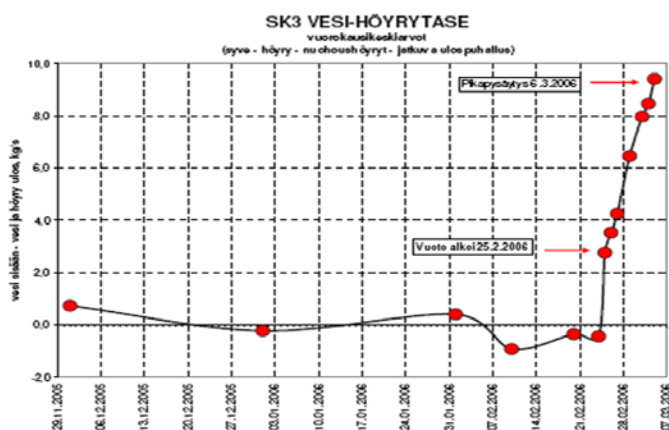
noin $15,6$ kg/s



VARO



Suomalainen soodakattila: seinäputkivuoto



Vuodon kehitys

25.2 ≈ 3 kg/s

25.2. – 6.3. $+0,7$ kg/s/vrk

Vuoto ennen repeämistä ≈ 9 kg/s

Repeämisen jälkeen synevirtaus kasvoi > 40 kg/s



VARO



Aasialainen soodakattila 2014: seinäputkivuoto

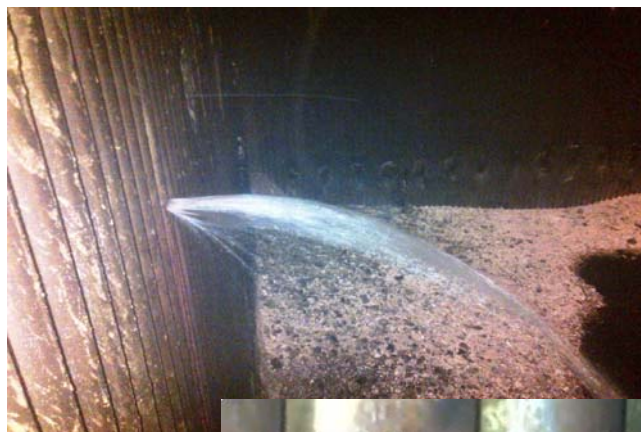
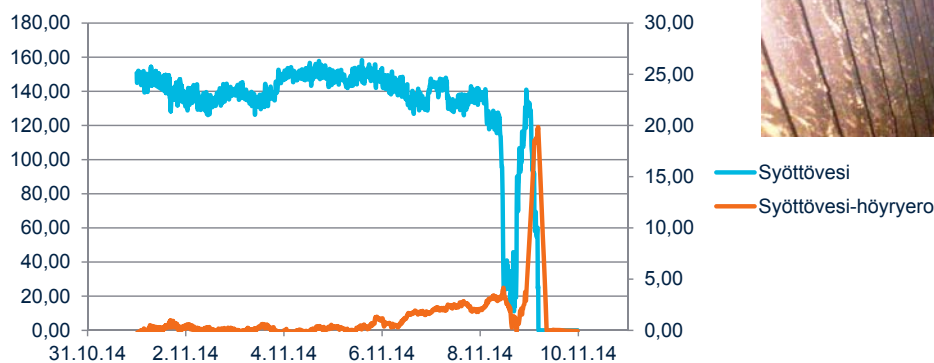
Vuodon kehitys

6.11. 1,5 kg/s

6.–8.11. +0,9 kg/s/vrk

Vuoto ennen putken repeämistä noin 3,3 kg/s

Repeämisen jälkeen noin 20 kg/s



14.11.2017

VARO



Kokemukset kattilavuodoista

- Useimmat kattilavuodot alkavat särön aiheuttamana pienenä vuotona niin että vuodon koko alussa on 1 – 4 kg/s
- Vuoto kasvaa 0,3 – 1 kg/s vuorokaudessa, joten pienestä vuodosta voi tulla iso vuoto jo muutamien päivien kuluessa
- Seinäputken repeäminen on mahdollista, kun vuoto > 3 kg/s ja odotettavissa, jos vuoto on > 9 kg/s ja vuoto on seinäputkessa

⇒ Kattilan tiiveyttä tulee valvoa niin, että

- vuoto havaitaan (viimeistään) kun se on > 1 kg/s
- päätös alasajosta ehditään tehdä ja toteuttaa kun vuodon alusta on kulunut korkeintaan 2 vrk ja kun vuoto on vielä alle 3 kg/s

14.11.2017

VARO



Vuodonvalvontamenetelmät

Menetelmä	Toimittajat	Tarkkuus	Käyttäjät Suomessa
Syöttövesi-höyryero	Automaatio-toimittajat	Vaihtelee toteutustavan ja toimittajan mukaan, parhaimmillaan erinomainen (hälytys kun vuoto on 0,5 – 1 kg/s alle 8 tunnissa)	Käytössä lähes kaikissa kattiloissa 6:ssa tarkkuus erinomainen
Kattilaveden laadun valvonta		Kohtalainen (vuoto voidaan havaita PO ₄ :n laskun perusteella 24 – 48 tunnissa, kun vuoto on 1 – 2 kg/s)	Oulu, Wisa
Kemikaalitase	Valmet, Nalco, Solenis	Parhaimmillaan erinomainen (hälytys alle 8 tunnissa kun kattilaveden vuoto on 0,5 – 1 kg/s)	Veitsiluoto, Rauma, Joutseno, Kaukas
Akustinen emissio	Lukuisia, mm. Andritz	Vaihtelee antureiden sijoituspaikkojen ja lukumäärän mukaan, parhaimmillaan erinomainen niissä osissa kattilaa, joissa antureita on tarpeeksi	Ei käytössä

VARO



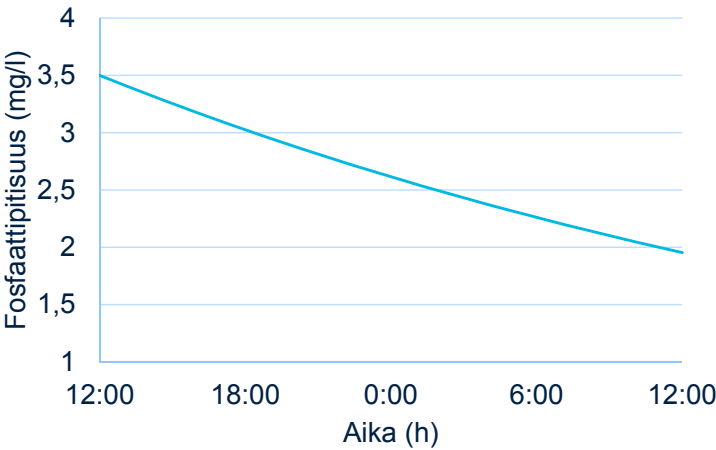
Kattilavesivuodon tunnistus kattilaveden laimenemisen perusteella

Fosfaatin annostelu ja ulospuhallus säädetään niin, että PO₄ pysyy normaalisti esim. alueella 3 - 4 mg/l

Jos PO₄ laskee alle 2 mg/l, automaatiojärjestelmä hälyttää valvomossa ja labra tekee ilmoituksen

Esimerkki:

Kattilaan tulee perjantaina klo 12 vuoto, jonka suuruus on 1 kg/s, kun PO₄ on 3,5 mg/l.
Jatkuva seuranta tekee hälytyksen vuorokauden ja labra kolmen vuorokauden kuluttua



VARO



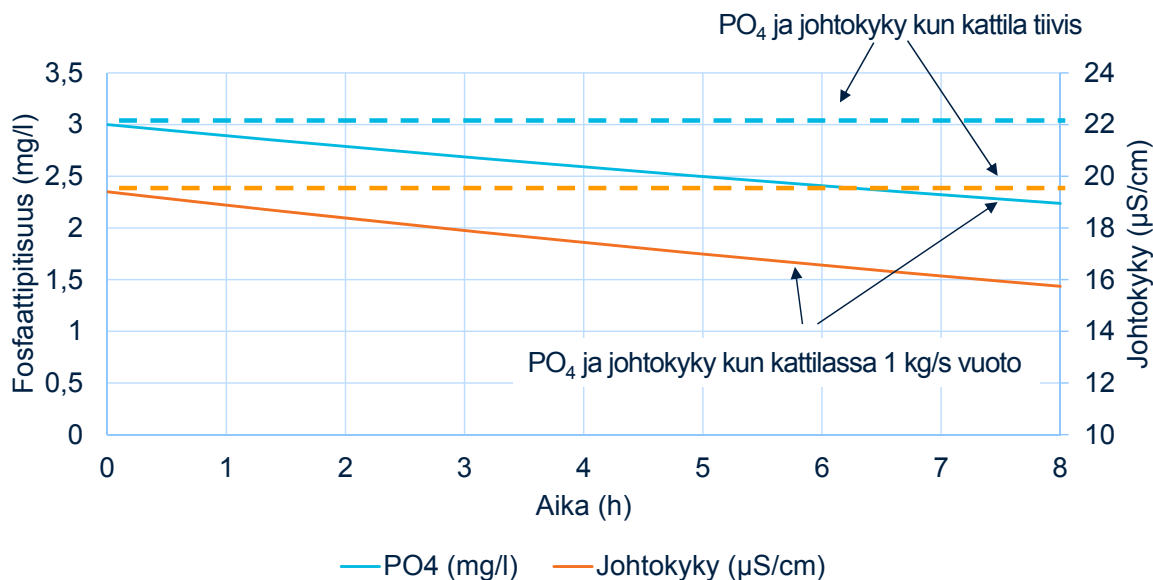
Käynninaikainen tiiveyskoe

- Toteutus kattiloissa, joissa kattilaveden pH säädetään fosfaatilla
 - Suljetaan ulospuhalluksen säätöventtiili
 - Lopetetaan fosfaatin annostelu
 - Seurataan kattilaveden johtokykyä ja/tai fosfaattipitoisuutta 2 – 8 tuntia
 - Avataan ulospuhalluslinjan säätöventtiili ja aloitetaan fosfaatin annostelu
- Toteutus kattiloissa, joissa kattilaveden pH säädetään haihtuvilla amiineilla (Äänekoski ja Sunila)
 - Suljetaan ulospuhalluksen säätöventtiili
 - Annostellaan kattilaveteen annos väkevää lipeää niin, että kattilaveden $\text{pH} \approx 10$ ja johtokyky $\approx 20 \mu\text{S/cm}$ (natriumpitoisuus $\approx 2 \text{ mg/l}$)
 - Seurataan kattilaveden johtokykyä 2 – 8 tuntia
 - Avataan ulospuhalluslinjan säätöventtiili

VARO



Käynninaikaisen tiiveyskokeen tulokset



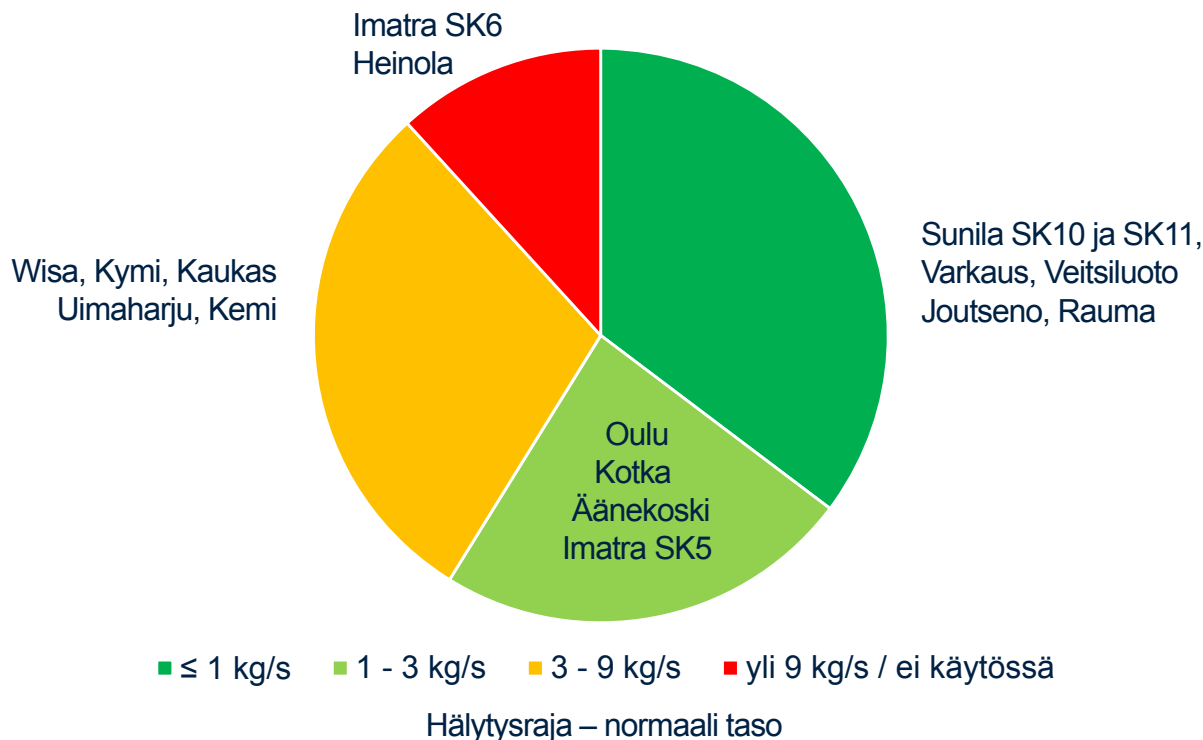
Kattilaveden johtokyky alussa 19,4 $\mu\text{S/cm}$, 4 h jälkeen 17,5 $\mu\text{S/cm}$ ja 8 h jälkeen 15,7 $\mu\text{S/cm}$ kun vuoto on 1 kg/s ja höyrystimen koko on 200 m³.

Suuremmissa vuotoissa muutokset ovat nopeampia (muutosnopeus kasvaa vuodon koon mukaan).

VARO



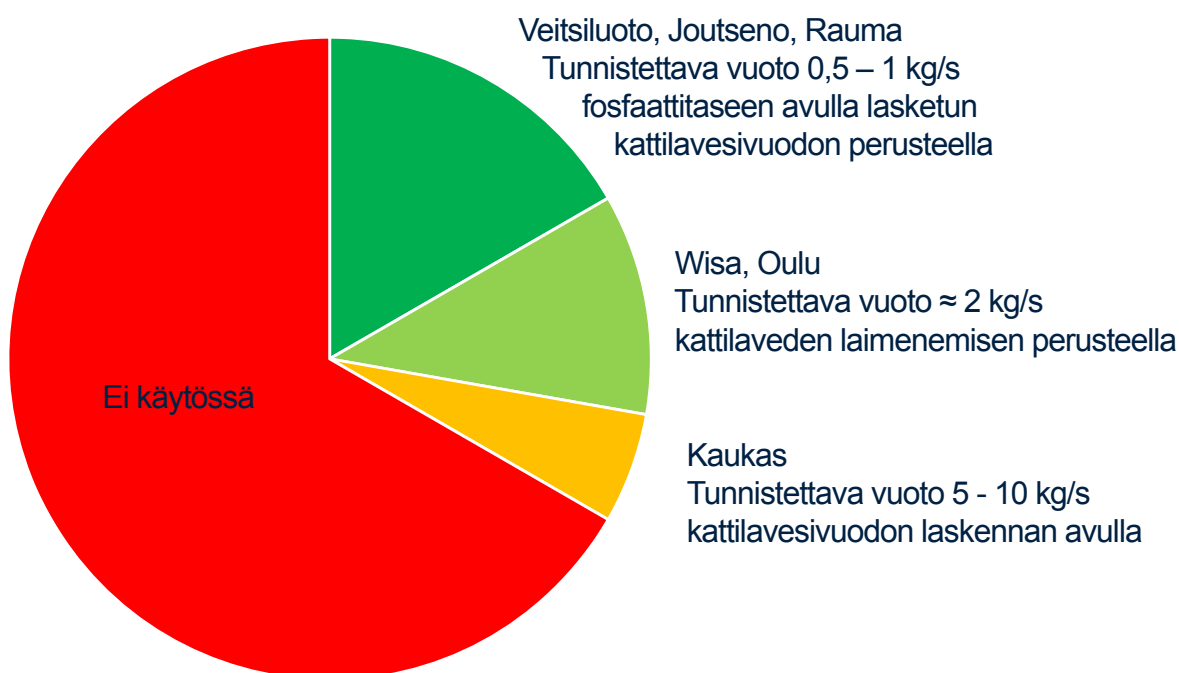
Syöttövesi-höyryeron avulla tunnistettavat vuodot



VARO



Kattilaveden kemikaalitaseen tai laimenemisen seurannan perusteella tunnistettavat vuodot



VARO



Kattilavesivuodon reaaliaikainen seuranta

Kun kattilaveden pH säädetään fosfaatilla, voidaan kattilalle laskea fosfaattitase

$$PO_{4, \text{ sisään}} - PO_{4, \text{ ulos}} = PO_4\text{:n määrän muutos kattilavedessä}$$

$PO_{4, \text{ sisään}}$ = PO_4 -liuoksen mukana kattilaan kulkeutuva fosfaattimäärä

$PO_{4, \text{ ulos}}$ = ulospuhalluksen ja vuodon mukana kattilasta ulos kulkeutuva fosfaattimäärä

Taseesta voidaan ratkaista kattilavesivuoto, kun annostelumäärä, kattilaveden fosfaattipitoisuus ja ulospuhallusvirtaus tunnetaan, esim. 1 – 4 tunnin aikajaksolla.

Näin saatu kattilavesivuoto (kg/s) kertoo siten (lähes) reaaliaikaisesti onko kattilan höyrystinosassa (tulipesässä, keittopinnassa, verhoissa) vuoto ja jos on niin kuinka suuri.

Valvonta voidaan testata simuloimalla kattilavesivuotoa ulospuhalluksen lisäyksellä.

VARO



Tiiveydenvalvonnan testaus Veitsiluodossa

Testi voidaan tehdä periaatteessa koska tahansa, kun ulospuhallusvirtaus on kasvatettavissa niin, että lisäys on suurempi kuin vuotovirtausten hälytysrajat.

Testin toteutus

1. Valvomonäytössä valitaan valvonnan tilaksi ”testaus” ao. sivulla. Tällöin
 - ulospuhalluksen arvon automaatiojärjestelmässä lukittuu vakioksi
 - ulospuhalluksen säätöventtiili ohjautuu täysin auki

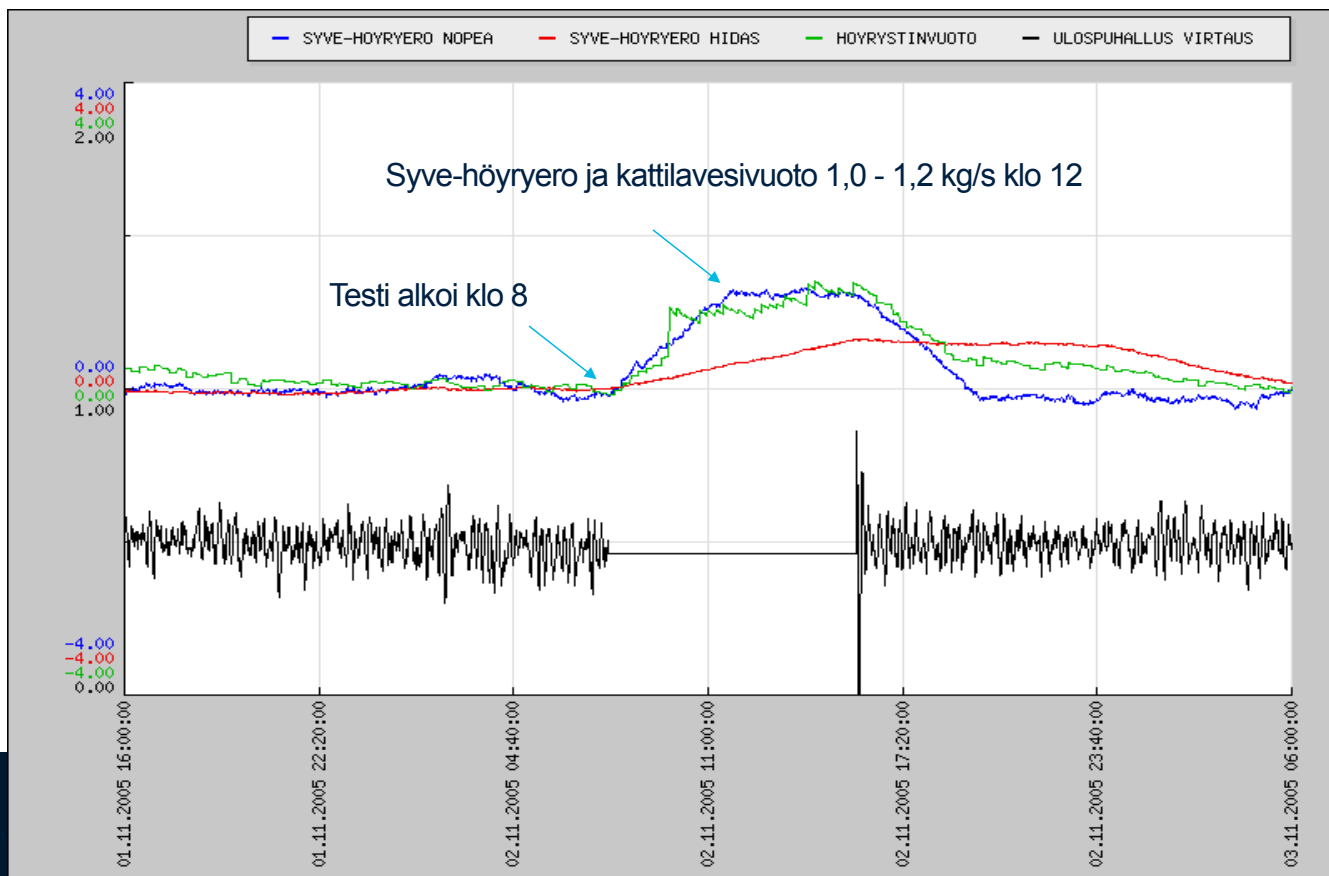
Sekä syöttövesi-höyryeron että kattilavesivuodon tulisi tämän jälkeen kasvaa vähitellen niin, että molemmista tulee hälytys 8 tunnin kuluessa testin alusta.

2. Testin päättyessä palautetaan valvonnan tilaksi ”mittaus”, jolloin ulospuhalluksen säätöventtiili palautuu alkuperäiseen asentoonsa ja ulospuhalluksen arvo automaatiojärjestelmässä alkaa taas muuttua mittauksen todellisen arvon mukaan. Syöttövesi-höyryero ja kattilavesivuoto laskevat vähitellen lähelle 0 kg/s.

VARO



Tiiveydenvalvonnan tuloksia Veitsiluodosta



Kattilan tiiveydenvalvonta Veitsiluodon tehtaalla

Syve-höyryero ja kattilavesivuoto 1.12. – 10.1.2017





Kattilan tiiveydenvalvonta Veitsiluodon tehtaalla

Syve-höyryero ja kattilavesivuoto 1.12. – 10.1.2017



28.12.2017

VARO



Keinot vuotojen valvonnan parantamiseen

Kattilan tiiveyttä valvotaan syöttövesi-höyryeron, kattilavesivuodon ja/tai akustisen emission antureiden avulla niin, että päätös kattilan alasajosta on tehtävissä 4 - 8 tunnin kuluessa, kun vuoto on vielä pieni (alle 1 kg/s).

Syöttövesi-höyryerosta ja kattilavesivuodosta saatavat hälytykset koestetaan säännöllisesti esim. kerran kuukaudessa. Näin varmistetaan että päätös alasajosta voidaan (ja uskalletaan) tehdä vuototilanteessa valvontatulosten perusteella viiveettä myös silloin kun veden pääsystä tulipesään ei ole näkö- tai kuulohavaintoja.

Kattilan tiiveys varmistetaan jokaisen ylösajon jälkeen käytönaikaisella tiiveyskokeella. Samalla varmistetaan valmiudet tiiveyskokeen tekemiseen käyttöjakson aikana tilanteessa, jossa kattilassa epäillä vuotoa.

28.12.2017

VARO



Keinot vuotojen hallinnan parantamiseen

Käyttöohjeet laaditaan niin, että kattila tulee ajaa alas tekemällä pikapysäytys ja pikatyhjennys, kun

- veden pääsy tulipesään on havaittavissa (tulipesästä kuuluu pauketta, tulipesäkameran kuvassa näkyy sulan roiskuvan tulipesän pohjalla, vettä näkyy valuvan tulipesän seiniä pitkin, ...) tai
- kattilasuoja laukeaa joko tulipesän korkean paineen tai lieriön matalan pinnan takia ja molemmat oireet ilmenevät samaan aikaan tai
- kattilan tulipesän paine nousee ja lieriön pinta laskevat äkillisesti ja normaalia enemmän (mutta ei kattilasuojan lukitusrajaan saakka) ja syöttövesi-höyryero on normaalia suurempi tai
- syöttövesi-höyryero on yli 3 kg/s ja käynninaikainen tiiveyskoe tai kemikaalitaseesta laskettu kattilavesivuoto osoittaa että vuoto on kattilan höyrystimessä (seinäputkissa, verhoissa tai keittopinnassa).

VARO



Keinot vaaratilanteiden hallinnan parantamiseen

Mikäli kattilasuoja laukeaa niin, että tulipesän paine on korkea ja lieriön pinta matala samanaikaisesti, on todennäköistä, että kattilasuojan laukeamisen syynä on suuri kattilavuoto.

Räjähdyksriskin minimoimiseksi ja henkilövahinkojen välttämiseksi tulee kattilanhoitajan (yhdessä muiden vuorossa olevien kanssa) tällöin

1. tehdä viiveettä myös pikapysäytys ja –tyhjennys
2. varmistaa että kaikki kattilahuoneessa olevat poistuvat kattilahuoneesta välittömästi ja kulku kattilahuoneeseen on estetty kunnes käytönvalvoja ilmoittaa että vaaratilanne on ohi

HUOM! Kattilavuodossa vaaratilanne on suurimmillaan heti kattilasuojan laukeamisen **jälkeen**, koska tällöin tulipesään vuotava vesi pääsee valumaan/putoamaan tulipesän pohjalle saakka ilman, että ainakin osa siitä haihtuu matkalla. Vaaratilanne jatkuu niin kauan kunnes vuoto on saatu tyrehtymään ja pohjalla oleva vesi on haihtunut pois.

VARO



Keinot turva-automaation parantamiseen

Iso vuoto seinä- tai verhoputkessa laukaisi kattilasuojan Kotkassa (900 tKA/vrk) ja Imatralla (1700 tKA/vrk), mutta ei aiheuttanut automaattista alasajoa Kaskisissa (2000 tKA/vrk), Veitsiluodossa (1600 tKA/vrk)(lämmittäjä teki pikapysäytyksen 2 min kuluttua vuodosta), Raumalla (3000 tKA/vrk) eikä Kaukaalla (3800 tKA/vrk)(lämmittäjä teki pikapysäytyksen 6 min kuluttua vuodosta).

Kattilasuojan toimintavarmuutta voidaan parantaa asettamalla lukitusehdot niin, että suojan aktivoituminen on todennäköistä äkillisen vuodon tapauksessa. Vuoto vaikuttaa eritavoin erikokoisissa kattiloissa, joten lukitusehdot on laadittava kattilakohtaisesti.

Pikatyhjennystä voidaan varmentaa

- liittämällä pikatyhjennys osaksi pikapysäytystä (kuten Pohjois-Amerikassa)
- laatimalla ”kattilavuotosuoja”, jonka lauetessa sekä pikapysäytys että pikatyhjennys tapahtuvat automaattisesti.