

Höyry-lauhde-siirtojärjestelmä
Energia-analyysi
Teollisuus
Energiatehokkuus

Höyry-lauhde-siirtojärjestelmä
Energiatehokkuuden mittausopas
10/2012

Höyry- lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden mittausopas

Esipuhe

Motiva Oy käynnisti vuonna 2010 höyry-lauhdejärjestelmien energiatehokkuuden tehostamiseen ja ylläpitoon suuntautuvan yhteistyöhankkeen - Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä.

Vuonna 2011 Motiva Oy julkaisi hankkeen tulosten pohjalta tarkennetut toteutusohjeet höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmien energiakatselmoiin. Projektin aikana havaittiin tarve laatia asiaan liittyvä mittausopas.

Tämän mittausoppaan tavoite on tehostaa ja parantaa höyryn ja lauhteen virtaus- ja määrämittauksia, lisätä niillä saavutettavaa hyötyä sekä parantaa höyry-lauhdejärjestelmän energiatehokkuutta ja sen ylläpitoa.

Oppaassa on esitetty mittauksen teknisen toteuttamisen lisäksi näkökulmia mittaustulosten laadun varmistamiseksi sekä hyödyntämiseksi raportointien avulla. Nämä laajemmat näkökulmat ja niiden hyödyntäminen on perusteltua käydä läpi jokaisen höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmän kohdalla.

Tämän mittausoppaan ovat tehneet FT Markku Leskelä ja TkL Teemu Turunen Paperra Oy:stä projektin vetäjänä toimineelle Motiva Oy:lle yhteistyössä alan asiantuntijoiden kanssa.

Mukana hankkeessa Motiva Oy:n lisäksi olivat Myllykoski Paper Oy, Metsäliitto-konserni, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Borealis Polymers Oyj, Oy Konwell Ab, Spirax Oy, Oy Indmeas Industrial Measurements Ab, Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu, työ- ja elinkeinoministeriö sekä Paperra Oy. Hankkeen rahoitti työ- ja elinkeinoministeriö (TEM).

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän rakenne ja mittaukset	7
3	Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden seuranta	9
3.1	Taseet	9
3.2	Mittaustiedon raportointi	10
3.3	Mittausten online-seuranta	13
3.4	Työssä oppiminen ja koulutus	13
3.5	Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän tunnusluvut	15
3.6	Tunnuslukujen määrittäminen	18
3.7	Prosessin ja ympäristön tilan vaihtelut	19
4	Mittausmenetelmät ja mittausten sijoittaminen	20
4.1	Virtausmittaukset	21
4.1.1	Virtausmittausten vaihtoehdot, tarkkuus ja käyttökohteet	21
4.1.2	Höyryn ominaisuuksien vaikutus	23
4.1.3	Virtausmittausten sijoittaminen prosessissa	26
4.2	Lämpötilamittaus	27
4.2.1	Lämpötilamittausten vaihtoehdot ja käyttökohteet	27
4.2.2	Lämpötilamittausten sijoittaminen prosessissa	27
4.3	Painemittaus	29
4.3.1	Painemittausten vaihtoehdot ja käyttökohteet	29
4.3.2	Painemittausten sijoittaminen prosessissa	29
5	Luotettavan mittaamisen edellytykset	31
5.1	Mittauspisteen perustamisvaihe	32
5.1.1	Höyrymittaukset	32
5.1.2	Lauhemittaukset	34
5.2	Käytönaikainen mittausten laadunvarmennus	35
5.2.1	Mittauslaadun valvonta	35
5.2.2	Huolto ja kunnossapito	36
5.2.3	Kalibroinnit	36
5.3	Mittaustiedon siirto järjestelmien välillä	37
5.4	Yhteenveto muistilistana	38
	LIITE 1	39
	LIITE 2	40
	KIRJALLISUUSLUETTELO	41

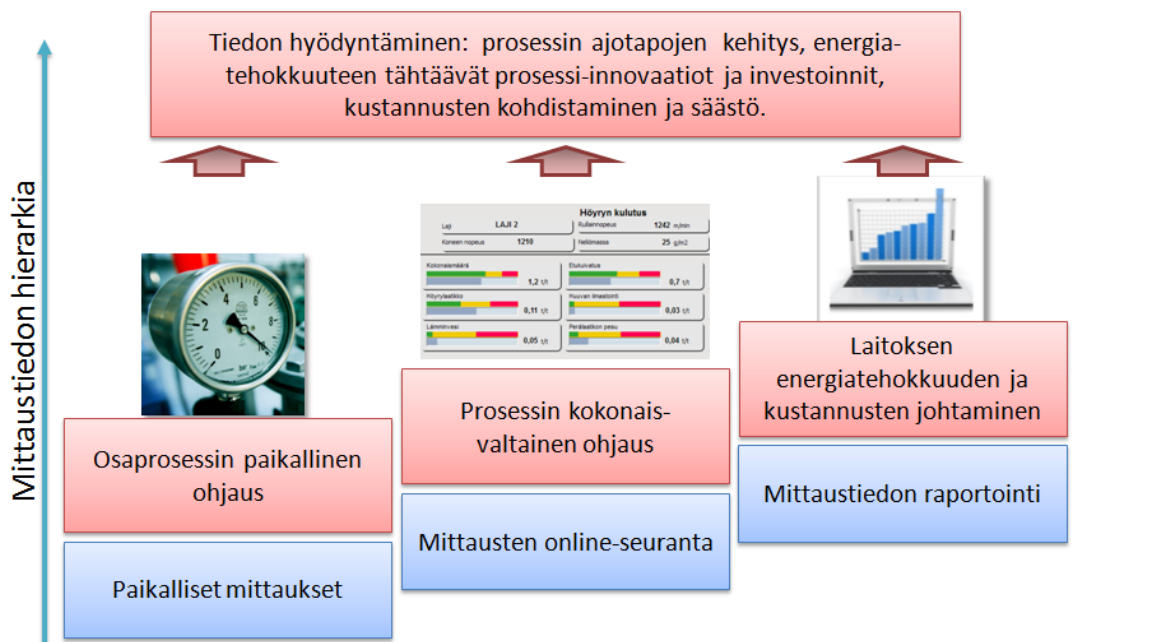
Tämä mittausopas keskittyy höyry-lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden seurantaan, mutta sitä voidaan soveltuvin osin hyödyntää myös muissa prosesseissa. Opasta voidaan käyttää ainakin seuraavissa tilanteissa:

- Uuden höyry- ja lauhdejärjestelmän suunnittelussa.
- Olemassa olevan järjestelmän mittausten kehittämisessä.
- Mittaamisen luotettavuuden tai muun puhtaasti mittaustekniikkaan liittyvän aiheen lähdemateriaalina.
- Energiatehokkuuskatselmusten tai vastaavien analyysien yhteydessä.
- Opetusmateriaalina.

Opas on jaettu jaksoihin siten, että mittausten luotettavuudesta ja virhelähteistä, mittaamisen vaihtoehtoisista tekniikoista, asennuskäytännöistä tai ongelmanratkaisusta kiinnostunut voi siirtyä suoraan lukuihin 4, 5 ja 6. Jos lukijan tavoitteena on höyry-lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden mittaamisen kehittäminen kokonaisuutena, kannattaa lukea myös luku 3.

Energiatehokkuuden mittaaminen ja seuranta edellyttävät kokonaisvaltaista lähestymistä. Usein pääpaino on itse mittaamisessa tai uusien mittausinstrumenttien hankinnassa ja vaille huomiota jää, kuinka tuotettu informaatio jalostetaan käyttökelpoiseen muotoon ja tätä kautta saatetaan käyttöön.

Kun energiatehokkuutta tarkastellaan mittaamisen ja seurannan näkökulmasta, kokonaiskuva voidaan hahmottaa kuten kuvassa 1.



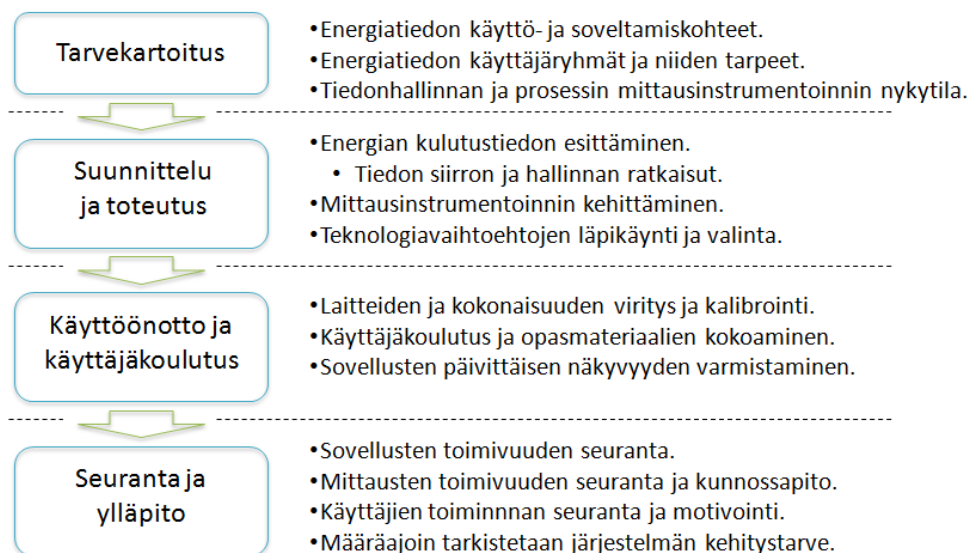
Kuva 1 **Mittaustiedon hierarkiatasot.**

Yksittäisen mittauksen täysin paikallinen käyttö on mittaustiedon alkeellisin käyttötapa. Näiden yleinen ongelma on, että niitä käytetään vain ajoittain eikä niiden toimivuudesta tai luotettavuudesta ole takeita.

Paikalliset mittaukset eivät juuri koskaan riitäkään, vaan mittaussignaali on vietävä automaatiojärjestelmän näytöille ja niitä käytetään prosessin ohjaukseen. Tätä mittaustiedon hierarkiatarasoa nimitetään online-seurannaksi.

Jotta tehtaan tai prosessin kehittäminen ja vertailu muihin vastaaviin laitoksiin tulee mahdolliseksi, on mittaussignaaleista johdettava tunnuslukuja - tyyppisesti ominaiskuluksilukuja, joita kootaan ja esitetään erilaisissa raporteissa. Tunnukslukujen tulee kiteyttää sekä energiaan liittyvät keskeiset tekniset ilmiöt että kustannukset. Tätä hierarkiatarasoa nimitetään mittaustiedon raportoinniksi.

Mittaustiedon hierarkiatarasojen oivaltaminen sisältää olennaisen ajatuksen, että mittaustiedolla on monia käyttäjiä ja käyttötilanteita. Siksi mikä hyvänsä mittaamiseen liittyvä kehityshanke onkin aloitettava käyttäjien tarvekartoituksella. Mikäli kehityshankkeessa unohdetaan käyttäjä, hänen työnsä vaatimukset sekä prosessin asettamat reunaehdot, on hyvin vaikea saavuttaa merkittäviä säästöjä. Kuvassa 2 on esitetty tarvekartoituksesta liikkeelle lähtevän energiatehokkuuden seurannan kehitysprojektin vaiheet ja sisältö.



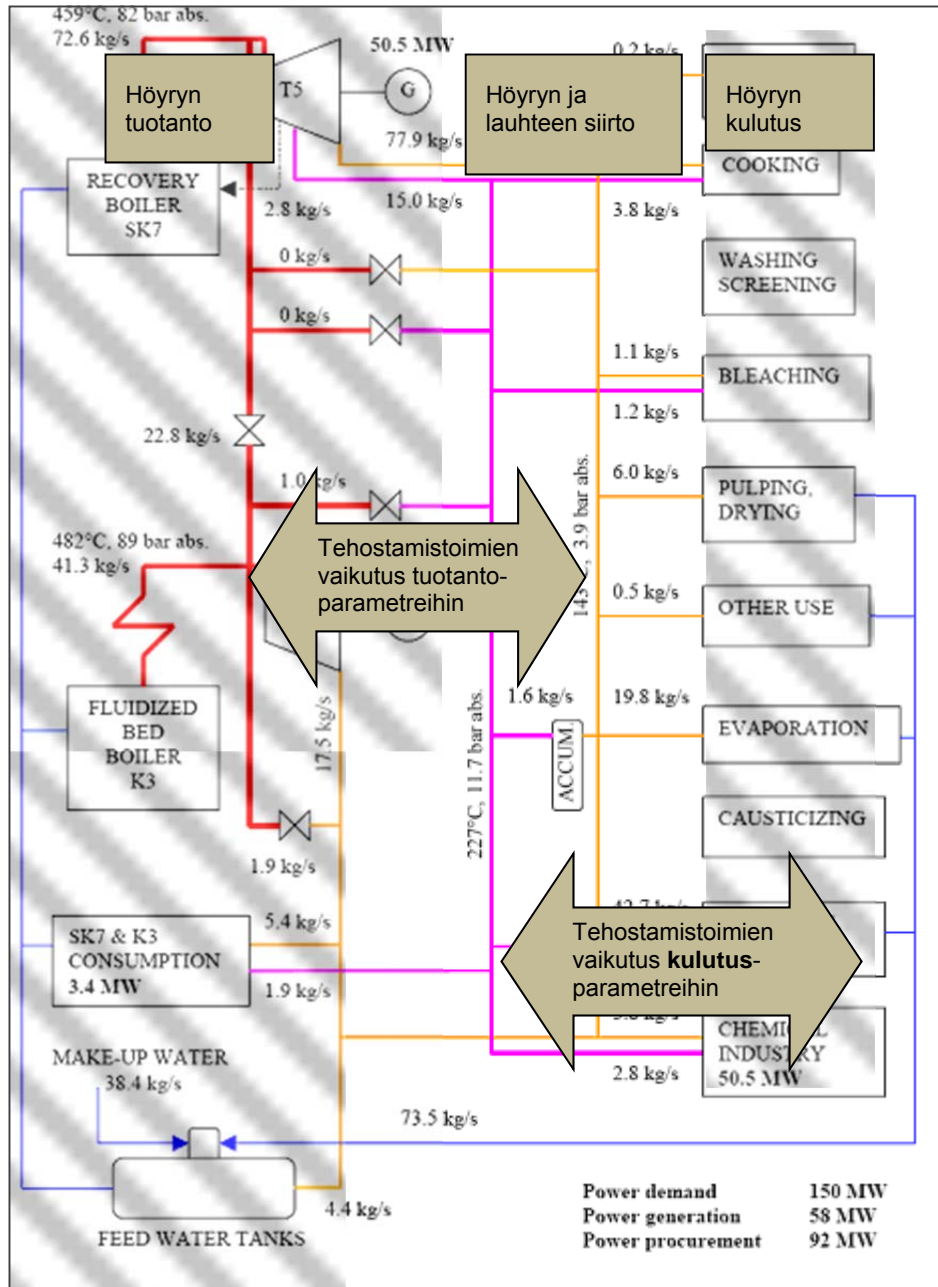
Kuva 2. **Energiatehokkuuden mittaamisen ja seurannan kehitysprojektin vaiheet ja sisältö.**

Vastuuhenkilön nimeäminen on olennaista myös höyry-lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden kannalta. Vastuuhenkilön tehtäviin tulee sisältyä:

- Höyrynkulutuksen systemaattinen seuranta ja analysointi.
- Mittausten määräaikaistarkistukset ja kalibroinnit.
- Kulutuksen muutoksista tiedottaminen ja raportointi.

2 Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän rakenne ja mittaukset

Höyry-lauhdesiirtojärjestelmäksi määritellään höyryn tuotannon ja höyryn käyttökohteiden välinen prosessialue. Kuvassa 3 on esimerkkinä esitetty metsäteollisuusintegraatin höyry-lauhdesiirtojärjestelmän yksinkertaistettu prosessikaavio, sisältäen höyryn tuotannon ja käyttökohteet.



Kuva 3. Metsäteollisuusintegraatin höyryjärjestelmä. Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän muodostaa höyryn tuotannon ja käyttökohteiden välissä oleva prosessin osa.

Höyry- lauhdesiirtojärjestelmän prosesseja, toimintoja ja kokonaisuuksia ovat:

- höyryn siirtoputkisto
- höngityssäiliöt
- lämmönsiirtimet
- lauhduttimet
- lauhteen siirtoputkisto
- lauhteenpoistimet
- lauhdesäiliöt
- säätöventtiilit, toimilaitteet ja mittausinstrumentti.

Kun tarkastellaan höyry-lauhdesiirtojärjestelmän mittaustarpeita, on hyödyllistä todeta järjestelmän toimintaan liittyvät fysikaaliset ilmiöt:

- lämmönsiirto lauhtumisen kautta
- lämmönsiirto konvektiolla
- aineensiirto
- virtausvastus putkistossa
- höyrystyminen.

Käytännössä näiden ilmiöiden seuranta edellyttää seuraavien suureiden mittauksia:

- höyryn ja veden (ml. lauhde) virtaus
- höyryn paine
- höyryn ja veden (ml. lauhde) lämpötila
- säiliöiden pinnankorkeuden mittaus.

Näiden prosessisuureiden mittaamisen lisäksi energiatehokkuuden kehittäminen voi vaatia määräajoin projektiluontoisia kertamittauksia. Tällaisia ovat lauhteenpoistinten toimintakunnon mittaukset. Mittaukset toteutetaan ultraääni- tai lämpökameramittauksin. Niiden toteutukseen saa apua laitevalmistajilta. Myös putkistojen lämpöhäviöt kannattaa noteerata. Lämpöhäviöt määritetään laskemalla, kun on käytettävissä arvio eristetyn putkiston osuudesta ja eristyksen kunto on arvioitu.

3 Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden seuranta

Prosessin mittauksilla ja mittausten seurannalla on merkitystä vain, jos mittaamalla tuotetut tunnusluvut jalostetaan käyttäjälle, esimerkiksi prosessin ohjaajalle hyödylliseen ja käyttökelpoiseen muotoon. Olennaisia teemoja ovat kokonaisuuden hahmottaminen taseiden kautta ja vertailun mahdollistaminen mm. ominaiskulutuslukujen ja historiatrendien avulla. Näiden kautta päästään tunnistamaan höyry- ja laudejärjestelmien kehittämiskohteita, olivatpa ne rakenteellisia ongelmia, kuten esimerkiksi kapasiteettiongelmia, tai yksittäisten laitteiden tehotonta toimintaa.

Energiatehokkuuden seuranta voidaan jakaa kahteen pääosaan vaikka niiden välinen raja ei olekaan terävä. Nämä pääosat ovat online-seuranta ja raportointi.

Online-seuranta hyödyntää reaaliaikaista tietoa ja kertoo energiatehokkuuden hetkellisen tilan. Online-seurannan käyttäjäryhmiä ovat tuotantolinjojen operaattorit, tuotannon johto sekä kunnossapitohenkilöstö. Vastaavasti raportointi pohjautuu historiatietoon ja sen käyttäjäryhmänä ovat yritysten ja tuotannon johto, mutta joskus sitä hyödynnetään myös lähellä prosessin ohjaustasoa. Online-seuranta sijoitetaan yleensä prosessinohjausjärjestelmään. Raportoinnille on puolestaan omat järjestelmänsä ja raportoinnissa on usein mahdollista käyttää sekä määrämuotoisia raportteja että käyttäjäkohtaisesti määriteltäviä yhteenvetoja.

3.1 Taseet

Taseiden hahmottaminen on tärkeä keino höyry-lauhdesiirtojärjestelmän hallinnassa ja niitä käytetään sekä online-seurannassa että raportoinnissa. Tasemuotoinen esitystapa auttaa kokonaisuuden hahmottamisessa, kun tase esitetään harkitun yksinkertaisesti ja visuaalisesti. Taseesta saa yhdellä silmäyksellä kuvan prosessin tilasta. Tase voidaan jalostaa Sankey-diagrammiksi, joka kertoo perinteistä tasetta havainnollisemmin eri ja-keiden keskinäisen suuruuden.

Tase voidaan laatia koko tehtaalle, osalle tehdasta tai jonkin prosessin vaiheen kuvaamiseksi. Puhutaan taseesta ja sen alataseista, esimerkki kuvassa 4. Käyttötarkoitus ja hyöty ratkaisevat. Yksittäisen vaiheen tasetarkastelu voi korvata jonkin mittauksen ja siten säästää kustannuksia.

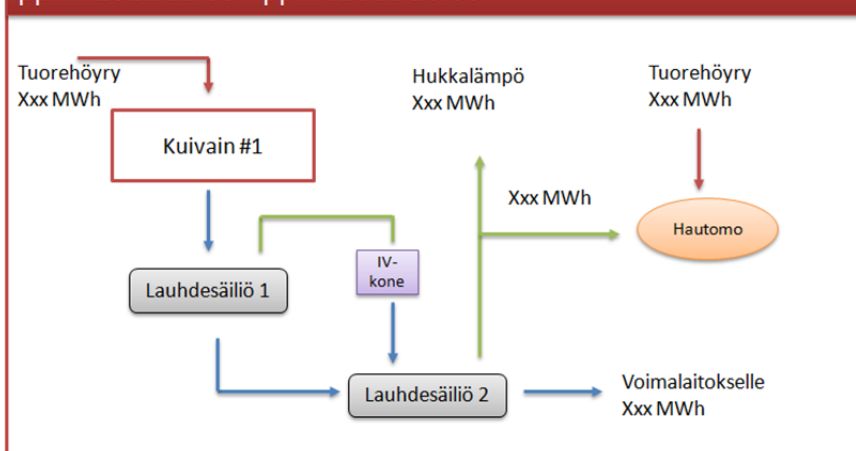
Laajemman prosessialueen taseita mietittäessä tärkeä kriteeri on laatia taseet niin, että taserajoilla on yhteys kustannuslaskentaan. Tällöin taseiden antama informaatio palvelee parhaiten kustannusten säästämisen tavoitetta, mikä on tehokkain tapa motiivoida energiansäästämistä.

Prosessin tilan seuraamisen lisäksi taseiden avulla voidaan seurata kriittisten prosessimittausten kuntoa ja paljastaa toimimattomia tai virheellisiä mittauksia, mistä tarkemmin luvussa 5.

Tasemuotoinen lämmönkäyttöraportti

Tuotanto xxx m³

pp.kk.2011 12:00 – pp.kk.2011 18:00



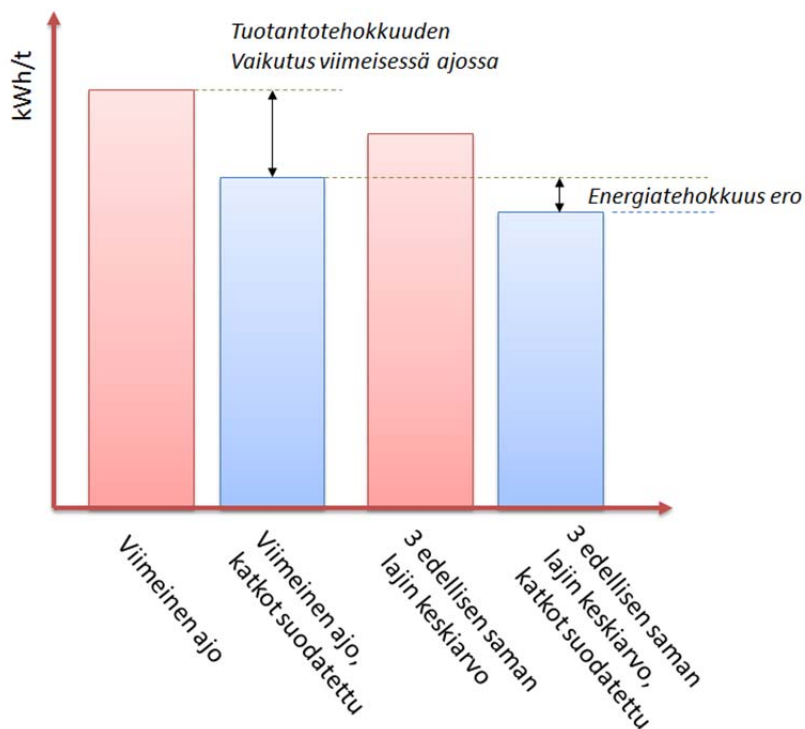
Kuva 4. Tasemuotoinen lämmönkäyttöraportti vaneritehtaan keskeisistä höyryn käyttökohteista.

3.2 Mittaustiedon raportointi

Kuten edellä mainittiin, raportointi on johdon työkalu, jonka avulla tarkastellaan energiatehokkuuden tilaa ja kehitystä eri näkökulmista. Tyypillisimmin raportointia hyödynnetään päätöksenteon tukena ja vastaavasti tehtyjen päätösten ja toimenpiteiden seurannassa. Esimerkkinä raportoinnin soveltamisesta liittyen höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmään on lämmön talteenoton tehostamisella aikaansaatu tuorehöyryn pienempi kulutus. Jos kunnollista raportointityökalua ei ole käytettävissä, on vaikeaa tai jopa mahdoton todentaa vaikutuksia järjestelmän kokonaistaloudessa, joka lopulta realisoituu höyryn tuotannon tarpeessa.

Raportointia tarvitaan lupien ja säädösten vaatimusten todentamisessa. Tyypillisiä esimerkkejä ovat energiatehokkuussopimuksen vuosiraportointi, ympäristöluvan päivitys tai päästökaupan vaatima raportointi. Raportointi soveltuu hyvin myös energiankulutuksen laskutuksen työkaluksi ja käytännön toteuttamistavaksi. Tällöin täytyy erityisellä huolellisuudella varmistaa, että taustalla olevat mittaukset ovat kunnossa. Tunnetaan tapauksia, joissa höyryn määramittauksessa ja sen myötä laskutuksessa on ollut yli 10 % virhe.

Raportoinnissa voidaan hyödyntää erilaisia suodattimia, joiden avulla suodatetaan esimerkiksi tuotantokatkojen osuus pois raportoitavalta ajanjaksolta. Suodattavana signaalina voi tällöin olla katkosignaali tai muu tuotannon käynnissä olosta kertova signaali. Vastaavaa suodatusta voidaan käyttää myös lajikohtaisessa raportoinnissa, josta esimerkki on esitetty kuvassa 5.

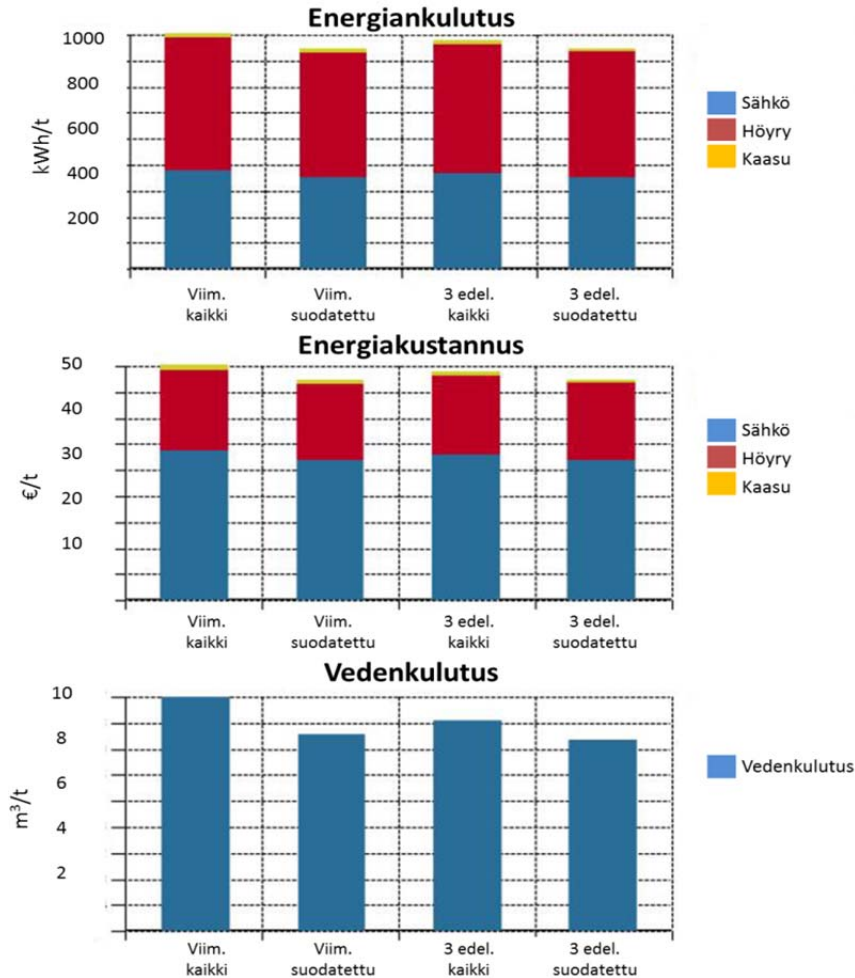


Kuva 5. **Esimerkki suodatuksen käytöstä ja vaikutuksista.**

Käytännössä raportoinnissa hyödynnetään trendejä, jakaumapiiraita ja taulukoita. Omaiskulutusluvuista ja muista keskeistä määrää kuvaavista tunnusluvuista laaditut trendikuvaajat muodostavat raporttien ytimen, sillä niistä saadaan kuva tarkasteltavan ilmiön ajallisesta vaihtelusta ja sen suuruudesta sekä tapahtuneiden muutosten suunnasta. Jakaumapiiraat puolestaan antavat kuvaa kulutusten jakautumisesta ja sen mahdollisesta muutoksesta. Taulukkomuotoinen esitystapa voi olla joskus tarpeen yksiselitteisten lukuarvojen esille tuomisessa, kuva 6. Kuten luvussa 3.1.todettiin, esittäminen taseina on erityisen havainnollista.

kolme viimeistä ajoa

Lajiraportti	Kokonais- kulutus	Katkoton kulutus	Kokonais- kulutus	Katkoton kulutus
Sähkön ominaiskulutus [kWh/t]	437,73	408,55	426,39	411,62
Höyryn ominaiskulutus [kW/t]	599,66	562,79	582,28	564,07
Kaasun ominaiskulutus [kW/t]	17,71	16,67	17,28	16,75
Veden ominaiskulutus [m ³ /t]	7,57	6,36	6,82	6,20
Energiakustannus [€/t]	36,88	34,50	35,88	34,68



Kuva 6.

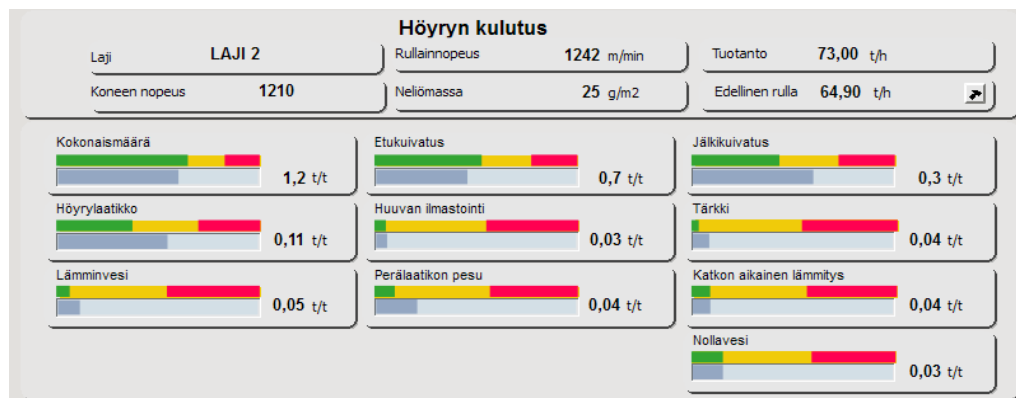
Esimerkki paperikoneen raportista, jossa energian ja veden kulutus ilmoitetaan tietyille lajille. Kyseisen lajin uusinta ajoa verrataan kolmeen aikaisempaan ajoon. Tunnusluvut on laskettu myös niin, että ajoista on suodatettu katkot pois. Lähde Metso Paper Oy.

3.3 Mittausten online-seuranta

Online-seurannan tai monitoroinnin pääasiallinen kohderyhmä on tuotannon ja kunnossapidon henkilöstö, joiden työssä olennaista on hallita suurta määrää prosessimuuttujia. Vaikka monitorointia on tehty tuotannon ohjauksessa jo kauan, energiatehokkuuden online-seuranta on edelleen varsin vähäistä.

Online-seurantaa voidaan käyttää energiatehokkaiden ajotapojen etsimisessä, jolloin tehtyjen prosessimuutosten vaikutus energiatehokkuuteen on nähtävissä heti toimenpiteen jälkeen. Monitorointityökaluilla voidaan havainnollistaa energiatehokkuuden tilaa esimerkiksi taseiden ja liikennevalojen muodossa. Monitorointisivuilla voi myös hyödyntää trendimuotoista esitystapaa, jolloin on mahdollista seurata kohteiden hitaita muutoksia.

Koska tuotanto-operaattori joutuu seuraamaan ja hallitsemaan suurta määrää erilaisia tunnuslukuja, on hänen työnsä pyrittävä tekemään mahdollisimman helpoksi. Hyvänä periaatteena voidaan pitää energiatehokkuuden tunnuslukujen keräämistä kootusti yhdelle automaatiojärjestelmän sivulle, jossa yhdellä silmäyksellä on mahdollista saada kokonaiskuva prosessin energiatehokkuuden tilasta. Näytöllä voidaan perinteisten trendien ja tunnuslukutaulukkojen lisäksi esittää liikennevaloja, jotka voivat esimerkiksi kertoa, kuinka kaukana prosessi on energiatehokkuuden tavoitetilasta, kuva 7.



Kuva 7. Värikoodit näyttävät tunnusluvulle energiankulutuksen kannalta hyvän, tyydyttävän ja huonon toiminta-alueen.

3.4 Työssä oppiminen ja koulutus

Tuotetut online-seurannan työkalut sekä raportit toimivat itsessään myös koulutusmateriaalina. Erityisen tärkeä koulutuksen ja oppimisen näkökohta on työssä oppiminen. Työntekijät lähtökohtaisesti tuntevat prosessin toiminnan periaatteet. Tällöin hyvin toteutetut online-seurannan työkalut sekä raportit antavat prosessin käyttäjälle mahdollisuuden hallitusti kokeilla käytännössä eri toimenpiteiden vaikutusta kokonaisuuden energiatehokkuuteen. Online-seurannan työkalut voivat rohkaista etenemään prosessin tehokkaamman ajotavan löytämiseksi tai toisinpäin, hyvin suunnitellut hälytykset käytännössä estävät virheellisiä valintoja.

Tuotettu tietoa voidaan hyödyntää myös tavanomaisessa henkilöstökoulutuksissa. Havainnolliset raportit ja online-näytöt ovat tehokkaita apuvälineitä, kun tavoitteena on lisätä koko henkilöstön ymmärrystä siitä, mitkä tekijät vaikuttavat höyrylauhejärjestelmän energiatehokkuuteen, millaisia vaikutuksia niillä on voimalaitoksen toimintaan ja millainen taloudellinen vaikutus asialla on. Kuvassa 8 on paperinvalmistus-

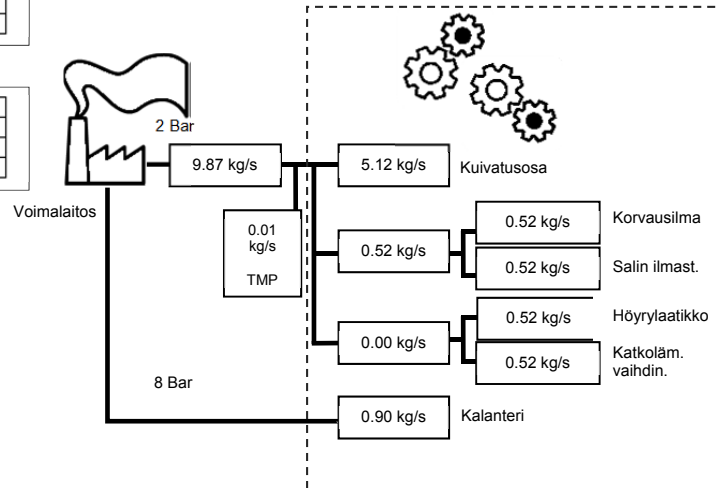
linjan höyrytase, jota laadittaessa tarkoituksena oli lisätä operaattoreiden ymmärrystä lämmönkäytöstä.

KUIVAUS	Kg/s	MWh/t	
Höyrylaatikko	1.00	0.115	17 %
Kuivatusosa	5.12	0.480	70.8 %
Korvausilma	0.69	0.0064	9.5 %
Kalanteri	0.90	0.021	3.2 %
Yhteensä	7.71	0.681	100.5 %

HÖYRYKUL.	Kg/s	MWh/t
Yhteensä	7.710	0.667

APUHÖYRYT	Kg/s	MWh/t	
Salin ilmastointi	0.00	0.000	0.0 %
Muut	0.00	0.000	0.0 %
Yhteensä	0.00	0.000	0.0 %

LTO	MW	MWh/t
Prosessivesi	4.02	0.169
Salin ilmastointi	0.77	0.032
Loppulauhdutus	0.10	0.004
Yhteensä	4.89	0.205

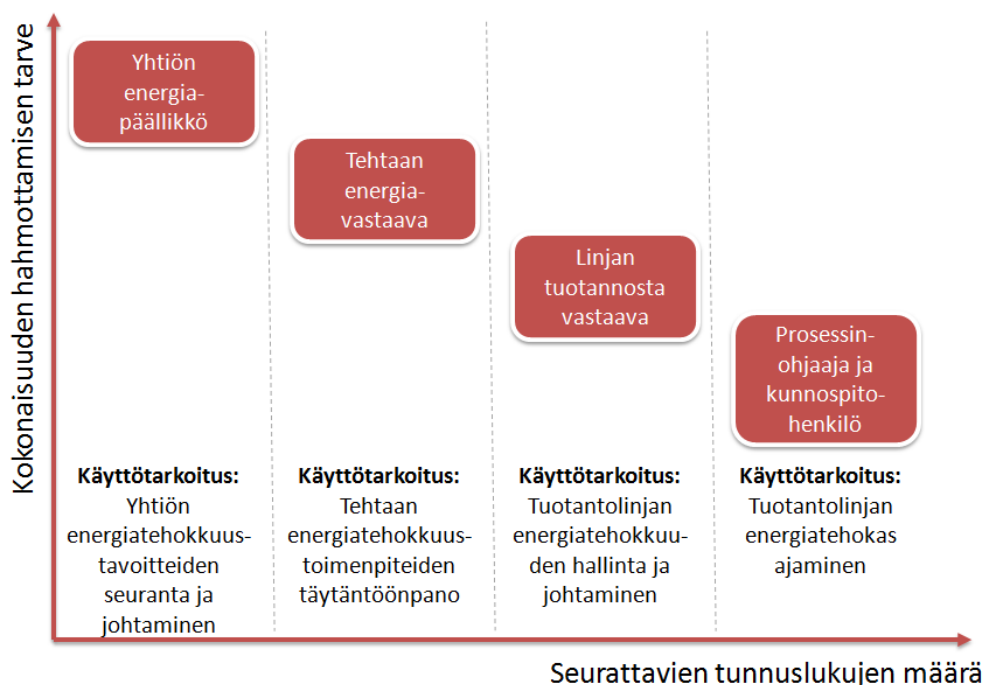


Kuva 8. Paperikonelinjan höyrytase.

3.5 Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän tunnusluvut

Tunnusluvut valitaan käyttäjäryhmäkohtaisen tarpeen mukaan, kuva 9. Olennaista on, että valittavat tunnusluvut ovat havainnollisia, ne kuvaavat oikeita ilmiötä ja ovat käyttötärpeeseen nähden riittävän tarkkoja ja luotettavia. Lisäksi tunnuslukujen valinnassa tulee kiinnittää huomiota tunnuslukujen määrään, sillä liian suuri määrä seurattavia tunnuslukuja voi viedä huomion liiaksi yksityiskohtiin kokonaisuuden kustannuksella.

Mitä korkeammalle organisaatiossa mennään, sitä kokonaisvaltaisempia tunnuslukujen täytyy olla. Myös tunnuslukujen määrän tulee olla harkitun pieni. Nämä tunnusluvut täytyy tehdä mahdollisimman vertailukelpoisiksi, jotta esimerkiksi eri tuotantolaitoksia ja linjoja on mahdollista vertailla keskenään luotettavasti. Vastaavasti kentän tasolla tunnuslukuja voi olla suurempi määrä ja niiden täytyy olla mahdollisimman konkreettisia juuri kyseisen prosessin ohjaamisen kannalta.



Kuva 9. Tuotantolinjan toimijoiden tarpeet energiatehokkuuden tunnusluuille.

Seurattavat tunnusluvut on valittava kohdekohtaisesti ja käyttäjäkartoituksen perusteella, mutta taulukon 1 tunnusluvut muodostavat yleisohjeen.

Taulukko 1. Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän tunnusluvut.

	Mittaustiedon raportointi	Online-seuranta
Ensisijaiset käyttäjät	<ul style="list-style-type: none"> • Yhtiön energiapäällikkö • Tehtaan energiavastaava • Tehtaan tuotannon johto 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosessinohjaajat • Kunnossapito
Tunnusluvut	<ul style="list-style-type: none"> • Höyryenergian tuotanto MWh* • Höyryenergian kokonaiskäyttö ja eriteltynä pääkäyttökohteittain MWh* • Lauhteen palautusprosentti % • Lisäveden virtaus m³/t • Höyryn ominaiskulutus t/t • Höyryn ominaiskulutus MWh/t <p>*Höyryn tuotanto ja käyttö ilmoitetaan tarpeen mukaan esimerkiksi päivää tai kuukautta kohti.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotannon ja käytön kokonaishöyryn määrämittaus kg/s • Höyryn määrämittaukset käyttökohteittain kg/s • Palautuva lauhdevirtaus l/s • Lauhteen palautusprosentti % • Höyryn ominaiskulutus t/t • Lauhduttimien teho kW • Höyryn toimituslämpötila ja tulolämpötila käyttökohteeseen °C • Höyryn toimituspaine ja tulopaine käyttökohteeseen kPa • Palautuvan lauhteen lämpötila käyttökohteittain ja voimalaitoksella °C • Lauhteen johtokyky µS/cm • Lisäveden virtaus l/s • Reduktioventtiilien avaukset % • Hönkien ohitusventtiilien avauma %

Varsinaisten höyry-lauhdesiirtojärjestelmän mittausten lisäksi on hyödyllistä mitata ja seurata koko prosessin toiminnan kannalta merkittäviä yleissuureita, joista on esimerkkejä taulukossa 2.

Taulukko 2. Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän seurantaan tukevia prosessin yleissuureita.

Mittaus	Suure	Käyttötapa
Tuore- tai raakaveden lämpötila	°C	Lämmönkulutuksen ja -tuotannon normeeraus
Ulkoilman lämpötila	°C	Lämmönkulutuksen ja -tuotannon normeeraus
Tuotantomäärä	t/h	Tuotantotilanteen vaikutus toimintapisteeseen
Tuotantoaika	h	Tuotantotilanteen vaikutus toimintapisteeseen
Katko aika	h	Tuotantotilanteen vaikutus toimintapisteeseen
Prosessilämpötila	°C	Prosessin lämmöntarpeen määrittely

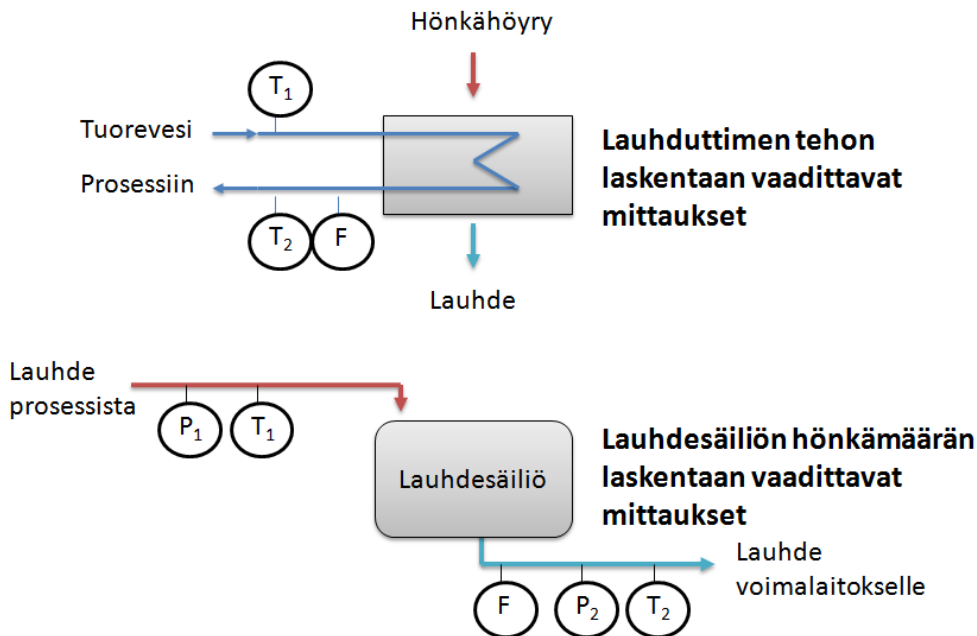
Käytännössä tunnuslukujen ja niiden tarvitsemien mittausten määrää rajoittaa myös mittaamiseen liittyvien kustannusten kasvu. Turhia mittauksia ei kannata perustaa, koska uuden mittauksen perustamisen kokonaiskustannukset ovat 1000 - 5000 €/kpl. Isoon höyryputkeen asennettu ja laskutuskäyttöön tarkoitettu virtausmittaus voi maksaa vielä tätäkin enemmän. Mittausten valinta vaatiikin hyvin käytännöllisen prosessiselvityksen ja tarvekartoituksen. Selvityksen pohjalta prioriteetit nostetaan esille. Ehdottoman tärkeitä ohjenuoria ovat:

- Höyryn laskutukseen ja päästöoikeuskauppaan liittyvät mittaukset on toteutettava huolellisesti, koska mittausvirheiden aiheuttavat rahalliset vaikutukset ovat hyvin suuria. Huolellisuutta tarvitaan mittausten hankinnassa, asennuksessa ja kunnossapidossa.
- Laitoksen höyryn tuotannon ja kulutuksen jakauma eri painetasoille on kokonaisuuden kannalta merkittävä tekijä. Mittaukset ja tunnusluvut on mietittävä niin, että asia voidaan seurata.
- Höyryn käytön seuranta kulutuskohteittain on järjestettävä niin, että tunnusluvuista on selkeä yhteys laitoksen osastokohtaiseen kustannuslaskentaan ja myös mm. lajikohtaiseen kustannuslaskentaan. Tämä kohdentaa energiakäytön ja sen kustannukset oikein, jolloin energiatehokkuuden parantamistoimet ja prosessin ohjaus saavat aidon talouteen liittyvän kiinnostuksen ja sitä kautta myös vastuut.
- Mahdollisia mittausinvestointien säästöjä voi miettiä ns. informatiivisten mittausten osalta kysymällä, mitkä niistä ovat tärkeimpiä. On hyvä muistaa myös, että joissakin tilanteissa mittauksen antama informaatio voidaan määrittää laskemalla suureista, jotka joka tapauksessa mitataan.

3.6 Tunnuslukujen määrittäminen

Sen perusteella, miten tunnusluvut käytännössä saadaan, ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- *Suoraan mittaukseen perustuvat tunnusluvut* saadaan olemassa olevalta tai perustettavalta mittarilta, kuten esimerkiksi höyrynmäärä mittaukselta.
- *Epäsuoraan mittaukseen perustuvat tunnusluvut* eivät kerro suoraan energiatehokkuuden tilasta, mutta antavat indikaation, mihin suuntaan prosessia on kokonaisuuden kannalta järkevää ajaa. Hyvä esimerkki epäsuorasta mittauksesta on paperikoneella korvausilman lämpötila. Sille on olemassa selkeä suositusarvo, jonka jälkeen lämpötilan nostaminen on höyryn hukkaa.
- *Laskentaa hyödyntävät tunnusluvut* ovat kahta edellistä tunnuslukua jalostettuja ja niiden tuottamisessa tyypillisesti hyödynnetään useista prosessimittauksesta saatua signaalia. Esimerkki tällaisesta on lauhduttimen tehon laskenta, jossa voidaan hyödyntää vesipiirin virtausmittausta, tulevan ja lähtevän veden lämpötilamittausta. Laskentaa hyödyntävissä tunnusluvuissa voidaan myös hyödyntää tilastotieteellistä analyysia. Tästä yksinkertainen esimerkki on lauhteenpalautusprosentin online-laskenta, jossa kokonaishöyryn virralle ja poistuvalla lauhdevirralla lasketaan liukuvaa keskiarvoa, sillä ajallisesti ne ovat hieman eri vaiheissa. Kuvassa 10 on esitetty lauhduttimen tehon ja lauhdesäiliön hönkämäärän laskentaan vaadittavat mittaukset.



Kuva 10. Esimerkkejä laskettavista tunnusluvuista.

Prosessiteollisuuden prosessit eivät ole stabiilissa tilassa ainakaan pitkiä aikoja, jolloin myös höyry- ja lauhdejärjestelmien tila muuttuu. Tuotantokatkojen ja seisokkien vaikutus seurattaviin tunnuslukuihin on ymmärrettävä ja niiden vaikutus pyrittävä eliminoimaan. Online-seurannassa tämä ei tyypillisesti aiheuta ongelmaa, mutta raportoinnissa tuotantokatkot on suodatettava pois.

Tuotannon laadun tai määrän vaihtelut vaikuttavat arvioon, kun nykytilaa verrataan historiaan. Vertailu voi muodostua lähes mahdottomaksi. Vähintäänkin tuotannon muutokset on pyrittävä huomioimaan esimerkiksi laskemalla ominaiskuluksia. Myös normaalin tuotannon lajivaihdot vaikeuttavat vertailua. Online-seurannassa ongelma voidaan ratkaista määrittämällä kullekin tunnusluvulle lajikohtaiset seurannat ja raja-arvot. Vastaavasti raportoinnissa on oltava mahdollisuus raportoida tunnuslukuja lajikohtaisesti. Lajikohtaisen seurannan toteuttaminen vaatii luonnollisesti lajikoodin tai muun vastavan signaalin, jonka avulla suodatus tehdään.

Myös vuodenaajat vaikuttavat höyry-lauhdesiirtojärjestelmän tunnuslukujen arvoihin. Tyypillisesti eniten vaikuttaa tuoreveden lämpötila, joka lisää lämmitystarvetta ja tätä kautta muuttaa koko prosessin toimintapistettä. Esimerkiksi paperitehtaan prosessiveden lämpötila voi jäädytyksestä huolimatta kesällä nousta prosessin ja tuotteen laadun kannalta liian korkeaksi ja talvella taas prosessi saadaan häidin tuskin pysymään riittävän lämpimänä vaikka kaikki lämmön talteenottolaitokset ja suora höyryn lämmönsiirtimet ovat käytössä. Tämä vaihtelu vaikuttaa tunnuslukuihin ja niiden tulkintaan.

Vuodenaajan vaihtelua voidaan normeerata lämpötilakorjauskertoimilla, mutta yleis-pätevän normeerauksen toteuttaminen on haastavaa. Raportoinnissa voidaan verrata vain samaa ajankohtaa suhteessa edellisiin vuosiin tai kulutusta suhteessa lyhyeen ajanjaksoon ennen tarkasteluhetkeä, jolloin lämpötilaosuhteet ovat suhteellisen vastaavia.

Myös inhimillisillä tekijöillä voi olla vaikutusta tunnuslukujen arvoihin. Tyypillisesti tuotantolaitoksissa pyritään prosessia ajamaan mahdollisimman stabiilisti, mutta ajovuoroilla voi olla erityyppisiä tapoja tehdä se. Monessa tapauksessa totutuista toimintatavoista siirtyminen voi olla vaikeaa ja vaatii sekä koulutusta että muutosjohtamista.

Höyry-lauhdejärjestelmän seuranta edellyttää virtausmäärän, lämpötilan ja paineen mittausta. Virtausmittauksen luotettava toteuttaminen prosessissa on näistä kolmesta haastavinta. Kaikki kolme mitattavaa suuretta ovat kytkeytyneet toisiinsa ja siksi mittaus on tarkasteltava kokonaisuutena.

Mittausten ja mittareiden vertailussa tarvitaan seuraavat kolme käsitettä:

1. **Mittauksen toistettavuus** = mittarin kyky osoittaa samaa arvoa identtisissä olosuhteissa.
2. **Mittauksen tarkkuus** = mittarin kyky osoittaa oikeaa arvoa. Tarkkuus ilmoitetaan joko suhteessa mitattuun arvoon tai suhteessa maksimiarvoon (FSD Full Scale Deflection). Nämä kaksi esitystapaa on syytä erottaa toisistaan väärinkäsitysten välttämiseksi:

Oletetaan, että virtausmittarin tarkkuus on +/-3 % suhteessa mitattuun arvoon. Tällöin todellisen virran ollessa 100 kg/s, on virran näyttämä välillä 103–97 kg/s. Jos taas virtaus onkin 10 kg/s, on näyttämä välillä 10,3–9,7. Eli virhe on jokaisessa virtauspisteessä samansuuruinen. Jos taas sama tarkkuus ilmoitetaan suhteessa maksimiarvoon, on 100 kg/s maksimivirralla näyttämä välillä 103–97 kg/s, kun taas dekadia pienemmällä virralla näyttämä on välillä 13–7 kg/s, jolloin kyseistä virtausmittausta hyödyntäen on hyvin vaikea tehdä oikeita johtopäätöksiä prosessin tilasta.

3. **Mittausalue** = toiminta-alue, jossa mittari toimii ilmoitetun tarkkuuden ja toistettavuuden sisällä. Usein mittausalue ilmoitetaan:

$$\text{Mittausalue} = \frac{\text{Maksimiarvo}}{\text{minimiarvo}}$$

Usein mittarille ilmoitetaan maksimiarvo ja mittausalue. Jakamalla maksimimitausarvo mittausalueella, saadaan laskettua mittausarvo, jota pienempien arvojen epävarmuus kasvaa nopeasti.

Oletetaan mittarin maksimiarvoksi 100 bar ja sen mittausalueeksi 25:1. Tällöin minimipaine, jota voidaan pitää luotettavana, voidaan laskea jakamalla seuraavasti:

$$\text{Minimipaine} = \frac{100 \text{ bar}}{25} = 4 \text{ bar}$$

4.1.1 Virtausmittausten vaihtoehdot, tarkkuus ja käyttökohteet

Virtausmittaria valittaessa olennaisimmat huomioitavat asiat ovat riittävän suuri mittausalue ja mittauksen tuottama painehäviö. Yleensä kuristuksen avulla mittaaminen on luotettavin tapa toteuttaa mittaus, mutta se aiheuttaa painehäviötä putkistoon ja tätä kautta energiatehokkuuden heikkenemistä. Menetelmät, jotka eivät perustu kuristukseen, vaativat putkiston pitkiä ja suorat stabilisointiosuudet, joiden löytäminen olemassa olevista prosesseista voi olla vaikeaa.

Höyryn määramittauksissa tyypillisimmät käytössä olevat mittausmenetelmät ovat mittalaipat ja vortex-mittaus. Lauhteen määrän mittauksissa edellisten lisäksi käytössä on ultraäänimittauksia sekä magneettisia virtausmittauksia.

Mittalaipat perustuvat paine-eron mittaukseen. Kuristuslaippa luo laipan yli paine-eron, joka mitataan paineantureilla. Paine-eron signaalista määritetään höyryn tilavuusvirtaus painelähtimellä, mikä edelleen muutetaan massavirraksi ja mahdollisesti tehoksi erillisessä laskentayksikössä tai automaatiojärjestelmässä.

Muuttuva-aukkoisilla mittalaippamittauksilla voidaan saavuttaa laaja mittausalue, mutta niiden hankintakustannus kasvaa jyrkästi putken halkaisijan kasvaessa.

Vortex-mittauksessa luodaan virtauksen kulkulinjalle virtauseste, joka puolestaan synnyttää vuoronperään esteen molemmille puolille nk. Karmanin pyörteet, joiden esiintymistaajuus on verrannollinen virtausnopeuteen. Vortex-mittaus mittaa virtausnopeutta ja massavirtaus saadaan seuraavilla yhtälöillä:

$$\text{Tilavuusvirta} \left[\frac{m^3}{s} \right] = \text{Virtausnopeus} \left[\frac{m}{s} \right] \cdot \text{putken pinta-ala} [m^2]$$

$$\text{Massavirta} \left[\frac{kg}{s} \right] = \text{Tiheys} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot \text{tilavuusvirta} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Mittarin valinnassa on huomioitava, että itse mittalaitteen geometria sekä virtaavan aineen ominaisuudet määrittävät mittausalueen, jolla mittaus on luotettava. Käytännössä jokaisella virtausmittarilla on ns. virtauskerroin, joka on huomioitava virtausmäärän laskennassa ja josta puolestaan määräytyy luotettava mittausalue. Esimerkiksi paine-eroon perustuvissa mittauksissa painehäviön kasvaessa mittalaitteessa kasvaa myös mittausalue. Toisaalta painehäviön kasvu merkitsee energiankulutuksen kasvua, jota taas halutaan välttää. Käytännössä joudutaan tekemään kompromissi näiden tekijöiden välillä.

Paine-eroon perustuvien mittausten tapauksessa virtauskerroimen lisäksi on huomioitava myös niin kutsuttu laajenemiskerroin, johon vaikuttaa sekä mittalaitteen geometria että paine-ero yli mittauspisteen. Jos laajenemiskerrointa ei ole määritetty luotettavasti, voi se aiheuttaa useiden prosenttien virheen lopulliseen mittaustulokseen.

Jos kyseessä on prosessi, jonka virtausmäärät vaihtelevat suuresti on luonnollista sijoittaa siihen virtausmittaus, jonka mittausalue on suuri. Esimerkiksi perinteisellä kuristuslaippamittauksella mittausalue on pienempi kuin 5:2, kun taas vortex-mittarilla se on 20:1 ja muuttuvalla kuristuslaippamittauksella puolestaan 70:1 tai jopa 100:1. Jos kuristuslaippamittauksen yhteyteen on toteutettu virtauskerroimen reaaliaikainen laskenta, voidaan sen mittausaluetta laajentaa jopa 40:1.

Virtausmittausta valitessa on kiinnitettävä huomiota myös sille suositeltavaan virtausnopeuteen. Esimerkiksi mitattaessa vortex-mittarilla kylläisen höyryn massavirtausta ei virtausnopeus saa ylittää 40 m/s.

Mittausten laatua parannettaessa investointikustannukset nousevat. Ohjenuorana voidaan pitää, että mittauksien, joita käytetään laskutukseen, mittausvirhe pyritään minimoimaan. Myös merkittävimpien höyrynkulutuskohteiden mittaustarkkuuteen kannattaa panostaa¹. Vastaavasti prosessin pienempien kulutuskohteiden virtausmittauksissa voidaan hyödyntää edullisempia mittausinstrumentteja.

Mitattaessa lauhdetta on hyvä muistaa, että vedelle sopivat mittausmenetelmät eivät välttämättä sovellu sellaisenaan lauhdemäärämittauksiin, sillä jäähtyminen synnyttää hönkähöyryä. Jos kaikki sisään menevä höyry palautuu lauhteena, voidaan prosessissa käytetty energiamäärä laskea suoraan vähentämällä höyryn energiasta lauhteen lämpötilan avulla laskettu lauhteen energiasisältö. Tällöin siis oletetaan että höyryn massavirtaus on sama kuin lauhteen massavirtaus. Yleensä tämä oletamus ei kuitenkaan ole voimassa ja siksi lauhdemäärämittaukset on sijoitettava lauhtesäiliön jälkeen, jolloin hönkimisen vaikutukset on minimoitu. Jos lauhde on alle kylläisen lämpötilan (esim. kaukolämpövirtauksena), voidaan hyödyntää taulukon 3 mukaisia mittausmenetelmiä.

Taulukko 3. **Lauhteen virtausmittaukset** (www.konwell.fi).

Mittaustapa	Ultraääni	Magneettinen	Paine-ero; virtauskorjattu kuristuslaippa	Vortex
Painehäviö	Pieni	Pieni	Kohtalainen	Kohtalainen
T_{max}	200 °C	120 °C	550 °C	300 °C
Mittausalue	120:1	50:1	20:1	40:1
Tarkkuus	<+/- 0,5 %	<+/- 0,5 %	<+/- 3 – 4 %	<+/- 1 %
Virtaussuunta	Kaksisuuntainen	Kaksisuuntainen	Yksisuuntainen	Yksisuuntainen

Höyryjärjestelmien käynnistysvaiheissa saattaa muodostua paineiskuja, joiden takia virtausmittareiden nollapiste saattaa siirtyä. Ratkaisuksi tähän paine-erolähtettimeen on olemassa erillisiä ”nollapisteen” kalibroitimoduuleja, joiden avulla nollapiste saadaan pidettyä luotettavalla alueella. Periaatteessa vanhemmissa mittausjärjestelmissä voidaan toteuttaa hälytys automaatiojärjestelmään, kun paine-erolähtettimeä tuleva signaali menee alle alarajan, jolloin tiedetään, että paine-erolähtettimeen nollapiste on siirtynyt ja se on kalibroitava.

Edellä kuvattujen yleisimpien mittareiden lisäksi höyryn ja lauhteen virtausmäärän mittaamiselle on olemassa muitakin mittausperiaatteita, joilla on omat etunsa ja haittansa. Tässä oppaassa esitetään näistä menetelmistä vain liitteen 1 yhteenveto.

¹ Esimerkiksi Saksassa PTB (The Physikalisch-Technische Bundesanstalt) määrittelee laskutusmittaukselle seuraavat vaatimukset:

1. Korkea tarkkuus: virhe < +/- 0,5 – 3 % hetkellisestä arvosta.
2. Laaja mittausalue: 20:1 - 50:1 tai enemmän.
3. Mittaustapa ISO 5167 mukainen.
4. Pitkäaikainen stabiilisuus = ulkopuoliset virheet eliminoidu.
5. Tarkastusmahdollisuus.

Lisäksi tietyissä sovelluskohteissa on laskutusmittarille määritelty lisävaatimuksia:

6. Korkea käytettävyyys: toiminnassa 98 % ajasta.
7. Kaksisuuntainen mittaus, kun molemmat osapuolet toimittavat energiaa.

4.1.2 Höyryn ominaisuuksien vaikutus

Höyryn virtausmittauksen luotettavuuteen vaikuttaa, millainen mittausjärjestely on kokonaisuudessaan, millaiseen prosessiin mittausta ollaan sijoittamassa ja millaiset ovat höyryn ominaisuudet mittauspisteessä. Käytännössä on kiinnitettävä huomiota seuraaviin asioihin:

- Mittausgeometria ja -järjestely
- Mitattavan höyryn ominaisuudet mittauspisteessä:
 - Höyryn kosteus
 - Tulistusmäärä
- Prosessin paineen, lämpötilan ja virtaustason vaihtelut.

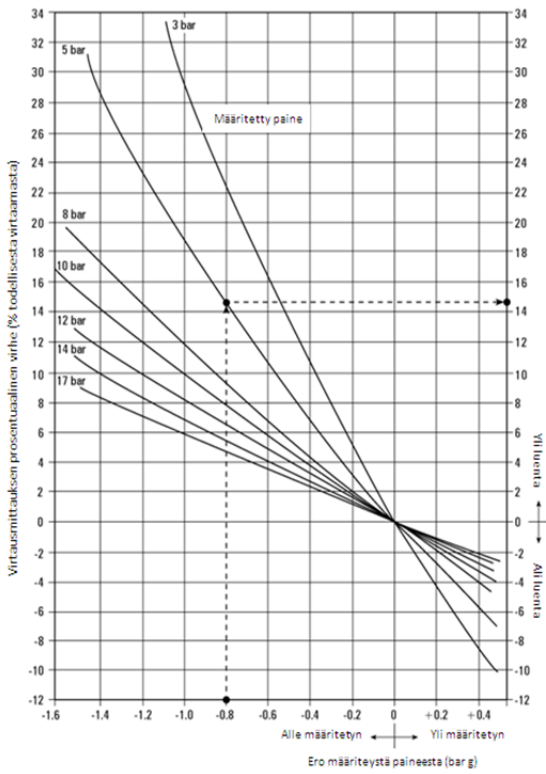
Höyryn lämpötilan ja paineen vaikutus on otettava huomioon tiheyskompensoinnin kautta luotettavien mittaustulosten saamiseksi. Kuvassa 11 on esitetty prosessipaineen vaikutus virtausmittauksen virheeseen, jos tiheyskompensointia ei ole tehty.

Kylläisen höyryn tiheyskompensointi voidaan tehdä pelkästään paineen kautta, mutta tulistetun höyryn tapauksessa on huomioitava myös lämpötila. Taulukossa 4 on esitetty prosentuaaliset virheet virtausmittaukselle, jos tulistetun höyryn tiheyskompensoinnin yhteydessä ei ole tehty lämpötilako kompensointia.

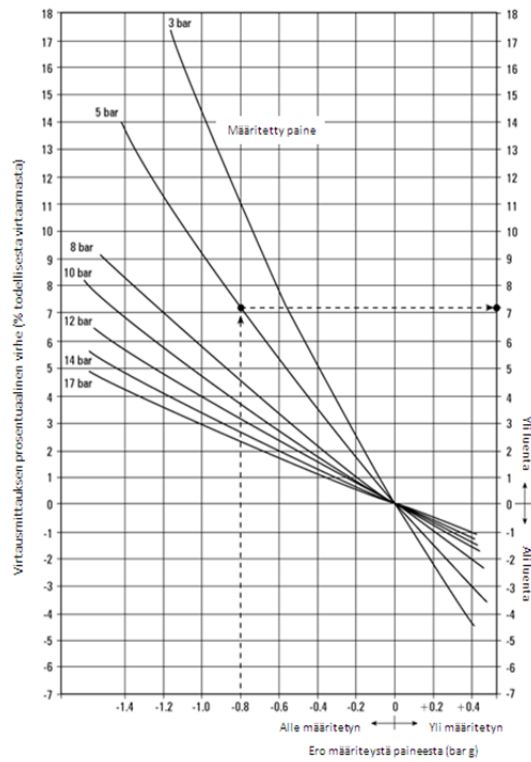
Myös höyryn kosteudella on vaikutusta mittaustulokseen. Kuvassa 12 on esitetty, kuinka kostea höyry vaikuttaa höyrymäärän mittaustulokseen. Käytännössä kosteuden vaikutusta on hyvin vaikea todentaa käytännössä, minkä vuoksi tämän vaikutusta voidaan minimoida asentamalla lauhteenpoistin ja pisaraerotin ennen virtausmittausta. Silloin voidaan olettaa, ettei höyryn mukana ole vesipisaroita.

Kylläisten höyryjen energiamittauksia perustettaessa on hyvä huomata, että vortexmittaus mittaa tilavuusvirtausta ja vesipisarat eivät vaikuta merkittävästi mittaustulokseen, koska niiden tilavuus suhteessa höyryn tilavuuteen on pieni. Paine-eroon perustuvissa, massavirtaa mittaavissa, laippamittauksissa tilanne on tältä osin huonompi ja laskennallinen kompensatio tai mekaaninen pisaranerotus on välttämätön.

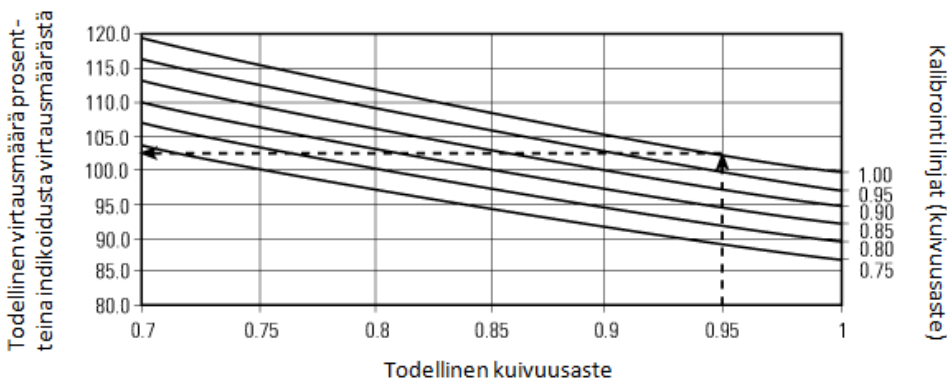
Vortex- mittaus



Kuristuslaippamittaus



Kuva 11. **Prosessipaineen vaikutus virtausmittauksen virheeseen, jos tiheyskompensointia ei ole tehty (www.spiraxsarco.com).**



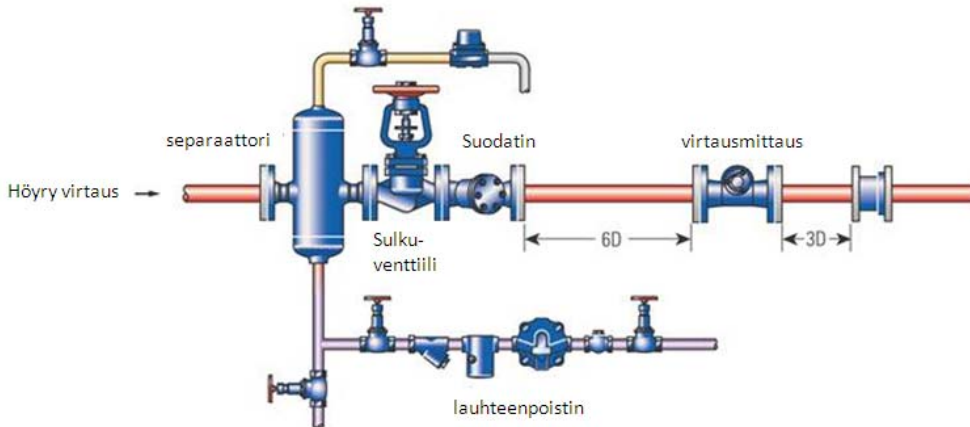
Kuva 12. **Höyryn kuivusasteen (kosteuden) vaikutus höyryn virtausmäärään (www.spiraxsarco.com).**

Taulukko 4. Tulistetun höyryn virtausmittauksen virhe (%), jos tiheyskompensoinnin yhteydessä ei ole tehty lämpötilakompensointia (www.spiraxsarco.com).

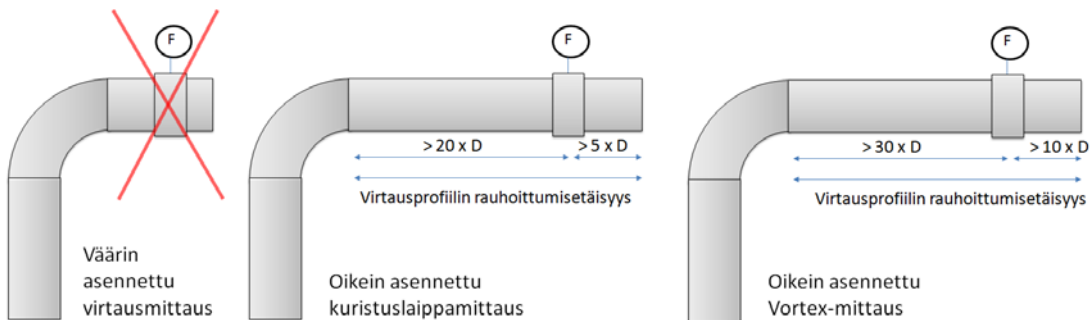
Paine bar_g	Tulistusaste			
	1 °C	5 °C	10 °C	50 °C
1	1,5	8,3	17,0	105
2	1,4	7,6	16,1	95,9
3	1,4	7,5	15,0	90,5
4	1,3	7,0	14,5	86,5
5	1,3	6,8	14,1	83,5
6	1,3	6,8	13,8	81,4
7	1,3	6,5	13,7	79,0
8	1,3	6,5	13,3	77,8
9	1,3	6,4	12,9	76,5
10	1,3	6,3	12,8	75,0
11	1,2	6,3	12,7	73,9
12	1,2	6,1	12,3	72,9
13	1,2	6,0	12,3	71,0
14	1,2	6,0	12,2	71,4
15	1,2	6,0	12,1	70,7
16	1,2	5,9	12,1	70,0
17	1,1	5,9	12,1	69,5

4.1.3 Virtausmittausten sijoittaminen prosessissa

Mittausvirheiden kompensoimiseksi virtausmittauksen yhteyteen on sijoitettava höyrypuolelle lämpötilan ja paineen mittaus, kun taas lauhteen puolelle lämpötilamittaus yleensä riittää. Paineen ja lämpötilan mittausten avulla saadaan höyryn virtausmäärä kompensoitua ja kalibroitua vallitseviin olosuhteisiin. Lisäksi ennen höyryn virtausmittausta on hyvä sijoittaa lauhteenpoistin, koska höyryn kosteus vaikuttaa mittauksen luotettavuuteen, kuva 13.

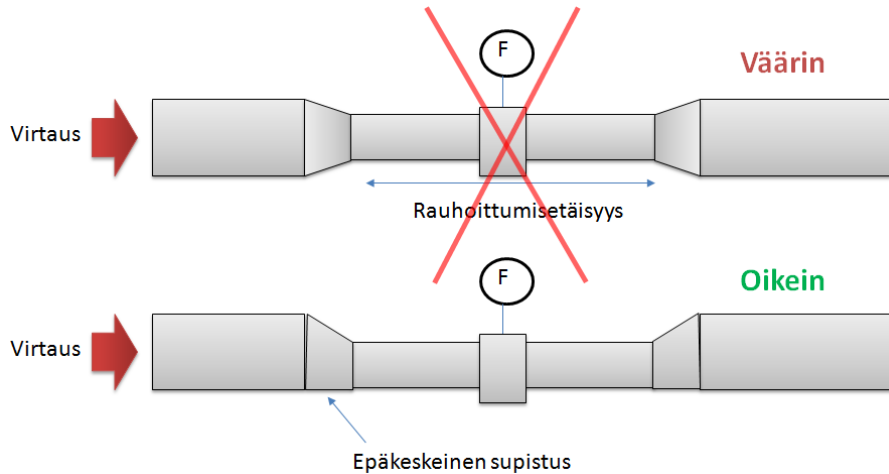


Kuva 13. **Virtausmittauksen oikeaoppinen sijoittaminen putkistoon muuttuva-aukkoisen kuristuslaipan tapauksessa. Mittausta edeltävät komponentit ovat sovellettavissa myös muille mittarityypille. Kuva esittää ideaalitalanteen, josta on tehtävä yksityiskohtaiset laitevalinnat riippuen höyryn ominaisuuksista ja mittalaitteen tyypistä (www.spiraxsarco.com).**



Kuva 14. **Virtausprofiilin rauhoittumiseksi vaadittava etäisyys, D on putken halkaisija, yhteenveto useasta lähteestä (Vuori, www.spiraxsarco.com, www.konwell.fi).**

Virtausmittaus edellyttää riittävää rauhoittumisetäisyyttä, jotta virtausprofiili stabiloituu; ohjeelliset putkimitat on esitetty kuvassa 14. Kun virtausmittarin sijoituksessa tarvitaan putken supistusta, on se tehtävä epäkeskeisesti, jotta putkessa mahdollisesti oleva lauhde pääsee virtaamaan seuraavalle vesitykselle esteittä eikä aiheuta häiriötä virtausmittaukselle, kuva 15.



Kuva 15. **Epäkeskeisen supistuksen periaate** (www.spiraxsarco.com).

4.2 Lämpötilamittaus

4.2.1 Lämpötilamittausten vaihtoehdot ja käyttökohteet

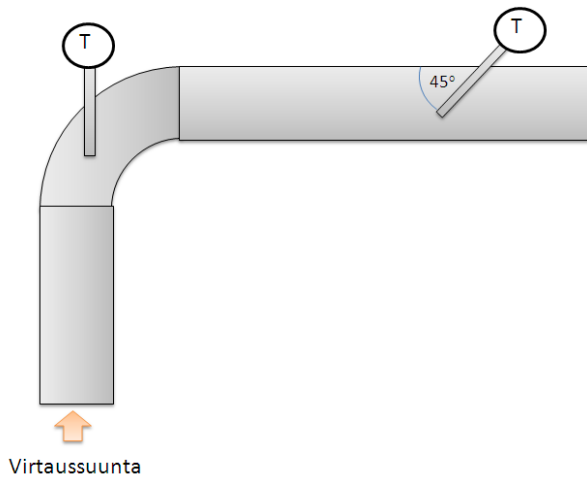
Lämpötilamittarin valinnassa olennaista on selvittää kohteen tarkkuusvaatimukset sekä tarve suojata mittausanturia. Tyypillisesti höyry-lauhdesiirtojärjestelmissä lämpötilamittauksen mittausalue ei ole ongelma, sillä esimerkiksi sovelluksia hallitsevien vastusanturien mittausalue on kymmenistä pakkasasteista yli 500 °C asteeseen.

Säteilylämpötilamittareissa lämpötila määritetään lämpösäteilyn aallonpituuden perusteella. Säteilylämpötilamittareiden käyttö jatkuvassa mittauksessa on teollisuudessa harvinaista ja sitä käytetään pääosin kertamittauksissa lämpökamerakuvauksena ja infrapunamittauksena.

Mekaanisia lämpötila-antureita käytetään teollisuudessa jonkin verran paikallisina lämpötilamittareina kohteissa, joissa mittaus tietoa ei tarvitse seurata jatkuvasti. Mekaanisten antureiden rajoitus on, että ne eivät muodosta sähköistä signaalia, joka voitaisiin yhdistää valvomolaitteeseen.

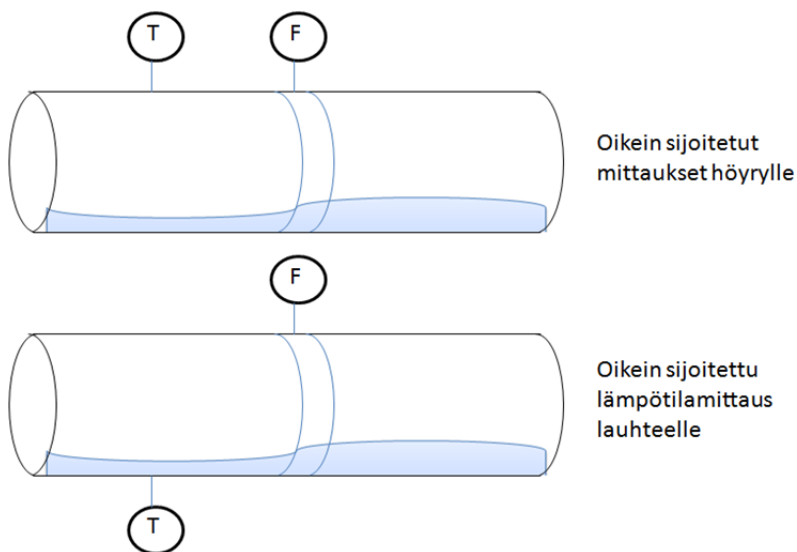
4.2.2 Lämpötilamittausten sijoittaminen prosessissa

Lämpötilamittaus sijoitetaan yleensä höyry- ja lauhdeputkissa kohtisuoraan tai mieluiten vastavirtaan, kuva 16. Lämpötilamittaus voidaan pienissä putkissa sijoittaa myös putkimutkaan, jolloin anturin fyysinen koko ei muodostu esteeksi. Virtaavan väliaineen tulisi olla lämpötilan mittauskohteessa mahdollisimman kovassa liikkeessä luotettavan mittauksen saamiseksi.



Kuva 16. **Lämpötila-anturin sijoitus höyry- tai lauhdeputkeen** (Kettunen & Peni, Kunnosapito 8, 2004).

Kun halutaan mitata höyryn lämpötilaa, on tärkeää sijoittaa lämpötilamittaus putken yläpinnalle, jotta putkistossa mahdollisesti oleva lauhde ei häiritse mittausta. Vastaavasti lauhteen lämpötilamittaus on sijoitettava putken alapinnalle, kuva 17.



Kuva 17. **Lämpötila-anturin sijoitus höyryputkeen, jossa on myös lauhdetta, ja lauhdeputkeen, jossa on höyryä.**

Jos höyryä jäädytetään vesisuihkulla, lämpötila-anturia ei pidä sijoittaa lähelle suihkukohtaa. Jotta vesi ja höyry olisivat mahdollisimman täydellisesti sekoittuneet, lämpötila-anturin tulee olla 10 - 30 m päässä suihkutuskohdasta suorassa putkessa. Mitä nopeampi on höyryn virtaus sitä suurempi etäisyys. Anturi voidaan sijoittaa myös putkikäyrän jälkeiseen suoraan putkeen, kuitenkin riittävän etäälle käyrästä.

Eri lämpötiloissa olevien virtausten sekoituskohdan jälkeen lämpötila-anturi sijoitetaan vähintään $20 \times D$ etäisyyden sekoituskohdasta, ellei putkistossa tätä ennen ole sekoituslaitetta. Säiliöissä lämpötila voi olla kerrostunut, mikä on syytä ottaa huomioon mittauskohtaa valittaessa.

4.3 Painemittaus

4.3.1 Painemittausten vaihtoehdot ja käyttökohteet

Paineen mittaus on toiseksi yleisin mittaus teollisuudessa, lämpötilamittaus on yleisin. Mittaamalla painetta on mahdollista mitata myös esimerkiksi pinnankorkeutta, virtausta ja tiheyttä.

Paineen mittaamisen periaatteita:

- Mittauksen vertailupaine on tyhjiö, ns. absoluuttimittaus.
- Painetta mitataan suhteessa ilmanpaineeseen, usein käytetään merkintää barG.
- Paine-eromittaus, painetta verrataan johonkin toiseen paineeseen.

Varsinaiset paineen mittausmenetelmät voidaan jakaa puolestaan seuraaviin:

- Mekaaniseen muodonmuutokseen perustuva mittaus: kalvo, kapseli, palje, Bourdon-putki.
- Painevaaitukseen perustuva mittaus.
- Nestepaineen muutoksiin perustuva mittaus.

Tavallisin paineanturi on mekaaniseen muodonmuutokseen perustuva kalvomittaus.

Kuten lämpötilamittauksissa paineanturit voidaan jakaa paikallisiin painemittareihin, joiden antama tieto on lähinnä informatiivista. Jotta mittaustulokset saadaan hyötykäyttöön, tarvitaan paine- tai paine-erolähetin, joka muuntaa mittaussignaalin sähköiseen muotoon. Paine-erolähetin lähettää signaali lähettää mittaussignaalia absoluuttisesta painetasosta (esim. päähöyrylinjan paine), kun taas paine-erolähetin käytetään seuraamaan tarkasteltavan prosessin tilaa tai toimintaa. Tyypillisesti paine-eron avulla voidaan seurata pinnan korkeutta, suodattimien tai lämmöntalteenoton tukkeutumista tai esimerkiksi höyryn liikettä kuivatuksessa. Tyypillisin lähtöviesti paine-erolähetimestä on sähkövirtaviesti (mA).

Valittaessa paineanturia on mittausalueen lisäksi otettava huomioon lämpötila ja mahdollisesti mitattavan aineen ominaisuudet (mm. likaantumisen riski). Virheellisiä lukuja voivat aiheuttaa mm:

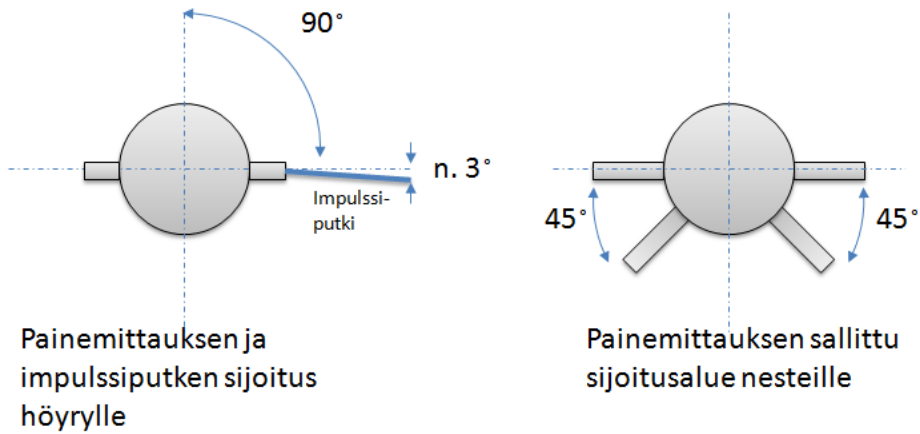
- putkien tukkeutuminen
- lämpötilan poikkeaminen kalibrointilämpötilasta
- virtauksesta johtuva paineenmuutos
- hydrostaattinen paine
- paineiskut
- mekaaninen värinä
- virheellinen vertailupaine
- ajan mittaan tapahtuvat muutokset
- sähköiset häiriöt
- dynaamisen paineen mittaaminen mittarilla, joka on kalibroitu staattisesti.

4.3.2 Painemittausten sijoittaminen prosessissa

Pääsääntöisesti paineen mittausviesti halutaan saada paikallisen painemittauksen sijaan eri järjestelmien ja ohjauksien käyttöön ja siksi mittausanturiin liitetään myös lähitin. Jotta kuumaa höyryä ei joudu paine-erolähetimen mittauspinnoille, käytetään höyryn ja paineantureiden välissä vedellä (yleensä lauhdetta) täytettyjä ohuita putkia ns. impulssi-

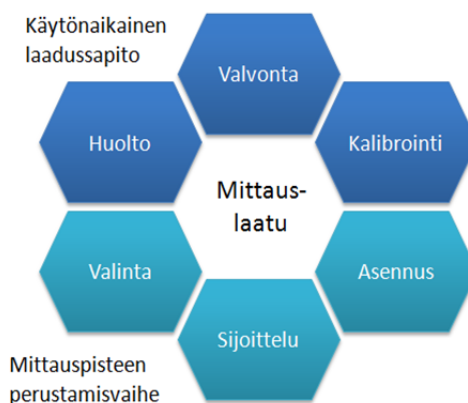
putkia. Impulssiputkien on oltava täynnä lauhdetta, jotta ne suojaavat antureita paineiskuilta.

Jotta yhteiden ja impulssiputkien muodostamaan kanavistoon ei jää sen geometrian takia ilmataskuja, suositellaan paineanturit sijoittamaan kuvassa 18 esitetyllä tavalla. Liitännän kohdalla ei saa esiintyä voimakasta virtausta eikä pyörteitä, varsinkaan pienillä painealueilla, alle 200 kPa.



Kuva 18. Paineanturin sijoitus putkeen, höyrylle ja nesteille.

Teollisuuden mittauksen laadun perusta luodaan mittauspisteiden perustamisvaiheessa mittareiden valinnalla ja mitoituksella, sijoittelulla prosessisuunnittelussa sekä viimekädessä asennuksella. Käytönaikana mittauslaatua turvataan huollon, valvonnan ja kalibrointien avulla.



Kuva 19. **Mittausten laatu syntyy perustamisvaiheen ja käytönaikaisten toimenpiteiden yhteisvaikutuksena.**

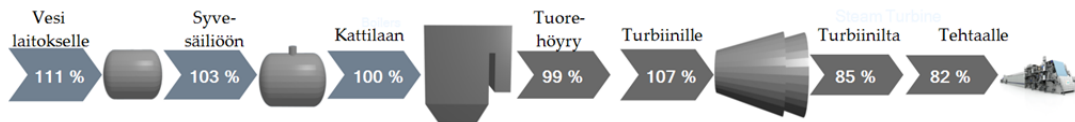
Yksikään mittari ei mittaa suoraan höyry- ja lauhdevirtojen energiamäärää. Energiamäärä määritetään aina massavirran ja sen entalpian tulona ja nämä molemmat lasketaan erillisten virtaus-, paine- ja lämpötilamittausten pohjalta, tyypillisesti automaatiojärjestelmässä. Tämä aiheuttaa kaksi erityyppistä virhelähdettä energiamäärän mittaamiseen:

- Itse mittauksiin, virtaus-, lämpötila- ja painemittaus, liittyvät virheet.
- Signaalin käsittelyyn ja energiamäärän laskentaan liittyvät virheet.

Perinteisesti kuvitellaan, että tyypin 2 virheitä teollisuudessa ei juuri ole, vaan energiamääräksi muuttaminen onnistuu ilman ongelmia, kun lähtötiedot ovat oikein. Todellisuudessa tilanne on toinen. Energiamittausten kenttäkalibroinneissa kerätty aineisto osoittaa, että teollisuudessa keskimäärin joka viidennessä energiamittauksessa on yli 2 % suuruinen virhe nimenomaan mittausketjussa itse mittausten jälkeen. Eli vaikka mittarit mittaisivat oikein, lopputulos on laskennasta ja signaalinkäsittelystä johtuen virheellinen.

Esimerkkinä käytännön mittausvirheistä toimii voimalaitoksen vesitase, kuva 20. Vesivirtausten summa mitataan seitsemässä eri kohdassa prosessista. Koska häviöt on huomioitu, kaikkien summien tulisi olla 100 %. Mittausvirheiden takia mitatut summat vaihtelevat välillä 82–111 %.

Kun kyseisen laitoksen mittauksia tarkastettiin, havaittiin, että kuusi mittausta 50 mittauksesta selittää 90 % kaikista tase-eroista. Yllättävintä oli, että vain kahdessa näistä kuudesta mittauksesta havaittiin itse mittarin aiheuttama mittausvirhe. Neljässä muussa virhe aiheutui laskennasta, tässä tapauksessa virtausmittarin tiheyskompensoinnista. Lämpötilan ja paineen mittausten virheet olivat kokonaisuuden kannalta merkityksettömiä.



Kuva 20. **Vesi-höyrytase metsäintegraatin voimalaitokselta, syöttöveden käsittelystä paperitehtaalle.**

Tämän esimerkitapauksen havainnot kuvaavat pähkinänkuoressa höyry- ja lauhdejärjestelmien yleistä tilannetta:

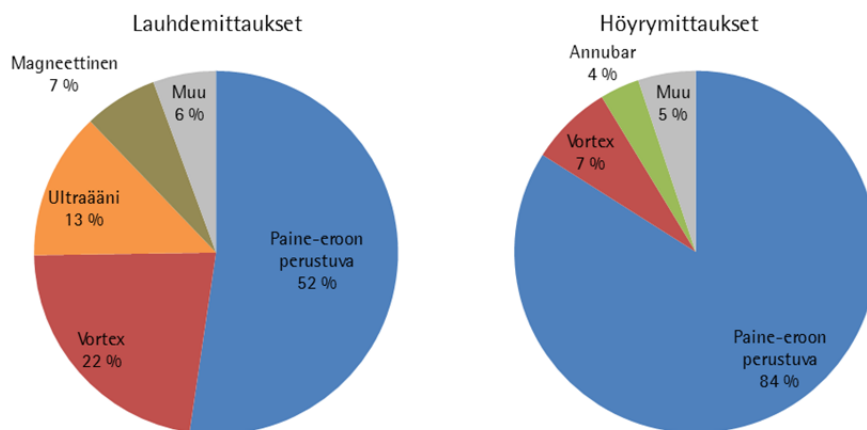
- Lämpötilan ja paineen mittaukset ovat selvästi paremmassa kunnossa kuin virtausmittaukset.
- Signaalinkäsittelystä ja kompensoinnista löytyy systemaattisia virhelähteitä.

5.1 Mittauspisteen perustamisvaihe

Tyypillisimmät mittauspisteen perustamisvaiheessa syntyvät virhelähteet höyryvirtausmittauksissa liittyvät kompensointiin, signaalinkäsittelyyn ja mitoitukseen. Lauhedmittauksissa ongelmia aiheuttavat höyrystyminen, lämpötilaprofiilit ja entalpialaskenta.

5.1.1 Höyrymittaukset

Ylivoimaisesti suurin osa teollisuuden suurista lauhde- ja höyryvirtausmittauksista perustuu paine-eromittaukseen, vielä tyypillisemmin laippamittauksiin, kuva 21.



Kuva 21. **Keskeisistä höyry ja lauhdevirtausmittauksista lähes 75 % on paine-eroon perustuvia mittauksia (Indmeas Oy:n kalibrointitietokanta, 30.12.2011, 140 teollisuuslaitosta Suomessa ja Ruotsissa).**

Paine-eroon perustuvat massavirtausmittaukset on mitoitettu tietylle tiheydelle. Jos lämpötila- ja paine muuttuvat täytyy virtausarvo laskennallisesti kompensoida oikean massavirtauksen määrittämiseksi.

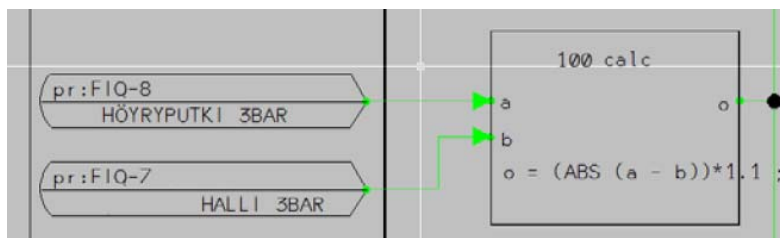
$$Q_m(\rho) = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \cdot Q_m(\rho_0)$$

missä

$Q_m(\rho)$	= todellinen massavirtaus
$Q_m(\rho_0)$	= paine-eromittauksesta laskettu massavirtaus ilman tiheyskompensointia
ρ	= todellinen tiheys
ρ_0	= tiheys mitoituspisteessä.

Tiheyskompensointi puuttuu teollisuuden virtausmittauksista usein tai on tavalla tai toisella väärin tehty. Mittaus antaa lähes oikeita tuloksia, niin kauan kuin tiheys on lähellä mitoituspistettä, kuten lauhdemittauksissa hyvin usein onkin. Höyryn painetasoissa saattaa esiintyä luonnostaan tai prosessimuutoksesta johtuen voimakkaita painetason muutoksia, jolloin kompensoinnin puutteesta syntyy merkittävä virhe.

Toinen kompensoinnin kanssa yleinen virhelähde virtausmittauksissa on automaation signaalikäsittelyssä tapahtuvat muutokset. Kuvassa 22 on esimerkki höyrylinjasta paperitehtaalle, jossa vanha '1,1'-suuruinen korjauskerroin on jäänyt järjestelmään mittauksen uusinnan jälkeen. Tämä aiheuttaa höyrymäärän uuteen mittaukseen 10 % suuruisen systemaattisen virheen.



Kuva 22. **Automaatiolaskentalohkoon oli jäänyt vanha korjauskerroin 1,1, mikä aiheutti mittaukseen +10 % suuruisen virhekomponentin.**

Mittaukseen liittyvät mekaaniset asennusvirheet ovat selvästi harvinaisempia, mutta tapahtuessaan aiheuttavat usein isoja mittausvirheitä, kuva 23.

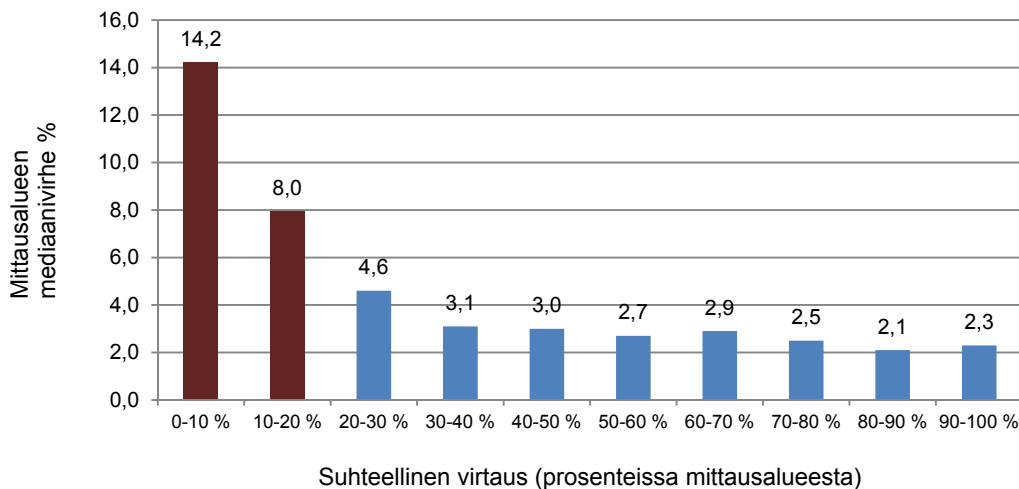


Kuva 23. **Kuvassa oleva laippa on asennettu juuri kahden mutkan väliin, ilman suoria putkiosuuksia laipan ympärillä, vaikka suoraa putkiosuutta olisi seinustalla ollut kymmeniä metrejä.**

Suunnitteluvaiheessa halutaan varmistaa, että mittarin toiminta-alue riittää kattamaan suunniteltavissa olevat ajotilanteet. Erityisesti paine-eroon perustuvilla virtausmittauksilla tämä aiheuttaa suuria ongelmia, koska virtaus (Q) on verrannollinen paine-eron (Δp) neliöjuureen.

$$Q \propto \sqrt{\Delta p}$$

Näin hyvin pieni virhe paine-eron mittauksessa aiheuttaa pienillä virtausmäärillä suuren virheen virtausmittaukseen. Tämä näkyy myös kalibrointituloksissa. Oheiseen kuvaan on kerätty lähes 2000 teollisuushöyrykalibroinnin virheiden itseisarvojen mediaanit suhteellisen virtausmäärän funktiona.



Kuva 24. Höyryvirtauskalibroinneissa havaittu mediaanivirhe mittarin suhteellisen mittausalueen funktiona (aineisto: 1890 kpl höyryn virtausmittauksen kalibrointia, Indmeas Oy).

5.1.2 Lauhemittaukset

Lauhemittauksissa tilanne on merkittävästi höyryä parempi. Eräs mittauksiin liittyvä ongelma on virtaavan nesteen höyrystyminen putkessa. Mikäli palaava lauhde onkin yli 100 °C asteista, tulee pitää huoli siitä, että painetaso putkessa säilyy. Lauhde-energian mittaamisen perustavampaa laatua oleva virhe tuleekin siitä, että palaavan lauhteen tiheys oletetaan ykköseksi ja/tai entalpia vakioksi. Tämä aiheuttaa suuren vääristymän esimerkiksi energialaskutukseen. Käytäntö on havaittu mm. usealla paperitehtaalla.

Lämpötilamittauksissa lämpötilaprofiilit erityisesti lämmönvaihtimien jälkeisissä virtauksissa voivat olla isoja. Ydinvoimaloissa on havaittu jopa 14 °C lämpötilaeroja. Tällöin mittaustulos voi riippua merkittävästi siitä, mistä kohdasta ja miltä puolelta putkea mittaus tehdään.

5.2 Käytönaikainen mittausten laadunvarmennus

Käytönaikainen laadunvarmennustyö voidaan jakaa valvonta-, huolto- ja kalibrointityöhön.

5.2.1 Mittauslaadun valvonta

Valvontatyöllä tarkoitetaan toimia, joilla pystytään havaitsemaan mittarin vikaantuminen. Perinteisesti luotetaan siihen, että valvomohenkilöstö reagoi epäilyttäviin mittauksiin ja raportoi näistä eteenpäin kunnossapidolle. Tosielämässä näin ei aina tapahdu.

Esimerkkinä tästä käy kuvan 25 lämpötilamittaus, jonka kalibroinnin yhteydessä tehdyssä pitkäaikaisseurannassa havaittiin käyttäytyvän silminnähden väärin. Mittaus välillä näytti minimiarvoaan 200 °C ja välillä maksimiarvoaan 450 °C. Itse kalibroinnin aikana mittaus kuitenkin näytti oikein. Kysyttäessä operaattoreilta asiasta he tunnistivat ongelman ja tiesivät mittauksen epäluotettavaksi. Koska kyseessä ei kuitenkaan ollut säätöön liittyvä mittaus, eivät he olleet siitä raportoineet eteenpäin kunnossapidolle.

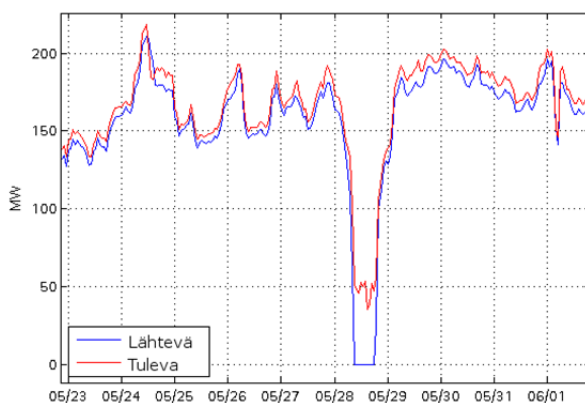


Kuva 25. **Mittausten pitkäaikaisista trendeistä voidaan havaita ongelmia, jotka eivät hetkellisesti tule esiin.**

Sekä huollot että kalibroinnit toimivat tehokkaimmin, kun mittauslaadulle on olemassa valvontamekanismi, joka reagoi mittauksissa havaittuihin poikkeamiin. Nykyiset automaatiojärjestelmät antavat tähän hyvät mahdollisuudet.

Kuvan 25 tapaiset signaaliongelmät pienimuotoisempina ovat erittäin yleisiä. Eräs yksinkertaisemmista laadunvarmennustoimenpiteistä onkin asentaa signaaleihin hajontaseuranta. Mikäli mittaus näyttää yli tunnin nollassa poikkeavaa vakioarvoa, tai hajonta kasvaa merkittävästi normaalitasosta, täytyisi sille löytyä luonnollinen selitys.

Toinen höyryverkkoihin soveltuva valvontatyökalu on tasevertailu. Esimerkiksi võimalaitoksella tuotetun ja verkkoon syötetyn määrän suhde tulisi häviöiden puitteissa täsmätä. Verkosta riippuen vastaavia taseita voidaan tehdä useampia ja niiden eroja seurata esimerkiksi trendeinä. Merkittävä mittausvirhe näkyy trendeissä tasepoikkeamana.



Kuva 26. **Taseseurannan avulla voidaan havaita poikkeamat aine- ja energiataseissa. 90% tapauksissa nämä selittyvät mittausvirheillä.**

Isoissa järjestelmissä (positioiden lukumäärä kymmeniä tai enemmän) kannattaa mittausten laadunvalvonta tehdä erillisellä vikadiagnostiikkaohjelmalla, joka arvioi mittaustaikoina virheen suuruutta. Tämä tehostaa kunnossapitotyön ohjausta ja vikaantuneet mittaukset voidaan havaita nopeasti, kuva 27.

LUOKKA	Nimi	Positio	Yksikkö	Mitoitus	Keskiarvo	Kriteerit	Virhe todennäköisyys
KRIITTISET	Ki paluulämpötila	2NL02G901	C	49	45.2		
	Ki virtaus	2NM02G901	m3/h	2000	1598.0		
	Hiilimäärä	2NG01G901	ton/h	18	16.9		
	Syvelämpötila	2NW01G901	C	225	228.9		
	Syöttövesiventtiili	2BN01G901	bar	2	0.2		

Kuva 27. **Tulostaulukko Indmeasin mittausten vikadiagnostiikkaohjelmasta, joka valvoo tuntitasolla kaikkia laitosmittauksia eri kriteerien avulla.**

5.2.2 Huolto ja kunnossapito

Huolto- ja kunnossapitorutiineilla pidetään ennakoivasti huolta mittausten toimintaedellytyksistä ja korjataan rikkoontuneet mittaukset. Mittausten kunnossapito on yleisimmin korjaavaa, eli toimintaa ohjataan hälytysten perusteella.

Määrävälein tehdään pääsääntöisesti lähinnä paine-erolähtettimien, lämpötilamittausten ja painemittausten vertailuja esimerkiksi laitojen omilla paine-erokalibraattoreilla tai vertailuantureilla. Tämä poikkeaa kalibroinneista siinä, että koko mittausketjua ei tarkasteta eikä toiminta ole metrologisesti jäljitettyä. Myös paine-erolähtettimien impulsiputkien tukkeutumien tarkastus esimerkiksi likaantumisen tai jäätymisen seurauksena on yleisesti laitoksen omien kunnossapitotyöntekijöiden vastuulla. Huoltorutiinit vaihtelevat voimakkaasti laitoksen ja mittarikkannan tarpeen mukaan.

5.2.3 Kalibroinnit

Mittausjärjestelmien laadussapidon metrologisena luvkona toimivat jäljitetyt kalibroinnit. FINAS ylläpitää listaa Suomessa akkreditoituista toimijoista.

Lämpötila- ja paineantureilla kalibrointi voidaan suorittaa laboratoriossa, koska mittauspaikkaolosuhteen vaikutus on yleensä pieni ja mittaus voidaan irrottaa putkesta ajon

aikana prosessia keskeyttämättä. Virtausmittauksilla tämä ei pääsääntöisesti ole mahdollista, koska mittarin irrotus edellyttäisi prosessikatkoa. Lisäksi virtausmittauksen epävarmuus riippuu voimakkaasti mittausolosuhteista. Kenttäkalibrointi voidaan suorittaa mm. merkkiainemenetelmällä, jolla paras saavutettavissa oleva kalibrointiepävarmuus on 0,5 %.



Kuva 28. Kaasuvirtausmittauksen kenttäkalibrointi merkkiainemenetelmällä.

5.3 Mittaustiedon siirto järjestelmien välillä

Mittaustiedon siirtyminen tiedonjalostamissovelluksille edellyttää luonnollisesti itse tiedonsiirron teknistä toteutusta. Lähtötilanne voi varsinkin vanhemmissa tehdaskohteissa olla sekava, jos automaatiojärjestelmiä on uusittu pala palalta ja käytössä on eri tiedonsiirtoprotokollia. Tiedonsiirto eri protokollia käyttävien järjestelmien välillä on yleensä mahdollista, mutta se saattaa vaatia ohjelmointityötä tai erillisten muuntimien käyttöä väyläprotokollien välillä. Asian hoitamisen vaatimiin kustannuksiin ja osaamistarpeisiin on varauduttava, kun mittaukseen ja seurantaan suunnitellaan muutoksia.

Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän osalta prosessiväylistä tyypillisimmin käytössä on Profibus ja Fieldbus, joita tukevia toimilaitteita ja mittareita löytyy kattavasti. Liitteessä 1 on kuvaus automaatiojärjestelmien hierarkiatasoista, järjestelmistä ja tiedonsiirron menetelmistä.

Siirrettäessä tietoa järjestelmätasolta toiselle mittausviesteille tehdään laitekohtaisia laskennallisia muunnoksia. Nämä mittausviestien korjaus- ja muuntokertoimet ovat usein vakavien virhetulosten lähteitä, kuten kuvan 14 esimerkki jo osoitti. Muita varoittavia käytännön esimerkkejä ovat:

- Virtausmittauksissa jakajana toimivan aikayksikön sekaantuminen: kg/s sekoittaminen t/h yksikköön tuottaa 3,6 kertaa pienemmän tai suuremman lopputuloksen.
- Mitattaessa virtausta paine-eroon perustuvilla menetelmillä, on virtausnopeus verrannollinen paine-eron neliöjuureen. Vaadittava neliöinti voidaan joillekin painelähetimille tehdä sekä painelähettimessä että automaatiojärjestelmässä. Uutta painelähetintä asennettaessa on varmistuttava siitä, että neliöinti tehdään, mutta sitä ei saa tehdä kahteen kertaan.

Alla on 10 kohdan muistilista, jota käyttämällä voidaan selvittää lähes kaikki höyry- ja lauhdejärjestelmien mittausergelmat.

- Lämpötilamittaukset: ovatko mittaukset muualla verkossa oleviin verrattuna johdonmukaisia, voiko esiintyä lämpötilaprofiilia?
- Mittareiden mittauseralue: toimitaanko mittarille sopivalla alueella erityisesti paine-eroon perustuvilla virtausmittareilla?
- Virtausmittauksen tiheyskompensointi: onko käytössä, toimiiko oikein?
- Paine-/lämpötilataso: säilyykö lauhde nesteenä ja höyry höyrynä?
- Lauhde: mitataanko tilavuusvirtausta vai massavirtausta, onko tiheyskorjaus tehty?
- Lauhde: muutettaessa energiaksi käytetäänkö vakioentalpiaa vai lämpötilaan perustuvaa?
- Signaalikäsitteilyketju: vastaako mittarilta lähtevä signaali loppuarvoa?
- Signaalit: jääkö joku signaali näyttämään vakioarvoja pitkäksi aikaa?
- Poikkeamien valvonta: voidaanko järjestää tase-erojen ja signaalihajontojen seuranta tai isommissa järjestelmissä ottaa käyttöön mittausten vikadiagnostiikkaohjelma?
- Kalibrointiohjelma: onko keskeisille mittauksille jäljitettyihin mittauksiin perustuva kalibrointiohjelma?

Liite 1. Höyryn vaihtoehtoisia virtausmittauksia

Tyyppi Ominaisuus	Turbiini	Pyörivä sivuvirta	Kuristus- laippa	Virt.koj. kur.laippa	Muuttuva kur.laippa	Kartio kur. laippa	Pitotputki	Monikan. pitotputki	Vortex
Mittatarkkuus	hyvä	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä
Mittausalue	10:1	<5:1	<5:2	20:1	70:1	30:1	5:1	10:1	20:1
Toistettavuus	heikko	heikko	hyvä	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	hyvä	erinomainen	erinomainen
Värinäherkkyys	alhainen	alhainen	alhainen	alhainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	alhainen	heikko
As. herkkyys	korkea	korkea	korkea/kohtal.	korkea/kohtal.	alhainen	alhainen	kohtalainen	kohtalainen	korkea/kohtal.
Asennustyö	vaikea	kohtalainen	helppo	helppo	kohtalainen	helppo	eritt. helppo	eritt. helppo	kohtalainen
Painehäviö	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	alhainen	alhainen	alh./kohtal.
Kalibrointitarve	usein	usein	usein	harvoin	usein	harvoin	harvoin	harvoin	harvoin
Hankintakulut	kohtalainen	korkea	alhainen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	kohtalainen
Asennuskulut	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	kohtalainen
Huoltokulut	kohtalainen	kohtalainen	korkea	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	alhainen	alhainen

Höyryn virtausmittauksia (Höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmän katselmuksen tarkennetut toteutusohjeet 2010, Motiva)

Liite 2. Teollisuusautomaation hierarkiat ja tiedonsiirto

Teollisuuden automaation kommunikointi koostuu hierarkisista tasoista, vaikka kokonaisuuden sisältö vaihtelee toimialan ja toiminnan laajuuden mukaan. Uusien laitteiden hierarkiatasot voidaan jakaa kolmeen: hallinnointi-, tuotannonohjaus- ja kenttätaso. Vanhemmissa teollisuuskohteissa automaatiojärjestelmät voivat olla sekalaisia, jos niitä on uusittu pala kerrallaan. Tällöin hallinnointi- ja tuotannonohjaustason alapuolella voi olla prosessinohjaustaso ja kenttätaso, jolloin kenttätasoa edustavat vain kenttä- ja toimilaitteet, taulukko 6.

Hallinnointitaso tiedonsiirtoon käytetään yleensä langattomaan lähiverkkoteknologiaan perustuvaa Ethernet-verkkoa. Alemmilla hierarkiatasoilla hyödynnetään usein väylätekniikkaa. Uudemmissa kohteissa voi olla käytössä myös OPC (OLE for Process Controls) protokollaa hyödyntävää tiedonsiirtoa. OPC-protokollan avulla rajapinnan järjestelmät ja sovellukset voivat vaihtaa informaatiota keskenään. Käytössä oleva kommunikaatiohierarkia määrittelee osaltaan, kuinka helposti ja kustannustehokkaasti informaatiota on mahdollista siirtää eri käyttötarkoituksiin.

Taulukko 6. **Automaatiohierarkia, käytettävät järjestelmät ja tiedonsiirron menetelmät.**

Hierarkiataso	Hierarkiatason tehtävä	Käytettävät järjestelmät	Tiedonsiirron menetelmät
Hallinnointitaso	Talouden ja toiminnan hallinta ja johtaminen	Taloudenhallinta, Tuotannonhallinta	Ethernet-verkko, vuororengasverkko, vuoroväylä, OPC-väylä
Tuotannonohjaustaso	Tuotannonhallinta ja johtaminen, ongelmanratkaisu	Tuotannonhallinta	Ethernet-verkko, vuororengasverkko, vuoroväylä, OPC-väylä
Prosessinohjaustaso	Prosessinohjaus ja optimointi, toimilaitteiden kunnossapidon hallinta	Ohjelmoitavat logiikat (PLC), prosessinohjaus (PCS), hajautetut ohjausjärjestelmät (DCS)	Kenttäväylät, analoginen tiedonsiirto
Kenttätaso	Mittausinformaation lähetys ja tuottaminen prosessinohjaustasolle	Anturit, kenttä- ja toimilaitteet	Kenttäväylät, analoginen tiedonsiirto, anturi ja toimilaitteväylät

Höyry-lauhdesiirtojärjestelmän tiedonsiirron ratkaisut ovat esimerkiksi modernilla paperikoneella keskittyneet prosessinohjaustasolle ja kenttätasolle. Tulevan höyryn ja lähtevän lauhteen mittaukset on keskitetty DCS-järjestelmään, mutta kuivatusosan höyry ja lauhdemittaukset on voitu toteuttaa koneen ohjausjärjestelmässä (MCS), joka vastaa edellisen taulukon PCS-järjestelmää muussa prosessiteollisuudessa. Nämä järjestelmät on voitu yhdistää OPC-rajapinnan kautta tuotannonohjaustason sovelluksiin, jolloin mittaus-signaalit saadaan mm. ongelmanratkaisutyökalujen käyttöön. OPC-linkillä on mahdollista siirtää esimerkiksi höyrynkulutustietoa hallinnointitasolle taloudellisten raporttien tuottamista varten.

Taulukko 7: **Tyypillisimmät teollisuudessa käytössä olevat tiedonsiirtoprotokollat.**

Käyttökohde	Tiedonsiirtostandardit ja protokollia
Teollisuus Ethernet	TCP/IP, HTTP, SNMP, FTP
OPC-tiedonsiirto	DA, A&E, HAD, Batch, Data eXchange, Security, XML-DA
Langaton tiedonsiirto	WLAN, Bluetooth, GPRS, GSM
Analogiatiedonsiirto	HART (High Addressable Remote Transducer)
Prosessiväylät	Profibus PA, Foundation Fieldbus, WorldFIP, ControlNet, Modbus, Interbus, CAN
Anturi ja toimilaitteväylä	Serial, Interbus, ASi (AS Interface), DeviceNet, ControlNet, Profibus DP

Kirjallisuusluettelo

Internet-lähteitä mittareista:

- <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/flowmetering/types-of-steam-flowmeter.asp>. Luettu 10.12.2011.
- <http://www.konwell.fi/>. Luettu 10.12.2011.
- http://www.burkert.fi/img_article/FI_Burkert_Tuoteryhmat011205.pdf.
- <http://www.inor.se/temperatur/temperaturprodukter/TempDel2Finsk/TempKatt%20T%20200708%20Finsk%20Omsl.pdf>.

Chemane L.A., Nunes A.F., Hancke G.P., "Integrating modern instrumentation, control and information technology in the undergraduate laboratory," Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC/97, 1997.

Chemane L.A., Nunes A.F., Hancke G.P., "Industrial information infrastructure and intelligent instrumentation – the options," Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1997.

Heikkilä I., Huumo M., Siitonen S., Seitsalo P., Hyytiä H., Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT), Teollisuuden energiatehokkuus, Suomen ympäristökeskus, 2008.

Höyry- ja lauhdesiirtojärjestelmän katselmuksen tarkennetut toteutusohjeet, Motiva, 2011.

Kettunen, S. & Peni, H., Mittaus – perusmittausyhteiden sijoittaminen putkistoon. Kunnossapito 8, 2004.

Papermaking science part 9: Drying, Paperi-insinöörit, 2010.

Peltola J., Tiedonsiirto – Kenttäväylät ja OPC, Aalto Yliopisto, 2010.

Reese J., Paper Machine Energy Monitoring, Tappi Papermakers Conference, 2006.

Saxholm S., Rantanen M., Painemittaus, Mikes julkaisut, 2011.

Silvola R., Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet –ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Automaatiotekniikan osasto, 2006.

Turunen T., Kuorelahti J., Energy – Ever important, PPI International, 11/2011.

Voimalaitosautomaatio, Suomen Automaatioseura ry, 2007.

Vuori, O., Instrumenttien sijoittaminen putkistoon. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2009.

Wagner T., "An Agent-Oriented Approach to Industrial Automation Systems," R. Unland et al. (Eds.) Agent Technology Workshops, 2002.

www.metso.com. Luettu 10.12.2011.



Urho Kekkosen katu 4-6 A
PL 489
00101 Helsinki

Puhelin 0424 2811
Faksi 0424 281 299
www.motiva.fi