



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Hajukaasujen polttosuosituksen päivitykseen liittyvä selvitys

**Markku Pekkanen, Raimo Nieminen,
Tuomas Lehtinen, Pöyry Industry Oy**

Raportti 7/2010

(16A0913-E0115)



Rapporti 7/2010

162000311-E0001
3.7.2009



Suomen Soodakattilayhdistys ry

Hajukaasujen polttosuosituksen päivitykseen liittyvä selvitys

Copyright © Pöyry Industry Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Industry Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Industry Oy

Esipuhe

Pöyry Industry Oy on Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmän ja Automaatiotyöryhmän toimeksiannosta keväällä 2009 arvioinut hajukaasujen polttosuosituksen ajanmukaisuutta tapahtuneiden hajukaasuräjähdyksen jälkeen, jotta hajukaasujen turvallinen käsittely voidaan varmistaa myös tulevaisuudessa.

Selvitystyössä on esitetty ehdotuksia SKY:n hajukaasusuosituksen päivittämiseen.

Kiitämme hyvästä ja pitkästä yhteistyöstä ja toivomme, että selvitys täyttää sille asetetut vaatimukset.

Markku Pekkanen
teknologiajohtaja
Pulp & Paper Technology

Raimo Nieminen
Johtava asiantuntija
Pulp & Paper Technology

Tuomas Lehtinen
prosessi-insinööri
Pulp & Paper Technology

Yhteystiedot

PL 4 (Jaakonkatu 3)
FI-01621 Vantaa
Finland
Kotipaikka Vantaa, Finland
Y-tunnus 0625905-6
Puh. +358 10 3311
Faksi +358 10 33 21818

Pöyry Industry Oy

Sisältö**Esipuhe**

1	TYÖN TAVOITE JA SISÄLTÖ	2
2	YLEISTÄ	2
3	HAJUKAASUIHIN LIITTYVÄT RÄJÄHDYKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	3
3.1	Suomi	3
3.1.1	UPM-Kymmene, Pietarsaari, 28.12.2008	3
3.1.2	Oy Metsä-Botnia Ab, Rauma, 2.1.2007	4
3.1.3	Sunila Oy, Kotka, 19.10.2004	5
3.1.4	Oy Metsä-Botnia Ab, Joutseno, 1.4.2004	7
3.2	Ulkomaat	8
3.2.1	Botnia, Uruguay, Fray Bentos pulp mill, 27.2.2009	8
3.2.2	Stora Enso, Veracel	9
4	HAJUKAASUJEN POLTTOSUOSITUS	10
4.1	Ohjeistuksen noudattaminen räjähdystapauksissa	10
4.2	Puutteet ja parannusehdotukset	11
4.3	Hakesiilon hajukaasut	11
4.3.1	Turvalukitukset hakesiilon hönkien keräilyn ohjauksessa	12
4.3.2	BLRBAC	13
5	MITTAUSMENETELMÄT	15
5.1	Yleistä	15
5.2	LEL- analysaattorin toimintaperiaate	15
5.3	Tulosten laskeminen	15
5.4	Yhteenvedo	16
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	18
7	VIITTEET	19

1 TYÖN TAVOITE JA SISÄLTÖ

Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmä ja Automaatiotyöryhmä antoi keväällä 2009 Pöyry Industry Oy:lle tehtäväksi arvioida hajukaasujen polttosuosituksen ajanmukaisuutta tapahtuneiden hajukaasuräjähdyksen jälkeen sekä selvittää käytettävissä olevat mittaustekniikat sekä kokemukset mittauksista, joilla hajukaasujen turvallinen keräily ja poltto voidaan varmistaa.

Tiedon lähteinä ovat sellutehtaiden onnettomuustutkintaraportit, soodakattilayhdistyksen sihteeristön kyselyt jäsenitehtaiden yhdyshenkilöille ja Pöyryn arkistoon perustuvat tiedot.

2 YLEISTÄ

Laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmissä on 2000- luvun aikana sattunut useampia räjähdyksiä, niin Suomessa kuin ulkomailla. Syyt räjähdysiin liittyvät aina tilanteeseen, jossa laimeat hajukaasut konsentroituvat räjähdysalueen alarajan yli räjähdysvaaralliselle alueelle. Tilanteet liittyvät yleisimmin ylösajotilanteisiin ja niihin liittyviin moniin yhteensattumien summiin. Useimmiten ongelmat liittyvät hakesiiloon tai haihduttamon vahvalipeäsäiliöihin.

Räjähdysalttiit kohteet ovat myös hajupäästöiltään kriittisimpiä. Hajuongelmat lisääntyvät tehtaan ympäristössä, jos nämä kohteet otetaan turvallisuuden vuoksi kokonaan pois laimeiden hajukaasujen keräilystä tai laitetaan turvalukitukset niin alhaiselle tasolle, että ns. häiriöpäästöjen määrä lisääntyy huomattavasti.

Selvitystyö on tarpeellista, jotta saadaan laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmä turvallisemmaksi. Ongelmien syyt ovatkin pääasiallisesti keräilyn puolella ja räjähdykset tapahtuvat tai saavat alkunsa usein polttopään puolella. Perussyö on aina jonkun hajukaasukomponentin pitoisuuden nousu yli alemman räjähdysrajan.

3 HAJUKAASUIHIN LIITTYVÄT RÄJÄHDYKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

3.1 Suomi

3.1.1 UPM-Kymmene, Pietarsaari, 28.12.2008

Syyt

Räjähdyksessä piipussa aiheutui usean tekijän yhteisvaikutuksesta. Räjähdyksessä edelsivät ajotilanteet, jotka lisäsivät ohituspiipun kaasuseoksen pitoisuuden syttymis- ja räjähdyspitoisuuksiin. Samanaikaisesti vallitsevat sääolosuhteet työnsivät meesauunin kuumat savukaasut ulostulevien laimeiden hajukaasujen sekaan aiheuttaen syttymisen.

Alla on esitetty pääasialliset syyt räjähdyskseen:

- Haihduttamon laimeat hajukaasut olivat konsentroituneet normaaliajona ja seisokin aikana räjähdyspitoisuuteen
- Polttolipeäsäiliön kaasut johdettiin laimeiden hajukaasujen keräilyyn. Polttolipeäsäiliöstä purkautui voimakkaasti kaasuja 22 tuntia ennen räjähdystä.
- Kuitulinjojen hajukaasupuhallin oli pysäytetty, jolloin laimentavaa vaikutusta kuitulinjojen hajukaasuista ei saatu.
- Meesauunin kuumat (n. 260 °C) savukaasut sekoittuivat vallitsevien sääolosuhteiden johdosta suoraan ulospurkautuneisiin laimeisiin hajukaasuihin, jotka olivat yli alemman räjähdyspisteen. Laimeiden hajukaasujen ohituspiippu ja meesauunin savukaasupiippu olivat samalla tasolla.

Räjähdyksen aiheuttamat vahingot

Räjähdyksessä tapahtui laimeiden hajukaasujen piipussa betonipiipun sisällä ja vaakasuorassa kanavassa ennen yhtymistä betonipiipun pystysuoraan kanavaan.

Vaurioituneet kohteet olivat seuraavat:

- laimeiden hajukaasujen kanava, 120 m pystykanavaa ja 10 m vaakakanavaa
- väkevien hajukaasujen putki, n. 5 m betonipiipun alaosassa
- meesauunin savukaasukanava, n. 10 m vaakasuoraosa
- betonipiipun pohjatasolla vesilukkoastia, pariovet, sähkökaapelit ja kierreportaiden alaosan runko ja kaide
- betonipiipun läpivienti- ja asennusaukkojen pellitykset ja lämpöeristeet
- lentoestevalo ja sen ohjausyksikkö betonipiipun huipulla.

Aineelliset vahingot yhteensä ovat n. 600 000 EUR. Henkilövahinkoja ei sattunut, mutta riski oli ilmeinen.

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

Onnettomuustutkinnan työryhmän ehdottamat korjaavat toimenpiteet ovat seuraavat:

Seisokkiaikaiset toimenpiteet:

- kuitulinjojen laimeiden hajukaasujen puhallin tulisi pitää käynnissä seisokin aikana ja samalla johtaa laimennusilmaa puhaltimen imupuolelle, jotta varmistetaan, että pitoisuus on tarpeeksi alhainen
- polttolipeäsäiliön kaasut tulee johtaa väkevien hajukaasujen keräilyyn tai haihdutinsarjalle, ei laimeiden hajukaasujen keräilyyn
- polttolipeäsäiliön vahvalipeän lämpötila ja kuiva-aine pudotetaan 117 °C:een ja 67-69 % kuiva-aineeseen seisokkia varten kaasunmuodostumisreaktioiden estämiseksi
- hajukaasupesurin kierrätyspumppua ei tule pysäyttää seisokin aikana
- laimeiden hajukaasujen seisokkiaikaiselle ajolle tulee antaa selvä ohjeistus
- haihduttamon hajukaasupesurin pesukiertonestettä ei tulisi pumpata vuotolipeäsäiliöön, josta kaasut imetään takaisin laimeiden hajukaasujen keräilyyn

Muut suositukset:

- Kartoitetaan metanolin, TRS- yhdisteiden ja tärpätin pitoisuuksia laimeissa hajukaasuissa, lipeissä ja lauhteissa.
- Lisätään laimeiden hajukaasujen keräilyyn pitoisuusmittaus tai virtausmittaus valvontaa varten.
- Laaditaan simulointiohjelma, jolla voidaan luotettavasti määrittää laimennusilmojen määrä eri ajotilanteissa.
- Haihduttamon suljetun laimeiden hajukaasujen keräilyn puhaltimen kapasiteettia tulisi lisätä ja imupuoli varustaa laimennusilman sisäänotolla.
- Laimeiden hajukaasujen ohituspiipun alaosan suunnittelu pitää miettiä uudestaan.
- Puhaltimen käyttö tulisi lopettaa ja ohjata ne imupuolella olevaan omaan piippuun, jos laimeat hajukaasut konsentroituvat räjähdysalueelle.
- Konsulttitoimistoja ja laitevalmistajia aktivoidaan selvittämään ja kehittämään laimeiden hajukaasujen prosesseja. Laimeille hajukaasuille tulisi tehdä poikkeamatarkastelu (HAZOP) kaasujen väkevöitymiselle normaaliajossa ja seisokkitilanteessa.

3.1.2 Oy Metsä-Botnia Ab, Rauma, 2.1.2007

Massatehtaan ja soodakattilan ylösajon yhteydessä hajukaasukanavassa syttyi tulipalo, joka vaurioitti soodakattilan etuseinää ja kanavaa n. 2 m. Palo sai mahdollisesti alkunsa kattilan takatulesta, jolloin hajukaasukanavan pohjalle muodostunut ”sakka” syttyi palamaan.

Kestoisuustyöryhmä antoi seuraavat aiheet, joihin olisi kiinnitettävä huomiota onnettomuuden jälkeen:

- Pesurien toiminta on saatava kuntoon, jotta taataan hyvä pesutulos. Nesteenjako, pisanerotus ja pesurin jälkeinen lämpötila on tarkastettava jokaisessa pesurissa.
- Laimeiden hajukaasujärjestelmän laimennuksen hallinta tarkastettava
- Ennen esilämmitintä oltava pisanerotus

- Hajukaasujen polttosuosituksen mukaan esilämmittimen lämpötilan nousu on oltava vähintään 40 °C
- Polttosuosituksen mukaisesti hajukaasujen koostumus mitattava säännöllisesti
- Kanavat on tarkastettava ja puhdistettava säännöllisesti
- Pesureiden ja esilämmittimien lämpötilatasot ja lukitukset on selvitettävä HAZOP-tarkastelun yhteydessä yhdessä hajukaasujärjestelmän toimittajan kanssa.

Aiheutuneet vahingot

Tulipalossa vaurioituivat kanavaa n. 2 m ja soodakattilan etuseinä, jotka uusittiin seisokissa. Samalla kanava pestiin puhtaaksi. Vaurion aiheuttama kattilan seisokkiaika oli 12 tuntia. Onnettomuudessa ei aiheutunut henkilövahinkoja.

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

Laimeiden hajukaasujärjestelmän parannuksiin saatiin investointirahaa vaurion jälkeen ja vuoden 2008 seisokissa tehtiin seuraavia parannustoimenpiteitä:

- Laimeiden hajukaasujen puhallin uusittiin
- Ilman esilämmitystä tehostettiin lisäämällä tuoreilmalle oma lämmönvaihdin, jolloin laimeiden hajukaasun lämpötilaa saatiin nostettua
- Keräilyjärjestelmän kapasiteettia kasvatettiin
- Polttoon liittyvät lukitukset tarkistettiin
- Liuottajan höngät otettiin mukaan polttoon laimeiden hajukaasujen mukana.

3.1.3 Sunila Oy, Kotka, 19.10.2004

Syyt

Sellutehtaan ylösajossa pääsi hakesiilosta räjähdysrajan sisäpuolella olevia pitoisuuksia tärpätti- ja hajukaasuyhdisteitä, jotka syttyivät räjähdysmäisesti soihdussa. Palorintama eteni takaperin hajukaasupuhaltimelle, jossa tapahtui toinen räjähdys.

Räjähdys aiheutui usean tekijän yhteisvaikutuksesta hakesiilossa, jossa laimeiden hajukaasujen turvajärjestelmällä ei pystytty hallitsemaan poikkeuksellisia olosuhteita. Turvajärjestelmä toimii hyvin normaaleissa käyttötilanteissa, mutta poikkeustilanteissa, joiden vaikutuksia ei täysin tunneta, ne eivät ole riittäviä. Muiden keräilyn piirissä olevien säiliöiden osalta laimeiden hajukaasujen muutokset ovat hitaampia, joten näihin muutoksiin tehtaan turvajärjestelmät ovat olleet riittäviä.

Räjähdysen syntyyn vaikuttaneet yksittäiset seikat ovat seuraavat:

- Hakkeen pitkä pasutus hakesiilossa (mp-kiikin jumiutuminen)
- Hakesiilolta tulevan hönkälinjan lämpötilamittauksen viive
- LEL-analysaattorin viive
- laimeiden hajukaasujen keräilypuhaltimen imupuolella olevan laimennusventtiilin toimimattomuus
- Keittämön laimeiden hajukaasujen keräilyventtiilin automaattinen uudelleenavautuminen LEL- analysaattorin mittauksen perusteella
- Kuristuslevy keittämön laimeiden hajukaasujen hönkäpiipussa

- Soihdun sammuminen

Tutkijaryhmän mielestä pääsyyt räjähdykseen olivat seuraavat:

- Tavanomaista korkeammat TRS- ja VOC-pitoisuudet hakesiilossa ja sen kaasuissa käynnistyksen yhteydessä
- Laimennusilman määrä ei ollut riittävä
- Liiallinen luottaminen LEL-analysaattoriin ja sen toimintaperiaatteesta johtuva viive ja lukitukset.

Poikkeuksellisen korkeisiin TRS- ja VOC-pitoisuuksiin todettiin seuraavat pääsyyt:

- Hakepatjan sisällä on ollut mahdollisesti väkevöitynyt kerros, johon oli lauhtunut TRS- ja VOC-yhdisteitä
- Paisuntahöyryn TRS-pitoisuudet olivat tavanomaista korkeammat
- Hajukaasupesuri lauhduttaa pääasiassa vesihöyryä, jolloin hajukaasujen osuus ilmamäärässä kasvaa. LEL-analysaattori oli sijoitettu ennen lauhdutusta, jolloin mitattava pitoisuus on pienempi.

Laimennusilman määrä on ollut riittävä normaaliajotilanteissa ja ne perustuvat vuosina 1998 ja 2000 tehtyihin mittauksiin. Mittaukset eivät kuitenkaan kata poikkeustilanteita. Laimennusilmaa lisätään kolmessa kohtaa laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmässä:

- Hakesiilon ja muiden säiliöiden hönkäputken kautta hajukaasupuhaltimen aiheuttama alipaine imee laimennusilmaa eri keräilykohteista. Järjestelmä ei kuitenkaan toimi, jos systeemi paineistuu, jolloin kaasu puskee sieltä ulos. Hakesiilon tapauksessa laimennusilmalyhteeseen oli lisätty kuristuslevy.
- LEL- hajukaasuanalysaattori avaa laimennusventtiiliä hajukaasupuhaltimen imupuolella, jos pitoisuus nousee yli 30 % alemmasta LEL-rajasta
- Laimeat hajukaasut johdetaan soihtuun, jossa tarvittava lisäilma laimentaa hajukaasuja

Räjähdyksen aiheuttamat vahingot

Räjähdyksessä rikkoutuivat soihtu, puhaltimet ja putkisto soihdulta laimeiden hajukaasujen pesurille saakka.

Henkilövahinkoja ja tulipaloa muualla tehdasalueella räjähdys ei aiheuttanut. Räjähdyksen aiheuttamien heitteiden ja voiman johdosta mahdollisuudet henkilövahinkoihin olivat kuitenkin olemassa. Arvioitu omaisuusvahinko on n. 400 000 EUR.

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

Tutkijaryhmän ehdottamat toimenpiteet vastaavan onnettomuuden ehkäisemiseksi ovat:

- Hakesiiloa ei oteta keräilyn piiriin ennen kuin hajukaasujen rikastumiseen liittyvät mekanismit tunnetaan tarkkaan
- Hakesiilon ajotapaa ja sen valvontaa kehitetään
- Muutosten yhteydessä laimeiden hajukaasujen käsittely ja siihen liittyvät turvajärjestelmät tarkastellaan kokonaisuutena
- Laimennusilman riittävyys poikkeustilanteissa varmistetaan
- Suojajärjestelmä rakennetaan turva-automaation periaatteiden mukaisella tavalla
- Laimeiden hajukaasujen pitoisuuksien seuranta parannetaan ja lukitusrajat tarkistetaan (analysaattorin kehittäminen ja sijoitus sekä mahdollinen kahdentaminen)
- Poikkeustilanteet tunnistetaan ja ohjeistetaan
- Vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi toteutetaan järjestelmällisesti
- Valvontaa yhtenäistetään.

3.1.4 Oy Metsä-Botnia Ab, Joutseno, 1.4.2004

Syyt

Hakesiilolla oli häiriöitä, johtuen hakekuljettimen pysähtymisestä ja paisuntahöyryn joutumisesta siilon hönkäjärjestelmään. Hakesiilon hönkät kytkettiin laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään valkolipeäpesurin kautta v. 2002 lopussa massatehtaan käynnistymisen jälkeen. Kytkentä tehtiin, koska hakesiilo oli suuri yksittäinen hajuhaitta tehtaalla. Häiriön aikana hakesiilon hönkien määrä ja pitoisuus nousivat voimakkaasti, jolloin väkevää tärpättä, metanolia ja TRS-yhdisteitä sisältävää palavaa kaasua on päässyt soodakattilan tertiääri-ilmajärjestelmään.

Räjähdysen jälkeisissä hajukaasumittauksissa todettiin, että hakesiilon poistokaasu on ylittänyt alemman räjähdysrajan pitoisuuden, jolloin kaasu on voinut syttyä soodakattilasta takaperin tulleetä liekistä tai puhaltimen aiheuttamasta kipinästä. Tärpättiliekin etenemisnopeus on 150 m/s, kun nopeus tertiääri-ilmasuuttimissa on noin 85 m/s.

Räjähdysen aiheuttamat vahingot

Soodakattilan tertiääri-ilmajärjestelmässä tapahtuvassa räjähdyksessä vaurioituivat hajukaasujen siirtopuhallin, kaasukanavaa n. 15 m, 9 kpl kattilan suuttimia, kanavien ja puhaltimien tukirakenteita, kaksi lämmönvaihdinta, pisanerotin, kaksi säätöpeltiä, syöttövesilinjan sulkuventtiili, automaatiolaitteita ja osa rakennuksen ikkunoista.

Räjähdyksestä ei aiheutunut henkilövahinkoja, mutta mahdollisuudet niihin olivat olemassa.

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

Hakesiilojen höngät kytkettiin pois laimeiden hajukaasujen keräilystä, kunnes räjähdysen johtaneet syyt on selvitetty.

Pöyryn tekemässä teknisessä selvityksessä suositeltiin, ettei hakesiilon poistokaasua vietäisi laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään. Raportissa kuitenkin todettiin, että jos hönkä hajusyistä halutaan sinne viedä, niin hakesiilon hönkälinja tulee varustaa täpättilauhduttimella ja pesurilla, jossa kaasu jäähdytetään kylmällä vedellä. Lisäksi alemman räjähdysrajan mittaus ja ohitus vaaratilanteissa olisi suositeltavaa.

3.2 Ulkomaat

3.2.1 Botnia, Uruguay, Fray Bentos pulp mill, 27.2.2009

Syyt

Sellutehtaan käynnistyksen yhteydessä hakkeen syöttö keittimelle pysähtyi mustalipeäsuodattimien ongelmien takia. Tämän jälkeen hakesiilon pinta nostettiin tasolle 95 % ja hake pasutettiin tuorehöyryllä, jolloin hakesiilon pintalämpötila näytti 90 °C. Puoli tuntia pysäytyksen jälkeen hakkeen syöttö keittimelle käynnistettiin uudelleen, jolloin myös paisuntahöyryä lisättiin hakesiiloon, koska väkevien hajukaasujen systeemi ei kyennyt pitämään riittävää alipainetta keräilylinjassa hajukaasujen polttokattilalle. Valmiiksi pasutettu hakepatja ei pystynyt lauhduttamaan ja absorboimaan pasutushöyryä, jolloin se pääsi hakepatjan läpi nostaen nopeasti hakesiilon yläosan lämpötilaa ja edelleen laimeiden hajukaasujen keräilysteemiin. Lämpötilalukitus hakesiilon hönkien lauhduttimien jälkeen saavutti lukitusrajan > 55 °C, jolloin kaasut ohjautuivat ohitusputkeen. Ennen tätä turvalukitusta kaasuja pääsi n. 40 sekunnin ajan laimeiden hajukaasujen keräilyyn aiheuttaen räjähdysen n. 1.5 minuuttia paisuntahöyryventtiilin avaamisen jälkeen pasutushöyryventtiilin avaamisesta. Räjähdys tapahtui lähellä hajukaasukattilan poltinta keräilyputkistossa.

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

Ennen tehtaan uudelleenkäynnistämistä tehtiin seuraavat toimenpiteet:

- Paisuntahöyryventtiilin avautumisnopeutta hidastettiin (5%/min välillä 0-10%), jotta pasutushöyryä pääsee käynnistyksen yhteydessä vain hallittava määrä.
- Hakekuljetin siiloon täytyy olla käynnissä vähintään viisi minuuttia ennen kuin pasutushöyryventtiili hakesiilolle voidaan avata. Näin varmistetaan, että tuoretta haketta on hakesiilossa lauhduttamassa pasutushöyryä.
- Hakesiilon lämpötilan noustessa yli 90 °C avautuu lauhduttimen jäähdytysventtiili heti 100 % auki.

Tarkemmat selvitykset ovat edelleen käynnissä ja muut tarpeelliset varotoimenpiteet tullaan tekemään tulosten selvityksessä.

3.2.2 Stora Enso, Veracel

Syyt

Stora Enson tehtaalla Brasiliassa on käynyt kaksi räjähdystä käynnistyksen jälkeen. Ensimmäinen räjähdys liittyy hakesiiloon ja toinen paineelliseen polttolipeäsäiliöön.

Paisutushöyryä ajettiin hakesiiloon tehtaan seisokin aikana, jolloin väkevä hajukaasu pääsi laimeiden hajukaasujen keräilyyn hakepatjan läpi tai metanoli oli väkevöitynyt patjaan ja vapautui. Paisutushöyrylle ei ollut lauhdutusta, vaan se oli johdettava hakesiiloon. Räjähdys tapahtui soodakattilalla laihakaasukanavistossa. Soodakattilan sekundääri- ilmamäärää oli manuaalisesti pienennetty.

Toinen räjähdys liittyi paineelliseen polttolipeäsäiliöön, joka räjähti, kun sen kierrätyspumppu jätettiin käyntiin seisokissa ja hajukaasuyhdisteitä alkoi muodostua säiliön sisällä voimakkaasti. Säiliössä ei ollut varoventtiiliä eikä sitä ollut liitetty väkevien hajukaasujen keräilyyn.

Jatkotoimenpiteet räjähdysten jälkeen

Hakesiilon väkevien kaasujen räjähdys laimeassa keräilyjärjestelmässä johti siihen, että tehdas investoi pasutushöyryn kiehuttimeen (reboileriin), jolloin hake pasutetaan puhtaalla höyryllä. Tämä keittämön parannus poisti ongelmat liittyen laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmään. Kiehuttimen höyryn käyttö hakesiilossa pitää laimeiden hajukaasujen konsentraation aina alhaisella tasolla. Myös varapolttosysteemin hankintaa harkittiin hajuongelmien takia, mutta kiehutin ratkaisi pahimman häiriöpäästölähteen ongelman, joten siitä luovuttiin.

Polttolipeäsäiliöt liitettiin väkevien hajukaasujen keräilysteemiin ja säiliöön asennettiin varoventtiili.

4 HAJUKAASUJEN POLTTOSUOSITUS

4.1 Ohjeistuksen noudattaminen räjähdystapauksissa

Alla on lueteltu taulukkoon hajukaasuräjähdysten syitä ja vertailtu niitä SKY:n hajukaasujen polttosuositukseen. Taulukosta 4-1 käy ilmi, että suurimpiin osiin räjähdyskiin johtavista syistä polttosuositus on ottanut kantaa.

TAULUKKO 4-1

Räjähdysten syyt ja vertailu hajukaasujen polttosuositukseen

Syyt räjähdykseen	Hajukaasujen polttosuositusten noudattaminen
UPM, Pietarsaari – Haihduttamon laimeat hajukaasut konsentroituneet normaaliajon ja seisokin aikana räjähdyspitoisuuteen Sunila Oy, Kotka – Tavanomaista korkeammat TRS- ja VOC-pitoisuudet hakesiilossa ja sen kaasussa käynnistyksen yhteydessä Oy Metsä-Botnia Ab, Joutseno Botnia, Uruguay Stora Enso, Veracel – Häiriö hakesiilossa, jolloin hönkien määrä ja pitoisuus nousi voimakkaasti	– Kappale 4.3.1 Alas- ja ylösajotilanteet:” Erityistä huomiota laimeiden hajukaasujen konsentraatioihin on kiinnitettävä alas- ja ylösajotilanteiden aikana. Usein soodakattiloiden hajukaasuräjähdykset ovat tapahtuneet juuri laimeiden hajukaasujen järjestelmille, joissa seisokki- tai häiriötilanteissa on konsentraatio päässyt nousemaan liian suureksi. Eräs tyypillinen ongelma on ollut tärpätin kerääntyminen putkistoon seisokin aikana ja sen höyrystyminen käynnistyksen yhteydessä.” – Kappale 5.1:”laimeiden hajukaasujen konsentraatio pidetään koko ajan alle räjähdysrajan ja konsentraation nousu tulee estää. Kun laimeiden hajukaasujen poltto otetaan tehtaalta käyttöön, konsentraatiot linjoissa ja eri keräyspisteissä pitää mitata <u>erityisesti käynnistysten ja prosessihäiriöitten yhteydessä</u> , jotta varmistettaisiin laimeiden hajukaasujen konsentraation pysyminen alle räjähdysrajojen <u>kaikissa olosuhteissa</u> ”. Erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että hakesiilon höngissä häiriötilanteissa hajukaasujen konsentraatio ei nouse liian korkeaksi. Hakesiilon häiriötilanteessa ei sen hönkikaasuja saa johtaa laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään.
UPM, Pietarsaari – Polttolipeäsäiliön kaasut johdettiin laimeiden hajukaasujen keräilyyn	– Kappale 7:” Väkevien hajukaasujen lähteet ovat mm. haihduttamon tyhjökaivon lauhduttamaton kaasut, stripperin ja metanolitislauksen kaasut, <u>likaislauhdesäiliön honkä, keittimen lauhduttimien kaasut sekä paineistetun lipeän väkevöinnin kaasut (polttolipeäsäiliön)</u> ”.
UPM, Pietarsaari – Kuitulinjojen laimeiden hajukaasujen puhallin oli pois päältä	– Kappale 9.3:”Hajukaasujen käsittelyyn liittyvä laitteisto suositellaan pidettäväksi käytössä myös seisokin aikana.
Sunila Oy, Kotka – Laimennusilman määrä ei ollut riittävä	– Kappale 5.5 Varasilmayhde:” Laimeiden hajukaasujen järjestelmän osana käytetään usein varasilmayhdeä, jossa hajukaasujen joukkoon lisätään ilmaa. Jos laimeiden hajukaasujen ”laimeus” riippuu varasilmayhteen toiminnasta, on erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, etteivät käyttäjät voi sulkea laimennusilman tuloa. Jollei varasilmayhteestä tule laimentavaa ilmaa riittävästi, on olemassa vaara, että laimea hajukaasu muuttuu räjähtäväksi kaasuseokseksi.”
Sunila Oy, Kotka – Liiallinen luottaminen LEL-analysaattoriin ja sen toimintaperiaatteesta johtuva viive ja lukitukset	– Soodakattilayhdistyksen suosituksessa ei ole erikseen mainintaa jatkuvatoimisista LEL-analysaattoreista ja sen toimintaperiaatteista ja mahdollisista lukituksista LEL-mittaus ei kuitenkaan tällä hetkellä täytä lukituksen vaatimaa eheyttä.

4.2 Puutteet ja parannusehdotukset

Hajukaasujen polttosuositus sisältää hyvin perustietouden, jotka tulee ottaa huomioon hajukaasujen poltossa soodakattilalla. Yksityiskohtaiseen keräilyyn liittyviin asioihin polttosuositus ei ota kantaa, mutta toteaa esimerkiksi, että erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että hakesiilon höngissä häiriötilanteissa hajukaasujen konsentraatio ei nouse liian korkeaksi. Hakesiilon häiriötilanteessa ei sen hönkäkaasuja saa johtaa laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään. Samoin kappaleessa 4.3.1. todetaan että erityistä huomiota laimeiden hajukaasujen konsentraatioihin on kiinnitettävä alas- ja ylösajotilanteiden aikana. Usein soodakattiloiden hajukaasuräjähdykset ovat tapahtuneet juuri laimeiden hajukaasujen järjestelmille, joissa seisokki- tai häiriötilanteissa on konsentraatio päässyt nousemaan liian suureksi.

Alla on esitetty ehdotuksia hajukaasujen polttosuosituksen päivittämiseen:

- Ohjeistus hakesiilon höngän keräily- ja käsittelyjärjestelmän turvallisuuden varmistamiseen. Hakesiilon höngät ovat kriittinen keräilykohde, joka vaikuttaa turvalliseen polttoon soodakattilalla.
- Mittaustekniikkaa (LEL- analysaattori) ja turvalukituksia koskevat suositukset keräily- ja käsittelykohteissa.
- Lisätään viimeisimmät 2000-luvun vaurioesimerkit kappaleeseen 13.
- Sisäpiippujen sijoittelu ja korkeuden määrittely otettava suunnittelussa huomioon
- Uusien keräilylähteiden liittäminen tai muutosten (mitoitus / ajotapa yms.) tekeminen hajukaasujärjestelmään vaatii koko keräilyjärjestelmän riskienarviointitarkastuksen (esimerkiksi HAZOP)

4.3 Hakesiilon hajukaasut

SKY:n polttosuositus ei ota tarkemmin kantaa hakesiilon hajukaasuihin liittyvään keräilyyn ja turvalukituksiin. Polttosuositus toteaa laimeita hajukaasuja käsittelevässä kappaleessa 5.1, että ”erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että hakesiilon höngissä häiriötilanteissa hajukaasujen konsentraation ei nouse liian korkeaksi. Hakesiilon häiriötilanteessa ei sen hönkäkaasuja saa johtaa laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään.” Suositus on rajoittunut soodakattila-alueelle ja siinä oletetaan, että laimeiden hajukaasujen pitoisuus on suositusten mukainen (taulukko 5-3, s. 19) alle 10 % LEL rajasta. Hakesiiloon liittyvät turvalukitukset ovat osa keittämön tai hajukaasujen keräilyn automaattiosysteemiä, jolloin myös ohjaus tapahtuu sieltä.

Keitin ja hakesiilon tyyppi määrittyy laitteistontoimittajan mukaan. Alla pari laite-esimerkkiä, joissa räjähdyksiä on tapahtunut:

- Lo-solids- keitin ja Diamondback- hakesiilo
- CompactCooking- keitin ja ImpBin- hakesiilo

Kiehuttimen (Reboiler) asentaminen keittämöön on parantanut hajutilannetta ja turvallisuutta laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmässä. Kiehuttimella tehdään keittimen paisuntahöyrystä puhdashöyryä, jolla pasutetaan hake, jolloin hakesiilon höngät pysyvät tasaisesti laimeina ja ne voidaan aina turvallisesti johtaa lauhduttimen kautta laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmään.

4.3.1 Ehdotuksia hakesiilon hönkien turvalukituksiksi

Viimeisimmät 2000-luvun räjähdyskset ovat liittyneet pääasiallisesti hakesiilon hönkiin, jotka ovat konsentroituneina päässeet laimeiden hajukaasujen keräilyyn. Alla on lueteltu ehdotuksia hakesiilon hönkien turvalukituksista, jotka keittämön tai hajukaasujen keräilyn automaatiojärjestelmään. Nämä perustuvat kokemuksiin viimeisimmistä projekteista ja osa näistä on räjähdysten jälkeisiä täydennyksiä turvallisuuden parantamiseksi: HUOM. Lukitukset tulee aina käydä vaara- ja riskianalyysin avulla läpi ja todeta riskin suuruus ja suojien tarpeellisuus toteuttaa turva-automaatiojärjestelmässä (TAJ).

TAULUKKO 4-2

Ehdotuksia hakesiilon hajukaasusysteemin lukituksiksi

Lukitus	Lukituksen tarkoitus
Hakesiilon pinnan tulee olla alarajan yläpuolella	Estää paisutushöyryn pääsyn väkevänä laimeiden hajukaasujen keräilyyn.
Lämpötila mitataan hakesiilon päällä ja lauhduttimen jälkeen, jolloin korkea lämpötila kääntää kaasut pois laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmästä.	Indikoi keittämön paisutushöyryn pääsyä hakepatjan läpi, jolloin estetään väkevän kaasun pääsy laimeiden hajukaasujen järjestelmään. Lämpötilalla on oltava riittävän alhaiset rajat ja lukituksen oltava tarpeeksi nopea. (Hakesiilon yläosassa lukitusrajana 98 C ja lauhduttimen jälkeen 45 C. Kaasujen kääntö pois keräilystä alle 5 sek.)
Hakesiilon yläpinnan lämpötila alle alarajan	Indikoi, että hakkeen pasutushöyryn osuus hakkeen syötöstä on liian pieni, jolloin vaarana on TRS, metanoli ja tärpättiyhdisteiden akkumuloituminen hakepatjaan räjähdysvaaralliselle alueelle
Hakesiilon höngän virtaus on yli alarajan puhaltimen jälkeen	Indikoi tukoksesta linjassa tai syklonissa sekä vesilastista puhaltimessa. Takaa riittävän laimennusilmamäärän.
Hakesiilon yläpään paine tulee olla alipaineen puolella	Takaa riittävän laimennusilmamäärän laimeiden hajukaasujen keräilyyn
Siirtopuhaltimen jälkeinen paine tulee olla alle ylärajan	Indikoi mahdollisesta tukoksesta tai vesilastista keräilylinjassa
Siirtopuhaltimen jälkeinen paine tulee olla yli alarajan	Indikoi liian pienestä laimennuksesta ja nopeudesta linjassa
Hakesiiloon tulevan paisuntahöyryn venttiilin avautumisnopeutta hidastetaan	Hallitaan paremmin paisuntahöyryn annostelu hakesiiloon käynnistyksen yhteydessä ja että lämpötilamittaus pysyy mukana.
Hakesiilon kuljetin käynnissä tietyn ajanjakson ennen kuin paisutushöyryventtiilin voi avata keittämöltä	Varmistaa, että tuoretta haketta on siilossa absorboimassa paisutushöyryn keittämöltä.

4.3.2 BLRBAC

BLRBAC on päivittänyt ohjeensa ”Recommended good practice for the thermal oxidation of waste streams in a black liquor recovery boiler” lokakuussa 2008, jolloin on lisätty kappale 8 ”Guidelines for thermal oxidation of chip bin NCG.” Kappale käsittelee hakesiilon hönkien erillispolttoa ja sen turvallisuutta. Kappaleessa luetellaan riskit koskien hakesiilon hönkien keräilyyn ja käsittelyyn. Suurin riski kohdistuu hakesiiloihin, joissa käytetään keittämön paisutushöyryä havupuuhakkeen pasutukseen.

Ohjeistus sisältää seuraavat hakesiilon kaasujen polttoon liittyvät ohjeistukset:

- Turvallisuus ja riskit
- Keräily ja käsittely
 - siirto puhaltimen avulla
 - siirto ejektorin avulla
 - poltto suoraan polttopaikassa tai sekoitettuna muun laimean hajukaasun kanssa
- Säätö ja lukitukset

Ohje suosittelee hakesiilon hönkien johtamista polttoon suoraan polttoon omana linjanaan ja omien suuttimien läpi. Tällöin hajupäästöt pienenee oleellisesti ja kaasu ei vaaranna häiriötilanteessa muuta laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmää. Polttopaikan läheisyyteen on lisätty myös liekinestin, jolla estetään liekin leviäminen putkistoa pitkin keräilyn alkupäähän.

Kaasun siirto voidaan tehdä joko puhaltimen tai ejektorin avulla, joista molemmista on lueteltu siirtoon liittyvät edut ja haitat. Höyryejektorin merkittävänä etuina olisi höyryn antama laimennus ja se ettei ejektoriin liity kipinävaaraa. Puhaltimen käytössä suositellaan laimennusilman käyttöä puhaltimen imupuolelle jäähdytyksen jälkeen

Alemman räjähdysrajan (LEL)- analysaattorin käyttöä BLRBAC suosittelee, jos siirtoon käytetään puhallinta ja hakesiiloon tuodaan keittämön paisuntahöyryä. Ohjeistus toteaa, että LEL- analysaattori voi parhaimmillaan ja oikein käytettynä ja kalibroituna antaa tarkemman kuvan kaasun luonteesta, kuin muut käytetyt menetelmät. Sijoituspaikkana on esitetty siirtopuhaltimen jälkeistä linjaa.

Alla on lueteltu ohjeistuksen suosittelemia turvalukituksia ennen hakesiilon hönkien viemistä soodakattilaan polttoon (puhallinta käytetty siirtoon):

- Kattilasuoja kunnossa
- Kattilan höyryn tuotto yli 30 % (MCR)
- Likaislauhteen pumppaussäiliön pinta alle ylärajan
- Puhaltimen tärinätaso alle ylärajan
- Hakesiilon pinta yli alarajan
- Hakesiilon yläpinnan lämpötila alle ylärajan
- Hakesiilon yläpinnan lämpötila yli alarajan
- LEL- analysaattorin mittalukema (%) alle ylärajan (jos käytössä)
- Hakesiilon höngän
 - virtaus on yli alarajan
 - jäähdyttimen jälkeinen lämpötila alle ylärajan

- paine polttoon yli alarajan
- paine polttoon alle ylärajan

Seuraavat ohjauslukitukset kääntävät hakesiilon kaasut poltosta pois ohitukseen:

- Kattilasuoja laukeaa
- Hakesiilon höngän
 - paine alle alarajan tai yli ylärajan
 - virtaus alle alarajan
 - jäähdyttimen jälkeinen lämpötila yli ylärajan
- Hakesiilon ylälämpötilan äkillinen nousu (äkillinen muutos)
- Höngän lämpötila suuttimilla liian korkea
- Siirtopuhaltimen tärinätaso liian korkea
- LEL- analysaattorin mittalukema (%) yli ylärajan (jos käytössä)
- Kattilan höyryn tuotto alle 30 % (MCR)
- Likaislauhteen pumppaussäiliön pinta yli ylärajan
- Venttiili auki toiseen polttopaikkaan tai ohitukseen

5 MITTAUSMENETELMÄT

5.1 Yleistä

Johtuen laimeiden hajukaasujen aiheuttamista räjähdyksistä viime vuosien aikana, mittausmenetelmät, joilla voidaan seurata jatkuvatoimisesti kaasun käyttäytymistä eri ajotilanteissa, ovat tulleet kiinnostaviksi. Yleensä räjähdykset liittyvät tilanteisiin, jolloin prosessi ei ole normaalissa ajotilanteessa, kuten alas ja ylösajotilanteet, jolloin kaasu pääsee konsentroitumaan yli alemman räjähdysrajan. Laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmä pyritään suunnittelemaan siten, että alemmaa räjähdysrajaa (LEL) ei ylitetä. Kuitenkin keräilyn piirissä saattaa olla kohteita, jotka tietyssä ajotilanteessa voivat väkevoityä jopa väkevien hajukaasujen tasolle. Hyvänä esimerkkinä on hakesiilo, johon johdetaan paisuntahöyry keittämöltä. Hakesiilo toimii tässä tapauksessa laimeiden ja väkevien hajukaasujen erottavana rajapintana, jolloin tietyissä tilanteissa (esim. alhainen hakepinta) päästää väkevän hajukaasun laimeiden hajukaasujen keräilyyn. Tällaisessa tilanteessa, jossa väkevoitynyt hajukaasu keräillään yhdessä muun laimean hajukaasun mukana polttoon, olisi jatkuvatoiminen LEL- analysaattori paikallaan. Analysaattorin tarkoitus olisi antaa mahdollisimman aikainen varoitus kaasun koostumuksen lähestyessä räjähdysrajaa. Tyypillinen hälytysraja on 20–30 % LEL-arvosta.

5.2 LEL- analysaattorin toimintaperiaate

LEL- analysaattori mittaa erikseen sekä TRS- yhdisteitä että VOC (Volatile Organic Compounds)- yhdisteitä ja vertailee tuloksia yhdisteiden alempaan räjähdysrajaan. Yleisesti periaatteena on termisesti hapettaa TRS- ja VOC- yhdisteet rikkidioksidiksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi ja määrittää TRS- ja VOC yhdisteet palamisreaktioiden avulla.

Näyte keräillään sondin avulla lämmitettyä näytelinjaa pitkin näytetekoteloon, jossa laimennettu kaasunäyte ensin kulkee referenssi kyvetin kautta analysaattoriin, jossa hajurikki (TRS)- ja hiilivety-yhdisteet (VOC) poltetaan täydellisesti rikkidioksidiksi (SO_2) ja hiilidioksidiksi (CO_2). Täydellinen palaminen varmistetaan riittävällä laimennusilmalla, viipymäajalla ja lämpötilalla. Rikkidioksidin ja hiilidioksidin konsentraatio määritetään tämän jälkeen IR- detektorilla. Mitattu tieto prosessoidaan palamisreaktioihin perustuen TRS- ja VOC- yhdisteiksi. Tyypillisesti VOC- yhdisteet lasketaan täpärinä ja TRS- yhdisteet dimetyylisulfidina. Valvomon näytölle LEL-mittaus näytetään yleensä prosenttiosuutena LEL-rajasta. Laitteella voidaan myös mitata vain toista seoskaasua (TRS tai VOC), niiden summaa ja tarvittaessa massavirtaa.

5.3 Tulosten laskeminen

Palamisreaktioiden perusteella voidaan määrittää mooliosuuksien avulla erikseen TRS-yhdisteiden (metyylimerkaptaanin (CH_3SH), dimetyylidisulfidin ($(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$), dimetyylisulfidin ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) tai rikkivedyn (H_2S)) ja VOC- yhdisteiden (täpärin ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$), metanolin (CH_3)) konsentraatio. Tulokset voidaan siten laskea vertailemalla niitä yhdisteen alempaan räjähdysrajaan. TRS- yhdisteissä käytetään tyypillisesti

dimetyylisulfidia vertailuyhdisteenä. Sillä on alin räjähdysraja (22 000 ppm = 2,2 %) ja se on tyypillisesti myös yleisimpiä hajukaasujen yhdisteistä. Rikkidioksidi voidaan muuntaa reaktioyhtälöiden avulla dimetyylisulfidiksi olettaen, että yksi mooli dimetyylisulfidia hapettuu yhdeksi mooliksi rikkidioksidia. VOC- yhdisteissä vertailuyhdisteenä käytetään tärpähtiä, jolla on alhaisin räjähdysraja (8000 ppm = 0,8%). Tärpähti voidaan muuttaa vastaavasti reaktioyhtälöiden avulla olettaen, että yksi mooli tärpähtiä vastaa 10 moolia hiilidioksidia. LEL- valvonnassa on turvallisinta käyttää tärpähtiä vertailuyhdisteenä ja olettaa, että kaikki tärpähti hapettuu hiilidioksidiksi, vaikka se hieman ylliedustaa todellista tilannetta. Alla on esitetty tyypillinen tilanne, jossa laimeiden hajukaasujärjestelmän suunnittelussa hyvää tapaa noudattaen on käytetty tärpähtille LEL- rajaa 30 %. Tällöin tärpähtin konsentraatio ei saa olla yli $0,3 \times 8000 \text{ ppm} = 2400 \text{ ppm}$ (= 0,24 %) laimean hajukaasun keräily- ja käsittelysystemissä.

$$LEL (\%) = \frac{0.3\% (= 3000 \text{ ppm})}{0.8\% (= 8000 \text{ ppm})} \times 100\% = 30\% \text{ LEL}$$

Vaikka LEL- analysaattori ei anna todellista arvoa tärpähtin tai dimetyylisulfidin pitoisuudesta, se on riittävän tarkka LEL- rajan valvontaan ja ohjaukseen.

5.4 Sunila Oy:n laimeiden hajukaasujen alemman räjähdysrajan (LEL) mittari

Sunila Oy:ssä LEL-mittari on ollut koekäytössä 2000 luvun alkupuolelta lähtien. Alussa laitetta kehitettiin yhteistyössä PPM-Systemsin kanssa. Testilaitte saatiin alkuvuodesta 2002 sellaiseen toimintavarmuuteen että laite ostettiin Sunila Oy:n omaksi ja lisättiin automaatiojärjestelmään jatkuvatoimiseksi mittaukseksi. Kyseisessä analysaattorissa on TRS ja tärpähti mittaukset skaalattuna 0- 100 % alemmasta räjähdyspisteestä (LEL).

Sunila Oy:n mittaustilteisto koostuu seuraavista pääkomponenteista: sondi, lämmitetty näytelinja, laimennusyksikkö, konvertteri, näytteenkäsittely ja analysaattori (Siemens Ultramat 6). Laitteeseen tuleva mitattava kaasu laimennetaan kuivatulla paineilmailalla suhteessa 1:50. Tämän jälkeen näyte johdetaan liekinestimen kautta konvertterille, jossa tapahtuu rikkiyhdisteiden hapettuminen rikkidioksidiksi ja hiilivetyjen hapettuminen hiilidioksidiksi. Tämän jälkeen rikkidioksidi pitoisuus ja hiilidioksidi pitoisuus mitataan IR-detektorilla. Rikkidioksidipitoisuus ilmoitetaan TRS-pitoisuutena ja hiilidioksidipitoisuus TOC-pitoisuutena laimeissa hajukaasuissa. Analysaattorin mitta-alueet ovat skaalattu alueeseen TRS 0 – 5000 ppm ja TOC 0- 50000 ppm.

Sunila Oy:ssä laimeiden hajukaasujen näytteenottosondi analysaattorille sijaitsee keräilyn kokoojaputkessa juuri ennen LAHA-pesuria. Analysaattorin reagointinopeus (viive) ennen Sunila Oy:ssä tapahtunutta LAHA-räjähdystä (2004) oli tärpähtimittauksessa 1min 10s 0 - 29 % LEL ja TRS:ssä 58 s 0 - 45 % LEL. Räjähdysen jälkeen laitetta nopeutettiin minimoimalla analysaattorin kaikki näytetilavuudet ja suurentamalla näytepumppu. Tämän jälkeen viiveet olivat tärpähtillä 39 s 0 - 26 % LEL ja TRS:llä 40s 0 - 40.5 % LEL.

Sunila Oy:n LAHA-räjähdyksessä LEL-analysaattori reagoi ja aluksi aiheutti hakesiilon keräilyventtiilille lukituksen, mutta automaattinen lukituksen poisto aiheutti sen että keräilyventtiili avautui uudestaan, jonka seurauksena aiheutui LAHA-räjähdys. LAHA-

räjähdyksen jälkeen analysaattorin mittauksista rakennettiin turvalogiikan kautta LAHA-lukitukset sekä poistettiin automaattipalautukset. Analysaattorin mittaukset ohjaavat tällä hetkellä LAHA-järjestelmän laimennusilmoja, puhallinta ja polttoa.

Analysaattorin mittausten tarkkuus, pysyvyys ja luotettavuus ovat olleet käyttökokemusten perusteella todella hyvä. Sunila Oy:n automaatio-osasto tarkastaa analysaattorin toiminnan kerran kuussa näytekaasuilla. Näytekaasuina on 1 prosenttinen rikkivety ja 2 prosenttinen maakaasu. Näytevirtauksen suuruus tarkastetaan aamukierroksilla 3 kertaa viikossa. Muita huoltoja joita analysaattoriin on jouduttu tekemään näinä vajaan 10 vuotena, on ollut näytteenottosondin puhdistuksia (keskimäärin kerta vuoteen), konvertterin lämpötila-antureiden uusimisia, näytteenottopumpun huoltoa ja näytteenoton magneettiventtiilien uusimisia.

LEL-analysaattori on vuoden 2004 jälkeen aiheuttanut muutaman oikean lukituksen laha-linjassa nousseen pitoisuuden johdosta. Lisäksi LEL-analysaattori häiriö -tieto on aiheuttanut muutamia aiheettomia laha-kaasujen kääntöjä pois poltosta. Nämä häiriöt ovat liittyneet näytteenkäsittelyn näytekaasun loppulämpötilaan, jotka ovat johtuneet analysaattorikaapin jäähdyttimen toimimattomuudesta.

Sunilan Oy:n kokemusten mukaan LEL-analysaattori on varsin toimiva ja vähän huoltoa kaipaava analysaattori verrattuna moneen muuhun analysaattoriin. Analysaattorin tuottama mittaustieto viiveet mukaan lukien on melko nopeaa kun hälytys/lukitusrajat asetetaan riittävän alas.

5.5 Yhteenveto LEL-mittauksesta

Alla on lueteltu kokemuksia liittyen LEL- mittaukseen:

- LEL- mittauksella on mahdollista seurata räjähdysvaarallisten aineiden koostumusta prosessin eri ajotilanteissa riittävällä tarkkuudella. Täytyy muistaa, että hälytysraja on syytä asettaa riittävän alas, koska kaasun konsentraatio nousee yleensä nopeasti
- LEL- analysaattorin analysoiman hiilidioksidin perusteella voidaan määrittää tärpätin (VOC) konsentraatti ja sen prosenttiosuus LEL-rajasta (8000 ppm) ja vastaavasti rikkidioksidin perusteella voidaan määrittää dimetyylisulfidin (TRS) pitoisuus ja sen osuus räjähdysrajasta (22 000 ppm).
- Laimeiden hajukaasujen lauhtumattomien kaasujen haihtuvat hiilivety-yhdisteet koostuvat pääasiassa tärpätistä, metanolista ja etanolista. Turvallisinta on muuttaa kaikki muodostunut hiilidioksidi tärpätiksi ja vertailla sitä sen alarajaan
- LEL- analysaattorin päätarkoitus on ilmoittaa ennakoivasti kasvavasta pitoisuudesta laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmässä, jolloin puhutaan alueesta 20-100 % LEL. Analysaattori ei mittaa tarkasti alle 100 ppm:n pitoisuuksia
- Mittausvirheen minimoimiseksi näytteenottolinjan täytyy olla eristetty ja lämpösaatettu, jotta hajukaasuyhdisteiden lauhtumista ei tapahdu ennen analysointia.
- LEL- analysaattorin mittauspaiikka on harkittava tarkkaan, jotta sillä olisi mahdollisimman hyvä ennakoitavuus. Nopeissa muutoksissa räjähdyskelpoiset kaasut ovat jo järjestelmässä ennen kuin LEL-mittari toimii.

- LEL-analysaattori itsessään ei takaa turvallista laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmää.

6

YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Perussyy laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmässä tapahtuneisiin räjähdyskiin on ollut aina jonkun hajukaasukomponentin (tärpätti, metanoli, dimetyylisulfidi) pitoisuuden nousu yli alemman räjähdysrajan ja edelleen syttyminen korkeasta lämpötilasta tai staattisesta kipinästä. Tapahtuneiden räjähdysten perusteella voidaan todeta, että ne ovat tapahtuneet yleensä käynnistysten tai seisokkitilanteiden yhteydessä. Suurin yksittäinen syy laimeiden hajukaasukeräilyn konsentroitumiseen on ollut hakesiilon häiriöt käynnistykseen yhteydessä ja polttoliipeäsäiliön väkevät hajukaasut, jos ne ovat sekoittuneet laimeiden hajukaasujen järjestelmään.

Laimeiden hajukaasujen järjestelmä pyritään suunnittelemaan siten, että laimennusilman riittävyys kaikissa tilanteissa on riittävä. Lisäksi turvalukitukset keräilykohteissa on oltava toimivat. Viimeaikaisten räjähdysten perusteella suunnittelu ei kuitenkaan ole ollut riittävä kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi hakesiilon höngistä johtuvat räjähdyskerrat ovat lisänneet turvalukituksia hakesiilon toiminnan ympärille jokaisen räjähdyskerran jälkeen. Myös kiehutin (reboiler) keittämön paisutuskasuille ja puhdashöyryn valmistukseen hakkeen pasutuksessa, on otettu käyttöön monella tehtaalla. Näillä tehtailla ei hakesiilon hönkien konsentroitumisongelmia ole sen jälkeen ollut.

Hajukaasujen polttosuositus sisältää hyvin perustietouden, jotka tulee ottaa huomioon hajukaasujen poltossa soodakattilalla. Yksityiskohtaiseen keräilyyn liittyviin asioihin polttosuositus ei ota kantaa. Alla on esitetty ehdotuksia hajukaasujen polttosuosituksen päivittämiseen:

- Ohjeistus hakesiilon höngän keräily- ja käsittelyjärjestelmän turvallisuuden varmistamiseen. Hakesiilon höngät ovat kriittinen keräilykohde, joka vaikuttaa turvalliseen polttoon soodakattilalla.
- Mittaustekniikkaa (LEL- analysaattori) ja turvalukituksia koskevat suositukset keräily- ja käsittelykohteissa
- Lisätään viimeisimmät 2000-luvun vaurioesimerkit kappaleeseen 13
- Sisäpiippujen sijoittelu ja korkeuden määrittely otettava suunnittelussa huomioon
- Uusien keräilylähteiden liittäminen tai muutosten (mitoitus / ajotapa yms.) tekeminen hajukaasujärjestelmään vaatii koko keräilyjärjestelmän riskienarviointitarkastuksen (esimerkiksi HAZOP)

Jatkuvatoimisten analysaattoreiden mittausten menetelmät ovat kehittyneet viime vuosien aikana. Alemman räjähdysrajan (LEL) analysaattorit ovat tuoneet mahdollisuuden seurata riittävällä tarkkuudella laimeiden hajukaasujen konsentraatiota prosessin toiminnan aikana eri ajotilanteissa. LEL- analysaattorin käytön aikana on kuitenkin muistettava, että sijainti on harkittava tarkkaan ja hälytysraja on asetettava riittävän alhaiselle tasolle (tyypillisesti 20–30 % yhdisteen LEL- tasosta). Tärkeää on myös muistaa, että LEL- analysaattori itsessään ei varmista turvallista laimeiden hajukaasujen keräilyä ja käsittelyä. Tehtailla tulisi olla tiukat ja selkeät toimintaohjeet tilanteille, jossa LEL- analysaattori antaa hälytyksen, esimerkiksi mitä tehdään ensimmäiseksi, minne kaasut ohjataan tai miten hajukaasua laimennetaan. Liiallinen luottaminen LEL-

analysaattoriin voi johtaa vaaratilanteisiin. Lukitusten liittäminen LEL- analysaattoriin tulisi harkita tarkkaan tapauskohtaisesti, jotta välttyttäisi liian automatiikan tuomista riskeistä.

Ongelmana monessa räjähdystapauksissa on ollut kaasun nopea konsentroituminen ylösajon tai prosessimuutoksen seurauksena. Tämä on otettava huomioon mietittäessä turvalukituksia häiriökohteisiin ja valittaessa LEL- mittauksen sijaintia. Automaation tulisi ennakoida tietyistä prosessin parametreista tuleva konsentraatiopiikki ja toimia etukäteen. Yhtenä esimerkkinä voitaisiin mainita äkillisen lämpötilan nousun tietyllä aikagradientilla hakesiilossa, sillä on hakesiilon kaasuista johtuvia räjähdysä, joissa lämpötilalukitusraja ei ole ehtinyt tarpeeksi nopeasti mukaan kääntämään hajukaasuja ohitukseen. LEL-mittaus ei kuitenkaan tällä hetkellä täytä lukituksen vaatimaa eheyttä.

7

VIITTEET

Pekkanen M., Laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmän selvitys, Pöyry Industry Oy, 2004.

Parviainen K., Winberg K., Nordbäck K., Pietilä T., Mattila L., Heikkinen T., Öhman H., Onnettomuustutkintaraportti, UPM Pietarsaari, Sellutehdas, Räjähdys laimeiden hajukaasujen piipussa 28.12.2008.

Pisto O., Automaatiotyöryhmän kokous II/2008. Muistio 16A0913-B0324, 28.4.2008

Partanen J., Palmén M., Munukka A., Onnettomuustutkintaraportti Dnro 4647/06/2004, Räjähdys Sunila Oy:n laimeiden hajukaasujen järjestelmässä 19.10.2004.

Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee (BLRBAC), ” Recommended Good Practice for the Thermal Oxidation of Waste Streams in Black Liquor Recovery Boilers, 2008.

Vakkilainen E., Hajukaasujen polttosuositus. Suomen Soodakattilayhdistys, 2005.

Tamminen A., Online LEL- Analyzer for DNCG System Control, Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee (BLRBAC) 2005 Spring Meeting Atlanta, Georgia.

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 22.1.2009, esitelmät
Sokos Hotel Vaakuna, Kouvola/UPM Kymmene Oyj, Kymin tehdas, Kuusankoski
(16A0913-E0099) 22.1.2009
- 2/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2008
(16A0913-E0100) 2.4.2009
- 3/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Pöytäkirja. Vuosikokous 2.4.2009, Pöyry Industry Oy, Vantaa
(16A0913-E0101) 16.4.2009
- 4/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan keon lämmönsiirto-ominaisuudet – Kirjallisuuskatsaus
Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, Professori Esa Vakkilainen
(16A0913-E0102) 30.12.2008
- 5a/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring
i sodapannor
Åbo Akademi, Niklas Vähä-Savo
(16A0913-E0103) 25.9.2009
- 5b/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Minuuttison-di-projekti
Åbo Akademi, Niklas Vähä-Savo
(16A0913-E0104) 25.9.2009
- 6/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Sähkösuodintuhkan puhdistus. Osa IV
Prosessin koeajo tehdaskaltaisella laitteistolla
Sirra, KCL, Kurt Sirén
(16A0913-E0105), 13.10.2009
- 7/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 29.10.2009
Sokos Hotel Flamingo, Vantaa
(16A0913-E0106)
- 8/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Muutosilmiöt soodakattilakeossa
Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, Tanja Pentisaari
(16A0913-E0107), 5.11.2009

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 11.2.2010, esitelmät
Scandic Oscar Varkaus/Stora Enso Oyj, Varkauden tehdas
(16A0913-E0108) 29.1.2010
- 2/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Once-through and reheater recovery boiler – concept studies
Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology. Departement of Energy Technology
Esa Vakkilainen, Juha Kaikko, Marcelo Hamaguchi
(16A0913-E0110) 17.3.2010
- 3/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Emäveden jatkokäsittely
Kurt Sirén, Sirra T:mi
(16A0913-E0111) 15.3.2010
- 4/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Seisokin vaativat määräaikaistestaukset soodakattiloilla
Mauri Heikkinen, Pöyry Finland Oy
(16A0913-E0112) 15.3.2010
- 5/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2009
(16A0913-E0113) 14.4.2010
- 6/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Pöytäkirja. Vuosikokous 14.4.2010, Scandic Jyväskylä, Jyväskylä
(16A0913-E0114) 5.5.2010
- 7/2010 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hajukaasujen polttosuosituksen päivitykseen liittyvä selvitys
Markku Pekkanen, Raimo Nieminen, Tuomas Lehtinen; Pöyry Industry Oy
(16A0913-E0115) 3.7.2009