

Teemu Apiainen

Ethernet/IP protokollan redundanttinen testaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

15.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Teemu Apiainen Ethernet/IP protollan DLR testaus
Sivumäärä Aika	59 sivua + 0 liitettä 15.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Automaation tietotekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Antti Liljaniemi Design Engineer Ilkka Typpö
<p>Tämä insinööryö tehtiin ABB Drives Oy yksikölle Pitäjänmäellä sijaitsevalle kenttäväylä osastolle. Työn tarkoituksena oli saada tietoa redundanteista kenttäväylistä, tehdä kestotesti testaus redundantti protokollalle ja testata redundantti protokollan toiminnallisia ominaisuuksia.</p> <p>Työn teoriassa tutustuttiin kenttäväyläteknologioihin ja redundanttiprotokoliin. Lisäksi tutustuttiin lyhyesti OSI-malliin ja teollisuus Ethernetin reaaliaikaisuuteen. Tämä teoria toimi pohjana redundanteille protokollille ja tehdyille testeille.</p> <p>Työn tavoitteista valmiiksi tuli kestotesti taajuusmuuntajan ja PLC:n välille. Tällä voidaan testata taajuusmuuntajan redundantti ominaisuuksia pitkäkestoisesti Ethernet/IP protokollassa. Työssä suoritettiin myös redundanttijärjestelmän suorituskykytestauksia, joiden tulokset vastasivat hyvin valmistajan antamia tuloksia. Tulevaisuudessa on mahdollisesti helppompi toteuttaa parempi kestotesti järjestelmä redundanteille protokollille.</p>	
Avainsanat	Ethernet/IP, protokolla, TCP/IP, kenttäväylä, logiikka

Author(s) Title	Teemu Apiainen Ethernet/IP protocol DLR testing
Number of Pages Date	59 pages + 0 appendices 15 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Automation IT
Instructor(s)	Antti Liljaniemi, Principal Lecturer Ilkka Typpö, Design Engineer
<p>This project was made for the ABB Drives Ltd. fieldbus department unit which located in Pitäjänmäki. The purpose was to find out information about the redundant fieldbuses, make resistance testing to redundancy protocol and test the redundant protocol functional properties.</p> <p>Project theoretically familiarized with fieldbus technologies and redundant protocols. In addition also go through briefly the OSI model and the real-time Industrial Ethernet. This theory was the base for redundant protocol testing.</p> <p>The objectives of the project were achieved and done became an endurance test between frequency converter and PLC. This test can test redundant features of frequency converter in long time period. The project was also carried out in redundant system performance tests, the results of tests were in similar compared to the manufacturer. In the future is potentially easier to implement better endurance test system to redundant protocols.</p>	
Keywords	Ethernet/IP, PLC, TCP/IP, fieldbus

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	2
2.1	ABB-yhtymä	2
2.2	ABB Oy Suomessa	6
2.3	ABB:n Drives yksikkö	7
3	Kenttäväylät	10
3.1	Yleistä kenttäväylistä	10
3.2	Viestintäarkkitehtuuri	11
3.2.1	OSI-viitemalli	11
3.2.2	Sovelluskerros	13
3.2.3	Siirtoyhteyskerros	13
3.2.4	Fyysinen kerros	14
3.3	Teollisuus-Ethernet	14
3.3.1	Yleistä	14
3.3.2	Power over Ethernet	16
3.3.3	Synkronointi	17
3.3.4	Reaaliaikaisuus	17
3.4	Ethernetin teollisuus protokollat	19
3.4.1	PROFINET	20
3.4.2	EtherCAT	22
3.4.3	MODBUS TCP	24
3.4.4	Ethernet/IP	26
4	Redundanttiset väyläprotokollat	29
4.1	Redundanttisuus	29
4.2	IEC 62439	30
4.2.1	Media Redundancy Protocol	31
4.2.2	Parellel Redundancy Protocol	32
4.2.3	High-availability, Seamless Redundancy Protocol	34
4.2.4	Coupled Redundancy Protocol	36

4.2.5	Beacon Redundancy Protocol	37
4.2.6	Distributed Redundancy Protocol	43
5	Testausjärjestelmän toteutus	45
5.1	Testien toteutus	45
5.1.1	Kestotesti	45
5.1.2	DLR testit	46
6	Yhteenveto	57
	Lähteet	58

Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boveri. Automaatio -ja sähkötekniikan yritys.
DLR	Device Level Ring. Redundantti väylä protokolla.
PLC	Programmable Logic Controller. Logiikka, käytetään automaatiojärjestelmien ohjauksessa.
DC	Direct current. Tasajännitteinen sähkö.
AC	Alternating current. Vaihtojännitteinen sähkö.
Ethernet/IP	Ethernet/Industrial Protocol. Kenttäväyläprotokolla.
OSI	Open Systems Interconnection. Kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardeja säätävä yhdistys.
SAP	Service Access Point. Tunnistus etiketti verkon päätepisteille.
MES	Manufacturing Execution System. Tuotannonohjaus menettely.
ERP	Enterprise Resource Planning. Toiminnanohjaus menetelmä
HTTP	Hypertext Transfer Protocol. Hypertekstin siirtoprotokolla on protokolla, jota selaimet ja WWW-palvelimet käyttävät tiedonsiirtoon.
SNMP	Simple Network Management Protocol. TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla.
VPN	Virtual Private Network. Virtuaalinen erillisverkko on tapa, jolla kaksi tai useampia yrityksen verkkoja voidaan yhdistää julkisen verkon yli.

TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol. Useaan Internet liikennöinnissä käytettävän tietoverkkoprotokollan yhdistelmä.
PoE	Power Over Ethernet. Voidaan syöttää käyttöjännite kierretyn parikaapelin avulla.
PSE	Power Sourcing Equipment. Laite joka säätää PoE laitteille.
NTP	Network Time Protocol. UDP pohjainen protokolla täsmällisen aikatiedon välittämiseen tietokoneiden välillä.
PTP	Precision Time Protocol. Protokollan avulla synkronoidaan kellot koko tietoverkkoon.
BE	Best Effort. Kuvaa verkkoa, jossa verkko ei anna mitään takeita informaation toimitukselle.
IRT	Isochronous Realtime. Samanaikainen reaaliaikajärjestelmä.
NRT	Non-Realtime. Ei reaaliaikainen järjestelmä.
RT	Realtime. Reaaliaikainen järjestelmä.
VLAN	Virtual Local Area Network.
ERTEC	Enhanced Real-Time Ethernet Controller. Reaaliaika piiri.
ASIC	Application Specific Integrated Circuit. Piiri joka on suunniteltu yhden tuotevalmistajan tarpeisiin.
UDP	User Datagram Protocol. Yhteydetön protokolla, joka ei vaadi yhteyttä laitteiden välille, mutta mahdollistaa tiedostojen siirron.
FPGA	Field-Programmable Gate Array. Digitaalinen mikropiiri, jonka sisältämä logiikka voidaan ohjelmoida helposti uudelleen

CIP	Common Industrial Protocol. Teollisuus protokolla automaatio ohjelmissä.
ODVA	Open DeviceNet Vendors Association. Standardi organisaatio yritys.
MRP	Media Redundancy Protocol.
PRP	Parallel Redundancy Protocol.
HSR	High-availability, Seamless Redundancy Protocol.
CRP	Coupled Redundancy Protocol.
BRP	Beacon Redundancy Protocol.
DRP	Distributed Redundancy Protocol.
RRP	Redundant Ring Protocol.
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol.
MRM	Media Redundancy Master.
MRC	Media Redundancy Client.
MAC	Media Access Control. Yksilökohtainen fyysinen osoite.
LAN	Local Area Network. Rajoitetulla maantieteellisellä alueella toimiva tietoliikenneverkko.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Teknologisten innovaatioiden edistämiseen omistautunut yhdistys.
SAN	Singly Attached Node.
RedBox	Redundancy Box.

1 Johdanto

Työskennelyäni ABB:llä neljä kuukautta harjoittelijana, tuli opinnäytetyö ajankohtaiseksi ja valinta tapahtui muutaman vaihtoehdon väliltä. Työhön päädyttiin valitsemaan Ethernet/IP Device Level Ring protokolla, koska aihe oli ajankohtainen. Työntavoite on testausjärjestelmän tuottaminen, teorian osuuden kasaaminen ja redundantin DLR protokollan ominaisuusmittaukset.

Opinnäytetyö tehtiin ABB Drives Oy:lle, Pitäjänmäen toimitilassa, jossa on ohjelmistokehitysosasto kenttäväyläsovittimille. Opinnäytetyön aiheena on taajuusmuuttajien kenttäväylämoduulien redundanttisten ominaisuuksien testaus. Opinnäytetyössä käydään teoriaa redundanttisista järjestelmistä, protokollista, väylätekniikasta ja tiedonsiirtomenetelmistä. Kestotesti ja DLR protokollan mittaukset toteutetaan käyttäen Allen Bradley'n logiikkaa, jossa on redundantti-korttisoitin Ethernet/IP väylä protokollalle. Työssä käytetään ABB:n taajuusmuuttajia ja väyläkortteja, ohjelmointi toteutetaan pääasiallisesti Rockwell:n ympäristössä. Kestotestijärjestelmässä testaus sisältää parametritiedonsiirron PLC:n ja taajuusmuuttajan välillä ja näiden vasteaikojen analysoinnin. Lisäksi mitataan Beckhoff:n teollisuus Ethernet koettimella DLR (Device Level Ring) verkon ominaisuuksia ja verrataan niitä valmistajan antamiin tuloksiin.

Tavoitteena on tuottaa kestotestijärjestelmä redundanttisten väyläkorttien testaukseen ja analysoida redundanttisia suorituskykyominaisuuksia Allen Bradley'n Beacon perusteisesta DLR verkossa. Tavoitteena on myös hankkia lisätietoa redundanteista protokollista yleisesti teoria tasolla. Redundantti DLR protokollaa aiotaan tutkia suorituskykyesteillä omassa järjestelmässä ja vertailla näiden antamia tuloksia valmistajan antamiin tuloksiin.

Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään redundantteja väyläprotokollia yleisesti teoriatasolla. Redundantti protokollan testaus toteutetaan käyttämällä DLR protokollaa PLC:n ja taajuusmuuttajien välillä. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään yleisesti tiedonsiirtomenetelmiä ja väylätekniikoita.

Opinnäytetyön toteutukseen käytetään kirjallisia lähteitä, Internet-lähteitä sekä yrityksessä tuotettua materiaalia.

2 Yritysesittely

2.1 ABB-yhtymä

ABB (Asea Brown Boveri Ltd) perustettiin 5.1.1988, kun ruotsalainen Asea sekä sveitsiläinen BBC Brown Boveri päättivät yhdistyä yhdeksi yritykseksi. Nykyään yrityksestä käytetään nimeä ABB. Yrityksen pääjohtajana toimii sveitsiläinen Ulrich Spiesshofer, hänet nimitettiin 17.4.2013 ABB:n pääjohtajaksi, kun Joe Hogan erosi henkilökohtaisiin syihin vedoten. ABB:n menestystä on ajanut erityisesti vahva panostus tutkimukseen ja kehitykseen. Yhtiöllä on seitsemän tutkimuskeskusta ympäri maailmaa ja panostus tuotekehitykseen on jatkunut kovaa vauhtia kaikilla markkinoilla. (ABB Intra 1 2015.)

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä. Pääkonttori sijaitsee Zürichissä Sveitsissä, yritys työllistää noin 150 000 henkilöä, joista Suomessa noin 5 200. ABB:llä on toimintaa yli 100 maassa. Yrityksen osakkeilla käydään kauppaa Zürichin, Tukholman ja New Yorkin pörsseissä. (ABB Intra 2 2015.) ABB ryhmä koostuu viidestä divisioonasta, jotka ovat puolestaan järjestäytyneessä suhteessa asiakkaisiin ja teollisuudelle jota se palvelee. Viisi liiketoiminta-aluetta ovat: (ABB Intra 1 2015.)

Sähkövoimatuotteet, divisioona tuottaa muuntajia, suuri- ja keskijännitekojeistoja, katkaisijoita, kytkinlaitteet, kondensaattorit, sähkönjakelun ja muuntimet sekä täydellisen valikoiman jännitetuotteita. (ABB Intra 1 2015.)

Sähkövoimajärjestelmät, divisioona tekee muun muassa sähköasemia, voimalaitos automaatioita, verkostoautomaatioita, avaimet käteen ratkaisuja perinteisten ja uusiutuvien energialähteillä, runkoverkko ja jakeluverkko toimituksia. Nämä ratkaisut ovat keskeisessä asemassa sähköntuotannon, joustavamman kehityksen, luotettavien ja älykkäämpien tuotteiden optimoinnissa. (ABB Intra 1 2015.)

Automaatiojärjestelmät, divisioonan tuotteisiin kuuluvat pienjännitetuotteet, taajuusmuuttajat, moottorit, tehoelektronikka, instrumentointi, generaattorit, mekaaninen voimansiirto, robotiikka, logiikat, tuuli muuntimet, aurinko invertterit, jännite regulaattorit, tasasuuntaimet, UPS-järjestelmät, heräte järjestelmät, luistonesto muuntimet ja nopeat DC laturit. (ABB Intra 1 2015.)

Pienjännite tuotteet, tuotteet ja ratkaisut soveltuvat useiden sähköisten sovellusten käyttöön taloautomaatiosta teollisuusrakennuksiin, mukaan lukien pienjänniteverkossa kytkimet, valvonta tuotteet, asennustuotteet, kotelot ja kaapeli järjestelmät. Nämä on suunniteltu varmistamaan turvallisuuden ja luotettavuuden. (ABB Intra 1 2015.)

Prosessiautomaatio tuotteet, divisioona tuottaa prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatiojärjestelmiä, laivojen sähkö- ja propulsiojärjestelmiä. Järjestelmät ja palvelut ovat suunniteltu optimoimaan tuottavuuden teollisuuden prosesseissa. Ratkaisut sisältävät avaimet käteen suunnittelun, ohjausjärjestelmät, mittauslaitteet, elinkaaripalvelut, ulkoistetun huollon. (ABB Intra 1 2015.)

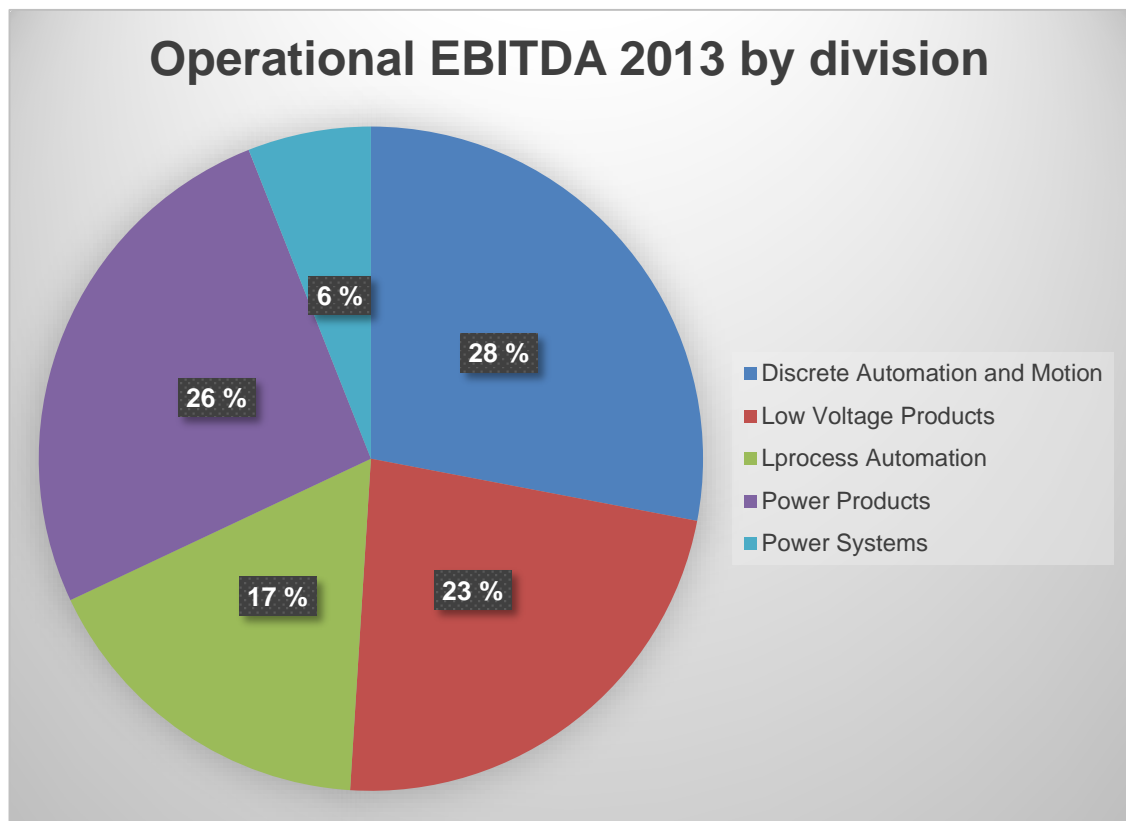
Nykyään ABB on yksi suurimmista toimittajista teollisuudessa. ABB on maailman johtava teollisuuden moottorien ja taajuusmuuttajien, tuuliturbiinigeneraattoreiden sekä sähköverkkojen toimittaja.

ABB on markkinaosuuksien valossa maailman suurin taajuusmuuttajien valmistaja. ABB:n markkinaosuus oli vuonna 2010 noin 20 %. ABB:n kovimmat kilpailijat taajuusmuuttajavalmistuksessa ovat Siemens ja Schneider Toshiba sekä kotimaisilla markkinoilla vaasalainen Vacon. (Eloranta 2010)

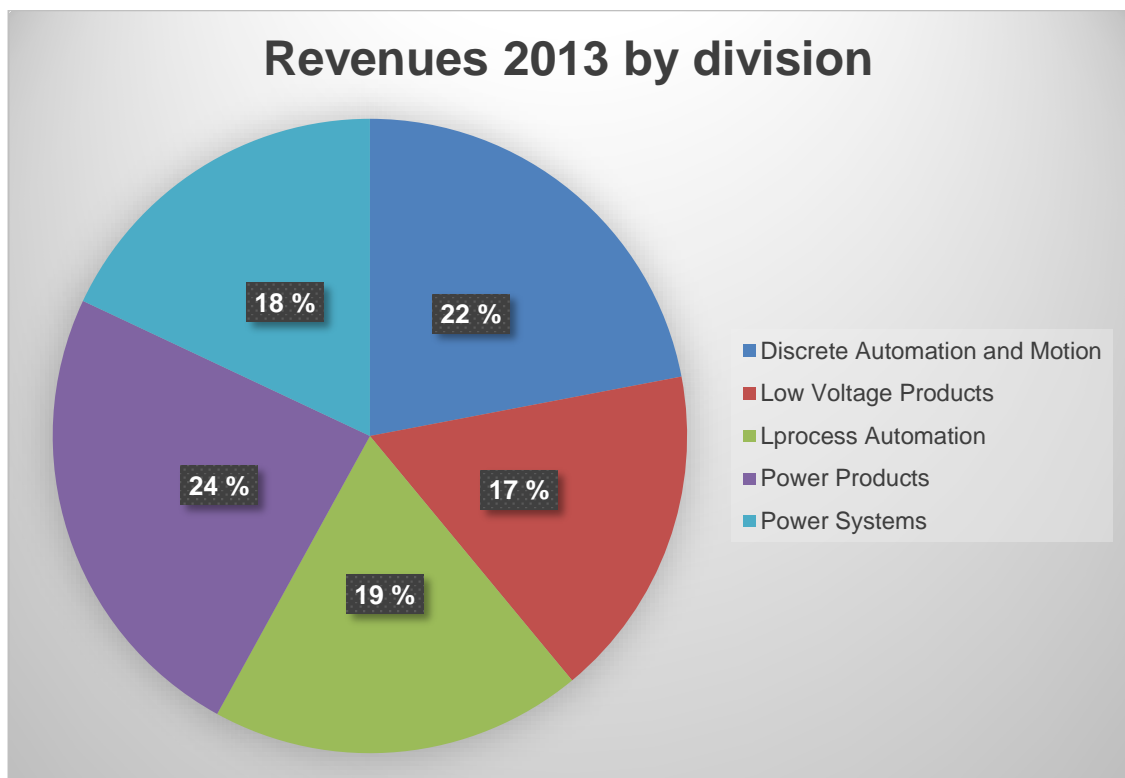
ABB-yhtymän liikevaihto oli vuonna 2012, 49,07 miljardia USA:n dollaria. Netto tulos oli 2,7 miljardia USA:n dollaria. Vuonna 2013 liikevaihto oli 48,064 miljardia USA:n dollaria. Nettotulos nousi hieman edellisvuoteen verrattuna tämä on esitetty taulukossa 1. ABB:n operatiivisen käyttökattteen jakautuminen on esitetty kuvassa 1. ABB:n liikevaihdon jakautuminen sisäisesti on esitetty kuvassa 2. ABB:n työntekijöiden jakautuminen sisäisesti on esitetty kuvassa 3. ABB:n tilausten jakautuminen maailmanlaajuisesti on esitetty kuvassa 4.

Taulukko 1. ABB yhtymän avainluvut 2008. (ABB Intra 3 2015.)

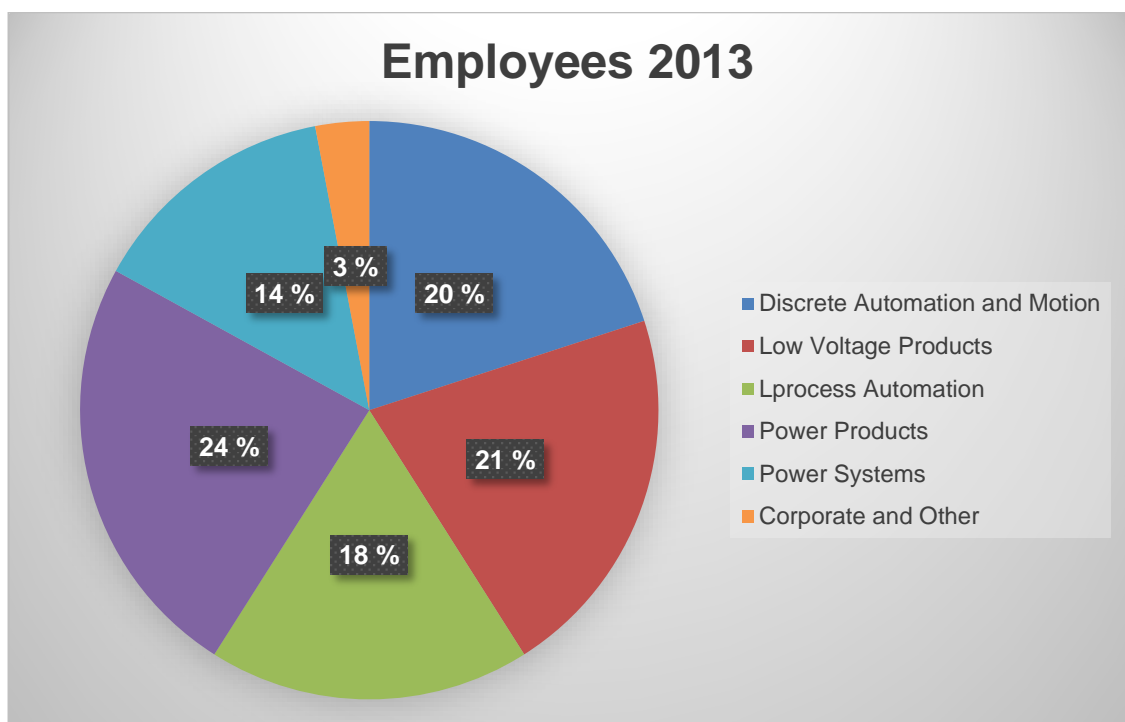
Vuosi	2013	2012
Tilaukset	38,896	40,232
Liikevaihto	41,848	39,336
Tuotot	4,387	4,058
% osuus liikevaihdosta	10,50 %	10,30 %
Operatiivinen käyttökate	6,075	5,555
% osuus operatiivisesta käyttökatteesta	14,50 %	14,20 %
Nettotulos	2,787	2,704
Osakekohtainen tulos (\$)	1,21	1,18
Osakekohtainen osinko CHF	0,7	0,68
Liiketoiminnan rahavirta	3,653	3,779
Vapaa kassavirta	2,632	2,555
% osuus nettotulosta	94 %	94 %
Sijoitetun pääoman tuotto	11,60 %	12,10 %
Työntekijät	147700	146100



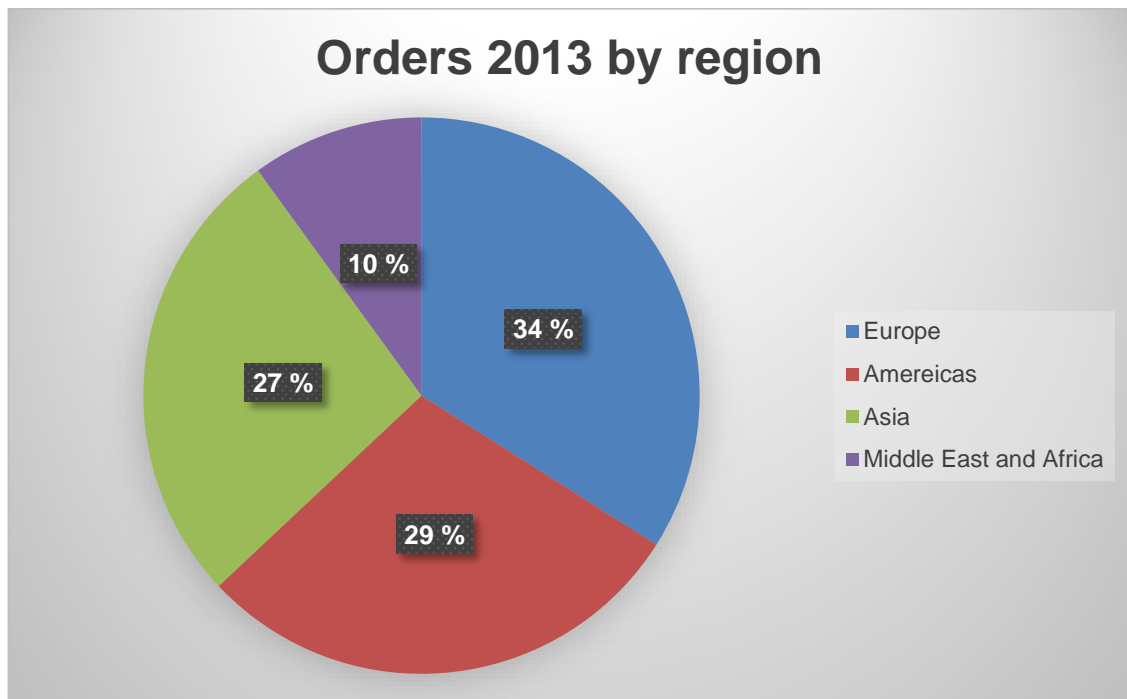
Kuva 1. ABB:n Operatiivinen käyttökate. (ABB Intra 4 2013.)



Kuva 2. ABB:n liikevaihto divisioonittain. (ABB Intra 4 2013.)



Kuva 3. ABB:n työntekijöiden jakautuminen divisioonittain. (ABB Intra 4 2013.)



Kuva 4. ABB:n n tilausten jakautumista maailmanlaajuisesti. (ABB Intra 4 2013.)

2.2 ABB Oy Suomessa

ABB on jatkanut Suomessa menestyksekkäästi Strömbergin jälkeen vuodesta 1988. Johtavan globaalin sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymän voima on huipputeknologiassa, globaalissa jalanjäljessä ja vahvoissa paikallisissa juurissa. (ABB Intra 6 2015)

ABB:n juuret Suomessa ulottuvat vuonna 1863 syntyneeseen Axel Gottfrid Strömbergiin. Strömberg oli jo hyvin nuorena kiinnostunut sähkötekniikasta ja valmisti Suomen ensimmäisen tasavirtakoneen vuonna 1880. Koulutuksen hän hankki Saksasta ja hänestä tuli Suomen ensimmäinen sähkötekniikan opettaja vuonna 1887. Oman yrityksen hän perusti vuonna 1889. Strömbergin suunnittelemat sähkökoneet olivat aikansa huippua ja saivat paljon huomiota kansainvälisissä näyttelyissä, joissa voittivat useita palkintoja. 1900-luvun alkupuolella Strömbergin yritys kasvoi nopeasti ja hän hankki koneliike Tarmon, josta muodostettiin Kone Oy. Kaupunkisähkölaitoksia rakennettiin ja maaseutua sähköistettiin nopeasti. Vaihtovirran lyötyä itsensä läpi sähköistyksessä, alkoi siihen liittyvien koneiden, muuntajien ja oikosulkumoottoreiden teollinen valmistus. 1900-luvun

puolessavälissä Strömberg oli noussut Suomen kymmenen suurimman teollisuusyrityksen joukkoon ja osallistui Suomen sotakorvauksien maksuun valmistamalla ja toimittamalla tuotteitaan maailmalle. (ABB Intra 5 2015)

Suomessa toimivan ABB Oy:n merkittävä asema perustuu Gottfrid Strömbergin Helsinkiin 1889 perustamaan sähköteknisen alan yhtiöön. Oy Strömberg Ab siirtyi Asean omistukseen vuonna 1987. Suomessa on siis sähkövoima- ja automaatioteknologioiden erityisosaamista jo 120 vuoden ajalta. ABB Oy:n toimitusjohtajana toimii tällä hetkellä Tauno Heinola. (ABB Intra 5 2015)

Suomessa ABB toimii noin 21 paikkakunnalla. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. ABB on Suomen suurin teollisuuden kunnossapitäjä. ABB työllistää Suomessa noin 5 200 henkilöä. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista. Helsingin Pitäjämäellä ABB:n toiminta on keskittynyt moottoreihin, generaattoreihin, taajuusmuuttajiin, energianhallintajärjestelmiin, linjakäyttöihin, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisuihin, tehdastietojärjestelmiin ja kunnossapitopalveluihin. Helsingin Vuosaassa on keskittyty sähköistys- ja automaatiotratkaisuissa meriteollisuuteen ja Azipod® -ruoripotkurijärjestelmissä. Vaasassa ABB:n tuotantoon kuuluvat moottorit, erikoismuuntajat, kytkintuotteet, releet, sähkönverkon ohjaus, valvonta ja automaatio, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät, energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisut sekä tehdastietojärjestelmät. Porvoon tehdas on keskittynyt sähköasennustuotteisiin. Suomen ABB:n liikevaihto on noin 2,1 miljardia euroa ja tuotekehitykseen käytetään vuosittain noin 204 miljoonaa euroa. (ABB Intra 5 2015)

Liiketoiminnoittain katsottaessa ABB Oy:n liikevaihdollisesti suurin liiketoiminto on automaatiotuotteet. Muut merkittävät liiketoiminnot Suomessa ovat prosessiautomaatio, sähkövoimatuotteet ja huolto, joka tuottaa huolto- ja kunnossapitopalveluita asiakkailleen. (ABB Intra 5 2015)

2.3 ABB:n Drives yksikkö

Suomen ABB:n Drives -yksikkö kehittää ja valmistaa pienjännitteisiä taajuusmuuttajia ja niihin liittyviä ohjelmistotyökaluja. Yksikkö vastaa maailmanlaajuisesti taajuusmuuttajien myynnistä ja markkinoinnista sekä tutkimuksesta ja tuotekehityksestä ABB:llä. (ABB Intra 7 2015)

Vuonna 2014 ABB:n asentama taajuusmuuttajakanta säästi sähköä 445 terawattituntia, mikä vastaa yli 110 miljoonan eurooppalaisen kotitalouden vuosittaista sähkönkulutusta. Jos tämä sähkö olisi tuotettu fossiilista polttoainetta käyttävissä voimalaitoksissa, ABB:n taajuusmuuttajat olisivat vähentäneet hiilidioksidipäästö- ja 370 miljoonaa tonnia, mikä vastaa yli 90 miljoonan ajoneuvon vuosittaisia päästöjä. (ABB Intra 7 2015)

Maailmanlaajuisesti ABB:n taajuusmuuttajabisnes työllistää 5000 henkilöä yli 80 maassa. Pitäjänmäen tehtaalla Helsingissä työskentelee noin 1300 henkilöä, joista 400 tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa. (ABB Intra 7 2015)

ABB Drives-yksikkö kuuluu ABB:n Discrete Automation and Motion yksikköön ja se on keskittynyt taajuusmuuttajatuotantoon. Se sijaitsee Pitäjänmäen kampuksella Helsingissä. ABB Drives on jakautunut kuuteen liiketoimintayksikköön: Low voltage AC, Medium voltage AC, DC, Motion control, Services ja Connectivity. (ABB Intra 7 2015)

Low voltage AC, liiketoimintayksikkö kattaa koko taajuusmuuttajien kirjon. Se sisältää pienikokoisia mikrotaajuusmuuttajia, laiterakennukseen optimoituja taajuusmuuttajia, teollisuustaajuusmuuttajia sekä sovelluskohtaisia taajuusmuuttajia, jotka sisältävät tiettyyn käyttötarkoitukseen suunniteltuja ominaisuuksia ja toimintoja. (ABB Intra 7 2015)

Medium voltage AC, liiketoimintayksikkö tuottaa keskijännitetaajuusmuuttajia monenlaisiin kaivos- ja mineraali-, energia-, vesi-, metalli-, meri-, kemian- sekä öljy- ja kaasuteollisuuden käyttötarkoituksiin. Niiden avulla moottorin nopeus sovitetaan todellisen tarpeen mukaiseksi, mikä parantaa energiatehokkuutta ja pienentää hiilidioksidipäästöjä. (ABB Intra 7 2015)

DC, liiketoimintayksikkö tuottaa tasavirtakäyttöjä joita voidaan käyttää lähes missä tahansa teollisessa sovelluksessa joko osana uutta järjestelmää tai kustannustehokkaana jälkiasennuksena. Valikoima perustuu uusimpaan ohjausteknologiaan, ja siinä on tasavirtakäyttöjä 9 kilowatista aina 18 megawattiin asti. Ohjelmoitavuutensa, sisäänrakennettujen ohjausohjelmiensa sekä tiedonsiirto- ja I/O-lisävarusteidensa ansiosta taajuusmuuttajien integrointi järjestelmiin prosessien vaatimuksista huolimatta on mahdollista. (ABB Intra 7 2015)

Motion control, liiketoimintayksikkö tuottaa kone ja automaatio valikoimaan kuuluvat servot, teollisuus taajuusmuuttajat, kone taajuusmuuttajat, robotiikan, turvakomponentit, turvallisuus ohjaimet, PLC ja tarvittavat oheistuotteet ohjauskaappiin. (ABB Intra 7 2015)

Services, liiketoimintayksikön taajuusmuuttajien ja tasavirtakäyttöjen palveluvalikoiman tehtävä on pitää laitteet parhaassa mahdollisessa suorituskyvyssä ja taata niille mahdollisimman pitkä käyttöikä ostohetkestä aina käytöstä poistoon asti. (ABB Intra 7 2015)

Connectivity, liiketoimintayksikkö tuottaa liitännätuotteita taajuusmuuttajille. ABB-taajuusmuuttajissa on järjestelmille ja käyttäjille tarkoitettuja liitännöitä, jotka laajentavat taajuusmuuttajien perustoimintoja ja tiedonsiirto-ominaisuuksia. Laajaan liitännätuotevalikoimaan kuuluu esimerkiksi kenttäväyläsovitin, turvatoimintomoduuleja, käyttöliittymiä ja oheislaitteita. (ABB Intra 7 2015)

3 Kenttäväylät

3.1 Yleistä kenttäväylistä

Käsitteenä kenttäväylä ei ole yleisesti määritelty. Eri standardien ja väyläteknologioiden kenttäväylän käsite voidaankin ymmärtää monin eri tavoin. Yleisesti kenttäväylät nähdään osana laiteverkkoja, joista väyläteknikka on nykyisin suurin kehityksen kohde ja kenttäväyläteknologia toteutuksessa sillä on merkittävän iso merkitys.

Kenttäväylä on teollisuuden tiedonsiirtojärjestelmä jolla on reaaliaikainen ja hajautettu ohjaus. Se on tapa liittää eri toimintalaitteita toisiinsa teollisuudessa. Kenttäväylä toimii käyttäen verkossa rakennetta, jossa tyypillisesti mahdollistetaan ketjuttamaan laitteita toisiinsa topologioissa kuten, tähti, rengas, haara, ja puu verkkotopologiat. Aiemmin teollisuudessa kytkennät tapahtuivat käyttäen analogista 4-20 mA viestintä järjestelmää, joka edellyttää että jokaisella laitteella on oma kommunikointi kontrolloitavaan laitteeseen. Kenttäväylässä tiedonsiirtolaitteille tapahtuu digitaalisesti yhtä fyysistä kaapelia käyttäen, joka mahdollistaa useiden digitaalisesti ja analogisesti ohjattavien laitteiden kytkemisen samalla kaapelilla. Tämä vähentää sekä kaapelin pituus tarvetta ja kaapeleita ei tarvita useampia. Laitteet jotka kommunikoivat kenttäväylän kanssa vaativat mikroprosessorin ja tämä on aloittanut protokollien kehittämisen.

Kenttäväylässä on syklistä ja asyklistä tiedonsiirtoa. Syklinen tiedonsiirto on toistuvaa, ja jatkuvaa mittaustiedon välittämistä, tai ohjaussignaalin välittämistä. Asyklinen tiedonsiirto koostuu yleensä tapahtumista, joita voivat olla hälytykset ja konfigurointi.

Kenttäväylä tekniikoita kehittävät nykypäivänä useat eri valmistajat. Tämän hetkessä tilanteessa vallitsee kaikki haluavat esitellä tuotteitaan standardin mukaisena. Tämän todistamiseen käytetään viittauksia sekä OSI-malliin, että kenttäväylän kerrosmalliin, vaikka yhtäläisyyttä ei todellisuudessa olisi. Valmistajien välillä on kova kilpailu, joka vaikuttaa standardien luomiseen ja niiden kehittämiseen. Erinäisistä syistä eri valmistajat yrittävät tehdä tuotteisiinsa piirteitä, joilla pyritään sitomaan käyttäjät juuri heidän automaatiotuotteisiinsa. Maailmanlaajuisesta standardista hyötyisivät näin ollen vain käyttäjät, eivät valmistajat. Standardointi nähdään silti kilpailuvalttina ja valmistajat haluavatkin tuoda esiin yleisesti hyväksytyjä malleja, joilla on viittauksia OSI-malliin ja kenttäväylän kerrosmalliin. (Pyyskänen 2007: 89-90.)

3.2 Viestintäarkkitehtuuri

3.2.1 OSI-viitemalli

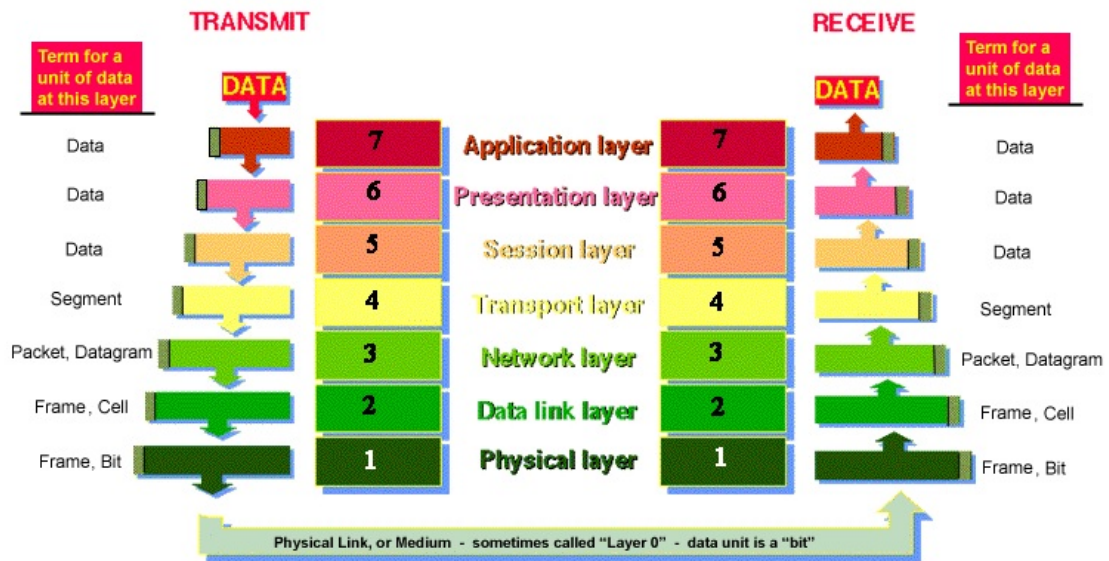
OSI-viitemalli kehitys alkoi vuonna 1977, kun ISO (International Organization for Standardization) komitea alkoi kehittämään tietoliikenteelle toimivaa toimintamallia. Toimintamalli perus ideana oli luoda laitteille ja verkkokäyttäjille ympäristö, jossa järjestelmät voisivat kommunikoida sujuvasti keskenään. Tämän etuna oli että päästäisiin eroon erilaisista ja eri tarpeisiin kehitetyistä verkkojen yhteensopivuus eroista. Tietoliikennemaa-ilmassa monimutkaisissa kokonaisuuksissa käytetään kerroksiin jaettua arkkitehtuuria ja vuosien työn tuloksena syntyi OSI-viitemalli (Open Systems Interconnection), joka hyväksyttiin ISO:n toimesta vuonna 1983. Viitemalli ei itsessään ole tuote tai protokolla, vaan se määrittelee kehykset tietoliikenteen standardoinnille. Se siis muodosti perustan sille, miten laitteita liitettäisiin toisiinsa hajautetuissa järjestelmissä. (Kaario 2002:18–19.)

OSI-viitemalli on jaettu seitsemään erilliseen prosessointikerrokseen. Jokainen kerros tarjoaa ylemmälle kerrokselle palveluita käyttäen alemmalta kerrokseltaan saamiaan palveluja. Kerrokset rakentuvat alempana olevan kerroksen toimintojen mukaan. Jokainen kerros on eroteltu toisistaan rajoilla, jota sanotaan rajapinnaksi. Rajapintojen kautta välittyvät kaikki kyselyt kerroksien välillä. Rajapinnoilla on SAP-palvelupisteitä (Service Access Point), joissa on tehty kerrosten välinen kommunikointi määrittely. Eri kerrosten oliot antavat ja ottavat palveluita käyttäen näitä SAP-pisteitä ylemmälle ja alemmalle kerrokselle. Alimmat neljä kerrosta muodostavat varsinaisen tietoliikennepalvelun. Ylemmät kerrokset toimivat pääasiallisesti käyttäjiä ja sovellusohjelmistoja. Yleinen kenttäväylästandardi hyödyntää OSI-mallin määrittelemistä kerroksista vain kolmea, fyysistä kerrosta, siirtoyhteyserrosta sekä sovelluserrosta. Muut kerrokset ovat jääneet käyttämättä tai niiden ominaisuuksia on integroitu osaksi edellä mainittuja. Jokainen kerros on riippumaton viereisistä mutta tukeutuu alemman kerroksen tarjoamiin palveluihin. Taulukossa 2. kuvataan OSI-mallin kerrokset ja selitetään niiden toimintaa. (Piikkilä 2006: 83–84.)

Taulukko 2. OSI-viitemallin kerrokset kuvauksineen. (Piikkilä 2006: 83–84.)

n:o	Nimitys	Kuvaus
7	Sovelluskerros	Ikkuna, jonka kautta sovellukset ja niiden prosessit kiinnittyvät verkkoon.
6	Esitystapakerros	Huolehtii siirrettävien tietojen kuvaamisesta. Kompressoii, kryptaa ja suorittaa tiedon esitystapa- ja koodimuutokset.
5	Istuntokerros	Huolehtii istunnoista, tämä tarkoittaa käytännössä viestintäsuhteiden hallintaa ja tahdistustoimintojen tarjoamista.
4	Kuljetuskerros	Tehtävänä vuonhallinta ja virheiden korjaus. Huolehtii siis luotettavasta tiedonsiirrosta laitteiden välillä.
3	Verkko-kerros	Päätehtävä reititys. Valitsee reitin, jota pitkin data kuljetetaan lähetettävältä laitteelta vastaanottavalle laitteelle.
2	Siirtoyhteyskerros	Suorittaa sanomien siirron ja valvonnan solmupisteiden välillä. Huolehtii siirtoyhteysklien loogisesta rakentamisesta ja niiden purusta.
1	Fyysinen kerros	Huolehtii fyysisellä tasolla tiedon siirrosta tarjoamalla sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet sekä menetelmät tätä varten.

OSI-viitemallin kerrokset on luotu niin, että ne vaikuttavat toimivan niin kuin voisivat kommunikoida toiseen laitteen saman kerroksen kanssa suoraan välittämättä alemmista kerroksista. Jokaisen viitekehäksen on kuitenkin kuljettava lähettävän laitteen fyysisen kerroksen kautta vastaanottavan laitteen fyysiselle kerrokselle ja tästä edelleen osoitteen perusteella vastaavalle kerrokselle kuin kerros, jolta se lähti. OSI-mallin toimintaa laitteiden välillä on esitetty kuvassa 5. (Granlund 2007: 7–11.)



Kuva 5. OSI-mallin toiminta laitteiden välillä.

3.2.2 Sovelluserros

Sovelluserros tarjoaa sovelluksille rajapinnan OSI-järjestelmään. Sen tarkoitus on määrittää millaisia sovelluksia ja toimintoja kenttävyöhyke-sovelluksessa voidaan toteuttaa. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi ohjelmien upload ja download, prosessien aikataulutus ja tapahtumien raportointi. Sovelluserros sisältää myös tuen puskuille ja jonoille. (Sovelluserros 2008.)

Sovellustaso on abstraktio kerros, joka määrittää rajapinnan sovelluksille OSI-järjestelmään. Sovelluserros määrittää suoraan millaisia sovelluksia voidaan liittää kenttävyöhykseen. Sovelluserroksen protokollat on yleensä suunniteltu vastaamaan sovelluksen tietoliikennetarpeita, kuten reaaliaikaisuus, asynkroninen viestintä, viestinvälitys tai mittausdata. Sovelluserroksen määrittelee sovelluksen rakenteen, kuten informaation sijainnin, sovelluksen eri osien tehtävät, tiedonsiirto protokollan tai dataformaattit. (Sovelluserros 2008.)

3.2.3 Siirtoyhteyserros

Siirtoyhteyserroksen tehtävä on huolehtia tiedonsiirrosta eri kommunikoivien laitteiden välillä. Siirtokehys vastaanottaa bittijonon fyysiseltä kerrokselta ja selvittää jos siirrossa

on tapahtunut virheitä. Siirtokerros jakaa saamansa paketit verkkokerrokselta kehyksiin, jotka se erottaa eri tunnuksilla. Siirtokerros käsittelee virheet tapauskohtaisesti ja toimintatavat voivat erota eri tapauksissa. Virheelliset kehykset lähetetään uudelleen tai sitten ne tuhoetaan. Tuhoaminen perustuu siihen, että jossain tiedonsiirrossa oleellista on bittien tasainen virta, kun taas joissain tiedonsiirrossa virheettömyys on ehdoton edellytys. (Karvo 2004: 118–144.)

Siirtokerroksen täytyy pystyä kuittaamaan saamansa kehykset jotenkin, jotta lähettäjä voisi tietää tarvitseeko kehystä lähettää uudelleen. Kaksisuuntaisessa liikenteessä tämä ei ole ongelma kun kuittaukset liitetään lähetettäviin kehyksiin. Yhteen suuntaan menevässä liikenteessä täytyy käyttää erityisiä kuittaus kehyksiä. Kehykset ja kuittauskehykset voivat myös tuhoutua matkalla ja näin siirtokerroksen täytyy pystyä tunnistamaan eri kehykset, jotta se osaisi toimittaa oikeat kehykset. (Karvo 2004: 118–144.)

Siirtokerroksen täytyy pystyä myös säätelemään bittivirran nopeutta, jotta se ei ylikuormita vastaanottajan puskuria ja aiheuta kehysten hukkumista. (Karvo 2004: 118-144.)

3.2.4 Fyysinen kerros

OSI-mallin alin kerros on fyysinen kerros (physical layer). Tämä kerros määrittää mekaaniset, fyysiset ja toiminnalliset ominaisuudet tiedonsiirrossa. Fyysinen kerros siis määrittelee kuinka tiedonsiirron fyysinen siirtotie ja signaalintimenetelmät toimivat. Kenttäväylissä voidaan käyttää kolmea eri fyysistä siirtotietoa, jotka ovat kierretty parikaapeli, valokuitu ja langaton tiedonsiirto. Signaalintimenetelmä kertoo tiedonsiirtonopeuden ja digitaalisen signaalin koodauksen binäärimuotoon. Fyysinen kerros määrittelee siis kaiken mitä tarvitaan yhdistämään laite kenttäväyläverkkoon. (Granlund 2007: 9-10.)

3.3 Teollisuus-Ethernet

3.3.1 Yleistä

Ethernet ei ole suunniteltu teollisuuskäyttöön, mutta sillä on etuja perinteisiin kenttäväyliin nähden. Teollisuus-Ethernetin taustalla on ollut automaatiojärjestelmien kasvava tietoliikennetarve. Ethernetin käyttö kenttätasolla mahdollistaa paremmin kenttätason liittämisen ylempien tasojen tiedonsiirtojärjestelmiin. Kenttälaitteisiin sulautetaan nykyään

aikaisempaa enemmän älyä ja tämä lisää siirrettävän tiedon määrää. Laitetason tiedon käyttöä tuodaan enemmän ylempiin järjestelmiin, jolloin siirrettävä tiedon määrä ja aika kriittisyys kasvavat.

Automaatiojärjestelmistä halutaan tuotantotiedon lisäksi laatutietoa ja kunnossapitotietoa muille järjestelmille (MES, ERP). Automaatiota hyödyntävien yritysten tavoite on integroida kaikki tuotantoon liittyvä tieto suoraan myyntiin. Prosessin laatua on voitava valvoa ja säätää entistä nopeammin ja reaaliaikaisesti. Ennakoinnilla on suuri merkitys huollossa ja siksi halutaankin huoltotietoa laitteistoista, jotta huolto olisi reaaliaikaista ja ennakoivaa. (Sundquist 2008: 67.)

Automaation laitetoimittajat haluavat päästä suoraan käsiksi diagnostiikkatietoon, jotta he voivat myydä huoltosopimuksia suoraan tehtaille. Toimittajat haluavat siis myydä käytettävyyttä ja tämä vaatii tietoliikenteeltä ja tietoturvalta entistä enemmän. Etäyhteydet ja etähallinta ovat suoraan riippuvaisia Ethernetin käytöstä (HTTP, SNMP ja VPN-ratkaisut). (Sundquist 2008: 67.)

Ethernetin suuri etu on, että se ei rajoitu olemassa oleviin protokolleihin, koska Ethernet-pakettiin voidaan kapseloida mikä tahansa verkkokerroksen protokolla. Ethernet:ä tukee hyvin moni toimittaja ja sen edullisuus ovat Ethernetin suurimpia etuja. Hyvällä suunnittelulla ja Ethernet-pohjaisilla ratkaisulla saadaan riittävän suorituskykyiset ja tietoturvaliset ratkaisut. Ethernet sopiikin erinomaisesti suurten verkkojen toteutukseen, koska sillä on suuri laiteavaruus verrattuna joihinkin perinteisiin kenttäväyliin, sekä se mahdollistaa rinnakkaisten protokollien käytön samassa väylässä. Vaikka Ethernetin käyttö kenttätasolla on houkuttelevaa, ei se kuitenkaan ole aivan ongelmaton. Tyypillisesti käytetyt protokollat, kuten TCP/IP, sisältävät väyläohjausta, kuten yhteyden avauksen, sulkemisen ja jokaisen paketin kuittauksen. Tästä aiheutuu se, että Ethernet-protokollat soveltuvat huonosti pienien tietomäärien käsittelyyn. Ethernet paketin minimikoko on 64 tavua ilman herätettä ja alkuosoitinta. Tämä on melko olematon haitta, jos ajatellaan että Ethernetillä saavutettu bittinopeus on esimerkiksi 100 Mb/s vastaan perinteisen RS485/422 kenttäväylän bittinopeutta, joka on luokkaa 9,6 Kb/s. Lähetettävän datamäärän kasvu ei juuri vaikuta, koska samassa ajassa saadaan lähetettyä moninkertainen datamäärä. (Kämäri 2005.)

Ethernetin ongelmaksi teollisuudessa ja automaatioissa nousee yleensä sen reaaliaikaisuus ja epädeterministinen käyttäytyminen. Ethernetin toteutustapa rajaa jonkin verran

sen sovelluskohteita muun muassa epädeterministisyyden johdosta. Järjestelmän koon kasvaessa myös verkon epädeterministisyys kasvaa ja viiveet verkossa lisääntyvät. Epädeterministisyys muodostuu ongelmaksi, jos verkkoa halutaan käyttää johonkin determinististä ympäristöä vaativaan käyttöön, kuten hyvin aikakriittiseen toimintaan. Ethernet-verkon reaaliaikaisuus voidaan saada hallintaan käyttämällä kytkentäpohjaisia verkkoa, sekä segmentoimalla verkko siten, että ylikuormittumista ei pääse tapahtumaan. Determinististä käyttäytymistä saadaan parannettua laitteiden synkronoinnilla, kuten käyttämällä hajautettuja järjestelmäkelloja. Taulukossa 3. on esitetty kaupallisesti tunnettuja Ethernet pohjaisia protokollia. (Kämäri 2005.)

Taulukko 3. Kaupallisia Ethernet pohjaisia kenttäväylä teknologioita.

Teknologia	Valmistaja
Ethernet/IP	Rockwell
PROFINET	Siemens
EtherCAT	Beckhoff
Powerlink	B&R
Modbus TCP	Schneider Electric
SERCOS III	Besch Rexroth
Fieldbus Foundation HSE	Fieldbus Foundation

3.3.2 Power over Ethernet

PoE (Power Over Ethernet) on IEEE 802.3af -standardin mukainen tapa siirtää tehoa Ethernet-kaapeloinnissa. PoE avulla saadaan tuotua toimilaitteille virta samassa kaapelissa eikä tarvita kytkentä virtakaapeleita. Teho voidaan siirtää joko vapaissa johtopareissa tai datapareissa. Tehon siirtämiseen käytetään aina kahta johtoa sekä negatiiviselle että positiiviselle jännitteelle. Standardin mukaan PSE-laite (Power Sourcing Equipment) voi käyttää kumpaa tahansa tapaa tehon lähettämiseen. Parikaapeliin syötetty jännite vaihtelee 44 - 57 voltin välillä riippuen tapauksesta ja häviöistä. Liitettävä laite muodostaa tästä PoE-jännitteestä itselleen sopivan käyttöjännitteen. (Kämäri 2005.)

3.3.3 Synkronointi

Järjestelmän vaatimukset reaaliaikaisuudelle jaetaan kovaan ja pehmeään luokkaan. Kova vaatimus tarkoittaa, että järjestelmän on kyettävä vastaamaan kaikissa mahdollisissa tilanteissa vaaditun ajan puitteissa. Pehmeä vaatimus ei johda vaaratilanteeseen, vaan suoritusnopeuden hidastumiseen ja sen seurauksena on järjestelmän tehokkuuden heikkeneminen. Järjestelmän deterministisyys on järjestelmän kyky ohjata kahta erillistä laitetta täysin samanaikaisesti ja se vaatii järjestelmältä viiveiden ennakoitavuutta. Deterministisessä järjestelmässä tiedonkulunviive on tarkasti tunnettu ja pysyy vakiona. (Mohl 2006.)

Järjestelmässä tulee olla kelloja jotka hallitsevat toimintaa. Näiden kellojen tulee olla synkronoituja eri laitteille välillä, jotta toiminta olisi samanaikaista. Kellojen synkronointi varmistaa tietoliikenteen samanaikaisuuden ja sillä vältetään ongelmatilanteita. Reaaliaikaisuuden ja etenkin deterministisyyden varmistamiseksi pitää olla keino synkronoida järjestelmän eri laitteiden kellot mahdollisimman tarkasti toimimaan samassa ajassa. Tähän käytetään, joko NTP-menetelmää (Network Time Protocol) ja mikäli vaatimukset deterministisyydelle ovat suuria, voidaan käyttää tarkempaa PTP-menetelmää (Precision Time Protocol). (Mohl 2006.)

3.3.4 Reaaliaikaisuus

Reaaliaikaisuus on nykyään kaikkien huulilla. Se on ollut saatavilla vain optimoituihin erityisjärjestelmiin. Mutta kuten kaikki asiat teollisuuden kommunikoinnissa muutos on alkanut tapahtua ja reaaliaikaisuutta tuetaan jo hyvin monella alueella. Precision Time Protocol ja Network Time Protocol tarjoavat vankan perustan reaaliajassa toimimiselle teollisuudessa. (Mohl 2006.)

Reaaliaikaisuudella tarkoitetaan toimintojen suorittamista ketjuna ilman merkittäviä ajallisia katkoksia. Reaaliaikaisuus määritellään tiedon hyödyllisyyden tai käytettävyyden mukaan. Reaaliaikaisuudella ei ole mitään rajoja vaan se toteutuu toimenpiteiden tapahtuessa jonkin annetun ajan puitteissa. Reaaliaikaisuudelle asetettavat vaatimukset on etukäteen määriteltävä sovellukselle. Järjestelmälle asetettavat vaatimukset on arvioitava järjestelmän mukaan ja otettava huomioon ohjausjärjestelmän viiveet eli vasteet. Vasteita aiheuttavat tekijät ohjausjärjestelmässä ovat tiedon mittaaminen, siirto, käsittely

ja toimenpiteiden suorittaminen. Taulukossa 4. on esitetty teollisuusautomaatiossa yleisesti tapahtuvia vasteaikoja. (Pyyskänen 2007: 119–120.)

Taulukko 4. Teollisuusautomaation vasteaikoja. (Pyyskänen 2007: 120.)

Ohjausvaste:			Operointi- vaste:			Signaalin lä- päisy:	
Tarkka ajoitusteh- tävä	< 20 ms		Käsiohjaus	< 1 s		Hälytys	< 500 ms
Nopea säätöteh- tävä	< 50 ms		Näyttöjen päivitys	< 1 s		Huolto- ja vi- kailmoitus	< 5 s
Ohjaus, säätö yh- teensä	< 200 ms		Parametrien asetus	< 5 s		Diagnostiikka	< 10 s
Hidas säätö, kytki- men luku	< 1 s						

Luokaton palvelu

Luokattomassa palvelussa (Best Effort, BE) liikenteen tiedon hyödyllisyydellä ei ole ajan suhteen takarajaa. Tieto on siis aina yhtä hyödyllistä. Tällaista on esimerkiksi normaali TCP/IP liikenne. (Sundquist 2008: 62.)

Kova reaaliaikaisuus

Kovassa reaaliaikaisuudessa hyödyllisyydellä on takaraja, jonka jälkeen tieto on arvotonta tai jopa haitallista. Kovaa reaaliaikaa voisi kuvata myös niin, että jos vastetta ei saada tuotettua aikarajojen sisällä, sitä ei kannata tuottaa lainkaan. Esimerkiksi auton peruutus-
tutkan antama etäisyys on turha jos auto on jo törmännyt. (Sundquist 2008: 62.)

Pehmeä reaaliaikaisuus

Pehmeässä reaaliaikaisuudessa tiedon käytettävyys säilyy kauemmin mutta käytettävyys pienenee jonkin funktion mukaan. Pehmeissä reaaliaikajärjestelmissä aikarajojen noudattaminen on toivottavaa, mutta niiden rikkominen ei ole toimintavirhe, vaan myöhästynytkin toiminta tulee tehdä loppuun. Esimerkiksi rahansiirto tililtä toiselle on tehtävä, vaikka se tulisikin vastaanottajan tilille vasta eräpäivän jälkeen. (Sundquist 2008: 62.)

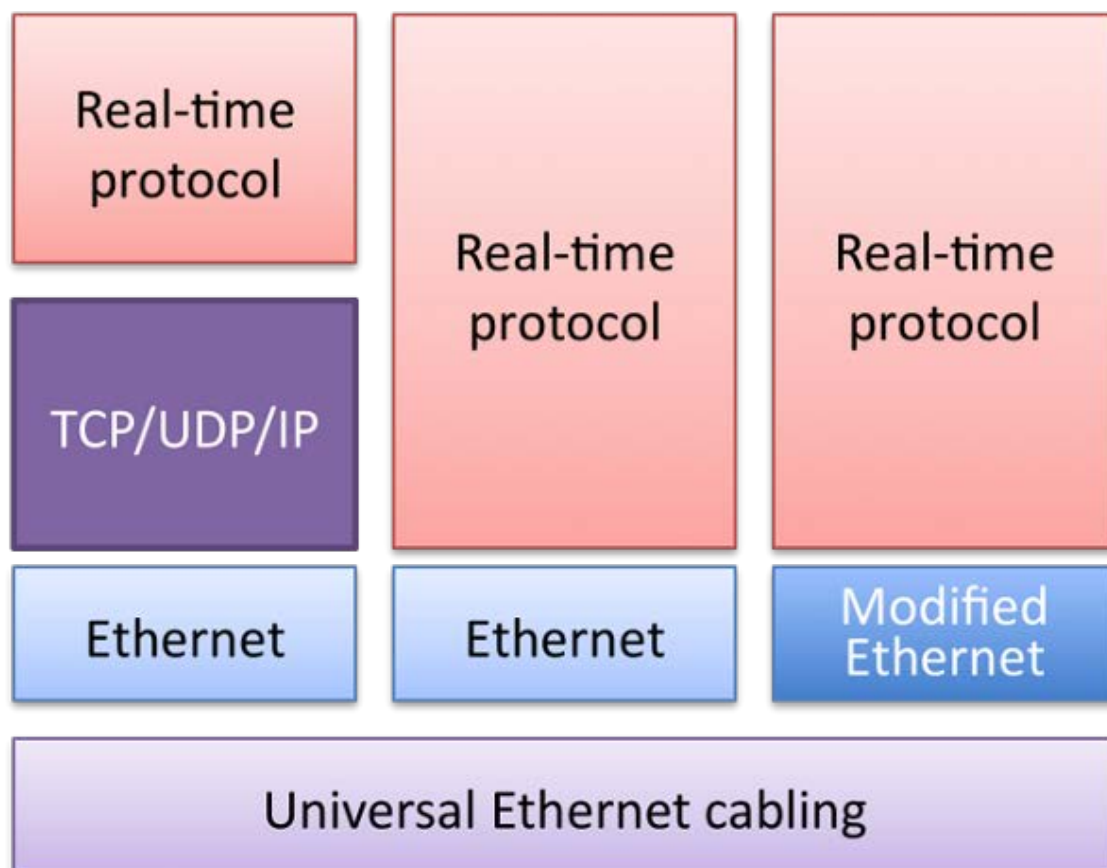
Samanaikainen reaaliaikaisuus

Samanaikainen eli isokrooninen reaaliaikaisuudessa tieto on hyödyllistä vain tietyn aikaikkunan sisällä. Tiedon saaminen liian aikaisin tai liian myöhään on arvotonta. Esimerkki videokuvauksessa kuvan tieto on hyödyllistä vain oikealla ajanhetkellä.

3.4 Ethernetin teollisuus protokollat

Ethernet toimii ylemmän tason protokollien kannalta puhtaasti siirtotienä, joka ei ota kantaa siihen millaista liikennettä sen avulla siirretään. Tämä mahdollistaa Ethernetin käytön, minkä tahansa protokollan kanssa siten, että korkeamman tason protokolla kapse-
loidaan Ethernet-pakettiin. (Kämäri 2005.)

Normaaliin liikenteeseen käytetään edelleen reaaliaikakanavan rinnalla standardikanavaa. Standardikanavassa data kuljetetaan tavalliseen tapaan IP ja TCP tai UDP protokollien päällä. Käytettäessä erillisiä kanavia reaaliaikaliikenteelle ja TCP/IP -liikenteelle joudutaan käyttämään päätelaitteita, jotka osaavat erotella liikenteen oikeaan kommunikaatiokanavaan. Reaaliaikakanavassa käytetään suoraa MAC-osoitusta eli sovelluskerroksen data paketoidaan suoraan Ethernet kehykseen käyttämättä ylemmän kerroksen protokollia lainkaan. Jos hyvän reaaliaikasuurituskyvyn sijasta tavoitteena on mahdollisimman avoin ja standardin mukainen järjestelmä, voidaan reaaliaikaisuus ratkaista vasta protokollapinon sovelluskerroksella. Reaaliaikaisuutta toteutetaan myös protokolla tasolla priorisoimalla viesti kehyksiä väylässä. Kuvassa 6. on esitelty Ethernetin kolme eri reaaliaikataso vaihtoehtoa normaaliliikenne, priorisoituliikenne ja reaaliaikakanava. (Kämäri 2005.)



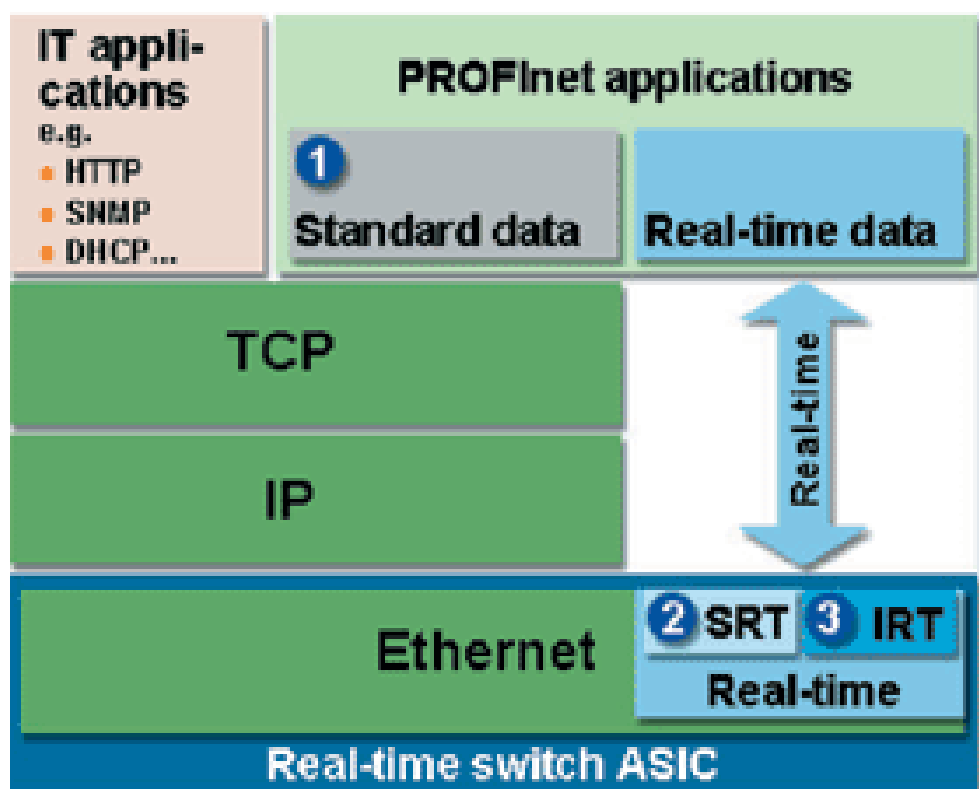
Kuva 6. Ethernetin reaaliaika vaihtoehdot teollisuus protokollille. (Vila-Carbo 2010.)

Jokaisen protokollan tiedonkäsittelystä aiheutuu viiveitä, käytettäessä yhteydenavauksen ja kuittauksia sisältäviä protokollia, sisältyy järjestelmään myös epädeterministisyyttä. Tätä voidaan kuitenkin hallita hyvällä suunnittelulla ja käyttämällä PTP-protokollaa tai vastaavia protokollia. Osa markkinoilla olevista kenttäväyläratkaisuista sisältääkin jo laitteistotasolle implementoidun synkronointi tavan, kuten esimerkiksi Profinet IRT kommunikointi ja EtherCAT:n erikoispiirit laitteissa. Seuraavaksi käsittelemme lyhyesti käytetyimpien Ethernet protokollien ominaisuuksia. (Kämäri 2005.)

3.4.1 PROFINET

PROFINET on Siemensin yhdessä Profibus Internationalin kanssa kehittämä yleisratkaisu automaation. PROFINET on Euroopassa laajimmalla levinnyt teollisuus Ethernet pohjainen protokolla ratkaisu. Saksalainen autoteollisuus pohjautuu PROFINET:n käyttöön. (Sundquist 2008: 72–73.)

PROFINET sisältää I/O ratkaisut (PROFINET IO) sekä älykkään laiteviestinnän (PROFINET CBA). PROFINET:ssä on määritelty kolme eri reaaliaikatasoa: Non-Realtime (NRT), Realtime (RT) ja Isochronous Realtime (IRT). Näistä NRT on tarkoitettu diagnostiikkatiedon lähettämiseen, jossa vasteajat ovat suuruusluokassa 100 ms. RT on pehmeä reaaliaikainen ratkaisu, jossa vasteajat ovat luokkaa 10 ms. IRT on moottoriohjaukseen ja muihin suuriin reaaliaikaisuutta vaativiin järjestelmiin tarkoitettu tekniikka. IRT on jaksottaista liikennettä ja sen jaksonaika asetettavissa 0,25 millisekunnista ylöspäin. Kuvassa 7. on esitetty Profinetin tiedonsiirtomalli normaalissa ja reaaliaikalikenteessä. (Sundquist 2008: 72–73.)



Kuva 7. Profinet standardi ja reaaliaika datan protokollapino. (Hodgkinson 2010.)

PROFINET RT

Profinet RT soveltuu sovelluksiin, joissa ei vaadita kovaa reaaliaikaisuutta. Profinet RT-liikenne kuljetetaan suoraan Ethernet kerroksen päällä ja reaaliaikavaatimukset pyritään täyttämään liikenteen priorisoinnilla. Liikenteen priorisointi perustuu IEEE802.1Q -standardissa määritellyn VLAN (Virtual Local Area Network) -kehysten käyttöön. Profinet RT-verkko voidaan toteuttaa tavallisilla kytkimillä, tarvitsee kytkinten kuitenkin tukea VLAN-standardia. (Profinet 2014.)

PROFINET IRT

Liikkeenohjaussovelluksiin tarkoitettu Profinet IRT -tekniikka mahdollistaa kovien reaaliaikavaatimusten saavuttamisen. IRT eroaa RT luokan laitteista nopeudellaan, ja sillä voidaan päästä jopa 0.25...1.0 millisekunnin vasteaikoihin. Samanaikaisesti voidaan verkossa kuljettaa normaalia TCP/IP liikennettä reaaliaikaisen liikenteen rinnalla. Profinet IRT:ssä väylän päivitysväli jaetaan järjestelmää konfiguroitaessa kahteen osioon; toinen varataan TCP/IP- ja RT liikenteelle ja toinen IRT-liikenteelle. Profinet IRT:lle on siis protokollassa varattu oma priorisoitu päivitys, jota se käyttää tiedonsiirtoon. Aikasykronoitua IRT-verkkoa ei pystytä toteuttamaan tavallisilla Ethernet-kytkimillä vaan laitteissa pitää olla erityinen ERTEC (Enhanced Real-Time Ethernet Controller) ASIC -piiri. Yleensä kaupallisissa Profinet IRT -kykyisissä laitteissa on myös vähintään kaksiporttinen ERTEC-piirillä varustettu kytkin, mikä mahdollistaa laitteiden liittämisen linjaisesti. (Profinet 2014.)

Kellojen synkronointi tapahtuu Profinet IRT:ssä IEEE 1588 -standardissa määritellyllä PTP-protokollalla (Precision Time Protocol). Synkronointi perustuu synkronointiviestien lähettämiseen sync-masterin ja sync-slave-laitteiden välillä. (Profinet 2014.)

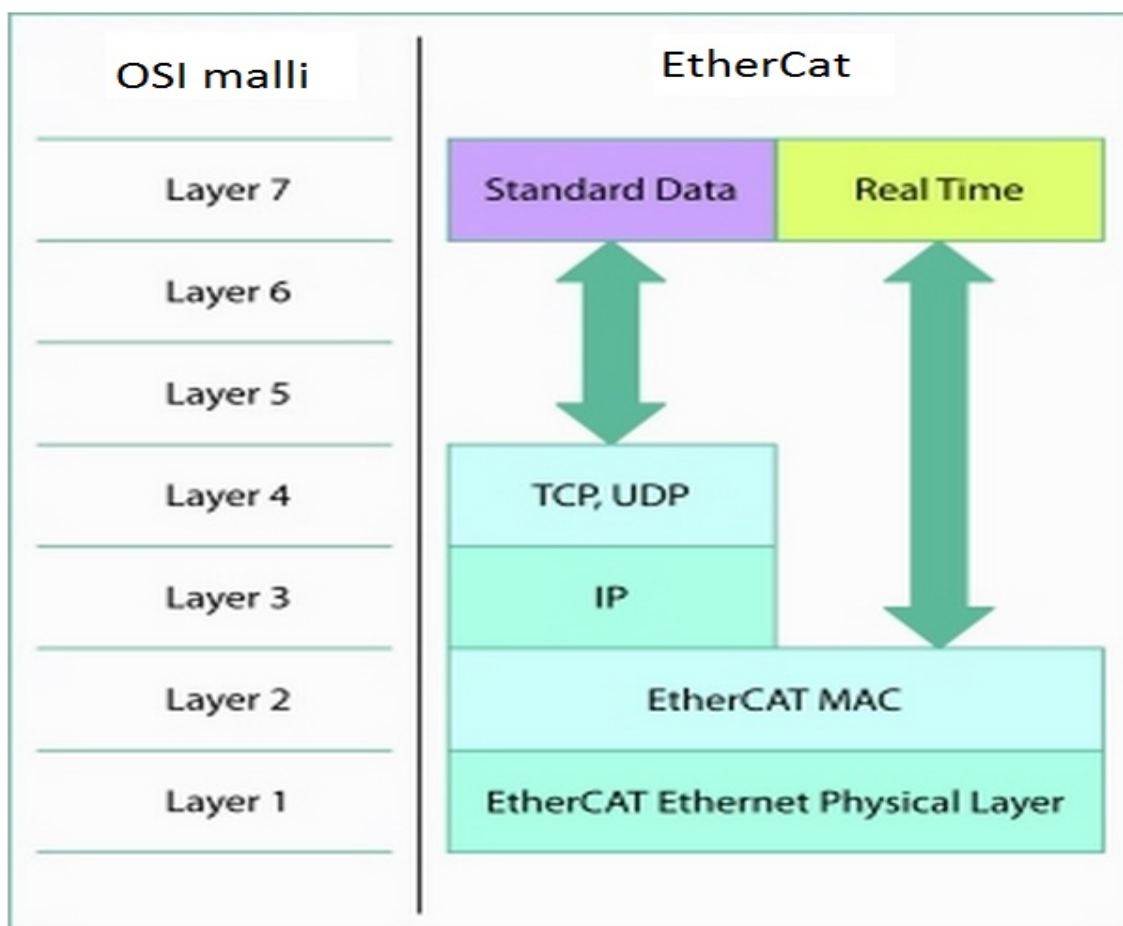
PROFINET ratkaisut ovat yleisesti levinneitä ja hyvin tuettuja tekniikoita. PROFINET:n hyvä suorituskyky ja deterministiset ominaisuudet ovat antaneetkin PROFINET:lle hyvän aseman markkinoilla.

3.4.2 EtherCAT

EtherCAT on Beckhoffin 2003 kehittämä verkkotekniikka. EtherCAT perustuu suljetussa segmentissä toimivaan väyläisäntään, jossa Ethernet toimii fyysisenä kerroksena. Ethernet-kehiksen sisällä käytetään omaa protokollaa. Jokaisella verkon orjalaitteella on oma postilaatikko (mailbox), jota kirjoitetaan ja luetaan laiteella samanaikaisesti. Verkon laitteet ovat laitetason reaaliaikatoteutuksella varustettuja. EtherCAT:ssä on siis oma reaaliaikakanava käytössä reaaliaikaliikenteelle (Kuva 6.). (Sundquist 2008: 70–71.)

TCP/IP-liikenne saadaan toimilaitteille erillisten EtherCAT-kytkinten avulla. Näiden tehtävä on sisällyttää oman protokollan viesteihin pieni määrä TCP/IP-paketteja, toisin sanoen TCP/IP-liikenteellä on EtherCAT-verkossa oma postilaatikkonsa. EtherCAT ei perustu pollaamiseen, kuten esimerkiksi Modbus TCP. Sen suurin ero muihin Ethernet-

konttäväyliin on se, että siinä ei käytetä jokaiselle laitteelle menevässä vietyssä omaa Ethernet-kehystä. Kaikille väylän laitteille menevät viestit ja sieltä palaava tieto lähetetään yhdessä ja samassa Ethernet-kehyksessä. Tällöin säästetään ajassa, joka kuluu kehyksen tulkitsemisessa ja purkamisessa. TCP/IP-liikenteelle on varattu noin 1 % koko väylän kapasiteetista. Kuvassa 8. on esitetty EtherCATin normaali ja reaaliaikakanavan protokollapinon toimintaa.(Sundquist 2008: 70–71.)



Kuva 8. EtherCATin normaali ja reaaliaikakanavan protokollapino.

EtherCAT sopii liikesäädön vaatimiin reaaliaikaisuuksiin. Paketin kierrosaika on jopa 30 mikrosekuntia. Sadan akselin järjestelmässä paketin kierrosaika on noin 10 mikrosekuntia. Laitteiden synkronointi tapahtuu alle mikrosekunnissa. (Sundquist 2008: 70–71.)

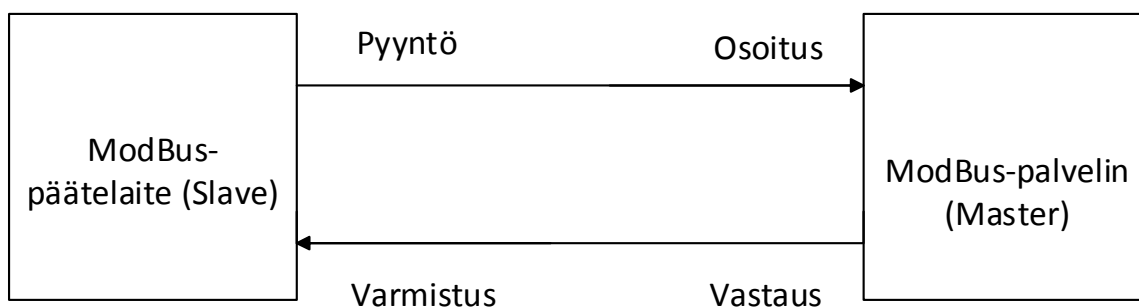
Reaaliaikainen suorituskyky on toteutettu niin, että isäntä lähettää yhden kehyksen, joka kuljetetaan kaikkien orja-laitteiden läpi. Lopuksi viimeinen orja-laite lähettää kehyksen jälleen takaisin isäntä-laitteelle. Orja-laitteet lukevat kehyksestä niille tarkoitetun datan ja vastaavasti kirjoittavat kehykseen sen kulkiessa niiden lävitse. (EtherCAT 2015.)

Kaikkiin orja-laitteisiin on integroitu EtherCAT Slave Controller, joka on ASIC tai FPGA-piiri. Tämä piiri hoitaa kommunikoinnin laitteen osalta kokonaan. Isäntä tekee aloitteen kaikkeen tiedonsiirtoon. (EtherCAT 2015.)

3.4.3 MODBUS TCP

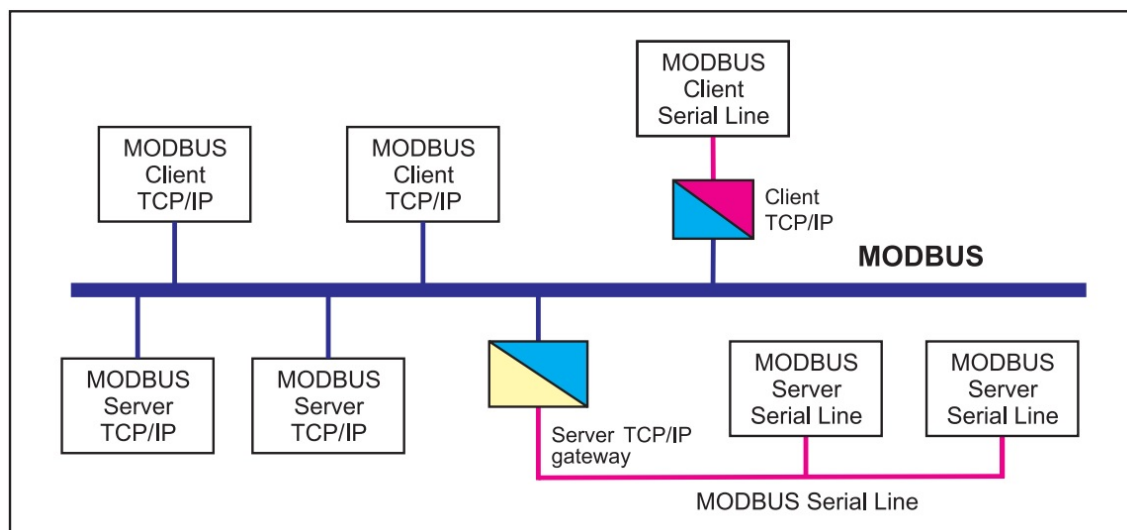
Modbus TCP on Schneider Electricin kehittämä väyläprotokolla. ModBus TCP on teollisuuden avoimen arkkitehtuurin tiedonsiirtojärjestelmä, jonka toiminta perustuu pollaukseen. Modbus TCP on TCP/IP pohjainen muunnos Modbus RTU-protokollasta. (Modbus TCP 2015.)

Protokolla käyttää TCP:ä tiedonsiirtoonsa. TCP-lehyksessä on sisällä Modbus-kehys, jossa sijaitsee lähetettävä tieto. TCP/IP-kerros huolehtii yhteyden avaamisesta, sulkemisesta ja ylläpidosta, ModBus:n huolehtiessa laitteiden välisestä varsinaisesta kommunikoinnista. Modbus TCP:ssä protokolla käyttää binäärikoodattua dataa ja TCP/IP:n virheentunnistusmenetelmää tiedonsiirtovirheiden havaitsemiseen. Protokolla toimii isäntä-orja periaatteella ja yhteen isäntään voidaan kytkeä 247 orjalaitetta. Modbus TCP:n tiedonvälitys perustuu neljään viestityyppiin: pyyntö-, varmistus-, osoitus- ja vastausviestiin. Kuvassa 9. on esitetty Modbus TCP:n tiedonvälitystä isäntä- ja orja-laitteen välillä. (Modbus TCP 2015.)



Kuva 9. Modbus TCP tiedonvälitys isäntä- ja orja-laitteen välillä. (Modbus TCP 2015.)

Järjestelmässä orjalaite lähettää pyyntöviestejä isännälle, jotka isäntä vastaanottaa ja käsittelee osoitusviestinä. Isäntä palauttaa orjalaitteelle vastauksen, jonka orjalaite käsittelee vastausviestinä. Mikäli järjestelmään tulee virhe tai se aika katkeaa, isäntä sulkee ja avaa yhteyden uudelleen ja yrittää lähettää viestiä uusiksi. Kuvassa 10. on esitetty Modbus TCP kommunikointi arkkitehtuuria. (Modbus TCP 2015.)



Kuva 10. MODBUS TCP/IP kommunikointi arkkitehtuuri. (Modbus TCP 2015.)

Modbussin datatieto perustuu rekisteriin, jossa on neljä eri datataulukkoa. Taulukoilla on kaikilla omat erityispiirteensä. Taulukko 5:ssä on kuvattu kaikki rekisterit. (Modbus TCP 2015.)

Yhteen tauluun pystytään määrittämään 65536 erillistä tietoalkiota. Funktiokoodi määrittelee käsiteltävien tietoalkioiden määrän luku- ja kirjoitustehtävissä. Taulukkoja pystytään käsittelemään joko yksittäisinä tai yhtenä kokonaisuutena. Jokaiselle tiedolle on siis määritelty osoite väliltä 0 - 65535. Taulukossa 5. on esitetty Modbus rekisterin datataulu ja niiden osoitteet. (Modbus TCP 2015.)

Taulukko 5. Modbus rekisteri datataulu. (Modbus TCP 2015.)

Osoite	Kuvaus
0xxxx	<u>Read/Write Discrete Outputs or Coils</u> . 0x osoitetta käytetään ajamaan ohjaustieto digitaaliselle ohjauskanavalle.
1xxxx	<u>Read Discrete Inputs</u> . 1x osoitteesta luetaan digitaalisten yksittäisten bittien arvoja.
3xxxx	<u>Read Input Registers</u> . 3x osoitteesta luetaan 16-bittiset rekisteritiedot.
4xxxx	<u>Read/Write Output or Holding Registers</u> . 4x osoitteita käytetään säilömään 16-bittisen tiedon rekisteriin.

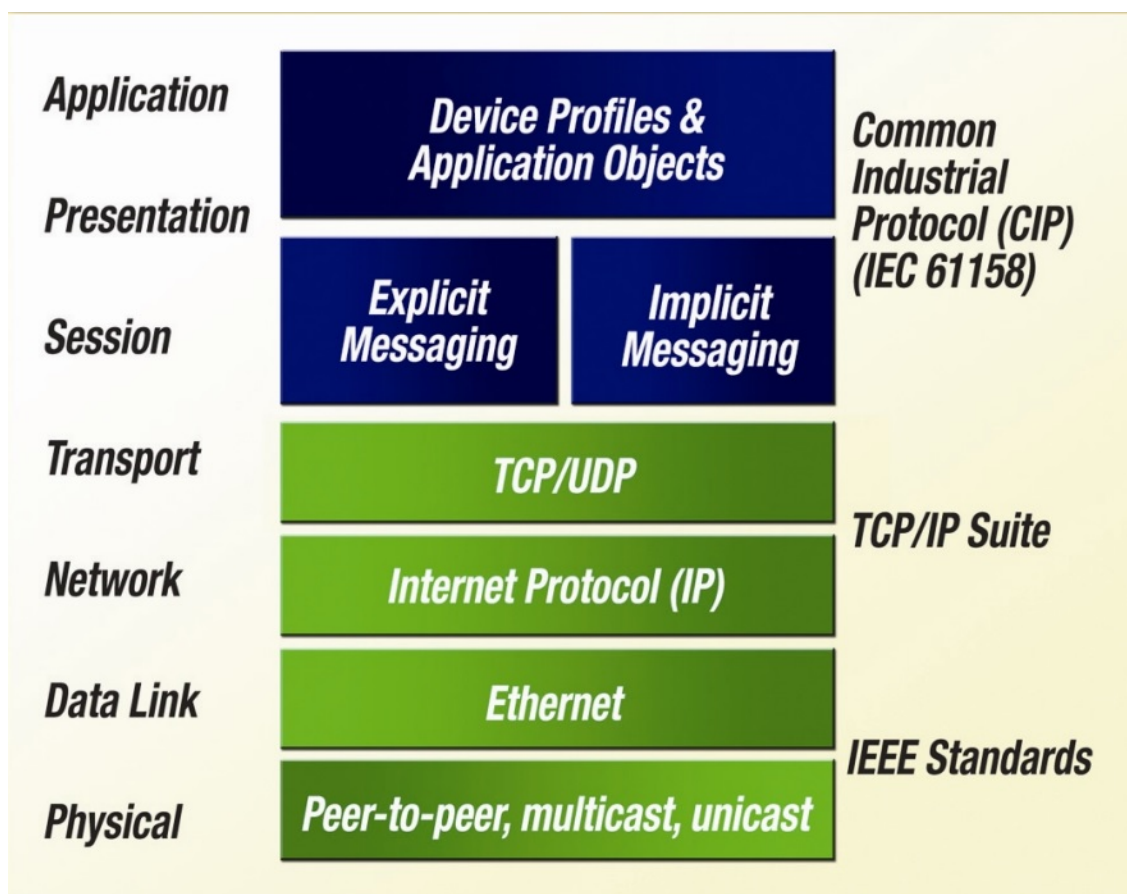
Modbus TCP:n suurin heikkous on hidas aikajakso, parhaimmillaan 5 - 10 millisekuntia, joka estää protokollan käytön reaaliaikaisissa sovelluksissa. Modbus TCP vahvuuksiin voidaan lukea teknistentietojen avoimuus, mikä on yksi syy siihen miksi Modbus TCP on monia valmistajia tukemaan sitä. Modbus TCP onkin tällä hetkellä yksi käytetyimmistä teollisuuden Ethernet protokollista. (Modbus TCP 2015.)

3.4.4 Ethernet/IP

Ethernet / IP esiteltiin vuonna 2001 ja se on yksi johtavista teollisuuden Ethernet-verkko tekniikoista, sitä käytetään laajalti toimialoilla. Ethernet / IP on Common Industrial Protocol (CIP) perheen jäsen. CIP sisältää kattavan valikoiman viestejä ja palveluja erilaisiin automaation sovelluksiin, kuten ohjaus, turvallisuus, synkronointi, liikkeen ohjaus ja koonpano. Ethernet/IP on todella mediariippumaton protokolla, jota tukee sadat valmistajat ympäri maailmaa. CIP tarjoaa käyttäjille yhdyntävän viestintä arkkitehtuurin koko järjestelmässä. (Ethernet/IP 2015.)

Ethernet/IP (IP tarkoittaa tässä yhteydessä lyhennettä sanoista Industrial Protocol, eikä suinkaan Internet Protocol) on kenttäväyläprotokolla, joka käyttää TCP/IP ja UDP protokollia. TCP/IP:tä käytetään yleiseen tiedonsiirtoon laitteiden välillä ja UDP:tä käytetään I/O-viesteihin. Protokolla on alun perin suunniteltu suurille datamäärille ja on siten parhaimmillaan verkoissa, joissa tarvitsee siirtää suuria viestejä isolla tiedonsiirtonopeudella. (Ethernet/IP 2015.)

Ethernet/IP, kuten muutkin CIP:n jäsenet, seuraavat Open Systems Interconnection (OSI) mallia, jossa määritellään täytäntöönpanoa varten seitsemän kerrosta: fyysinen, data linkki, verkko, liikenne, istunto, esittely ja sovellus. Kuten kaikissa CIP protokollissa myös Ethernet/IP implementoituu CIP:iin istunto kerroksessa ja sen yläpuolella sekä mukauttaa Ethernet/IP tekniikan liikenne kerrokselle ja alemmille kerroksille. Kuvassa 11. on esitetty Ethernet/IP protokollan toiminta kerrosmallina. (Ethernet/IP 2015.)



Kuva 11. Ethernet/IP mukautumiskerros. (Ethernet/IP 2015.)

Ethernet/IP -verkon rakenne voi olla väylä-, tähti-, puu- tai rengasrakenteinen. Eri rakenteita voidaan myös yhdistää samaan verkkoon. Ethernet/IP -verkossa voidaan käyttää

CAT5-, CAT5e- ja CAT6-kaapeleita. ODVA suosittelee käytettäväksi suojattuja kaapeleita, jotka maadoitetaan toisesta päästään. Kaapelin liittimenä voi olla Rj-45 -liitin tai M12- liitin. (Ethernet/IP 2015.)

EtherNet/IP:ssä on kaksi tiedonsiirto tyyppiä:

Explicit viestit ovat luonteeltaan pyyntö ja vastaus (tai client / server) tyyppisiä. Explicit viestit käyttävät TCP:tä. Tämän tyyppistä viestintää käytetään ei-reaaliaikaista tietoa käyttävissä sovelluksissa. Explicit viestit sisältävät kuvauksen niiden merkityksestä, joten siirto on tehottomampi, mutta hyvin joustava. Se sopii käytettäväksi esimerkiksi HMI tiedon keruuseen. Explicit viesteissä pyydetään palvelulta tiettyä esinettä, esimerkiksi luku- tai kirjoitus palvelua. (Ethernet/IP 2015.)

Implicit yhteys käyttää UDP/IP tiedonsiirtoon Ethernet:n ylitse. Implicit yhteydellä on suuri etu, että se voi hyödyntää tuottaja / kuluttaja periaatetta. Tämä tarkoittaa, että on tarpeen lähettää vain I/O-tiedot kerran ja kaikki kiinnostuneet vastaanottimet voivat lukea tietoja, tämä auttaa massiivisesti vähentää kuormitusta väylässä, jossa useat laitteet lähettävät paljon tietoa. Tältä osin Ethernet/IP käyttää priorisoivaa menetelmää protokollassa reaaliaikadatan tiedonsiirtoon. Lisäksi ei ole mitään pyyntö / vastaus menetelmää, tämä vähentää väyläkuormaa entisestään. Kuvassa 12. on esitetty Ethernet/IP:n kaksi eri tiedonsiirtotyyppiä. (Ethernet/IP 2015.)

CIP Message Type	CIP Communication Relationship	Transport Protocol	Communication Type	Typical Use	Example
Explicit	Connected or Unconnected	TCP/IP	Request/reply transactions	Non time-critical information data	Read/Write configuration parameters
Implicit	Connected	UDP/IP	I/O data transfers	Real-time I/O data	Real-time control data from a remote I/O device

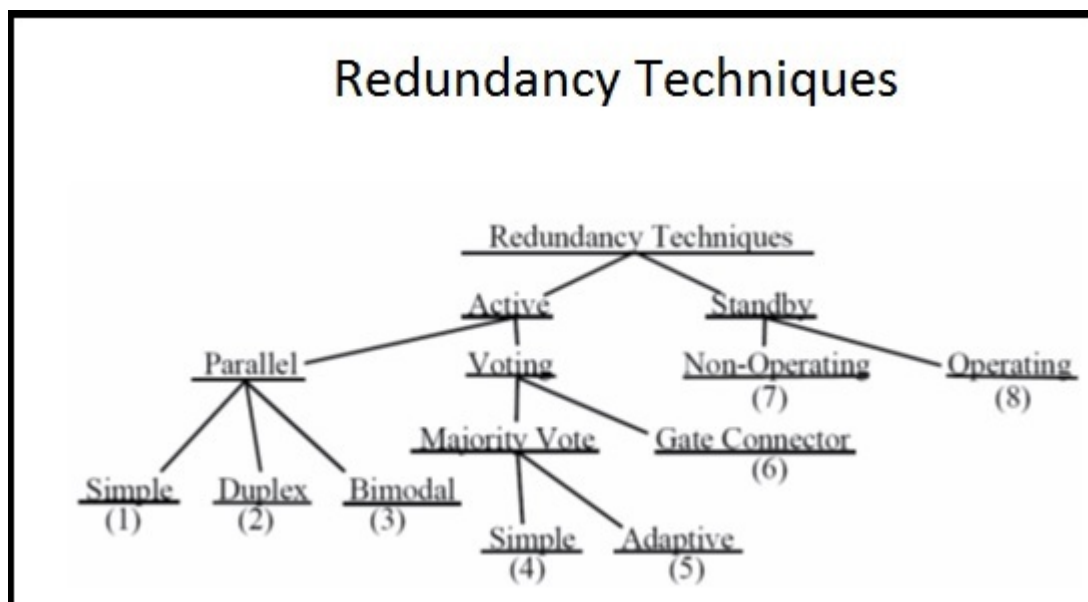
Kuva 12. EtherNet/IP:n kaksi tiedonsiirtotyyppiä. (Ethernet/IP 2015.)

4 Redundantitset väyläprotokollat

4.1 Redundanttisuus

Redundanttinen tarkoittaa yleisesti toimintavarmuuden maksimointia matemaattisesti. Redundanttinen kenttäväylä järjestelmä tarkoittaa, että järjestelmässä on rinnankytkettyjä väyliä enemmän kuin kuormituksen edellyttämä määrä. Tietoverkon redundanttisuus on vikasietoisuutta eli sitä, kuinka hyvin verkko pystyy toimimaan häiriötapauksissa. Yleensä redundanttinen järjestelmässä on kahdennettu väyläreitti väylän laitteille. Redundanttisuuden päätehtävä on järjestelmän vikaantumisen jälkeen säilyttää toimintavarmuus.

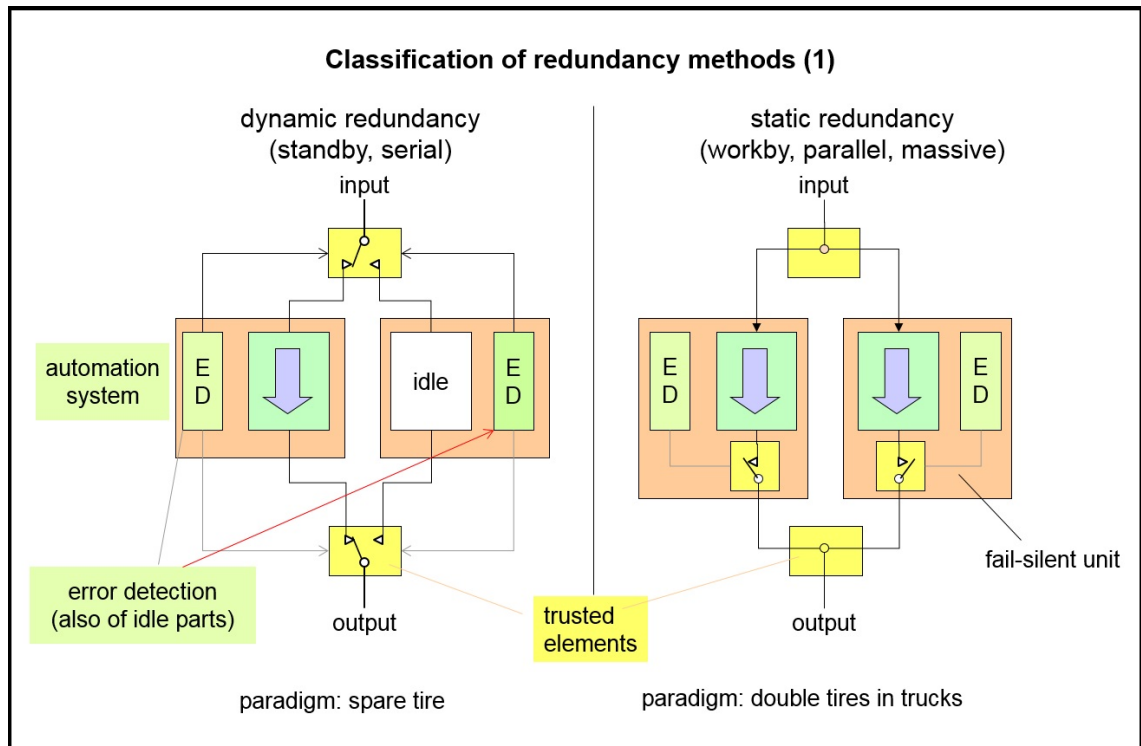
Redundanttisuuden toimintaominaisuudet jaetaan kahteen pääryhmään, aktiivinen (active redundancy) ja valmiudessa oleva (stand by). Aktiivinen ratkaisussa ei vian tunnistavaa yksikköä tarvita. Rinnakkaiset laitteet ovat täten jatkuvasti toimintatilassa. Valmiudessa olevassa ratkaisussa laitteet aktivoidaan vain tarvittaessa, joten erillinen toimintoja suorittava laite on välttämätön. Kuvassa 13. on esitetty redundanttisten toimintamallien toimintaa. (Society of Automotive engineers 1987: 319.)



Kuva 13. Redundanttiset toimintamallit. (Society of Automotive engineers 1987: 319.)

4.2 IEC 62439

IEC 62439 määrittelee eri redundanttiset protokollat MRP (Media Redundancy Protocol), kaksi saumatonta (seamless) protokollaa PRP (Parallel Redundancy Protocol) ja HSR (High-availability, Seamless Redundancy Protocol), CRP (Coupled Redundancy Protocol), BRP (Beacon Redundancy Protocol), DRP (Distributed Redundancy Protocol) ja RRP (Redundant Ring Protocol). Standardi määrittää dynaamisen ja staattisen tavan redundanttisuudelle toimia, dynaaminen vastaa aiemmin mainittua valmiudessa olevaa toimintaa ja staattinen aktiivista toimintaa. Kuvassa alla on esitetty näiden toiminnallisuudet. Kuvassa 14. on esitetty standardin mukaisia redundanttia menetelmiä. (Kirrmann 2012.)



Kuva 14. IEC 62439 redundanttiset metodit. (Kirrmann 2012.)

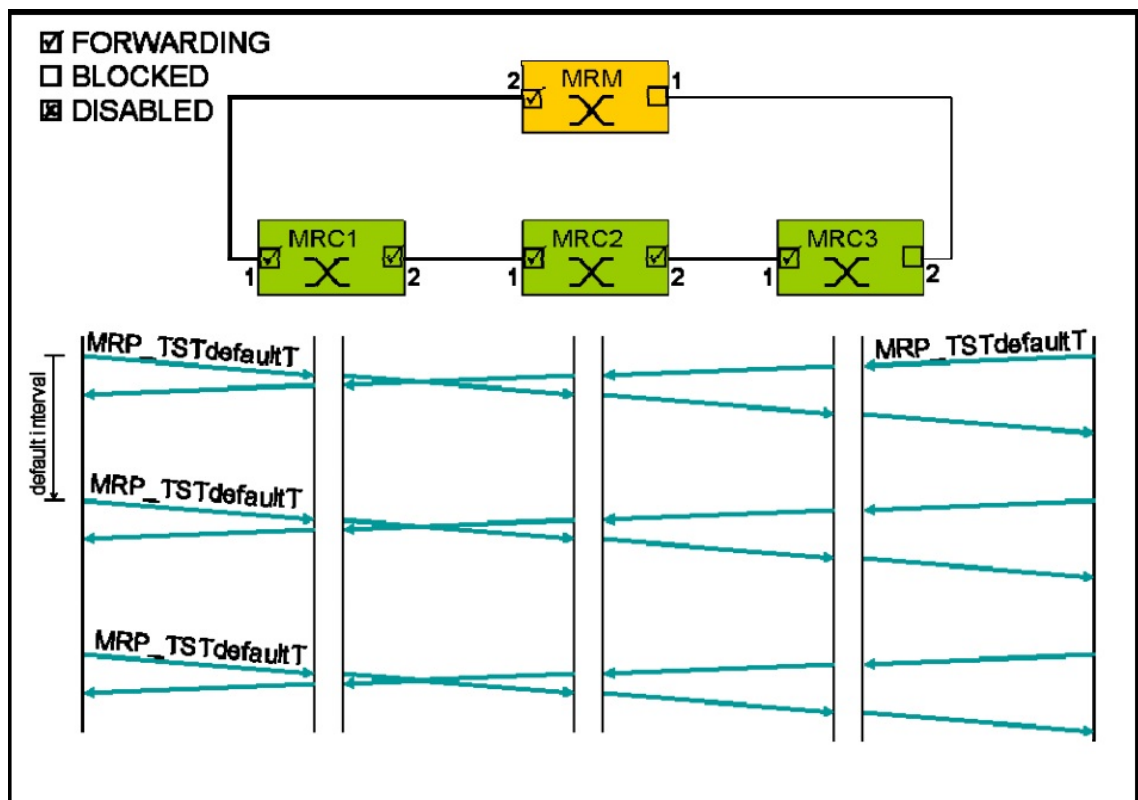
Dynaaminen redundanttisuus ei ole aktiivisesti mukana kokoajan lähdön kanssa. Vaan vian ilmaantuessa se vaihtaa kommunikointireittiä. Huonoa tässä tavassa verrattuna staattiseen on kytkentävaihdoksen aikavaste. Etuina voidaan pitää redundanssin ja kuorman jakoa, pienentää redundanttisuuden vikaantumisasastetta ja vähentää yleisiä virheitä.

Staattinen redundanttisuus osallistuu kokoajan kontrolloitavaan kohteeseen. Tässä ratkaisussa etuina voidaan pitää saumatonta tiedonsiirtokanavan vaihtoa, kokoaikaista redundanssin tarkkailua ja turvallista vika käyttäytymistä. Haittana voidaan pitää kokoaikaista kahdennettua reittiä, sen energia maksavuuden takia.

4.2.1 Media Redundancy Protocol

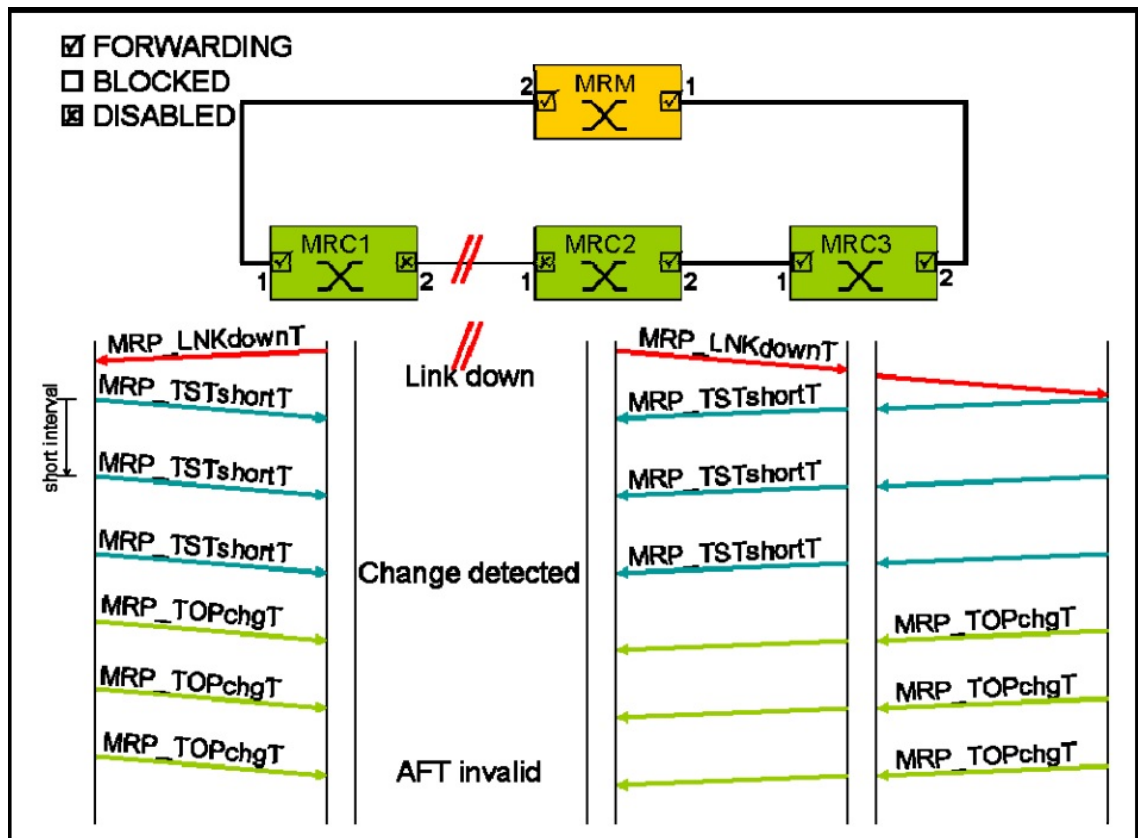
MRP on Siemensin kehittämä redundanttiväyläprotokolla. MRP on rakenteeltaan hyvin samanlainen kuin RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), se perustuu OSI malliin. MRP:ssä on yksi Media Redundancy Master (MRM) ja muut ovat Media Redundancy Clienttejä (MRC). (Kirmann 2012.)

MRM lähettää testikehyksen molempiin suuntiin kehässä. Testikehykset ovat merkitty MAC osoitteilla ja lähetetään eteenpäin vain tietyille MRC:lle. Testikehyksien saapuessa takaisin MRM:lle kehä katsotaan sulkeutuneeksi. Tämän jälkeen MRM avaa kehän ja viestintä tapahtuu FORWARDING porttien kautta kuten kuvassa 15. (Kirmann 2012.)



Kuva 15. Normaali testikehyksien vaihto. (Kirmann 2012.)

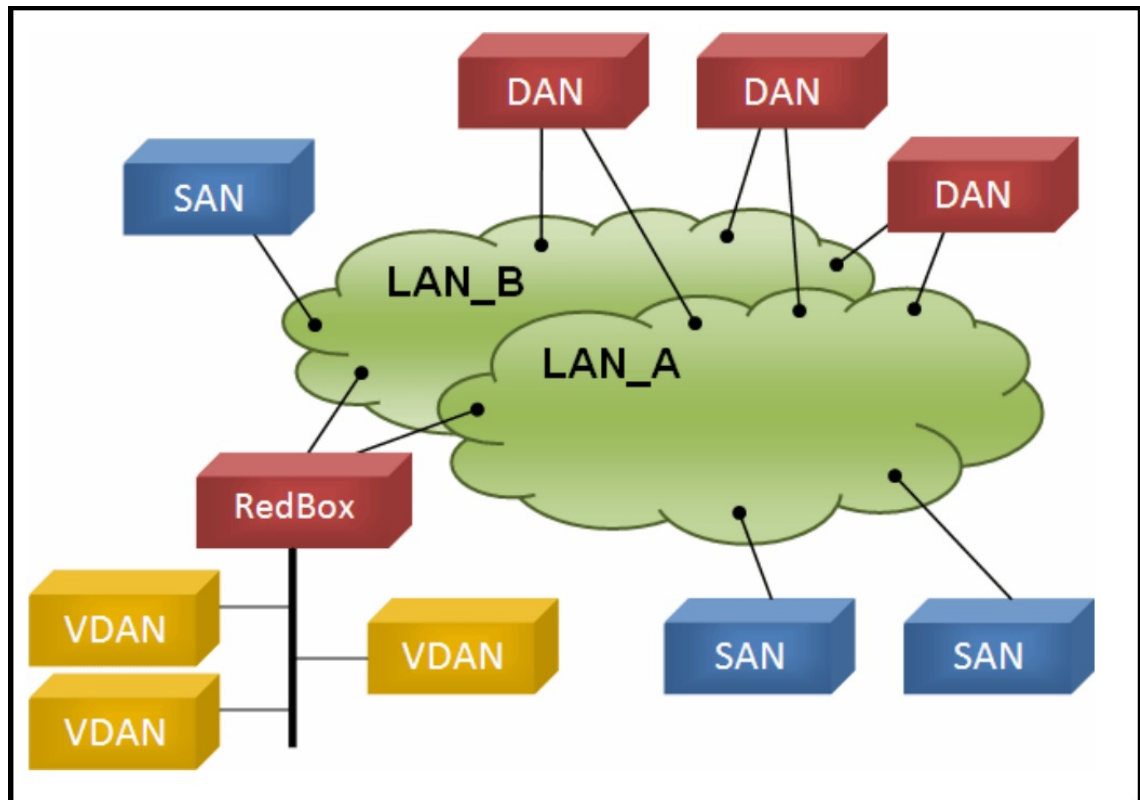
Vian tapahtuessa MRP:ssä testikehykset eivät palaudu MRM:lle ja kehä katsotaan keskeytyneeksi. Kun MRM saa tiedon keskeytyneestä kehästä se muuttaa FORWARDING portin BLOCK:iin ja BLOCK portin FORWARDING:iin, näin MRP muuttaa tiedon kulku-suuntaa. Tällaisessa tilanteessa väylällä on tietty palautumisaika, joka on suurempi kuin väylän löytymisaika. Koska MRC:lle lähetetään portti vaihdoksesta tieto ja MRC tulee luoda uusi Filtering Data Base tietyn ajan puitteissa, tätä varten MRP:ssä maksimi kytkin määrä on rajoitettu 50. Kuvassa 16. on esitetty kuinka vian etsiminen tapahtuu MRP:ssä.



Kuva 16. Vian etsiminen väylässä. (Kirrmann 2012.)

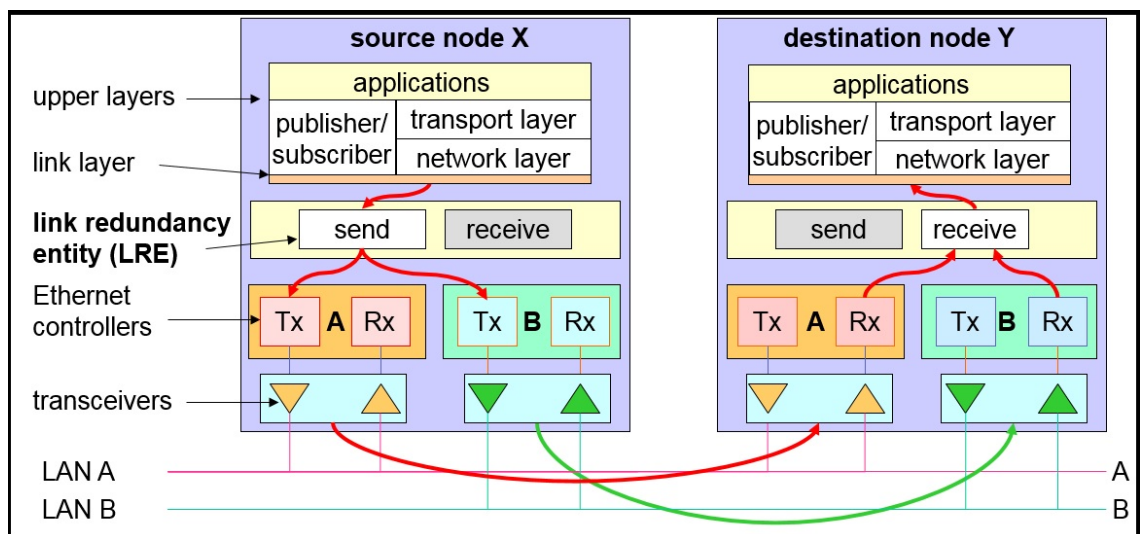
4.2.2 Parellel Redundancy Protocol

PRP implementoi redundanssifunktiot loppu laitteille, eikä verkko elementtiin. Tämä on suurin ero sillä verrattuna MRP:hen tai RSTP:hen. Loppusolmu on kytketty kahteen samanlaiseen LAN verkkoon, jotka toimivat toisistaan erillään eli rinnakkain. LAN:t täytyy määritellä niin, että molemmat vikaantuvat itsenäisesti, siis ei suoria yhteyksiä LAN:en välillä. Kuvassa 17. kuvataan normaali verkko kahden kytkimen verkkona, jossa verkot voivat olla rakennettu millä tahansa topologialla. (Kirrmann 2012.)



Kuva 17. PRP redundantti verkko.

PRP:ssä kaksi kehystä kulkee niiden verkkojen läpi kunnes ne löytävät kohdesolmun. Kohdesolmu hyväksyy ensimmäisen kehysten parista ja hylkää toisen. Täten jos kumpikaan tietoreiteistä on toiminnassa, kohdesolmu vastaanottaa aina yhden kehysten. PRP on siis aktiivinen protokolla molempiin suuntiin eli aiemmin esitetty aktiivinen tai staattinen tekniikka on käytössä. Kuvassa 18. on selvennetty solmujen toiminnallisuutta PRP verkossa. (Kirmann 2012.)

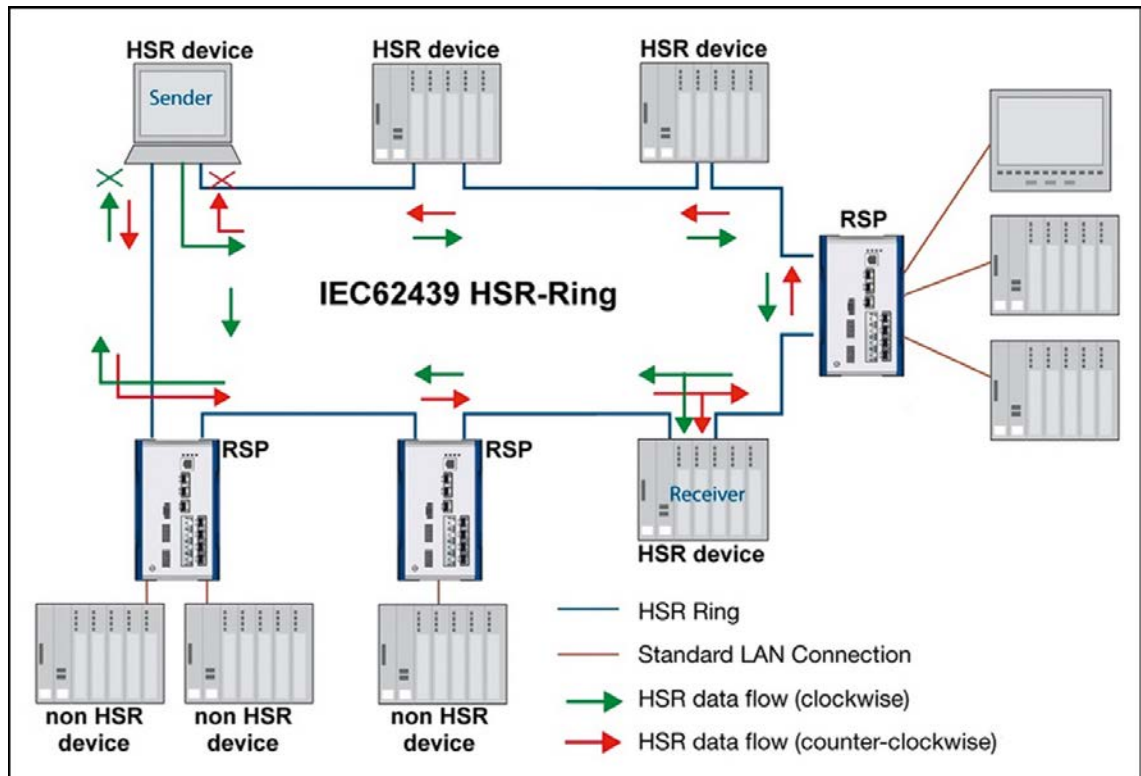


Kuva 18. PRP solmuoperaatiot.

PRP etuina voidaan pitää sen erittäin pientä vikaantumistilanteessa tapahtuvaa siirtymisaikaa käyttämään toista reittiä. PRP on myös niin sanotusti läpinäkyvä sovellukselle. PRP voidaan käyttää missä vain Industrial Ethernet protokollassa kerroksesta kaksi ylöspäin. Myös ei redundantit solmut voivat keskustella verkossa redundanttisten solmujen kanssa. PRP:ssä voidaan käyttää mitä tahansa topologiaa. Haittoina voidaan luetella sen tarve luoda kahdennettu verkko, kaksi ohjainta ja erilliset ajurit solmulaitteille. (Kirmann 2012.)

4.2.3 High-availability, Seamless Redundancy Protocol

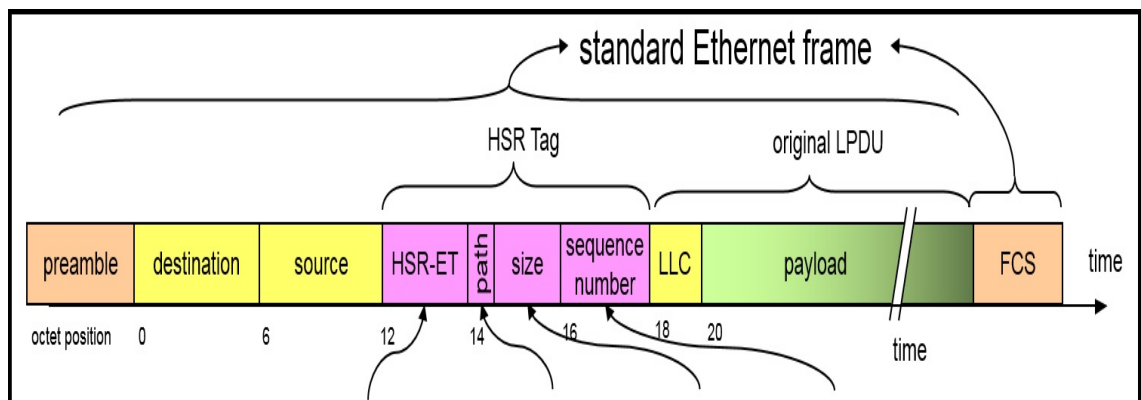
HSR on hyvin samanlainen PRP:n kanssa, se onkin pidemmälle kehitetty toimintamalli PRP:stä. Suurin ero näissä protokollissa on niiden toimintatapa, PRP luo verkko redundantin ominaisuuden, kun taas HSR toimii media redundanttina ratkaisuna. HSR on pääasiassa kehitetty käyttämään kehä verkkotopologiaa. HSR käyttää hyödykseen Ethernetin kehyksessä omaa viestiotsikkoaan. Tästä on hyötynä se, että solmujen sama kahdennettu kehys tunnistetaan heti kun HSR otsikkotunniste on saapunut. Solmulaitteet ottavat verkosta vain niille tarkoitetut viestikehykset ja siirtävät ne sovellukselle. Multicast ja broadcast viestit lähetetään myös jokaiselle solmulle ja eteenpäin sovellukselle. Kuvassa 19. on kuvattu kuinka HSR verkossa viestiliikenne kulkee. (Kirmann 2012.)



Kuva 19. HSR kehä verkko. (Kirmann 2012.)

HSR kehys

Jokaisella HSR kehyksellä on Ethertype, path indicator, size field ja sequence number. Nämä ovat laitettuna HSR otsikkokehykseen. Lähettäjä kasvattaa kehyksessä olevaa sequence number:a molemmissa lähetyissä kehyksissä aina saman verran. Vastaanot-taja tulkitsee tätä osaa kehyksestä ja sen perusteella tiedetään onko kehys jo saapunut vai ei. Kuvassa 20. on esitelty HSR kehysmallia.

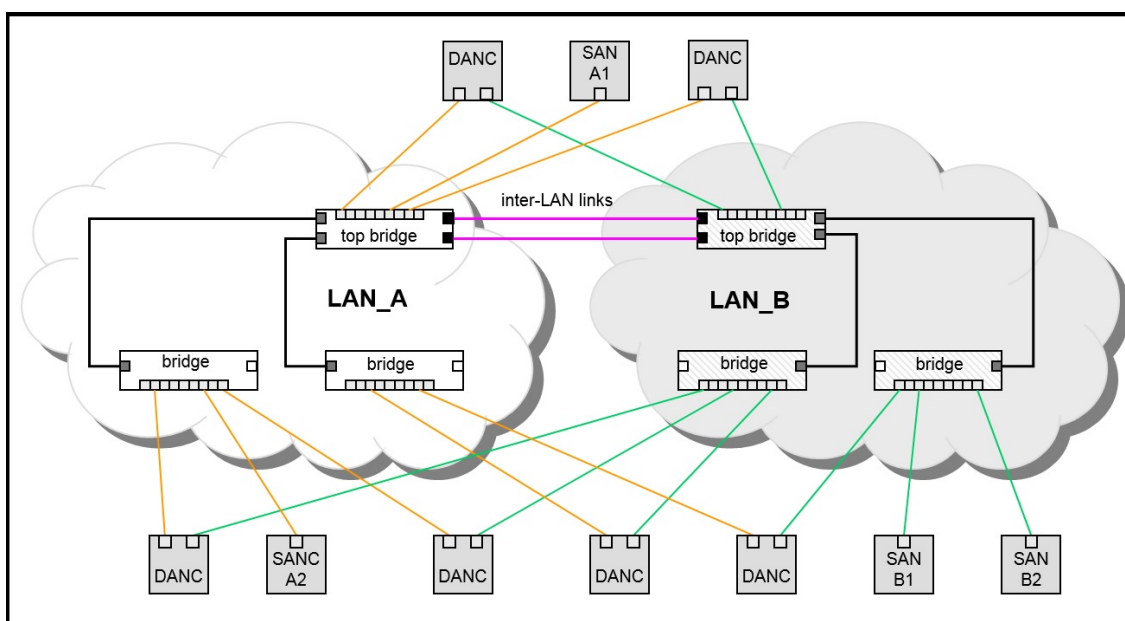


Kuva 20. HSR kehys. (Kirmann 2012.)

HSR hyödyiksi voidaan katsoa sen aikavasteet vikaantumistilanteessa tapahtuvaan siirtymiseen. HSR on myös kohtalaisen helppo implementoida laitteisiin. HSR tarkkailee solmujen nykytilaa ajoittaisilla tarkastuskehysillä. HSR verkkojen rakennetta pidetään joustavina. HSR voidaan kytkeä PRP:n kanssa ja se tukee IEEE 1588 kello synkronointia. Haittana voidaan lukea, että SAN:t (Singly Attached Node) täytyy liittää RedBox:n (Redundancy Box) kautta. (Kirrmann 2012.)

4.2.4 Coupled Redundancy Protocol

CRP on Honeywellin osaksi kehittämä redundanttii protokolla. CRP:ssä kaikkien liikenteen täytyy kulkea niin sanotun linkkien (inter-LAN links) kautta toisin kuin esimerkiksi PRP:ssä. Tässä protokollassa voidaan molemmilla verkoilla kommunikoida SAN (Singly Attached Node) kanssa toisin kuin PRP:ssä. Kuvassa 21. on esitetty kuinka CRP verkko kokoontuu ja mitä kautta se kommunikoi. (Kirrmann 2012.)



Kuva 21. CRP verkon toiminta. (Kirrmann 2012.)

CRP protokolla käyttää kahta erillistä verkkoa, jotka ovat kytketty kahdella adapterilla toisiinsa. CRP verkko toimii molempiin suuntiin, eli ei yhdensuuntaisesti vaan vaihtoehtoisesti.

CRP hyvinä puolina voidaan pitää sen tarjoamaan ristiredundanttia ja suojaa adapteri vikaantumisia vastaan. Haittana on tietenkin sen energiatehokkuus ja kustannukset.

CRP ei ole tarkkaa vikaantumistilanteessa tapahtuvaa siirtoaikaa tiedossa. (Kirmann 2012.)

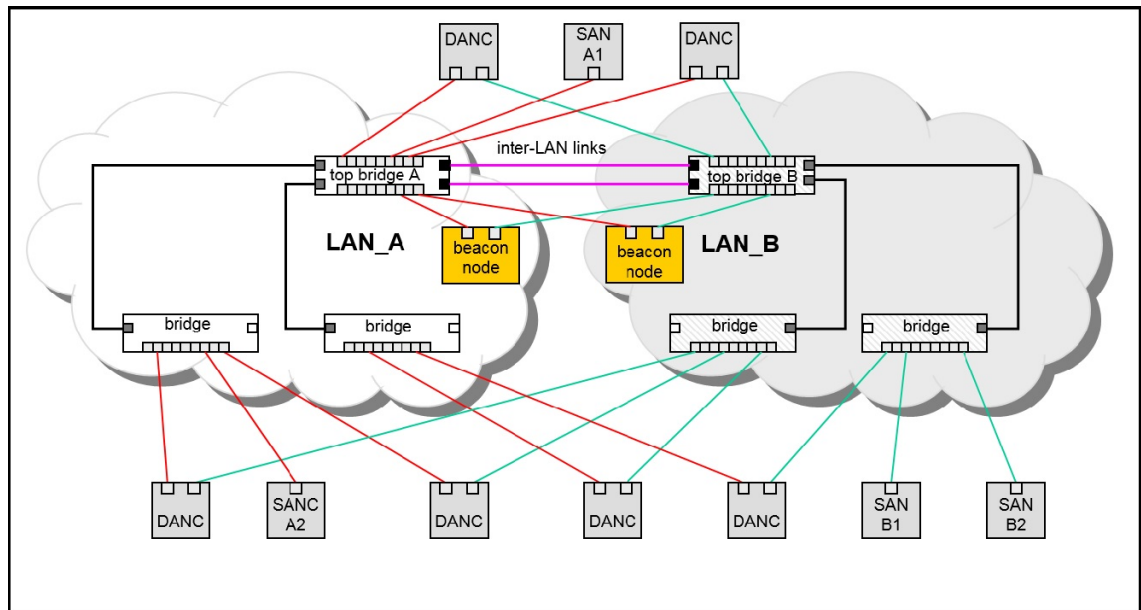
4.2.5 Beacon Redundancy Protocol

BRP on samanlainen perus elementeiltään kuin CRP protokolla. Se on Rockwellin kehittämä redundanttiprotokolla, josta käytetään myös nimitystä DLR (Device Level Ring). Tässä työssä tehtyihin testeihin käytettiin tätä protokollaan ja siksi siitä kerrotaankin tässä hieman syvällisemmin. Erona CRP:en on, että se lähettää kehyksiä väylälle molempia reittejä pitkin eli niin sanottuja Beaconeita. Nämä kehykset tutkivat onko väylä hengissä ja lähettäjä saa siitä tiedon. Taulukossa 6. on eritelty BRP ja CRP eroavaisuuksia. (Kirmann 2012.)

Taulukko 6. CRP ja BRP eroja. (Kirmann 2012.)

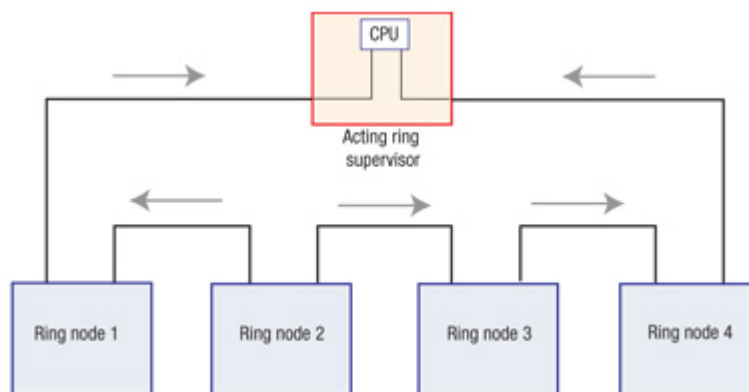
CRP (Fieldbus Foundation)	BRP (Rockwell)
Topology	connected meshed
	unrestricted
Costs	network duplication
	+ 2 controllers / device
	+ top-level switch with
	aggregated links
Implementation	special LRE driver
Restrictions on configuration	two MAC addresses
Restriction on performance	large traffic in top switches
SAN can talk with SAN on other LAN	yes
SAN aware of protocol	optional SANC, little used
Redundancy protocol uses	IP frames (opt. intercepted)
Error detection on reception	missed DiagnosticFrame
Error detection on sending	receive DiagnosticFrame
Check inactive port	send/receive DF every Tdmi
Switch tables actualization	Annunciation frames
Table of partner nodes	yes, configured
Network supervision	SNMP, node tables
Switchover time	(Tdmi –interval) 200 ms
Licenses	yes

BRP siis käyttää CRP:n periaatetta lisäten siihen Beaconit, jotka edistävät nopeaa viikaantumistilanteesta palautumista. Kuvassa 22. on kuvattuna BRP verkko ja sen toimintaa.



Kuva 22. BRP verkko. (Kirmann 2012.)

Normaali operointi BRP verkossa, jokaisella solmulla on kaksi Ethernet porttia joissa on sisään rakennetut kytkimet. Kun solmu vastaanottaa paketin jommastakummasta Ethernet portista, se arvioi tarvitseeko sen itse vastaanottaa paketti vai lähettää paketti eteenpäin kehässä. Kuvassa 23. näkyy kuinka BRP toimii normaali tilassa.

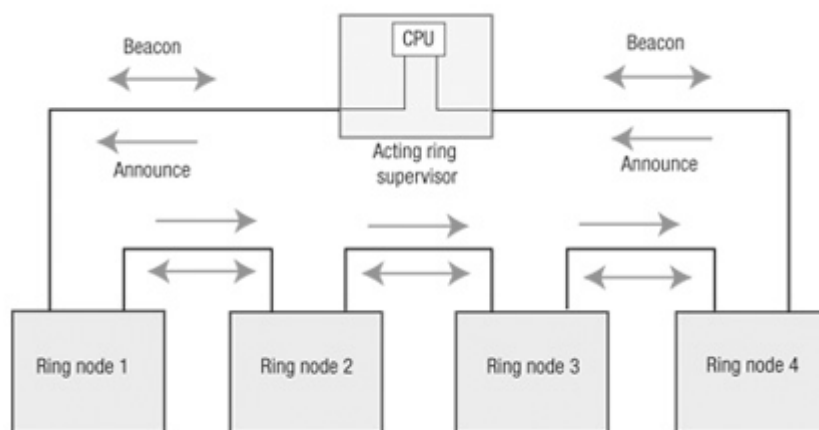


Kuva 23. Normaali operointi. (Ethernet/IP 2015.)

Aktiivinen kehänvalvoja blokkaa kaiken liikenteen toiselta porteista. Tämän konfiguroinnin ansiosta verkonsilmukka on estetty ja vain yksi reitti on saatavilla solmujen välillä normaalissa toiminnassa. Aktiivinen valvoja lähettää Beacon kehyksen molemmista Ethernet porteista. Aktiivinen valvoja lähettää myös ilmoituskehyksen yksi sekunnissa taajuudella. Kuvassa 24. esitetään kuinka Beacon ja ilmoituskehykset toimivat.

Beacon ja ilmoitus kehykset palvelevat muutamia asioita:

- Beacon ja ilmoituskehykset kertovat solmuille muuntumisesta lineaarisesta topologia tilasta kehä topologia tilaan.
- Beacon kehyksen häviäminen valvojalta aktivoi tietyn tyyppiset kehäviat. (Myös solmut voivat löytää vikoja kehästä).
- Beacon kehykset kantavat etusijaista lukua, joka sallii aktiivisen valvojan valinnan kun kehään on konfiguroitu monia valvojia.



Kuva 24. Beacon ja ilmoituskehykset. (Ethernet/IP 2015.)

Yleisimpiä vikaantumistiloja BRP verkossa:

- Linkki tai muu fyysinen kerros vikaantuu ja se huomataan vierekkäisellä solmulla.
- Virta vikaantuminen, joka huomataan vierekkäisellä solmulla linkkiviaksi.
- Tarkoituksellinen median katkaiseminen käyttäjältä, lisätäkseen uusia solmuja tai poistaakseen olemassa olevia.

Ylhäällä kuvatuissa tapauksissa, vierekkäinen solmulaite lähettää vikatiedon Link_Status viestin aktiiviselle valvojalle. Kuvassa 25. on kuvattu kuinka tämä tapahtuu.

- **Ring Supervisor:** Tämä luokka mahdollistaa olemisen kehänvalvojana. Laitteiden täytyy toteuttaa valvojan menetelmiä, kuten kykyä lähettää ja prosessoida Beacon kehyksiä normaali Beacon intervalli aikaan 400µs. (Ethernet/IP 2015.)
- **Ring Node, Beacon-based:** Tämä luokka implementoi DLR/BRP protokollan mutta ei anna oikeutta toimia valvojana. (Ethernet/IP 2015.)
- **Ring Node, Announce-based:** Tämä luokka myös implementoi DLR/BRP protokollan antamatta valvojan oikeuksia. Näillä solmuilla ei ole kapasiteettia prosessoida Beacon kehyksiä, ne voivat vain lähettää niitä eteenpäin. Näiden solmujen pitää pystyä prosessoimaan ilmoituskehyksiä. (Ethernet/IP 2015.)
- **Table 1:** Taulukko sisältää muuttujat joita käytetään DLR protokollassa. DLR objektit asettavat näitä muuttujia objektin attribuuteiksi. (Ethernet/IP 2015.)

DLR Variable	Description
Node State	Internal state of a node DLR state machine: IDLE_STATE – initial state for non-supervisors, indicating linear topology mode. FAULT_STATE – initial state for enabled ring supervisor, or when ring fault has been detected (both supervisor and ring nodes). NORMAL_STATE – normal function in ring topology mode.
Ring State	State of the ring network. Transmitted by ring supervisors in Beacon and Announce frames: RING_NORMAL_STATE – Ring is functioning, with supervisor blocking traffic on one port. RING_FAULT_STATE – Fault detected, ring supervisor is not blocking traffic (also is the initial state transmitted in the Beacon and Announce frames).
Beacon Interval	Interval at which the ring supervisor sends Beacon frames. Supervisors will support a range from 400 microseconds to 100 milliseconds. The default value will be 400 microseconds. Supervisors may support a Beacon Interval smaller than 400 microseconds, but this is not required. The absolute minimum Beacon Interval is 100 microseconds. Beacon-based ring nodes will support beacon rates of 100 microseconds to 100 milliseconds in order to accommodate all ring supervisor implementations.
Beacon Timeout	Amount of time nodes will wait before timing out reception of Beacon frames and taking the appropriate action (depending on whether supervisor or normal ring node). Supervisors will support a range from 800 microseconds to 500 milliseconds. The default will be 1960 microseconds. Supervisors may support a Beacon Timeout of smaller than 800 microseconds but this is not required. The absolute minimum Beacon Timeout is 200 microseconds.
Supervisor Precedence	Precedence value assigned to a ring supervisor, and transmitted in Beacon frames. Used to select active ring supervisor when multiple supervisors have been configured. Default value is 0. Can be changed via the DLR Object.
DLR VLAN ID	VLAN ID used when sending DLR protocol frames. The VLAN ID is configured at the ring supervisor (via the DLR Object), and is then detected by ring nodes when they receive and process the Beacon or Announce frames from the supervisor. Default value is 0. Typically the VLAN ID does not need to be changed unless a commercial switch is being used in the ring.

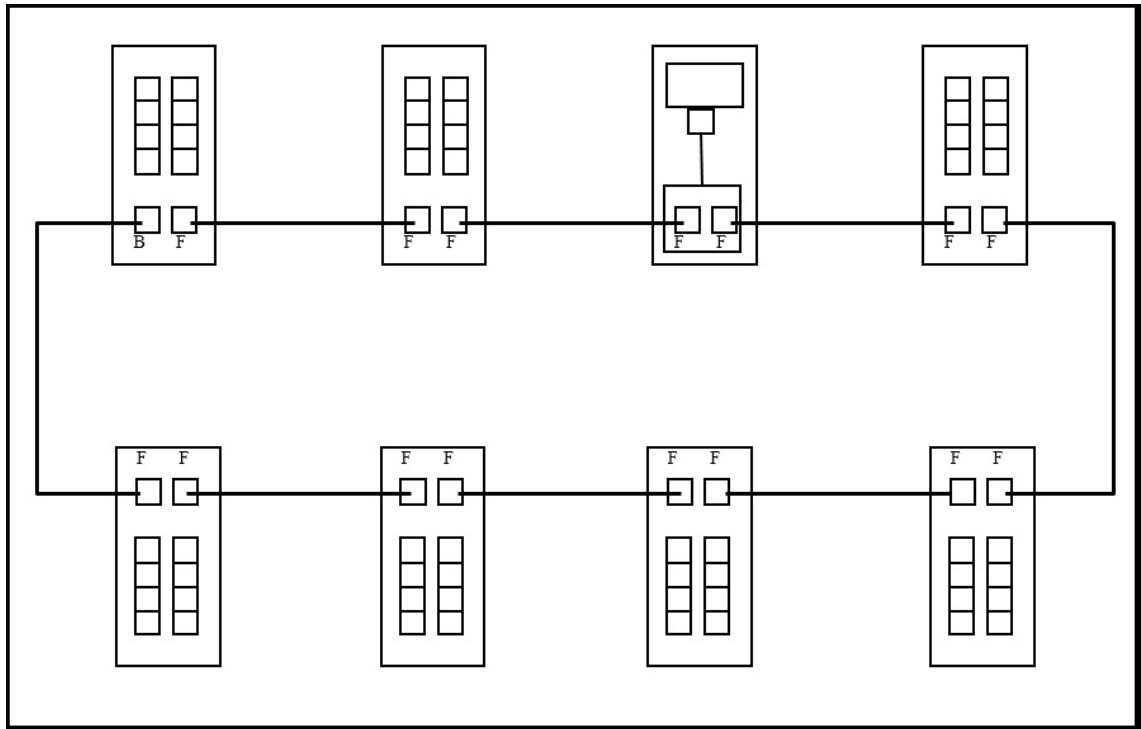
Kuva 27. DLR muuttujat. (Ethernet/IP 2015.)

Päätelmiä: DLR protokolla sopii hyvin Ethernet/IP verkkoon. DLR verkko on hyvin nopea palautumaan vika tilanteessa. DLR palautumisaika vikatilanteissa 50-laitteella on alle 3 ms. Suuri palautumisnopeus mahdollistaa DLR käytön verkoissa, joissa tarvitaan kovaa reaaliaikaisuutta. (Ethernet/IP 2015.)

4.2.6 Distributed Redundancy Protocol

DRP toimii FORWARDING ja BLOCK menetelmällä eli portit voivat olla joko kiinni tai auki kehässä. DRP käyttää IEEE 1588 kello synkronointia ja se synkronoi kaikki kytkimet tämän mukaan. DRP verkossa jokainen kytkin tutkii vuorollaan kehää, lähettäen verkkoon tarkastuskehysiä naapureilleen. Mikäli tarkastuskehys ei saavu perille tietyn ajan jälkeen, lähetetään verkkoon hälytyskehys joka kertoo laitteille mitkä portit asetetaan kiinni tai auki tilaan. DRP toimii siis dynaamisena redundanti verkkona jolla tarkastuksen

tekee jokainen kytkinlaite. Kuvassa 28. on esitetty DRP verkko topologia. (Kirrmann 2012.)



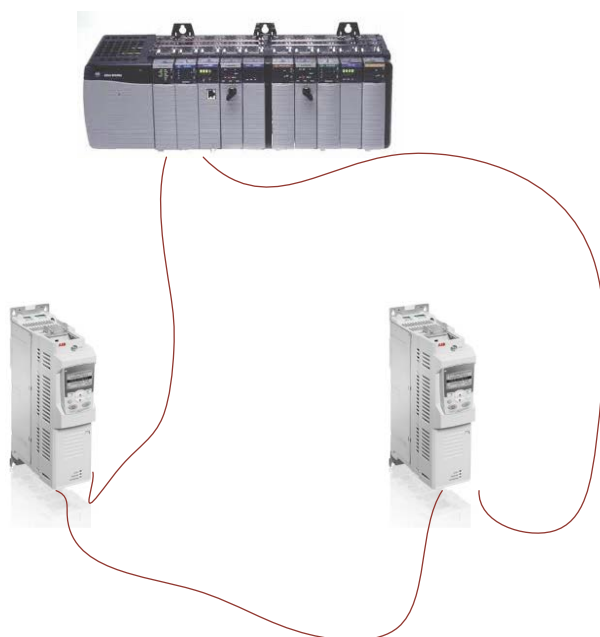
Kuva 28. DRP verkko.

5 Testausjärjestelmän toteutus

5.1 Testien toteutus

5.1.1 Kestotesti

Työssä tehtiin kestotestijärjestelmä Allen Bradleyn DLR verkon ja taajuusmuuntajien välille Ethernet/IP protokollalla. Tässä testissä oli Allen Bradleyn PLC, ABB:n taajuusmuuntajia kaksi ja näissä väylä kortti FENA-21. Kuvassa 29. on esitetty kestotesti järjestelmän arkkitehtuuri kuva.



Kuva 29. Kestotestin arkkitehtuuri.

Testin ideana on ajaa taajuusmuuntajia pitkiä aikoja FENA-21:llä DLR verkossa ja testata Allen Bradleyn DLR korttien toimivuutta. Tämä testi ei toimi yleisenä DLR testinä, koska aikavasteet eivät riitä mitenkään saamaan kiinni erinaisia DLR verkon ongelmia tai ominaisuuksia.

Testi sopiikin muutamien FENA-21 ajoin ja katkomaan testin verkkoa taajuusmuuntajan releen avulla. Näin saadaan testattua kestotestimaisesti DLR verkkoa ja sen palautumista FENA-21:llä. Tästä saadaan jo jotain osviittaa FENA-21 DLR ominaisuuksien toimivuudesta Ethernet/IP protokollalla.

Kestotestin toteutusta testattiin kahdeksan tuntia, koska toimisto tiloissa ei saanut pitää valvomatta laitteita päällä, mutta 8 tuntia antaa hyvää informaatiota verkon toimivuudesta. Testissä lähetettiin tietoa molemmille taajuusmuuntajille PLC:ltä, kun tieto saapui taajuusmuuntajille ne kopioivat tiedon omaan muistiinsa ja kun PLC sai luettua saman arvon taajuusmuuntajan muistista, voitiin todeta verkon toimivan. Datat kokosiirtoaika nauhoitettiin PLC:llä, PLC kiersi 1 ms aikakierroksella ja kuvassa 30. on saatu data kahdeksan tunnin testistä.

FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX	[...]	[...]	Decimal	DINT[200]
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[0]	27859		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[1]	35803		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[2]	35958		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[3]	36015		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[4]	36140		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[5]	36871		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[6]	37225		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[7]	37349		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[8]	37447		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[9]	37978		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[10]	41686		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[11]	43101		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[12]	0		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[13]	0		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[14]	0		Decimal	DINT
⊕ FENA102_ANS_CYCLETIME_MAX[15]	0		Decimal	DINT

Kuva 30. Kestotestin siirtoajat.

Testiajoista voidaan päätellä Allen Bradley'n ja taajuusmuuntajien toimineen koko testin ajan niin kuin kuuluukin. Kuvassa ajat ovat mikrosekunteja ja keskimääräinen aika oli luokkaa 25 - 30 ms. Testissä erikoinen ilmiö oli kun toiseen taajuusmuuntajaan oli kytketty moottori ja tätä ajettiin jokin aika testistä ja pidettiin pois päältä tietty aika. Moottorin pyöriessä siirtoajat datalle olivat pienempiä, kuin moottorin ollessa pois päältä. Tämän luulisin olevan juuri toisinpäin, kun taajuusmuuntajaa kuormitetaan mutta voi olla että testaamassani FENA-21 versiossa 3.01 oli jokin vanha virhe.

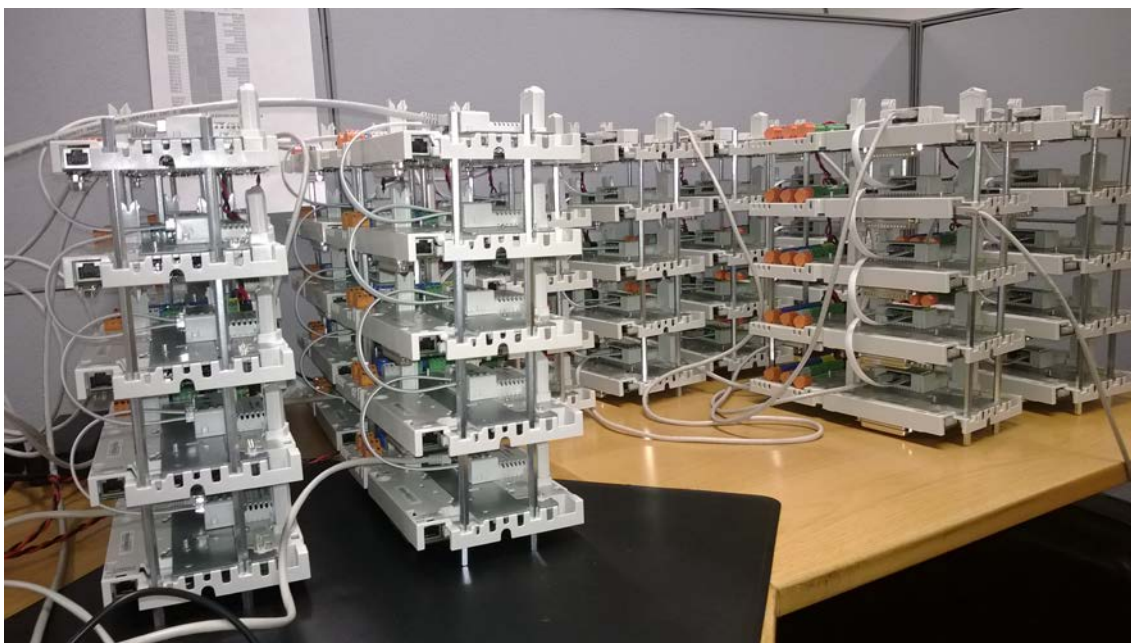
5.1.2 DLR testit

Työssä haluttiin tehdä DLR:lle testauksia ja verrata saatuja tuloksia valmistajan antamiin lukuihin. Työssä toteutettiin 46. taajuusmuuntajan verkko, jossa oli Allen Bradley'n PLC. Jokaisella ACS880 taajuusmuuntajalla oli oma FENA-21 korttinsa. Kuvassa 31. on kuva

tästä verkosta. Kuvassa 32. on taajuusmuuntajan ACS880 testialustoja, jolle kaikille on kytketty kaksi FENA-21:stä yhteensä 46.

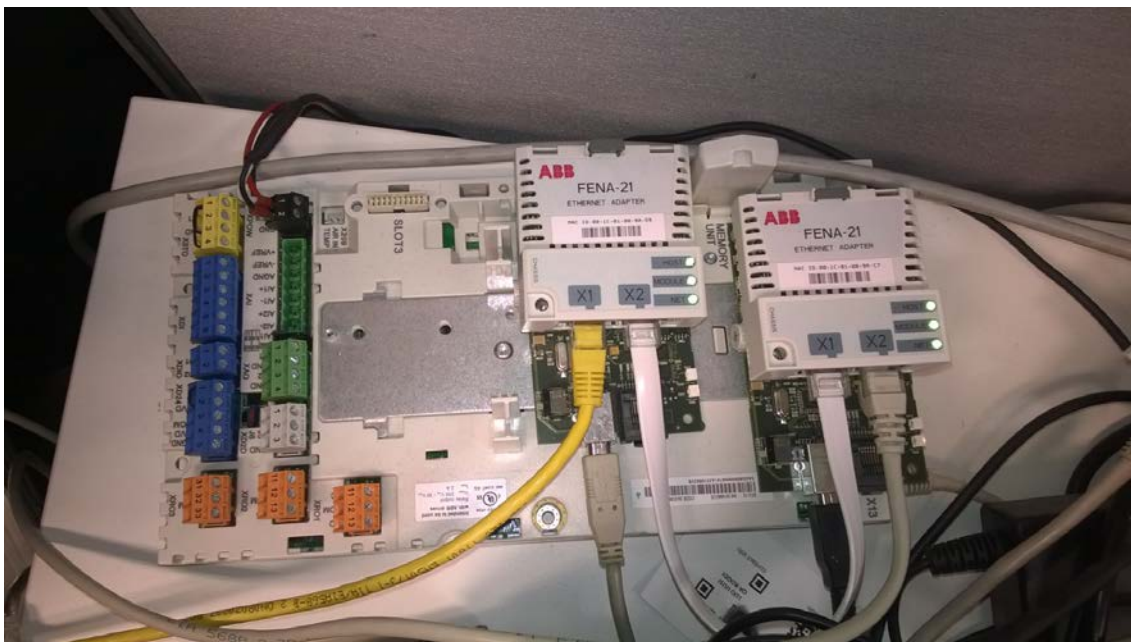


Kuva 31. DLR verkon arkkitehtuuri, kommunikointimoduulit ovat sarjassa ringissä.



Kuva 32. ACS880 DLR verkko.

Seuraavassa kuvassa 33. on esitetty kuinka FENA-21 on kytketty yhdelle ACS880 testialustalle. Alustoja verkossa oli 23, joihin kaikkiin tuli 24V DC käyttöjännite. Kaikille FENA-21 oli oma IP-osoite, joka oli kerrottu PLC:lle.



Kuva 33. ACS880 testialustan FENA-21 kytkentä.

Kuvassa 34. on esitetty Allen Bradleyn PLC:n DLR kortti, johon oli kytketty verkko molemmista suunnista. Tämä kortti toimii BRP protokollalla ja käyttää porttia yksi ensisijaisesti tiedonsiirtoon.



Kuva 34. Allen Bradleyn PLC DLR-kortti.

Ensimmäiseksi mitattiin DLR kortin ominaisuuksia yleisesti ja lähetettiin PLC:ltä tietoa tietyille FENA-21:lle ja tutkittiin datan siirtymistä taajuusmuuntajalle. Tämän jälkeen kytkettiin Beckhoff:n ET2000 Ethernet koettimelle molemmat portit PLC:ltä ja lisäksi FENA-21:lle jolle lähetettiin tietoa. Beckhoffin koetin ET2000 siis toimii kytkimenä mutta laittaa nanosekunnin tarkkuudella aikaleiman paketeille, jotka kulkevat sen lävitse.

Beacon lähetystaajuus testaus

Testissä mitattiin kuinka usein PLC lähettää Beaconeita verkkoon. Vertailtiin tätä aikaa valmistajan antamaan lukemaan. PLC lähetystaajuus oli laitettu 200 mikrosekuntiin, testit osoittivat sen olevan tarkka ja heittoja tuli hyvin harvoin. Kuvassa 35. on osoitettu toisella sarakeella kulunut aika nano sekunteina edellisestä lähetyksestä.

10.8212805	0.000200000	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8214805	0.000200040	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8216041	0.000123560	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8218040	0.000199960	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8220041	0.000200040	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8222041	0.000200000	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8224041	0.000200040	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01
10.8226041	0.000200000	Rockwell_5c:11:7a	odva_00:00:01

Kuva 35. Beaconeiden lähetystaajuustestaus.

Verkon aikavaste testaus

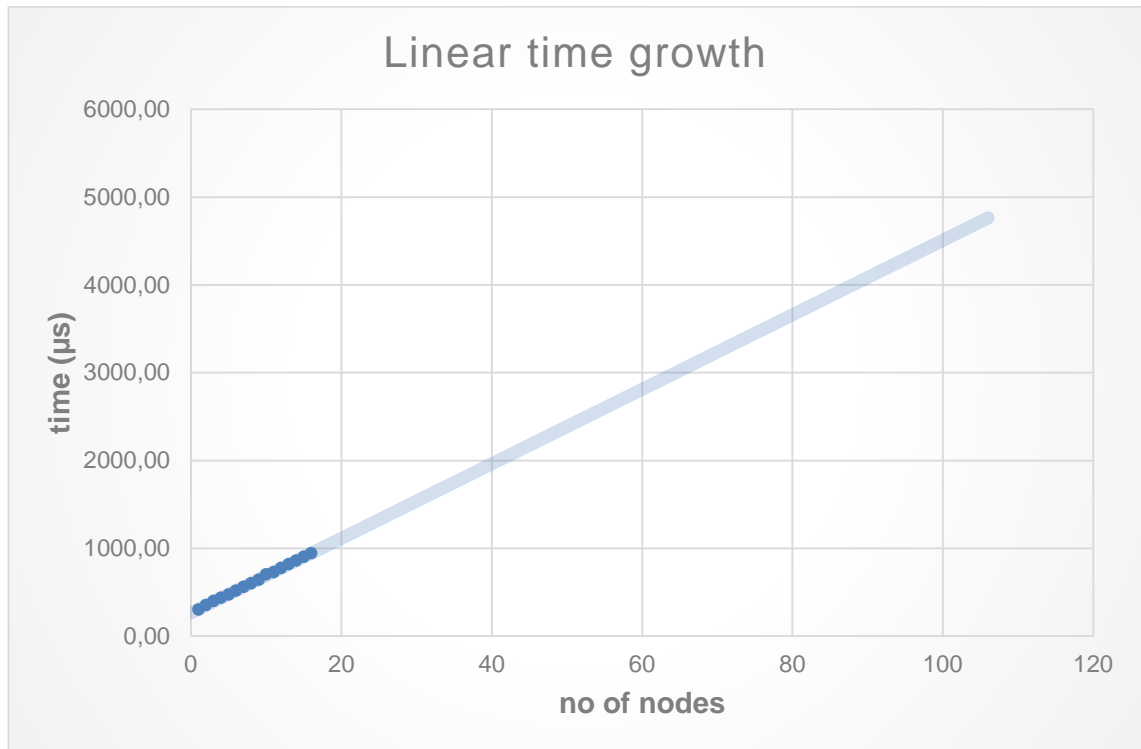
Testissä testattiin kuinka kauan yksi paketti kestää kulkea 46. taajuusmuuntajan lävitse ja paljonko tästä tulee yhdelle FENA-21:lle viiveeksi. Taulukossa 7. on esitetty testin tuottamia tuloksia taajuusmuuntajan aikavasteesta.

Taulukko 7. 16. taajuusmuuntajan aikavaste testaus.

IP	node	time (ns)	Delta time (ns)
103	node 1	240920	
104	node 2	311720	70800
105	node 3	328520	16800
106	node 4	340640	12120
107	node 5	400200	59560
108	node 6	463720	63520
109	node 7	471760	8040
111	node 8	527680	55920
211	node 9	548000	20320
209	node 10	614760	66760
208	node 11	638920	24160
207	node 12	673760	34840
206	node 13	719080	45320
205	node 14	746600	27520
204	node 15	776040	29440
203	node 16	851720	75680
Average Delta time (ns)			<i>40720,00</i>
Calculated FENA-21 latency (ns)			<i>20360,00</i>

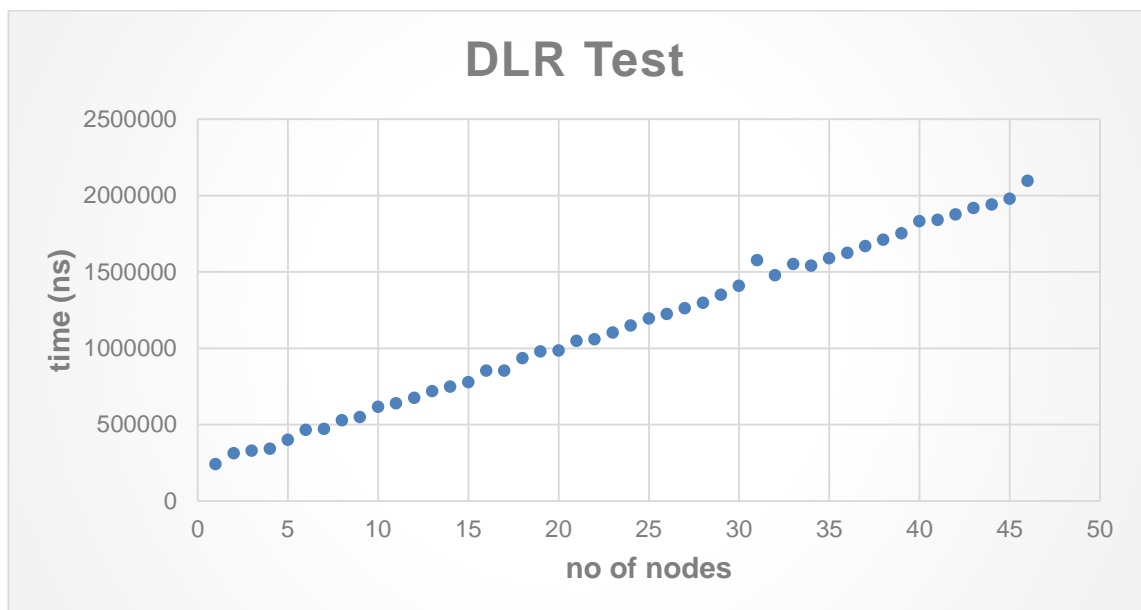
Taulukossa 7. on 16. FENA-21 joista on mitattu aikavastelähetetystä ajasta saapumisaikaan. Tässä testissä aika on laskettu PLC:n kyselyajasta ja FENA-21 vastausajasta, joten lopputulos täytyy jakaa kahdella saadakseen yhden FENA-21 kuluttama aika. Yhden FENA-21 kuluttamaksi ajaksi saatiin 20,3 mikro sekuntia, tähän aikaan sisältyy tietysti kulku-aika edelliseltä FENA-21:ltä seuraavaan FENA-21:een. Oskilloskooppi mitatuissa tuloksissa yhden FENA-21 vasteaika oli 18,4 mikro sekuntia.

Kuvasta 36. voidaan päätellä kuinka suureksi verkon vasteaika muuttuu kun taajuusmuuntajia on lisätty verkkoon. Taajuusmuuntajien noustessa 100:aan on vasteajat jo luokkaa 4,5 ms ja tämä ei enää välttämättä ole kovan reaaliaikaisuuden rajoissa.



Kuva 36. Taajuusmuuntajien lineaarinen vasteaika verkossa.

Suoritettiin mittaukset myös kaikille 46. FENA-21:lle ja testi näyttää hyvin samalta lineaarisen laskelman kanssa. Kuvassa 37. on esitettyä kuinka vasteaika kasvaa mittauksessa.



Kuva 37. DLR verkon vasteajat.

DLR verkon vikaantumistestaus

Viimeiseksi suoritettiin DLR:n ominaisuuksia testaava testi, jossa mitataan kuinka nopeasti DLR kykenee vaihtamaan tiedonsiirtosuuntaa vikaantumisen tapahtuessa. PLC lähetti yhdelle FENA-21 tietoa 1 ms aika intervallilla. Tämä intervalli oli epätarkka PLC:ssä ja se heitteli 1 – 2 ms välillä, mutta tämä ei suuresti haittaa testin tekoa. Kuvassa 38. on esitetty toisella sarakkeella nanosekunteina lähetystaajuus FENA-21:lle, jostain syystä se nousee 2 ms aina silloin tällöin. Taulukossa 8. on esitetty valmistajan antamia lupauksia DLR protokollalle.

Taulukko 8. Valmistajan antamia tuloksia DLR:lle.

Number of Ring Nodes	Beacon Interval (usecs)	Round Trip Time ₁ (usecs)	Beacon Timeout (usecs)	Physical Layer Faults Recovery Delay (usecs)	Non-physical Layer Faults Recovery Delay for Beacon Based Nodes (usecs)	Non-physical Layer Faults Recovery Delay for Announce Based Nodes (usecs)	Ring Restore Delay for Beacon Based Nodes (usecs)	Ring Restore Delay for Announce Based Nodes (usecs)
25	400	905	1380	980	1858	2335	1808	2260
50	400	1810	1960	1885	2890	3820	3165	4070
(nominal network size)								
100	400	3620	3120	3695	4955	6790	5880	7690
150	400	5430	4280	5505	7020	9760	8595	11310
200	400	7240	5440	7315	9085	12730	11310	14930
250	400	9050	6600	9125	11150	15700	14025	18550

4.88025332	0.000995800	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.88219732	0.001944000	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.88325588	0.001058560	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.88430104	0.001045160	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.88535908	0.001058040	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.88648228	0.001123200	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.88846900	0.001986720	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89044180	0.001972800	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89241044	0.001968640	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89343824	0.001027800	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89448708	0.001048840	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89553076	0.001043680	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89662852	0.001097760	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89860592	0.001977400	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.89963760	0.001031680	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90161376	0.001976160	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90361856	0.002004800	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90466752	0.001048960	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90571200	0.001044480	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90680464	0.001092640	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90878168	0.001977040	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP
4.90980812	0.001026440	192.168.0.110	192.168.0.125	ENIP

Kuva 38. PLC:n aika intervalli testattavan FENA-21 kanssa.

DLR ominaisuuksien testauksessa tehtiin monta otosta, irrottamalla kaapeli portista yksi. Tästä saamalla datalla saatiin todettua että 200 mikro sekunnin taajuudella lähetetyt Beaconit kerkiävät aina tutkia 46. taajuusmuuntajan verkon ennen kuin järjestelmälle ehtisi tulla viivettä kaapeli katkoksesta. Beaconi kulkee noin 900 mikro sekuntia tässä verkossa, mikä 1 ms aikaintervallilla toimivalle PLC:lle on juuri tarpeeksi. Verkon suurentuessa Beaconin kulkuaika kasvaa ja tämä luo ongelmia myös vikaantumistilanteessa suoritettavalle suunnanmuutokselle. Taulukossa 9. on mitattu molemmista portista lähetetyt Beaconit ja laskettu niiden kulkuaika verkossa.

Taulukko 9. Beaconin kulkuaika verkossa.

	Timestamp	Delta time (ns)
Port1	1,82559E+13	
	1,82559E+13	908720
Port2	1,82559E+13	
	1,82559E+13	908240

Vikaantumistilanteessa siis PLC:n aika intervalli seuraavalle paketille oli 1 – 2 ms, joka oli myös normaali aika PLC:n lähetyksessä. Ainoastaan kun kaapelin irrottaminen tapahtui juuri sopivasti siihen väliin kun PLC on lähettänyt paketin portille yksi mutta kaapeli menee poikki ja seuraavan lähetyksen alkuun kestää vielä kaksi kertaa normaaliaika. Tässä tilanteessa kestää kaksi kertaa kauemmin seuraavan paketin lähteä PLC:ltä. Taulukossa 10. on tällainen tilanne jonka sain kiinni kaapelin katkaisussa.

Taulukko 10. Vikatilanne kaapeli katkos.

192.168.0.12	ENI			2,01103E+1
5	P	108	Connection: ID=0x000030F2, SEQ=0014579537	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
192.168.0.12	ENI			2,01103E+1
5	P	108	Connection: ID=0x000030F2, SEQ=0014579537	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
Odva_00:00:				2,01103E+1
01	DLR	72	Beacon	3
192.168.0.12	ENI			2,01103E+1
5	P	108	Connection: ID=0x000030F2, SEQ=0014579539	3

Vihreä osoittaa edellistä onnistuneesti lähetettyä pakettia portista yksi. Tämän jälkeen PLC on lähettänyt seuraavan paketin mutta sitä ei näy tässä datassa, koska kaapeli on mennyt poikki ennen kuin se on ehtinyt Beckhoff:n koetin laitteelle. Punaisella on osoitettu seuraava PLC:ltä lähtevä paketti joka on mennyt portista 2. Näiden lähetettyjen pakettien lähetys aikaero on 3140680 ns eli 3,13 ms. Tämä aika on siis kahdenkertainen normaaliin ja se voi kovissa reaaliaikaisuuksia vaativissa järjestelmissä olla liian suuri.

Tosin tämän tyyppisiä järjestelmiä on varmaan harvassa, jotka tarvitsevat alle 3 ms aikavastetta.

6 Yhteenveto

Insinööriytyössä oli tarkoituksena selvittää, miten voitaisiin testata helposti FENA-21:n DLR ominaisuudet kestoprotestimäisesti, sekä DLR:n toiminnallisuus ominaisuuksien mittausta valmistajan antamiin tuloksiin. Työssä tehtiin kestoprotestijärjestelmä ja rakennettiin DLR verkko, josta mitattiin relevanttia dataa työhön. Aikaisemmin ei ole tehty vastaavaa Ethernet/IP väylä protokollassa DLR ominaisuuksien tutkimista. Lisäksi opinnäytetyössä kerrottiin yleisesti väylistä ja selostettiin, miten eri redundanttiprotokollat toimivat. DLR verkon analysointi aloitettiin rakentamalla verkko, jossa oli 46. FENA-21. Tämän jälkeen tutustuttiin DLR toimintaan ja teoriaan yleisesti. Seuraavaksi suoritettiin Wireshark ohjelmistolla datan tutkiminen verkossa aluksi ilman mitään päämäärää. Tämän jälkeen tehtiin suunnitelma, jossa mietittiin, mitä mitataan ja testataan. Tämän jälkeen suoritettiin mittaukset verkossa ja analysoitiin dataa sen mukaan.

Työssä valmiiksi saatiin tehtyä kestoprotesti FENA-21 ja Allen Bradley PLC:lle. Testissä ohjelma syöttää dataa FENA-21:lle ja lukee sen sieltä. Mittaamalla lähetetyn ja luetun ajan väliä saadaan PLC:lle tieto, että kaikki on kunnossa. Tätä aikaa mitataan koko ajan kun testiohjelmaa suoritettiin ja ohjelma katko yhteyttä tietyn väliajoin. Kaiken ollessa kunnossa ei liian suuria aikoja tule ja voidaan todeta, että järjestelmä toimii niin kuin sen kuuluukin. Lisäksi ohjelmaan tehtiin Rockwellin ohjelmistolla viiden FENA-21 kattava ohjelma, josta voidaan tulevaisuudessa muokata alustaa hyväksi käyttää sitä tulevissa testeissä. Tältä osin kaikki työn tavoitteet saavutettiin ja tutkittiin yleisesti myös enemmän. Tulevaisuudessa jatkokehitys mahdollisuudet ovat kestoprotestipohjalla nopeammat saavuttaa. Teoriaan tutustuminen ja testien tekeminen käytännössä redundanttille protokollalle auttavat jatkossa redundanttii protokollien testauksessa.

Yleisesti DLR tekniikasta ei löytynyt mitään verrattuna valmistajan lupauksiin. Ainoana testituloksena, kun kaapeli irtoaa juuri oikeaan aikaan, tulee PLC:n lähetys intervalliin kahdenkertainen tulos. Paketin hukkuessa olemattomiin ja PLC:n odottaessa seuraavaa lähetysaikaa näin pääsee tapahtumaan. DLR verkossa täytyy ottaa siis huomioon mahdollinen kahdenkertainen vikaantumisaika suunniteltaessa ainakin todella kovia reaaliaikaisuuksia varten.

Lähteet

ABB Intra 1. 2015. Who we are - Group structure. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/about/abb-in-brief/group-structure>>. Luettu 28.2.2014.

ABB Intra 2. 2015. Who we are - ABB in bief. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/about/abb-in-brief>>. Luettu 28.2.2014.

ABB Intra 3. 2015. ABB avainluvut. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/about/abb-in-brief/key-figures>>. Luettu 14.2.2014.

ABB Intra 4. 2013. ABB Annual report 2013. Verkkodokumentti. <[http://www02.abb.com/global/seitp/seitp255.nsf/0/74b9eafca5502c14c1257c850037b8f8/\\$file/ABB+Group+Annual+Report+2013_English.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp255.nsf/0/74b9eafca5502c14c1257c850037b8f8/$file/ABB+Group+Annual+Report+2013_English.pdf)>. Luettu 28.2.2014.

ABB Intra 5. 2015. ABB Suomessa 2015. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>. Luettu 28.2.2014.

ABB Intra 6. 2015. ABB historia Suomessa 2015. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>>. Luettu 28.2.2014.

ABB Intra 7. 2015. ABB Drives yksikkö. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/drives>>. Luettu 10.3.2014.

Eloranta, Eero – Ranta, Jukka – Salmi, Pekka – Ylä-Anttila, Pekka 2010. Teollinen suomi – Tuotannon uudistuminen kriisin jälkeen. Helsinki. Edita Prima Oy.

EtherCAT. 2015. EtherCAT Technical Introduction. Verkkodokumentti. <<http://www.ethercat.org/>>. Luettu 17.3.2014.

Ethernet/IP. 2015. Guide for EtherNet/IP™ Developers. Verkkodokumentti. <<http://www.odva.org/>>. Luettu 17.3.2014.

Granlund, Kaj 2007. Tietoliikenne. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.

Hodgkinson, Geoff. 2010. Holistic thinking now defines industrial automation. Verkkodokumentti. <<http://www.iebmedia.com/index.php?id=4528&parentid=63&themeid=255&hft=21&showdetail=true&bb=1&PHPSESSID=m0pes-nhfq64jckg3gh2fgak8f2>>. Luettu 10.4.2014.

Kaario, Kimmo 2002. TCP/IP-verkot. Jyväskylä: Docendo Finland Oy.

Karvo, Jouni – Kiravuo, Timo 2004. Backbone network technologies. Helsinki.

Kirrmann, Hubert. 2012. Highly Available Automation Networks Standard Redundancy Methods. Luettu 10.3.2014.

Kurose, James F. – Ross, Keith W. 2013. Computer Networking. Pearson Education Limited.

Kämäri, Anssi – Tiainen, Risto. 2005. Sulautettu Linux ja Ethernet sähkökoneiden kunnonvalvonnassa, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

Modbus TCP. 2015. Modbus TCP. Verkkodokumentti. <<http://www.modbus.org>>. Luettu 11.3.2014.

Mohl, Dirk. 2006. IEEE 1588: Running Real-time on Ethernet. Verkkodokumentti. <<http://www.iebmedia.com/index.php?id=4425&parentid=74&themeid=255&hpid=2&showdetail=true&bb=1&appsw=>>>. Luettu 10.3.2014.

Piikkilä, Veijo – Sahlstén, Toivo 2006. ST-Käsikirja 21. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Profinet. 2014. Technical description. Verkkodokumentti. <<http://www.profibus.com>>. Luettu 17.3.2014.

Pyyskänen, S. 2007. Teollisuuden Laiteverkot - Johdatus Väylätekniikkaan. Helsinki: Suomen automaatioseura ry.

Society of Automotive engineers. 1987. *Automotive electronics reliability handbook*, Yhdysvallat: SAE Inc.

Sovelluskerros. 2008. TKK - Sovelluskerros. Verkkodokumentti. <<http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-110.2100/2008/Luennot/06.Sovellukset.pdf>>. Luettu 28.2.2014.

Sundquist, M. 2008. Teollisuusautomaation tiedonsiirtoliikenne - Turvaväylät. Helsinki: Inspecta Koulutus Oy.

Vila-Carbo, Joan. 2010. Analysis of switched Ethernet for Real-Time transmission. Verkkodokumentti. <<http://www.intechopen.com/books/factory-automation/analysis-of-switched-ethernet-for-real-time-transmission>>. Luettu 10.4.2014.