

Ismo Nieminen

# PROFINET PROSESSITEOLLISUUDEN AUTOMAATIOSUUNNITTELUSSA

Opinnäytetyö  
Energiatekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Ismo Nieminen	Insinööri (AMK)	Tammikuu 2019
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		48 sivua
PROFINET prosessiteollisuuden automaatio suunnittelussa		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Pöyry Finland Oy		
<b>Ohjaajat</b>		
Lehtori Vesa Kankkunen Projekti Insinööri Antonio Ramirez Pöyry Finland Oy		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Pöyry Finland Oy:n toimeksiannosta. Tarkoituksena oli luoda ohjeistus tukemaan prosessiteollisuuden automaatio suunnittelua, jossa käytetään PROFINET-tekniikkaa. Työtä varten haettiin tietoa kirjallisuudesta, laitevalmistajien verkkosivuilta ja ohjekirjoista, sekä haastatteleamalla Pöyry Finland Oy:n asiantuntijoita, jotka ovat olleet suunnittelemassa PROFINET-pohjaista automaatiota.</p> <p>Aluksi selvitettiin teollisuus-Ethernetin ja PROFINET-tekniikan toimintaperiaatteita sekä asiantuntijoiden kokemuksia ja toiveita ohjeistukseen sähköpostitse. Ohjeistus luotiin näiden tietojen ja tarpeiden perusteella.</p> <p>Laitevalmistajien- ja kirjallisuuslähteiden mukaan PROFINET-tekniikka tarjoaa laajoja ja helppoja ratkaisuja uusiin automaatiototeutuksiin sekä laajennuksiin. Käyttökokemusasiantuntijoiden haastattelussa käytäntö on kuitenkin osoittautunut hankalaksi sekä tekniikka ja standardit koettiin puutteelliseksi. Ongelmia ilmeni muun muassa laitteiston saatavuudessa, teknisessä toteutuksessa ja tiedon saatavuudessa.</p> <p>PROFINET koettiin kuitenkin huomionarvoiseksi vaihtoehdoksi ja nousevaksi trendiksi prosessiteollisuuden automaatioissa. Sen käyttö edellyttää kuitenkin muutoksia työmenetelmiin ja työnjakoon verrattaen perinteiseen suunnitteluun. Tämä tarkoittaa automaation, tiedonhallinnan ja eri järjestelmien välisen tiedonsiirron suunnittelun uudelleen järjestämistä. Projektin alkuvaiheessa on selvitettävä sekä asiakkaan että suunnittelun osaaminen.</p> <p>Opinnäytetyö muodostui yleispäteväksi ohjeeksi, joka ei ota kantaa yksittäisiin ongelmiin, vaan esittää erilaisia ratkaisumalleja perussuunnitteluun sekä kertoo suunnittelussa huomioitavia asioista.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
Automaatio, Ethernet, suunnittelu, teollisuus		

<b>Author</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Ismo Nieminen	Bachelor of Engineering	January 2019
<b>Thesis title</b> PROFINET automation engineering in process industry		48 pages
<b>Commissioned by</b> Pöyry Finland Oy		
<b>Supervisors</b> Vesa Kankkunen, Senior Lecturer Antonio Ramirez, Project Engineer, Pöyry Finland Oy		
<b>Abstract</b> <p>The purpose of this thesis, commissioned by Pöyry Finland Oy, was to provide guidance and support for the PROFINET technology automation engineering in process industry. Information was searched from literature, manufacturer websites and manuals, as well as by interviewing Pöyry Finland Oy experts who have been designing PROFINET-based automation. A guide for design was created based on this information.</p> <p>According to equipment manufacturers and literary sources, PROFINET technology offers comprehensive and easy solutions for new automation implementations and extensions. However, on the basis of an interview concerning user experience, practical implementation has proved difficult. There were some problems for example in hardware availability, technical implementation, and availability of information.</p> <p>Despite this, PROFINET was perceived as a noteworthy alternative and an upward trend in process industry automation. Its use requires changes in working methods and division of tasks, compared with traditional design. This means reorganizing the planning of automation, data management, and communication between different systems. It is quite important to find out about the team and customer's skills at the beginning of the project.</p> <p>The work became a general guideline that does not take a stand on individual problems, but presents different approaches to basic planning, and explains the issues to be considered in planning.</p>		
<b>Keywords</b> Automation, Ethernet, design, industrial		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TEOLLISUUS-ETHERNET .....	7
2.1	Suorituskyky .....	10
2.2	TCP/IP-protokolla (Transmission protocol / Internet protocol) .....	10
2.3	Reaaliaikaisuus.....	11
2.3.1	Isokroninen reaaliaikaisuus.....	11
2.4	Viestiliikenteen toteutustavat .....	12
2.5	Verkkotopologia.....	12
3	PROFINET .....	13
3.1	PROFINET IO.....	14
3.2	Reaaliaikaisuuden tasot.....	15
4	KYTKIMET.....	16
4.1	Kytkimet ja pakettien priorisointi .....	17
5	PROFINET KÄYTTÖKOKEMUKSET .....	18
5.1	Suunnittelun näkökulma .....	18
5.1.1	Suunnittelussa koettuja ongelmatilanteita.....	19
6	SUUNNITTELU.....	20
6.1	Projektin aloitus ja laitteiston sijoittaminen.....	21
6.2	Laitetyyppien määrittely.....	23
6.2.1	PROFINET-suoritusluokitukset.....	24
6.3	Kytkimet verkoston suunnittelussa.....	26
6.4	Verkkotopologian suunnittelu.....	27
6.4.1	Topologian vaiheittainen suunnittelu.....	27
6.4.2	Topologiarakenteen valitseminen .....	28
6.4.3	Redundanttisuus.....	30
6.5	Viestiyhteyksien valinta.....	31
6.5.1	Kytinten syöttämä virta PoE, Power over Ethernet .....	33

6.6	Päivitysajat .....	34
6.6.1	Päivitysajan suunnittelu .....	34
6.6.2	Tiedonsiirtolinjan syvyys (line depth) .....	35
6.7	Tietoturvallisuus.....	36
6.8	Tukiasemat .....	37
6.9	Verkon laajennus ja välityspalvelimet .....	38
6.9.1	Kenttäväylien integrointi.....	38
6.10	IP-osoitteet .....	40
7	PROFINET-LAITTEEN VAIHTAMINEN.....	41
7.1	Dokumentointi.....	42
8	MUUT SOVELLUKSET .....	42
8.1	PROFINET CBA .....	43
8.2	Viestinnän valvonta.....	43
9	YHTEENVETO .....	44
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>46</b>

**LYHENTEET**

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
CBA	Component Based Automation
CC	Conformance Class
CFU	Compact Field Unit)
DCP	Discovery and Configuration Protocol
DCS	Distributed Control System
ERTEC	Enhanced Real-Time Ethernet Controller
EMC	Electromagnetic Compatibility
FO	Fiber Optical
GSD	General Station Description
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICT	Information and Communication Technology
IO	Input Output
IP	Internet Protocol
IRT	Isochronous Real-Time
ISO	International Standardization Organization
IWLAN	Industrial Wireless Local Area Network
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
MAC	Media Access Control
MRP	Media Redundancy Protocol
NRT	Non-Realtime
OSI	Open Systems Interconnections)
PoE	Power over Ethernet
RT	Real-Time
SNMP	Simple Network Management Protocol
TAP	Test access point
TCP	Transmission protocol
UDP	User Datagram Protocol
VLAN	Virtual Local Area Network
VPN	Virtual Private Network
WLAN	Wireless Local Area Network

## 1 JOHDANTO

Teollisuus-Ethernetin käyttö on yleistymässä teollisuuden automaattioratkaisuna. Tähän liittyvien IoT:n (Internet of Things) ja Industry 4.0:n arvellaan olevan teollisuuden uusi aikakausi, jossa tuotantoprosessien koko ketju nousee uudelle tasolle, sekä sulautuu tehokkaammaksi kokonaisuudeksi digitalisaation myötä (Kuisma 2017). Teollisuus-Ethernet-tekniikan kehittämisessä on haettu tietoliikenteen tehokkuutta, uusia mahdollisuuksia aikakriittisten toimintojen ohjaamisessa, sekä diagnostiikkatietojen saamisessa kenttätasolta aina hallinnollisiin yksiköihin saakka. Yksi prosessiteollisuuden markkinoilla olevista vaihtoehdoista on PROFINET, jonka tarjoamiin mahdollisuuksiin tämä opinäytetyö keskittyy.

Opinnäytetyö tehtiin Pöyry Finland Oy:n toimeksiannosta. Tarkoituksena oli luoda ohjekirja tukemaan prosessiteollisuuden automaattiosuunnittelua, jossa käytetään PROFINET-tekniikkaa. Tietoa haettiin enimmäkseen laitevalmistajien nettisivuilta, sillä painettua kirjallisuutta oli tarjolla melko vähän. Internetsivuilta löytyi perustiedon lisäksi paljon ohjekirjoja, joista saatiin tukea oman ohjeistuksen valmistelussa. Ohjeet on siis laadittu tukemaan suunnittelua ja helpottamaan sen aloittamista. Tarkoituksena on myös antaa perustietoa PROFINETin toimintaperiaatteista niille, jotka eivät sitä tunne. Työn syventämistä varten haastateltiin sähköpostitse myös Pöyry Finland Oy:n asiantuntijoita, joilta haettiin käytännön kokemuksia. PROFINET-tekniikkaa esitellään laitevalmistajien sivuilla melko rajattomaksi ja helppokäyttöiseksi. Käytännössä suunnittelu ja toteutus koettiin kuitenkin melko haasteelliseksi ja rajatuksi sekä standardi osittain puutteelliseksi.

## 2 TEOLLISUUS-ETHERNET

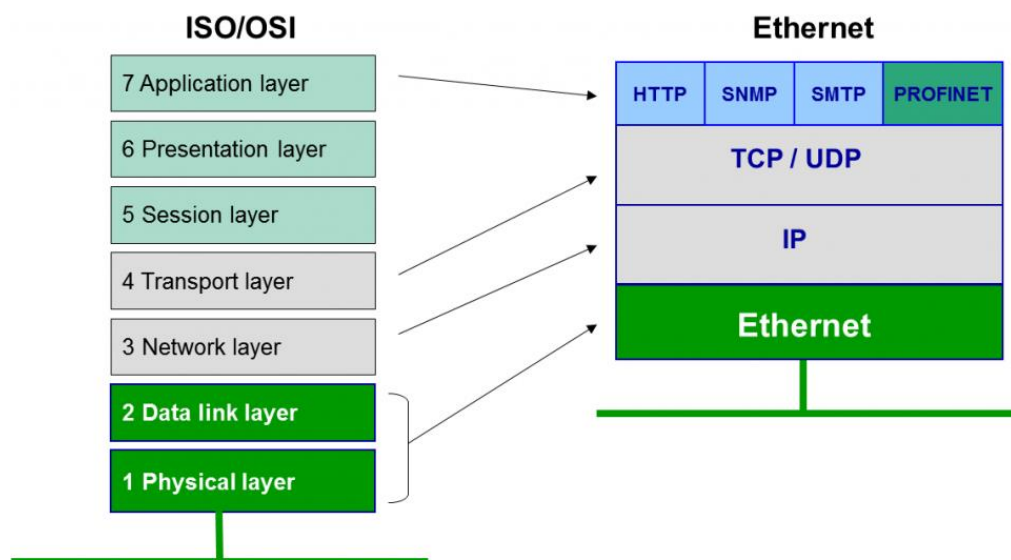
Ethernet on osa Internet tekniikkaa, jonka ratkaisuja voidaan vertailla ISO:n (International Standardization Organization) OSI (Open Systems Interconnections) mallilla. Standardi ISO 7498 on seitsemänkerroksinen referenssimalli, joka kuvaa tietoliikenteen eri protokollatoteutuksia. (Sundquist 2008, 64.) Teollisuus hyödyntää tätä tekniikkaa osana automaatiojärjestelmää.

Teollisuus-Ethernet on avoin verkko, joka on määritelty standardissa - IEEE802.3. Standardi määrittää, miltä signaali näyttää fyysisessä kaapelissa

ja miten siihen liitytään. Verkkoa kuvaa ISO/OSI-vertailumalli, eli niin kutsuttu seitsemän kerroksen pino. Ethernet-standardi kuvataan 1 ja 2 kerroksissa, joka tarvitsee lisäksi vähintään kerroksen 7 sovellukset. (Henning 2015.)

PROFINET käyttää kerroksia 1, 2 ja 7 reaaliaikaiseen tiedon siirtoon.

Internet-mallissa kerrokset vähenevät seitsemästä neljään (kuva 1). Tasot 1 ja 2 muodostavat alimman, eli Ethernet-tason. Seitsemäs kerros kuuluu sovelluksille, 3. IP:lle (Internet Protocol) ja kerros 4 TCP:lle (Transmission protocol). Reaaliaikainen viestintä toteutetaan 1, 2 ja 7 kerrosten välillä. Konfigurointi ja diagnostiikka tapahtuu TCP/IP (Transmission protocol, Internet Protocol) tassa käyttäen mallin kerroksia 1,2,3,4 ja 7. (Henning 2015.)



Kuva 1. ISO/OSI-mallin soveltaminen Ethernet käyttöön (Henning 2015)

Teollisuus-Ethernetin komponentit on luotu teollisuusympäristön vaativiin olosuhteisiin, jossa esiintyy värinää, sähkömagneettisia häiriöitä, kemikaaleja, höyryä ja lämpötilan ääripäitä. Myös kommunikaatiosignaalien nopeus reaaliaikaista viestintää vaativissa tehtävissä tulee olla perillä millisekunneissa ohittamalla TCP/IP-kerros. (Henning 2015.)

Teollisuus-Ethernetin kehittäminen on lähtenyt tarpeesta parantaa tietoliikenteen tehokkuutta. Kenttälaitteiden älyn ja niistä saatavan tiedon lisääntyessä aikakriittisyys sekä tiedonsiirron tehokkuus korostuvat. Tehokkailla menetelmillä prosessista voidaan saada reaaliaikaista tietoa tuotannosta, laadusta

sekä kunnossapidossa tarvittavista tiedoista. Kunnossapidon kannalta laitteiden toimintakunnon huononemisesta saadaan tietoa, jolloin niihin pystytään reagoimaan ennakoivasti. Laitteistoista saatava diagnostiikkatieto sekä tietoturvallinen etäpäivystys ovat mahdollisia Ethernet-tekniikan ansiosta. Standardoidut ratkaisut nopeuttavat käyttöönottoa. Joissain tapauksissa kaapelointia voidaan vähentää tiedonsiirtokaapeliin integroidulla virransyötöllä. Lisäksi väylällä on hyvät laajentamismahdollisuudet ja se on kustannustehokas. (Sundquist 2008, 67–68.)

Vaikka verkkoliitännät ovat standartoituja, ongelmana ovat kuitenkin valmistajakohtaiset, ohjelmalliset yhteensopivuudet. Yhteensovittaminen vaatisi eri valmistajien laitteistoja ymmärtävän protokollan. (Sundquist 2008, 61–2.) Kaupallisia teollisuus-Ethernet vaihtoehtoja on useita, kuten PROFINET, Foundation Ethernet, EtherCat, Sercos III, Ethernet/IP jne. Ne siis ovat kuitenkin usein epäsovivia toistensa kanssa. (Sundquist 2008, 70.) Eroavaisuuksia voi olla esimerkiksi reaaliaika toteutuksissa ja siirtoyhteyksissä, jolloin verkkoja ei voida yhdistää toisiinsa (Silvola 2006, 29).

Ethernet-tekniikan hyviä puolia ovat laaja standartointi, hyvin testattu laitteisto, TCP/IP-pinon hyödyntäminen ja sitä myötä kofigurointi-, sekä diagnostiikkatietojen saatavuus kenttälaitteilta HTTP-muodossa (Hypertext Transfer Protocol) suoraan operaattorille tai kunnossapidolle. Ethernet-pohjaisissa kenttäväylissä saadaan nopeammin dataa kuin perinteisimmässä kenttäväylissä, kuten PROFIBUS (Silvola 2006, 27–8). Automaatiojärjestelmän osat voidaan liittää suuremmaksi kokonaisuudeksi, jossa kenttätasolta saatu tieto voidaan tuoda ylemmille tasoille kunnossapidosta eteenpäin aina hallinnollisiin yksiköihin asti. Tiedon liikkumiseen ulos suljetusta ympäristöstä liittyy kuitenkin tietoturvariski. (Siemens Suomi 2018.)

Ethernet-väylän nopea datan siirto on herkempi häiriöille kuin perinteisempi digitaalinen väylä. Väylään liitettävät laitteistot toimivat teollisuudessa usein sähkömagneettista häiriötä aiheuttavien laitteistojen lähellä. Viestien vastaanottavalla laitteistolla tulee olla riittävästi muistia ja prosessointitehoa. Yksinkertaisimpia laitteita ei siis ole kannattavaa kytkeä verkkoon. (Silvola 2006, 28.)

## 2.1 Suorituskyky

PROFINET-viestirunko voi kuljettaa 1440 tavua prosessidataa, joka voi olla 4 Gt:n kokoinen. Asemien määrä ei periaatteessa ole rajoitettu. (Siemens AG 2008a, 16.) Viestien kehyksiä kuljetetaan 100 Mbit/s. Väylä varataan siis lyhyemmäksi aikaa kuin esimerkiksi Ethernet 10 Mbit/s käytettäessä. 1 Gbit/s Ethernet taas on nopeampi kuin Fast Ethernet, jolloin väylä on käytössä vain kymmenesosan 100 Mbit/s ajasta. (Siemens AG 2008b, 4.)

Kahdennettu liikenne vähentää kehyksien yhteentörmäyksiä. Tyypilliset datan sanomakehysten uudelleen lähetykset vältetään, jolloin datan läpimenoa kasvaa. Tiedot voidaan lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti kahden solmun välillä. Voidaankin siis ajatella, että full-duplex-yhteydellä datansiirtonopeus nousee kaksinkertaiseksi, tarkoittaen 200 Mbit/s Fast Ethernetin ja 2 Gbit/s:n kanssa Gigabit Ethernet-yhteyksiä. Tekniikka mahdollistaa verkkojen laajentamisen. Esimerkiksi optista kaapelia käytettäessä voidaan saavuttaa 70 kilometrin etäisyydet. (Siemens AG 2008b, 4.)

## 2.2 TCP/IP-protokolla (Transmission protocol / Internet protocol)

TCP, eli kuljetuskerros vastaa datan siirrosta kaksisuuntaisesti (Saarelainen 2011, 78). IP (Internet Protocol) on useita aliverkkoja ylittävä protokolla. TCP/IP-protokolla jättää siirtotavat ja liitäntöjen määrittelyn muille, jolloin se on riippumaton aliverkoista. Tämä johtaa siihen, että IP toimii useimmissa verkoissa ja sovelluksissa. (Saarelainen 2011, 73.) TCP/IP liikenteellä hoidetaan muun muassa diagnostiikka-, sekä konfiguraatitiedot (Sundquist 2008, 69). UDP (User Datagram Protocol) toimii tietosähkeperiaatteella aikakriittisyyttä vaativissa sovelluksissa. Yhteyttä kohteeseen ei muodosteta eikä datan siirtoa kuitata saapuneeksi, eli tarkistussummaa ei lasketa. Kehyksen katoaminen matkalla ei siis johda datan uudelleenlähetykseen vaan se katoaa. (Saarelainen 2011, 81.) Nopein vaihtoehto on käyttää MAC-osoitteita (Media Access Control), jolloin vaste voi olla jopa alle 1 ms (Sundquist 2008, 69). Network Interface Card on verkkokortin osoite, joka yksilöi laitteen (Silvola 2006, 17).

## 2.3 Reaaliaikaisuus

RT (Real-Time), eli reaaliaikainen tiedonsiirto. Sitä käytetään kenttälaitteiden, kuten hajautettujen IO:n ja ohjausyksiköiden liittämiseen, sekä hajautettujen automaattiorakenteiden toteuttamiseen. Se noudattaa menetelmää, jossa datapakettien siirto on ensisijaista. (Siemens AG 2008a, 8.)

- ◇ Luokaton Reaaliaikaisuus (best effort, BE) on kiireetön-, aina hyödyllinen tieto riippumatta tiedonsiirron nopeudesta.
- ◇ Kovassa reaaliaikaisuudessa tieto menettää hyödyllisyytensä aikatakarajan ylittyessä.
- ◇ Pehmeässä reaaliaikaisuudessa tiedon arvo ja takaraja määritellään sen käytettävyyden mukaan.
- ◇ Samanaikainen-, eli isokrooninen reaaliaikaisuus. Tieto on hyödyllistä, kun se saadaan tiettyä aikavälillä. (Sundquist 2008, 62–63.)

Reaaliaikainen ja deterministinen reaaliaika tarkoittaa sitä, että järjestelmä käsittelee tapahtumia määrätyn ajan kuluessa. Deterministisyydellä taas tarkoitetaan, että järjestelmä vastaa ennustavasti. (Siemens AG 2018c, 52.)

### 2.3.1 Isokrooninen reaaliaikaisuus

IRT:n (Isochronous Real-Time) avulla voidaan toteuttaa korkeaa suorituskykyä vaativaa tiedonsiirtoa. Kommunikaatiosykli jaetaan deterministiseen ja avoimeen osaan varaamalla kaistanleveyttä. Vaikka syklit toimivat rinnakkain ne eivät vaikuta toistensa toimintaan. IRT sallii jopa 250  $\mu$ s:n ajoitetut tiedonsiirron kierrosajat alle 1  $\mu$ s synkronointivirheellä (jitter). (Siemens AG 2008a, 9.)

Kaikki verkon asemat ja solmut synkronoituvat oikea-aikaisesti. Ajoitus on kriittinen varsinkin kokonaisuuksissa, joissa suuri osa komponenteista ovat kaskadissa. Kaikki aikaparametrit mitataan tarkasti säädellyssä järjestelmässä siten, että kaikki kytkimet ovat ehdottomasti synkronisia syklin alkamisen kanssa ja synkronointivirhe on alle mikrosekunnin. (Siemens AG 2008a, 15.)

Sanomalle on erillinen aikaikkuna, jonka aikana normaali liikenne ei keskeytä sykliä, joka takaa reaaliaikaisen kommunikaation samanaikaisesta TCP/IP liikenteestä, sekä kuormituksesta huolimatta (Pyykkö 2012, 35–36).

## 2.4 Viestiliikenteen toteutustavat

Suljettu Ethernet-segmentti soveltuu kovaa reaaliaikaisuutta (0,2 ms) vaativiin toteutuksiin. 0,2 ms dataliikenne jaetaan aikaväleihin, jolloin esimerkiksi 8 laitteen segmentissä jokaiselle laitteelle jää 22  $\mu$ s. TCP/IP-liikenteelle siis jää vain 1 % kapasiteetti. (Sundquist 2008, 69.)

IP-liikenteen priorisoinnilla voidaan päästä 1 ms vasteaikaan. TCP/IP-liikenteen kapasiteetti on 90–100 %. Laitteet synkronoituvat aikaleimojen avulla, sekä kompensoivat kytkinten aiheuttamat viiveet. (Sundquist 2008, 70.)

MAC-tason priorisoinnissa on yksi MAC-osoitteita käyttävä virtuaalikanava, jolla on korkea prioriteetti (1 ms), sekä korkea, 0,2 ms vasteaikaan tarkoitettu kanava. Jokainen laite tarvitsee kuitenkin erillisen kytkimen, joka tukee kyseistä tekniikkaa. (Sundquist 2008, 70.)

Fyysisessä Ethernet-kerroksessa TCP/IP-liikenteen kapasiteetti on 1 %. Viestit kulkevat kahdennetulla yhteydellä Ethernet-kerroksessa. Vaatii oman erillisen verkkokortin, jossa ASIC-piirit (Application Specific Integrated Circuit), sekä muuntolaite yhdistämään verkko tavalliseen Ethernet-verkostoon. (Sundquist 2008, 70.)

## 2.5 Verkkotopologia

Ethernetin verkko voidaan järjestää monin eri fyysisin tavoin, kuten rengas, tähti, puu, väylä tai mesh (verkko). Vikasietoisuutta voidaan kasvattaa tähti-, puu- ja väylämallin verkoissa kahdennuksien avulla, sekä rengas- ja verkkomallin ratkaisuilla viestipaketit voidaan ohjata vaihtoehtoista reittiä perille. Paketit on mahdollista lähettää toiseen suuntaan, jolloin tietoliikenneyhteys ei katkea yhden verkon osan rikkoutumiseen. (Sundquist 2008, 64–65.) Verkon topologian tarkka suunnittelu on erityisen tärkeää automaatiototeutuksen alkuvaiheessa. Verkon laitteiden sijainnin lisäksi on huomioitava monia muita suunnitteluun vaikuttavia asioita, joita käsitellään myöhemmin tämän työn varsinaisessa suunnittelu osiossa.

### 3 PROFINET

PROFINET on Siemensin ja PROFIBUS ja PROFINET Internationalin (PI) yhdessä kehittämä teollisuus-Ethernet. PROFINETIN avulla voidaan käsitellä IO-liikenne sekä älykkäiden laitteiden keskinäinen kommunikaatio. (Sundquist 2008, 72–3.)

PROFINET teollisuus-Ethernet-standardi on luotu tarpeeseen, jossa tiedon halutaan olevan reaaliaikaista samaan aikaan kun se mahdollistaa ei-aikakriittiset (TCP/IP) toiminnot. Alle millisekunnin vasteaikoja vaativiin tehtäviin käytetään jaksottaista, eli syklistä tiedonsiirtoa. Ethernet-tekniikka mahdollistaa myös langattoman liikenteen. (Siemens Suomi 2018.)

PROFINET on samankaltainen kuin PROFIBUS IO-tietojen käsittelyssä. Suunnittelutyökalut on liitetty ohjaimen ja saa tiedot IO-laitteista, GSD (General Station Description)-tiedostosta kuten PROFIBUS. (PI North America 2018b.) GSD sisältää tietoa laitteen perusominaisuuksista. GSD-tiedostolla järjestelmäintegraattorit voivat määrittää perustiedot, kuten viestivalinnat ja käytettävissä olevat diagnostiikat. (PROFIBUS 2017.) Valmis ja konfiguroitu (määritelty) ohjelma ladataan ohjaimelle, joka kommunikoi IO-laitteiden kanssa. Tiedonsiirto ohjaimen ja laitteen välillä tapahtuu syklistesti ohjaimen määrittelemän aikarajan puitteissa. Ei-deterministinen tieto, kuten diagnostiikka ei vaadi datapakettien välitöntä saapumista. Tätä kutsutaan asykliseksi tiedoksi. (PI North America 2018b.)

PROFINET CBA (Component Based Automation) keskittyy modulaaristen sovellusten toteutukseen ja koneiden väliseen kommunikointiin. Sen avulla voidaan luoda laajoja hajautettuja automaattioratkaisuja, jotka perustuvat ”off-the-shelf”-komponentteihin ja -osaratkaisuihin. (Siemens AG 2018c, 22.)

Tekniikka kokonaisuudessaan vähentää käytettävien komponenttien määrää noin 30–35 %, jos sitä verrataan perinteisempiin ratkaisuihin. Etuna ovat laitteistoon integroitavat perusosat, langattomuus, sekä turvallisuuteen liittyviä komponentteja. (Siemens AG 2008a, 8.)

### 3.1 PROFINET IO

PROFINET IO on viestintätapa, jota käytetään modulaaristen, hajautettujen sovellusten toteuttamiseen (Siemens AG 2018c, 22). Se pohjautuu kansainväliseen Ethernet standardiin IEEE 802.3, 100 Mbit/s nopeaan Ethernetiin, sekä kytkin teknologiaan (Siemens AG 2008a, 6). PROFINET on tiedonsiirtoprotokolla ohjaimien ja laitteiden välillä. Ohjaimet voivat olla PLC-, DCS- tai PAC-järjestelmiä. Laitteet voivat olla IO-lohkoja, asemia, prosessilaitteita, väyläliittyviä tai ohjaimia. (PI North America 2018b.)

Järjestelmään kuuluu:

- ◇ IO-Kontrolleri (ohjain): Paikka, jossa automaatio-ohjelma suoritetaan
- ◇ IO-laite: hajautettu kenttälaite IO-ohjaimelle
- ◇ IO- supervisor: ohjelmointilaitte tai tietokone, jossa on käyttöönotto- ja diagnoositoiminnot tai HMI (human-machine interface). IO-laite lukee I/O-signaalit ja lähettää ne IO-ohjaimelle, joka käsiteltyään lähettää lähetsignaalit takaisin IO-laitteelle. (Siemens AG 2008a, 10.)

PROFINET tukee palveluntarjoaja – kuluttaja-kommunikointimallia:

- ◇ Malli ohjaimien ja hajautetun IO:n väliselle vuorovaikutukselle.
- ◇ Palveluntarjoaja (kontrolleri/ohjain) lähettää tietonsa kuluttajalle (IO-laite, ajuri (drive)) ilman erillistä pyyntöä.
- ◇ Palveluntarjoajien osoittaminen kuluttajille määräytyy verkon konfiguroinnin mukaan. Tähtien, puiden ja rengastopologioiden lisäksi PROFINET voidaan liittää perinteisempään kenttäväylään. (Siemens AG 2008a, 10.)

PROFINET IO tukee yhtenäistä diagnostiikkakonseptia paikallistamiseen ja vikojen selvittämiseen. Vikatilanteessa viallinen IO-laite lähettää IO-ohjaimelle vikatilaviestin. Tämä keskeytys kehottaa vastaavaa käyttäjäohjelmaan reagoimaan vikatilanteeseen. Järjestelmä ilmoittaa myös IO-laitteen kanavissa ilmevät ongelmat. (Siemens AG 2008a, 11.) Viestiliikenteen valvontaan voidaan käyttää tarkistussummaa (frame check sequence), joka on kehyksen virheiden tarkistukseen tarkoitettu toiminto. Se perustuu sykliseen, eli ennalta määrättyyn varmenteeseen (Silvola 2006, 16). Diagnostiikkatietoja on mahdollista lukea myös kenttälaitteelta (IO-device) (Siemens AG 2008a, 11).

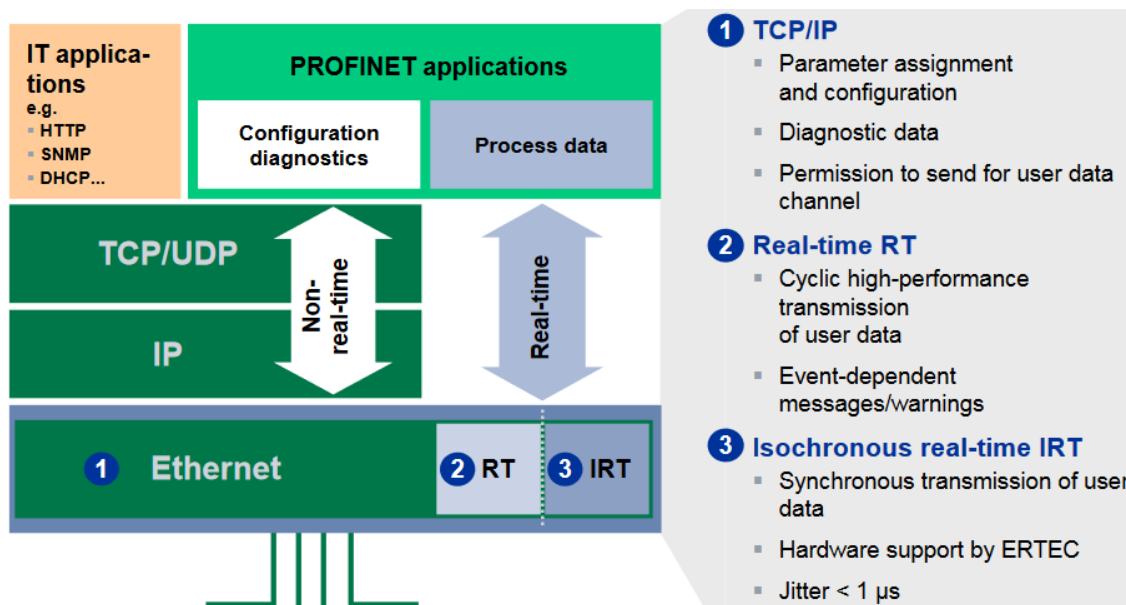
IO-tietojen priorisointi mahdollistaa hyvän suorituskyvyn ja deterministisyyden, sekä avoimen Ethernet-kommunikaation samanaikaisesti (TCP, UDP, IP) (Pyykkö 2012, 7). Standardi TCP/IP soveltuu parametrisointiin ja tiedonsiirtoon korkeamman tason tietojärjestelmiin (PI North America 2018b).

PROFINET-väylää voidaan käyttää laajennuksiin tai korvaamaan olemassa olevaa järjestelmää. Tosin väylää voidaan laajentaa vain alaspäin yhteensopiville väylille kuten PROFIBUS tai AS-I. (Siemens Suomi 2018.)

### 3.2 Reaaliaikaisuuden tasot

PROFINETin käyttämät reaaliaikaisuuden tasot voidaan jakaa kolmeen osaan, joissa toteutuu erilaiset vasteajat ja verkon kuoritus. Kuvassa 2 on esitetty reaaliaikaisuuden suhde protokollapinoon.

- ◇ NRT (Non-Realtime), jossa vasteaika on noin 100 ms. NRT on tarkoitettu viestintään, joka ei ole aikariippuvaista, kuten diagnostiikkaan ja TCP/IP- liikenteeseen.
- ◇ RT (Realtime). Vasteaika on noin 10 ms. VLAN-priorisointi.
- ◇ IRT (Isochronous Realtime) Kovaa reaaliaikaisuutta vaativiin tehtäviin. Liikenne on jaksottaista 0,25 ms ylöspäin. Synkronointi alle mikrosekunnissa. Standardi IEC 61588. (Sundquist 2008, 73.)



Kuva 2. TCP/IP ja RT sekä IRT kommunikoinnin protokollapino (Pyykkö 2012, 37)

#### 4 KYTKIMET

Kytkimet ovat moniporttisia prosessiautomaation peruskomponentteja, jotka välittävät Ethernet-kehyksiä. Kytkin luo automaattisesti kytkentätaulut, eli tiedot eri laitteiden tai solmun MAC-osoitteista. Se pystyy sovittamaan eri nopeuksia, protokollia, sekä suodattaa kehykset oikeisiin osoitteisiin. (Silvola 2006, 18–19.) Verkon kuorma siis vähenee, sillä asemat tai verkkoalueet, jotka eivät tarvitse tiettyä datakehystä, eivät sitä saa (Siemens AG 2008a, 20). Kytkin oppii liitettyjen PROFINET-laitteiden- ja muiden kytkinten Ethernet-osoitteen, joita voidaan konfiguroida tai niille voidaan antaa osoitteet erillisten ohjelmistojen avulla. (Siemens AG 2018c, 34.) Teollisuus-Ethernet-kytkimet ovat siis aktiivisia verkko-osia. Ne tukevat erilaisia verkon rakenteita, jotka voidaan rakentaa kupari- tai optiseen kaapelilinjaan. (Siemens AG 2008b, 5.)

Tietyn tyyppisissä kytkimissä on viivettä, joka johtuu kehyksen tarkistuksesta. Tarkistuksen etuna on viallisten pakettien suodattaminen ennen lähetystä. Kytkimen viiveen pienentämiseksi voidaan käyttää myös toisenlaista kytkentää, jolloin kehystä ei tarkisteta. Menetelmää käytetään aikakriittisissä sovelluksissa esimerkiksi kytkinten ASIC-piireillä. Viesti saattaa kuitenkin mennä eteenpäin viallisena. Kytkimillä on myös jonkin verran puskurimuistia, jos kytkimille tuleva liikenne ruuhkaantuu. Kytkimen käsittelykapasiteetin ylittyessä laite tallentaa kehykset ja lähettää ne edelleen, kun se on mahdollista. Ruuhkatilanne aiheuttaa kuitenkin aina viivettä, jolloin korkean prioriteetin liikenne vaarantuu. (Silvola 2006, 19–20.)

PROFINET IO:n IRT-kommunikoinnissa synkronoinnista vastaava ohjain lähettää synkronointiviestin, johon kaikki piiriin kuuluvat laitteet synkronoituvat. Mekanismia ohjaa reaaliaikainen Ethernet-kontrolleri ERTEC (Enhanced Real-Time Ethernet Controller), jossa synkronointitarkkuus on alle mikrosekunti. IRT-kommunikoinnissa onnistunut synkronointi on välttämätöntä kellotettujen toimintojen ja kaistan varauksen onnistumiseksi. (Siemens AG 2018c, 51.)

#### 4.1 Kytkimet ja pakettien priorisointi

RT-kommunikaatio on korkealle priorisoitua. NRT-viestintä taas tapahtuu aikajaksolla, jolloin RT-viestintää ei tapahdu. Varastoi ja lähetä-kytkimessä (Store ja Forward Switches) tarkistetaan vastaanotetut viestit. Virheettömät paketit välitetään eteenpäin, virheellinen paketti poistetaan. Läpimeno-kytkimissä (Cut Through Switches) luetaan vain pakettiosan välttämättömät tiedot, kuten osoite. Paketti välitetään suoraan käyttäjälle ilman ylimääräistä viivettä. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 69.)

Hallitsemattomat kytkimet (Unmanaged swithes) ovat halvempi versio kytkimestä, joka sopii A-luokan verkkoihin. Kuten muutkin kytkimet, ne reitittävät koko dataliikenteen osoitteen ja portin jakamistaulukon perusteella. Käyttäjät eivät kuitenkaan pysty puuttumaan toimintaan manuaalisesti eivätkä ne sisällä web-yhteyttä tai diagnostiikkatoimintoja. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 193.)

Ylläpidettäviä kytkimiä (Managed switches) voidaan käyttää CC-B ja CC-C verkoissa. Käyttäjäasetuksista voidaan valita web-käyttöliittymään ja diagnostiikkaan perustuvat käyttäjäasetukset. Se voi sisältää ominaisuudet redundanssivalvonnasta tilastolliseen verkkoliikenteen analysointiin sekä diagnostiikkatoimintoja. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 194.) Redundanttiisuus voidaan toteuttaa vain hallittujen kytkinten avulla, jotka tukevat Media Redundancy Protocol-menetelmää (MPR) ja jotka ovat konfiguroitu suunnitellu työkalun tai web-pohjaisen palvelun avulla (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 196).

Cut through-kytkimissä kehys lähetetään kytkimen läpi suoraan, kun kohdeosoite on määritetty. Kytkin puskuroi vain sen määrän tarvittavia tavuja, kuin määränpään osoitteen selvittäminen vaatii. Kun osoite on tiedossa, kaikki datapaketin saapuvat tavut lähetetään suoraan kyseiseen porttiin ilman puskurointia. Reititysviive ei näin ollen riipu kehyksen koosta. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 194.)

Store and forward- kytkimissä kytkin tarkistaa koko kehyksen virheistä lähettää virheettömät eteenpäin. Viive riippuu lähetettävän datapaketin koosta (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 195).

Kytinten avulla verkko voidaan jakaa useisiin segmentteihin, jolloin verkon kuormitus jakautuu. Itsenäinen tietoliikenne on mahdollista jokaisessa segmentissä riippumatta muista segmenteistä. Koko verkossa voi siis olla useita sanomakehyksiä samanaikaisesti. (Siemens AG 2008b, 4.)

## **5 PROFINET KÄYTTÖKOKEMUKSET**

Opinnäytetyötä ja varsinaista suunnitteluohjeistusta varten haastateltiin sähköpostitse Pöyry Finland Oy:n asiantuntijoita, jotka ovat olleet mukana suunnittelemassa PROFINET-tekniikalla toteutettua automaatiota. Kokemusperäinen tieto antaa kuvan tekniikan käytettävyydestä ja mahdollisista rajoitteista, sekä ongelmatilanteista, joita on hyvä huomioida suunnittelua tehdessä.

PROFINET-, tai muulle teollisuus-Ethernet-tekniikalle on ilmennyt kysyntää kansainvälisissä projekteissa, mutta ei niinkään Suomessa, jossa kiinnostus on yleisellä tasolla (Immonen 2018). Kysyntä on kuitenkin lisääntynyt Industry 4.0:n ja IoT:n myötä. Industry 4.0:n ominaisuuksien käyttö on kuitenkin määriteltävä projektikohtaisesti, sillä se ei anna valmiita malliratkaisuja. (Lehtinen 2018.) Vaikka siis kiinnostusta on, kysyntä ei aina toteudu ostamiseksi erinäisten palveluntarjonnan haasteiden takia (Jussila 2018). Industry 4.0 on nimitys nykyiselle automaatio- ja tiedonsiirtotrendille prosessiteollisuudessa.

### **5.1 Suunnittelun näkökulma**

DCS:n (Distributed Control System) suunnasta katsottuna PROFINETin käytettävyys on samaa luokkaa kuin esimerkiksi PROFIBUS-tekniikalla tehtynä. Sillä erolla, että PROFINET-väyläkapasiteetti on suurempi kuin PROFIBUSin vastaava. (Immonen 2018.) PROFINET-tekniikan käyttö vaikuttaa työmenetelmiin ja työnjakoon verrattaen perinteiseen suunnitteluun. Tämä tarkoittaa automaation, tiedonhallinnan ja eri järjestelmien välisen tiedonsiirron suunnittelun uudelleen järjestämistä. Esimerkiksi ICT-

suunnittelun (Information and Communication Technology, tieto- ja viestintä-tekniikka) painoarvo kasvaa merkittävästi. Myös suunnittelijoiden PROFINET-tuntemus ja tarve lisäkoulutukselle täytyy selvittää. ”Jotkut yksityiskohdat ovat helpompia ja parempia verrattuna perinteiseen toteutukseen. Yleisesti kuitenkin paljon vaativampi ja suunnittelutunteja enemmän kuluttava.” (Lehtinen 2018.)

### **5.1.1 Suunnittelussa koettuja ongelmatilanteita**

PROFINET-tekniikka ja standardit koettiin olevan puutteellisia vuonna 2017-2018. Tuolloisen Pöyryn suunnitteleman projektin aikana saatavilla oli vain yksi malli kahdeksan PROFIBUS laitteen- ja digitaalisen IO signaalin kytkemiseen. (Lehtinen 2018.) Jatkuvatoimisessa prosessissa, ongelmia saattaa tuoda myös uusien laitteiden lisääminen, sillä DCS-puoli vaatii uuden väylämäärityksen lataamisen, joka pysäyttää väyläkommunikaation laitteen prosessiosuudella (Immonen 2018).

Toukokuussa vuonna 2017 suunnitteilla oli moottorikeskusten, sekä koko automaation PROFINET-pohjainen kytkeminen DCS:ään. DCS-toimittajilta oli tullut kuitenkin teknisiä rajoituksia ja eikä vaadittavia komponentteja ollut saatavilla, jolloin kenttäkoteloiden liittäminen DCS:ään toteutettiin PROFIBUS väylällä. PROFINET-tekniikan todettiin olevan käyttökelpoinen, jos sillä olisi voinut kytkeä minkä hyvänsä etä-IO:lla varustetun keskuksen tai kenttäkotelon, mihin hyvänsä prosessiasemaan. Tämä ei kuitenkaan ollut toteutettavissa. DCS:ään tehtyjä muutoksia tai lisäyksiä ei olisi voinut tehdä ajamatta alas koko järjestelmää. Samanaikainen konfigurointi ja prosessin ajaminen ei olisi siis onnistunut. (Jussila 2018.) Vaikka PROFINET liityntä on tuettu monella eri laitetarjoajalla, standardin vaihtoehtoiset ominaisuudet, kuten esim. MRP-protokolla (media redundancy protocol) ei välttämättä ole. Tällä puutteella on suora vaikutus verkon topologiaan. (Aho 2018.)

PROFINET-tekniikan käyttöön tarvittavan tiedon saatavuus koettiin myös ongelmallisena. Kaikkea käytännön tason tietoa ei ollut saatavissa (Immonen 2018) tai se koettiin ristiriitaiseksi (Jussila 2018). Tiedon hakeminen netistä oli hidasta muun muassa puutteellisten hakuehtojen ja terminologian takia. Tämä aiheutti myös sen, että väylärakennetta ja komponentteja jouduttiin

muuttamaan useampaan kertaan projektin aikana. (Lehtinen 2018.) Tekniikka ei siis aina pysty toteuttamaan esitettyä vapautta (Jussila 2018).

## 6 SUUNNITTELU

PROFINET-tekniikan käyttäminen vaatii monia eri suunnitteluvaiheita, joihin saatetaan joutua palaamaan uudelleen automaatorakenteen hahmottuessa. Suunnittelun tueksi voidaan kuitenkin hyödyntää suuntaa antavia ohjeistuksia ja tarkistuslistoja. Seuraavissa osiossa käsitellään suunnittelun eri vaiheita ja huomioitavia asioita.

PROFINET-tekniikan käyttö vaikuttaa työmentelmiin ja työnjakoon verrattaen perinteiseen suunnitteluun. Tämä tarkoittaa automaation, tiedonhallinnan ja eri järjestelmien välisen tiedonsiirron suunnittelun uudelleen järjestämistä. Esimerkiksi ICT- (Information and Communication Technology, tieto- ja viestintätekniikka) -suunnittelun painoarvo kasvaa merkittävästi. Myös suunnittelijoiden sekä asiakkaiden PROFINET-tuntemus ja tarve lisäkoulutukselle täytyy selvittää. Suunnittelun näkökulmasta olisi hyvä olla joitakin valmiita teemoja ja toteutusmalleja, joilla voitaisiin opastaa asiakasta, sekä standardisoimaan toteutusta. (Lehtinen 2018.)

PROFINETin kaltaista automaatiota suunniteltaessa on myös hyvä hahmottaa sen erot perinteisempään suunnitteluun. Se vaatii entistä syvempää ymmärrystä teollisuus-Ethernet tekniikasta ja jatkuvaa yhteistyötä ICT-suunnittelun kanssa. Tekniikan toiminta tukee vahvasti kytkimiin, joilla voidaan esimerkiksi määrittää verkkotopologia sekä vaikuttaa verkon kuormitukseen sitä redundanttisuuteen. Verkon kuormitus taas riippuu siihen kytkettyjen laitteiden vaatimasta reaaliaikaisuudesta. Taulukossa 1 on lueteltuna joitain eroja PROFINETin ja PROFIBUSin välillä.

Taulukko 1. PROFINET ja PROFIBUS erojen vertailu (PI North America 2018a, 2)

	PROFIBUS	PROFINET
<b>Organization</b>	PROFIBUS & PROFINET International	
<b>Hardware definition</b>	GSD files	
<b>Application profiles</b>	Same	
<b>Physical layer</b>	RS-485	Ethernet
<b>Speed</b>	12 Mbit/s	1 Gbit/s or 100 Mbit/s
<b>Telegram</b>	244 bytes	1440 bytes (cyclic) <sup>1</sup>
<b>Address space</b>	126	unlimited
<b>Technology</b>	master/slave	provider/consumer
<b>Wireless</b>	Possible <sup>2</sup>	IEEE 802.11, 15.1
<b>Motion</b>	32 axes	>150 axes
<b>Machine-to-machine</b>	No	Yes
<b>Vertical integration</b>	No	Yes
<b>Connectivity</b>	PA + others <sup>2</sup>	many buses

Yleisti ottaen PROFINETin kapasiteetti on suurempi (Immonen 2018) ja sillä on enemmän vaihtoehtoja toteutuksissa (Pyykkö 2012). Avoin tekniikka voi tosin tuoda haasteita. Saatavilla oleva laitteisto on selvitettävä jo alkuvaiheessa siksi, että tiedetään mitä voidaan toteuttaa. Esimerkiksi kytkimiä saa integroituina laiteisiin sekä sellaisenaan. Yksittäisten kytkinten viestien käsittelyssä on toiminnallisia eroja. Myös DSC:n toimittajalta on selvitettävä tekniikan yhteensopivuus jne. PROFINETilla toteutettua automaatiota harkittaessa, mahdollisen laitoksen valmiina olevan tekniikan yhteensopivuus ja uusien laitteiden saatavuuden selvittäminen ovat siis melko ratkaisevassa asemassa

## 6.1 Projektin aloitus ja laitteiston sijoittaminen

Uutta projektia aloittaessa tarvitaan yleiskuva kohteesta. Yleiskuva voi sisältää esimerkiksi fyysisen asettelun, laitoksen suunnitelman tai laitoksen kaavion. Tietojen on hyvä antaa käsitys suunnitellun PROFINET-verkon laajuudesta. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 28.) Kaikissa projekteissa on syytä tehdä projektikohtainen ohje, jossa on huomioitu kohteessa valmiiksi olevat

laitteet, niiden kytkentäperiaatteet sekä mahdolliset tulevaisuudessa asennettävien laitteiden vaatimukset (Immonen 2018). Kun toteutuksesta on saatu riittävän kattava kuva, on syytä laatia toteutussuunnitelma yhteistyössä asiakkaan kanssa (Lehtinen 2018).

Varsinainen suunnittelu voidaan aloittaa määrittelemällä ohjainten sijainti saatavilla olevan yleiskuvan perusteella. Ratkaistaan, että sijoitetaanko ohjain kytkentäkoteloon pois prosessista vai yhdessä muiden prosessin lähellä olevien PROFINET-laitteiden kanssa. Onko IO sijoitettuna prosessin lähelle tai kauemmas kaappiin, näyttöpaneelit prosessin lähelle tai etävalvontaan, jne. Tarvittavien komponenttien lisääminen laitoksen pohjapiirroksen ja komponenttien ryhmittely siten että fyysinen, sekä toiminnallinen toteutus ovat mahdollisia. Aloitus vaatii tältä osin alustavan työn ja analyysin. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 29.)

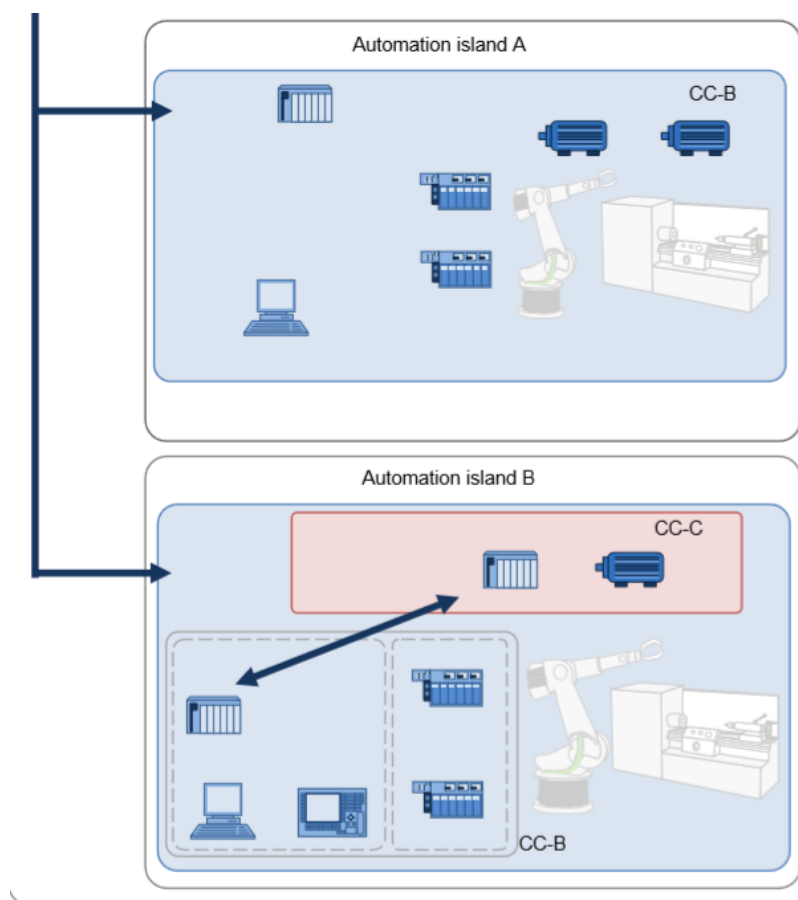
Kunkin yksittäinen laitoksen osa voi täyttää erilaiset vaatimukset sekä sijaita eri osastolla. On tarpeen tarkistaa mahdolliset tietoliikenneyhteydet, joita tarvitaan valvontajärjestelmien välillä sekä tarkistaa, voidaanko vaaditut tietoliikenneyhteydet toteuttaa valituille laitteille. Tässä vaiheessa on mietittävä ja ennakoitava, onko lisälaitteistolle tarvetta. Komponentit ryhmitellään sijaintinsa ja toiminnallisuutensa mukaan. Ne eivät kuitenkaan ole vielä yhteydessä toisiinsa. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 31–32.) Laitteistoa valittaessa tulee huomioida muun muassa sen suorituskykyyn liittyviä asioita sekä fyysiset ominaisuudet.

Laitteiston valinnassa huomioitavia asioita:

- ◇ Suoritusluokka (CC)
- ◇ Aikavaatimukset (response time)
- ◇ Laitteen toiminnallisuus
- ◇ Tarvittavien viestintäsuhteiden toteutettavuus
- ◇ Laitteen liitäntätyyppi (kuparikaapeli, valokuitukaapeli, langaton)
- ◇ Laitteen suojausluokitus
- ◇ Muut erityispiirteet. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 33.)

## 6.2 Laitetyyppien määrittelyminen

Laitteet voidaan valita seuraavassa vaiheessa prosessista käytettävissä olevien tietojen, olosuhteiden ja automaation vaatimusten perusteella (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 46). Prosessin automaatio alueet voidaan luokitella vaatimusten mukaisiin alueisiin (kuva 3). Luokitus tehdään alueen korkeimman deterministisen tehtävän mukaan. Eli jos alueella on esimerkiksi CC-B ja CC-C vaatimustason laitteita, koko alueen tulee tukea C kategoriaa. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 47.)



Kuva 3. Automaatio alueiden jako luokittelua varten (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 46)

Laitteiden valintaa koskevat tiedot:

- ◇ Yhteys: Kuparikaapeli, POF, HCS, optinen kuitukaapeli tai langaton)
- ◇ Integroitujen kytkentäporttien lukumäärä PROFINET-laitteessa
- ◇ Automaation vaatimusluokitus: CC-V, CC-B, CC-A (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 48.)

Korkeaa reaaliaikavaatimusta käyttävät sovellukset tulee merkitä ja tarkastella erikseen suunnitteluprosessin aikana. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan vielä tarvita laitteen ominaisuuksien, vaihtoehtojen tai parametrien yksityiskohtaista suunnittelua. Kaikki laitteet ja verkon osat ominaisuuksineen tulee dokumentoida. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 48.)

### 6.2.1 PROFINET-suoritusluokitukset

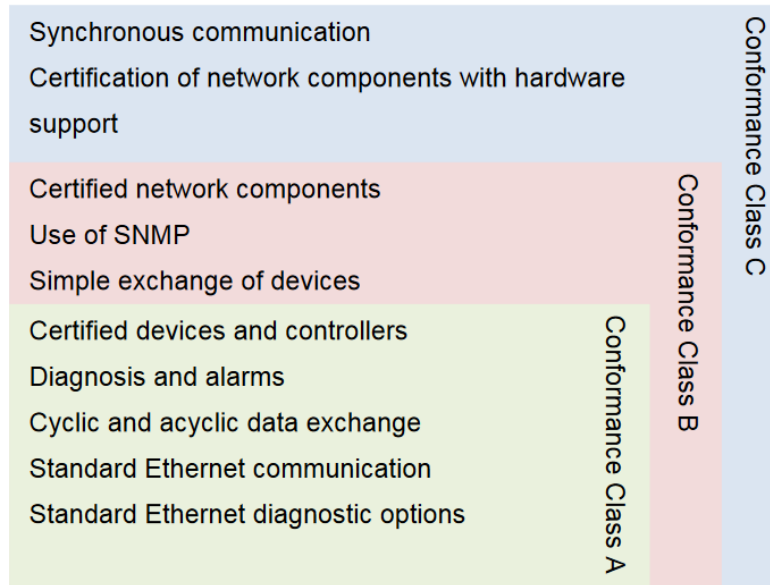
PROFINET-komponenttien toiminnallisuus on luokiteltu suoritusluokkiin (CC). Luokkien tarkoituksena on määrittellä ja järjestää komponentit siten, että ne voidaan helposti kohdentaa oikeisiin kokonaisuuksiin ja näin helpottaa suunnittelua (kuva 4). Jokaisen laitteen suoritusluokka on määriteltävä jo suunnitteluvaiheessa ja varmistettava, että vaaditut toiminnot ovat käytettävissä valituilla PROFINET-laitteilla. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 34–35.)

Kaikilla luokitelluilla sovelluksilla on tietyt perustoiminnot:

- ◇ Syklinen tietoliikenne
- ◇ Asyklinen tietoliikenne
- ◇ Tunnistus- ja ylläpitotoiminnot
- ◇ Liikenteen priorisointi
- ◇ Lähialueiden seulonta- ja laitteen vaihtamisen ominaisuudet.

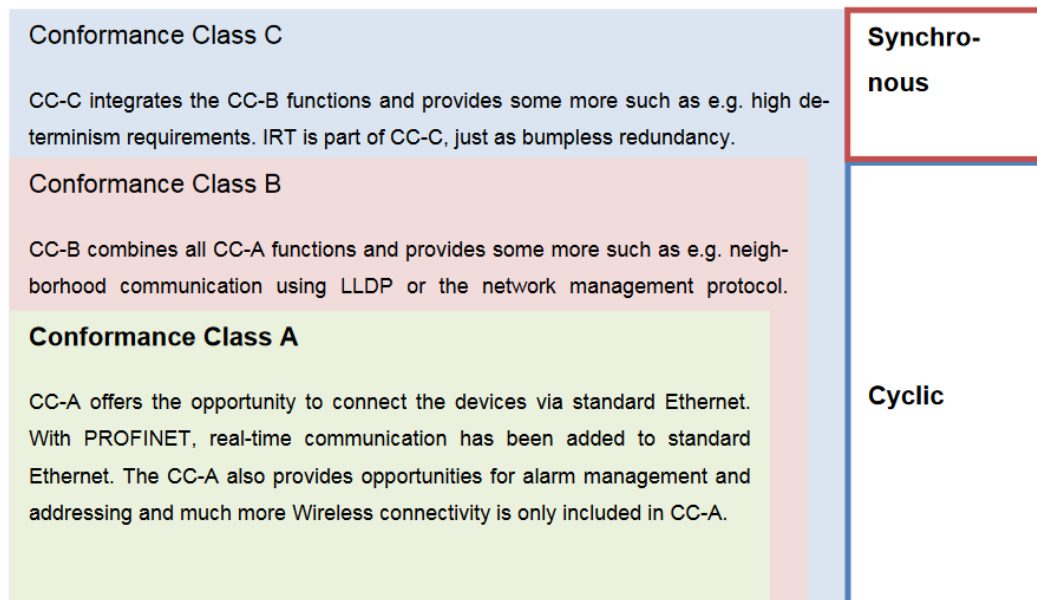
Toinen luokittelu (CC-A, CC-B, CC-C) määrittää poikkeavat toiminnot:

- ◇ Viestinnän tyyppi, kuten TCP/IP, sekä reaaliaikainen viestintä
- ◇ Viestin kulku (kuparikaapeli, FO-kaapeli (Fiber Optic), langaton verkko)
- ◇ Synkronoitu viestintä
- ◇ Redundanttisuus. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 34.)



Kuva 4. CC-luokittelu ja sisältö (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 35)

Tiedonsiirron ja sovelluksien on oltava yhdenmukaiset. Esimerkiksi synkronoituvat sovellukset voidaan toteuttaa vain isokronisen tiedonsiirron kautta (kuva 5; PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 37.)



Kuva 5. CC-luokittelun aikavaatimukset (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 38)

Valittu laitteisto määrittelee, käytetäänkö kaapelointia tai langatonta järjestelmää. On huomioitavaa, että ympäristöllä on vaikutusta myös viestiliikenteen toteutukseen (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 41). PROFIBUS PA:ta käytetään paikoissa, joihin teollisuus-Ethernet-tekniikalla ei voida mennä. Tällaisia ovat esimerkiksi räjähdysriskialueet. (PI North America

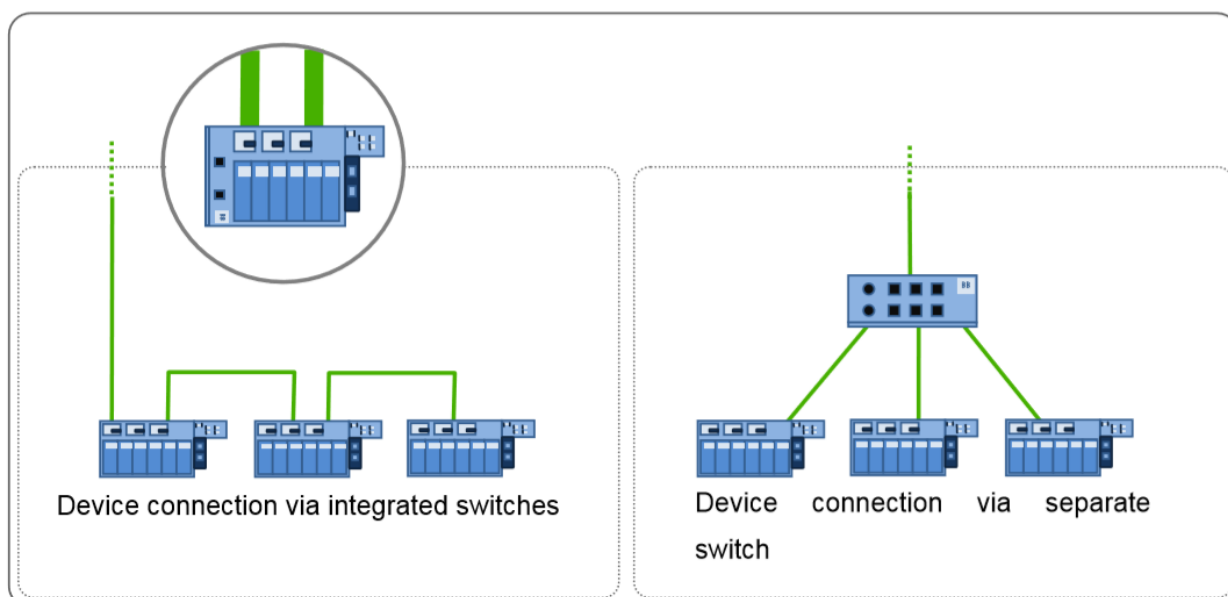
2018b.) Suunnittelun aikana tulisi ottaa huomioon myös maadoitus, sekä verkon solmujen potentiaalintasaus (equipotential bonding) (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 47).

Olosuhteiden vaatimukset:

- ◇ IP-suojausluokitus.
- ◇ Mekaaniset vaatimukset
- ◇ Lämpötilan vaikutukset
- ◇ Sähkömagneettiset vaikutukset. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 40.)

### 6.3 Kytkimet verkoston suunnittelussa

PROFINET-laitteet on kytketty verkkoon kytkinten kautta, jotka reitittävät data-liikenteen läpi koko verkoston (kuva 6). Laitteistoissa itsessään voi olla integroidut kytkimet, joiden määrä vaihtelee laitekohtaisesti. Integroituja kytkimiä käytettäessä on huomioitava tilanteet, joissa laitteen vika tai sen korvaaminen voi aiheuttaa kaikkien sen jälkeisten laitteiden viestikatkoksen. Tähti- tai puurakenteella voidaan välttää näitä tilanteita. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 43.)



Kuva 6. Esimerkki Kenttälaitteisiin integroitujen- ja erillisten kytkinten kytkennöistä (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 43)

## 6.4 Verkkotopologian suunnittelu

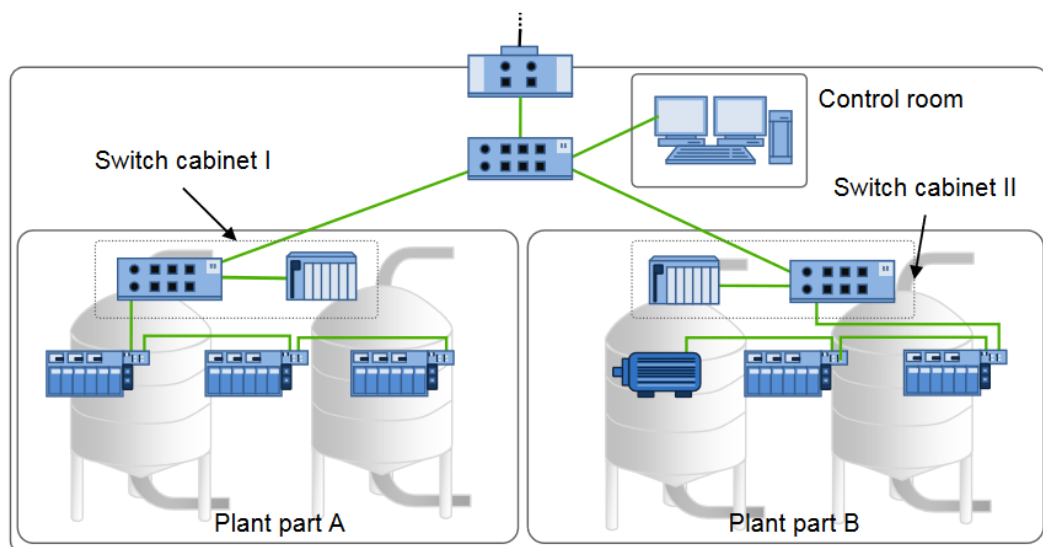
Verkkotopologiaa suunniteltaessa tulisi huomioida seuraavia asioita:

- ◇ Komponenttien sijainti
- ◇ Välimatkat
- ◇ Laitteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic compatibility, EMC)
- ◇ Sähköeristys
- ◇ CC-luokitus
- ◇ Saatavuus
- ◇ Verkon kuormitus. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 51.)

Kokonaisuutta suunniteltaessa on hyvä huomioida myös laitoksen laajenemistai muut tiedossa olevat muutostyöt. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 51.)

### 6.4.1 Topologian vaiheittainen suunnittelu

Topologian suunnittelu voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään kaikkien laitteiden sijainti ja samaan automaatio alueeseen liitettävät solmut, jonka perusteella määritellään topologia (kuva 7). Liitä yksittäiset komponentit. Kytkimillä varustellut laitteet tulee huomioida. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 75.)



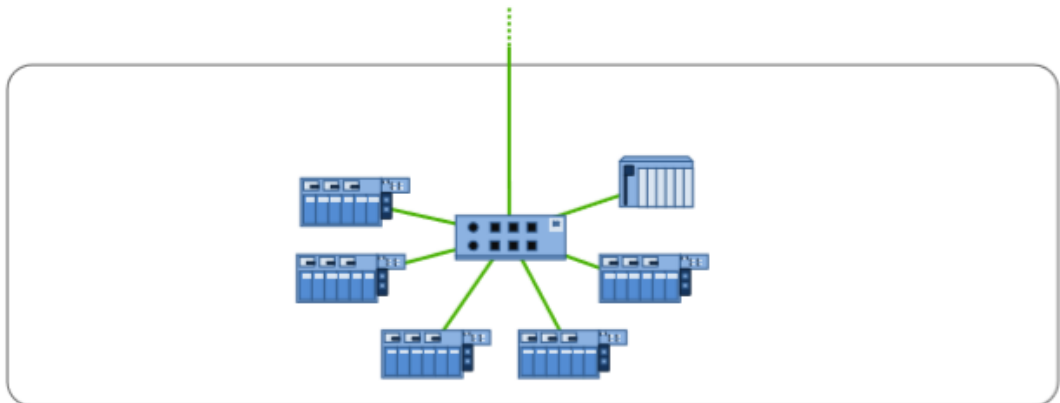
Kuva 7 Automaatio alueiden jakaminen osiin luokittelua varten (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 79)

Toisessa vaiheessa huomioidaan topologiaan vaikuttavien laitteiden erityisvaatimukset, kuten RT ja IRT kommunikoinnin reaaliaikaisuus ja synkronointi. Kaikki IRT-tekniikkaa käyttävät laitteet tulee kytkeä vain IRT tukeviin kytkimiin. Laitteet, jotka eivät tue IRT:tä, voivat olla yhteydessä verkkoon, mutta topologia on suunniteltava siten, että ne eivät heikennä IRT-viestintää. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 75.)

Kolmannessa vaiheessa määritellään viestiyhteydet, eli kupari-, FO-kaapeli tai langaton (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 76). Kahden laitteen välinen PROFINET-yhteys on "päästä päähän -liitäntä" (end-to-end). Kaapelien liittimien päät erotellaan kytkimen kanavassa, jossa toinen liitin voi olla kupari-kaapeli ja jatkoa kuitukaapelina. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 56.) Tarkistetaan, että laite ja viestiyhteys ovat yhteensopivia, ja lisätään tarvittaessa mediamuuntimia (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 76).

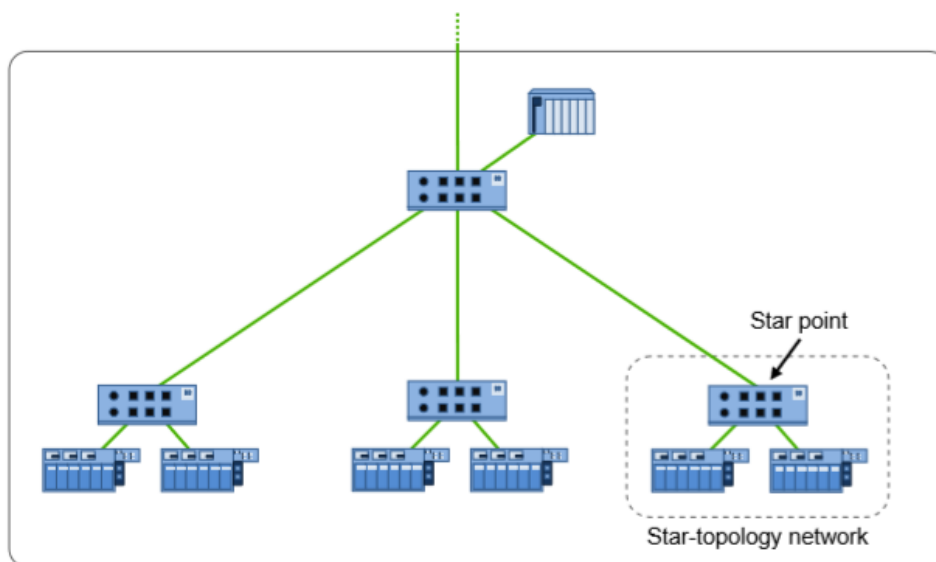
#### 6.4.2 Topologiarakenteen valitseminen

Tähtitopologian (kuva 8) hyviä puolia on se, että yhden solmun rikkoutuessa tai muuten poiskytketyessä, muut osat toimivat edelleen. Huono puoli on se, että kytkimen vioittuessa tai sitä vaihdettaessa, tiedonsiirto kaikkiin kytkimeen liitettyihin solmuihin keskeytyy. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 52.) Tähtirakenteen (kuva 8) ominaispiirre on keskeinen kytkin, jossa on yksittäiset yhteydet kaikkiin verkon datapäätteisiin. Se soveltuu alueille, joissa on suuri laitetiheys ja lyhyet etäisyydet. Esimerkiksi pienet tuotantosolut tai yksittäiset tuotantokoneet. (Siemens AG 2008a, 21.)



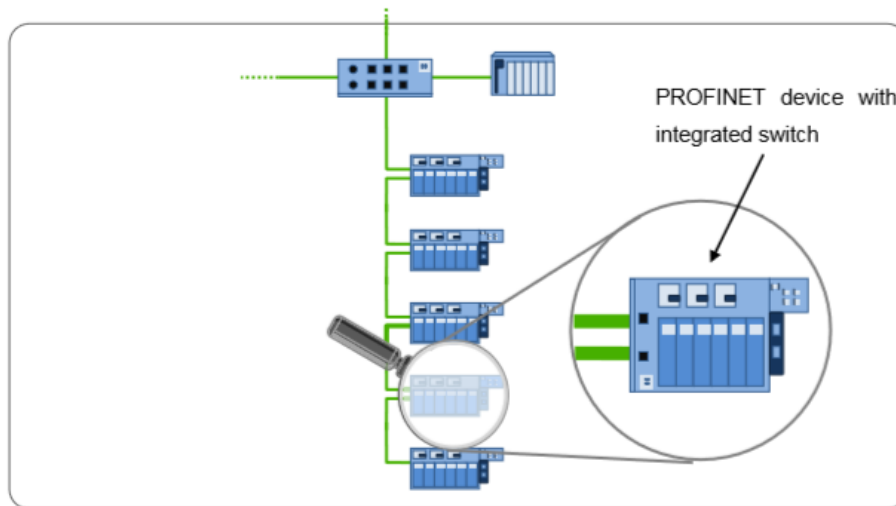
Kuva 8. Tähtitopologia (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 52)

Puurakenne (kuva 9) voi esimerkiksi koostua useiden tähtien yhdistämisestä yhteen verkkoon, sekä yhdistelmästä FO- ja kierrettyä parikaapelointia. Tätä rakennetta käytetään jakamalla monimutkaisia laitoksia osajärjestelmiin. (Siemens AG 2008a, 21.)



Kuva 9. Puu topologia (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 53)

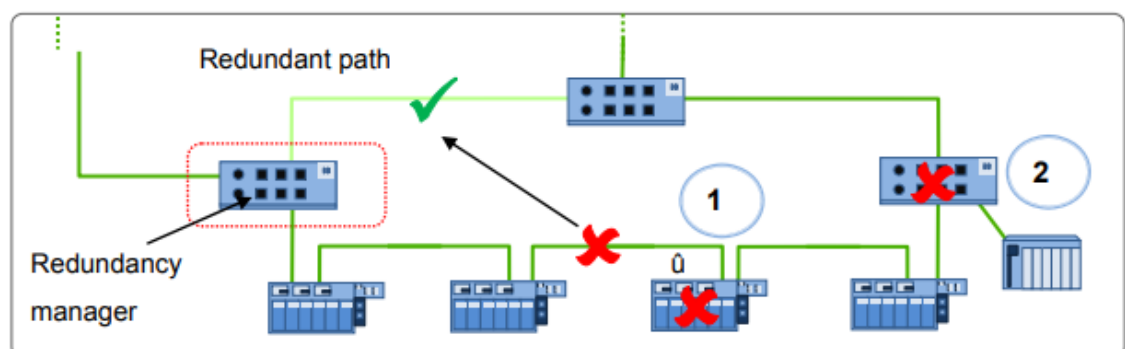
Lineaarinen verkkotopologia (kuva 10) voidaan toteuttaa kytkimellä, joka on lähellä datapäätelaitetta (dataterminal) tai datapäätelaitteeseen integroidulla kytkimellä. Verkko-osalla on tyypillisesti vain yksi tai vain muutamia yhteyspisteitä verkkoasemille. Lineaarista rakennetta voidaan käyttää laitoksissa, joissa on laaja kokoonpano. Esimerkiksi kuljetinjärjestelmiin ja tuotantosolujen liittämiseen. (Siemens AG 2008a, 21.) Linjarakennetta käytettäessä on vaarana se, että laitteen vioittuessa tai sitä vaihdettaessa, tiedonsiirto kaikkiin sen jälkeisiin laitteisiin keskeytyy, eikä niihin voida olla enää yhteydessä. Linjan redundanttisuutta voidaan parantaa liittämällä se rengasrakenteeksi, jolloin viesti voi kulkea perille vaihtoehtoista reittiä. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 54.)



Kuva 10. Lineaarinen topologia (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 54)

### 6.4.3 Redundanttisuus

Redundanttisuuden saavuttamiseksi käytetään rengastopologiaa (kuva 11). Vikatilanteissa verkko konfiguroituu uudestaan alle kahdessa sadassa millisekunnissa. Vikatilanteella tarkoitetaan esimerkiksi laitteiston-, kaapeleiden rikkoutumista tai häiriötä kytkimessä. Näin prosessin tai sovelluksen toiminta voidaan varmistaa. Verkkoon liitetyt solmut jatkavat viestiliikennettä häiriöttä, joten loogisia yhteyksiä ei tarvitse selvittää uudelleen. Kytkinten avulla voidaan myös toteuttaa kahdennus, joka varmistaa kriittisten prosessin osien toiminnan. (Siemens AG 2008b, 6.) Laitteet, jotka eivät tue MRP-protokollaa voidaan liittää renkaaseen erillisellä kytkimellä (Pyykkö 2012, 43).



Kuva 11. "Media Redundancy Protocol" (MRP) (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 127)

Redundanttisuutta voidaan lisätä myös "Spanning Tree"-algoritmillä. Algoritmi järjestää useita Ethernet-rakenteita, jotka käsittävät sillat ja kytkimet. Järjestelyllä pyritään välttämään verkossa kiertäviä datapaketteja. Rajatuissa verkko-

sotkeentumisissa eri yhteydet siirtyvät valmiustilaan, jotta avoin puurakenne pystyy selvittämään ongelman kytkinten kommunikoinnilla. Verkkorakenteiden organisointi voi kestää 30–60 sekuntia. Tänä aikana luotettava prosessinohjaus ei ole mahdollista. Ajastetussa ja optimoidussa "Rapid Spanning Tree" -versiossa aika lyhenee esimerkiksi 10 sarjaan kytketyllä kytkimillä muutamaan sekuntiin. (Siemens AG 2008b, 7.)

## 6.5 Viestiyhteyksien valinta

Viestiyhteydet voidaan toteuttaa perinteisemmällä kuparikaapelilla, optisella kuitukaapelilla tai langattomasti. Valinta tehdään käyttötarkoituksen ja kohteen olosuhteiden mukaan.

PROFINET-kuparikaapelit on luokiteltu eri tyyppeihin niiden käyttösovellusten mukaan:

- ◇ A-tyyppi kiinteisiin asennuksiin, jolloin niitä ei tulisi liikuttaa asennuksen jälkeen.
- ◇ B-tyyppi joustaviin asennuksiin, jolloin niitä voidaan käyttää kohteissa, joissa esiintyy värinää tai ne liikkuvat.
- ◇ C-tyyppi erikoissovelluksiin, kuten kiskoille, jolloin kaapeli joutuu liikkumaan jatkuvasti. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 58.)

Kuparikaapeleiden maksimietäisyys tiedonsiirron loppupisteiden välillä on rajoitettu noin 100 metriin (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 57).

Kuparikaapeleille on olemassa useita eri vaihtoehtoja eri olosuhteisiin, kuten maata-, tulta ja korroosioita kestävätkä kaapelit (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 60).

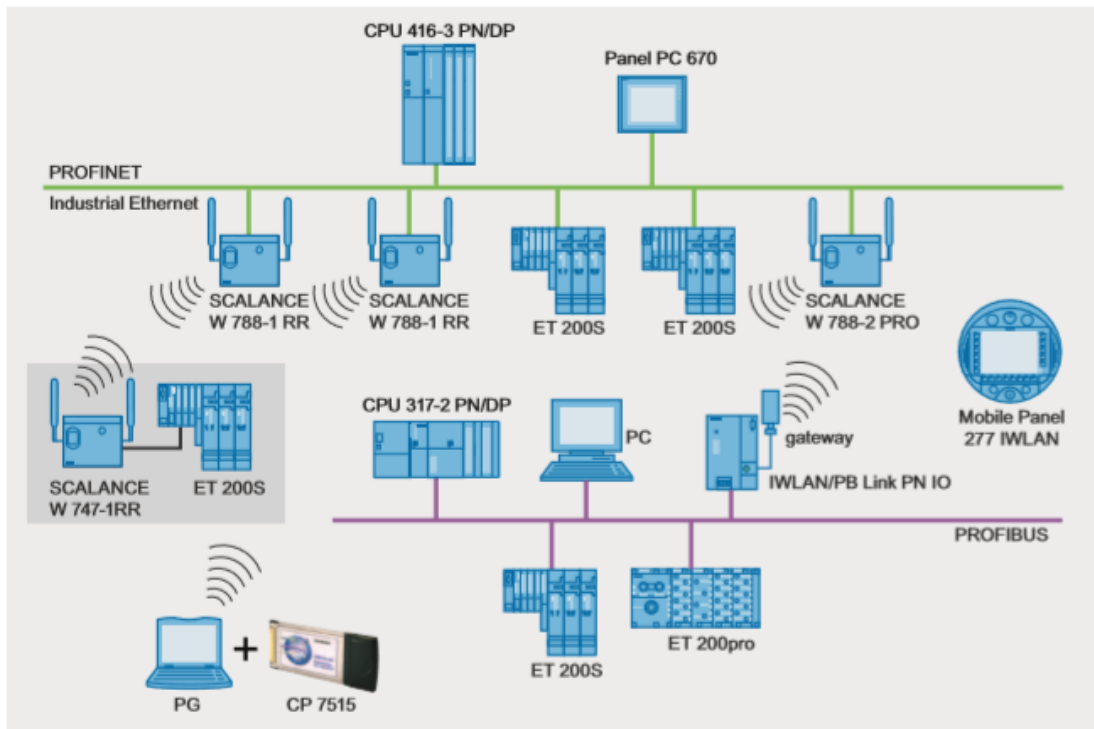
Optista kuitukaapelia (FO, optical fiber) voidaan käyttää erityisesti kohteissa, joissa esiintyy voimakasta sähkömagneettista häiriötä (EMI, electromagnetic interference) (Siemens AG 2008b, 7) tai merkittäviä potentiaali (significant earth potential differences) eroja. Optinen kaapeli kantaa pidemmällä etäisyyksillä kuin kuparikaapeli. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 64.)

Tiedonsiirto voidaan toteuttaa langattomasti myös teollisuudessa (kuva 12). Langattomilla verkoilla on alhaisempi lähetysnopeus verrattuna langalliseen

tiedonsiirtoon. Myös laitteiden enimmäismäärä tukiasemaa kohden on pienempi. Langaton tiedonsiirto on siis järkevää silloin, kun langallista ei voida käyttää, tai se ei muuten ole kannattavaa. Langattomuus kuitenkin lisää joustavuutta ja järjestelmän liikuteltavuutta. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 133.)

IWLAN, eli Industrial WLAN on teollisuuden langaton lähiverkko standardi, jossa tiedonsiirto tapahtuu radioaalloilla. Se eroaa tavanomaisesta WLAN-standardista sen kyvyllä vastata prosessiteollisuudessa vaadittavaan tiedon deterministisyyteen ja reaaliaikaisuuteen, sekä on vikasietoisempi. Vikasietoisuudella tarkoitetaan esimerkiksi teollisuusympäristössä tyypillisiä sähkömagneettisia häiriöitä ja ympäristön haastavia olosuhteita. (Siemens Suomi 2018.) Kestävyyden takaamiseksi laitteistolla on IP30- tai IP65 kotelointi Integroidut turvatoiminnot, tietojen varausjärjestelmä (Data Reservation), sekä nopea roaming (Rapid Roaming). (Siemens AG 2008a, 21.)

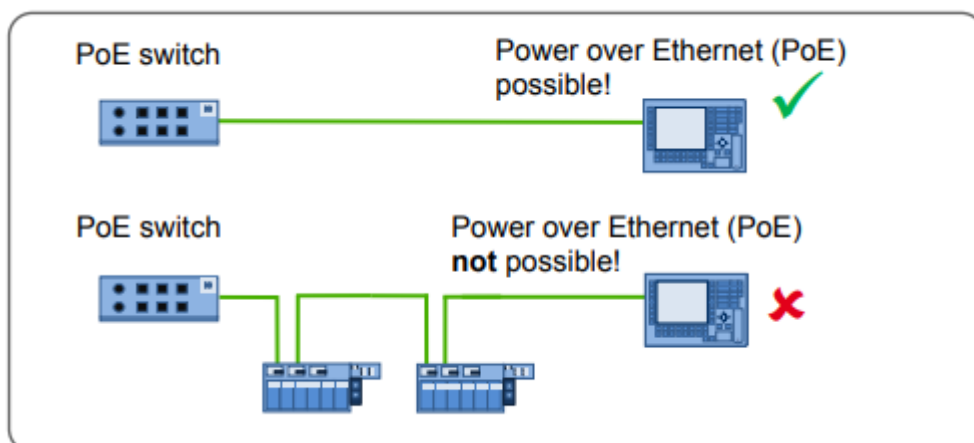
Esimerkiksi Siemensin SCALANCE W:n tukiasema) langaton yhteys voidaan muodostaa 30 m päähän sisällä ja noin 100 m päähän ulkona. Laajojen verkostojen luomiseksi voidaan perustaa useita tukiasemia, joiden kautta voidaan siirtää viestejä pitkiä matkoja. Vastaanotto ja- lähetyskyky ovat riippuvaisia alueen rakenteesta, käytetystä standardista ja datan siirtonopeudesta. (Siemens AG 2018c, 38.)



Kuva 12. Esimerkki langattomasta toteutuksesta (Siemens AG 2018c, 39)

### 6.5.1 Kytkimien syöttämä virta PoE, Power over Ethernet

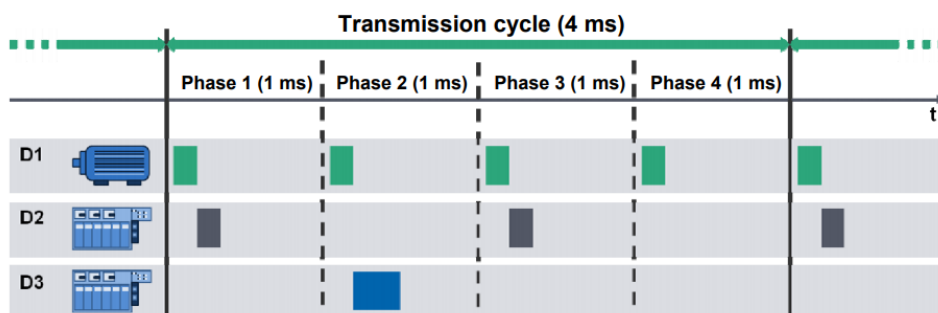
Virran sekä jännitteen syöttö voidaan toteuttaa kytkimen syötöllä, joka on standartoitua (Sundquist 2008, 62). PoE:n käytössä on kuitenkin rajoituksia, sillä laitteen ja voimanlähteen välillä on oltava suora yhteys (kuva 13; PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 135).



Kuva 13. virran- ja jännitteen syöttö kytkimellä (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 135)

## 6.6 Päivitysajat

Laitteet voidaan päivittää erilaisin aikavälein, riippuen prosessin vaatimuksista ja käytetystä laitteistosta (hardware). Päivitysajan syklin sisällä ei siis tarvitse olla kaikilla laitteilla sama. Syklin aikana kaikki piirin laitteet lähettävät tietonsa vähintään kerran. Lähetysyikli taas määräytyy hitaimman päivitysajan omaavan laitteen mukaan. Nopeaa päivitystä vaativat prosessit on jaettu useaan osaan syklin aikana. (Kuva 14; PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 97.)

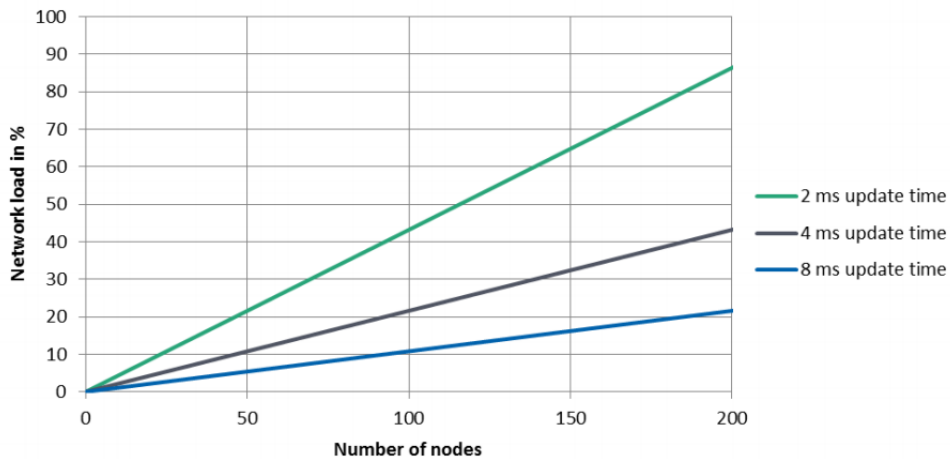


Kuva 14. Eri aikakriittisyyden omaavien laitteiden päivitys syklin sisällä (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 96)

Päivityksen aikana IO-laite tai IO-ohjain toimittaa IO-ohjaimelle tai IO-laitteelle uusia tietoja. Lähetysjakso voidaan konfiguroida erikseen jokaiselle IO-laitteelle, sekä määrittää aikaväli, jolla tiedot lähetetään (output) joko laitteelle tai ohjaimelle (input). Vasteen tarkistus aika tarkoittaa sitä hyväksyttävää aikakunaa, kun lähetetty tieto saapuu kontrolleriin tai IO-laitteelle. Tänä aikana muiden tietojen vastaanotto ei ole mahdollista. Jos IO-laite ei saa uusia tietoja määriteltynä aikana, se epäonnistuu ja antaa korvaavia arvoja. Kontrolleri antaa raportin asemaviasta. (Siemens AG 2018c, 51.)

### 6.6.1 Päivitysajan suunnittelu

Topologiaa suunnitellessa on tärkeää ymmärtää kytkinten määrän vaikutus laitteen ja kontrollerin välillä (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 96). Ohjaimet toimivat syklisesti määritetyn päivitysajan mukaan. Kaikki kontrolloitavat laitteet ovat määriteltynä kontrollerin sykliajan funktioiksi. Nopealla päivitysajalla verkon kuormitus lisääntyy, koska tiedot päivittyvät aikavälillä lyhyemmällä intervallilla. Tosin data on nopeammin käytettävissä. Verkon kuormitus kasvaa päivityksen ajankohdan ja verkon solmujen lukumäärän mukaan. Kuvan 15 esimerkissä on tyypillinen PROFINET-paketin koko, eli 108 tavua (60 tavun hyötykuormatiedot). (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 106.)

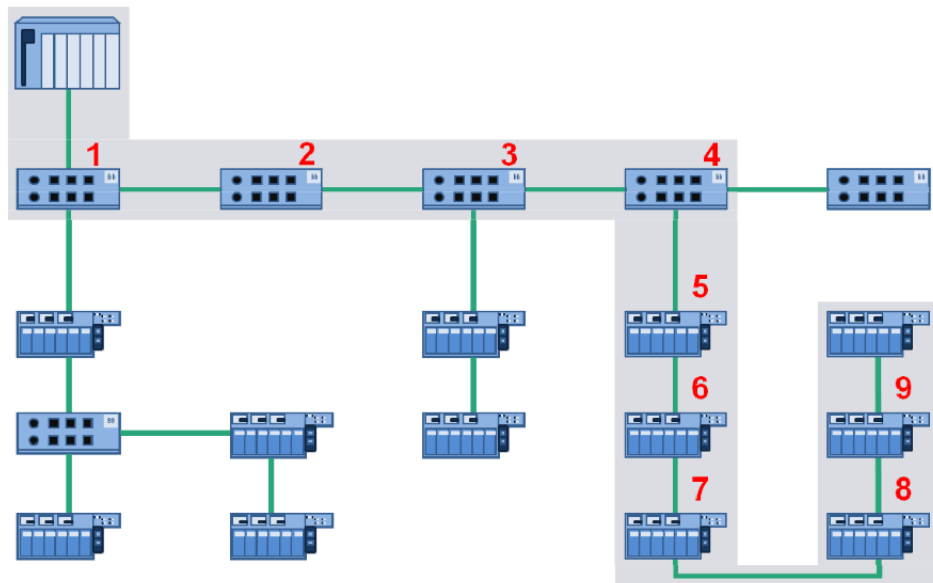


Kuva 15. Verkon kuormitus suhteessa laitteiden määrään (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 106)

Riippuen dataliikenteen määrästä, mitä nopeampi on päivitysaika, sitä suurempi kaistanleveys varataan reaaliaikaiselle viestinnälle. Jos taas päivitysaika hidastetaan, vaste on hitaampi. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 107.) NRT-viestinnän käytettävissä oleva kaistanleveys muuttuu toissijaisesti (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 101).

### 6.6.2 Tiedonsiirtolinjan syvyys (line depth)

Jokainen kytkin laitteen ja ohjaimen välissä tuo viivettä tiedonsiirtoon. Mitä enemmän laitteiden ja ohjainten välillä on kytkimiä, sitä suuremmaksi linjan syvyys (line depth) kasvaa (kuva 16). Liiallista linjan syvyyttä on vältettävä ajallisesti kriittisille sovelluksille. Tällaiset viestintäyhteydet voidaan toteuttaa suoraan laitteiden ja ohjaimien välillä. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 111.)



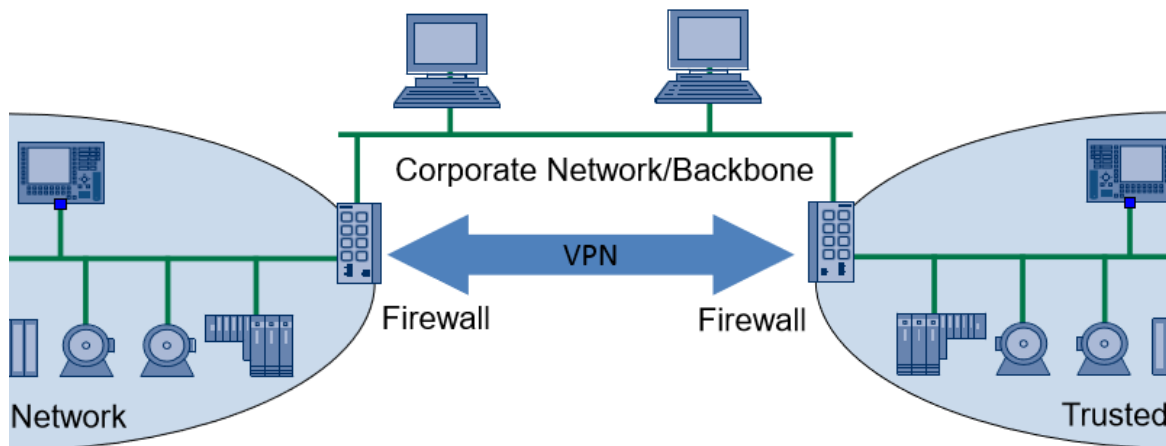
Kuva 16. Laitteistojen luoma tiedonsiirtolinjan syvyys (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 111)

Kytkimien tyypillä, kuten Store and Forward tai Cut Through, on myös vaikutusta viiveeseen (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 117). Laitteet voivat kommunikoida ohjaimen lisäksi keskenään. Esimerkiksi kamera ja tietokone voidaan kytkeä suoraan kytkimelle, jolloin suuri tietovirta ei enää aiheuta huomattavaa kuormitusta verkon muille osille. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 121.)

## 6.7 Tietoturvallisuus

Ethernetin liittäminen teollisuuslaitokseen tuo etuja, mutta myös lisähaasteita. Koneiden, ihmisten ja liiketoiminnan turvaamiseksi datan viemiseen suljetusta ympäristöstä toiseen tulee huomioida tiettyjä asioita.

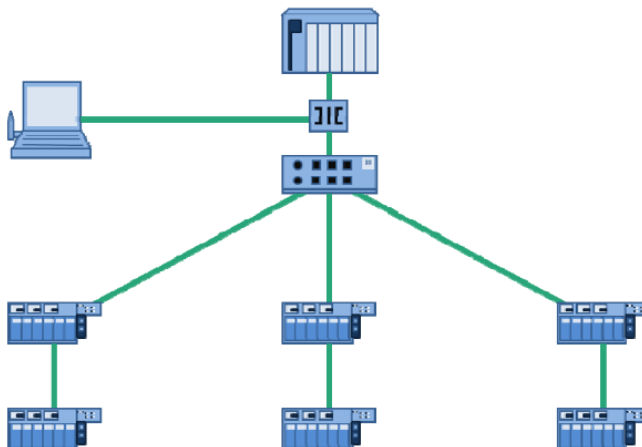
- ◇ Teollisuus palomuurit (laite, joka kuuluu huomioitavaksi suunnittelussa)
- ◇ Seuraa tulevia ja lähteviä datapaketteja ennalta määriteltyjen sääntöjen perusteella
- ◇ Vain valtuutetut yhteydet hyväksytään
- ◇ Auttaa pitämään ei-toivottua liikennettä ulkopuolella
- ◇ Suunniteltu teollisuus ympäristöön
- ◇ VPN ominaisuudet (Virtual Private Network) (kuva 17). (AllThingsPROFINET 2012, 17.)



Kuva 17. VPN liittäminen toiseen verkostoon (AllThingsPROFINET 2012, 17)

## 6.8 Tukiasemat

Käyttöönottovaiheessa ja huollon aikana tarvitaan pääsy verkkoon, eli liityntäpiste (network access point). Verkoston sisälle pääsy on tarpeellista esimerkiksi verkkoliikenteen tai laitteiden tietojen analysoinnissa, ongelmien paikantamisessa, sekä verkoston kunnan selvittämisessä. TAP (test access point) voidaan integroida osaksi verkostoa. (kuva 18; PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 90.)

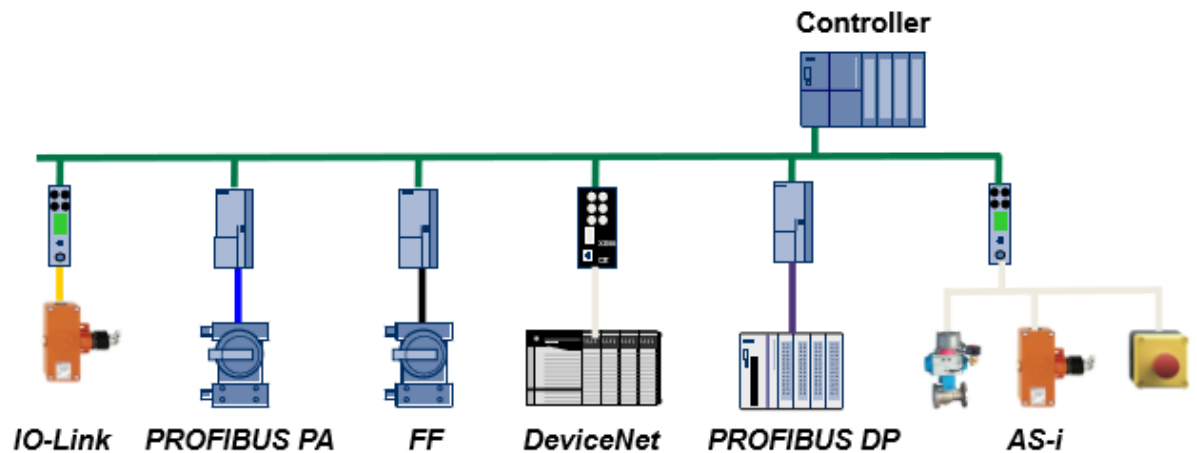


Kuva 18. TAP suoralla linkillä toteutettuna (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 90)

TAP voidaan liittää suoraan ohjaimen. Passiivisella TAP:lla voidaan välttää analysoinnin vaikutukset viestiliikenteeseen. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 91.)

## 6.9 Verkon laajennus ja välityspalvelimet

PROFINET tukee PROFIBUS-järjestelmän tai muita valmiiksi asennettujen kenttäväyläjärjestelmien, kuten AS-I-liitännän jatkamista (kuva 19; Siemens AG 2008a, 3). Välityspalvelimen toiminnallisuus on käytettävissä sekä PROFINET IO:ssa että PROFINET CBA:ssa. IE/PB-yhteyden luomiseksi on käytettävä eri laitteita riippuen järjestelmästä. (Siemens AG 2018c, 25.)



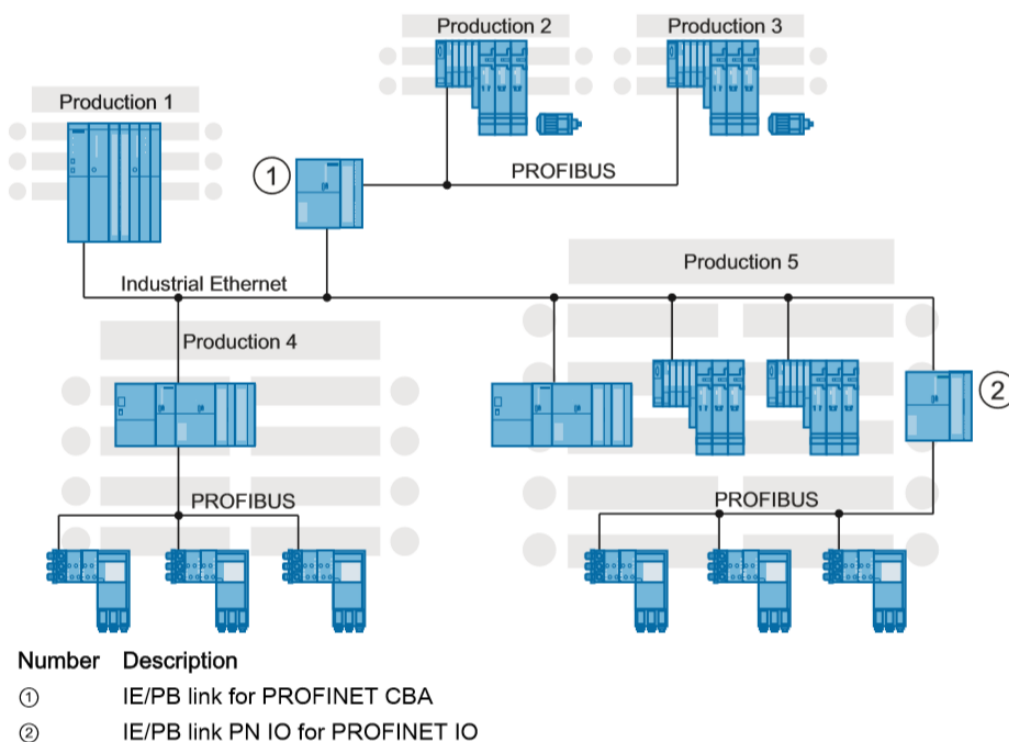
Kuva 19. PROFINETista poikkeavien laitteistojen kytkentä verkkoon välityspalvelimella (AllThingsPROFINET 2012, 24)

### 6.9.1 Kenttäväylien integrointi

PROFINET tukee olemassa olevien PROFIBUS-kenttäväylien ja muiden kenttäväyläjärjestelmien, kuten AS-Interfacen, integrointia. Kenttäväylien ja Ethernet-pohjaisten järjestelmien yhdistäminen voidaan toteuttaa välityspalvelin-konseptin avulla. "Proxy"-tekniikka mahdollistaa järjestelmän avoimuuden ja laajennukset jo olemassa olevaan kenttäväylään. Verkkojen välinen viestintä on avointa ja päästää esimerkiksi syklisen datan kenttäväylän laitteisiin. (Siemens AG 2008a, 13.) Palvelimen avulla voidaan siis luoda hybridijärjestelmä, joka koostuu kenttäväylä- ja Ethernet-pohjaisista osajärjestelmistä. Se mahdollistaa jatkuvan teknologisen siirtymisen PROFINETiin ja nykyisten PROFIBUS-konfiguraatioiden integroinnin PROFINET-järjestelmään (Siemens AG 2018c, 20). Tekniikkaa voidaan soveltaa myös IWLAN-integrointiin. (Siemens AG 2008a, 13)

Väylämuutokset voidaan tehdä linkkilaitteella ilman erillistä tiedon käsittelyä. Ero CBA:n- ja PROFINET IO:n IE/PB-linkin välillä on esitystavassa, eli niillä

on kaksi eri tapaa tarkastella ohjelmoitavia säätimiä. Komponentteihin perustuvassa automaatioissa IE/PB-linkki CBA:lle edustaa jokaista kytkettyä PROFIBUS DP -orjaa (slave) yhtenä PROFINET-komponenttina. PROFINET IO:ssa IE/PB-linkki edustaa jokaista kytkettyä PROFIBUS DP -slavea järjestelmään kuuluvana IO-laitteena (kuva 20; Siemens AG 2018c, 148.)



Kuva 20. IE/PB-linkki, LAN/PB, Industrial Ethernet, PROFIBUS (Siemens AG 2018c, 147)

Väylämuutoksen mahdollistavat linkitykset:

PROFINET – PROFIBUS: IE/PB-linkki

PROFINET - LAN - PROFIBUS DP: LAN/PB-linkki

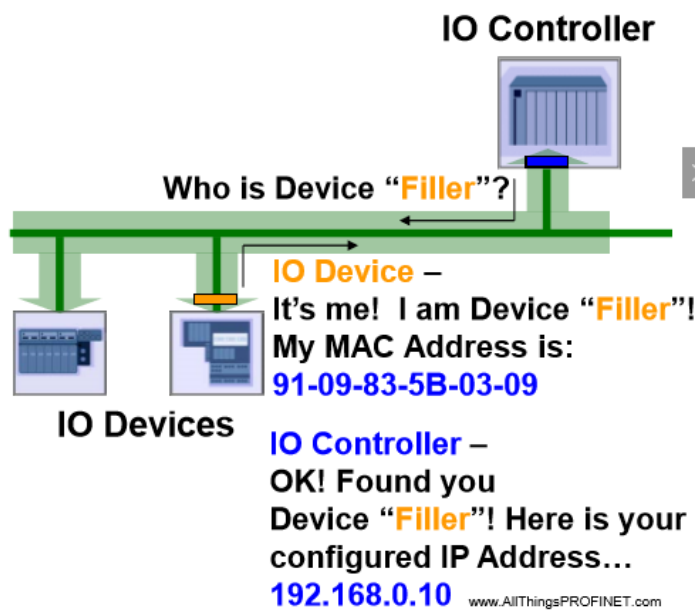
AS-i – PROFINET: IE/AS-i linkki PN IO

PROFIBUS-verkkoon liitetty PROFINET-laite, jossa on välityspalvelin ominaisuus, mahdollistaa PROFIBUS laitteen kommunikoinnin sen oman kontrollerin (master), sekä kaikkien PROFINET-solmujen kanssa. Eli linkkien avulla olemassa olevat PROFIBUS-järjestelmät voidaan integroida PROFINET-viestintään. (Siemens AG 2018c, 21.)

## 6.10 IP-osoitteet

Kaikilla PROFINET-laitteille määritellään nimi ja IP-osoite (AllThingsPROFINET 2012, 27). IP-osoite voidaan syöttää projektin kokoonpanoon (konfiguraatioon) automaattisesti IO-laitteiden ohjaimen käynnistämisen yhteydessä. Osoite voi sisältää laitteessa ennalta määrätyn MAC-osoitteen. Laitteen nimi voidaan valita joustavasti. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 141.) Nimet ladataan laitteisiin PROFINET DCP:n (Discovery and Configuration Protocol) avulla (AllThingsPROFINET 2012, 27).

Kontrolleri lähettää laitteen nimen verkkoon. Tunnistautunut laite vastaa MAC-osoitteelle, jonka jälkeen kontrolleri määrittää ja antaa laitteelle IP-osoitteen (kuva 21; AllThingsPROFINET 2012, 28).



Kuva 21. Laitteiden tunnistautuminen ja IP-osoite (AllThingsPROFINET 2012, 28)

## 7 PROFINET-LAITTEEN VAIHTAMINEN

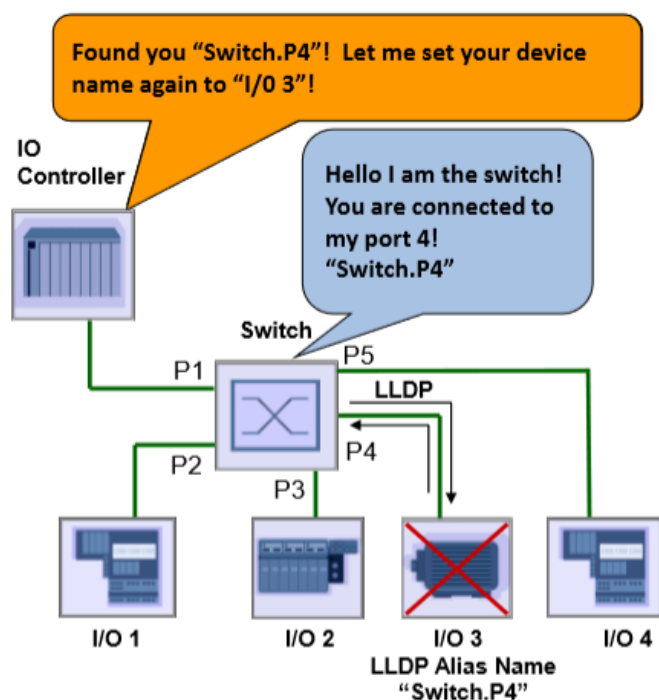
PROFINET-laitteita voidaan lisätä tai vaihtaa verkostoon. Toimenpiteen vaikutukset ovat kuitenkin riippuvaisia järjestelmän rakenteesta (taulukko 2).

Taulukko 2. Esimerkki laitteiston vaihdosta (AllThingsPROFINET 2012, 46)

1. Laitteessa "I/O 3" tapahtuu rikkoutuminen tai muu vaihtoa vaativa tapahtuma
2. Laite korvataan uudella MAC-osoitteella. Nimi jää tyhjäksi
3. Laitteet vaihtavat LLD-protokollaa
4. Viereinen laite lähettää LLDP- nimen uudelle laitteelle
5. Ohjain löytää uuden laitteen DCP:n - ja LLDP-nimen avulla
6. Ohjain antaa laitteelle uuden nimen
7. IO-ohjain käynnistää laitteen

- ◇ Protokolla HTTP (Hyper Text Transfer Protocol): Web-käyttöoikeudet konfigurointiin ja diagnostiikkaan.
- ◇ SNMP (Simple Network Management Protocol verkon diagnostiikkaan): Työkalu tilastotietoihin ja diagnostiikkaan.
- ◇ LLDP (Link Layer Discovery Protocol): Verkon topologian kartoitus ja yksinkertaiset laitteiden vaihdot. (AllThingsPROFINET 2012, 41.)

### Simple Device Replacement



Kuva 22. Taulukon 2. esimerkkikuva laitteiston vaihdon yhteydessä tapahtuvasta verkostoitumisesta (AllThingsPROFINET 2012, 46)

## 7.1 Dokumentointi

Suunnittelun jokaisessa vaiheessa on hyvä tehdä tarkka dokumentointi virheiden välttämisen ja tietojen helpon saatavuuden takaamiseksi. PROFINET-järjestelmän luominen vaatii useampaa eri alan työpanosta. Hyvä dokumentaatio helpottaa eri vaiheiden, kuten asennuksen toteuttamista ja käyttöönottoa. Myös kaikki muutokset on kirjattava oikean toiminnan varmistamiseksi tulevaisuudessa. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 23.)

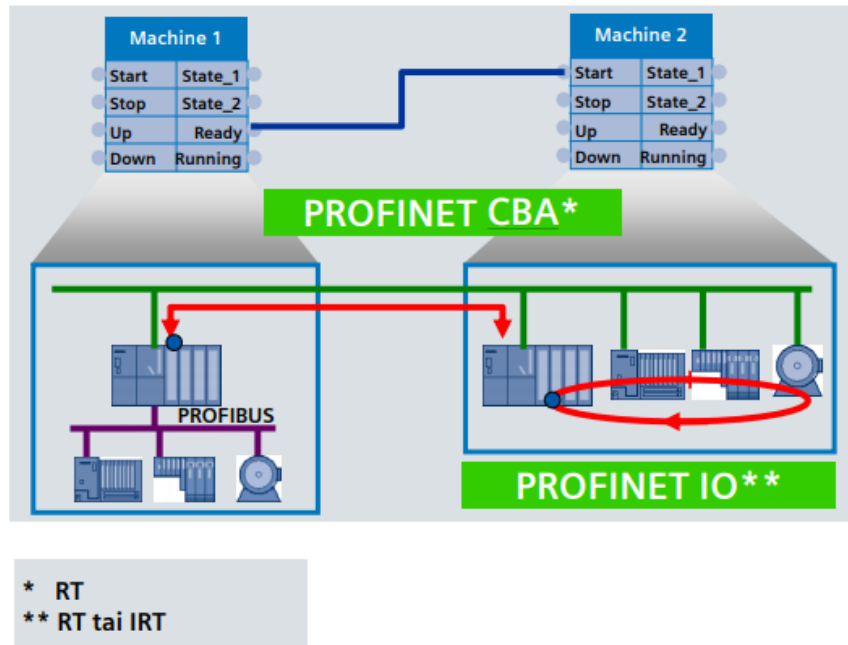
## 8 MUUT SOVELLUKSET

PROFIsafe on tarkoitettu huolehtimaan turvallisesta tiedonsiirrosta, joka perustuu turvallisuusstandardiin IEC 61508. Se mahdollistaa vakio- ja turvallisuuteen liittyvän viestinnän samalla väyläkaapelissa. Se käyttää reaaliaikaista kommunikointia (RT tai IRT). Tekniikalla voidaan reagoida vikatilanteisiin käyttäjätietojen, tila- ja ohjaustiedon lisäksi myös kenttälaitteen tai -aseman välillä. PROFIsafe ei vaadi lisälaitteita, vaan se on ohjelmallinen. Tarkoituksena on estää lähetysvirheet, virheelliset osoitteet, pakettien menetykset, sekä liialliset viiveet. (Siemens AG 2008a, 24–25.)

PROFIdrive on sovellus, joka keskittyy asemiin, enkoodereihin (encoders), moottoreihin ja niiden sovelluksiin. Tukee PROFIBUS- ja PROFINET-tekniikoita. PROFINET sallii skaalattavissa olevan päivitysajan 31,25  $\mu$ s:n välein ja viiveen (jitter), joka on pienempi kuin 1  $\mu$ s. Tukee avointa TCP-viestintää. (PROFINET University 2018.) PROFIdrive-profiili määrittelee PROFINET- ja PROFIBUS-taajuusmuuttajien ja ohjainten välisen toiminnallisen rajapinnan. Käyttäjäohjelmaa ei tarvitse muuttaa siirryttäessä PROFIBUS-järjestelmästä PROFINETiin. Ajureiden integroitavuus automaatiojärjestelmään riippuu ajettavasta tehtävästä. PROFIdrive määrittää kuusi sovellusluokkaa, jotka kattavat suurimman osan mahdollisten käyttötarkoituksista, kuten taajuusmuuntajat pumppuille, tuulettimille, kompressoreille tai monimutkaisempiin synkronoitaviin toimintoihin, kuten hajautettu liiketunnistus. Ne vaihtelevat pumppujen, puhaltimien ja kompressorien vakio toimintojen liittämiseen esimerkiksi liikerajoittimiin, joilla on hajautettu liiketunnistustieto, joka on integroitu suoraan taajuusmuuttajiin. (Siemens AG 2008a, 17.)

## 8.1 PROFINET CBA

PROFINET CBA mahdollistaa valmiin kenttäväylä kokonaisuuden kartoittamisen yhtenä PROFINET-komponenttina. Sovellus on hyödyllinen esimerkiksi verkostoa laajentaessa. Kuvassa 23 on havainnointu PROFINET IO:n ja CBA:n tulkinnan ero järjestelmästä. (Siemens AG 2008a, 19.)



Kuva 23. PROFINET CBA ja IO eroavat näkökulma järjestelmästä (Koivistoinen 2008, 27)

## 8.2 Viestinnän valvonta

Verkon tiedonsiirron valvontatoiminto tarkistaa, onko lähetetty tieto otettu vastaan. Jos tieto ei mene perille ennen määrättyä aikaa, ohjelma havaitsee sen virheenä. Viestintäjaksojen määrää ilman hyväksyttäviä tietoja, kutsutaan kynnykseksi (threshold). (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 108.)

Kynnysarvo määrittää ajan, jolloin viestikatkokset tulkitaan virheenä. Mitä korkeampi on kynnyksä sitä myöhemmin viestintävirhe tunnustetaan. Jos viestintä häiriintyy esimerkiksi kahden syklin aikana, kynnysarvoa ei ylity ja normaali tiedonsiirto jatkuu. Jos ongelma ei poistu, viestiliikenne keskeytetään. (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014, 109.)

## 9 YHTEENVETO

Teollisuus hyödyntää Ethernet-tekniikkaa, jonka komponentit on luotu teollisuusympäristön vaativiin olosuhteisiin. Tekniikan etuna on kenttälaitteiden äly- ja niistä saatava reaaliaikainen tieto tuotannosta, laadusta sekä kunnossapidossa tarvittavista seikoista. Ethernet-pohjaisissa kenttäväylissä saadaan nopeammin dataa suuremmalla kapasiteetilla kuin perinteisimmissä kenttäväylissä. Verkko voidaan järjestää monin eri fyysisin tavoin, joiden vikasietoisuutta voidaan parantaa kahdennuksilla ja vaihtoehtoista reittiä tukevilla rakenteilla. Lisäksi PROFINETin tekniikka mahdollistaa myös langattoman liikenteen sekä yhtenäisen diagnostiikkakonseptin vikojen paikallistamiseen ja selvittämiseen.

Vaikka PROFINETin tekniikka ja standardit ovat jo pitkälle kehitelty, se koettiin osin puutteelliseksi käytännön kannalta. Monet kytkennät eivät olleet toteutettavissa. Joitain muutoksia tai lisäyksiä ei olisi voinut tehdä ajamatta alas kokonaisia järjestelmän osia. PROFINETin pitäisi laitevalmistajien mukaan tuoda ratkaisuja myös tähän ongelmaan. Lisäksi tiedon hakeminen netistä saattaa olla hidasta muun muassa puutteellisten hakuehto- ja terminologian takia.

PROFINET koettiin kuitenkin myös yhdeksi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi ja nousevaksi trendiksi prosessiteollisuuden automaatiassa. Tekniikan, Standardisoinnin, kokemusten ja tietotaidon kertyessä teollisuus-Ethernet on aina vaihtoehto automaatiota suunniteltaessa. Varsinkin jos Industry 4.0:n ennusteet ja odotukset pitävät paikkansa, on prosessiteollisuutta palvelevien alojen syytä varautua ja kehittää osaamistaan hyvissä ajoin maailmanlaajuisen kilpailukykyä säilyttämiseksi.

Suunnittelun näkökulmasta PROFINET-tekniikan käyttö vaikuttaa työmenetelmiin ja työnjakoon verrattaen perinteiseen suunnitteluun. Tämä tarkoittaa automaation, tiedonhallinnan ja eri järjestelmien välisen tiedonsiirron suunnittelun uudelleen järjestämistä. Esimerkkinä datan ohjaamiseen tarkoitettujen kytkinten-, laitteistojen-, kaapeloinnin-, liitäntöjen- sekä ICT-puolen merkittävä rooli. Suunnittelijoiden ja asiakkaiden PROFINET-tuntemus ja tarve lisäkoulutukselle täytyy selvittää.

Tekniikka mahdollistaa uudenlaisen dataliikenteen ja tiedonsiirtoverkoston segmentoinnin. Tämä tarkoittaa mahdollisuuksien laajentumista, mutta myös monimukaisuus lisääntyy. Laitteiden ja kaapeleiden sijoittamisen lisäksi kenttäsuunnittelijan on ymmärrettävä eri reaaliaikaisuuksien ja laitteistovaihtoehtojen tarkoitus.

Kaikissa projekteissa on syytä tehdä projektikohtainen ohje, jossa on huomioitu kohteessa valmiiksi olevat laitteet, niiden kytkentäperiaatteet sekä mahdolliset tulevaisuudessa asennettavien laitteiden vaatimukset. Projektin alussa on hyvä selvittää mahdollisimman paljon verkkoon kytkettävien laitteiden aikakriittisyydestä sekä mahdollisten diagnostiikkatietojen tarpeesta tehokkaan rakenteen luomiseksi. Samoin tulee selvittää laitteistojen saatavuus ja yhteensopivuus. Selkeä yleiskuva ja toteutussuunnitelma auttaa yksityiskohtien suunnittelussa, joten alkuvaiheen onnistuminen on merkittävä koko projektin läpiviemisessä.

## LÄHTEET

Aho, I. Sähköpostitiedoksianto 28.11.2018. Tampere: Pöyry Finland Oy

AllThingsPROFINET. 2012. Completing a PROFINET Project. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://us.PROFINET.com/wp-content/uploads/2012/12/Slides\\_PROFINET\\_Project.pdf](https://us.PROFINET.com/wp-content/uploads/2012/12/Slides_PROFINET_Project.pdf) [viitattu 14.11.2018]

Henning, C. 2015. Beginners guide to PROFINET. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://us.PROFINET.com/beginners-guide-PROFINET/> [Viitattu 15.10.2018]

Immonen, S. Sähköpostitiedoksianto 19.11.2018. Kouvola: Pöyry Finland Oy

Jussila, P. Sähköpostitiedoksianto 19.11.2018. Vantaa: Pöyry Finland Oy

Koivistoinen, K. 2008. Tiedonsiirto teollisuudessa. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.eis.fi/tapahtumat/2008/Siemens2008/Teollisuuden\\_tiedonsiirto\\_yleisesti\\_112008.pdf](http://www.eis.fi/tapahtumat/2008/Siemens2008/Teollisuuden_tiedonsiirto_yleisesti_112008.pdf) [viitattu 7.10.2018]

Kuisma, V.-M. 2017. Saksaan syntyy Industrie 4.0. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/teknoblogi/saksaansyntyy-industrie-40> [viitattu 18.12.2018]

Kujala, S. Sähköpostitiedoksianto 19.11.2018. Kouvola: Pöyry Finland Oy

Lehtinen, M. Sähköpostitiedoksianto 3.12.2018. Kouvola: Pöyry Finland Oy

PI North America. 2018a. PROFIBUS vs PROFINET. Comparison and Migration Strategies. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.profibus.ie/wp-content/uploads/2018/02/PB-vs-PN-and-migration-strategies.pdf> [viitattu:19.12.2018]

PI North America. 2018b PROFINET Technology. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://us.profinet.com/technology/profinet/> [Viitattu 19.10.2018]

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2014. PROFINET Design Guideline 2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.profibus-profinet.cz/images/Dokumenty/PROFINET/16548\\_PROFINET\\_Design\\_guideline\\_8062\\_V114\\_Dec14.pdf](https://www.profibus-profinet.cz/images/Dokumenty/PROFINET/16548_PROFINET_Design_guideline_8062_V114_Dec14.pdf) [viitattu 12.9.2018]

PROFINET University 2018. PROFIdrive Application Profile. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://PROFINETuniversity.com/PROFINET-features/application-profiles/profidrive-application-profile/> [viitattu 15.11.2018].

PROFIBUS 2017. GSD Files. WWW-dokumentti. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.PROFIBUS.com/products/gsd-files/> [Viitattu 20.11.2018]

Pyykkö, T. 2012. Simatic Net PROFINET. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.siemens.fi/pool/cc/events/turvatekniikka2012/PROFINET.pdf> [viitattu 12.9.2018]

Saarelainen, K. 2011. IP-puhe. Helsinki: Readme

Siemens AG. 2008. Automate with the open Industrial Ethernet standard and profit now. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt\\_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto/PROFINET/br\\_PROFINET.pdf](http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/PROFINET/br_PROFINET.pdf) [viitattu 19.9.2018]

Siemens AG. 2008. Industrial Ethernet Switching. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt\\_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto/PROFINET/br\\_ie\\_switching.pdf](http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/PROFINET/br_ie_switching.pdf) [viitattu 12.9.2018]

Siemens AG. 2018. PROFINET System Description. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt\\_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto/PROFINET/man\\_pnsystem\\_description.pdf](http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/PROFINET/man_pnsystem_description.pdf)

Siemens Suomi. 2018. PROFINET. WWW-dokumentti. Saatavissa:  
[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto\\_esim\\_PROFINET/PROFINET.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto_esim_PROFINET/PROFINET.htm)  
[viitattu 20.9.2018]

Silvola, R. 2006. Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet –ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö.

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