

Aku Itkonen

Teollisuustietoliikenneverkot osana suunnitteluprosessia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

6.3.2018

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Aku Itkonen Teollisuustietoliikenneverkot osana suunnitteluprosessia 48 sivua + 2 liitettä 6.3.2018</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>Automaatiotekniikka</p>
<p>Ammatillinen pääaine</p>	
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Jukka-Pekka Pirinen Osastopäällikkö Pasi Haravuori Projekti-insinööri Pauli Aholainen</p>
<p>Tämä insinööriyö toteutettiin Sweco Industry Oy:n toimeksiannosta. Insinööriyössä tutkittiin teollisuuden automaatio suunnitteluun liittyvää tietoverkkosuunnittelua ja nykypäivänä käytössä olevaa tietoverkkoteknologiaa suunnitteluorganisaation näkökulmasta.</p> <p>Aluksi työssä tutkittiin suunnitteluprojektia ja sen vaiheita sekä tietoverkkosuunnittelua osana suunnitteluprojektia. Insinööriyö antaa lukijalleen yleiskäsityksen tietoverkkosuunnittelusta sekä perehdyttää tietoverkoissa käytettävään teknologiaan ja tiedonsiirtoverkkojen toimintaperiaatteisiin.</p> <p>Työtä varten haastateltiin suunnitteluosaston asiantuntijoita ja käytettiin materiaalina toteutettujen projektien tuottamia suunnitteludokumentteja ja laitevalmistajien tietoja.</p> <p>Työssä päästiin hyvään peruskäsitykseen suunnitteluprojektista ja teollisuuden tietoverkoista sekä siihen liittyvästä suunnittelutyöstä.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>automaatio, suunnittelu, teollisuus, tietoverkot</p>

Author Title	Aku Itkonen Industrial Networks as a Part of Automation Design Project
Number of Pages Date	48 pages + 2 appendices 6 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Professional Major	
Instructors	Jukka-Pekka Pirinen, Senior Lecturer Pasi Haravuori, Department Manager Pauli Aholainen, Project Engineer
<p>This study was commissioned by Sweco Industry Oy. The study focused on industrial automation design related computer network engineering and the current network technology from the design organization perspective.</p> <p>Initially, a design project and its phases, as well as computer network design were explored as part of a design project. The thesis gives the reader an overview of the computer network design, as well as introduces the technology used in the industrial networks and the operating principles of the transmission networks.</p> <p>The experts of the Sweco Automation Planning Department were interviewed. These interviews, design documents produced by the implemented projects, and the data of the equipment manufacturers were used as material.</p> <p>The study gives a general idea of the design project and industrial networking. Design organization's role in industrial networking was also explored.</p>	
Keywords	Automation, Design, Industry, Networks

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Yleistä	1
1.2	Teollisuustietoliikenneverkot teollisuudessa	1
1.3	Sweco Industry	2
2	Suunnitteluprosessi	3
2.1	Suunnitteluprojekti	3
2.1.1	Esiselvitys	3
2.1.2	Esisuunnittelu	4
2.1.3	Perussuunnittelu	4
2.1.4	Toteutussuunnittelu	4
3	Automaatiosuunnitteluprosessi	5
3.1	Esisuunnittelu	5
3.2	Perussuunnittelu	5
3.2.1	Automaatiosuunnittelu	5
3.2.2	Instrumentointisuunnittelu	6
3.3	Toteutussuunnittelu	8
3.3.1	Automaatiosuunnittelu	8
3.3.2	Instrumentointisuunnittelu	8
3.4	Asennus ja käyttöönotto	9
3.5	FAT- ja SAT-testaus	9
3.6	Projektin osapuolet	10
3.6.1	Asiakas	10
3.6.2	Laitetoimittaja	10
3.6.3	Suunnitteluorganisaatio	10
3.6.4	Urakoitsija	10
3.6.5	Viranomaiset	11
4	Teollisuuden tiedonsiirtoverkot	12
4.1	Tiedonsiirtoverkoista	12
4.2	Verkkoarkkitehtuuri	12
4.3	IP, Internet-protokolla	13
4.4	Lähiverkkotyypit	14

4.4.1	Väylätopologia	14
4.4.2	Tähtitopologia	15
4.4.3	Rengastopologia	16
4.4.4	Puutopologia	17
4.5	Tietoverkon laitteet	18
4.5.1	Reititin (engl. Router)	18
4.5.2	Kytkin (engl. Switch)	18
4.5.3	Palomuri (engl. Firewall)	19
4.5.4	Toistin (engl. Repeater)	19
4.5.5	Kuitupaneeli (engl. Fibre Optic Patch Panel)	20
4.6	Automaatiojärjestelmien laitteet	21
4.6.1	Hajautettu ohjausjärjestelmä, DCS	21
4.6.2	Ohjelmoitava logiikkaohjain, PLC	22
4.7	Kaapelointi	23
4.7.1	Kierretty parikaapeli	23
4.7.2	Optinen valokuitukaapeli	24
4.8	Verkkohierarkia	25
5	Kenttäväylät ja laiteverkot	28
5.1	Kenttäväylät teollisuudessa	28
5.2	Kenttäväylän toimintaperiaate ja käyttökohteet	28
5.3	Profibus DP/PA	30
5.3.1	Profibus DP	32
5.3.2	Profibus PA	33
5.3.3	Profinet	33
5.3.4	Optinen muunnin (engl. Optical link module, OLM)	34
5.3.5	DP/PA-kytkinlaite (engl. DP/PA Coupler)	35
5.3.6	Siemens DP/PA -linkkimoduuli (engl. DP/PA Link Module)	35
5.4	HART-protokolla (Highway Addressable Remote Transducer)	36
6	Teollisuuden tietoverkkojen tietoturvallisuus	37
6.1	Tietotekniset uhat	37
6.2	Ulkoiset palvelut	37
6.3	DMZ, Demilitarized Zone	38
6.4	VPN, Virtual Private Network	40
7	Tietoverkkosuunnittelu	41
7.1	Tietoverkkosuunnittelun päätehtävä	41

7.2	Suunnittelun haasteet	41
7.3	Laatuyhteistyö	41
7.4	Suunnittelun kulku	42
7.5	Tiedonsiirtoverkon dokumentit	43
7.6	Tiedonsiirtoverkkojen suunnitteluohjelmistoista	43
8	Yhteenveto	45
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Tehtaan runkoverkon verkkokaavio	
	Liite 2. Automaatioverkon rakennemalli	

Lyhenteet

A/D	Analog/Digital = analoginen/digitaalinen
DCS	Distributed Control System = Hajautettu ohjausjärjestelmä
DMZ	Demilitarized Zone = Suojattu eteisverkko
ERP	Enterprise Resource Planning = Toiminnanohjausjärjestelmä
FAT	Factory Acceptance Test = Toiminnallisuustesti tehtaalla
I/O	Input/Output = tulo-/lähtötieto
IP	Internet Protocol = Internet-protokolla
LAN	Local Area Network = Lähiverkko
LVI	Lämpö, vesi, ilmanvaihto
MAC	Media Access Control
MBP	Manchester Bus Powered
MES	Manufacturing Execution System = Tuotannonohjausjärjestelmä
OLM	Optical Link Module = Optinen muunnin
OSI	Open System Interconnection
PC	Personal Computer = Henkilökohtainen tietokone
PLC	Programmable Logic Controller = Ohjelmoitava logiikkaohjain
SAT	Site Acceptance Test = Toiminnallisuustesti työkohteessa
STP	Shielded Twisted Pair = Häiriösuojattu kierretty pariikaapeli

UTP	Unshielded Twisted Pair = Häiriösuojaamaton kierretty parikaapeli
VLAN	Virtual Local Area Network = Virtuaalinen lähiverkko
VPN	Virtual Private Network = Virtuaalinen erillisverkko
WLAN	Wireless Local Area Network = Langaton lähiverkko

1 Johdanto

1.1 Yleistä

Tämä insinööriyö on tehty Sweco Industry Oy:n automaatiosuunnitteluosastolle tarpeesta luoda perustietoa antava suunnitteluohje teollisuuden tietoverkkosuunnittelua varten ja perehdyttää kyseisen alan aloittavaksi suunnittelijaksi.

1.2 Teollisuustietoliikenneverkot teollisuudessa

Teollisuuslaitoksissa käytettävät tietoverkot ja kenttäväyläverkot ovat muodostumassa yhä tärkeämmiksi tekijöiksi prosessien ohjaamisessa ja tuotannonohjauksessa sekä hallinnassa. Tietoverkkojen teknologia on kehittynyt jatkuvasti suorituskykyisemmäksi ja monipuolisemmaksi, mutta vastaavasti myös mutkikkaammaksi, joten sen hallinta suunnittelussa, käyttöönotossa, käytössä ja ylläpidossa on tullut haasteelliseksi.

Tämän insinööriyön tavoitteena on tarkastella teollisuustietoliikenneverkkoja suunnittelijan näkökulmasta ja antaa yleinen käsitys teollisuustietoverkkojen toiminnasta ja ominaisuuksista Sweco Industry Oy:n automaatiosuunnittelijoille. Insinööriyön aikana tehtiin myös esiselvitys eräälle asiakkaalle tehtaan tiedonsiirtoverkon rakenteesta ja arvioituista kustannuksista. Tietoverkkosuunnittelun kehittäminen jatkuu Sweco Industry Oy:ssä insinööriyön valmistuttua kaupallisten suunnittelutyökalujen vertailulla ja toimintaa kasvatetaan tulevaisuuden asettamien vaatimuksien mukaiseksi.

1.3 Sweco Industry

Sweco Industry Oy on yksi Sweco-konserniin kuuluvista osakeyhtiöistä, joka tarjoaa konsultointi-, suunnittelu- ja projektinjohtopalveluita asiakkaan toiminnan, tuotteiden ja teknologian kehittämiseen. Sweco Industry työllistää Suomessa noin 500 henkilöä 13 paikakakunnalla.

Sweco Industryn päätoimialat ovat

- energian tuotanto
- massa- ja paperiteollisuus
- kemianteollisuus
- petrokemian teollisuus
- kaivosteollisuus
- meriteollisuuden offshore-suunnittelu

Sweco-konserni on Pohjoismaiden suurin toimija alallaan ja toteuttaa myös vuosittain kymmeniä tuhansia projekteja 70 maassa maailmanlaajuisesti.

2 Suunnitteluprosessi

2.1 Suunnitteluprojekti

Suunnitteluprojekti on määritetty ja aikataulutettu joukko tehtäviä, jolle on määritetty etukäteen selkeät tavoitteet, kustannusarviot ja lopputavoite. Suunnitteluprojekti koostuu usein useamman eri suunnittelualan välisestä yhteistyöstä, jonka vuoksi suunnittelualat ovat tiiviisti sidoksissa toisiinsa ja jatkuvassa tiedonvaihdossa suunnitteluprojektin ajan. Projektiin liittyy myös ulkopuolinen rahoittaja eli asiakas. [1.]

Suunnitteluprosessi koostuu useasta erillisestä suunnitteluvaiheesta: esiselvitys, esisuunnittelu, perussuunnittelu ja toteutussuunnittelu, joiden aikana pyritään tuottamaan tarvittava dokumentointi toteutusprojektin eri vaiheiden suorittamiseksi sekä suunniteltavan automaatiojärjestelmän ja instrumentoinnin ylläpitoon. [1.]

2.1.1 Esiselvitys

Esiselvitys (engl. Feasibility Study) on projektin liikkeelle laittava suunnitteluvaihe. Esiselvitystä varten on muodostettu yleensä selvitystä suorittava ryhmä asiakkaan puolesta ja mukana on myös yleensä edustus projektihankkeen toteuttavan organisaation eli esimerkiksi suunnittelutoimiston puolesta. [2.]

Esiselvityksen tavoitteena on tutkia ja selvittää asiat, jotka määrittelevät projektin toteutuskelpoisuuden ja kannattavuuden sekä luoda rakennettavuus- ja kustannusarvio edellä mainittujen selvitysten perusteella [2]. Tutkittavia asioita ovat esimerkiksi taloudelliset, tekniset, ekologiset, oikeudelliset ja sosiaaliset asiat [1].

Laadukas ja hyvin toteutettu esisuunnittelu mahdollistaa oikeellisen kustannusarvion laatimisen projektille noin $\pm 40\%$:n tarkkuudella [2]. Esiselvityksessä ei ole vielä mahdollista päästä lopulliseen tarkkaan kustannusarvioon lukuisien edessä olevien päätöksiä kuten teknologiavalintojen takia [1].

2.1.2 Esisuunnittelu

Esisuunnittelun tehtävänä on toimia investointipäätöksen tukena ja tavoitteena luoda lopullinen rakennettavuusarvio sekä määrittää rakennettavan kohteen sijainti [1]. Esisuunnittelun tavoitteena on myös rajata teknologiavalintoja. Laadukkaalla esisuunnittelulla saavutetaan kustannusarvio noin $\pm 30\%$:n tarkkuudella [2].

2.1.3 Perussuunnittelu

Perussuunnittelun päätehtävä on toimia investointiarvion tukena ja tarkentaa kustannusarviota [2]. Perussuunnittelun aikana luodaan tarkemmat kuvaukset laiteratkaisuista, instrumentoinnista ja järjestelmäratkaisuksista. Perussuunnittelussa pyritään saavuttamaan lopulliset teknologiavalinnat, joiden perusteella tehdään tarjouspyynnöt laite- ja järjestelmätoimittajille [1]. Tarjosten perusteella ja laadukkaalla perussuunnittelulla voidaan saavuttaa noin $\pm 15\%$:n tarkka kustannusarvio.

2.1.4 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelun päätehtävänä on tarkentaa teknologiavalinnat lopulliseen päätökseen ja lyödä lukkoon projektin lähtötiedot. Toteutussuunnittelun tuottamia dokumentteja käytetään asennustöiden ja järjestelmätoteutuksen suorittamiseen, joten suunnittelussa pyritään mahdollisimman tarkkaan kuvaukseen [1]. Projektin lähtötiedot lyödään myös lukkoon, jotta suunnittelun lähtötiedot ja standardit pysyvät samana projektin ajan.

3 Automaatiosuunnitteluprosessi

3.1 Esisuunnittelu

Automaatio- ja instrumentointisuunnittelu

Esisuunnittelun päätavoite on määrittellä automaatiojärjestelmälle asetettavat käyttäjän tavoitteet ja vaatimukset käyttö- ja huoltohenkilökunnan määrän ja koulutustason huomioiden sekä laatia taloudellinen ja riittävän tekninen selvitys investointipäätöksen tekemiseen. Esisuunnittelussa määritellään myös prosessin vaatimat laiteratkaisut sekä automaatioaste painottaen projektitehtävän suoritusta. Esisuunnittelun aikana huomioidaan eri turvallisuusnäkökohdat ja erityisesti automaatiosuunnittelua koskevat viranomaismääräykset kuten sähköturvallisuusmääräykset sekä toimialakohtaiset määräykset. [3.]

Laadun takaamiseksi jo esisuunnittelun aikana automaatiosuunnittelu toimii yhteistyössä prosessisuunnittelun, sähkösuunnittelun ja turvallisuussuunnittelun kanssa [3]. Laatu-yhteistyön tavoitteena on määrittää suunnitteluosastojen väliset rajapinnat tarkoituksenmukaisiksi ja luoda järjestelmä toimivaksi kokonaisuudeksi. Suunnittelualojen välinen laatu-yhteistyö siis takaa esimerkiksi sen, että prosessin ajotapa tai moottorinohjauksien liitäntämäärät ovat automaatiosuunnittelussa tiedossa ja automaatoratkaisut voidaan toteuttaa niiden asettamien vaatimuksien mukaisina. Instrumentointisuunnittelu täydentää PI-kaavion prosessisuunnittelun kanssa sekä selvittää ohjaamon sijoituksen rakennussuunnittelun kanssa yhteistyössä [3]. Laadukas esisuunnittelu mahdollistaa oikeellisen kustannusarvion laatimisen projektille.

3.2 Perussuunnittelu

3.2.1 Automaatiosuunnittelu

Perussuunnittelun päätavoite on kuvata prosessin toiminta yksiselitteisesti järjestelmän ohjelmointia varten. Perussuunnittelun aikana pyritään määrittelemään prosessin vaatimukset täyttävä, toimintavarma sekä helposti muunneltava järjestelmä. Kuvaus käsittää kaikki prosessitoiminnot vaihe vaiheelta. Tässä yhteydessä määritetään myös varmen-

nettujen järjestelmäosien tarve. Määrittelyissä huomioidaan myös liitettävyyden muihin järjestelmiin sekä varmistetaan kenttälaitteiston ja järjestelmän välinen sujuva ja luotettava tiedonsiirto. Perussuunnittelun painopiste kohdistuu prosessin toiminnan selvittämiseen tavoitteena yksiselitteinen, selkeä ja helposti ymmärrettävä kuvaus myös käyttöönottoa sekä ylläpitoa varten. Perussuunnittelu huomioi myös jatkuvasti suunnitteluprosessin aikana viranomaismääräykset ja turvallisuusnäkökohdat, joita suunniteltava kohde edellyttää. [3.]

Laatuyhteistyön määrä kasvaa perussuunnitteluvaiheessa. Automaatiosuunnittelun yhteistyö kohdistuu sähkö-, LVI-, instrumentointi-, prosessi- sekä rakennesuunnittelijoihin. Näiden suunnitteluosastojen ja automaatiosuunnittelun välillä selvitetään esimerkiksi moottorinohjausperiaatteet, ilmastointi, järjestelmärajapinnat, toimitusrajat sekä valvon layout [3]. Yhteistyöesimerkkinä voidaan kuvitella esimerkiksi suunnittelutilanne, jossa määritellään laitetoimittajan laitteiden ja suunniteltavan automaatiojärjestelmän välisen tietoliikenteen tietoliikenneprotokollat toimiviksi keskenään. Perussuunnittelun hyvä laatu mahdollistaa yksiselitteisen järjestelmän ohjelmoinnin sekä prosessin tehokkaan käytettävyyden ja hyvän turvallisuuden.

3.2.2 Instrumentointisuunnittelu

Perussuunnittelussa instrumentointisuunnittelun päätehtävä on kenttälaitteiden määrittäminen laitoksen toiminnallisten tavoitteiden saavuttamiseksi ottaen huomioon myös huoltotarpeen [3]. Perussuunnittelussa päätetään myös kenttäväylien valinnoista ja soveltamisesta, HART-instrumentoinnista sekä älykkäiden PA-lähettimien hankinnasta ja käyttökohteista.

Tavoitteiden saavuttamiseksi on myös selvitettävä prosessilaitetoimituksiin sisältyvien mittaus- ja säätölaitteiden hankintarajat sekä huomioitava laitetoimituksiin liittyvät toimintusehdot ja -ajat. Perussuunnittelun aikana laitteet eritellään teknisesti hankintaa varten sekä selvitetään kytkentätiloihin asennettavien laitteiden määrä ja määritetään tilavaraukset. Perussuunnittelun aikana suunnitellaan myös kytkentäkaappien sijoitus, kalustus, suojausluokka sekä kaapelireittien tilavaraukset muita suunnittelualoja varten ottaen huomioon huolto- sekä turvallisuusnäkökohdat. [3.]

Instrumentoinnissa perussuunnittelun painopisteet kohdistuvat suunnitteluperusteiden selvittämiseen sekä laitteiden hankinnassa ja asennuksessa huomioitaviin paine-, lämpötila ja korroosio-olosuhteisiin. Perussuunnitteluun kuuluu myös mahdollisten häiriöiden vaikutusten minimoiminen ottaen huomioon kaapelityypit ja -reititykset sekä signaalitasot. Automaatiojärjestelmän ja kenttälaitteiden yhteensopivuus varmennetaan sekä laajennusvara huomioidaan. [3.]

Perussuunnittelun aikana suoritetaan useita erilaisia teknisiä selvityksiä, joiden ratkaisemiseksi instrumentointisuunnittelu toimii perussuunnittelun aikana laatuyhteistyössä useiden eri suunnittelualojen sekä asiakkaan edustamien toimialojen, kuten käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan kanssa.

Kaapelireitit selvitetään layout- ja putkistosuunnittelijoiden kanssa sekä kaapelireitteihin liittyvät sähkösyötöt sähkösuunnittelun kanssa. Prosessissa käytettävät mittausmenetelmät selvitetään prosessisuunnittelun kanssa. Laitevalinnat selvitetään yhteistyössä asiakkaan käyttö-, huolto- ja kunnossapitohenkilökunnan kanssa, käyttötarkoitukseen sopivien ratkaisujen saavuttamiseksi. Liitäntäkortit ja toimitusrajat selvitetään automaatio-suunnittelijan kanssa. Järjestelmäkaappien sijoitus ja haalausreitit selvitetään rakennesuunnittelijan kanssa, jotta kaappien kuljettaminen kytkentätilaan sekä mahdollinen myöhempi siirtäminen on mahdollista. Kenttälaitteiden ja automaatiojärjestelmän liitäntäkorttien tulo/lähtöasteet määritetään automaatio-suunnittelijan kanssa kenttälaitteiston ja automaatiojärjestelmän yhteensopivuuden saavuttamiseksi. Kenttäinstrumenttien ja -laitteiden sähkösaatot sekä höyrysaatot käydään läpi sähkö- ja putkistosuunnittelun kanssa yhteistyössä. [3.]

Laadukas perussuunnittelu mahdollistaa yksiselitteisen toteutussuunnittelun ilman suurempia häiriötilanteita toteutuksen aikana. Hyvin toteutunut perussuunnittelu minimoi myös laitevalikoiman sekä huomioi huoltoystävällisyyden teknisesti ja kohteen sijainnin suhteen.

3.3 Toteutussuunnittelu

3.3.1 Automaatiosuunnittelu

Toteutussuunnittelun päätavoite on luoda toimiva ja joustava automaatio-ohjelma tehtyjen kuvausasiakirjojen pohjalta. Toteutussuunnittelussa painopisteet tähdätään ohjelmarakenteen selväpiirteiseen esitystapaan. Ohjelmakuvaukset yksinkertaistetaan ottaen huomioon järjestelmän ominaisuudet. Toteutussuunnittelun aikana määritellään laitekoonpano yksityiskohtaisesti sekä valvomoratkaisut joissa huomioidaan selkeys, toimivuus sekä käyttöhenkilökunnan työympäristön ergonomisuus ja muuhun viihtyvyyteen vaikuttavat asiat. Järjestelmän liitännöiden jako suunnitellaan järkevästi prosessiosittain tietoliikenne- ja kaapelointitarve huomioiden. [3.] Toteutussuunnittelussa on myös huomioitava, että kriittisten prosessiosien ohjaukset on varmennettu järjestelmässä, eli tarvittaessa kriittisten prosessiosien tietoverkot ovat kahdennettuja.

Toteutussuunnittelussa varmistetaan, että järjestelmä täyttää viranomaismääräysten asettamat turvallisuusvaatimukset, noudattaen esimerkiksi sähköturvallisuusmääräyksiä, toimialakohtaisia määräyksiä sekä työsuojelumääräyksiä. [3.]

Laatuyhteistyö kohdistuu prosessin ohjauksen ja valvomolaitteiden sijoitteluun sekä niihin vaikuttavien asioiden selvitykseen asiakkaan käyttöhenkilökunnan kanssa. Laadukas toteutussuunnittelu mahdollistaa myöhemmät laajennus- ja muutostarpeet sekä hyvän ohjelmiston ylläpidettävyyden. [3.]

3.3.2 Instrumentointisuunnittelu

Instrumentointisuunnittelun päätehtävä toteutussuunnittelussa on sijoittaa oikeat mittaja toimilaiteratkaisut prosessille riittävän mittaus- ja säätötarkkuuden saavuttamiseksi. Tavoitteena on myös tuottaa yksiselitteinen suunnitelma instrumentointiurakoitsijalle asennuksia varten. Järjestelmälle luodaan häiriötön tiedonsiirto. Järjestelmäkaappien sekä muiden laitteiden sijoitus ja kytkennät suunnitellaan asennus- ja huoltonäkökohdat huomioiden. [3.]

Painopisteet toteutussuunnittelussa kohdistuvat kenttäinstrumenttien tasaiseen jakoon kenttäkoteloihin laajennusvarat huomioiden. Instrumentteja sijoittaessa otetaan huomioon mittaus- ja säätötekniset vaatimukset, prosessiolosuhteet sekä käyttö- ja huoltotoi-

minnat. Mittaus- ja ohjauspiirien jännitteensyötöt määritetään pienjännitteellä jännitehäviöt huomioiden. [3.]

Laatuyhteistyössä toimitaan LVI- ja layout/putkistosuunnittelun kanssa. Instrumentointiin ja kytkentätiloihin liittyvä ilmanvaihto selvitetään LVI-suunnittelun kanssa. Kenttäinstrumenttien ja -laitteiden sijoitus ja prosessiyhteet selvitetään layout/putkistosuunnittelijan kanssa. [3.] Laadukas toteutussuunnittelu mahdollistaa yksiselitteisen ja toimivan asennuksen sekä huomioi laajennus- ja muutosvaran.

3.4 Asennus ja käyttöönotto

Asennus- ja käyttöönottovaiheessa suunnittelun aikana määritetty kenttälaitteisto ja automaatiojärjestelmä asennetaan suunnittelukohteeseen, eli esimerkiksi prosessiin tai linjastoon. Asennukset suoritetaan suunnittelun tuloksena tuotettujen dokumenttien perusteella. Asennuksen ja käyttöönoton ohessa järjestelmälle ja laitteistolle tehdään käyttöönototestit, joista yleisimmät käytettävät ovat FAT-testi (Factory Acceptance Test) ja SAT-testi (Site Acceptance Test). [1.] Asiakkaan käyttö- ja huoltohenkilöstön osallistuminen testeihin on erittäin tärkeää toiminnallisuuden hahmottamiseksi ja ohjeiden muodostamista varten.

3.5 FAT- ja SAT-testaus

FAT-testi on automaatiojärjestelmälle suoritettava toiminnallisuustesti, jonka laitetoimittaja suorittaa asiakkaan edustajan kanssa laitetoimittajan tiloissa ennen suunnittelukohteeseen toimitusta [1]. FAT-testin tarkoituksena on välttää virheelliset ja yhteensopimattomat kokoonpanot sekä mahdolliset häiriöt järjestelmässä tavoitteena kalliiden korjaus- ja muutostöiden ennaltaehkäisy suunnittelukohteessa [4]. FAT-testissä ilmenneet häiriöt ja viat ovat huomattavasti tehokkaampaa ja taloudellisempaa korjata laitetoimittajan tiloissa.

Hyväksytyt FAT-testauksen jälkeen suoritetaan SAT-testi, jolla pyritään testaamaan järjestelmän toimintakuvausta vastaava toimivuus oikeissa olosuhteissa, oikeita raaka-aineita käyttäen. SAT-testin tarkoituksena on myös todeta, että toimivuus vastaa laitetoimittajan FAT-testissä todennettua toimivuutta toimituksen jälkeen. [4.]

3.6 Projektin osapuolet

Suunnitteluprojektissa on suunnitteluorganisaation lisäksi muita toteutuksen kannalta välttämättömiä osapuoolia, joita esitellään lyhyesti seuraavissa alaluvuissa:

3.6.1 Asiakas

Asiakas on ulkopuolisena rahoittajana toimiva osapuoli, joka toimii projektin vastaanottajana. Asiakkaan vastuulla on sanella ehdot ja vaatimukset projektille. Asiakkaalta saadaan myös tarvittavia lähtötietoja projektille. [1.]

3.6.2 Laitetoimittaja

Laitetoimittajan tehtävänä on toimittaa projektikohteeseen hankittavat laitteet ja järjestelmät. Suunnitteluorganisaatio lähettää lähtötietojen perusteella tarjouspyyntöjä, jolloin laitoimittajat tulevat kilpailutetuiksi ja projektin laitehankinnat saavat ensimmäiset kustannusarviot. [1.]

3.6.3 Suunnitteluorganisaatio

Suunnitteluorganisaatiossa on useita eri suunnittelualoja, kuten automaatiosuunnittelu, instrumentointisuunnittelu, sähkösuunnittelu, rakennesuunnittelu ja prosessisuunnittelu. Jokaisen suunnittelualan tuottamasta dokumentoinnista syntyy projektin lopputulos, jonka perusteella suunniteltava kohde toteutetaan. [1.]

3.6.4 Urakoitsija

Urakoitsija toimii projektin toteuttavana osapuolena. Urakoitsijan organisaatio koostuu eri toimialojen asentajista, työnjohtajista ja asiantuntijoista. Urakoitsija toteuttaa projektin suunnitteluorganisaation tuottamien dokumenttien perusteella. [1.]

3.6.5 Viranomaiset

Suunnitteluprojektiin kuuluu myös joukko viranomaisia, joiden tehtävänä on valvoa projektin asettamia vaatimuksia ja lakeja, kuten ympäristöasetuksia ja turvallisuuslakeja. Viranomaiset myöntävät projektikohteelle rakennusluvan. [1.]

4 Teollisuuden tiedonsiirtoverkot

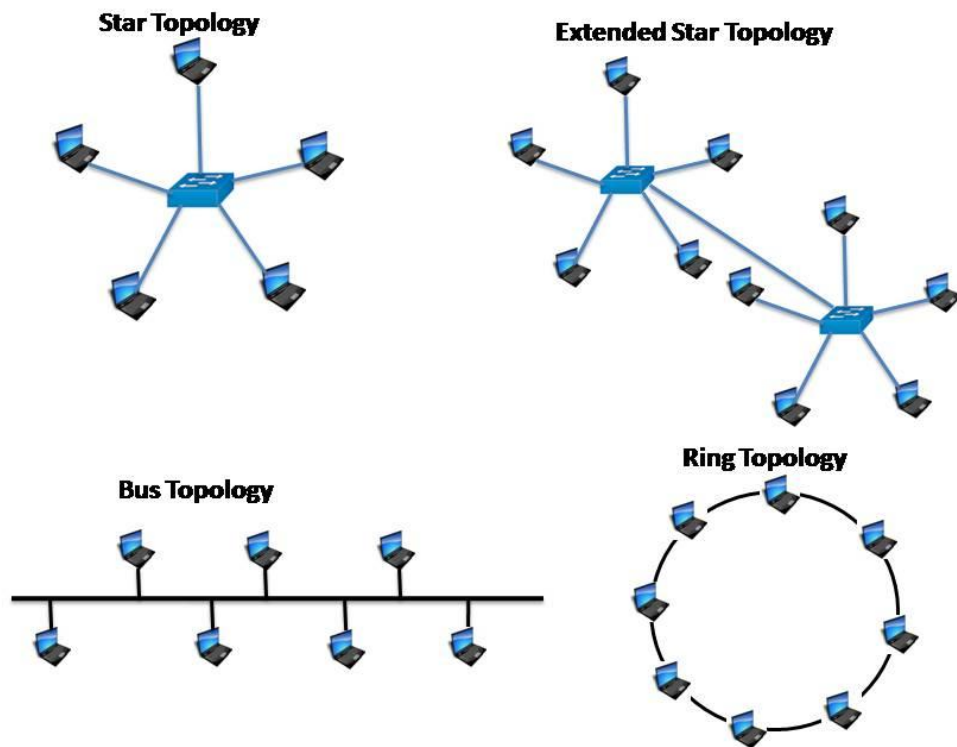
4.1 Tiedonsiirtoverkoista

Teollisuuslaitoksissa käytettävät tietoverkot ja kenttäväyläverkot ovat muodostumassa yhä tärkeämmiksi tekijöiksi prosessien ohjaamisessa ja tuotannonohjauksessa sekä hallinnassa. Tietoverkkojen teknologia on kehittynyt jatkuvasti suorituskykyisemmäksi ja monipuolisemmaksi, mutta vastaavasti myös mutkikkaammaksi, joten sen hallinta suunnittelussa, käyttöönotossa, käytössä ja ylläpidossa on tullut haasteelliseksi.

Teollisuustietoverkkojen rooleja ovat muun muassa nopea ja laajan tiedon välittävä tiedonsiirto. Suurena kustannuksien säästävänä etuna on myös huomattavasti edullisempi ja vähäisempi kaapelointitarve, kun kallis yleensä häiriö- ja Exi-suojattu kuparinen instrumenttikaapelointi on korvattu Ethernet- tai valokuitutiedonsiirtoverkolla. Teollisuustietoverkko mahdollistaa myös laajemman datan keruumahdollisuuden mittaus- ja toimilaitteilta sekä mahdollistaa myös kentällä sijaitsevien laitteiden huoltoliikenteen eli esimerkiksi parametroidin muutokset ja tallennuksen valvontajärjestelmän puolelta.

4.2 Verkkoarkkitehtuuri

Tiedonsiirtoverkkoa kuvataan yleensä fyysisenä ja loogisena rakenteena. Fyysistä tai loogista rakennetta kutsutaan yleensä topologiaksi. Fyysisellä topologialla kuvataan tiedonsiirtoverkon osien kytkennällistä suhdetta (kuva 1.) ja loogisella topologialla verkon tietoliikenteen muodostamaa rakennetta.



Kuva 1. Fyysiset verkkotopologiat [5]

4.3 IP, Internet-protokolla

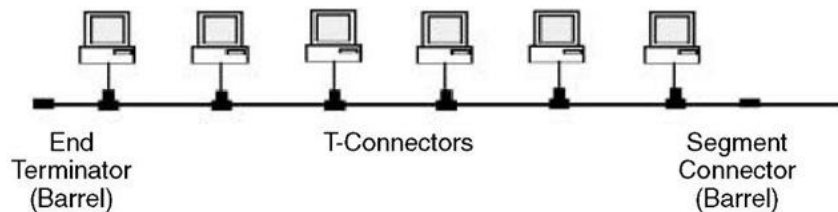
IP-protokolla on verkkokerroksessa toimiva tietopaketteja välittävä protokolla. IP-protokollan tehtävänä on reitittää tietopaketit IP-osoitteiden perusteella ja määrittellä peruspaketin koko sekä optioiden käyttö pakettien yhteydessä. IP-protokollan avulla tietopaketit voivat kulkea mitä tahansa reittiä ja mahdolliset vastauspaketit voivat myös palata eri reittiä. Verkon laitteet on nimetty IP-osoitteilla, joiden avulla tieto saadaan lähetettyä oikeaan kohteeseen. Nykyisin käytetyn IP-version IPv4 mukainen IP-osoite on 32-bittinen, eli 4-tavuinen. Jokainen tavu voidaan määrittää arvolla väliltä 0-255, kuten IP-osoitteessa 192.168.1.32. [6.]

4.4 Lähiverkkotyypit

4.4.1 Väylätologia

Väylätologia on vanhin Ethernet-verkkotyyppi. Väylätyyppisessä verkossa kaikki verkon solmut ovat liitetty yhteiseen kaapeliin, joten verkossa siirtyvä data välittyy kaikille verkossa oleville solmuille. Solmun liittäminen kaapeliin tapahtuu väliotolla (engl. tap). Väliotto toimii galvaanisena haaroituksena ja sen rakenne vaihtelee verkon median mukaan. Signaalin vaimentamiseksi ja heijastumisen estämiseksi kaapelin molemmissa päissä on päätevastus tai toisessa päässä segmentin liittävä silta. [7.] Kenttäväylät kuten Profibus DP toimivat väylätologian periaatteella. (kuva 2.)

Väyläverkon rakentaminen on helppoa, sillä siitä voidaan poistaa solmuja ja lisätä uusia solmuja sekä pidentää verkkoa lisäämällä uusi väyläpala ulommaisena päätevastuksen tilalle. Väylän maksimipituuteen päästään käyttämällä vahvistinta (repeater), joka toistaa tulevan signaalin sähköisesti vahvistettuna. [7.]

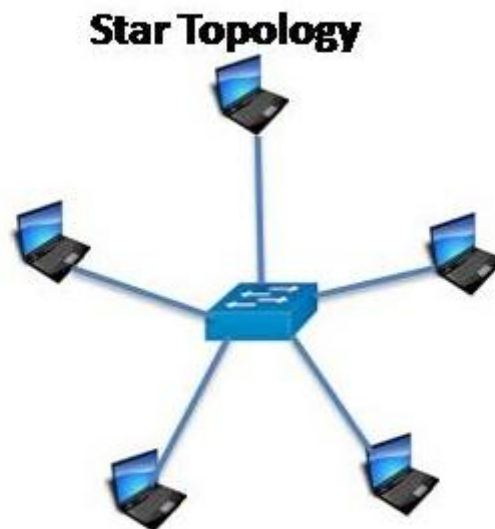


Kuva 2. Väylätologian rakenne. [8]

4.4.2 Tähtitopologia

Nykyaikaiset kytkimillä toteutetut tietoverkot ovat tähtiverkon tyyppisiä. Tähtiverkossa jokainen solmu on omassa haarassa, eli verkko on hajautettu (kuva 3.). Haaroitus kytetään käyttämällä kytkintä tai keskitintä. Keskittimellä haaroitettu verkko ottaa kaikkien solmujen lähettämät signaalit vastaan ja välittää sen kaikille tähtiverkon solmuille, kun taas kytkimellä haaroitettu verkko vastaanottaa signaalin miltä tahansa verkon solmulta, mutta ohjaa signaalin vain sille tarkoitettuun osoitteeseen. Tähtiverkkoja voidaan yhdistää laajemmaksi useamman tähtiverkon verkkokokonaisuudeksi käyttämällä useampia kytkimiä. [7.]

Tähtiverkossa solmut on kytketty omina haaroina kytkimeen, joten ne ovat riippumattomia toisistaan, eli yksittäisen laitteen vikaantuminen ei vaaranna tietoliikenteen jatkumista verkossa. Tähtiverkkoa kannattaa soveltaa tilanteissa, joissa kytkettävät laitteet ovat lähellä toisiaan.

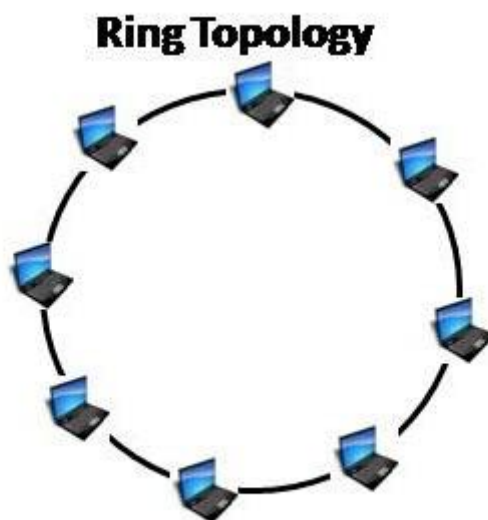


Kuva 3. Tähtitopologian fyysinen rakenne. [5]

4.4.3 Rengastopologia

Rengasverkko muodostuu joukosta solmuja, jotka toimivat toisilleen toistimina (kuva 4.). Signaalit liikennöivät vain yhteen suuntaan, joten jokainen solmu vastaanottaa signaaleja ja lähettää niitä eteenpäin. Rengasverkon toimiakseen jokaisen solmun on pystyttävä vastaanottamaan, lähettämään ja hävittämään dataa. Datan hävittäminen toteutetaan joko vastaanottajaksi tarkoitetulla solmulla tai datan lähettäneellä solmulla datan saapuessa takaisin rengasverkkoa pitkin. Näistä vaihtoehdoista jälkimmäinen on parempi ja varmempi. [7.]

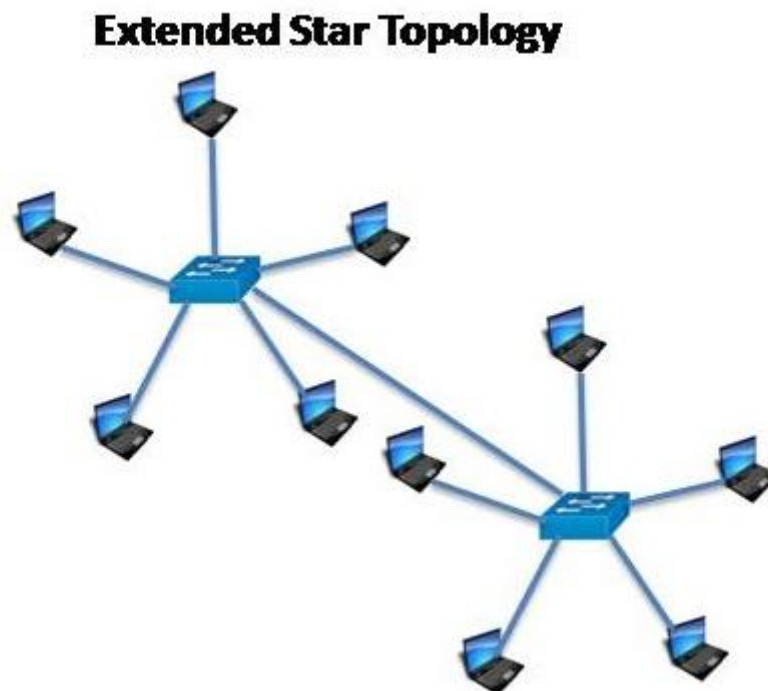
Nykyajan Ethernetillä voidaan toteuttaa aktiivisia rengasverkkoja, jossa kaikki solmut on kytketty toisiinsa, joten tietoliikenne voidaan ohjata vaihtoehtoista reittiä, mikäli jokin rengasverkon verkkoyhteyksistä katkeaa. Tämä varmentaa tietoliikenteen jatkuvuuden viikatilanteessa. Rengasverkkoja kannattaa rakentaa pitkien tietoliikenne-etäisyyksien vaatimissa sovelluksissa, eli esimerkiksi tehdasalueen runkoverkossa. (Liite 1.)



Kuva 4. Rengastopologian fyysinen rakenne. [5]

4.4.4 Puutopologia

Puutyypisellä verkolla tarkoitetaan useammasta väyläverkosta koostuvaa verkkokokonaisuutta. Väyläverkko on jaettu useammaksi väyläksi, jotka yhdistyvät yhteiseen päätevahvistimeen. Puutopologialla tarkoitetaan myös useammasta tähtiverkosta koostuvaa tietoverkkoa (kuva 5.). Isompien kohteiden tietoverkkojen osat haaroittuvat yleensä puumaiseksi verkkokokonaisuudeksi. [7.] Isot tehtaiden tietoverkot ovat yleensä useista tähtiverkoista koostuvia puutopologisia verkkoja.



Kuva 5. Laajennetun tähtitopologisen puuverkon rakenne. [5]

4.5 Tietoverkon laitteet

4.5.1 Reititin (engl. Router)

Reititin on laite, jonka tehtävänä on hallita IP-tason protokollat ja välittää tehokkaasti tietoa tietoverkon eri osien välillä (kuva 6.). Reititin on siis aina osallisena vähintään kahdessa verkossa. Reititin on huomattavasti älykkäämpi laite kuin alemman verkkotason laitteet ja kykenee monimutkaisempiin toimintoihin, kuten eri protokollia käyttävien verkkojen tiedonvaihtoon ja reitittämiseen siten, että tiedonsiirrolle valitaan paras reitti ottamalla huomioon mm. reitin minimipituus, reitin nopeus ja reiteille annettuihin prioriteetteihin. Reitittimet ovat myös yhteensopivia valokuituyhteyksille ja voivat toimia myös mediamuuntimina parikaapeliyhteyksien ja valokuituyhteyksien välillä. [6.]



Kuva 6. Teollisuudessa käytettävä reititin ja reitittimen symboli. [9]

4.5.2 Kytkin (engl. Switch)

Kytkin on siltaratkaisuna toimiva laite, joka yhdistää pakettikytkentäisiä verkon osia kuten laitteita, jolloin syntyy siirtoyhteydellä toimiva verkko (kuva 7.). Kytkin on hyvin suorituskykyinen moniporttinen silta, joka kykenee itsenäisesti suodattamaan pois tarpeettomien vastaanottavien solmujen tietoliikenteen ja ohjaamaan liikenteen tarkoitetuille vastaanottaville solmuille samanaikaisesti. [7.] Kytkimistä on olemassa myös yksinkertaisettuja malleja, joita ei voi konfiguroida ja ne toimivat ainoastaan tietoverkkoon yhdistävänä osana laitteille.

Kytкимиä on kahden tasoisia, L2 ja L3. L2-tason kytkimet välittävät liikennettä pelkästään MAC-osoitteiden perusteella, eli ne eivät voi liikennöidä kahden VLAN-verkon välillä. L3-tason kytkimet ovat tehokkaampia ja niissä on hieman reitittimen ominaisuuksia. Tämä mahdollistaa L3-kytkimelle liikennöinnin kahden IP-verkon välillä.

Kytkimellä on määritetty osoitetaulu, jonka perusteella se voi verrata vastaanottajan lähettämää MAC-osoitetta ja ohjata lähetetyn paketin eteenpäin oikeaan porttiin sille tarkoitetulle vastaanottajalle [7]. Kytkimet mahdollistavat myös erilaisia protokollia tai nopeuksia käyttävien verkkojen yhdistämisen. Kytkin voi myös toimia mediamuuntimena, eli käytännössä kytkimellä voidaan esimerkiksi muuttaa valokuituyhteys parikaapeliyhdydeksi.



Kuva 7. Teollisuudessa käytettävä mediamuuntimena toimiva kytkin ja kytkimen symboli. [10]

4.5.3 Palomuri (engl. Firewall)

Palomuri toimii tietoverkossa eristävänä komponenttina ja usein myös samanaikaisesti reitittimenä, joka rajoittaa kahden verkon välistä liikennöintiä [6]. Esimerkkitapauksessa voidaan kuvata, että palomuurilla suojataan tehtaan tietoverkkoon välittyvää tietoliikennettä, ulkopuolisen palvelimen verkosta. Palomuurilla voidaan myös rajoittaa suojatusta verkosta välittyvää tietoliikennettä ulospäin [6].

4.5.4 Toistin (engl. Repeater)

Toistin on yksinkertainen laite, joka vastaanottaa tulevan tietoliikennesignaalin ja lähettää sen sähköisesti vahvistettuna ja muuntamattomana eteenpäin (kuva 8.) [6]. Toistimen avulla voidaan pidentää tietoliikennedyhteyksiin käytettäviä maksimikaapelipituuksia, kuten yli 100 metrin pituista parikaapeliyhdytystä.



Kuva 8. Toistin. Lähde: [11]

4.5.5 Kuitupaneeli (engl. Fibre Optic Patch Panel)

Kuitupaneeli on passiivinen laite, johon valokuitukaapeliyhteys päätetään ja ohjataan seuraavalle laitteelle kuten päätelaitteelle, kytkimelle tai reitittimelle (kuva 9.). Tätä kytkentää kutsutaan ristikytkennäksi.



Kuva 9. Kuitupaneeli. [12]

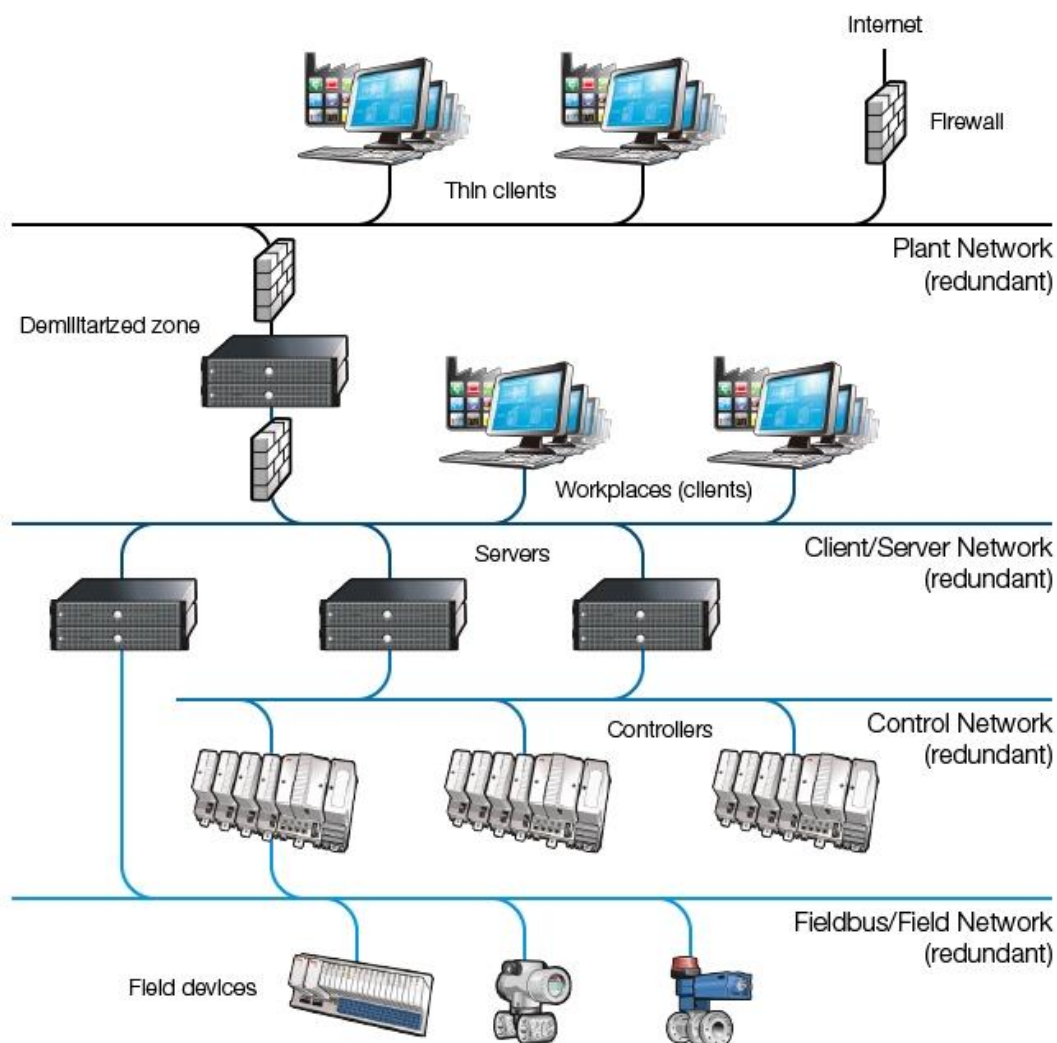
4.6 Automaatiojärjestelmien laitteet

4.6.1 Hajautettu ohjausjärjestelmä, DCS

DCS-järjestelmä (engl. Distributed Control System) on hajautettu prosessiautomaatiojärjestelmä, joka on hyvin tyypillinen ohjausjärjestelmä etenkin vaativissa ja monipuolisissa prosesseissa. DCS-järjestelmä koostuu yleensä prosessiasemista (engl. process controller), valvomoasemista (engl. workplaces tai HMI-clients), järjestelmäväylistä (engl. system network), konfigurointiasemista (engl. configuration stations) sekä tiedonhallinta-asemista (engl. database) [13]. (kuva 10).

Hajautetussa järjestelmässä prosessiohjauksen reaaliaikainen tietokanta on hajautettu sijoittamalla prosessiasemat kunkin ohjattavan prosessin lähistölle. Prosessiasemat kykenevät suorittamaan itsenäisesti prosessiyksikkönsä instrumenteilta saatujen mittaus-tietojen käsittelyn sekä säätöarvojen laskennan ja lähettämisen omassa prosessiyksikkössään. Tällöin prosessiyksiköiden mittaus-tietoja ja säätöarvoja ei tarvitse lähettää pidemmän etäisyyden päähän keskustietokoneelle prosessoitavaksi, vaan toiminnot tapahtuvat prosessiyksikkökohtaisissa prosessiasemissa, jotka lähettävät keskusvalvo-moon tarvittavan tiedon prosessin ohjausarvoista. [13.]

DCS-ohjauslaitteet ovat yhteensopivia sarjaliikenteisien kenttäväylien kanssa, kuten Profibus DP/PA ja Modbus. Tämä mahdollistaa erilaisten kenttätason aliverkkojen, kuten sarjaliikenteisen taajuusmuuntajaverkon tai hajautetun I/O-moduulin integroinnin DCS-järjestelmäkokonaisuuteen.



Kuva 10. DCS-järjestelmän verkkohierarkia. [14]

4.6.2 Ohjelmoitava logiikkaohjain, PLC

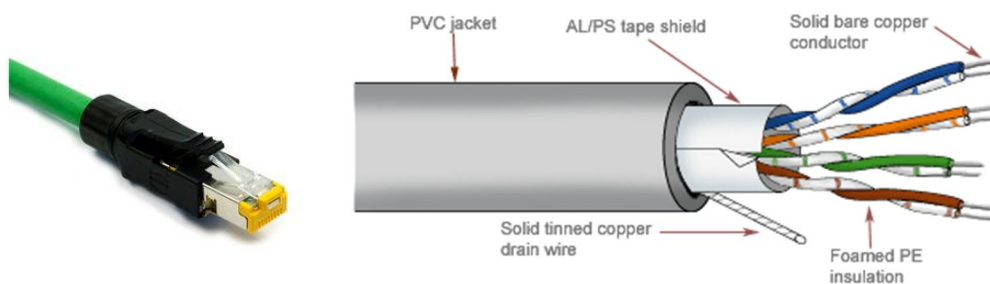
Ohjelmoitava logiikkaohjain (engl. Programmable Logic Controller) on mikroprosessori-pohjainen kompaktin kokoinen tietokone, jota käytetään erilaisten prosessien ja järjestelmien ohjaamiseen. Toiminta perustuu tietokoneeseen ohjelmoidusta sovelluksesta, joka ohjaa tulo- ja lähtösignaaleja. Näitä signaaleja kutsutaan input- ja output-signaaleiksi. I/O-moduulit voivat olla hajautettuja moduuleja esimerkiksi kenttäväyläyhteydellä tai PLC:hen integroitua kortteja. Automaatiojärjestelmä voi koostua yhdestä tai useammasta PLC-yksiköstä. Useamman PLC:n järjestelmissä PLC-yksiköt on yhdistetty kenttäväylä- tai Ethernet-yhteydellä. Ethernet-yhteys on suositeltava nykyajan ratkaisu yksiköiden välillä suuren nopeuden ja monipuolisemman tiedonkäsittelyn ansiosta.

Analogiset input-signaalit voivat olla mittaustietoja esimerkiksi antureilta ja analogiset output-signaalit ohjausarvoja toimilaitteille. Analogiset signaalit käyttävät yleensä milliampeeri (mA) -viestiä tai jänniteviestiä 2-johdinkytkennällä. Digitaaliset signaalit ovat taas binäärisiä jänniteviestejä. Digitaalista input-viestiä voidaan käyttää esimerkiksi antureiden tilatietoina ja digitaalisia output-signaaleja esimerkiksi magneettiventtiilien ohjaamiseen.

4.7 Kaapelointi

4.7.1 Kierretty parikaapeli

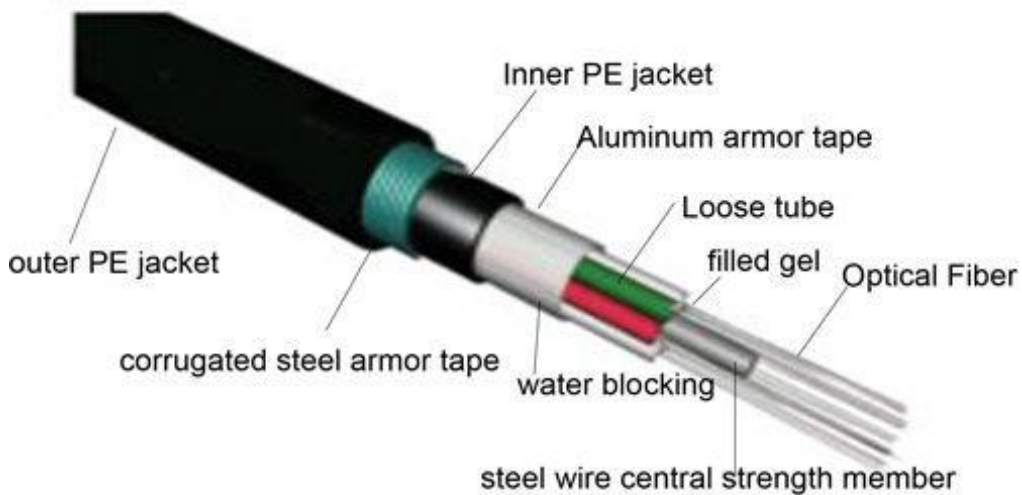
Kierretty parikaapeli on hyvin yleinen ja edullinen tiedonsiirrossa käytetty kaapelityyppi (kuva 11.). Nykyisen CAT6-tyypin parikaapeliyhteydellä voidaan saavuttaa 1000 Mb/s nopeus 100 metrin matkalla. Yleisin käytetty liittintyyppi parikaapelille on RJ-45. Parikaapeleita valmistetaan sekä häiriösuojaamattomana (Unshielded Twisted Pair, UTP) että häiriösuojattuna (Shielded Twisted Pair, STP). Suojatun parikaapelin käyttö on tarpeellista silloin, kun suojaudutaan esimerkiksi muuntajien, voimavirtakaapelien, oikosulkumoottorien ja valokaarien synnyttämien sähkömagneettisten kenttien tiedonsiirrolle aiheuttamilta häiriöiltä. [15.]



Kuva 11. Teollisuudessa käytettävä parikaapeli RJ45-liittimellä ja häiriösuojatun parikaapelin rakenne. [16]

4.7.2 Optinen valokuitukaapeli

Valokuitukaapeli eroaa parikaapelista siten, että tiedon välittämisessä sähköisen signaalin sijaan valokuitukaapelissa kulkee valosignaali, joka mahdollistaa huomattavasti suuremman kaistanleveyden. Valokuitukaapeli sisältää ohuita lasista tai muovista vedettyjä kuituja, jotka johtavat valoa, mikä mahdollistaa nopeasti etenevän signaalin (kuva 12.) [17]. Valosignaali tuotetaan optisella lähettimellä tyypillisesti led-lampulla tai laserilla. Kahden vastaanottimen välissä toimiva valokuituyhteys toteutetaan yleensä kuituparilla niin, että ensimmäinen kuitu lähettää signaalin vastaanottimelta toiselle vastaanottimelle ja toinen kuitu vastaanottaa toiselta vastaanottimelta tulevan signaalin.

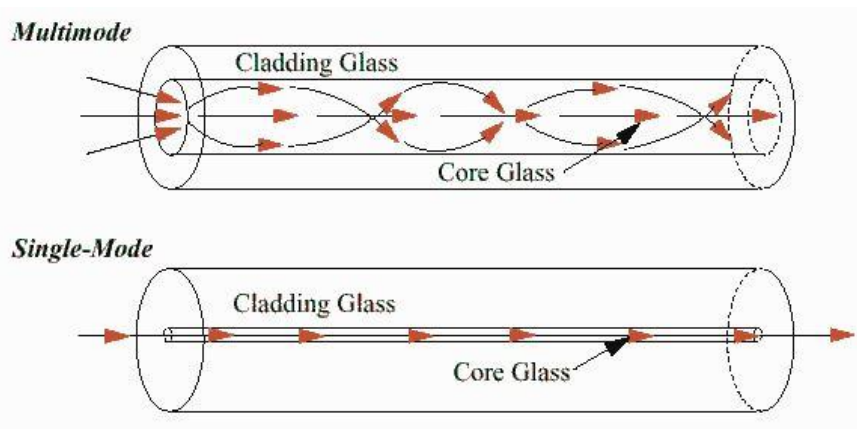


Kuva 12. Valokuitukaapelin rakenne. [18]

Valokuitutyyppejä on kaksi erilaista, yksimuotokuitu (engl. single mode) ja monimuotokuitu (engl. multimode). Valokuitukaapeleita valmistetaan myös hybridi-malleina, jotka sisältävät molempien tyyppien kuitupareja.

Yksimuotokuidussa valo etenee suoraan kuidun päästä päähän 0,005 - 0,01 mm paksuudessa ytimessä (kuva 13.). Yksimuotokuitu kykenee pidempiin siirtoetäisyyksiin kuin monimuotokuitu, mutta kaapelissa käytettävän lasimateriaalin on oltava erittäin puhdasta ja täten yksimuotokuitu on ratkaisuna kalliimpi. [17.]

Monimuotokuidussa valo etenee heijastumalla sekä taittumalla kuidun ytimen ja lasikuoren rajapinnasta (kuva 13.). Monimuotokuituja voidaan valmistaa myös muovista, joten muovikuiduilla voidaan toteuttaa lyhyempiä tiedonsiirtoetäisyyksiä edullisesti. [17.]



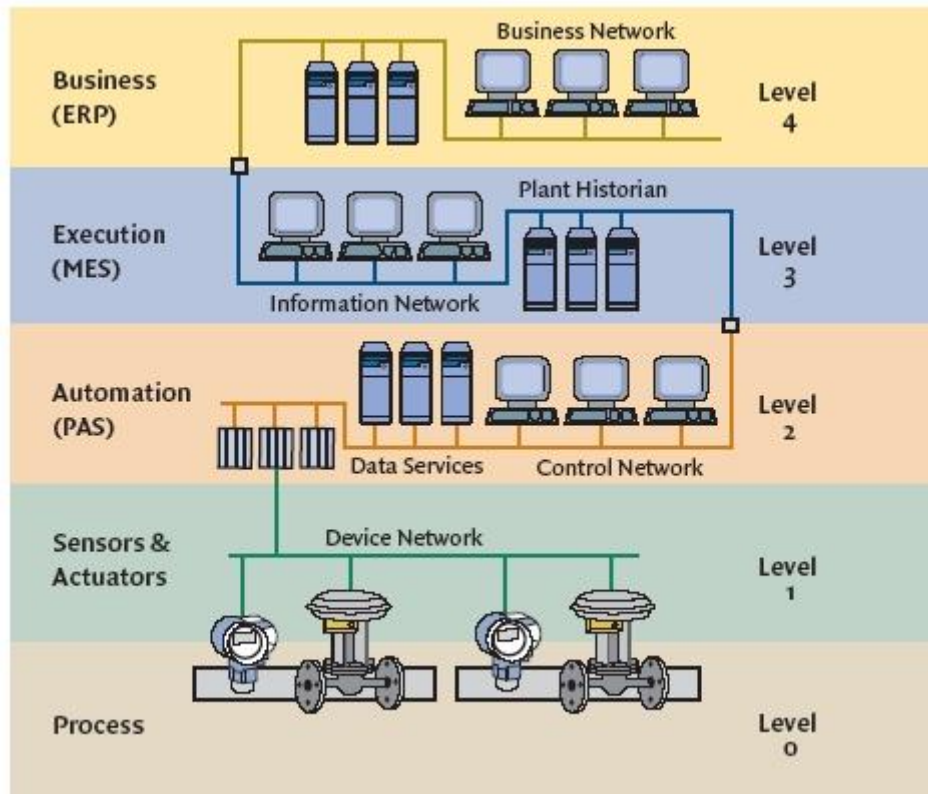
Kuva 13. Multimode- ja Singlemode-valokuitukaapeleiden toimintaperiaatteet. [19]

Teollisuudessa käytettävät valokuitukaapelit koostuvat useista kuitupareista, jotka ovat yleensä yhdistelmätyyppisiä. Yhdistelmätyyppisessä kaapelissa on sekä yksimuotokuituja että monimuotokuituja. Esimerkiksi 24SM/24MM-kaapelissa on 24 singlemode-kuitua ja 24 multimode-kuitua.

4.8 Verkkohierarkia

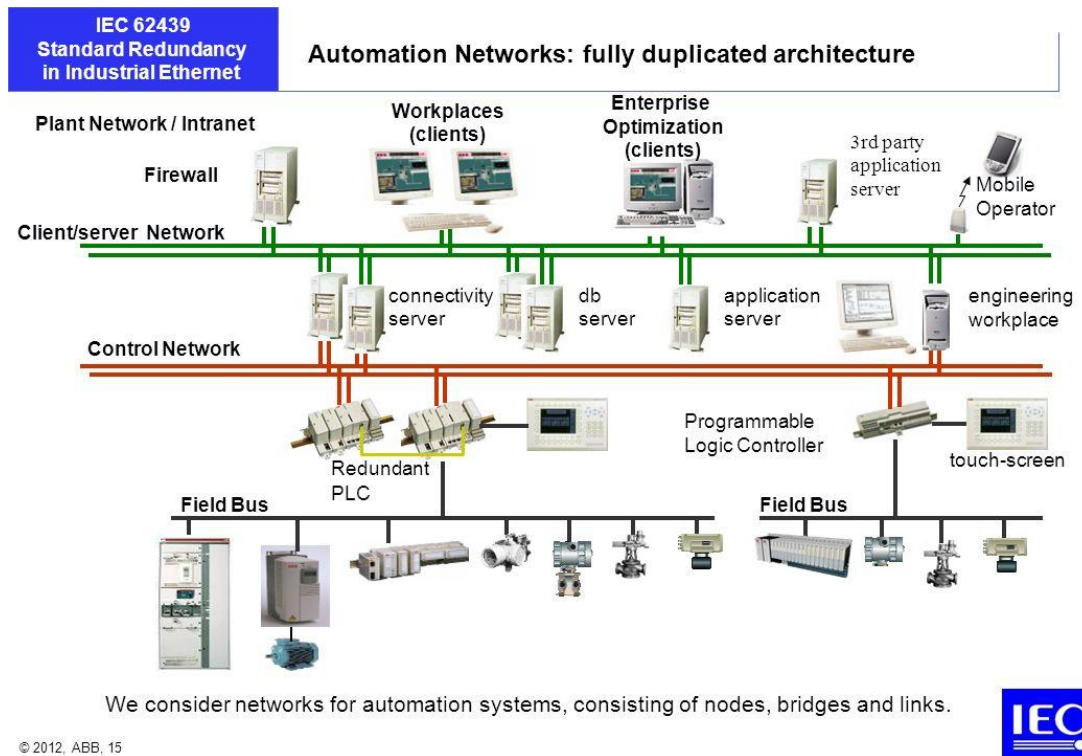
Tuotantolaitoksen tai -prosessin automaatiojärjestelmässä on tyypillisesti kolme hierarkista verkkotasoa: kenttälaitetaso (engl. Field Network), ohjaustaso (engl. Control Network) sekä hallinnollinen taso (engl. Client Network) [20]. Automaatiojärjestelmän yläpuolella on vielä 4. taso, jolla sijaitsee yrityksen yleinen toimistotason tietoverkko, eli toisin sanottuna intranet. (kuva 14.)

Kenttälaitetaso on prosessin lähin taso, joka sisältää instrumentoinnin eli anturit ja toimilaitteet. Ohjaustasolla sijaitsevat automaatiojärjestelmä (DCS tai PLC), PC-pohjaiset säätimet, käyttöliittymät sekä kytkentäkaapit. Ylimmällä tasolla eli hallinnollisella tasolla sijaitsevat tuotannonhallinta- ja tiedonkeruujärjestelmä eli MES (Manufacturing Execution System) sekä historiatietokanta (engl. Database). [20.]



Kuva 14. Tyypillinen tuotantolaitoksen automaatioverkon hierarkia. [21]

Tietoverkot voidaan kahdentaa turvallisuustoimenpiteenä kahdella rinnakkaisella verkolla. Verkon kahdennus toteutetaan kahdella rinnakkaisella kytkimellä tai reitittimellä jotka konfiguroidaan toimimaan niin, että normaalitilanteessa vain toinen verkko on käytössä ja vikatilanteessa tietoliikenteen jatkuminen varmennetaan siten, että toisen tietoverkon kaatuessa toiminta jatkuu toista rinnakkaista tietoverkkoa käyttäen. (kuva 15.)



Kuva 15. Kahdennetun automaatioverkon 3-tasoinen hierarkia. [22]

Tiedonsiirtotarpeet ja suorituskykyvaatimukset verkoille vaihtelevat järjestelmätasojen mukaan. Alimmalla tasolla kerralla siirretyn tiedon määrä on vähäistä, joten vasteajan on oltava lyhyt. Ylemmillä tasoilla tietoa siirretään paljon kerrallaan, kun taas vasteajan nopeuden kriittisyys on pienempi. [20.] Tasojen välisten vaatimuksien eroavaisuuksien takia jokaisella tasolla käytetään omanlaista, tarpeenmukaista verkkoa. Alimmalla tasolla vastajoissa puhutaan millisekunneista ja ylemmällä tasolla sekunneista.

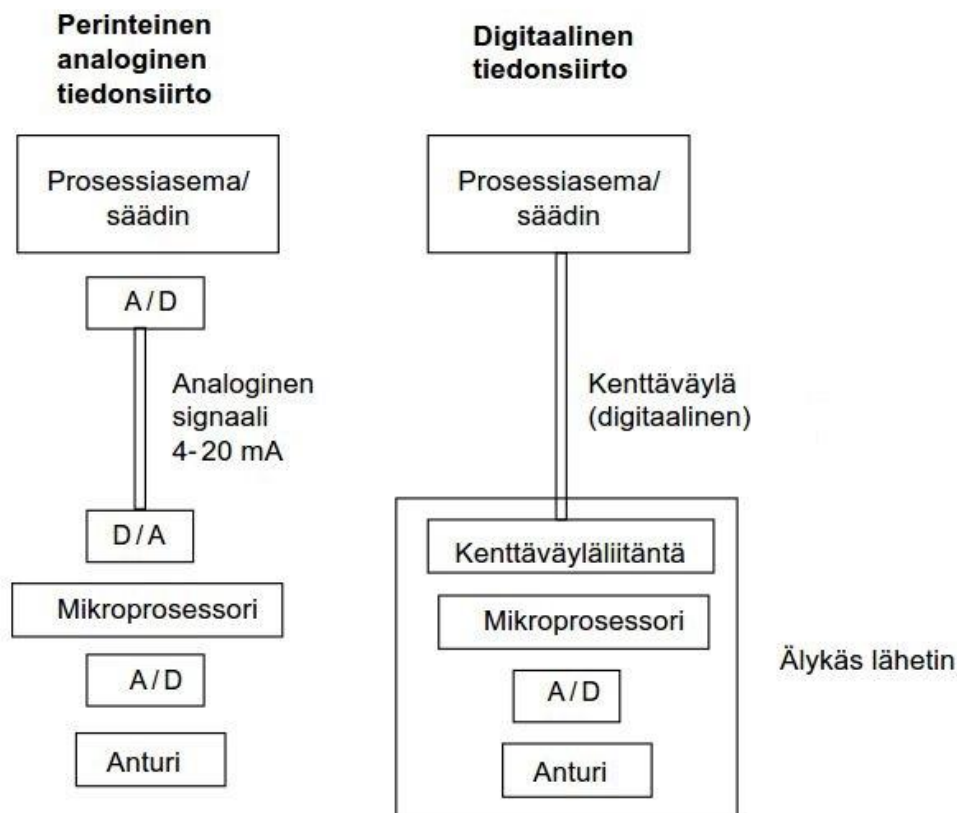
5 Kenttäväylät ja laiteverkot

5.1 Kenttäväylät teollisuudessa

Kenttäväylät ovat olleet automaation näkökulmasta suuren mielenkiinnon kohteena jo 1990-luvun alusta, mutta niiden käyttöä on alettu laajentaa ja soveltaa vasta myöhemmin 2000- ja 2010-lukujen aikana. Kenttäväylä on käsitteenä ja automaatioalan terminä nykyisin keskeisesti esillä, mutta siitä ei kuitenkaan löydy yleisesti hyväksyttyä ja täsmällistä määrittelyä. Kenttäväylät on päädytty käsittelemään osana laiteverkkoja, joissa väyläteknikka edustaa tärkeintä verkkojen toteutusteknologiaa. Laiteverkot ja kenttäväyliin liittyvä teknologia on parhaillaan hyvin voimakkaan kehityksen ja muutoksen kohteena. Erityisesti teollisuuden Ethernet (Industrial Ethernet) ja sen keskenään kilpailevat useiden eri laitevalmistajien ratkaisut ja standardointipyrkimykset muodostavat vaikeasti hallittavan ennakointi- ja toteutuskyvykkyyden suunnittelun ja käytön kannalta. [7.]

5.2 Kenttäväylän toimintaperiaate ja käyttökohteet

Kenttäväylä (engl. Fieldbus) on sarjaliikenteinen, kaksisuuntainen ja digitaalinen tietoliikenneyhteys, jolla voidaan yhdistää kenttälaitteita kuten antureita, toimilaitteita sekä moottorinohjauksia. Kenttäväylä voidaan kuvitella lähiverkkona (LAN) kenttäinstrumenteille eli laitetason verkkona, joka muodostuu yhdestä tai useammasta väyläsegmentistä. Useammista väyläsegmenteistä muodostuva verkko voi olla puurakenteinen. [7.] Digitaalista kenttäväylää käyttämällä instrumentoinnissa perinteinen mA-signaalikytkennässä tarvittava kuparikaapelointi ja A/D-muunnos voidaan korvata kenttäväylän pari-kaapeloinnilla ja älykkäällä lähettimellä. (kuva 16.)



Kuva 16. Kuvaus analogisen mA-viestin kaapeloinnin ja kenttäväyläkaapeloinnin eroavaisuudesta. [13]

Kenttäväylälle on useita eri valmistajien standardeja, kuten eniten esiintyvät Profibus- ja Modbus-standardit. Standardisoinnin ansiosta kenttäväylät ovat yhteensopivia hyvin laajalle määrälle eri laitevalmistajien instrumentteja ja automaatiojärjestelmiä, joten niitä voidaan käyttää lähes rajoituksetta prosesseissa laitevalmistajasta riippumatta. Tässä työssä esitellään Profibus-kenttäväylää tarkemmin luvussa 5.3.

Kenttäväylä voidaan ymmärtää helpommin kuviteltuna esimerkiksi tieliikenteenä, jossa ohitus on kiellettyä. Väylälle voidaan liittyä pääliittymistä ja poistua erkanemisiittymistä, etenemisen ollessa aina vakionopeutettua. Näin ollen etäisyyksien keston arviointi on mahdollista ja liikenne ruuhkautuu aina datan lisääntyessä. [7.]

Kenttäväylää käytetään laiteverkkotasolla ja yleisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi:

- moottorinohjaukset
- hajautetut I/O-moduulit
- kenttäinstrumentit
- paikalliset käyttöliittymät
- monitorointijärjestelmät
- turvaväylät

5.3 Profibus DP/PA

Profibus on avoin kenttäväylästandardi, joka on kehitetty Saksassa 1980-luvun lopussa ja julkaistiin käyttöön vuonna 1989 [23]. Profibus-kenttäväylä on laitetoimittajasta riippumaton ja sitä voidaan soveltaa kaiken tyyppisissä prosesseissa. Profibus-kenttäväylä on hyvin yleinen ratkaisu teollisuudessa, johon törmää usein tällä hetkellä toimivissa tuotantolaitoksissa. Profibus-kenttäväylästä löytyy kaksi versiota, jotka ovat Profibus DP ja Profibus PA [23]. Profibus PA:ta käytetään yleensä alahaaran verkkona Profibus DP:n yhteydessä, jolloin verkkojen yhdistäminen tapahtuu DP/PA Coupler -mediamuuntimella.

Profibus-standardi määritellään OSI-mallissa kolmelle tasolle, 1, 2 ja 7. (kuva 17.). OSI-mallin tasojen tehtävistä kerrotaan tarkemmin seuraavissa luvuissa.

	User program		Application profiles
7	Application Layer		PROFIBUS DP Protocol (DP-V0, DP-V1, DP-V2)
6	Presentation Layer		Not used
5	Session Layer		
4	Transport Layer		
3	Network Layer		
2	Data link Layer		Fieldbus Data Link (FDL): Master Slave principle Token principle
1	Physical Layer		Transmission technology
	OSI Layer Model		OSI implementation at PROFIBUS

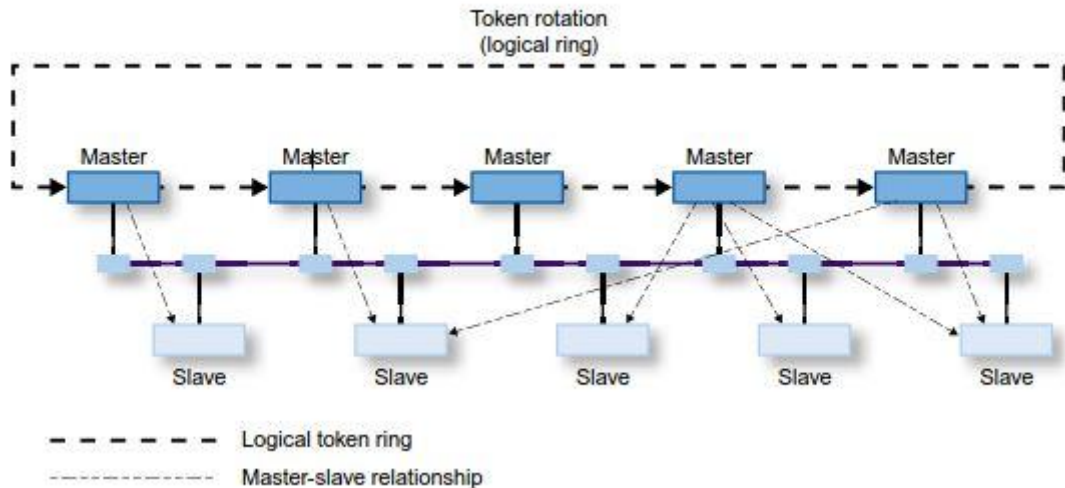
Kuva 17. Profibus-protokollan OSI-malli. [23]

Ensimmäinen eli fyysinen taso määrittelee kenttäväylän fyysisen tiedonsiirron. Profibus käyttää digitaalista sarjaliikennettä häiriösuojatulla 2-johdinkaapeloinnilla, joka liitetään RS485-liitännällä [23]. Profibusissa käytettävät RS485-liittimet on varustettu päätevastuksilla häiriöiden estämiseksi. RS485-väyläsegmentit voivat olla maksimissaan 1 km:n pituisia, mutta vain hitailla tiedonsiirtokapasiteeteilla. Väyläsegmentin pidetessä yhteyden tiedonsiirtokapasiteetti, eli nopeus hidastuu. Nopean tiedonsiirtokapasiteettien väyläsegmentit voivat olla 100 m pitkiä (kuva 18.). [24.] Tiedonsiirtoyhteys voidaan toteuttaa myös valokuitukaapeloinnilla tai langattomalla verkkoyhteydellä (WLAN).

Bit rate	Maximum segment length	
9.6 kbit/s	1 000m	} Low speed
19.2 kbit/s	1 000m	
45.45 kbit/s	1 000m	
93.75 kbit/s	1 000m	
187.5 kbit/s	1 000m	
500.0 kbit/s	400m	} High speed
1.5 Mbit/s	200m	
3.0 Mbit/s	100m	
6.0 Mbit/s	100m	
12.0 Mbit/s	100m	

Kuva 18. Tiedonsiirtokapasiteetin ja segmentin pituuden suhde. Lähde: [24]

Toinen taso eli siirtoyhteystaso määrittelee väyläliitynnän ja tietoturvamäärittelyn. Siirtoyhteystason tehtävänä on siis huolehtia, että väylälaitteet lähettävät tietoa oikeassa järjestyksessä. Profibus käyttää master-slave (isäntä-orja) cyclic polling -metodia, johon on sovellettu myös valtuudenvälitys eli token ring -metodi. [23.] Master-tason laitteet ”pollaavat” eli kutsuvat slave-tason laitteita, jotka vastaavat takaisin mastereille. Useamman master-laitteen järjestelmässä pollaus-vuoro määritetään tokenilla, eli token (valtuus) kiertää aina master-laitteiden ringissä ja sen omaavalla on pollausvuoro slave-laitteille. (kuva 19.) [25.]



Kuva 19. Master-slave-metodin periaate. [25]

Seitsemäs taso eli sovellustaso määrittelee toiminnot, palvelut sekä rajapinnan sovellukselle ja sisällön viestinnälle. Profibus käyttää määrittelyyn Profibus DP -viestintäprotokollaa, joka on sama kaikille sovelluksille.

Profibus DP:n sovelluskerros koostuu kolmesta protokollasta: DP-V0, DP-V1 ja DP-V2. DP-V0 on välttämätön kaikissa Profibus-järjestelmissä ja sisältää perustoiminnot kuten syklisen tiedonsiirron, väylän käynnistyskomennon sekä väylädiagnostiikan. DP-V1 sisältää asyklisen tiedonsiirron, eli hälytystiedon ja järjestelmätilan hallinnan. DP-V2 sisältää lisätoimintoja joita käytetään korkeanopeuksisissa järjestelmissä, kuten servo-ohjaukset ja turvajärjestelmät. Kaikki Profibus-laitteet tukevat DP-V0-protokollaa, DP-V1 ja DP-V2 ovat vaihtoehtoisia. [24.]

5.3.1 Profibus DP

Profibus DP (Decentralized Peripherals) -kenttäväyläteknologiaa käytetään nopeisiin tiedonsiirtotarkoituksiin antureille sekä toimilaitteille ja on tarkoitettu erityisesti kunnonvalvonnan tarkkailuun ja huoltoyhteyksiin. Yleinen käyttökohde Profibus DP:lle on hajautetut I/O-moduulit ja moottoreiden taajuusmuuttajat. Profibus DP -kenttäväylä kykenee tiedonsiirrossa 12 Mbit/s nopeuteen asti. [23.]

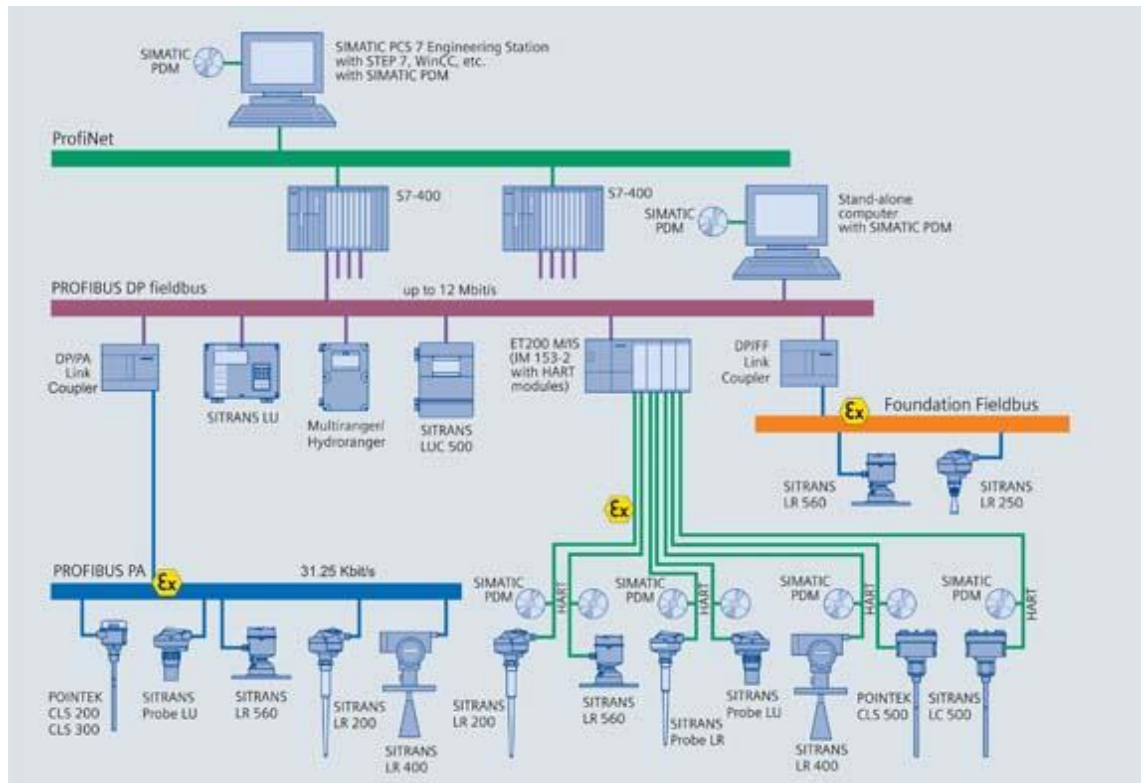
5.3.2 Profibus PA

Profibus PA (Process Automation) -kenttäväyläteknologiaa käytetään älykkäiden kenttä-laitteiden liittämiseen erityisesti räjähdysvaarallisten tilojen prosessinohjausjärjestelmissä. Profibus PA käyttää IEC61158-2:n mukaista MBP (Manchester Bus Powered) -tiedonsiirtoa. Laitteiden käyttöjännite tuodaan väyläkaapelissa virransyöttöä rajoittaen siten, että räjähdysolosuhteet voidaan välttää. Profibus PA -väylän jännitetasoa on seurattava Exi-vaatimusten mukaisesti. Profibus PA -segmentin laitteiden maksimi lukumäärä on rajoitettu 32 kappaleeseen ja tiedonsiirtonopeus selvästi Profibus DP-väyläsegmenttiä hitaampi (31,25 kbit/s). [24.]

5.3.3 Profinet

Profinet on Profibus-tekniikan kanssa samaan tuoteperheeseen kuuluva teollisuus-Ethernet-tekniikka, jossa aikakriittiset toiminnot on tehty mahdolliseksi reaaliaikaisilla protokollisäyksillä. Ei-aikakriittisen TCP/IP-tiedon lisäksi Profinet mahdollistaa reaaliaikaisen ja syklisen tiedonsiirron samaan aikaan samassa väylässä ilman, että reaaliaikainen tiedonsiirto häiriintyy. Tämä tarkoittaa sitä, että Profinetiin liitetyt laitteet voivat kommunikoida keskenään samassa lähiverkossa muiden laitteiden kanssa, häiritsemättä niiden toimintaa. Reaaliaikaisen tiedon siirtäminen on myös mahdollista tahdistetusti, jolloin vasteajat riittävät vaativiinkin liikenneohjaussovelluksiin. Vasteaika voi olla jopa alle yhden millisekunnin. [26.] Profinetia käytetään yleensä järjestelmien välisessä tiedonsiirrossa, kuten DCS-järjestelmän prosessiasemien välillä tai PLC:iden välillä (kuva 20.).

Profinet pohjautuu Ethernet-protokollaan, jolloin langaton tiedonsiirto on myös mahdollista. Kaapelointi on myös edullista ja helppoa, koska Profinet käyttää tavallista Ethernet-kaapelointia.



Kuva 20. Kuvaus laiteverkon hierarkiasta. [27]

5.3.4 Optinen muunnin (engl. Optical link module, OLM)

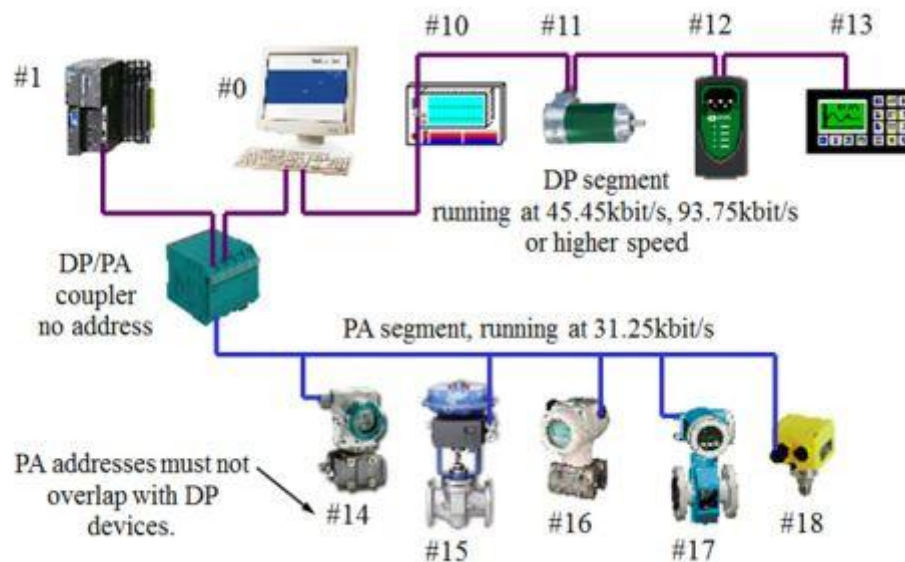
Optinen muunnin on laite, joka muuttaa esimerkiksi laiteasolla olevan sarjaliikenteisen kenttäväyläyhteyden valokuituyhteydeksi (kuva 21.). OLM:ia käytetään usein kun halutaan siirtyä esimerkiksi laiteason Profibus-kenttäväylästä valokuituverkkoon. Tämä muunnos mahdollistaa pidemmät yhteyttäisyydet prosessialueella.



Kuva 21. Siemens Profibus OLM, Optinen muunnin. [28]

5.3.5 DP/PA-kytkinlaite (engl. DP/PA Coupler)

Profibus DP:n ja PA:n yhdistäminen voidaan toteuttaa yksinkertaisella kytkimellä, joka yhdistää Profibus DP -väyläsegmentin räjähdyksenvaaralliseen tilaan soveltuvaan Profibus PA -väyläsegmenttiin (kuva 22.). Yksinkertaisella coupler-laitteella yhdistetyt DP- ja PA-segmentit ovat niin sanotusti läpinäkyviä toisilleen, eli kullakin PA-orjalaitteella on oltava ainutlaatuinen osoite, jotka eivät saa olla päällekkäisiä DP-segmentin laitteiden osoitteiden kanssa. Jotkut yksinkertaiset couplerit toimivat vain alhaisilla Profibus DP:n tiedonsiirtonopeuksilla, esimerkiksi Siemens DP/PA-Coupler edellyttää 45,45 kbit/s nopeutta DP-segmentille toimiakseen. Markkinoilla on olemassa kuitenkin myös nopeita couplereita. [24.]

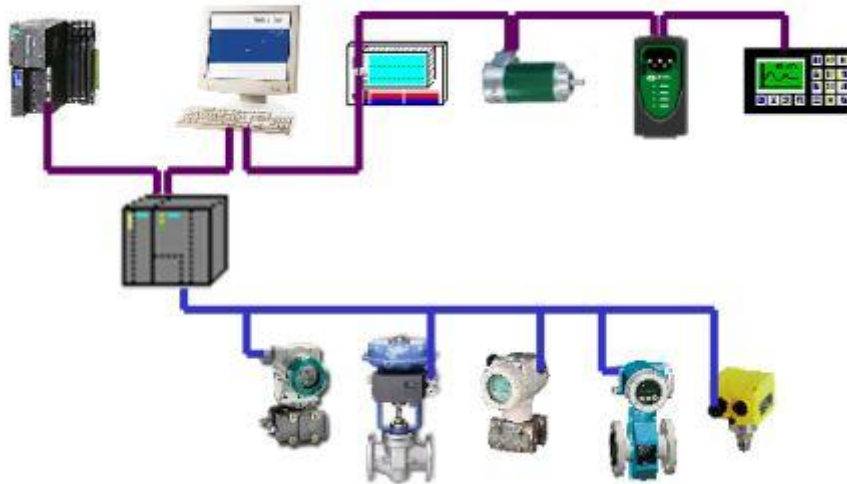


Kuva 22. DP/PA Couplerilla yhdistetty DP- ja PA-segmentti. [24]

5.3.6 Siemens DP/PA -linkkimoduuli (engl. DP/PA Link Module)

Siemensin valmistamalla DP/PA-linkkimoduulilla toteutetussa yhdistelmässä linkkimoduuli toimii orjatasen laitteena DP-segmentissä ja isäntätason laitteena PA-segmentissä (kuva 23.). Näin ollen linkkimoduulilla on oltava orjaosoite, jonka kautta DP-segmentin isäntälaitte käyttää PA-segmenttiä. Tämä menettely mahdollistaa sen, että PA-segmentti on oma verkkonsa, joten PA-laitteiden osoitteet voivat olla päällekkäisiä DP-segmentin

laitteiden kanssa. Päällekkäiset osoitteet segmenteissä mahdollistavat myös yli 126 laitteen yhdistämisen verkkoon. Lisäksi DP-segmentti voi toimia täydellä nopeudella 12 Mbit/s riippumatta PA-segmentin nopeudesta. [24.]



Kuva 23. Siemens DP/PA Link Module Network. Lähde: [24]

5.4 HART-protokolla (Highway Addressable Remote Transducer)

HART-protokolla on niin sanottu hybridi kenttälaitteprotokolla, eli yhdistelmä analogiselle ja digitaaliselle automaatioviestinnälle. Käytännössä se mahdollistaa, että analogisen tasajännitteisen mA-viestin rinnalla voidaan lähettää digitaalinen viesti. HART-protokollassa digitaalisen viestin tarkoitus on lähettää muun muassa vikadiagnostiikkaa ja laite-tietoja. Älykkäät kenttälaitteet sisältävät HART-valmiuden ja HART-kommunikointi on myös saatavilla DCS-järjestelmään esimerkiksi konfigurointiasemalle. HART-viestintä on kaksisuuntaista, joten sillä voidaan myös asettaa esimerkiksi parametreja kenttälaitteille. [29.]

6 Teollisuuden tietoverkkojen tietoturvallisuus

Tietoturvallisuusriskit ovat nousseet nykyaikana huomattavasti suuremman huomion kohteeksi yritystoiminnassa sekä teollisuudessa ja vaativat myös huomattavasti enemmän suunnittelua ja varautumista. Tästä tilanteesta on kehittynyt käsite kyberturvallisuus. Kyberturvallisuus tarkoittaa osa-aluetta, jolla pyritään sähköistetyn ja verkotetun yhteiskunnan turvallisuuteen. Kyberturvallisessa ajattelussa pyritään ehkäisemään ja varautumaan sähköistettyjen ja verkotettujen järjestelmien aiheuttamiin vaikutuksiin yhteiskuntien kriittisiin toimintoihin, kuten energiantuotantoon ja teolliseen tuotantoon. [30.]

Teollisuuslaitoksen liittäminen tietoverkkoon ja tuotantolaitoksen eri tasojen tietoverkkojen välisen liikennöinnin mahdollistaminen tuo mukanaan useita erilaisia hallittavuus- ja tietoturvariskejä. Kun prosessin ohjaukselle kriittinen automaatiotason verkko yhdistetään toimistotason verkon kanssa, niin ei-toivottu tietoliikenne eli esimerkiksi ulkoisen osapuolen tunkeutuminen on myös helpommin mahdollista esimerkiksi toimistotason kautta suoraan automaatioverkon tasolle [30]. Nykypäivänä tietoturvakoulutus on oleellinen osa yrityksen henkilöstön tai uusien työntekijöiden perehdytyksissä.

6.1 Tietotekniset uhat

Tietotekniset uhat ovat yleensä ohjelmistoperäisiä, kuten viruksia tai haittaohjelmia. Vakoiluohjelma on yleinen esiintyvä haittaohjelma, jolla tunkeudutaan tietojärjestelmään ja päästään käsiksi yritykselle arkaluonteiseen dataan. Haittaohjelma tai virus voidaan myös tallentaa ulkoiseen USB-muistitikkuun, jolloin se aktivoituu kytkettäessä mihin tahansa automaatio- tai yritysverkon tietokoneeseen.

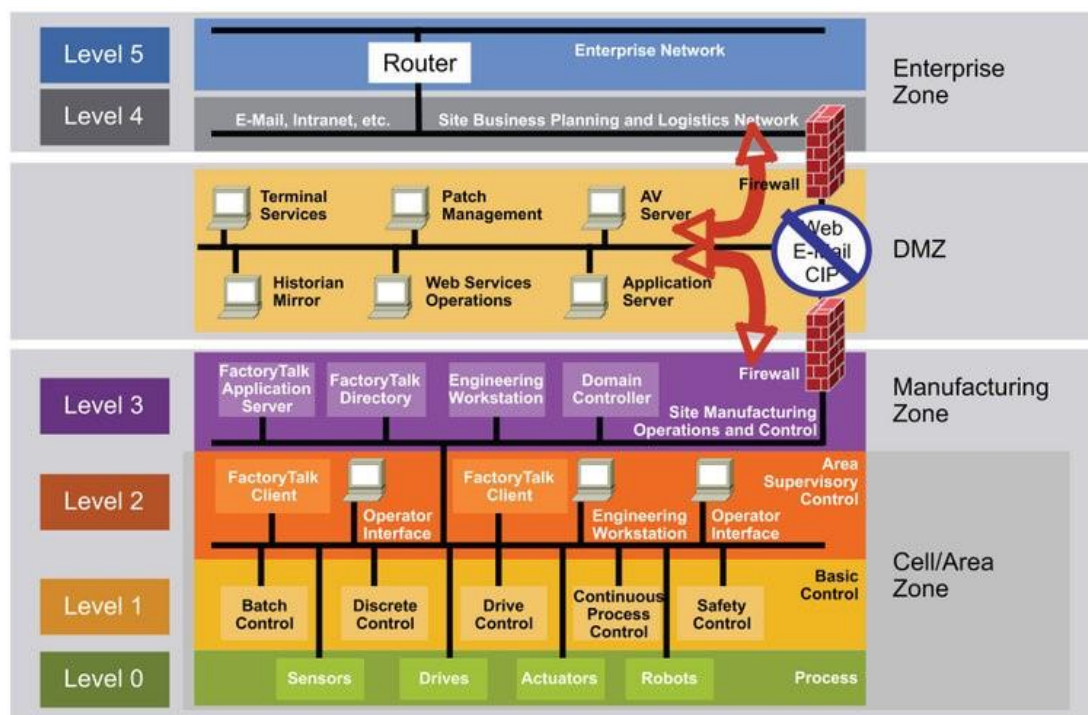
6.2 Ulkoiset palvelut

Nykyajan ohjelmoitavat automaatiojärjestelmät mahdollistavat erilaisten palvelu- ja laite-toimittajien etäliittymän tuotantolaitoksien tietoverkkoihin, mikä lisää huomattavasti tuotantolaitoksen ulkoista tietoliikennettä. Ulkoiset toimittajat tarjoavat muun muassa kunnossapito- ja optimointipalveluita järjestelmiinsä, jotka toteutetaan etäyhteyksillä.

Pahimmassa tapauksessa tuotantolaitoksen verkon ulkopuolinen ei-toivottu käyttäjä voi päästä käsiksi prosessille kriittisen ohjausverkon tasolle etäreitien kautta ja aiheuttaa prosessiautomaation ohjauksessa vakavia virheitä ja toimintahäiriöitä, jotka voivat johtaa isoihin tuotannollisiin tappioihin ja yrityksen resurssien menetyksiin. Ulkoisten etäyhteyksien turvallisesta muodostamisesta kerrotaan lisää luvussa 5.2. Hyvän tietoturvan saavuttamiseksi on olemassa teknisiä keinoja, joita esitellään luvuissa 6.1 ja 6.2.

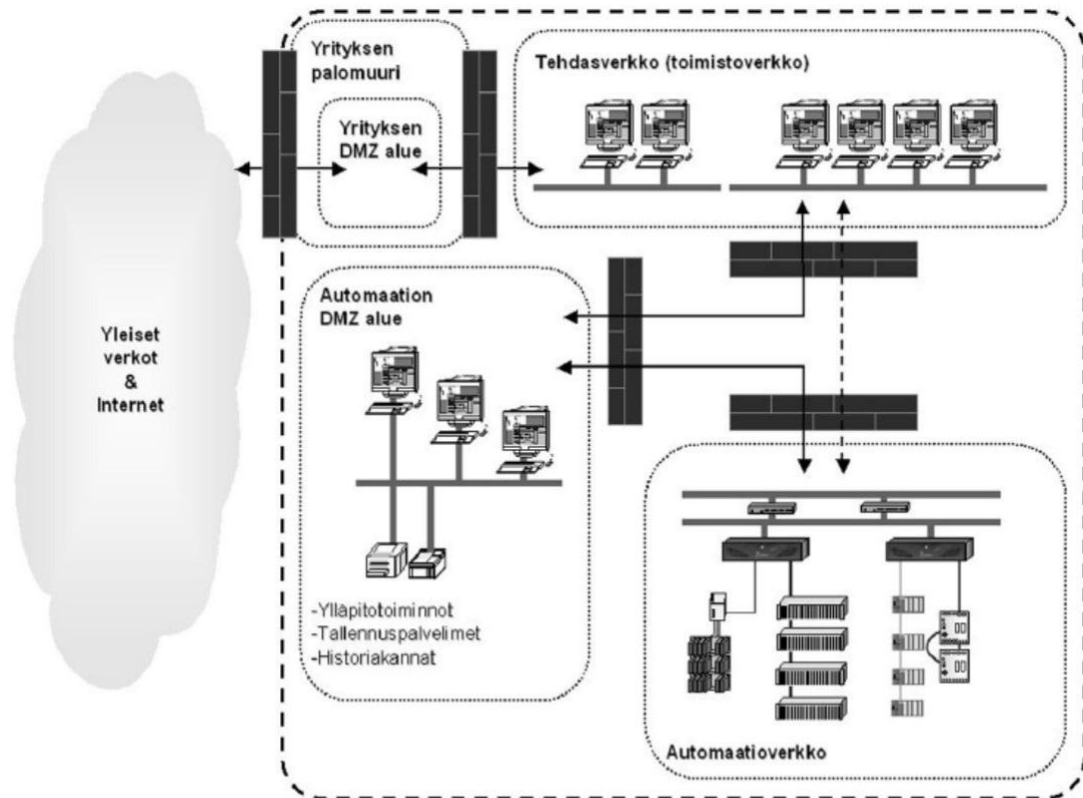
6.3 DMZ, Demilitarized Zone

Hyvin toteutettu ja suojattu isomman mittakaavan tietoverkko on varustettu niin sanotulla eteisverkolla (engl. demilitarized zone), joka sijaitsee luotetun sisäverkon ja ulkoisen palvelinverkon välissä. Eteisverkko toteutetaan useiden palomuurien avulla oman luotetun sisäverkon ja ei-luotetun ulkoisen verkon välille, jolloin ne eivät ole suorassa kommunikoinnissa keskenään. DMZ-verkko on konfiguroitu niin, että alempi luotettu verkko voi syöttää eteisverkon tietokantaan valitun ja rajatun määrän haluttua tietoa ja ulkoiselle palvelinverkolle on määritelty rajattu tieto, jota se voi tiedustella. DMZ-verkon toiminnan varmentamiseksi se voidaan myös kahdentaa käyttämällä useampaa palomuuria ja kytkintä. (kuva 24.) [31.]



Kuva 24. DMZ-verkolla varustetun automaatioverkon hierarkia. [32]

Automaatioverkko voidaan toteuttaa myös kaksivaiheisella DMZ-verkoituksella. Tässä tapauksessa automaatioverkolla ja toimistoverkolla on omat DMZ-vyöhykkeet, jolloin julkisen verkon kautta tunkeutuminen on vieläkin haasteellisempaa ja tulisi toteuttaa kahden DMZ-verkon läpi. (kuva 25.) [31.]

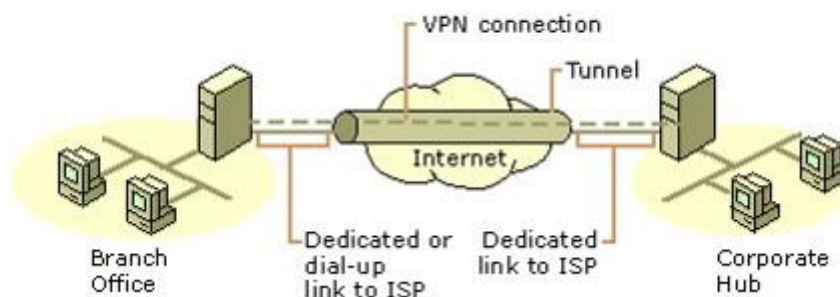


Kuva 25. DMZ-verkolla varustetun tietoverkon hierarkia. Lähde: [31]

6.4 VPN, Virtual Private Network

Virtual private network, eli virtuaalinen erillisverkko on salattu virtuaalinen yhteys esimerkiksi kahden tietoverkon välillä tai yksityiseltä tietokoneelta johonkin tietoverkkoon (kuva 26.). Salatulla yhteydellä varmistetaan, että arkaluonteinen tieto liikkuu turvallisesti ainoastaan edellä mainittujen osapuolien välillä. [33.] Esimerkiksi laitetoimittajan ja tuotantolaitoksen välinen huoltoyhteys toteutetaan käyttämällä VPN-tekniikkaa, jolloin se pysyy yksityisenä kaikelle muulle tietoliikenteelle.

VPN-yhteys muodostaa niin sanotun VPN-tunnelin toimipisteiden tai etäkäyttäjän ja toimipisteen välille. Tunneloinnissa kehys kapseloidaan (engl. encapsulation) toiseen kehykseen, joka sisältää reititystiedon, jonka avulla tietopaketti voidaan reitittää vain sille tarkoitettuun osoitteeseen. Kun tietopaketti on siirtynyt, niin kapselointi puretaan (engl. unencapsulation) vastaanottajan päässä. [33.]



Kuva 26. VPN-yhteys kahden toimipisteen tietoverkkojen välillä. [33]

7 Tietoverkkosuunnittelu

7.1 Tietoverkkosuunnittelun päätehtävä

Teollisuustietoverkkosuunnittelun päätehtävänä on suunnitella laitoksen fyysinen runkoverkko, joka yhdistää laitekannan ja järjestelmät toisiinsa sekä mahdollistaa sujuvan tiedonsiirron suunniteltavan laitoksen tarpeisiin. Suunnittelun aikana tuotetaan riittävä ja tarkka dokumentointi verkon kytkennöistä ja kaapeloinnista asennustöitä varten. Suunnittelussa on huomioitava laitoksen eri osien tiedonsiirtotarpeet ja laitteiden sekä järjestelmien yhteensopivuudet. Tietoverkkojen konfigurointi painottuu pääasiassa laitetoimittajien ja tietoverkkoyhtiöiden vastuulle. Suunnittelun on kuitenkin oltava tiiviissä yhteistyössä laitetoimittajien, loppuasiakkaan ja tietoverkkoyhtiöiden kanssa yhteensopivan ja käyttövarman tietoverkkoratkaisun saavuttamiseksi.

7.2 Suunnittelun haasteet

Tietoverkkosuunnittelun suuri haaste on se, että tietoverkot ovat nykyään hyvin laajoja ja niihin liitettävä laitekanta on niin laaja, että esisuunnittelussa ei voida vielä saada realistista kuvaa verkkoon liitettävistä laitteista ja aliverkoista. Suunnittelun edetessä ilmenee yleensä laitteita, joita asiakas haluaa lisätä tietoverkkoon. Lähtötiedot verkkoon liitettävistä laitteista myöhästyvät, koska tietoa kuituverkkoon liitettävistä laitteista ei saada asiakkaalta riittävän ajoissa. Myös tiedonkulku on suuri haaste verkkosuunnittelussa. Tietoverkko kokonaisuudessaan on hyvin laaja ja moniosainen, joten siinä vaaditaan hyvin laajaa tietotaitoa ja osaamista kokonaisuuden hahmottamiseksi. [34.]

7.3 Laatuysteistyö

Tietoverkkosuunnittelussa on syytä kiinnittää huomiota laitekannan kartoittamiseen hyvissä ajoin, jotta toteutusvaiheessa ei tulisi enää verkkoon lisättäviä laitteita. Suunnittelu vaatii aktiivista tiedonvaihtoa laitetoimittajien kanssa verkkoyhteensopivuuksien varmistamiseksi. Tietoverkkosuunnittelun aikana on myös erittäin tärkeää, että loppuasiakkaan puolelta tietoverkoista vastaava henkilö on mukana suunnittelussa ja toteutuksessa.

Loppuasiakkaan läsnäolo suunnittelun aikana varmistaa, että tietoverkot toteutetaan asiakkaan vaatimalla tavalla ja tietoverkon hallinta sekä ylläpito on mahdollista ja sujuvaa asiakkaan omassa ylläpito-organisaatiossa myös suunnittelun ja toteutuksen jälkeen.

7.4 Suunnittelun kulku

Runkoverkon suunnittelu aloitetaan tutkimalla suunniteltavan laitoksen layout-piirustusta, jonka perusteella arvioidaan, millä alueilla on eniten laitteistoa ja tietoliikennöintiä. Pääprosessialueilla laitekanta on laaja, kun taas prosessin reuna-alueilla se on vähäisempi, joten tiedonsiirtorunkoverkon valokuitukaapeleiden sekä keskuksien mitoitus ja sijoitus tulee huomioida aluekohtaisesti. [34.] Esiselvityksessä arvioidaan, minkä tyyppisiä tietoverkkoja suunniteltavaan kohteeseen halutaan. (Liite 1)

Yleisiä verkkotyyppejä, jotka pystytään päättämään jo esiselvitysvaiheessa, ovat

- palohälytysjärjestelmän verkko
- kulunvalvontaverkko
- kameraverkko
- sähkönsyöttöjärjestelmän verkko
- tiedonsiirron runkoverkko

Suunnittelun edetessä perussuunnitteluun ja toteutussuunnitteluun laiteratkaisut kuten esimerkiksi DCS-järjestelmän toimittajat varmistuvat, joten aliverkkojen kytkentöjen dokumenttien suunnittelu voidaan aloittaa (liite 2.). DCS-järjestelmän laitetoimittaja suunnittelee järjestelmän väyläverkon, joka asettaa vaatimukset runkoverkolle. Aliverkkojen liittäminen runkoverkkoon tuottaa suurimman työn tietoverkkosuunnittelun aikana. Dokumenttien on annettava liityntätiedot useiden eri tasojen verkoista, joita kohteeseen toteutetaan.

Dokumentit antavat asennustiedot esimerkiksi seuraaville asioille:

- optisten muuntimien liitynnät
- kytkimien ja reitittimien liitynnät
- automaatiojärjestelmien liitynnät
- kuitupaneelien kytkennät
- laiteverkkojen liitynnät

- huoltoverkkojen liitynnät
- taloautomaation liitynnät
- prosessiasemien liitynnät
- valokuitujen ristikytkennät
- I/O-moduulien liitynnät
- turvalogiikoiden liitynnät
- sähköjakelujärjestelmän (IEC) liitynnät

[34.]

7.5 Tiedonsiirtoverkon dokumentit

Tietoverkkosuunnittelun tuottamat dokumentit ovat piirikaaviotyypisiä piirustuksia sekä kytkentätaulukkoita, jotka antavat tarkan ja havainnollistavan kuvan verkon fyysisistä kytkennöistä. Dokumenteista voidaan hahmottaa tietoverkon kaapelointi ja verkon laitteet. Dokumenttien tavoitteena ja vaatimuksena on mahdollistaa verkon asennus ja kytkentä, sekä mahdollistaa verkon ylläpito- ja muutostoiminnot.

7.6 Tiedonsiirtoverkkojen suunnitteluohjelmistoista

Tiedonsiirtoverkkojen piirustuksien tuottamiseen käytetään graafisia suunnitteluohjelmia, kuten Autocad ja Microsoft Visio. Dokumentit perustuvat loogisiin piirikaaviotyypisiin kuviin, joiden perusteella voidaan hahmottaa fyysisen tietoverkon laitteistojen välinen kaapelointi ja niihin liittyvät kytkennät. Hyvin toteutettu dokumentointi antaa kuvan suunniteltavasta kohteesta ja sen tiedonsiirtoverkon etenemisestä eri alueilla.

Piirustusdokumenttien tuottamista graafisilla suunnitteluohjelmilla voidaan tehostaa tietokantapohjaisella sovelluksella, joka generoi useita piirustuksia tietokantaan määritettyjen tunnuksien perusteella. Tietokantapohjaisen generointisovelluksen avulla voidaan vähentää yksittäisten piirustusten luomiseen tarvittavaa ajankäyttöä.

Tietokantasovellukseen voidaan määrittää esimerkiksi seuraavia tunnuksia:

- kaapelinumerointi
- prosessiohjaimien positiotunnukset
- kytkimien ja reitittimien positiotunnukset
- osastotunnukset
- kytkentätilojen tunnuksset
- valokuituparien tunnuksset
- kilpiluetelo
- optisien muuntimien positiotunnukset
- kuitupaneelien tunnuksset

8 Yhteenveto

Tietoverkkojen osuus teollisuuden automaatiossa tulee olemaan seuraavien vuosikymmenien aikana yhä suuremmissa roolissa. Tietoverkkoteknologian kehitys on erittäin nopeaa, joten ajan tasalla pysyminen vaatii jatkuvaa opiskelua ja työskentelyä alan parissa. Sarjaliikenteisistä kenttäväylyistä tullaan siirtymään yhä enemmän teollisuuden Ethernet-ratkaisuihin, mikä monipuolistaa mutta myös samalla monimutkaistaa laitteiden ja järjestelmien toimintaa. Myös big datan keruu ja sen hyödyntäminen tulevat olemaan merkittävä asia tulevaisuudessa ja vaikuttaa myös tietoverkkojen suunnittelutyöhön.

Työssä päästiin hyvään peruskäsitykseen teollisuuden tietoverkoista, kenttäväylyistä ja niiden tarjoamista ominaisuuksista. Tämän työn aikana selvisi, että tietoverkkosuunnittelun yhtenä suurena haasteena on teknologiassa ajan tasalla pysyminen ja tietoisuus eri tietoverkkoteknologioiden yhteensopivuuksissa. Toisena haasteena johon pitää kiinnittää huomiota, haluan mainita projektin aikana käytävän tiedonvaihdon laitetoimittajan ja asiakkaan kanssa. Päätelmieni perusteella haluan painottaa, että tietoverkkosuunnittelussa tulisi siis olla tiiviissä yhteistyössä laitetoimittajien ja asiakkaan kanssa järjestelmien tarjoamien ominaisuuksien hyödyntämiseksi sekä toimivien järjestelmäkokonaisuuksien toteuttamiseksi. Tiiviillä tiedon vaihdolla on myös suora vaikutus sujuvan suunnittelutyön ja dokumentoinnin saavuttamiseksi. Työn suurimmaksi haasteeksi koin vaikeasti löydettävän materiaalin aiheeseen ja hyvin laajan insinööriyöaiheen rajaamisen sopivaksi.

Lopuksi haluan kiittää automaatiosuunnitteluosaston osastopäällikkö Pasi Haravuorta ja insinööriyön ohjaajaa Pauli Aholaista mahdollisuudesta ja luottamuksesta uuden vaativan osa-alueen tehtävään sekä tuesta ja asiantuntevista ohjeista työtä varten. Kiitän myös insinööriyön valvojana toiminutta lehtori Jukka-Pekka Piristä asiantuntevista neuvoista ja kommentteista työhön. Kiitän myös työtovereitani asiantuntevista ohjeista ja tuesta työtä varten. Haluan kiittää myös sähkösuunnittelija Roope Grönroosia hänen antamastaan haastattelusta ja ohjeista tietoverkkosuunnitteluun sekä projekti-insinööri Pauli Aholaista hänen antamistaan neuvoista ja materiaaleista.

Lähteet

- 1 Daniel Siivonen 2015. Automaatiosuunnittelu osana suunnitteluprojektia. Opin- näytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 2 Pasi Haravuori 2017. Osastopäällikkö, Sähkö- ja automaatiosuunnittelu, Sweco Industry Oy, Helsinki. Keskustelu marraskuu 2017.
- 3 Sweco@Work -toiminnanohjausjärjestelmä
- 4 Automation Forum. Verkkoaineisto. <<https://automationforum.in/t/what-is-the-meaning-of-sat-and-fat-site-acceptance-test-and-factory-acceptance-test/227>>. Luettu 14.11.2017
- 5 Kuvat 1, 3, 4 ja 5. Fyysiset verkkotopologiat, Verkkoaineisto. <<http://fschub.com/physical-lan-topologies/>>
- 6 James F. Kurose, Keith W. Ross 2013. Computer Networking A Top-down approach Sixth Edition. E-kirja Addison-Wesley, Pearson
- 7 Pyyskänen, S. 2007. Teollisuuden laiteverkot. Johdatus väylätekniikkaan. Helsinki: Suomen automaatioseura ry
- 8 Kuva 2. Väylätopologian rakenne. Verkkoaineisto. <<http://what-when-how.com/networking/lan-topologies-networking/>>
- 9 Kuva 6. Teollisuudessa käytettävä reititin ja reitittimen symboli. Verkkoaineisto. <www.cherry-white.co.uk>
- 10 Kuva 7. Teollisuudessa käytettävä mediamuuntimena toimiva kytkin ja kytkimen symboli. Verkkoaineistot. <gridconnect.com>, <Conceptdraw.com>
- 11 Kuva 8. Toistin. Verkkoaineisto. <www.amplicon.com>
- 12 Kuva 9. Kuitupaneeli. Verkkoaineisto <[https://webobjects2.cdw.com/is/image/CDW/1330721?\\$product-main\\$](https://webobjects2.cdw.com/is/image/CDW/1330721?$product-main$)>
- 13 ABB, TTT-käsikirja 2000-7. Luettu 8.2.2018
- 14 Kuva 10. DCS-järjestelmän verkkohierarkia. Verkkoaineisto. <<http://new.abb.com/control-systems/system-800xa/800xa-dcs/system/network>>
- 15 Pelin Aksoy, Laura Denardis 2008 Information Technology in Theory. Boston Massachusetts luettu 14.12.2017

- 16 Kuva 11. Teollisuudessa käytettävä parikaapeli RJ45-liittimellä ja häiriösuojatun parikaapelin rakenne. Verkkoaineistot. <<http://www.directindustry.com>>, <alexanderbellnhd.weebly.com>
- 17 Numerical Aperture of Optical Fiber. Verkkoaineisto. <<http://vlab.amrita.edu/?sub=1&brch=189&sim=343&cnt=1>> luettu 14.12.2017
- 18 Kuva 12. Valokuitukaapelin rakenne. Verkkoaineisto. <<http://www.fiber-optic-solutions.com/osp-ribbon-loose-tube-optical-cable.html>>
- 19 Kuva 13. Multimode ja Single-Mode -valokuitukaapeleiden toimintaperiaatteet. Verkkoaineisto. <<http://www.ad-net.com.tw/difference-between-single-mode-fiber-and-multi-mode-fiber/>>
- 20 Risto Silvola 2006. Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet -ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Verkkoaineisto. <<http://ae.ase.tut.fi/research/AIN/Publications/ThesisSilvola2006.pdf>>
- 21 Kuva 14. Tyypillinen tuotantolaitoksen automaatioverkon hierarkia. Verkkoaineisto. <www.controlglobal.com/articles/2005/542/>
- 22 Kuva 15. Kahdennetun automaatioverkon 3-tasoinen hierarkia. Verkkoaineisto. <<https://www.slideshare.net/dehingujjal/ai-150-architecture>>
- 23 PROFIBUS Nutzorganisation e. V. (PNO). Karlsruhe, Germany: PROFIBUS & PROFINET International (PI) luettu 23.1.2018
- 24 PROFIBUS Installation Guidelines, Revision 13.0 Oct 2016 luettu 20.2.2018, Verwer Training & Consultancy Ltd
- 25 SIMATIC NET PROFIBUS Network Manual, Edition 04/2009. Luettu 19.2.2018, Siemens
- 26 Siemens, Profinet. Verkkoaineisto. <http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto_esim_profinet/profinet.htm> luettu 14.10.2017
- 27 Kuva 20. Kuvaus laiteverkon hierarkiasta. Verkkoaineisto. <www.automation.com Siemens Simatic 7>
- 28 Kuva 21. Siemens Profibus OLM, Optinen muunnin. Verkkoaineisto. <www.tpautomation.de>
- 29 FieldComm Group. Verkkoaineisto. <<https://fieldcommgroup.org/technologies/hart>> luettu 21.2.2018

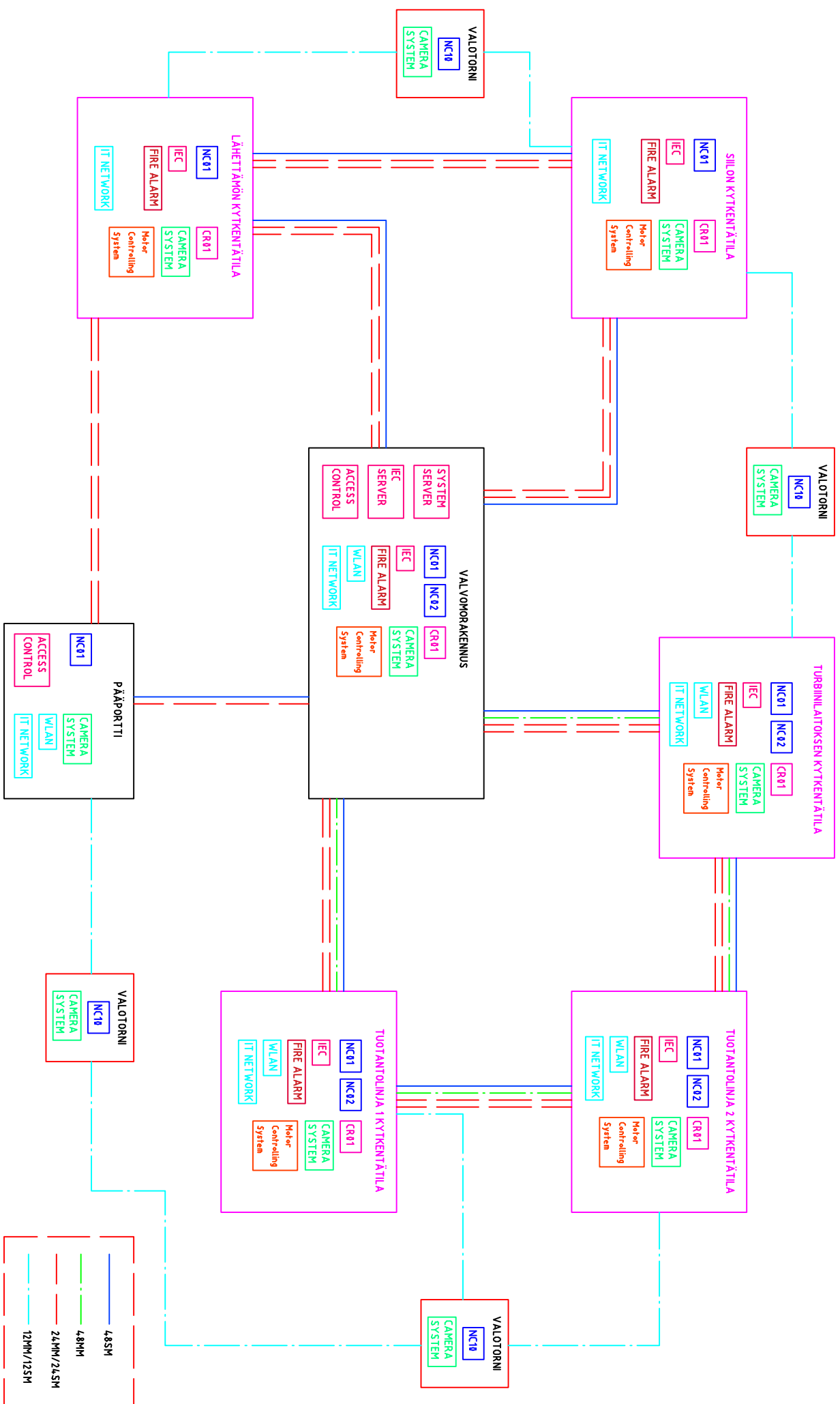
- 30 Sanna-Maria Järvensivu 2017. Osastopäällikkö, Turvallisuusasiantuntijapalvelut, Sweco Industry Oy, Helsinki. Haastattelu 4.12.2017
- 31 Suomen automaatioseura Ry 2005 - Teollisuusautomaation tietoturva. Painomerkki OY, Helsinki
- 32 Kuva 24. DMZ-verkolla varustetun automaatioverkon hierarkia. Verkkoaineisto. <<http://www.i2otsolutions.com/the-third-network/>>
- 33 Jukka-Pekka Pirinen 2016. Automaation tietotekniikka 5. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 34 Roope Grönroos 2017. Suunnitteluinsinööri, Sweco Industry Oy, Helsinki. Haastattelu 5.12.2017

Tehtaan runkoverkon verkkokaavio

Tässä liitteessä sisältävällä dokumentilla kuvataan tehtaan runkoverkon rakennetta ja siihen liittyvien osastojen järjestelmiä ja aliverkkoja.

Verkkokaavion lyhenteet ja käsitteet:

ACCESS CONTROL	Kulunvalvontajärjestelmä
CAMERA SYSTEM	Kamerajärjestelmä
CR01	Prosessiasema
FIRE ALARM	Palohälytysverkko
IEC SERVER	Sähkönjakelun valvontajärjestelmän palvelin
IEC	IEC Sähkönjakelun valvontajärjestelmä
IT NETWORK	IT-verkko
MOTOR CONTROLLING SYSTEM	Moottorinohjausjärjestelmä
NC01, NC02, NC10	Network Cabinet / Size
WLAN	Wireless Local Area Network
12MM/12SM	12 Multimode/24Singlemode Fiber Cable
24MM/24SM	24 Multimode/24Singlemode Fiber Cable
48MM	48 Multimode Cable
48SM	48 Singlemode Cable



48SM	—
48MM	—
24MM/24SM	—
12MM/12SM	—

Rev	0	Kuvitus	1.1.2018	ATK	Wite	F12345	Tuostus p.v.	1.1.2018	Pvm.	1.1.2018	Suun.	A.IIKKONEN	Tor.	A.IIKKONEN	MALLITEHDAS KUITUVERKKO	Positio	Piir.nro.	Tiedosto	Lehti	1/1



VAIHE
AFD

Automaatioverkon rakennemalli

Tässä liitteessä on Microsoft Visiolla luotu käsitystä antava luonnos DCS-järjestelmän tietoverkon fyysisestä rakenteesta. Kuva ei ole toimivasta järjestelmäkokonaisuudesta, vaan sen tarkoitus on antaa käsitys verkkokaavion koostumuksesta. IP-osoitteet ovat keksittyjä ja mallikaaviosta puuttuu paljon oleellisia tietoverkon laitteita järjestelmän toiminnan kannalta.

