

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Tutkintotyö

Pekka Pylkkänen

KIERTOVOITELUJÄRJESTELMÄN MITTAAMINEN JA
MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

yliopettaja Marko Mäkilouko

Sandvik Mining and Construction Oy,

valvoja suunnittelupäällikkö Kari Sillanpää

Tampere 2009

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Pekka Pylkkänen Kiertovoitelujärjestelmän mittaaminen ja mittaustulosten käsittely

Tutkintotyö 69 sivua

Työn ohjaaja yliopettaja Marko Mäkilouko

Työn teettäjä Sandvik Mining and Construction Oy
valvoja suunnittelupäällikkö Kari Sillanpää

Toukokuu 2009

Hakusanat mittausjärjestelmä, tiedonkeruujärjestelmä, anturi, IMC

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkintotyössä esitellään nykyaikaisen mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmän rakentaminen. Toteutettua mittausjärjestelmää käytetään apuna Sandvikin kallionporauslaitteeseen asennetun kiertovoitelujärjestelmän tuotekehityksessä. Tutkintotyössä käsitellään täydellisen mittausjärjestelmän suunnittelua ja kokoonpanoa sekä saatujen mittaustulosten jälkikäsittelyä. Erilaisten paine-, virtaus- ja lämpötila-antureiden toimintaa tarkastellaan yksityiskohtaisesti ja esitetään perustelut kiertovoitelujärjestelmän mittalaittevalinnoille. Mittausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus esitellään yksityiskohtaisesti. Saavutetut mittaustulokset ja niiden pohjalta julkaistut raportit on tarkoitettu ainoastaan Sandvik Mining and Constructionin sisäiseen käyttöön, joten varsinaisten mittaustulosten esittely on pintapuolista ja tutkintotyössä keskitytään esittelemään tulosten jälkikäsittelyn tavoitteita ja tarkoituksenmukaisuutta.

TAMPEREEN POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Machine Automation

Pekka Pylkkänen The measurement and after-treatment of a circulating shank
lubrication system

Examination work 69 pages

Supervisor lecturer Marko Mäkilouko

Commissioned by Sandvik Mining and Construction Oy
Supervisor: suunnittelupäällikkö Kari Sillanpää

May 2009

Keywords measurement system, data collection system, transmitter, IMC

ABSTRACT

This thesis report introduces the construction of a modern measurement and data collection system. This measurement system is used in the product development of a circulating shank lubrication system that is installed in Sandvik's drilling rig. This thesis handles the design and compilation of a complete measurement system as well as the after-treatment of the obtained measuring results. This study goes through the functioning of pressure, flow and temperature transmitters in detail and presents the arguments for choosing the measuring devices for a circulating shank lubrication system. The design and implementation of the measuring system is also described in detail. The measuring results and the published reports that are based on these reports are meant for the internal use of Sandvik Mining and Construction only. Therefore, the study presents the actual measuring results at a general level and concentrates on introducing the objectives and appropriateness of the after-treatment.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on syntynyt yhteistyössä Sandvik Mining and Construction Oy:n tuotekehityksen kanssa. Tutkittavana ollut kiertovoitelujärjestelmä tullaan aikanaan tuotteistamaan ja saattamaan asiakkaiden käyttöön. Tutkintotyö on tarjonnut mahdollisuuden tutustua paremmin sekä mittausjärjestelmään, tutkittavaan kiertovoitelujärjestelmään että koko poravaunun toimintaan.

Haluan kiittää työnantajaani Sandvik Mining and Constructionia ja erityisesti tutkintotyöni valvojaa suunnittelupäällikkö Kari Sillanpäättä, joka on mahdollistanut tämän opinnäytetyön tekemisen. Lisäksi tahdon kiittää työni ohjaajaa, yliopettaja Marko Mäkiloukoa.

Tampereella 17.3.2009

Pekka Pylkkänen

Pekka Pylkkänen

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT.....	4
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tarkoitus	7
1.2 Taustaa	8
1.2.1 Yritysesittely	8
1.2.2 Testeissä käytetty kallionporauslaite.....	9
1.2.3 Niskanvoitelunjärjestelmä ja kiertovoitelujärjestelmä.....	10
2 TEORIA.....	12
2.1 Paineanturit.....	13
2.1.1 Eri painetyypeille tarkoitetut anturit	14
2.1.2 Paineantureiden toimintaperiaatteet.....	15
2.1.3 Paineantureiden lähettämä signaali.....	15
2.2 Lämpötila-anturit.....	16
2.2.1 Lämpötila-anturien toimintaperiaatteet.....	16
2.2.1.1 Termoelementtianturi.....	17
2.2.1.2 Vastusanturi.....	17
2.2.1.3 Pyrometri.....	18
2.2.2 Yleisimmin käytössä olevat lämpötila-anturit	19
2.2.3 Lämpötila-antureiden lähettämä signaali	20
2.3 Virtausanturit.....	21
2.3.1 Hydraulinesteen virtausnopeuden mittaaminen	21
2.3.1.1 Turbiinianturi	22
2.3.1.2 Tilavuusvirtalaskija.....	23
2.3.2 Kaasun virtausnopeuden mittaaminen	24
2.3.3 Virtausantureiden lähettämä signaali	25
2.4 Mittausten luotettavuus	26
2.4.1 Kalibroinnin merkitys	27
2.4.2 Antureiden kalibrointi	28
2.4.3 Mittausalue.....	29

Pekka Pylkkänen

3	MITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	30
3.1	Mitattavat kohteet.....	31
3.2	Mittausjärjestelmälle ja anturoinnille asetetut vaatimukset	32
4	LAITTEISTON ESITTELY	33
4.1	Anturointi	33
4.1.1	Paineen mittaus	33
4.1.2	Öljyn ja ilman lämpötilojen mittaus.....	36
4.1.3	Pintalämpötilojen mittaus	37
4.1.4	Öljyn virtauksen mittaus	39
4.1.5	Ilman virtauksen mittaus	40
4.2	IMC Cronos-PL2.....	42
4.3	IMC Cansas	45
5	PERIAATEKUVA TOTEUTETUSTA MITTAUSJÄRJESTELMÄSTÄ	47
6	TOTEUTETTAVAN MITTAUSJÄRJESTELMÄN ASENNUS	48
7	MITTAJÄRJESTELMÄN KONFIGUROINTI	51
7.1	Cronos PL2 konfigurointi.....	51
7.2	Cansas-modulin konfigurointi	54
7.3	Mittaustulosten tallennus ja Disk start-toiminnon käyttö.....	56
8	MITTAUS TOTEUTETULLA JÄRJESTELMÄLLÄ.....	58
8.1	Ensimmäinen kestopesti	58
8.2	Toinen kestopesti	59
9	MITTAUSTULOKSET	60
9.1	Käsitlemättömät mittaustulokset	61
9.2	Mittaustulosten käsittely - suodatus	63
9.3	Mittaustulosten käsittely - histogrammi	65
10	MITTAUSTULOSTEN ARVIOINTI.....	67
11	YHTEENVETO	68
12	LÄHTEET.....	

Pekka Pylkkänen

1 JOHDANTO

Kallionporauslaitteiden porakoneita kehitetään kaiken aikaa vastaamaan paremmin asiakkaiden tarpeita. Reikäkoon kasvattaminen on yksi porakonesuunnittelun tärkeimmistä tavoitteista tunkeumanopeuden lisäksi. Porakoneeseen kohdistuvan rasituksen määrää lisääntyy reikäkoon kasvattaminen myötä. Suuremmalla kalustolla porattaessa on kasvatettava myös iskunpainetta, jolloin nk. kriittisten osien rasitus kasvaa entisestään. Kriittisillä osilla tarkoitetaan tässä yhteydessä porakoneen niska- ja kytkinkappaletta sekä porakoneen runkolaakeria.

Eräs porakoneiden kehitystä rajoittava tekijä on riittävän niskanvoitelun puuttuminen. Päältäiskevän kallionporauskoneen toiminnan ja varaosataloudellisuuden kannalta oleellista on kehittää järjestelmä, joka voitelee ja jäähdyttää kriittiset, kulutukselle ja lämpenemiselle altistuvat porakoneen komponentit.

1.1 Työn tarkoitus

Työn ensisijaisena tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa mittausjärjestelmä, jonka avulla kallionporauslaitteeseen asennettua kiertovoitelujärjestelmää voidaan kehittää. Mittausjärjestelmällä saatuja mittaustuloksia tullaan käyttämään mukana tuotekehityksessä. Saavutetuilla mittaustuloksilla ohjataan tuotekehitystä ja samalla varmistutaan lopullisen tuotteen toimintavarmuudesta. Kiertovoitelujärjestelmän kestopesti piti sisällään kaksi vaihetta, jotka poikkesivat toisistaan vain järjestelmän voiteluöljyn määrän osalta. Kiertovoitelujärjestelmää kehitettiin ja paranneltiin kestopestin aikana ja

Pekka Pylkkänen

tavoitteena oli myös selvittää pienin mahdollinen öljymäärä, jolla järjestelmä kykenee toimimaan yhtäjaksoisesti riittävän pitkään.

Mittaustuloksien perusteella pyritään myös määrittämään sopiva huoltoväli koko järjestelmälle ja vaihtoväli järjestelmässä käytettäville suodattimille. On oleellista myös selvittää, kuinka nyt valittu voiteluöljy soveltuu käyttötarkoitukseen ja esittää arvio öljyn voiteluominaisuuksien säilymisestä.

1.2 Taustaa

1.2.1 Yritysesittely

Sandvik Mining and Construction Oy on Sandvik-konserniin kuuluva yhtiö, johon on yhdistetty valtaosa Sandvik Mining and Constructionin (SMC) liiketoiminta-alueen Suomen toiminnoista sekä Sandvikin kahden muun liiketoiminta-alueen, Sandvik Toolingin ja Sandvik Materials Technologyn, Suomen toiminnot. Sandvik Mining and Construction toimii noin 130 maassa, ja sillä on henkilökuntaa on yli 12 000. Sandvik Mining and Construction on maailman johtava laitteiden ja teknisten ratkaisujen tuottaja kaivos-, rakennus- ja urakointiteollisuudelle. Yhtiöllä on Tampereen Myllypuron lisäksi päätoimipaikat Lahdessa, Turussa ja Vantaalla.

Tampereen, Lahden ja Turun, erilliset edeltäjäyhtiöt yhdistettiin 1997 ja vuodesta 1998 vuoteen 2006 yrityksen nimi oli Sandvik Tamrock Oy. Vantaan toimipaikka sulautettiin yritykseen vuonna 2004.

Tampereen tehtaan juuret ulottuvat aina vuoteen 1856, jolloin Tampella perustettiin. Myllypuron tehdas aloitti toimintansa 1972. Yrityksen nimi on ollut

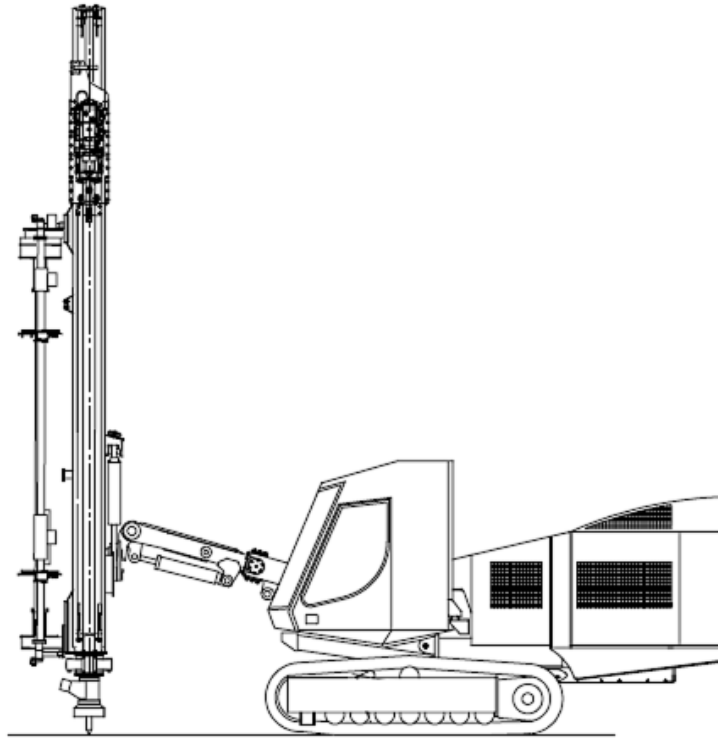
Pekka Pylkkänen

13.3.2006 alkaen Sandvik Mining and Construction Oy. Henkilöstön määrä Tampereen tehtaalla on tällä vuosituhannella kasvanut likimain kaksinkertaiseksi, ja se on nyt 1200. Tampereen tehtaan toiminnot voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: maanpäälliset ja maanalaiset kallionporauslaitteet.

1.2.2 Testeissä käytetty kallionporauslaite

Poravaunu, johon kiertovoitelujärjestelmä asennettiin, oli malliltaan Tamrock Pantera 1500. Pantera 1500 on hydraulinen päältäiskevä poravaunu, joka on rakennettu tela-alustalle. Laite on varusteltu hytillä ja karusellityyppisellä kangenkäsittelylaitteella, ja sillä on mahdollista porata halkaisijaltaan 89–140 mm suoria, kallistettuja tai vaakasuoria reikiä. Pantera 1500:n porakone on tyypiltään HL 1500. Laitteen kankikasetin kapasiteetti on 7 + 1 kankea, ja sen vaihtoehtoiset kankipituudet ovat 12' ja 14' (3 660 ja 4 270 mm). Panterassa on Caterpillarin dieselmoottori, joka tuottaa voimaa kahdelle säätötilavuuspumpulle, kolmelle hammasrataspumpulle ja huuhteluilmakompressorille.

Pekka Pylkkänen



Kuva 1: Pantera 1500

Pantera 1500 on suunniteltu tuotantoporaukseen suurille tai keskisuurille avolouhoksille tai rakennustyömaille. Laitetta voidaan hyvin käyttää myös seinämien tukemiseen ja louhintaa edistäviin töihin.

1.2.3 Niskanvoitelunjärjestelmä ja kiertovoitelujärjestelmä

Niskanvoitelujärjestelmä ylläpitää porakoneen osien välistä öljykalvoa. Porakoneessa ei, pyöritysmoottoria lukuun ottamatta, käytetä lainkaan vierintälaakerointia, vaan osat liikkuvat keskenään ainoastaan voiteluaineen erottamina. Niskanvoiteluöljyn tarkoituksena ei ole ainoastaan voidella porakonetta, vaan myös jäähdyttää toisiaan vasten liikkuvia osia. Riittävän niskanvoiteluöljyn määrä vaihtelee porakoneen tyyppin mukaan.

Pekka Pylkkänen

Nykyjärjestelmässä niskanvoiteluöljy käytetään ainoastaan kerran. Paluusäiliöön kertynyt öljy poistetaan järjestelmästä ja käsitellään ongelmajätteenä. Öljyä ei siis suodateta lainkaan, ja siihen sitoutunut ilma poistuu ajan kuluessa itsestään. Nk. kiertovoitelujärjestelmässä voiteluöljy johdetaan paluusuolettimen kautta takaisin säiliöön ja ilma pyritään mahdollisimman tehokkaasti erottamaan öljystä. Kiertovoitelujärjestelmän kehityksessä pyritään myös ratkaisuun, jossa voiteluöljyn lämpötilaa saadaan laskettua letkuissa ja säiliössä. Kiertovoitelujärjestelmä lisää porakoneeseen pumpattavan voiteluöljyn määrän yli satakertaiseksi. Näin saavutetaan tehokkaampi voitelu ja jäähdytys, sekä mahdollisuus käyttää voiteluun tavallista vaihteistoöljyä.

Vastaavissa kallionporauslaitteissa ei aikaisemmin ole ollut saatavilla yhtä tehokasta eikä toiminnaltaan samankaltaista voitelujärjestelmää. Perinteisessä niskanvoitelujärjestelmässä voiteluöljy on pumpattu nk. sykäyspumpulla, jonka optimaalisella tauko- ja pumppausajan suhteellakaan ei saavuteta kuin maksimissaan 1,5 litraa voiteluöljyä tunnissa.

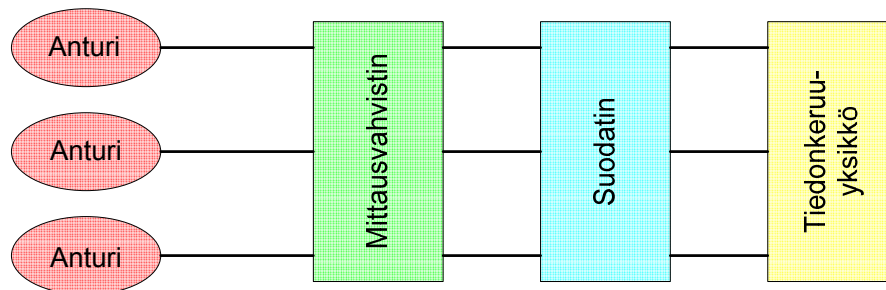
Pekka Pylkkänen

2 TEORIA

Mittausjärjestelmän peruskokoonpano sisältää seuraavat komponentit:

- 1) **Anturit ja mittauslähettimet** (Antureita käsitellään tarkemmin tulevissa kappaleissa.)
- 2) **Mittausvahvistimen**, jossa on aina sisääntuloliitäntä anturin mittausjohdolle ja ulostulojohdolle. Vahvistin syöttää antureille jännitettä tai virtaa.
- 3) **Suodatin**, jonka avulla on mahdollista suodattaa näytteenoton kannalta liian korkeataajuiset mittaushäiriöt ja signaalit. Suodatin vaatii aina jänniteviestin.
- 4) **Tiedonkeruuyksikkö**, joka voi olla esim. piirturi, oskilloskooppi, tulostin, mittaus-PC tai dataloggeri

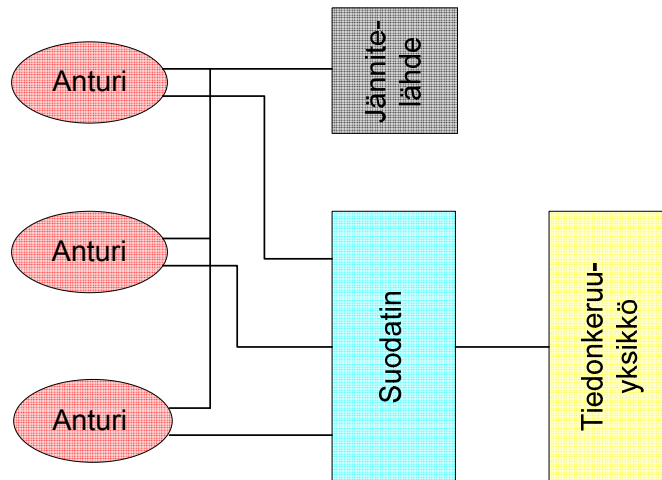
Käytännössä eri osia sulautetaan yhteen erilaisina variaatioina, mutta peruskokoonpano, jossa anturit saavat jännite- tai virtasyötön mittausvahvistimelta on seuraavanlainen:



Kuva 2: Mittausjärjestely, kun antureissa ei ole sisäistä mittausvahvistinta

Pekka Pylkkänen

Mikäli mittausjärjestelmässä käytetään antureita, joissa on sisäänrakennettu vahvistin, tarvitaan niitä varten jännitelähde. Kokoonpano on silloin seuraavanlainen:



Kuva 3: Mittausjärjestely, kun antureissa on sisäänrakennettu vahvistin

2.1 Paineanturit

Paine on teollisuudessa toiseksi yleisin mittauksen kohde lämpötilan jälkeen. Nykyaikaisissa mittausjärjestelmissä painetta mitataan paineantureilla, joita tietyissä asiayhteyksissä nimitetään myös painelähttimiksi, koska usein anturi- ja lähetinosat on rakennettu kiinteästi yhteen. Paineanturit synnyttävät signaalia, joka on riippuvainen nesteen tai kaasun voimasta pinta-alayksikköä kohden.

Paineanturien ulkonäkö, hankintahinta, suorituskyky ja teknologia voivat olla hyvinkin erilaiset sen mukaan, mikä on niiden käyttökohde ja mihin olosuhteisiin ne on tarkoitettu. Arvioidaan, että paineenmittaukseen tarkoitettuja antureita on saatavilla yli 300 eri valmistajalta.

Pekka Pylkkänen

2.1.1 Eri painetyypeille tarkoitetut anturit

Paineen mittausta voidaan jakaa viiteen eri osa-alueeseen, joille jokaiselle on kehitetty omanlaisensa anturit. Kaikki anturit vertailevat mitattavaa painetta johonkin muuhun paineeseen.

- **Absoluuttisen paineen anturi**

Anturityyppi, joka ilmoittaa paineen suhteessa täydelliseen tyhjiöön. (Lähtökohtaisesti pelkkä ilmakehän paine on meren pinnan tasolla 101,325 kPa).

- **Ylipaineanturi**

Yleisimmin käytössä oleva anturityyppi. Antureiden nollakohta on ilmakehän paine sijainnista riippumatta.

- **Alipaineanturi**

Anturityyppi, joka vertaa, paljonko mitattava paine on normaalia ilmakehän painetta alempi.

- **Paine-eroanturi**

Anturityyppi, joka mittaa kahden tai useamman paineen välistä erotusta. Erittäin yleisesti käytetty anturi ilmaisemaan, esim. suodatinten tukkeutumista.

- **Suljettu paineanturi**

Samankaltainen kuin ylipaineanturi, mutta ilmaisee mitattavan paineen suhteessa ilmakehän paineeseen merenpinnan tasolla. Anturin valmistaja on kalibroinut tuotteen siten, ettei sitä voi muuttaa.

Pekka Pylkkänen

2.1.2 Paineantureiden toimintaperiaatteet

Monet valmistajat ovat kehittäneet antureista entistä parempia ja monipuolisempia. Seuraavassa esitellään kaksi yleisintä antureiden toimintaperiaatetta. Niihin perustuu valtaosa kaikista hydraulisen paineen mittaukseen tarkoitetuista antureista.

- **Venymäliuskaan perustuva paineanturi**

Anturin runkoon on kiinnitetty venymäliuska eli ohut metallijohde.

Anturin runko on muotoiltu niin, että mitattava paine venyttää liuskaa ja kasvattaa näin sen resistanssia lineaarisesti. Anturin sisään on rakennettu vahvistin, joka vaatii toimiakseen syöttöjännitteen.

- **Pietsyöresistiivinen paineanturi**

Periaate on samankaltainen kuin venymäliuskaakin. Anturissa on pietsyöresistiivinen komponentti, jonka resistanssi muuttuu voimakkaasti paineen kohdistuessa siihen. Myös tässä anturityypissä on sisäinen vahvistin joka vaatii syöttöjännitteen toimiakseen.

Edellä kuvattujen resistiivisten anturien lisäksi valmistetaan myös antureita, joiden toiminta perustuu mm. paineen synnyttämän mekaanisen liikkeen mittaamiseen induktiivisella tai kapasitiivisella lähestymiskytkimellä. Painetta on mahdollista mitata myös nk. reluktiivisella anturilla, joka mittaa paineen aiheuttamaa keskinäisinduktanssin muutosta anturin kahden kelan välissä.

2.1.3 Paineantureiden lähettämä signaali

Paineantureiden lähettämä signaali on yleensä sähköinen, mutta saatavilla on myös antureita, joiden signaali saattaa olla optinen, visuaalinen tai auditiivinen.

Pekka Pylkkänen

Valtaosa paineantureista lähettää virtaviestiä, mutta moni voi lähettää myös jänniteviestiä. Tavallisin virtaviestillisen anturin ulostulosignaali on joko 4–20 mA tai 0–20 mA. Mahdollisia jänniteviestejä on käytettävissä useita erilaisia: 0 - 5 V, 0 - 10 V, 1 - 5 V, -5 - +5 V ja -10 - +10V. Jännitesignaali on helppo ja halpa tuottaa, mutta se on alttiimpi ulkoisille häiriöille kuin virtaviesti. Käytetäänpä sitten virta- tai jänniteviestiä, on mahdollinen vianhaku helpompi toteuttaa, kun käytetään viestiä, jonka alaraja ei ole 0. Tällöin mahdollinen johdinkatkos tai tehon syötön vika on helppo havaita.

Väylätekniikan kehitys näkyy selkeästi myös uusissa anturityypeissä. Tällä hetkellä on useita eri standardeja, joista yleisimmin teollisuudessa käytetyt ovat Fieldbus foundation- ja Profibus-tekniikat.

2.2 Lämpötila-anturit

Lämpötila on teollisuudessa eniten mitattu suure, koska lämpötilan muutoksella on niin helposti todennettava yhteys aineiden tilavuuteen, olomuotoon, kemialliseen käyttäytymiseen ja sähkönjohtavuuteen. Lämpötila-antureita käytetään pelkän lämpötilan mittauksen lisäksi apuvälineinä säädössä ja toiminnan, luotettavuuden ja tarkkuuden varmistuksessa. Lämpötila mitattavana suurena on haasteellisempi kuin monet muut suureet, koska lämpötilan fyysinen nollakohta on vaikea saavuttaa.

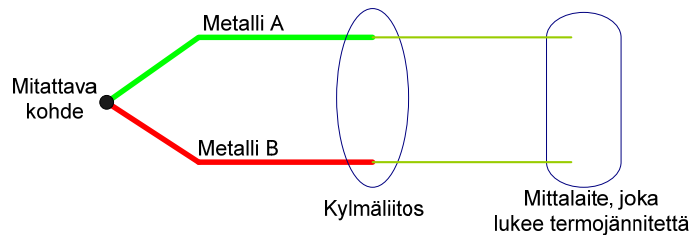
2.2.1 Lämpötila-anturien toimintaperiaatteet

Seuraavissa kappaleissa esitellään nykyaikaisissa mittausjärjestelmissä yleisimmin käytössä olevat elektroniset lämpötila-anturit.

Pekka Pylkkänen

2.2.1.1 Termoelementtianturi

Termoelementtianturin toiminta perustuu jännitteeseen, joka syntyy, kun kaksi eri metallia on kosketuksissa toistensa kanssa ja kun ne reagoivat keskenään. Termoelementtianturissa, syntyy lämpösähkömotorinen voima (mV), kun kaksi eri metallista valmistettua lankaa on liitetty toisiinsa ja elementin kylmän- ja kuumanpään välillä vallitsee lämpötilaero. Syntyneen jännitteen suuruusluokka vaihtelee välillä 1 - 100 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. (Toimintaperiaatteeltaan erittäin vanha menetelmä, perustuu nk. Seebeckin ilmiöön, joka keksittiin v. 1821.)



Kuva 4: Periaatekuva lämpötilan mittaamisesta termoparilla

Termoelementtiantureilla päästään erittäin laajaan toiminta-alueeseen. Termopariantureita on saatavilla välille $-270\text{ }^\circ\text{C} \dots +1800\text{ }^\circ\text{C}$,ja etenkin yli $+500\text{ }^\circ\text{C}$ lämpötiloissa ne ovat yleisimmin käytettyjä antureita.

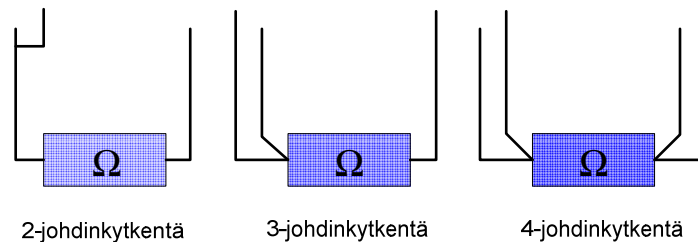
2.2.1.2 Vastusanturi

Vastusantureissa on vastusmateriaali, jonka vastusalue kasvaa tai pienenee lineaarisesti lämpötilan muuttuessa, eli resistanssin lämpötilariippuvuuden avulla kyetään määrittämään vallitseva lämpötila. Yleisimmin vastusantureissa käytetään platinaa, nikkeliä tai kuparia, joiden resistanssi suurenee, kun

Pekka Pylkkänen

lämpötila kasvaa. Vastusanturit ovat termoelementtiantureihin nähden stabiilimpia ja tarkempia. Niiden mittatarkkuus voi parhaimmillaan olla 0,2 °C. Vastusanturien käyttöalue ei ole aivan yhtä laaja kuin termoelementtianturien, ja niitä käytetään yleisimmin alueella -200 °C...+850 °C.

Vastusanturit voivat olla rakenteeltaan 2-, 3- tai 4-johdimisia. Anturityyppi riippuu kytkennästä, jolla vastusmittaus on tarkoitus tehdä.



Kuva 5: Pt -100-anturien kytkentämallit

Eri johdinkytkentöjen perusajatus on sama: Kaikkia vastuksia syötetään vakiovirralla ja kaikista mitataan vastuksen yli generoitunut jännite. 4-johdinmittauksella saavutetaan tarkin mittaustulos, koska silloin virta syötetään eri johdinparista kuin jännitteen mittausta.

2.2.1.3 Pyrometri

Pyrometria on varsin kehittynyt ja uusi menetelmä lämpötilan mittaamiseen. Siinä mitataan optisesti sähkömagneettista säteilyä, jonka määrä riippuu mitattavan kappaleen lämpötilasta. Kaikki kappaleet ja materiaalit, jotka ovat absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät lämpösäteilyä jollain intensiteetillä. Lämpötilan lisäksi intensiteettiin vaikuttaa säteilyn aallonpituus.

Pekka Pylkkänen

Lämpösäteilyn mittaamiseen vaikuttaa suuresti mitattavan pinnan emissiivisyys. Vertailukohtana voidaan pitää täysin mustaa, mattapintaista kappaletta, jonka emissiivisyys on 1,00. Muunlaisilla pinnoilla arvo on välillä 0...1. (Aivan peilipintainen alumiini tai hopea on lähellä nollaa.)

Pyrometrien mitta-alue on todella laaja. Niillä on mahdollista mitata lämpötiloja alueella $-50\text{ °C} \dots +3000\text{ °C}$, mutta tarkkuus riippuu täysin siitä, kuinka tarkasti pinnan emissiivisyys pystytään todentamaan. Oleellinen mittausvirhettä aiheuttava tekijä on myös ilmassa olevat epäpuhtaudet, jotka vääristävät tarkasteltavan lämpösäteilyn alkuperää.

2.2.2 Yleisimmin käytössä olevat lämpötila-anturit

Termoelementtiantureista yleisimmin käytössä on **K-tyyppin termopari**. K-tyyppin termoelementissä keskenään reagoivat metallit ovat nikkeli-kromi ja nikkeli-alumiini. Edellä mainitusta metalliparista syntyy suhteellisen suuri termojännite. Mitta-alue on tavallisesti $-200\text{ °C} \dots +1200\text{ °C}$, mutta on mahdollista valmistaa K-tyyppin termopareja vieläkin laajemmalla käyttöalueella. K-tyyppin termoparit ovat edullisia valmistaa, ne ovat nopeita käyttää ja niitä on saatavilla laaja valikoima. Termoparien tarkkuus kohenee, kun mitattava lämpötila on yli $+375\text{ °C}$.

Yleisimmin käytössä oleva vastusanturi on nimeltään **Pt-100**. Siinä vastusmateriaalina on platina (Pt), jonka vastus 0 °C lämpötilassa on $100\ \Omega$. Pt-100:n vastusarvo kasvaa lämpötilan kasvaessa. Vastusanturin etuja termoelementti-anturiin ovat stabiilisuus ja tarkkuus. Pt-100-antureita käytetään toki sellaisinaankin, mutta monesti ne varustetaan sisäänrakennetulla vahvistimella. Tällöin anturia syötetään vakiojännitteellä ja ulostulosignaali on viritetty halutunlaiseksi. (esim. virtaviestiksi)

Pekka Pylkkänen

2.2.3 Lämpötila-antureiden lähettämä signaali

K-tyypin termoelementtiantureiden herkkyys on $42\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$. Tämä tarkoittaa, että absoluuttisessa nolapisteessä termopari ei reagoi keskenään lainkaan, mutta lämpötilan kohotessa, keskenään reagoivien metallien tuottama jännite kasvaa $0,000042$ voltia jokaista kohonnutta lämpötila-astetta kohden. Koska kylmämpään lämpötilaksi oletetaan 0°C , tehdään mittaustulokseen nk. kylmämpään kompensointi. Tämä tarkoittaa, että mittaustulokseen lisätään mittalaitteen vallitsevaa lämpötilaa vastaava termojännite. Kylmämpään kompensointi voi sijaita itse mittalaitteessa tai anturin ja mittalaitteen välissä.

Jotta Pt-100-anturin resistanssin muutosta voidaan mitata, on anturin vastukselle syötettävä vakiovirtaa. Virta generoi vastuksen yli jännitteen, jota mittaamalla voidaan selvittää resistanssin ja sitä kautta lämpötilan muutos.

On myös yleistä, että lämpötila-antureihin rakennetaan sisäinen mittamuunnin, jolloin niiden lähettämä signaali on aivan vastaavanlainen jännite- tai virtaviesti, kuin kohdassa 2.1.3 on esitelty. Etenkin vahvistettuja Pt-100-antureita, joiden lähtöviesti on $4\text{--}20\text{ mA}$, on markkinoilla erittäin monen tyyppisinä.

Pekka Pylkkänen

2.3 Virtausanturit

Tilavuusvirran mittaamenetelmiä on lukuisia, samoin tilavuusvirran mittaamenetelmiä on useita. Ohessa luetellaan yleisimpiä mittaamenetelmiä:

- **Mekaaninen tunnustelu**
Tilavuuslaskurit, pyöriväsiipiset virtausmittarit, paine-eroon perustuvat mittalaitteet, patopaineen tunnustelu, muuttuva-aukkoiset virtausmittarit
- **Sähkömagneettinen tunnustelu**
Induktiiviset mittarit
- **Akustinen tunnustelu**
Ultraäänen etenemisnopeuteen perustuvat mittaukset, Doppler-anturi
- **Optinen tunnustelu**
Laser-doppler
- **Termiset mittaamenetelmät**
Kuumalanka- ja kalvoanemometrit, virtaavan aineen lämmittämiseen perustuvat menetelmät

2.3.1 Hydraulinesteen virtausnopeuden mittaaminen

Valtaosa luvussa 2.3 esitetyistä mittaustavoista ei sovellu hydraulioöljyn virtauksen mittaamiseen joko anturin rakenteellisista syistä, viskositeetin aiheuttamien ongelmien tai öljyn sähkönjohtamattomuuden vuoksi.

Hydraulinesteen, eli käytännössä öljyn, virtausta mitataan teollisuudessa tavallisesti mekaaniseen tunnusteluun perustuvilla virtausantureilla. Seuraavassa esitellään kaksi yleisintä öljyn virtausmittaukseen tarkoitettua anturia.

Pekka Pylkkänen

2.3.1.1 Turbiinianturi

Turbiinianturi on pyöriväsiipinen virtausmittari. Siinä on virtausputkeen sijoitettu, mahdollisimman kitkattomasti laakeroitu juoksupyörä, jonka pyörimisnopeus on verrannollinen läpivirtaavan öljyn keskimääräiseen virtausmäärään. Juoksupyörän pyörimisnopeutta mitataan sähköisellä pulssianturilla, eli mitä suurempi virtaus, sen suuremman pulssitaajuuden anturi

antaa. Turbiiniantureita valmistetaan laajalle mitta-alueelle (0,03–60000 l/min) ja ne voidaan rakentaa kestäväksi tuhansien baarien painetta. Turbiinianturit soveltuvat hyvin mittauksiin, joissa vaaditaan tarkkuutta. Niillä on mahdollista mitata lähes kaikkia kaasuja ja nesteitä, koska ne ovat tavallisesti kokonaan ruostumatonta terästä.



Kuva 6: Hydacin valmistama EVS 3100-turbiinianturi

Pekka Pylkkänen

2.3.1.2 Tilavuusvirtalaskija

Erilaisia tilavuusvirtalaskijoita on saatavilla varsin runsaasti ja ne voivat poiketa rakenteeltaan tai ulkonäöltään toisistaan huomattavasti. Kaikkien niiden



toimintaperiaate on kuitenkin sama. Tilavuusvirtalaskijassa virtaava aine siirretään mittalaitteen läpi tietyn suuruksina tilavuuksina ja tietyssä ajassa siirtyneiden tilavuuksien lukumäärästä saadaan laskettua tilavuusvirta.

Kuva 7: Ruuvimallinen tilavuusvirtalaskija halkaistuna.

Laskijan mekanismi on siis jatkuvassa liikkeessä, jonka nopeus on virtausmäärään verrannollinen. Motoristen laskijoiden toiminta perustuu pääasiassa mäntä-, rengasmäntä- hammasratas- tai ruuvimalleihin. Myös tilavuusvirtalaskijassa pyörimisnopeutta mitataan sähköisellä pulssianturilla.

Tilavuusvirta-laskijoilla päästään huomattavan korkeaan mittatarkkuuteen. Tarkkuus voi olla jopa $\pm 0,2\%$, mutta painehäviö saattaa maksimikuormituksella kohota 0,2–1 bar.

Pekka Pylkkänen

2.3.2 Kaasun virtausnopeuden mittaaminen

Kaasun virtausmäärän mittaamiseen on kehitetty enemmän menetelmiä, kuin öljyn virtauksen mittaamiseen.

Mekaaniseen tunnusteluun perustuvat mittalaitteet:

- Siivikkomittarit, eli pyöriväsiipiset virtausmittarit
- Paine-eroon perustuvat mittalaitteet
- Patopaineeseen perustuvat mittalaitteet
- Rotametrit

Termisiin mittaamenetelmiin perustuvat mittalaitteet:

- Kuumalanka- ja kuumakalvoanemometrit

Akustiseen tunnusteluun perustuvat mittalaitteet:

- Ultraäänianturit

Kaikki edellä mainitut eivät ole kovin laajasti käytössä nykyaikaisissa teollisissa sovellutuksissa. Tarkkuus suhteutettuna edulliseen hankintahintaan, toimintavarmuuteen tai riippumattomuuteen paineenmuutoksesta on tiiviisti yhteydessä eri mittalaitteiden yleisyyteen koneellisissa sovellutuksissa.

Raskaissa työkoneissa ja kulkuneuvoissa, termisiin mittaamenetelmiin perustuvat tekniikat ovat varsin yleisiä edullisen hankintahintansa ansiosta. Vaikka sovellutuksia on lukuisia, perusajatuksena

kaikissa on pitää sähkövirran avulla termisen elementti lämpimänä. Elementtiin, joka yleensä on lanka tai kalvo, syntyy termisen tasapainotila, kun siihen tuotu sähköinen lämmitysteho on samansuuruinen kuin kaasunvirtauksen aiheuttama jäähdysteho. Virtausnopeus saadaan mittaamalla tällöin elementin resistanssi.



Kuva 8: Bosch-lämpölanka-anturi

Pekka Pylkkänen

2.3.3 Virtausantureiden lähettämä signaali

Kappaleissa 2.3.1 ja 2.3.2 esiteltyjen virtausantureiden lähettämä signaali on pääsääntöisesti jännite- tai pulssitietoa. Saatavilla on myös vahvistimella varusteltuja virtausantureita, jotka muuntavat jänniteviestin virtaviestiksi.

Anturit, joissa on jokin liikkuva osa, kuten hammasratas, mäntä tai ruuvi, lähettävät tavallisesti pulssitietoa. Pulssitieto on peräisin virtausanturiin asennetusta induktiivisesta anturista, joka tunnustelee virtauksen aiheuttamaa mekaanista liikettä.

Antureissa, joissa ei ole liikkuvia komponentteja, perustuu mitattavan suureen tunnustelu resistanssin muutokseen. Mitattava virtaus jäähdyttää elementtiä, joka on saatettu termiseen tasapainotilaan syöttämällä sitä vakiovirralla.

Resistanssin muuttuminen ilmenee jännitteen muutoksena. (Mittaushetkellä on kuitenkin huomioitava, että jännitesignaali ei aina ole lineaarisessa suhteessa virtauksen määrään.)

Pekka Pylkkänen

2.4 Mittausten luotettavuus

Mittauksessa syntyvät virheet voidaan jaotella seuraavasti:

- a) **Karkeat virheet** lähes poikkeuksetta mitätöivät mittauksen tai aiheuttavat huomattavaa poikkeamaa mittatuloksissa. Ne saattavat johtua laitteiden vaurioitumisesta, laitteissa syntyneistä virhetoiminnoista tai inhimillisestä erehdyksestä.
- b) **Satunnaiset virheet** aiheutuvat useimmiten pienistä, toisistaan riippumattomista tekijöistä, jotka häiritsevät mittaustapahtumaa niin, ettei järjestelmä kykene tuottamaan samasta mitattavasta suureesta samaa tulosta toistuvasti. Kun mittauskertoja lisätään, satunnaiset virheet lähestyvät normaalijakaumaa.
- c) **Systemaattiset virheet** eivät poistu mittauskertojen määrää lisäämällä. Ne ovat tyypillisesti seurausta häiriöistä, joiden aiheuttaja on jokin pysyvämpi ilmiö. Tällaisia tekijöitä voi olla esim. mittausolosuhteet tai yksittäiseen anturiin syntynyt viruma. Systemaattiset virheet ovat ajan suhteen vakioita, mutta ovat riippuvaisia virheen luonteesta eli saattavat vaihdella mittausarvon mukaan.

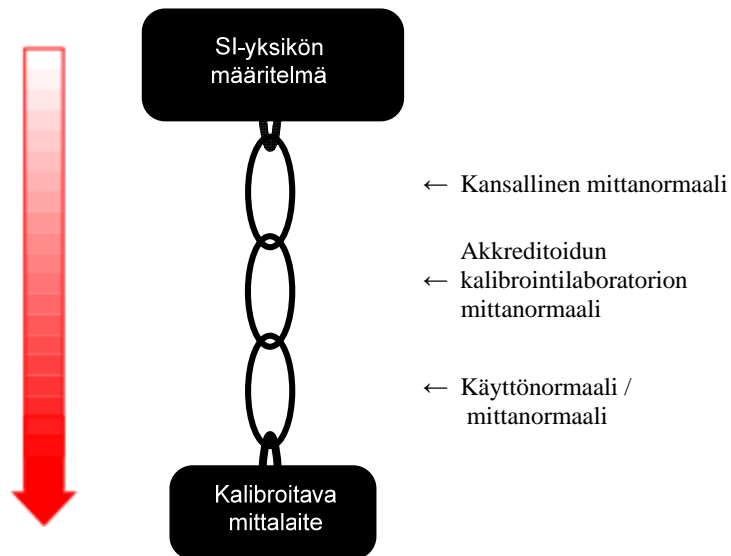
Vaikka kaikkia virhetyyppejä on mahdollista ainakin jossain määrin ennaltaehkäistä, on syytä keskittyä etenkin systemaattisten virheiden eliminointiin. Itse anturin aiheuttamaa systemaattista virhettä on mahdollista vähentää kalibroinnilla. Ideaalitapauksessa anturin aiheuttama systemaattinen virhe saadaan tehtyä merkityksettömäksi.

Pekka Pylkkänen

2.4.1 Kalibroinnin merkitys

Mittaustulosten on oltava vertailukelpoisia olosuhteista ja testaustavasta riippumatta. Niiden on siis perustuttava yleisesti hyväksytyihin mittanormeihin. Kalibroinniksi kutsutaan toimenpidettä, jossa käyttömittauslaitetta verrataan paikalliseen varmennettuun käyttönormaaliin. SI-yksikköön perustuvilla mittauksilla on nk. jäljitettävyys. Tällä tarkoitetaan, että käytettyä mittalaitetta on vertailtu toiseen, kalibroitiketjussa sitä aikaisemmin olevaan, mittalaitteeseen. Kalibroitiketju päättyy lopulta SI-yksikön määritelmään.

Mittausten jäljitettävyys ja kalibroitiketju voidaan esittää seuraavalla kuvalla:



Kuva 9: Kalibroitiketju

Ketjun vasemmalla puolella oleva punainen nuoli kuvaa mittausvirheen mahdollisuuden lisääntymistä.

Pekka Pylkkänen

Kalibroinnissa pyritään siis selvittämään referenssinormaalien ja mittalaitteen näyttämien väliset yhteydet, systemaattiset virheet ja epälineaarisuudet tiettyinä kalibrointiajankohtana ja tunnetuissa olosuhteissa. Korkean mittausvarmuuden saavuttamiseksi on kalibrointeja tehtävä useita. Mittausepävarmuus arvioidaan alussa suureksi ja vasta useiden kalibrointien ja käyttökokemuksen myötä sitä voidaan pienentää.

Mittauslaitteiden kalibrointi ei ole itsetarkoitus, vaan jokaisen mittauksen yhteydessä tulee arvioida kalibrointitarve, ottaen huomioon mittauksen tarkkuusvaatimus sekä käytettävä mittalaite ja tiedonkeruujärjestelmä. Kalibrointimenettelyjen tarve ja toteutus siis saattavat vaihdella voimakkaasti.

2.4.2 Antureiden kalibrointi

Anturityypistä riippumatta, pyritään kalibroinnissa pitämään olosuhteet vakioina. Kalibrointi on pätevä vain tilanteissa, joissa ympäristötekijät ovat kalibroinnin mukaisessa vakioarvossa.

Kalibrointihetkellä verrataan tarkasteltavan anturin ulostuloa käyttönormaalina toimivan toisen laitteen antamaan mittaustulokseen. (Nyrkkisääntönä pidetään, että käyttönormaali on noin kymmenen kertaa tarkempi kuin valmistajan ilmoittama tarkkuusarvo kalibroinnin kohteelle.) Anturityypeille on saatavilla valmistajien ilmoittamat vahvistukset, tarkkuudet ym. suoritusarvot.

Kalibroinnissa havaitun poikkeaman korjaamiseksi, on mittalaite viritettävä. Tällä pystytään eliminoimaan mittalaitteen aiheuttamat systemaattiset virheet mittaustuloksessa. On tavallista, että nykyisin saatavilla olevat anturit eivät ole rakennettu kalibroitaviksi. Anturinvalmistajat tarjoavat malleja, joiden oletetaan säilyttävän riittävän tarkkuuden läpi niiden käyttöiän. Mikäli systemaattista

Pekka Pylkkänen

virhettä on kuitenkin havaittavissa, mittalaitteen viritys voidaan korvata esim. korjauskertoimella, joka kompensoi virheen. Tavallisesti mittalaitteen signaali on kuitenkin eri yksikköjärjestelmässä kuin mitattava suure. Tällöin on määriteltävä muunto- tai kalibrointikertoimet, joilla mittausviesti muunnetaan halutuksi suureeksi. Esimerkiksi nykyaikaiseen tiedonkeruujärjestelmään voidaan määritellä offset- ja kulmakertoimet, joilla sähköisten antureiden virta- tai jänniteviestit saadaan korjattua osoittamaan todellista mittausarvoa.

Anturien mukana saattaa seurata yksilökohtainen, jäljitettävissä oleva kalibrointitodistus tai sen voi tilata anturin hankinnan yhteydessä lisämaksusta. Myös vanhoja antureita on mahdollista lähettää uudelleen kalibroitavaksi.

Kokemusten mukaan anturit, jotka eivät sisällä liikkuvia osia, eivät myöskään ajan myötä menetä herkkyyttään tai tarkkuuttaan siinä määrin, että siitä aiheutuisi ongelmia nyt suoritettavien kaltaisiin mittauksiin. Tämä edellyttää kuitenkin, että antureita on käytetty ja kohdeltu asianmukaisesti, ilman kolhimista tai nimellisarvojen ylitystä.

2.4.3 Mittausalue

Anturinvalmistajat ilmoittavat antureille ohjeellisen kuormitustason, jota ei saa ylittää. Kuormitustasoon on varattu tietty varmuusmarginaali suhteessa anturin varsinaiseen mittausalueeseen. Siksi mittauksarkkuuden maksimoimiseksi on oleellista varmistua, että oletettu mittausalue sopii valittavan anturin nimellisen mittausalueen sisään. Käytettävät suodattimet ja tiedonkeruujärjestelmät sanelevat tavallisesti mittausjärjestelmään valittavat anturit, koska antureiden hankintahinta on edullisempi ja niistä on helpommin löydettävissä parhaiten kokonaisuuteen sopiva vaihtoehto.

Pekka Pylkkänen

3 MITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Kiertovoitelujärjestelmän testausta varten haluttiin suunnitella mittausjärjestelmä, jossa samalla aikajanalla on mahdollista seurata useita paine- ja lämpötilatietoja, ilman ja öljyn virtausta, sekä porakoneen pyörimisnopeutta.

Toteutettu mittausjärjestelmä tallensi 18 eri kohdetta samanaikaisesti. Lopullisen tuotteen hyväksynnän tuotantolaitteisiin ratkaisevat mittausjärjestelmän tallentamat anturitiedot, öljyn ominaisuuksien seuranta ja porakoneen osien silmämääräinen tarkastelu.

Kaikkien mittausjärjestelmän toimintaan vaikuttavien tekijöiden huomiointi jo ennen varsinaisen kestotestin aloitusta, osoittautui todella hankalaksi. Järjestelmää kuitenkin paranneltiin läpi koko testin mm. vaihtamalla antureiden tai johdotusten paikkoja ja suojaamalla tiettyjä, olosuhteille alttiita kohteita paremmin.

Järjestelmää suunniteltaessa otettiin huomioon ylläpidon vaivattomuus ja myös mahdollisten vikatilanteiden syntyminen. Antureiden, johtojen ja muiden käytettyjen osien valintaan vaikutti myös se, kuinka helposti ja nopeasti ne olisi tarvittaessa voitu korvata uusilla. Kaikki mittauksessa käytetyt osat olivat mittalaitetoimittajien vakiokomponentteja, eikä niihin tehty muutoksia. Näin ollen vaurioituneiden komponenttien tilalle oli mahdollista vaihtaa korvaava, jonkin pakollisen keskeytyksen, esim. tankkauksen, yhteydessä.

Pekka Pylkkänen

3.1 Mitattavat kohteet

Alla luetellaan mitatut suureet, niiden mittaamiseen valitut anturit, anturien mitta-alueet ja asetetut näytteenottotaajuudet.

Mittauksen kohde	Anturi	Mitta-alue	Näytteenotto-taajuus
Säiliölle palaavan ilma-öljyseoksen lämpötila, heti porakoneen jälkeen	Hydac ETS 7246-A-000	-25...+100 °C	0,10 Hz
Säiliölle palaavan ilma-öljyseoksen lämpötila, juuri ennen säiliötä	Hydac ETS 7246-A-000	-25...+100 °C	0,10 Hz
Säiliölle palaavan ilma-öljyseoksen paine, juuri ennen säiliötä	Trafag NAH10,0A	0...10 bar	10 Hz
Porakoneelle menevän öljyn paine, ennen kuristinta	Trafag NAH25,0A	0...25 bar	10 Hz
Porakoneelle menevän öljyn paine, kuristimen jälkeen	Trafag NAH25,0A	0...25 bar	10 Hz
Porakoneelle menevän ilman paine	Trafag NAH10,0A	0...10 bar	10 Hz
Porakoneelta palaavan ilman paine	Trafag NAH10,0A	0...10 bar	10 Hz
Porakoneen pyörytyksen paine	Trafag NAH250,0A	0...250 bar	10 Hz
Porakoneen syötön paine	Trafag NAH250,0A	0...250 bar	10 Hz
Porakoneen iskun paine	Trafag NAH250,0A	0...250 bar	10 Hz
Pintalämpötila porakoneen huuhtelupesältä	Pt 100	-200...+850°C	0,10 Hz
Pintalämpötila porakoneen vaihteistolta (1. mittauspiste)	Pt 100	-200...+850°C	0,10 Hz
Pintalämpötila porakoneen vaihteistolta (2. mittauspiste)	Pt 100	-200...+850°C	0,10 Hz
Porakoneen runkolaakerin lämpötila	Termoelementti TF 602	-200...+850°C	0,10 Hz
Porakoneelle lähtevän öljyn lämpötila säiliöltä	Hydac ETS 7246-A-000	-25...+100 °C	0,10 Hz
Porakoneelle lähtevän ilman määrä	IFM SD 6000	0...1000 cm ³ / min	10 Hz
Porakoneelle lähtevän öljyn määrä	Kral OMG20	0...30 l/min	10 Hz
Porakoneen pyörimisnopeus	Omron	ei tiedossa	10 Hz

Taulukossa esitellyt anturi-, mitta-alue- ja taajuusvalinnat eivät olleet absoluuttisia, vaan tarjolla olisi ollut muitakin toimivia ratkaisuja.

Pekka Pylkkänen

3.2 Mittausjärjestelmälle ja anturoinnille asetetut vaatimukset

Kiertovoitelujärjestelmän kestotesti pitää sisällään kaksi vaihetta. Molemmat vaiheet suoritettiin kenttäolosuhteissa ja niiden kestoksi oli alkujana kaavailtu 100 iskutuntia. Tarkoituksena oli siis rakentaa järjestelmä, joka sietäisi useiden kuukausien mittaisen työskentelyn ulkoilmassa, vaihtuvissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa.

Tiedonkeruujärjestelmän tuli kyetä tallentamaan samanaikaisesti 16 analogiasignaalia ja 2 pulssisuhdetta. Koska kestotesti oli niin pitkä, voitiin etenkin lämpötila-antureiden mittaustaajuus pitää suhteellisen alhaisena. Järjestelmän oli kyettävä tallentamaan mittausdataa mahdollisimman pitkältä ajanjaksolta.

Porakoneen käytöstä aiheutunut pitkäkestoinen ja korkeataajuuksinen värinä oli huomioitava anturointia ja johdotusta suunniteltaessa. Valtaosa antureista asennettiin porakoneen välittömään läheisyyteen, jossa riski värinän aiheuttamille vaurioille oli suurin. Anturit eivät siis saaneet olla kiinnitettyinä mihinkään, porakoneeseen jäykästi yhteydessä olevaan rakenteeseen. Lämpötila-anturoinnin osalta vaatimus oli osittain mahdoton toteuttaa, koska esim. pintalämpötila-anturit oli asennettava kiinteästi porakoneeseen..

Pidemmät kaapeloinnit tehtiin yleisesti käytössä olevilla, vakiomittaisista M12-liitinkaapeleilla ja kaapeleiden reitit valittiin huoltoystävällisesti. (Eli kun mittausjärjestelmässä anturin ja tiedonkeruujärjestelmän väliin kytketty kaapeli vaurioitui, oli uusi johto varastosta saatavilla ja vaihdettavissa helposti vaurioituneen tilalle.)

Pekka Pylkkänen

4 LAITTEISTON ESITTELY

4.1 Anturointi

Jokaisen kohteen mittausta varten oli tarjolla lukuisia erilaisia ja erityyppisiä antureita, joiden toimintaa käydään läpi yksityiskohtaisemmin kappaleessa 2. Seuraavissa kappaleissa esitellään anturit, jotka valittiin toteutettuun mittausjärjestelmään.

4.1.1 Paineen mittaus

Mittauksen kohteena oli porauksen ja kiertovoitelun toimintaan liittyvien paineiden käyttäytyminen. Valittiin anturit, jotka soveltuivat kokonsa ja mittausalueensa puolesta mittauskohteisiin. Myös suojausluokan tuli olla riittävän korkea, jotta pöly- ja kosteusvaurioilta vältyttäisiin.

Mittajärjestelmään kytkettiin kolmenlaisia paineantureita. Kaikki käytetyt paineanturit olivat **Trafag NAH**-sarjan antureita. Eri kohteisiin kytketyt paineanturit eivät ulkoisesti eronneet toisistaan lainkaan, vaikka niiden mittausalueet poikkesivat huomattavasti. Trafag NAH:n toiminta perustuu kappaleessa 2.1.2 esitettyyn pietsoresistiivisen anturin periaatteeseen. Trafag:issa pietsoresistiivisenä komponenttina toimii teräkseen kiinnitetty ohutkalvo.

Pekka Pylkkänen

Mitta-alue	0...10 bar 0...25 bar 0...250 bar
Ulostulosignaali	4...20 mA
Syöttöjännite	8 V...32 V
Paino	~50 g
Suojausluokka	IP 67
Ylipaineensieto	10 bar anturi ⇒ 20 bar 25 bar anturi ⇒ 50 bar 250 bar anturi ⇒ 500 bar
Tarkkuus	< ±0,5 % (+25 °C)
Materiaali	Ruostumaton teräs



Kuva 10: Paineiden mittaukseen käytetty Trafag NAH-anturi, kytkettynä mittaletkuun ja M12/M8-anturikaapeliin.

Paineanturien sijoittelussa ensisijaisena tekijänä oli johdotuksen vaivattomuus. Johdotusreitti porakoneelta laitteen hyttiin altistui eniten rasitukselle ja vaurioille, joten erillisiä johtoja tuli olla mahdollisimman vähän. Kaikki porakoneen toimintoja mittaamaan kytketyt, virtaviestilliset Trafag-painelähettimet ja Hydac-lämpötilalähettimet oli mahdollista liittää samaan moninapaiseen johtimeen ja sijoitettiin siksi aivan porakoneen läheisyyteen. Koska kiertovoitelujärjestelmää testattiin varsin pitkään, eikä tarkoituksena ollut

Pekka Pylkkänen

hakea paineenmittauksella esim. yksittäisiä painepiikkejä tai paineen värinöitä, riittäväksi paineenmittaustaajuudeksi valittiin suhteellisen harva, 10 Hz.

Paineantureiden kalibrointi

Paineen mittaukseen tarkoitetuissa antureissa, jotka perustuvat esim. venymäliuskasiltoihin tai induktiivisiin siltoihin, vikaantuminen ilmenee ensimmäisenä nollapisteen siirtymänä. Voidaan siis olettaa, että anturi säilyttää riittäväällä tarkkuudella herkkyytensä, lineaarisuutensa ja muut oleelliset ominaisuutensa, vaikka tasapainotus vaatisi offset-arvon korjausta.

Paineantureiden kalibroinnissa anturin mitta-arvoa verrataan paikalliseen käyttönormaliin. Tätä toimenpidettä varten mittausjärjestelmään valitut anturit kytkettiin kalibrointilaitteeseen. Laite kehittää halutun suuruisen hydraulisen paineen siihen asetettujen punnusten avulla. Kun oikea punnusmäärä on asetettu paikoilleen kalibrointilaitteen lautaselle, lautanen tasapainotetaan ja saatetaan pyörimään, jolloin eliminoiduu kitkan aiheuttama mittavirhe.



Kuva 11: Kalibrointilaitte paineantureille. Kuvassa kaksi anturia kytkettynä.

Pekka Pylkkänen

4.1.2 Öljyn ja ilman lämpötilojen mittaus

Mittauksen kohteena oli järjestelmän sisällä virtaavien öljyjen ja ilma-öljyseosten lämpötila. Valittiin anturi, joka sietää painetta, roiskeveden vaikutusta, oli helppo kytkeä järjestelmään ja soveltuisi kokonsa puolesta mittaushetkeisiin. Anturin kiinnitys tuli olla tiivis ja ruuvattava.

Öljyn ja ilmaöljy-seoksen lämpötilojen mittaukseen valittiin **Hydac ETS 7246-A-000**-lämpötila-anturi. Anturin toiminta perustuu kappaleessa 2.2.1.2 esitettyyn periaatteeseen, eli anturin sisällä olevan elementin vastusarvo muuttuu lämpötilamuutoksen seurauksena. Hydac:issa resistiivisyyden muutosta mitataan piistä valmistetusta puolijohdekomponentista.

Vakiojännitteellä syötetyn pii-kappaleen vastusarvon muutos ilmenee virran muutoksena, jonka sisäänrakennettu vahvistin muuntaa mittalaitteille soveltuvaksi, eli tässä tapauksessa 4–20 mA.



Kuva 12: Hydac ETC 7246

Mitta-alue	-25 °C...+100 °C
Ulostulosignaali	4...20 mA
Syöttöjännite	8 V...32 V
Paino	~50g
Suojausluokka	IP 67
Paineensieto	900 bar
Tarkkuus	< ±1.5 %
Materiaali	Ruostumaton teräs

Pekka Pylkkänen

Lämpötila-antureita ei ollut mahdollista sijoitella yhtä vapaasti kuin paineantureita. Porakoneen läheisyyteen sijoitettu lämpötila-anturi jouduttiin vaihtamaan ja uusi anturi siirtämään etämmälle porakoneesta, koska kiinteästi porakoneeseen ruuvattuna se oli altis värinän aiheuttamille vaurioille. Kaksi muuta Hydac-lämpötilalähetintä sijoitettiin kiertovoitelusäiliölle poralaitteen perään. Kiertovoitelusäiliölle sijoitettuina ne eivät altistuneet yhtä suurelle rasitukselle, kuin porakoneelle asennettu anturi.

Lämpötilalähettimien mittaustaajuudeksi valittiin 0,1 Hz, koska mitattavien kohteiden lämpötilanmuutosten tiedettiin tapahtuvan hitaasti.

4.1.3 Pintalämpötilojen mittaus

Mittauksen kohteena olivat porakoneen kriittisten osien pintalämpötilat. Pintalämpötilat haluttiin selvittää porakoneen huuhtelupesältä, vaihteistolta ja runkolaakerilta. Lämpeneminen tai jopa ylikuumeneminen kielii porakoneen osien voitelun ja jäähtytyksen riittämättömyydestä. Liian korkea lämpötila myös muuttaa voiteluöljyn kemiallista rakennetta.

Porakoneen sisään asennettu lämpötila-anturi oli ulkonäöltään erilainen kuin ulkopuolelle asennetut. Porakoneelle asennetut pintalämpötila-anturit valittiin muotonsa perusteella. Ne kaikki olivat

vahvistamattomia Pt-100-antureita, joiden toimintaa ja käyttöä käsitellään kappaleissa 2.2.1.2 ja 2.2.2. Kyseiset anturit soveltuvat yksinkertaisen rakenteensa vuoksi vaativiinkin kohteisiin. Vahvistamattomat Pt-100-anturit



Kuva 13: Pintalämpötilojen mittaukseen soveltuva Pt-100-anturi.

Pekka Pylkkänen

sietävät todella hyvin kosteutta, tärinää ja pölyä, ellei niihin kohdistuva fyysinen rasitus kasva liian kovaksi ja vaurioita antureita ulkoisesti.

Mittaustaajuudeksi vahvistamattomille Pt-100-antureille valittiin 0,1 Hz, joka on sama kuin kaikille muillekin lämpötila-antureille. Mittaustaajuus on varsin alhainen, koska mitattavat kohteet olivat terästä ja kooltaan useiden kilojen painoisia. Lämpötilamuutosten tiedettiin siis tapahtuvan suhteellisen hitaasti.

Kohdassa 2.2.1.3 esitelty pyrometri voisi soveltua vastaaviin mittauksiin, mikäli olosuhteet eivät olisi niin vaihtelevia pölyisyyden ja kosteuden vuoksi.

Lämpötila-antureiden kalibrointi

Toteutetussa mittausjärjestelmässä, lämpötila-antureiden luotettavuus varmennettiin vertaamalla niitä toisiinsa, eli varsinaista kalibrointia ei tarvittu. Tämä olisi ollut saavutettavaan hyötyyn nähden liian työlästä ja aikaa vievää. Kaikki anturit olivat uusia ja näin ollen tehdaskalibroituja. Mittausjärjestelmän asennus suoritettiin olosuhteiltaan stabiilissa tilassa. Asennuksen jälkeen antureiden annettiin asettua vallitsevan lämpötilaan riittävän kauan. Kun mitattava kiertovoitelujärjestelmä ja mittalaitteet olivat vakiintuneet ympäristön lämpötilaan, vertailtiin antureiden antamia arvoja toisiinsa. Jokainen nyt mitattu lämpötila-arvo poikkesi lämpötilojen keskiarvosta vähemmän, kuin valmistajan ilmoittama $\pm 1,5$ %.

Mikäli jonkin Pt-100-anturin antama lämpötila-arvo olisi poikennut enemmän, kuin valmistajan ilmoittama $\pm 1,5$ % keskimääräisestä lämpötila-arvosta, olisi anturi korvattu uudella, koska offset-arvon lisääminen tiedonkeruujärjestelmään ei niiden kohdalla ole mahdollista. (Mikäli Hydac:in valmistamissa

Pekka Pylkkänen

virtaviestillisissä antureissa olisi esiintynyt poikkeamaa, olisi niiden nollakohta voitu tasapainottaa muuttamalla tiedonkeruujärjestelmän offset-arvoa.)

4.1.4 Öljyn virtauksen mittaus

Kiertovoitelun toiminnan selvittämisen kannalta oli oleellista seurata myös niskanvoiteluöljyn virtausta. Virtausanturin aiheuttama painehäviö mittauskohteessa ei ollut oleellista, vaan ainoastaan mahdollisimman



Kuva 14: Niskanvoitelun mittaukseen valittu Kral OMG20-tilavuusvirtalaskuri

tarkkaan lopputulokseen pääseminen. Tähän tarkoitukseen valittiin Itävaltalaisen Kralin valmistama virtaus-anturi **Kral OMG20**. Kyseessä on tilavuusvirtalaskuri, jonka toimintaperiaate on esitetty yksityiskohtaisesti kappaleessa 2.3.1.2. (Kral OMG20:n maksimivirtaus,

$Q_{\max} = 45 \text{ l/min}$) Anturi lähettää

tiedon virtausmäärästä pulssitaajuutena, impulssia/litra. Koska mittalaitteeksi valittiin tilavuusvirtalaskuri, ei suoraa putkipituutta virtauksen laminarisoimiseksi tarvittu.

Mitta-alue	0,3...45 l/min
Ulostulosignaali	640 imp/l
Syöttöjännite	0...32 V
Paino	4,1 kg
Suojausluokka	IP 65
Paineensieto	250 bar
Tarkkuus	±0,1 %
Materiaali	Maalattu teräs

Pekka Pylkkänen

Öljyn virtausanturin kalibrointi

Virtausanturi Kral OMG20 on periaatteeltaan erittäin toimintavarma ja sillä on erittäin korkea mittaustarkkuus. Kralin tarkkuus saattaa heikentyä runsaan käytön aiheuttaman kuluman seurauksena, tai mikäli anturia käytetään ohjeistettua virtaussuuntaa vastaan. Kalibroinnissa Kral-virtausanturi kytkettiin sarjaan referenssianturin kanssa. Referenssianturiksi valittiin tehdaskalibroitu anturi, jota ei ole käytetty kenttäolosuhteissa, ja joka voitiin siten arvioida vähemmän kuluneeksi. Poikkeama huomioitiin tiedonkeruujärjestelmää konfiguroitaessa.

4.1.5 Ilman virtauksen mittaus

Kestotestin aikana ilmavirtauksen letkutusta muuteltiin ja paranneltiin. Tällä haluttiin löytää ideaalinen ilmamäärä, jolla järjestelmä toimii moitteettomasti. Ilmavirtauksen mittausta varten valittiin Saksalaisen IFM Electronic:in valmistama **IFM SD 6000**-ilmavirtausanturi.

Anturi valittiin sen sopivan paineensiedon, mittausalueen ja -tarkkuuden perusteella. IFM SD 6000 perustuu kalorimetrisen mittausperiaatteeseen, eli mitataan ilmavirtauksen aiheuttamaa muutosta termoelementissä. Toimintaperiaate, joka esitellään kappaleessa 2.3.2, on sama kuin kuumalanka- ja kuumakalvoanemometreissä. Anturi mittaa standardia ISO 2533 mukailleen tilavuusvirtaa, joka on riippumaton lämpötilan ja paineen vaihteluista. Näin poistuu eri tekijöiden aiheuttama kompensointitarve. Valmistaja on lisäksi ilmoittanut anturille varsin lyhyen vasteajan, $<0,1$ s.

Pekka Pylkkänen

Anturissa on varsin korkea mittaus- ja toistotarkkuus. Tätä edesauttaa anturiin asennettu kiinteä mittausputki, jonka läpi virtausta mitataan. Mittausputken pituus ennen anturielementtiä, on 10 kertaa putken sisähalkaisija ja anturielementin



Kuva 15: Ilmamäärämittaukseen valittu IFM SD 6000-ilmavirtausanturi

jälkeen 5 kertaa sisähalkaisija. (Mitoitus noudattaa yleisesti tunnustettua periaatetta virtauksen aksiaalisymmetrisyydestä ja näin saavutettavasta ideaalitarkkuudesta.)

Kun SD 6000-anturia käytetään virtauksenvalvonnassa, on mahdollista valita analogia- tai pulssilähtö. Anturia on

mahdollista käyttää myös määrälaskurina tai esivalintalaskurina. Nyt suoritettua ilmamäärämittauksesta varten valittiin analoginen lähtöviesti.

Mitta-alue	4...1250 NI/min
Ulostulosignaali	4...20 mA (analogiatulo) 800 imp/l (pulssitulo)
Syöttöjännite	19...30 V
Virrankulutus	<100 mA
Suojausluokka	IP 65
Paineensieto	16 bar
Tarkkuus	±3 % mittausarvosta (+ 0.3 % mittausalueen loppuarvosta)
Materiaali	Ruostumaton teräs, keramiikka ja polyesteri

Anturissa on lisäksi sisäänrakennettuna digitaalinäyttö ja LED-valot, joista anturin mittaama arvo oli mahdollista tarkistaa ilman PC:tä.

Pekka Pylkkänen

Anturin sijainnilla ei ollut suurta merkitystä, joten se sijoitettiin laitteen perään, josta digitaalinäyttö oli helposti luettavissa. Mittaustaajuudeksi valittiin 10 Hz.

Ilman virtausanturin kalibrointi

Kiertovoitelun ilmamäärän mittaukseen valittua anturia ei kalibroitu, koska tehdaskalibroidulla anturilla uskottiin saavutettavan riittävään suuri mittaustarkkuus. Anturi oli uusi ja käyttämätön. Mikäli kalibrointi olisi katsottu tarpeelliseksi, olisi vertailumittaus muihin ilmamääräantureihin ollut ainut tapa todentaa tarkkuus.

4.2 IMC Cronos-PL2

Cronos PL2 on Saksalaisen IMC:n (Integrated Measurement & Control Instrumentation) valmistama 16 bittinen tiedonkeruujärjestelmä. Se on IMC Cronos PL-sarjan pienin malli ulkoisilta mitoiltaan ja laiteesta on saatu kehitettyä erittäin kenttäkelpoinen. Cronos PL2:ssa on modulimainen rakenne, jossa ”emolevyyn” on mahdollista liittää erityyppisiä mittausvahvistimia ja muita erikoistoimintoja. Juuri ”emolevyyn” liitetyt moduulit määrittelevät laitteen käyttöominaisuudet ja rajoitukset. Nyt käytetyssä laitteessa mittausvahvistimena oli IMC:n UNI-8. UNI-8 on ominaisuuksiltaan monikäyttöinen ja suorituskyvyltäänkin kohtalaisen hyvä.

Cronos PL2:ssa on monipuoliset valintavaihtoehdot anturisyötöille, vahvistimille, suodattimille ja sovittimille, joten siihen on mahdollista kytkeä lähes kaikenlaisia mittausviestejä ja antureita. Käyttäjä voi valita mittadataa tallennettaessa halutun suodatuksen, mutta mittadataa on mahdollista suodattaa

Pekka Pylkkänen

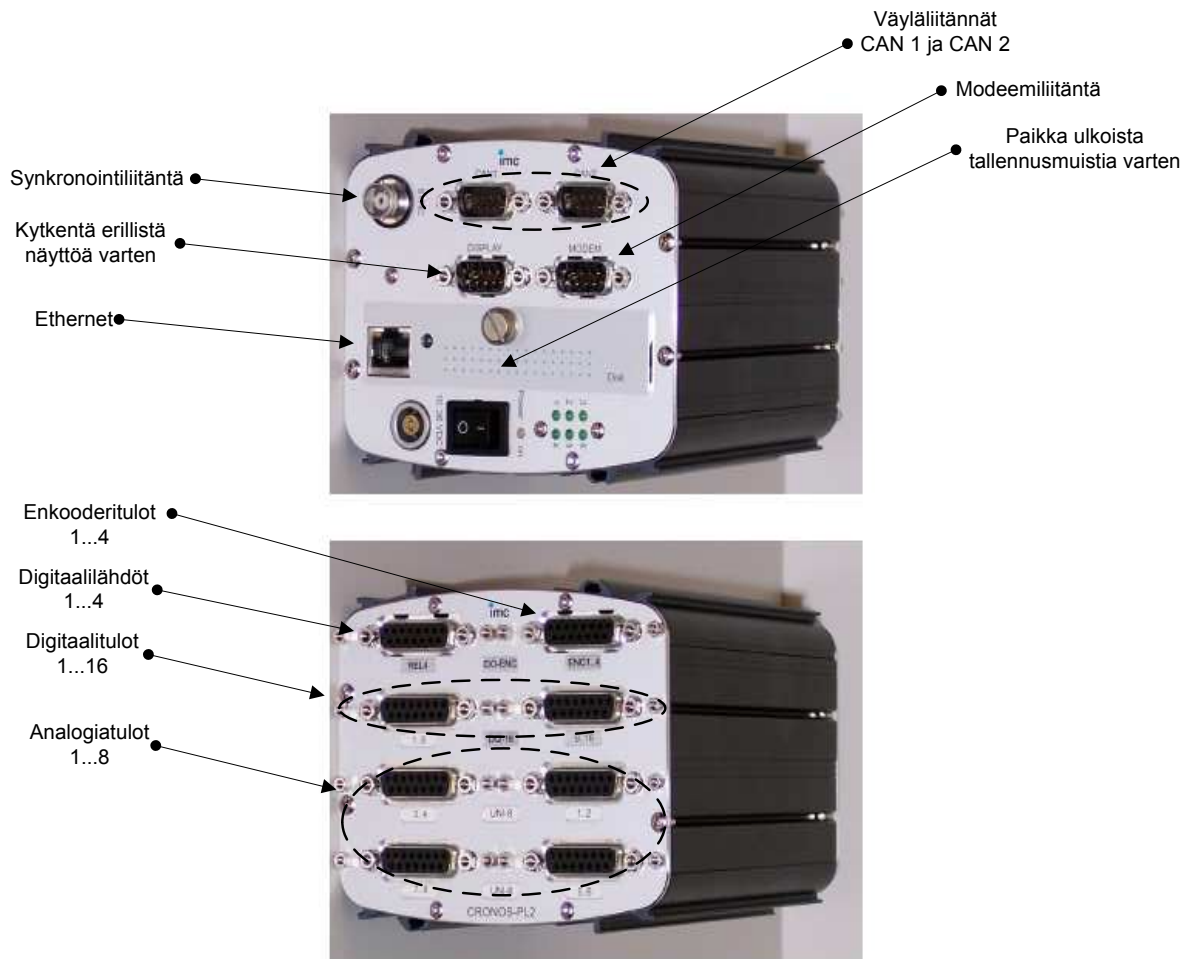
ja käsitellä vaivattomasti myös jälkeenpäin. PL2 soveltuu käytettäväksi myös online-mittauksiin.

Cronos PL2 tallensi mittadatan Compact Flash-muistikortille, jonka vaihto olisi tarvittaessa onnistunut nopeasti ja vaivattomasti. Mittauksissa käytetty 4 GB:n muisti riitti hyvin, eikä uutta korttia tarvinnut vaihtaa kesken mittausten.

UNI-8-vahvistimen määrittämät ominaisuudet mittausjärjestelmään valitussa PL2:ssa:

Analogiakanavia	8
Korkein mahdollinen mittaustaajuus/kanava	100 kHz
Kokonaismittaustaajuus	400 kHz
Kaistanleveys	14 kHz
Syöttöalue (V)	±5 mV...±50 V
Syöttöalue (A)	±1 mA...±50 mA
Syöttöalue (mittasilta)	±0,5 mV/V...±1000 mV/V
Tarkkuus	±0,1 % (ISO 9000 tarkastuskertomuksen mukaan)

Pekka Pylkkänen



Kuva 16: Mittauksissa käytetyn Cronos PL2:n liitännät

UNI-8-vahvistimella varusteltu PL2 tarjoaa mahdollisuuden myös:

- ✓ Differentiaaliseen jännitteenmittaukseen
- ✓ Virtamittaukseen
- ✓ Termoparimittaukseen
- ✓ Mittaukseen Pt-100-antureilla
- ✓ Venymäliuskamittaukseen

Pekka Pylkkänen

4.3 IMC Cansas

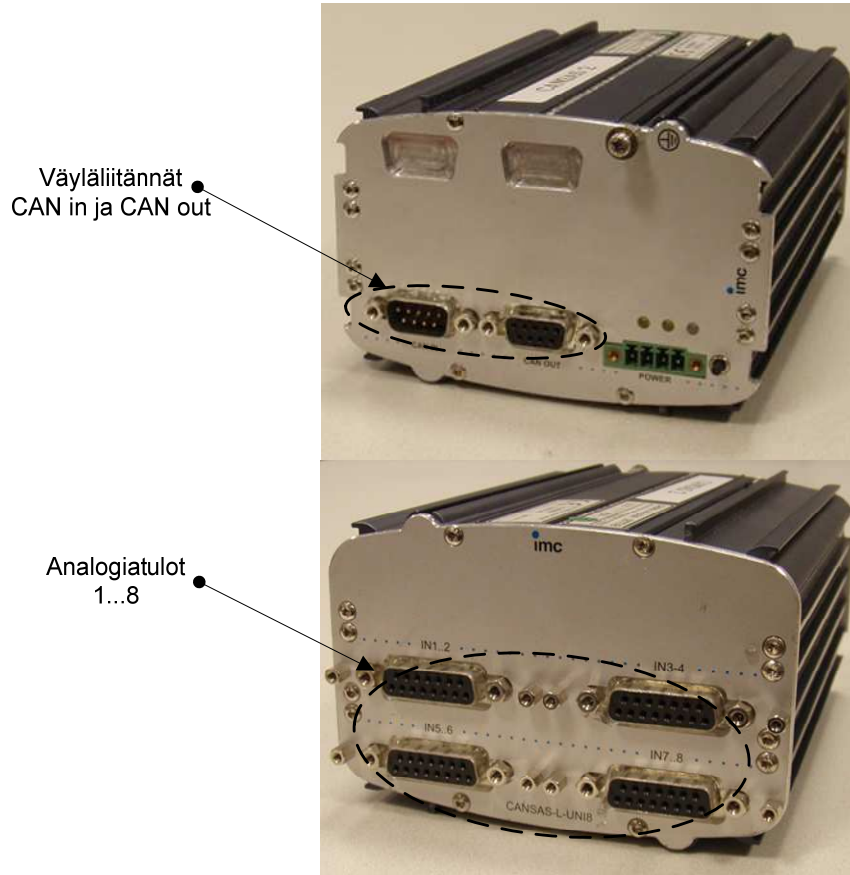
Cansas-moduli on IMC:n valmistama mittalaite, jolla on mahdollista lisätä Cronos PL2:n mittakanavamäärää. Cansas-moduleita on tarjolla useita erilaisia. Mittauksissa käytetyn laitteen tyyppi on L-UNI8. Cansas on ulkonäöltään pitkälti Cronos PL2:n kaltainen, paitsi että liitäntöjä on huomattavasti vähemmän. Cansas-modulia voidaan käyttää itsenäisenä CAN-väylään kytkettynä yksikkönä, tai niin kuin nyt, PL2:n laajennusosana. Tämä on edullisin tapa lisätä Cronos PL2:n kanavamäärää.

Vaikka Cansas L-UNI8 kykenee toimimaan itsenäisesti, ilman jatkuvaa ohjausta, toimii se mittausjärjestelmässä varsin ”aivottomana”. Tällä tarkoitetaan, että Cansas suorittaa jatkuvakestoisesti siihen konfiguroitua mittaustehtävää, lähettäen sen väylätietona Cronos PL2:een. Mittaustehtävä käynnistyy välittömästi, kun laitteeseen kytketään käyttöjännite. Cansas-modulissa ei siis ole omaa tallennuskapasiteettia tai suodatusta, vaan ainoastaan mittavahvistin, jolla voidaan syöttää antureita. Mittadatan suodatus ja tallennus suoritetaan Cronoksella.

UNI-8-vahvistimen määrittämät ominaisuudet nyt käytetyssä Cansas L-UNI8:ssa:

Analogiakanavia	8
Korkein mahdollinen mittaustaajuus/kanava	1 kHz
Kaistanleveys	190 Hz
Syöttöalue (V)	±5 mV...±60 V
Syöttöalue (A)	±1 mA...±50 mA
Syöttöalue (mittasilta)	±0,5 mV/V...±1000 mV/V
Tarkkuus	±0,1 % (ISO 9000 tarkastuskertomuksen mukaan)

Pekka Pylkkänen



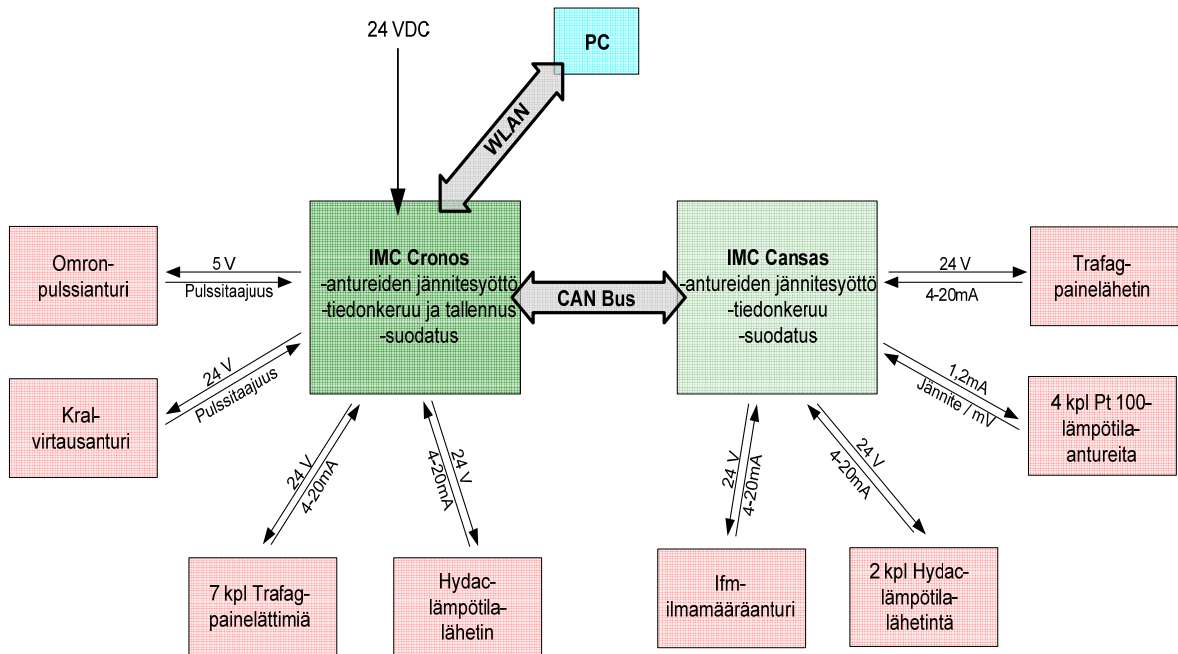
Kuva 17: Mittauksissa käytetyn Cansas L-UNI8:n liitännät

UNI-8-vahvistimella varusteltu Cansas L-UNI8 tarjoaa mahdollisuuden myös:

- ✓ Virtamittaukseen
- ✓ Termoparimittaukseen
- ✓ Mittaukseen Pt-100-antureilla
- ✓ Venymäliuskamittaukseen

Pekka Pylkkänen

5 PERIAATEKUVA TOTEUTETUSTA MITTAUSJÄRJESTELMÄSTÄ



Kuva 18: Mittausjärjestelmä kokonaisuudessaan. Kuvasta käy ilmi myös antureiden syöttöjännite tai -virta ja niiden lähettämän signaalin muoto.

Pekka Pylkkänen

6 TOTEUTETTAVAN MITTAUSJÄRJESTELMÄN ASENNUS

Mittausjärjestelmän komponentit oli suojattava, etenkin kosteuden muutoksilta, mahdollisimman hyvin. Koko järjestelmän herkeimmäksi kohdaksi muodostui väkisinkin tiedonkeruujärjestelmä. Tiedonkeruujärjestelmä IMC Cronos PL2 ja sen laajennusosa, Cansas L-UNI8-moduli, kiinnitettiin säänkestävään muovisalkkuun ja salkku sijoitettiin poravaunun ohjaamoon käyttäjän taakse. Koska tiedonkeruujärjestelmä oli sijoitettu hyttiin, voitiin sen käyttöjännite 10–30 VDC ottaa suoraan laitteen sähköjärjestelmästä ilman erillistä virtalähdettä. Mittausjärjestelmä sai käyttöjännitteen vain silloin, kun virta kytkettiin laitteen virta-avaimesta.



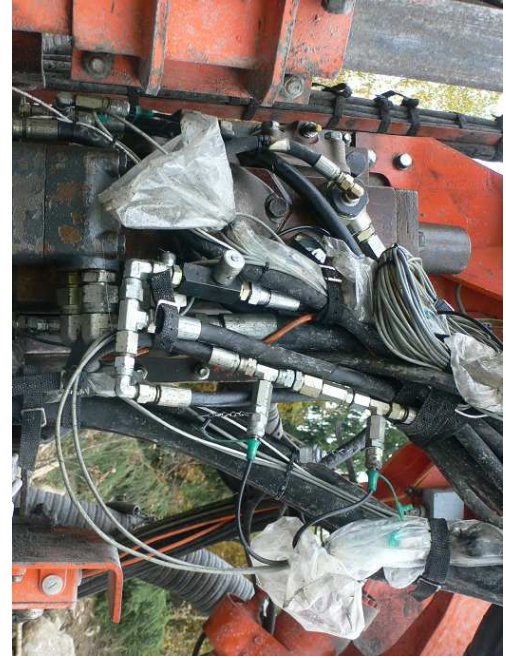
Kuva 19: Mittauksissa käytetyt Cronos PL2 ja Cansas L-UNI8, asennettuna muovisalkkuun

Pekka Pylkkänen

Porakoneen yhteydessä olevat paineanturit suljettiin suojapusseihin ja kiinnitettiin letkunippuihin. Jäykät hydraulikkaletkut voivat värinän vaikutuksesta vaurioittaa ohuita johtimia tai jopa katkaista ne. Johdot tuli siis kiinnittää nippuihin niin, etteivät ne päässeet kulkeutumaan letkujen väliin.

Kuva 20 ►:

Porakoneelle sijoitetut anturit suljettiin muovipusseihin suojaan pölyltä ja kosteudelta.



Pintalämpötila-anturit kiinnitettiin kohteisiinsa tarkoitusta varten tehdyillä metallilevyillä. Pintalämpötilan mittauksessa käytetyt, vahvistamattomat Pt-100-anturit, ovat rakenteeltaan erittäin yksinkertaisia ja sitä kautta suhteellisen toimintavarmoja ulkoisista rasitteista huolimatta. Jokainen, nyt käytetty Pt-100-anturi, vaati oman johtimen porakoneelta tiedonkeruujärjestelmälle laitteen hyttiin, koska niitä ei ollut mahdollista kytkeä virtaviestillisten antureiden kanssa moninapajohtimen kokoojakappaleeseen.

◀ **Kuva 21:** Porakoneen niskakappaleeseen kiinnitetty pintalämpötila-anturi (punainen ympyrä)

Pekka Pylkkänen

Kiertovoitelusäiliö, joka sijaitsee laitteen takaosassa, oli huomattavasti vaivattomammin anturoitavissa. Kiertovoitelusäiliölle sijoitettiin paine- ja lämpötila-antureiden lisäksi ilma- ja öljyvirtausta mittaavat anturit. Koneen takaosaan sijoitetut anturit eivät aiheuttaneet lainkaan vikatilanteita kestopestien kummassakaan vaiheessa, koska ne eivät altistuneet samankaltaiselle mekaaniselle rasitukselle, kuin porakoneen läheisyyteen asennetut.



Kuva 22: Öljymäärää mittaamaan kytketty Kral OMG20-tilavuusvirta-laskuri



Kuva 23: Ilmamäärää mittaamaan kytketty IFM SD 6000-ilmamääräanturi

Pekka Pylkkänen

7 MITTAJÄRJESTELMÄN KONFIGUROINTI

Valittu mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmä tarjoaa käyttäjälleen äärettömän määrän mahdollisuuksia anturivalintoihin, sekä erilaiseen suodatukseen ja laskentaan, joiden avulla mittadataa voidaan käsitellä jo tallennuksen yhteydessä.

Laitteiston konfiguroinnissa mittausjärjestelmä saatetaan toimimaan halutulla tavalla, mm. syöttämällä tiedot valituista antureista. Mikäli analogia- tai pulssianturit eivät ole rakennettu kalibroitaviksi, voidaan tallennusyksikkö konfiguroida huomioimaan mahdolliset poikkeamat.

7.1 Cronos PL2 konfigurointi

Cronoksen konfigurointia ja On-Line-mittauksia varten IMC on kehittänyt ohjelman **IMC Devices**. Ohjelman versio oli **2.6**. IMC Devices:in yleisilme on varsin pelkistetty ja ohjelman käyttö vaatii muutenkin totuttelua. Konfigurointi-ikkunat eivät ole loogisessa järjestyksessä, vaan esim. analogisia antureita varten käyttäjä joutuu käymään läpi useita erillään sijaitsevia näyttöikkunoita. Käyttö helpottuu käyttökokemusten karttuessa, kun käsitys IMC Devices:in logiikasta alkaa hahmottua.

Seuraavassa esitellään IMC Devices:iin asetetut parametrit, kun halutut mittauskanavat on ensin aktivoitu ja nimetty.

Kaikille antureille, tyypistä riippumatta, valitut asetukset:

- Anturilla suoritettavan mittauksen kesto (ajallinen kesto tai näytteiden lkm)
- Mittaustaajuus

Pekka Pylkkänen

Analogisia antureita varten valitut asetukset:

- Mittasignaalin muoto (jännite/virta)
- Mittasignaalin skaalaus ja yksikkö
(esim. 0,004 mA → 0 bar; 0,02 mA → 250 bar)
- Vahvistinkytkentä
- Syöttöjännite
- Mittausalue
- Mahdollinen offset-korjaus

Pulssiantureita varten valitut asetukset:

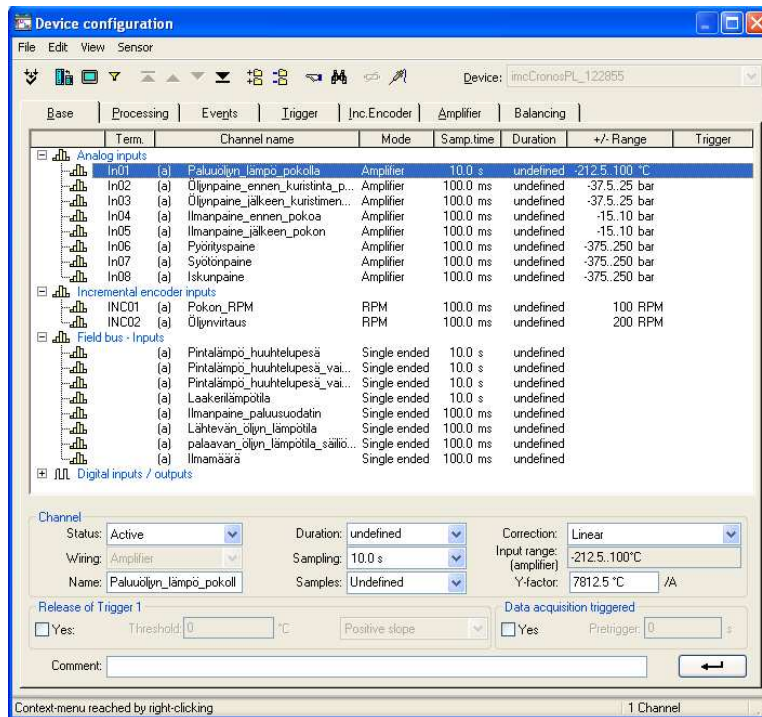
- Mittayksikkö
- Mittasignaalin skaalaus (impulssia/kierros)
- Maksimi kierroslukumäärä
- Hystereesi (V)
- Kytkentätaso (V)
- Eri signaalien määrä (yksi signaali vai kaksi signaalia)

Koska Cansas-moduli on liitetty Cronokseen CAN-väylällä, on

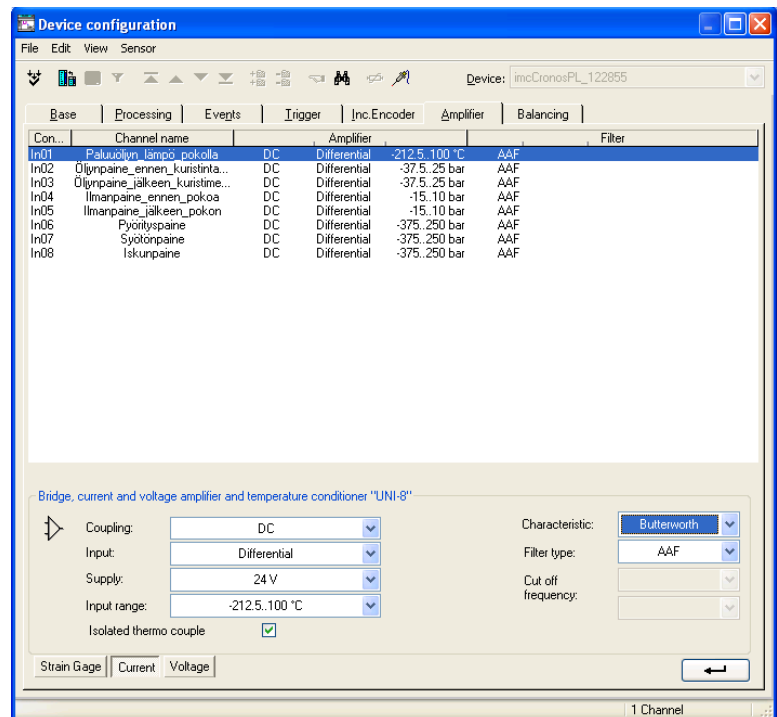
Cansasiin kytkettyjä antureita varten valittava oikeat väyläasetukset:

- Väylänopeus
- Viestin ID
- Datatavujen lukumäärä (1...8)
- Viestin muoto (esim. etumerkillinen/etumerkitön)
- Viestin aloitustavu (0...7)
- Viestin aloitusbitti (0...7)
- Viestin pituus
- Yksikkö
- Mittasignaalin skaalaus
- Offset-korjaus

Pekka Pylkkänen



Kuva 24: IMC Devices:in valintaikkuna, josta aktivoidaan halutut kanavat, nimetään ne, valitaan mittaustaajuus ja mittauksen kesto.



Kuva 25: IMC Devices:in valintaikkuna, jossa asetetaan analogiakanavien syöttö, valitaan suodatus ja oikea anturisignaali.

Pekka Pylkkänen

7.2 Cansas-modulin konfigurointi

Cansas-modulin konfigurointi tapahtuu ohjelmalla **CANSAS module configurator**. Ohjelman versio oli **1.4**. Verrattuna IMC Devices:iin, ohjelma on tavallaan loogisempi. Konfiguroinnissa käyttäjä voi edetä samaa järjestelmällistä polkua pitkin, anturin tyypistä riippumatta. Yleisilme on edelleen varsin pelkistetty, mutta ruutujen järjestely on toteutettu käyttäjäystävällisemmin, kuin IMC Devices:issa. Kun antureiden asetukset on saatu paikoilleen, ohjelma esittää kytkentäkaavion, jonka mukaan anturit tulee kytkeä mittalaitteeseen.

Seuraavassa esitellään CANSAS module configurator:iin asetetut parametrit.

Kaikille antureille, tyypistä riippumatta, valitut asetukset:

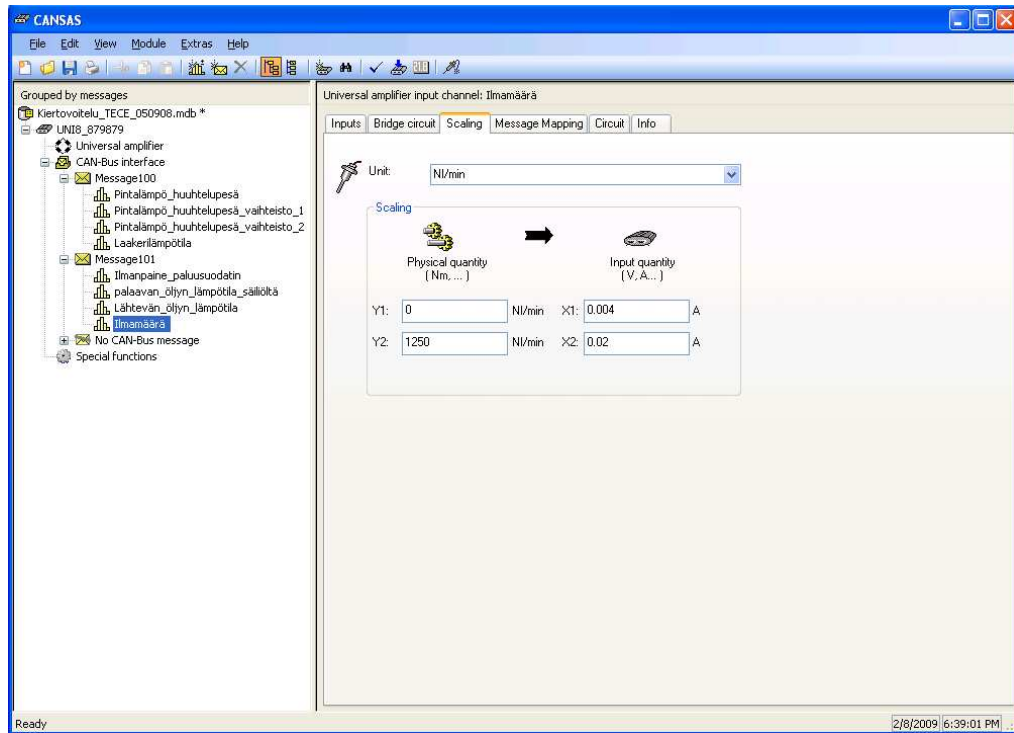
- Mittaustapa (esim. jännite-, virta, vastus- tai termoparimittaus)
- Mittausalue
- Mittaustaajuus
- Syöttöjännite

Mittauksissa käytetyt vahvistamattomat Pt-100-anturit eivät vaatineet muita anturikohtaisia asetuksia, kuin edellä mainitut.

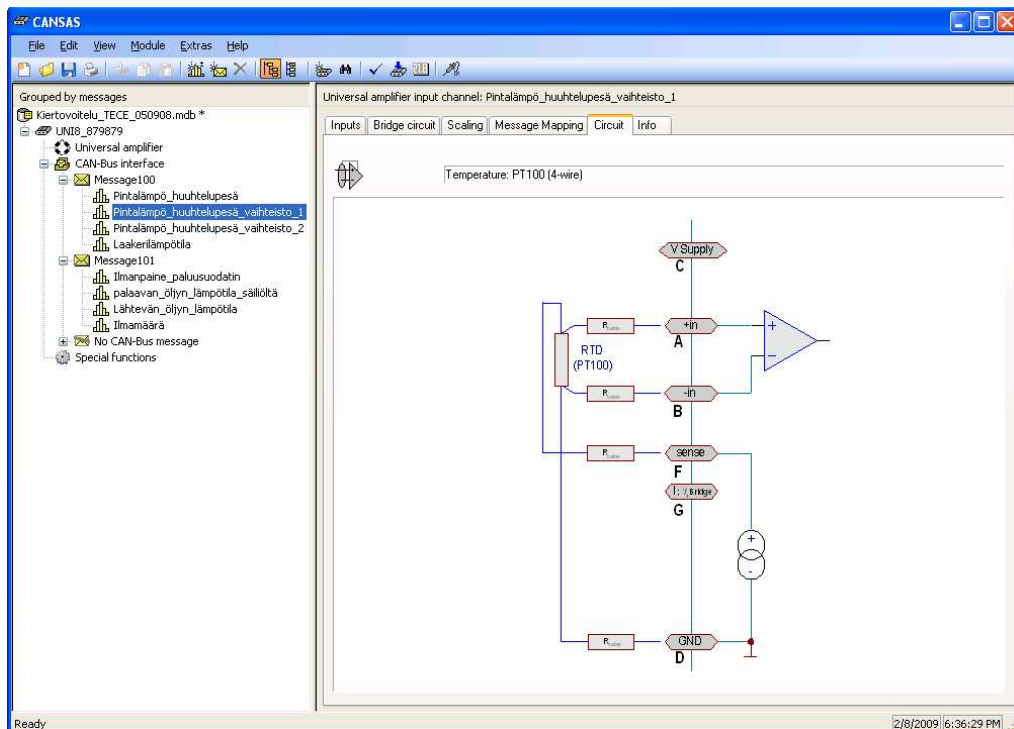
Analogisia antureita varten valitut asetukset:

- Mittayksikkö
- Mittasignaalin skaalaus

Pekka Pylkkänen



Kuva 26: CANSAS module configurator:in valintaikkuna, josta valitaan mittasignaalin skaalaus.



Kuva 27: CANSAS module configurator esittää myös kytkentäpiirroksen konfiguroitavalle anturille, mikä helpottaa asennustyötä.

Pekka Pylkkänen

7.3 Mittaustulosten tallennus ja Disk start-toiminnon käyttö

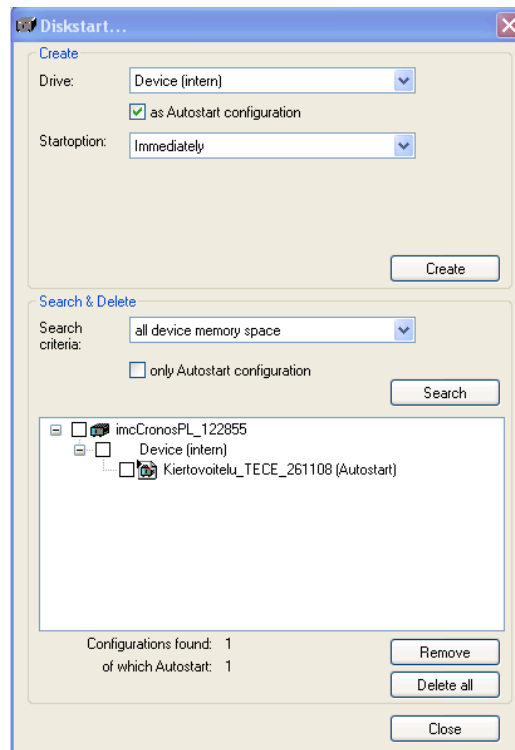
Kiertovoitelun mittausta varten tuli järjestelmä saattaa tilaan, jossa se kykenee toimimaan itsenäisesti. Mittausjärjestelmän tuli siis aloittaa mittaus, kun poralaitteeseen kytkettiin virta. Cronos PL2:n tuli myös päättää mittakansio, eli saattaa mittadata käsiteltävään muotoon, kun poralaite sammutetaan ja mittausjakso päättyy.

Cronos PL2 tarjoaa mittadatan talteenottoa varten eri tallennusmahdollisuuksia. Mikäli mittalaitteistoa ei ole yhdistetty tietokoneeseen, tapahtuu mittadatan tallennus joko Compact Flash-muistikortille tai PCMCIA-porttiin kytkettävään muistiin. Kiertovoitelutestissä PCMCIA-porttiin kytkettiin WLAN-sovitin, joten mittadatan tallennus tapahtui CF-kortille. Samalla valittiin myös tallennusväli. (Tallennusvälillä tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka aikana kertynyt mittadata päätetään ja tallennetaan samaan mittakansioon.) Poralaitteen koekäyttäjän tauoista johtuen laitteen yhtäjaksoinen käyttöaika ei pisimmilläänkään venynyt 2–3 tuntia pidemmäksi. Tästä johtuen mittalaitteeseen ei määritelty kiinteää tallennusväliä, vaan jokaisen mittakansion päättämisen haluttiin tapahtuvan laitteen sammutuksen yhteydessä.

Automaattista käynnistystä ohjallaan Disk start-toiminnolla. Disk start-toiminto on eräänlainen ”ohjelmanpätkä”, jonka mittalaite lukee heti käyttöjännitteen saatuaan ja käynnistää mittauksen. Tämä ”ohjelmanpätkä” tulee tallentaa johonkin Cronokseen yhteydessä olevaan muistiin. Koska mittalaitteen tuli nyt toimia itsenäisesti ja WLAN-sovitin varasi PCMCIA-paikan, voitiin Disk start tallentaa joko CF-kortille tai Cronos PL2:n sisäiseen muistiin. Disk start:iin valittiin asetus, jossa laite tallentaa kaiken, yhdellä mittauskerralla keräämänsä datan samaan kansioon, eikä näin ollen luo uutta kansiota esim. puolen tunnin tai tunnin välein.

Pekka Pylkkänen

Aloitettaessa kiertovoitelujärjestelmän kestopesti, oletettiin, että CF-muistikortti täyttyy testin aikana ja joudutaan vaihtamaan uuteen. Disk start-toimintoa ei haluttu tallentaa siis muistikortille, koska vaihdettaessa kortti, olisi poistanut myös automaattista käynnistymistä ohjaava ”ohjelmapätkä” järjestelmästä.



Kuva 28: Valintaikkuna esittää Disk start-toiminnon käyttövalikon, missä muistissa ”ohjelmapätkä” sijaitsee ja koska se käynnistää mittauksen.

Alempana valintaikkunassa näkyy, haetut Disk start:it. Kuvasta saa selville, että käytössä on ainoastaan yksi Disk start (Autostart), joka on konfiguroitu Cronos PL2:n sisäiseen muistiin ja joka ohjaa koko mittauksen kerrallaan.

Pekka Pylkkänen

8 MITTAUS TOTEUTETULLA JÄRJESTELMÄLLÄ

Kiertovoitelujärjestelmän mittaus ja testaus suoritettiin kahdessa vaiheessa. Molempien kestopestien pituudeksi oli kaavailtu 100 iskutuntia. Järjestelmää paranneltiin molempien kestopestien aikana, porakoneen kriittisiä osia tarkkailtiin säännöllisesti ja muutokset valokuvattiin. Fysikaalisten suureiden mittaus ei ollut siis ainoa tapa arvioida lopullisen tuotteen toimintaa. Mittausjärjestelmän, sekä itse testattavan kiertovoitelujärjestelmän, toimintaa tarkkailtiin päivittäin ja syntyneiden vikatilanteiden aiheuttamat toimenpiteet yritettiin sovittaa poralaitteelle suunniteltuihin huoltoihin. Mikäli kuitenkin kysymyksessä oli kumman tahansa, joko mittaus- tai kiertovoitelujärjestelmän, kannalta kriittinen vika, korjattiin se niin pian kuin mahdollista. Tällä ehkäistiin tutkimuksen kannalta tärkeän mittadatan menettämisen.

8.1 Ensimmäinen kestopesti

Ensimmäinen kestopesti suoritettiin Sandvikin koeporauspaikalla 10.9–24.10. Lopullinen iskutuntien määrä supistui 68:aan, koska katsottiin, että saavutetut mittaus tulokset eivät enää kehity ja kiertovoitelujärjestelmä vaati tietyiltä osin parannuksia.

Kun kaikki saavutettu mittausdata asetetaan samalle aikajanelle, voidaan todeta, että kiertovoitelujärjestelmän toimintaa mitattiin ensimmäisessä kestopestissä noin 105 tuntia

Mittausjärjestelmää jouduttiin ensimmäisen kestopestin aikana kohentelemaan useasti ja etenkin tärinästä aiheutuneet mittalaitteevauriot olivat yleisiä. Testin edetessä ongelmakohdat kävivät ilmi ja niihin kehiteltiin toimivampia ratkaisuja. Mittalaitteiden vaurioitumisen myötä menetettiin myös jonkin verran mittadataa,

Pekka Pylkkänen

mutta koska testi kesti niin kauan, muutamien tuntien menetykset eivät aiheuttaneet korvaamatonta vahinkoa. Mittadatan käsittelyn kannalta ensimmäinen kestotesti oli toista huomattavasti haasteellisempi. Kokonaan puuttuva tai rikkonainen mittadata lisäsi käsittelytyön määrää, kun kaikkea mittadataa tarkasteltiin samalla aikajänteellä.

8.2 Toinen kestotesti

Toinen kestotesti suoritettiin 11.11–31.12 samalla koeporauspaikalla, kuin edellinenkin. Iskutuntien määrä supistui suunnitellusta enemmän kuin edellinen kestotesti, jääden nyt 38:aan. Pienempään iskutuntien määrään tyydyttiin, koska mittaustulokset asettuivat suhteellisen nopeasti ja koska mittausarvot olivat niin kaukana kiertovoitelun kannalta kriittisistä paineista tai lämpötiloista. Toisen kestotestin kokonaismittausaika jäi noin 63 tuntiin.

Toisen kestotestin aikana mittausjärjestelmä saatiin suhteellisen toimintavarmaksi. Vääränlaisesta asennuksesta tai sijoittelusta ei enää syntynyt ongelmia ja mittalaitteet toimivat muutenkin toivotulla tavalla. Jälkikäsitteilyn kannalta toinen kestotesti oli edellistä helpompi. Mittadataa ei menetetty, eikä siihen syntynyt yhtä paljon anturi- tai johdinvaurioiden aiheuttamia häiriöitä.

Pekka Pylkkänen

9 MITTAUSTULOKSET

Cronos PL2 tallentaa mittausdatan muotoon ".raw". Kysymyksessä on IMC:n tallennusformaatti, jota pystyy lukemaan ainoastaan ohjelmalla **IMC Look**, sekä lukemaan, että jälkikäsittelemään ohjelmalla **IMC Famos**. Tallennettu mittausdata yhdistettiin IMC Famos:illa samalle aikajanelle, koska yhden kuvaajan tulkitseminen ja jälkikäsitteily on helpompaa.

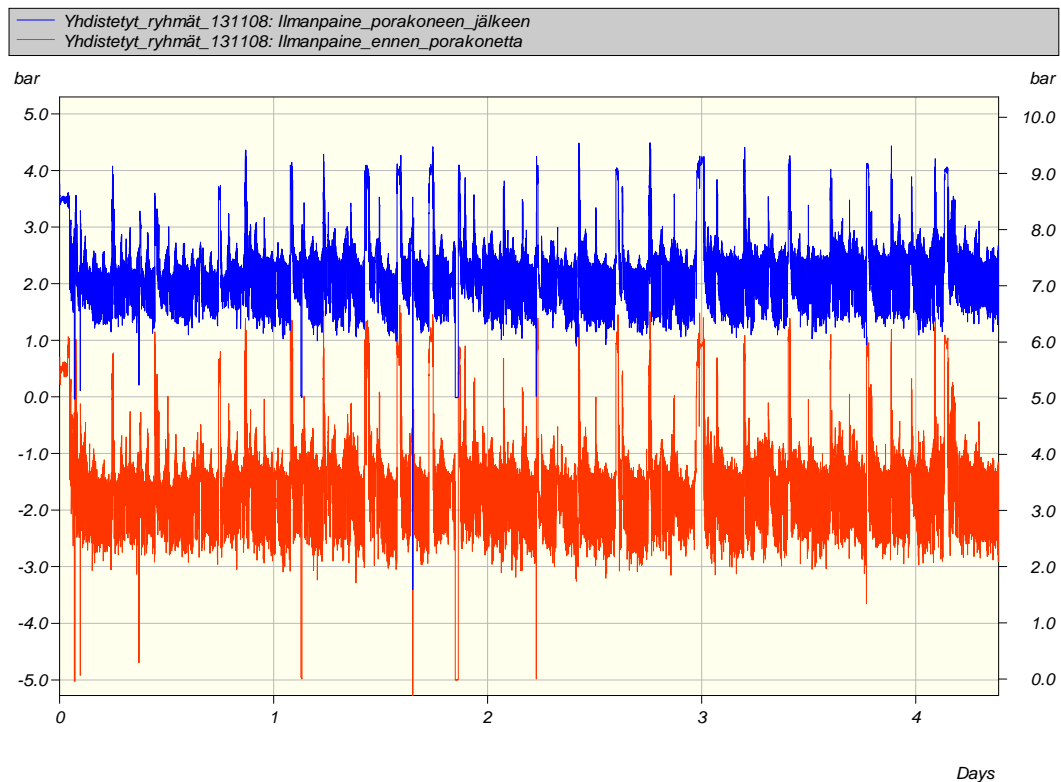
Osa mitatuista suureista ei ollut merkittävässä asemassa tutkimuksen kannalta, vaan ne palvelivat lähinnä laitteiston toiminnan tarkkailua. Niiden merkitys ei kuitenkaan kokonaisuuden kannalta ollut mitätön, vaan niiden avulla pystyttiin lähes reaaliaikaisesti seuraamaan laitteiston vikaantumista.

Tässä kappaleessa esitellään molempien kestopestien tuloksia yhdessä, sekä jälkiraportointia varten käsiteltyjä mittauksia. Koska molempien kestopestien tulokset on esitetty omissa raporteissaan, jotka ovat tarkoitettu ainoastaan Sandvikin sisäiseen käyttöön, ei tässä opinnäytetyössä käydä tuloksia läpi yksityiskohtaisesti.

Pekka Pylkkänen

9.1 Käsittelemättömät mittaustulokset

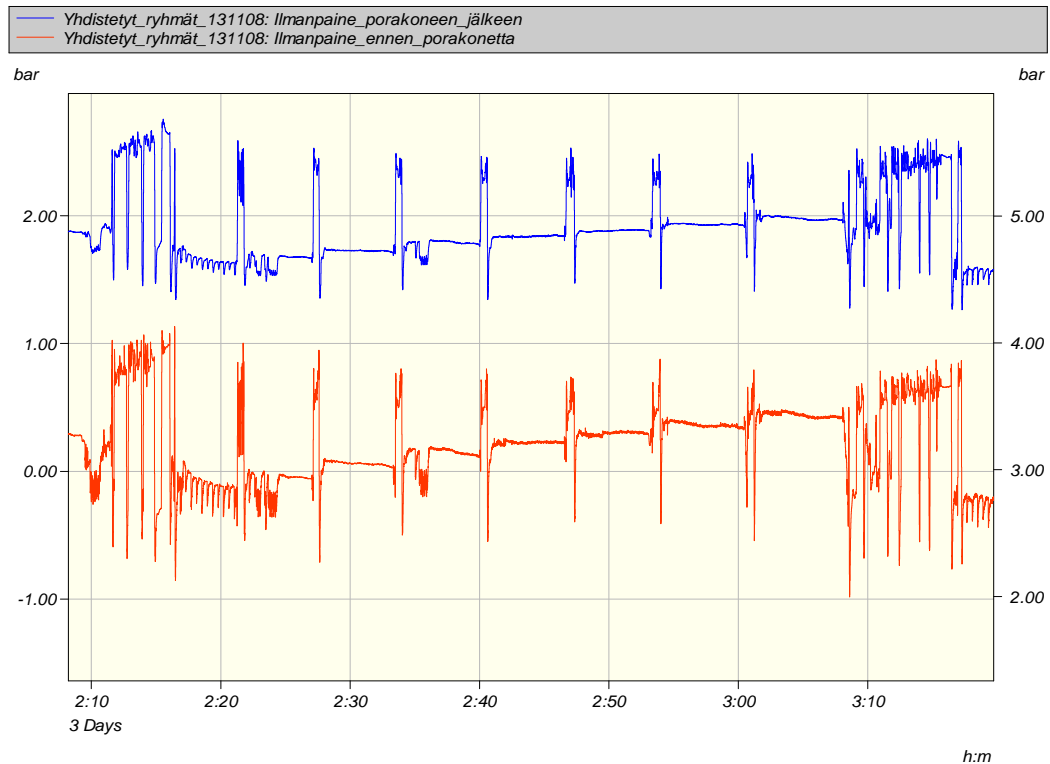
Osa mittaustuloksista palveli kiertovoitelututkimusta sellaisenaan, ilman muokkausta tai jopa ilman suodatusta. Kuvaajissa 1 ja 2 esitellään ilmanpaineen käyttäytymistä ensimmäisen kestotestin aikana. Molemmat kuvaajat ovat täysin suodattamattomia.



Kuvaaja 1: Ilmanpaine porakoneelle menevästä linjasta ja sieltä palaavasta, kun ensimmäisen kestotestin mittadata on samalla aika-akselilla.

Kuvaajasta 1 voidaan päätellä, millä tasolla ilmanpaineet vaihtelevat porauksen eri vaiheissa, ja kuinka olematon vaikutus on ollut kiertovoitelujärjestelmään tehdyillä muutoksilla ja laitteiston kulumisella paineiden kehittymiseen.

Pekka Pylkkänen



10.09.08 12:52:45 PP

Kuvaaja 2: Kuvaajasta 1 suurennettu sektori, josta havaitaan ilmanpaineen asteittainen kohoaminen porakankien määrän ja sitä kautta kaluston aiheuttaman kuristuksen lisääntyessä.

Kuvaajassa 2 tarkastellaan ilmanpaineen kehittymistä, kun porataan kaikki makasiinissa olleet kahdeksan porakankea. Molempien paineet kohoavat ja muutos on porrasmaista. Mikäli kuvaajaa katsoo tarkasti, huomataan että paine-ero alkaa pienentyä.

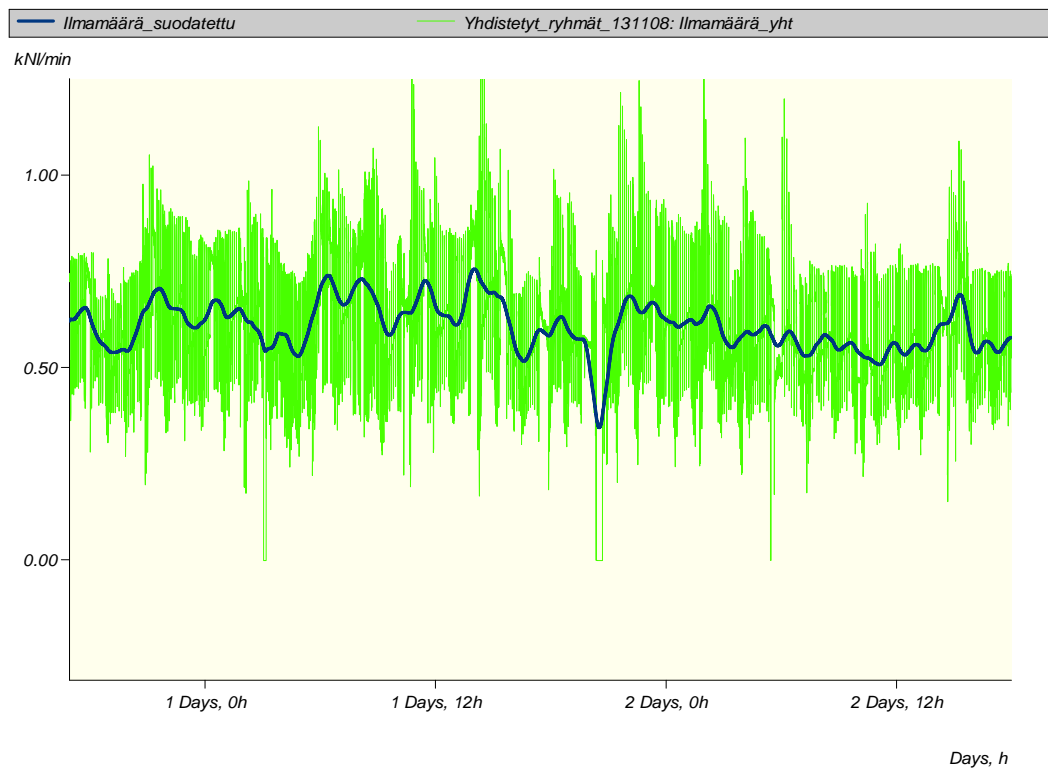
Sekä paineennousu, että paine-eron väheneminen on selitettävissä, kun tunnetaan poralaitteen toimintaa. Poraukseen tarvittu paineilma kehitetään poravaunun omalla kompressorilla ja jaetaan eri toiminnoille. Kiertovoitelujärjestelmän ohella paineilmaa käytetään mm. poratun reiän huuhteluun. Porattaessa syvemmälle, porakankien lisääntyneestä määrästä johtuen kasvaa myös kaluston synnyttämä kuristus ja huuhtelupiirin paineennousu.

Pekka Pylkkänen

Kiertovoitelujärjestelmään johdetun ilman paine alkaa kohota huuhtelulinjan paineen myötä. Koska kaluston synnyttämä kuristus sijaitsee vasta molempien mittapisteiden jälkeen, virtaavan ilmamäärän väheneminen aikaansaa paine-eron pienentymisen.

9.2 Mittaustulosten käsittely - suodatus

Osa mittaustuloksista jouduttiin käsittelemään suodattamalla tai korjailemalla, jotta ne saadaan paremmin tarkasteltavaan muotoon. Kuvaaja 3 esittelee noin 36 tuntia kestävää jaksoa ensimmäisestä kestopitestistä. Kuvaajan on piirretty ilmamääräanturilla mitattu arvo ja sama arvo suodatettuna.

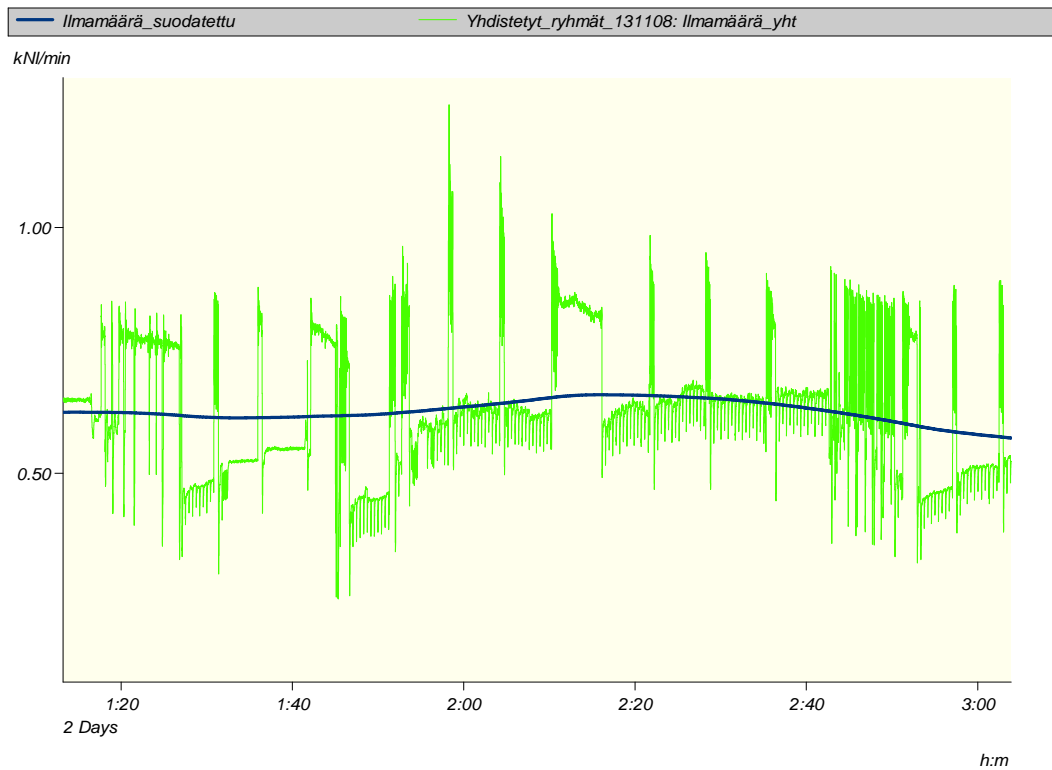


Kuvaaja 3: Kiertovoitelun ilmamäärä vihreällä ja sama käyrä suodatettuna tummalla

Pekka Pylkkänen

Ilman suodatusta ilmamäärää on hankalampi tulkita tarkasti. Etenkin kimmoisan aineen mittauksissa esiintyy helposti värinöitä, jotka häiritsevät mittaustulosten tulkintaa. Värinää saattaa syntyä myös menetelmästä, jolla painetta tai virtausta luodaan, esim. mäntäpumpun tuotto ei ole koskaan yhtä tasaista, kuin hammasrataspumpun.

Kuvaaja 4 on suurennos edellisestä kuvaajasta, kun aktiivista porausta on kestänyt noin 2 päivää ja 2 tuntia. Siinä havaitaan suodatetun käyrän käyttäytyminen verrattuna suodattamattomaan.



10.09.08 12:52:45 PP

Kuvaaja 4: Suurennos edellisestä kuvaajasta. Kiertovoitelun ilmamäärä vihreällä ja sama käyrä suodatettuna tummalla.

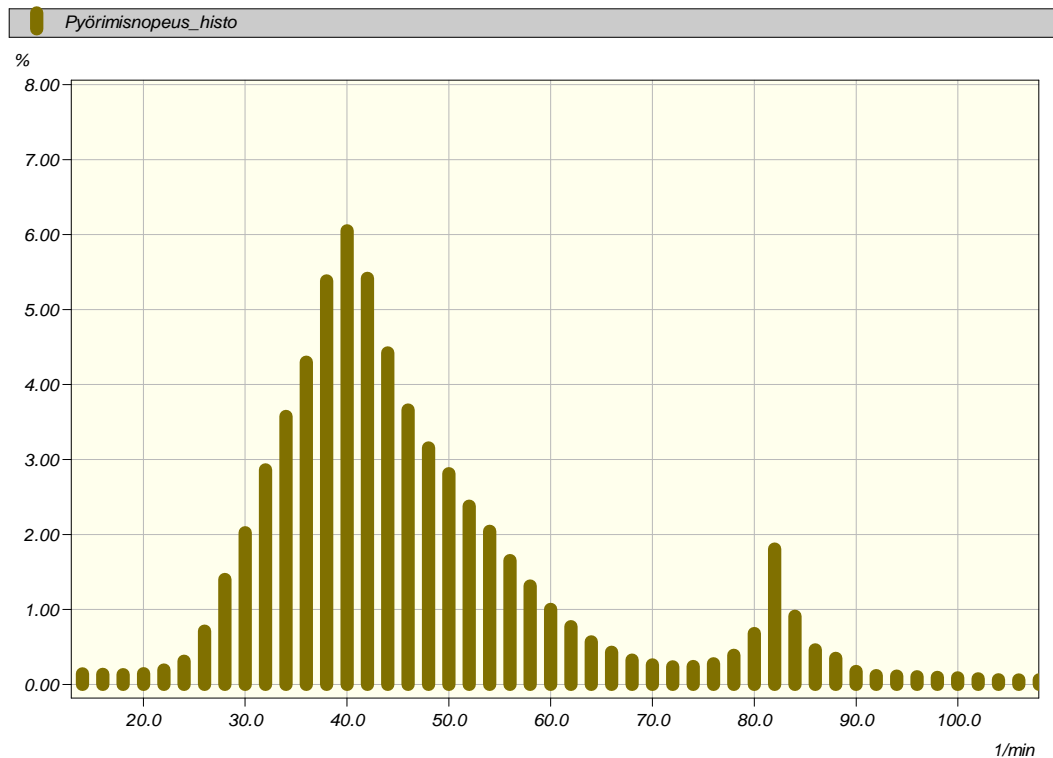
Pekka Pylkkänen

Kuvaajissa 3 ja 4 esitelty suodatus on todella raju. Käytetty suodatus laskee keskiarvon 5000 mittapisteen otoksesta. Koska mittauksen kokonaisaika on niin pitkä ja mittaustulokset sisältävät muitakin vaiheita, kuin itse poraus, ei kuvaajien tarkka suurentaminen tai vähäinen suodatus ole mielekästä.

9.3 Mittaustulosten käsittely - histogrammi

Osa mittaustuloksista taas ei vastannut sellaisenaan kiertovoitelututkimusta, vaan ne toimivat lähtökohtina muille kuvaajille. Histogrammi kuvaa tiettyjen mittauservojen tilastollista jakaumaa. Histogrammin avulla voidaan esittää esim. porakoneen keskimääräinen pyörimisnopeus tai käytetty syöttöpaine. Histogrammi esittää tarkasteltavan suuren arvojen jakautumisen valitun luokkajaon mukaisesti. Kuvaajassa 5 esitetään porakoneen pyörimisnopeuden histogrammi. Kuvaajan osat on piirretty havainnollistavuuden vuoksi piikkimäisiksi.

Pekka Pylkkänen



10.11.08 10:01:47 PP

Kuvaaja 5: Porakoneen pyörimisnopeuden histogrammi

Kuvaajassa 5 yhden palkin leveys on 2 kierrosta minuutissa. Vaaka-akselilla on porakoneen kierrosnopeudet minuutissa ja pystyakselilla eri kierroslukualueiden esiintyminen prosentuaalisesti koko mittauksen aikana. Kuvaajasta voidaan tulkita, että laitetta on käytetty noin 6 % koko käyttöajasta kierroslukualueella 39–41 rpm. Kysymyksessä on siis yleisimmin käytetty pyörimisnopeus porauksen aikana. Pienempi piikki kuvaajassa (81–83 rpm) syntyy kierteityksestä porakankien vaihdon yhteydessä.

Piirrettäessä histogrammikuvaajia eri painearvoista, on määriteltävä arvojoukon alaraja. Kiertovoitelumittauksista tehtyyn raporttiin liitettiin histogrammi-piirroksat, joissa huomioitiin ainoastaan 10 bar suuremmat paineet isku-, syöttö- ja pyörityslinjoissa.

Pekka Pylkkänen

10 MITTAUSTULOSTEN ARVIOINTI

Osa nyt mitatuista muuttujista on tutkittu tarkasti aikaisemminkin, joten jo mittausta valmisteltaessa oli aavistus, millaisiksi osa mittaustuloksista kehittyi. Kuten kappaleessa 9 todetaan, osa mittaustuloksista palveli myös laitteiston kunnossapitoa.

Poraukseen liittyvien kohteiden (isku-, syöttö- ja pyörityspaine sekä pyöritysnopeus) mittaustulokset olivat odotettuja. Näitä kohteita tarkkailemalla ja mittaamalla pystyttiin varmistumaan porausprosessin toimivuudesta ja porauksen haasteellisuudesta itse kiertovoitelujärjestelmälle.

Järjestelmässä kiertävän voiteluöljyn ja ilman paineita seuraamalla saatiin selvitettyä kiertovoitelun toimintaa ja niiden perusteella myös tehtiin järjestelmään muutoksia tai parannuksia kestopestien aikana. Ilma- ja öljymäärän mittauksien avulla haluttiin löytää molemmille ideaalimäärä, jolla kiertovoitelujärjestelmä pystyy edelleen toimimaan tehokkaasti, ilman turhaa energiankulutusta.

Mittaamalla lämpötiloja porakoneen pinnoilta, runkolaakerilta ja eri kohdista voitelu- ja ilmalinjaa, voitiin tulkita kiertovoitelun tehokkuutta tai mahdollisesti tehottomuuden aiheuttamia vaurioita. Koska yksi kiertovoitelun tehtävistä on jäähdyttää porakoneen osia, voitiin mittaamalla tulkita tehtävän onnistumista. Lämpötilojen mittaaminen oli tärkeää myös voiteluöljyn ominaisuuksien kannalta. Mittaustulokset osoittivat, että kiertovoitelujärjestelmä toimi lämpötilojen kehittymisen kannalta hyvin. (Lopullisia arvioita tehdessä on kuitenkin huomioitava myöhäinen vuodenaika, jolloin kestopestit suoritettiin. Viileät porausolosuhteet jäähdyttävät porakonetta ja voiteluöljyä huomattavasti enemmän kuin lämpimät.)

Pekka Pylkkänen

11 YHTEENVETO

Kiertovoitelujärjestelmän kehitystyötä jatketaan edelleen ja mittaustulokset toimivat perustana kohti valmista tuotteistettua kokonaisuutta. Vaikka mittausjärjestelmää jouduttiin korjailemaan ja muuntelemaan kestotestien aikana, mittadatan menetys saatiin pidettyä minimaalisena. Toteutettu mittausjärjestelmä palveli kestotestin tarpeita odotetusti ja mikäli jatkokehityksen kannalta nähdään tarpeellisena, voidaan toteutettua mittausjärjestelmää soveltaa tietyiltä osin myös siihen. On siis perusteltua todeta molempien kestotestien onnistuneen suunnitellusti, ilman ratkaisemattomia vastoinkäymisiä.

Mittadatan käsittelyohjelma IMC Famos suo käyttäjälleen lähes äärettömät mahdollisuudet luoda kuvaajia ja lisätä eri tehostein kuvaajien tulkittavuutta. Molempien kestotestien raportit kuvaajineen on toimitettu tutkimustilauksen tekijöille, heidän toivomaansa muotoon.

Testiin valitun **IMC Cronos PL2:n** ja **IMC Cansas**-modulin käytöstä on saatu hyviä tuloksia. **IMC C-series** ja **IMC BusDAQ** täydentävät IMC:n mittalaittevalikoimaa tarjoten käyttäjilleen lukemattoman määrän soveltamismahdollisuuksia erilaisiin mittauksiin. Sandvikin tuotekehityksessä ja laitetestauksessa pyritään hyödyntämään IMC:n mittalaitteita jatkossakin lisääntyvässä määrin.

Pekka Pylkkänen

12 LÄHTEET

Kirjalliset lähteet

- Stephen A. Dyer:
Survey of Instrumentation and Measurement
- Olli Aumala:
Mittaustekniikan perusteet
- Pekka Halko, Sakari Härkönen, Ilkka Lähteenmäki, Taisto Välimaa:
Teollisuuden mittaustekniikka, Perusmittauksia
- Asko Ellman:
Hydrauliikan ja koneautomaation mittaukset

Sähköiset lähteet

- <http://www.wikipedia.org>
- <http://www.vtt.fi>
- <http://www.imcdataworks.com>