

# TUULITURBIINIVAIHTEESSA KÄYTETTÄVIEN KENTTÄVÄYLIEN KARTOITUS JA KÄYTÖSSÄ OLEVAN VÄYLÄN TOPOLOGIAN ARVIOINTI

Mika Kettunen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2011

Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) KETTUNEN, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 26.5.2011
	Sivumäärä 70+6	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi TUULITURBIINIVAIHTEESSA KÄYTETTÄVIEN KENTTÄVÄYLIEN KARTOITUS JA KÄYTÖSSÄ OLEVAN VÄYLÄN TOPOLOGIAN ARVIOINTI		
Koulutusohjelma  Tietotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t)  STRÖM, Markku, lehtori		
Toimeksiantaja(t) Moventas Wind Oy UUSITALO, Kari		
Tiivistelmä  <p>Opinnäytetyön kohteena oli tuuliturbiinivaihteiston kunnonvalvontajärjestelmässä (CMaS) käytettävät väylätopologiat ja niiden vaihtoehtoisten ratkaisujen etsiminen ja vaihtoehtoisten kenttäväylien kartoitus. Yksi päätavoite oli myös testata tähtiverkon toimivuutta kunnonvalvonnan kenttäväylässä.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Moventas Wind Oy:n tuotekehitysosastolle. Työ liittyy yhtiön kehittämään kunnonvalvontajärjestelmään. Järjestelmä valvoo tuuliturbiinivaihteiston tilaa. Antureilta kerätty mittaustieto kootaan keskusyksikölle, josta ne lähetetään edelleen palvelimelle analysoitavaksi.</p> <p>Opinnäytetyö sisälsi kenttäväyläselvityksen lisäksi myös käytännön asioita. Työssä rakennettiin testausjärjestelmä mittaustantureineen. Käytössä olevalla kenttäväyläjärjestelmällä testattiin sarjaväylän eri topologioita. Väylätesteissä käytettäviä värähtelyanturia luettiin etänä kenttäväylän avulla. Työssä testattiin myös verkon terminoinnin vaikutusta eri topologioissa.</p> <p>Suoritettujen testien mukaan tähtiverkko toimii sarjaliikenneväylänä rajatussa ympäristössä, kun etäisyys säilyy lyhyenä ja tiedonsiirtonopeus riittävän alhaisena. Tähtiverkossa yhden anturin kaapelin irrottaminen ei vaikuttanut koko väylän toimintaan. Tulevaisuutta ajatellen on myös tarpeen selvittää Ethernet-pohjaisia kenttäväyläratkaisuja.</p>		
Avainsanat (asiasanat) väylät, kunnonvalvonta, värähtely, etäkäyttö, sarjaliikenne, tuulivoima		
Muut tiedot		



Author(s) KETTUNEN, Mika	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 26052011
	Pages 70+6	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title  USE OF FIELD BUSES IN WIND TURBINE GEAR UNIT AND EVALUATION OF THE BUS TOPOLOGY		
Degree Programme  Information Technology		
Tutor(s)  STRÖM, Markku, Lecturer		
Assigned by Moventas Wind Oy UUSITALO, Kari		
Abstract  <p>The aim of the bachelor's thesis was to study the bus topologies used in condition management system (CMaS) of wind turbine gears and additionally, search for alternative solutions and mapping of alternative field buses. Another main objective was to test the functionality of a star network in the field bus of the system.</p> <p>The thesis was assigned by Moventas Wind Oy R &amp; D Department. The study relates to the condition management system of the company. The measurement data collected from sensors is sent to the central processing unit, and from there further to the server for analysis.</p> <p>In addition to the field bus report, the study also discusses practical issues. A testing system was built with measurement sensors in the study project. The used field bus system was tested with various topologies. The vibration sensor used in the bus tests was read remotely with the field bus. The effect of termination in different topologies was also tested.</p> <p>According to the performed tests, the serial line star network works in the restricted environment, when the distance remains short and the data transfer rate is sufficiently low. For the future, it is also necessary to find Ethernet-based field bus solutions.</p>		
Keywords  bus, condition monitoring, vibration, remote access, serial communication, wind power		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta ja toimeksiantaja .....	6
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet .....	7
<b>2 KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄ CMAS</b> .....	<b>8</b>
<b>3 KENTTÄVÄYLÄT JA VÄYLÄTEKNIIKAT</b> .....	<b>15</b>
3.1 Kenttäväylät yleisesti .....	15
3.2 Tiedonsiirron rakennemallit.....	19
3.3 RS-485 ja CAN vertailu.....	22
3.4 RS-485 sarjaliikenneväylä .....	24
3.5 Terminointi ja biasointi RS-485 siirtojohdolla .....	30
3.5.1 Väylän terminointi .....	30
3.5.2 Biasointi RS-485 väylällä .....	31
3.6 Topologia eli väylän fyysinen rakenne .....	33
3.6.1 Kahden pisteen välinen topologia (Serial point to point) .....	34
3.6.2 Tähtitopologia (Star network) .....	35
3.6.3 Rengastopologia (Ring network) .....	35
3.6.4 Väylätopologia (Bus network) .....	36
3.6.5 Puutopologia (Tree topology).....	37
3.6.6 Yhdistelmätopologia eli hybridi-verkko ( <i>Combined network</i> ).....	37
3.6.7 Vapaa topologia (Mesh network) .....	38
<b>4 MODBUS KENTTÄVÄYLÄ</b> .....	<b>40</b>
4.1 Johdanto.....	40
4.2 Modbus sarjaliikenteen tiedonsiirtotavat .....	45
4.2.1 Modbus ASCII.....	45
4.2.2 Modbus RTU.....	46

4.3 Modbus toimintakoodit (funktiot).....	47
4.4 Modbus kehysrakenne.....	48
4.5 Modbus tietorakenne .....	50
4.6 Modbus/TCP.....	52
<b>5 TESTAUSJÄRJESTELMÄ.....</b>	<b>54</b>
5.1 Testausjärjestelmä ja mittaukset .....	54
5.2 Testausjärjestelmän luominen .....	55
5.3 Testiajot.....	58
<b>6 TULOSTEN ARVOINTI JA JATKOTOIMINPITEET.....</b>	<b>65</b>
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>68</b>
<b>LIITTEET.....</b>	<b>71</b>
Liite 1. Sarjaliikennestandardit.....	71
Liite 2. Sarjaväylien vertailua .....	72
Liite 3. Yhteenvedo kenttäväylien ominaisuuksista.....	73

## KUVIOT

KUVIO 1. Moventaksen vaihdevalmistuksen juuret.....	6
KUVIO 2. Tuulivoimalaitoksen pääosat .....	9
KUVIO 3. Tuuliturbiinin vaihteiston valvontajärjestelmän komponentit.....	10
KUVIO 4. CMaS kunnonvalvontajärjestelmän tiedonsiirron lohkokaaavio.....	11
KUVIO 5. Tuuliturbiinin pääkomponentit: Generaattori, vaihteisto, pääakseli ja roottori.....	12
KUVIO 6. Eurooppalaisten tuuliturbiinien vikatilastot.....	13
KUVIO 7. Kenttäväylälaitteistolla arkkitehtuuri saadaan yksinkertaistettua ....	17
KUVIO 8. OSI-mallin tiedonsiirto kahden järjestelmän välillä .....	20

KUVIO 9. Kenttäväylän yleinen kerrosmalli .....	20
KUVIO 10. Kaapelien ja liitäntöjen siirtonopeus (bit/s) välimatkan suhteen ...	21
KUVIO 11. RS-485:n väylärakenne .....	25
KUVIO 12. RS-485 yhteys voi olla 2-johtiminen ja 4-johtiminen .....	25
KUVIO 13. RS-485:n väylän signaaliarvot:.....	26
KUVIO 14. RS-485 differentiaaliväylän ASCII merkki (10 bittiä).....	27
KUVIO 15. 2-johdin ja 4-johdin kierretty pari .....	27
KUVIO 16. Esimerkki Rs-485 kaapelista .....	28
KUVIO 17. Kaapelin pituus siirtonopeuden suhteen.....	28
KUVIO 18 Kaapelin pituus siirtonopeuden suhteen.....	29
KUVIO 19. RS-485 2-johdinverkko terminoituna .....	30
KUVIO 20. RS-485 lähetin-vastaanottimen biasointi .....	31
KUVIO 21. RS-485 väylän yhdistetty biasointi ja terminointi .....	32
KUVIO 22. Esimerkki fyysisestä/loogisesta topologiasta.....	33
KUVIO 23. Perustopologiat .....	34
KUVIO 24. Kaksipisteyhteys.....	34
KUVIO 25. Tähtitopologia.....	35
KUVIO 26. Rengastopologia .....	36
KUVIO 27. Väylätopologia.....	37
KUVIO 28. Puutopologia .....	37
KUVIO 29. Yhdistelmätopologia .....	38
KUVIO 30. Vapaa topologia .....	39
KUVIO 31. Esimerkki RS-485 daisy-chain (ketju) topologiasta .....	39
KUVIO 32. Esimerkki Modbus-verkon rakenteesta .....	40
KUVIO 33. Modbus datapaketin kehysrakenne.....	43
KUVIO 34. Modbus/TCP-verkko.....	43
KUVIO 35. Modbus RTU-kehysrakenne.....	47
KUVIO 36. Modbus RTU - väylän isäntälaitte pyytää renkilaitetta lähettämään input-rekisteristään dataa. ....	48
KUVIO 37. Kaavio havainnollistaa Modbus PLC:n esitystapaa .....	50
KUVIO 38. Modbus TCP/IP-verkkoarkkitehtuuri.....	52
KUVIO 39. Modbus-rakenne .....	53

KUVIO 40. Kenttäväylän testausjärjestelmä.....	54
KUVIO 41. Värähtelyanturit testipenkkiin kiinnitettynä.....	57
KUVIO 42. Testausympäristö .....	57
KUVIO 43. RS-485 signaalin oskilloskooppikuva testiajossa 5 .....	64
KUVIO 44. RS-485 signaali testiajossa 4, terminointi 120 Ω.....	64

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Eri kenttäväyliä.....	16
TAULUKKO 2. RS-485 ja CAN-väylän vertailu.....	23
TAULUKKO 3. Modbus-väylän fyysiset kerrokset .....	42
TAULUKKO 4. Heksadesimaalit.....	44
TAULUKKO 5. Modbus ASCII sanomakehys .....	45
TAULUKKO 6. Modbus toimintokoodit .....	48
TAULUKKO 7. Kelojen ja rekisterien osoitteet .....	51
TAULUKKO 8. Modbus komennot.....	51

## LYHENTEET

ASCII	American Standard Code for Information Interchange. Anglosaksisen kirjain- ja erikoismerkillisten numerokoodien määrittelystandardi
ASI	Actuator Sensor Interface. Kenttäväylä
AWG	American wire gauge. Amerikkalainen langan vahvuuden mittajärjestelmä
CAN	Controller Area Network. Kenttäväylä
CRC	Cyclic Redundancy Check. Virheenkorjausalgoritmi
CSV	Comma-separated values. Tiedostomuoto, jolla tallennetaan yksinkertaista taulukko- tai tekstitiedostoa
EIA	Electronic Industries Association. Yhdysvaltalainen elektroniikka-alan järjestö
GPRS	General Packet Radio Service. GSM:n pakettikytkennäinen datapalvelu
GSM	Global System for Mobile Communications. Matkapuhelinjärjestelmä
HDLC	High-Level Data Link Control. Tietoliikenneprotokolla
IEC	International Electrotechnical Commission. Standardoimisjärjestö
ISA	Instrument Society of America. Standardoimisjärjestö
ISO	International Organization of Standardization. Standardoimisjärjestö
LAN	Local Area Network. Paikallisverkko
LRC	Longitudinal redundancy check. Virheenkorjausalgoritmi
OSI	Open Systems Interconnection. Malli, johon useat protokollat perustuvat
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition. Valvomo-ohjelmisto
TCP	Transport Control Protocol. TCP/IP:n protokolla
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Protokollaperhe
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Sarjaliikennepiiri



# 1 JOHDANTO

## 1.1 *Opinnäytetyön tausta ja toimeksiantaja*

Moventas on yksi johtavista mekaanisen voimansiirron teknologian valmistajista maailman laajuisesti. Yhtiö valmistaa voimansiirtoratkaisuja teollisuuden käyttöön sekä tarjoaa palveluja huoltoon ja ylläpitoon. (Hernesniemi 2009.)

Suurin osa tuotteiden loppukäytöstä liittyy uusiutuvaan energiaan. Moventas toimittaa tuuliturbiinivaihteiden ohella myös teollisuusvaihteita. Teollisuusvaihteet ovat yhtiön toinen vahva liiketoiminta-alue. Tärkeitä asiakkaita ovat sellu- ja paperikoneiden sekä mineraaliteollisuuden laitevalmistajat. (Hernesniemi 2009.)

Tuuliturbiinivaihteet ovat nousseet Moventaksen tärkeimmäksi tuotteeksi. Yhtiö kehittää ja toimittaa voimansiirtoratkaisuja merkittäville tuuliturbiinivalmistajille. Moventaksen tuuliturbiinin teknologia osaaminen perustuu vuosikymmenien perinteisiin ja kokemukseen. Yhtiö alkoi kehittää tuuliturbiinivaihteiden teknologiaa 1980-luvun alussa. Nykyään Moventaksen vaihteita käytetään kaikkialla, missä tuulta hyödynnetään energian tuottamiseen. (Hernesniemi 2009.)



KUVIO 1. Moventaksen vaihdevalmistuksen juuret (Hernesniemi 2009.)

Moventaksella on noin 1200 työntekijää yhdeksässä maassa sekä maailmanlaajuinen yhteistyökumppaniverkosto. Toimipaikkoja Suomen lisäksi on mm. Ruotsissa, Saksassa, Kanadassa, Kiinassa, Yhdysvalloissa ja Singaporessa. Moventaksen pääkonttori sijaitsee Jyväskylässä, jossa on myös sen päätehtaat. Yhtiön liikevaihto vuonna 2009 oli 237 miljoonaa euroa. (Cleantech)

Opinnäytetyöni tein Moventas Wind Oy:lle. Mittaus- ja testausajot suoritin mittaus ja tuotekehitysosaston tiloissa. Käytännön mittaus- ja testiajot tehtiin Moventaksen kunnonvalvontajärjestelmään liitettyllä tiedonkeruulaitteistolla. Testauslaitteisto koostui tiedonkeruuyksiköstä ja värähtelyantureista ja niitä yhdistävästä kenttäväyläjärjestelmästä.

## 1.2 *Opinnäytetyön tavoitteet*

Kenttäväylä on keskeisessä osassa Moventaksen CMaS kunnonvalvontajärjestelmää. Suurin osa tiedonsiirrosta tapahtuu kunnonvalvontajärjestelmän keskusyksikön ja antureiden välillä. Nykyisellään on käytössä Modbus-kenttäväylä, jossa siirtoyhteytenä käytetään RS-485 sarjaliitaintä. Väylätopologiana CMaS-järjestelmässä nyt käytetään ketjutettua rakennetta (daisy-chain).

Opinnäytetyön tarkoituksena oli CMaS-väylätopologian vaihtoehtoisten ratkaisujen etsiminen, vaihtoehtoisten väylien kartoitus ja vertailu, sekä väylän kantokyvyn testaaminen nykyisellä ja vaihtoehtoisilla topologioilla. Vaihtoehtoisten topologiaratkaisujen päätavoitteena on lisätä mittausväylän luotettavuutta.

## 2 KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄ CMAS

Prosessiteollisuuden standardeissa kunnonvalvonta on määritelty toiminnaksi, jossa *määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehityminen mahdollisten vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi.* (PSK standardisointi, 2003.)

Moventas on kehittänyt tuulivoimaloihin kunnonvalvontajärjestelmän (engl. *Condition management system CMaS*), jonka avulla voidaan valvoa voimalan toimintaa ja havaita vikoja ennen kuin ne ehtivät aiheuttaa vahinkoa.

Järjestelmä havaitsee laiteviat varhaisessa vaiheessa, jolloin on mahdollista vähentää vaurioiden riskiä ja lisätä toimintavarmuutta. Järjestelmä varoittaa mahdollisista tulevista ongelmista ja näin laitteisto voidaan huoltaa etukäteen, jolloin säästytään yllättäviltä korjauksilta ja laiterikoilta. (Moventas condition management system 2010.)

CMaS -konseptia voidaan käyttää myös erityyppisten teollisuusvaihteiden hallintaan. Sitä käytetään tällä hetkellä esimerkiksi vesivoima-, prosessi- ja kai-vosteollisuudessa. (Moventas condition management system 2010.)

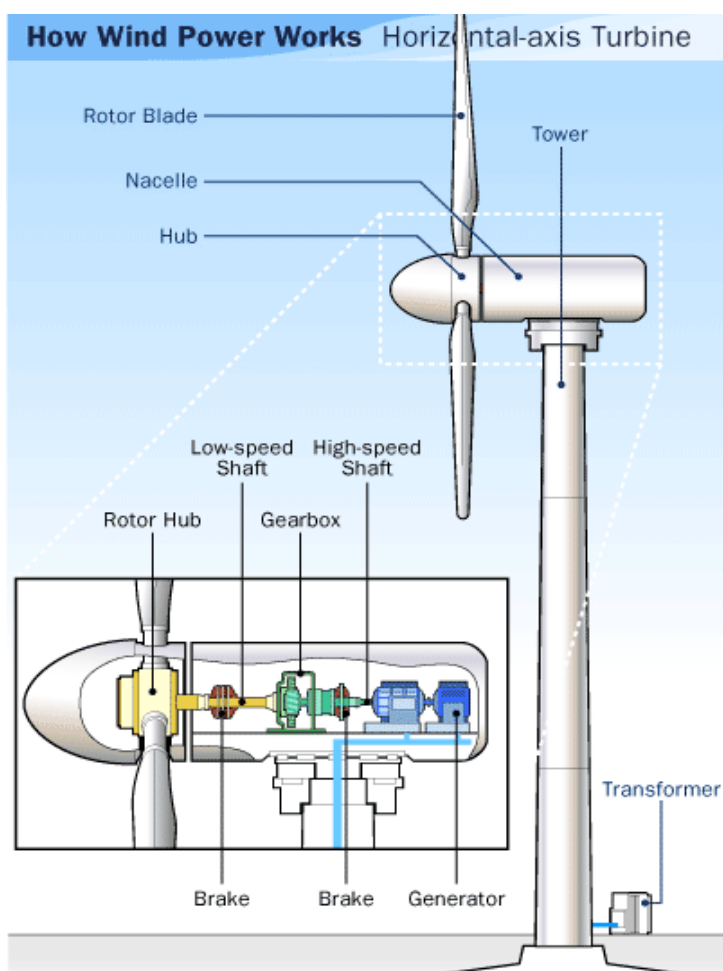
Tuuliturbiinin vaihteiston tehtävänä on muuntaa roottorin lavoilta tuleva kierrosnopeus, joka on noin 10-20 r/min, generaattorin hyödyntämäksi 1000-1500 r/min kierrosnopeudeksi, jolloin vaihteen tyypillinen välityssuhde on 1:100. Tavanomainen 1,5 MW vaihde on kooltaan noin 2 m×2 m×3 m ja painaa noin 12-15 t. (Pylvänen 2009, 7.)

Tuuliturbiinin vaihteistoon, roottoriin ja generaattoriin on kytkettynä useita antureita, jotka tarkkailevat järjestelmän tilaa. Antureilta saatu tieto kootaan keskusyksikölle Modbus-kenttäväylällä käyttäen RS-485 sarjaliikennettä. Tiedot lähetetään edelleen Ethernetin tai GPRS:n (General Packet Radio Service)

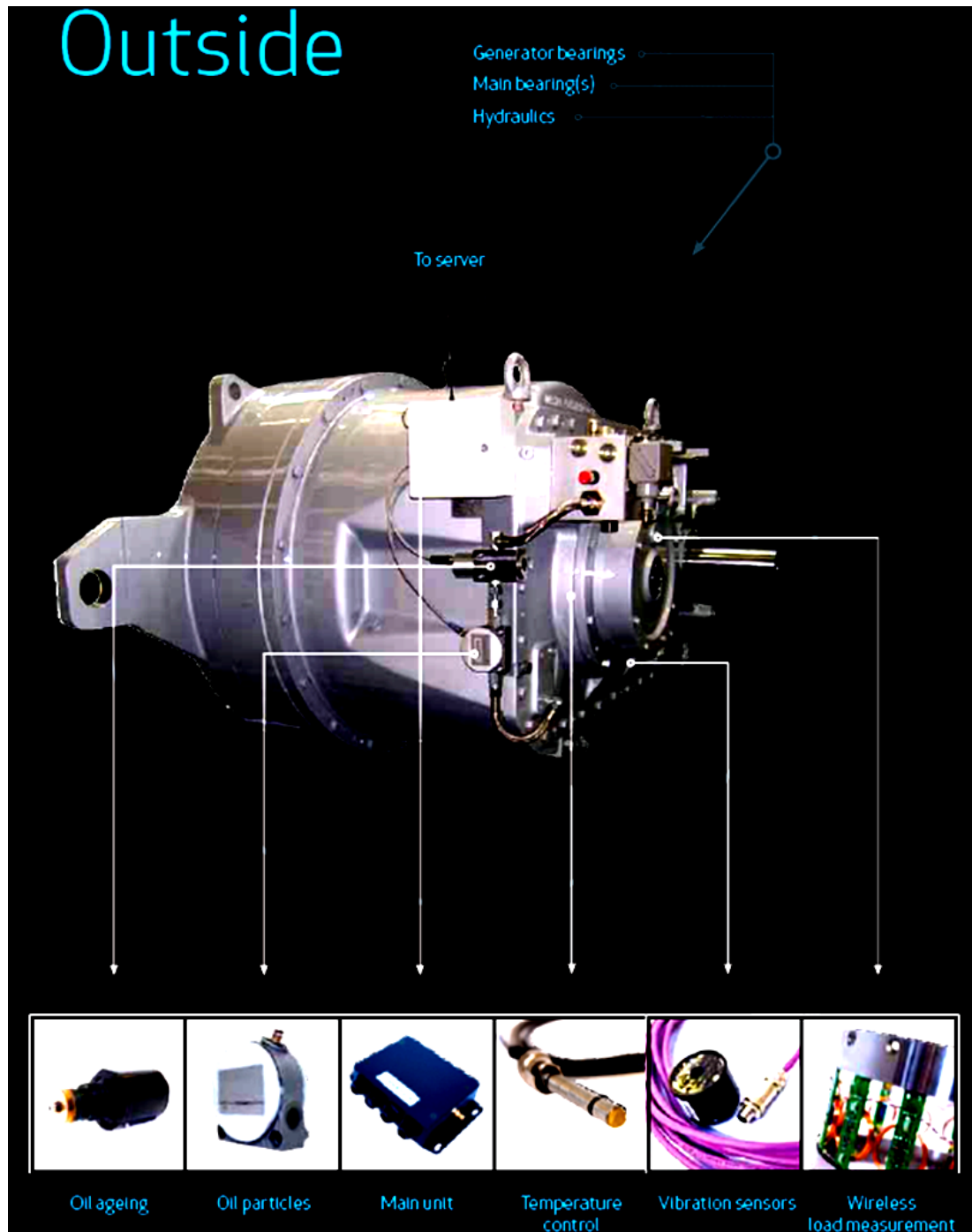
avulla palvelimelle, jossa ne analysoidaan tarkemmin. Yhteysprotokollana käytetään TCP/IP:tä (Moventas condition management system 2010.)

CMA5 valvontajärjestelmä tarkkailee seitsemää eri mittaustietoa:

- Lämpötilaa
- Värähtelyä
- Kuormaa
- Painetta
- Kierroslukua
- Öljynlaatua
- Öljyn partikkeleita



KUVIO 2. Tuulivoimalaitoksen pääosat (Layton)

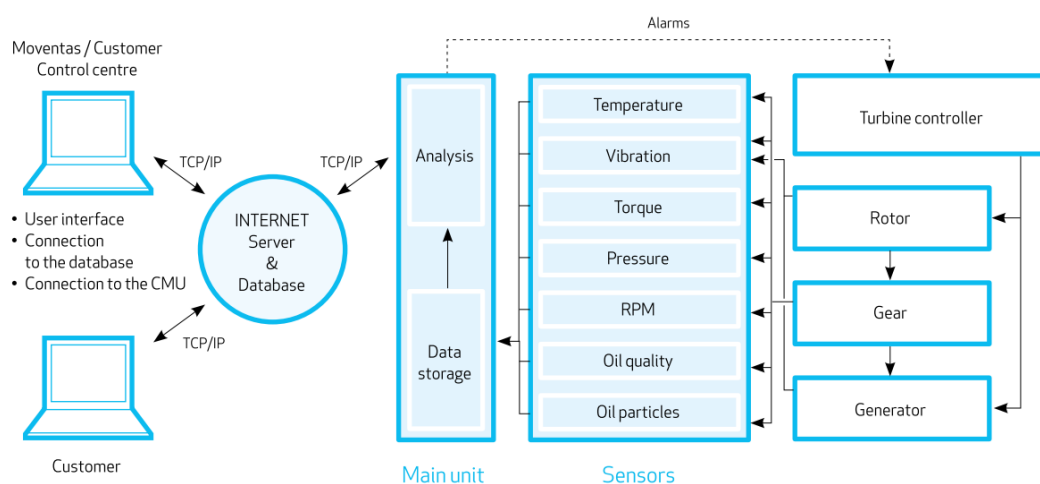


KUVIO 3. Tuuliturbiinin vaihteiston valvontajärjestelmän komponentit (Moven-tas condition management system 2010.)

Mittamalla turbiinin laakerin ja öljyn lämpötilaa voidaan havaita mahdolliset jäähdytysjärjestelmän toimintahäiriöt tai turbiinin voiteluongelmat. Vaihteen värähtelyä seurataan kolmeen suuntaan mittaavalla kiihtyvyyssanturilla, joka on

kiinnitettynä vaihteen koteloon. Liiallinen värähtely on aikainen merkki laakeriviasta. Vääntö- ja kierroslukutieto kertoo todellisen kuormituksen ja varoittaa speksien vastaisesta toiminnasta. Öljysumpun ja öljynsuodattimen väliin on sijoitettu partikkelilaskuri, jonka avulla tarkkaillaan öljyn partikkelipitoisuutta. Öljyn laatu ja partikkelien pitoisuus varoittaa kulumiseen liittyvistä ongelmista. Puhtaampi voitelu parantaa merkittävästä laakerien ja hammaspyörien elinikää. Näiden seitsemän parametrin lisäksi muita mittauksia voidaan lisätä asiakkaan tarpeen mukaan, kuten esim. tuulen nopeus. (Moventas condition management system 2010.)

Kunnonvalvontajärjestelmä valvoo erilaisia suorituskykyparametreja, tallentaa ja analysoi tiedot ja raportoi siitä Internetin kautta etähallintakeskukselle (Remote Center). Anturit voivat seurata turbiinin vaihteiston ja voimansiirron lisäksi myös muita laitteiston komponentteja. (Moventas condition management system 2010.)

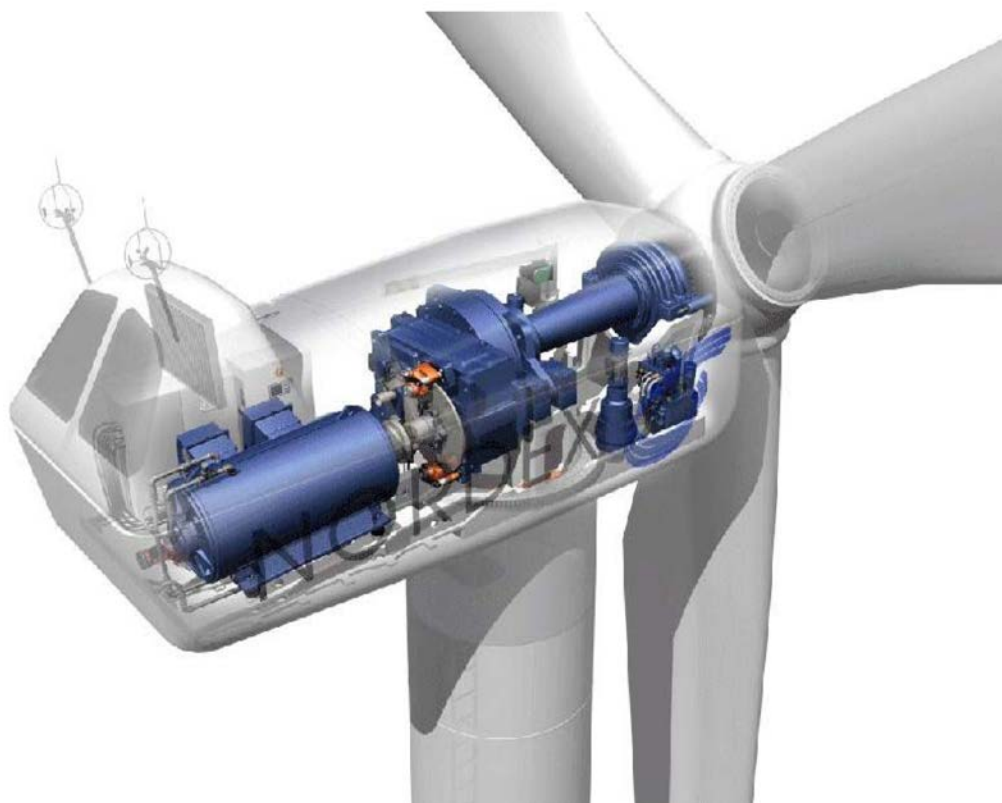


KUVIO 4. CMaS kunnonvalvontajärjestelmän tiedonsiirron lohkokaavio (Moventas condition management system 2010.)

Järjestelmän ohjelmisto ja analyysialgoritmit on suunniteltu monitoroimaan kaiken tyyppisten vaihelaatikoiden suorituskykyä. Sensortechnologia on kehittyntä tekniikkaa ja kaikki sen keskeiset komponentit ovat Moventasin kehittämiä. Järjestelmän ydin on Linux-pohjainen tiedonkeruuyksikkö. Skaalautuva

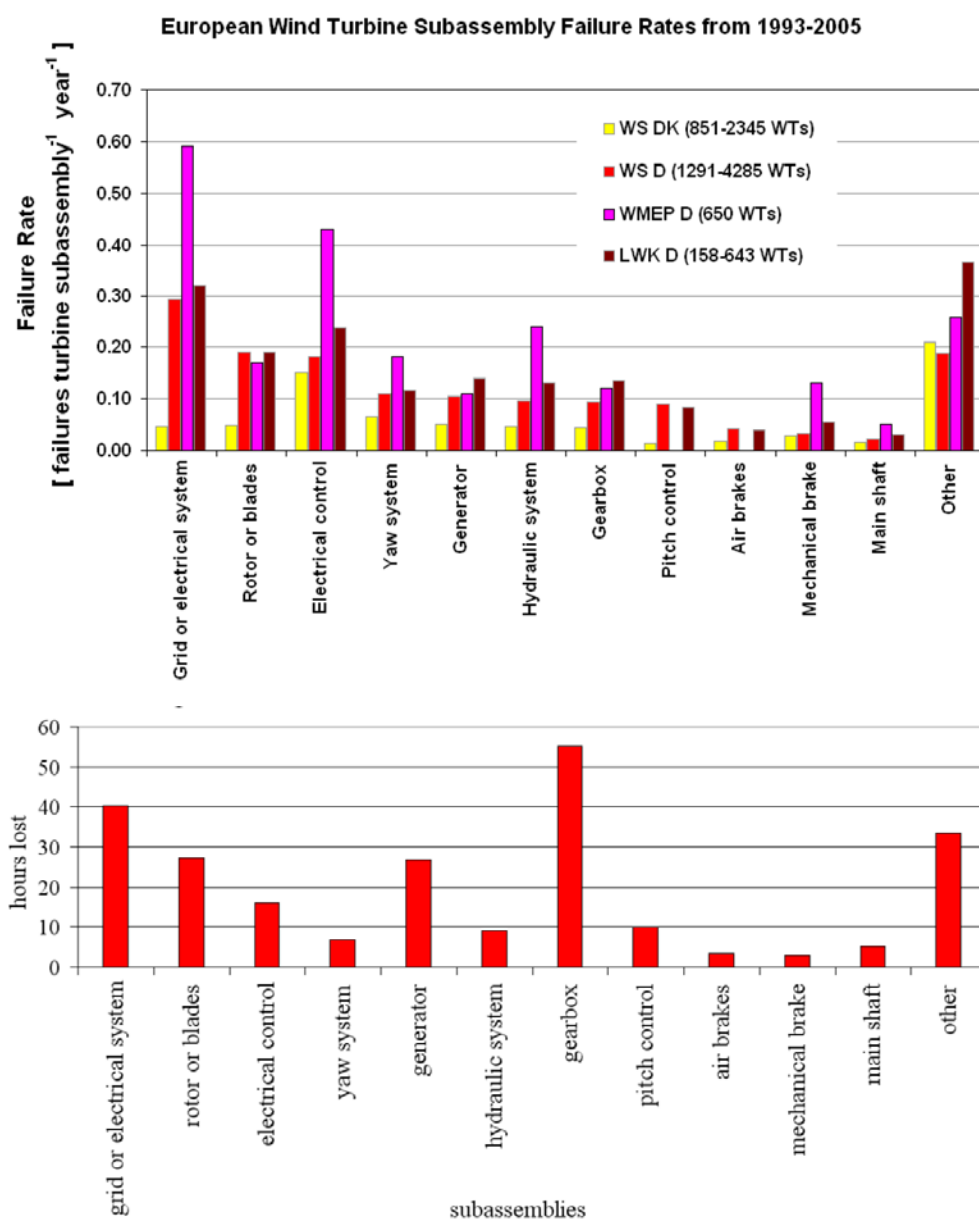
järjestelmä voi käsitellä 200 analogista/digitaalista sensoria. Sitä on myös mahdollista laajentaa valvomaan muutakin kuin vaihteiston tilaa. Mittaustietojen keruussa Moventasin CMaS valvontajärjestelmässä on käytössä Modbus-kenttäväylä ja tiedot kootaan antureilta monipiste sarjaliikenneverkon avulla. (Moventas condition management system 2010.)

TCP / IP-protokollan käytön ansiosta järjestelmä voidaan helposti yhdistää osaksi yrityksen sisäistä tietoverkkoa tai ekstranet-verkkoa. Yhteensovitus muiden Web-pohjaisten ratkaisujen kanssa helpottaa järjestelmän käyttöä. Järjestelmään voi kirjautua myös matkapuhelimella. Mobiilikäyttöliittymä on suunniteltu yhtä joustavaksi kuin PC:n, joten käyttäjän on mahdollista saada yksityiskohtaisia tietoja matkapuhelimesta, kuten yksittäisten anturien tietoja. Järjestelmä mahdollistaa tuuliturbiinin ympärivuorokautisen seurannan ja ilmoittaa välittömästi mahdollisista ongelmista. (Moventas condition management system 2010.)



KUVIO 5. Tuuliturbiinin pääkomponentit: Generaattori, vaihteisto, pääakseli ja roottori (Layton)

Oheisessa kuviossa on Durham yliopiston kokoamia eri teholuokkien tuuliturbiinien vikatilastoja ajanjaksolta 1993-2005. Vaikka vaihteistojen vikatiheys on alhainen, on niiden vioista aiheutuva keskeytys kestoltaan ylivoimaisesti suurin. (Yang 2009.)



KUVIO 6. Eurooppalaisten tuuliturbiinien vikatilastot (Yang 2009.)



Selvityksen mukaan tuulivoimaloiden vaihteistoon ja voimansiirtoon liittyvät ongelmat aiheuttavat nykyisin lähes kolmanneksen tuulivoimaloiden vikaantumisajasta ja korostuvat näin menetettyinä käyttötunteina. Näin ollen laatuasiat ja ennakoivan kunnossapidon merkitys korostuu entisestään tuuliturbiinien vaihteiston ja voimansiirron käytettävyyden osalta.

*Ennakoiva kunnossapito: Ennakoivaan kunnossapitoon kuuluvat olosuhteiden valvonta, tuulivoimalan laitteistojen toiminnan jatkuva kunnonvalvonta, säännölliset tarkastukset sekä määrävälein tehtävät huollot. Ennakoivalla kunnossapidolla ylläpidetään tuulivoimalan käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurioituminen. (Finanssialan Keskusliitto 2009, 1.)*

## 3 KENTTÄVÄYLÄT JA VÄYLÄTEKNIIKAT

### 3.1 *Kenttäväylät yleisesti*

Tehdasautomaatiossa käytettäviä väylä- ja ohjaustekniikoita erilaisin liitännämenetelmin on olemassa lukuisa joukko (kts. Taulukko 1). Tämän työn luvussa 4 käsitellään tarkemmin MODBUS kenttäväyläprotokollaa ja EIA/RS 485 sarjaliikenneväylää, jotka ovat käytössä Moventasin etävalvontajärjestelmässä. Kattava yhteenvetotaulukko yleisimpien kenttäväylien ominaisuuksista on esitetty liitteessä 3.

*Kenttäväylä on digitaalinen, kaksisuuntainen väyläliitäntäinen tiedonsiirtoratkaisu, joka yhdistää älykkäät mittaus- ja ohjauslaitteet, muun automaation, näytöt ja käyttöliittymät. Kenttäväylän ominaisuudet painottuvat hajautettuun, prosessien lähellä tapahtuvaan toimintaan (esim. LonWorks, EIB). (Piikkilä & Sahlsten 2006, 32.)*

On myös lyhyempi määritelmä kenttäväylälle: Väyläjärjestelmää, joka on suunniteltu teollisen reaaliaikaisen tiedon siirtoon, kutsutaan kenttäväyläksi. Toisaalta kenttäväyläksi kutsutaan mitä tahansa avointa, digitaalista monipistetiedonsiirtoverkkoa, joka yhdistää toisiinsa älykkäät kenttälaitteet. (Piikkilä ym. 2006, 33.)

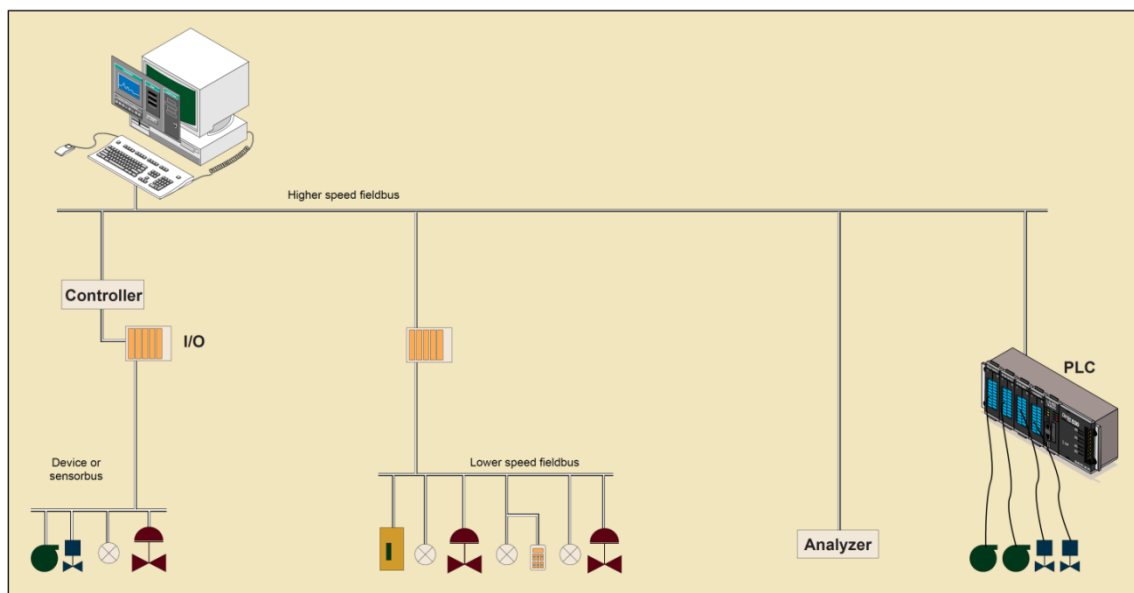
TAULUKKO 1. Eri kenttäväyliä (Fieldbus Inc.)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bitbus</li> <li>• FIP</li> <li>• P13/42</li> <li>• Profibus-DP</li> <li>• MVB • ZB10</li> <li>• Spabus</li> <li>• MIL 1553</li> <li>• MB90</li> <li>• Arcnet</li> <li>• DIN V 43322 • Sigma-i</li> <li>• IsiBus</li> <li>• MODBUS</li> <li>• J-1850</li> <li>• Master FB</li> <li>• IEEE 1118</li> <li>• LON</li> <li>• Hart</li> <li>• Sinec L1</li> <li>• P-net</li> <li>• ISP</li> <li>• FAIS</li> <li>• ISA SP50</li> <li>• ControlNet</li> <li>• SERCOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arinc 625</li> <li>• Profibus-FMS</li> <li>• FOUNDATION fieldbus</li> <li>• Suconet</li> <li>• DIN 66348</li> <li>• VAN</li> <li>• Partnerbus</li> <li>• IHS</li> <li>• Instabus</li> <li>• EIB</li> <li>• Interbus-S</li> <li>• PDV</li> <li>• Factor</li> <li>• MAP</li> <li>• Sinec H1</li> <li>• LAC</li> <li>• J-1708</li> <li>• ASI • Profibus-PA</li> <li>• A-bus</li> <li>• Batibus</li> <li>• CAN</li> <li>• DeviceNet • SDS</li> <li>• Ethernet</li> <li>• WorldFIP</li> </ul>
--	---

Kenttäväylä on tiedonsiirrossa käytetty ratkaisu, jossa digitaalista tietoa siirretään kaksisuuntaisesti. Samalla kaapelilla voidaan tietoa siirtää moniin yksittäisiin kenttälaitteisiin eli solmuihin, joilla jokaisella on oma osoitteensa tiedon kohdistamiseen tai tunnistamiseen. Väylällä voidaan yhdistää automaatiassa käytettävät älykkäät ohjaus- ja mittalaitteet, näytöt ja käyttöliittymät. Painopiste kenttäväylän ominaisuuksilla on hajautetussa toiminnassa, joka tapahtuu prosessien lähellä.

Väyläpohjaisen ratkaisun on huomattu vähentävän jopa 70 prosenttia kaapeloinnin, kytkentäpisteiden ja liityntöjen määrää. Väylässä liitettävien laitteiden liitäntä on periaatteessa samanlainen, jolloin myös kytkentävirheet vähenevät. Myös uusien kenttälaitteiden lisääminen väylälle tapahtuu sujuvasti, sillä uusia

kaapeleita ei tarvitse vetää johdinparien loppuessa. Parametrien asettelu voidaan suorittaa väylän kautta, joten uusien laitteiden käyttöönotto on helppoa. (Piikkilä ym. 2006, 33.)



KUVIO 7. Kenttäväylälaitteistolla arkkitehtuuri saadaan yksinkertaistettua (National Instruments)

Kenttäväylä antaa keinon prosessidatan lukemiseksi ja kirjoittamiseksi väylän isäntälaitteen ja etäasemien tai hajautettujen anturien ja toimilaitteiden välille. Kenttäväyläjärjestelmän toimilaitteet ja anturit on suunniteltu pienelle viiveelle ja vähäisille tiedonsiirtomäärille. Niiden pakettikoot ovat yleensä 200...300 tavun luokkaa. Tiedonsiirtonopeus on valittavissa laajalta nopeusalueelta esim. 1200 bit/s - 12 Mbit/s. Käytettävän segmentin pituus riippuu tiedonsiirtonopeudesta, tiedonsiirto mediasta ja yksittäisen kenttäväylän topologiasta. (Steinhoff)

Yleisesti korkeampi tiedonsiirtonopeus rajoittaa väylärakenteisten kenttäväyli- en segmentin pituuden 50...100 metriin. Alhainen tiedonsiirtonopeus sallii joidenkin kilometrien mittaiset segmentin pituudet. Tämä lähetysnopeuden jous-

tavuus on suuri etu Ethernet-pohjaisiin verkkoihin nähden. (Steinhoff)

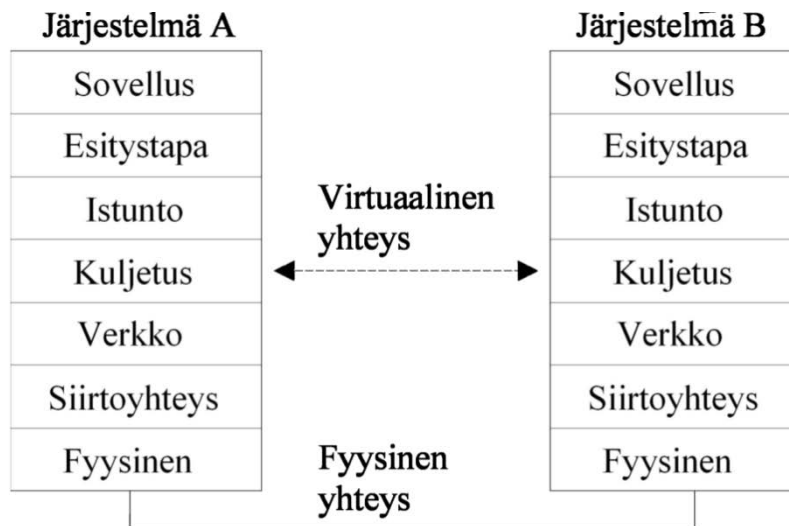
Kenttäväyläspesifikaatiot määrittelevät mikä verkkomalli valitaan ja mitä liikennöintiä käytetään. Spesifikaatio määrittää myös sopivan kenttäväyläjärjestelmän. Kenttäväyläjärjestelmät, kuten ASI- ja CAN- järjestelmä käsittelevät perusliikennöintiä ja yksinkertaisia I/O laiteita. Kehittyneemmät järjestelmät, kuten Interbus-S ja Profibus hoitavat liikennöinnin yhden tai usean ohjausjärjestelmän ja tietokoneiden ja etävalvonta moduulien välillä. Lisäksi löytyy enemmän tai vähemmän standardisoituja kenttäväylä tekniikoita. Teollisuudessa yleisesti käytetty järjestelmä on monipisteverkko, missä päätietokone liikennöi suureen joukkoon päätelaitteita, lähettimiä tai mittausjärjestelmiä.

Ethernet-tyyppiset väylät ovat yleisimmin käytettyjä toimistojen tietoliikenteessä ja tietokoneiden välisessä liikenteessä. Ethernet-kenttäväylät toimivat 100 Mb/s tai 1 Gb/s täydellä pakettikoolla. Ethernet-standardi on sopiva useiden käyttäjien väliseen tiedonsiirtoon, mutta teollisuussovelluksilla vaatimukset ovat erilaisia. Niissä viestintävaatimukset ovat yksinkertaisemmat mutta toisaalta luotettavuus ja suoritusvaatimukset ovat korkeammat. Samanaikaisesti viestintä täytyy toteuttaa häiriöllisessä ympäristössä reaaliaikaisesti. Lisäksi tiedonsiirtoyhteydet ovat pitkiä ja järjestelmissä on useasti monia eri rajapintoja. (Extension)

### 3.2 *Tiedonsiirron rakennemallit*

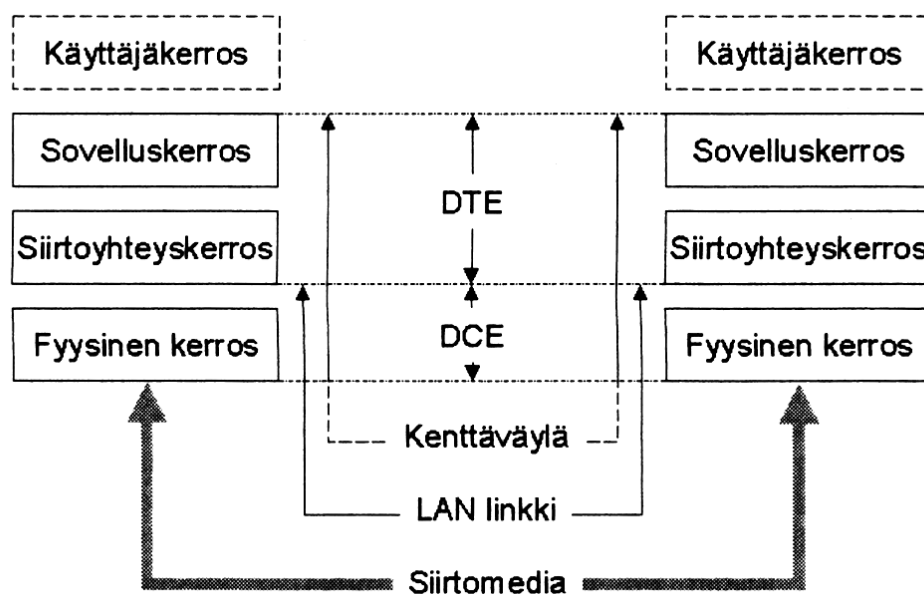
Tiedonsiirtolaitteiden täytyy käsitellä suuria määriä laitekohtaista tietoa datan (merkkien, numerojen, käskyjen) lähettämisen lisäksi, mikä on välttämätöntä tiedonsiirron toteuttamiseen. Tällainen informaatio kattaa lähettimen ja vastaanottimen osoitetiedot, mitä siirretään, kuinka siirretään, missä muodossa data siirretään ja lähetetään. Tämän informaation käsittelemiseksi oikein riippumatta käytettävistä tiedonsiirtolaitteistosta ja valmistajasta on ISO määritellyt referenssimallin, joka tunnetaan OSI mallina (*Open Systems Interconnection model*). OSI ei ole standardi. Sen sijaan se on referenssimalli tiedonsiirto-protokollien määrittelyssä eri standardien kehitystä varten. OSI määrittelee seitsemän eri loogista tasoa järjestelmien väliseen tiedonsiirtoon. Nämä OSI määrittämät tasot ovat: (Pyyskänen. 2007, 17.)

1. *Fyysinen kerros*, joka määrittelee sähkö ja mekaanisen rajapinnan.
2. *Siirtokerros*, dataliikenteen valvontaa ja tarkkailua varten.
3. *Verkkokerros*, osoitteenmuodostuksen, polkujen, suorituskyvyn jne. käsittelemistä varten.
4. *Kuljetuskerros*, joka käsittelee kaksipisteyhteyttä, ja myös tarkistaa, että se on vapaa virheistä.
5. *Yhteysjaksokerros*, joka ohjaa tietovuota ja puskurointia.
6. *Esityskerros*, joka on vastuussa koodimuunnoksesta, muotoilusta, muunnoksesta ja salauksesta.
7. *Sovelluskerros*, joka käsittelee tietoa sovellusta, salassapitoa ja tunnistamista varten jne.

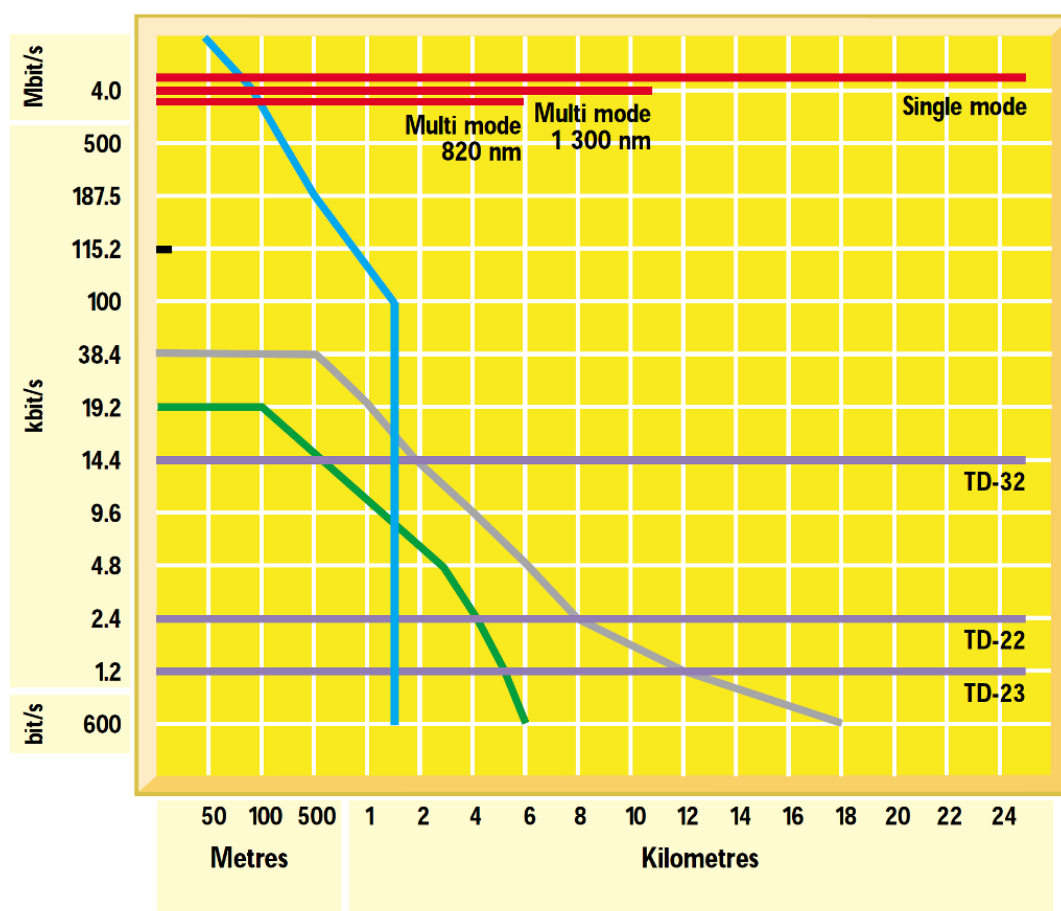


KUVIO 8. OSI-mallin tiedonsiirto kahden järjestelmän välillä

Kenttäväylätekniikoiden määrittelyissä on päädytty tiedonsiirron kolmikerros-malliin, jossa alin, *fyysinen kerros* on vastaava OSI:n alimman kerroksen kanssa, *siirtoyhteyskerros* (Data Link Layer) sisältää OSI:n kerrokset 2-4 ja *sovelluskerros* (Application Layer) sisältää kerrokset 5-7. (Pyyskänen. 2007, 110.)



KUVIO 9. Kenttäväylän yleinen kerrosmalli (Pyyskänen. 2007, 110.)



- Leased Telephone Line
- 10mA balanced current loop (W1)
- Fibre optic
- RS-422/485
- 20mA current loop
- RS-232/V.24

KUVIO 10. Kaapelien ja liitännöjen siirtonopeus (bit/s) välimatkan suhteen (Westermo 2005, 45.)



### 3.3 *RS-485 ja CAN vertailu*

Kysymys, valitaanko RS-485 vai CAN, tulee esiin jo alustavan arvion aikana viestintätekniiikan hankkeissa, joissa on hajautettuja ohjausvaatimuksia. (Berenguer 2008.)

RS-485 ei ole protokolla, se on vain fyysinen polku ja perussäännöt, joilla laitteet voivat kommunikoida. RS-485 tarjoaa tavan siirtää sarjaliikennettä monipisteyhteydellä, mutta näiden viestien sisältö on täysin käyttäjän määrittelemä. (Berenguer 2008.)

CAN-protokolla, toisin kuin RS-485, ei määritä ainoastaan fyysistä liikennöinti väylää, vaan se määrittelee myös tarvittavat mekanismit käsitellä paketteja ja välttää datan törmäyksiä. CAN määrittelee datakehysten rakenteen - tavujen paikan ja määrän osoitteille sekä data ja ohjaustavut. (Berenguer 2008.)

CAN on siis erittäin turvallinen tekniikka, ja siksi sitä käytetään tällä hetkellä kriittisissä ympäristöissä kuten ajoneuvoissa, lentokoneissa, aluksissa ja teollisuudessa yleisesti. Tästä johtuen CAN-protokollaa pidetään usein parempana, koska se tarjoaa yksinkertaisen tavan suunnitella todellisia monipistejärjestelmiä tarvitsematta määrittellä itse protokollaa tyhjästä. (Berenguer 2008.)

RS-485 väylää käytetään yleensä master-slave ympäristöissä, joissa datan törmäyksen ilmaiseminen ei ole välttämätöntä. Komponenttikustannukset ovat myös pienempiä RS485 tapauksessa, koska useimmissa mikrokontrolleissa jopa pienimmissä on UART sarjaliikennepiiri (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). (Berenguer 2008.)

Toisaalta CAN tarvitsee tavallisesti kalliimpia mikrokontrollereita, joissa on suurempi muisti ja integroitu CAN-ohjain. (Berenguer 2008.)

TAULUKKO 2. RS-485 ja CAN-väylän vertailu (Berenguer 2008.)

Ominaisuus	RS485	CAN
Välttämätön mikrokontrolleri-rajapinta	UART	CAN kontrolleri tai SP
Data-yhteentörmäysten tunnistin	Ei ole, ohjelmoitava jos tarpeen	CSMA/CD
Maksimi tiedonsiirtonopeus	10 Mbit/s	1 Mbit/s
Maksimi väylän pituus	1200 m (at 100 kbit/s)	500 m (at 125 kbit/s)
OSI mallin kerros	Fyysinen kerros	Fyysinen ja data link
Kehyksen maks. koko	Ei rajoitettu	8 tavua
Komponenttien kustannukset	Erittäin matala	Keskinkertainen
Kehittämisaika	keskinkertainen, korkea	Alhainen keskinkert.
Tyypillinen käyttö	Isäntä-orja käytöt	Moni-isäntäjärjestelmä
Esim. suositusta protokollasta	Modbus RS485, Profibus	CanOpen, Devicenet, J1939

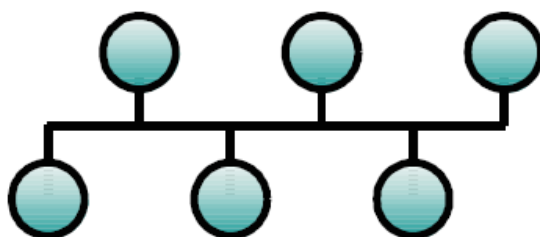
### 3.4 **RS-485 sarjaliikenneväylä**

Vuonna 1983 EIA (Electronics Industries Association) hyväksyi uuden balansoidun liikennöintistandardin RS-485. RS-485, josta käytetään myös nimityksiä EIA-485 ja RS485, on differentiaalinen monipistesarjaväylä, johon voi liittyä useita päätelaitteita samanaikaisesti. Virallisesti RS-485 standardin nimi on nyt TIA/EIA-485-A *Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems*. Virallisen nimen sijasta se tunnetaan myös yleisesti RS-485:nä. RS-485 spesifikaatio sallii ainoastaan yhden lähettimen lähettää kerrallaan. Liikennöinti väylällä tapahtuu isäntä/orjalaite periaatteella. Samaan väylään voidaan asentaa enimmillään 32 yksikkökuorman (UL) laitetta. (Thomas 1999.)

RS-485 rajapinta-standardi on hyvin käyttökelpoinen järjestelmäsovelluksissa, jossa kytketään useita laitteita ja ohjaimia samaan linjaan. RS-485 on ainoa EIA/TIA-standardi, joka sallii useita vastaanotin-lähetin pareja yhdelle johtimelle. Se on suunniteltu alun perin pääasiassa teollisuuden ohjausjärjestelmien tiedonsiirtoon. RS-485-standardi mahdollistaa pitkät yhteydet käyttämällä differentiaalista signaalia data- ja ohjaussignaalien lähettämiseen. RS-485 on sarjaliikennettä käyttäviä useimmat Modbus-järjestelmät. Modbus-protokollamäärittely on suunniteltu automaatiolaitteita varten, jotka ovat yhteydessä eri laitteisiin RS-485 ja TCP/IP -protokolla-rajapintojen yli.

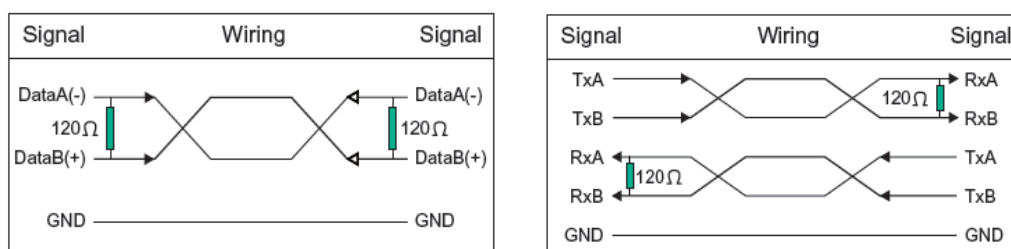
RS-485 standardi määrittelee standardin nimensä mukaisesti pelkästään digitaalisen monipistejärjestelmän lähettimien ja vastaanottimien sähköiset ominaisuudet eli fyysisen kerroksen toisin kuin RS-232. Se ei määritä muita ominaisuuksia kuten signaalin laatua, ajoituksia, protokollaa, liittimiä, käyttöjännitteitä eikä käyttölämpötiloja. (National Instruments)

Monipistejärjestelmä (*Multipoint System*) käsittää kahden tai useamman lähetimen ja yhden tai useamman vastaanottimen samalla sähköisellä väylällä. (Mackay, Wright, & Park 2006, 189.)



KUVIO 11. RS-485:n väylärakenne (Kugelstadt. 2008)

RS-485 on kaksisuuntainen half-duplex lähetysjärjestelmä eli dataa voidaan lähettää molemmissa suunnissa, mutta vain yhdessä suunnassa kerrallaan. Kaksijohtimisessa RS-485-väylässä liikennöinti tapahtuu vuorosuuntaisesti, koska ainoastaan yksi väylälaitte voi lähettää kerrallaan. Nelijohtimisessa RS-485-väylässä liikennöinti voi tapahtua samaan aikaan kaksisuuntaisesti.



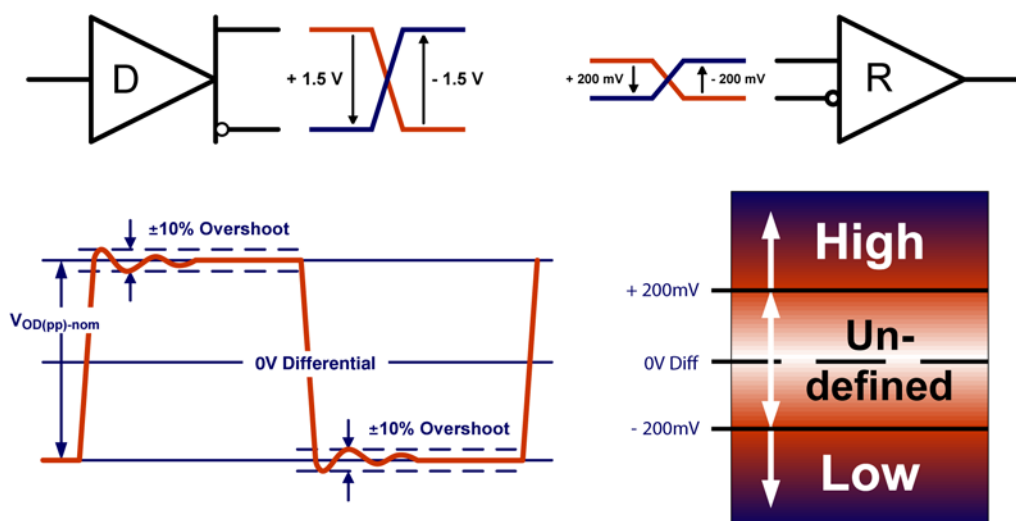
KUVIO 12. RS-485 yhteys voi olla 2-johtiminen ja 4-johtiminen (Moxa)

RS-485 keskeiset ominaisuudet ovat:

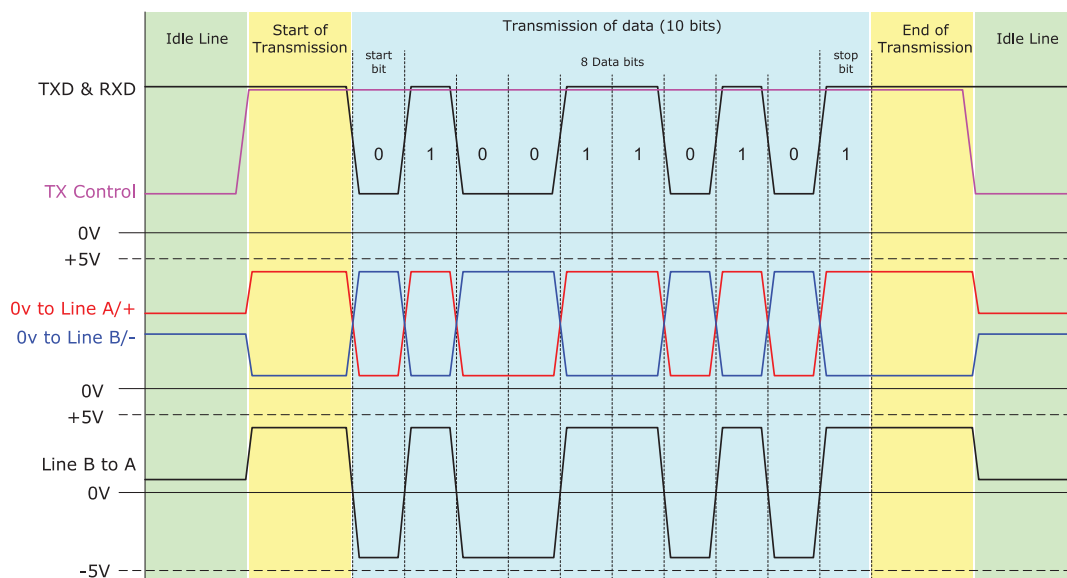
- Balansoitu differentiaalirajapinta
- Monipistejärjestelmä
- +5V käyttöjännite
- -7V...+12V maksimi yhteismuotoinen jännite signaalin maatasoon
- maksimissaan 32 väylälaitetta (lähetin-vastaanotinta) samalla linjalla
- 10 Mbps siirtonopeus (@12M)
- 1200M, enimmäiskaapelinmitta (@100 kbps)

Neljän yleisimmän EIA-sarjarajapintaliitynnän pääpiirteet on esitetty liitteessä 1.

RS-485 käyttää balansoitua differentiaalista yhteyttä tiedonsiirtoon, tavallisesti kierrettyä parikaapelia. Balansoitu rajapintaliitäntä tarvitsee aina kaksi johdinta signaalin siirtoon. Vastaanotossa signaalijännite mitataan näiden kahden johtimen välisenä jännite-erona. Binääritieto tunnustetaan tämän jännite-eron napsuutena. Vastaanotossa on 200mV marginaali häiriöitä vastaan. Johtimien välinen yli + 200mV jännite-ero vastaa binääri 0 ja - 200 mV negatiivinen jännite-ero binääri 1. Lähetyksessä näille jännitteille sallitaan  $\pm 5$  V erojännite. Balansoidun yhteyden johtimien ja yhteisen maatasen välisellä jännite-erolla ei ole merkitystä kunhan jännite-eron määriteltyä enimmäisarvoa ( $-7V...+12V$ ) ei ylitetä. (Kugelstadt 2008.)

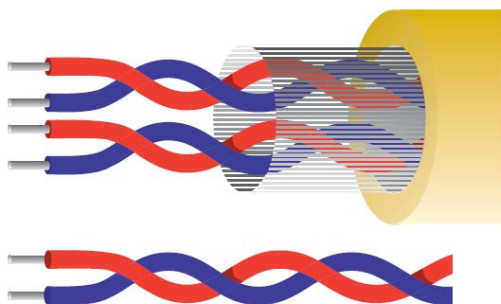


KUVIO 13. RS-485:n väylän signaaliarvot: (Kugelstadt 2008.)



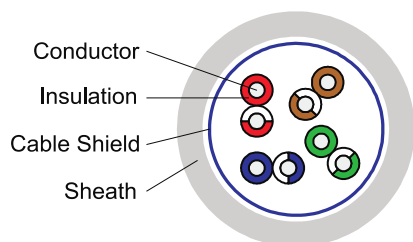
KUVIO 14. RS-485 differentiaaliväylän ASCII merkki (10 bittiä) (Controlsoft 2002, 17.)

Differentiaalisen signaloinnin ja kierretyn parikaapelin ansiosta yhteismuotoiset häiriöt kumoutuvat johtimessa. Kierretty pari eli ns. symmetrinen kaapeli muodostuu kahdesta toisiinsa eristetyistä johtimesta, jotka on yhdistetty toisiinsa. Parin kiertäminen parantaa olennaisesti kaapelin häiriönsietokykyä. Johdinten kiertäminen toistensa ympärille vähentää sähkömagneettistenhäiriöiden vaikutusta johdolla, koska vierekkäisten silmukoiden läpi menevien magneettikenttien virrat kumoavat toisensa.



KUVIO 15. 2-johdin ja 4-johdin kierretty pari (Westermo)

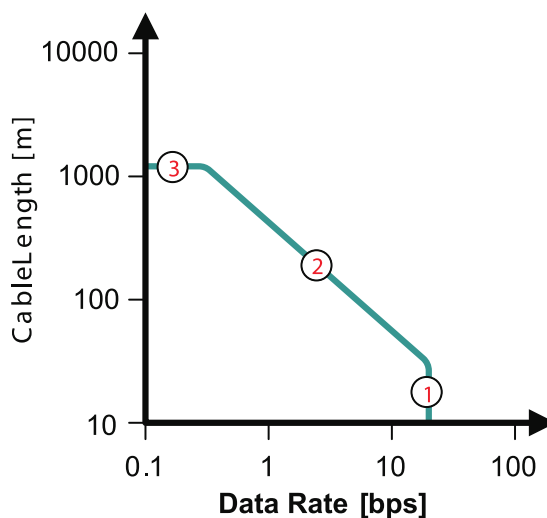
Kierretty pari voidaan vielä suojata päällystämällä se ohuella metallivaipalla, jolloin puhutaan suojatusta parikaapelista (Shielded Twisted Pair, STP).



Cable : Belden 3109A  
 Type : 4 - pair, 22 AWG PLCT/CM  
 Impedance : 120  $\Omega$   
 Capacitance : 11 pF/ft  
 Velocity : 78% (1.3 ns/ft)

KUVIO 16. Esimerkki Rs-485 kaapelista (Kugelstadt 2008.)

Vastaavasti suojaamattoman kaapelin englantilainen termi on UTP, Unshielded Twisted Pair. Kierretyn parikaapelin siirto-ominaisuudet ovat samaa luokkaa kuin koaksikaapelin, joten sillä voidaan siirtää tietoa 10 Mbit/s nopeuksiin asti. (Westermo)

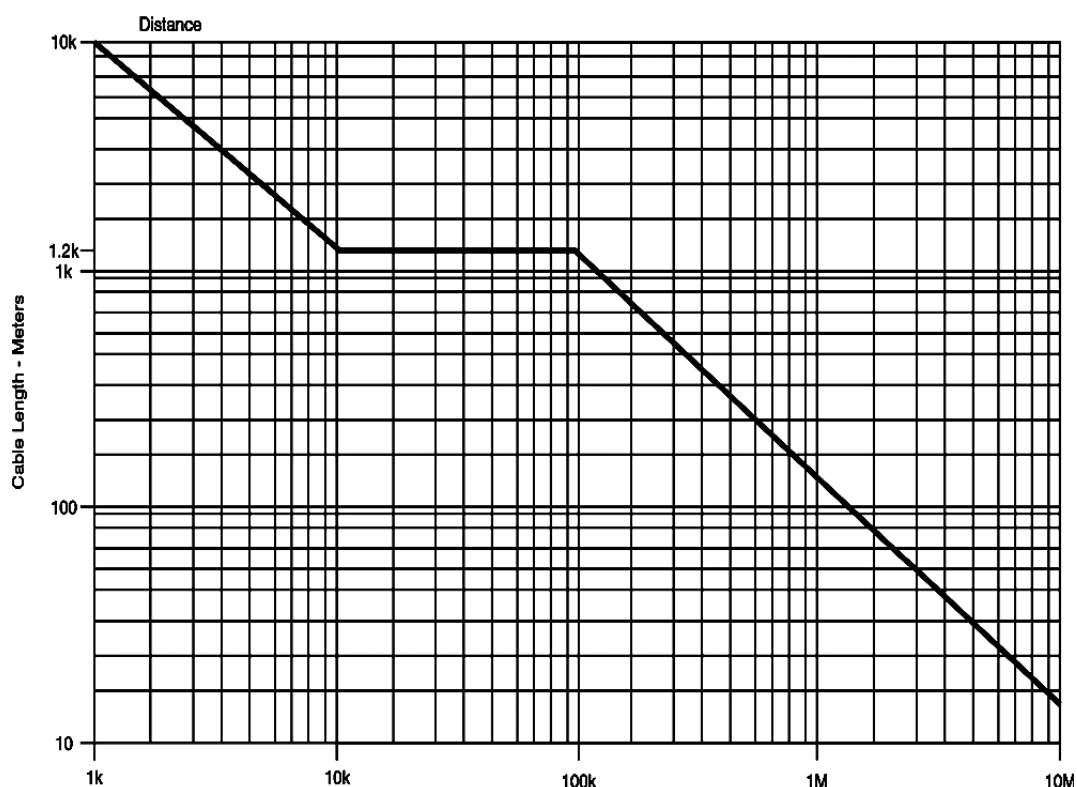


- (1) Section 1 of the graph presents the area of high data rates over short cable length. Here, the losses of the transmission line can be neglected and the data rate is mainly determined by the driver's rise time. Although the standard recommends 10 Mbps, today's fast interface circuits can operate at data rates of up to 40 Mbps.
- (2) Section 2 shows the transition from short to long data lines. The losses of the transmission lines have to be taken into account. Thus, with increasing cable length, the data rate must be reduced. A rule of thumb states that the product of the line length [m] times the data rate [bps] should be  $<10^7$ . This rule is far more conservative than today's cable performance and will therefore show less length at a given data rate than the graph presents.
- (3) Section 3 presents the lower frequency range where the line resistance, and not the switching, limits the cable length. Here, the cable resistance approaches the value of the termination resistor. This voltage divider diminishes the signal by -6 dB. For a 22 AWG cable, 120  $\Omega$ , UTP, this occurs at approximately 1200 m.

KUVIO 17. Kaapelin pituus siirtonopeuden suhteen (Kugelstadt. 2008)

Siirto johdon häviöt ja signaalin huojunta rajoittavat yhteyden maksimipituuden käytetyllä siirtonopeudella. Koska datan luotettavuus heikkenee jyrkästi yli 10 % huojunnalla, on kaapelin pituus siirtonopeuden suhteen esitetty 10 % signaalihuojunnalla kuviossa 17. Kuvaajan Osa 1 esittää suurta siirtonopeus- aluetta lyhyellä kaapelilla. Osa 2 esittää nopeusalueetta lyhyestä pitkään tie- donsiirtoyhteyttä. Osa 3 esittää alhaista taajuusalueetta, missä ainoastaan lin- jan resistanssi rajoittaa 22 AWG tyyppisen kaapelin pituuden 1200 metriin. (Kugelstadt. 2008)

Kuvio 18. esittää signaalin nopeutta kaapelin pituuden suhteen, kun käytössä on 0,5 mm kierretty parikaapeli balansoidulla yhteydellä. 1200 bit/s nopeudella monet RS-485 yhteydet toimivat käytännössä ongelmitta 5000 m asti. (Mackay ym. 2006, 83.)



KUVIO 18 Kaapelin pituus siirtonopeuden suhteen (Mackay ym. 2006, 83.)

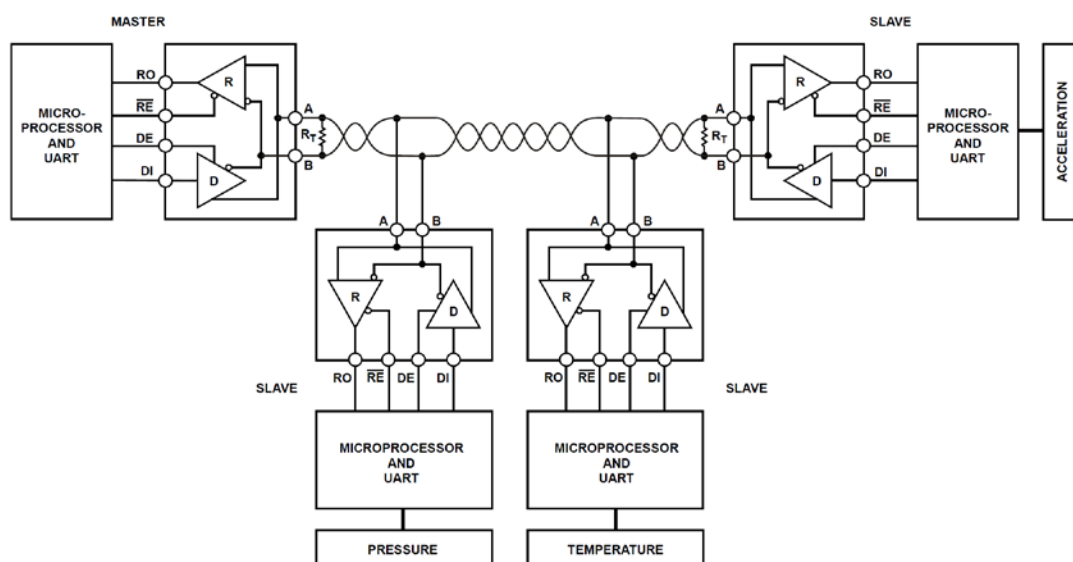


### 3.5 Terminointi ja biasointi RS-485 siirtojohdolla

#### 3.5.1 Väylän terminointi

Terminointia eli johdon päättämistä käytetään sovittamaan solmun impedanssi siirtojohdon impedanssiin. Kuitenkin terminointi voi olla tarpeetonta, jos käytetty siirtonopeus on alhainen ja kaapelit lyhyitä. Siirtonopeuden kasvaessa terminointi on välttämätön. Oikealla päätevastuksen mitoituksella heijastumat saadaan poistetuksi, tai ne saadaan ainakin riittävän alhaiselle tasolle. Ratkaisut käytetäänkö terminointi vai ei pohjautuvat väylän pituuteen ja käytettävään siirtonopeuteen. (Thomas 1999.)

Signaalin heijastuksen vaimentamiseksi väyläkaapelin päissä käytetään päätevastuksia ja vastus asennetaan väylän kumpaankin päähän. Kierretyllä parikaapelilla sopiva vastuksen arvo on  $120 \dots 130 \Omega$ , vaikka parikaapelin impedanssi voi olla niinkin alhainen kuin  $100 \Omega$ . Päätevastuksen arvo  $100 \Omega$  on liian alhainen RS-485 lähettimille parikaapeliyhteyksillä. Myös kaapelin vapaat johdinparit on tarpeen päättää häiriöiden synnyn estämiseksi. (Thomas 1999.)

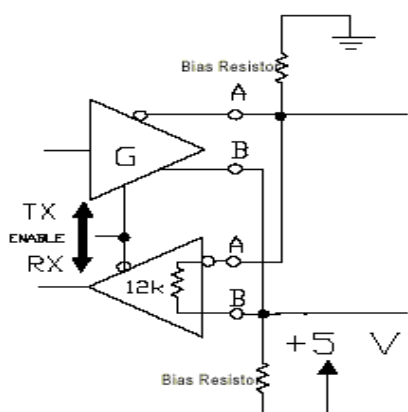


KUVIO 19. RS-485 2-johdinverkko terminoituna (Vo 1993.)

National Semiconductorin sovellutusraportissa (Application Note) AN-903 terminointia on tarkasteltu syvällisesti ja siinä käydään läpi monia terminointivaihtoehtoja. (Vo 1993.)

### 3.5.2 Biasointi RS-485 väylällä

Väylän biasointi tarkoittaa tasajännitetoimintapisteen asettelua ennalta määrättyyn tasoon. Kun RS-485 väylä on lepotilassa, kaikki sen solmut ovat kuuntelutilassa. Tässä tapauksessa väylällä ei ole yhtään aktiivista RS-485 lähetintä, ja verkon tila on tällöin määrittämätön. Jos vastaanottimen tulolinjojen jännite ero on pienempi kuin  $\pm 200$  mV, vastaanottimen lähdön looginen tila jää viimeksi vastaanotettuun tilaan. Jotta saadaan haluttu jännitetaso, käytetään biasointivastuksia pakottamaan linja ennalta määrättyyn tyhjäkäyntitilaan. Biasointi vastukset eivät ole muuta kuin ylös- ja alaspäin suuntaiset vastukset vastaanottimen B linjalla (tyypillisesti 5 volttiin) ja alaspäin suuntaiset vastukset lähetin- ja vastaanottimen A linjalla. Tästä linjan toimintapisteen asettelusta käytetään yleisesti englanninkielistä termiä *Fail-safe biasing*. Kuvio 20 havainnollistaa biasointivastusten sijoittamista lähetin- ja vastaanottimen 2-johdin yhteydellä. (B&B Electronic. 2006)

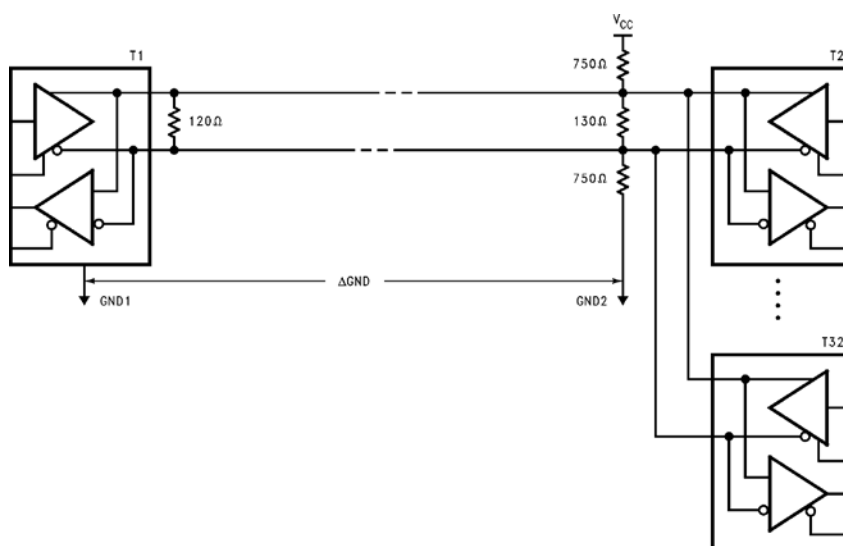


KUVIO 20. RS-485 lähetin-vastaanottimen biasointi (B&B Electronic. 2006)

Biasointia voidaan käyttää väylällä missä tahansa paikassa, mutta sitä ei ole

välttämätöntä keskittää vain yhteen kohtaan. Osabiasointivastukset voidaan jakaa väylän jokaiselle solmulle. Tällöin ei tarvita ulkoista biasointia eikä ylimääräistä teholähdettä. Haittana tässä menettelytavassa on, että biasoinnin määrä riippuu väylän solmujen lukumäärästä ja tässä tapauksessa biasointi on mitoitettava väylän päätelaitteiden määrän mukaan. (Thomas 1999.)

Jos käytät biasointia ja päättämistä vain solmujen päissä, voit yhdistää biasointi/terminointi-vastusverkot. National Semiconductorin sovellusohje AN-847 käsittelee biasoinnin tarvetta ja suosittelee oikeita vastusarvoja. Yhdessä terminointivastuksen kanssa luodaan jännitteenjakaja, jolla saadaan aikaan yli 200 mV esijännite väylälle. Yksi esimerkkiratkaisu on kuviossa 21.



KUVIO 21. RS-485 väylän yhdistetty biasointi ja terminointi (Goldie 1992.)

RS-485 verkon toteutuksissa täytyy ottaa huomioon keskeisiä asioita kuten terminointi, biasointi, liittimet, maadoitus, kaapelointi ja toistimet. (Thomas 1999.)

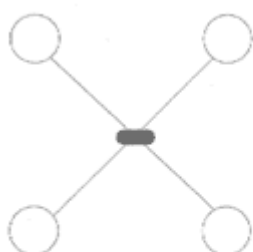
Näihin aiheisiin paneudutaan syvällisesti oheisissa viiteraporteissa

- *RS-422 and 485 Application Note, B&B Electronics Ottawa 2006*

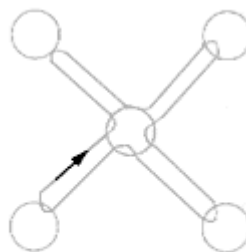
- *RS-485/RS-422 Circuit Implementation Guide AN-960 by Hein Marais, Norwood*
- *Thomas Kugelstadt,. The RS-485 Design Guide. Application Report SLLA272B–2008*

### 3.6 Topologia eli väylän fyysinen rakenne

Termi topologia tarkoittaa verkon rakennetta, solmujen fyysistä ja loogista sijoittelua. Fyysinen topologia tarkoittaa kaapeliverkon rakennetta, looginen topologia verkon toimintaperiaatemallia eli miten paketit siirtyvät verkossa. On olemassa viisi perustopologiaa: kaksipisteyhteys, rengas, tähti, väylä ja yhdistelmäverkko. Topologia määräytyy sekä verkkoon liitettävien asemien ominaisuuksista että verkossa kulkevasta tiedosta. Topologian valinta on tärkeä, sillä se on pitkän aikavälin perusratkaisu, jonka avulla hoidetaan datan siirto ilman seisokkeja. Lisäksi verkkoa täytyy olla mahdollista muuttaa ja laajentaa tarpeen vaatiessa. (Westermo 2005, 35.)

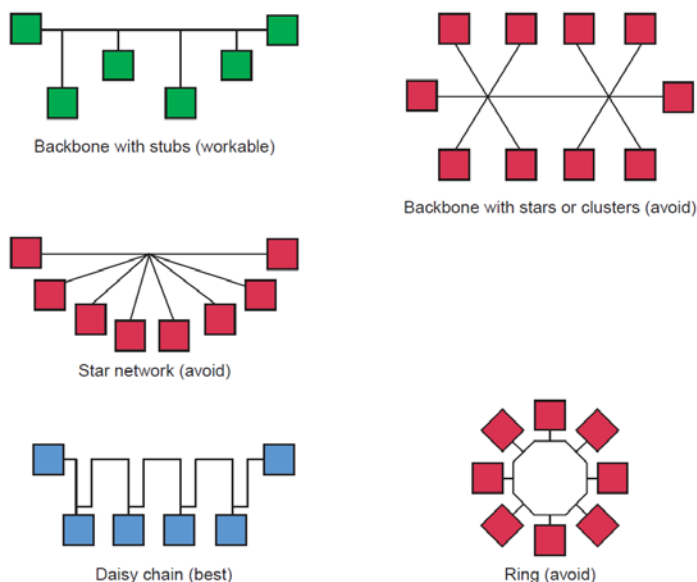


fyysinen tähti  
looginen väylä



fyysinen tähti  
looginen rengas

KUVIO 22. Esimerkki fyysisestä/loogisesta topologiasta



KUVIO 23. Perustopologiat (Novus, 3.)

### 3.6.1 Kahden pisteen välinen topologia (Serial point to point)

Kaksipisteyhteys, liikennöinti kahden laitteen välillä on yksi tavallisimmista sovelluksista. Tämä perussovellus valitaan usein turvallisuussyistä, jolloin kukin käyttäjä voi liikennöidä omalla linjallaan. Vakio RS-232/V.24 liitäntää ei suositella yli 15 metrin yhteyksille. Tästä syystä käytetään modeemia pidentämään yhteyttä 18 km saakka. (Westermo 2005, 35.)

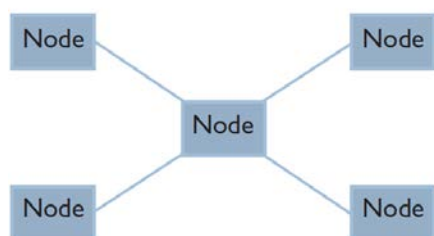


KUVIO 24. Kaksipisteyhteys (Westermo 2005, 35.)

### 3.6.2 Tähtitopologia (Star network)

Tähtitopologiassa kaikki asemat kytketään yhteen solmun ja kaikki yhteydet kulkevat sen kautta. Kytkeäsolmu siis yhdistää linjat kaikkien yhteyttä haluavien asemien välille ja kaikki päätelaitteet liikennöivät oman linjan kautta. Näin ollen kaiken liikenteen täytyy kulkea kytkentäkeskuksen kautta.

Tähtiverkon etuna on korkea luotettavuus. Yhden linjan vioittumisella ei ole vaikutusta muuhun verkkoon. Parhaimmillaan tähtiverkko on varsin joustava ja asemien liittäminen ja poistaminen on hyvin helppoa. Haittana on, että tarvitaan enemmän kaapelia, josta taas aiheutuu lisäkustannuksia. (Westermo 2005, 35.)

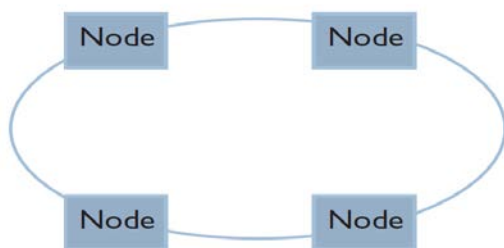


KUVIO 25. Tähtitopologia (Westermo 2005, 35.)

### 3.6.3 Rengastopologia (Ring network)

Rengastopologiassa verkon runkokaapeli muodostaa renkaan.

Rengastopologiassa verkosta on muodostettu fyysinen rengas, jonka jokaisessa solmussa on verkkolaite. Renkaassa verkon solmut toimivat samalla signaalitoistimina. Ne lukevat sanoman kehiksen verkosta ja lähettävät sen eteenpäin uudelleen. Renkaassa sanoma kulkee asemalta toiselle ja vain yksi asema kerrallaan kuulee sanoman. Kaapelina voi olla parikaapeli, koaksiaali-kaapeli tai optinen kuitu. (Westermo 2005, 36.)



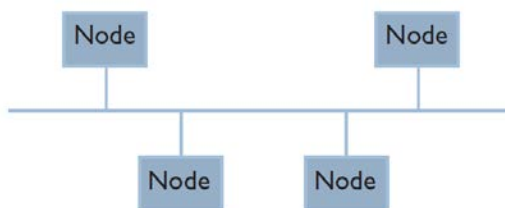
KUVIO 26. Rengastopologia (Westermo 2005, 35.)

### 3.6.4 Väylätopologia (Bus network)

Väylätopologiassa kaikki asemat on kiinnitetty saman linjaan, jonka päät ovat vapaana kaikki asemat kuulevat sanoman yhtä aikaa ja kaikki liikenne lähetetään koko väylälle. (Westermo 2005, 36.)

Väylätopologiassa pitää olla säännöt, kuinka linja tarkistaa onko linja vapaana ja kuinka sen tulee toimia yhteentörmäystilanteissa muun liikenteen kanssa. Esimerkiksi voidaan käyttää viivästettyä uudelleenlähetystä (Westermo 2005, 36.)

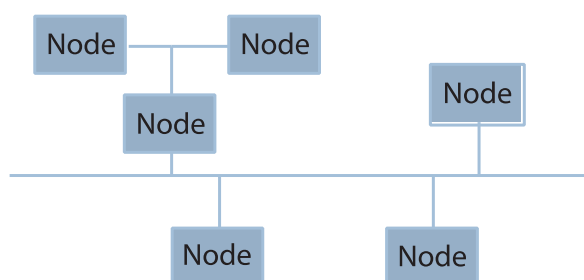
Väylän etuja ovat luotettavuus, yksinkertaisuus, uusien asemien liittämisen helppous sekä laajahko levinneisyys. Haittapuolena on hitaampi liikenne, kun monet laitteet liikennöivät samalla yhteydellä. Väyläkaapelina käytetään usein kierrettyä parikaapelia tai koaksiaalikaapelia (Westermo 2005, 36.)



KUVIO 27. Väylätopologia (Westermo 2005, 36.)

### 3.6.5 Puutopologia (Tree topology)

Puutopologian ero väylään nähden on se, että puuverkossa voi olla haaroja. Väylässä solmukohdasta voi siis lähteä uusi haara verkkoa, jonka varrella asemat ovat. Puumainen topologia mahdollistaa verkon rakentamisen kaapelointia säästään, mutta tällöin on laskettava kaapeloinnin kokonaispituus. Käytettävissä oleva kokonaispituus on noin puolet väylässä käytettävään pituuteen verrattuna. (Westermo 2005, 36.)



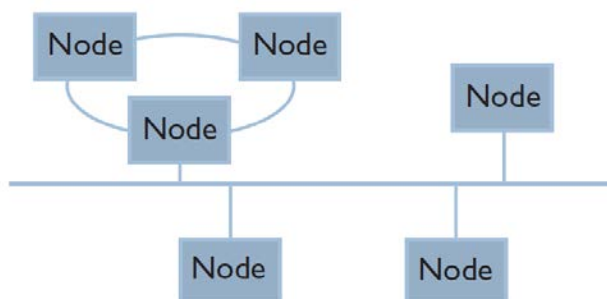
KUVIO 28. Puutopologia (Westermo 2005, 36.)

### 3.6.6 Yhdistelmätopologia eli hybridiverkko (*Combined network*)

Hybridi verkko voi syntyä esimerkiksi saneerauskohteessa. Se on hyvin ongelmallinen verkko. Verkon impedanssisovitukset ovat vaikeita, kuten myös verkon hallittavuus. Yhdistelmätopologia on myös kaikista herkin häiriöille,



koska esim. renkaaseen mahdollisesti jäävä ongelma voi heijastua verkon muihin osiin. (Westermo 2005, 36.)

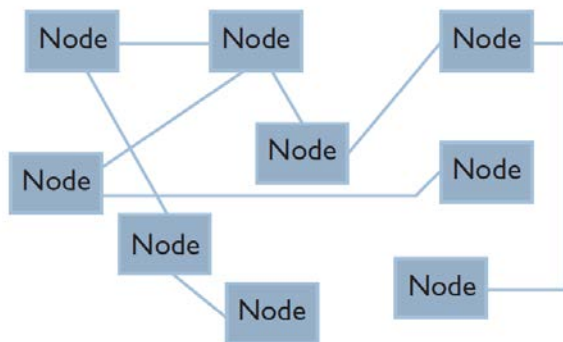


KUVIO 29. Yhdistelmätopologia (Westermo 2005, 36.)

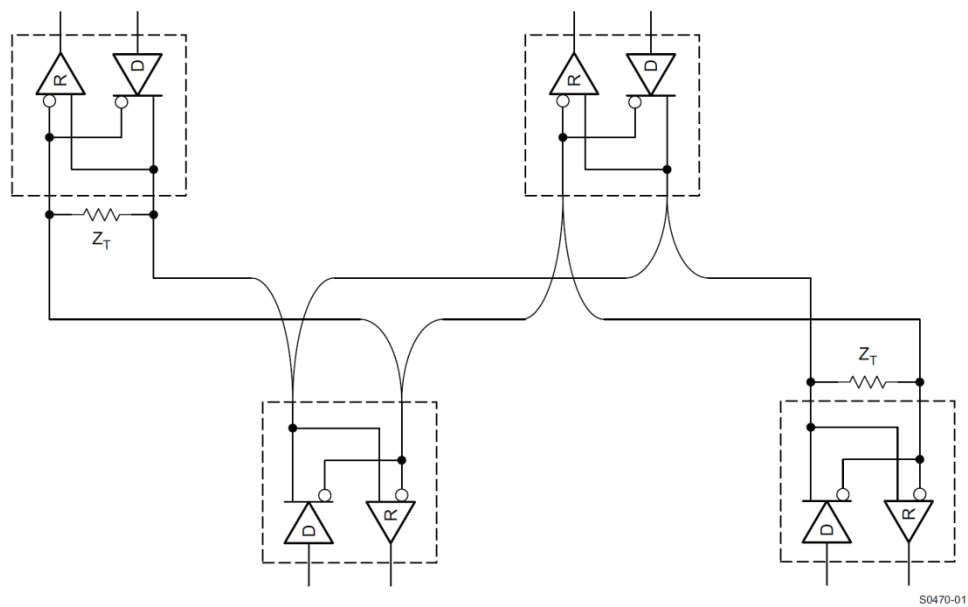
### 3.6.7 Vapaa topologia (Mesh network)

Verkon rakennetta, jossa solmut ovat kytketty toisiinsa ilman määrättyä rakennetta, kutsutaan vapaaksi topologiaksi. Huonosti dokumentoidussa verkossa ilman selvää rakennetta virheet ovat merkittäviä. Siinä on myös suuri vaara lähetyssilmukoiden syntymiseen, jolloin koko verkko voi tukkeutua. (Westermo 2005, 36.)

Vapaata topologiaa sovelletaan rakennuksessa sen kaapeloinnin helpon asentamisen vuoksi. Kaapeloinnin kokonaismäärä on tässäkin tapauksessa noin puolet väylämäiseen topologiaan verrattuna. Kokonaispituus riippuu käytetyistä väyläsovittimista ja kaapelista. Verkon sovitus on tehtävä myös kokoterminoinnilla. (Westermo 2005, 36.)



KUVIO 30. Vapaa topologia (Westermo 2005, 36.)



S0470-01

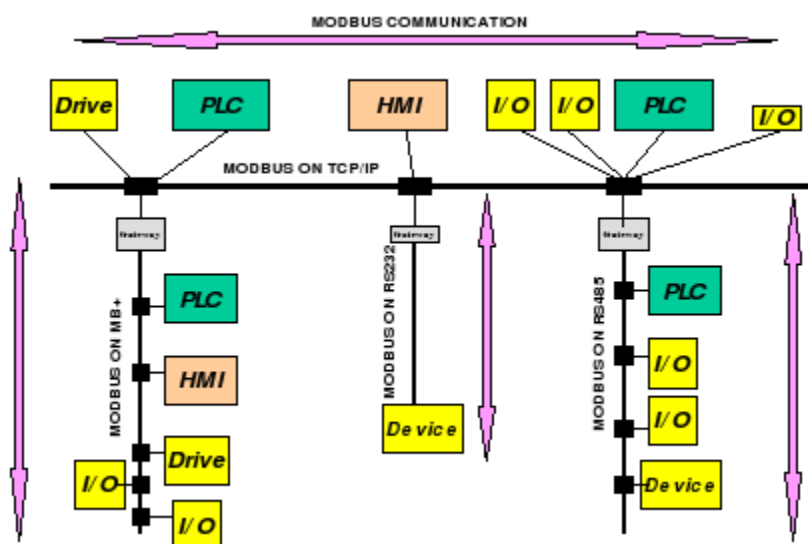
KUVIO 31. Esimerkki RS-485 daisy-chain (ketju) topologiasta

## 4 MODBUS KENTTÄVÄYLÄ

### 4.1 Johdanto

Modbus kenttäväylän kehitti Gould Modicon (nykyisin AEG) prosessien ohjausjärjestelmille. Se julkaistiin vuonna 1979. Toisin kuin monissa muissa kenttäväylissä, yhteysliityntä rajapintaa ei ole määritelty. Käyttäjä voi siis valita RS-422:n, RS-485:n tai 20 mA virtasilmukan. Nämä kaikki soveltuvat siirtonopeuksille, jotka protokolla määrittää. (Mackay ym. 2006, 214.)

Modbus on kaikkineen muotoineen suosituin ohjausväylä. Sen loi alun perin Modicon tietokoneille PLC:n (Ohjelmoitava Logiikka) tietojen keräystä ja ohjausta varten. Kaikkien logiikoiden tietorakenne on osoitettavia rekistereitä, jotka ovat järjestettynä tuloiksi ja lähdöiksi: ohjausrele, analoginen tulo, analoginen lähtö ja muuttujat. PLC:n I/O:t on järjestetty sijainnin mukaan, joten jokainen digitaalinen tulo laite esiintyy yhtenä bittinä I/O-rekisterissä. Tämän vuoksi digitaalinen ulostulo yleensä sotketaan rekisteriin, joka tarvitsee maskirekisterin määrittelemään lähdöt. (Caro 2009, 136.)



KUVIO 32. Esimerkki Modbus-verkon rakenteesta (Modbus-IDA 2006.)

Modbus on avoin protokolla, eli se on ilmainen käyttäjälle ja valmistaja voi rakentaa laitteita joutumatta maksamaan rojalteja. Modbusista on tullut teollisuuden standardi tiedonsiirtoprotokolla. Se on yleisin menetelmä yhdistää teollisuuden laitteita. Noin 20 – 30 yhtiötä valmistaa laitteita, jotka käyttävät Modbus-protokollaa ja lukusia järjestelmiä on käytössä teollisuustoiminnassa. Modbusia voidaan pitää *de facto* teollisuusnormina. Vuonna 2006 tehdyn tutkimuksen mukaan *Control Engineering magazine* lehti totesi, että yli 40 % teollisuuden tietoliikennesovelluksista käyttää Modbus-protokollaa. (Simplymodbus)

Modbusissa tuloja, joita kutsutaan kontakteiksi (contacts), voidaan ainoastaan lukea. Lähtöjä, joita kutsutaan keloiksi (coils), voidaan sekä lukea että kirjoittaa. Koska varhaisimmat PLC-laitteet käsitettiin relepaneelien korvikkeiksi, termit kela ja kontakti säilytettiin helpottamaan sähköasentajia ymmärtää näitä uusia elektronisia ohjauslaitteita. (Extension).

Ohjausreleet ovat sisäisiä bitti-muuttujia, joita käytetään loogisten päätösten välituloksina. Ohjausreleellä on oletuksena niin monia normaalisti avautuvia ja sulkeutuvia erillisarvoja kuin vaaditaan, mutta vain ohjausrele on esitetty bittinä rekisterissä. (Caro 2009, 136.)

Analogiatulot, -lähdöt ja -muuttujat esitetään koko 16-bitin rekisterinä. Aluksi logiikoissa oli vain A/D tai D/A muuntimien arvot. Kasvavassa määrin mikroprosessorit käsittelevät näitä operaatioita liukulukuina funktiolohkojen sisällä ja tulokset esitetään liukulukuina rekisterissä, jotka ohjelmoija määrittelee. (Caro 2009, 137.)

Modbus yhteys toimii master/slave periaatteella. Laite joka pyytää tietoa on Modbus isäntälaitte (master) ja laite joka toimittaa tietoa on Modbus orjalaitte (slave). Standardissa Modbus verkossa on yksi isäntälaitte ja enintään 247 orjalaitetta. Jokaisella orjalaitteella on oma osoite väliltä 1-247. Tyypillisessä

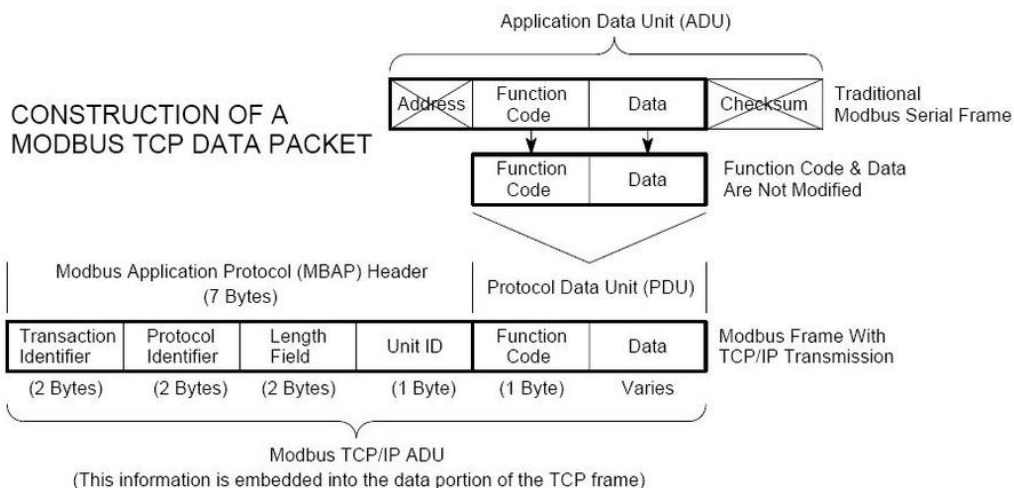
Modbus asennuksessa on yksi isäntälaitte ja kaksi tai kolme orjalaitetta. Isäntälaitte voi myös kirjoittaa tietoa orjalaitteille. Vain isäntälaitte aloittaa tapahtuman. Tapahtumat on kysely/vastaus tyyppisiä, missä vain yksi orjalaitte on osoitettuna. (Mackay ym. 2006, 215.)

TAULUKKO 3. Modbus-väylän fyysiset kerrokset (Caro 2009, 137.)

Physical Layers	Standard	Speed	Comments
Modbus	EIA-232	19.2 kbps	Original serial Modbus
	EIA-485	Up to 1 Mbps	High-speed serial Modbus
Modbus+ (Plus)	HDLC (ISO 3309) on EIA-485	Up to 1Mbps	Token Passing multi-peer bus. Proprietary Protocol.
Modbus/TCP	IEEE 802.3	10/100/1000 Mbps	Modbus on Ethernet

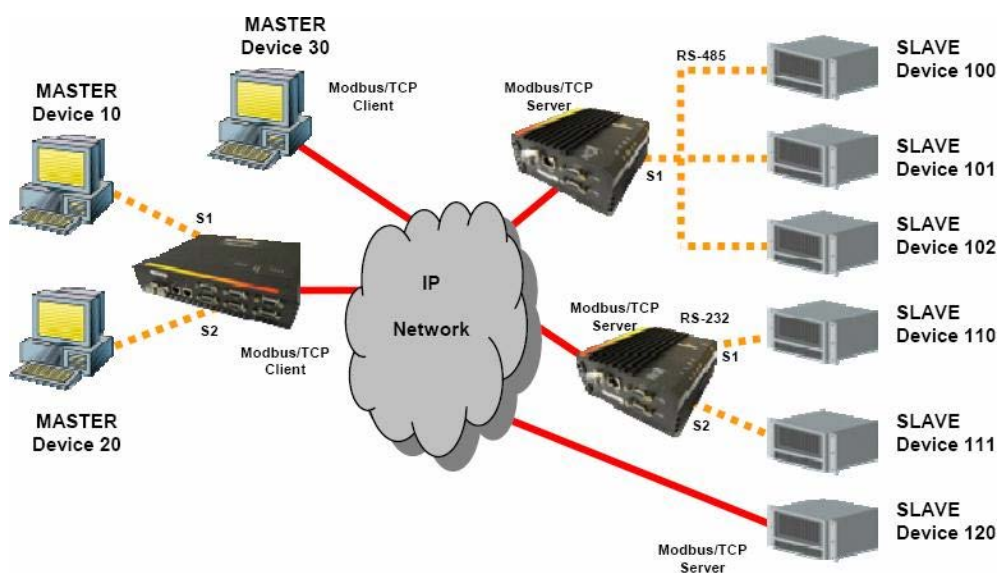
Modbus-protokollaa käytetään tyypillisesti lähettämään signaaleja instrumentointi- ja säätölaitteilta takaisin pääsäätimelle (Main Controller) tai tiedonkeruujärjestelmään. Esimerkkinä järjestelmä, joka mittaa lämpötilaa ja kosteutta, ja toimittaa tulokset tietokoneelle. Modbusia käytetään yhdistämään valvomo etäterminaali yksikköön ja tiedonkeruu järjestelmään. Modbusista löytyy versiot sarjaväylään (Modbus RTU ja Modbus ASCII) ja Ethernet versio (Modbus TCP) (Simplymodbus).

Modbus-protokollaa voidaan käyttää usean erilaisen fyysisen kerroksen päällä siten, että sovelluskerros pysyy muuttumattomana. Näitä toteutuksia on kolme. (Piikkilä ym. 2006, 244)



### KUVIO 33. Modbus datapaketin kehysrakenne

Tietyt Modbus-protokollan ominaisuudet ovat määritellyt, kuten kehyksen formaatti, viestin lähetys orjalaitteen ja isäntälaitteen välillä, kehyksen jakso, yhteysvirheiden käsittely, poikkeukselliset ehdot ja toimintojen suoritus. Muut ominaisuudet ovat valittavissa. Niitä ovat siirtomedia, siirto-ominaisuudet ja siirtotapa RTU tai ASCII. Käyttäjän ominaisuudet asetetaan jokaiselle laitteelle, eikä niitä voi muuttaa, kun järjestelmä on käynnissä. (Mackay ym. 2006, 215.)



### KUVIO 34. Modbus/TCP-verkko

Modbus komennot mahdollistavat tiedonsiirron logiikan yhdestä tai monesta rekisteristä isäntälaitteelle, joka voi olla tietokone tai toinen logiikka. Modbus komentosarja oli niin suosittu, kun se esiteltiin 1979, että sitä kopioitiin toisiin logiikoihin. Suosituin Modbus sivutuote on J-Bus, jota on käyttänyt Siemens, Telemecanique ja moni muu pieni PLC valmistaja vaihtoehtoisena liikennöinti-protokollana monissa PLC ratkaisuissa, jotka eivät ole peräisin Modicon juurista. Modbusin ajatus komentokäskyt, jotka toimivat 16-bittisessä rekisterissä on käytössä kaikilla PLC toimittajilla ja ISO 9056 MMS:ssä. Lisäksi Modbus on yksi yleisin protokolla SCADA-järjestelmissä (etäkäyttöjärjestelmä). (Caro 2009, 137.)

Modbus/ASCII:ta on pidetty liian hitaana, kun monta PLC-laitetta pitää kytkeä yhteen tietokoneeseen eikä se tue monipisteyhteyksiä. Näitä sovelluksia varten on toteutettu Modbus/RTU:na. Toisin kuin avoin Modbus ASCII ja RTU tiedonsiirto, Modbus Plus oikeudet omistaa Schneider Electric. Modbus Plus perustuu yleisiin Modbus sovelluskomentoihin. Modbus Plussia ei ole koskaan muodollisesti julkaistu avoimeksi. Se on vielä käytössä Modicon tuotteissa. Modbus+ käyttää HDLC protokollaa sarjalinjalla, joka sallii monipisteyhteydet. (Caro 2009, 138-141.)

### Heksadesimaali

Kun tehdään vianmääritystä, on hyödyllistä nähdä todellinen siirrettävä raakadata. Pitkien ykkösten ja nollien merkkijonoja on vaikea lukea, joten bitit yhdistetään ja esitetään heksadesimaalina. Jokainen 4 bittinen lohko edustaa yhtä kuudestatoista merkistä välillä 0 ja F. (Simplymodbus)

TAULUKKO 4. Heksadesimaalit (Simplymodbus)

0000 = 0	0100 = 4	1000 = 8	1100 = C
0001 = 1	0101 = 5	1001 = 9	1101 = D
0010 = 2	0110 = 6	1010 = A	1110 = E
0011 = 3	0111 = 7	1011 = B	1111 = F

## 4.2 Modbus sarjaliikenteen tiedonsiirtotavat

### 4.2.1 Modbus ASCII

Ensimmäinen Modbus ASCII protokolla on suunniteltu siirtämään 16-bittisiä rekisteriarvoja minkä tahansa sarjaliikenneväylän kautta tehokkaasti ja sisältäen virheentarkistuksen. Sarjaliikenneyhteys edellyttää yleensä ASCII koodattua merkkivirtaa. Standardi merkki kommunikointi varaa 7 bittiä ja yhden pariteettibitin koodataksaan yhden kirjaimen. 16 bittinen rekisteri voidaan esittää 4 heksadesimaali lukuna, jokainen heijastaa 4 bittiä tietoa. Heksadesimaali käyttää numeroita 0-9 ja kirjaimia A-F esittämään kaikki mahdolliset 4 bitin vaihtoehdot. Jokainen näistä kirjaimista lähetään tiedonsiirto linjaa pitkin käyttämällä ASCII koodausta. Kaksoispiste aloittaa viestirungon ja rivinvaihtomerkki lopettaa siirron. Jokaisen siirron aloittaa Modbus masteri ja se lähettää orjalaite-asemalle. Orjalaite asemilla on osoite välillä 1-127 ja se on 2-merkkiä osoitepaikassa. Modbus komento lähetetään kahdessa seuraavassa merkissä. Neljä merkkiä tarvitaan jokaisen tietoarvon lähettämiseen. Lähetyksen lopussa on kaksi virheentarkistuskirjainta LRC. LRC tehdään koko tiedolle. Lisäksi parillinen pariteettibitti jokaiselle merkillä varmistaa, että saapuva tieto on sama kuin lähetetty tieto. (Caro 2009, 140-141.)

TAULUKKO 5. Modbus ASCII sanomakehys (Caro 2009, 141.)

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char ⋮	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

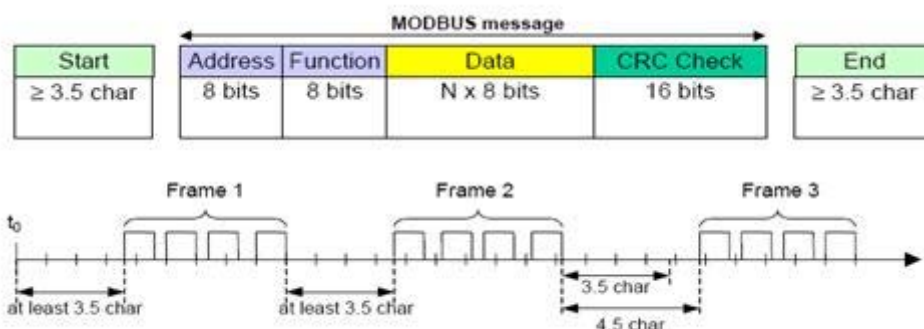


## 4.2.2 Modbus RTU

Modbus oli alun perin kehitytty toimimaan asynkronisessa sarjaväylässä ANSI/EIA/TIA-232F (RS-232). Tämä teki sen yhteensopivaksi sarjaporttimodeemien kanssa. Kun RTU oli kehitetty SCADA järjestelmiin, Modbus oli luonnollinen vaihtoehto siirtoprotokollaksi modeemiyhteyksille. Tämä Modbus versio tunnetaan nimellä Modbus/RTU ja se on edelleen suosittu monissa sovelluksissa, ei vain RTU:ssa. (Caro 2009, 137-138.)

Modbus RTU kehitettiin lisäämään Modbus tiedonsiirron tehokkuutta. 16-bittinen rekisteri tieto esitetään neljän heksadesimaalimerkin jonona. Kaksi hex-merkkiä pakataan yhdeksi 8-bittiseksi merkiksi tiedonsiirtoon. Viesti on kehystetty vähintään 28 bitillä viestin alussa ja lopussa. Osoite ja Modbus komennot ovat 8-bittisiä merkkejä. Virheen tarkistuksen voi tehdä käyttämällä parillista bittiä ja aina sisällyttämällä 16-bittinen CRC (Cyclic Redundancy Check) arvo lähetyksen loppuun varmistamaan, että tieto on lähetetty/vastaanotettu oikein. (Caro 2009, 141.)

Modbus-protokolla määrää kehyksen tiedon lähettämiseen isäntä- ja orjalaitteen välillä. Viestissä on tavoitellun vastaanottajan osoite, mitä vastaanottimen on tehtävä, tarvittavat tiedot toiminnon suorittamiseen ja virheiden valvomiseen. Orjalaite lukee viestit ja jos virheitä ei ole, se suorittaa tehtävän ja lähettää vastauksen takaisin isännälle. Vastausviestin tieto on orjalaitteen osoite, suoritettu tehtävä, toiminnan tulos ja virheidentarkistus. Jos aloitusviesti on yleistyypinen, vastausta ei tule orjilta. Tavallisesti isäntälaitte voi lähettää toisen kyselyn niin pian kuin vastaanotin vastaa viestiin. Aikakatkaisufunktio varmistaa, että järjestelmä toimii kun kyselyä ei ole vastaanotettu oikein. (Mackay ym. 2006, 215.)



KUVIO 35. Modbus RTU-kehysrakenne (Mackay ym. 2006, 215.)

### 4.3 Modbus toimintakoodit (funktiot)

Kaikki Modbus-protokollan tukemat funktiot ovat yksilöity indeksinumerolla. Ne on suunniteltu kentälaitteiden ja toimilaitteiden ohjauskomennoiksi ja ovat seuraavat:

- Kela (coil), ohjauskomennot lukemiseen ja asettaa yhden kelan tai kelaryhmän
- Tulo, ohjauskomennot lukemista syöttää aseman ryhmän tulot
- Rekisteri, ohjauskomennot lukemiseen ja asettaa yhden tai useamman tilan rekisterit
- Diagnostiikkatestaus ja raportointi toiminnot
- Ohjelmatoiminnot
- Polling ohjaustoiminnot
- Resetointi, nollaus

(Mackay ym. 2006, 215.)

Jokainen pyyntökehys sisältää funktiokoodin, joka määrittää odotetun toiminnon kohde ohjaimelle. Pyyntö-tietokenttien merkitys riippuu määritetystä funktiokoodista. (Mackay ym. 2006, 218.) Toinen isäntälaitteen lähettämä tavu on toimintokoodi. Tämä numero kertoo ohjaimelle mihin taulukkoon on pääsy ja pitääkö taulukkoon lukea vai kirjoittaa. (Simplymodbus)

TAULUKKO 6. Modbus toimintokoodit (Simplymodbus)

Function Code	Action	Table Name
01 (01 hex)	Read	Discrete Output Coils
05 (05 hex)	Write single	Discrete Output Coil
15 (0F hex)	Write multiple	Discrete Output Coils
02 (02 hex)	Read	Discrete Input Contacts
04 (04 hex)	Read	Analog Input Registers
03 (03 hex)	Read	Analog Output Holding Registers
06 (06 hex)	Write single	Analog Output Holding Register
16 (10 hex)	Write multiple	Analog Output Holding Registers

#### 4.4 Modbus kehysrakenne

Tapahtuma sisältää yhden pyynnön isännältä tiettyyn toissijaiseen laitteeseen ja yhden vastauksen laitteelta takaisin isännälle. Molemmat viesteistä on formaatiltaan Modbus viestikehyksiä. Jokainen sellainen viestikehys koostuu bittien sarjasta ryhmitettynä neljään kenttään, jotka on kuvailtu seuraavassa kapaleessa. On syytä huomata, että jokainen näistä biteistä on ilmoitettu tässä heksa-formaatissa (ei ASCII). (Mackay ym. 2006, 216.)

##### Isäntälaitte lähettää pyynnön

1 tavu	1	2	2	2
Reingin ID	Funktiokoodi	Alkuosoite	Datapisteiden (16-bit) lkm	CRC

##### Renki lähettää vastauksen

1 tavu	1	1	Enintään 250	2
Reingin ID	Funktiokoodi	Tavujen lkm	Data	CRC

KUVIO 36. Modbus RTU - väylän isäntälaitte pyytää renkilaitetta lähettämään input-rekisteristään dataa. (Piikkilä ym. 2006, 246)

Ensimmäinen kenttä jokaisessa viestin kehyksessä on osoitekenttä, joka sisältää yhden tavun tietoa. Pyyntökehysten osoitekenttä määrittelee kohde PLC:n, myös tämän vastauskehys alkaa vastaavan laitteen osoitteella. (Mackay ym. 2006, 216.)

Toinen kenttä jokaisessa viestissä on toimintokenttä, joka myös sisältää yhden tavun tietoa. Isännän komentoviestissä tämä tavu määrittelee funktion, jonka kohde PLC:n on suoritettava. (Mackay ym. 2006, 216.)

Jos kohde PLC voi suorittaa pyydetyn toiminnon, toimintokentän vastaus kiihtyy alkuperäisestä pyynnöstä. Muuten pyynnön toimintokenttä kiihtyy eniten merkitsevän bitin ykkösenä viestittäen poikkeuksellisesta vastauksesta. (Mackay ym. 2006, 216.)

Kolmas kenttä viestikehyksessä on datakenttä, jonka pituus vaihtelee funktion mukaan. Isännän pyynnössä tämä kenttä sisältää tietoa, jonka PLC täytyy suorittaa pyydetty funktio. PLC vastauksessa tämä kenttä sisältää mitä tahansa isännän pyytämää tietoa. (Mackay ym. 2006, 216.)

Kaksi viimeistä tavua viestikehyksessä sisältää tarkistuskentän. Kentän numeerinen arvo lasketaan suorittamalla syklinen tarkistus (CRC-16) viestikehyksestä. Tämä virheentarkistus varmistaa, että laite ei reagoi viestiin, joka on saattanut muuttua lähetyksen aikana. (Mackay ym. 2006, 217.)

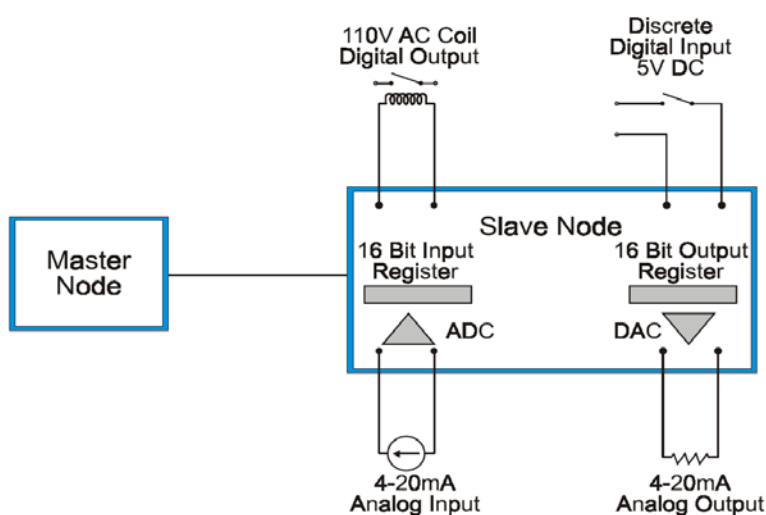
## **Synkronointi**

Viestin vastaus täytyy olla synkronoitu lähetykseen, jotta saadaan luotettava yhteys. Vastaanottavan laitteen täytyy kyetä tunnistamaan uuden viestikehyksen alku. Modbus RTU protokollassa kehyssynkronointi on muodostettu rajoittamalla peräkkäisten merkkien ja viestin rungon joutoaikaa. Jos kolme merkin ajan (noin kolme millisekuntia) kuluu, eikä vastaanottava laite havaitse uutta

merkkiä, viesti poistuu. Seuraava tavu tulkitaan uuden viestin osoitekentäksi. (Mackay ym. 2006, 217.)

## Muistiinmerkintä

Muistiinmerkintä mahdollistaa neljä eri data tyyppiä: kelat, erillistulot, tulorekisterit ja pitorekisterit. Rekisteri muuttujat koostuvat kahdesta tavusta, kun taas kelat ja tulot koostuvat yhdestä tavusta. (Mackay ym. 2006, 217.)



KUVIO 37. Kaavio havainnollistaa Modbus PLC:n esitystapaa (Mackay ym. 2006, 230.)

## 4.5 Modbus tietorakenne

Tieto on varastoitu orjalaitteeseen neljässä eri taulukossa. Kaksi taulukkoa tallentaa kelan päällä/pois arvot ja kaksi muuta tallentaa rekisterin arvot. Ke-loilla ja rekistereillä kullakin on lukutaulukko ja luku-kirjoitustaulukko. (Simply-modbus)

Jokaisessa taulukossa on 9999 arvoa. Jokainen kela on 1 bitti ja sen osoite on välillä 0000-270E. Jokainen rekisteri on 1 sana = 16 bittiä = 2 tavua ja jolla on myös osoite välillä 0000 ja 270E. (Simplymodbus)

TAULUKKO 7. Kelojen ja rekisterien osoitteet (Simplymodbus)

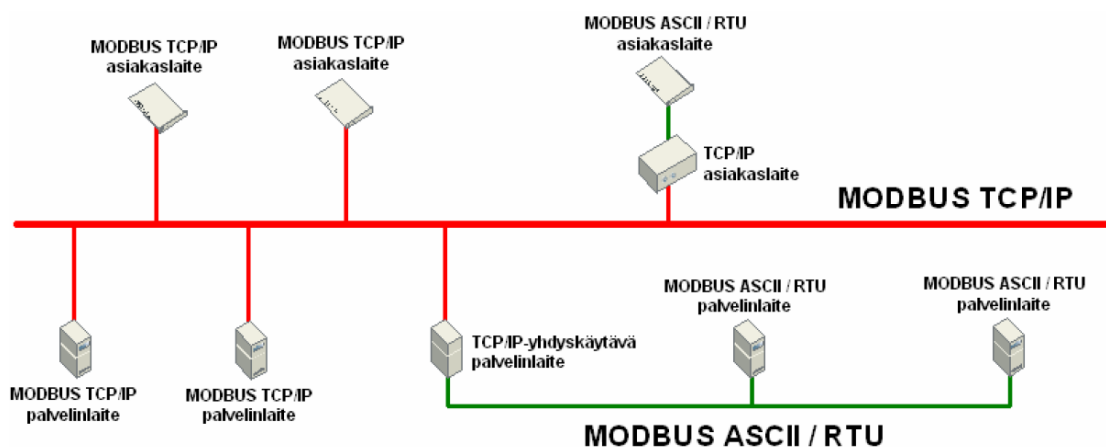
Coil/Register Numbers	Data Addresses	Type	Table Name
1-9999	0000 to 270E	Read-Write	Discrete Output Coils
10001-19999	0000 to 270E	Read-Only	Discrete Input Contacts
30001-39999	0000 to 270E	Read-Only	Analog Input Registers
40001-49999	0000 to 270E	Read-Write	Analog Output Holding Registers

TAULUKKO 8. Modbus komennot (Caro 2009, 140.)

Command	Function	Command	Function
01	Read coil Status	13	Program Controller
02	Read input status	14	Poll Controller
03	Read holding Registers	15	Force multiple Coils
04	Read Input Registers	16	Preset Multiple Registers
05	Force Single Coil	17	Report Orjalaite ID
06	Preset Single Register	18	Reserved for Programming
07	Read Exception Status	19	Reset Communication Link
08	Diagnostics	20	Read General Reference
09	Reserved for Programming	21	Write general Reference
10	Poll	22	Mask Write 4X Register
11	Fetch Communication Event Counter	23	Read/Write 4X Registers
12	Fetch Communication Event Log	24	Read FIFO Queue

## 4.6 Modbus/TCP

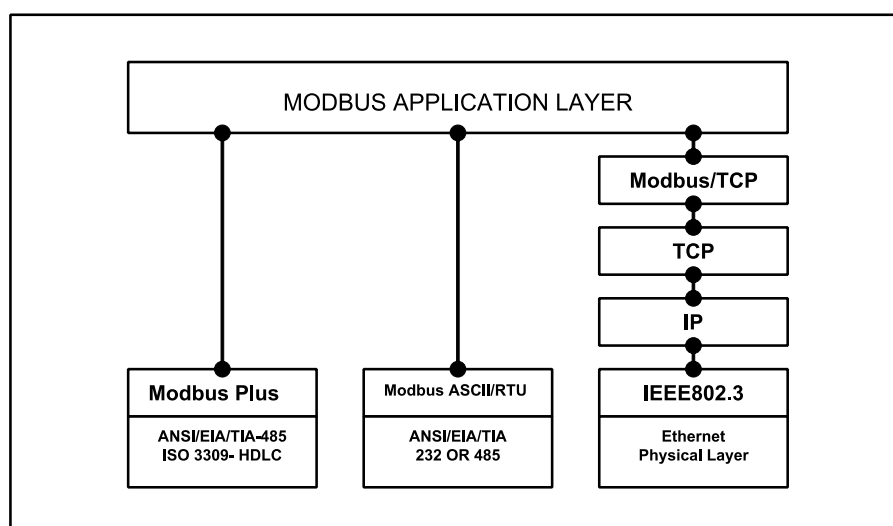
Modbus/TCP kehitettiin vuonna 1998 ja julistettiin avoimeksi. Spesifikaatio on julkaistu Modicon/Schneider nettisivuilla. Nyt omistus on siirretty riippumattomalle Modbus.org yhdistykselle. Spesifikaatio on julkaistu yhdistyksen nettisivuilla <http://www.modbus.org>. Modbus/TCP mahdollistaa monia parannuksia Modbus tietoliikenne yhteyksiin: Se alentaa kuluja käyttämällä kaupallisia Ethernet komponentteja. Se mahdollistaa etäkäytön yrityksen lähiverkossa 10/100/1000 Mbps Ethernetillä. Se altistaa PLC tavallisille Internet tietoturva-ongelmille. Schneider osasto on kehittänyt yli 75 tuotetta Modbus/TCP:lle osana heidän Transparent Factory aloitetta. Moni muu yhtiö on myös valinnut Modbus/TCP ensisijaiseksi sovellukseksi Ethernetissä. (Caro 2009, 139.)



KUVIO 38. Modbus TCP/IP-verkkoarkkitehtuuri (Ahola 2008, 45.)

Modbus/TCP on viimeisin muunnos Modbusista ja siinä lähetetään kaikki tieto binaaridata muodossa. Modbus/TCP data on kapseloitu standardi TCP/IP tiedonvaihtoon. Modbus on määritetty Internet portille 502, jonka on määrittänyt IANA. Clientiltä Modbus komennot lähetään TCP/IP viestinä serverille, joka vastaa standardi Internet TCP/IP koodauksella. Modbus/TCP määrittelee komento- ja vastauskoodauksen formaatin käyttämällä Internet standardia TCP/IP. Modbus/TCP määrittelee yksityiskohtia virheen tunnistamiseen ja pa-

lautumiseen tässä teollisessa viestiprotokollassa. Käyttämällä standardia TCP/IP-protokollaa Modbus/TCP mahdollistaa etäkäytön yrityslähiverkon ja Internetin yli, joka toisaalta voi olla sekä etu että riski. Lähiverkko ja Internet-yhteys sallivat todelliset etätoiminnot, mutta vaativat, että turvatoimia käytetään estämään luvattomat pääsyt. (Caro 2009, 142.)



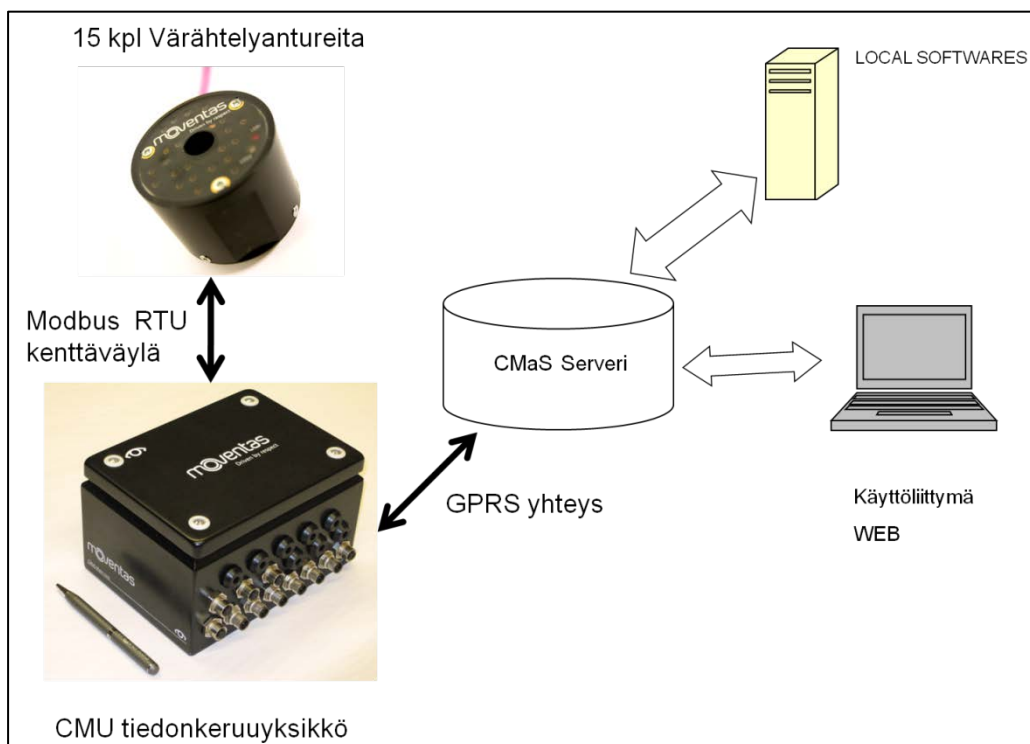
KUVIO 39. Modbus-rakenne (Caro 2009, 138.)



## 5 TESTAUSJÄRJESTELMÄ

### 5.1 Testausjärjestelmä ja mittaukset

Mittausten tavoite oli testata tähtiverkon toimivuutta Monventaksen tuuliturbiinivaihteiston kenttäväylälaitteistolla. Mittaus suoritettiin laboratorio-oloissa käyttäen värähtelyantureita ja testiympäristönä öljynvanhennuslaitteistoa. Tarkoituksena oli testata väylän toimintaa tähtikytkentätopologiassa, nyt järjestelmässä on käytössä ketjuväylä eli daisy-chain. Tähtikytkennän käyttöä RS-485 väylätopologiana ei suoranaisesti tyrmätä, mutta sen käytöstä varoiteaan pitkillä yhteyksillä. Tähtikytkennässä väylää testattiin 15 anturilla, jolloin väylässä siirtyi tietoa enemmän. Väylällä siirrettyjen tietojen oikeellisuus tarkastettiin.



KUVIO 40. Kenttäväylän testausjärjestelmä

CMU on tuuliturbiinivaihteiston Modbus-väylää käyttävä tiedonkeruuyksikkö, johon värähtelyanturit liitettiin. Anturit lähettivät tiedot Modbus-väylän kautta CMU tiedonkeruuyksikölle, josta tiedot lähetettiin edelleen Moventasin tietokantapalvelimelle. Moventasin IVS-20 värähtelyanturit mittaavat värähtelyä ja sen matemaattiset algoritmit muuntavat tiedot haluttuun muotoon. IVS-20 värähtelyanturi on älykäs anturi, joka sisältää paljon laskentatehoa.

Testauksessa jokaiselta anturilta mitattiin 46 eri mittausparametria ja mittaus-  
ten luentajakso oli asetettu 10 minuutiksi. Jokaiselta anturilta laskettiin saapuneiden mittaus-  
ten lukumäärä ja tuloksia verrattiin eri anturien välillä. Kaikilta anturilta piti tulla saman verran mittauksia. Mittausdata saatiin järjestelmän käyttämässä CSV-formaatissa (*Comma-Separated Values*) ja ne avattiin Excelissä.

Lisäksi testattiin erikokoisten päätevastusten vaikutusta testiväylän terminoinnissa. Mittauksissa käytettiin päätevastuksina 1,1 k $\Omega$  ja 120  $\Omega$  vastuksia. Yksi mittaus suoritettiin ilman päätevastuksia.

## 5.2 Testausjärjestelmän luominen

### Vaihe 1

Testausjärjestelmään käytettiin 15 kpl IVS-20 värähtelyantureita. Anturien liitäntäkaapeli-  
pituuksien olivat 3,5...8 m. Anturit testattiin Moventasin IVS-debug ohjelmalla. Tällä ohjelmalla anturit voi testata tekemällä lisämittauksen, jolloin saadaan värähtelyn lisäksi myös tieto anturin lämpötilasta. Anturien Modbus ID-osoitteet piti myös päivittää, sillä jokaisella anturilla on oltava oma osoite. Antureille annettiin uudet Modbus-osoitteet väliltä 1-15.

## **Vaihe 2**

Antureista poistettiin M12 liittimet, jotta anturit saatiin kytkettyä suoraan riviliittimiin.

## **Vaihe 3**

CMU tiedonkeruuyksikön konfigurointi tehtiin erillisellä tietokoneella. CMU:n tekstipääteeseen pääsee käsiksi sarjaportin kautta. CMU:n yhteys toteutettiin GPRS:llä, koska testiympäristössä ei ollut Ethernet-verkkoa. Testissä CMU:n yhteys asetettiin toimimaan Movetasin CMaS Alpha testipalvelimelle.

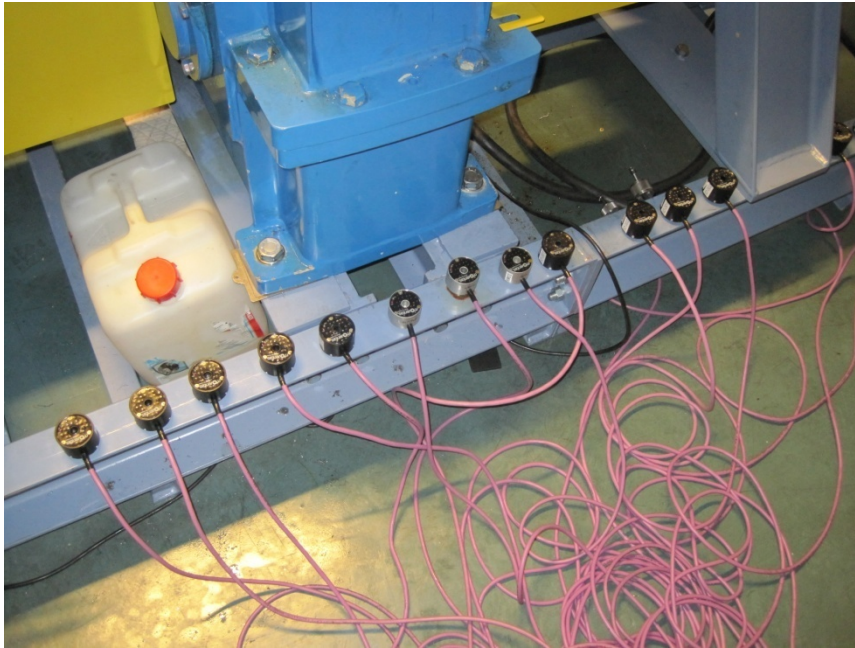
”Konfiguroinnilla tarkoitetaan toimintojen lisäämistä ja poistamista, kommunikation ja I/O-tietojen määrittelemistä verkkoon liittyneille laitteille. Konfiguroinnin avulla verkko saadaan toimimaan halutulla tavalla.” (Lumpus, 1998, 33.)

## **Vaihe 4**

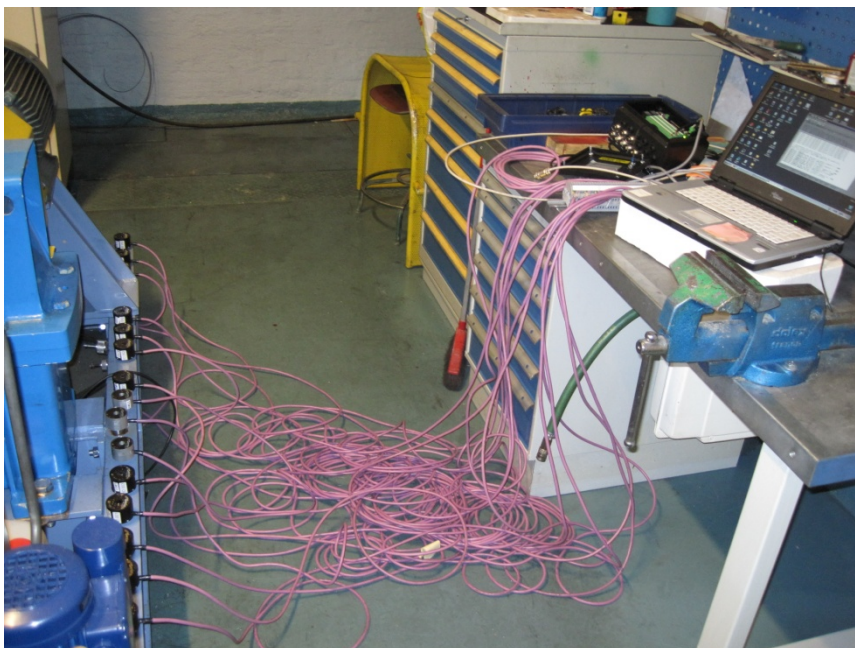
15 kpl IVS-20 anturia asennettiin ensin daisy-chain kytkentään eli anturit ketjuttettiin. Anturien kytkemiseen käytettiin riviliittintä. Testiympäristönä oli öljynvanhenninlaitteisto, jonka moottori aiheutti riittävästi värähtelyä. Anturit pultattiin tukevasti kiinni öljynvanhentimen runkopalkkiin.

## **Vaihe 5**

Testausta varten Moventaksen CMaS testipalvelimelle perustettiin uusi projekti. Käyttöliittymä on täysin selainpohjainen, joten mittauksia oli myös mahdollista seurata etänä. Projektiin piti määrittää CMU-tiedonkeruulaitteen sarjanumero, jonka jälkeen projektiin lisättiin kaikki 15 kpl antureita. Sitä ennen antureille piti laittaa oikeat asetukset. Niille piti määrittää, mitä mittausarvoja halutaan mitata, kuten värähtelyt x y z-suuntaan, eri tehollisarvoilla (RMS) ja eri taajuusalueilla. Mittausten oikeellisuuden tarkistamiseksi anturit asetettiin mitamaan myös lämpötilat.



KUVIO 41. Värähtelyanturit testipenkkiin kiinnitettynä



KUVIO 42. Testausympäristö

### 5.3 Testiajot

Mittaustulokset saadaan Moventasin CMaS alpha palvelimelta CSV-formaatissa. CSV-tiedostot on mahdollista avata Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Jokaisessa eri mittauksessa on tallennettuna aika, jolloin mittaus on tapahtunut. Kaikista 15 antureista mitattiin 46 eri mittaussparametria ja luentaväli asetettiin 10 minuutiksi. 15 anturilla varmistettiin daisy-chain kytkennän ja koko järjestelmän toimivuus suorittamalla mittauksia useampi päivä.

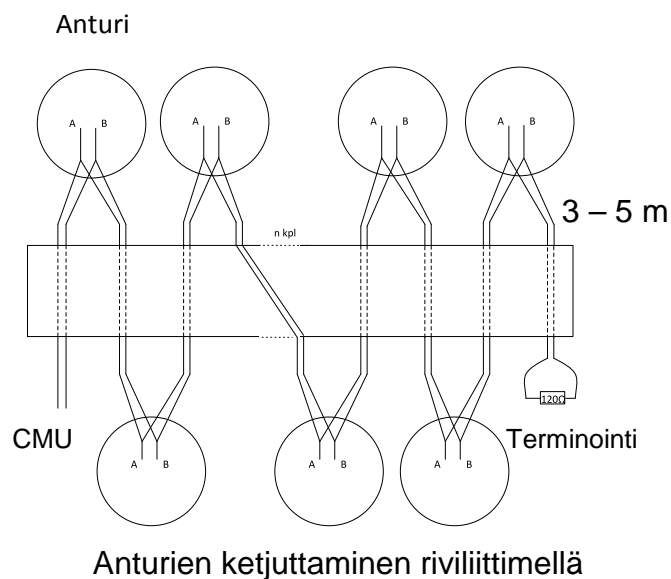
Seuraavaksi voitiin mitata eri kytkentätapoja (topologioita), kuten 9 kpl daisy-chain ja 6kpl antureita tähdessä, sekä kaikki anturit tähtikytkennässä. Tähtikytkennässä terminointiin anturit käyttämällä yhteistä 15kpl 120  $\Omega$  vastuksia, jokainen anturi päätettiin 120  $\Omega$  vastuksella

## Testiajo 1

**Daisy-chain 15 anturia** Start Time: 3/25/2011 23:00 End Time: 3/27/2011 23:00

Terminointi 120  $\Omega$  linjan päässä

Anturi	Mittaukset
1	7314
2	6302
3	6287
4	6302
5	6302
6	6302
7	6302
8	6287
9	6302
10	6287
11	6302
12	6302
13	6302
14	6287
15	6302



Testiajossa 1 antureilta saatiin 6302 luentaa.

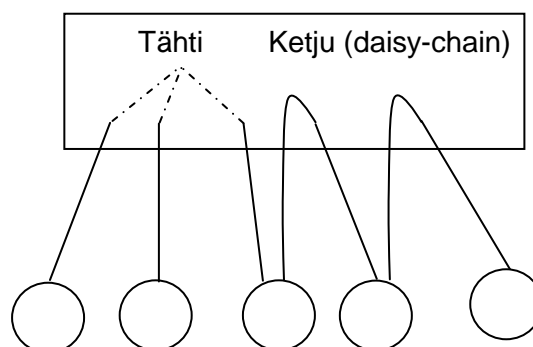
Järjestelmä lukee antureita jatkuvasti ja testiajon kesto on valittava ennalta. Tässä mittauksessa 1 se valittiin 48 tunniksi. Anturilta 1 saatiin 7314 luentaa. Ero johtuu siitä, että anturilla 1 oli eri asetukset kuin muilla antureilla. Anturin 1 mittausjakson luentaväli oli lyhyempi muihin verrattuna. Jatkomittauksissa kaikilla antureilla oli samat asetukset. Antureilla 3, 8, 10 ja 14 oli 15 luentaa vähemmän. Tämä ero johtuu ilmeisesti testiajon loppumisesta kesken viimeisen luentajakson. Sama ilmiö toistuu myös systemaattisesti testiajoissa 4 ja 5.

## Testiajo 2

**Tähtikytkentä** 6 anturia ja **daisy-chain** 9 anturia. Mittausaika 16 h

Terminointi 120  $\Omega$  linjan päässä

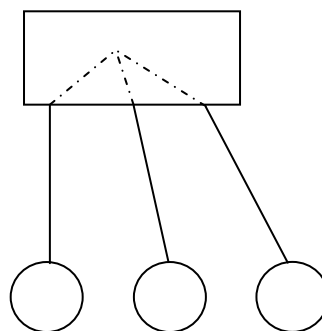
Anturi	Mittaukset
1	2208
2	2208
3	2208
4	2208
5	2208
6	2208
7	2208
8	2208
9	2208
10	2208
11	2208
12	2208
13	2208
14	2208
15	2208



Testiajossa 2 antureilta saatiin 2208 luentaa. Luentamäärissä ei poikkeamia eri antureiden välillä.

**Testiajo 3****Tähtikytkentä** 15 anturia. Mittausaika 20 hTerminointi 15 kpl 1,1 k $\Omega$ , päätevastus jokaisella anturilla

Anturi	Mittaukset
1	2898
2	2898
3	2898
4	2898
5	2898
6	2898
7	2898
8	2898
9	2898
10	2898
11	2898
12	2898
13	2898
14	2898
15	2898



Testiajossa 3 antureilta saatiin 2898 luentaa. Luentamäärissä ei poikkeamia eri antureiden välillä.

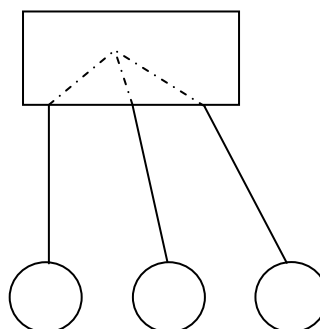


## Testiajo 4

**Tähtikytkentä** 15 anturia. Mittausaika 20 h

Yhteinen terminointivastus  $120 \Omega$  antureiden rinnakkaisten liitäntäjohtimien tähtipisteessä

Anturi	Mittaukset
1	2668
2	2668
3	2668
4	2668
5	2668
6	2668
7	2668
8	2668
9	2668
10	2668
11	2668
12	2653
13	2668
14	2668
15	2668



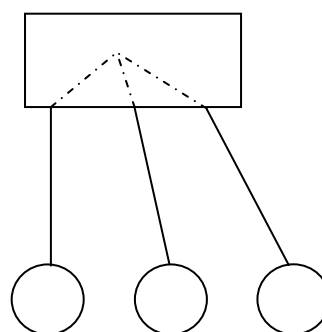
Testiajossa 4 antureilta saatiin 2668 luentaa. Luentamäärissä ei poikkeamia eri antureiden välillä, lukuun ottamatta anturia 12, jossa sama systeemivirhe kuin testiajossa 1.

## Testiajo 5

**Tähtikytkentä** 15 anturia, mittausaika 20 h

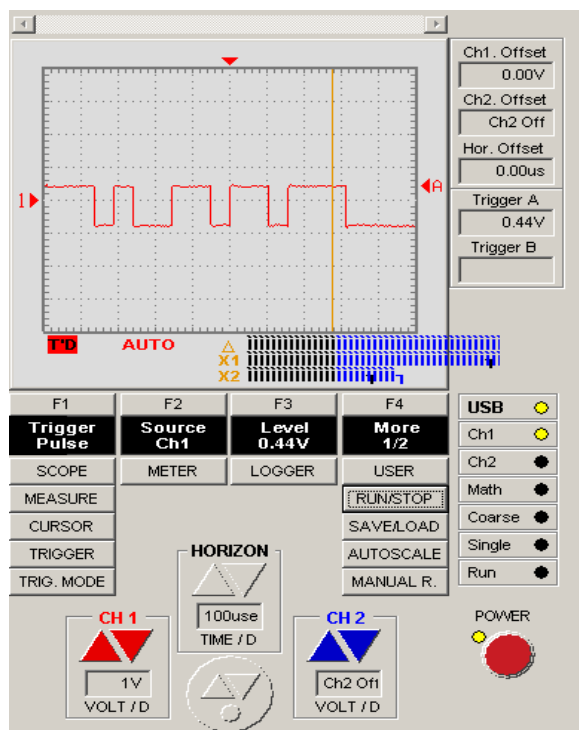
Terminointi 15 kpl 120  $\Omega$ , päätevastus jokaisella anturilla

Anturi	Mittaukset
1	2714
2	2714
3	2714
4	2714
5	2714
6	2714
7	2714
8	2714
9	2714
10	2714
11	2714
12	2699
13	2714
14	2714
15	2714



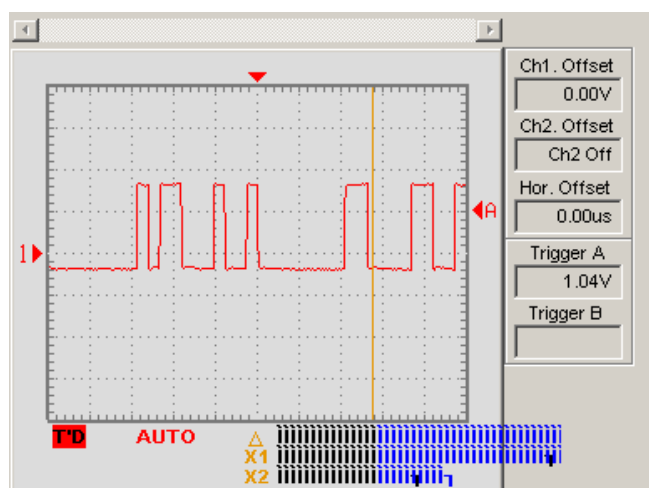
Testiajossa 5 antureilta saatiin 2714 luentaa. Luentamäärissä ei poikkeamia eri antureiden välillä, lukuun ottamatta anturia 12, jossa sama systeemivirhe kuin testiajossa 1.

Testiajossa 5 kuorma on suuri  $120\ \Omega / 16 = 7,5\ \Omega$ . Liika kuorma alentaa väylän jännitettä ja vaikuttaa biasointiin ja mahdollisesti tiedonsiirtoon.



KUVIO 43. RS-485 signaalin oskilloskooppikuva testiajossa 5

Signaalitaso on tässä mittauksessa huomattavasti suurempi kuin edellä.



KUVIO 44. RS-485 signaali testiajossa 4, terminointi  $120\ \Omega$

## 6 TULOSTEN ARVOINTI JA JATKOTOIMINPITEET

Tämän opinnäytetyön yksi päätavoite oli testata tähtiverkon toimivuutta tuuliturbiinivaihteiston kunnonvalvonnan kenttäväylässä. Tässä tavoitteessa onnistuin hyvin. Kuten testitulokset osoittavat, tähtiverkon käyttö on mahdollista tiettyin reunaehdoin rajatussa ympäristössä, vaikkakaan standardeissa ei suositella laajemmin tähtitopologian käyttöä RS-485 väyläratkaisuina. Kenttäväylän testausympäristön rakentamisessa ja testien suorittamisessa tavoitteet saavutettiin. Suoritettujen testien mukaan tähtiverkko toimii rajatussa ympäristössä, kun etäisyys säilyy lyhyenä ja tiedonsiirtonopeus alhaisena eli nykyisillä tasoilla. Testeissä anturiväylän tiedonsiirtonopeuteen käytettiin järjestelmän perusnopeutta 19.2 kbit/s.

Tässä työssä mittauksien lukumäärä ei ollut tärkeää, koska mittauksissa verrattiin mittauslukumäärää antureiden välillä. Mittausten määrä vaihtelee käytössä olevien antureiden mukaan. Jos käytetään tarpeeksi monta anturia väylässä ja jos vain yksi anturi voi lähettää tietoa samaan aikaan, niin tällöin seuraava anturi joutuu odottamaan. Mittaustietoja tarkastamalla selvisi että luentaväli oli oikeasti 21 minuuttia, vaikka se oli asetettu 10 minuutiksi.

Tähtitopologialla saadaan parannettua luotettavuutta ja yksinkertaistettua väylän ylläpitoa ja muutosten hallintaa. Tähtiverkko on verkon toiminnan suhteen luotettavampi ketjuverkkoon (daisy-chain) nähden, koska yhden anturiliitännän katkos tai vikaantuminen ei välttämättä vaikuta koko verkon kaatumiseen. Tähtiverkon voi myös toteuttaa RS-485 ympäristössä osittain oikosulkusuojatuna. Tämä on mahdollista toteuttaa fail-safe terminointi ratkaisulla. (B&B Electronic 2006.)

Tähtiverkon muita etuja on, että antureissa voidaan korvata nykyinen 6-johdin kaapeli 4-johdin kaapelilla. Tähtiverkossa yhden anturin irrottaminen väylästä on mahdollista muun osan vielä toimiessa normaalisti päinvastoin kuin ketjuverkossa. Tämän olen myös todennut käytännössä kokoamassani testiympäristössä.

Työlle asetetut tavoitteet toteutuivat erinomaisesti. Opinnäytetyö sisälsi teoriaosuuden lisäksi myös paljon käytännön läheisiä asioita, kuten testiverkon toteuttaminen yksittäisistä antureista, niiden asentamisesta, testaamisesta ja testiverkon rakentamisesta järjestelmän toimivaksi osaksi. Kokosin testijärjestelmän pääasiassa itse ja tarvittaessa sain apua Moventaksen henkilökunnalta. Testausjärjestelmän toimi täydellisesti todellista kenttätilannetta vastaavassa ympäristössä.

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan haastava. Siinä oli mahdollisuus perehtyä etäluentajärjestelmään sen kaikilla tasoilla antureista käyttäjätasoon saakka. Yhtenä ongelmana oli mittausluentojen systemaattinen 15 kpl ero. On erittäin epätodennäköistä, että mittausluentojen ero johtuisi verkon eri topologian kytkennöistä. Tämä ero ilmaantui myös daisy-chain kytkennässä, joka on myös nykyisin käytössä. Toinen ongelma oli, että joistakin antureista en saanut aluksi lukemaa. Ongelma ratkesi asettamalla anturin firmware (ohjelmisto) tehdasasetuksiin.

Jatkotoimenpiteenä on tarpeen, jos tähtiverkon toimintarajat halutaan selvittää yksityiskohtaisesti, käydä syvällisempiä signaaliteorian pohdintoja siirtojohtoteorian pohjalta ja tehdä lisämittauksia tuuliturbiinivaihteiston todellisissa käyttöympäristöissä. Lisäksi CMaS järjestelmään on tarpeen lisätä hälytys yksittäisen anturin vikaantumisesta, jos anturilta ei saada vastausta tai anturin vastaus sanoma todetaan virheelliseksi.

Jos tähtiverkossa on tarpeen pidentää anturiväylää ja nostaa tiedonsiirtonopeutta, se voidaan toteuttaa RS-485 spesifikaatioiden mukaisesti käyttämällä

RS-485 toistimia. Tulevaisuuden varalta on tarpeen myös tutkia Ethernet-pohjaisia kenttäväyläratkaisuja. Tämä edellyttää myös anturien liitännärajojen muuttamista Ethernet-yhteensopiviksi. Modbus-protokollan valinta on osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi vaihteiston valvonnassa. De facto standardina se on osoittanut vahvuutensa teollisessa käytössä ja siihen on saatavilla monenlaisia lisälaitteita lukuisilta valmistajilta. Lisäksi Modbus RTU on päivitettävissä vähäisin muutoksin Modbus TCP/IP väyläympäristöön protokollan pysyessä lähes entisellään.

## LÄHTEET

Ahola M. 2008. Hälytyksensiirto GPRS-yhteydellä. Opinnäytetyö. Viitattu 7.5.2011. [Http://publications.theseus.fi/handle/10024/11960](http://publications.theseus.fi/handle/10024/11960)

B&B Electronic. 2006. RS-422 and RS-485 Application Note. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.bb-elec.com/bb-elec/literature/tech/485appnote.pdf](http://www.bb-elec.com/bb-elec/literature/tech/485appnote.pdf)

Berenguer D. 2008. RS485 vs CAN. Viitattu 15.5.2011. [Https://sites.google.com/a/usapiens.com/usapiens/technical-blog/untitled-post](https://sites.google.com/a/usapiens.com/usapiens/technical-blog/untitled-post)

Bies L. Modbus interface tutorial. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.lammertbies.nl/comm/info/modbus.html](http://www.lammertbies.nl/comm/info/modbus.html)

Caro, D. 2009. Automation Network Selection: A Reference Manual. ISA, NC.

Cleantech. Moventas – Focus on renewable energy. Viitattu 2.5.2011. [Http://www.cleantechfinland.com/mediafiles/pdf-documents/Ctf\\_asiakastarina\\_Moventas.pdf](http://www.cleantechfinland.com/mediafiles/pdf-documents/Ctf_asiakastarina_Moventas.pdf)

Controlsoft. 2002. Wiring RS-485 Networks. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.powerrichsystem.com/Downloads/RS-485wiringNetworks.pdf](http://www.powerrichsystem.com/Downloads/RS-485wiringNetworks.pdf)

ER-SOFT, S.A. Viitattu 6.4.2011. <http://www.er-soft.com/files/ER-Soft---Fieldbus--Comparison--Chart.pdf>

Fieldbus Inc. IEC61158 Technology Comparison. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.fieldbusinc.com/downloads/fieldbus\\_comparison.pdf](http://www.fieldbusinc.com/downloads/fieldbus_comparison.pdf)

Finanssialan Keskusliitto. 2009. Tuulivoimalan vahingontorjunta FK 2009-12 (fi). Viitattu 14.5.2011. [Http://www.fkl.fi/materiaalipankki/ohjeet/Dokumentit/Tuulivoimaloiden\\_vahingontorjunta\\_2009.pdf](http://www.fkl.fi/materiaalipankki/ohjeet/Dokumentit/Tuulivoimaloiden_vahingontorjunta_2009.pdf)

Goldie J. 1992. FAILSAFE Biasing of Differential Buses. Sovellusohje. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.national.com/an/AN/AN-847.pdf](http://www.national.com/an/AN/AN-847.pdf)

Hernesniemi H. 2009. Moventas kasvaa tuulesta. Viitattu 7.5.2011. [Http://www.sitra.fi/fi/Ohjelmat/koneteollisuus/koneteollisuuden\\_menestys\\_tarttuu/kotka\\_kirja.htm](http://www.sitra.fi/fi/Ohjelmat/koneteollisuus/koneteollisuuden_menestys_tarttuu/kotka_kirja.htm), Moventas kasvaa tuulesta

Kugelstadt T. 2008. The RS-485 Design Guide. Sovellusohje. Viitattu 4.4.2011. [Http://focus.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf](http://focus.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf)

Layton J. How Wind Power Works. Viitattu 14.5.2011. [Http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power2.htm](http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power2.htm)

Lumpus J. 1998 Kenttäväylän automaattinen konfigurointi. VTT Tiedote. Viitattu 24.5.2011. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1927.pdf>

Mackay, S. Wright, E. & Park, J. 2006. Practical Data Communications for Instrumentation and Control. 1 ed. Newnes.

Modbus-IDA. 2006. MODBUS Application Protocol Specification. Viitattu 3.4.2011. [Http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)

Moventas condition management system. 2010. Esite. Yrityksen kotisivut. Viitattu. 15.4.2011. [Http://www.moventas.com/what-s-new/brochures-and-materials, CMaS brochure](http://www.moventas.com/what-s-new/brochures-and-materials, CMaS brochure)

Moxa. RS-422/485 Serial Communication. Viitattu 4.4.2011. [Http://web4.moxa.com.tw/Zones/Serial\\_Communication/Serial\\_Communication\\_Technology/RS-422-485\\_Serial\\_Communication.htm](http://web4.moxa.com.tw/Zones/Serial_Communication/Serial_Communication_Technology/RS-422-485_Serial_Communication.htm)

National Instruments. Industrial Automation Tutorial. Viitattu 3.4.2011 [Http://www.raunvis.hi.is/~rol/Vefur/%E9r%20Instrupedia/CIATUTO.PDF](http://www.raunvis.hi.is/~rol/Vefur/%E9r%20Instrupedia/CIATUTO.PDF)

NOVUS PRODUTOS ELETRONICOS LTDA. 2006. RS485 & RS422 Basics. Viitattu 13.5.2011. [Http://faq.novus.com.br:8080/phpmyfaq/attachments/10/RS485%20%26%20RS422%20Basics.pdf](http://faq.novus.com.br:8080/phpmyfaq/attachments/10/RS485%20%26%20RS422%20Basics.pdf)

Piikkilä, V. & Sahlsten, T. 2006. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Tammer-Paino Oy, Tampere.

PSK standardisointi, "PSK 6201. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät", PSK standardisointi yhdistys ry, Helsinki, 2003.

Pylvänen M. 2009. Tiedonlouhintamenetelmien hyödyntäminen vaihteiden kunnonvalvonnassa. Pro gradu. Viitattu 10.5.2011. [Http://users.jyu.fi/~mpylvai/tiedonlouhinta/pro\\_gradu\\_MPy\\_090209.pdf](http://users.jyu.fi/~mpylvai/tiedonlouhinta/pro_gradu_MPy_090209.pdf)

Steinhoff. General Information about Fieldbus Systems. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.steinhoff.de/fieldbus\\_info.htm](http://www.steinhoff.de/fieldbus_info.htm)

Thomas G. 1999. Understanding EIA-485 Networks. Artikkel. Viitattu 5.4.2011. [Http://www.ccontrols.com/pdf/ExtV1N1.pdf](http://www.ccontrols.com/pdf/ExtV1N1.pdf)

Thomas G. 2008. Introduction to the Modbus Protocol. Artikkel. Viitattu 5.4.2011. [Http://www.ccontrols.com/pdf/Extv9n5.pdf](http://www.ccontrols.com/pdf/Extv9n5.pdf)

Westermo. 2005. Industrial Data Communication Theoretical and General Applications. Eskilstuna Offset AB, Eskilstuna.

Vo J. 1993. A Comparison of Differential Termination Techniques. Sovellusohje. Viitattu 4.4.2011. [Http://www.national.com/an/AN/AN-903.pdf](http://www.national.com/an/AN/AN-903.pdf)



Yang W. 2009. Wind Turbine Failures. Raportti. Durham Univercity, Condition monitoring Teechniques.

## LIITTEET

### Liite 1. Sarjaliikennestandardit

Specifications	RS232	RS423	RS422	RS485
Mode of Operation	Single-Ended	Single-Ended	Differential	Differential
Allowed no. of Tx and Rx	1 Tx, 1 Rx	1 Tx, 10 Rx	1 Tx, 10 Rx	32 Tx, 32 Rx
Maximum cable length	50 Feet	4000 Feet	4000 Feet	4000 Feet
Maximum data rate	20 kbps	100 kbps / 10 mbps	100 kbps / 10 mbps	100 kbps / 10 mbps
Minimum driver output range	$\pm 5V$ to $\pm 15V$	$\pm 3.6V$	$\pm 2V$	$\pm 1.5V$
Maximum driver output range	$\pm 25V$	$\pm 6V$	$\pm 6V$	$\pm 6V$
Tx load impedance (Ohms)	3k to 7k	$\geq 450$	100	54
Rx input sensitivity	$\pm 3V$	$\pm 200mV$	$\pm 200mV$	$\pm 200mV$
Rx input voltage range	$\pm 15V$	$\pm 12V$	$\pm 7V$	-7V to +12V
Maximum Rx input resistance (Ohms)	3k to 7k	4k min	4k min	$\geq 12k$

<http://community.myelectrical.com/wikis/myelectricalwiki/fieldbus-comparison-chart.aspx>

## Liite 2. Sarjaväylien vertailua

Transmitter		EIA-232	EIA-423	EIA-422	EIA-485
Mode of operation		Unbalanced	Unbalanced	Differential	Differential
Max No. of Drivers & Receivers on line		1 Driver 1 Receiver	1 Driver 10 Receivers	1 Driver 10 Receivers	32 Drivers 32 Receivers
Recommended cable length		75 m	1,200 m	1,200 m	1,200 m
Maximum Data Rate		20 kbps	100 kbps	10 Mbps	10 Mbps
Maximum Common Mode Voltage		$\pm 25$ V	$\pm 6$ V	$\pm 6$ V to $-0.25$ V	$+12$ V to $-7$ V
Driver Output Signal		$\pm 5.0$ V min $\pm 25$ V max	$\pm 3.6$ V min $\pm 6.0$ V max	$\pm 2.0$ V min $\pm 6.0$ V max	$\pm 1.5$ V min $\pm 6.0$ V max
Driver Load		$> 3$ ohm	$> 450$ ohm	100 ohm	60 ohm
Driver Output Resistance	Power On	n/a	n/a	n/a	100 $\mu$ A $-7$ V $\leq V_{cm}$ $\leq 12$ V
(high-Z state)	Power Off	300 ohm	100 $\mu$ A @ $\pm 6$ V	100 $\mu$ A $-0.25$ V $\leq V_{cm}$ $\leq 6$ V	100 $\mu$ A $-7$ V $\leq V_{cm} \leq$ 12 V
Receiver input resistance		3 kohm to 7 kohm	$> 4$ kohm	$> 4$ kohm	$> 12$ kohm
Receiver sensitivity		$\pm 3.0$ V	$\pm 200$ mV	$\pm 200$ mV $-7$ V $\leq V_{cm} \leq 7$ V	$\pm 200$ mV $-12$ V $\leq V_{cm}$ $\leq 12$ V

## Liite 3. Yhteenveto kenttäväylien ominaisuuksista

<b>BACKGROUND INFORMATION (Sheet 1)</b>				
<b>Fieldbus Name</b>	<b>Technology Developer</b>	<b>Year Introduced</b>	<b>Governing Standard</b>	<b>Openness</b>
<b>PROFIBUS DP / PA</b>	Siemens	DP-1994, PA-1995	EN 50170 / DIN 19245 part 3(DP) /4 (PA), IEC 1158-2 (PA)	ASICs from Siemens and Profichip, Products from over 300 vendors
<b>INTERBUS-S</b>	Phoenix Contact, Interbus Club	1984	DIN 19258 EN 50.254	Products from over 400 manufacturers
<b>DeviceNet</b>	Allen-Bradley	March 1994	ISO 11898 & 11519	17 chip vendors, 300+ product vendors, Open specification
<b>ARCNET</b>	Datapoint	1977	ANSI/ATA 878.1	Chips, boards, ANSI docs
<b>AS-I</b>	AS-I Consortium	Fall 1993	Submitted to IEC	AS-II.C. Market item
<b>Foundation Fieldbus H1</b>	Fieldbus Foundation	1995	ISA SP50/IEC 61158	Chips/software/products from multiple vendors
<b>Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE)</b>	Fieldbus Foundation	In development - lab test phase, Prelim spec available to members	IEEE 802.3u RFC for IP, TCP & UDP	Multitude of suppliers for Ethernet components, Extremely low cost
<b>IEC/ISA SP50 Fieldbus</b>	ISA & Fieldbus F.	1992 - 1996	IEC 1158/ANSI 850	Multiple chip vendors
<b>Seriplex</b>	APC, Inc.	1990	Seriplex spec	Chips available multiple interfaces
<b>WorldFIP</b>	WorldFIP	1988	IEC 1158-2	Multiple chip vendors
<b>LonWorks</b>	Echelon Corp.	March 1991		Public documentation on protocol
<b>SDS</b>	Honeywell	Jan., 1994	Honeywell Specification, Submitted to IEC, ISO11989	17 chip vendors, 100+ products
<b>ControlNet</b>	Allen-Bradley	1996	ControlNet International	Open Specification, 2 Chip Vendors
<b>CANopen</b>	CAN In Automation	1995	CiA	17 chip vendors, 300 product vendors, Open specification
<b>Ethernet</b>	DEC, Intel, Xerox	1976	IEEE 802.3, DIX v. 2.0	Multitudes of Chips and Products
<b>Modbus Plus</b>	Modicon			Proprietary, requires license/ASICs
<b>Modbus RTU/ASCII</b>	Modicon		EN 1434-3 (layer 7) IEC 870-5 (layer 2)	Open specification, no special hardware required
<b>Remote I/O</b>	Allen-Bradley	1980		Proprietary
<b>Data Highway Plus (DH+)</b>	Allen-Bradley			Proprietary

<b>PHYSICAL CHARACTERISTICS (Sheet 2)</b>				
Fieldbus Name	Network Topology	Physical Media	Max. Devices (nodes)	Max. Distance
<b>PROFIBUS DP/PA</b>	Line, star & ring	Twisted-pair or fiber	127 nodes	100m between segments @ 12Mbaud; 24 Km (fiber) (baud-rate and media dependent)
			(124 slaves - 4 seg, 3 rptrs) + 3 masters	
<b>INTERBUS-S</b>	Segmented with "T" drops	Twisted-pair, fiber, and slip-ring	256 nodes	400 m/segment, 12.8 Km total
<b>DeviceNet</b>	Trunkline/dropline with branching	Twisted-pair for signal & power	64 nodes	500m (baud-rate dependent)
				6Km w/ repeaters
<b>ARCNET</b>	Star, bus, distributed star	Coax, Twisted-pair, Fiber	255 nodes	Coax 2000 feet; Twisted pair 400 feet; Fiber 6000 Feet
<b>AS-I</b>	Bus, ring, tree star, of al	Two wire cable	31 slaves	100 meters, 300 with repeater
<b>Foundation Fieldbus H1</b>	Star or bus	Twisted-pair, fiber	240/segment, 65,000 segments	1900m @ 31.25K wire
<b>Foundation Fieldbus HSE</b>	Star	Twisted-pair, fiber	IP addressing - essentially unlimited	100m @ 100Mbaud twisted-pair
				2000m @ 100Mbaud fiber full duplex
<b>IEC/ISA SP50 Fieldbus</b>	Star or bus	Twisted-pair fiber, and radio	IS 3-7 non IS 128	1700m @ 31.25K 500M @ 5Mbps
<b>Seriplex</b>	Tree, loop, ring, multi-drop, star	4-wire shielded cable	500+ devices	500+ ft
<b>WorldFIP</b>	Bus	Twisted-pair, fiber	256 nodes	up to 40 Km
<b>LonWorks</b>	Bus, ring, loop, star	Twisted-pair, fiber, power line	32,000/domain	2000m @ 78 kbps
<b>SDS</b>	Trunkline/Dropline	Twisted-pair for signal & power	64 nodes, 126 addresses	500m (baud-rate dependent)
<b>ControlNet</b>	Linear, Tree, Star, or Combination Thereof	Coax, fiber	99 nodes	1000m (coax) 2 nodes
				250m with 48 nodes
				3km fiber; 30km fiber w/ repeaters
<b>CANopen</b>	Trunkline/Dropline	Twisted Pair + optional Signal & Power	127 Nodes	25-1000m (baud-rate dependent)
<b>Industrial Ethernet</b>	Bus, Star, Daisy-Chain	Thin Coax, Twisted Pair, Fiber; Thick Coax (rare)	1024 nodes, expandable to more via Routers	Thin: 185m
				10 Base T (Twisted Pair): Max 100m long (90 meters horizontal cable, 5m drops, 1m patch)
				Max 4 hubs/repeaters between nodes
				4Km distances w/o routers
				Fiber: 100 Base FX 400m
2.5 Km multi mode w/o Switches; 50 Km mono mode w/ Switches				
<b>Modbus Plus</b>	Linear	Twisted Pair	32 nodes per segment, 64 max	500m per segment
<b>Modbus RTU/ASCII</b>	Line, star, tree	Twisted Pair	250 nodes per segment	350m
	Network w/ segments			
<b>Remote I/O</b>	Linear Trunk	Twinaxial	32 nodes/segment	6 km
<b>DH+</b>	Linear Trunk	Twinaxial	64 nodes/segment	3 km

<b>TRANSPORT MECHANISM (Sheet 3)</b>						
Fieldbus Name	Communication Methods	Transmission Properties	Data Transfer Size	Arbitration Method	Error Checking	Diagnostics
<b>PROFIBUS DP/PA</b>	Master/slave	DP: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500 Kbps, 1.5, 3, 6, 12 Mbps	0-244 bytes	Token passing	HD4 CRC	Station, module & channel diagnostics
	peer to peer	PA: 31.25 kbps				
<b>INTERBUS-S</b>	Master/slave with total frame transfer	500kBits/s,	1-64 Bytes data	None	16-bit CRC	Segment location of CRC error and cable break
		full duplex	246 Bytes Parameter			
			512 bytes h.s., unlimited block			
<b>DeviceNet</b>	Master/slave, multi-master, peer to peer	500 kbps, 250 kbps, 125 kbps	8-byte variable message with fragmentation for larger packets	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	CRC check	Bus monitoring
<b>ARCNET</b>	Peer to peer	19.53K to 10M	0 to 507 bytes	Token passing	16-bit CRC	Built in Acknowledgements at Datalink layer
<b>AS-i</b>	Master/slave with cyclic polling	Data and power, EMI resistant	31 slaves with 4 in and 4 out	Master/slave with cyclic polling	Manchester Code, hamming-2	Slave fault, device fault
<b>Foundation Fieldbus H1</b>	Client/server publisher/ subscriber, Event notification	31.25 kbps	128 octets	Scheduler, multiple backup	16-bit CRC	Remote diagnostics, network monitors, parameter status
<b>Foundation Fieldbus HSE</b>	Client/Server, Publisher/Subscriber, Event Notification	100Mbps	Varies, Uses Standard TCP/IP	CSMA/CD	CRC	
<b>IEC/ISA SP50 Fieldbus</b>	Client/server Publisher/ subscriber	31.25 kbps IS+1, 2.6, 5 Mbps	64 octets high & 256 low priority	Scheduler, tokens, or master	16-bit CRC	Configurable on network management
<b>Seriplex</b>	Master/slave peer to peer	200 Mbps	7680/transfer	Sonal multiplexing	End of frame & echo check	Cabling problems
<b>WorldFIP</b>	Peer to peer	31.25 kbps, 1 & 2.5 Mbps, 6 Mbps fiber	No limit, variables 128 bytes	Central arbitration	16-bit CRC, data "freshness" indicator	Device message time-out, redundant cabling
<b>LonWorks</b>	Master/slave peer to peer	1.25 Mbs full duplex	228 bytes	Carrier Sense, Multiple Access	16-bit CRC	Database of CRC errors and device errors
<b>SDS</b>	Master/slave,	1Mbps,	8-byte variable message	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	CRC check	Bus monitoring
	peer to peer,	500 kbps,				
	multi-cast,	250 kbps,				
	multi-master	125 kbps				
<b>ControlNet</b>	Producer/Consumer, Device Object Model	5 Mbps	0-510 bytes variable	CTDMA Time Slice Multiple Access	Modified CCITT with 16-bit Polynomial	Duplicate Node ID, Device, Slave Faults
<b>CANopen</b>	Master/slave, peer to peer, multi-cast, multi-master	10K, 20K, 50K, 125K, 250K, 500K, 800K, 1Mbps	8-byte variable message	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	15 Bit CRC	Error Control & Emergency Messages
<b>Industrial Ethernet</b>	Peer to Peer	10, 100Mbps	46-1500 Bytes	CSMA/CD	CRC 32	
<b>Modbus Plus</b>	Peer to Peer	1Mbps	variable			
<b>Modbus RTU/ASCII</b>	Master/Slave	300 bps - 38.4Kbps	0-254 Bytes			
<b>Remote I/O</b>	Master/Slave	57.6 - 230 kbps	128 Bytes		CRC 16	none
<b>DH+</b>	Multi-Master, Peer<>Peer	57.6 kbps	180 Bytes			none

<b>PERFORMANCE (Sheet 4)</b>			
<b>Fieldbus Name</b>	<b>Cycle Time: 256 Discrete 16 nodes with 16 I/Os</b>	<b>Cycle Time: 128 Analog 16 nodes with 8 I/Os</b>	<b>Block transfer of 128 bytes 1 node</b>
<b>PROFIBUS DP/PA</b>	Configuration dependent typ <2ms	Configuration dependent typ <2ms	not available
<b>INTERBUS-S</b>	1.8 ms	7.4 ms	140 ms
<b>DeviceNet</b>	2.0 ms Master-slave polling	10 ms Master-slave polling	4.2 ms
<b>ARCNET</b>	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent
<b>AS-i</b>	4.7 ms	not possible	not possible
<b>Foundation Fieldbus H1</b>	<100 ms typical	<600 ms typical	36 ms @ 31.25k
<b>Foundation Fieldbus HSE</b>	Not Applicable; Latency <5ms	Not Applicable; Latency <5ms	<1ms
<b>IEC/ISA SP50</b>	Configuration dependent	Configuration dependent	0.2 ms @ 5 Mbps 1.0 ms @ 1 Mbps
<b>Seriplex</b>	1.32 ms @ 200 kbps, m/s	10.4 ms	10.4 ms
<b>WorldFIP</b>	2 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps
<b>LonWorks</b>	20 ms	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps
<b>SDS</b>	<1 ms, event driven	5 ms polling @ 1 Mbps	2 ms @ 1 Mbps
<b>ControlNet</b>	<0.5 ms	<0.5 ms	<0.5 ms
<b>CANopen</b>	<1 ms	5 ms polling @ 1 Mbps	<2.5 ms
<b>Industrial Ethernet</b>	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent
<b>Modbus Plus</b>			
<b>Modbus RTU/ASCII</b>			
<b>Remote I/O</b>	12msec @230, 40 msec @57.6 bus cycle time		
<b>DH+</b>			