

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PAINE-EROTESTAUSASEMAN KÄYTTÖÖNOTTO

TEKIJÄ Simo Suhonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Simo Suhonen	
Työn nimi Paine-erotestausaseman käyttöönotto	
Päiväys 15.12.2022	Sivumäärä/Liitteet 22+5
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savonia Ammattikorkeakoulu/ Högfors Gst	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tarkoituksena oli saada Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksella energiatutkimuskeskuksella sijaitseva paine-erotestausasema käyttöönotettua ja varmistettua että testaustulokset ovat luotettavia. Työn toimeksiantajana oli Savonia Ammattikorkeakoulu ja yhteistyökumppanina työssä oli mukana Högfors Gst:ltä, joka toimitti ensimmäisen testattavan komponentin. Työ koostui paine-eroaseman mittareiden asennuksesta, huollosta ja kalibroinnista.</p> <p>Jo alkuvaiheessa havaittiin, että useimmat mittareiden liitännät olivat vajavaisia. Tietoja ei myöskään saatu näkymään oikein automaatiojärjestelmässä. Paine-eromittarin kalvo havaittiin myös vaurioituneeksi, ja se jouduttiin uusimaan. Tällä oli usean viikon viivästävä vaikutus projektin toteutukseen. Virtausmittarin kalibrointitodistus myös puuttui, ja tämä vaikeutti mittausten tarkkuuden arviointia. Tästä syystä päädyttiin käyttämään virtausmittarin rinnalla kannettavaa ultraäänivirtausmittaria vertailumittarina. Edellä mainittujen ongelmien ratkettua lopputuloksena paine-eroasemalla saatiin Högforsin toimittama säätöventtiili testattua vaaditulla tarkkuudella. Mittaustuloksia ei sellaisinaan julkaista niiden arkuuden takia.</p> <p>Testausten jälkeen paine-erotestausaseman käytöstä luotiin manuaali Savonian henkilökunnan ja opiskelijoiden käyttöön. Asiakkaalle lähetettävä tutkimustodistus pohja valmisteltiin myös nopeuttamaan testausprosessia jatkossa. Keskusteluissa asiakkaan kanssa tuli esille kehityskohteita, joilla mahdollistetaan eri muotoisten osien testaaminen. Projektin tavoitteet voidaan olettaa hyvin toteutuneiksi: paine-eroasemaa voidaan nyt käyttää muiden komponenttien testaamiseen, tästä on käyty jo asiakkaan kanssa keskusteluita. Paine-eroasema on Savonian omistama ja sen tiloissa, joten sitä voidaan tarvittaessa käyttää myös muiden yritysten testeihin.</p>	
Avainsanat paine-ero, käyttöönotto	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Simo Suhonen	
Title of Thesis Implementation of Pressure Difference Testing Station	
Date 15 December 2022	Pages/Appendices 22+5
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences / Högfors Gst	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the work was to get the differential pressure testing station into operation and ensure that the test results are reliable. The testing station is located at the energy research center on the Varkaus campus of the Savonia University of Applied Sciences. The client for this work was Savonia University of Applied Sciences and Högfors Gst was involved as a partner in the project, and they supplied the first component to be tested. The work consisted of the installation, maintenance and calibration of the gauges of the differential pressure station.</p> <p>Shortly after the beginning, it was noticed that most of the gauge connections were defective. The data was also not displayed correctly in the automation system. The differential pressure gauge was also found to be damaged and had to be replaced. This had a delaying effect of several weeks on the project. The calibration certificate of the flow gauge was also missing, and this made it difficult to assess the accuracy of the measurements. For this reason, it was decided to use a portable ultrasonic flowmeter alongside the flowmeter as a reference meter. After solving these problems the control valve supplied by Högfors was tested with the required accuracy at the differential pressure station. The measurement results as such are not published due to their sensitivity.</p> <p>After the tests, a manual for the differential pressure testing station was created for the use of Savonia's staff and students. The test certificate template was also prepared to speed up the testing process in the future. In the discussions with the customer, couple development targets were brought up that would enable the testing of parts with different shapes. The goals of the project were achieved: the differential pressure station can now be used to test other components, which has already been discussed with the customer. The differential pressure station is owned and located in Savonia premises, so it can also be used for tests of other companies if needed.</p>	
<p>Keywords differential pressure, implementation</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	MITTAAMINEN	7
2.1	Anturit.....	7
2.1.1	Älykkäät anturit	8
2.2	Lämpötilan mittaus	8
2.2.1	Metallivastusanturit.....	8
2.3	Paineen mittaus	9
2.3.1	Kapasitiivinen paineanturi.....	9
2.3.2	Pietsyresistiivinen paineanturi.....	10
2.4	Virtauksen mittaus	10
2.4.1	Sähkömagneettinen virtausmittaus	10
2.4.2	Ultraäänivirtausmittaus	11
2.5	Kalibrointi.....	11
2.6	Mittavirhe	11
3	PAINE-EROTESTAUSASEMAN KOKOONPANO	12
3.1	Prosessi-instrumentointikaavio	12
3.2	Kytkenäkaavio	13
4	PAINE-EROLAITTEISTON KOMPONENTIT	15
5	KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAAMINEN	16
6	TULOKSET	19
7	RAPORTOINTI.....	20
8	MANUAALIEN LUONTI.....	20
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	21
10	LÄHDELUETTELO.....	22
11	LIITTEET	23
	LIITE 1 TUTKIMUSTODISTUS	23
	LIITE 2. PAINE-EROASEMAN KÄYTTÖOHJEET	24

KUVALUETTELO

Kuva 1 Anturi	7
Kuva 2 Prosessi-instrumentointikaavio	12
Kuva 3 Kytkentäkaavio	13
Kuva 4 Testaussuunnitelma	16
Kuva 5 Mittareita ja testattava komponentti	17

1 JOHDANTO

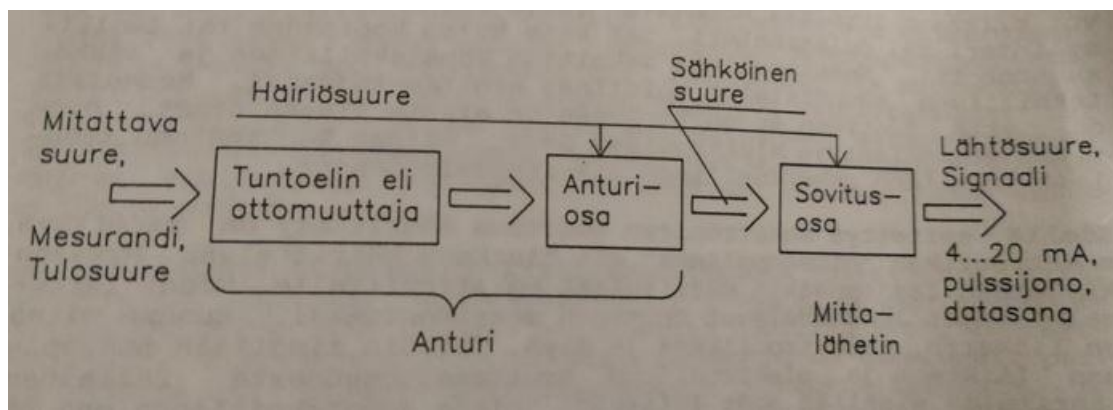
Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada Savonia Ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksella energiatutkimuskeskuksella sijaitseva paine-erotestausasema käyttöönotettua ja suoritettua ensimmäiset testit. Paine-eroaseman käytöstä oli käyty keskusteluita Högfors Gst:n kanssa, joka oli kiinnostunut testaamaan sillä erilaisia komponentteja. Laitteiston toiminta toisi siis Savonialle testattavaa ja sitä myöten liiketoimintaa. Laitteisto oli alun perin vajavainen ja siitä puuttui komponentteja. Mittarit olivat olleet pitkään käyttämättä ja tästä syystä niiden toiminnasta ei ollut varmuutta. Laitteisto sijaitsi energiatutkimuskeskuksen toisessa kerroksessa, suoraan sähkökeskuksen yläpuolella. Tästä syystä laitteiston tiiveys oli ensiarvoisen tärkeää varmistaa, ettei vettä vuoda sähkökeskukseen. Virtausmittarista puuttui kalibrointitodistus, tästä syystä jouduttiin virtausmittauksen rinnalla kehittämään vertailumittaus.

2 MITTAAMINEN

Mittauksilla on yleisesti tärkeä tehtävä antaa tietoa prosessin tilasta ja toiminnasta. Mittausten perusteella prosessit saadaan toimimaan mahdollisimman taloudellisesti, turvallisesti ja myös ympäristöystävällisesti. Mitattavia suureita on paljon, mutta käsittelen tässä teoriaosuudessa työn kannalta oleellisia suureita: lämpötilaa, painetta sekä virtausta. Erilaisia mittausmenetelmiä on kaikille suureille useita, joten rajaan tämän koskemaan ainoastaan paine-erotestausaseman kannalta oleellisia menetelmiä.

2.1 Anturit

Anturilla yleisesti tarkoitetaan laitetta, joka muuttaa mitattavan prosessisuureen sähkö- tai joskus myös pneumaattiseksi viestiksi. Yleisimmin käytössä oleva automaatiojärjestelmän yhdistetty mitausviesti on 4...20 mA. (Fonselius;Laitinen, ym. 1994, 6-7) Kuvassa 1 kuvataan anturia ja siihen liitettyä mittausprosessia.



Kuva 1 Anturi (Fonselius;Laitinen, ym. 1994, 10)

Ensimmäisenä tuntoelin, jota voidaan kutsua myös ottoelimeksi, mittaelimeksi tai mittaelementiksi, havaitsee mitattavan suureen, jonka jälkeen anturiosa muuttaa sen sähkösuureeksi. Lähettimessä tämä anturin antama sähköinen suure muutetaan standardiviestiksi eli yleensä juuri 4...20mA. Esimerkkinä voisi olla lämpötilamittaus, jonka mitta-alue on 0...1000°C. 0°C lämpötila prosessissa antaa 4mA virtaviestin, 500°C 10mA ja 1000°C 20mA. Muita käytössä olevia virtaviestejä on esimerkiksi 0-20mA. Käytännön erona näissä virtaviesteissä on nollapiste, joka 4-20mA viestissä on "elävä". Nollapisteen eläessä on helpompi havaita viestin virheellisyys, esimerkiksi johtimen katkeaminen virtaviestissä johtaa 0mA virtaan. Usein automaatiojärjestelmä voi tulkita tämän epätavallisen alhaisen virran kaapelivikana. Muita teollisuuden käytössä olevia mittaviestijä on jännitteeseen perustuvat jänniteviestit. Tavallisimmin käytössä on 0-10V tai 2-10V, mutta myös 0-5V ja 1-5V (Fonselius;Laitinen, ym. 1994, 6-7) (Pihkala 2004, 10)

Yleisimmät antureiden ongelmat ovat tuntoelimen epälineaarisuus ja häiriöt. Osa häiriöistä voidaan korjata suoraan lähettimessä, mutta usein turvaututaan kuormittamaan automaatiojärjestelmää erilaisilla linearisointioperaatioilla. (Fonselius;Laitinen, ym. 1994, 6-7).

2.1.1 Älykkäät anturit

Kuten lähes kaikkien, myös mittalaitteiden ja antureiden älykkyys on lisääntynyt nykypäivänä. Monet mittarit tai anturit sisältävät nykyään mikroprosessorin. Älykkäissä (smart) antureissa sovellusohjelmaa suorittava prosessori ja toimilaite on rakennettu samoihin kuoriin. Kuorien sisältä löytyy prosessori, ohjelma ja datamuistia sekä erilaisia liittimiä. Lisäksi laitteissa voi olla laskureita, matematiikkaydintä, suorituksenvalvontalogiikkaa, reaaliaikakello sekä sarjaliikenne ja väyläohjain. Hyötynä älykkäissä ominaisuuksissa on se, että ne mahdollistavat tiedon prosessointia jo anturissa itsessään, ja näin ollen signaalin jatkokäsittely vähenee. Esimerkkinä älykkäistä toiminnoista, älykkäässä paineanturissa voi olla liitetty lämpötilan mittaustururi. Mitatun lämpötilan perusteella mittari voi tehdä lämpötilakompressoinnin ja tästä johtuen päästä parempaan mittaustarkkuuteen. Älykkäässä anturissa voi olla myös signaalinkäsittelyä, vahvistamista, mittausalueiden sovittamista, itsekaliibrointia ja diagnostiikkaa tai kykyä mitata useita suureita samanaikaisesti, kuten aiemmassa esimerkissä kuvattiin. (Pihkala 2004, 12).

2.2 Lämpötilan mittaus

Teollisuuden yleisimpiä, jopa yleisin mitattava suure on lämpötila. Tämä johtuu siitä, että lähes kaikki fysikaaliset ja kemialliset prosessit ovat lämpötilasta riippuvaisia. Lämpötilalla on vaikutus esimerkiksi fysikaalisten ja kemiallisten reaktioiden nopeuteen, energian kulutukseen, ympäristöpäästöihin ja moniin muihin asioihin. Lämpötilaa ilmaistaan SI- järjestelmän mukaisilla yksiköillä °C (Celsiusastetta) ja K (Kelvin). Lämpötilojen mittaukset perustuvat joko kosketusmittaukseen (termoelementit, vastuslämpömittarit tai lasilämpömittarit), tai koskemattomaan (infrapunalämpömittarit). Kosketusmittauksessa on varmistettava, että anturi on asennettu riittävän syväälle väliaineeseen ja huomioitava että, lämpötilan mittaaminen on usein hidasta. Kun anturi on asennettu mittauspäikalle, täytyy odottaa että, mittarin lämpötila vakiintuu. (Pihkala 2004, 35-36)

2.2.1 Metallivastusanturit

Metallivastuslämpömittareissa mitataan metallin sähköinen resistanssi, joka on riippuvainen lämpötilasta. Metalleilla on positiivinen resistanssin lämpötilakerroin, eli metallivastuksen resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa. Metallin resistanssin suhde lämpötilaan voidaan esittää matemaattisesti kaavalla 1. (Pihkala 2004, 44)

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t) \tag{1}$$

missä R_0 on metallin resistanssi (Ω) referenssilämpötilassa $t=0^\circ\text{C}$

ja α (alfa) on resistanssin lämpötilakerroin $0.00375\text{--}00395 \text{ } \Omega / ^\circ\text{C}$. (Timo Heikkinen 2022)

Antureina käytetään metalli tai puolijohdevastuksia eli termistoreita. Yleisimmin käytössä olevat metallit ovat platina, nikkeli ja kupari. Sopivan materiaalin valintaan vaikuttavia asioita on lämpötilakerroin, resistiivisyys, kestävyys ja saatavuus. Kaikkein yleisin käytetty materiaali on platina (pt100), jonka resistanssi 0°C lämpötilassa on $100 \text{ } \Omega$. Platinavastusantureiden hyötynä muihin metalleihin verrattuna on tarkka lineaarisuus laajalla lämpötila-alueella $-250^\circ\text{C}\dots 850^\circ\text{C}$ (Pihkala 2004, 44), (Timo Heikkinen 2022).

2.3 Paineen mittaus

Paine p on suure, joka ilmaisee pinta-alaan A kohdistuvaa suoraa voimaa F . Paine voidaan matemaattisesti esittää kaavalla 2. (Saxholm ja Rantanen Espoo 2011)

$$p = F / A \quad (2)$$

missä p on paine yksikkönä (Pa), F on voima (N) ja A on pinta-ala yksikkönä m^2

Pascal on pieni yksikkö, ja usein käytetäänkin sen kerrannaisia:

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$$

Myös yleisesti käytetty paineen yksikkö on SI järjestelmään kuulumaton baari (Bar), joka muuntuu $1 \text{ Bar} = 100\,000 \text{ Pa}$ (Saxholm ja Rantanen Espoo 2011)

Paineen mittaaminen on aina paine-eron mittaamista. Riippuen vertailuarvosta paineelle ja sen mittaamiselle käytetään erilaisia nimityksiä ja menetelmiä. Yleisimmät käytetyt ovat absoluuttinen paine, jossa vertailuarvona on tyhjiö. Ilmanpaine, joka muuttuu säätilan mukana ja siihen vaikuttaa myös mittapaikan korkeus merenpintaan verrattuna. Ylipaine, jonka vertailuarvona toimii ilmanpaine. Paine-erosta puhuttaessa vertailuarvona on yleensä joku muu kuin tyhjiö tai ilmanpaine. Tämä voi olla esimerkiksi jonkin säiliön paine. (Saxholm ja Rantanen Espoo 2011)

2.3.1 Kapasitiivinen paineanturi

Pietsoresistiivinen ja kapasitiivinen anturi ovat tämän hetken käytetyimmät paineanturit. Kapasitiivinen paineanturi koostuu differentiaalikonkondensaattorista, joka on rakennettu anturin sisälle. Differentiaalikonkondensaattorin kiinteät levyt on rakennettu paine-erokammion seiniin, ja painekammion välissä on joustava kalvo, joka muodostaa liikkuvan levyn. Mitattavat paineet tuodaan kammioihin paineenvälitysnesteen avulla, joka on yleensä silikonijälyä. Kalvon liike on hyvin pieni ja sen myötä myös kapasitanssin muutos pientä. Tästä johtuen anturi tarvitsee aina lisäelektronikkaa muodostaakseen siirtokelpoisen viestin. (Pihkala 2004, 31)

2.3.2 Pietsoresistiivinen paineanturi

Pietsoresistiivistä paineanturia voidaan kutsua myös puolijohdevenymäliuska-anturiksi. Toiminta perustuu resistanssin muutokseen voiman kohdistuessa piikalvoon anturin sisällä. Piin etuina on huomattavasti suurempi resistanssin muutos, sekä jousto-ominaisuudet kuin metallisilla venymäliuskoilla. Tämän ansiosta pietsoresistiivisillä antureilla on erinomaiset hystereesi ja lineaarisuusarvot. Puolijohteet ovat herkkiä lämpötilan muutoksille, lämpötilan kompensointi vaatii erityistoimenpiteitä. Yksinkertaisimmillaan anturi toimii, kun paine vaikuttaa suoraan piikalvoon. Paineen aiheuttama jännitys vaikuttaa eri tavoin säteisesti sijoitettuihin liuskoihin, jolloin sillan erojännite muuttuu paineen mukana. Vertailupaine tuodaan piikalvon toiselle puolelle. Paineen tai paine-eron vaikutus voidaan tuoda anturille käyttäen hyväksi välitinainetta. (Pihkala 2004, 29-30)

2.4 Virtauksen mittaus

Virtauksen mittauksessa on kyse putken tai avokanavan läpi virtaavan nesteen tai kaasun tilavuus- tai massavirran määrittämisestä. Perusyksiköitä tilavuudenvirtaukselle on m^3/s , m^3/h ja l/min . Massavirtaukselle puolestaan kg/s , t/h . Virtauksen mittaus on oleellinen esimerkiksi, kun halutaan tietää paljonko nestettä on lisätty prosessiin, tai paljonko kanavassa kulkee ilmaa puhaltimelta. (Pihkala 2004, 59) Tilavuusvirtaus voidaan laskea käyttämällä kaavaa 3.

$$Q = v * A \quad (3)$$

missä Q on tilavuusvirtaus, v virtausnopeus (m/s) ja A putken tai kanavan poikkipinta-ala m^2 . Lopputuloksena tilavuusvirtaus saadaan yksikössä m^3/s . (Pihkala 2004, 59)

Massavirta puolestaan voidaan laskea käyttämällä kaavaa 4.

$$\dot{m} = \rho * A * v \quad (4)$$

missä ρ on fluidin tiheys (kg/m^3), v on virtauksen nopeus (m/s) ja A on virtauksen poikkipinta-ala m^2 . Tuloksena tulee massavirta yksikössä kg/s . (Pihkala 2004, 59)

2.4.1 Sähkömagneettinen virtausmittaus

Sähkömagneettisen virtausmittarin toiminta perustuu induktioperiaatteeseen; jos johdin liikkuu magneetikentässä siten, että se leikkaa magneetikentän voimaviivoja, indusoituu johtimeen jännite. Syntyvä jännite voidaan mitata sisäpuolelta eristetyn putken laidoille sijoitetuilla elektrodeilla. Rajoituksena magneettisille virtausmittareille on, että virtaavan aineen tulee olla sähköä johtavaa nestettä. Magneettivuo luodaan kahdella satulamaisella käämivyydellä, joista toinen on putken päällä ja toinen alla. Tehohäviöiden pienentämiseksi magneetikenttä pyritään muotoilemaan putken suunnassa lyhyeksi. Putki on metallia, joka on sisäpuolelta vuorattu eristemateriaalilla, kuten teflon tai kovamuovi. Mittauselektrodit voidaan tehdä epäaktiivisesta metallista esimerkiksi ruostumattomasta teräksestä. Elektrodeilta lähtee pieni virtaukseen verrannollinen jännite, joka vahvistetaan, ja toimitetaan standardiviestinä automaatiojärjestelmään. (Pihkala 2004, 77)

2.4.2 Ultraäänivirtausmittaus

Ultraäänivirtausmittaus perustuu Doppler-ilmiöön, jota hyödynnetään esimerkiksi poliisin nopeustutkissa. Erona on kuitenkin se, että nimensä mukaisesti niissä käytetään ultraääntä eikä radioaaltoja. Kohteeseen suunnataan ääni, joka takaisin heijastuessa on muuttanut taajuuttaan. Menetelmän soveltaminen edellyttää, että neste on sopivan epähomogeenistä. Sen pitää sisältää sakkaa, kiintoainehiukkasia tai kaasukuplia, sillä täysin homogeenisessä nesteessä ei tapahdu tarvittavaa heijastumista. Käytettäessä kahta lähetintä ja vastaanottoparia, voidaan lähettää jatkuvaa siniaaltoa myötä- ja vastavirtaan. Vastaanotettujen signaalien välinen vaihe-ero muodostaa mitattavan suureen. Toinen mahdollisuus on lähettää molempiin suuntiin lyhyitä äänipulsseja ja synnyttää uusi pulssi edellisen loputtua. Myötävirtaan lähetettyjen pulssien toistumistaajuus on suurempi kuin vastavirtaan, taajuuksien välinen ero on verrannollinen virtausnopeuteen. Hyötynä ultraäänivirtausmittauksessa on se, että laitteisto on usein kannettava, eli sitä ei tarvitse asentaa kiinteästi laitteistoon. Toisaalta menetelmän tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin muissa virtausmittauksissa. (Pihkala 2004, 81-82)

2.5 Kalibrointi

Mittareiden tarkkuus vaihtelee ja myös heikkenee iän ja käytön myötä. Kalibroinnilla tarkoitetaan toimenpidettä, jossa mittalaite pyritään virittämään mahdollisimman lähelle tarkemman mittalaitteen eli kalibraattorin lukemaa. Kalibraattorista voidaan käyttää myös nimikkeitä referenssi eli vertailumittaus. Kalibrointi voidaan suorittaa ulkopuolisen yrityksen tai laboratorion toimesta, ja usein laitetoimittajat ovat sen tehneet ja toimittavat kalibrointitodistuksen tilatun laitteen mukana. Kalibrointi on mahdollista tehdä myös itse, jos yrityksestä löytyy toinen vastaavaa suuretta mittaava laite. Kalibroinnilla on aina kustannuksia ja se ei ole itsetarkoitus, joten jokaisen mittalaitteen kohdalla sen tarve tulee arvioida erikseen. Käytännössä kalibroinnin tarve liittyy kysymykseen, antaako mittaus tarpeeksi tarkkaa tietoa mitattavasta suureesta. Mittaustarkkuudet vaihtelevat suuresti, on olemassa digitaalisia 8–9 numeron mittareita, joten tarvittava mittaustarkkuus on arvioitava. (Fonselius;Laitinen, ym. 1994, 14) (Fonselius;Pekkola, ym. 1996, 27)

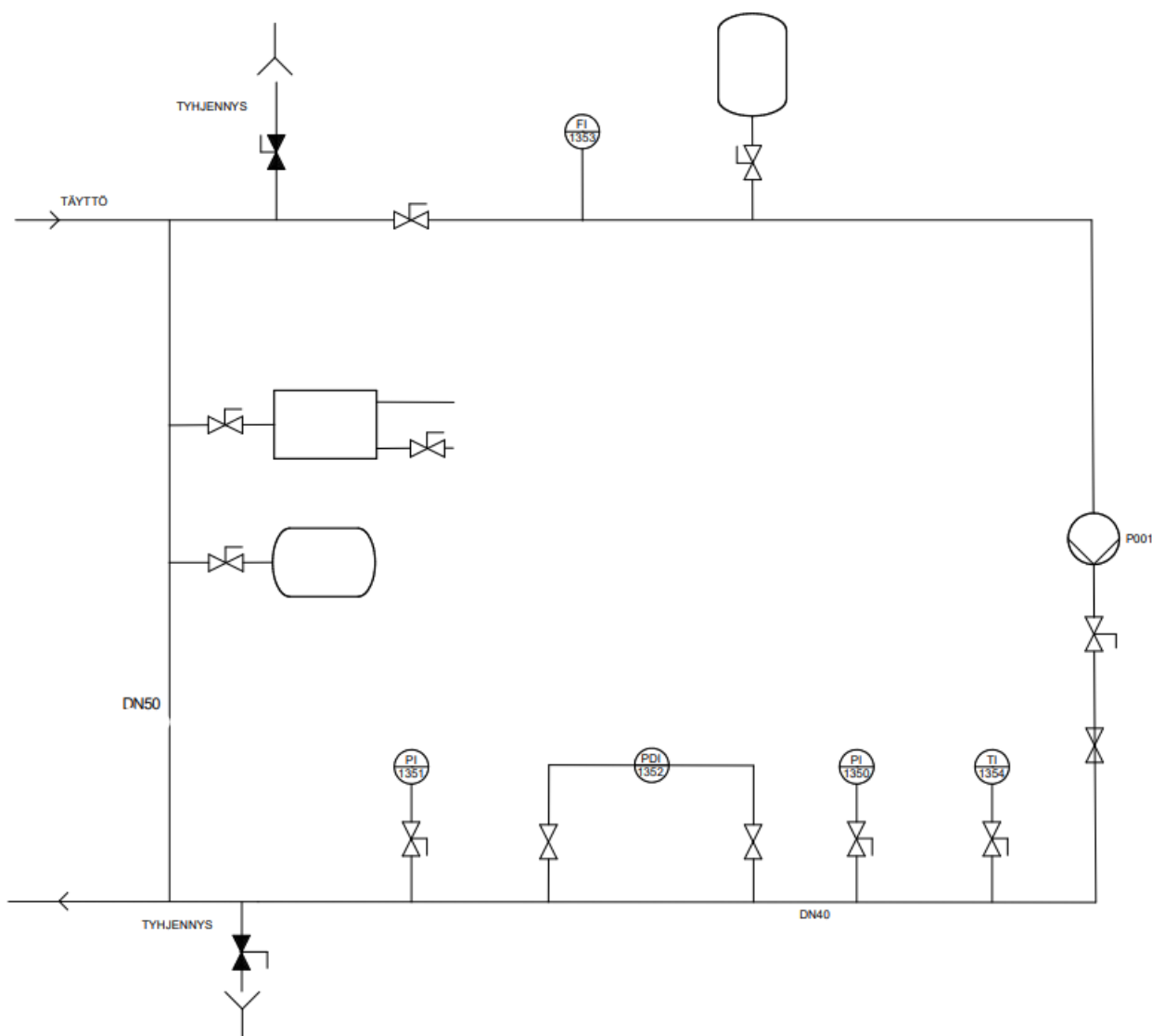
2.6 Mittavirhe

Mittausten kannalta oleellista on, että käytettävä mittalaite sopii mittaussuureen mittaamiseen. Käyttäjän on myös ymmärrettävä mittaustehtävä ja kyettävä suorittamaan se oikein. Mittalaitteen tulee antaa tietoa juuri oikeasta suureesta ja oltava passiivinen käyttöolosuhteille ja muille kuin kohdesuureille. Mittalaitteen tulee olla kalibroitu tehtävään vaadittuun tarkkuuteen. Tarkkuus ei ole suure, joten sille ei voi antaa arvoa. Mittalaitteen tarkkuus voidaankin näin määritellä kykynä antaa virheettömiä tuloksia. Mittavirheen lisäksi puhutaan usein mittaasepävarmuudesta, sekä eri epävarmuuskomponenttien suuruudesta. (Aumala 1989, 157-158)

3 PAINE-EROTESTAUSASEMAN KOKOONPANO

3.1 Prosessi-instrumentointikaavio

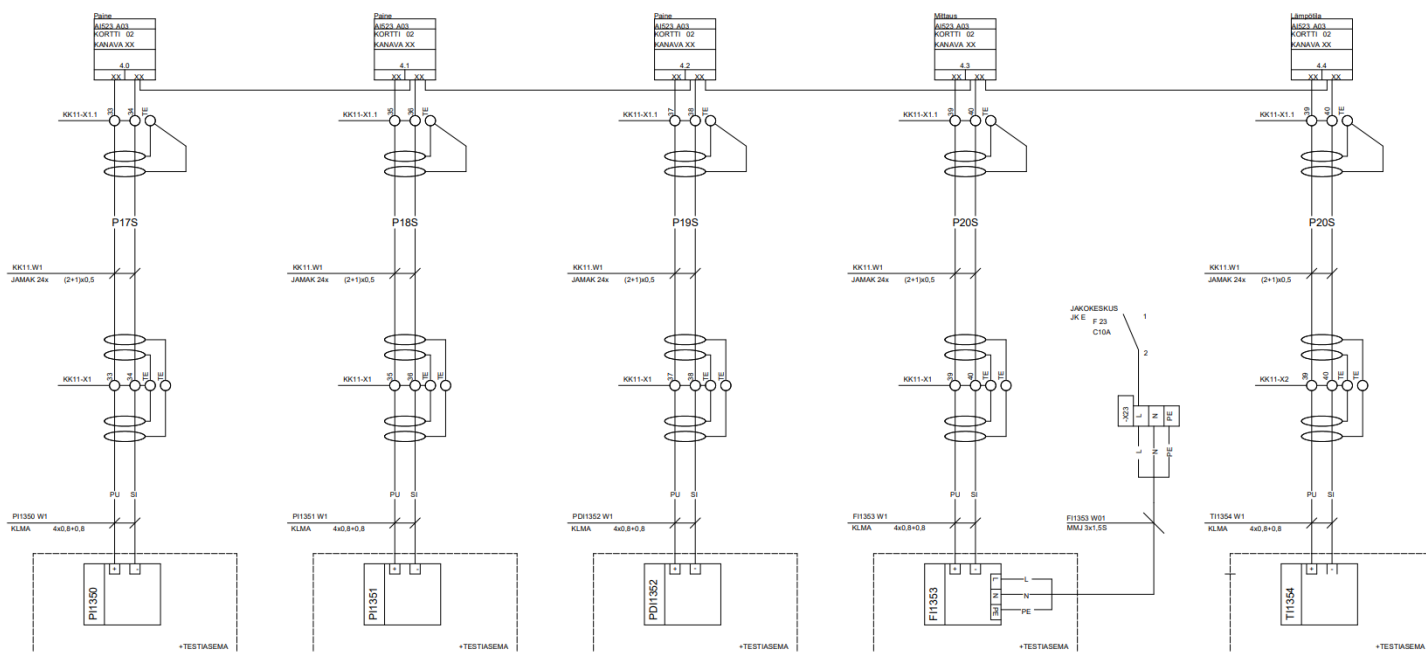
Työ aloitettiin kartoittamalla jo olemassa olevaa laitteistoa, mitä osia Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksen energiatutkimuskeskukselta löytyy ja minkälaisia puutteita mahdollisesti on. Käytännössä ensin piirrettiin prosessi-instrumentointikaavio järjestelmästä, joka kuvaa laitteiston yksittäiset osat, kuten venttiilit, pumput, säiliöt jne. PI-kaavio piirrettiin puhtaaksi AutoCad- ohjelmistoa hyväksikäyttäen. Komponentit haettiin PSK Standardeista pääasiassa PSK 3605. Standardista sai myös suoraan tarvittavan merkkikirjaston käyttöön, jotta kuvan piirtäminen onnistui. Järjestelmän automaatiopuolta oli valmisteltu jo ennen tämän projektin alkua, jonka ansiosta mittareiden positiotiedot oli jo määritelty automaatiojärjestelmään. Tämän ansiosta PI-kaavioon saatiin merkatua suoraan mittareiden ja pumpun positiotiedot. Lopputuloksena järjestelmän PI-kaavio kuvassa 2.



Kuva 2 Prosessi-instrumentointikaavio

3.2 Kytkentäkaavio

Työn toisena vaiheena oli aloittaa tarkistamaan, että jokainen mittaus toimii halutulla tavalla. Tähän hyödynnettiin valmistajilta saatuja mittareiden käyttöohjeita, sekä kalibrointitodistuksia. Kytkentäkaaviota hyödyntäen varmistettiin, että mittatiedot saatiin vietyä myös automaatiojärjestelmään. Kytkentäkaavio löytyy kuvasta 3.



Kuva 3 Kytkentäkaavio

Kaikkien mittareiden asennuksissa oli puutteita, joten jouduttiin tekemään korjauksia, että saadaan mittatiedot näyttämään oikeita arvoja. Lämpötilamittari kytkettiin uudelleen, kulkemaan sähkökaapissa olevien lähettimien kautta. Uusien korjausten jälkeen lämpötilamittaus saatiin toimimaan halutulla tavalla. Paine- ja virtausmittareiden osalta signaalia jouduttiin seuraamaan ja tekemään muutoksia kytkentöihin sekä mittareilla että automaatiokaapissa. Uusien kytkentöjen jälkeen mittarit saatiin toimimaan. Paine-eromittarin kohdalla huomattiin varsin nopeasti, että mittari ei anna oikeanlaista tulosta, jonka lisäksi myöskään kalibrointitodistusta mittarille ei löytynyt.

Paine-eromittarissa mittauselementteinä toimii pietsokiteet, jotka ovat eristetty mitattavasta väliaineesta Hastelloy-kalvoilla ja välitinnesteellä. (S.A 2022). Mittari on yhdistetty vesipiiriin 1/2 tuuman liittimillä, mittarin ja linjan välissä on käytetty teräksisiä impulssiputkia. Myös joustavien impulssiputkien käyttö on mahdollista. Selvitystyön jälkeen vika saatiin paikannettua Hastelloy-kalvoon, joka oli vaurioitunut kuljetuksen/säilytyksen tai laitteeseen liitettävien impulssiputkien asennuksen yhteydessä. Viallinen kalvo aiheutti suurta mittaepävarmuutta, jonka minimoimiseksi päätettiin tehdä han-

kinta uudesta paine-eromittarista. Kustannussyistä hankinnan yhteydessä tiedusteltiin myös laitteen/Hastelloy-kalvon huoltoa, mutta tämä ei onnistunut laitetoimittajalla. Huollon puutteesta johtuen ainoaksi vaihtoehdoksi jäi uusi mittari. Paine-eromittarin uusinnalla oli usean viikon viivästyttävä vaikutus projektin valmistumiseen. Uuden mittarin saavuttua asennuksessa pyrittiin erityiseen varovaisuuteen ja lopputuloksena mittaus saatiin toimimaan tarvittavalla tarkkuudella.

4 PAINE-EROLAITTEISTON KOMPONENTIT

Laitteisto koostuu kokonaisuudessaan vesipiiristä, joka on rakennettu pääasiassa DN50 koon putkesta. Vesipiiri on yhdistetty varaajaan ja täytetään sitä kautta. Järjestelmästä löytyy yksi kappale automaattisia ilmanpoistimia, ja tämän lisäksi yksi ilmaustukki. Tyhjennystä varten on 2 tyhjennysventtiiliä, jotka voidaan kynsiliittimillä yhdistää poistoletkuihin. Poistoletkut on ohjattu hallin jätevesikaivoihin. Kovan ylipaineen hillitsemiseksi järjestelmässä on 2 kappaletta paisuntasäiliöitä.

Järjestelmässä pumppuna toimii Kolmeks Oy:n valmistama MVV-sarjan monivyöhykepumppu. Pumpun optimikapasiteetti on 18 m³/h ja nostokorkeus 32,7 m. Pumpun teho on 3kW ja käyntinopeus, jolla pumppukäyrän mukaan saadaan optimaalinen käyntipiste on 2850rpm. (Kolmeks OY)

Paine-eromittauksena käytettiin Aplisens apr-200alw kaasujen, höyryjen ja nesteiden paine-eron mittaamiseen tarkoitettua mittaria. Laitteessa mittauselementteinä toimivat pietsokiteet, jotka on eristetty mitattavasta väliaineesta Hastelloy-kalvoilla ja välitinnesteellä. (S.A 2022)

Virtausmittarina toimi Rosemount 8700 sarjan sähkömagneettinen virtausmittari. Virtausmittarista ei löytynyt kalibrointitodistusta, jonka seurauksena päädyttiin käyttämään vertailumittauksena Flexim Fluxus F601 kannettavaa ultraäänivirtausmittaria. Ultraäänimittarin tarkkuudeksi oli käyttöohjeissa ilmoitettu +-1,6 % (Fluxus).

Painemittarit olivat Aplisens PCE-28.SMART sarjan laitteita.

Lämpötilamittaus toteutettiin PT100 anturilla ja MÜLLER IE ohjelmoitavat lämpötilalähettimellä.

5 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAAMINEN

Laitteiston valmistuttua sovittiin tapaaminen asiakkaan Högfors gst:n kanssa, jossa käytiin läpi laitteiston rajoitteet ja ensimmäinen testi. Testaussuunnitelma saatiin suoraan asiakkaalta Högfors gst:ltä. Testaussuunnitelma alla (kuva 4).

test. komp/osa part n:o	dokumentin nimi	test komp/osan koko (DN)	liitäntä koko (DN)	väliaiaine	väliaiaineen lämpötila (C°)	venttiilin esisaato	test virtaama:1 (l/s)	test virtaama:2 (l/s)	test virtaama:3 (l/s)
PDT22001	PDtest_22001_IMI_STAD_DN50.idw.pdf	50	50	vesi	20	1	1,2	1,55	1,9
						2	1,2	1,55	1,9
						3	1,2	1,55	1,9
						4	1,2	1,55	1,9

Kuva 4 Testaussuunnitelma

Ensimmäisenä testattavana komponenttina oli virtauksen säätöventtiili. Suunnitelman mukaisesti sitä ajettiin kolmella eri virtaamalla. Venttiilissä on neljä eri säätöasentoa, joita jokaista ajettiin kaikilla suunnitelluilla virtaamilla. Näin ollen mittapisteitä saatiin yhteensä 12 kappaletta. Mitattavat asiat olivat lämpötila mittarilta TI1343, paineet mittareilta PI1350 ennen mitattavaa komponenttia ja PI1351 mitattavan komponentin jälkeen. Paine-eromittaus PDI1352, jossa impulssiputket oli asennettu kiinni mitattavaan komponenttiin. Virtausmittari FI1353 löytyi järjestelmän toiselta puolelta ennen pumppua. Flexim Fluxus F601 kannettava ultraäänivirtausmittari oli testeissä asennettu linjaston etusuoralla. Kuvasta 5 nähdään paine-eroaseman "etusuoraa". Etualalla fluxus flexim kannettava ultraäänivirtausmittari asennettuna linjaan, oikealle päin mentäessä painemittaus, paine-eromittari. Testattava säätöventtiili asennettuna paikalleen. Aivan oikeassa reunassa on toinen painemittari ja lämpötilan mittaus.



Kuva 5 Mittareita ja testattava komponentti

Yhtenä ongelmakohtana oli automaatiojärjestelmän vika, jonka seurauksena pumppua ei pystytty ohjaamaan valvomosta suoraan. Tämä ratkaistiin ohjaamalla pumppua suoraan taajuusmuuttajalta. Myös tämän vian seurauksena automaattista datankeruuta ei saatu päälle, jonka takia päädyttiin kirjaamaan testaustulokset suoraan Excel-taulukkoon. Ensimmäisen mittauksen perusteella tämä ratkaisu toimi hyvin, mittauksissa oli melko vähän heiluntaa suurillakin virtaamamäärillä ja isoilla paine-eroilla. Toisaalta myös ultraäänimittaus sijaitsi fyysisesti myös laitteiston lähellä, joten sen arvot oli joka tapauksessa käytävä tarkistamassa mittauspaikalla.

Testeissä vaadittu virtaama saatiin käynnistämällä pumppu ja tarkistamalla sen jälkeen virtausmittarilta sekä ultraäänivirtausmittarilta kyseisen hetken virtaama. Tämän perusteella pumpun kierroksia

joko nostettiin tai laskettiin, kunnes päästiin haluttuun virtaamaan. Testatun komponentin kohdalla sopivat kierrokset pumpulle olivat 1,2 l/s virtaamalla 1350 rpm, 1,55 l/s virtaamalla 1750 rpm ja 1,9 l/s virtaamalla 2150 rpm. Tämän jälkeen testattavasta säätöventtiilistä käytiin kuristamassa virtausta kiertämällä venttiilin säätö haluttuun kohtaan. Pienen rauhoitusajan jälkeen tulokset kirjattiin ylös ja siirryttiin seuraavaan mittapisteeseen.

6 TULOKSET

Mittausten päätyttyä tulokset oli kirjattu Excel taulukkoon, josta niitä pystyttiin arvioimaan.

Mittaustulokset itsessään salattu niiden arkuuden takia.

Testattavan komponentin paine-erot voitiin lukea suoraan paine-eromittarilta PDI-1352 ja tämän lisäksi saadaan myös vertailumittaus laskemalla paine-ero vertaamalla painemittareiden antamia tuloksia.

Järjestelmässä PI-1351 mittaus oli ennen testattavaa komponenttia ja PI1350 testattavan komponentin jälkeen. Tämän johdosta voidaan paine-ero määrittää käyttämällä kaavaa 5.

$$\text{Paine} - \text{ero} = PI1350 - PI1351 \quad (5)$$

Yksikkönä tässä tapauksessa käytetään Baaria.

Molempien perusteella voitiin todeta, että mittaukset ovat tarkkoja ja marginaali on hyvin pieni.

Myös hieman ennalta epäilystä herättäneiden virtausmittausten osalta tuloksissa päästiin hyvin pieniin virhemarginaaleihin. Käytössä olleiden kahden mittarin ansiosta voitiin todeta myös virtauksen mittauksen olevan luotettava.

Lämpötilamittauksessa huomionarvoista oli suurehko lämpötilan kohoaminen. Syynä voidaan pitää pienehköä vesipiiriä. Linja oli suurimmaksi osaksi eristetty, ja mikäli jatkossa havaitaan, että lämpötilat nousevat liikaa eristeiden poisto on mahdollinen keino ehkäistä ongelmaa.

7 RAPORTOINTI

Testausten jälkeen suunniteltiin ja toteutettiin asiakkaalle lähtevää raporttia/tutkimustodistusta. Raportoinnin suunnittelu ja mahdollisimman pitkälle automatisointi oli myös tärkeä työ, koska testattavia komponentteja pelkästään Högforsin tapauksessa on alustavan tiedon mukaan useita. Raporttipohjaa varten hyödynnettiin Savonian energiatekniikan osaston tuotekehitys ja -innovointipuolen valmiita raportteja, vertailtiin näiden välillä ja rakennettiin sopiva pohja. Raportista saatiin näin yhtenäinen muuhun Savonian tuotekehitys ja -innovointipuolen raportointiin nähden. Tulosten kirjaamiseen luotiin valmiit Excel-pohjat, joiden avulla voidaan jatkossa nopeuttaa prosessia. Raporttiin otettiin kuva testattavasta komponentista, jonka jälkeen raporttipohjaan kirjattiin komponentin nimi sekä testeistä saadut tulokset eri mittapisteillä. Tutkimustodistus liitteenä (Liite 1).

8 MANUAALIEN LUONTI

Testausaseman valmistuttua ja ensimmäisten testausten onnistuttua, työn viimeisenä vaiheena oli kirjoittaa sopivat käyttöohjeet järjestelmän käyttöön. Käyttöohjeet tulevat palvelemaan Savonian henkilökuntaa ja mahdollisesti myös opiskelijoita. Käyttöohjeista pyrittiin tekemään niin yksinkertaiset kuin mahdollista ja kuvia järjestelmästä ja sen osista liitettiin niihin paljon. Ohjeiden tarkoituksena on, että kuka tahansa pystyy jatkamaan testejä. Toiminnan jatkon kannalta tämä on ensiarvoisen tärkeää, koska testausten jatkosta on käyty keskusteluja Högforsin kanssa. Paine-eroasema on myös Savonian omistama ja Savonian tiloissa, joten käytölle myös muiden yritysten testeihin ei ole esteitä. Valmistunut käyttöohje löytyy liitteistä (Liite 2).

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Paine-eromittausaseman tarkkuus oli alussa hyvin epävarma, koska kaikista laitteista ei löytynyt kalibrointitodistuksia ja koko laitteisto oli seisonut pitkään käyttämättömänä. Mittareiden asennuksessa havaittiin myös paljon epäkohtia. Aikataulun puolesta hajonnut paine-eromittari aiheutti usean viikon viivästyksen projektille. Lopulta testausten saavuttua maaliin mittaustulokset olivat kuitenkin hyvin linjassa ja ainakin testatun komponentin osalta testejä voidaan pitää onnistuneena. Ainoa huomionarvoinen seikka oli lämpötilan mittaus, vesipiiri oli kohtuullisen pieni, jonka takia lämpötilat nousivat koeajossa melko paljon. Suurin osa linjasta oli eristetty, ja jatkossa voidaan arvioida eristeiden poistoa, jolloin lämpötilat eivät kohoaisi niin paljon.

Jatkossa testausasemaa on tarkoitus muokata soveltumaan tuleviin tarpeisiin. Tiedossa on jo, että testattavien komponenttien rakenne tulee muuttumaan, ja tämän seurauksena linjastoon on tarkoitus rakentaa joustavat mutkat, sekä paine-eromittauksen impulssiputket on vaihdettava joustaviin. Tässä ensimmäisessä testissä säätöventtiili oli kiinnitetty suoraan linjaan DN50 koon laippaliitoksella, ja joustavien mutkien jälkeen voidaan testata myös muita kuin suoria komponentteja. Yhtenä kehityskohteena on laittaa automaatiojärjestelmästä pumpun ohjaus toimimaan. Tämä auttaa laitteiston operointia, koska pumppua ei tarvitse ajaa suoraan taajuusmuuttajalta. Toisena etuna täysin automaatiojärjestelmästä ohjattuna olisi se, että automaattinen datankeruu saataisiin toimimaan. Tämä poistaisi käyttäjän tekemät kirjausvirheet, ja olisi näin ollen luotettavampi tapa kerätä tietoa. Työn lopputulosta voidaan pitää hyvin onnistuneena. Savonialla on nyt käytössä toimiva ja luotettava järjestelmä paine-eromittauksia varten ja Högfors gst:n kanssa on alustavasti käyty keskusteluja lisäkomponenttien testaamisesta.

10 LÄHDELUETTELO

- Aumala, Olli. 1989. *Mittaustekniikan Perusteet*. Helsinki: Tekijät ja Oy yliopistokustannus/Otatieto.
- Fluxus, Flexim. *Flexim fluxus manuaali*. Flexim. Haettu 6.12.2022 https://www.flexim.com/sites/default/files/2020-11/tsfluxus_f601%20-%20en.pdf.
- Fonselius, Jaakko, Esko Laitinen, Kari Pekkola, Arto Sampo, ja Taisto Välimaa. 1994. *Koneautomaatio. Anturit*. Helsinki: Opetushallitus.
- Fonselius, Jaakko, Kari Pekkola, Seppo Selosmaa, Markku Ström, ja Taisto Välimaa. 1996. *Automaatiolaitteet*. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Kolmeks OY. *Kolmeks oy pumput*. Haettu 6.12.2022 <https://kolmeks.com/pumput/dokumentaatio>.
- Pihkala, Juhani. 2004. *Prosessisuureiden mittaustekniikka*. Vantaa: Opetushallitus.
- S.A, Aplisens. 2022. *Aplisens*. Aplisens. 12. Haettu 6.12.2022 <https://aplisens.com/apr-2000alw.html>.
- Saxholm, Sari, ja Markku Rantanen. Espoo 2011. *Paineen mittaus*. Mittatekniikan keskus . Haettu 6.12.2022 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/MIKES/2011-J1.pdf>.
- Timo Heikkinen. 2022. Oulun Ammattikorkeakoulu. Haettu 6.12.2022 https://timohei.net/k/T140203/Esitykset/Lampotilan_mittaus_vastusantureilla_kalvot.pdf.

11 LIITTEET

LIITE 1 TUTKIMUSTODISTUS

LIITE 2. PAINE-EROASEMAN KÄYTTÖOHJEET

Paine-ero aseman käyttöohjeet

Järjestelmän täyttäminen

Täyttöhana löytyy 1 ja 2 kerroksen välistä portaista oikealla. Avataan 2 mustaa hanaa.



Itse vesipiiristä löytyy 3 käsikäyttöistä sulkuventtiiliä, tarkista että kaikki on auki. Vettä voi valutella siihen saakka kunnes vesivaraajan varoventtiili alkaa laskea vettä. Varoventtiilin vedet on ohjattu alakerran lattiakaivoon.

Järjestelmän ilmaus

Piirissä on "etupätkällä" 1 kpl automaattisia ilmanpoistimia, joka voi olla auki koko ajan. Toinen paikka ilmaamiselle löytyy paisuntasäiliön vierestä olevasta tukista käsikäyttöinen venttiili.



Hyvä ilmaus vaatii pumpun käyttämistä hyvillä kierroksilla jonkin aikaa, jotta kaikki ilma saadaan pois järjestelmästä. Pumpun kierrosten ollessa 1000rpm, alkaa virtaama olla noin 1l/s. Järjestelmän paineet voi tarkistaa automaatiosta PI1350 ja PI1351 mittareista, aikaisemmissa testauksissa paineet on saatu noin 1,4 -1,5 tasolle. Näillä tasoilla linjasto vaikuttaisi olevan kohtuu hyvin täytetty.

Pumpun käyttö

Pumppua ajetaan toistaiseksi suoraan tamulta, ohjain löytyy yläkerran keskuksesta nurkasta P1005. Pumpussa maksimikierrokset valmistajan mukaan 2850rpm. Tarvittavat kierrokset tiettyyn virtaamaan vaihtelevat järjestelmän kokoonpanosta. Aiemmassa testissä 1350rpm sai aikaan 1,2l/s, 1750rpm 1,55 l/s ja 2150rpm 1,9 l/s virtaamat ja näitä voi käyttää jonkinlaisena mittapuuna.

Ultraääni virtausmittari

Salkussa on laitteet, käyttöohjeet ja muut tarvittavat komponentit. Mitta-anturit asennetaan A tai B kanavaan, molemmissa voi määrittää ennalta omia parametrejä mittaukselle. Parametrit on hyvä tarkistaa ennen mittauksen aloittamista ja varmistaa että operoi oikeaa kanavaa. Tärkeimmät kohdat ovat dn putkikoko, lämpötila sekä putken karheus (roughness). Nämä olivat aiemmissa testauksissa dn50 ja 0,1 Ra

Anturit asennetaan mielellään putken sivulle, antureihin muodostuu nuoli indikoimaan virtaussuuntaa.

Kun mittausta aloitetaan, laite kysyy kanavan A tai B, measure point no johon voisi nimetä mittapaikan. Tämän jälkeen sound path 2 jos anturit ovat samalla puolella putkea. Viimeisenä laite antaa merkkiä signaalin voimakkuudesta, on oltava vähintään 6 palkkia. Mitta-antureiden välimatka

mitataan, laatikosta löytyy mittatikku ja kirjataan koneeseen. Tämän jälkeen voidaan aloittaa mittauksen.

Mittausten suorittaminen

Kun kaikki on saatu valmiiksi voidaan aloittaa mittaaminen, tuloksia voi kirjata exceliin valvomossa. Automaatiosta löytyy visuaali: PDI_Test_ENV jota voidaan käyttää mittareiden lukemiseen , tai tarkemmat reaaliarvot löytyy POU IO0302 (PRG). Painemittaukset hyvä ottaa reaalina, jolloin saadaan tarkempi tulos parilla desimaalilla.

Ajetaan testaussuunnitelman mukaan. Ensimmäisellä kerralla oli 3 eri virtaamaa ja testattavana komponenttina säätöventtiili jota säädettiin eri arvoihin. Yhteensä siis 12 mittapistettä.

Mittausten päättäminen

-Pumpun sammutus

-Ultraääni mittarin purku

-Vesien tyhjennys: Letku viemäriin kynsiliittimellä, ja järjestelmässä on 2 tyhjennys venttiiliä johon tämä sopii. Ilmausventtiilin voi aukaista, jolloin tyhjenee vauhdikkaammin.

Troubleshooting

Laitteiston ilmaaminen on tällä hetkellä melko hankalaa. Pääveden syöttöä voi joutua availemaan useamman kerran ja pumppua saa käyttää ihan kunnolla, jotta saadaan tarpeeksi vettä järjestelmään.

Paine-ero mittari on herkkä, ja kannattaa tarkistaa alkumetreillä että arvot on ok. Ensimmäisellä mittauksella näytti – lukuja, mahdollinen ilmakupla impulssiputkessa? Korjaantui kun impulssiputken liitokset avattiin.

Checklist

- Vedet järjestelmään: 2 hanaa portaiden "takana", varmista että kaikki 3 sulkuventtiiliä järjestelmään on auki.
- Pumppu päälle tamulta, kierroksia esim. 1000 rpm
- Ilmaukset: automaattinen ilmanpoistin voi olla auki koko ajan. Tukin vieressä yksi ilmausventtiili. Sopivat paineet 1,4-1,5 Bar
- Automaatiosta löytyy visuaali: PDI_Test_ENV ja reaaliarvot: POU IO0302 (PRG)
- Fluxus virtausmittarin asennus. Tarkista parametrit!
- Testaussuunnitelman mukaan mittaukset.
- Testien lopuksi pumppu kiinni, virtausmittarin purku, vesien tyhjennys (kynsilämmillä 2 tyhjennysventtiiliä).