
**WIRELESSHART™-TIEDONSIIRTOON PERUSTUVAN
LANGATTOMAN THUM™-LÄHETINYKSIKÖN TOI-
MINNAN TESTAUS PERINTEISTEN HART-
KENTTÄLAITTEIDEN KANSSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Valkeakoski, 18.5.2010

Marko Husu

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tietotie 1
37630 Valkeakoski

Työn nimi WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman
THUM™-lähetinyksikön toiminnan testaus perinteisten
HART-kenttälaitteiden kanssa

Tekijä Marko Husu

Ohjaava opettaja *Aimo Tikka*

Hyväksytty _____ . _____ .20_____

Hyväksyjä

VALKEAKOSKI
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Marko Husu	Vuosi 2010
Työn nimi	WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kenttälaitteiden kanssa	

TIIVISTELMÄ

WirelessHART™ -tekniikka on mahdollistanut prosessin etäkohteiden seurannan ilman johdotuksia. Koska prosessiin liitettävät WirelessHART™-kenttälaitteet ovat kuitenkin kalliita, useat valmistajat ovat tuoneet markkinoille langattomaan kommunikaatioon tarkoitettuja adaptereita, jotka voidaan liittää suoraan perinteisiin kenttälaitteisiin.

Tässä työssä tutkittiin Emersonin langattoman THUM™-lähetyksikön toimintaa HART-kenttälaitteiden kanssa ja soveltuvuutta eri valmistajien laitteisiin. Tavoitteena oli saada luettua kenttälaitteen diagnostiikkatiedot ja muuttujat sekä tutkia siirrettävän datan määrää.

Työ tehtiin Emerson Process Managementin Tampereen tiloissa, jossa adapterin toimintaa testattiin Rosemountin, Fisherin ja Metson laitteilla sekä HAMK Valkeakoskella, jossa otettiin käyttöön WirelessHART™-verkko opetuskäyttöön.

Työn lopputulokseksi saatiin ennakkotutkimus adapterin toiminnasta eri valmistajien kenttälaitteiden kanssa.

Avainsanat HART, langaton, adapteri, THUM, tietoliikenne

Sivut 48 s.

VALKEAKOSKI
Automation Technology program

Author	Marko Husu	Year 2010
Subject of Bachelor's thesis	WirelessHART™-communication based THUM™-adapter testing with conventional HART-field devices	

ABSTRACT

WirelessHART™ -technology has made it possible to monitor remote stations of a process without cabling. Because WirelessHART™-field devices are expensive, many manufacturers have launched wireless adapters that can be installed directly to conventional field devices.

This study examined the Emerson Smart Wireless THUM™-adapters' functionality with HART-field devices, and operability with other manufacturers' devices.

The study was performed at Emerson Process Managements office in Tampere, where the adapter was tested with Rosemount, Fisher and Metso devices. A WirelessHART™ -network was also deployed in HAMK Valkeakoski for teaching purposes.

The thesis resulted in a preliminary study of the Smart Wireless THUM™-adapters' operability with different manufacturers' field devices.

Keywords HART, wireless, adapter, THUM, telecommunication

Pages 48 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn toimeksiantaja	1
2	LANGATON TIEDONSIIRTO	2
2.1	Laitekommunikaatio.....	2
2.2	Radioaallot ja modulointi	2
2.3	Langattomien verkkojen taajuusalueet ja määräykset.....	3
2.4	Verkkotopologiat.....	5
2.4.1	Väylätologia	5
2.4.2	Rengastologia	5
2.4.3	Tähtitologia.....	5
2.4.4	Puutologia.....	6
2.4.5	MESH-topologia.....	6
2.5	Langattomuuden edut ja haitat	7
3	WIRELESSHART™.....	8
3.1	HART-protokolla	8
3.1.1	Protokollan rakenne.....	8
3.1.2	HART-signaali	10
3.1.3	HART-komennot.....	10
3.1.4	DDL.....	11
3.2	TSMP	11
3.2.1	TDMA	11
3.2.2	FHSS.....	12
3.3	DSSS ja WirelessHART™ -modulointi.....	12
3.4	WirelessHART™-laitteet.....	14
3.4.1	Gateway.....	14
3.4.2	Kentälaitteet.....	14
3.5	WirelessHART™ kommunikaation yhteenveto	15
4	AMST™ SUITE	16
4.1	AMST™ Suite ohjelmistosovelluksia	17
5	THUM™ -LÄHETINYKSIKKÖ.....	18
5.1	Signaalin kulku.....	18
5.2	Liitettävyys kentälaitteisiin	19
6	KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	21
6.1	1420 Gatewayn konfigurointi.....	21
6.2	WirelessHART™ -verkon luominen	22
6.3	THUM -adapterin toiminta kentälaitteiden kanssa	22
6.3.1	Rosemount 3244 lämpötilalähetin	23
6.3.2	Rosemount 8800 vortex -virtausmittari.....	25
6.3.3	Rosemount 3100 ultraäänipintamittari	26
6.3.4	Rosemount 5400 mikroaalto-pintatutka	28
6.3.5	MicroMotion 2700 coriolismittari	30
6.3.6	Rosemount 8712 magneettinen virtausmittari.....	33

6.3.7	Siemens Sitrans P DS	35
6.3.8	Fisher DVC6000 venttiiliohjain	36
6.3.9	Neles ND9000 venttiiliohjain	38
6.3.10	Neles ND821 S4 -venttiiliohjain	41
7	MUIDEN VALMISTAJIEN WIRELESSHART-ADAPTEREITA	43
8	WIRELESSHART™-VERKON KÄYTTÖÖNOTTO	45
9	LOPPUTULOKSET	46
10	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET	48

1 JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään Emerson Process Managementin toimeksiannosta langatonta THUM™-lähetinyksikköä ja testataan sen toimintaa erilaisten kenttälaitteiden kanssa. HART -protokollaa tukevia laitteita löytyy maailmasta asennettuna yli 30 miljoonaa. HART-laitteiden protokollaa on käytetty jo parikymmentä vuotta käyttöönotossa ja huollon yhteydessä, mutta vain alle 5 % näistä laitteista tarjoaa diagnostiikkatietoa etäkäyttäjälle. THUM-adapterilla pyritään saamaan kaikki tarjottava data käyttäjälle ilman erillisten HART-multipleksien hankkimista ja johdotuksien vetämistä.

Lähetinyksikön toimintaa lähestytään asiakkaan näkökulmasta ja selvitetään sen sopivuutta muun muassa Metson ja Fisherin venttiileihin, Siemensin painelähettimeen sekä vanhempiin HART -kenttälaitteisiin. Lisäksi perehdytään THUM-adapterin kommunikaatioon käsittelemällä WirelessHART™ -protokollaa.

1.1 Työn toimeksiantaja

Emerson Process Management on amerikkalainen, kansainvälisesti toimiva automaatiolaitteita ja hallintajärjestelmiä tarjoava yritys, joka on osa Emerson-konsernia. Konserni toimii yli 85 massa työllistäen noin 130 000 henkilöä, joista 27 työskentelee Suomessa Vantaan, Tampereen ja Lappeenrannan toimipisteissä. Vuonna 2009 konsernin liikevaihto ylsi 20,9 miljardiin dollariin.

Emersonilla on lukuisia tytäryhtiöitä eri aloilla, joista Rosemount Inc. kehitti HART (Highway Addressable Remote Transducer) -protokollan 80-luvun lopulla kenttälaitteiden konfigurointiin. 2000-luvulla mahdolliseksi tuli tiedonsiirto myös Suomessa valmistettaviin automaatiojärjestelmiin. Vuonna 2007, viimeisin askel protokollan kehityksessä (HART 7) mahdollisti langattoman kommunikaation uudella WirelessHART™ -protokollalla.

Emersonin lanseeraamia tuotteita ovat muun muassa Rosemountin kenttälaitteet, MicroMotion virtausmittarit, Fisherin säätöventtiilit, AMS™ Suite -ohjelmistoratkaisut ja DeltaV-automaatiojärjestelmät.

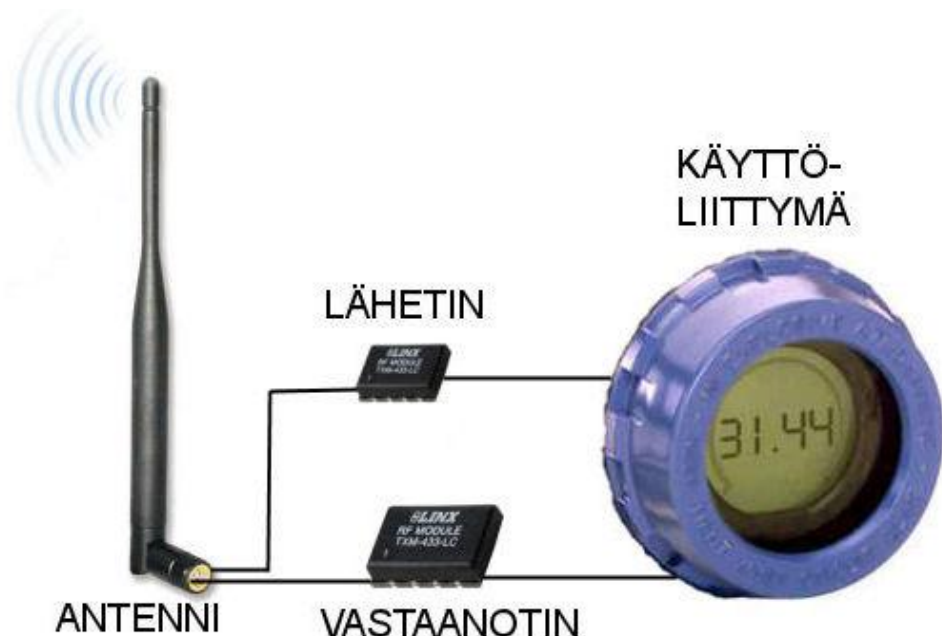
2 LANGATON TIEDONSIIRTO

Langattomalla tiedonsiirrolla tarkoitetaan laitteiden välistä kommunikaatiota, joissa lähettävän ja vastaanottavan laitteen välillä ei ole kiinteää yhteyttä.

2.1 Laitekommunikaatio

Laitteet, jotka kommunikoivat langattomasti, sisältävät ainakin kolme oleellista osaa: antenni-, lähetin- ja vastaanotinosat, jotka on esitetty kuvassa 1. Nykyään useimmissa laitteissa lähetin ja vastaanotin on integroitu samaan kommunikaatiopiiriin.

Radiosignaalit kulkevat antennin kautta laitteelta toiselle. Antennin koko ja tyyppi riippuvat sen käyttötarkoituksesta, mutta usein antennin pituus on kerrannainen käytettävän signaalin taajuudesta. Saatuaan signaalin laitteen vastaanotinyksikkö muuttaa sen vaadittavaan muotoon ja mahdollisesti esittää sen käyttöliittymässä käyttäjälle sopivalla tavalla. Käyttöliittymänä voi olla tietokoneen näyttö valvomossa tai yksinkertainen kenttälaitteen näyttöruutu. Lähetinyksikkö moduloi halutut tiedot lähetyssignaaliin ja välittää sen edelleen antennille, josta signaali jatkaa kulkuaan seuraavalle laitteelle.



KUVA 1 Esimerkki langattoman laitteen rakenteesta

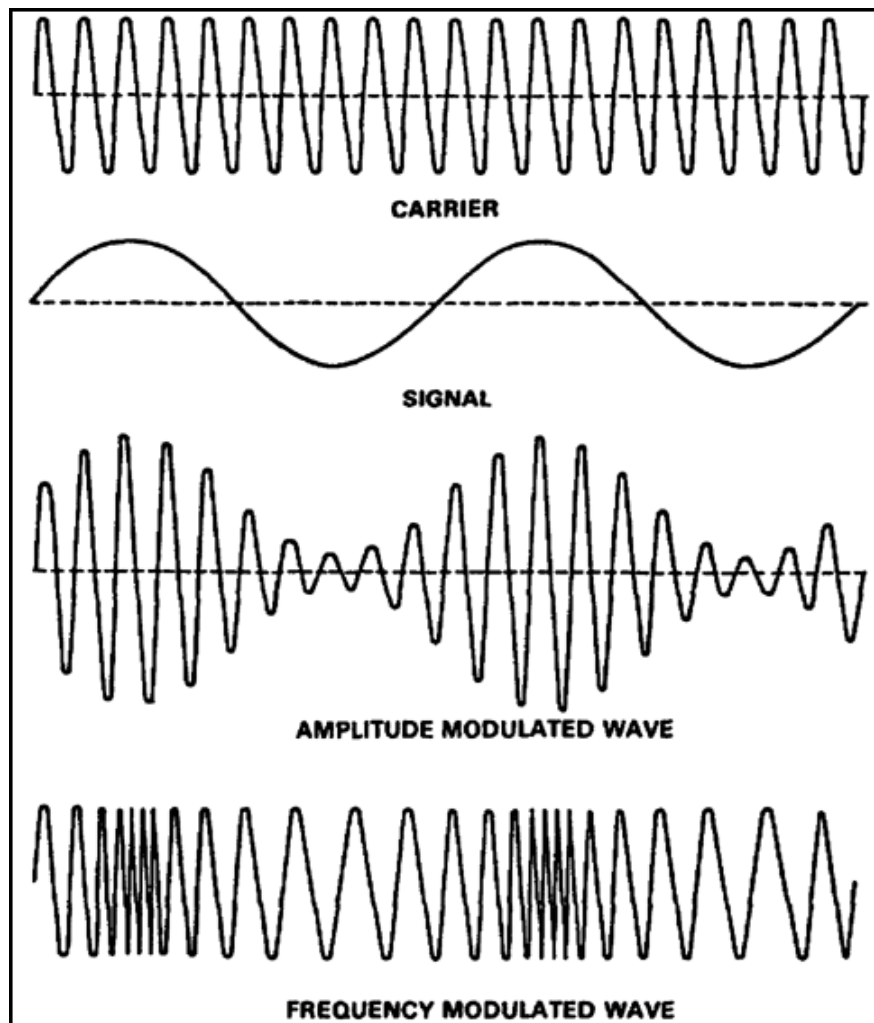
2.2 Radioaallot ja modulointi

Radioaallot ovat sähkömagneettista säteilyä, jonka taajuus on välillä 3kHz – 300GHz. Termi ”radio” on otettu käyttöön käsittämään kaikkia aaltoja,

joilla on matalampi taajuus kuin infrapunalla. Termi on johdettu käsitteestä ”electromagnetic radiation.”

Pienitaajuista kommunikaatiota, kuten puhetta, ei ole käytännöllistä lähettää sellaisenaan. Tällöin ääni muutetaan elektromagneettiseen muotoon, jolla moduloidaan kantaaltoa joko AM (Amplitude Modulation) tai FM (Frequency Modulation) -periaatteella. Lähetetty signaali on yhdistelmä matalataajuisia lähetystietoa ja korkeampitaajuisia kantaaltoa.

Kuvassa 2 esitetään signaalin modulointi kantaaltoon AM ja FM -periaatteella.

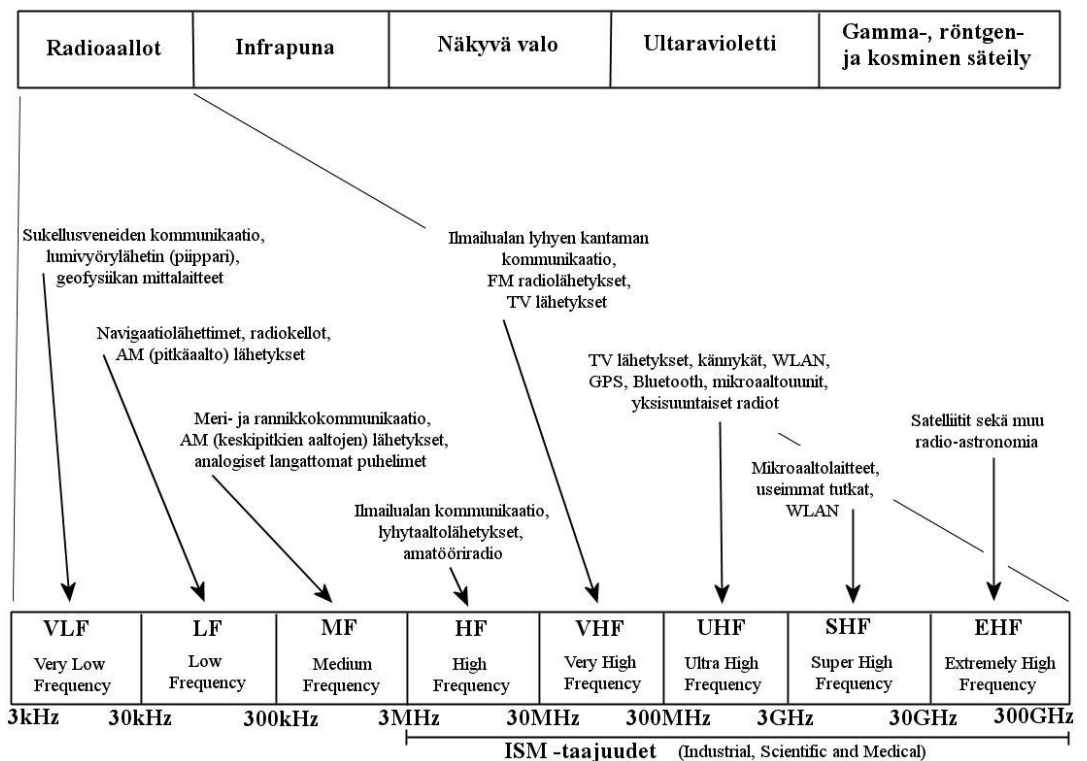


KUVA 2 AM- ja FM-aaltojen tyylit [2]

2.3 Langattomien verkkojen taajuusalueet ja määräykset

Suomessa taajuuskaistojen lisenssien jakamisesta vastaa liikenne- ja viestintäministeriö, joka toimii IEEE LAN/MAN -standardikomitean osoittaman säännösten mukaan. Kaikki langattomien verkkojen taajuusalueet on säädelty IEEE 802.11 -standardien mukaisiksi. Kuvassa 3 näkyy standardoitujen taajuusalueiden käyttökohteita USA:ssa.

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



KUVA 3 Esimerkki USA:ssa käytettävien taajuusalueiden käyttökohteista

TAULUKKO 1 Langattomien tiedonsiirtotapojen ominaisuuksia [3]

Tekniikka	Taajuus-kaista	Siirtonopeus	Kantama	Lähetysteho
Bluetooth v1 (802.15.1)	2,4 GHz ISM	721 kb/s	<100m	+20 dBm +4 dBm 0 dBm
Bluetooth 2.0 + EDR	2,4 GHz	Max. 3 Mb/s	<100m	+20 dBm +4 dBm 0 dBm
IEEE 802.11x Wi-Fi, WLAN	2,4 GHz / 5 GHz	Min. 1 Mb/s Max. 54 Mb/s	60m, (1Mb/s)	+23 dBm
IrDA	343 THz (875 nm)	Min. 2,4 kb/s Max. 16 Mb/s	metrejä	
Wireless Profibus DP (802.11)	900 MHz	12 Mb/s	vrt. WLAN	
IEEE 802.15.4 – 2003 (ZigBee)	2,4 GHz	250 kb/s	<100m	+10 dBm
HART 7, WirelessHART	2,4 GHz	250 kb/s	100m 200m* 800m**	+10 dBm

* Suoralla näkyvydellä

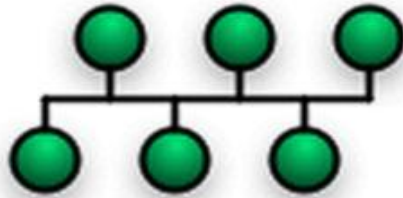
** Pitkän kantaman antennilla

2.4 Verkkotopologiat

Verkkorakenteissa on kaksi pääkategoriaa; Serveri ja ns. peer-to-peer, jotka jakautuvat erilaisiin topologiatyyppeihin. Näitä tyyppejä ovat väylä-, rengas-, tähti-, puu- sekä MESH -topologiat. [12] [4]

2.4.1 Väylätopologia

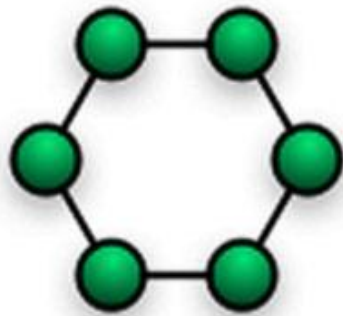
Väylätopologiassa kommunikaatio toimii kilpavarausmenettelyllä (CSMA/CD), jossa vain yksi laite kerrallaan voi lähettää viestiä muiden ollessa ”luku” -tilassa. Lähetetty viesti kulkee kaapelissa molempiin suuntiin ja vastaanottajat lukevat datan vain jos niiden IP-osoitetta on kutsuttu. Laitteet on liitetty toisiinsa yhdellä kommunikaatiokaapelilla, jonka molemmat päät on kytketty terminaattoreihin. Terminaattoreina toimivat päätevastukset estävät signaalin heijastumisen takaisin. [4] [5]



KUVA 4 Väylätopologia

2.4.2 Rengastopologia

Renkaassa olevat laitteet on kytketty suoraan kahteen naapuriin. Kommunikaatio tapahtuu aina joko myötä- tai vastapäivään ”token” periaatteella. Viesti kulkee lähettäjältä naapurilaitteelle, joka tarvittaessa vahvistaa signaalia ja lähettää viestin edelleen omalle naapurilleen. Yhden kommunikaatiövälän tai laitteen vaurio kaataa koko verkon. [4] [5]



KUVA 5 Rengastopologia

2.4.3 Tähtitopologia

Tähtitopologiassa keskuksena toimiva hubi/kytkin/reititin ohjaa kaiken liikenteen lävitseen. Päätteet kommunikoivat ”Server” -periaatteella, jossa

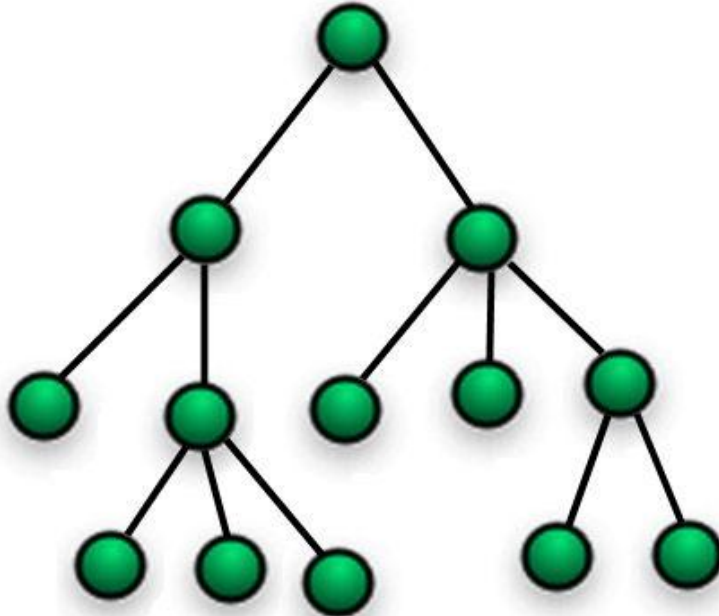
viesti kulkee kytkimen kautta suoraan vastaanottajalle häiritsemättä muuta liikennettä. Yhden yhteyden tai laitteen kaatuminen ei vaikuta muuhun verkon toimintaan. [4] [5]



KUVA 6 Tähtitopologia

2.4.4 Puutopologia

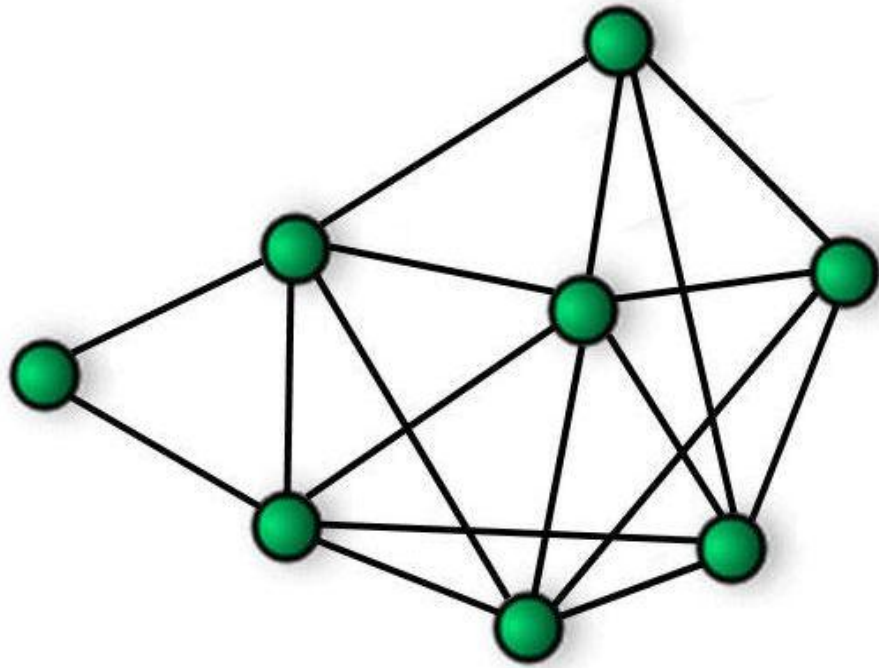
Puu- tai hierarkiatopologia integroi usean tähtitopologiassa olevan kytkimen uuteen väylätopologiaan. Puutopologiassa vallitsee päätteiden hierarkia, jossa tärkeämmät laitteet (tähtitopologian hubit) voivat keskustella ylemmän osion laitteiden kanssa. [4] [5]



KUVA 7 Puu-/hierarkiatopologia

2.4.5 MESH-topologia

MESH -topologiassa kaikki laitteet toimivat reitittiminä. Viesti voi kulkea useita eri reittejä lähettäjältä vastaanottajalle, mikä mahdollistaa kaikkien laitteiden kommunikaation vaikka yksi tai useampi yhteys olisi katkennut. [4] [5]



KUVA 8 *MESH-topologia*

2.5 Langattomuuden edut ja haitat

Langattomalla tiedonsiirrolla on paljon käyttösovelluksia (kuten GPS) joita ei kiinteällä kommunikaatiolla ole mahdollista suorittaa. Esimerkiksi pitkien välimatkojen ja liikkuvien kohteiden etäisyyksiä mitataan laserin ja mikroaaltojen heijastumisella. Langattomuudella mahdollistetaan myös liikkuva kommunikaatio niin matkapuhelimissa kuin liikuteltavissa työpäätteissä. Pitkillä etäisyyksillä langattomuus on usein taloudellisesti kannattavampaa, sillä kaapeloidun yhteyden materiaaliset kulut ja asennustyöt maksavat enemmän. Lisäksi langattoman verkon pystyttäminen ja muokkaaminen käy paljon helpommin ja nopeammin verrattuna kaapeloituun vaihtoehtoon.

Langatonta kommunikaatiota pidetään osin turvattomana ja häiriöherkkänä. Esimerkiksi kiinteät esteet ja muiden lähteiden häiriösignaalit vaikuttavat tiedonkulkuun. Tähän on puututtu mm. FHSS ja DSSS -tekniikoilla sekä erilaisilla salausmenetelmillä. On selvää, että kaapeloidulla tiedonsiirrolla päästään suurempiin nopeuksiin, mutta jos todella suurille nopeuksille ei ole tarvetta, niin langaton kommunikaatio on varteenotettava vaihtoehto.

3 WIRELESSHART™

WirelessHART™ on ainoa standardoitu langaton tekniikka, joka on kehitetty yhteensopivaksi jo olemassa olevalle protokollalle. Se on HART-viestillä toimiva älykäs, itseorganisoituva ja itsekorjautuva langaton tietoliikenneverkko. WirelessHART™ perustuu Dust™ Networksin kehittämään TSMP-protokollaan sekä IEEE 802.15.4 standardiin, joiden avulla verkosta on saatu luotettava, helppokäyttöinen ja tehokas. 26. maaliskuuta 2010, IEC:n (kansainvälisen sähköteknisen komission) 28 valtion edustajisto hyväksyi yksimielisesti WirelessHART™ -tekniikan omaksi kansainväliseksi IEC 62591 -standardiksi.

3.1 HART-protokolla

HART (Highway Addressable Remote Transducer) protokolla on maailmanlaajuinen standardi digitaalisen viestin lähettämiseen analogiseen signaaliin liitettynä. Digitaaliset ”1” ja ”0” muodostuvat taajuuksista 1200 Hz ja 2200 Hz, jotka kulkevat analogisen 4 - 20 mA:n standardivirtaviestin päällä. Taajuusmääritteisen digitaaliviestin amplitudin keskiarvo on nolla, joten se ei vaikuta analogiseen signaaliin (kuva 10). HART-kommunikaatio on kaksisuuntainen, tarjoten tiedonvälitystä älykkäiden kentälaitteiden ja isäntälaitteiden välillä. [1] [6]

HART on menestyksekkäin kenttäväyläprotokolla maailmassa. Sen laitekanta on yli 30 miljoonaa ja kasvaa kahdella miljoonalla vuosittain. HCF (HART Communication Foundation) on tekniikan omistava ja sitä ylläpitävä organisaatio, joka valvoo että protokolla on avoimesti saatavilla teollisuuden hyötykäyttöön. HCF:n jäsenistöön kuuluu yli 230 yritystä. [16]

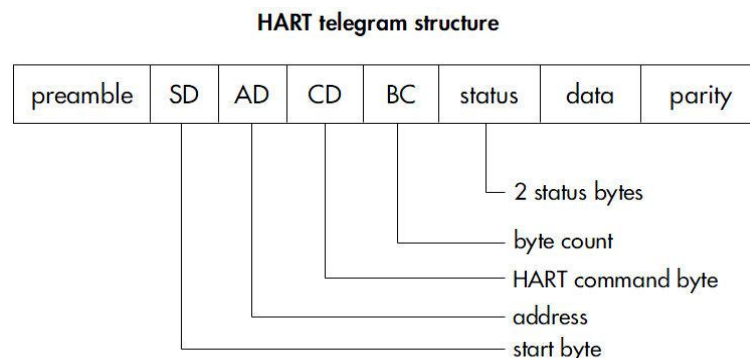
3.1.1 Protokollan rakenne

HART -protokolla hyödyntää OSI -viitemallia (Open System Interconnection Reference Model). Kuten useimmat kenttäväyläprotokollat, HART hyödyntää vain kolmea OSI -mallin seitsemästä kerroksesta; fyysistä-, siirto- ja sovelluskerrosta. Kerrokset 3 - 6 jäävät käyttämättä, sillä niiden toimintoja ei tarvita tai ne sisältyvät kerrokseen 7, eli sovellusosaan. Taulukossa 2 verrataan HART ja WirelessHART -protokollaa suhteessa OSI-malliin. [6] [8] [9]

TAULUKKO 2 OSI-mallin, HART ja WirelessHART -protokollan kerrosrakenne[8]

OSI - viitemalli	HART	WirelessHART
7. Sovelluskerros	7. HART käskyt	7. HART käskyt, toimintajärjestys
6. Esityskerros		
5. Istunterkerros		
4. Kuljetuskerros		4. HART ja WirelessHART sulautus
3. Verkkokerros		3. Itserakentuva ja -korjautuva
2. Siirtokerros	2. Protokollan säännöt	2. Suojattu, TDMA, FHSS
1. Fyysinen kerros	1. BELL 202	1. 2,4GHz langaton

1. Fyysinen kerros. Bittien koodaukseen käytetään FSK (Frequency Shift Keying) metodia, mikä perustuu BELL 202 kommunikaatiostandardiin. Digitaalisille arvoille '0' ja '1' asetetut taajuudet ovat: looginen '0' = 2200Hz ja looginen '1' = 1200Hz. Masterilta lähetetty jännitesignaali hallitsee taajuutta, jolla käskyt kulkevat slavelle. On kuitenkin huomioitava, että WirelessHART™ -protokollan fyysinen kerros koostuu TSMP, IEEE 802.15.4 standardista sekä DSSS/O-QPSK modulaatiosta, eikä näitä saa sekoittaa HART -protokollan käyttämään BELL 202 standardiin. [8]
2. Siirtokerros. HART -standardissa laitteiden käyttöä hallinnoidaan master - slave metodilla, jossa master aloittaa kommunikaation. HART -protokolla hyväksyy kaksi masteria; primäärin (yleensä ohjausjärjestelmä), sekä toissijaisen (kannettava pääte tai PC). Protokolla sisältää komentoja, joilla jaotellaan käskyjen lähettäminen joko yksittäiselle slave-yksikölle tai broadcast menetelmällä kaikille. HARTin viestirakennetta kuvataan kuvassa 9, jossa jokainen tavu lähetetään yhdentoista bitin UART -sarjana nopeudella 1200 bit/s. [8]



KUVA 9 HART -protokollan 11-bittinen tavurakenne [8]

HART viestitapahtuma:

Tavua viestiä kohden: 25 viestitavua + 10 hallintatavua

Viestin koko: 35 x 11 bittiä = 385 bittiä

1 bitin lähetysnopeus: 1 / 1200 bit/s = 0,83ms

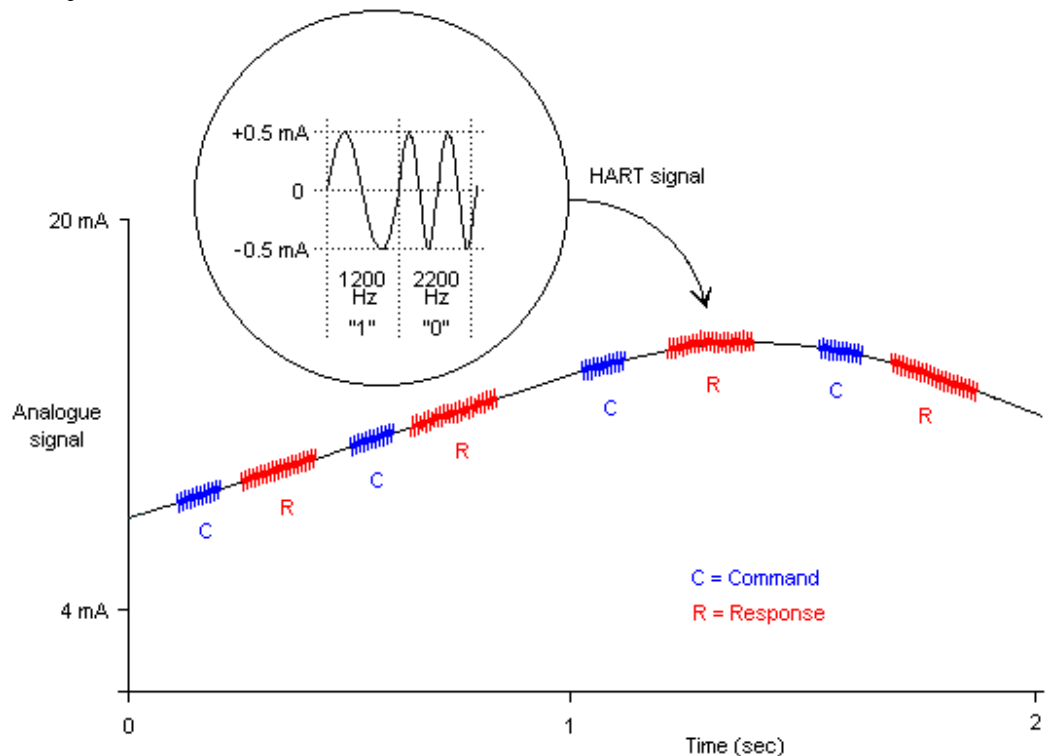
Lähetysaika: 385 x 0,83ms = 32s

Yhteen tapahtumaan (molempiin suuntiin kulkeneeseen viestiin) kulunut keskiaverto aika on 500ms.

7. Sovelluskerroksessa on määritelty HART -komennot. Slave ei tee mitään ennen kuin master lähettää sille osoitetun komennon. Master lähettää joko hallinnoivia tai ohjaavia käskyjä. [8]

3.1.2 HART-signaali

HART-signaali on liitetty suoraan 4 – 20 mA virtaviestin päälle. Kuvassa 10 on nähtävissä taajuusmääritteisen digitaaliviestin kulku suhteessa aikaan ja standardivirtaviestiin.



KUVA 10 HART -signaalin kuvaaja 4 – 20 mA:n vakioviestin yhteydessä [1]

3.1.3 HART-komennot

HART -protokollan kommunikaatio koostuu komendoista, jotka jakautuvat kolmeen ryhmään: yleisiin, yhdenmukaisiin ja laitekohtaisiin komentoihin. Yleiset ja yhdenmukaiset komennot ovat määritetty HART-protokollassa, mutta laitekohtaiset komennot tarjoavat mahdollisuuden yksityisille parametreille, jotka esiintyvät vain tietyissä kenttälaitteissa.

1. Yleiset komennot (Universal Commands) takaavat yhteensopivuuden kaikkien HART -laitteiden välillä valmistajasta riippumatta. HART-protokollan perussääntöön kuuluu, että kaikkien HART -kenttälaitteiden pitää pystyä vastaamaan jokaiseen yleiseen komentoon, joita ovat mm. valmistaja, malli, laitekuvaus, laitteen tila, päiväys, mittasuure sekä mitta-alue.
2. Yhdenmukaiset komennot (Common Practice Commands) kuuluvat useimpiin laitetyyppeihin, joskin eivät kaikkiin. Komentoihin kuuluvat esimerkiksi: mitta-arvojen lukeminen, rajojen muuttaminen, kalibroiminen ja omatoiminen testiajo.
3. Laitekohtaiset komennot (Device Specific Commands) ovat uusia tai laitteelle omalaatuisia toimintoja. Niitä voivat olla mm. sisäisen säätötoiminnon kytkeminen, säätötoiminnon kalibroiminen, muu erikoiskalibroiminen ja eri muuttujien valitseminen. [1] [15]

3.1.4 DDL

HART Device Description Language (DDL) mahdollistaa monipuolisten komentojen ymmärtämisen valmistajasta, laitemallista ja laitetyypistä riippumatta. DDL on kenttälaitteen (slaven) laitekuvauksesta ja toiminnoista tehty ohjelmatiedosto, joka sisältää kaikki laitteen toimintamahdollisuudet. HART-käskyjen kolmas osa, laitekohtaiset käskyt, on sisällytetty kenttälaitteen DDL-tiedostoon, jolloin käyttäjä pystyy hyödyntämään harvinaisimmatkin toiminnot. HART Communication Foundation (HCF) ylläpitää kaikkien HART -kenttälaitteiden yleistä DDL-tiedostolistaa. [15]

3.2 TSMP

Time Synchronized Mesh Protocol (aikasynkronoitu MESH-protokolla) muodostaa vankan pohjan luotettavalle ja vähäenergiselle langattomalle anturiverkolle. Tämän mahdollistaa TSMP:n viisi pääkomponenttia:

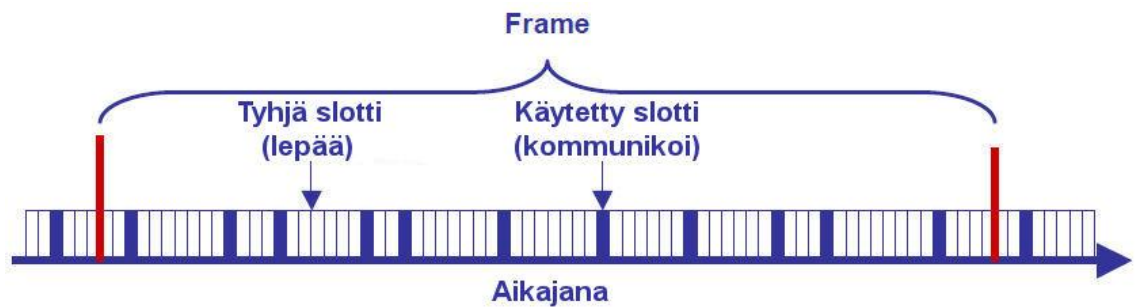
- aikasynkronoitu kanavointi, TDMA
- taajuushyppely, FHSS
- automaattinen uuden laitteen tunnistus ja verkon muodostus
- runsaskanavainen reititys
- turvattu tiedonsiirto.

3.2.1 TDMA

Time Division Multiple Access, synkronoitu kommunikaatiotekniikka, perustuu kanavanvaraukseen aikajaon mukaan. Laitteiden toiminta määräytyy siten, että laite saa lähetyvuoron tietyllä ajanjaksolla, jolloin sen naapurilaitteella on myös vastaanottovuoro. Kommunikaation loputtua molemmat laitteet vaipuvat lepotilaan seuraavaan vastaanotto- ja lähetyvuoroon saakka. Aikasynkronoidussa kommunikaatiotekniikassa onkin välttämätöntä, että kaikilla solmuilla on yhteinen ajantaju.

TSMP:ssä laite on aktiivinen vain kolmessa tilassa: 1) viestiä lähettäessä 2) viestiä vastaanottaessa tai 3) mittausta suorittaessa, muuten se on aina lepotilassa. Langattomissa, paristokäyttöisissä verkoissa TDMA on ainoa käytännöllinen ratkaisu. Aikasynkronoinnin ansiosta laitteet kuluttavat vähemmän energiaa, sillä aikajakoon perustuva toiminta rajoittaa lähety- ja vastaanottoaikaa. Radio muodostaa yli 95 % langattoman laitteen energiankulutuksesta, joten on luonnollista, että paljon lepäävä laite kuluttaa vähän energiaa. [10]

Kuvassa 11 esitetään TDMA-kehysten (frame) rakenne, jossa näkyy laitteen kommunikaatioaktiivisuus jaksoissa. Aikasynkronoitu kommunikaatio sallii laitteelle useita lepotiloja, mahdollistaen pienemmän energiankulutuksen.



KUVA 11 TDMA-kehysten rakenne [10]

3.2.2 FHSS

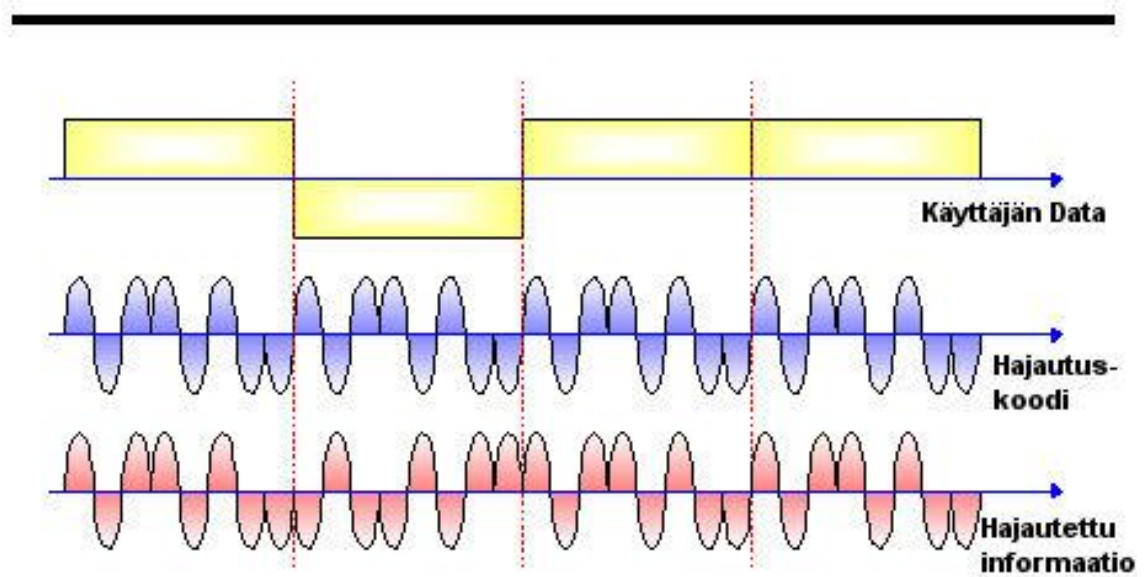
Aikajakoisen kommunikaation lisäksi TSMP jakaa informaatiota taajuuskanavien kesken käyttäen Frequency Hopping Spread Spectruria eli taajuushyppelyä. Standardi 802.15.4 määrittää 16 taajuuskanavaa välille 2,4000 – 2,4835 MHz, joista WirelessHART käyttää viittätoista. Taajuushyppelyssä lähetys vaihtaa taajuutta ennalta ohjelmoidun kaavan mukaisesti muutaman millisekunnin välein. Eri lähetyksissä käytettävän taajuushyppelykaavan tietävät vain lähettäjä ja vastaanottaja. Taajuushyppely tarjoaa paremman kantavuuden kuin suorasekvenssitekniikka, koska eri taajuudet kulkevat paremmin eri materiaalien ja häiriösignaalien läpi verrattuna kiinteään taajuuteen. Lisäksi taajuushyppelyllä lisätään lähetyksen turvallisuutta, jolloin signaalin nappaamisesta tulee äärimmäisen vaikeaa. Ennen viestin lähetystä WirelessHART suorittaa taajuuskanavien CCA (Clear Channel Advice) arvioinnin välttääkseen liiallisen häiriön. [10] [14]

3.3 DSSS ja WirelessHART™ -modulointi

Direct-Sequence Spread Spectrum (suorasekvenssi hajaspektri) jakaa viestin osiin ja lähettää sen vahvistettuna koko taajuusalueella. Vahvistuksena toimii modulointi kantaaltoon (Pseudo Noise), jonka kerrannainen/koodi on tiedossa niin lähettäjällä kuin vastaanottajalla. Kuvassa 12 on esimerkki käyttäjän datan liittämistä lähetettävään signaaliin käyttämällä hajautuskoodia.

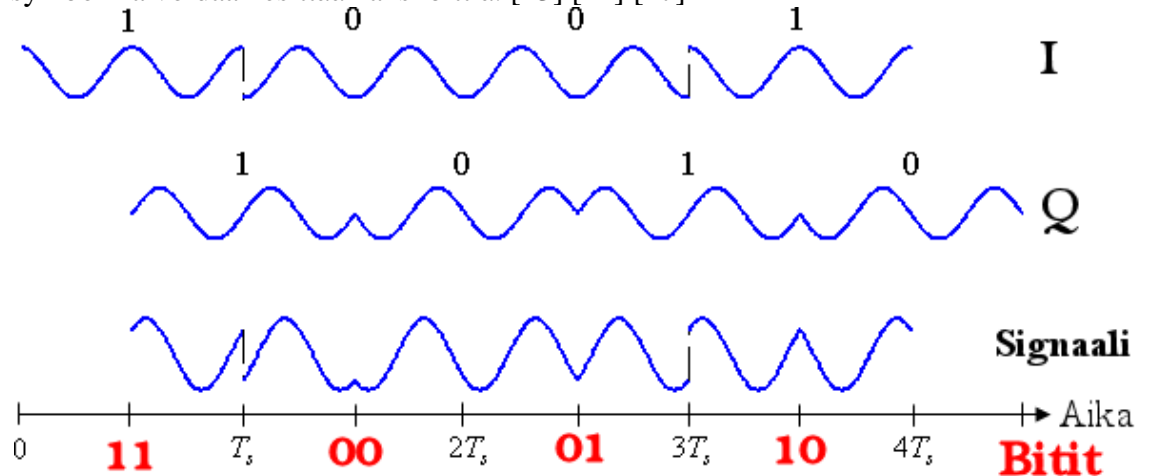
Pelkkää DSSS tekniikkaa käyttäessä päästään suurempiin siirtonopeuksiin, mutta häiriötekijöiden vaikutuksia ei voida hallita. TSMP:ssä lähetykseen lisätään FHSS tekniikkaa, jolloin häiriösignaalit voidaan helpommin ohittaa. [10]

DSSS esimerkki

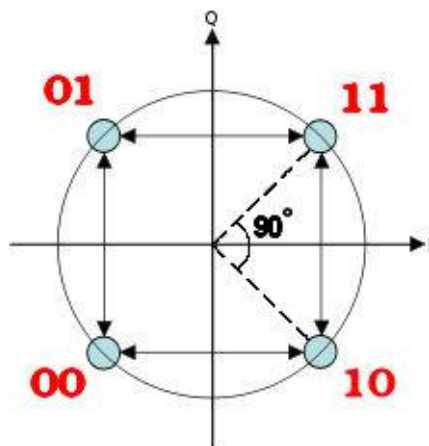


KUVA 12 Esimerkki datan moduloinnista kantaaltaon hajautuskoodilla

Ennen WirelessHART viestin lähettämistä signaali moduloidaan käyttäen O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying) modulaatiota, joka on erikoisversio QPSK:sta. O-QPSK:ssa lähetettyä signaalia ei ole amplitudimoduloitu. Amplitudimodulaation seurauksena ilmenisi 180° vaihesiirtoja, jotka aiheuttavat signaalin kulun origon kautta (kuva 14). Origossa amplitudi putoaa maksimiarvosta nolnaan. Lähetettävä signaali on jaettu modulaattorissa kahteen komponenttiin I (In phase) ja Q (Quadrature), jotka lähetetään puoli jaksonaikaa limittäin. Kuvassa 13 nähtävän limittämisen johdosta päästään eroon origon leikkaamiselta, täten ei esiinny myöskään 180° :n vaihesiirtoja. Koska I- ja Q-komponentit ilmenevät eri aikaan, vain yksi bitti voi muuttua kerrallaan. Tällöin saavutetaan aina enintään 90° :n vaihesiirto. O-QPSK:ssa aivan kuten QPSK:ssa yhdellä symbolilla voidaan esittää kaksi bittiä. [13] [14] [17]



KUVA 13 O-QPSK:n signaalin limittäminen sekä bittien esiintyminen [17]



KUVA 14 Bittien muuttuminen tapahtuu yksi kerrallaan, jolloin vaihe ei kulje origon läpi [17]

3.4 WirelessHART™-laitteet

WirelessHART™-laitteet voidaan jakaa kommunikaatio- ja kentälaitteisiin. Kommunikaatiolaitteita ovat Gateway- ja adapteriyksiköt ja kentälaitteita kaikki muut prosessiin yhteydessä olevat laitteet.

3.4.1 Gateway

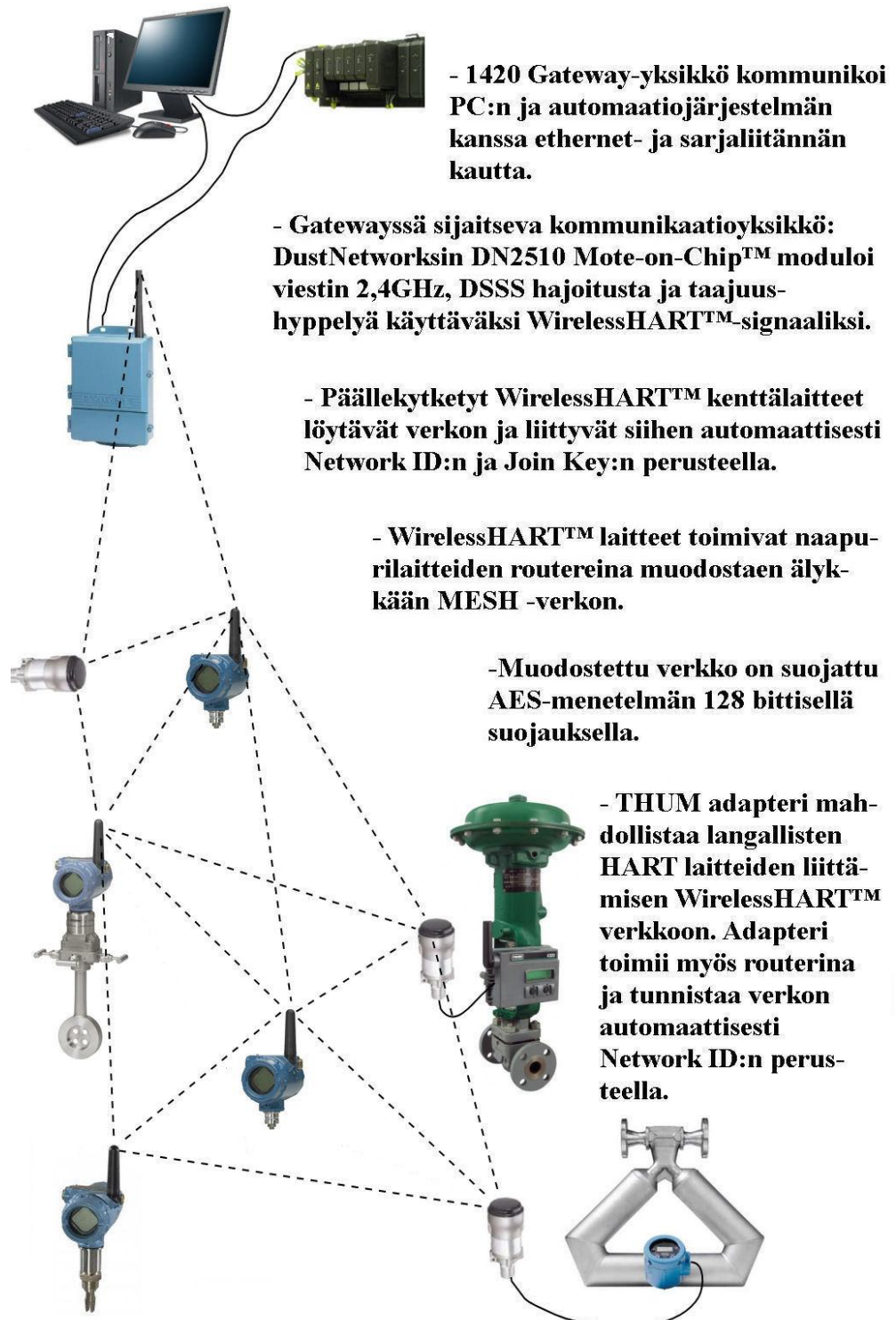
Gateway-yksikkö on WirelessHART™ -verkon pää, joka välittää koko verkon kommunikaation automaatiojärjestelmälle tai PC:lle. Gateway toimii langattoman verkon masterina, joka lähettää HART-käskyt kentälaitteille (slaveille) ja ohjaa saadut vastaukset eteenpäin ohjausjärjestelmään. Gateway voidaan kytkeä Ethernet-liitännällä (OPC / Modbus TCP/IP) tai RS482-sarjaliitännällä. Yksikön käyttöjännite on 24V ja virrankäyttö ~500mA.

3.4.2 Kentälaitteet

Älykäs WirelessHART™-kentälaitte koostuu anturista, mikroprosessorista ja lähetin/vastaanotin-yksiköstä. Anturi muuttaa mitattavan suureen sähköisesti mitattavaan muotoon, kuten impedanssiksi, jännitteeksi tai virraksi. Mikroprosessori suorittaa tietojen käsittelyn sekä muuttaa mitatun arvon lähetettävään muotoon. Lähetin/vastaanotin-yksikkö kommunikoi WirelessHART™-tekniikalla naapurilaitteiden kanssa.

Rosemountin kentälaitteet ottavat energiansa 3 mA:n nimelliskapasiteetilla toimivasta tehomodulista, joka sisältää kaksi 3,6 voltin litiumparistoa.

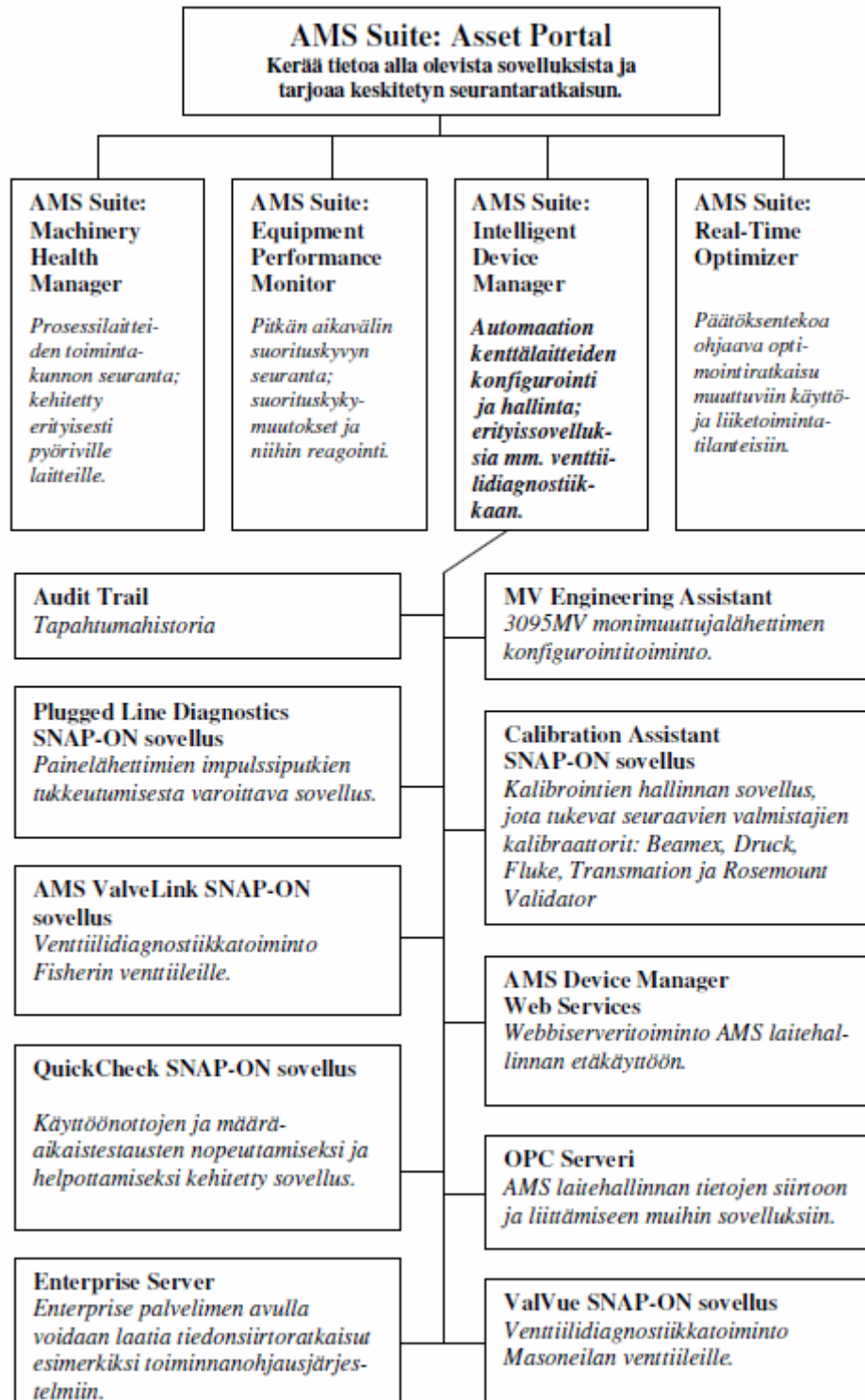
3.5 WirelessHART™ kommunikaation yhteenveto



KUVA 15 Kommunikaation kulku järjestelmän ja kentälaitteen välillä

4 AMST™ SUITE

AMST™ Suite (Asset Management Software) on Emersonin kehittämä teollisuuden ohjelmistopaketti prosessi- ja laitehallintaan. Sen rakenne esitetään kuvassa 16.



KUVA 16 AMST™ Suite rakenne [11, s.4]

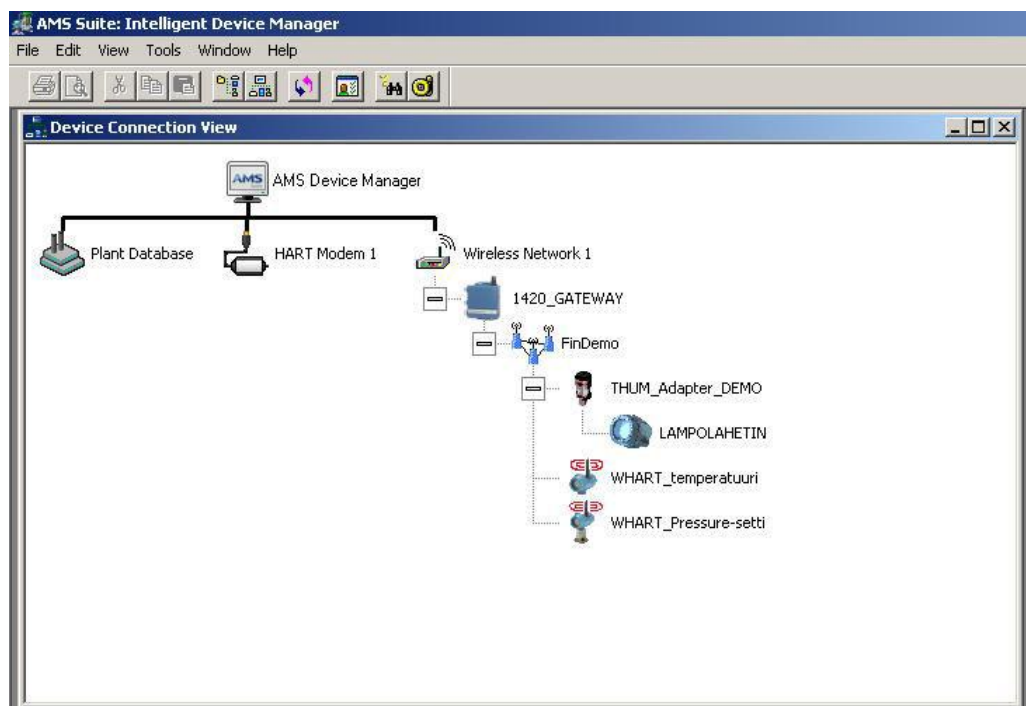
4.1 AMS™ Suite ohjelmistosovelluksia

Asset Portal -ohjelmisto on kokonaisratkaisu eri sovellusten keskitettyyn seurantaan. Portaali kokoaa muiden ohjelmasovellusten tietoja ja käyttää niitä raportointiin, tietojen analysointiin sekä tueksi yleiseen päätöksentekoon.

AMS Device Manager on ohjelmisto, joka on suunnattu kentälaitteiden konfiguroimiseen ja ylläpitoon. Tämä yleinen sovellus on suunniteltu eri laitevalmistajien FOUNDATION, HART sekä WirelessHART -kentälaitteiden hallinnoimiseen. Tämä helpottaa laitteiden käyttäjien urakkaa huomattavasti. Device Manager -ohjelmisto sisältää kentälaitteiden tietokannan eri valmistajien laitekuvauksista, jotka koostuvat DDL-tiedostoista. Device Managerin ”connection view” -näkyvä esitetään kuvassa 17.

Machinery Health™ Manager on erityisesti pumppuja ja moottoreita varten kehitetty sovellus, joka seuraa laitteiden toimintakuntoa. Ohjelmisto kokoaa toimintakunnon mittauksien tulokset, kokoaa ne yhteiseen tietokantaan sekä suorittaa laiteanalyysit. Mittaukset voivat pitää sisällään esim. värähtely- ja ultraäänimittauksia sekä öljyanalyysijä.

Equipment Performance Monitor -ohjelmisto seuraa laitteiden suorituskykyä sekä sen muutosta pitkällä aikavälillä. Useimpien laitteiden suorituskyky heikkenee paljon ennen havaittavissa olevaa vikaa. Tämä sovellus helpottaa huoltotöiden ja puhdistuksien ajoittamista. [11]



KUVA 17 AMS Device Manager näkyvä, jossa näkyy tietokanta sekä HART ja WirelessHART-yhteydet

5 THUM™ -LÄHETINYKSIKKÖ

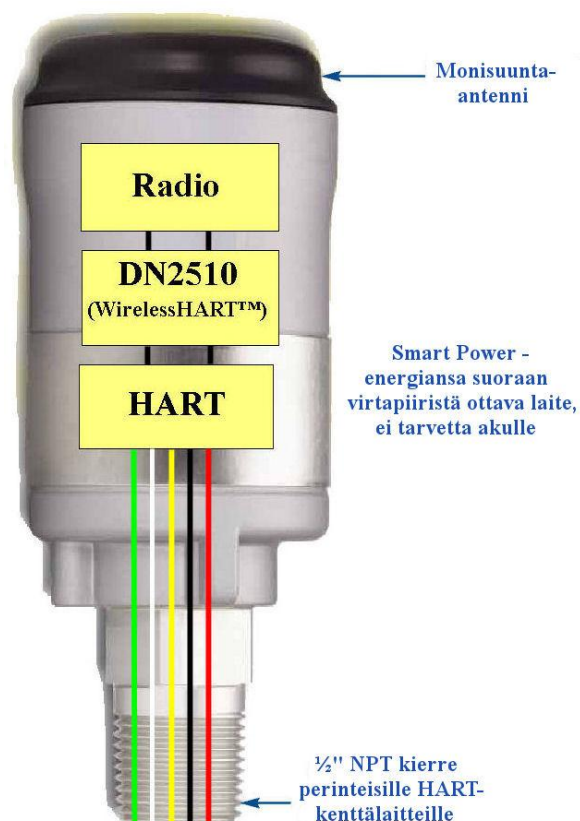
Langaton THUM™ -lähetinyksikkö on Rosemountin valmistama WirelessHART -adapteri, joka on liitettävissä kaikkiin 2- ja 4-johdin HART5- tai uudempiin kentälaitteisiin. Adapteri muuttaa kentälaitteen HART signaalin langattomaan muotoon ja liittää laitteen osaksi WirelessHART™-verkkoa. Lähetinyksikön toimintasäteeksi on luvattu 100 – 300 metriä ja päivitysväliksi 8 sekuntia.

Adapteri on mm. ATEX ja EMC hyväksytty. Laite ei tarvitse akkua, vaan ottaa energiansa kentälaitteen 4 – 20 mA:n HART-piiristä, josta se myös lukee lähetettävät tiedot. Adapteri aiheuttaa piiriin pienen jännitehäviön, joka on lineaarinen välillä 2,25 V (3,5 mA) ja 1,2 V (25 mA). THUM-yksikkö ei missään vaiheessa vaikuta 4 - 20 mA:n signaaliin.

THUM oli ensimmäinen adapteri laatuaan ja on tällä hetkellä markkina-johtaja.

5.1 Signaalin kulku

THUM-adapteri muuttaa kentälaitteelta saadun HART viestin DN2510 mote-on-chipillä ja lähettää sen eteenpäin WirelessHART muodossa, kuten kuvassa 18 esitetään.

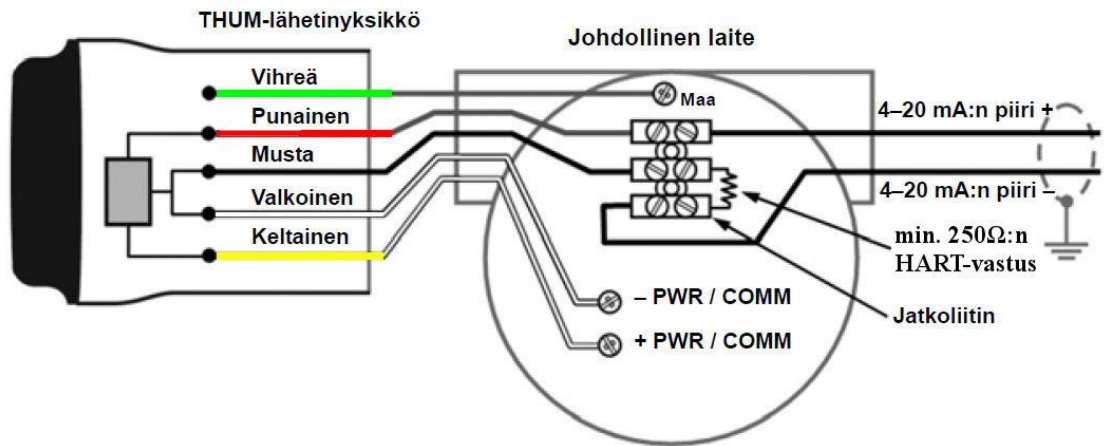


KUVA 18 THUM -adapterin sisäinen HART -signaalin kulku

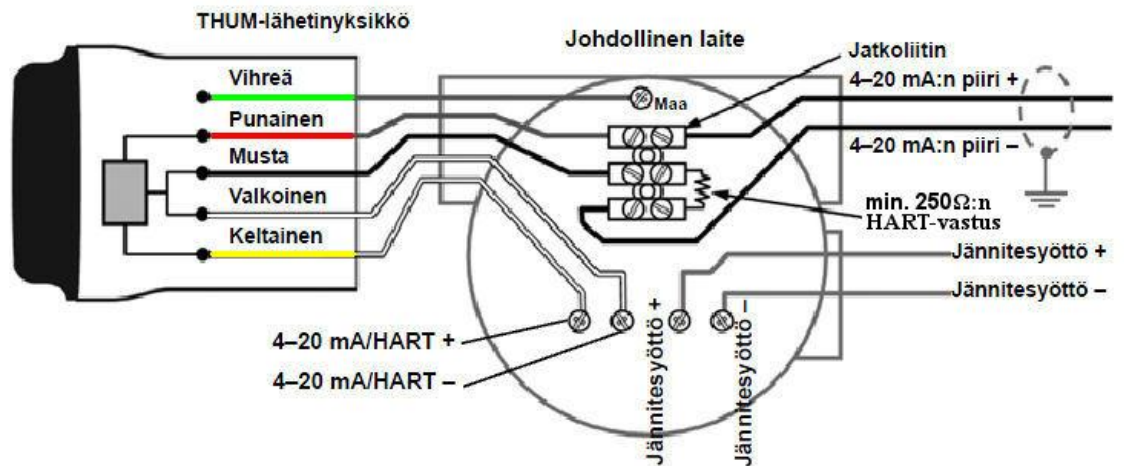
5.2 Liitettävyys kentälaitteisiin

Adaptteri on liitettävissä kaikkiin kaksi- ja nelijohdin- sekä aktiivi- ja passiivilähtöisiin HART-kentälaitteisiin, joiden johdotus vaihtelee kytkennästä riippuen.

Kuvissa 19, 20 ja 21 esitetään lähetyksikön kytkentäkaaviot erilaisiin kentälaitteisiin. Kuvan 22 kytkentä vastaa kuvan 21 kaaviota.

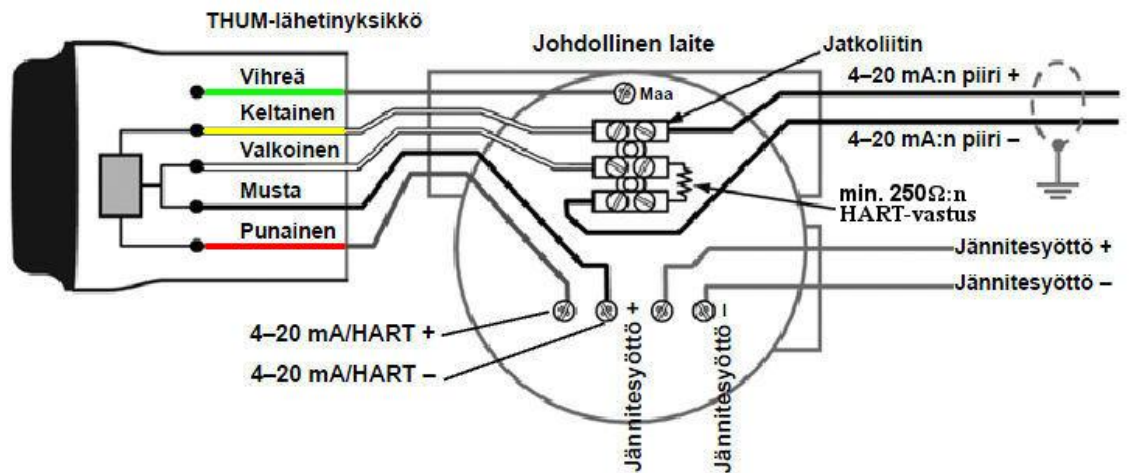


KUVA 19 2-johtimisen laitteen kytkentäkaavio vastuksella

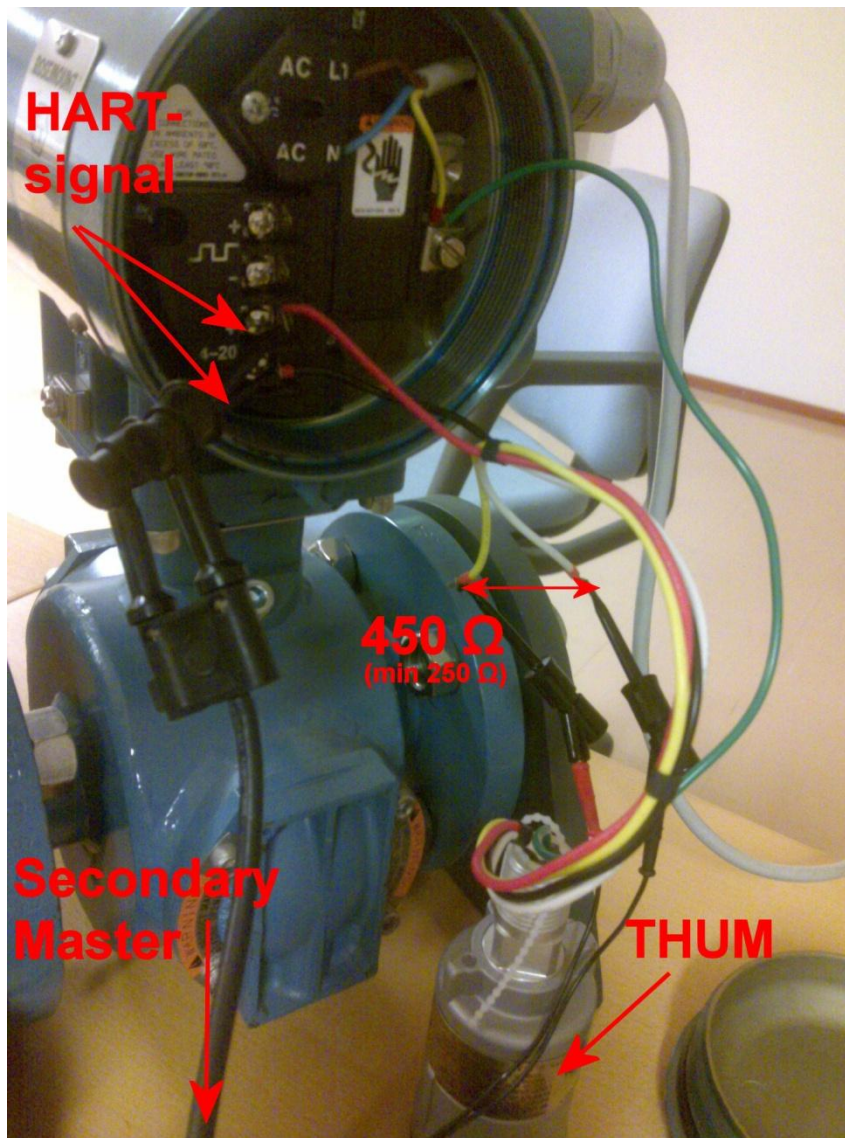


KUVA 20 4-johtimisen, passiivisen laitteen kytkentäkaavio vastuksella

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



KUVA 21 4-johtimisen, aktiivisen laitteen kytkentäkaavio vastuksella



KUVA 22 4-johtoisen, aktiivisen laitteen kytkentä vastuksella

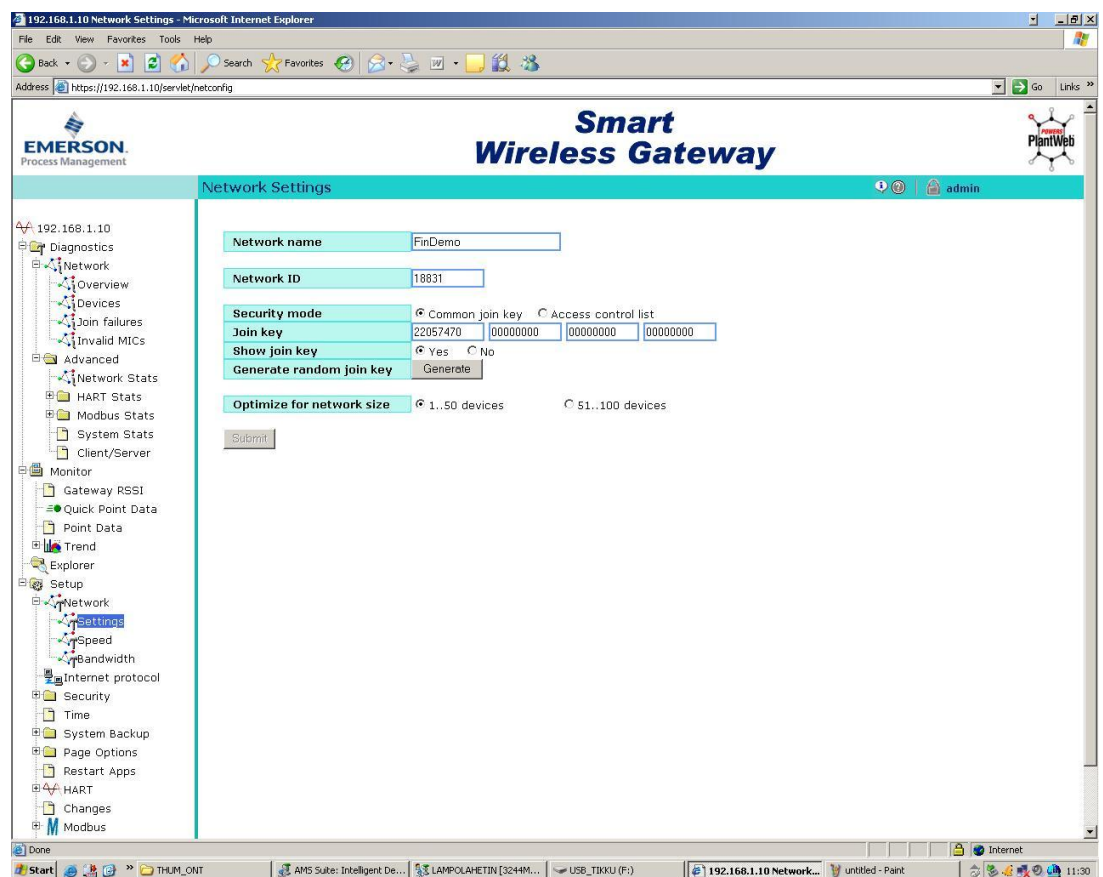
6 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

THUM™ -lähetinyksikön toiminnan tutkimiseen vaadittiin WirelessHART™ -verkko, jossa vähintään verkon Gateway on toiminnassa. Tämä saavutettiin Gatewayn ja THUM -adapterin konfiguroinnilla.

Lähetinyksikön toiminnan tutkimisen keskeisimpänä osana pidettiin langallisen ja langattoman kommunikaation erojen seuranta laitediagnostiikan ja konfiguraation osalta.

6.1 1420 Gatewayn konfigurointi

Tietokoneen IP muutettiin verkkoasetuksista paikallisen yhteyden luomiseksi Gatewayn kanssa. Osoitteina käytettiin IP 192.168.1.12 ja aliverkon peitteenä 255.255.255.0 johtuen yksikön vakioasetuksista. 1420 Rosemount Gateway yhdistettiin PC:n ensisijaiseen ethernet-porttiin modeemin kautta suoralla (MD-I) CAT5 kaapelilla sekä huoltoportista ristiinkytketyllä (MD-X) kaapelilla PC:n toissijaiseen Ethernet porttiin. Yhteyden toimissa konfigurointi suoritettiin selaimella. Kuvassa 23 näkyy selainpohjaisena toimiva konfiguraationäkymä, jossa on laitteen luoman verkon nimi, verkon ID-tunnus, liittymisavain sekä verkon suunniteltu koko.



KUVA 23 1420 Gateway konfiguraatio selainnäytössä

6.2 WirelessHART™ -verkon luominen

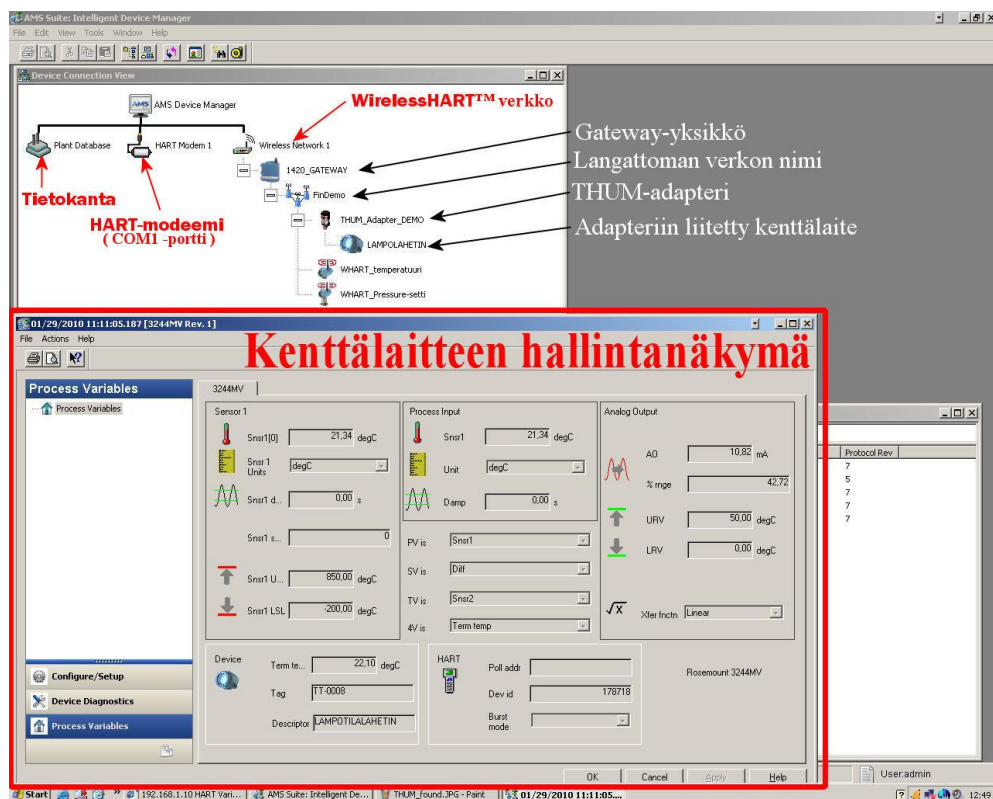
Gateway-yksikön toimiessa muut WirelessHART™ -kenttälaitteet käynnistettiin yksinkertaisesti asettamalla tehomoduli paikalleen. Muutaman minuutin kuluttua laitteet tunnistivat verkon ja liittyivät siihen automaattisesti. Selainpohjaisessa Gatewayn konfiguraatioissa näkyvät kaikki verkossa olevat laitteet, niiden naapurit sekä senhetkiset lähetysvoimakkuudet.

Jotta Device Manageriin saatiin WirelessHART™ -verkko näkyviin täytyi AMS™ Suite, Network Setup -osiosta konfiguroida uusi langaton verkko. Verkon tyyppiä valittiin ”Wireless Network” ja yhteydeksi ethernetistä Gatewayn IP osoite.

6.3 THUM -adapterin toiminta kenttälaitteiden kanssa

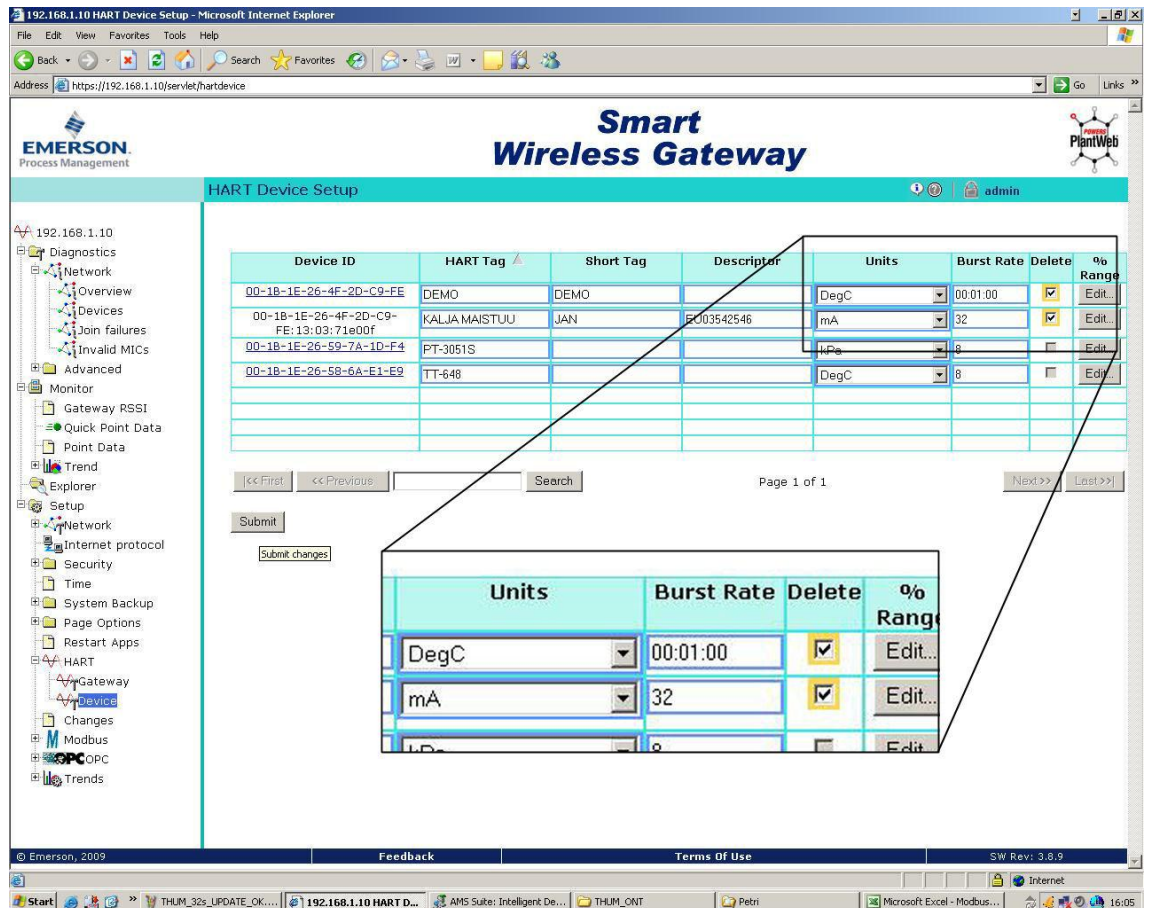
Adapterin toiminta eroaa muiden WirelessHART™ -kenttälaitteiden toiminnasta siinä, että sen ja Gatewayn välinen yhteys täytyy muodostaa aina manuaalisesti asettamalla ’network ID’ sekä ’join key’, käyttäen fyysistä käyttöliittymää. Käytännössä se tarkoittaa esim. COM-porttiin liitetyn HART-modeemin tai kannettavan 475 HART-käyttöliittymän kautta saatua yhteyttä.

Kuvan 24 AMS näkymässä THUM -adapteri näkyy langattomassa verkossa omana laitteenaan ja siihen kytketty langallinen HART -kenttälaitte THUMin alavalikossa.



KUVA 24 AMS -ohjelmistossa laitteen hallintaikkuna ja mittaustiedot

Jos THUM -adapteri siirretään samassa verkossa uuteen laitteeseen, tulee Gatewayn muistista poistaa adapteriin liitetty edellinen kenttälaitte. Jos tätä toimintaa ei suoriteta, Gateway-yksikkö, WirelessHART -verkko ja seurantaohjelmistot luulevat edellisen laitteen olevan edelleen kiinni adapterissa eivätkä saa yhteyttä uuteen kenttälaitteeseen. Tämä toiminto suoritetaan kirjautumalla selaimella Gatewayn konfiguraatio-tilaan ja valitsemalla valikosta ”Setup – HART – Devices” poistettavat laitteet (kuva 25).



KUVA 25 Gatewayn muistissa olevat langattoman verkon jäsenet ja niiden poistaminen

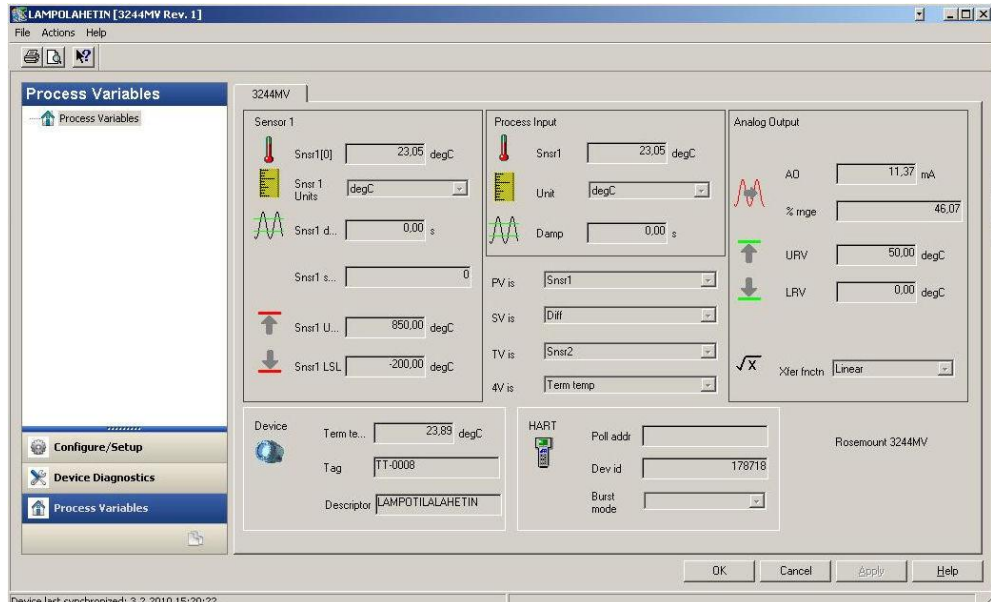
6.3.1 Rosemount 3244 lämpötilalähetin

Rosemountin 3244MV on passiivinen lämpötilalähetin jonka mittaus perustuu PT100-vastuselementtiin. Testissä käytetty kenttälaitte otti energiansa erillisestä 20 mA:n virtalähteestä johon oli valmiiksi liitetty HART-kommunikaation vaatima 250Ω:n vastus. THUM -adapteri liitettiin 2-johtoiseen passiiviseen laitteeseen asennusohjeen mukaisesti.

Aluksi adapterin päivitysväliä muutettiin 8, 16 ja 32 sekunnin välillä ja tutkittiin sen vaikutusta AMS -ohjelmistossa. Kuvassa 26 näkyy miten 32 sekunnin päivitysvälillä THUM välitti AMS Device Manager-ohjelmistoon kaikki tarvittavat muuttujat, diagnostiikat ja asetusrvot jotka löytyivät kenttälaitteelta. Tällöin myös kenttälaitteen rajoja pystyttiin muuttamaan konfiguraatio-osiossa ilman ongelmia. Kuvassa näkyvät pro-

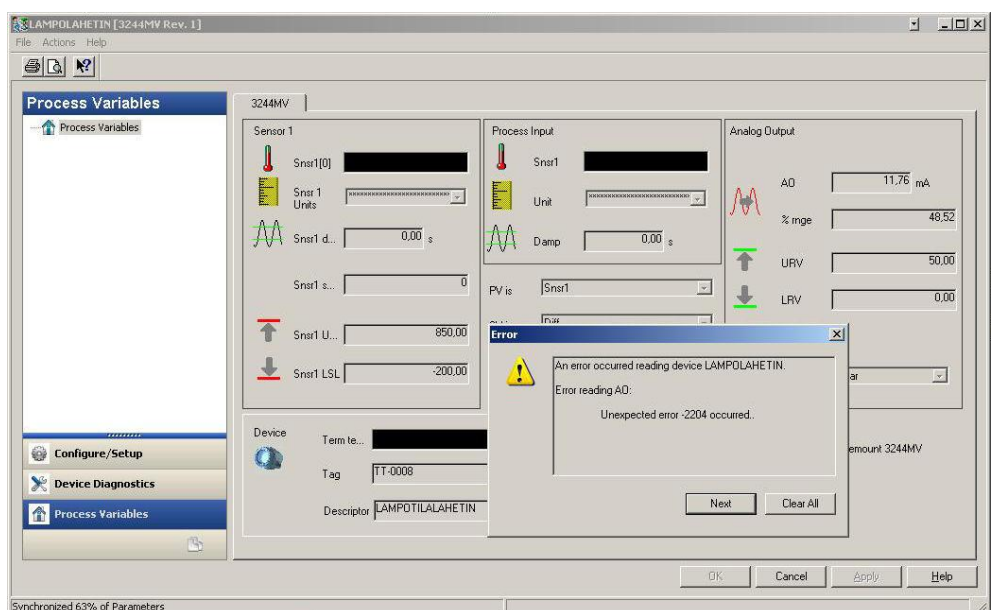
WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kenttälaitteiden kanssa

sessimuuttujan arvot, suureen laatuvalikko, ylä- ja alarajat, laitteen positio, ym. Laite siis vastasi onnistuneesti masterin lähettämiin WirelessHART -protokollan kaikkiin käskyloukkiin.



KUVA 26 Lämpötilälähtetimen muuttujaikkuna, päivitysväli on 32 s

16 sekunnin päivitysvälillä diagnostiikat ja konfiguraatio-osuus tulivat näkyviin, mutta ”Process Variables”-valikossa olevat muuttujat eivät välittyneet AMS -ohjelmistoon, kuten kuvassa 27 näkyy. Voidaan päätellä, että tällä päivitysvälillä laiteyhdistelmä ei kykene vastaamaan luokan 2 ja 3 HART käskyihin (Common Practice / Device Specific Commands). Muutettaessa adapterin päivitysväli 8 sekuntiin, katosi kenttälaitteen reaaliaikainen seuranta kokonaan. Tällöin yhteyttä ”Process Variables” -osioon ei saatu ollenkaan eikä konfiguraatiotilaa saatu näkyviin.

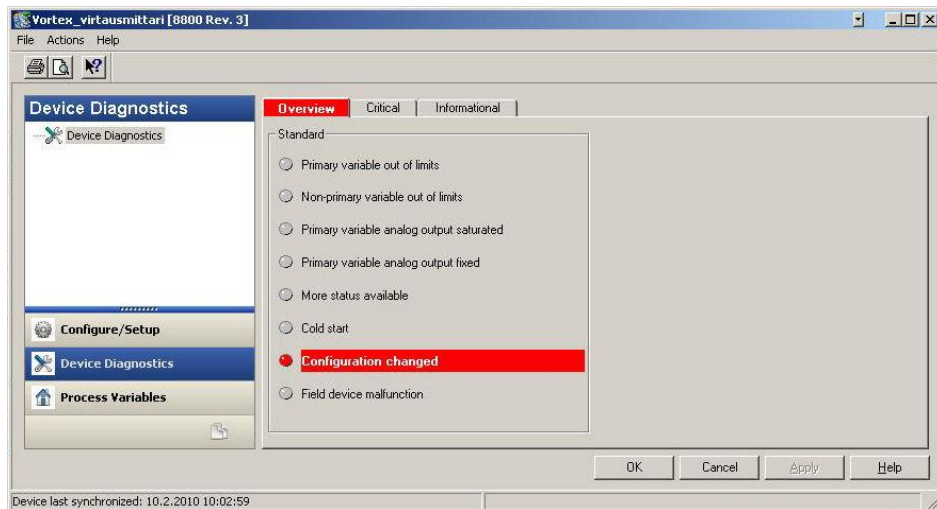


KUVA 27 3244:n hallintänäkymä THUMin päivitysvälin ollessa 16 s

6.3.2 Rosemount 8800 vortex -virtausmittari

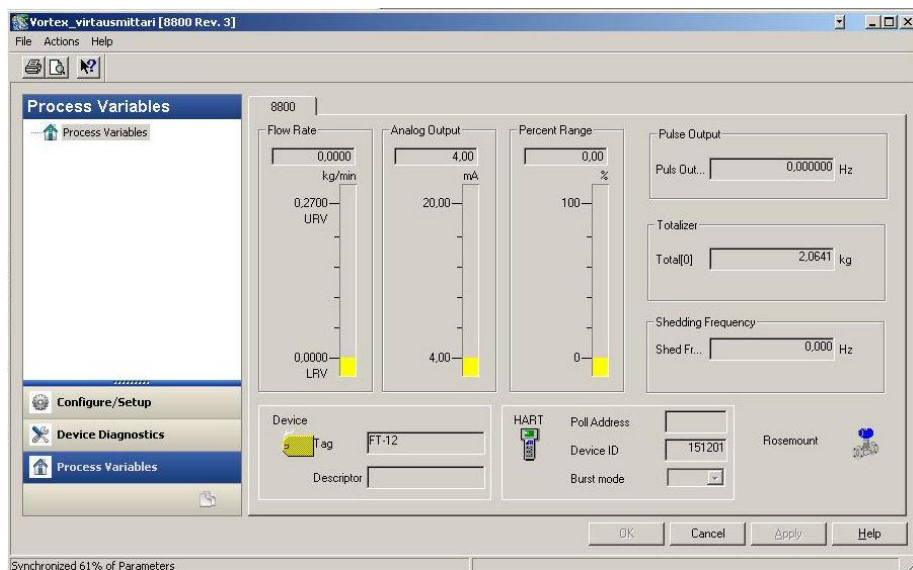
Rosemountin 8800 pyörreanavirtausmittari on passiivinen kaksijohdinmittalaite, joka esittää virtausmäärän useana eri skaalauksena. Mittaus perustuu laitteen sisällä olevan palkin aiheuttamien pyörteiden taajuuden tunnistamiseen, joka on verrannollinen läpikulkevan aineen virtausnopeuteen.

THUM-adapterin kanssa tehtävissä testeissä ilmeni sama päivitysväliongelma kuin 3244 lämpötilälähettimessä, 32 sekunnin päivityksellä kaikki toimi kuitenkin normaalisti. Kentälaitteen diagnostiikkaosio oli laajempi lämpötilälähettimeen verrattuna, sisältäen mm. vikahistorian, prosessimuuttujien tulot ja niiden kuvaaja. Kuvassa 28 esitetään diagnostiikkaosan yleiskatsaus.



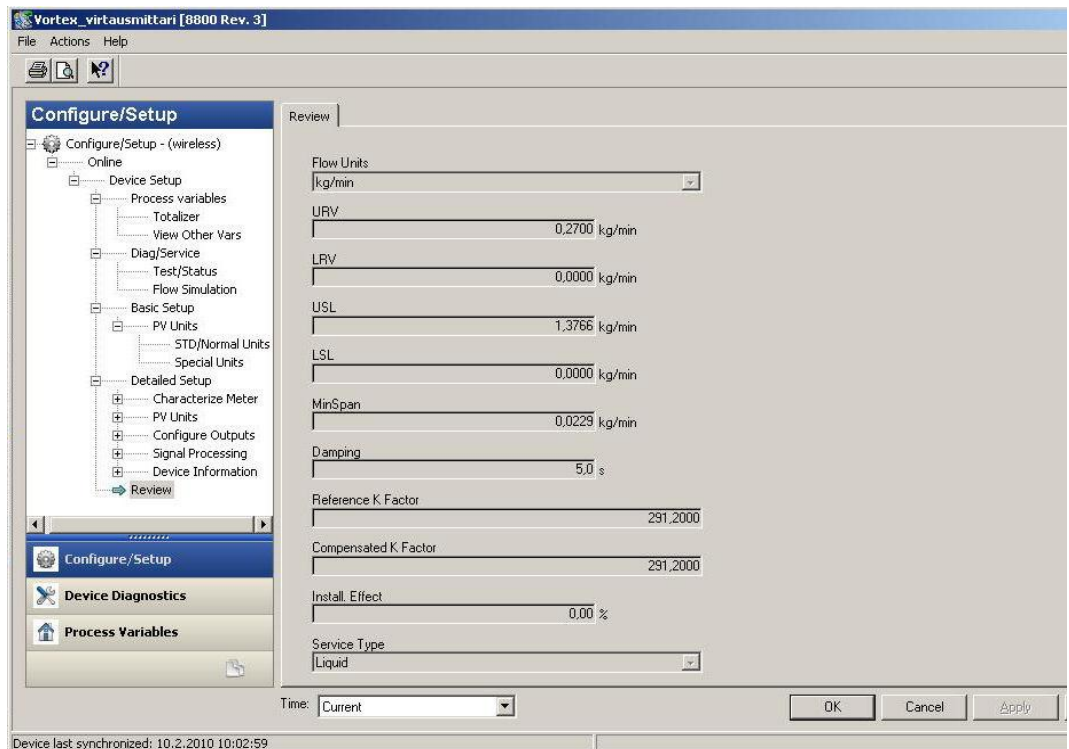
KUVA 28 Vortex virtausmittarin diagnostiikkanäkymä

Kuvan 29 muuttujanäkymässä ilmoitetaan virtausnopeus, prosentuaalinen virtausnopeus sekä virtausnopeuden arvo 4 - 20 mA signaalina.



KUVA 29 Vortex virtausmittarin muuttujaikkuna

8800 lähettimen konfiguraatiomahdollisuudet THUM adapterin kautta olivat samat kuin kiinteällä HART -yhteydellä. Kuvan 30 setup -listasta löytyy useita hallinnoitavia kohteita, kuten virtausmäärän yksikkö, olomuoto (neste, kaasu, höyry), prosessilämpötila, muuttujien osoitus, väliaineen tiheys, kokonaismäärän nollaus sekä mitta-alueen rajat. Muuttujaikkunassa nähtävät arvot PV, SV (Primary Value, Secondary Value) ovat myös muokattavissa Setup-osiossa.



KUVA 30 Vortex mittarin konfiguraationäkymä

6.3.3 Rosemount 3100 ultraäänipintamittari

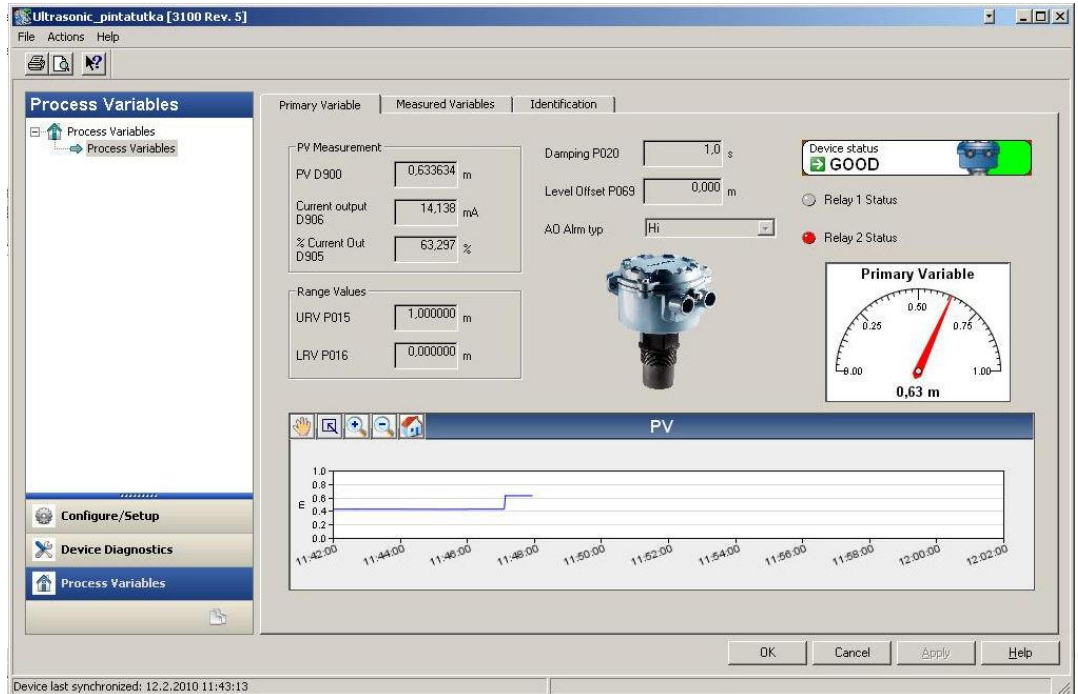
Laite mittaa nesteen pinnankorkeutta säilöissä ultraäänipulssilla. Lähetetty pulssi heijastuu nesteen pinnasta takaisin mittalaitteelle, joka laskee lähettyksen ja kaiun välisen aikaeron, jakaa sen kahdella ja kertoo tuloksen äänennopeudella (ilmassa). Äänennopeus ilmassa on verrannollinen ilman lämpötilaan, jonka laite mittaa integroidulla lämpötila-anturilla ja määrittää uuden äänennopeuden väliaineen muutokseen suhteutettuna.

Ultraäänipintamittari voi laskea säiliössä olevan nesteen pinnankorkeuden ja tilavuuden sekä avokanavassa kulkevan nesteen virtausnopeuden käyttäjän antamien tietojen ja muistissa olevien määritteiden avulla.

Asennus THUM-adapteriin sujui helposti ja toiminta vastasi kiinteällä HART-kommunikaatiolla saatua yhteyttä. Kuvassa 31 näkyvässä muuttujaikkunassa laitteelle on määritetty säiliön korkeudeksi yksi metri. PV (Primary Variable) -muuttujana on tässä vaiheessa pinnankorkeus, joka on muuttunut 0,4 metristä 0,63 metriin. Ikkunassa näkyy pinnankorkeuden

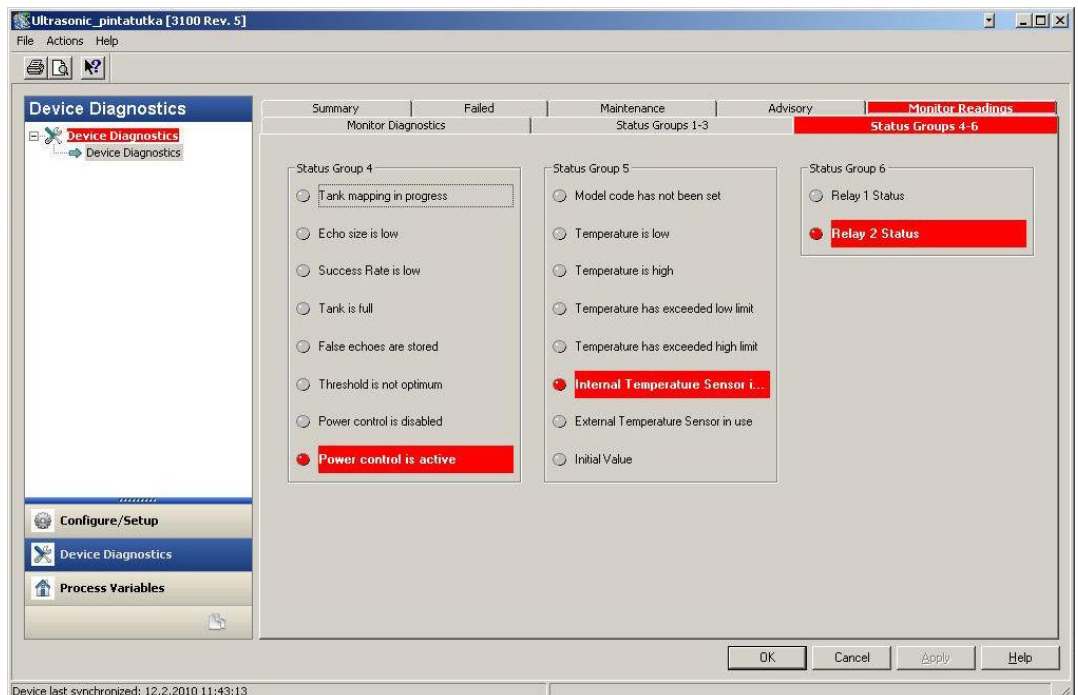
WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa

historia kuvaajana, nykyinen pinnankorkeus kuuden desimaalin tarkkuudella, pinnankorkeutta vastaava prosentuaalinen ja mA tulos sekä mitattavan säiliön raja-arvot.



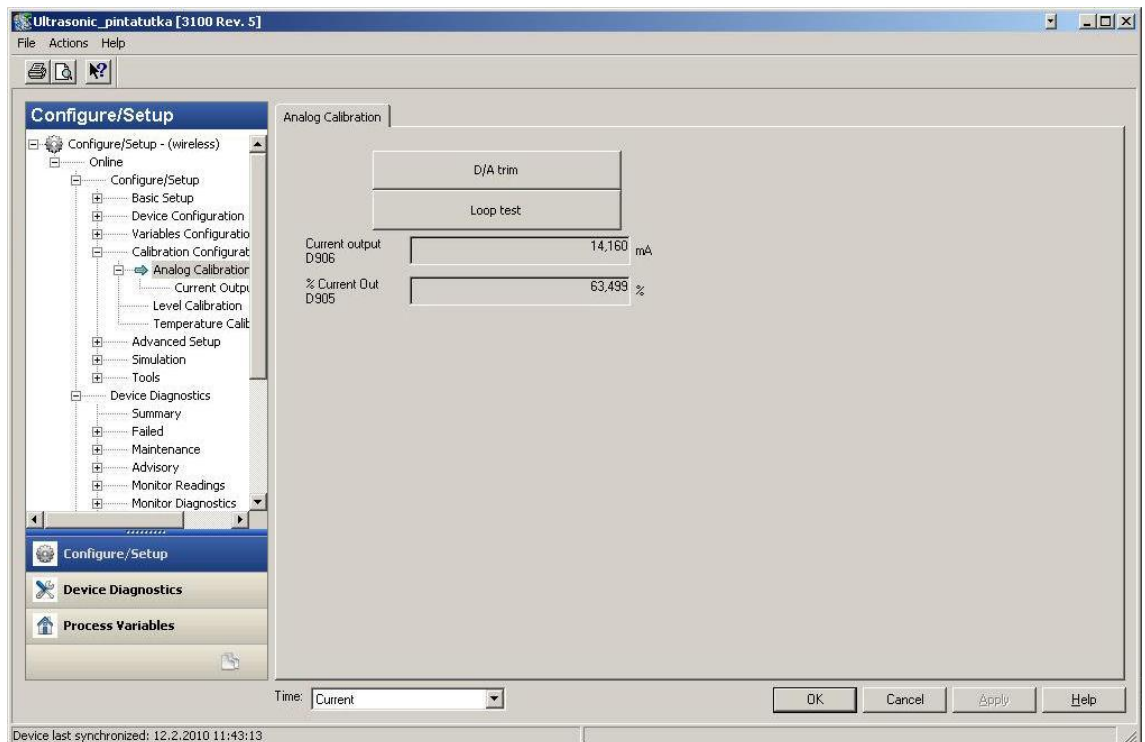
KUVA 31 Ultraäänipintamittarin muuttujanäkymä

Ultraäänipintamittarin diagnostiikkaosio on huomattavasti laajempi verrattuna vortex virtausmittariin. Kuvassa 32 esiintyy useita diagnostisia vaihtoehtoja, kuten seuranta-, status-, virhe-, huolto- ja muuttujadiagnostiikka-osa sekä neuvoa-antava osa.



KUVA 32 Ultraäänipintamittarin diagnostiikkanäkymä

Laitteen monipuolisen toiminnan takia konfiguraatiossa tuli hallita useita asioita. Riippuen siitä mitä PV:nä mitattiin (pinnankorkeus, nesteen määrä, avokanavan virtausnopeus), tuli laitteelle syöttää tarvittavat tiedot esimerkiksi säiliön tai kanavan koko, säiliön muoto ja nesteen viskositeetti. Kuvan 33 konfiguraatiovalikossa pystyi myös suorittamaan laitteen testiajan sekä simulaation.



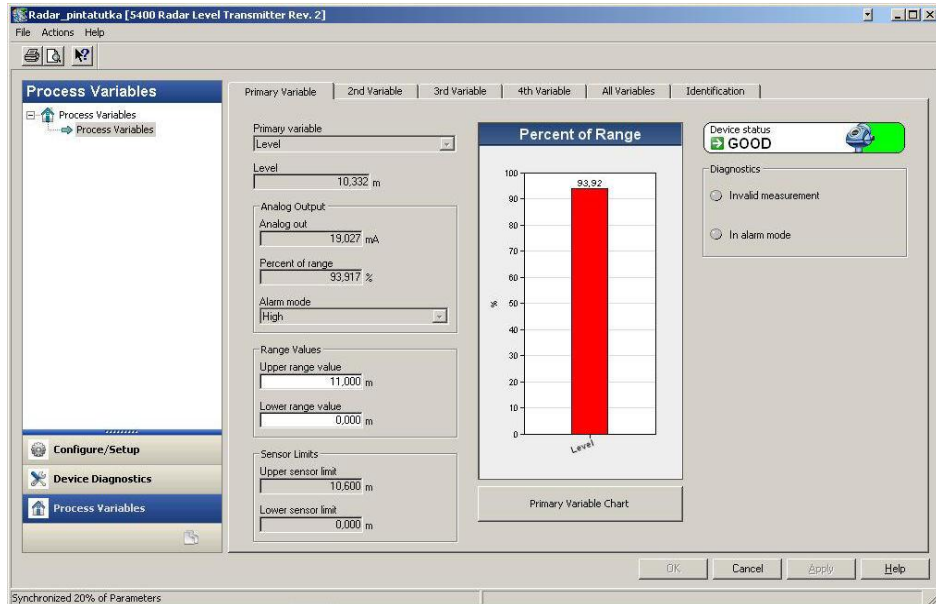
KUVA 33 Ultraäänimittarin kalibrointi-ikkuna

6.3.4 Rosemount 5400 mikroaalto-pintatutka

5400 pintatutka on passiivinen 2-johdinkenttälaite joka on saatavilla FOUNDATION™ ja HART tiedonsiirrolla. Laite mittaa nesteen tai lietteen pinnankorkeutta lähettämällä radioaaltopulsseja. Lähetetyn ja takaisin heijastuneen pulssin välinen aika on suoraan verrannollinen mitattavaan pinnankorkeuteen. 5400-sarjan tutkamalleja on 6 GHz:n ja 26 GHz:n taajuuksilla toimivia, joista pienemmän taajuuden (6 GHz) 5401 mallia käytetään esimerkiksi silloin, jos säiliön sisällä on äärimmäiset olosuhteet, kuten jatkuvan sekoituksen aiheuttamaa roiskumista ja aaltoilua. 5402 (26 GHz:n) mallin tutka on yleisempi versio sen kapeamman tutkasäteen takia, mikä mahdollistaa asennuksen monenlaiseen paikkaan.

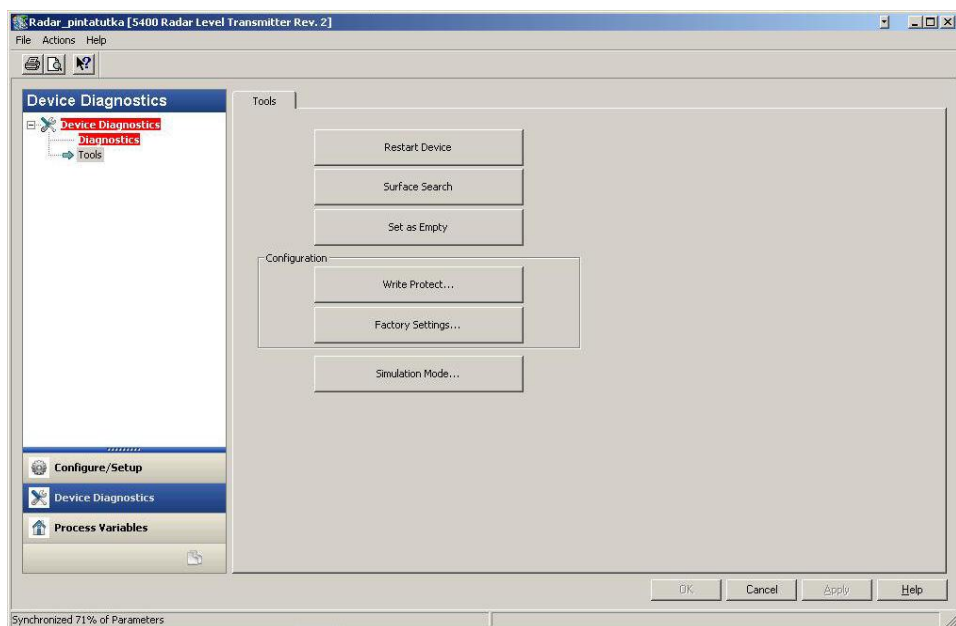
Rosemountin 5400 pintatutkat perustuvat ns. kaksoisportti -tekniikkaan, jossa mittalaitteella on kaksi porttia signaalin lähettämistä ja vastaanottamista varten. Tämä mahdollistaa heijastuneen signaalin varmemman vastaanottamisen paineen, lämpötilan, roiskeen, höyryn ja väliaineen aiheuttamasta häiriöstä huolimatta.

Kuvan 34 ”Process Variables”-näkyssä ensisijaiseksi muuttujaksi on asetettu pinnankorkeuden esitys prosentteina. Ikkunassa on myös kolme muuta muuttujanäyttöä sekä mahdollisuus seurata kaikkia niitä samaan aikaan. Laitteen esittämiä muuttujia voivat olla pinnankorkeus, mitattavan nesteen tilavuus ja massa, lähetysignaalin voimakkuus, analoginen virtaviesti sekä laitteen ja nesteen lämpötila.



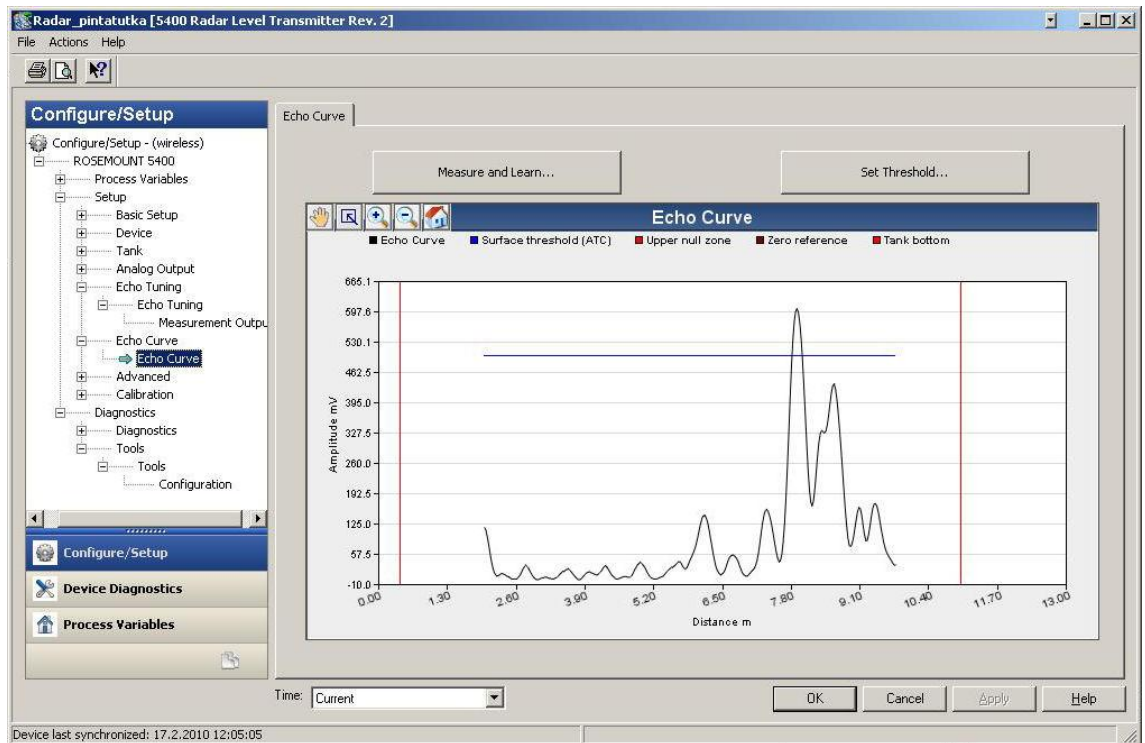
KUVA 34 Pintatutkan muuttujanäkymä

Perinteisen diagnostiikkatarkkailun lisäksi pintatutkan ”Device Diagnostics”-osassa löytyy mahdollisuus laitteen uudelleenkalibroimiseen, tehdasasetusten palauttamiseen, nesteen pinnan uudelleen tunnistamiseen sekä säiliön tyhjäksi todentamiseen (kuva 35). Nämä samat toimenpiteet on mahdollista suorittaa myös konfigurointi-näkyssä.



KUVA 35 Rosemount 5400 tutkan diagnostiikan työkalunäkymä

Pintatutkan konfigurointi-osio on todella laaja sisältäen suuren määrän laitteen diagnostiikkatietoa. Kuvassa 36 esitetään tutkan vastaanottaman heijastuneen signaalin suuruus. 7,8 metrin kohdalla ”kaikukäyrä” (Echo Curve) ylittää ”Surface treshold” rajaviivan, tarkoittaen, että 7,8 metrin päässä mittalaitteesta on kiinteä pinta, josta signaali heijastuu takaisin todella voimakkaasti.



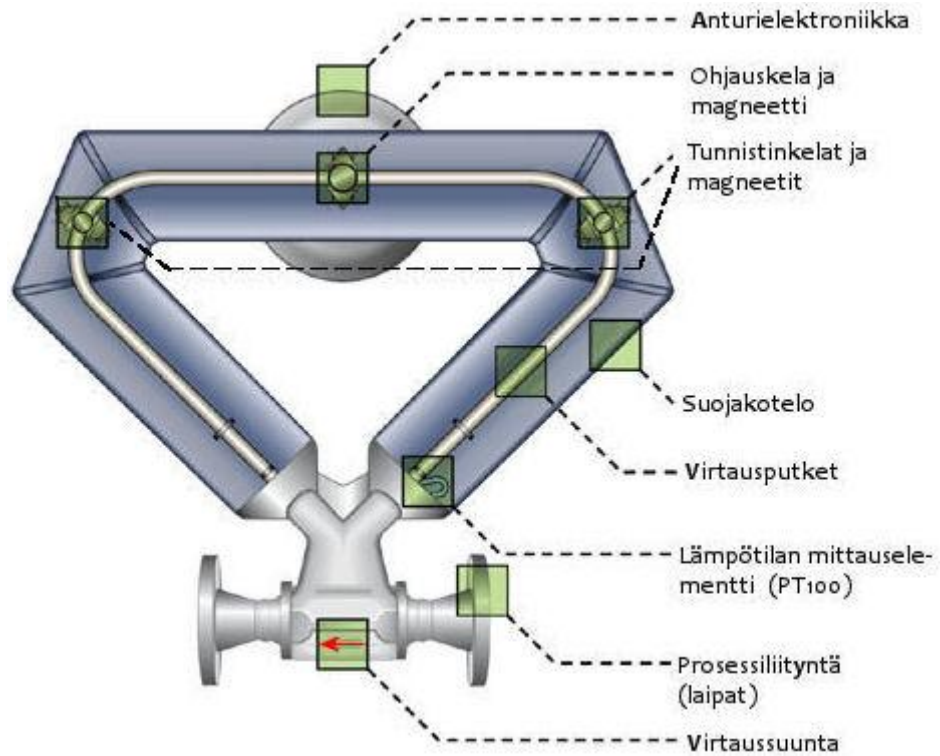
KUVA 36 Rosemount 5400 pintatutkan kaikukäyrä

Pintatutkan kommunikaatio THUM-lähetyksikön kanssa toimi moitteetta, sillä kaikki diagnostiikkatiedot olivat luettavissa ja kentälaitteen toiminta hallittavissa myös langattomassa muodossa.

6.3.5 MicroMotion 2700 coriolismittari

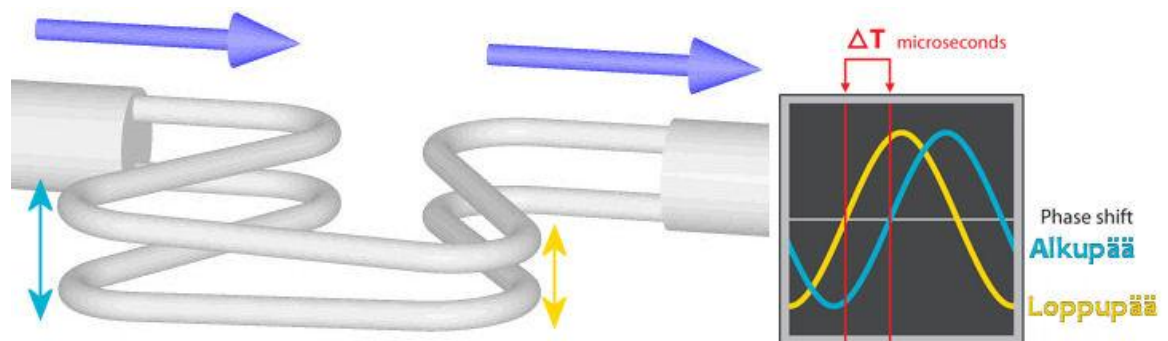
Testattava MicroMotionin laite koostuu coriolis-anturista ja 2700-sarjan aktiivisesta 4-johdinlähettimestä. Erilaisia MicroMotion mittareita on käytössä yli 600 000.

Kuvassa 37 esitetään laitteen anturia, joka jakautuu useaan eri osaan. Prosessiin jälkeen virtaus jakautuu kahdelle rinnakkaiselle virtausputkelle. Putket muodostavat silmukan, jonka puolella välissä sijaitseva ohjaukela aiheuttaa putkiin värähtelyä tietyllä taajuudella. Virtauksen ollessa nolla coriolis-ilmiötä ei esiinny ja tunnistinkelat värähtelevät samanaikaisesti. Massavirtauksen kasvaessa ohjaukela alkavat värähtelemään pienellä aikaerolla, jolloin putken loppupään kela on hieman alkupäätä jäljessä. Tämä aikaero muutetaan suoraan massan virtausnopeudeksi käyttämällä virtauskalibrointivakiota. Laskenta suoritetaan anturielektronikan prosessorissa.



KUVA 37 *MicroMotion coriolisanturin osat*

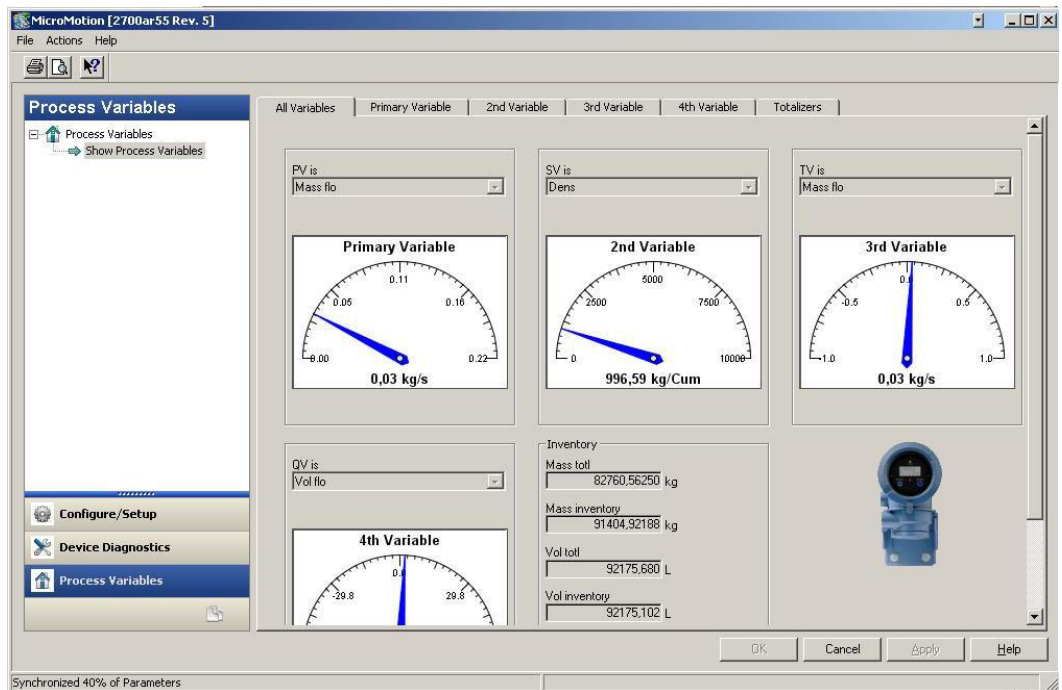
Kuvassa 38 esitetään aikaeron syntyä coriolis-ilmiön aiheuttamalla värähtelyllä, jossa massan hitaus pakottaa virtausputkien eri päät värähtelemään eri aikaan. Mitä suurempi aikaero, sitä suurempi massavirtaus on.



KUVA 38 *Coriolisanturin toimintaperiaate*

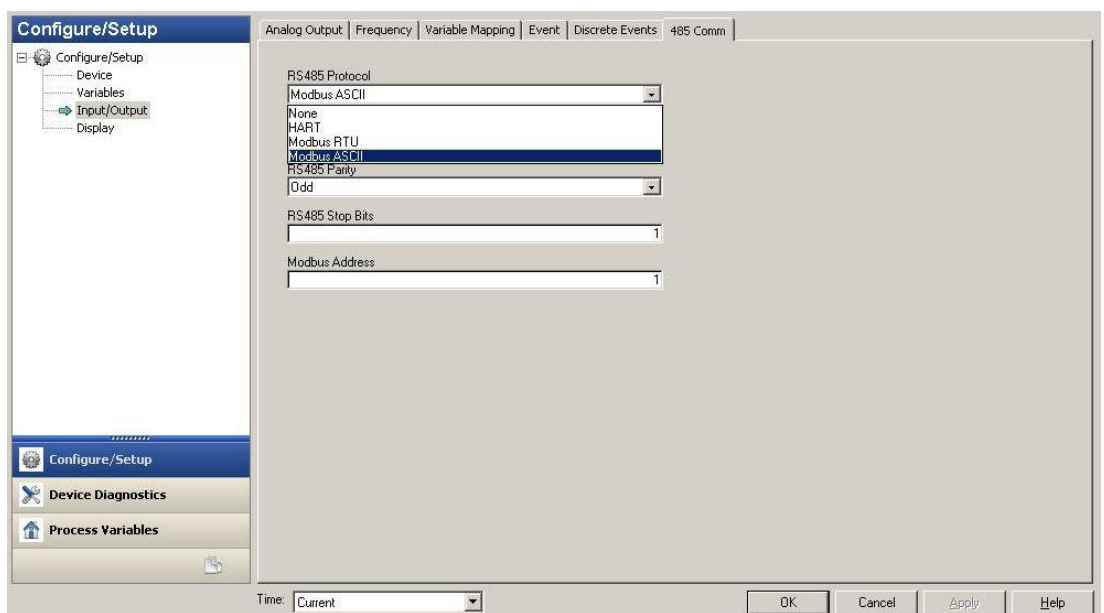
Micro Motionin coriolismittari on älykäs kenttälaitte, jolla voi mitata useita suureita samanaikaisesti. Kuvan 39 muuttujaikkunassa esitetään neljä päämuuttujaa: massavirtaus kahdella eri asteikolla, virtausnopeus sekä tiheysmittaus. Lisäksi näkymässä listataan mittapisteen tilastotietoa, kuten läpikulkeneen aineen kokonaismassa ja -tilavuus.

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetinyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



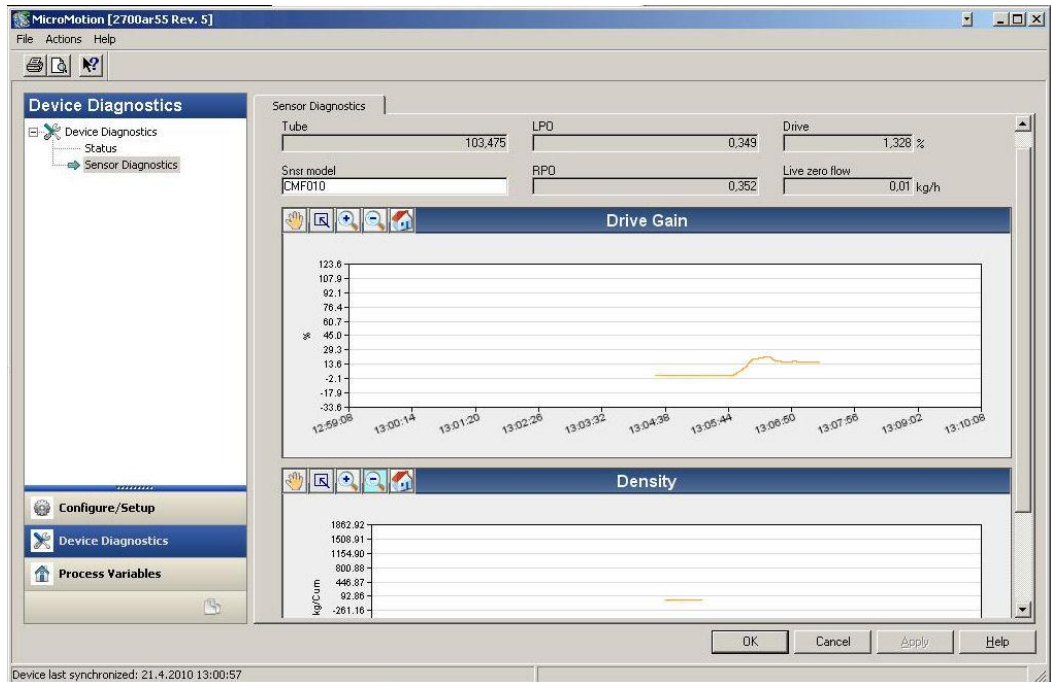
KUVA 39 *Micro Motion coriolismittarin muuttujaikkuna*

Micro Motion-laitteen konfiguraatiotilassa määritetään laitteen kaikki asetukset. Configure-osio koostuu laite-, muuttuja-, signaali- ja näyttöhallinnoista, jotka jakautuvat useaan pienempään osioon. Laittehallinta käsittää yleiset tiedot kuten mallin ja anturityypin sekä testi- ja simulaatioajon. Muuttujahallinnassa valitaan virtaussuunta, käytettävät yksiköt, mittausaikavälit, vaimennukset sekä ns. erikoisyksiköt. Kuvassa 40 näkyvässä Input/output-osuudessa hallitaan mm. analogisignaalina esitettävää ensisijaista muuttujaa, ohjauksen taajuutta, hälytystapahtumia sekä kommunikaatioprotokollaa. Näyttöhallinta sisältää kentälaitteen näytön asetukset, viidentoista eri muuttujan valinnan sekä esitystarkkuuden määrittämisen.



KUVA 40 *Micro Motion-mittarin konfiguraatioikkuna*

Lähettimen diagnostiikkaosio koostuu tilanneraportoinnista ja anturin mita-arvojen seurannasta. Status-valikossa listattiin laitteen virheilmoitukset, tilanneraportit sekä huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät tiedot. Anturidiagnostiikan kuvaajissa näkyvät virtauksen tiheyden ja läpikulkeneen nesteen määrän seuranta, kuten kuvassa 41 esitetään.



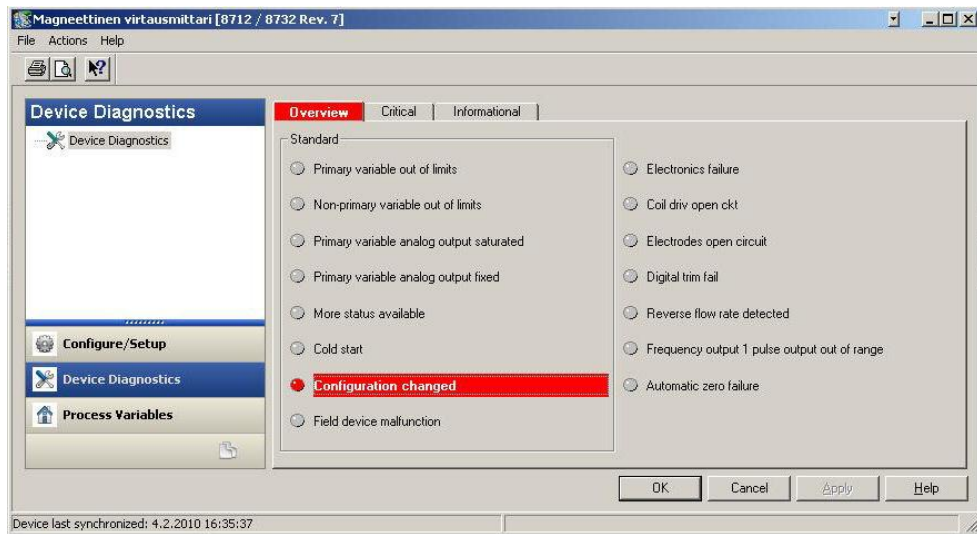
KUVA 41 Micro Motion-laitteen anturidiagnostiikanäkymä

6.3.6 Rosemount 8712 magneettinen virtausmittari

Aktiivisen 8712 nelijohdin virtausmittarin toiminta perustuu nesteen aiheuttaman jännitteen tunnistukseen. Virtaputken eri puolilla on kaksi kelaa, jotka aiheuttavat magneettikentän. Kentän läpi kulkeva johtava neste tai liete varautuu tietyllä jännitteellä, jonka kaksi elektrodia rekisteröivät. Laitteen lähetyksensä muuttaa mitatun jännitearvon luettavaksi analogisignaalksi ja pulssilähdöksi.

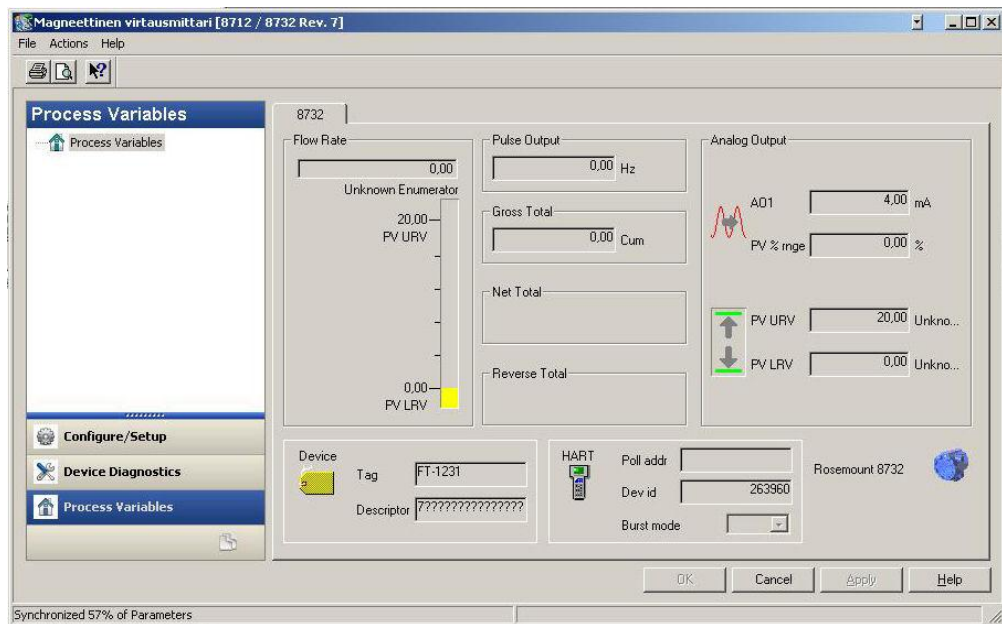
Laitteen suorittama diagnostiikka luettiin THUM-adapterin kautta AMS Device Manager -ohjelmistossa. Kuvassa 42 näkyviä diagnostiikkatietoja ovat mm. häiriö- ja vikailmoitukset, mittarajojen poikkeamat, kriittiset ilmoitukset sekä yleiset tiedonannot.

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



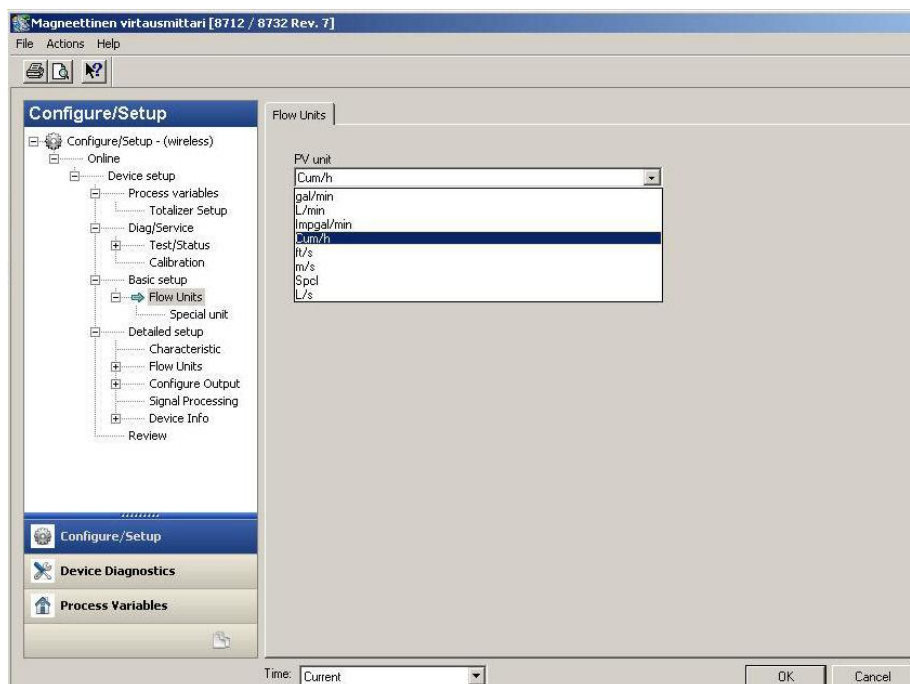
KUVA 42 8712 lähettimen diagnostiikkaikkuna

Kuvan 43 muuttujaikkunassa näkyy nykyinen virtausnopeus, kokonaismäärä, mittausalueen rajat, aineen tiheys sekä laitteen lähettämät pulssi- ja analogisignaalit.



KUVA 43 Magneettisen virtausmittarin muuttujanäkymä

Prosessimuuttujien yksiköt ja muuttujanäkymän esitysmuoto ovat muutettavissa kuvan 44 konfiguraatiotilassa, jossa voidaan suorittaa myös laitteen testi sekä simulaatioajo.



KUVA 44 Magneettisen virtausmittarin konfiguraatioikkuna

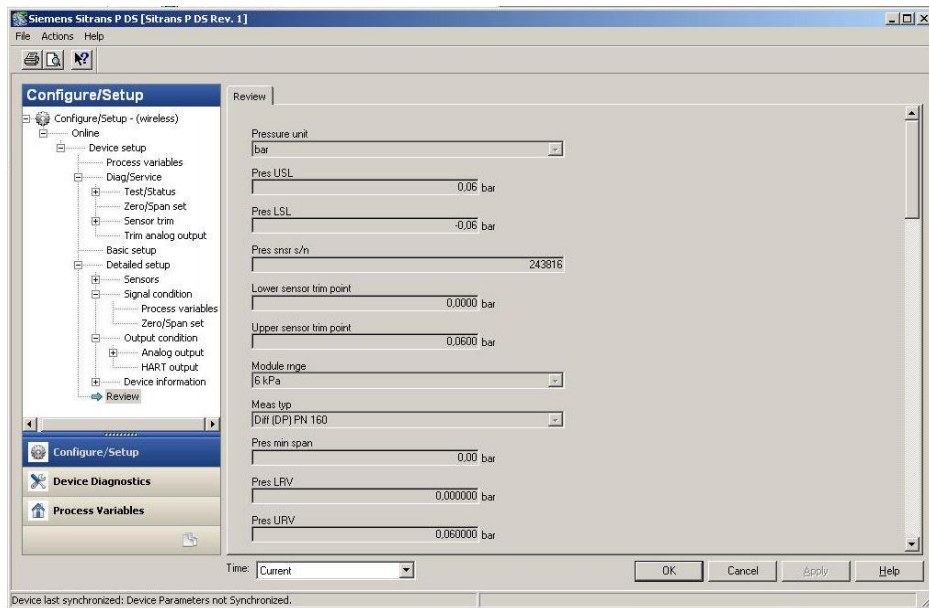
6.3.7 Siemens Sitrans P DS

Lähettimen mittaus perustuu piipohjaisen paineanturin välikalvon liikkeeseen. Paine-ero aiheuttaa mittauskalvon ja välitysnesteen liikkumisen, jolloin piipaineanturi muuttaa neljän piezovastuksen arvoa. Tämä vastusmuutos luo piiriin ulostulojännitteen, joka on verrannollinen paine-eroon. Jännitearvo kulkee jännite/taajuus -konverterille, josta ulostullutta signaalia muokataan mikrokontrollerin avulla. Valmis digitaalinen signaali muutetaan vielä 4 – 20 mA:n HART -signaaliksi.

Siemensin älykäs 2-johdin painelähetin liitettiin THUM -adapteriin passiivisen laitteen vaatimalla tavalla. Koska käytettiin 24 V:n jännitelähdettä, jouduttiin johdotukseen lisäämään minimissään 250 Ω:n vastus 20 mA:n virtapiiriin luomiseksi.

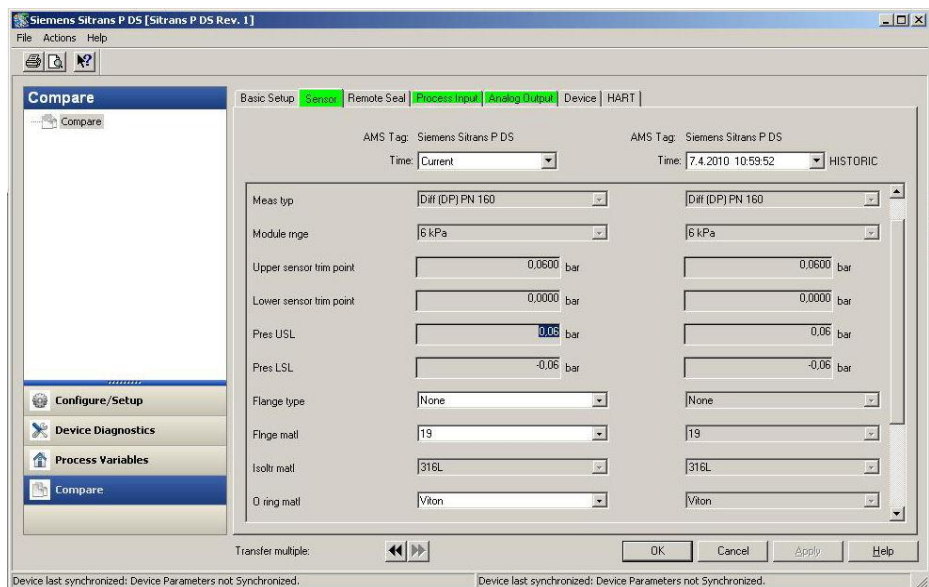
Sitrans P DS kenttälaitteen langaton konfiguraatio-tila oli yhtä laaja kuin HART -modeemilla yhdistettäessä. THUM ja WirelessHART™-protokolla välittivät kaiken oleellisen tiedon langalliselta kenttälaitteelta AMS -hallintaohjelmistolle. Kuvan 45 Setup-listassa oli muun muassa seuraavia konfigurointimahdollisuuksia: kenttälaitteen testiajo, mittalaitteen kalibroiminen, mittarajojen asettaminen, hälytysarvojen asetus, ulostulosignaalin rajaus, mittayksikön valinta sekä ulostulon esitystapa (lineaarinen / neliöjuurettu.)

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



KUVA 45 Sitrans P lähettimen konfiguraationäkymä

Diagnostiikkavalikko on vain suppea yleiskatsaus laitteen toiminnasta. Osioon sisältyvät hälytykset, suoritettavat konfiguraatiomuutokset, viat sekä kriittiset ilmoitukset. Kuvan 46 ”Compare”-näkyvässä yhdistyvät process variables ja setup -osiot. Siinä esitetään käyttöhistorian kaikki oleelliset mitta-arvot ja rajat sekä mahdollistetaan joidenkin asetusten muuttaminen.



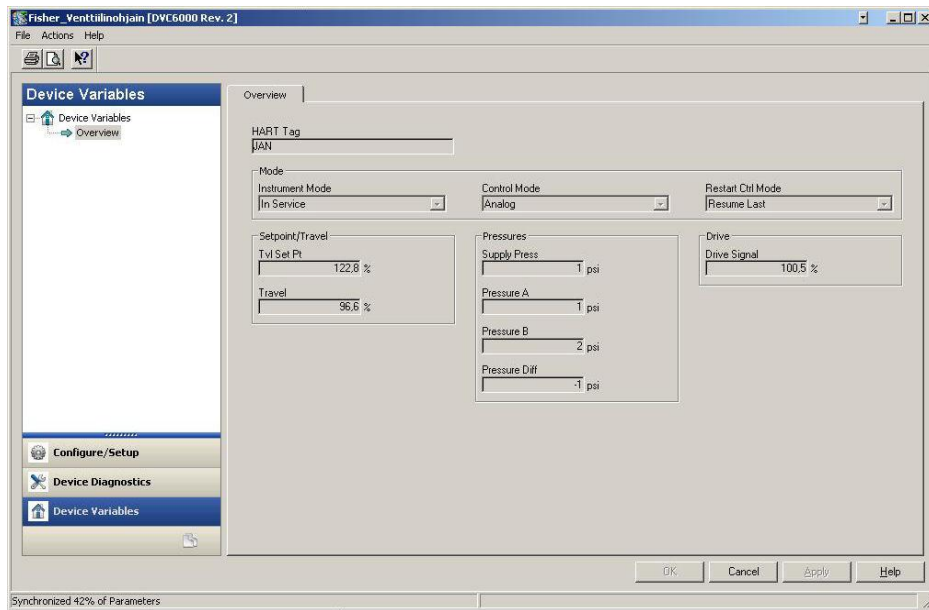
KUVA 46 Sitrans P lähettimen Compare -osio

6.3.8 Fisher DVC6000 venttiiliohjain

Testattava Fisherin DVC6000-ohjain on mikroprosessorilla toimiva kaksi-johdinventtiiliohjain. Laite muuttaa virtaviestin pneumaattiseksi signaaliksi, jolla se ohjaa venttiilin asentoa.

THUM-adapteriin liitettyssä venttiiliohjaimessa ilmeni sama päivitysongelma kuin muissakin kentälaitteissa. 8 ja 16 sekunnin päivitysväleillä yhteys AMS-ohjelmiston ja venttiiliohjaimen välillä oli huono, sillä ”Process Variables” -osiota ei saatu näkyviin.

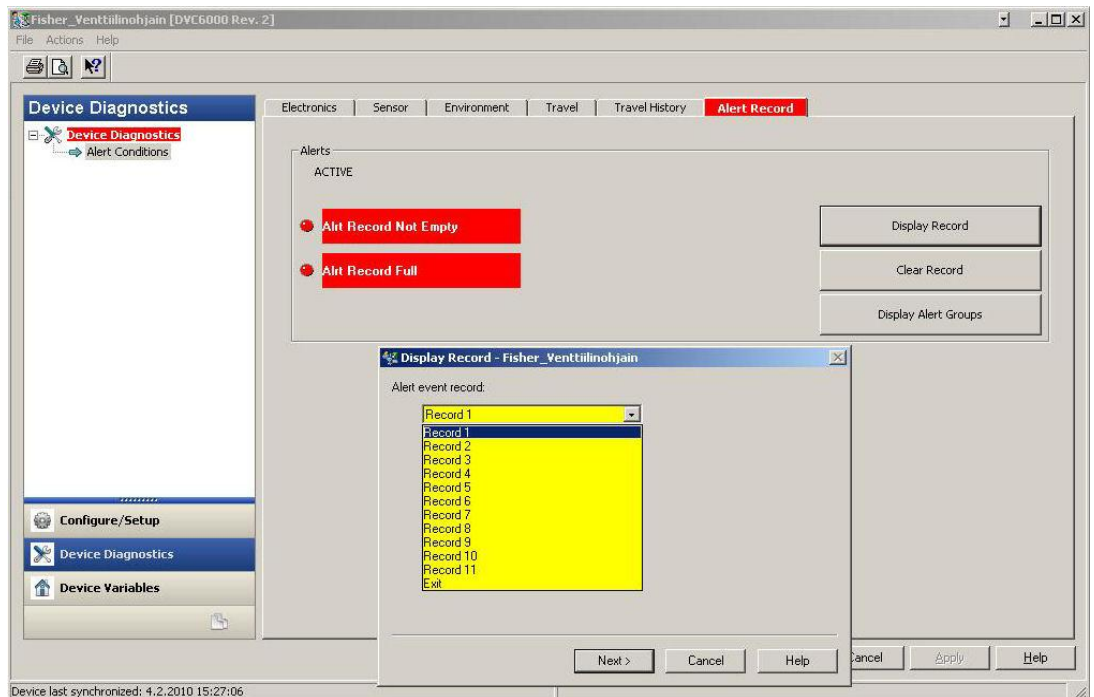
Ohjaimen muuttujanäkymä tarjoaa jonkin verran tietoa sen reaaliaikaisesta toiminnasta. Kuvan 47 ikkunassa näkyy mm. syöttö- ja ohjauspaine, venttiilin tila, signaalin vahvuus, käynnistyksen vakiotila sekä ohjaussignaalin laatu.



KUVA 47 Fisher DVC6000 -ohjaimen muuttujaikkuna

Venttiiliohjaimen diagnostiikkaosio sisältää suuren määrän hälytys- ja virheilmoituksia. Kuvassa 48 näkyy ohjaimen hälytyshistoria, joka auttaa käyttäjää ennakoimaan venttiilin ongelmia. Diagnostiikkaosio koostuu myös elektroniikka- ja anturi-ilmoituksista, ympäristöasetuksista ja muusta toimintahistoriasta.

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetinyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



KUVA 48 Venttiiohjaimen diagnostiikkaikkuna

Käyttäjällä on mahdollisuus konfiguroida eri hälytys- ja tilatietoilmoitukset, jotka välittyvät HART-kommunikaatiolla seurantaohjelmistolle. Konfigurointia ei ole kuitenkaan mahdollista suorittaa langattomasti käyttäen THUM™-lähetinyksikköä, sillä ohjain ilmoittaa hyväksyvänsä ainoastaan fyysisen kommunikaatioyhteyden (kuva 49).



KUVA 49 Venttiiohjaimen konfiguraatiotila

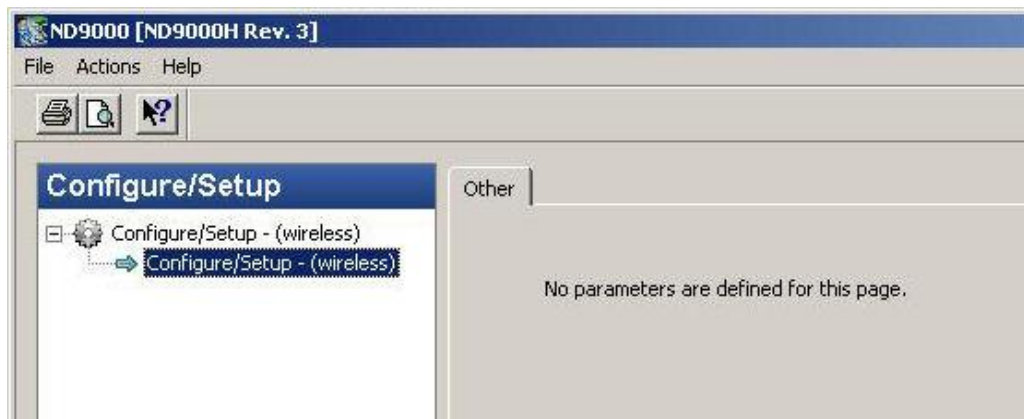
6.3.9 Neles ND9000 venttiiohjain

Neleksen ND9000H on Metson uudempia venttiiohjainmalleja. Se on 4 – 20 mA:n virtaviestistä käyttöjännitteensä saava mikroprosessoripohjainen älykäs venttiiohjain. Laite muuttaa ohjausvirran venttiilin pneumaattiseksi ohjausarvoksi.

Kaikista muista testatuista laitteista poiketen, ND9000 venttiiohjaimen ja THUM-adapterin välinen kommunikaatio onnistui myös 8, 16 ja 32 se-

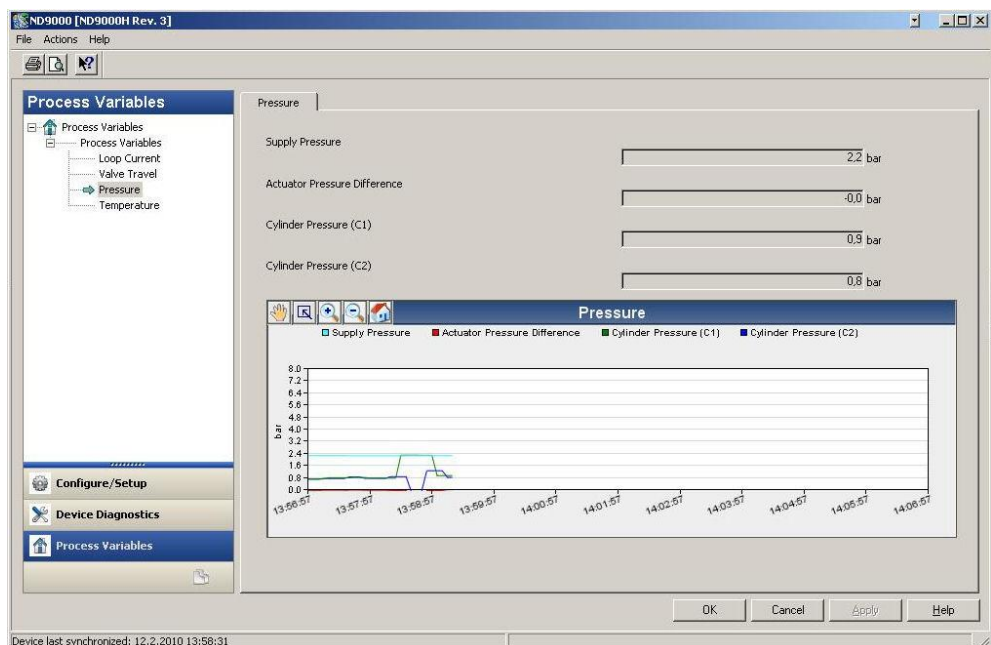
kunnin päivitysväleillä. Laitteen toiminnan seuranta, testiajo sekä diagnostiikkahistorian lukeminen voitiin suorittaa jokaisella päivitysnopeudella.

Ongelmaksi havaittiin venttiiliohjaimen langaton konfiguroiminen, jolloin näkymässä oli ainoastaan kuvassa 50 esitetty ilmoitus. Konfiguraatio-osuus saatiin käyttöön vasta muutettaessa kommunikaatio fyysiseksi HART-yhteydeksi.



KUVA 50 Venttiiliohjaimen konfiguraatioikkuna langattomalla kommunikaatiolla

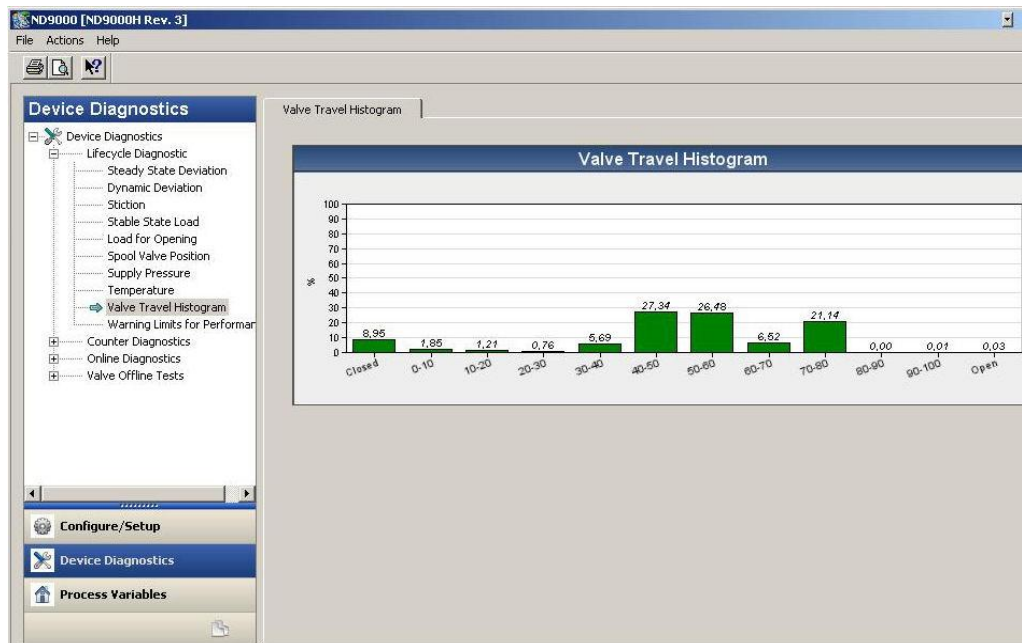
”Process Variables” -näkymässä esitetään venttiilin toimintahistoriaa mm. ohjausvirran, venttiilin asennon, paineen ja lämpötilan suhteen. Kuvan 51 kuvaajassa näkyy mm. syöttöpaineen ja ohjauspaineen hetkelliset arvot, joista voi päätellä venttiilin olleen hetkellisesti suljettuna.



KUVA 51 ND9000-ohjaimen muuttujaikkuna

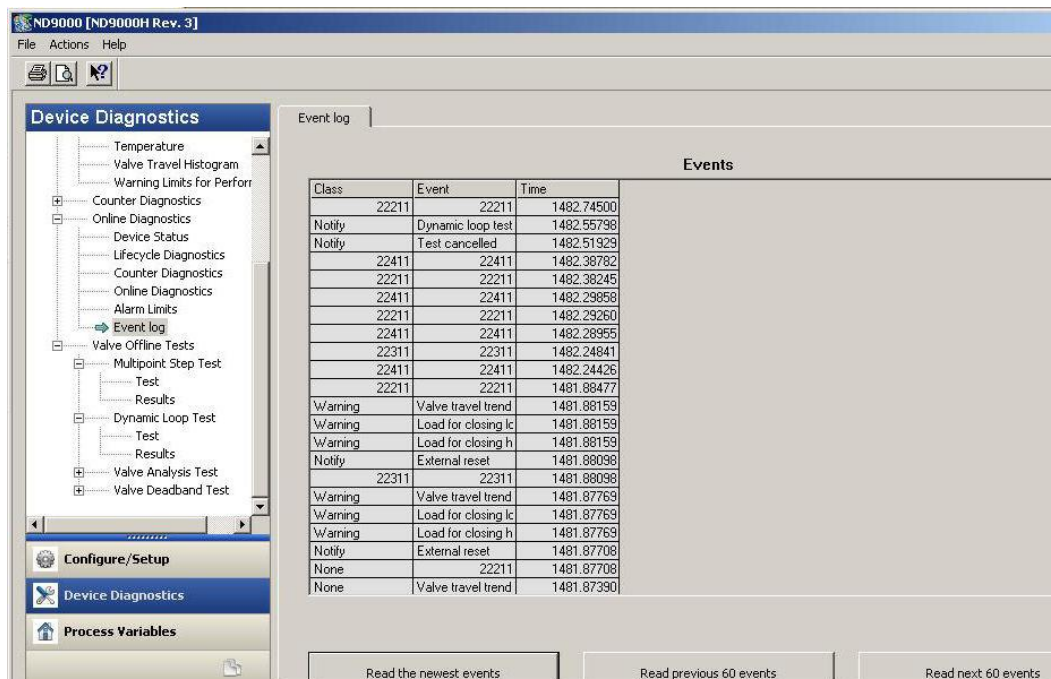
Venttiiliohjaimen laitediagnostiikkaosio sisälsi valtavan määrän toimintatietoa, joka jakautui laitteen elämänsykliin, elektroniikkadiagnostiikkaan, Online-diagnostiikkaan sekä venttiilitesteihin. Nämä mahdollistavat tehokkaan ja ennakoivan kunnossapidon. Ohjaimen elin-

kaaritiedot sisälsivät tilastotietoa esimerkiksi venttiilin asennoista. Kuvassa 52 esitetään laitteen käyttöjakauma venttiilin asennon suhteen. Histogrammista selviää, että venttiiliä on käytetty sen elinkaaren aikana eniten 'puoliksi auki' -asennossa.



KUVA 52 Venttiilin asennon käyttöjakauma

Online-diagnostiikka sisältää laitteen yleiset tapahtumat, hälytykset, ilmoitukset sekä meneillään olevat tapahtumat. Lisäksi valikosta löytyy kuvassa 53 esitettävä tapahtumalista, josta voi seurata laitteen suorittamia toimintoja.

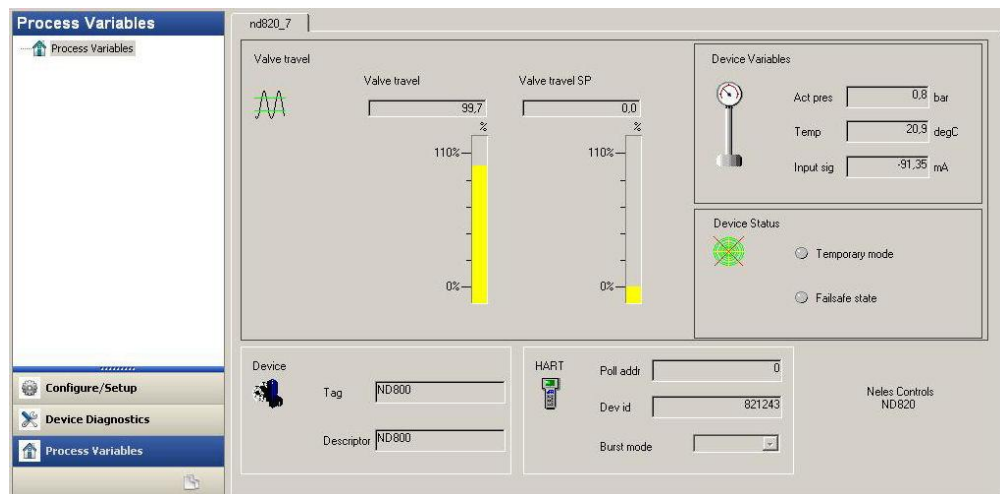


KUVA 53 Venttiiliohjaimen tapahtumalista

6.3.10 Neles ND821 S4 -venttiiliohjain

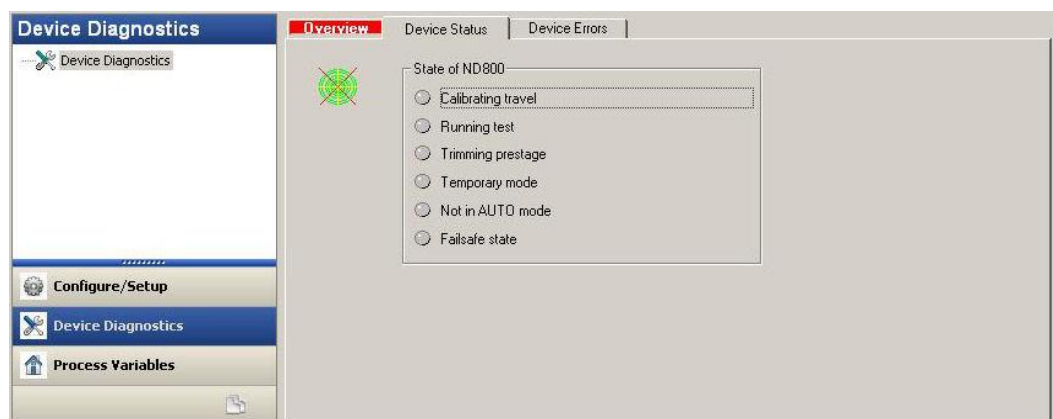
Neleksen 800-sarjan venttiiliohjain on Metson vanhempia malleja. Laitteen mikrokontrolleri muuttaa sisääntulosignaalin pneumaattiseksi ohjausarvoksi joka säätelee venttiilin asentoa.

Ohjaimen kommunikaatio THUM™-lähetinyksikön kanssa toimi kaikilla muilla paitsi 8 sekunnin päivitysvälillä. Langaton yhteys toimi yhtä hyvin kuin kiinteä HART-kommunikaatio, tarjoten täydet käyttöoikeudet laitteen hallintaan. Kuvan 54 muuttujaikkuna sisältää venttiilin asennon, venttiilin asetusarvon, käyttöpaineen, lämpötilan sekä ohjausvirtaviestin esityksen.



KUVA 54 ND821-venttiiliohjaimen muuttujaikkuna

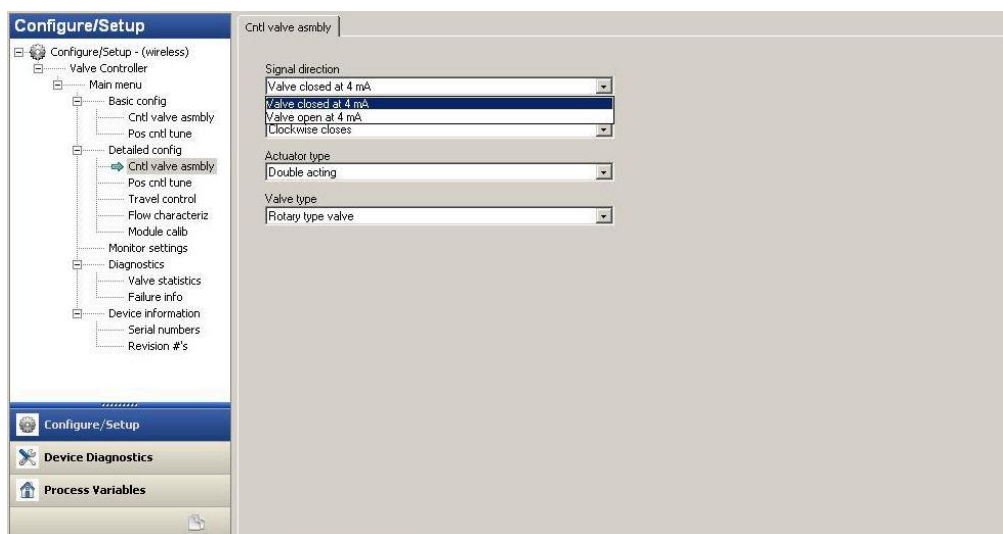
Venttiiliohjaimen diagnostiikkaosio on varsin suppea, sisältäen ainoastaan laitteen yhteenvedon ja yleisen seurannan lisäksi hälytykset. Kuvassa 55 näkyy lyhyt yhteenvedo ohjaimen tilasta.



KUVA 55 Venttiiliohjaimen toiminnan seuranta

Ohjaimen konfiguraatioon kuului mm. venttiilin asennonmääritys, toimitusunta, käyttöhistorian hallinta, ”Process Variables” -näyttöparametrien valinta ja laitteen yleinen kalibroiminen. Kuvan 56 konfigurointikkunassa valitaan venttiilin perustila ohjausvirran ollessa 4 mA.

WirelessHART™-tiedonsiirtoon perustuvan langattoman THUM™-lähetinyksikön toiminnan testaus perinteisten HART-kentälaitteiden kanssa



KUVA 56 ND821-venttiiliohjaimen konfiguraationäkymä

7 MUIDEN VALMISTAJIEN WIRELESSHART-ADAPTEREITA

Emerson ja Rosemount ovat odotetusti WirelessHART™ tekniikan edelläkävijöitä, mutta myös muut valmistajat ovat tuoneet omia laitteita markkinoille. Gateway-yksiköiden ja langattomien kentälaitteiden lisäksi jotkut yritykset tarjoavat THUMia vastaavaa WirelessHART-adapteria.

1. ABB



- HART kentälaitteeseen asennettava adapteri
- Liittyy automaattisesti WirelessHART™ -verkkoon
- Ottaa energiansa 4 - 20 mA virtaviestistä aiheuttamatta siihen muutosta
- Ei aiheuta liiallista jännitehäviötä liitetyille laitteelle
- Suunnattava antenni
- ATEX hyväksytty
- Adapteri on jo myynnissä

KUVA 57 ABB, WirelessHART Upgrade Adapter NHU200-WL

2. Siemens



- Mahdollisuus liittää neljään eri omavirtaiseen laitteeseen multidrop-moodissa
- Liittyy automaattisesti WirelessHART™ -verkkoon
- Adapteriin on integroitu 5V litiumparisto, joka voi antaa virtaa myös kentälaitteelle. Pariston käyttöikä on 5-7 vuotta (1 tunnin päivitysvälillä)
- Suunnattava antenni
- ATEX hyväksytty
- Adapteri on jo myynnissä

KUVA 58 Siemens, Sitrans AW200

3. Endress+Hauser



- Liittyy automaattisesti WirelessHART™ -verkkoon
- Adapteriin on integroitu 5V litiumparisto, joka voi antaa virtaa myös kentälaitteelle. Pariston käyttöikä on 5-7 vuotta käyttötavasta riippuen
- Suunnattava antenni
- ATEX, CSA ja FM hyväksytty
- Adapteri on jo myynnissä

KUVA 59 Endress+Hauser, WirelessHART -adapter

4. Pepperl+Fuchs



- Liittyy automaattisesti WirelessHART™ -verkkoon
- Adapteriin on integroitu 5V litiumparisto, joka voi antaa virtaa myös kentälaitteelle. Pariston voi kestää useita vuosia
- Jos kentälaitteella on oma teholähde, ottaa adapteri energiansa siitä
- Adapteri on julkaistu, mutta ei vielä myynnissä

KUVA 60 Pepperl+Fuchs, WirelessHART -adapter

5. MACTech



- HART kentälaitteeseen asennettava adapteri
- Liittyy automaattisesti WirelessHART™ -verkkoon
- 6 laitteen liitettävyys multidrop-moodissa
- Ottaa energiansa 4 - 20 mA virtaviestistä aiheuttamatta siihen muutosta
- Monisuuntainen antenni
- Ei-sertifioitu adapteriversio otettu testikäyttöön, ei ole vielä myynnissä
- Ulkona kantama yli 300m

KUVA 61 MACTech, BULLET

6. E-Senza



- Liittyy automaattisesti WirelessHART™ -verkkoon
- Ottaa energiansa standardista 4 - 20 mA virtaviestistä aiheuttamatta siihen muutosta
- Erilaisia energia ja akku mahdollisuuksia
- Adapteria ei ole vielä julkaistu

KUVA 62 E-Senza, SB150-WA

8 WIRELESSHART™-VERKON KÄYTTÖÖNOTTO

HAMK Valkeakosken automaatiolaboratoriossa otettiin käyttöön WirelessHART™-verkko opetuskäyttöön. Laitekannaksi valittiin Rosemountin valmistamat WirelessHART™-laitteet, Emersonin THUM™-lähetinyksikkö sekä Siemensin painelähetin. Rosemountin Gateway-yksikkö liitettiin tietokoneen ethernet-porttiin suoraan kytketyllä (MD-I) CAT5-kaapelilla ja asennettiin liikkuvaan työpisteeseen. Langattomat HART-kenttälaitteet asetettiin siirrettäville alustoille MESH-verkon ja lähetysvoimakkuuksien seurantaan varten. THUM-adapteri asennettiin Siemens Sitrans P DS painelähettimeen.

Konfiguroinnin jälkeen kaikki laitteet liittyivät automaattisesti WirelessHART™-verkkoon. Yhteys Gateway-yksikön ja AMS hallintajärjestelmän välillä toimi moitteettomasti. Jokaista WirelessHART™-kenttälaitetta, THUM-adapteria sekä THUM-adapteriin liitettyä kenttälaitetta pystyi konfiguroimaan langattomasti.

Valkeakosken automaatiolaboratoriossa on runsaasti esteitä. Vaikka Gateway-yksiköltä suoraa näköyhteyttä on enimmillään 10 metriä, pystyi WirelessHART™-verkko muodostamaan yhteyden sisätilassa yli 50 metrin päähän.

9 LOPPUTULOKSET

Langattoman THUM™-lähetinyksikön liitettävyys eri-ikäisiin ja eri valmistajien HART-kenttälaitteisiin on todella hyvä. Perinteisten kenttälaitteiden tärkeimmät diagnostiikat, vikailmoitukset ja tiedot välittyvät ongelmitta hallintajärjestelmälle.

Adapterin ja kenttälaitteiden kommunikaatio ei aina toiminut mainostetulla 8 ja 16 sekunnin päivitysvälillä. Sillä ei ole kuitenkaan suurta vaikutusta laitteen käyttökelpoisuuteen, koska adapterin käyttökohteina ovat pitkäaikaiseen prosessin seurantaan ja kunnossapitoon tarkoitettut laitteet, joiden mittaustiedot päivittyvät hitaasti.

Suomalaisessa teollisuuskulttuurissa uusien laitteiden hankkimisen ja uuden tekniikan käyttöönottamisen kynnys on todella korkea. WirelessHART™-tekniikan kohdalla tilanne on juurikin tämä, sillä uudet kenttälaitteet ovat kalliita, niiden tehomodulit toimivat vain muutaman vuoden sekä vanhojen ja toimivien kenttälaitteiden vaihtaminen uusiin tuntuu usein turhalta. Langaton THUM™-lähetinyksikkö saattaa poistaa vanhat ennakkoluulot tarjoamalla langatonta tekniikkaa vanhemmille HART-kenttälaitteille. Huomattavasti WirelessHART™-kenttälaitteita edullisempi adapteri on usealle yritykselle mielekkäämpi ratkaisu järjestelmän päivittämiseen.

10 YHTEENVETO

Langattoman THUM™-lähetinyksikön testaaminen sujui pääosin ongelmitta. Johdotus perinteisiin HART-kenttälaitteisiin onnistui helposti ja langattoman WirelessHART™-verkon käyttöönotto oli todella yksinkertainen toimenpide. Joitakin adapterin ja kenttälaitteiden väliseen kommunikaation liittyviä ongelmia ei ole vielä ratkaistu, mutta uskon, että tämän työn pohjalta THUM-adapterin toimintaa voidaan kehittää entistä paremmaksi.

Omasta mielestäni langaton THUM™-lähetinyksikkö on erinomainen työkalu prosessin seurantaan ja kunnossapitoon. Laite on verrattain edullinen ja helppo asentaa, joten uskon, että adapteri ja sen käyttämä WirelessHART™-kommunikaatio tulevat yleistymään myös Suomen teollisuudessa.

LÄHTEET

- [1] <http://www.romilly.co.uk/> 20.2.2010
- [2] <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/accp/ss0002/le1.htm> 1.3.2010
- [3] <http://www.ficora.fi/en/index/palvelut/palvelutaiheittain/radiotaajuudet/radiotaajuusmaarays4.html> 1.3.2010
- [4] <http://compnetworking.about.com/od/networkdesign/a/topologies.htm> 10.3.2010
- [5] <http://www.networktutorials.info/index.html> 10.3.2010
- [6] Jonas Berge, Fieldbuses for Process Control, ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society: Durham, NC 2002
- [7] Granlund, Kaj, Tietoliikenne, WSOY, Porvoo 2007
http://www.wsoypro.fi.proxy.hamk.fi:2048/kirjasto_lukutila.aspx?blockid=07it334997.29&offset=0.0
- [8] http://www.samson.de/pdf_en/l452en.pdf 11.3.2010
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model
- [10] http://www.dust-inc.com/cms/sites/default/files/TSMP_Whitepaper.pdf?phpMyAdmin=990d74152668447389a687d2db575223 24.3.2010
- [11] Paavola, Miska Grishka, AMS Kentänhallintaohjelmisto turvallisuuteen liittyvien järjestelmien ylläpidossa, opinnäytetyö HAMK 2005
- [12] <http://www.comptechdoc.org/independent/networking/guide/index.html> 10.3.2010
- [13] <http://www.qsl.net/n9zia/wireless/dsss.html> 23.3.2010
- [14] http://www.arcelect.com/DSSS_FHSS-Spead_spectrum.htm 25.3.2010
- [15] http://www.smar.com/PDFs/Catalogues/Hart_Tutorial.pdf 25.3.2010
- [16] <http://www.hartcomm.org/> 25.3.2010
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/OQPSK#Offset_QPSK_.28OQPSK.29 26.3.2010

LIITTEEN OTSIKKO