



SÄÄTÖTEKNIIKAN LABORATORIO

SAVUKAASUMITTAUKSET

Timo Mäki
Jani Posio

Raportti B No 51, Maaliskuu 2004

Oulun yliopisto
Säätötekniikan laboratorio
Prosessitekniikan osasto
Raportti B No 51, Maaliskuu 2004

Savukaasumittaukset

Timo Mäki ja Jani Posio

Tiivistelmä: Tässä kirjallisuusselvityksessä on tarkasteltu savukaasujen mittaamisessa huomioitavia asioita. Päästömittausten teknikoiden hallitseminen, päästöjen tarkkaileminen ja tiukentuvat päästövaatimukset edellyttävät entistä tarkempia päästömittauksia. Savukaasuanalyysia tarvitaan säätämään palamista optimiksi ja toisaalta vähentämään palamisessa muodostuvia haitallisia päästöjä. Savukaasuanalyysin tarkoituksena voimalaitoksilla on optimoida prosessikontrollia, lisätä laitoksen hyötysuhdetta ja vähentää haitallisia päästöjä.

Tässä raportissa käsitellään aluksi savukaasujen yleisiä ominaisuuksia kuten koostumusta ja koostumuksen vaihtelun merkitykseen analysoinnin kannalta. Tässä selvityksessä on esitelty savukaasujen eri mittaustekniikoita ja analysointoreita, mittausjärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä, mittauspaikkojen vaatimuksia ja apusuureiden määrittelyä tilanteissa, joissa savukaasujen suora mittaus on vaikeaa tai mahdotonta suorittaa. Savukaasujen mittauksen ongelmista on esitetty yleisimmät.

Vuonna 2005 voimaan tulevan säädöksen mukaisesti annetaan uudet raja-arvot yli 100 MW:n polttolaitosten savukaasupäästöille. Tässä työssä on tarkasteltu uusien säädösten vaikutusta päästöjen aiheuttajan kannalta..

Hakusanat: savukaasumittaus, savukaasujen mittausvaatimukset, savukaasupäästöjen optimointi

ISBN 951-42- 7333-8

ISSN 1238-9404

ISBN 951-42-7555-1 (PDF)

Oulun yliopisto

Säätötekniikan laboratorio

Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto

PL 4300

90014 Oulun Yliopisto

OULUN YLIOPISTOPAINO

Oulu 2004

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	2
2	SAVUKAASUMITTAUKSET	3
2.1	Savukaasun koostumus	3
2.2	Savukaasumittauksen perusasiat	3
3	SAVUKAASUJEN MITTAUSTEKNIikka	6
3.1	Mittausjärjestelmän valinta	6
3.2	Mittauspaikkojen vaatimukset	6
3.3	Päästömittaustekniikat	6
3.3.1	Sähkökemialliset mittauskennot	7
3.3.2	Sähkökeraamiset kaasuanturit	7
3.3.3	Katalyyttiseen palamiseen perustuvat mittausmenetelmät	7
3.4	Apusuureiden määrittäminen	8
3.4.1	Virtaus	8
3.4.2	Kosteus	8
3.4.3	Lämpötila	9
3.5	Savukaasuanalysointimetodit	9
4	UUSIEN SÄÄDÖSTEN VAIKUTUS SAVUKAASUMITTAUKSIIN	10
5	YHTEENVETO	12
	LÄHDELUETTELO	13

1 JOHDANTO

Päästömittausten tekniikan hallitseminen tulee koko ajan tärkeämmäksi. Päästöjen tarkkaileminen ja tiukentuvat päästövaatimukset edellyttävät päästömittauksia, joiden tarve lisääntyy./1, s. 3/

Viimeaikainen trendi kohti yhä puhtaampia tuotantotapoja on asettanut nykyistä suurempia paineita savukaasujen mittauksille, niiden vähentämiselle ja hyötykäytölle. Päästömittaavaatimukset tulevat muuttumaan oleellisesti tulevaisuudessa, joka osaltaan luo uusia haasteita suurille polttolaitoksille. Nämä em. ekologiset syyt ovat nostaneet savukaasumittaukset yhä tärkeämpään rooliin tuotantolaitoksen kokonaisuudessa. Savukaasumittaukset ovatkin varsin lyhyen ajan kuluessa muodostuneet erääksi keskeisimmistä voimalaitosmittauksista.

Tähän mennessä päästömittauksista on määrätty laitosten ympäristöluvista, joissa käytäntö on puolestaan vaihdellut laitoksittain ja alueellisesti. Tämä on osaltaan vaikeuttanut päästöjen seuranta ja vertailua. Savukaasujen mittaus tulee lakiuudistusten myötä kehittymään kohti kiinteitä jatkuvatoimisia savukaasuanalysaattoreita. Nämä tulevat lisävelvoitteet asettavat erityishuomion oikean instrumentoinnin valinnalle ja investointien optimoinnille.

Savukaasuanalyysejä tarvitaan säätämään palamista optimiksi ja toisaalta vähentämään palamisessa muodostuvia haitallisia päästöjä. Savukaasuanalyysin tarkoituksena voimalaitoksilla on optimoida prosessikontrollia, lisätä laitoksen hyötysuhdetta ja vähentää haitallisia päästöjä.

Suomessa päästörajoituksia on tähän mennessä asetettu rikkidioksidille SO₂, typen oksideille NO_x sekä pölylle. Laitoksilla on yleisimmin käytössä edellä mainittujen kaasumaisten komponenttien analyysointilaitteiden lisäksi CO- ja O₂ analyysointilaitteet sekä savukaasun lämpötilamittaus.

Kaasupitoisuuden mittaamisessa hyödynnetään siis kemiallista reaktiota tai fysikaalista ilmiötä, jonka tapahtumiseen vaikuttaa mitattavan kaasun pitoisuus. Tämän pitoisuuden säätösuure muunnetaan sähköiseksi viestiksi, joka johdetaan mittarin näyttölaitteelle.

Tässä raportissa tutustutaan yleisimpiin savukaasujen mittaustekniikoihin ja -vaatimuksiin, annetaan yleiskuva mittalaitteista ja tehdään katsaus tulevaisuuden trendeihin.

2 SAVUKAASUMITTAUKSET

2.1 Savukaasun koostumus

Tyypillisesti savukaasut sisältävät pääosin typpeä, hiilidioksidia, vesihöyryä ja happea. Ilmansuojelullisesti pienen, mutta merkittävän osan muodostavat rikin ja typen oksidit. Näiden lisäksi savukaasuissa on myös pieninä pitoisuuksina lukuisia muita komponentteja, joita ei kuitenkaan tässä yhteydessä tarkastella tarkemmin. Taulukossa 1 on esitetty savukaasun tärkeimmät komponentit, mittauksen tarkoitus ja mittaustarve./1, 2, s. 323/

Taulukko 1. Savukaasun tärkeimmät komponentit, mittauksen tarkoitus ja mittaustarve.

Komponentti	Mittauksen tarkoitus	Mittaustarve
O ₂	säätömittaus	jatkuva
CO	säätö- ja päästömittaus	jatkuva
CO ₂	säätömittaus (päästömittaus)	jatkuva
SO ₂	säätö- ja päästömittaus	jatkuva/määräaikainen
NO _x (=NO+NO ₂)	päästömittaus	jatkuva/määräaikainen
H ₂ S	päästömittaus	jatkuva/määräaikainen
Hiukkaspäästöt (pöly)	päästömittaus	jatkuva/määräaikainen
Raskasmetallit	päästömittaus	jatkuva/määräaikainen

Savukaasun koostumus riippuu olennaisimmin käytettävästä polttoaineesta ja polttotekniikasta. Tämän vuoksi päästönormit on annettu erikseen erityyppisille voimalaitoksille ja kattilatyypeille. Kaikille savukaasun sisältämille haitallisille aineille ympäristölaki ja jätteenpolttodirektiivi määrittelevät enimmäispitoisuusrajat. Polttoprosessi pitäisi säätää siten, ettei savukaasuissa esiinny lainkaan tai esiintyy ainoastaan vähäisiä määriä palamattomia aineita. Tämä edellyttää palavien aineiden riittävän pitkää viipymäaika riittävän korkeassa lämpötilassa. Viipymäaika joudutaan laskemaan kattilan mitoituksen ja muiden ominaisuuksien sekä poltettavien aineiden palamisominaisuuksien perusteella. Tehtyjen kokeiden perusteella savukaasukomponenteista NO_x olivat vaikeimmin hallittavia. Poltto on säätö- ja optimointitehtävä polttoaineen hiilipitoisuuden, palamislämpötilan ja palamisilmamäärän suhteen. Käytännössä ihanteellista polttoteknistä olotilaa on mahdoton saavuttaa, mutta tarpeeksi hyvillä mittauksilla ja tarkalla säädöllä voidaan päästä lähelle optimia. /2, s. 323, 3/

2.2 Savukaasumittauksen perusasiat /1, 4/

Päästömittauksia voidaan käyttää päästöselvitysten, leviämislaskelmien ja kaasupäästöjen vähentämisen perustana /1, s. 9/. Päästöjen luotettava mittaaminen on

vaativaa, koska mittaustulokseen vaikuttaa monia häiritseviä tekijöitä (hiukaspitoisuus, korrosoiva ympäristö, lämpötila ja kosteus). Tietyt mittausten menetelmät näyttävät myös olevan herkempiä ja toiset taas robustimpia erilaisille häiriötekijöille. Hyvä lopputulos vaatii muutamien tärkeiden tekijöiden ymmärtämistä ja huomioimista niin laitteistojen kuin ylläpidonkin suhteen. Tärkeimmät mittauksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät on esitetty tarkemmin seuraavassa kappaleessa 2.2.1 ”Savukaasumittausten ongelmat”.

2.2.1 Savukaasumittausten ongelmat

Mittaukseen liittyviä ongelmia voidaan luokitella niiden aiheuttajien perusteella. Yleisiä ongelmia ovat toisten kaasujen häiritsevät vaikutukset ja kyseisen analyysaattorin soveltumattomuus kyseiseen mittaustilanteeseen. Ympäröivät olosuhteet, kuten esimerkiksi lämpötila, paine, kosteus ja kaasun kiintoainehiukkaset, aiheuttavat myös ongelmia. Mittaustulokseen vaikuttaa siten useita toisistaan riippumattomia tekijöitä, jotka voivat vaihdella hyvinkin nopeasti.

Savukaasuanalyysaattorit mittaavat suhteellisia arvoja (% , ppm, ppb jne.). Päästöarvo on kuitenkin aina absoluuttinen määräarvo (mg/MJ, mg/m³ jne.). Lopullinen päästöarvo on siten laskennallinen arvo, jossa usean muuttujan tilanne on saatava hallintaan. Lopputulos syntyy siis lukuisien muuttujien funktiona. Ei riitä, että mitataan pelkkiä savukaasukomponentteja, vaan oikean lopputuloksen määrittämiseen tarvitaan myös vesipitoisuuden, lämpötilan ja paineen mittausta. Ymmärtämällä ja huomioimalla päävaikutuksien aiheuttajat, mahdollisuudet päästä luotettavaan ja toimivaan lopputulokseen paranevat. /5/

Hiukkasmaisia epäpuhtauksia (tuhkaa) muodostuu runsaasti poltettaessa etenkin kiinteitä polttoaineita. Savukaasujen puhdistamiseen voimalaitoksilla käytetään nykyisin pääasiallisesti sähkö- ja letkusuodattimia. Sähkösuodattimissa partikkelien erotus tapahtuu elektrodien välissä vallitsevan voimakkaan sähkökentän vaikutuksesta. /6/

Partikkelien erotuslaitteissa hiukkasia sisältävä kaasuvirta johdetaan alueelle, jossa hiukkasiin vaikuttaa ulkoinen voima tai voimia, joka aiheuttaa niiden erottumisen kaasuvirrasta. Partikkelien erottumista kaasuvirrasta kuvataan erotusasteella, joka tarkoittaa erotettujen partikkelien määrän suhdetta tulevien partikkelien määrään. Loppuosa partikkeleista läpäisee suodattimen. Suodattimen kokonaiserotusaste voidaan esittää yhtälöllä

$$n = (c_0 - c)/c_0 = 1 - c/c_0$$

jossa c_0 tulevien hiukkasten konsentraatio ja c suodattimen läpäisseiden hiukkasen konsentraatio. Suodattimen kokonaiserotusaste määritetään mittaamalla konsentraatio ennen ja jälkeen erotuslaitteen. Yleensä konsentraatioasteen on oltava yli 99 %. /6/

Erään tutkimuksen mukaan esimerkiksi hiilidioksidin mittaaminen on osoittautunut huomattavasti aiemmin oletettua monimutkaisemmaksi. Saman tutkimuksen mukaan savukaasumittauksissa, joissa on huomattavasti enemmän NO:tta kuin NO₂:ta, on NO:n ilmaiseminen tärkeämpää kuin NO₂:n. Uusia, tarkempia mittausten menetelmiä kehitetään jatkuvasti /7, 8, 9/

On myös muistettava, että kaasumittausten lopputulokseen vaikuttavat tekijät ovat aina sovelluskohtaisia. Näin ollen käyttäjän tulee valita näytteenkäsittely- ja mittausmenetelmät oman käyttötärpeensa ja laitoksen olosuhteiden mukaisesti.

3 SAVUKAASUJEN MITTAUSTEKNIikka

3.1 Mittausjärjestelmän valinta /1, 5/

Mittausmenetelmän valinta on monesti vaikeaa, koska tarjolla saattaa olla useita vaihtoehtoja. Lisäksi joitakin menetelmiä voidaan soveltaa usealla eri tavalla. Kuten aikaisemmin mainittiin savukaasumittauksen onnistumiseen vaikuttavat useat tekijät. Näin ollen ei voida yksiselitteisesti määrittää parasta näytteen käsittely- ja mittausmenetelmää. Mittausmenetelmän valinta onkin aina laitospeskoittainen toimenpide.

Seuraaviin seikkoihin tulisi kiinnittää huomiota analysaattorijärjestelmän valinnassa:

- laitteisto aiemmat referenssit (käyttökokemukset)
- käyttö- ja huoltokustannukset,
- laitetoimittajan huolto-organisaatio (resurssit, päivitykset, varaosien saanti ja toimitusaika) ja
- mahdollisuus huoltosopimukseen.

Mittausjärjestelmän hinta muodostuu aina kokonaisuudesta, joten on tärkeää varmistaa, että laitteisto ja siinä käytetyt menetelmät täyttävät uusien asetusten vaatimat laadunvarmennusmenettelyt ja vertailumittauksissa käytettyjen referenssimenetelmien vaatimukset. Lisäksi on syytä miettiä, onko nk. laitteiston vasteajalla merkitystä (käytetäänkö saatuja mittaustietoja reaaliaikaiseen säätöön).

3.2 Mittauspaikkojen vaatimukset /1, 5/

Mittalaitteen pitäisi toimia mahdollisimman vakaasti laadunvarmennuksen kannalta. Tämä asettaa tiettyjä vaatimuksia laitteiston sijoituspaikalle ja –ympäristölle. Yleisesti pätee sääntö, että mitä lyhyempi näytelinja sitä vakaampi ja nopeampi toiminta. Toisin sanoen analysaattoritulat tulisi sijoittaa niin lähelle sondia kuin mahdollista. Ylipitkät näytelinjat lisäävät erilaisten häiriöiden vaikutusta ja pidentävät vasteaikaa.

Mittauspaikka pitäisi sijoittaa mahdollisimman tasaisen virtauksen alueelle savukaasukanavassa. Tällaisessa paikassa virtausta häiritseviä tekijöitä on mahdollisimman vähän, eli mittausensorin lähellä, ennen ja jälkeen ei tulisi olla mutkia, supistuksia, ohjainpeltejä ym. Näin saadaan luotettavasti mitattua virtausnopeus ja kaasumäärä kehittyneen virtausprofiilin alueelta. Lisätietoja mittausyhteiden savukaasukanavaan sijoittamisesta ja muista mittauspaikan vaatimuksista on esitetty eri standardeissa (esim. standardit SFS 5625, ISO 9096 ja ISO 10396).

3.3 Päästömittaustekniikat

Tässä kirjallisuustyössä tarkastellaan jatkuvatoimisia savukaasumittauksia, joilla saadaan reaaliaikaista tietoa savukaasun sisältämistä päästöistä. Päästölaskennassa ja raja-arvojen noudattamista arvioitaessa tarvitaan jatkuvatoimisten kaasua ja hiukkasmittausten antamaa tietoa savukaasupäästöistä sekä ns. apusuureiden (paine,

lämpötila, virtaus ja kosteus) määrittämistä. Mittausmenetelmät voidaan luokitella käytettävän näytteenottotavan perusteella seuraavasti:

- In-situ menetelmät (suoraan savukaasusta mittaava).
- Ekstraktiiviset menetelmät (näytteenottoon perustuvat menetelmät).

In-situ menetelmässä sondi mittaa kanavassa pitoisuuden yhdessä pisteessä (pistemäinen mitta) tai vaihtoehtoisesti laitteisto mittaa pitoisuuden koko kanavan halki (kanavan läpimittaus). Ekstraktiivisissa menetelmissä näytekaasu käsitellään sen sisältämän kosteuden ja hiukkasten vuoksi ennen analysointia. Esikäsittelyn tehtävä on saattaa näyte muuttumattomana analysaattorille, suojata analysaattoria epäpuhtauksilta ja häiritseviltä kaasukomponenteilta sekä saada vakio-olosuhteet lämpötilan, paineen ja virtauksen suhteen. Yleensä tämä mittaustekniikka vaatii erillisen näytelinja rakentamista ja lämmitettävien suodattimien käyttöä. Nykyisin eri kaasukomponenttien mittaukseen löytyy molemmilla mittaustavoilla toteutettuja mittalaitteita melko hyvin. Erot menetelmien välillä syntyvät mittaustarkkuuksista (erotustarkkuus, toistettavuus jne.), vasteajoista, mittaussympäristövaatimuksista ja robustisuudesta häiriöitä kohtaan.

3.3.1 Sähkökemialliset mittauskennot /1, s. 141/

Sähkökemiallisia mittauskennoja käyttäen on voitu konstruoida kannettavia mittauslaitteita, joilla voidaan määrittää samanaikaisesti useita kaasukomponentteja. Kutakin mitattavaa kaasua varten on oma kenno. Sähkökemiallisia kennoja valmistettu mittaamaan hapen, hiilidioksidin, typen oksidien ja rikkidioksidin pitoisuuksia päästökaasuista. Sähkökemiallinen kenno perustuu hapetus-pelkistysreaktioon, joka on ominainen juuri mitattavalle kaasulle.

3.3.2 Sähkökeraamiset kaasuanturit /1, s.143/

Elektronisten kaasuanturien kehittämisen tavoitteena on kaasupitoisuuksien mittaamisen yksinkertaistaminen. Jatkuvatoimisen kaasuanturin merkittäviä ominaisuuksia ovat

- herkkyys ja nopeus
- kestävyys ankarissakin olosuhteissa
- yksinkertaisuus ja helppokäyttöisyys
- soveltuvuus sekä prosessikaasujen että ilmaympäristön mittauksiin ja
- halpuus.

3.3.3 Katalyyttiseen palamiseen perustuvat mittausmenetelmät

Palavien kaasujen pitoisuuden mittaamiseen voidaan käyttää katalyyttiseen palamiseen perustuvaa mittaria. Se koostuu tavallisesti kahdesta sähkönvastuksen muuttumiseen perustuvasta lämpötila-anturista, joista toinen on pinnoitettu katalyyttisellä aineella kuten platinalla ja toinen inerilla aineella. Esimerkiksi savukaasun lämpötilassa palamatta jääneet kaasukomponentit palavat katalyyttisen aineen vaikutuksesta ja nostavat katalyytillä pinnoitetun anturin lämpötilaa. Mittaus-

ja referenssielektrodien lämpötilaero riippuu silloin palavien aineiden konsentraatiosta ja sitä soidaan käyttää mittausviestinä.

3.4 Apusuureiden määrittäminen

Apusuureita tarvitaan, jotta tositaaliset mittaukset (esim. mg/m³) voidaan laskea normitilaan ja ilmoittaa tulos päästömääräysten mukaisesti.

3.4.1 Virtaus

Savukaasun tilavuusvirran määrittämiseen voidaan käyttää sekä epäsuoria (laskennallisia) että suoria, mittauksiin perustuvia menetelmiä.

Epäsuorassa menetelmässä savukaasun tilavuusvirtaus määritetään kattilataseesta laskemalla tai puhallintiedoista. Kattilataseesta laskemalla saatu savukaasun virtausmäärä on luotettava öljy- ja kaasupoltossa, mutta epäluotettavampi biopolttoaineita käytettäessä.

Suoralla virtausmittauksella määritetään savukanavassa virtaavan kaasun virtausnopeus (m/s) tai tilavuusvirta (m³/s). Yleensä kyseessä on keskimääräisen virtausnopeuden määrittäminen virtauskanavan poikkileikkauksena. Yleisimpiä virtausmittausmenetelmiä ovat Pitotputki, Annubar-putki, kohtiomittaus, termiset mittausmenetelmät, ultraäänen etenemisnopeuteen perustuvat mittaukset ja Doppler-ilmiöön perustuvat menetelmät. /1, 5/

3.4.2 Kosteus

Savukaasujen yhteydessä puhutaan kuivista ja kosteista savukaasuista. Kosteat savukaasut pitävät sisällään savukaasujen vesihöyryn, mutta kuiviin savukaasuihin ei vesihöyryä lasketa mukaan. Samoin kuin savukaasun tilavuusmittaus myös kosteus voidaan määrittää suorasti tai epäsuorasti.

Epäsuorassa menetelmässä palamattomana komponenttina vesi siirtyy savukaasuihin sellaisenaan ja siten savukaasun kosteus on laskettavissa kattilataseesta, kun tiedetään polttoaineen koostumus ja ominaisuudet, savukaasun jäännöshappipitoisuus sekä palamisilman suhteellinen kosteus. Kosteuden laskeminen taseesta edellyttää, ettei käytössä ole savukaasun kosteuteen vaikuttavia puhdistimia kuten rikinpoistolaitosta. Kosteuden laskeminen taseesta on erityisen luotettavaa öljy- ja kaasupoltossa, jossa polttoaineen kosteus ja massavirta pysyvät vakioina. Savukaasun kosteus on määritettävissä lämpötilan avulla kylläisestä savukaasusta esim. rikinpoiston jälkeen, sillä Mollier-diagrammeista voidaan lämpötilan perusteella määrittää savukaasun kosteus.

Savukaasun kosteutta mitataan yleensä jatkuvatoimisesti infrapunaspektroskopiaa hyödyntävin menetelmin kaasumaisten yhdisteiden mittausten yhteydessä, josta on olemassa sekä insitu- että ekstraktiivisia menetelmiä

3.4.3 Lämpötila

Savukaasun lämpötilaa mitataan esim. termoelementin avulla ja lämpötilan avulla pitoisuustulos saatetaan normitilaan. Kaasumolekyylien rotaatio- ja vibraatioenergiatilat noudattavat Boltzmannin jakaumaa, jota säätelee lämpötila. /1, s. 135/

3.5 Savukaasuanalysaattorit

Laitteiden valikoima on laajentunut merkittävästi viime vuosina. Uudet säädökset lisäävät huomattavasti savukaasupäästöjen mittaamistarvetta.

Infrapuna-analysaattori on monipuolinen laite, jonka rakenne on helposti sovellettavissa teollisuuden mittausolosuhteisiin. Savukaasuanalyseissä sitä käytetään palamisprosessin tehokkuuden ja saastepäästöjen valvontaan, jolloin mitataan kaasujen kuten CO₂, NO, NO₂ pitoisuuksia palamiskaasuista. Keski-infrapuna-alueella toimiva spektroskopia on osoittautunut ideaaliseksi teknologiaksi kemiallisessa on-line analyysissä. Infrapunaspektroskopia on muutoinkin ainoa menetelmä, joka voidaan suorittaa vallitsevassa prosessilämpötilassa. Se antaa mahdollisuuden tarkastella suoraan molekyylien rakenteita ja kulkua kemiallisissa reaktioissa. /2, s. 167-175, 9, 10/

Erään valmistajan mekaaniset CO₂-pitoisuuden analysaattorit on skaalattu toimimaan eri mitta-alueella. Mittarit ovat päältäpäin saman näköisiä ja kokoisia, mutta eroavat toisistaan niin rakenteeltaan kuin sisällä olevasta absorptiionesteestä. Tämän vuoksi jokainen mittari on käyttökelpoinen vain sille tehtaalla asetetulla mitta-alueella. Tarkkuus on ± 0,5 %. /9/

4 UUSIEN SÄÄDÖSTEN VAIKUTUS SAVUKAASU-MITTAUKSIIN /5, 8, 10, 11/

Polttolaitosten säädösympäristö on muuttunut viime aikoina paljon. Suurten polttolaitosten direktiivi ja jätteenpolttodirektiivi on hiljattain implementoitu Suomen lainsäädäntöön vastaavina asetuksina. Kaikkien olemassa olevien yli 100 MW suurten polttolaitosten päästömittausvaatimukset muuttuvat LCP-asetuksen johdosta vuonna 2005. Kaikilla laitoksilla ei ole vaadittavia jatkuvatoimisia päästömittauslaitteita eivätkä mittauspaikat ja näytteenotto vastaa monissakaan tapauksissa uusien standardien vaatimuksia.

Uusilla säädöksillä EU haluaa yhtenäistää päästömittaukset ja niistä saatavien tietojen luotettavuuden. Aiemmassa lainsäädännössä päästömittauksista ei ole ollut juurikaan suoria määräyksiä, vaan niistä on määrätty laitosten ympäristöluvuissa. Käytäntö on vaihdellut laitoksittain ja alueittain.

Savukaasupäästöille on annettu uudet raja-arvot ja raja-arvojen tulkinta on muuttunut. Päästöjen monitoroinnin vaatimukset ovat myös muuttumassa merkittävästi, kun mitataan yhä useampia päästökomponeentteja, siirrytään yhä enemmän jatkuvatoimisiin mittauksiin ja mittausten laadunvarmennukselle on asetettu uusia vaatimuksia.

Energia-alan ympäristöpooli on teettänyt raportin selventämään uusien säädösten vaikutusta erityisesti päästömittausvaatimuksiin. Projektin on toteuttanut Electrowatt-Ekono Oy. Electrowatt-Ekonon selvityksen mukaan harvalla voimalaitoksella on käytettävissään kaikki jatkuvatoimiset päästömittauslaitteet tai päästölaskennan apusuureiden vaatimat jatkuvatoimiset laitteet. Varsinkin hiukkaspitoisuuksien, virtauksen tai paineen sekä kosteuden määrittämiseen tarvittavat laitteet puuttuvat useilta laitoksilta. Yleisimmin käytössä ovat kaasumaisten yhdisteiden analysaattorit NO_x-, CO-, SO₂- ja O₂ -mittauksiin sekä savukaasun lämpötilamittaus. Lisäksi mittauspaikat eivät monella laitoksella täytä uusien päästömittausstandardien mukaisia vaatimuksia häiriöttömyydestä ja vertailumittauksista.

Uudet asetukset ja niihin liittyvät standardit nostavat päästömittausten laadunvarmennuksen aiempaa vaativammalle tasolle sekä laitoksella että ulkopuolisten tekemissä vertailumittauksissa. Kaikille uusille standardeille on yhteistä, että näytteenottoon ja -käsittelyyn kuluva aika pitenee ja erilaiset laadunvarmennusmenettelyt korostuvat.

Uusista määräyksistä aiheutuvat kustannukset voidaan jakaa laitosten omista mittausjärjestelmistä koituviin kustannuksiin sekä mittausten laadunvarmistuksesta ja määräaikaismittauksista muodostuviin, ulkopuolisten konsulttimittausten kustannuksiin. Mittausjärjestelmän kustannusten lisäksi arvioinnissa on otettava huomioon laitosten rakennelmiin ja tilaratkaisuihin tarvittavat muutokset. Analysaattorit ovat herkkiä instrumentteja, jotka vaativat puhtaan ja ilmastoidun tilan. Rakenteisiin liittyvät kustannukset voivat muodostaa merkittävän osan vaadittavista investoinneista. Laitekustannusten lisäksi on hyvä selvittää valittujen instrumenttien käyttö- ja huoltokustannukset sekä toimittajan huoltosopimukset. Menoja aiheutuu myös laitteistojen asennuksista ja käyttöönottokoulutuksesta.

Aiemmassa kansallisessa lainsäädännössä päästömääräykset on annettu ominaispäästömääräyksinä milligrammaa käytettyä polttoaine-energiayksikköä kohden vuosikeskiarvoina (mg/MJ). Näihin päästöraja-arvoihin on sisällynyt myös häiriötilanteiden ja laitoksen käynnistys- ja alasajotilanteiden päästöt. Uudessa LCP-asetuksessa päästöraja-arvot annetaan sen sijaan lyhytaikaisina pitoisuusraja-arvoina (mg/nm³). Samalla siirrytään vuosikeskiarvoista tunti-, vuorokausi- ja kuukausikeskiarvoihin ja jatkuvatoimisiin mittauksiin. Raja-arvoihin ei lasketa häiriö- tai käynnistystilanteita, mutta näiden enimmäiskestolle on asetettu tiukat rajat. Häiriö- tai käynnistystilanteiden päästöt pitää kuitenkin raportoida. Vanhimpia voimalaitoksia (lupa ennen 1987) koskevat säännökset voivat vielä muuttua, jos Suomeen laaditaan kansallinen päästöjen vähennyssuunnitelma. Jatkuvatoimisista mittauksista kertyvän tietomäärän hallitseminen vaatii automaattista tietojen keräystä ja raportointia.

Uusilla laitoksilla tai vanhoissa laitoksissa, joihin päästömittausjärjestelmiä ei aikaisemmin ole ollut tai mittauksia saneerataan merkittävästi, on itse mittareiden lisäksi huomioitava rakennelmiin tarvittavat muutokset. LCP-asetusten mukaisen savukaasujen jatkuvatoimisen päästömittausjärjestelmän hinnat ovat luokkaa 90 000-130 000 euroa (alv 0 %). Hintaan on laskettu jatkuvatoiminen analysaattori, näytteen käsittely, sondit, apusuureiden määrittämiseen tarvittavat laitteet, analysaattorikaappi, käyttöönotto, koulutus sekä muutosten teko tietojenkäsittelyjärjestelmään.

5 YHTEENVETO

Viimeaikainen trendi kohti yhä puhtaampia tuotantotapoja on asettanut yhä suurempia paineita savukaasujen mittauksille, niiden vähentämiselle ja hyötykäytölle. Päästömittausvaatimukset tulevat muuttumaan oleellisesti tulevaisuudessa, joka osaltaan luo uusia haasteita suurille polttolaitoksille. Nämä em. ekologiset syyt ovat nostaneet savukaasumittaukset yhä tärkeämpään rooliin tuotantolaitoksen kokonaisu-toinnassa. Tyypillisesti savukaasut sisältävät pääosin typpeä, hiilidioksidia, vesihöyryä ja hapetta.

Savukaasuanalyysejä tarvitaan säätämään palamista optimaaliseksi ja toisaalta vähentämään palamisessa muodostuvia haitallisia päästöjä. Savukaasuanalyysejä tarkoituksena voimalaitoksilla on optimoida prosessikontrollia, lisätä laitoksen hyötysuhdetta ja vähentää haitallisia päästöjä.

Tässä kirjallisuusselvityksessä tarkasteltiin jatkuvatoimisia savukaasumittauksia, joilla saadaan reaaliaikaista tietoa savukaasun sisältämistä päästöistä. Päästölaskennassa ja raja-arvojen noudattamista arvioitaessa tarvitaan jatkuvatoimisten kaasun- ja hiukkasmittausten antamaa tietoa savukaasupäästöistä sekä ns. apusuureiden (paine, lämpötila, virtaus ja kosteus) määrittämistä. Mittausmenetelmät voidaan luokitella käytettävän näytteenottotavan perusteella seuraavasti:

- In-situ menetelmät (suoraan savukaasusta mittaava).
- Ekstraktiiviset menetelmät (näytteenottoon perustuvat menetelmät).

Savukaasupäästöille tulee vuonna 2005 voimaan uudet raja-arvot. Uudet asetukset ja niihin liittyvät standardit nostavat päästömittausten laadunvarmennuksen aiempaa vaativammalle tasolle sekä laitoksella että ulkopuolisten tekemissä vertailumittauksissa. Päästöjen monitoroinnin vaatimukset ovat myös muuttumassa merkittävästi, kun mitataan yhä useampia päästökäsitteitä, siirrytään yhä enemmän jatkuvatoimisiin mittauksiin ja mittausten laadunvarmennukselle on asetettu uusia vaatimuksia.

Mittaukset ovat yksi olennainen osa teollisuuden tuotantoprosessia. Prosessin säätötoimenpiteet perustuvat mittausten tuomaan informaation. Tuotantoprosessien luotettavuuden ja toimivuuden perusedellytys on, että mittaukset mukautuvat prosessiin saumattomasti ja huolehtivat koko prosessin tarpeista. Tuotantojärjestelmien kehittyessä onkin tärkeää, että mittausjärjestelmä on ajanmukainen soveltaen prosessiin parhaiten sopivia mittausmenetelmiä.

Tämä kirjallisuuskatsaus on tehty osana Oulun Yliopiston Prosessi- ja ympäristötekniikan osaston Säätötekniikan laboratorion CO₂H₂ –projektin tutkimusta. Muita projektin tutkimusryhmiä ovat Oulun Yliopiston Prosessi- ja ympäristötekniikan osaston Metallurgian ja Lämpö- ja diffuusioteknikan laboratoriot sekä Åbo Akademin Lämpötekniikan laboratorio. Projektin rahoittajana on ollut TEKES. Projektin johtoryhmässä edustettuna olevat yritykset ovat Rautaruukki Steel, AvestaPolarit Stainless Oy, Fortum Oyj, Kemira Oyj ja Polargas Oy.

LÄHDELUETTELO

1. Torvela, H. Päästömittausten perusteet. Opetushallitus, Helsinki 1993. Painatuskeskus Oy, 177 s.
2. Aumala, O. Teollisuusprosessien mittaukset. Tampere 1998, Pressus Oy. 376 s.
3. Klingstedt, G & Hoffren H. Ratkaisu tehtaan jäteluottimien polton ja päästöjen hallintaan. Automaatioväylä 5(2002), s. 16 – 17.
4. Kuivalainen, J. Päästöanalyysointien suorituskyky. Automaatioväylä 6(1995), s. 18 – 21.
5. Uusien säädösten vaikutus savukaasupäästöjen mittaukseen. Electrowatt-Ekono Oy. Tutkimusraportti nro14, Helsinki 2003. Energia-alan keskusliitto. 50 s.
6. Energiatalous ja ympäristönsuojelu. Fogelholm, C.-F. (toim.). Helsingin teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan ja ympäristönsuojelun laboratorio. Espoo 1994, Hakapaino Oy. 189 s.
7. Yamazoe, N., Miura, N. Development of gas sensors for environmental protection. IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology, Part A, vol. 18, 2(1995), s. 252-258.
8. <http://www.energiälehti.fi/energiälehti/ymparistotekniikka/yt0203/paastomittausvaatimukset.htm> (29.09.2003)
9. Kim, H. & Song. T. Characteristics of SRS inversion for measurement of temperature and CO₂ concentration profile of a combustion gas layer. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. Painossa, hyväksytty 12 elokuuta 2003.
10. http://www.teknocalor.fi/mittauslaitteet/savukaasuanalysointit/fyrite_co2_o2.htm (29.09.2003)
11. Niskanen, V. Kaasumittaukset. Espoo 1985, Insinööritieto Oy. 207 s.
12. Härkönen, S., Lähteenmäki I. & Välimaa, T. Teollisuuden mittaustekniikka. Analyysimittaukset. Helsinki 1992, VAPK-kustannus Opetushallitus. 162 s.

LISÄTIETOA SAVUKAASUMITTAUKSISTA mm. seuraavista www-osoitteista:

<http://www.teknocalor.fi/savukaasu.htm>

<http://www.indmeas.fi/fi/etusivu.htm>

<http://www.vtt.fi/pro/pro3/pro32/vaativat.htm>

<http://www.vtt.fi/pro/pro3/pro34/index.htm>

ISBN 951-42-7333-8

ISSN 1238-9404

Oulun yliopisto

Säätötekniikan laboratorio - Sarja B

Toimittaja: Leena Yliniemi

1. **Yliniemi L & Koskinen J**, Rumpukuivaimen sumea säätö. Joulukuu 1995. 17 s. 6 liitettä. SBN 951-42-4301-3.
2. **Leiviskä K, Rauma T, Ahola T, Juuso E, Myllyneva J & Alahuhta P**, Sumea mallintaminen, viritys ja säätö. Tammikuu 1996. 44 s. 951-42-4348-X.
3. **Altavilla M, Koskinen J & Yliniemi L**, Rumpukuivaimen säätö neuroverkolla. Tammikuu 1996. 12 s. ISBN 951-42-4373-0.
4. **Myllyneva J, Leiviskä K, Heikkinen M, Kortelainen J & Komulainen K**, Sumean säädön käyttömahdollisuudet hiertämön ohjauksessa. Huhtikuu 1997. 52 s. ISBN 951-42-4647-0.
5. **Leiviskä K & Heikkinen M**, TMP-prosessin mallintaminen ja mallipohjainen säätö. Huhtikuu 1997. 68 s. ISBN 951-42-4646-2.
6. **Jaako J**, Nopeusyhtälön parametrien sovittaminen. Huhtikuu 1998. 25 s. ISBN 951-42-4961-5.
7. **Myllyneva J, Kortelainen J, Latva-Käyrä K, Nystedt H & Leiviskä K**, Hiertämön laatusäädöt. Syyskuu 1998. ISBN 951-42-5023-0.
8. **Lähteenmäki M & Leiviskä K**, Tilastollinen prosessinohjaus: perusteet ja menetelmät. Lokakuu 1998. ISBN 951-42-5064-8.
9. **Tervahartiala P & Leiviskä K**, Tilastollinen prosessinohjaus: ohjelmistovertilu. Elokuu 1999. ISBN 951-42-5343-4.
10. **Jaako J**, Eräitä optimointitehtäviä. Syyskuu 1999. 39 s. ISBN 951-42-5352-3.
11. **Jaako J**, Yksinkertaisia prosessimalleja. Syyskuu 1999. 73 s. ISBN 951-42-5353-1.
12. **Jaako J**, MATLAB-ohjelman käyttö eräissä prosessiteknisissä laskuissa. Syyskuu 1999. 61 s. ISBN 951-42-5354-X.
13. **Jaako J**, Säätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja I – Portfoliomuotoisen kurssin toteutus ja tulokset. Helmikuu 2000. 28 s. ISBN 951-42-5544-5.
14. **Ahola T, Ruuska J, Juuso E & Leiviskä K**, Paperikoneen katkoherkkyysindikaattori. Helmikuu 2000. 33 s. ISBN 951-42-5563-1.
15. **Ylikunnari J**, InTouch valvomo-ohjelmiston implementointi lämmönsiirron identifiointiprosessiin (PS II:n harjoitustyölaiteisto). Maaliskuu 2000. ISBN 951-42-5568-2.
16. **Mäki T & Juuso E**, Tapahtumapohjainen sumea lingvistinen yhtälöjärjestelmä lääkevalmisteiden koostumusten ja valmistusprosessien tutkimuksessa. Kesäkuu 2000. ISBN 951-42-5678-6.
17. **Jaako J**, Säätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja II – Apuopettaja opettajan apuna. Elokuu 2000. 22 s. ISBN 951-42-5742-1.
18. **Sivonen J**, Johdatus säätötekniikkaan, opetuslaitteiston suunnittelu ja toteutus. Syyskuu 2000. 20 s. ISBN 951-42-5795-2.
19. **Mutka P**, Neuraalilaskenta ja epälineaarinen dynamiikka komponenttien kulutus- ja myyntiennusteiden laatimisessa. Joulukuu 2000. 41 s. ISBN 951-42-5873-8.
20. **Komulainen K & Juuso E**, Vikatietojen hyödyntäminen funktionaalisessa testauksessa. Joulukuu 2000. 22 s. ISBN 951-42-5874-6.
21. **Ikäheimonen J, Juuso E, Leiviskä K & Murtovaara S**, Sulfaatisellun menetelmät, keiton ohjaus ja massan pesu. Joulukuu 2000. 48 s. ISBN 951-42-5875-4.
22. **Ikäheimonen J, Juuso E, Leiviskä K, Murtovaara S & Sutinen R** (2000) Keittolipeä- ja massa-analyysi sellun keitossa ja pesussa. Joulukuu 2000. 35 s. ISBN 951-42-5876-2.
25. **Rahikka L & Juuso E** (2000) Sulfaatisellun eräkeittoprosessin jatkuvatoiminen analysointi. Joulukuu 2000. 36 s. ISBN 951-42-5879-7.
26. **Pirttimaa M & Leiviskä K** (2000) Tilastollinen prosessinohjaus: Pastapainoprosessin tehdaskokeet. Joulukuu 2000. ISBN 951-42-5884-3.

27. **Jaako J & Nelo S** (2001) Prosessi- ja ympäristötekniikan opetuksen tulevaisuuden haasteita. Tammikuu 2001. 25 s. ISBN 951-42-5889-4.
28. **Näsi J, Isokangas A & Juuso E** (2001) Klusterointi kuorimon puuhäviöiden mallintamisessa. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5894-0
29. **Mäki T & Juuso E** (2001) Lingvistinen yhtälöjärjestelmä lääkevalmisteiden rakeistusprosessin dynaamisessa simuloinnissa. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5895-9
31. **Joensuu P** (2001) Vikadiagnostiikka sulatuksen laadun-ohjauksessa: Syherön syntyminen ja siihen vaikuttavat tekijät. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5893-2
32. **Ikäheimonen J, Leiviskä K & Ruuska J** (2001) Jatketiilen tukkeentumisen mallintaminen neuroverkoilla. Helmikuu 2001. ISBN 951-42-5906-8
33. **Ikäheimonen J, Leiviskä K & Ruuska J** (2001) Sulikutangon asennon ja valunopeuden käyttö jatketiilen tukkeentumisen ennustamisessa. Maaliskuu 2001. ISBN 951-42-5946-7
34. **Ruuska J & Leiviskä K** (2001) LD-KG-konvertterin lämpötilamalli. Toukokuu 2001. ISBN 951-42-6411-8
35. **Ainali I, Juuso E & Sorsa A** (2001) Vesikemikaalien annostelutyökalun kehittäminen: Flotaation perusteet, koejaksot ja mallinnus. Marraskuu 2001. ISBN 951-42-6589-0
36. **Näsi J & Sorsa A** (2002) Jatkuvatoimisen liuospuhdistuksen Pilot-prosessin mallinnus ja prosessikehitys. Helmikuu 2002. ISBN 951-42-6626-9
37. **Ikäheimonen J & Leiviskä K** (2002) Syherödatan analysointi histogrammeja käyttäen. Maaliskuu 2002. ISBN 951-42-6678-1
38. **Ikäheimonen J & Leiviskä K** (2002) Neuroverkot ja lingvistiset yhtälöt jatketiilen tukkeuman ennustuksessa. Huhtikuu 2002. ISBN 951-42-6700-1
39. **Posio J** (2002) Malliprediktiiivinen säätö. Marraskuu 2002. ISBN 951-42-6887-3
40. **Jaako J** (2003) Säätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja III - Opettajien perehdyttämiskoulutus. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6955-1
41. **Ruuska J, Peltonen J & Leiviskä K** (2003) LD-KG-konvertterin dynaaminen ohjaus. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6956-X
42. **Ruuska J & Leiviskä K** (2003) LD-KG-konvertterin lämpötila- ja lisäainemallit. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6957-8
44. **Näsi J & Niemelä P** (2003) Hydrometallurgisen prosessin tutkimuskohteita osa 2: Raman analytiikan käyttömahdollisuudet. Huhtikuu 2003. ISBN 951-42-7041-X
46. **Heikkinen E-P & Jaako J** (2003) Koulutuksen laatuysikköhakemus ja pedagoginen johtajuus. Elokuu 2003. ISBN 951-42-7091-6
47. **Jaako J** (2003) Tekniikan pedagogiikka - Väitöskirjat ja tutkijakoulutus prosessi- ja ympäristötekniikan osastolla. Syyskuu 2003. ISBN 951-42-7137-8
48. **Jaako J** (2003) Tekniikan pedagogiikka – Perusteita. Marraskuu 2003. ISBN 951-42-7212-9
49. **Isokangas A, Juuso E & Leiviskä K** (2003) Kuorintaprosessin analyysi ja mallintaminen. Joulukuu 2003. ISBN 951-42-7250-1.
50. **Auvinen A & Jaako J** (2004) Tekniikan pedagogiikka- Muuntokoulutus ja tuutorointi. Helmikuu 2004. ISBN 951-42-7282-X.
51. **Mäki T & Posio J** (2004) Savukaasumittaukset. Maaliskuu 2004. ISBN 951-42-7333-8.

Oulun yliopistopaino
Oulu 2004