

Teollisten tuotantolaitosten mittausten online-kunnonvalvonta taselaskentoja hyödyntäen

Ville Laukkanen
Oy Indmeas Ab, Tekniikantie 21 C, 02150 Espoo
Puh .040-5507317, telefax 09-2517 5329, ville.laukkanen@indmeas.com , <http://www.indmeas.com>

Mikko Huovinen
Tampereen Teknillinen Yliopisto, PL692, 33101 Tampere
Puh. 040 575 9571, mikko.huovinen@tut.fi

AVAINSANAT kunnonvalvonta, diagnostiikka, tase, täsmäytys, kalibroinnit

TIIVISTELMÄ

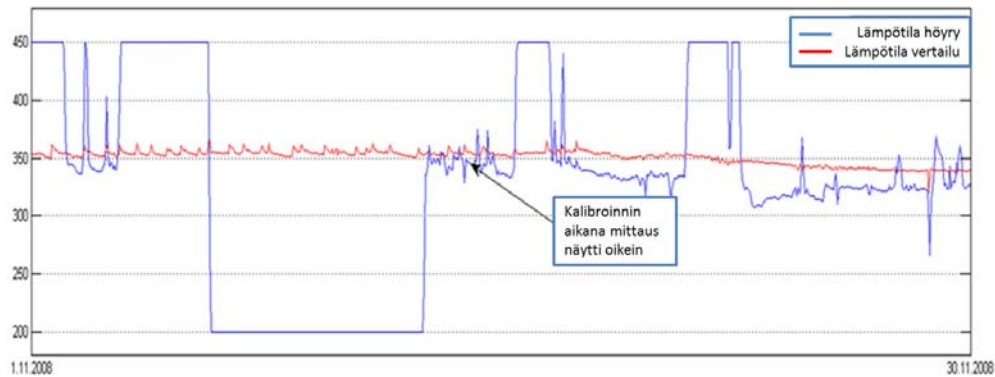
Tämä artikkeli perustuu Automaatiopäivät 07 seminaaripäivillä esitettyyn taselaskentamenetelmään ("Aine- ja energiataseiden täsmäytys", Ville Laukkanen /1/), jonka avulla voidaan tarkkailla tuotantolaitosten mittausten kuntoa ja toimivuutta. Kehitetyt taselaskennat tarjoavat luotettavan ja intuitiivisen tavan seurata mittausjärjestelmää, mutta tähän asti laskennat ja tarkastelu on tyypillisesti suoritettu melko pitkällä aikavälillä ja ovat kattaneet vain osan voimalaitoksen mittauksista. Näin tuotettu informaatio on osoittautunut hyödylliseksi, mutta ylläpidon ja erityisesti operaattoreiden käyttöön ko. informaatio on ollut enemmän tai vähemmän aikaansa jäljessä, mistä johtuen menetelmän jatkokehitys on nähty tarpeelliseksi.

Artikkelissa kerrotaan projektista, jossa menetelmää kehitetään online-sovellukseksi. Tavoitteena on sovellus, joka pystyy tuottamaan ylläpidolle reaaliaikaista tietoa mittausten kunnosta. Kriittisimpien mittausten osalta tällainen tieto voi tuottaa huomattavia säästöjä hyötysuhteen parantuessa ja vältettäessä mahdollisia laiterikkoja. Lisäksi sovellus laskee yksittäisistä mittauksista reaaliaikaisesti ns. täsmäytetyt arvot, joita voidaan tarvittaessa hyödyntää myös prosessien ohjauksessa epäiltäessä mittausten luotettavuutta. Menetelmää kehitetään ja testataan yhteistyössä Helsingin Energian Salmisaaren voimalaitoksen kanssa.

1 JOHDANTO

IndMeas Oy:ltä tilattiin vuonna 2008 eräälle teollisuusvoimalaitokselle lämmönmyyntimittauksen kalibrointi. Kyseessä oli miljoonaluokan laskutusmittaus, jossa epäiltiin olevan virhettä. Kalibroinnin mukaan mittari näytti kuitenkin oikein. Asiaa tarkemmin selvitettyä havaittiin, että lämpötilamittauksen pitkäaikainen trendi "hyppi" voimakkaasti. Suurimman osan ajastaan - kuten kalibroinnin aikana - mittaus näytti täysin järkeviä arvoja, mutta jopa päiviä putkeen mittaus saattoi näyttää minimi tai maksimiarvoaan, vaikka prosessitilanne ei olennaisesti ollut muuttunut. Ongelma selittyi loppujen lopuksi kontaktihäiriöllä automaatiojärjestelmässä, mutta yksinkertainen vika oli tätä ennen aiheuttanut usean sadantuhannen euron laskutusepävarmuuden lämmönmyyntiin.

Esimerkin kaltaiset ongelmat ovat arkipäiväisiä voimalaitosympäristössä. Sadoista mittauspositioista aina osa näyttää väärin ja vikaantuneen mittalaitteen havaitsemiseen saattaa kuluja viikkoja, pahimmillaan vuosia. Kaikki ongelmat eivät tule edes kalibroinnissa esiin, kuten esimerkin tapauksessa. Mikäli vikaantuneet mittaukset eivät ole säädön kannalta tärkeitä, ei valvomohenkilökuntakaan osaa niihin aina reagoida.



Kuva 1. Esimerkki mittauksen vikatilanteesta

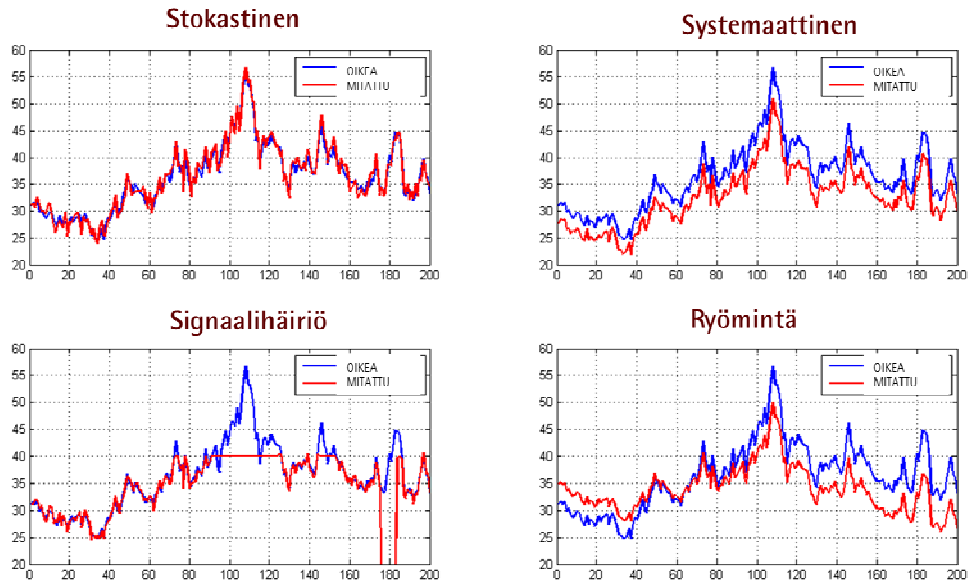
Keskeinen vaatimus voimalaitosten käytettävyyden ja käyttötalouden optimoinnin kannalta on, että mittaustietoon ja raportoituihin arvoihin voidaan luottaa. Mittausongelmat aiheuttavat usein virheellisiä päätelmiä ja sitä kautta kustannuksia. Virheiden valvomiseksi on kehitetty tasetäsmäytykseen perustuva taseanalyysimenettely [1], jossa tyypillisesti kaksi kertaa vuodessa käydään mittausaineisto läpi ja saadaan sieltä poimittua virheelliset mittaukset. Menettelyä on sovellettu n. 40 eri teollisuuslaitoksella pohjoismaissa. Osassa tilanteista puolen vuoden tarkasteluväli on sopiva, mutta kunnossapidon ja talousraportoinnin kannalta puolen vuoden viive on aivan liian pitkä. Ratkaisuna tähän on päätetty kokeilla Salmisaaren voimalaitoksessa n.100 tärkeimmän mittauksen online analyysiä, jossa taseanalyysiohjelma asennetaan tehdasverkossa olevaan koneeseen ja ohjelmaa ajetaan automaattisesti kerran tunnissa.

Tämän jälkeen voimalaitoksen tärkeimmistä mittauksista on käytössä täsmäytetyt arvot mitattujen rinnalla. Näin mm. raportoinnissa voidaan käyttää suoraan täsmäytettyjä arvoja ja kunnossapito-osasto voi seurata mitattujen ja täsmäytettyjen arvojen eroja ja tehdä tarpeen mukaiset kunnossapitotoimenpiteet. Järjestelyn keskeinen etu on, ettei valvontaa varten tarvitse luoda uutta käyttöliittymää tai edes raporttia, vaan mittauksen valvonta onnistuu nykyisen infojärjestelmän kautta, jolloin analyysin tulokset täsmäytetyt mittausarvot ovat operaattoreiden ja ylläpitohenkilökunnan käytettävissä lyhyellä viiveellä.

2 TYYPILLISET MITTAUSVIAT

Mikäli prosessimittauksia tarkastellaan ajan funktiona, voidaan niissä esiintyvät virheetkin luokitella neljään kategoriaan, jotka ovat i) stokastiset (satunnaisvirheet), ii) systemaattiset pysyväluonteiset virheet (esim. +4% -virhe), iii) signaalihäiriöt ja iv) ryömintävirheet (epästabiili systemaattinen virhe). Näistä esimerkit on esitetty kuvassa 2.

Kaksi ensimmäistä virhetyyppiä (stokastinen ja systemaattinen) ovat selviä tapauksia. Stokastinen virhe ei aiheuta juurikaan laitokselle ongelmia, ellei hajonta kasva niin suureksi, että se alkaa vaikeuttaa säätöpiirien toimintaan. Kalibrointitoiminnalla puolestaan saadaan mittauksen systemaattinen virhe paikannettua ja korjattua. Jälkimmäiset virhetyypit (signaalihäiriöt ja ryömintä) ovat ongelmallisempia eikä voimalaitoksilla tyypillisesti ole niihin valmiita valvonta- ja reagoitimekanismeja. Tavallisesti kuitenkin voimalaitoksillakin seurataan taseita, jotka mahdollistavat näiden virhetyyppien valvonnan.



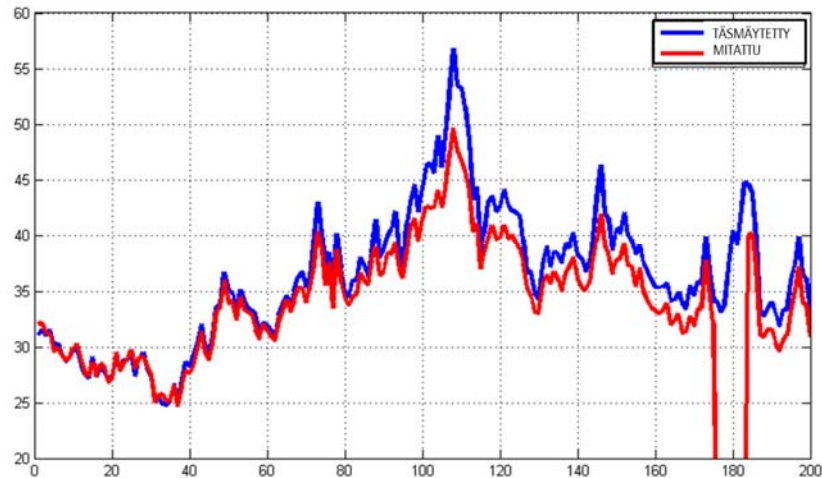
Kuva 2. Tyypilliset mittausten vikatilanteet

3 TASEET VALVONNAN PERUSTEENA

Tietotekniikan kehitys on mahdollistanut tehtaanlaajuisten historiatietokantojen käytön ja laajojen datamassojen käsittelyn, myös mittaustulosten valvontaan. Kuukausittain aine- ja energiataseita lasketaan ja vertaillaan laajalti voimalaitoksilla. Taseet perustuvat yksinkertaisiin fysiikan peruslakeihin, eli aineen- ja energian säilymiseen.

$$[massa/energia]_{SISÄÄN} - [massa/energia]_{ULOS} = [massan/energia]_{MUUTOS} \quad [1]$$

Taselaskennoilla ja etenkin niissä havaituilla eroilla voidaan: a) havaita hävikkejä kuten vuotoja ja b) paikantaa virheellisiä mittauksia. Taseiden täsmäytyksessä tutkitaan kuinka hyvin mittaustulokset täyttävät fysikaaliset aineen- ja energian säilymislaajat. Arviointia varten rakennetaan mittauksia koskevat taseyhtälöt ja kerätään historiatietokannasta data. Arvioinnin tueksi kerätään myös mittausten luotettavuustietoja mm. kalibrointihistorian perusteella. Näiden kolmen peruskomponentin (mittaustiedot, luotettavuudet ja taseyhtälöt) avulla lasketaan täsmäytetyt mittaustulokset. Taseiden täsmäytyksessä laskettuja uusia mittaustuloksia voidaan sitten verrata alkuperäisiin mittalaitteiden antamiin arvoihin ja saada arvio todennäköisestä virheestä jokaisessa positiossa.



Kuva 1. Vertaamalla täsmäytettyä ja oikeaa mitta-arvoa saadaan tietoa mm. ryömintä ja signaali-ongelmista.

3.1 Mittausdata ja taseyhtälöt

Taseiden täsmäytyksessä käytettävän mittausdatan on oltava redundanttista, mikä tarkoittaa että sama aine- tai energiavirta kyetään määrittämään toisistaan riippumattomia reittejä pitkin. Näin mittausarvojen välille saadaan ristiriitoja, jotka ratkaistaan taseyhtälöiden ja luotettavuuksien perusteella. Lisäksi mittausdataa on oltava riittävän laajalta ajanjaksolta ja eri ajotilanteista, jotta laskennallisten virheiden luotettavuudesta saadaan kattava kuva ja mahdollisten varastoitumisten sekä kohinan vaikutus voidaan sulkea pois. Matemaattista käsittelyä varten säilymisilait voidaan kirjoittaa matriisimuotoon. Näistä yhtälöistä tulee matemaattisen täsmäytyksen rajoitusyhtälöt.

$$B \cdot \hat{z} = \gamma \quad [2]$$

B = taseyhtälöiden kertoimet (tyypillisesti arvoja 1,0 tai -1)
 \hat{z} = korjatut mittaustulokset (lopullisen laskennan tulos)
 γ = aine- tai energiämäärän muutos systeemissä (tyypillisesti 0)

3.2 Mittausten luotettavuus

Jokaiselle mittaukselle on taseiden täsmäytyksessä määritettävä luotettavuus. Täsmällisin luotettavuusarviointi perustuu olemassa olevaan kalibrointitietoon. Toinen tapa arvioida yksittäisen mittauksen vaikutusta tase-eroon on korrelaatiokertoimen käyttö, sillä virheellisten mittausten signaali korreloi usein tase-erojen kanssa. Taseiden täsmäytystä voidaan näin painottaa korrelaatiokertoimen avulla.

Perinteisesti myös signaalin varianssia tai mittalaitteelle valmistusvaiheessa annettua epävarmuutta on käytetty luotettavuuden mittarina. Tämä on heikoin tapa, mutta sitä voi olla pakko käyttää tilanteissa, joissa luotettavuutta ei muulla tavoin kyetä määrittämään.

3.3 Taseiden täsmäytys

Kuehn ja Davidson esittelivät ensimmäisenä prosessi-insinööriyökaluksi suunnatun taseiden täsmäytisyhtälön /2/. Matriisimuodossa yhtälö kirjoitetaan seuraavasti.

$$\hat{z} = \tilde{z} - PB^T (BPB^T)^{-1} (B\tilde{z} - \gamma) \quad [3]$$

missä \tilde{z} on mitatut arvot, \hat{z} uudet estimaatit ja P mitattujen arvojen luotettavuusmatriisi. B -matriisissa on taseyhtälöiden kertoimet ja γ taseyhtälön tulokset.

4 TAVOITTEET

Aiemmin käytössä ollut taselaskentasovellus on rakennettu MatLab – ohjelman päälle ja sitä on sovelluskohteesta riippuen käytetty joitain kertoja vuodessa. CLEEN yhteisössä aloitetun Tampereen yliopiston, IndMeas Oy:n ja Helsingin Energian yhteisprojektin tavoitteena on laajentaa jo olemassa olevaa taselaskentasovellusta siten, että taseiden tarkastelu saadaan lähes reaaliaikaiseksi. Näin virheet voidaan havaita ja korjata välittömästi ja siten parantaa erityisesti voimalaitosraportoinnin luotettavuutta. Laskennat integroidaan infojärjestelmän kanssa siten, että tuotettu informaatio on myös operaattoreiden käytössä. Laskentojen tuloksista laaditaan myös päivittäiset raportit, jotka tiivistävät oleellimmat havainnot yhden sivun mittaiseksi paketiksi.

Yhtenä tavoitteena on myös kehittää antureiden luotettavuutta kuvaavien indeksien automaattista päivittämistä. Luotettavuusparametrien määrittely on tähän asti perustunut käyttäjän asiantuntemukseen, ts. käyttäjä määrittää manuaalisesti luotettavuusparametrit ja ne oletetaan kiinteiksi. Luotettavuusparametrin laskennassa voidaan hyödyntää analyttistä redundanttisuutta. Esim. antureille voidaan luoda ns. soft sensoreita, joiden toimintaan mittaustulosta verrataan ja luotettavuusparametria päivitetään vertaustuloksen perusteella. Soft sensoreiden luontia varten on myös kehitelty erillisessä projektissa datapohjaisia työkalua /3/.

Antureiden luotettavuuteen liittyen kehitellään myös uusia stabiiliuskontrolleja, joilla voidaan heti tunnistaa karkeat mittausrvirheet ja vikaantumiset. Myöhemmin sovellukseen lisätään prosessin toimipisteiden vaikutuksen huomiointi. Eri toimipisteille voidaan luoda toimipistekohtaiset referenssitilat ja tarkastelut. Sovellukseen voidaan myös jatkossa liittää erilaisia työkaluja tulosten jatkoanalysointia varten. Esimerkiksi analyysin tuloksia voidaan luokitella datapohjaisilla työkaluilla eri toimipisteisiin, jolloin erilaiset toimintatilanteet tulevat paremmin huomioitua.

5 TEKNINEN RAKENNE

Salmisaaren voimalaitoksen tiedonkeruu on järjestetty perinteisellä keskitetyllä prosessitietokannalla, joka tässä tapauksessa on Aspentech Infoplus.21 –tietokanta. Siihen kerätään tuotantoprosessin instrumentoinnista aikasarjadataa, jota voidaan hyödyntää monella tapaa prosessin toiminnan valvomisessa ja optimoinnissa. Prosessitietokantoihin kerättävän datan määrä on tyypillisesti hyvin suuri, joten niissä käytetään yleensä erilaisia pakkausalgoritmeja, joilla pyritään estämään tietokannan koon liika kasvu. Kehitetyt laskennat sijaitsevat erillisellä koneella, joka tässä tapauksessa sijaitsee toimistoverkon puolella, kun taas tietokantapalvelin sijaitsee tehdasverkon puolella. Jotta tehdasverkon toiminta voidaan turvata, em. verkkojen väliseen kommunikointiin tarvitaan välityspalvelin ja useampi palomuuuri. Mm. näistä syistä sovelluksen kehitysvaiheessa ei ollut mahdollisuutta luoda suoraa yhteyttä sovelluksen ja tietokannan välille.

Toteutetun sovelluksen laskennat vaativat usein datan hakua pitkiltä aikaväleiltä, joka voi hetkellisesti aiheuttaa tietokantapalvelimella ja verkossa merkittävää kuorman lisäystä laskentaa suoritettaessa. Tämä on aiemmin ollut helposti hyväksyttävissä, sillä laskentoja on suoritettu harvakseltaan. Online-sovelluksen johdosta tilanne kuitenkin muuttuu. Lisäksi sovelluksella on tarve tallettaa tuloksia ja laskentojen omia sisäisiä tiloja, joten datahaun ja –siirron aiheuttamaan lisäkuormaan sekä sovelluksen talletustarpeeseen piti hakea ratkaisua. Ratkaisussa voidaan hyödyntää sitä, että laskentojen suoritusväli on suhteellisen lyhyt verrattuna laskuissa tarvittavan data-aikaväliin verrattuna; laskenta suoritetaan esim. kerran tunnissa, kun dataa yhtä laskentakertaa varten tarvitaan kuukauden ajalta. Tämän johdosta päätettiin käyttää laskentakoneella eräänlaista välimuistitarkaisua, jossa tietokannasta haettu data ja sovelluksen tuottamat tulokset talletetaan laskentakoneella sijaitsevaan MSAccess-tietokantaan. Näin ollen laskentaa varten tarvittava data on edellisten hakujen jäljiltä suurelta osin saatavilla laskentakoneen ”välimuistikannassa” ja tietokantapalvelinta tarvitsee kuormittaa vain puuttuvan data osalta.

MSAccess:ia päädyttiin käyttämään sillä se löytyy useasta Windows-pohjaisesta koneesta Office-paketin yhteydestä. MSAccess –kanta hyödynnettiin myös laskentojen konfigurointitietojen tallentamiseen. Relatiotietokannan käyttö on käytännöllistä myös laskentojen konfigurointiin, sillä näin tietueeseen voidaan liittää ennalta määrittelemätön määrä erilaisia ominaisuuksia. Kantaan voidaan esimerkiksi konfiguroida ehtoja, joiden perusteella voidaan suorittaa datan esitarkastelua ja karsintaa. Tällaisia ovat mm. yksinkertaisten ylä- ja alarajojen määrittäminen, kriteerit mittaushajonnan tarkastelulle sekä erilaisten epäyhtälöiden muodostaminen. Yksinkertainen esimerkki em. epäyhtälöstä voidaan luoda prosessialueesta, jossa virtaavaan nesteeseen tai höyryyn ei tuoda lisäenergiaa, jolloin

voidaan olettaa ylävirtaukselta mitattu lämpötila alavirtauksen lämpötilaa suuremmaksi. Tällaisia intuitiivisia lisätarkasteluja voidaan käyttää esitarkastelun ja –karsinnan lisäksi myös mittausten luotettavuuden määrittelyyn. Itse taselaskenta noudattaa pääpiirteittäin edellä esitettyä tapaa.

Koska ensimmäisessä vaiheessa laskentakoneelta ei luoda suoraa yhteyttä tietokantapalvelimelle, tiedonsiirto tapahtuu käytännössä kerran viikossa luotavan datapaketin avulla. Datanhakurutiini laukaistaan ajastettuna prosessitietokannassa, jonka seurauksena syntyy tiedosto halutuista mittauksista halutulta aikaväliltä. Tämä tiedosto siirretään laskentakoneelle, jossa laskennat suoritetaan ja tulokset talletetaan MSAccess-kantaan. Tietokantojen välisen datansiirron yhteyteen lisättiin mahdollisuudet laskea välimuistikantaan apumuuttujia prosessitietokannan muuttujista sekä lisätä datan esikäsittelyä, kuten suodatusta. Käyttäjä pystyy käyttämään valmiita esikäsittelyfunktioita tai luomaan omat Matlabilla.

Tämän hetkisessä versioissa on vielä omat puutteensa. Esimerkiksi prosessien eri toimipisteitä ja ajotilanteita ei vielä huomioida vaikka tuloksilla voi eri tilanteissa olla erilaiset referenssitilat. Esimerkkejä tällaisista tilanteista voimalaitoksissa ovat normiajo ja turbiinin ohitus. Jatkossa on tarkoituksena lisätä tarkasteluun prosessien eri toimipisteiden/ajotilanteiden tunnistaminen ja huomiointi laskentaan. Myös mittausten esitarkastelua aiotaan lisätä menetelmän luotettavuuden parantamiseksi.

Jatkossa laskentasykliä voidaan tihentää ja laskentaympäristöstä luodaan suora yhteys prosessitietokantaan, mikä mahdollistaa myös tulosten tallettamisen varsinaiseen prosessitietokantaan. Näin tulokset ovat myös operaattoreiden ja ylläpidon käytettävissä. Myös sovelluksen raportointiominaisuuksia kehitetään ja raporttien lopullinen muoto vaatii työstämistä. Alustavana tavoitteena on kuitenkin luoda automaattisesti luotava päivittäinen yhden sivun mittainen raportti automaatio-/instrumentointipäällikölle, johon kerätään sen hetken kriittisimmät kohteet jaoteltuna tilanteen kriittisyyden perusteella. Mikäli prosessien mittausten epälineaarisuus saadaan jatkossa huomioitua, voidaan mittareiden toimintapisteestä riippuva systemaattinen virhe kompensoida ja laajentaa mittareiden käyttökelpoista mittausaluetta. Tämä alue on kuitenkin vasta alkutekijöissään ja vaatii paljon lisätutkimusta.

Tätä artikkelia kirjoitettaessa tuloksia on valitettavasti vasta vähän, sillä suurin työpanos on mennyt tiedonsiirron ja välimuistikannan toteuttamiseen. Näitä hyödynnetään myös muissa sovelluksissa, jotka liittyvät Salmisaaren rikinpoistolaitoksen mallinnukseen ja seurantaan. Em. sovellukset hyödyntävät samaa tiedonsiirtorutiinia ja välimuistikantaa, joten luonnollisesti työn alkupää on keskittynyt tähän osioon. Tasesovelluksen päivitys online-sovellukseksi on kuitenkin edennyt jo hyvin ja ensimmäistä versiota ollaan asentamassa. Sovelluksen taustalla olevien algoritmien toteutuksen toiminta on validoitu jo aiemmin off-line sovelluksena. Tästä voi lukea esim. Automaatio -07 –seminaarissa esitellystä paperista /1/.

6 KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ Laukkanen V.: Aine- ja energiataseiden täsmäytys, Automaatio -07 seminaaripäivät, Suomen Automaatioseura, Helsinki 2007.
- /2/ Kuehn, D.R., Davidson, H., Chem. Eng. Progr. 57 (1991) ss.44, Ref. Mah, R.S., Stanley, G.M., Downing, D.M., Reconciliation and Rectification of Process Flow and Inventory Data, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 15 (1976) 175-183.
- /3/ Helin, T., Huovinen, M. Teollisten prosessien mallinnus korrelaatio- ja regressiomenetelmiä käyttäen, Automaatio XIX seminaaripäivät, Suomen Automaatioseura, Helsinki 2011.