



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Henri Karjaluoto

Teollisuuden ja laiterakennuksen kent- täkaapelointiopas

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pinnoitetekniikka

Insinöörityö

15.12.2019

Tekijä Otsikko	Henri Karjaluoto Teollisuuden ja laiterakennuksen kenttäkaapelointiopas
Sivumäärä Aika	31 sivua + 2 liitettä 15.12.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Kai Laitinen myyntipäällikkö Hans Lindström
<p>Tämän työn tavoite on auttaa ja opastaa aloittelevia sähköalan insinöörejä, opiskelijoita, suunnittelijoita ja myyjiä ymmärtämään teollisuuden ja laiterakennuksen kaapeli- ja liitin- vaihtoehtoja. Työ painottuu kuparikaapeleihin ja niiden liittimiin. Työstä saatava tieto toimii hyvänä pohjana oikeisiin valintoihin kaapeloinnin optimoinnissa. Työn toimeksiantaja on Phoenix Contact Oy.</p> <p>Teollisuudessa käytettäviä kaapeleita valittaessa on hyvä ymmärtää mitä vaihtoehtoja on saatavilla ja miksi, jotta taataan järkevät valinnat, jotka johtavat pitkäikäiseen, turvalliseen ja standardit täyttävään kokonaisuuteen. On hyvä myös ymmärtää missä kaapeleita käytetään ja miksi. Siten käyttäjä valintaa tehdessä osaa kohdentaa valinnat oikeanlaisiin kaapeli- ja liittintyyppihin materiaalivalintaa unohtamatta.</p> <p>Työ etenee kaapelien käytön merkityksestä erilaisiin kaapelityyppeihin. Kaapeleista ilmenee perusominaisuuksia ja opastetaan lukijaa tulkitsemaan kaapelitoimittajien merkintöjä. Kaapeli tulee myös liittää jotenkin laitteisiin, joihin työssä esitetään vaihtoehtoja esimerkiksi.</p> <p>Työn tietolähteet pohjautuvat pääosin verkkoartikkeleihin ja alan standardeihin.</p>	
Avainsanat	kaapeli, liitin, johdin, materiaalivalinta

Author Title	Henri Karjaluoto Manual for industrial cabling and connectors
Number of Pages Date	31 pages + 2 appendices 15 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Materials and Surface Engineering
Instructors	Kai Laitinen, Principal Lecturer Hans Lindström, Sales Director
<p>The purpose of this work is to help and guide novice electrical engineers, students, designers and salespeople to understand the cable and connector options for industrial and building construction. The work focuses on copper cables and their connectors. Work-based information provides a good basis for making the right choice in cabling optimization.</p> <p>When choosing industrial cables, it is a good idea to understand what alternatives are available and why, in order to ensure smart choices that lead to a long-lasting, safe and standard-compliant package. It is also good to understand where the cables are used and why. Thus, the user, when making a choice, is able to target the selections to the right type of cable and connector without forgetting the choice of material.</p> <p>Work is progressing on the importance of using cables for different types of cables. Cables exhibit basic features and guide the reader to interpret the labels of cable suppliers. The cable should also be connected in some way to devices for which alternatives are illustrated in the work.</p> <p>The information sources of the thesis are based mostly on online articles and industry standards.</p>	
Keywords	cable, connector, conductor, material selection

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teollisuuden tiedonsiirto	1
2.1	Analogiset signaalit	2
2.2	Digitaalinen signaali	2
2.3	Perinteinen tiedonsiirto ja kenttäväylät	4
2.4	Ohjelmoitava logiikka	6
3	Kaapelit	7
3.1	Parikierretty kaapeli	8
3.2	Perinteisten asennusjohtojen ja kaapelien merkinnät	10
3.3	Yleisimmät kaapelien eristemateriaalit	13
3.3.1	Polyuretaani	13
3.3.2	Polyvinyylikloridi	14
3.3.3	Ristisilloitettu polyeteeni	14
3.3.4	Polypropeeni	14
4	Yleisimmät liitintyytit	14
4.1	M8- ja M12-pyöröpistoliittimet	14
4.2	Moninapapistoliittimet	15
4.3	Liitäntätavat	18
4.3.1	Ruuviliitos	19
4.3.2	Jousiliitos	20
4.3.3	Puristusliitos	21
4.3.4	Veitsiliitos	22
5	Olosuhteet ja ulkopuoliset tekijät	23
5.1	IP-luokitukset	24
5.2	Sähkömagneettinen häiriö	25
5.3	Advanced Shielding Technology	25
5.3.1	Rakenne	26
5.3.2	AST tuomat edut	27

5.3.3	Käyttökohteet	28
5.4	Mekaaninen rasitus	29
5.5	Kemiallinen rasitus	29
6	Yhteenveto	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Materiaalien kemikaalinkesto	
	Liite 2. IP-luokitukset	

1 Johdanto

Monimutkaiset automatisoidut teollisuuden sovellukset edellyttävät tarkkaa ja täsmällistä tiedonsiirtoa pisteestä A pisteeseen B, joka nopeimmin ja turvallisimmin hoidetaan erilaisten kaapelien välityksellä. Entistä herkempien ja tarkempien prosessien ja laitteiden lisääntyessä ovat kasvaneet myös vaatimukset häiriösuojauksen osalta.

Tämän työn tarkoituksena on lisätä tietoa ja ymmärrystä erilaisista kenttätason kaapeli- ja liitinvaihtoehdoista, sekä antaa perustietopohjaa avuksi syvempään perehtymiseen. Työ on suunnattu sähkötekniikan opiskelijoille, myyjille ja aloitteleville suunnittelijoille. Työn pääpaino on kuparikaapeleissa. Kaapeloinnin optimointi on tärkeä ja usein vähätelty osa laadukasta tuote- ja projektisuunnittelua, joka hyvin suunniteltuna laskee projektien ja laitteiden elinkaarikustannuksia esimerkiksi alentuneina huoltokuluina, käyttöasteen parantumisena ja käyttäjäystävällisyyden takia parantaen asiakastyytyväisyyttä.

Tämän insinööriyön toimeksiantaja on Vantaan Koivuhaassa sijaitseva Phoenix Contact Oy on Phoenix Contact GmbH & Co:n tytäryhtiö Suomessa. Phoenix Contact on saksalainen vuonna 1923 perustettu perheyriutus, joka valmistaa lähinnä teollisuuteen sähköisen liitäntä- ja automaatioteknologian ja ylijännitesuojauksen ratkaisuja. Tytäryhtiön toiminta Suomessa on käynnistynyt vuonna 1991 työllistäen noin 50 henkilöä ja omaa vakaan markkina-aseman yhtenä johtavista alan toimittajista yli 30 miljoonan euron liikevaihdolla. Maailmanlaajuisesti Phoenix Contactin liikevaihto on n. 2,5 miljardia euroa ja työntekijöitä on noin 17 600. (1)

2 Teollisuuden tiedonsiirto

Lähes kaikki teollisuuden elektroniset toimilaitteet ja anturit ovat kytketty johonkin automaatiojärjestelmään, näyttöön, mittariin tai osoitinlaitteeseen. Voitaisiin siis todeta nykyaikaisen prosessi- ja automaatioteknologian olevan riippuvaisia vakaasta ja reaaliaikaisesta tiedonsiirrosta. Tämä ei rajoitu ainoastaan teollisuuden sovelluksiin, sillä älykkään teknologian ja automaation lisääntyessä myös ajoneuvot, työkoneet, ohjaus-, säätö- ja

valvontajärjestelmät ja niiden keskustelu tietokoneen välillä vaativat turvallista tiedonsiirtoa.

Teollisuuden tiedonsiirrossa käytetään perinteisesti kuparikaapeleita, suuremmilla välimatkoilla valokuitua, mutta joissakin sovelluksissa voidaan luottaa langattomaankin tiedonsiirtoon, esimerkiksi Bluetooth- tai Wifi-tekniologioihin. Langattoman tiedonsiirron ongelmia ovat esimerkiksi suuremmat viiveet, hitaammat tiedonsiirtonopeudet, sekä mahdolliset häiriöt signaalissa. Fyysistä välittäjää käytettäessä kaapelit vaativat laitteisiin liitoksen, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi juottamalla tai pistoliittimellä. Pistoliittimestä arkielämän esimerkkinä toimii hyvin USB-liitin. Myös teollisuudessa on hyvin monenlaisia pistoliittimiä eli liittimiä, joilla voidaan luoda liitos yksinkertaisesti työntämällä pistoke pistukkaan. Taas arkielämän esimerkkinä toiminee sähkörasia, joka on pistukka, sekä kaapelin pää, jossa on pistoke.

2.1 Analogiset signaalit

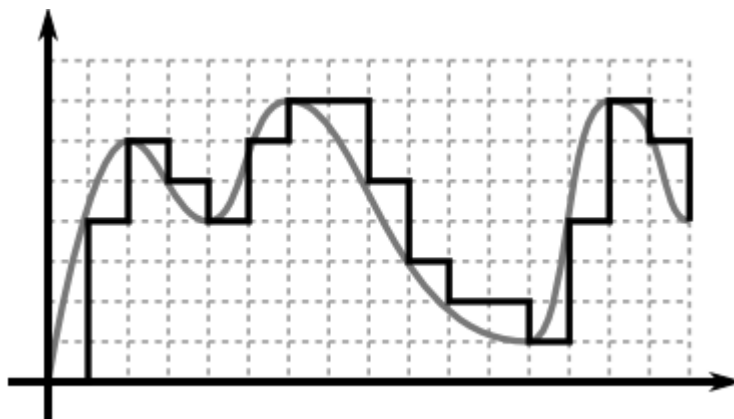
Analogiset signaalit toimilaitteilta ovat yleensä milliampeeri- tai jänniteviestejä, jotka kuljetetaan kuparijohtimia pitkin. Yleisesti käytössä ovat 0-10 voltin, 4-20 milliampeerin tai 0-20 milliampeerin signaalit. Analogiset signaalit ovat yksinkertainen tapa kuljettaa viestiä, mutta ne ovat alttiita ulkopuolisille häiriöille.

Jännitemuotoisen signaalin voi vääristää esimerkiksi moottoreista, releistä tai virtalähteistä säteilevä sähkömagneettinen häiriö, sekä johtimen resistanssi aiheuttaa jännitehäviöitä. Milliampeeriviesti ei ole aivan niin herkkä näille tekijöille. Hyvänä puolena 4-20 milliampeerin viestejä käytettäessä on, että mitattavien arvojen ollessa nolaa saadaan silti 4 mA signaalia lähteestä. Jos virta putoaa nolaa, tiedetään jonkin olevan vialla. Perinteinen tiedonsiirtoväylä analogisille signaaleille on kuparijohdin.

2.2 Digitaalinen signaali

Analoginen signaali on jatkuvaa signaalia sisältäen aikariippuvaisia määreitä, mutta digitaalinen signaali on tarkka arvo kussakin mittauskohdassa. Tämän signaalin tarkkuus

riippuu siitä, kuinka monta vaikkapa mittausta tietyn aikaikkunan sisällä tapahtuu. Tämä tieto on vähemmän herkkää häiriölle ja tietokoneen helpompi tulkita sekä mahdollistaa taas suurilla taajuuksilla hyvinkin suuria tiedonsiirtonopeuksia esimerkiksi Ethernet-tekniologiaa hyödyntäen. Karrikoidusti esitettyinä ero analogisen ja digitaalisen signaalin muunnoksista signaaleista kuvassa yksi.



Kuva 1. Analogisen ja digitaalisen signaalin ero karrikoidusti. Analoginen vaihtelee aaltomaisesti, kun digitaalinen signaali on kulmikasta (2).

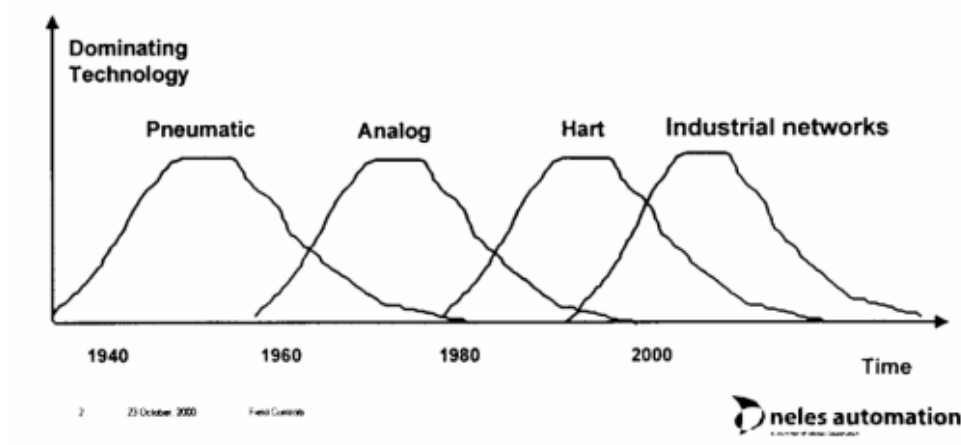
Digitaalista signaalia "dataa" siirtäessä voidaan yleisesti ottaen käyttää joko kuparia tai optista kuitua. Optinen kuitukaapeli koostuu useimmiten useista ohuista lasisäikeistä, jotka on niputettu kaapeliksi, jonka ansiosta kaapelista tulee joustava. Halvempia polymeerisiä kuitukaapeleita on myös olemassa, mutta niillä ei päästä lasikuidun tiedonsiirtonopeuksiin. Kaapeleiden sisällä on myös usein jäykistävä ydin ja suojaava verkko muovisen kaapelivaipan alla. Optinen kuitu ei ole lainkaan altis sähkömagneettisille häiriöille datan ollessa milliampeeri- tai jänniteviestin sijasta valoa. Kuidun ollessa kumminkin suhteellisen kallista, käytetään sitä lähinnä tiedonsiirtoon hyvin pitkillä matkoilla.

Kuparikaapelin ollessa verrattain halpaa mutta sähkömagneettisille häiriöille altista, on kehitetty erilaisia tapoja estääkseen häiriöt signaalissa.

2.3 Perinteinen tiedonsiirto ja kenttäväylät

Nykyaikainen kenttäväylä on teollisuuden digitaalinen tiedonsiirtoväylä, joita säätelee standardi IEC 61158. Kenttäväylä on ikään kuin kieli, jota käytetään keskusteluun kenttälaitteiden ja logiikan välillä. Ennen digitaalista kommunikaatiota tiedonvälitys oli ensin pneumaattista, sitten analogista. Tämän jälkeen kehitetty HART, eli Highway Addressable Remote Transducer, oli eräänlainen analogisen ja digitaalisen välimuoto. (3, s. 1) Nykyään käytetään yleisesti ottaen digitaalista Ethernet-pohjaista teknologiaa. Esimerkiksi Internet perustuu myös Ethernet-teknologiaan. Eli on helppo kuvitella syitä, miksi toimisto- ja kotiympäristöstä tuttuja mahdollisuuksia halutaan hyödyntää myös teollisuudessa, eli teollisuus-Ethernetissa.

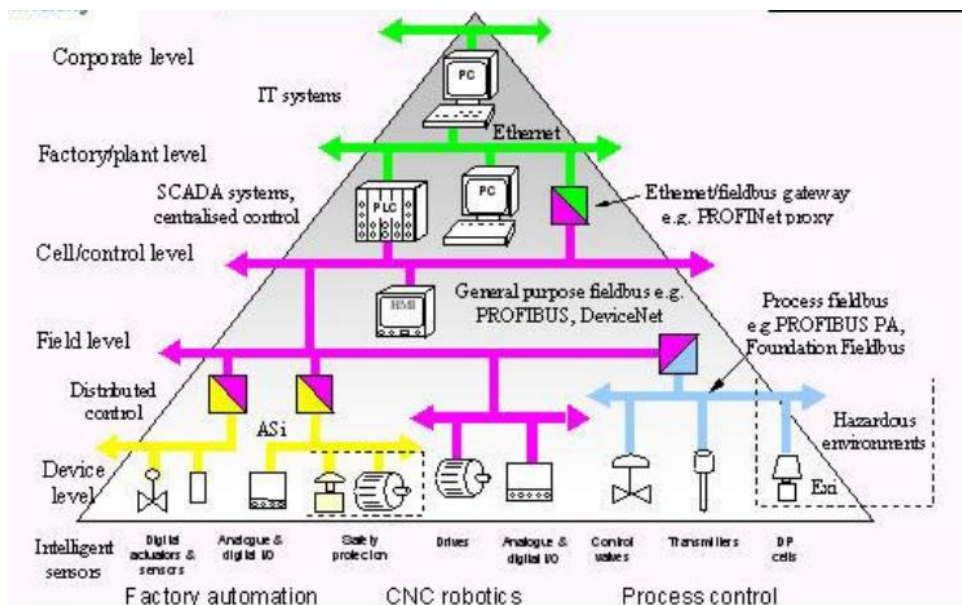
Signal transmission in process automation



Kuva 2. Tiedonsiirron elinkaaret teollisuusautomaatiossa (3).

Kenttäväyliä on olemassa lukuisia erilaisia, jotka soveltuvat eri käyttötarkoituksiin. Kenttäväylien erilaisia ominaisuuksia on lukuisia erilaisia. Ne vaikuttavat kaikki sopivimman kenttäväylän valitsemiseen. Tästä on esimerkkejä kuvissa kolme ja neljä. Vaikuttavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi:

- tiedonsiirtokapasiteetti, eli datan määrä aikayksikössä
- liitettävien laitteiden määrä
- vasteajat
- väylän pituus, metreistä kilometreihin
- tärkeiden viestien priorisointi, priorisointitasot
- väylän varausmekanismi, joka vaikuttaa vasteaikoihin, viestien priorisoimiseen ja datan lähettämiseen
- datapakettien koko
- fyysinen siirtomedia, eli käytetäänkö esimerkiksi parikaapelia, valokuitua, radioyhteyttä, valokuitua
- väylään yhteensopivien laitteiden saatavuus, sekä niiden yhteensopivuus muihin tietoliikennetkaisuihin ja väyliin
- laajennettavuus
- millä tasolla järjestelmää liikutaan, esimerkki verkostosta kuvassa kolme



Kuva 3. Esimerkki miten verkosto voi rakentua kentälaitteilta ylöspäin. (4)

Esimerkkejä eri kenttäväylistä ovat esimerkiksi Profibus, PROFINET, EtherCAT, Modbus/TCP ja Ethernet/IP.

Kenttäväylän etuja ovat muun muassa kaapeloinnin ja kytkentöjen selkeytyminen, kaksisuuntainen tiedonsiirto, ohjaus ja tiedonkeruu päätelaitteilta, sekä kunnossapidon ja tuotannon tai laitoksen ylös ajon nopeutuminen (5, s. 3).

2.4 Ohjelmoitava logiikka

Automaatioprosessien tosiaikaisessa ohjauksessa käytetään yleensä erikseen automaatiokäyttöön suunniteltuja tietokoneita, joita kutsutaan ohjelmoitaviksi logiikoiksi tai englanninkielisellä lyhenteellä PLC, Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka mahdollistaa järjestelmän toimilaitteiden, jotka säätelevät ja hallitsevat koneita, ohjauksen sensoreilta saatujen tietojen perusteella. Ohjelmoitavan logiikan ja ihmisen välinen kommunikaatio tapahtuu taasen HMI:ksi (Human-Machine Interface) kutsuttujen käyttöliittymien välillä. HMI käyttöliittymän käyttö voi tapahtua vaikkapa toiselta puolelta maapalloa internetin välityksellä tai suoraan logiikkaan liitetyllä näyttöpäätteellä. (6)

Ohjelmoitavat logiikat mahdollistivat suurten määrien, jopa tuhansien releiden ja ajastimien, sekä näiden välisten johtimien korvaamisen. Logiikkaan kytketään kenttälaitteet, eli anturit ja toimilaitteet esimerkiksi venttiilit, solenoidit ja valot, joko kiinteisiin tai modulaarisiin tulo- ja lähtöportteihin. Tästä muodostuu yleisimmin kaapelien välityksellä verkosto, jonka kautta saadaan tietoa antureilta järjestelmän tilasta ja toimilaitteiden avulla prosessia ja laitteiston toimintaa voidaan säätää logiikan kautta.

3 Kaapelit

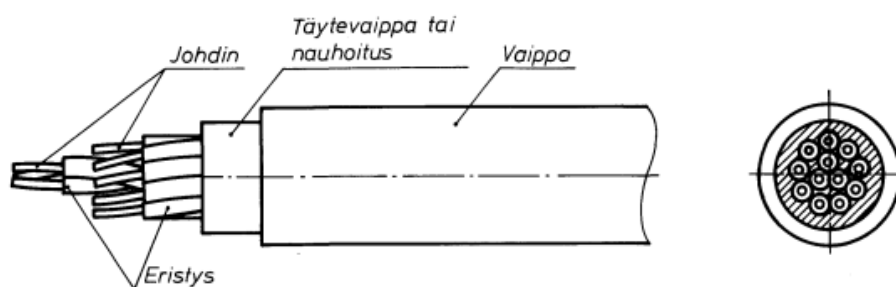
Tiedonsiirto tapahtuu yleisimmin kuparijohtimien, valokuidun tai langattoman teknologian kautta. Kone- ja laiterakennuksessa ja tehdasympäristössä yleisimmin käytössä ovat kupari ja valokuitu, jota voidaan valmistaa polymeeriseoksesta tai lasista.

Kuparikaapelia valittaessa on syytä pohtia käyttökohdetta ja sen asettamia vaatimuksia, jotta tehdään paras mahdollinen valinta hinta- ja laatusuhteessa sovellukseen. Kaapeli- ja johdintyyppejä on laaja kirjo erilaisia, eikä valintaa tule tehdä umpimähkään. Näin vältetään turhilta suorilta- ja epäsuorilta kuluilta, jotka johtuvat esimerkiksi johtimen aiheuttamasta virheestä laitteistossa tai rikkoutuminen ennen aikojaan.

Tärkeimmät liitin- ja kaapelivalintaa tehdessä huomioon otettavat asennuskohteen ja käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset ovat:

- Johtimien tyyppi, poikkipinta-ala ja materiaali
- palosuojaus, halogeenittomuus ja paloluokat
- EMC-suojaus ja maadoitus
- UV-kestoisuus
- ympäristön vaatimukset kuten vesi, lämpö, paine, kiinteät vierasperäiset aineet kuten pöly, iskunkesto, kemikaalit kuten hapot tai öljyt

- kiinteä asennus vai ketjukäyttö



Kuva 1 Kaapelin rakenne

Kuva 4. Kaapelin rakenneosat ja poikkileikkaus. (7, s. 2)

Kuparikaapeleita on todetusti useita erilaisia erilaisiin käyttökohteisiin. Kaapeli voi koostua yksinkertaisimmillaan muovikuoresta, johtimen muovinen suojavaipasta ja itse johtimesta. Usein johtimia on niputettu useampia yhteen kaapeliin. Kaapelin tai johtimen kirjaintunnukset kertovat minkälaisesta kaapelista tai johtimesta on kyse. Yleisesti mitä hienompijakoisia johtimia kaapeli sisältää, sen paremmin tietyin rajoituksin taivuttelua se kestää.

3.1 Parikierretty kaapeli

Parikierrettyä kaapelia käytetään yleisesti datasovelluksissa, sen hyvien häiriönsuojausominaisuuksien ansiosta. Tiedonsiirtonopeudet voivat saavuttaa jopa 40 gigaa sekunnissa 30 metrin matkalla Cat 8.2-luokan kaapelilla, kuten kuvassa viisi. Parikierretyssä kaapelissa johdinparit ovat kierretty keskenään kaapelin matkalta yhteen ja pareissa kulkee toistensa signaalien peilikuvat. Tämä minimoi ulospäin säteilevän häiriön, jotta kaapelin johdinparit eivät kärsi toisistaan yhtä paljon, kuin suorilla johtimilla. Parikaapelien eri tyypit ovat lueteltu suojaamattomasta tehokkaimmin suojattuun taulukossa 1. Parikierrettyjä kaapeleita käyttäessä tulee huomioida, että aina liittimen kohdalla kierto katkeaa. Täten turhia liitoksia olisi hyvä välttää parikierrettyä kaapelia käyttäessä.



Kuva 5. Esimerkki S/FTP-parikierretystä kaapelista. (8)

Taulukko 1. Parikaapelien tyyppimerkinnot ISO/IEC 11801:n mukaisesti (9).

Vanha lyhenne	Uusi lyhenne
UTP	U/UTP
FTP	F/UTP
STP	U/FTP
S-FTP	SF/UTP
S-STP	S/FTP

IEC 11801 mukaisessa uudessa lyhenteessä ensin ilmoitetaan kaapelin vaipan alainen suojaus, jonka jälkeen selitetään parin suojaus (9)

- S = palmikkosuojaus, yleensä kuparia tai alumiinia
- F = foliosuojaus, yleensä alumiinia

- TP = yhteen kierretty pari
- U = suojaamaton

3.2 Perinteisten asennusjohtojen ja kaapelien merkinnät

Kaapelin tyyppimerkintä kuvaa kaapelin rakennetta, ominaisuuksia, materiaaleja ja käyttökohdetta yksiselitteisellä ja yhdistetyllä tavalla. Nämä säännöt on yhdenmukaistettu ja selitetty suomenkielisessä standardissa SFS 4680. Kaapelityyppi nimetään rakenteen mukaisesti sisältä ulospäin kerroksittain noudattaen seuraavaa järjestystä

1. Johdinmateriaali
2. Puolijohtavat kerrokset, kuten johdin- ja hohtosuojat
3. Eristysmateriaali
4. Metallinen kosketussuoja
5. Metalliarmeeraus
6. Metallivaippa
7. Armeerauksen tai vaipan ulkosuoja
8. Ulkovaippa
9. Käyttötarkoitus
10. Erikoisominaisuus

Tyyppimerkinnässä on standardin SFS 4680 mukaisesti oltava esitettynä johdinten nimellispoikkipinnat (mm²) ja lukumäärät taulukon 2. mukaisesti.

Taulukko 2. Standardin SFS 4680 mukainen esitystapa johdinten lukumäärälle ja nimellis-poikkipinnoille. (10, s. 4)

Erotusmerkki	Käyttötapa
x	erottaa vaihejohtimien lukumäärän ja johtimien poikkipinta-alan (mm ²) XMK 1x300
+	erottaa kaapelissa olevan erillisen johtimen AHXAMK-W 3x185+35 Cu
/	erottaa konsentrisen johtimen poikkipinta-alan (mm ²) vaihejohtimesta MCMK 3x25/16

Johdinten kokomerkinän jälkeen voidaan esittää vaihejohtimen rakennetyyppi lisämerkinnällä taulukon 3. mukaisella tavalla.

Taulukko 3. Lisämerkintä vaihejohtimen rakennetyypille (10, s. 4)

Johdinluokka/-tyyppi	
SE	SFS-EN 60228 luokka 1, sektorimuotoinen yksilankainen (solid) johdin
SM	SFS-EN 60228 luokka 2, sektorimuotoinen muutamalankainen (stranded) johdin
RE	SFS-EN 60228 luokka 1, pyöreä yksilankainen (solid) johdin
RM	SFS-EN 60228 luokka 2, pyöreä muutamalankainen (stranded) johdin
(Harkittavana)	SFS-EN 60228 luokka 5, pyöreä hienolankainen johdin (taipuisaan käyttöön)

ESIM. 3x35/16 RM Kaapelissa on kolme kappaletta 35 mm² muutamalankaisia ja pyöreitä vaihejohtimia.

Asiat kuitenkin eivät aina mene aivan standardien mukaan, vaan Suomessa käytössä vakiintuneen tyyppimerkinät eroavat hieman standardista. (8, s. 8) Itseasiassa vakiintuneet tyyppimerkinät noudattavat jo vanhentuneita standardeja SFS 3101, SFS 3102 ja SFS 3103. Muutama esimerkki näistä vakiintuneista tyyppimerkeistä taulukossa 4.

Taulukko 4. Esimerkkejä tyyppillisesti Suomessa käytössä olevista tyyppimerkinöistä. (10, s. 6)

Tyyppimerkintä	Kuvaus
ML	yksilankainen muovieristeinen asennusjohdin
MK	muutamalankainen muovieristeinen asennusjohdin
MKEM	hienolankainen muovieristeinen kytkentäjohdin
MMKEM	hienolankainen muovieristeinen ja -vaippainen kytkentäjohdin
AHXAMK-W	täysin vesitiivis kerrattu keskijännitekaapeli
AMKA	riippukierrekaapeli

Suomessa käytössä oleva tyyppien ilmaisutapa voidaan tulkita luettavan varsinaisesta standardista poiketen ulkokerroksesta sisäänpäin. Selitykset taulukon tyyppimerkinnöille löytyvät taulukosta 5.

Taulukko 5. Kaapelien kirjaintunnukset (10, s. 14)

A	Alumiini
C	Kuparinen nolla- tai suojajohdin
D	Suojajohdin tai poimutettu korrugoitu vaippa
E	Johto poikkeaa vakiotyypistä, erikoinen
F	Litteälanka-armeeraus
H	Häiriösuoja ”hohtosuoja”, yleensä suurjännitekaapeli
J	Johto, asennusjohto
K	Kaapeli, kannatinkaapeli, kerrattu johdin
L	Lyijyvaippa, lanka, lämmityskaapeli
M	Muovieriste tai muovivaippa
N	Neopreenikumi
O	Ohjauskaapeli, öljytäyteinen kaapeli
P	Paperieristys, pyörölanka-armeerattu
PR	Pronssilankapalmikko
R	Vannerauta-armeeraus
S	Suurjännite, suojapalmikko, silioni,
T	Lämmityskaapeli, lämmönkestävä, kaksoisjohdin
V	Vulkanoitu eristys
X	Ristisilloitettu polyeteeni
Y	Yksittäisvaipattu

Näiden lisäksi halutaan ilmoittaa yleensä erikoisempien kaapelien erityistä palo-ominaisuuksista lisämerkinnöillä, joita esimerkkinä taulukossa 6.

Taulukko 6. Palokäyttötymisen lisämerkintöjä. (11, s. 14)

LS	Low Smoke: "vähän savuava, itsestään sammuva kaapeli"
LSZH	Low Smoke Zero Halogen: "vähän savuava, halogeeniton itsestään sammuva kaapeli"
HF	Halogen Free: "vähän savuava, halogeeniton nippuna itsestään sammuva kaapeli"
FR	Fire Resistant: "palonkestävä kaapeli"

3.3 Yleisimmät kaapelien eristemateriaalit

Kaapelin uloimman kuoren eli vaipan materiaalivalinta on tärkeä osa kaapelityypin valintaa, sillä vaippa ottaa vastaan suuren osan kaapeliin kohdistuvista rasitteista. Vaipan tarkoitus on myös suojata alempia kerroksia, jotta johtimet pysyvät ehyinä ja vikoja ei pääse näin aiheutumaan. Täytevaipan ja johtimien eristemateriaalit ovat yleensä valittu kaapelitoimittajan puolesta kaapelin käyttökohteen- ja tarkoituksen mukaisesti. Esimerkiksi ketjukäyttöön tarkoitetun PUR-ulkovaippaisen kaapelin eristeeksi on valittu vaikkapa joustavampaa PUR:ia, joka on elastisempaa ja sallii johtimien joustavan liikkeen kaapelin sisällä. Voidaan siis todeta merkittävimmäksi valinnaksi kaapelin vaipan materiaalin sovittaminen tarpeisiin. Liitessä 1. on taulukoituna kaapeleissa ja liittimissä käytettyjen muovimateriaalien kemikaalien kestoa tarkemmin.

3.3.1 Polyuretaani

Polyuretaani eli lyhenteeltään PUR on yksi yleisimmistä teollisuuden laitekaapelimateriaaleista. Polyuretaani on usein standardikaapelimateriaali, koska sillä on hyvin monipuoliset ominaisuudet. PUR kestää erittäin hyvin teollisuudessa yleisimmin käytettyjä kemikaaleja, kuten öljyjä, voiteluaineita ja liuottimia. Myös mekaanisilta ominaisuuksiltaan se on erinomaista ja kestää useita miljoonia taivutuskertoja, sekä omaa laajan käyttölämpötila-alueen -40 - 80 °C. Polyuretaani saavuttaa myös hyvät palo-ominaisuudet, sekä usein sopivan lisäaineistuksen ansiosta PUR on usein myös halogeenivapaata.

3.3.2 Polyvinyylidikloridi

Polyvinyylidikloridi eli lyhennettynä PVC on yleinen muovi, joka on kovaa ja halpaa materiaalia. Ftalaatteja lisäämällä siitä saadaan pehmeämpää ja kaapelikäyttöön soveltuvaa. PVC-kaapeleita on yleensä kodinelektronikankin mukana hyvien mekaanisten- ja kemiallisten ominaisuuksien, sekä huokean hinnan ansiosta. PVC ei myöskään pala helposti, mutta palaessaan vapauttaa erittäin myrkyllisiä kaasuja sen sisältämän kloorin ansiosta. PVC:tä ei myöskään ole saatavilla halogeenittomana. (12, s. 730)

3.3.3 Ristisilloitettu polyeteeni

PE-X eli ristisilloitettu polyeteeni on hyvä materiaali esimerkiksi jatkuvaan ulkokäyttöön. Se kestää erinomaisesti UV-säteilyä, matalia ja korkeita lämpötiloja nopeine muutoksineen. PE-X:illä on myös erittäin hyvä kemikaalien mm. öljyjen kesto, hyvät palo-ominaisuudet ja se on halogeeniton. (12, s. 730)

3.3.4 Polypropeeni

Polypropeeni lyhenteeltään PP on hyvä materiaali elintarviketeollisuuden kaapeleihin. Etenkin polypropeenin ja kumimaisen EPMD:n sekoite PP/EPMD on yleinen valinta elintarvike- ja lääketeollisuudessa. Polypropeenikaapelin pinta on sileää, eikä siihen pääse kerääntymään täten likaa ja bakteereita yhtä helposti, kun vaikkapa karheaan PUR-kaapeliin. Polypropeeni kestää myös erittäin hyvin laajaa skaalaa puhdistus- ja desinfiointia-aineita, sekä sitä on saatavilla halogeenittomana. (13, s. 730)

4 Yleisimmät liitintyytit

4.1 M8- ja M12-pyöröpistoliittimet

M8- ja M12-liittimet ovat saavuttaneet vakaan aseman nykyaikaisissa teollisuusautomaatiojärjestelmissä. Vaikeat ja kuormittavat olosuhteet ja ympäristökijät, kuten äärimmäiset lämpötilat, kosteus ja pöly ovat materiaaleille haitaksi ja ruokkivat korroosiota.

Tästä aiheutuu ongelmia liittäessä varsinkin, kun sähkövirtaa syötetään jatkuvasti kaapelista ruokkien korroosiota entisestään. Tästä syystä Saksassa kehitettiin vuonna 1982 pyöröpistoliitin, joka pyrki korjaamaan tätä ongelmaa IP67-luokituksineen. Tämä 7/8 tuumasilla kierteillä varustettu liitin oli M8- ja M12-liitinten edeltäjä. Ennen sen kehittämistä jouduttiin vaikeissa olosuhteissa juottamaan liitokset suoraan, taikka vaihdella liittimiä ja kaapeleita tiheään.

Vuonna 1985 Hannoverin messuilla esiteltiin M12-liitin, jossa on siis 12 mm:n kierteet. Liitin valetaan kaapeliin kiinteästi kiinni saavuttaen myös IP67-tiiveysluokituksen. Nämä ensimmäiset valmiskaapelit olivat 3- ja 4-napaisia, mutta nykyään on saatavilla jopa 17- napaisia M12-kaapeleita. Muutama vuosi M12-liittimen julkaisun jälkeen tuli markkinoille myös M8-liitin, eli kierteet olivat kahdeksan millimetriä halkaisijaltaan.



Kuva 6. M12-valmiskaapeli, jossa vasemmalla pistukka ja oikealla pistoke (13).

4.2 Moninapapistoliittimet

Moninapapistoliittimiä käytetään usein pölyisissä tai kosteissa ulko- ja tehdasolosuhteissa. Liitin koostuu useimmiten ylä- ja alakoteloista, sekä molempien koteloiden sisään

asetettavista kosketinosista, joista toinen on pistoke ja toinen pistukka. Alakotelo voi olla pinta-asennuskotelo taikka läpivientikotelo, jolla sanansa mukaisesti mennään koteloon tai seinämään leikatun leikkauksen lävitse.

Moninapapistoliittimiä halutaan käyttää niiden iskunkesto-ominaisuuksien, muunneltavuuden, luotettavuuden, helpon kenttäasennuksen ja suojausluokitusten ansiosta. Liitintyyppiä on useita eri kokoisia hieman peukaloa paksummasta jopa yli 200 liitintäpisteen järeämpiin koteloihin. Koteloihin löytyy erilaisia kosketinosia tehon, datan ja signaalin siirtoon, joka mahdollistaa moninapapistoliittimien käytön perinteisten läpivientiholkien sijasta asennusta helpottamaan.



Kuva 7. Esimerkki moninapapistoliittimestä, jossa erilaisia kosketinosia yhdistelemällä on saatu korvattua monta erillistä liitintä yhdellä moninapapistoliittimellä. (12, s. 496)

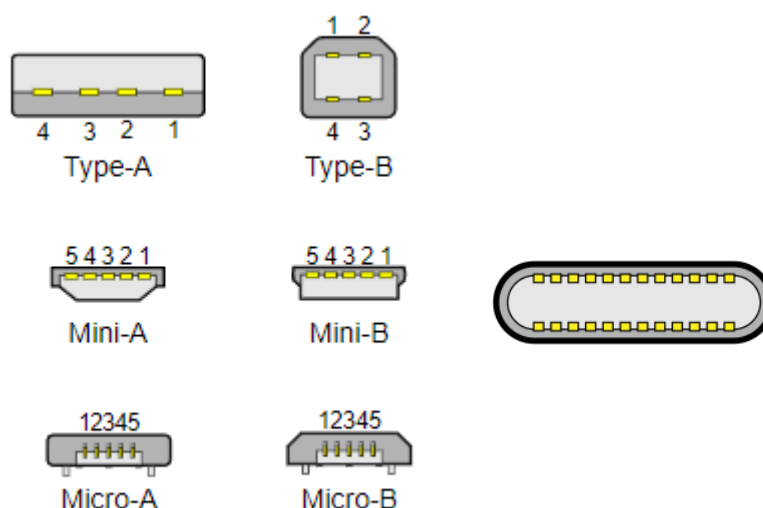
Muita yleisiä liittimiä Joskus teollisuus- ja toimistokäytössä voidaan hyödyntää samankaltaisia liittimiä, kuten RJ45- tai USB-liittimiin. Vanhaa jo tuttua teknologiaa esimerkiksi teollisuudesta on helppo ja halpa siirtää kuluttajakäyttöön, sillä tietotaito ja tekniikka on

jo olemassa pienin muutoksin. Huollon helpottamiseksi voidaan suunnitella laitteen kylkeen esimerkiksi USB-pistukka, johon voidaan helposti liittää tietokone ja suorittaa konfigurointeja tai tarkistuksia. Teollisuudessa voidaan kuitenkin joutua muokkaamaan liittimiä esimerkiksi tiiveysluokitukseltaan korkeammaksi pölyisten ja kosteiden olosuhteiden vuoksi.



Kuva 8. Suojattu teollisuusversio RJ45-liittimestä (13).

- Kahdeksannapainen 8P8C, eli "RJ45" (Ethernet Cat 5 ja 6)
- GigaGate45, eli GG45 (yhteensopiva 8P8C kanssa; Cat 7,8)
- USB-liittimet eri variaatioineen



Kuva 9. USB-liitintyyppejä, joista oikealla reunassa uusin USB-C (15).

Ethernet käyttää tyypillisesti kaapelista vain kahta paria (langat 1&2 ja 3&6) eli neljää liittimen 8:sta pinnistä. Loput ovat yleensä käyttämättä, tai niillä voidaan viedä virtaa verkkolaitteelle POE, eli Power Over Ethernet-teknologialla.

4.3 Liitântätavat

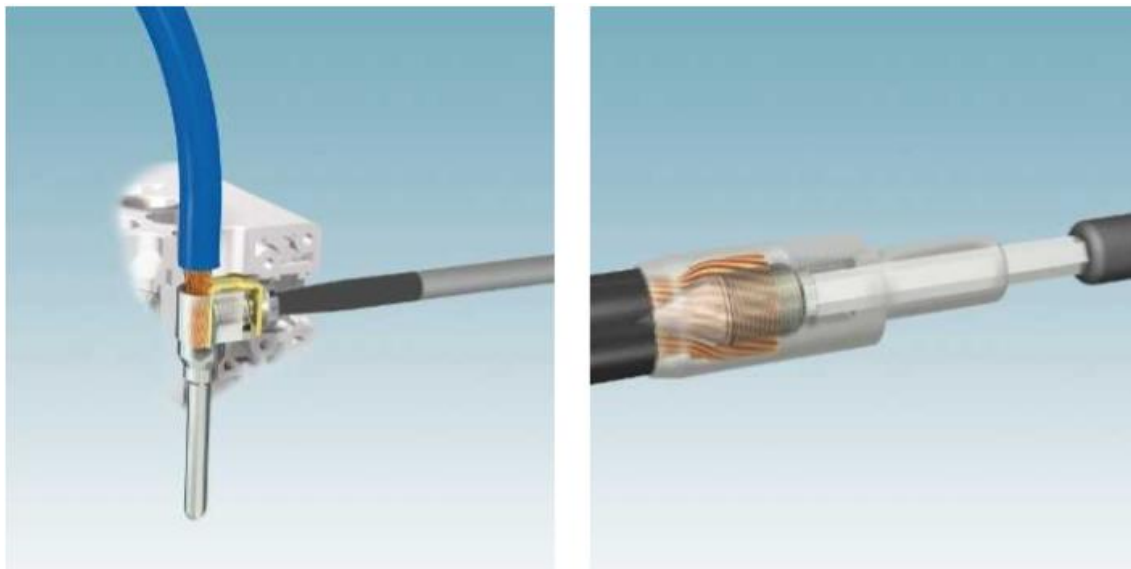
Kupari- ja alumiinikaapelin päähän liitettäessä pikaliitintä on saatavilla useita liitântätapoja, joita voidaan hyödyntää tuotannossa tai kenttäoloissa liitosrajapintoja tehdessä. Yleisesti teollisuuden laiterakennuksessa suosiossa on niin sanottujen valmiskaapelien käyttö, joissa liitin on valettu kiinteäksi osaksi kaapelin päätä. Valmiskaapeli on luotettava vaihtoehto, sillä tehtaalla koneen valmistama puristusliitos muotissa muovista valetun ulkokuoren ansiosta on tiivis ja vakaa. Liitos myös usein testataan jo tehtaalla luotettavaksi, eikä ongelmia synny jälkikäteen huonojen liitosten takia.



Kuva 10. M12-irtoliitin, jossa liitos voi olla toteutettu esimerkiksi ruuvi- tai jousivoimaisesti (16).

4.3.1 Ruuviliitos

Ruuviliitos on hyvin perinteinen liitântätekniikka, jossa johdin asetetaan pesään ja vaakasuoraan tuleva ruuvi kieritetään puristamaan johdinta vasten. Ruuvi lukitsee johtimen ja luo kontaktin. Pystyruuvia käytetään myös joskus, etenkin suuremman virran soveluksissa. Pystyruuvissa ruuvi kierretään hienosäikeisen johtimen sisään, jolloin kosketuspintaa tulee vaakaruuvia reilummin. Esimerkiksi riviliittimissä ruuvi vääntää runkoa hieman kasaan, jolloin ruuvi puristaa itsensä paikalleen estäen ruuvin avautumisen itsestään. Myös esimerkiksi M12-liittimissä liitinpesän päälle asennettava kotelo estää ruuvien itsestään löystymisen. Ruuviliittimessä hyvää on sen halpa hinta ja luotettava tekniikka, mutta huonona puolena voidaan kokea tilaa vievä ruuvi, sekä riski liitoksen aukeamisesta tärinäolosuhteissa.



Kuva 11. Vasemmalla kuvassa vaakaruuviliitos ja oikealla pystyruuvi. (12, s. 4)

4.3.2 Jousiliitos

Jousiliitos on yksi hieman uudemmistä, mutta silti erittäin luotettavaksi osoittautunut liittämätapa. Holkitettu tai holkittamaton johdin asennetaan johdinpesään, jossa jousi puristaa jatkuvasti johdinta paikalleen. Jousimekanismi vie aina hieman tilaa liittimestä verrattuna puristusliitokseen, eikä tällä tekniikalla saavuteta yleensä niin suuria virtoja kuin ruuvi- tai puristusliitoksella. Hyvänä puolena voidaan mainita esimerkiksi nopea ja helppo asennus, sekä luotettavuus hankalissa värinäolosuhteissa. Tämä johtuu siitä, että jousi on jatkuvassa puristuksessa johdinta vasten, eikä se täten pääse löystymään.



Kuva 12. Jousiliittimessä useimmiten kuparinen jousi puristaa jatkuvasti johdinta, joka tässä tapauksessa on holkitettu (12, s. 5).

4.3.3 Puristusliitos

Puristusliitos eli ”crimppaus” on varma ja vanha tapa liittää johtimia toisiinsa. Johtimen päähän puristetaan metallinen, usein hopeinen tai kultainen kontakti. Kahden johtimen välisessä liitoksessa toiseen päähän puristetaan urospinni ja toiseen johtimeen naaras-pinni. Tämä tapa mahdollistaa suuren kosketuspinnan, eikä tapa vie runsaasti tilaa liittimestä, joka mahdollistaa suuren kosketintihyden. Tapa on luotettava ja sitä käytetään usein esimerkiksi olosuhteissa, joissa esiintyy runsaasti tärinää. Huonona puolena on runsas manuaalisen työn määrä, joka aiheutuu jokaisen johtimen kuorimisesta ja sen jälkeen pihdeillä holkin puristamisesta. Tähänkin työhön on luotu automaattiset koneet, mutta niiden ollessa suhteellisen kalliita, vaatii automaattikoneen hankinta suuria puristusliitosten määriä. Automattikoneet ovatkin hyvä sijoitus esimerkiksi johdinsarjavalmistajille.



Kuva 13. Puristusliitos, jossa holkki puristetaan päästä kuorittuun johtimeen (12, s. 4).

4.3.4 Veitsiliitos

Veitsiliitoksen periaate on, että vipu tai muu mekanismi painaa liittimen sisällä niin sanottu hauenleuat johdinta vasten, jolloin terävät leuat lävistävät johtimen suojavaipan. Tällöin syntyy kontakti leukojen ja johtimien välille. Veitsiliitos on suosittu tapa esimerkiksi hienompinaisissa M12-liittimissä, jopa kahdeksan napaiseen saakka. Veitsiliitoksen hyviä puolia on, että johdinta ei tarvitse esikäsitellä esimerkiksi puristusholkilla, eikä liittämät toteuttaminen vaadi erityistyökaluja.



Kuva 14. Veitsiliitostekniikan periaate. (12, s. 95)

5 Olosuhteet ja ulkopuoliset tekijät

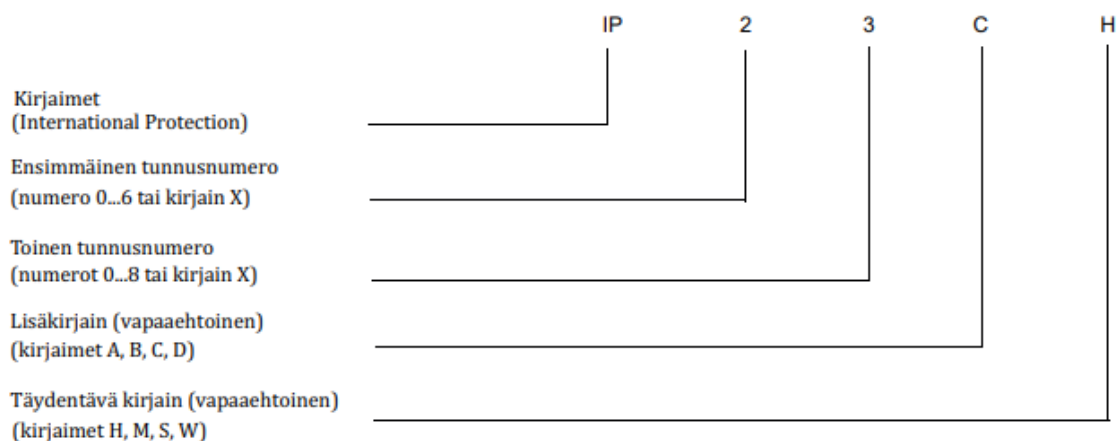
Kone- ja laiterakennuksessa sekä teollisuudessa olosuhteet voivat olla hyvinkin äärimmäiset ja huomioon tulee ottaa usein se pahin mahdollinen skenaario, johon laitteisto voi joutua. Perinteisesti teollisuusolosuhteissa voidaan kohdata seuraavia ulkopuolisia tekijöitä, joita on otettava huomioon myös kaapeloinnin suunnittelussa:

- äärimmäiset lämpötilat ja niiden korkeat vaihtelut
- runsaasti pölyä ja tomua
- vettä ja kosteutta, joskus suurellakin paineella
- värinä ja iskut mahdollisia
- mekaanien rasitus esimerkiksi kitka ja taivunta
- suuret määrät sähkömagneettista häiriötä
- kemikaalinen kuorma, kuten öljyt, rasvat, liuottimet ja

5.1 IP-luokitukset

IP-luokitus on eurooppalaisen standardin IEC 60529 (SFS-EN 60529) määrittelemä sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiveysluokitus. Yhdysvalloissa vastaava standardi on NEMA-luokitus. IP-luokitus muodostuu tunnuksesta IP, sekä kahdesta numerosta ja vapaaehtoisista kirjaimista, jotka ovat ilmaistuna kuvassa 12. Jos jotain näistä luokittelun mukaisista tunnuksista ei ole tarve ilmaista tai sitä ei ole mitattu, korvataan se kirjaimella X. Tiedot ovat tarkemmin ilmaistuna liitteessä 1. Joskus käytetään lisäksi vesisuojaustaso 9K, joka ei kuulu standardiin IEC 60529 vaan on standardin DIN 40050-9 määrittelemä lisäluokitus. Suojaustaso yhdeksän läpäisy tarkoittaa, että kotelo kestää kuumaa vettä ja höyryä läheltä ruiskutettuna.

Tiiveys määritetään siis laitesuojauksen ja henkilösuojauksen osin. Käytännössä tämä tarkoittaa laitteen kannalta, kuinka helposti vierasaineita, kuten nestettä ja pölyä pääsee laitteeseen. Henkilösuojauksen näkökulmasta taas katsotaan kuinka vaaralliset ja sähköistetyt osat on suojattu koskettamiselta. (17, s. 14)



Kuva 15. IP-koodin muodostuminen. (17, s.13.)

5.2 Sähkömagneettinen häiriö

Sähkömagneettinen häiriö on signaalia tai säteilyä, joka säteilee jostain sähkölaitteesta häiriten muiden laitteiden toimintaa ja aiheuttaa häiriötä tiedonsiirrossa, jopa estäen sähkölaitteen toiminnan täysin. Tiedonsiirrossa sähkömagneettinen häiriö voi aiheuttaa esimerkiksi virheitä arvoissa tai tiedon totaalisen katoamisen. Häiriöt voivat johtua myös virheellisistä kytkennöistä, maadoituksesta tai huonosta sähköverkosta.

Sähkömagneettisen häiriön lähteitä ovat esimerkiksi sähkömoottorit, loisteputkilamput, tietokoneet, tasasuuntaajat, virtalähteet, hissit, sähkökeskukset ja jakelukiskot ja -verkot. Sähkömagneettiselle häiriölle herkäät kaapelit, kuten datakaapelit, ovat usein häiriösuojattu armeerauksilla ja folioilla ja parikierretty. Häiriötä tiedonsiirrossa voidaan myös välttää oikeanlaisella maadoituksella, sekä pitämällä voima- ja tietoliikennekaapelit erillään. (18, s. 18)

5.3 Advanced Shielding Technology

Advanced Shielding Technology lyhennettynä AST, tarkoittaa Phoenix Contactin uutta innovatiivista häiriösuojateknologiaa valmiskaapeleille. AST:ssä kaapelin häiriösuojauspunoksesta valetaan yhtenäinen liitos metalliseoksella kaapelin liittimeen saakka. Tällä valmistusmenetelmällä saadaan vuorattua myös liitinosa täysin, joka johtaa parempaan suojaukseen. Sähkömagneettisen häiriön lisäksi sietokyky kasvaa myös mekaanisen rasituksen osalta, sillä suojaus ei pääse vaurioitumaan liikkeen johdosta, kuten perinteisellä menetelmällä toteutetussa liittimessä.

AST:n uskotaan olevan uusi standardi, johon muut pyrkivät liittimien häiriösuojauksessa tämän vakaan ja turvallisen toiminnan ansiosta. Teknologia laajenee tällä hetkellä olemassa oleviin Phoenix Contactin valmiskaapeleihin, jotka ovat häiriösuojattuja. Muutos tapahtuu perinteisestä suojauksesta AST:hen asteittain arvioilta vuoteen 2021 mennessä, sekä teknologia otetaan heti käyttöön uusiin tuotteisiin. Ensimmäisenä markkinoille saapuu valitut M12-virtakaapelit, jota seuraa M8 CAT5-luokan ja M12 CAT6_A-luokan datakaapelit.

5.3.1 Rakenne

Advanced Shielding Technologyä hyödyntävissä valmiskaapeleissa on tavallista palmikkosuojattua kaapelia, eli kaapelin muovikuoren alla olevalla metallipunoksella varustettua. Tehtaalla automatisoidussa prosessissa kaapelin, joka on esivalmisteltu kuorimalla pieni siivu metallipunosta esiin, johtimet liitetään ensin itse liittimeen. Seuraavaksi valetaan liitintä jäməköittämään muoviseoksesta suoja kaapelin ja liittimen välille. Nyt kaapeli on valmis metallivaluun, joka uppoutuu metallipunokseen ja ylettyy muovivalun yli liittimeen saakka. Näin ollen saadaan ilman epävarmoja liitoksia, irtonaisia osia ja käsityön epäonnistumismahdollisuutta yhtenäinen metallisidos suojauksen ja liittimen väliin, ilman suurta vastusta. Tämän päälle sitten valetaan vielä suojaava muoviseos, jolla voidaan taata liittimien IP67-luokitus.

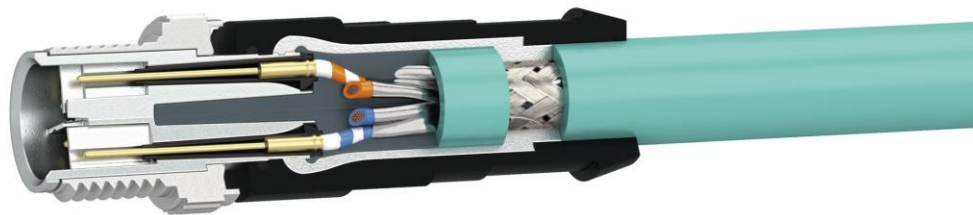


Kuva 16. Kuvassa näkyvät AST:n valmistusvaiheet (19).

5.3.2 AST:n tuomat edut

Advanced Shielding Technology tuo lisäarvoa uniikeilla ominaisuuksillaan asiakkaalle parantaen kaapelointia ja auttaen sen optimoinnissa. Muutamia ominaisuuksia ja hyötyjä listattuna:

- Liittimen häiriösuojauksen ollessa ympärivalettu, täyttää se tiukemmatkin EMC-vaatimukset ja saavuttaa matalan, alle 1mΩ impedanssin liitoksen
- Metallia valaessa pääsee juokseva metalli häiriösuojauspunoksen rakosiin tarttumaan. Näin ollen syntyy vankasti pitävä liitos, joka kestää vaativissakin mekaanisissa rasituksissa menettämättä suojauskykyään.
- Perinteiseen liitimeen nähden reilusti suurempi kontaktipinta-ala liitosten välillä lämpenee hyvin vähäisesti. Tästä on hyötyä esimerkiksi virtakaapeleissa. Samasta syystä liitos kestää suuriakin, jopa yli 5 kA oikosulkuvirtoja.
- Irtonaisten häiriösuojauskomponenttien puuttuessa voidaan käyttää joustavammin eri paksuisia kaapeleita valmistusprosessissa, joka mahdollistaa laajemman tuoteskaalan ja mahdollistaa paremman valikoiman asiakaskohtaisille valmiskaapeleille.
- Liittimistä saadaan kompaktimman kokoisia ahtaisiin paikkoihin, kun voidaan toteuttaa liittimen suojaus ohuella kerroksella metallia, erillisten irtokomponenttien sijaan.
- Luotettavampi pienen resistanssin liitos mahdollistaa turvallisesti häiriövirtojen siirron kotelon rungon kautta maihin.



Advanced Shielding Technology[®]

Designed by PHOENIX CONTACT

Kuva 17. Poikkileikkauskuvat liittimen rakenteesta (19).

5.3.3 Käyttökohteet

Advanced Shielding Technologylle uskotaan olevan ja on esiintynytkin kysyntää erityisesti teollisuuden toimijoilla. Kasvava trendi vaativan nopean tiedon- ja virransiirron, sekä teollisuusautomaation lisääntyminen pitänevät siitä huolen. AST teknologia onkin testattu jo jopa 40 Gbit/sekunti tiedonsiirtonopeuksilla. Häiriösuojattuja kaapeleita myydään jo tällä hetkellä hyvin laajoille markkinoille, joten markkinat myös ovat oletettavasti laajat.

Merkittävimmät käyttökohteet häiriösuojatuille kaapeleille ovat yleisesti ottaen kone- ja laiterakennus, sekä vastaavat järjestelmät, jotka vaativat suojattuja kaapeleita signaalin, datan ja virransiirrossa. Yleisimpiä esimerkkejä näistä ja tavoitemarkkinoita AST:lle ovat:

- Raideliikenne ja sen kulkuneuvot
- Teollisuuslaitteet ja koneet
- Moottorit

- Teollisuuden ajoneuvot ja työkoneet
- Tuuli-/voimateollisuus
- Auto- ja tieliikenneteollisuus

5.4 Mekaaninen rasitus

Kaapeloinnissa tulee ottaa huomioon myös, millaista mekaanista rasitusta loppukäyttökohteessa on. Se voi olla esimerkiksi jatkuvaa taivuttelua roboteissa, iskut, yliajaminen, pienet taivutussäteet taikka jatkuva veto. Nämä on otettava huomioon johdin- ja liittintyyppiä valittaessa, sekä johtimen, liittimen ja kaapelin materiaalivalinnassa.

5.5 Kemiallinen rasitus

Kemikaalit ovat myös suuri uhka toimivalle kaapeloinnille. On hyvä selvittää etukäteen ympäristön asettamia rasitteita ja peilattava niitä materiaalivalintaan, johon saa apua esimerkiksi liitteen 2. taulukosta. Vaikeaa materiaalivalinnasta tekee olosuhteet, jossa ei etukäteen tiedetä kohdistuvien aineiden koostumusta. Jos mahdollista on hyvä kokeilla laboratoriossa etukäteen käytettävien materiaalien ja käyttökohteessa olevien kemikaalien yhteensopivuutta.

6 Yhteenveto

Pyrkimys oli tuottaa aloitteleville sähkötekniikan suunnittelijoille, myyjille ja opiskelijoille tietopaketti teollisuuden kone- ja laiterakennuksen sekä laitosten kaapeli- ja liittinvaihtoehtoista. Ajatus että kaapeli on vain kaapeli, eikä sillä ole väliä on väärä. Väärillä kaapeleilla voidaan pilata muuten hyvä kokonaisuus, sekä alentaa luotettavuutta toimittajana.

Tekstissä esitetään mihin kaapeleita tarvitaan, miten tulkita tarjolla olevia vaihtoehtoja, millaisia kaapeleja on ja mitä niiden päihin voidaan liittää. Työssä ei ollut tarkoituskaan tarjota suoria ratkaisuja lukijalle, vaan auttaa häntä tulkitsemaan tarjontaa ja tekemään itse parhaat mahdolliset valinnat, koska ei ole yhtä oikeaa ratkaisua valintojen suhteen.

Oppaan seuraava kehitysvaihe voisi olla yksityiskohtaisten käytännön esimerkkien lisääminen, sekä aitojen ongelmien ja käyttökohteiden kuvaaminen ratkaisuihin.

Lähteet

- 1 Phoenix Contact. 2020. Verkkoaineisto. <www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/fifi/web/corporate/company/subcategory_pages/Phoenix_Contact_finland/d952b3ac-c777-4b57-b094-9c099e807b02> Luettu 20.12.2019.
- 2 Digital Signal. 2019. Verkkoaineisto. Chegg Study. <www.chegg.com/homework-help/definitions/digital-signal-4> Luettu 12.12.2019.
- 3 ELEC-C1210. 2014. Automaation kenttäväylät. Tampereen Teknillinen korkeakoulu
- 4 As-Interface. 2019. Verkkoaineisto. AS-International. <www.as-interface.net> Luettu 20.12.2019.
- 5 Automaation tietoliikennetekniikkaa. 2000. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. ABB Oy.
- 6 Ohjelmoitava logiikka. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmoitava_logiikka> Luettu 12.12.2019.
- 7 SFS 3714. Ohjauskaapelit. PVC-eristeinen ja PVC-vaippainen ohjauskaapeli MMO, MKMO. 2000. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 8 Tuote 1417359. 2019. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. <www.phoenixcontact.com/fi/products/1417359> Luettu 20.12.2019.
- 9 Parikaapeli. 2007. Verkkoaineisto. Olli Haikarainen. <www.ideaport.edu.hel.fi/opa/tietoliikenne/tietoliik_per1/parikaapeli> Luettu 01.12.2019.
- 10 SFS 4680. Energiakaapelit. Voima- ja asennuskaapeleiden tyyppimerkinnot. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 Teleasennusopas. 2001. Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry.
- 12 Sensor/actuator cabling and connectors. 2019. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. <www.phoenixcontact.com/assets/2018/interactive_ed/101_141309/index.html#0> Luettu 15.12.2019.

13 Tuote 1500907. 2019. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. <www.phoenixcontact.com/fi/products/1500907>

14 Tuote 1421607. 2019. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. <www.phoenixcontact.com/fi/products/1421607>

15 USB. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/USB>> Luettu 12.12.2019.

16 Tuote 1424657. 2019. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. <www.phoenixcontact.com/fi/products/1424657>

17 SFS-EN 60529/A2 Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

18 SFS 6000-4-44. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

19 Advanced Shielding Technology. 2019. Verkkoaineisto. Phoenix Contact. <www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/fifi/web/main/products/technology_pages/subcategory_pages/Advanced_shielding_technology_technique/57cd177e-18ba-4d90-a20c-4a4740fafbce>

Muovien kemiallinen kesto (10, s. 732)

Resistance to chemicals

- Not resistant
0 Moderately resistant
+ Good resistance

Chemicals	Plastics																	
	Concentration in %	Temperature in °C	PA 66 / PA 6	PA 66 GF	PA 46 GF	PC GF	POM	NBR	PP	EPDM	PBT	PUR	PUR irradiated*	PVC-P (soft)	PE-LD	TPU	FPM (Viton)	CR (neoprene)
Acetaldehyde			0	0	0	-	0	-	-	0	0	+	+	+	-	0	-	0
Acetone		20	+	+	+	0	0	-	+	+	0	0	0	+	+	-	-	0
Acetate			+	+	+	0	0	-	+	+	0	+	+	+	+	-	-	0
Acetophenone			+	+	+	0	0	-	+	+	0	+	+	-	-	-	-	0
Aldehyde			0	0	0	0	0	-	-	0	0	+	+	+	0	-	0	0
Formic acid			-	-	0	0	+	-	-	+	+	+	+	-	-	0	0	+
Amines			+	+	+	+	0	0	-	-	+	+	+	+	0	-	0	+
Alcohols			0	0	0	0	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+
Ammonia		10 20	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+
Benzaldehyde			0	0	0	-	0	-	0	-	0	+	+	+	0	0	-	0
Gasoline		20	+	+	+	0	+	0	0	-	+	+	+	-	-	-	-	0
Benzol		50	+	+	+	+	0	-	0	-	0	0	0	-	-	-	-	0
Benzophenone		20	+	+	+	0	0	-	+	0	0	+	+	-	-	-	-	+
Boric acid		100 20	0	0	0	0	+	+	+	+	0	0	0	0	+	+	+	+
Brake fluid		100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	0	-	-
Butyric acid			-	-	0	0	+	0	+	+	+	+	+	+	-	-	0	0
Cyclohexanone			+	+	+	0	0	-	-	+	0	0	+	-	-	-	-	-
Diesel oil			+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+
Diethylamine			+	+	+	-	0	-	-	0	+	+	+	+	+	-	-	-
Dimethylamine			+	+	+	-	0	-	-	0	+	+	+	+	+	0	-	-
Glacial acetic acid		50	-	-	-	-	-	-	0	+	-	-	-	-	+	-	-	-
Acetic acid		20	-	-	0	0	+	-	-	+	+	+	+	0	0	+	-	0
Esters			+	+	+	0	-	-	-	0	+	+	+	-	-	+	-	-
Ethanol			0	0	0	0	+	0	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Ether			+	+	+	-	0	-	-	0	0	+	+	+	+	+	+	+
Greases			+	+	+	+	+	+	0	0				0	+	+	+	+
Formaldehyde			0	0	0	-	0	-	0	0	+	+	+	+	0	0	+	0
Gear oil		100	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+
Halogens (fluorine, chlorine, bromine, iodine)			-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Hydraulic oil		20	+	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-
Potassium hydroxide solution			+	+	+	-	0	+	+	-	+	+	+	+	+	0	+	+
Kerosene		20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	-	+	+
Ketenes			+	+	+	0	0	-	+	0	0	+	+	-	-	-	-	-
Hydrocarbons, aliphatic			+	+	+	+	+	0	0	0	+	+	+	-	-	+	+	-
Hydrocarbons, aromatic			+	+	+	0	-	0	0	0	0	+	+	-	-	-	-	+
Hydrocarbons, chlorinated			0	0	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	+	-
Hydrocarbons, unsaturated chlorinated			0	0	0	+	+	-	-	0	0	0	0	-	-	-	+	-
Fuels			+	+	+	0	+	0	0	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Alkalis, weak			+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	0
Alkalis, strong			0	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	0	0	-	-
Inorganic salt solutions			+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Machine oil			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	-	-	-
Metal chloride			+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Metal sulfate			+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Metal nitrate			+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Methanol			0	0	0	0	+	0	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
Methylamine			+	+	+	-	0	-	-	0	+	+	+	+	+	0	0	-
Lactic acid		10 20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Mineral oil			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Motor oil		120	+	+	+	0	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-
Sodium hydroxide solution		50 50	0	0	0	-	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0
Nitrobenzene			0	0	0	-	0	-	0	0	+	-	-	-	0	+	0	-
Ozone			0	0	0	-	0	-	+	+	+	0	0	+	+	0	+	-
Propyl alcohol			0	0	0	0	+	0	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Nitric acid		30 20	-	0	-	0	-	-	+	0	0	0	0	-	+	-	+	-
Hydrochloric acid			20	-	0	-	-	0	+	0	0	-	-	-	+	0	+	0
Sulfuric acid		50 50	-	0	-	0	-	-	-	+	+	-	0	0	+	0	+	+
Salt water			20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Turpentine			0	0	0	-	+	-	-	+	-	0	0	-	-	-	-	-
UV resistance			+	+	+	0	0	-	-	-	+	+	+	0	0	+	+	+
Detergent alkalis		2 100	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Water (dist.)			20															
Water, cold			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Water, hot			-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	0	+	0
Citric acid		10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

* The irradiated PUR version is generally more resistant than the non-irradiated version. This cannot be quantified and must be checked in individual cases.
The information in the table has been gathered from the recommendations of our plastic suppliers.
Since individual operating conditions can also affect the usability of each product, this information should be used as a guide only.
For applications where no prior experience exists, we recommend that the user carries out preliminary tests.

IP-luokitukset (15, s. 1)

Osat	Numerot tai kirjaimet	Merkitys laitesuojauksessa	Merkitys henkilösuojauksessa	Viite
Kirjaimet	IP	-	-	-
Ensimmäinen tunnusnumero	0 1 2 3 4 5 6	Suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänkäymältä (suojaamaton) Kun halkaisija ≥ 50 mm Kun halkaisija $\geq 12,5$ mm Kun halkaisija $\geq 2,5$ mm Kun halkaisija $\geq 1,0$ mm pölysuojatusti pölytiivisti	Vaaralliset osat suojattu koskettamiselta (suojaamaton) nyrkiltä sormelta työkalulta langalta langalta langalta	Kohta 5
Toinen tunnusnumero	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Suojattu veden sisäänkäymän haitalliselta vaikutukselta (suojaamaton) pystysuoraan tippuvalta vedeltä tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus 15°) satavalta vedeltä roiskuvalta vedeltä vesisuihkulta voimakkaalta vesisuihkulta lyhytaikaiselta upotukselta jatkuvalta upotukselta	-	Kohta 6
Lisäkirjain (vapaaehtoinen)	A B C D	-	Vaaralliset osat suojattu koskettamiselta nyrkiltä sormelta työkalulta langalta	Kohta 7
Täydentävä kirjain (vapaaehtoinen)	H M S W	Täydentävän tiedon merkitys Suurjännitelaitte Vesisuojaus testattu laitteen ollessa käynnissä Vesisuojaus testattu laitteen ollessa pysähdyksissä Laitte on testattu erityisiin sääoloihin	-	Kohta 8