

Prosessien online-seuranta taajuusmenetelmin

Tomi Roinila¹, Mikko Huovinen², Matti Vilkkö³

Tampereen teknillinen yliopisto, Systemiteknikan laitos, PL 692, 33101 Tampere

1) Puh. +35850 0748818, telefax (03) 3115 2340, tomi.roinila@tut.fi

2) Puh. +35840 5759571, telefax (03) 3115 2340, mikko.huovinen@tut.fi

3) Puh. +35840 8332830, telefax (03) 3115 2340, matti.vilkkö@tut.fi

AVAINSANAT taajuusvastemittaus, teollisuusprosessit, vikadiagnostiikka, laadunvarmistus

TIIVISTELMÄ

Prosessiteollisuuden tuotantolaitokset ovat nykyään hyvin suuria ja monimutkaisia kokonaisuuksia, minkä vuoksi niiden toiminnan seuranta on haasteellista. Vaikka perinteisten seurantakeinojen heikkoudet ja puutteet ovat hyvin alan ammattilaisten tiedossa ja uudenlaisten työkalujen tarve tiedostetaan, uudenlaisten prosessinseurantasovellusten kehittämistä ja laajamittaista siirtymistä yleisiksi arkipäivän työkaluksi jarruttaa usea tekijä. Tehokkaasta seurannasta saatavat hyödyt ovat kuitenkin niin merkittäviä, että alaan liittyvä tutkimus on ollut jo pitkään aktiivista.

Prosessiseurannan työkalut on perinteisesti jaettu kvantitatiivisiin- ja kvalitatiivisiin mallipohjaisiin sekä datapohjaisiin menetelmiin. Kvantitatiivisella mallilla tarkoitetaan matemaattista mallia, joka usein perustuu syvään prosessituntemukseen. Kvalitatiiviset mallit ovat huomattavasti yksinkertaisempia ja siten vaativat vähemmän prosessituntemusta. Datapohjaiset menetelmät käyttävät sen sijaan hyödykseen prosessidatan tilastollisia ominaisuuksia ja siten vaativat vähiten etukäteistyötä ja prosessituntemusta. Em. menetelmillä on omat hyvät ja huonot puolensa ja parhaan menetelmän valinta on tapauskohtaista.

Prosessien seurantaan liittyy usein erilaiset prosessikokeet, joita voidaan tarvita työkalujen kehitys ja viritysvaiheessa, joissain tapauksissa myös työkalujen käytön aikana. Prosessikokeet ovat usein varsin työläitä ja saattavat häiritä prosessin varsinaista toimintaa ja siten myös tuotantoa. Prosessikokeita kuitenkin tarvitaan usein, jotta prosessien dynamiikka saadaan paremmin esille. Valitettavasti tuotantoa häiritsemättömien prosessikokeiden tutkimuksen tuloksia ei ole onnistuttu siirtämään käytännön sovelluksiin. Yhtenä syynä on pidetty sitä, että liian moni tutkija on keskittynyt mm. parametrien estimointiin ja konvergointianalyysiin, kun taas herätesignaalien suunnittelu on jäänyt taka-alalle.

Tässä paperissa esitellään ei-parametrinen taajuusvastelaskentamenetelmän hyödyntämistä jatkuvatoimisen teollisen prosessin online-seurantaan. Tavoitteena on käyttää prosessien seurannassa herätesignaalia, joka paljastaa mahdolliset prosessissa tapahtuneet muutokset taajuusvasteen sisällön muutoksena, mutta joka kuitenkin on amplitudiltaan niin pieni, ettei se häiritse merkittävästi prosessin pääasiallista toimintaa. Tällöin prosessia voidaan seurata jatkuvasti tai jaksoittain tuotannon aikana aiheuttamatta laatuongelmia. Menetelmää testattiin TTY:n systemiteknikan laboratoriossa sijaitsevassa perinteisen perälaatikon toimintaa emuloivassa prosessissa. Testeissä tutkittiin eri toimipisteiden ja niiden aiheuttaman epälinearisuuden vaikutusta tuloksiin, sekä kokeiltiin online-seurannan kykyä havaita prosessiin aiheutettuja vikoja.

1 JOHDANTO

Prosessiteollisuuden identifiointikokeet ovat usein kalliita ja aikaa vieviä, tyypillisesti hitaiden prosessien vuoksi. Lisäksi kokeet saattavat häiritä varsinaista toimintaa ja aiheuttavat siten tuotanto- ja laatuhävikkiä. Koska kokeita kuitenkin usein tarvitaan, uudenlaisten prosessia mahdollisimman vähän häiritsevien kokeiden suunnittelu on mielenkiintoinen kohde. Tästä huolimatta on havaittavissa, että useimmat kehitetyistä identifiointimenetelmistä eivät ole teollisuudessa käytössä, vaikka niille olisi selvästi käyttöä. Identifiointi perustuu edelleen hyvin pitkälti yksittäisten muuttujien tarkasteluun ja askelmaisen herätteen käyttöön. Kokeissa yhtä asetusarvoa kerrallaan muutetaan askelmaisesti, ja tuloksena odotetaan selkeitä vasteita yksittäisten siirtofunktioiden identifiointiin. Etuna tässä menetelmässä on intuitiivisuus ja siten operaattoreiden mahdollisuus oppia prosesseista kokeiden aikana. Usein tässä menetelmässä toimiinkin, mutta monimutkaisessa ja paljon häiriölähteitä sisältävässä ympäristössä vasteiden sisältämä informaatio voi peittyä kohinan ja häiriöiden alle. Ongelmaa voidaan koettaa ratkaista kasvattamalla askeleen kokoa, mutta tämä voi häiritä tuotantoa ja tuoda esiin prosessin

epälinearisuuksia. Lisäksi askelkokeet tuottavat informaatiota vain hyvin kapealta taajuusalueelta, joten näin saadut tulokset ovat usein vajavaisia monimutkaisille prosesseille. Suurin ongelma on kuitenkin menetelmän hitaus ja kalleus. [1], [2]

Vaihtoehto em. aikataason analyysille on taajuustason analyysi ja taajuusvasteiden hyödyntäminen. Taajuusvaste on tapa kuvata kuinka dynaamisen järjestelmän ulostulon vaihe ja amplitudi eri taajuuksilla eroavat sisäänmenon syöte- tai herätesignaalin vaiheesta ja amplitudista. Taajuusvastemittauksella on useita sovelluskohteita. Esimerkiksi äänentoistossa taajuusvasteella kuvataan vahvistimien, mikrofonien ja kaiuttimien kykyä toistaa tasaisesti sekä korkeita että matalia ääniä. Elektroniikassa taajuusvasteella kuvataan mm. komponenttien, kaapeleiden ja antennien ominaisuuksia ja soveltuvuutta eri tarkoituksiin. Muita taajuusvasteen sovelluskohteita ovat esim. maaperän geologinen tutkiminen, biologisten kudosten ominaisuuksien mittaaminen ja soveltaminen dynaamisen järjestelmän suorituskyvyn arvioimiseen ja säätöratkaisun suunnitteluun. Taajuusvaste voidaan määrittää eri suureiden välille. Elektroniikassa input/output -suurepari on tyypillisesti virta ja jännite, jolloin taajuusvastetta kutsutaan impedanssiksi. Mekaanisissa järjestelmissä suurepari on usein siirtymä ja voima, jolloin kyse on mekaanisesta impedanssista.

Tyypillisesti taajuusvaste mitataan syöttämällä järjestelmään testisignaali, jonka aiheuttama vaste mitataan. Yksinkertaisin testisignaali on impulssi. Sen vasteena saadaan mitattua impulssivaste. Yleisimmin käytetty testisignaali on pyyhkäisyysignaali (sine sweep), joka on vakioamplitudinen muuttuvataajuuksinen sinisignaali. Sen tuottamasta vasteesta voidaan määrittellä vaiheen ja amplitudin muutos eri taajuuksilla. Kolmas testisignaalityyppi on laajakaistainen signaali. Järjestelmän impulssivaste ja sen myötä taajuusvaste saadaan ratkaistua herätteen ja sen vasteen dekonvoluution avulla. Kaupalliset taajuusvasteanalyysointimet perustuvat useimmiten pyyhkäisyysignaalin käyttöön. Menetelmässä on kuitenkin huonoja puolia ja merkittävin niistä on se, että yleensä vasteen mittaus vie paljon aikaa. Pitkä mittausaika selittyy sillä, että kullakin herätetaajuudella on hylättävä järjestelmän asetusajan (transienttivaiheen) aikana kerätty mittausdata, koska sitä ei voida käyttää taajuusvaste-estimaatin laskennassa. Erityisesti teollisuusprosesseilla transienttivaiheen kesto on usein huomattavan pitkä, mikä rajoittaa menetelmän käyttöä.

Pyyhkäisyymenetelmän vaatimalta pitkältä mittausajalta voidaan välttyä käyttämällä laajakaistaista herätesignaalia ja korrelaatiomenetelmää. Korrelaatiomenetelmässä käytetään hyväksi jaksollista herätesignaalia, joka on usein binäärinen (esim. Pseudo-Random Binary Sequence, PRBS) ja sisältää käyttäjän määrittelemän määrän taajuuksia. Tällöin taajuusvasteen mittausdatasta on hylättävä ainoastaan yhden transienttivaiheen data. Lisäksi, binäärisen herätesignaalin käyttö yksinkertaistaa huomattavasti herätesignaalin generaattorin vaatimuksia.

Korrelaatiomenetelmässä herätesignaali on suunniteltava tapauskohtaisesti. Sopiva signaali voidaan määrittellä sen generointitaajuudella, jakson pituudella, amplitudilla, tehollisella taajuuskaistalla, jaksojen lukumäärällä sekä yhden jakson ajallisella kestolla. Nämä suunnitteluparametrit voidaan asettaa manuaalisesti järjestelmätietämyksen perusteella tai vaihtoehtoisesti määrittää sopivan esiherätteen avulla (esimerkiksi askelvaste). Suunnitteluparametrien valintaan vaikuttavat mm. tarkasteltavan systeemin transienttivaiheen pituus sekä taajuuskaista. Lopullinen taajuusvaste saadaan laskettua käyttämällä herätteen ja ulostulovasteen välistä ristikorrelaatiota sekä Fourier-menetelmiä. Mittausmenetelmä on mahdollista automatisoida, jolloin se ei vaadi käyttäjältä erityistä asiantuntemusta.

Yksi käytetyimpiä herätesignaaleja taajuusvastemittauksissa on yllä mainittu PRBS. Eräs erityistapaus näistä signaaleista on niin sanottu maksimi pituinen binäärinen sekvenssi (MLBS). Tämä sekvenssi on erittäin suosittu systeemi-identifioinnin sovelluksissa, muun muassa siksi, että signaali on helppo generoida, sillä on rikas taajuussisältö ja se on jaksollinen (jolloin ei tarvita erityisiä ikkunointifunktioita taajuusvasteen laskennassa). Signaalin huonoin puoli on se, että sekvenssi olettaa järjestelmän olevan täysin lineaarinen. Tietyissä käytännön sovelluksissa erilaiset epälinearisuudet saattavat olla kuitenkin hyvinkin voimakkaita. Tällaisten järjestelmien analyysissä MLBS-heräte ei välttämättä toimi toivotulla tavalla.

MLBS-heräte voidaan korvata vaihtoehtoisella, niin sanotulla Inverse-Repeat Binary Sequence (IRS)-herätteellä. IRS-heräte generoidaan siten, että toistetaan MLBS-heräte ja asetetaan joka toisen bitin arvoksi alkuperäisen arvon vastaluku. Tuloksena on sekvenssi, joka supistaa järjestelmän Volterra-sarjasta kaikki toisen kertaluvun ytimet jättäen ainoastaan lineaarisen termin sekä korkeamman kertaluvun ytimet. Tuloksena on parempi estimaatti järjestelmän lineaarisesta mallista.

Tämän paperin tarkoituksena on esitellä menetelmä teollisuusprosessien online seurantaan taajuusvaste-laskennan ja IRS-herätesignaalin avulla. IRS-herätettä injektoidaan järjestelmään jatkuva-aikaisena tai tietyin aikaväleinä ja laskettua taajuusvastetta verrataan järjestelmän referenssisignaaliin. Referenssisignaali on saatu

laskemalla taajuusvaste täysin toimivasta järjestelmästä. Tavoitteena on myös selvittää, miten voimakas herätesignaali on oltava, jotta taajuusvastemittaukselle saadaan riittävän rikasta dataa. Herätesignaali ei saa olla liian voimakas, jotta varmistetaan järjestelmän normaali toiminta monitoroinnin aikana. Tutkimuksen päätavoitteena on tuottaa halpa ja tehokas menetelmä, jolla prosesseja voidaan analysoida jatkuva-aikaisena.

2 TEORIA

Tämä kappale esittelee paperissa käytettävän teorian; ristikorrelaatioon perustuvan taajuusvastelaskennan [4], sekä IRS herätesignaalin [5].

2.1 Ristikorrelaatiotekniikka

Tyypillinen teollisuusprosessi voidaan käsitellä lineaarisesti järjestelmäksi. Näytteistetty systeemi voidaan siis kuvata siten, että

$$y(m) = \sum_{k=1}^m g(k)u(m-k) + v(m) \quad (1)$$

missä $y(m)$ on näytteistetty ulostulo, $u(m)$ järjestelmän sisäänmeno (heräte), $g(k)$ systeemin impulssivaste ja $v(m)$ kuvaa häiriötä, kuten esimerkiksi mittauskohinaa. Ulostulon ja sisäänmenon välinen ristikorrelaatio voidaan antaa siten, että

$$\begin{aligned} R_{uy}(m) &= \sum_{k=1}^m u(k)y(k+m) \\ &= \sum_{k=1}^m g(k)R_{uu}(m-k) + R_{uv}(m) \end{aligned} \quad (2)$$

missä $R_{uu}(m)$ on sisäänmenon autokorrelaatiofunktio ja $R_{uv}(m)$ sisäänmenon ja häiriön välinen ristikorrelaatiofunktio. Jos sisäänmenosignaali imitoi valkoista kohinaa, seuraavat ominaisuudet ovat voimassa.

$$\begin{cases} R_{uu}(m) = \alpha\delta(m) \\ R_{uv}(m) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

missä α merkitsee sisäänmenon $u(m)$ varianssia ja $\delta(m)$ on Kroneckerin delta funktio. Siten sisäänmenon autokorrelaatiofunktio on deltafunktio ja ristikorrelaatio sisäänmenon ja häiriön välillä saa arvon nolla. Oletuksen (3) perusteella ristikorrelaatio (2) voidaan ilmoittaa siten, että

$$R_{uy}(m) = \alpha g(m) \quad (4)$$

Siten, mitatun ulostulon ja sisäänmenon välinen ristikorrelaatio antaa järjestelmän impulssivasteen. Käyttämällä äärellisen pituisia signaaleita, tästä ristikorrelaation estimaatista saadaan impulssivasteen estimaatti. Vaste voidaan kuvata taajuustasoon ja esittää taajuusvasteena soveltamalla diskreettiä Fourier-muunnosta.

$$\hat{G}(e^{j\omega T_s}) = \frac{1}{\alpha} \sum_{k=0}^{M-1} \hat{R}_{uy}(m) e^{-jk\omega T_s} \quad (5)$$

missä M merkitsee kerätyn datan kokonaispituutta, $\hat{G}(e^{j\omega T_s})$ estimoitua taajuusvastetta, T_s näytteistysväliä ja \hat{R}_{uy} estimoitua ristikorrelaatiota mitatun ulostulon ja sisäänmenon välillä. Kaavan (5) vaatimuksena on, että järjestelmään on syötetty valkoista kohinaa imitoiva herätesignaali. Tämä vaatimus voidaan toteuttaa käyttämällä esimerkiksi MLBS signaalia.

2.2 IRS herätesignaali

MLBS-herätesignaalin käytön oletuksena on, että tarkasteltava järjestelmä on lineaarinen. On kuitenkin selvää, että teollisuusprosesseissa saattaa esiintyä voimakkaita epälineaarisuuksia. Siten MLBS-herätesignaalin antaman tulokset voivat olla vääristyneitä.

Epälineaarisuuksia sisältävät järjestelmät voidaan mallintaa periaatteessa kahdella tavalla. Ensimmäinen menetelmä on identifioida systeemi, joka sisältää myös kaikki epälineaarisuudet. Toinen tapa on identifioida järjestelmästä ainoastaan lineaarinen osuus. Jälkimmäinen menetelmä on erityisen käytännöllinen järjestelmille, joissa epälineaarisuuksia on hankala tunnistaa ja mallintaa.

Eräs tapa minimoida järjestelmän epälineaarisuudet on käyttää tarkoin valittua herätesignaalia. Yksi tällainen signaali on IRS-herätesignaali (Inverse-Repeat Binary Sequence), joka saadaan muodostettua toistamalla MLBS-herätesignaali ja asettamalla joka toiselle bitille arvoksi alkuperäisen arvon vastaluku. Tuloksena on sekvenssi, joka supistaa järjestelmän Volterra-sarjasta kaikki toisen kertaluvun ytimet jättäen ainoastaan lineaarisen termin sekä korkeamman kertaluvun ytimet. Näin saadaan parempi estimaatti järjestelmän lineaarisesta mallista.

Epälineaarisen järjestelmän ulostulo voidaan ilmoittaa Volterra-sarjana siten, että

$$y(n) = \sum_{k=0}^M h_1(k)u(n-k) + \sum_{k_1=0}^M \sum_{k_2=0}^M h_2(k_1, k_2)u(n-k_1)u(n-k_2) + \dots + \sum_{k_1=0}^M \dots \sum_{k_i=0}^M h_i(k_1, \dots, k_i)u(n-k_1) \dots u(n-k_i) \quad (6)$$

missä $u(k)$ kuvaa järjestelmän sisäänmenoa ja M mitatun datan pituutta. Jokainen diskreetti konvoluutio sisältää ytimen, joko lineaarisen (h_1) tai epälineaarisen (h_2, \dots, h_i)), joka kuvaa systeemin käyttäytymistä. Epälineaarisuuksien puuttuessa, systeemi voidaan täysin kuvata pelkän lineaarisen ytimen avulla.

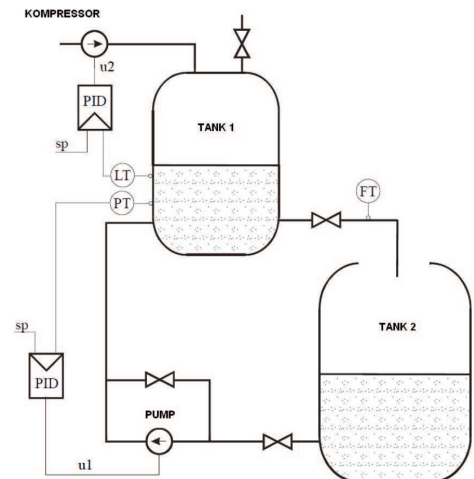
IRS-herätesignaalin erityinen ominaisuus voidaan löytää tarkastelemalla sen epäsymmetriaa.

$$u(n) = -u(n + K/2) \quad (7)$$

missä K merkitsee toistetun MLBS-herätesignaalin pituutta. Kaavan (7) seurauksena, kaikki parillisen kertaluvun ytimet supistuvat pois yhtälöstä (6), kun IRS-herätesignaali syötetään järjestelmään. Jäljelle jäävät lineaarinen ydin sekä parittomien kertalukujen ytimet. Näin järjestelmän lineaarinen osuus on mahdollista mallintaa tarkemmin. Usein korkeampien kertalukujen ytimien vaikutus järjestelmän ulostuloon on pieni verrattuna alempien kertalukujen ytimien vaikutuksiin. Siten parillisten kertalukujen ytimien aiheuttama vaikutus voidaan olettaa olevan dominoiva.

3 SUORITETUT PROSESSIKOKEET

Prosessikokeita suoritettiin perinteistä perälaatikkoprosessia emuloivalla laboratoriolaitteistolla TTY:n Systeemitekniiikan laitoksella. Yksinkertainen prosessikaavio on esitetty kuvassa 1. Perälaatikko on paperi- ja sellukoneista löytyvä prosessiyksikkö, jonka tehtävänä on taata vakaa suihku perälaatikon huuliaukosta viiralle. Tämä saavutetaan vakioimalla huuliaukolla oleva paine-ero. Perinteisessä perälaatikossa asia on ratkaistu käyttämällä perälaatikon pinnan yläpuolella olevaa ilmapatjaa, jonka painetta säädetään kompressorilla. Perälaatikosta massasulppu virtaa paine-eron vuoksi viiralle ja em. ilmapatja tasaa perälaatikolle tulevassa virtauksessa ilmaantuvia häiriöitä. Kuvan tankki 1 on

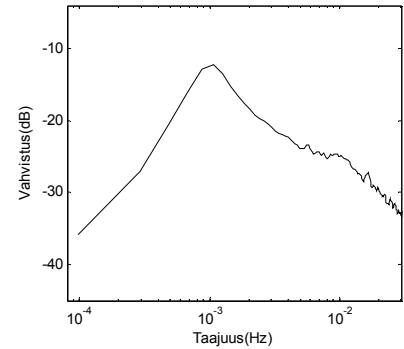


Kuva 1. Prosessi

todellisessa prosessissa turha ja sitä käytetään laboratoriolaitteistossa kierrättämään nestettä prosessissa.

Prosessissa on kaksi säädettävää toimilaitetta, syöttöpumppu ja kompressori. Kompressori tuo ilmaa perälaatikon pinnan yläpuolella olevaan ilmapatjaa ja pumppu syöttää perälaatikkoon vettä. Säädettävillä suureilla, pinnankorkeudella ja paineella, on vahvat ristikkäisvaikutukset, joka huomioidaan MIMO-säätimessä. Säätimessä pinnankorkeutta säädetään kompressorin ja painetta pumpun ohjauksella. Pinnankorkeuden ja paineen lisäksi prosessista mitataan huuliaukolta lähtevän virtauksen suuruus. Koska huuliaukon avaumaa pidetään normaalitilanteessa vakiona, on huuliaukolta lähtävä virtaus paineen epälineaarinen funktio.

Prosessia ohjataan PC:llä hyödyntäen Matlab/Simulink ympäristöä, johon myös prosessidata kerätään. Kokeet suoritettiin lisäämällä suunniteltu herätesignaali pumpun ohjaussignaaliin. Taajuusvasteita laskettiin kaikista kolmesta mittauksesta. Herätesignaali suunniteltiin hyödyntämällä tietoa prosessin aikavakiosta, vahvistuksista ja mittausten ominaisuuksista. Koska prosessi on epälineaarinen, tulee myös sen vaikutukset huomioida tulosten analysoinnissa. Käytännössä tämä usein tarkoittaa toimipistekohtaisten referenssivasteiden (vaste normaalitilanteessa) käyttöä.



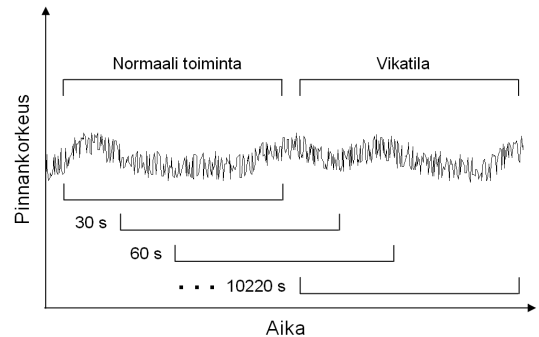
Kuva 2 Taajuusvaste paineohjauksesta pinnankorkeuteen.

3.1 Koe 1: referenssivaste

Ensimmäisessä kokeessa mitattiin systeemin taajuusvaste paineohjauksesta pinnankorkeuteen. Herätesignaalinä käytettiin 9 bitin pituisella siirtorekisterillä generoitua IRS signaalia. Kuva 2 esittelee lasketun taajuusvasteen eräässä prosessin toimipisteessä. Ko. vastetta käytetään referenssivasteena kokeessa 2.

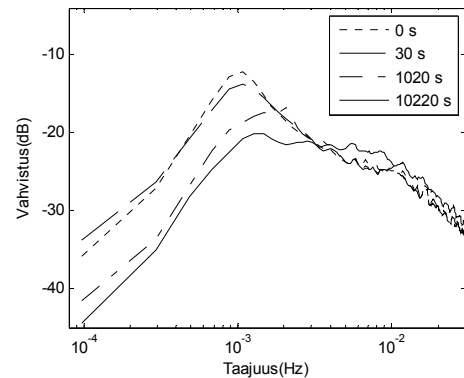
3.2 Koe 2: kuluneen laitteiston vaikutus

Toisessa kokeessa prosessia ajettiin samassa toimipisteessä, mutta pumpun ohjaussignaalia manipuloidaan Matlabissa backlash-operaattorilla, joka kuvaa laitteistossa kulumisen seurauksena ilmaantuvaa välystä. Vasteita laskettiin 30 s välein. Kuva 3 havainnollistaa laskentaperiaatetta. Kuvan 4 vasteista nähdään kuinka vasteet alkavat muuttumaan ”vian” ilmaantumisen jälkeen. Kuvassa 5 on nähtävissä indeksi, jonka tarkoitus on helpottaa prosessin automaattista seuranta tiivistämällä vasteiden ero yhdeksi luvuksi. Tässä päädyttiin käyttämään yksinkertaista indeksia, joka laskee vasteiden väliin jäävää pinta-alaa tietyllä kaistalla. Indeksi on skaalattu siten, että täysin vikatilallisesta datasta laskettu taajuusvaste saa arvon 1. Kuvista nähdään kuinka vasteesta voidaan havaita muutos, joka voisi olla hankalaa havaita aikataason datasta.



Kuva 3 Taajuusvaste on laskettu 30 s välein.

Jatkossa on tarkoitus tutkia tarkemmin herätesignaaliilta vaadittavia ominaisuuksia, erilaisten poikkeamatilanteiden vaikutuksia sekä niiden havaitsemista vasteista. Herätesignaalin suunnittelussa oleellista on tutkia optimaalista signaaliampplitudia eri tilanteissa, jotta signaali on tarpeeksi vahva paljastamaan mahdolliset ongelmat, mutta tarpeeksi pieni mahdollistamaan prosessin normaalin toiminnan. Myös mahdollisuutta käyttää ns. monimuuttujajäherätettä on tarkoitus tutkia. Monimuuttujajäherätteellä voidaan prosessiin syöttää samanaikaisesti useampi herätesignaali ja saada laskettua näin useampi taajuusvaste kerralla. Poikkeamatilanteita tutkittaessa mielenkiinto kohdistuu poikkeamien



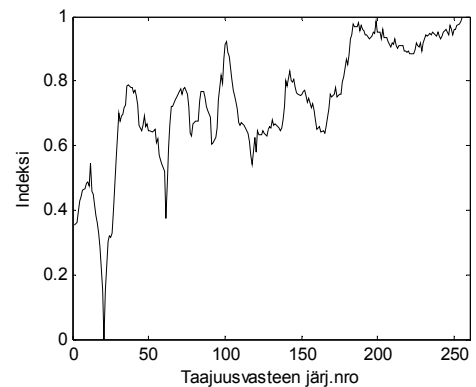
Kuva 4 Osa kokeessa 2 mitatuista taajuusvasteista

havaitsemisen lisäksi tarkemman diagnoosin tekeminen vasteiden perusteella.

4 YHTEENVETO

Taajuusvasteanalyysi ja sen ymmärtäminen tarjoaa tehokkaan työkalun systeemis suunnittelussa. Taajuusvasteita voidaan soveltaa esimerkiksi vikadiagnostiikkaan, säätösuunnitteluun sekä järjestelmien ominaisuuksien analyysiin.

Teollisuusprosessien testausmenetelmät ovat usein aikaa vieviä ja kalliita toteuttaa. Lisäksi testauksia ei voida yleensä suorittaa tuotannon aikana. Tässä paperissa esiteltiin ei-parametrinen identifiointimenetelmä, jota voidaan soveltaa teollisuusprosessien valvontaan normaalin ajon aikana. Työssä käytettiin IRS herätesignaalia ja korrelaatiolaskentaan perustuvaa menetelmää järjestelmän taajuusvasteen laskentaan. IRS herätesignaali supistaa järjestelmässä esiintyviä epälinearisuuksia ja antaa siten paremman estimaatin systeemin lineaarisesta mallista.



Kuva 5 Taajuusvasteista laskettu indeksi.

Käyttämällä esitettyä menetelmää, järjestelmää on mahdollista analysoida jatkuva-aikaisena tai tarpeen vaatiessa tietyin aikavälein. Käytetty herätesignaali on ominaisuuksiltaan sellainen, että se antaa tarpeeksi rikasta dataa taajuusvasteen riittävän tarkkaan mittaukseen mutta toisaalta ei häiritse prosessia liikaa, jolloin järjestelmän toimintaa ei tarvitse keskeyttää.

Esitetty menetelmä verifioitiin käytännön mittauksilla. Sovelluksena käytettiin perinteistä perälaatikkoprosessia emuloivaa laboratoriolaitteistoa. Tulokset vahvistavat menetelmän potentiaalın teollisten prosessien monitoroinnissa.

5 KIRJALLISUUSLUETTELO

- [1] Y. Zhu, Multivariable Process Identification for MPC: the Asymptotic Method and its Applications, Journal of Process Control, vol. 8 n. 2, 1998, pp. 101 – 115.
- [2] B. Liu, J. Zhao, J. Qian, Design and analysis of test signals for system identification, International Conference on Computational Science, 2006, pp.593 – 600.
- [3] R. Pintelon, J. Schoukens, System Identification – A Frequency Domain Approach (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2001).
- [4] W. Davies, System Identification for Self-Adaptive Control (Wiley-Interscience, a division of John Wiley and Sons Ltd., 1970).
- [5] K. Godfrey, A. Tan, H. Barker, B. Chong, A Survey of Readily Accessible Perturbation Signals for System Identification, Control Engineering Practice, vol. 13, 2005, pp. 1391 – 1402.