

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Piia Ripatti

VOIMALAITOSALUEEN MAAKAAPELOINNIN SELVITYS JA OH-
JEISTUS

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2014
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. 013 260 6800

Tekijä
Piia Ripatti

Nimeke
Voimalaitosalueen maakaapeloinnin selvitys ja ohjeistus

Toimeksiantaja
Fortum Power and Heat Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä käsitellään maakaapelointia, kaapelitutkausta ja lyhyesti sähköasennusten dokumentoinnin vaatimuksia. Toimeksiantona oli laatia Fortumin Joensuun voimalaitokselle maakaapeloinnin ohjeistus ja piirtää aluekaapeloinnin sijaintipiirustus.

Rakentamisen ja vuosihuoltojen aikana voimalaitosalueella työskentelee oman kunnossapidon lisäksi urakoitsijoita maansiirto-, rakennus-, sähkö- ja kunnossapitotöissä. Esiin oli noussut tarve yhtenäiselle maakaapeloinnin ohjeistukselle. Toisena tarpeena oli aluekaapeloinnin kokonaisuuden selvitys ja sähköisen aluekaapeloinnin sijaintikuvan piirtäminen. Maakaapelireittejä oli monessa eri sähköpiirustuksessa, joista suurin osa oli vain muutoksia ja lisäyksiä sisältävinä paperiversioina.

Ohjeistukseen kerättiin sähköturvallisuuslain sekä asennusstandardien vaatimukset ja suositukset maakaapelien asennuksesta ja suojauksesta. Voimalaitoksen omat ohjeet ja käytännöt yhdistettiin vaatimusten kanssa ja niistä muokattiin lyhyt ja helposti luettava kokonaisuus.

Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus piirrettiin CADS-suunnitteluohjelmalla. Järjestelmät jaettiin omille tasoilleen, jotta tarvittaessa ne saadaan näkyviin erikseen. Piirustusta varten alueen kaapelireitit selvitettiin kaapelitutkan avulla.

Opinnäytetyö ei tarjoa uutta tietoa aiheesta, mutta kokoaa maakaapelointiin liittyvät vaatimukset, suositukset ja ohjeet yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Kieli
suomi

Sivuja 59
Liitteet 9
Liitesivumäärä 27

Asiasanat
maakaapeli, sähköpiirustus, sijaintipiirustus, kaapelitutka



THESIS
May 2014
Degree Programme in Electrical Engineering
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 260 6800

Author
Piia Ripatti

Title
Account and Instructions of Underground Cables for a Power Plant Area

Commissioned by
Fortum Power and Heat Oy

Abstract

This thesis discusses underground cables, cable detectors and the requirements for documentation of electrical installations. The project was to collect instructions of underground cables and draw an arrangement drawing of underground cables.

During construction and yearly servicing several contractors work in the power plant. They do for example earth moving, construction work, electrical installations and maintenance work. Consequently, there was a need for consistent instructions. Secondly, there was a need for an account and the new arrangement drawing of underground cables. The old arrangement drawings included several changes and increases and they were only available on paper.

The requirements and recommendations of underground cables by law of electrical safety and installation standards were collected in the instructions. The practices of the power plant were joined with these requirements and recommendations and they were revised to form a coherent whole.

The arrangement drawing of underground cables was drawn with CADs engineering software. The electric systems were divided on their own levels. In that case only one level can be viewed at a time. Cable routes were worked out with a cable detector.

The thesis does not include new knowledge of the theme, but it collects requirements, recommendations and instructions of install the underground cables and form a coherent whole.

Language
Finnish

Pages 59
Appendices 9
Pages of Appendices 27

Keywords
underground cable, electrical drawing, arrangement drawing, cable detector

Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Fortum Power and Heat Oy, Joensuun voimalaitos	7
3	Maakaapelointi	9
3.1	Maakaapelin mitoitus	10
3.1.1	Kuormitettavuus	10
3.1.2	Ylivirtasuojaus	15
3.1.3	Syötön automaattinen poiskytkentä	18
3.1.4	Jännitteenalenema	19
3.2	Muut kaapelit ja putket.....	21
3.3	Maakaapelin valinta	22
3.4	Kaapelikelat.....	23
3.5	Maakaapelin käsittely.....	23
3.5.1	Asennuslämpötila.....	24
3.5.2	Taivutussäteet.....	24
3.6	Asennussyvyys ja suojaaminen.....	24
3.7	Maakaapelin suojat.....	26
3.8	Maakaapeli ja yleiset tiet.....	28
3.9	Maakaapeli ja rautatiet	28
3.10	Kaapelioja	29
3.11	Kaapelinveto	29
3.12	Liitokset	31
3.13	Maakaapelin tarkastukset.....	32
3.14	Maakaapelin merkitseminen	33
3.15	Tilapäinen maakaapeli	33
3.16	Suurjännitemaakaapeli	34
4	Sähköasennusten dokumentointi	37
4.1	Kaaviot	38
4.2	Piirustukset.....	40
4.3	Taulukot ja diagrammit	41
5	Maakaapelitutkaus	41
5.1	Easyloc-kaapelitutka	42
5.1.1	Etsiminen lähettimen avulla.....	43
5.1.2	Etsiminen ilman lähetintä.....	46
5.2	PJT-11 -kaapelitutka	46
6	Maakaapeloinnin ohjeistus	48
7	Aluekaapeloinnin selvitys ja sijaintipiirustus.....	48
7.1	Vanhat piirustukset.....	48
7.2	Kaapelireittien tutkaus	49
7.3	Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus.....	51
8	Pohdinta.....	56
	Lopuksi.....	57
	Lähteet.....	58

Liitteet

Liite 1	Referenssiasennustavat
Liite 2	Kuormitettavuustaulukot
Liite 3	Oikosulkuvirtataulukot suojalaitteille
Liite 4	Esimerkkikaapeleita
Liite 5	Käyttöönottotarkastuspöytäkirjan esimerkki
Liite 6	Esimerkkikaavioita ja -piirustuksia
Liite 7	Maakaapeloinnin ohjeistus Joensuun voimalaitokselle
Liite 8	Voimalaitosalueen vanhoja aluekaapelipiirustuksia
Liite 9	Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus Joensuun voimalaitokselle

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Fortum Power and Heat Oy ja kohteena Joensuun voimalaitosalueen maakaapelointi. Työn tavoitteena oli tehdä maakaapeloinnin ohjeistus, selvittää maakaapelireitit ja piirtää sähköisessä muodossa oleva aluekaapeloinnin sijaintipiirustus voimalaitosalueelle.

Rakentamisen ja vuosihuoltojen aikana voimalaitosalueella työskentelee oman kunnossapidon lisäksi ulkopuolisia urakoitsijoita maansiirto-, rakennus-, sähkö- ja kunnossapitotöissä. Esiin oli noussut tarve yhtenäisestä maakaapeloinnin ohjeistuksesta. Toisena tarpeena oli aluekaapeloinnin kokonaisuuden selvitys ja sähköisen aluekaapeloinnin sijaintikuvan piirtäminen. Maakaapelireittejä oli monessa eri sähköpiirustuksessa, joista suurin osa oli vain muutoksia ja lisäyksiä sisältävinä paperiversioina.

Ohjeistukseen kerättiin sähköturvallisuuslain sekä asennusstandardien vaatimukset ja suositukset maakaapelien asennuksesta ja suojauksesta. Voimalaitoksen omat ohjeet ja käytännöt yhdistettiin vaatimusten kanssa ja ne muokattiin lyhyeksi ja helposti luettavaksi kokonaisuudeksi.

Kaapelireittien selvitys tehtiin voimalaitos-, biolämpölaitos- ja polttoaineen vastaanottoalueelta. Bioöljylaitos, öljyn varastointialue ja raaka-aineen käsittelyalue jätettiin selvityksen ulkopuolelle, koska alueesta on valmistumassa urakoitsijan toimesta luovutuspiirustukset. Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus voidaan päivittää niiden mukaan.

Kaapelireittien sijainnit tarkastettiin vanhojen sähkökuvien ja kaapelitutkan avulla. Sijaintipiirustus piirrettiin CADS-suunnitteluohjelmalla valmiiseen asemakaavakuvaan. Kaapeleita jaettiin eri tasoille, jotta tarvittaessa järjestelmät saadaan erikseen näkyviin.

2 Fortum Power and Heat Oy, Joensuun voimalaitos

Joensuun voimalaitos on 1986 käyttöönotettu sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos¹. Voimalaitoksen kattila muutettiin vuonna 2000 polttotekniikaltaan leijukerroskattilaksi. Voimalaitoksen sähköteho on 50 megawattia ja kaukolämpöteho 110 megawattia. Voimalaitoksessa poltetaan puuta ja turvetta, sekä pieniä määriä biokaasua. [1.] Kuvassa 1 on voimalaitos ylhäältä kuvattuna ja polttoaineen vastaanottoalue näkyy kuvassa 2.



Kuva 1. Voimalaitos [2]



Kuva 2. Polttoaineen vastaanottoalue [2]

¹ Sähkön ja lämmön yhteistuotanto = CHP, Compined Heat and Power

Vuonna 2009 voimalaitoksen viereen valmistui biolämpölaitos (kuva 3), joka on kaukolämpöteholtaan 30 megawattia. Biolämpölaitoksen polttoaineena käytetään metsähaketta. [1.]



Kuva 3. Biolämpölaitos kuvassa keskellä [2]

Voimalaitokseen integroitu bioöljylaitos (kuva 4) otettiin käyttöön syksyllä 2013. Laitoksen vuosituotannoksi on ilmoitettu 50 000 tonnia bioöljyä. Valmistus tapahtuu nopeapyrolyysitekniikalla ja bioöljyn raaka-aineena käytetään metsähaketta ja muuta puubiomassaa. Bioöljyä käytetään korvaamaan raskasta ja kevyttä polttoöljyä. [3.] Biolämpölaitoksen viereen on rakennettu pyrolyysiöljyä polttoaineena käyttävä lämpölaitos, jonka kaukolämpöteho on 10 megawattia. Lämpölaitos on käyttöönottoaiheessa. [4.]



Kuva 4. Bioöljylaitos [2]

3 Maakaapelointi

Maakaapeli on maahan asennettava kaapeli. Maakaapeleita käytetään pien- ja suurjännitteellä sähkösyötöissä ja sähkönsiirrossa. Esimerkiksi taajamissa katuvalokaapeleina ja rakennusten syöttökaapeleina sekä kotitalouksissa pihavalalaistusten, autolämmityspistorasioiden ja piharakennusten syötöissä käytetään maakaapeleita. Maakaapelilla asennuksesta saadaan esteettinen, ja sää- ja luonnonilmiöt aiheuttavat vähemmän ongelmia kuin esimerkiksi avolinjoilla.

Sähkön laatu kuuluu osana sähköverkkoliiketoiminnan sääntelyä Suomessa. Sähkön laatua mitataan jännitteen laadun ja verkon käyttövarmuuden perusteella. Verkkoyhtiöiden kannattaa pyrkiä pitämään käyttövarmuus hyvänä, koska se vaikuttaa tehokkuusmittauksen kautta yhtiön sallittuun tuottoon ja liikevaihtoon. Keskijänniteverkon (1–70 kV) maakaapelointiaste on tehokkuusmittauksen yksi tekijä, mikä vaikuttaa samalla myös verkon käyttövarmuuteen positiivisesti. [5, s. 59–60, 64–68, 71.] Koko keskijänniteverkon maakaapelointiaste vuonna 2012 oli 13,2 %. josta kaupunkialueella 65,5 %, taajamassa 12,6 % ja haja-asutusalueella 3,2 %. [6, s. 38.]

Maakaapelin asentaminen on aina sähkötyötä, josta sähkötöiden johtaja on vastuussa [7, s. 104–105]. Kuten kaikissa sähköasennuksissa, on maakaapeloinnissakin noudatettava sähköturvallisuuslakia, -asetuksia ja -määräyksiä, standardeja ja lisäksi kaapelin valmistajan ohjeita.

3.1 Maakaapelin mitoitus

Maakaapelin valinnassa ja poikkipinta-alan mitoituksessa otetaan huomioon kaapelin kuormitettavuus, jännitehäviöt, suojauksen toimivuus, oikosulkukestoisuus ja taloudellisuus [8, s. 216]. Taloudellinen mitoitus ottaa kaapelin koko elinkaaren aikaiset hankinta-, kunnossapito- ja käyttökustannukset huomioon. Minimivaatimukset täyttävä kaapeli ei välttämättä ole kokonaiskustannuksiltaan edullisin. Poikkipinnaltaan yleisimmin käytettyjä kaapelityyppejä kutsutaan suosituimmuuskaapeleiksi. Niiden etuna on hyvä saatavuus ja nopeat toimitusajat. Käyttämällä suosituimmuuskaapeleita voidaan saada säästöjä esimerkiksi toimitusaikojen lyhenemisen sekä varastointi- ja käsittelykustannusten pienenemisen ansiosta. [9, s. 1.]

3.1.1 Kuormitettavuus

Kaapelin kuormitettavuus määräytyy kaapelin eristeaineen ja johtimen tai vaipan suurimman sallitun lämpötilan mukaan (taulukko 1) [10, s. 222]. Lisäksi kuormitettavuutta määriteltäessä huomioidaan kaapelin asennustapa, johdinmateriaali, ympäristön lämpötila, maa-aines ja muiden virtapiirien läheisyys [11, s. 43].

Taulukko 1. Eristeaineiden sallitut käyttölämpötilat [10, s. 222]

Eristyksen laji	Suurin sallittu lämpötila (°C)
Termoplastinen, Polyvinyylidikloridi PVC	70 (johtimessa)
Silloitettu polyeteeni PEX ja eteenipropeenikumi EPR	90 (johtimessa)
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 (vaipassa)
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa, ei kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 (vaipassa)

Kaapelin kuormitettavuus normaaleissa olosuhteissa saadaan kuormitettavuustaulukoista. Taulukoiden arvot on ilmoitettu Suomessa käytettyjen lämpötilojen (ilmassa 25 °C, maassa 15 °C) ja maan lämpöresistiivisyyden (1,0 K*m/W) mukaan. Todellista kuormitettavuutta laskettaessa käytetään apuna korjauskertoimia, jotka ottavat huomioon ympäristön olosuhteet ja muut virtapiirit. [11, s. 44–46.]

Todellisen kuormitettavuuden määrittelemisen maakaapelille aloitetaan etsimällä kuormitettavuustaulukoista kaapelin eristyksen ja referenssiasennustavan mukainen kuormitettavuus [11, s. 46], joka on määritetty testaamalla tai laskemalla. Kuormitettavuustaulukoiden arvot on tarkoitettu kaapeleille, jotka on asennettu suoraan maahan. Suojaputkeen asennetuille kaapeleille voi olla tarpeen käyttää pienempiä kuormitettavuuksia. [10, s. 242, 239.] Standardin SFS 6000 mukainen maakaapelin referenssiasennustapa on D ja sen määritelmä kuuluu: ”Kaapeli on asennettu suoraan maahan tai muoviseen, keeramiseen tai metalliseen putkeen, joka on suoraan yhteydessä maahan, jonka lämpöresistiivisyys on 1,0 K*m/W ja asennussyvyys 0,7 m.” [10, s. 243.] Taulukossa 2 on esitetty kuormitettavuudet referenssiasennustavalle D.

Standardin SFS 6000 mukaiset referenssiasennustavat on esitetty liitteessä 1 ja kuormitettavuustaulukot liitteessä 2.

Taulukko 2. Kuormitettavuudet asennustavalle D [10, s. 245–246]

Referenssiasennustapa D, kolme kuormitettua kupari- tai alumiinijohdinta PVC -eristeisten johtimen lämpötila: 70 °C PEX- tai EPR -eristeisten johtimen lämpötila: ilmassa 90 °C, maassa 65 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C ilmassa, 15 °C maassa	
Johtimen nimellinen poikkipinta-ala (mm ²)	Kuormitettavuus (A)
Kupari	
1,5	26
2,5	35
4	46
6	57
10	77
16	100
25	130
35	160
50	190
70	240
95	285
120	325
150	370
185	420
240	480
300	550
Alumiini	
16	78
25	100
35	125
50	150
70	185
95	220
120	255
150	280
185	330
240	375
300	430

Kaapelille määritellään korjauskertoimet ympäristön ja asennuksen mukaan.

- Jos kaapelia ympäröivän maan lämpötila poikkeaa normaalista lämpötilasta, määritellään korjauskerroin taulukon 3 mukaan [10, s. 240].
- Suomessa käytettävä lämpöresistiivisyyden perusarvo vastaa puolikuivan saven ja kostean soran arvoja. Maa-aineksen todellisen lämpöresistiivisyyden ollessa perusarvoa suurempi käytetään taulukon 4 mukaista korjauskerrointa. Maa-aineksien lämpöresistiivisyysarvot on esitetty taulukossa 5 (standardissa IEC 60364-5-52 maan lämpöresistiivisyytenä käytetään 2,5 K*m/W, joka on turvallinen arvo koko maailmassa). [10, s. 240, 243.]

- Taulukkoa 6 käytetään, kun ryhmässä on muita kaapeleita ja ne on asennettu suoraan maahan, ja taulukkoa 7, kun kaapelit ovat maassa olevissa vierekkäisissä putkissa [10, s. 254].
- Tilanteessa, jossa kolmivaiheisen kaapelin nollajohtimessa kulkee huomattava harmonisten yliaaltojen aiheuttama virta, käytetään taulukon 8 mukaisia korjauskertoimia [10, s. 259].
- Kun asennussyvyys poikkeaa suositellusta 0,7 metristä, käytetään taulukossa 9 esitettyjä korjauskertoimia [12, s. 303].
- Jos samassa putkessa on useampi kaapeli, käytetään taulukon 10 mukaisia korjauskertoimia. Taulukon kertoimet soveltuvat samanlaisille ja samalla tavalla kuormitetuille kaapeleille. [10, s. 253.]

Todellinen kuormitettavuus kaapelille saadaan kertomalla taulukkoarvo korjauskertoimien tulolla [11, s. 55].

Taulukko 3. Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan [11, s. 53]

Maan lämpötila (°C)	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
0	1,13	1,10
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1,00	1,00
20	0,95	0,96
25	0,90	0,93
30	0,85	0,89

Taulukko 4. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan [11, s. 54]

Lämpöresistiivisyys (K*m/W)	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korjauskerroin	1,1	1,0	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

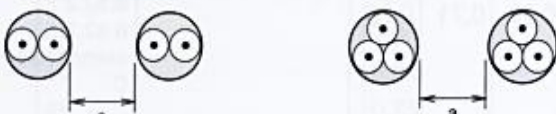
Taulukko 5. Maan lämpöresistiivisyyden arvoja [11, s. 54]

Maalaji	Lämpöresistiivisyys (K*m/W)
Kuiva hiekka (kosteus 0 %)	3,0
Kuiva sora tai savi	1,5
Puolikuiva sora, suomuta ja hiekka (kosteus 10 %)	1,2
Puolikuiva savi ja kostea sora	1,0
Kostea savi ja hiekka (kosteus 25 %)	0,7

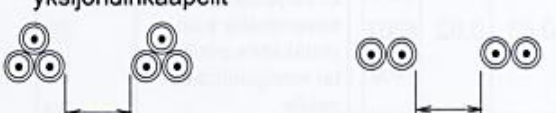
Taulukko 6. Korjauskertoimet maahan asennetuille kaapeleille [10, s. 254]

Kaapelien välinen etäisyys a (mm)	Vierekkäisten kolmijohdinkaapelien tai yksijohdinkaapeliryhmien lukumäärä						
	2	3	4	5	6	8	10
	Korjauskerroin						
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

* Monijohdinkaapelit

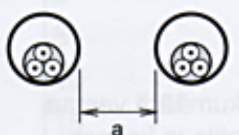


* yksijohdinkaapelit



Taulukko 7. Korjauskertoimet maassa oleviin putkiin asennetuille kaapeleille [10, s. 254]

Putkien välinen etäisyys a (mm)	Vierekkäisten putkien lukumäärä							
	1	2	3	4	5	6	8	10
	Korjauskerroin							
0	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
70		0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55
250		0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65



Taulukko 8. Yliaalloista johtuvat 4- tai 5-johdinkaapelien korjauskertoimet [10, s. 260]

Kolmannen yliaallon osuus vaihevirrasta (%)	Korjauskerroin	
	Mitoitus tehdään vaihevirran perusteella	Mitoitus tehdään nollajohdintimen virran perusteella
0-15	1,0	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0,86
> 45	-	1,0

Taulukko 9. Asennussyvyydestä johtuvat korjauskertoimet [12, s. 303]

Nimellisjännite (kV)	Asennussyvyys (m)				
	0,50-0,70	0,71-0,90	0,91-1,10	1,11-1,30	1,31-1,50
	Korjauskerroin				
≤ 1	1,00	0,97	0,95	0,93	0,92
> 1-20	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95

Taulukko 10. Korjauskertoimet useiden kaapelien ryhmille [10, s. 253]

Kaapelit nipussa upotettuna											
Piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
Korjauskerroin											
1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38

Esimerkki kaapelin todellisen kuormitettavuuden määrittämisestä:

Asennetaan suoraan kuivaan soramaahan 0,7 metrin syvyyteen AXMK 4 x 25S -kaapeli. Maan lämpötila on 20 °C. Kaapeliojassa on kaksi muuta kaapelia ja ne ovat kiinni toisissaan.

- Kuivan soramaan lämpöresistiivisyys on taulukon 5 mukaan 1,5 K*m/W, joten taulukosta 4 saadaan korjauskertoimeksi 0,85.
- Taulukosta 3 saadaan maan lämpötilan korjauskertoimeksi 0,96, koska AXMK-kaapeli on PEX-eristeinen.
- Muiden kaapelien korjauskerroin, 0,69, saadaan taulukosta 6.
- Kuormitettavuuden korjauskerroin on $0,85 * 0,96 * 0,69 = 0,56304$.
- AXMK 4 x 25S -kaapelin kuormitettavuus taulukon 2 mukaan on 100 A, todellinen kuormitettavuus on $100 A * 0,56304 = 56,304 A \approx 56 A$.

3.1.2 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus koostuu ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksesta [8, s. 139]. Ylikuormitussuojauksella suojaudutaan ylikuormitusvirtaa, eli muulloin kuin vian aikana esiintyvää ylivirtaa vastaan [8, s. 139; 11, s. 27] ja oikosulkusuojauksella suojataan johtimia oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta [8, s. 139]. Kaikki äärijohtimet on varustettava ylivirtasuojalla lukuunottamatta muutamaa poikkeusta (SFS 6000-4-43 luku 431) [10, s. 127].

Ylivirtasuojaja voi toimia joko ylikuormitussuojana, oikosulkusuojana tai molempina, joka on yleisin vaihtoehto. Tällöin suojalaitteen nimellisvirta valitaan niin, että se suojaa kaapeleita ylikuormitukselta. Oikosulkusuojaus toteutuu, kun suojalaitteen katkaisukyky on vähintään prospektiivisen oikosulkuvirran (suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta) suuruinen. [8, s. 131, 138.]

Kaapelin ylikuormitussuojan on täytettävä kaavojen 1 ja 2 ehdot [10, s. 130]:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 \leq I_z \quad (2)$$

missä

I_B = piirin suunniteltu virta

I_n = suojalaitteen mitoitusvirta

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen tavanomaisessa toiminta-ajassa

Ylikuormitussuojien mitoituksessa huomioidaan suojalaitteen nimellisvirran lisäksi erityyppisten suojalaitteiden erilaiset toiminta-arvot. B-, C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta ja K-tyypin 1,2 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Nämä voidaan mitoittaa suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. Käytettäessä katkaisijaa, säädetään toimintavirta enintään kaapelin kuormitettavuuden suuruiseksi. Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta, joten suojaa ei voi valita suoraan kuormitettavuuden perusteella, vaan mitoitus tarkistetaan laskemalla (kaava 3). [8, s. 132–133.]

Ylikuormitussuojana toimivan sulakkeen nimellisvirta I_n lasketaan kaavalla 3:

$$I_n \leq \frac{1,45 \cdot I_z}{k} \quad (3)$$

jossa

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_z = johtimen kuormitettavuus

k = sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Oikosulkukatkaisijalla varustetut katkaisijat sekä gM ja aM-tyyppiset sulakkeet voivat soveltua pelkäksi oikosulkusuojaksi. Oikosulkusuojan nimellisvirta ei saa olla suurempi kuin ylikuormitussuojaan merkattu suurin sallittu etusulakkeen nimellisvirta. [8, s. 131.]

Oikosulkusuojauksen vaatimukset ovat:

- Oikosulkusuojan pitää pystyä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.
- Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit ehtivät vaurioitua. [8, s. 138.]

Johtimen terminen rasitus oikosulussa ei saa ylittää suojalaitteen läpipäästämää energiaa. Tämä voidaan yleensä tarkistaa valmistajien antamien tietojen avulla. Kaavalla 4 voidaan laskea oikosulun suurin sallittu kesto aika enintään 5 sekuntia kestävässä vikatilanteissa. Oikosulun kestäessä yli 5 sekuntia, alkaa kaapeli luovuttaa lämpöä ympäristöön, jolloin käytännössä saadaan johtimen lämpenemisen kannalta turvallisemmalla puolella olevia arvoja. Kaava soveltuu tilanteeseen, jossa käytetään erillistä oikosulkusuojaa. [8, s. 131, 138.]

Oikosulun suurin sallittu kesto aika t lasketaan kaavalla 4:

$$t = \left(k * \frac{A}{I}\right)^2 \quad (4)$$

jossa

t = sallittu kesto aika (s)

k = johdinvakio (SFS 6000-4-43 luku 434)

A = johtimen poikkipinta-ala (mm²)

I = oikosulkuvirta (A)

3.1.3 Syötön automaattinen poiskytkentä

Syötön automaattinen poiskytkentä on yleisin käytetty vikasuojausmenetelmä, joka perustuu suljettuun vikavirtapiiriin ja vian kytkeytymiseen pois ennen kuin se aiheuttaa vaaran. Poiskytkentäaika on enintään 32 A ryhmäjohdoilla 0,4 sekuntia ja suuremmilla ryhmäjohdoilla ja pääjohdoilla 5 sekuntia. [11, s. 85–91.]

Vikasuojauksen toteutuminen tarkastetaan joko mittaamalla valmiista asennuksesta oikosulkuvirta, tai laskemalla pienin sallittu oikosulkuvirta (kaava 5) tai suurin sallittu johtopituus (kaava 6) sähkölaitteelle. Kullekin suojalaitteelle on taulukoitu pienimmät lasketut ja mitatut oikosulkuvirrat, joihin tuloksia verrataan. Oikosulkuvirtataulukot on esitetty liitteessä 3. Suurimman sallitun johtopituuden laskennassa voidaan johdinten ominaisimpedansseina käyttää taulukon 11 likiarvoisia lukuja. Jos laskelmat halutaan tehdä tarkemmin, käytetään kaapelin valmistajan ilmoittamia arvoja. [11, s. 85–91.]

Yksivaiheinen oikosulkuvirta I_k lasketaan kaavalla 5:

$$I_k = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z} \quad (5)$$

jossa

I_k = pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

c = kerroin 0,95

U = pääjännite (V)

Z = virtapiirin kokonaisimpedanssi (Ω)

Suurin sallittu johtopituus l lasketaan kaavalla 6:

$$l = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{2 \cdot z} \quad (6)$$

jossa

l = johtopituus (km)

c = kerroin 0,95

U = pääjännite (V)

I_k = oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa (A)

Z_v = impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

z = suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Taulukko 11. Johtimien ominaisimpedanssit 80 °C:n lämpötilassa [11, s. 90]

Johtimen poikkipinta-ala (mm^2)	Impedanssi z (Ω/km)	
	Kupari	Alumiini
4 x 1,5	14,620	
4 x 2,5	8,770	
4 x 4	5,480	
4 x 6	3,660	
4 x 10	2,246	
4 x 16	1,418	2,326
4 x 25	0,902	1,492
4 x 35	0,657	1,089
4 x 50	0,489	0,800
4 x 70	0,346	0,557
4 x 95	0,257	0,406
4 x 120	0,211	0,326
4 x 150	0,174	0,270
4 x 185	0,148	0,222
4 x 240	0,124	0,180
4 x 300	0,111	0,155

3.1.4 Jännitteenalenema

Johdon impedanssi ja sen läpi kulkeva virta aiheuttavat alku- ja loppupään välille jännitteenaleneman [13]. Pienjänniteverkosta syötetyn sähkölaitteen ja liittymispisteen välisen jännitteenaleneman suositellaan olevan alle 5 % ja valaistuskuormalla alle 3 % säh-

kölaitteiston nimellisjännitteestä [10, s. 233]. Laskennassa johtimen resistanssina ja reaktanssina voidaan käyttää taulukon 12 likiarvoisia lukuja, tai tarkemmin laskettaessa kaapelin valmistajan ilmoittamia arvoja. Kaavoilla 7–9 lasketaan jännitteenalenemat tasa- ja vaihtojännitteellä. Kaavan 10 avulla saadaan suhteellinen jännitteenalenema. Tuloksena saadaan jännitteenaleneman likiarvo, joka on normaalisti riittävän tarkka. Käytännössä jännitteenalenemat lasketaan yleensä laskentaohjelmalla. Jakeluverkon jännitteelle on määritelty laatukriteerit standardissa SFS 50160. [11, s. 111–112.]

Jännitteenalenema ΔU tasajännitteellä lasketaan kaavalla 7:

$$\Delta U = 2 * I * r * s \quad (7)$$

Jännitteenalenema ΔU yksivaiheisella vaihtojännitteellä lasketaan kaavalla 8:

$$\Delta U = 2 * I * s * (r * \cos \varphi \pm x * \sin \varphi) \quad (8)$$

Jännitteenalenema ΔU kolmivaiheisella vaihtojännitteellä lasketaan kaavalla 9:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * s * (r * \cos \varphi \pm x * \sin \varphi) \quad (9)$$

Suhteellinen jännitteenalenema Δu lasketaan kaavalla 10:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \% \quad (10)$$

missä

ΔU = jännitteenalenema (V)

Δu = suhteellinen jännitteenalenema (%)

I = kuormitusvirta (A)

s = johdon pituus (m)

r = ominaisresistanssi (Ω/m)

x = ominaisreaktanssi (Ω/m)

U_n = nimellisjännite (V)

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

Plus-merkkiä käytetään induktiivisella ja miinus-merkkiä kapasitiivisella kuormalla.

Taulukko 12. Johtimien ominaisresistanssit ja -reaktanssit 20 °C:n lämpötilassa [11, s. 112]

Johtimen poikkipinta-ala (mm ²)	Kupari		Alumiini	
	Resistanssi r (Ω/km)	Reaktanssi x (Ω/km)	Resistanssi r (Ω/km)	Reaktanssi x (Ω/km)
4 x 1,5	11,80	0,115		
4 x 2,5	7,07	0,110		
4 x 4	4,42	0,107		
4 x 6	2,95	0,100		
4 x 10	1,81	0,094		
4 x 16	1,14	0,090	1,87	0,090
4 x 25	0,72	0,086	1,20	0,086
4 x 35	0,53	0,083	0,88	0,083
4 x 50	0,39	0,083	0,64	0,083
4 x 70	0,27	0,082	0,44	0,082
4 x 95	0,20	0,082	0,32	0,082
4 x 120	0,16	0,080	0,25	0,080
4 x 150	0,13	0,080	0,21	0,080
4 x 185	0,10	0,080	0,17	0,080
4 x 240	0,08	0,079	0,13	0,079
4 x 300	0,06	0,079	0,11	0,079

3.2 Muut kaapelit ja putket

Kaapeliojassa olevien muiden maakaapelien vaikutus kaapelin kuormitettavuuteen huomioidaan mitoituksessa. Kaapeleita ei asenneta vetoraskäisiin kerroksiin, vaan rinnakkain. [12, s. 301.]

Metallivaipattoman kaapelin ylijännitekestävyyttä voidaan parantaa asentamalla samaan ojaan paljas, poikkipinta-alaltaan vähintään 16 mm²:n kuparijohdin [10, s. 603].

Jos sähkö- ja metallijohtimiset tietoliikennekaapelit risteävät tai ovat toistensa lähellä, tulee niiden välinen etäisyys olla vähintään 0,1 metriä. Vaihtoehtoisesti kaapelien välissä voi olla palonkestävä väliseinä tai risteämässä kaapelien välissä mekaaninen suojuus. Tietoliikenne- ja sähköverkkojen haltijat voivat sopia myös muista noudatettavista etäisyyksistä tapauskohtaisesti. [10, s. 229.]

Muiden järjestelmien ja putkien, kuten kaasu-, höyry- ja vesiputkistojen läheisyys on otettava huomioon ojan kaivamisessa sekä maakaapelin mitoituksessa ja asennuksessa. Esimerkiksi putkistosta tuleva lämpö vaikuttaa kaapelin kuormitettavuuteen. [10, s. 229.]

3.3 Maakaapelin valinta

Maakaapeleina käytetään maahan asennettaviksi tarkoitettuja kaapeleita. Kaapelit voivat olla maadoitettavalla metallisella kosketussuojalla, eli konsentrisella johtimella varustettuja tai metallivaipattomia. Liitteessä 4 on esitetty esimerkkikaapeleina konsentrisella maadoitusjohtimella varustettu AMCMK-kaapeli ja metallivaipaton AXMK-kaapeli. Myös muita maahan asennettavaksi tarkoitettuja, CENELECin² HD 603 -standardin vaatimukset täyttäviä kaapeleita voidaan käyttää, jos kaapeli soveltuu suomalaisiin olosuhteisiin ja valmistajan asennusohjeita noudatetaan. [10, s. 601.]

Maakaapelin valinnassa huomioidaan sen käyttöpaikalla esiintyvät rasitukset. Tällaisia ovat esimerkiksi mekaaniset voimat, käyttöpaikan lämpötila, vesi ja kosteus sekä vieraat aineet (SFS 6000-5-52 luku 522). [14, s. 112.]

Kaapelia valittaessa huomioidaan myös asennustapa. Kaapeliojan kaivamisen ja asennuksen lisäksi kaapeli voidaan asentaa auraamalla tai se voidaan kanavoida. Jos maahan asennettua kaapelia käytetään myös rakennusten sisällä, esimerkiksi kaapelihyllyllä, on otettava huomioon paloturvallisuuteen ja läpivienteihin liittyvät säännökset (SFS 6000-5-52 luku 527). [10, s. 601.]

² CENELEC on eurooppalainen sähkö- ja elektroniikka-alan standardisointijärjestö

3.4 Kaapelikelat

Maakaapelit toimitetaan yleensä kaapelikeloilla. Kelat kuljetaan, siirretään ja varastoidaan pystyasennossa. [15, s. 64.] Kuljetuksen ajaksi kaapelikelat tuetaan luotettavasti. Kelaa ei saa pudottaa maahan, vaan sen nostamiseen käytetään nosturia tai trukkia. Lyhyt matka voidaan siirtää pyörittämällä, mutta pyöriyysuunta on otettava huomioon. Väärään suuntaan pyöritettäessä kaapelikierrokset löystyvät ja kaapelin purkaminen vaikeutuu. [12, s. 296.]

Jos kela joudutaan varastoimaan ulkona, laitetaan sen alle suoja estämään kelan lahoamista. Pitkäaikaisessa varastoinnissa kaapelikelat suojataan suoralta auringonpaineelta ja kaapelien päät kosteudelta valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Kelalla olevan kaapelin pää kannattaa naulata kiinni ettei se pääse löystymään. [12, s. 296.]

3.5 Maakaapelin käsittely

Kaapelin varastointi, kuljetus ja asentaminen tehdään huolellisesti niin, ettei kaapeli vahingoitu. Kaapelin valmistajan ilmoittamat arvot, kuten sallitut vetovoimat, käsittelylämpötilat ja taivutussäteet otetaan huomioon. [10, s. 601.] Vaurio kaapelissa voi aiheuttaa sähköisen vian heti tai vasta vuosien kuluttua [12, s. 296]. Jos vaurioita syntyy, korjataan ne viipymättä [16, s. 6].

Jos kaapelin ympäristöolosuhteet tai sijainti muihin kaapeleihin nähden eroaa suunnitelmasta, tarkistetaan suunnitelmien laskelmat, kuten kaapelin kuormitettavuus [10, s. 601].

Kaapeli suojataan vahingoittumiselta joko mekaanisesti tai käyttämällä kaapelin ympärillä hienojakoista hiekkaa. Jos kaapelin suojaaminen ei ole mahdollista, esimerkiksi aurorasennuksessa, kannattaa tehdä etukäteen esiauraus tai selvittää muulla tavalla maaperän kivisyys. [10, s. 602.]

Kaapeleita asennettaessa tarkistetaan etteivät ne jää vetorasitusten alaisiksi tai nouse liian lähelle pintaa maan painumisen tai routimisen takia [10, s. 602].

3.5.1 Asennuslämpötila

Valmistaja ilmoittaa kaapelille pienimmän sallitun asennuslämpötilan. Asennuslämpötila ei ole sama kuin ympäristön lämpötila. Asennus liian kylmänä voi aiheuttaa eristeesseen ja vaippaan halkeamia. [15, s. 64.] Tarvittaessa kaapelia lämmitetään ennen vetoa ja asennus suoritetaan erityistä huolellisuutta noudattaen. [12, s. 297.]

3.5.2 Taivutussäteet

Valmistaja määrittelee kaapeleille pienimmän taivutussäteen kaapelin vedon aikana ja pienimmän taivutussäteen kertataivutuksessa, eli lopullisessa asennuksessa. Liian jyrkkä taivutus voi vahingoittaa kaapelin vaippaa, johtimia tai eristettä. Taivutussäde ilmoitetaan joko suoraan arvona (m) tai muodossa $n * D$, jossa n on kerroin ja D on kaapelin ulkohalkaisija (m). [15, s. 64–65.]

Pienin sallittu taivutussäde on usein suurempi kuin kaapelikelan halkaisija. Tämä on mahdollista, koska kaapeli kierretään kelalle tietyllä tasaisella jännitteellä. Kaapelinvetoissa sallittu taivutussäde on suurempi, koska taivutuksen tasaisuus on vaikeasti hallittavissa, vetovoima nykivää ja vectorullien kohdassa kaapeliin kohdistuva voima on pistemäinen. [12, s. 298.]

3.6 Asennussyvyys ja suojaaminen

Maahan asennettavat kaapelit asennetaan riittävän syvälle tai ne suojataan mekaanisesti muulla tavalla. Asennussyvyyteen vaikuttavat kaapelin rakenteen lisäksi ympäristön olosuhteet, kuten maan laatu, routiminen, mahdollinen liikenteen määrä ja maan käyttötarkoitus. Esimerkiksi maa- ja puutarhatalousalueen (SFS 6000-7-705) ja leirintäalueen (SFS 6000-7-708) maakaapeloinnin asennussyvyyksillä on erityisvaatimuksia. [10, s. 602.] Maanteiden ja rautateiden alituksien erityisohjeet ja vaatimukset asennussyvyyksistä on esitetty kohdissa 3.8 ja 3.9.

Konsentrisella johtimella varustetun kaapelin vahingoittuessa esimerkiksi vieraan esineen tunkeuduttua kaapeliin, aiheutuu maadoitetun metallivaipan ja äärijohtimen välille vika, joka kytkeytyy nopeasti pois, eikä pitkäaikaista sähköiskun vaaraa tule. Metallivaipattoman kaapelin sisään tunkeutuva esine voi jäädä jännitteiseksi, koska poiskytkettyvää vikaa ei aina aiheudu. Tästä johtuen metallivaipattoman kaapelin asennussyvyyden ja suojauksen vaatimukset ovat tiukemmat kuin metallivaipallisen kaapelin. [10, s. 602.]

Maakaapeli suositellaan asennettavaksi vähintään 0,7 metrin syvyyteen [10, s. 602] routarajan vuoksi [7, s. 105]. Kaapeli voidaan asennuksen suunnittelijan, tekijän ja haltijan harkinnan mukaan asentaa matalammalle. Peittävän maakerroksen ollessa pienempi kuin 0,3 metriä, metallivaippainen kaapeli on suojattava mekaanisesti. Metallivaipattomien kaapeleiden ollessa matalammalla kuin 0,7 metriä, on kaapeli suojattava taulukon 13 mukaisesti. [10, s. 602–603.]

Taulukko 13. Eri syvyyksiin asennettujen metallivaipattomien maakaapelien suojaus [10, s. 603]

Kaapelin tai suojaputken asennussyvyys h (kaapelin asennusalueen syvyys)	Standardin SFS-EN 61386-24 mukaisen iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden mukaan	Standardin SFS 5608 mukaisen lujuusluokan mukaan
$h \geq 0,7 \text{ m}$	varoituss nauha	varoituss nauha
$0,5 \text{ m} < h < 0,7 \text{ m}$	L 450	kevyt käyttö C
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ piha- ja puistoalueilla	N 750	raskas käyttö A
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ muilla alueilla	N 450	keskiraskas käyttö B

Varoituss nauha suositellaan asennettavaksi vähintään 0,2 metriä kaapelin yläpinnasta osoittamaan kaapelin sijainti. Jos kaapelioja on leveä ja siinä on useita kaapeleita, suositellaan usean varoituss nauhan asettamista rinnakkain. [10, s. 602–603.]

Jos kaapelia joudutaan kuljettamaan maan tai kallion pinnalla, varustetaan se luotettavasti kiinnitetyllä mekaanisella lisäsuojuksella, esimerkiksi raskaankäytön suojaputkella. Lisäksi kallion pinnalle, putken päälle suositellaan betonivalua. [10, s. 603.]

Kaapelin noustessa maasta suojataan se muototeräksellä vähintään 1,5 metrin korkeudelle ja liikenneväylän varrella 2 metrin korkeudelle maan pinnasta. Suojan on oltava vähintään lujuusluokan 4 asennusputkea (standardin SFS-EN 61386-1 mukaan) tai raskaan käytön suojaputkea. [10, s. 602–603.] Suojuksen tulee ulottua riittävästi myös maan pinnan alapuolelle. Jos suojaputkeen on mahdollista kerääntyä vettä, valitaan suojukseksi kouru, jolloin jäätyvä vesi ei pääse vahingoittamaan kaapelia. [14, s. 113.]

Suojukset asennetaan niin, etteivät ne vahingoita kaapelia sen mahdollisesti liikkuesssa. Standardin mukaisten muovisten suojuksien lisäksi voidaan käyttää lujuudeltaan vähintään samantasoisia muita putkia, kouruja, laattoja ynnä muita suoja. [10, s. 602–603.]

3.7 Maakaapelin suojat

Kaapelisuojaus on tarkoitettu suojaamaan kaapelia mekaanisilta rasituksilta. Kaapelinsojuksia ovat esimerkiksi kaapelinsuojaputket liittämistarvikkeineen, kaapelikourut ja -suojalevyt. Jos kaapelijärjestelmä halutaan osoittaa kaapelinsuojuksen värillä, käytetään sähkökaapeleilla keltaista ja tietoliikennekaapeleilla punaista väriä. Taulukossa 14 on esitetty kaapelinsuojuksien luokittelu käyttötarkoituksen mukaan. Kaapelinsuojusten fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet testataan esimerkiksi iskukokeella ja rengasjäykkyyksikokeella. Taulukossa 15 on esimerkkejä sileiden kaapelinsuojaputkien arvioituista sijoituksista lujuusluokittelussa. Luokitus on seinämänpaksuuden ja materiaalin mukaan, eikä se koske asennusputkia. [17, s. 1–7.]

Varoitusnauha asennetaan kaapelin yläpuolelle maahan varoittamaan kaapelin paikasta. Varoitusnauhan on oltava keltainen. [17, s. 1–2.]

Taulukko 14. Kaapelinsuojuksien luokittelu käyttötarkoituksen mukaan [17, s. 1–2]

Luokitus	Tunnus
Raskas käyttö	A
Keskiraskas käyttö	B
Kevyt käyttö	C

Taulukko 15. Esimerkkejä sileiden kaapelinsuojaputkien arvioiduista sijoituksista lujuusluokittelussa [17, s. 7]

Nimellisulkohalkaisija (mm)	Vähimmäispaksuus					
	Luokka A		Luokka B		Luokka C	
	PE	PVC	PE	PVC	PE	PVC
32	2,0	-	2,0	-	-	-
40	2,4	-	2,4	-	2,0	-
50	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0
75	4,5	3,6	4,5	2,2	2,9	2,2
90	-	4,3	-	2,7	-	2,7
100	-	4,8	-	3,0	-	3,0
110	6,6	5,3	6,6	3,2	4,2	3,2
140	8,3	6,7	8,3	4,2	5,4	4,2
160	9,5	-	9,5	4,7	6,2	4,7

Asennusputki on sähköasennuksessa käytettävä johtimia suojaava putki. Asennusputkijärjestelmään kuuluu asennusputkien lisäksi erilaisia tarvikkeita, esimerkiksi putkipäätteitä. [18, s. 5.] Maahan asennettavan putkijärjestelmän mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet testataan esimerkiksi puristus-, isku- ja taivutuskokeilla [18, s. 12–17; 19, s. 7–9]. Maahan asennettavat asennusputket merkitään valmistajan tunnusmerkinnän [18, s. 10] lisäksi iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden tunnuksilla. Tunnukset sijoitetaan säännöllisin välein koko putken pituudelle vähintään kolmen metrin välein. [19, s. 6.] Taulukossa 16 on esitetty maahan asennettavan putkijärjestelmän iskunkestävyyden tunnuksiset ja taulukossa 17 puristuskestävyyden tunnuksiset.

Taulukko 16. Maahan asennettavan putkijärjestelmän iskunkestävyys [19, s. 6]

Luokitus	Tunnus
Kevyt käyttö	L
Normaali käyttö	N

Taulukko 17. Maahan asennettavan putkijärjestelmän puristuskestävyys [19, s. 6]

Luokitus	Tunnus	Asennus
Tyyppi 250	250	Asennetaan kansallisten lisävaatimusten mukaisesti
Tyyppi 450	450	Asennetaan suoraan maahan ilman muita varotoimenpiteitä
Tyyppi 750	750	Asennetaan suoraan maahan ilman muita varotoimenpiteitä

3.8 Maakaapeli ja yleiset tiet

Sähköjohtoja yleisten teiden varsille asennettaessa noudatetaan liikenneviraston ohjeistusta: Sähköjohdot ja maantiet. Reitin suunnittelu sekä kaapelin asennus- ja kunnostustyöt tehdään aina yhteistyössä tienpitäjän kanssa. [20, s. 8.] Kaapelin sijoittamisesta tiealueelle ei saa aiheutua liikenneturvallisuusriskiä tai haittaa tienpidolle [21, s. 14].

Tien suuntainen maakaapeli pyritään asentamaan tiealueen ulkopuolelle ja samaan linjaan koko matkalta. Suojaus tiealueen ulkopuolella tehdään standardin SFS 6000 mukaan (taulukko 13). Sisäluiskaan tai maantien ja kevyenliikenteen väylän väliin kaapelin voi asentaa vain poikkeuksellisesti. Tällöin alle 1 kilovoltin kaapeli konsentrisella johdolla suojataan standardin SFS 6000 mukaan (taulukko 13), ja 1–45 kilovoltin kaapeli suojataan konekaivuun kestäväällä suojalla. Lisäksi valaisinpylväisiin on merkittävä varoitus viereisestä jännitteisestä kaapelista. Tievalaistuskaapelit suojataan aina suojaputkella. [20, s. 26–31.]

Tien alitukseen pitää varautua jo tien rakennusvaiheessa asentamalla suojaputkia. Jos putkia ei ole, pyritään alitus tekemään paikassa, jossa voidaan käyttää poraus- ja työntömenetelmiä. [20, s. 33.] Vähäliikenteisillä teillä [21, s. 14] ja kevyenliikenteen väylillä voidaan kaivaa tie auki, jos muuten alituksen tekeminen on kohtuutonta [20, s. 32].

Tien alituksissa asennussyvyys on vähintään 1 metri, poikkeustilanteessa sallitaan 0,8 metriä. Ojan pohjalla asennussyvyys on vähintään 0,8 metriä sivuojan pohjasta. [20, s. 33.]

3.9 Maakaapeli ja rautatiet

Rautatien alituksessa noudatetaan Ratahallintokeskuksen ohjeistusta: Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset [16, s. 5].

Alitusputken asennussyvyys on vähintään 1,4 metriä. Kaikissa alitusputkissa on oltava vetonarut ja käyttämättömien putkien päät on tulpattava. [16, s. 11.]

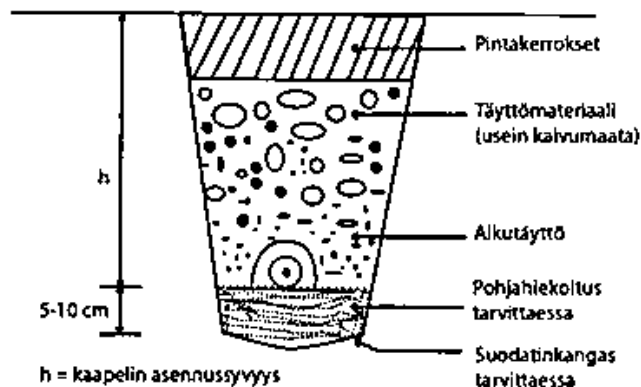
3.10 Kaapelioja

Ennen kuin kaapeliojan kaivaminen aloitetaan, on tarkistettava muiden sähkö- ja tiedon- siirtokaapeleiden ja putkijärjestelmien sijainnit. Kaivaminen tehdään varovasti maata tarkkaillen. Jos kaivannossa näkyy varoitusnauha tai maa-aines muuttuu, kaivetaan tarvittaessa lapiolla. [22.]

Kaapeliojan leveys riippuu kaapelien määrästä ja suojaustavasta, normaalisti yhdelle kaapelille sopiva leveys on 0,2–0,3 metriä. Ojan yläosan tulee olla riittävän leveä sortumavaaran välttämiseksi [22]. Jos kaapelioja kaivetaan seinän viereen, on sen etäisyys seinästä oltava 0,7 metriä [23, s.161].

Ojaa täytettäessä pohja- ja pintamaita sekoitetaan mahdollisimman vähän ja maa tiivistetään kerroksittain painumien estämiseksi [16, s. 7].

Kuvassa 5 on esitetty kaapeliojan periaatteellinen poikkileikkaus.



Kuva 5. Kaapeliojan poikkileikkaus [10, s. 602]

3.11 Kaapelinveto

Kaapeliniiput puretaan nippua pyörittämällä tai lattialle oikaisemalla. Kaapelikela asetetaan kelapukeille tai nostetaan ylös koneella. Kuvassa 6 kaapelikela on nostettu kelapukkien avulla ylös. Kelan paikaksi valitaan kohta, josta veto on helpoin suorittaa ja se rasittaa kaapelia vähiten. Kaapelia puretaan kelan yläpuolelta. Erilaiset vetorullat (kuvat

7 ja 8) auttavat kaapelinvedossa. Kaapelia voidaan vetää käsin tai vetokoneella. Kaapelin pää ja vetonaru tai -vaijeri yhdistetään vetosukalla (kuva 9), joka vedettäessä kiristyy kaapelin ympärille. [12, s. 298.] Mutkissa on huomioitava pienin sallittu taivutussäde. Kaapeli ei saa hankautua teräviä reunoja tai esineitä vasten. Vedettäessä kaapelia alitusputkiin on huolehdittava, että putket pysyvät puhtaina. [16, s. 6.]

Suurin sallittu vetovoima on valmistajan määrittelemä, kaapelin tyypistä riippuva arvo. Vetovoima ilmoitetaan joko arvona (N) tai muodossa $A * Y$, jossa A on johtimien yhteenlaskettu poikkipinta-ala (mm^2) ja Y on kerroin (N/mm^2). [15, s. 65.]



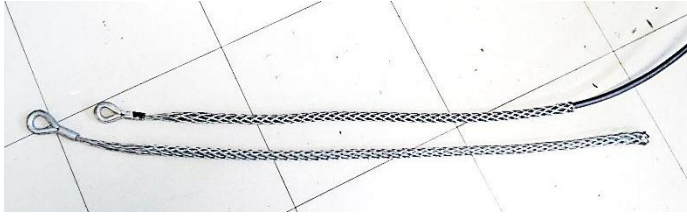
Kuva 6. Kaapelikela on nostettu kelapukeilla ylös



Kuva 7. Vetorulla suoralle osuudelle



Kuva 8. Vetorulla mutkaan



Kuva 9. Vetosukkia

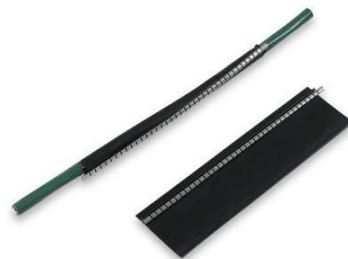
3.12 Liitokset

Maakaapeliin liitosten ei tarvitse olla näkyvillä. Liitostapaa valittaessa otetaan huomioon johdinten materiaali, määrä, muoto ja poikkipinta-ala. Liitokset tehdään standardin mukaisilla ja testatuilla liittimillä sekä valmistajan ohjeita noudattaen. Liitosten on oltava mekaanisesti ja sähköisesti luotettavia. [10, s. 226.] Johtavuudeltaan ja eristykseltään liitosten on vastattava jatkamatonta johdinta [14, s. 85]. Maassa liitoskohta joutuu alttiiksi vedelle ja lialle, joten se asettaa tiiviydelle lisähaasteita.

Kaapelijatkoksilla jatketaan kaapeleita ja korjataan kaapeleihin tulleita vaurioita [15, s. 73]. Maakaapelin jatkos tehdään usein lämpökutistekätköksellä. Lisäksi on olemassa kylmäkutiste- [24] ja valujatkoksia [25]. Kuvissa 10 ja 11 ovat Enston lämpökutistekätkös ja -korjauskääre.



Kuva 10. Enston lämpökutistekätkös [26]



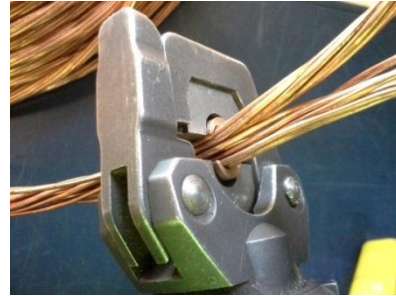
Kuva 11. Enston lämpökutistekorjauskääre [27]

Kaapelin vaurioituessa mekaanisesta rasituksesta, voi kaapeli olla venynyt pitemmältä matkalta. Vaurioitunut osa poistetaan kokonaan ja liitokset tehdään ehjään kaapeliin. [12, s. 402.]

Maadoituksen maassa olevat liitokset tehdään lähinnä puristus- ja hitsausliitoksin. Korroosialttiutensa vuoksi ruuviliittimien käyttöä ei suositella. [28, s. 138.] Maadoituselektrodin liitoksiin käytetään yleensä puristettavia C-liittimiä (kuva 12) [14, s. 87]. Kuvassa 13 C-liittimellä tehdään jatkos kupariköyteen.



Kuva 12. C-liittimiä



Kuva 13. C-liitin puristetaan puristus-työkalulla

3.13 Maakaapelin tarkastukset

Sähköasennukselle tehdään aina käyttöönottotarkastus ennen käyttöönottoa. Tarkastuksella varmistetaan, että asennus on määräysten mukainen ja turvallinen. Tarkastukseen kuuluvat muun muassa aistinvarainen tarkastus, suojajohtimen jatkuvuuden testaus, eristysresistanssin mittaaminen, syötön automaattisen poiskytkennän ja vikavirtojen toiminnan testaukset sekä napaisuuden ja kiertosuunnan mittaukset. Käyttöönottotarkastukseen käytetään standardin EN 61557 mukaisia mittalaitteita ja tarkastuksesta laaditaan pöytäkirja. [8, s. 330–347.] Esimerkki käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta on liitteenä 5.

Maakaapelin kunto tarkistetaan silmämääräisesti ennen peittämistä. Silmämääräistä tarkistusta ei tarvitse tehdä auratululle kaapelille, jos maaperässä ei todennäköisesti ole teräviä kiviä. Suojajohtimen jatkuvuus ja johtimien välinen eristysresistanssi mitataan osana käyttöönottotarkastusta. [10, s. 602.]

3.14 Maakaapelin merkitseminen

Maakaapeliin sijainnista laaditaan kartta. Merkinnot on mitoitettava maastossa oleviin pysyviin kiintopisteisiin tai koordinaatistoon. Tarvittaessa eri kaapelit varustetaan merkinnöillä, joista selviää kaapelin tunnus ja käyttötarkoitus. [10, s. 603.] Kaapelin sijainnin merkkäus maastoon merkkipaaluin tai kilvin on suositeltavaa [22]. Kuvassa 14 maakaapelin reitti on merkattu maastoon kyltein.



Kuva 14. Maakaapelin reittimerkki

3.15 Tilapäinen maakaapeli

Esimerkiksi rakennustyömaan syötössä voidaan joutua käyttämään maakaapelia tilapäisesti maan pinnalle asennettuna. Tämä on sallittua jos kaapeli on suojattu vähintään keskiraskaan käytön suojaputkella tai vastaavalla suojalla, kaapelinsuojat on merkitty kaapelista varoittavilla kilvillä tai merkkinauhalla ja suojat on kiinnitetty niin, etteivät ne pääse helposti liikkumaan. Kaapelin suojausta on valvottava ja suojauksessa havaitut puutteet on korjattava välittömästi. [10, s. 604.]

Tilapäistä kaapelia ei tule asentaa ajoneuvoilla liikennöitävän tien poikki, tai muuhun paikkaan, jossa on mahdollista altistua raskaiden koneiden aiheuttamille vahingoille. Jos kaapelin lyhytaikainen asentaminen tien poikki on välttämätöntä, on se suojattava liikenteen rasitukset kestäväällä suojalla. [10, s. 604.]

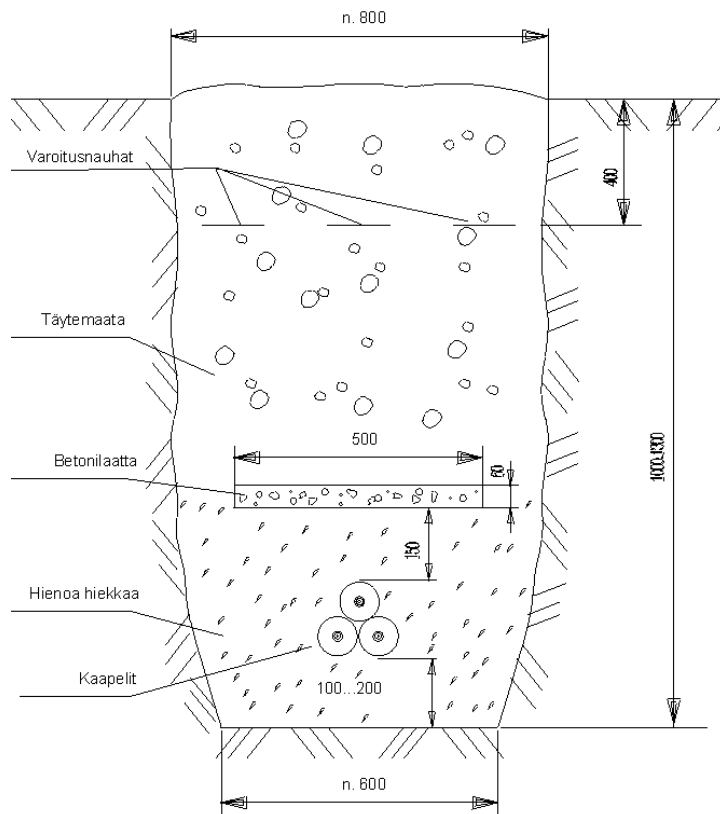
Kun tilapäisen asennuksen syy poistuu, esimerkiksi rakennustyömaan valmistuttua, tilapäistä kaapelia ei saa jättää pysyvään käyttöön [10, s. 604].

3.16 Suurjännitemaakaapeli

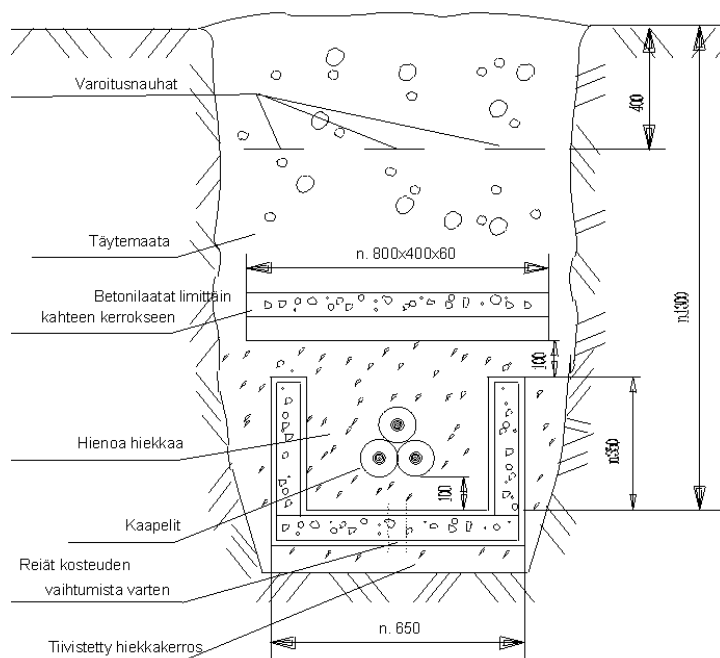
Suurjännitemaakaapelin valinnassa ja sijoituksessa on kiinnitettävä huomiota, ettei suurin sallittu lämpötilan nousu ylity normaalikäytössä eikä oikosulussa. Muiden kaapelien, telekaapelien ja putkien etäisyydet pidetään riittävinä ja keskinäiset lämpövaikutukset huomioidaan. Tarvittaessa lasketaan oikosulun aikana putkeen tai kaapeliin indusoitua ylijännite. [29, s. 43–44.]

Asennuksessa huomioidaan asennuslämpötila, taivutussäteet ja vetorasitukset. Suurjännitemaakaapelin asennuksissa kosketusjännitteiden on pysyttävä sallituissa rajoissa tai kosketeltavat osat on suojattava riittävin toimenpitein. Kaapeleiden metallivaipat maadoitetaan standardin SFS 6001 mukaisesti. [29, s. 44.]

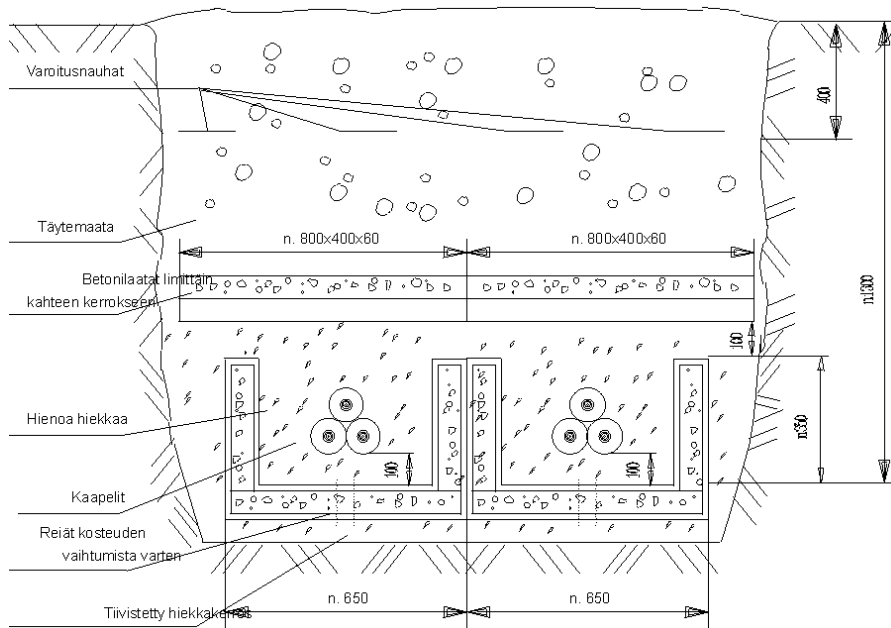
Suurjännitemaakaapelin mekaaninen suojaus harkitaan tapauskohtaisesti. Kaapelin suositeltava asennussyvyys on vähintään 0,7 metriä. Kaapeli suojataan tarvittaessa suoja-putkilla, laatoilla tai kouruilla. Keski-jännitekaapelit (Suurin käyttöjännite $U_m \geq 52$ kV) suositellaan suojattavan standardin SFS 6000 mukaisesti (taulukko 13) ja suurempijännitteisillä kaapeleilla suojaus harkitaan aina tapauskohtaisesti. Maasta nouseva kaapeli suojataan mekaanisesti routiva maa huomioiden. [29, s. 44.] Kuvissa 15–18 on esitetty esimerkkejä suurjännitekaapelin kaapeliojien poikkileikkauksista.



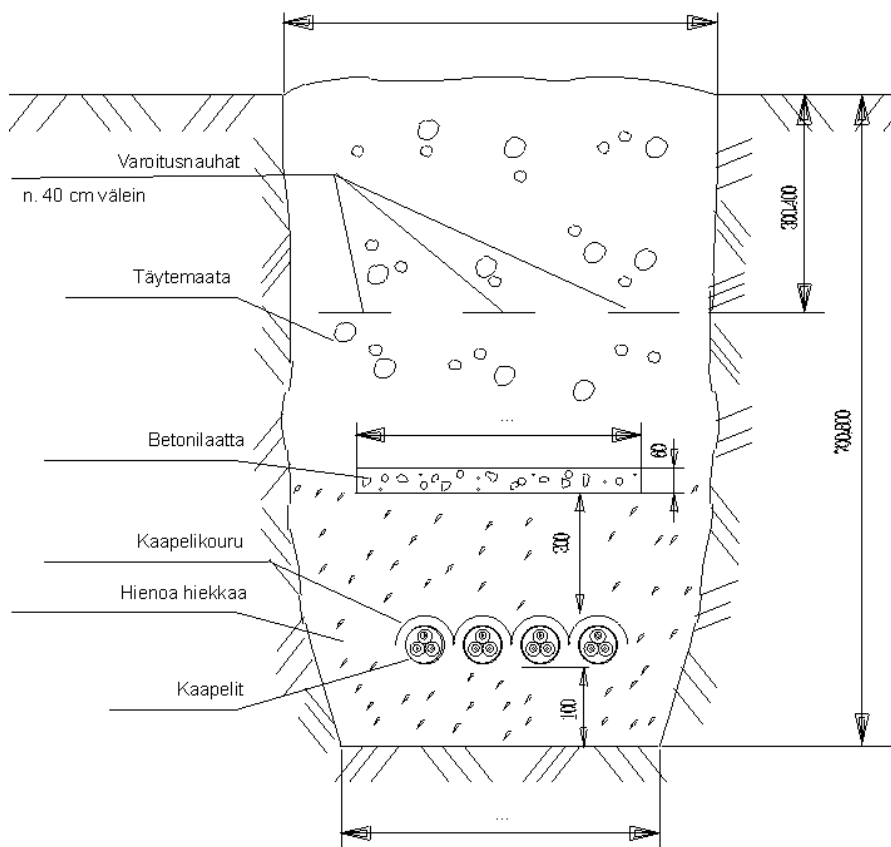
Kuva 15. Suurjännitekaapelin oja, asennus kolmioon, suojaus betonilaatalla [22]



Kuva 16. 110 kV:n kaapelin oja, asennus kolmioon, suojaus U-kourulla ja betonilaatoilla [22]



Kuva 17. Kahden 110 kV:n kaapelin oja, asennus kolmioon, suojaus U-kouruilla ja betonillaatoilla [22]



Kuva 18. Monijohdinkaapelien oja, suojaus kaapelikouruilla ja betonilaatalla [22]

4 Sähköasennusten dokumentointi

Dokumentoinnin tarkoitus on antaa informaatiota tarkoituksenmukaisessa muodossa. Se on tärkeää tuotteen tai järjestelmän suunnittelulle, valmistukselle, asennukselle, käytölle, huollolle ja purkamiselle. [30, s. 26.]

Dokumentoinnin on katettava soveltuvin osin

- asennuspiirustukset
- maadoitusjärjestelmä
- rakennustyöt
- rakenteet
- kytkentäkaaviot
- johdotuskaaviot ja -taulukot
- kaapelointijärjestelmä
- rakentamisen, käyttöönoton, käytön ja kunnossapidon ohjekäsikirjat
- varaosalistat
- toimintakaaviot
- suojauskaaviot
- sertifikaatit
- työkalut
- apujärjestelmät
- testauspöytäkirjat
- kierrätys- ja romutusohjeet
- käyttöönottotarkastuspöytäkirjat
- huolto- ja kunnossapito-ohjelmat. [29, s. 47.]

Dokumenttien tulee sisältää seuraavat tiedot asennuksen jokaisesta piiristä:

- virtapiirien laji ja rakenne
- tiedot suoja-, kytkin- ja erotuslaitteiden ominaisuuksista ja niiden sijainnista

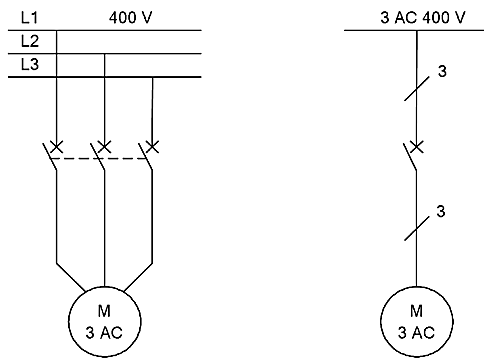
ja seuraavat tiedot siltä osin, kuin ne ovat tarpeen:

- johtimien tyypit ja poikki-pinnat
- virtapiirien pituudet
- suojalaitteiden lajit ja tyypit
- suojalaitteiden mitoitusvirrat ja asettelut
- prospektiiviset oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden katkaisukyvyt. [10, s. 193.]

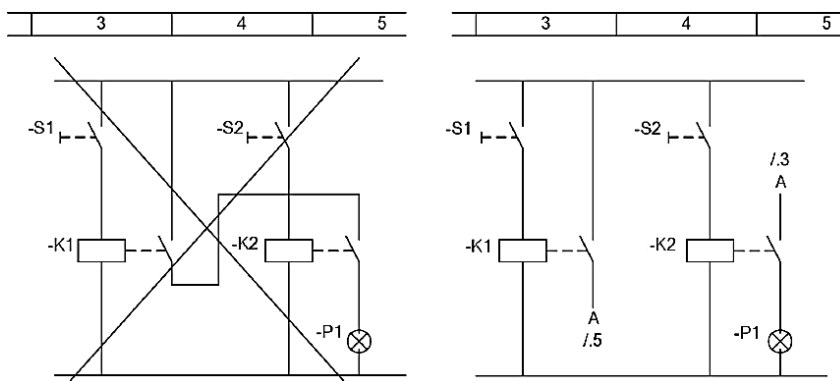
Tarvittavat tiedot selvitetään jo suunnitteluvaiheessa ja dokumentit päivitetään asennuksen jokaisen muutoksen jälkeen. Sähköasennusten dokumentointiin käytetään standardisoituja (SFS-EN 61082 ja SFS-EN 81346) kaavioita, piirustuksia, taulukoita ja diagrammeja. Piirrosmerkkeinä käytetään standardisoituja (SFS-IEC 60617) merkkejä tai muita yksiselitteisiä merkkejä. [10, s. 193.] Sähköasennusten dokumentoinnissa suosittelut piirustuskoot ovat A1, A2, A3 ja A4 [31].

4.1 Kaaviot

Kaaviossa sähköpiirit voidaan esittää yksi- tai moniviivaesityksinä (kuva 19). Tarvittaessa virtauksen suunta esitetään nuolella ja kohteen tekniset tiedot piirrosmerkin vieressä. Kaaviosta pyritään tekemään selkeä ja helposti tulkittava esimerkiksi piirrosmerkkien oikeilla sijoituksilla ja välttämällä johtimien risteämisiä tai tekemällä ne viittauksilla. Kuva 20 havainnollistaa viittausta. Vasemmalla kontaktorien K1 ja K2 apukärkien kautta menevä johdin on piirretty risteämään toinen johdin, oikealla johtimen jatkuminen on esitetty viittaamalla. [30, s. 62–72, 92.]



Kuva 19. Moottorin syöttö moni- ja yksiviivaesityksenä [30, s. 92]



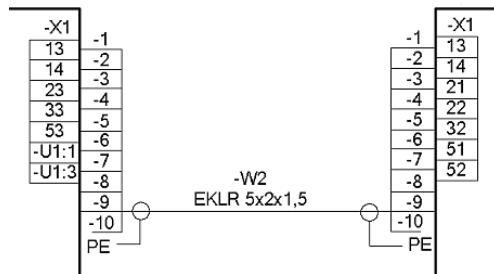
Kuva 20. Johtimen jatkumisen esittäminen viittaamalla [30, s. 72]

Yleiskaavio antaa peruskuvauksen kohteesta ilman yksityiskohtia. Monivaiheiset piirit esitetään yksiviivaisina. Yleiskaavio voi sisältää muitakin kuin sähköteknisiä rakennosia. [30, s. 94.] Esimerkiksi sähköjaketulkaavio on yleiskaavio, jossa esitetään sähkön kulku muuntajalta pää- ja alakeskuksiin [15, s. 207]. Liitteessä 6 on esimerkki sähkölaitoksen yleiskaaviosta.

Toimintakaaviossa esitetään kohteen toiminnallinen käyttäytyminen. Signaalinkulkuun on vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas. Sijaispiirikaaviot ja toimintalogiikka-kaaviot ovat toimintakaavioita. [30, s. 100.]

Piirikaaviossa kuvataan komponenttien keskinäisiä vaikutuksia ja johdotuksia. Piirikaaviosta nähdään piirin toiminta. [15, s. 209.] Piirikaaviossa komponenttien fyysisellä koolla ja muodolla ei ole merkitystä. [30, s. 102.] Liitteessä 6 on esimerkki piirikaaviosta.

Liitântäkaaviossa (kuva 21) kuvataan joko komponenttien välisiä, yksiköiden tai laitteistojen välisiä, tai yhden yksikön fyysisiä liitântöjä. Liitântäkohdat ja johtimet yksilöidään tunnuksilla ja kaavioon liitetään tarvittavia lisätietoja. [30, s. 124–126.]



Kuva 21. Osa liitântäkaaviosta [30, s. 126]

4.2 Piirustukset

Piirustukset kuvaavat yleensä kohteen maantieteellistä tai geometristä asemaa. Perusdokumentit, kuten asemakaavat, rakennuspiirustukset ja mittapiirustukset piirretään mitta-kaavassa. Niissä esitetään kaikki tarpeellinen informaatio sähkölaitteiden sijoittamista varten, esimerkiksi maantieteelliset suuntaamispisteet, rakennukset ja tontin rajat. [30, s. 134–136.]

Sijaintipiirustuksessa näkyvät kohteiden suhteelliset tai todelliset sijainnit ja mitat. Kohteet kuvataan niiden muodon, päämittojen tai piirrosmerkkien mukaan. Kohteen teknisiä tietoja ja tarkkoja etäisyyksiä lisätään piirustukseen tarvittaessa. [30, s. 138.] Esimerkiksi aluekaapeloinnin sijaintipiirustuksessa esitetään alueen rakennusten ja osastojen väliset kaapelireitit [31], joiden sijainnit mitoitetaan maastossa oleviin kiintopisteisiin tai koordinaatistoon [10, s. 603]. Maadoitusjärjestelmän sijaintipiirustuksessa esitetään kaikki suojajohtimet, joita ovat suojamaadoitus-, potentiaalintasausjohtimet sekä häiriö- ja ukkossuojausjohtimet [15, s. 206]. Liitteessä 6 on esimerkki sähkökomponenttien ja kaapeliteiden sijaintipiirustuksesta sekä maadoitusjärjestelmän sijaintipiirustuksesta.

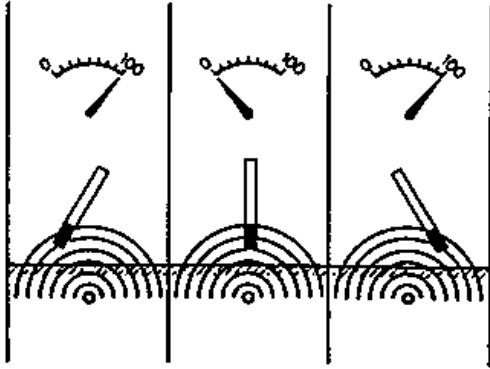
4.3 Taulukot ja diagrammit

Taulukon muotoilu tehdään mahdollisimman helposti tulkittavaksi. Rivien ja sarakkeiden tulee erottua selkeästi ja ne otsikoidaan jokaisella sivulla. Liitântätaulukoissa kuvataan liitântäkaavioiden tavoin joko komponenttien välisiä, yksiköiden tai laitteistojen välisiä, tai yhden yksikön fyysisiä liitântöjä. Liitântäkohdat ja johtimet yksilöidään tunnuksilla. [30, s. 146, 148.]

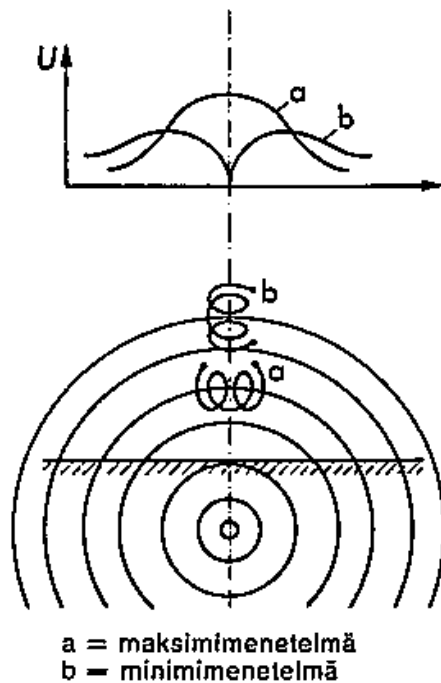
Diagrammeja käytetään muiden dokumenttien kanssa antamaan lisäinformaatiota, esimerkiksi selittämään komponentin toimintaa. Esimerkiksi toimintojärjestysdiagrammi esittää toimintojen järjestystä ja yksiköiden tilaa, aikajärjestysdiagrammi kertoo toiminnot suhteessa aikaan. [30, s. 152.]

5 Maakaapelitutkaus

Kaapelitutkien toiminta perustuu usein äänitaajuuslähettimen käyttöön. Lähetin syöttää kaapeliin esimerkiksi 1000 hertsin vaihtovirran, joka synnyttää sähkömagneettisen kentän kaapelin ympärille. Kaapelin reittiä seurataan vastaanottimessa olevan etsintäkelan avulla. Ferriittisydämiseen kelaan indusoituu jännite, joka on riippuvainen kelan asennosta kaapeliin nähden. Jännite vahvistetaan ja se todetaan korvakuulolla tai osoitinkojeella. Menetelmiä on kaksi: maksimimenetelmässä jännite on suurimmillaan kelan ollessa kaapelin yläpuolella, minimimenetelmässä kela on kaapelin yläpuolella lähes jännitteetön (kuva 22). Minimimenetelmä on tarkempi, koska pienikin ero kentänvoimakkuudessa havaitaan helposti. Kuva 23 havainnollistaa menetelmiä ja niiden eroa. Jännitteisen kaapelin etsintä perustuu etsintäkelan reagoimiseen magneettikenttään, joka syntyy jännitteisen kaapelin ympärille. [23, s. 172–173.]



Kuva 22. Minimimenetelmä [23, s. 172]



Kuva 23. Maksimi- ja minimimenetelmä [23, s. 172]

5.1 Easyloc-kaapelitutka

Easylocin Rx Tx -kaapelitutkalla maakaapelin voi paikantaa lähettimen avulla tai ilman lähetintä radiolinkkiä tai suurjännitelinjaa apuna käyttäen. Lähetintä käytettäessä kytkentätapoja on kolme: galvaaninen kytkentä suoraan etsittävään kohteeseen, kytkentä adaptoreita käyttäen tai induktiivinen kytkentä, jossa hyödynnetään maakaapelin kon-
sentrissa johdinta. [32.] Kuvassa 24 on kaapelitutkan vastaanotin ja kuvassa 25 lähetin.



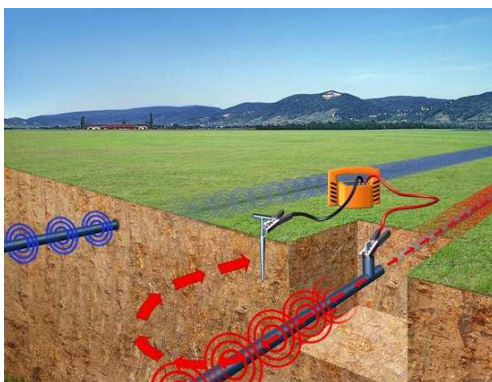
Kuvat 24. Easyloc-kaapelitutkan vastaanotin



Kuva 25. Easyloc-kaapelitutkan lähetin

5.1.1 Etsiminen lähettimen avulla

Tarkin tapa kytkeä lähetin on käyttää galvaanista kytkentää (kuva 26). Lähetettävä signaali liitetään suoraan kohteeseen ja paluureitti kulkee maapotentiaalin tai toisen johtimen kautta. Kytkentä soveltuu jännitteettömälle kaapelille. Kuvissa 27–32 on esitetty kuusi galvaanista esimerkkikytkentää. [32; 33 s. 14–15.]



Kuva 26. Galvaaninen kytkentä [33, s. 14]



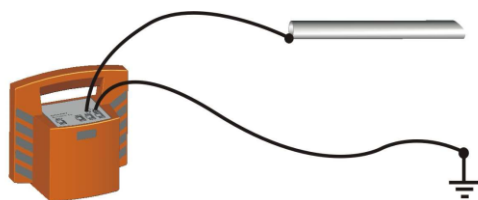
Kuva 27. KytKentä 1: Signaali kulkee vaihejohtimen kautta ja palaa maapotentiaalia pitkin [33, s. 15]



Kuva 28. KytKentä 2: Signaali kulkee vaihejohtinta ja palaa maajohdinta pitkin [33, s. 15]



Kuva 29. KytKentä 3: Signaalin reitti kulkee maajohtimen ja maapotentiaalin kautta. KytKennässä pitää irrottaa maajohdin maapotentiaalista [33, s. 15]



Kuva 30. KytKentä 4: Signaali voidaan kuljettaa myös esimerkiksi metallista suoja- tai asennusputkea pitkin [33, s. 15]



Kuva 31. KytKentä 5: Signaali voi kulkea saman kaapelin johtimia pitkin [33, s. 15]



Kuva 32. KytKentä 6: Signaali kulkee kahden eri kaapelin johtimia pitkin [33, s. 15]

Toinen tapa on kytkeä lähetin kaapeliin pihdillä (kuva 33) tai pistorasian kautta adapterilla (kuva 34). Pihti laitetaan etsittävän kohteen ympärille. Se toimii antennina ja lähettää kaapeliin signaalin induktiivisesti. [32.]

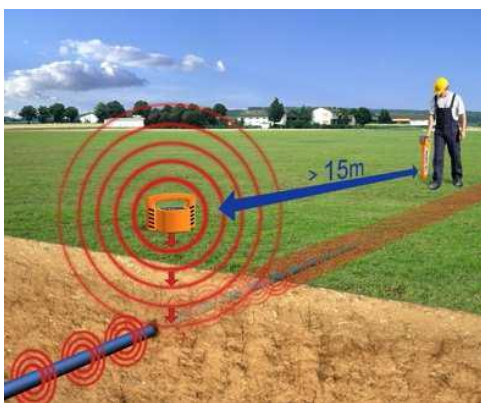


Kuva 33. KytKentä pihdillä [33, s. 16]



Kuva 34. KytKentä pistorasia-adapterin avulla [33, s. 16]

Kolmas vaihtoehto on induktiivinen kytKentä (kuva 35). Lähettimen sisällä oleva antenni lähettää laitteen pohjasta voimakasta signaalia, joka kulkeutuu lähistöllä oleviin metallipintoihin, esimerkiksi kaapelin konsentriseen johtimeen. [32.]



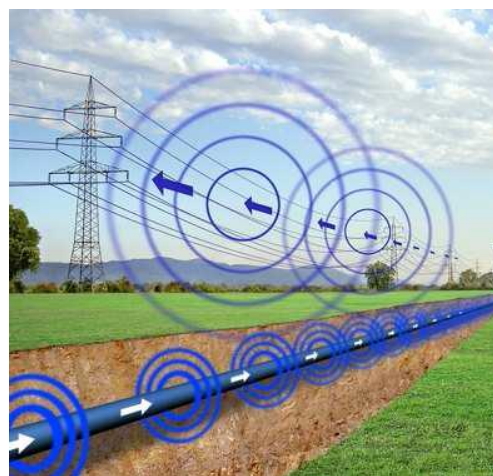
Kuva 35. Induktiivinen kytKentä [33, s. 17]

5.1.2 Etsiminen ilman lähetintä

Ilman lähetintä kaapelia voidaan etsiä kahdella tavalla, radiotaajuushaulla (kuva 36) ja sähkötaajuushaulla (kuva 37). Radiotaajuiset signaalit heijastuvat kaapelin konsentrisesta maajohtimesta. Vastaanotin havaitsee signaalin. Radiotaajuushaun ongelma on, että varsinkin pienet kaapelit heijastavat signaalia niin vähän, ettei vastaanotin havaitse sitä. Kaapelin paikantaminen sähkösignaalin avulla perustuu johtimessa kulkevan virran aiheuttaman magneettikentän havaitsemiseen. [32.]



Kuva 36. Radiotaajuushaku [33, s. 21]



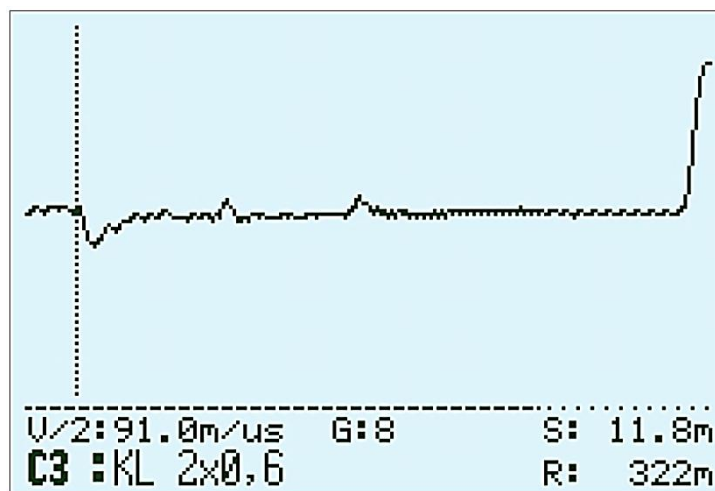
Kuva 37. Sähkötaajuushaku [33, s. 21]

5.2 PJT-11 -kaapelitutka

Erikois-Elektroniikan valmistama PJT-11 -kaapelitutka (kuva 38) on suunniteltu sähkö- ja koaksiaalikaapeleiden ja symmetristen tietoliikennekaapeleiden asennus-, ylläpito- ja huoltomittauksiin. Laite lähettää kaapeliin mittauspulssin, jonka avulla näytölle piirtyy pulssikuva. Ennen varsinaista mittausta laitteeseen tallennetaan ehjän kaapelin pulssitiedot, joihin laite mitattavaa kaapelia vertaa. Kuvassa 39 on kaapelin pulssikuva, jossa 11,8 metrin kohdalla kaapelissa on kontaktivika. [34, s. 8–9; 35 s. 1–2.]



Kuva 38. PJT-11 -kaapelitutka



Kuva 39. Pulssikuva kaapelista [35, s. 2]

6 Maakaapeloinnin ohjeistus

Maakaapeloinnin ohjeistuksen tavoitteena oli saada kaikki tarvittava tieto helposti luettavaksi ja lyhyeksi kokonaisuudeksi, jota on hyvä ja yksinkertainen käyttää.

Ohjeistuksen laadinta aloitettiin selvittämällä sähköturvallisuuslain ja asennusstandardien vaatimukset ja suositukset maakaapeloinnista. Joensuun voimalaitoksen omat ohjeet ja käytännöt yhdistettiin vaatimusten kanssa ja ne muokattiin helposti luettavaksi kokonaisuudeksi.

Ohjeistus käsittelee maakaapeloinnin yleisiä ohjeita sekä kaapelin käsittelyyn, asentukseen ja suojaukseen liittyviä asioita. Maakaapeloinnin teoria on esitetty luvussa 3 ja Joensuun voimalaitoksen maakaapeloinnin ohjeistus on liitteenä 7.

7 Aluekaapeloinnin selvitys ja sijaintipiirustus

Aluekaapeloinnin selvitys tehtiin voimalaitos-, biolämpölaitos- ja polttoaineen vastaanottoalueelta. Bioöljylaitos, öljyn varastointialue ja raaka-aineen käsittelyalue jätettiin selvityksen ulkopuolelle, koska alueesta on valmistumassa urakoitsijan toimesta luovutuspiirustukset. Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus voidaan päivittää niiden mukaan.

7.1 Vanhat piirustukset

Työ aloitettiin etsimällä vanhat aluekaapelipiirustukset ja aikaisemmat tutkauskuvat voimalaitosalueesta. Paperiversiona löytyi aluekaapeloinnin sijaintipiirustuksia esimerkiksi rakennusaikaisista maakaapeleista, laitoksien ja sähkötilojen välisistä alkuperäisistä ja lisätyistä kaapelireiteistä kaapeleineen sekä aluevalaistuksesta. Sähköisessä muodossa oli Fortumintien ja autovaa'an aluekaapeloinnin sijaintipiirustus ja tutkauskuvat optisista kaapeleista. Liitteessä 8 on esimerkkejä vanhoista piirustuksista.

7.2 Kaapelireittien tutkaus

Kaapelireittien sijainteja tarkastettiin Easyloc Rx Tx -kaapelitutkan avulla. Etsinnässä signaalia lähetettiin induktiivisesti ja käyttämällä pihtiä sekä galvaanista kytkentää.

Induktiivinen kytkentä, jossa lähetin lähettää signaalin maahan, toimi hyvin tilanteessa, jossa kaapelit kulkivat selkeästi ja suoraviivaisia reittejä pitkin, eivätkä risteilleet paljon. Myös silloin, kun reitillä kulkevia kaapeleita ei tiedetty, induktiivinen kytkentä oli toimivin ja helpoin vaihtoehto. Paikassa, jossa kulki paljon kaapeleita, metallisia putkistoja tai maadoituselektrodeja, induktiivisella kytkennällä tutkauksen tarkkuus oli heikko.

Induktiivista kytkentää hieman tarkempi tutkaustulos saatiin pihtikytkennän avulla (kuva 40), jossa kaapelin ympärille laitettu pihti lähettää signaalin kaapeliin. Etsittävästä kaapelista vastaanottimella havaittu signaali oli suurempi kuin esimerkiksi risteävän kaapelin signaali. Pihtikytkentä oli hyvä tilanteessa, jossa kaapelia ei saanut kytkettyä jännitteettömäksi, mutta se oli näkyvissä maasta noustessaan.



Kuva 40. Lähetin lähettää signaalia kaapeliin pihdin avulla

Tarkin tutkaustulos saatiin käyttämällä galvaanista kytkentää, jossa signaali kulki kahden vaihejohtimen kautta (kuvan 31 mukainen kytkentä). Kuvassa 41 lähetin on liitetty maakaapelin kahteen vaihejohtimeen, jotka on oikosuljettu kaapelin toisessa päässä kuvan 42 mukaisesti. Kytkentä sopi tilanteeseen, jossa etsittävältä reitiltä tiedetään kaapeli, joka voidaan tehdä jännitteettömäksi kytkentää varten.



Kuva 41. Lähetin lähettää signaalin kaapeliin



Kuva 42. Johtimet on oikosuljettu kaapelin toisessa päässä

Kaapelitutkan näytöstä havaitaan milloin kaapeli on vastaanottimen alapuolella. Signaali on suurin juuri kaapelin kohdalla vastaanottimen ollessa kaapelin suuntaisesti. Paras herkkyysalue on viidestä seitsemään, jolloin kaapelin tarkka sijainti saadaan paikallistettua liikuttamalla vastaanotinta hitaasti sivusuunnassa. Jos lukema on liian suuri tai liian pieni, pidetään vastaanotin paikoillaan ja painetaan herkkyydensäätöpainiketta, jolloin vastaanotin säätää herkkyuden automaattisesti. [32.] Kuvan 43 tilanteessa kaapelin signaali on liian suuri, kuvassa 44 herkkyys on säädetty sopivalle tasolle. Kuvassa 45 vastaanotin on 90 asteen kulmassa kaapeliin nähden, jolloin signaali häviää.



Kuva 43. Vastaanotin havaitsee kaapelin, mutta signaali on liian vahva



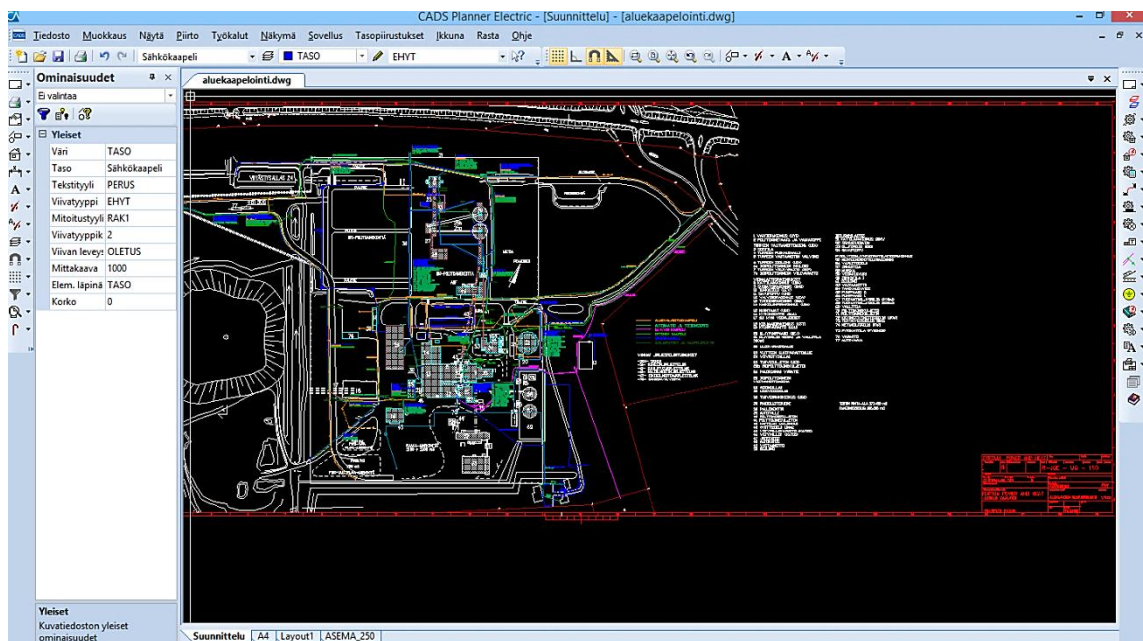
Kuva 44. Herkkyyttä on säädetty, signaalin vahvuus on hyvä



Kuva 45. Vastaanotin on käännetty 90 asteen kulmaan kaapeliin nähden

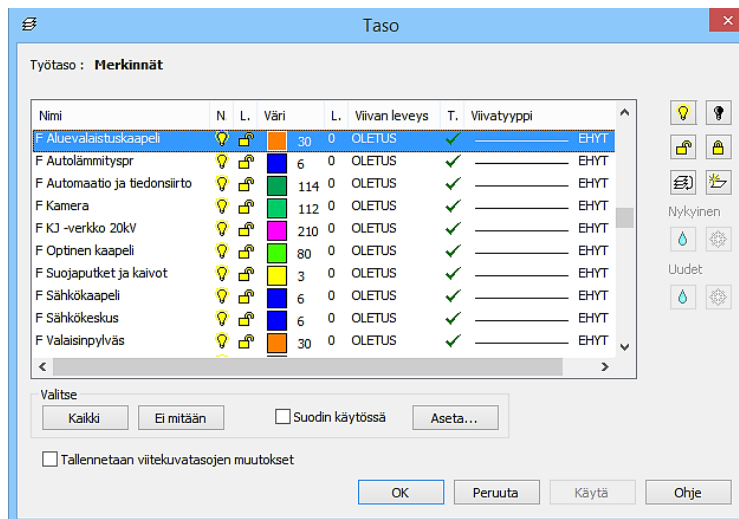
7.3 Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus

Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus piirrettiin CADS-suunnitteluohjelmalla asemakaavaan, joka oli valmiina dwg-tiedostomuodossa. Dwg-tiedosto on Autodeskin CAD-kuvien tallennusmuoto [36]. Piirustuksen mittakaava on 1:1000. Fortumintien ja autovaa'an maakaapelit sekä optiset kaapelit piirrettiin valmiiden dwg-tiedostomuodossa olevien kuvien avulla. Kuvassa 46 on näkymä CADS-suunnitteluohjelmasta, jossa on aukaistuna aluekaapeloinnin sijaintipiirustus.



Kuva 46. CADS-suunnitteluohjelman näkymä

Sähkökaapelit, aluevalaistuskaapelit, automaatio- ja tiedonsiirtokaapelit, optiset kuidut, 20 kilovoltin varasyöttökaapeli, suojaputket ja järjestelmien piirrosmerkit piirrettiin eri tasoille, jotta järjestelmät saadaan tarvittaessa näkyviin erikseen. Tasot voidaan nimetä, värejä valita sekä viivan leveydet ja tyypit muuttaa. Piirustuksessa eri järjestelmille valittiin omat värejä helpottamaan kuvan lukemista ja tulkintaa. Kuvassa 47 näkyvät piirustukseen luodut tasot. Piirustukseen lisättiin värien selitykset (kuva 48), jotka piirrettiin vastaavalle tasolle. Näin tason väriä muutettaessa myös selityksen väri muuttuu oikeaksi.



Kuva 47. Aluekaapeloinnin sijaintipiirustuksen sähkötekniset tasot



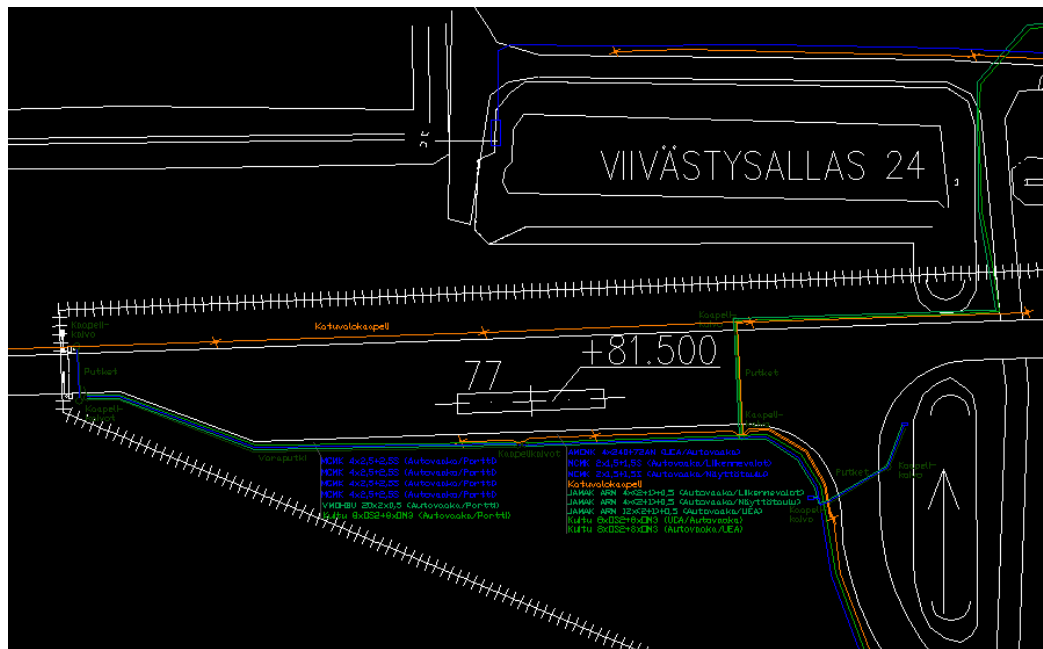
Kuva 48. Värien selitykset

Kaapelireiteille merkattiin kaikkien vanhoista piirustuksista löytyvien kaapelien tyypit. Osalla reiteistä ei ollut merkintöjä niissä kulkevista kaapeleista, eikä kaikista lisäyksistä ja muutoksista ollut tietoja. Reiteille, joissa kaapelit eivät olleet tiedossa, piirrettiin sähkökaapeli ja automaatio- ja tiedonsiirtokaapeli rinnakkain. Kaikkien voimalaitoksen maakaapelien läpikäyminen olisi ollut liian iso urakka.

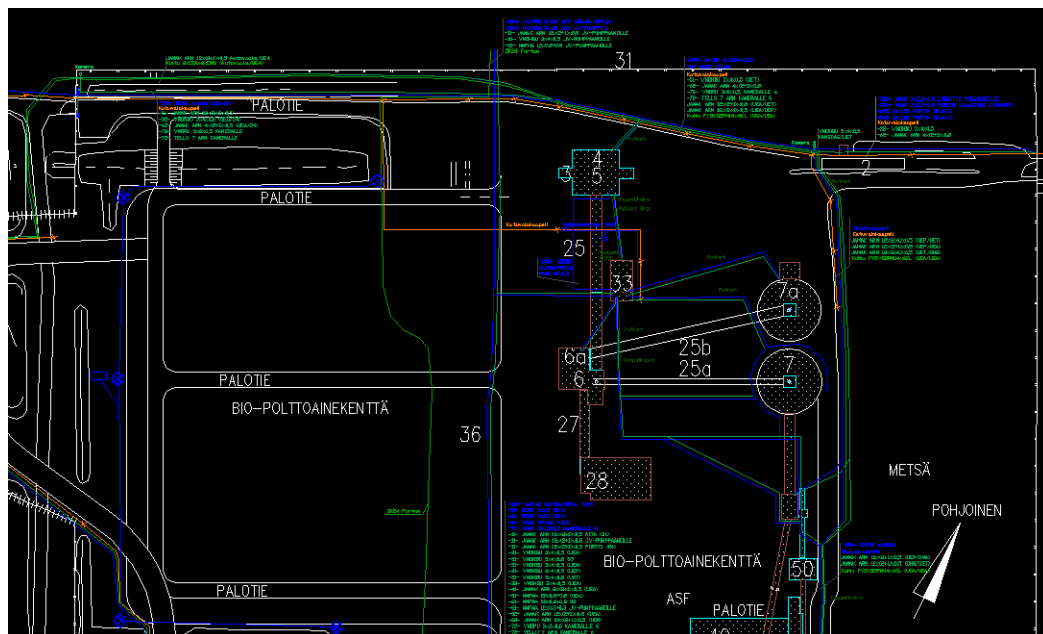
Kuvissa 49–53 on kuvankaappauksia piirretystä aluekaapeloinnin sijaintipiirustuksesta. Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus on kokonaisuudessaan liitteenä 9.

Kuvassa 49 näkyvät autovaa'alle (77) ja portille tulevat kaapelireitit ja kaapelit. Osa kaapeleista kulkee Fortumintien vieressä voimalaitokselle, osa viivästysaltaan reunan ja aidan vieressä turpeenvastaanottoaseman sähkötilaan.

Kuvassa 50 näkyy polttoaineen vastaanottoalue. Turpeen sähkötilan (33) välivarastojen (7a, 7), seulomojen (6a, 6) välisten kaapelireittien kaapeleiden tarkempia tietoja ei löytynyt vanhoista aluekaapelipiirustuksista. Kuvan 50 poikki keskeltä kulkeva kaapelireitti on tärkeä, siinä kulkevat esimerkiksi jäähdytysvesipumppamolle menevät 6 kilovolttin kaapelit kaukolämpöputkien vieressä.

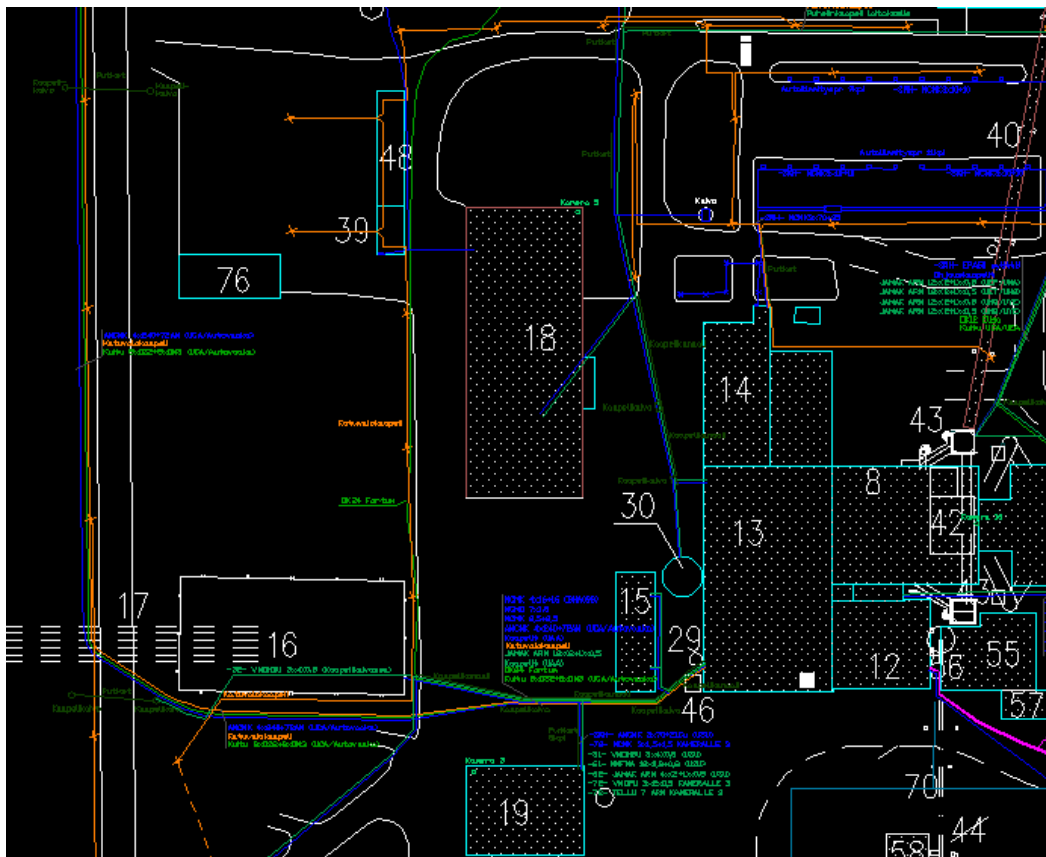


Kuva 49. Autovaaka (77)



Kuva 50. Polttoaineen vastaanottoalue

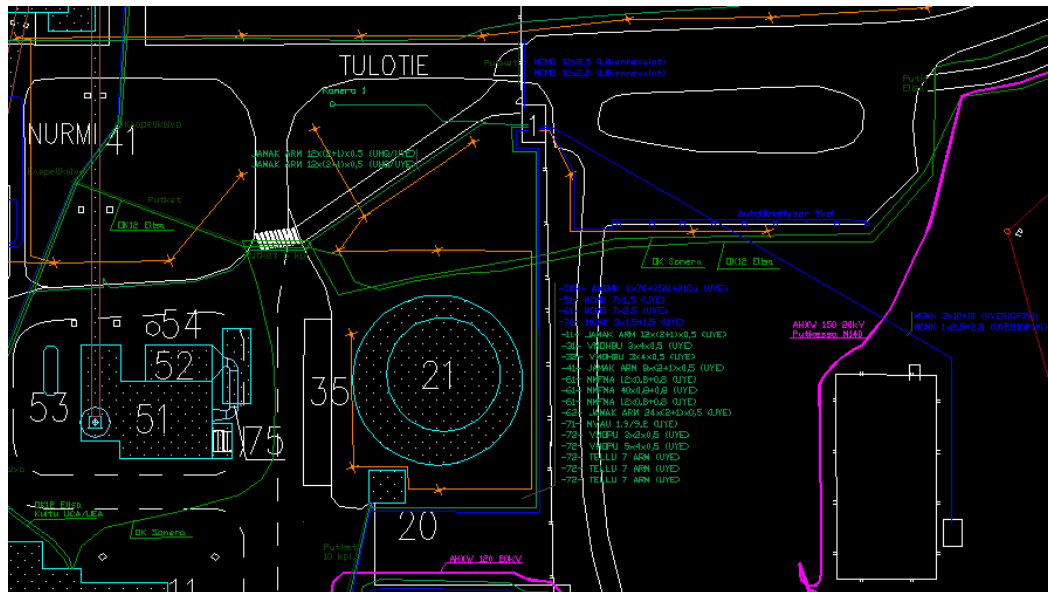
Kuvan 51 vasemmassa reunassa näkyy Fortumintie. Vaa'alta tuleva kaapelireitti kulkee kytkinkentän (16) vierestä kaapelikanaalin kautta voimalaitokselle. Kuvan 51 keskellä näkyy kaukolämpöputkien vieressä kulkeva kaapelireitti, josta haarautuu kaapelireitti myös korjaamorakennukseen (18). Piha- ja parkkialueilla on esimerkiksi valaistuksia ja autolämmityspistorasioita.



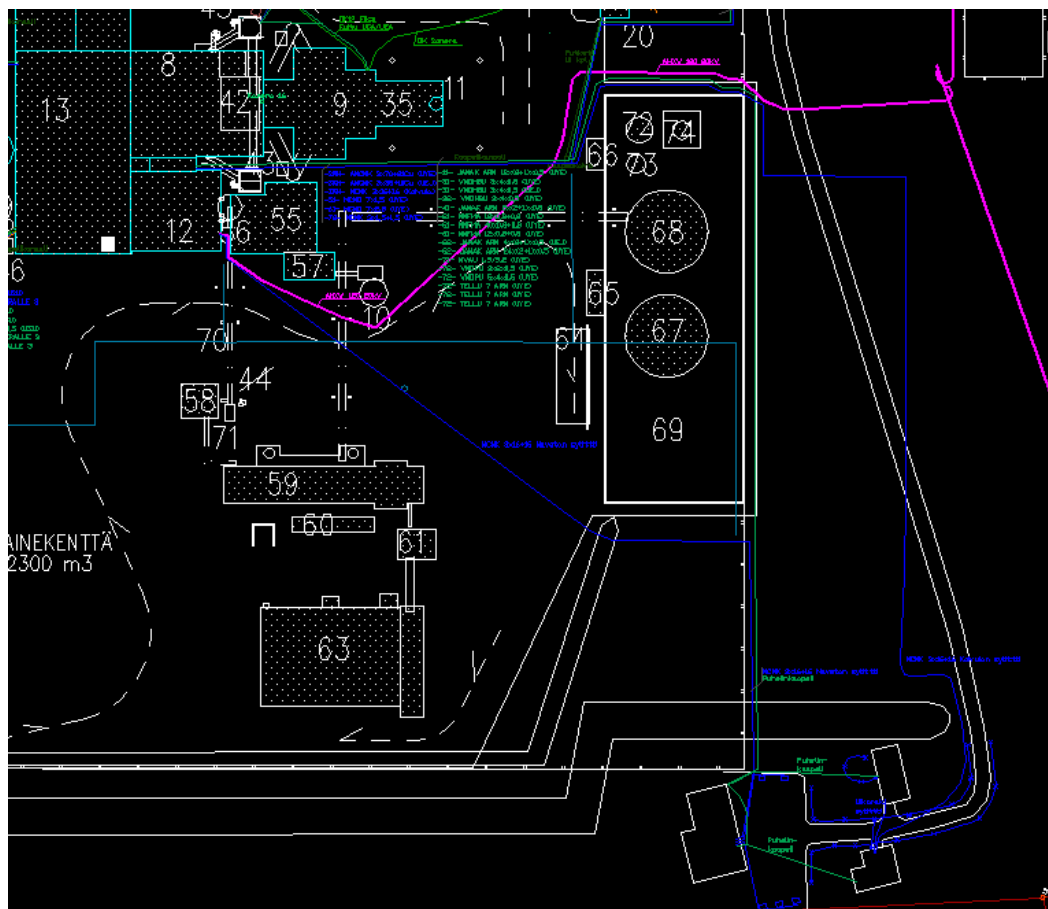
Kuva 51. Kytkinkenttä (16), korjaamo (18), voimalaitosrakennus

Kuvassa 52 näkyy, että öljysäiliön (21) ympärillä kulkee paljon kaapeleita esimerkiksi voimalaitoksen ja vartikopin (1) välillä. Tenniskentän (kuvassa oikealla) vierestä kulkee 20 kilovoltin maakaapeli, jonka reitti jatkuu voimalaitokselle johtavan tien reunassa. Saman tien reunassa kulkevat myös kaksi optista kaapelia laitokselle.

Kuvassa 53 näkyy voimalaitokselta lähtevä kaapelikanaali, jonka kautta kulkevat öljypumppaamolle (20) ja vartiokopille (1) menevät kaapelit. 20 kilovoltin varasyöttökaapeli näkyy kuvassa 53 violetina. Koivulan alue kaapeleinen näkyy kuvassa 53 oikealla alhaalla.



Kuva 52. Biolämpölaite (51), bioöljylämpölaite (75), öljysäiliö (21)



Kuva 53. 20 kilovoltin varasyöttökaapeli ja Koivulan alue

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tuloksena syntyi maakaapeloinnin ohjeistus ja aluekaapeloinnin sijaintipiirustus Joensuun voimalaitokselle. Opinnäytetyö ei tarjoa uutta tietoa maakaapeloinnista, mutta kokoaa siihen liittyvät vaatimukset, suositukset ja ohjeet yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Tarkan ja ajantasaisen dokumentoinnin merkitys korostuu isolla teollisuusalueella. Muutokset ja lisäykset, joita ei heti päivitetä piirustuksiin, unohtuvat ja jälkikäteen niiden selvittäminen on hankalaa ja aikaa vievää. Ilman ajantasaista aluekaapeloinnin sijaintipiirustusta kaivutyö vaatii erityistä valmistelua ja varovaisuutta, koska kaikkien kaapeleiden sijaintia ei tiedetä. Vahingoittunut kaapeli voi aiheuttaa suurenkin ongelman esimerkiksi laitoksen tuotantoon.

Easyloc-kaapelitutka osoittautui hyväksi työkaluksi kaapelireittien etsinnässä monipuolisten kytkentätapojensa ansiosta.

Aluekaapeloinnin sijaintipiirustusta voi jatkossa kehittää ja päivittää vielä paremmaksi. Bioöljylaitosalueen kaapelireittien lisääminen piirustukseen heti luovutuskuvien saavuttua on kannattavaa. Tarkastamalla kaapelit ja niiden tyypit jokaiselta kaapelireitiltä saisi piirustuksesta vielä informatiivisemman.

Toimeksiantajan odotuksena oli saada selkeät ohjeet maakaapeloinnin tekemiselle urakoitsijoita varten, yhdistää vanhat maakaapelikartat yhdeksi sekä selvittää ja tutkata epäselvät maakaapelit. Toimeksiantajan mukaan odotukset täyttyivät.

Lopuksi

Opinnäytetyöni aihe oli mielenkiintoinen ja ihanan käytännönläheinen. Opettelin kaapelitutkan toiminnan ja uuden suunnitteluohjelman käytön työn edetessä. Standardien ja asetusten läpikäymisestä on minulle varmasti hyötyä tulevaisuudessa. Toivon, että maakaapeloinnin ohjeistuksesta ja aluekaapeloinnin sijaintipiirustuksesta on toivottua hyötyä tulevaisuudessa.










Haluan kiittää Joensuun voimalaitoksen sähkökunnossapidon asentajia avusta opinnäytetyöni kanssa. Sähkö- ja automaatioryhmän vetäjälle, Arsi Näkille erityiskiitos opinnäytetyön aiheesta ja ohjauksesta.

Lähteet

1. Fortum Keilaniemi. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto Suomessa. Fortum Oyj. 2014. Verkkodokumentti. <https://www.fortum.fi/fi/energiantuotanto/s%C3%A4hk%C3%B6n-ja-l%C3%A4mm%C3%B6n-yhteistuotanto/suomessa/pages/default.aspx>. [Viitattu 23.1.2014.]
2. Sokuri, E. Kuvia Joensuun voimalaitoksesta. 2013. Sokuri Erkki.
3. Fortum Keilaniemi. Bioöljy. Fortum Oyj. 2013. Verkkodokumentti. <http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/polttoaineet/biooljy/pages/default.aspx>. [Viitattu 23.1.2014.]
4. Näkki, Arsi. 2014. Kunnossapitoinsinööri, sähkötöiden johtaja. Fortum Power and Heat Oy. Joensuu. Haastattelu 6.5.2014.
5. Partanen J., Viljanen S., Lassila J., Honkapuro S., Tahvanainen K., Karjalainen R., Annala S., Makkonen M. Sähkömarkkinat-opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUT Energia Sähkötekniikka. 2013. PDF-dokumentti. https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDMQFjAB&url=https%3A%2F%2Fnoppa.lut.fi%2Fnoppa%2Fopintojakso%2Fbl20a0400%2Fmateriaali%2Fsahkomarkkinat-luentomoniste_2.pdf&ei=2J97U_qEHYroywP-t4Ag&usg=AFQjCNE1c7BLyjgR9UTJM7r2_qxvRrQIcA&bvm=bv.67229260,d.bGQ. [Viitattu 22.4.2014.]
6. Energiamarkkinavirasto. Kertomus sähkön toimitusvarmuudesta 2013. PDF-dokumentti. <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CEEQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.energiavirasto.fi%2Fdocuments%2F10179%2F0%2FKertomus%2Bs%25C3%25A4hk%25C3%25B6n%2Btoimitusvarmuudesta%2B2013.pdf%2Feddfd629-bec0-42b5-a5c7-76b13e66afc6&ei=hQVWU6WxLbDzyAPF9oCgBA&usg=AFQjCNEg1-6Qya8qRAh4R8HMghCy7Fhf1g&bvm=bv.65177938,d.bGQ&cad=rja>. [Viitattu 22.4.2014.]
7. Tiainen E. 183 kysymystä ja vastausta sähköasennusstandardien soveltamisesta. Sähköinfo Oy. Espoo. 2013. 120 s. ISBN: 978-952-231-085-9.
8. Tiainen E. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo Oy. Espoo. 2013. 402 s. ISBN: 978-952-231-079-8.
9. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Sähköjohtojen mitoittaminen. PDF-dokumentti. http://www.abb.com/wwa/19_Sahkojohtojen_mitoittaminen.pdf. [Viitattu 17.4.2014.]
10. SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. Vahvistettu 13.8.2012. Teoksessa SFS-käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 2012. 627 s. ISBN: 978-952-242-201-9.
11. Tiainen E. Johdon mitoitus ja suojaus. Sähköinfo Oy. Espoo. 2010. 123 s. ISBN: 978-952-231-091-4.
12. Pyhäranta J. Sähköasennusten käsikirja 1 1992. Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy. Espoo. 1992. 536 s. ISBN: 951-9284-79-6.
13. Partanen, J. Sähköenergiatekniikan perusteet. Opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUT Energia Sähkötekniikka. 1998. ISBN-13: 978-951-764-123-4.
14. Tiainen E. Sähköasennusopas. Sähköinfo Oy. Espoo. 2010. 294 s. ISBN: 978-952-231-011-8.
15. Mäkinen M., Kallio R. Teollisuuden sähköasennukset. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu. 2004. ISBN: 951-1-18089-4.

16. Ratahallintokeskus. Maakaapeleiden kaivu- ja asennusohjeet. Helsinki. 2001. ISBN: 952-445-053-4.
17. SFS 5608. Maahan asennettavat kaapelinsuojukset ja varoituss nauhat. Rakenne ja koestus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. Vahvistettu 19.2.1990.
18. SFS-EN 61386-1. Sähköasennusten asennusputkijärjestelmät. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Vahvistettu 15.8.2011. Teoksessa SFS-käsikirja 600-2. Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 2012. 674 s. ISBN: 978-952-242-202-6.
19. SFS-EN 61386-24. Sähköasennusputkijärjestelmät. Osa 24: Maahan asennettavien asennusputkijärjestelmien erityisvaatimukset. Vahvistettu 15.8.2011. Teoksessa SFS-käsikirja 600-2. Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 2012. 674 s. ISBN: 978-952-242-202-6.
20. Liikennevirasto. Sähköjohdot ja maantiet. Kopijyvä Oy. Kuopio. 2011. 92 s. ISBN: 978-952-255-630-1.
21. Tiehallinto. Sähköjohdot ja yleiset tiet. Oy Edita Ab. Helsinki. 2001. 62 s. ISBN: 951-726-699-5.
22. ST 841.20 Kaapeleiden asennus. Sähköinfo Oy. Espoo. Laadittu 15.6.1993.
23. Monni M. Sähkölaitosasennukset. Oy Edita Ab. Helsinki. 1996. 173 s. ISBN: 951-37-1902-2.
24. Sähkönumerot.fi, sähkötarvikkeiden tietopalvelu. STK-Tietopalvelut Oy. Verkkodokumentti. <http://sahkonumerot.fi/search/?keyword=kylm%C3%A4kutistejatkos&x=0&y=0&electricalNumber=&df=0>. [Viitattu 12.5.2014.]
25. Sähkönumerot.fi, sähkötarvikkeiden tietopalvelu. STK-Tietopalvelut Oy. Verkkodokumentti. <http://sahkonumerot.fi/search/?keyword=valujatkos&x=0&y=0&electricalNumber=&df=0>. [Viitattu 12.5.2014.]
26. Ensto Oy. Verkkodokumentti. http://products.ensto.com/catalog/10492/product/12502/SJK1_FIN1.html. [Viitattu 3.4.2014.]
27. Ensto Oy. Verkkodokumentti. http://products.ensto.com/catalog/10881/product/12602/SRS3.1_FIN1.html. [Viitattu 3.4.2014.]
28. Tiainen E., Maadoituskirja. Sähköinfo Oy. Espoo. 2007. 176 s. ISBN: 978-952-5600-43-8.
29. SFS 6001 + A1 + A2. Suurjännitesähköasennukset. Vahvistettu 25.5.2009. Teoksessa SFS-käsikirja 601. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 2009. 627 s. ISBN: 978-952-242-051-0.
30. SFS-EN 61082-1. Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen. Osa 1: Säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. Vahvistettu 27.11.2006.
31. ST 840.25. Yleiset dokumentointiohjeet ja dokumenttien sisällön kuvaus. Sähköinfo Oy. Espoo. Laadittu 15.6.1993.
32. SebaKMT. Easyloc Rx Tx -käyttöohje.
33. SebaKMT. Operating Instructions Easyloc Rx Tx. 2006.
34. PJT-11 -kaapelitutkan käyttöohje. Erikois-Elektroniikka Neuvonen Oy. 2006.
35. PJT-11 -kaapelitutkan esite. Erikois-Elektroniikka Neuvonen Oy.
36. Autodesk. Verkkodokumentti. 2014. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=6703438&siteID=123112>. [Viitattu 28.4.2014.]

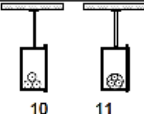
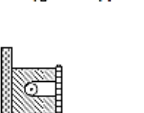
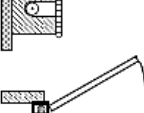
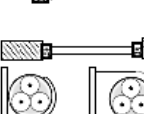
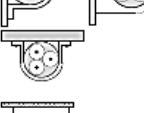

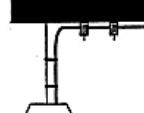
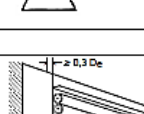
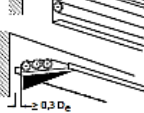
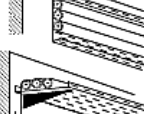
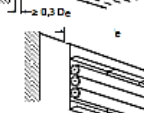
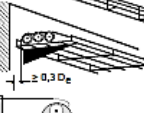
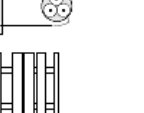
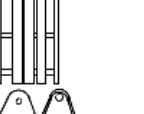
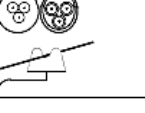

Referenssiasennustavat

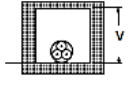
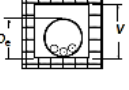
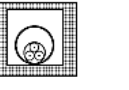
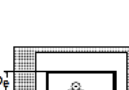
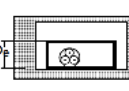



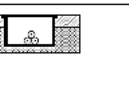
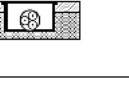
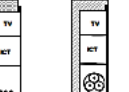
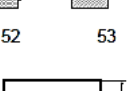
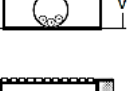

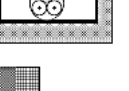

Kohta nro	Asennustapa	Kuvaus	Referenssiasennustapa, jota käytetään kuormitettavuuden määrittelyssä (ks. liite 52B)
1	 Huone	Eristetyt johtimet lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa ^{a, e}	A
2	 Huone	Kaapeli lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa ^{a, e}	A
3	 Huone	Monijohdinkaapeli suoraan lämpöeristetyssä seinässä ^{a, e}	A
4	 Huone	Eristetyt johtimet puu- tai kiviseinän pinnalle asennetussa putkessa alle 0.3 x kaapelin halkaisijan etäisyydellä seinästä ^a	B
5	 Huone	Kaapeli puu- tai kiviseinän pinnalle asennetussa putkessa alle 0.3 x kaapelin halkaisijan etäisyydellä seinästä ^a	B
6	 Huone	Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit johtokanavassa puuseinällä – asennettuna vaakasuoraan ^b – asennettuna pystysuoraan ^{b, c}	B
7	 Huone	Monijohdinkaapeli johtokanavassa puuseinällä – asennettuna vaakasuoraan ^b – asennettuna pystysuoraan ^{b, c}	Harkittavana ^d Voidaan käyttää asennustapaa B
8	 Huone		
9	 Huone		

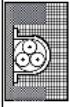




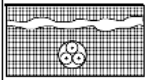
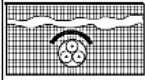
HUOM. 1 Kuvien tarkoituksena ei ole esittää tiettyä tuotetta tai asennuskäytäntöä, vaan niiden tarkoitus on kuvata esitellyä asennustapaa.

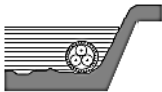
HUOM. 2 Kaikki alaviitteet on esitetty taulukon viimeisellä sivulla.

Lähde: SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. Vahvistettu 13.8.2012. Teoksessa SFS-käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 2012. 627 s. ISBN: 978-952-242-201-9. S. 232–238.

Kohta nro	Asennustapa	Kuvaus	Referenssiasennustapa, jota käytetään kuormitettavuuden määrittelyssä (ks. liite 52B)
10		Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit riippuvassa johtokanavassa ^b	B
11		Monijohdinkaapeli riippuvassa johtokanavassa ^b	B
12		Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit muotolistassa ^{c,*}	A
15		Eristetyt johtimet putkessa tai yksijohdinkaapelit ovilistassa ^{c,f}	A
16		Eristetyt johtimet putkessa tai yksijohdinkaapelit ikkunakehyksissä ^{c,f}	A
20		Yksi- tai monijohdinkaapelit: – kiinni tai enintään 0,3 x kaapelin halkaisijan etäisyydellä puuseinästä	C
21		Yksi- tai monijohdinkaapelit: – kiinnitetty suoraan puisen tai kivirakenteisen katon alapuolelle	C, ottaen huomioon taulukon B.52.17 kohta 3
22		Yksi- tai monijohdinkaapelit: – etäisyyden päässä katosta	harkittavana voidaan käyttää menetelmää E
23		Riippuvan sähkölaitteen kiinteä asennus	C, ottaen huomioon taulukon B.52.17 kohta 3
30		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Reiättämättömällä hyllyllä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c,h}	C ja taulukon B.52.17 kohta 2
31		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Reiitetyllä hyllyllä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c,h} HUOM. Määrittely, katso kohta B.52.6.2.	E tai F
32		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Kaapelikannattimilla tai lankaverkon päällä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c,h}	E tai F
33		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Yli 0,3 kertaa kaapelin halkaisijan etäisyydellä seinästä	E tai F tai menetelmä G ^a
34		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Kaapelitikkailla	E tai F
35		Yksi- tai monijohdinkaapeli ripustettu kannatusvaijerista tai sisältäen kannatusvaijerin	E tai F
36		Paljas tai eristetty johdin eristimillä	G

Kohta nro	Asennustapa	Kuvaus	Referenssiasennustapa, jota käytetään kuormitettavuuden määrittelyssä (ks. liite 52B)
40		Yksi- tai monijohdinkaapeli rakennuksen ontelossa ^{e,h,i}	B
41		Eristetyt johtimet putkessa rakennuksen ontelossa olevassa ^{e,h,i}	B
42		Yksi- tai monijohdinkaapeli putkessa rakennuksen ontelossa ^d	Harkittavana Voidaan käyttää B
43		Eristetyt johtimet umpinaisessa johtokanavassa rakennuksen ontelossa ^{e,i,l}	B
44		Yksi- tai monijohdinkaapelit johtimet umpinaisessa johtokanavassa rakennuksen ontelossa ^e	Harkittavana Voidaan käyttää B
45		Eristetyt johtimet umpinaisessa johtokanavassa kivirakenteessa, jonka lämpöresistivisyys ei ole suurempi kuin 2 K·m/W ^{e,h,i}	B
46		Yksi- tai monijohdinkaapelit umpinaisessa johtokanavassa kivirakenteessa, jonka lämpöresistivisyys ei ole suurempi kuin 2 K·m/W ^e	Harkittavana Voidaan käyttää B
47		Yksi- tai monijohdinkaapelit: – katon ontelossa – ylösnostetussa lattiassa ^{h,i}	B
50		Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit lattiaan upotetussa avattavassa johtokanavassa	B
51		Monijohdinkaapelit lattiaan upotetussa avattavassa johtokanavassa	Harkittavana, voidaan käyttää B
52		Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit upotetussa johtokanavassa ^e	B
53		Monijohdinkaapelit upotetussa johtokanavassa ^e	B
54		Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit putkessa kaapelikanavassa, jossa ei ole ilmanvaihtoa, asennettuna vaaka- tai pystysuoraan. ^{e,i,l,n}	B
55		Eristetyt johtimet putkessa avoimessa tai ilmanvaihdolla varustetussa lattiaan asennetussa kaapelikanavassa ^{m,n}	B
56		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit avoimessa tai ilmanvaihdolla varustetussa kaapelikanavassa asennettuna vaaka- tai pystysuoraan ⁿ	B
57		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan kivirakenteessa, jonka lämpöresistivisyys ei ole suurempi kuin 2 K·m/W Ilman mekaanista lisäsuojasta ^{e,p}	C

Kohta nro	Asennustapa	Kuvaus	Referenssiasennustapa, jota käytetään kuormitettavuuden määrittelyssä (ks. liite 52B)
58		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan kivirakenteessa, jonka lämpöresistivisyys ei ole suurempi kuin 2 K·m/W Mekaanisella lisäsuojauksella ^a *	C
59		Eristetyt johtimet tai yksijohdinkaapelit putkessa kivirakenteessa ^a	B
60		Monijohdinkaapelit putkessa kivirakenteessa ^a	B
70		Monijohdinkaapeli umpinaisessa johtokanavassa tai putkessa maassa	D
71		Yksijohdinkaapelit umpinaisessa johtokanavassa maassa	D
72		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan maassa – ilman mekaanista suojaa	D
73		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan maassa – mekaanisella lisäsuojalla	D

Kohta nro	Asennustapa	Kuvaus	Referenssiasennustapa, jota käytetään kuormitettavuuden määrittelyssä (ks. liite 52B)
80		Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit upotettuna veteen	D

^a Seinän sisemmän pinnan lämmönjohtavuus vähemmän kuin 10 W/m²·K.

^b Referenssiasennustavalle B liitteessä 52B annetut arvot ovat yhdelle virtapiirille. Jos on useampia kuin yksi virtapiiri johtokanavassa, käytetään taulukossa A.52.17 annettuja korjauskertoimia, riippumatta siitä onko sisäisiä erotus- tai jakoseiniä.

^c Kun kaapeli on asennettu pystysuoraan ja ilmanvaihto on rajoitettu, ympäristön lämpötila pystysuoran osuuden yläpäässä voi nousta merkittävästi. Asia on harkittavana.

^d Voidaan käyttää referenssiasennustavan B arvoja.

^e Koteloinnin lämpöresistivisyyden oletetaan olevan huono johtuen rakennemateriaalista ja mahdollisista ilmaväleistä. Jos rakenne vastaa lämpöteknillisesti asennustapoja 6 tai 7, voidaan käyttää referenssiasennustapaa B.

^f Koteloinnin lämpöresistivisyyden oletetaan olevan huono johtuen rakennemateriaalista ja mahdollisista ilmaväleistä. Jos rakenne vastaa lämpöteknillisesti asennustapoja 6, 7, 8 tai 9, voidaan käyttää referenssiasennustapaa B.

^g Voidaan käyttää myös taulukon B.52.17 mukaisia kertoimia.

^h D_e = monijohdinkaapelin ulkohalkaisija:
– 2,2 x kaapelin halkaisija, kun kolme yksijohdinkaapelia on asennettu kolmion muotoon, tai
– 3 x kaapelin halkaisija, kun kolme yksijohdinkaapelia on asennettu tasoon.

ⁱ V = kivirakenteisen kanavan tai ontelon pienempi mitta tai halkaisija, tai suorakulmaisen kanavan tai lattian tai katon ontelon pystysuora syvyys.

^j D_e = putken ulkohalkaisija tai umpinaisen johtokanavan syvyys.

^k D_e = putken ulkohalkaisija.

^m Asennustavalla 55 voidaan monijohdinkaapeleilla käyttää referenssimenetelmää B.

ⁿ Tätä asennustapaa suositellaan käytettäväksi vain tiloissa, joihin henkilöillä on rajoitettu pääsy ja roskien kerääntymisestä aiheutuva palovaara ja kuormitettavuuden pieneneminen voidaan ehkäistä.

^o Kaapeleilla, joiden poikkipinta on korkeintaan 16 mm² kuormitettavuus voi olla suurempi.

^p Kivirakenteen lämpöresistivisyys ei ole suurempi kuin 2 K·m/W. Kivirakenteella tarkoitetaan tiiltä, betonia, laastia ja vastaavia (mutta kuin lämpöä eristäviä materiaaleja).

Kuormitettavuustaulukot

Kuormitettavuus ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet, yleensä kolme kuormitettua johdinta. Johtimen lämpötila: 70 °C. Ympäristön lämpötila: ilmassa 25 °C, maassa 15 °C.

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa						
	A		B		C		D
	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitettua johdinta	kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		–		317		370
185	236		–		361		420
240	278		–		427		480
300	316		–		492		550
Alumiini							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		–		240		280
185	187		–		274		330
240	219		–		323		375
300	257		–		372		430

Lähde: SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. Vahvistettu 13.8.2012. Teoksessa SFS-käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 2012. 627 s. ISBN: 978-952-242-201-9. S. 245–246.

Kuormitettavuus ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PEX- ja EPR-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet, kolme kuormitettua johdinta. Johtimen lämpötila: ilmassa, 90 °C maassa 65 °C. Ympäristön lämpötila: ilmassa 25 °C, maassa 15 °C.

Nimellinen johtimen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa			
	A	B	C	D
1	2	3	4	5
Kupari				
1,5	17	20	23	26
2,5	23	27	31	35
4	31	36	42	46
6	39	45	52	57
10	53	62	71	77
16	70	83	100	100
25	92	109	124	130
35	113	133	153	160
50	135	160	186	190
70	170	202	238	240
95	205	242	289	285
120	236	278	335	325
150	269	–	386	370
185	306	–	441	420
240	360	–	520	480
300	411	–	599	550
Alumiini				
16	57	66	79	78
25	73	87	94	100
35	90	107	116	125
50	108	129	141	150
70	136	162	181	185
95	163	195	219	220
120	187	224	255	255
150	214	–	294	280
185	242	–	336	330
240	283	–	397	375
300	325	–	458	430

Oikosulkuvirtataulukot suojalaitteille

Vaaditut mitatut oikosulkuvirrat johdonsuoja-automaateille

Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta A	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

Vaaditut mitatut oikosulkuvirrat gG-sulakkeille

Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta A	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	840	1050	425	531,3
100	1000	1250	580	725
125	1450	1812,5	715	893,8
160	1600	2000	950	1187,5
200	2100	2625	1250	1562,5
250	2800	3500	1650	2062,5
315	3700	4625	2200	2750
400	4800	6000	2840	3550
500	6400	8000	3800	4750
630	8500	10 625	5100	6375

Lähde: Tiainen E. Johdon mitoitus ja suojaus. Sähköinfo Oy. Espoo. 2010. 123 s. ISBN: 978-952-231-091-4. S. 91–92.

Esimerkkikaapeleita

Valmistaja Reka Kaapeli Oy



Aurattava voimakaapeli AMCMK-PE

0,6/1 (1.2) kV

HD 603-3F; IEC 60502-1 soveltaen

Kiinteään asennukseen ulkona, kaapelihyllyillä ja kaapelikanavissa sekä metallirakenteissa. Kaapeli voidaan asentaa suoraan maahan kansallisten asennusvaatimusten mukaisesti. Soveltuu kaapeliauraukseen.

Johdin	25...50 mm ² tiivistetty sektorin muotoinen alumiinijohdin 95...150 mm ² pehmeäksi hehkutettu, sektorin muotoinen alumiinijohdin
Erikoisominaisuus	Soveltuu kaapeliauraukseen
Eristys	Lyijytön PVC-muovi
Välivaippa	Musta lyijytön PVC-muovi
Vaippa	Musta säänkestävä polyeteenimuovi (PE)
Käsittely °C	-15
Käyttö °C	+70
Oikosulku °C	+160

Tuotenumero	Tunnus	Halkaisija [mm]	Paino [kg/km]	Pienin taivutussäde [cm]	Pienin taivutussäde, kertataivutus [cm]
06 223 38	3x25/16	27	780	32	22
06 223 30	3x50/29	32	1230	38	26
06 223 32	3x95/57	41	2150	49	33
06 223 34	3x150/88	48	3200	58	38

Tunnus	Suurin vetovoima vetopäällä [kN]	Suurin vetovoima vetosukalla [kN]	Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi, +20 °C [ohm/km]	Kuormitettavuus maassa, johdin +65 °C [A]	Kuormitettavuus ilmassa, johdin +70 °C [A]
3x25/16	1.13	1.13	1.2	100	83
3x50/29	2.25	2.25	0.641	150	124
3x95/57	4.28	4.28	0.32	220	194
3x150/88	6.75	6.75	0.206	280	260

Tunnus	Pakkaustiedot [m]
3x25/16	1000
3x50/29	1000
3x95/57	1000
3x150/88	500

Lähde: Reka Kaapeli Oy. Verkkodokumentti. http://www.reka.fi/products/reko/AMCMK-PE_0%2C6_Aurattava+voimakaapeli. [Viitattu 27.1.2014.]



Alumiinivoimakaapeli AXMK

0,6/1 (1.2) kV

SFS 4879; HD 603-5D

Kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona.

Johdin	1x300 mm ² pyöreä alumiiniköysi, pehmeäksi hehkutettu 16...25 mm ² pyöreä alumiiniköysi 35...70 mm ² sektorin muotoinen alumiiniköysi 95...300 mm ² pehmeäksi hehkutettu alumiiniköysi
Paloluokka	F2 »
Eristys	Säänkestävä PEX-muovi
Vaippa	Musta PVC-muovi
Käsittely °C	-20
Käyttö °C	+90
Oikosulku °C	+250

Saatavana myös REKOCLEAN-versiona.

Tuotenumero	Tunnus	Halkaisija [mm]	Paino [kg/km]	Pienin taivutussäde [cm]	Pienin taivutussäde, kertataivutus [cm]
06 262 02	1x300	29	1170	44	29
06 262 07	4x16 S	20	390	24	16
06 262 08	4x25 S	22	520	26	18
06 262 09	4x35 S	24	650	29	19
06 262 10	4x50 S	28	850	34	22
06 262 11	4x70 S	32	1180	38	26
06 262 12	4x95 S	35	1520	42	28
06 262 13	4x120 S	40	1900	48	32
06 262 14	4x150 S	44	2330	53	35
06 262 15	4x185 S	48	2880	58	38
06 262 16	4x240 S	55	3700	66	44
06 262 17	4x300 S	60	4580	72	48

Tunnus	Suurin vetovoima vetopäällä [kN]	Suurin vetovoima vetosukalla [kN]	Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi, +20 °C [ohm/km]	Käyttökapasitanssi [µF/km]	Kuormitettavuus maassa, johdin +65 °C [A]
1x300	4.50	4.50	0.1	-	-
4x16 S	0.96	0.96	1.91	0.20	78
4x25 S	1.50	1.50	1.20	0.20	100
4x35 S	2.10	2.10	0.868	0.20	125
4x50 S	3.00	3.00	0.641	0.25	150
4x70 S	4.20	4.20	0.443	0.25	185
4x95 S	5.70	5.70	0.32	0.25	220
4x120 S	7.20	7.20	0.253	0.30	255
4x150 S	9.00	8.50	0.206	0.30	280
4x185 S	11.10	8.50	0.164	0.30	330
4x240 S	14.40	8.50	0.125	0.30	375
4x300 S	18.00	8.50	0.1	0.35	430

Tunnus	Kuormitettavuus ilmassa, johdin +90 °C [A]	Pakkaustiedot [m]
1x300	569	1000 K18
4x16 S	80	500 K9
4x25 S	101	500 K10
4x35 S	125	500 K11
4x50 S	152	500 K12
4x70 S	194	500 K14
4x95 S	236	500 K16
4x120 S	274	500 K18
4x150 S	316	500 K18
4x185 S	361	500 K20
4x240 S	425	500 K22
4x300 S	490	500 K24

Lähde: Reka Kaapeli Oy. Verkkodokumentti. http://www.reka.fi/products/reko/AXMK_0,6_Alumiinivoimakaapeli. [Viitattu 27.1.2014.]

Käyttöönottotarkastuspöytäkirjan esimerkki



ST 51.21.05

1 (4)

Pöytäkirjan nro _____

KÄYTTÖÖNOTTO- TARKASTUSPÖYTÄKIRJA

Käyttöönottotarkastuksen osatarkastus <input type="checkbox"/>			
Käyttöönottotarkastus <input type="checkbox"/>			
Muu <input type="checkbox"/>			
PERUSTIEDOT			
Kohteen tiedot	Työnumero	Kohteen nimi ja yksiköinti	Osoite ja postitoimipaikka
Sähkölaitteiston rakentaja	Rakentajan nimi	Osoite ja postitoimipaikka	
	Sähkötöiden johtaja		
	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite	
1. AISTINVARAINEN TARKASTUS			
Koko kohde <input type="checkbox"/> Vain kyseinen keskusalue <input type="checkbox"/>			
a)	Sähköiskulta suojaus	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
b)	Palosuojaus	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
c)	Johtimien valinta	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
d)	Suoja-, käyttö- ja valvontalaitteet	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
e)	Erotus- ja kytkentälaitteet	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
f)	Sähkölaitteiden suojausmenetelmät	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
g)	Nolla- ja suojaohjelmien tunnuksot	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
h)	Yksivaiheiset kytkinlaitteet	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
i)	Dokumentit, varoituskilvet yms.	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
j)	Tunnistettavuus	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		
k)	Johtimien liitosten sopivuus	Kunnossa <input type="checkbox"/>	Ei sisälly <input type="checkbox"/>
	Huom!		

2 (4)

1. AISTINVARAINEN TARKASTUS (jatkuu)									
l) Suojajohtimien olemassa olo		Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly	<input type="checkbox"/>				
Maadoituselektrodin rakenne:									
Perustusmaadoitus		<input type="checkbox"/>							
Muu, mikä?		_____							
Perustelut _____									
m) Sähkölaitteiston vaatima tila		Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly	<input type="checkbox"/>				
Huom! _____									
n) Erikoistilat		Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly	<input type="checkbox"/>				
Kohdetta koskevat erikoistilat:									
Lääkintätila		Liite _____							
Räjähdyshaarallinen tila		Liite _____							
		Liite _____							
KESKUKSEN NIMI JA TUNNUS: _____									
2. SUOJAJOHTIMIEN JATKUVUUS (PE-, PEN-, maadoitus-, pää- ja lisäpotentiaalintasausjohtimet)									
Todettu kaikista laitteista ja pistorasioista		<input type="checkbox"/>							
Suurin resistanssi		_____ Ω , ryhmässä _____							
Jatkuvuus todettu vaatimusten mukaiseksi		<input type="checkbox"/>							
Liitteet _____									
3. ERISTYSRESISTANSSI									
Kohde	Ryhmä nro	$R_v/M\Omega$	Huom	Kohde	Ryhmä nro	$R_v/M\Omega$	Huom		
Lisää rivi		Poista viimeinen rivi							
Eristysresistanssit todettu vaatimusten mukaisiksi <input type="checkbox"/>									
PE- ja N-johtimien yhdistys on palautettu mitausten jälkeen entiselleen <input type="checkbox"/>									
Erikoistoimenpiteet mitausten suorittamisessa: _____									
Liitteet _____									
4. SYÖTÖN AUTOMAATTINEN POISKYTKENTÄ									
		I_k/A	Z_k/Ω	Suojalaite		I_n/A (suojalaitteet)			
Keskus									
Epäedullisin piste (0,4 s)									
Epäedullisin piste (5,0 s)									
Lisää rivi		Poista viimeinen rivi							
Oikosulkuvirta- ja siimukkaimpedanssiarvot saatu mittaamalla		<input type="checkbox"/>							
Vikasuojaus on toteutettu vikavirtasuojalla		<input type="checkbox"/>							
Oikosulkuvirta- ja siimukkaimpedanssiarvot saatu laskemalla		<input type="checkbox"/>							
Saadut arvot ovat standardin vaatimusten mukaiset		<input type="checkbox"/>							
Liitteet: _____									
Vikavirtasuojat									
Tyyppi ja käyttö-tarkoitus	Ryhmä nro	Nimellisarvo/mitattu arvo		Painike-testaus	Tyyppi ja käyttö-tarkoitus	Ryhmä nro	Nimellisarvo/mitattu arvo		Painike-testaus
		t/ms	$I_{\Delta n}$				t/ms	$I_{\Delta n}$	
Lisää rivi		Poista viimeinen rivi							
Toiminnot todettu standardien vaatimusten mukaisiksi		<input type="checkbox"/>							
Käyttötarkoitus: VS = vikasuojaus, LS = lisäsuojaus, PS = palosuojaus									
Liitteet: _____									
5. KIERTOSUUNNAN TARKASTUS									
Keskus	<input type="checkbox"/>	3-vaihepistorasiat	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly asennukseen	<input type="checkbox"/>				

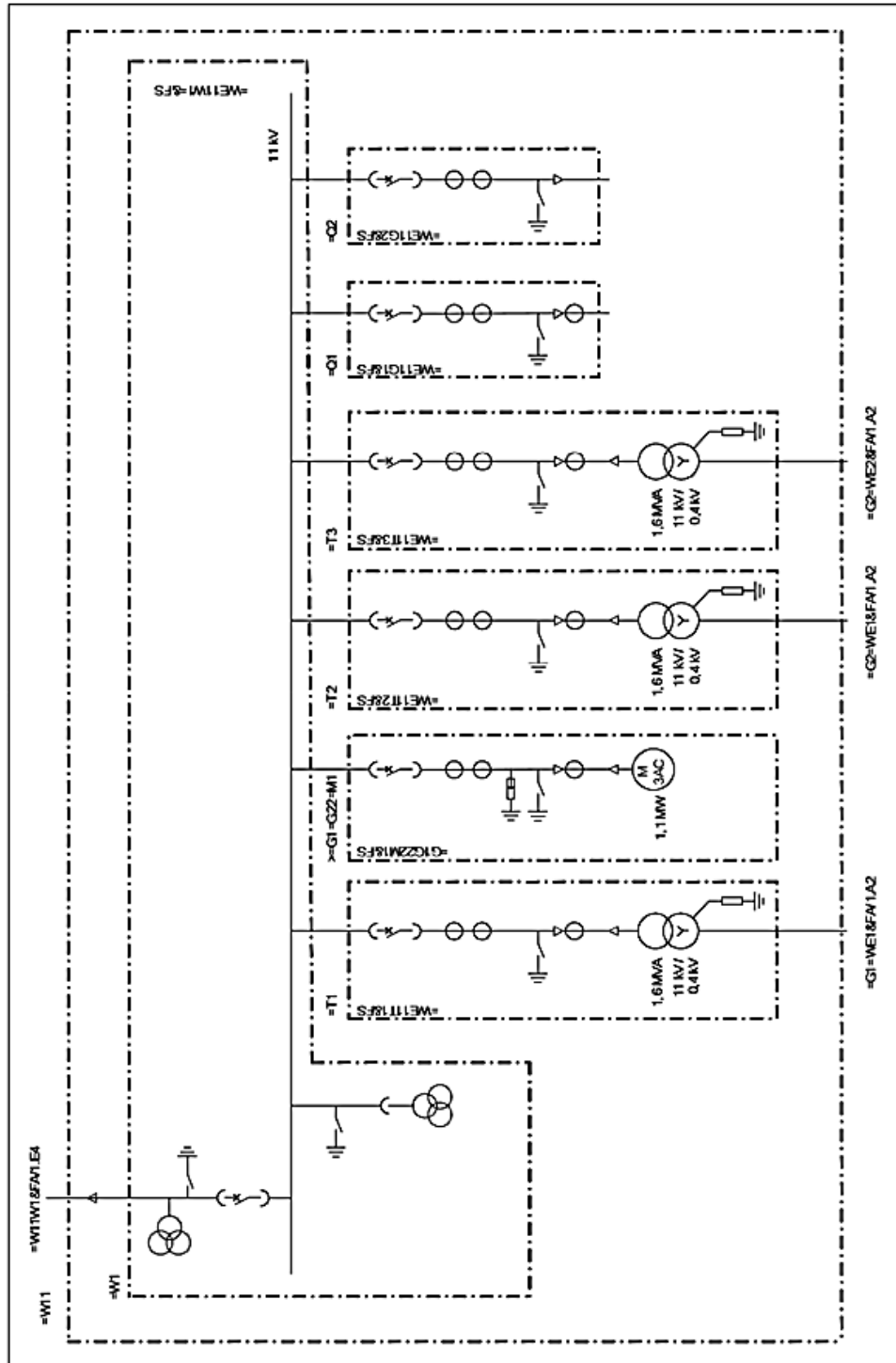
6. TOIMINTA- JA KÄYTTÖTESTIT	
Koneet ja laitteet <input type="checkbox"/>	Toiminnaalliset kokonaisuudet <input type="checkbox"/> Ei sisälly asennukseen <input type="checkbox"/>
7. EMC-SUOJAUS	
Kohteessa on käytetty TN-S -järjestelmää	<input type="checkbox"/>
Maadoitukset ja potentiaalitasaukset on toteutettu EMC-vaatimusten mukaisesti	<input type="checkbox"/>
Kaapeleiden valinta, sijoittelu ja asentaminen on toteutettu EMC-vaatimusten mukaisesti	<input type="checkbox"/>
Laittevalinnoissa on huomioitu asennusympäristön vaatimukset	<input type="checkbox"/>
Asennuksissa on noudatettu laitevalmistajien ohjeita	<input type="checkbox"/>
Muuta, mitä?	
Liitteet:	
Sähkölaitteisto täyttää sähköturvallisuuslain ja valtioneuvoston asetuksen (1466/2007) sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset <input type="checkbox"/>	
8. HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJELMAN TARVE	
Kohteen kunnossapito-ohjelma vaaditaan <input type="checkbox"/>	
ei vaadita <input type="checkbox"/>	
Kohteessa on huolto- ja kunnossapito-ohjelma <input type="checkbox"/>	
Kohteessa on käyttö-, huolto- ja kunnossapito-ohjeet <input type="checkbox"/>	
Kohteessa on poistumisreititilavaistus <input type="checkbox"/>	Kohteessa on poistumisreititilavaistusta koskeva kunnossapito-ohjelma <input type="checkbox"/>
9. SEURAAVA MÄÄRÄAIKAISTARKASTUS	
Tarkastus: vaaditaan <input type="checkbox"/> määräaikaistarkastuksen ajankohhta _____	
ei vaadita <input type="checkbox"/>	
Huom!	
10. KOHTEEN TOTEUTUKSESSA KÄYTETYT STANDARDIT	
Toteutuksessa on käytetty standardikäsikirjaa SFS 600/20 _____ ja muuta, mitä?	
Kohde on toteutettu edellä mainittujen standardien vaatimusten mukaisesti toteutetuksi <input type="checkbox"/>	
11. PALOVAROITTIMET	
<input type="checkbox"/> Vakuutamme, että asennetut palovaroittimet täyttävät niille säädöksissä ja määräyksissä asetetut vaatimukset (pelastustoimen laitelaki, asetus palovaroittimien teknisistä ominaisuuksista, sähköturvallisuus säädökset jne.) ja että ne on asennettu ao. suunnitelman mukaisesti.	
<input type="checkbox"/> Palovaroittimen käyttö- ja huolto-ohjeet on luovutettu.	
Selvitys kuinka palovaroittimien virran ja varavirran syöttö on toteutettu:	
Lisäetuja:	
<input type="checkbox"/> Palovaroittimien osalta on laadittu erillinen asennustodistus, jossa on mainittu edellä esitetyt asiat ja joka on tämän pöytäkirjan liitteenä.	
12. TARKASTUKSEN TEKIJÄ(T)	
<input type="checkbox"/> Lisää tarkastuksen tekijöitä <input type="checkbox"/> Poista tarkastuksen tekijöitä	
Päiväys	Päiväys
Allekirjoitus ja nimen selvennys	Allekirjoitus ja nimen selvennys
Mittauksissa käytetyt mittalaitteet:	

4 (4)

13. LUOVUTUSMERKINTÄ	
a)	Ilmoitus kohteen valmistumisesta tehty: Verkkoyhtiö <input type="checkbox"/> Verkkoyhtiön nimi _____ TUKES <input type="checkbox"/> _____
b)	Käytön opastus <input type="checkbox"/> Sovittu pidettäväksi pvm __. __ 20__
c)	Käyttöönottotarkastuspöytäkirja luovutettu liitteineen <input type="checkbox"/> Liitteet: _____
d)	Piirustukset ja muut dokumentit luovutettu <input type="checkbox"/>
Luettelo piirustuksista ja dokumenteista:	
Lisätietoja:	
Päiväys	Allekirjoitus ja nimen selvennys
14. TILAAJAN TAI HÄNEN EDUSTAJANSA KUITTAUS	
Olen vastaanottanut kohdassa 13, Luovutusmerkintä, Ilmoitetut suoritukset. Pöytäkirja säilytettävä ja tarvittaessa esitettävä koko sähkölaitteiston käyttöajan.	
Päiväys	Allekirjoitus ja nimen selvennys

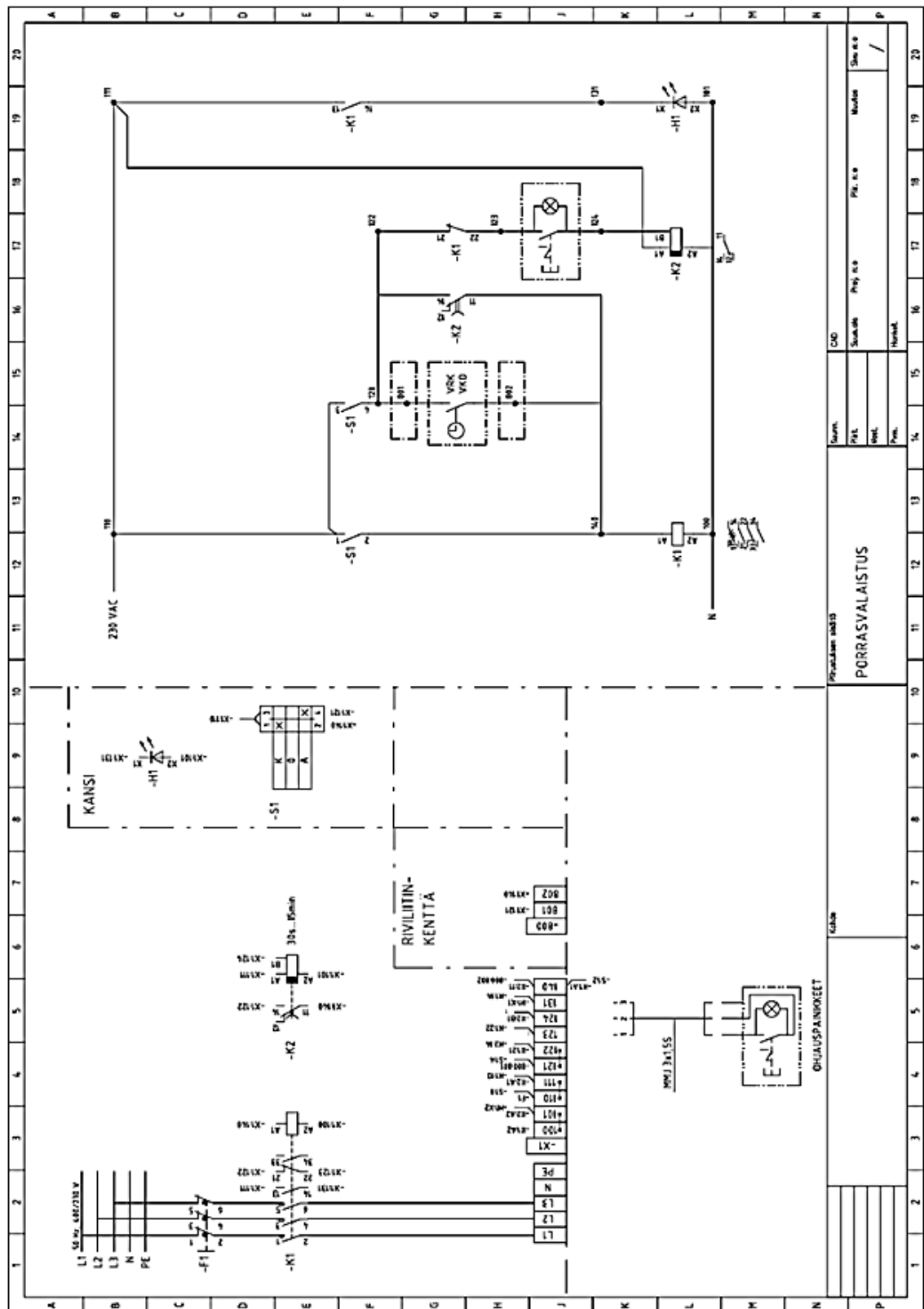
Esimerkkikaavioita ja -piirustuksia

Esimerkki sähkölaitoksen yleiskaaviosta



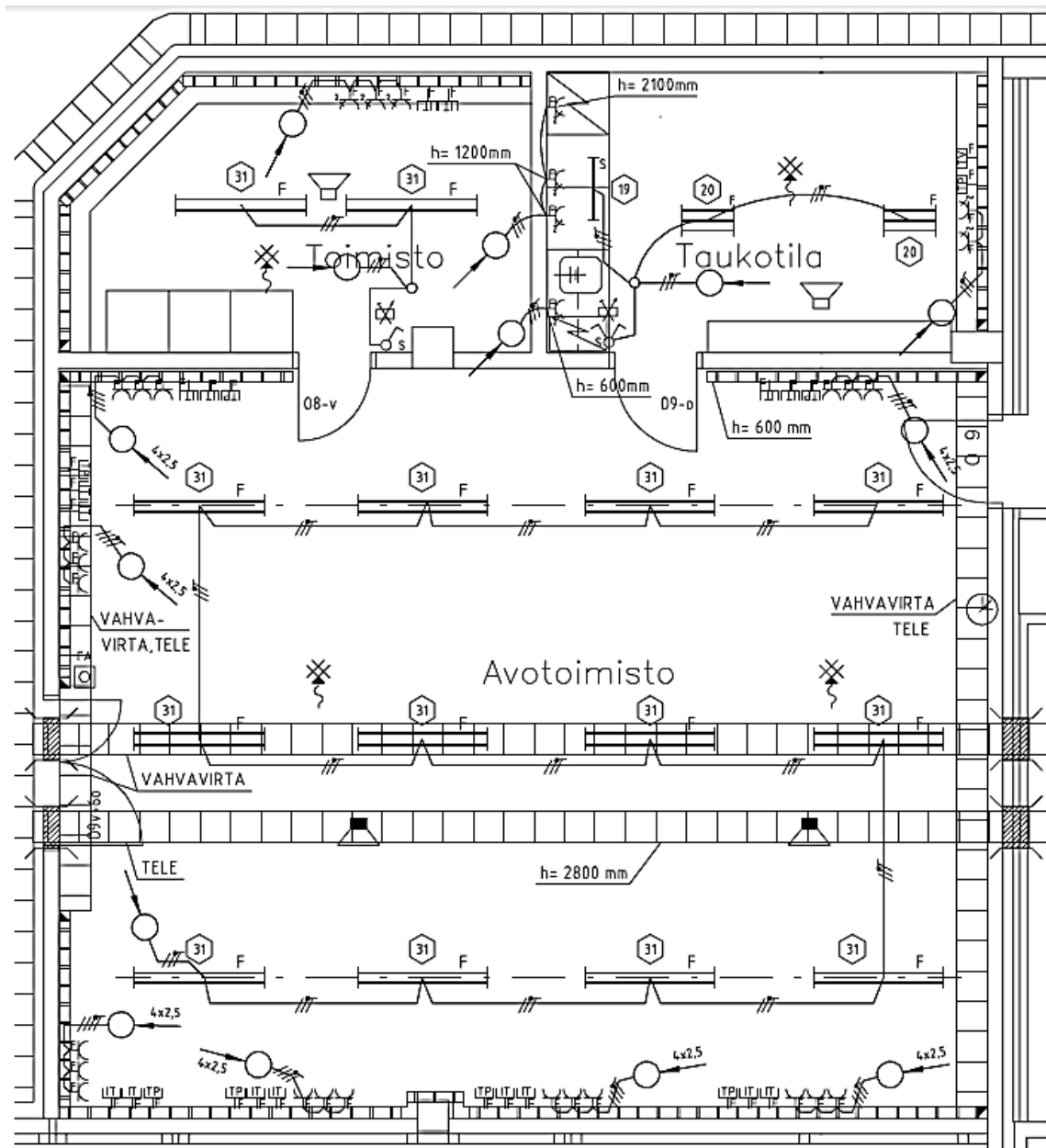
Lähde: SFS-EN 61082-1. Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen. Osa 1: Säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. Vahvistettu 27.11.2006. S. 98.

Esimerkki piirikaaviosta



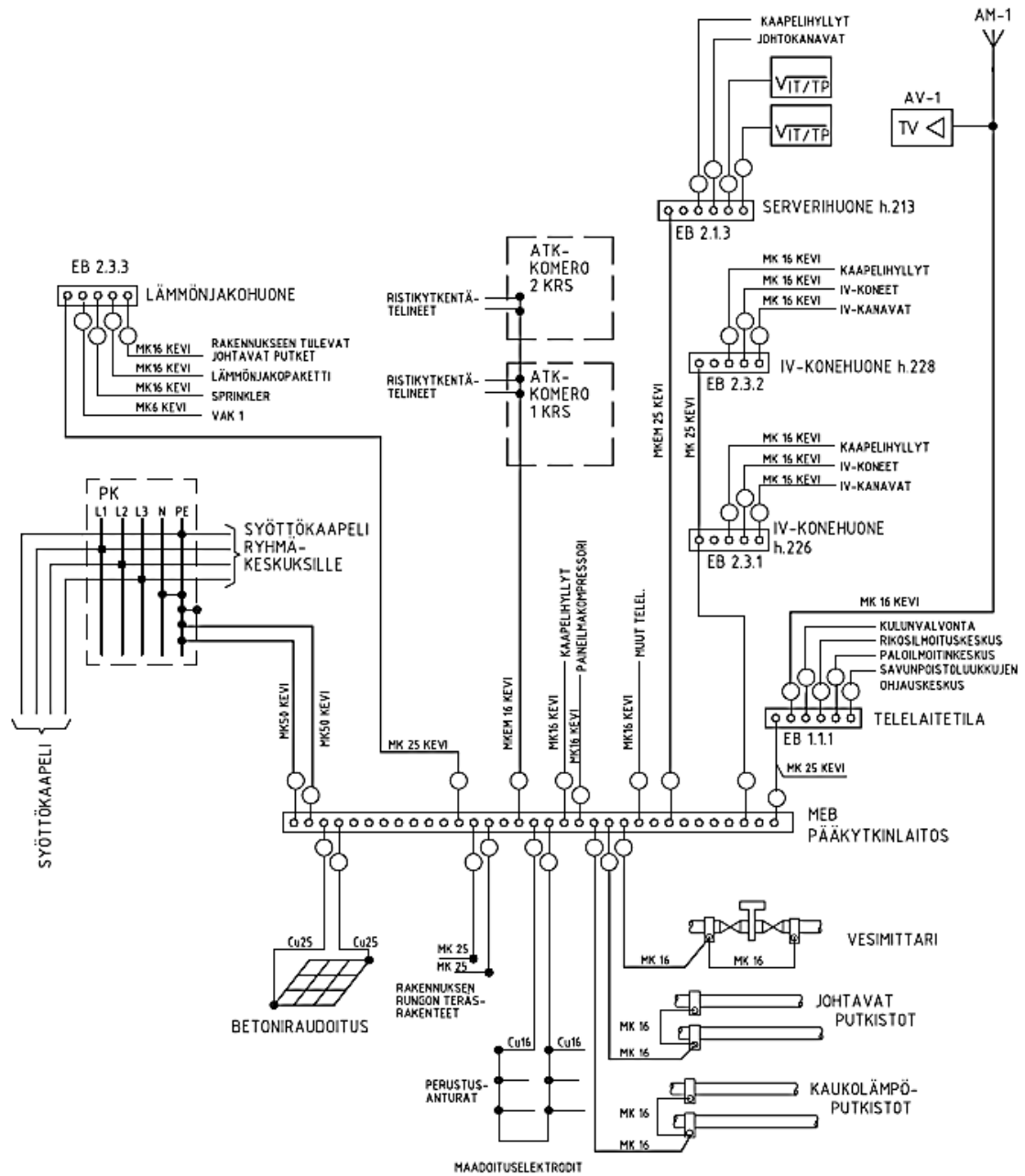
Lähde: Lindström R. ST-esimerkit 5. Esimerkkipiirustukset: Asuintalo. Sähköinfo Oy. 2007. ISBN 952-5382-82-6. S.17.

Esimerkki johtoteiden ja sähkökomponenttien sijaintipiirustuksesta



Lähde: Lindström R. ST-esimerkit 4. Esimerkkipiirustukset: Toimisto ja liikerakennus. Sähköinfo Oy. 2007. ISBN 952-5382-77-X. S. 24.

Esimerkki maadoitusjärjestelmän sijaintipiirustuksesta.



Lähde: Lindström R. ST-esimerkit 4. Esimerkkipiirustukset: Toimisto ja liikerakennus. Sähköinfo Oy. 2007. ISBN 952-5382-77-X. S. 14.

Maakaapeloinnin ohjeistus Joensuun voimalaitokselle

Yleistä

Tätä ohjetta noudatetaan aina kun tehdään kaivuntyötä ja maakaapelointia Joensuun voimalaitoksen alueella. Ennen työn aloitusta ja epäselvissä tilanteissa tulee ottaa yhteyttä voimalaitoksen sähkökunnossapitoon.

Maakaapelin asentaminen on sähkötyötä. Sähköturvallisuuslain mukaan sähkötyötä tekevän toiminnanharjoittajan palveluksessa on oltava sähkötöiden johtaja. Ilman omaa sähkötöiden johtajaa urakoitsija voi asentaa maakaapelin vain sähköurakoitsijan valvonnassa.

Kaapelin tai maadoitusköyden vahingoittumisesta on ilmoitettava heti ja vahinko on korjattava, kunhan kaapeli on tehty turvallisesti jännitteettömäksi.

Rikkoontuneet kaapelisuoijat on vaihdettava ehjiin vastaaviin.

Putkistojen vaurioista on ilmoitettava heti ja vahinko on korjattava. Tämä koskee myös putkistojen suoja ja eristeitä.

Maakaapelina käytetään maahan asennettavaksi tarkoitettuja kaapeleita.

Kaapelit asennetaan vierekkäin, ei päällekkäisiin kerroksiin.

Tietoliikennekaapeleiden ja vahvavirtakaapeleiden välisenä etäisyytenä pidetään 0,1 metriä, tai niiden väliin laitetaan mekaaninen suoja.

Kaapeli asennetaan niin, ettei se jää vetorasituksen alaisiksi tai nouse liian lähelle pintaa maan routimisen seurauksena.

Kaapelioja

Ennen kaivuun aloittamista selvitetään muiden kaapelien ja putkien sijainnit. Kaivaminen tehdään tarpeellista varovaisuutta noudattaen.

Kaapeliojan leveys riippuu kaapelien määrästä ja suojaustavasta, normaalisti yhdelle kaapelille riittää 0,2–0,3 metriä.

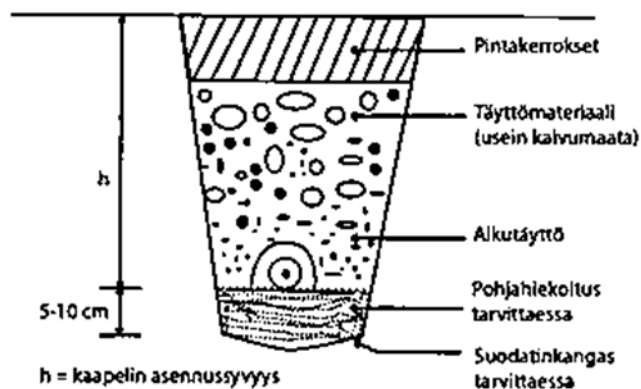
Ojan yläosan tulee olla tarpeeksi leveä sortumavaaran välttämiseksi.

Seinän ja ojan välinen etäisyys tulee olla vähintään 0,7 metriä.

Kaapelin ympärille laitetaan hienojakoista hiekkaa.

Kaapeliojaa täytettäessä pohja- ja pintamaita sekoitetaan mahdollisimman vähän.

Maa tiivistetään kerroksittain painumien estämiseksi.



Kaapeliojan periaatteellinen poikkileikkaus

Asennussyvyys ja suojaus

Kaapelin suositeltu asennussyvyys on vähintään 0,7 metriä. Kaapelin asentamisesta lähemmäs maanpintaa tulee neuvotella sähkökunnossapidon kanssa.

Tien alituksissa asennussyvyys on vähintään 1 metri.

Keltainen varoitusnauha asennetaan vähintään 0,2 metriä kaapelista ylöspäin.

Ojan ollessa leveä, suositellaan usean varoitusnauhan laittamista rinnakkain.

Kaapelin noustessa maasta suojataan se 1,5 metrin korkeudelle ja liikenneväylän varrelle 2 metrin korkeudelle. Suojan tulee ulottua riittävästi maan pinnan alapuolelle.

Sähkökaapeleilla käytetään keltaisia ja tietoliikennekaapeleilla punaisia suojuksia.

Pienjännitteinen metallivaippainen kaapeli suojataan mekaanisesti, jos sen asennussyvyys on alle 0,3 m.

Pienjännitteiset metallivaipattomat kaapelit suojataan seuraavan taulukon mukaan

Kaapelin asennussyvyys h	Iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden mukaan (SFS-EN 61386-24)	Lujuusluokan mukaan (SFS 5608)
$h \geq 0,7 \text{ m}$	varoitusnauha	varoitusnauha
$0,5 \text{ m} < h < 0,7 \text{ m}$	L 450	kevyt käyttö C
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ piha- ja puistoalueilla	N 750	raskas käyttö A
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ muilla alueilla	N 450	keskiraskas käyttö B

Kaapelikelat

Kelat kuljetetaan, siirretään ja varastoidaan pystyasennossa.

Keloja ei saa pudottaa, vaan nostamisessa käytetään esimerkiksi trukkia.

Kaapelinveto

Kaapelikelan paikka valitaan niin, että veto on helpoin suorittaa ja se rasittaa kaapelia vähiten. Kaapelia puretaan kelan yläpuolelta.

Kaapelia asennettaessa otetaan huomioon valmistajan ilmoittamat tiedot:

- Pienin sallittu asennuslämpötila, joka yleensä on PVC-eristeisillä kaapeleilla (MCMK) -15 °C ja PEX-eristeisillä (AXMK) -15 °C tai -20 °C . Jos asennus joudutaan tekemään alemmassa lämpötilassa, lämmitetään kaapelia ennen vetoa.

- Pienin sallittu taivutussäde vedon aikana ja valmiissa asennuksessa. Yleisesti kaapeleiden pienimmät taivutussäteet ovat $10-20*d$, jossa d =kaapelin halkaisija. Vedon aikainen pienin sallittu taivutussäde on suurempi kuin valmiin asennuksen.
- Suurin sallittu vetovoima. Arvo vaihtelee paljon kaapelin paksuudesta ja tyyppistä riippuen (0,5–20 kN).

Liitokset

Maakaapelien liitosten ei tarvitse olla näkyvillä.

Liitokset tehdään maakaapelille soveltuvilla liittimillä ja valmistajan ohjeita noudattaen.

Vaurioitunut kaapelin osa poistetaan kokonaan ja liitos tehdään ehjään kaapeliin.

Tarkastukset

Maakaapeliasennukselle tehdään ennen käyttöönottoa käyttöönottotarkastus, joka pitää sisällään muun muassa aistinvaraisen tarkastuksen sekä suojajohtimen jatkuvuuden ja eristysresistanssin mittaukset.

Tarkastuksesta tehdään pöytäkirja.

Dokumentointi, merkitseminen

Maakaapelin sijainnista laaditaan piirustus. Merkinnät mitoitetaan maastossa oleviin pysyviin kiintopisteisiin tai koordinaatistoon.

Muutokset päivitetään piirustuksiin heti työn valmistuttua.

Kaapelit merkitään tyyppikilvin.

Tilapäiset maakaapelit

Maanpinnalle asennettu tilapäinen kaapeli suojataan vähintään keskiraskaan käytön suo-
japutkella, suojat merkitään kaapelista varoittavilla kilvillä tai nauhoilla ja suojat kiinni-
tetään luotettavasti. Suojausta valvotaan ja puutteet korjataan heti.

Tilapäistä maakaapelia ei saa asentaa liikennöitävän tien poikki kuin välttämättömässä
tapauksessa lyhytaikaisesti, jolloin kaapeli suojataan liikenteen kestäväällä suojalla.

Tilapäisen asennuksen syyn poistuttua tilapäistä kaapelia ei saa jättää pysyvään käyt-
töön.

Suurjännitemaakaapeli

Kaapelin valinnassa ja sijoituksessa huomioidaan suurin sallittu lämpötilan nousu nor-
maalikäytössä ja oikosulussa. Kosketusjännitteiden on pysyttävä sallituissa rajoissa tai
kosketeltavat osat on. Muiden kaapelien ja putkien etäisyydet pidetään riittävinä ja kes-
kinäiset lämpövaikutukset huomioidaan.

Asennussyvyys riittävän syvälle, vähintään 0,7 m.

Asennettaessa huomioidaan asennuslämpötila, taivutussäteet ja vetorasitukset.

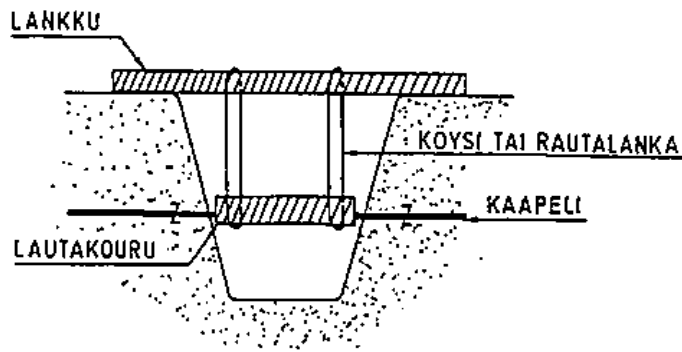
Kaapeleiden metallivaipat maadoitetaan standardin SFS 6001 mukaisesti.

Mekaaninen suojaus harkitaan tapauskohtaisesti. Maasta nouseva kaapeli suojataan ai-
na.

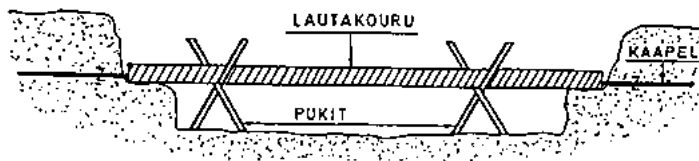
Kaapelin tuenta

Jos kaivu ulottuu olemassa olevan kaapelin alapuolelle, kaapeli tuetaan.

Kaapelit kaivetaan varovaisesti esiin. Kaapelin alle asetetaan esimerkiksi lautakouru,
joka poikittaiskaivannossa sidotaan kannatinpuuhun ja pitkittäiskaivannossa kourun alle
asetetaan kannatipukit.



Tuenta poikittaiskaivauksessa



Tuenta pitkittäiskaivauksessa

Yhteystiedot

Fortum Power and Heat Oy, Joensuun voimalaitos

Sähkötöiden johtaja Arsi Näkki

Lähteet:

SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. 2012.

SFS 6001 + A1 + A2. Suurjännitesähköasennukset. 2009

SFS 5608. Maahan asennettavat kaapelinsuojukset ja varoitusnauhat. Rakenne ja koestus. 1990.

ST 841.20 Kaapeleiden asennus. 1993.

Tiainen E. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2013.

Tiainen E. 183 kysymystä ja vastausta sähköasennusstandardien soveltamisesta. 2013.

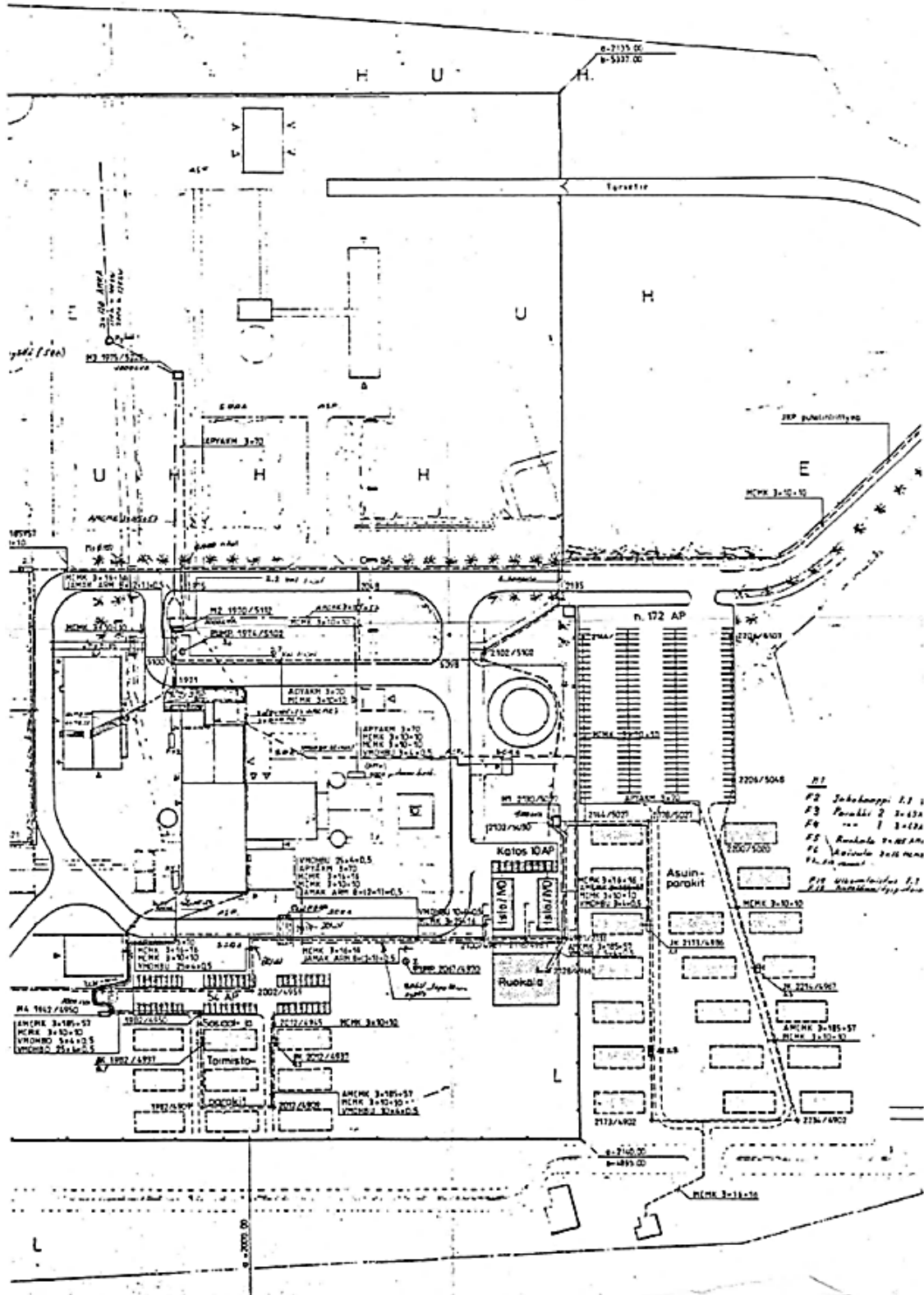
Fortum Espoo Distribution Oy. Ohjeet maakaapelin käsittelemisestä ja suojaamisesta kaivutöiden yhteydessä. 2007.

Liikennevirasto. Sähköjohdot ja maantiet. 2011.

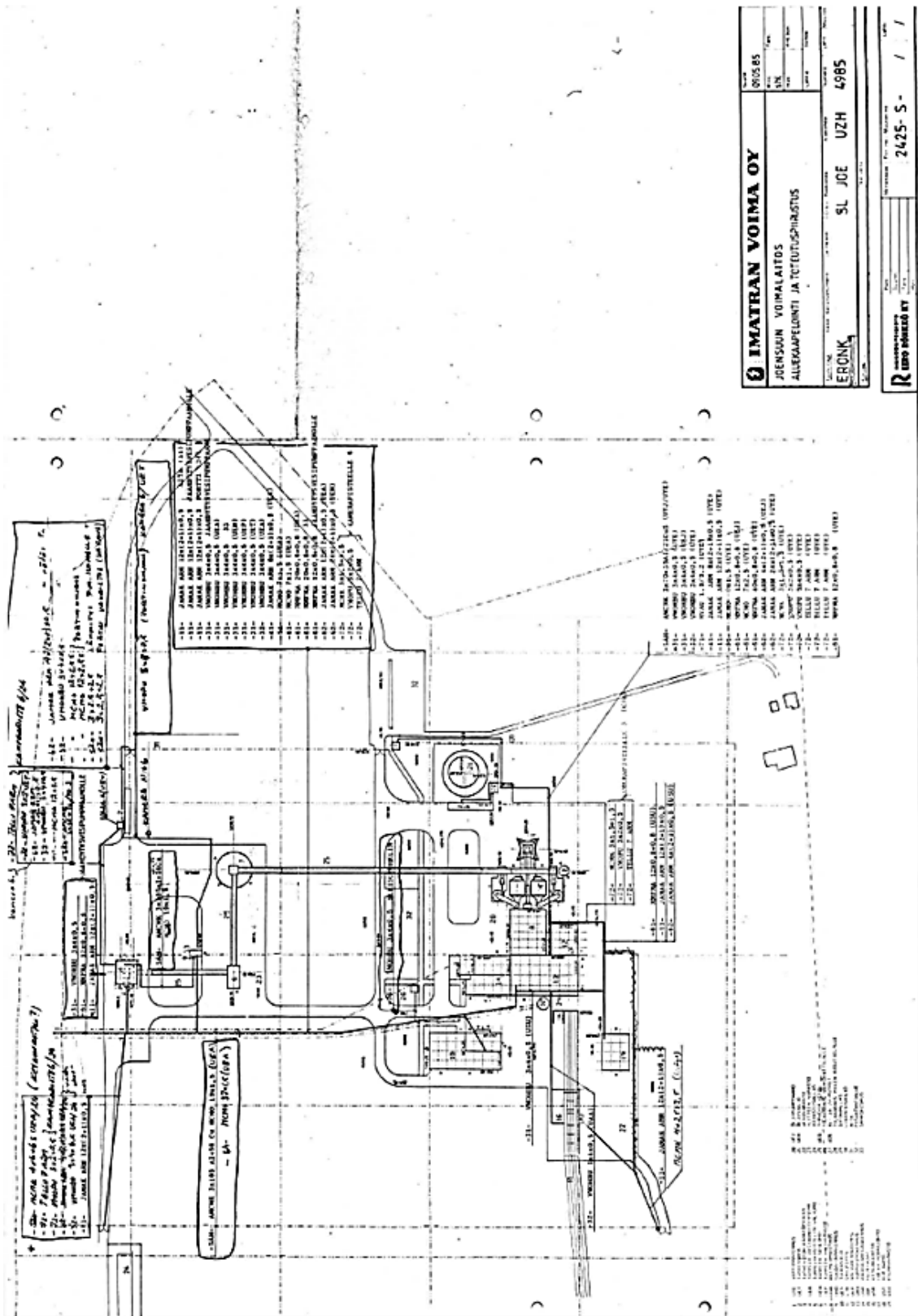
Monni M. Sähkölaitosasennukset. 1996.

Voimalaitoksen vanhoja aluekaapelipiirustuksia

Rakennusaikainen aluekaapelipiirustus.

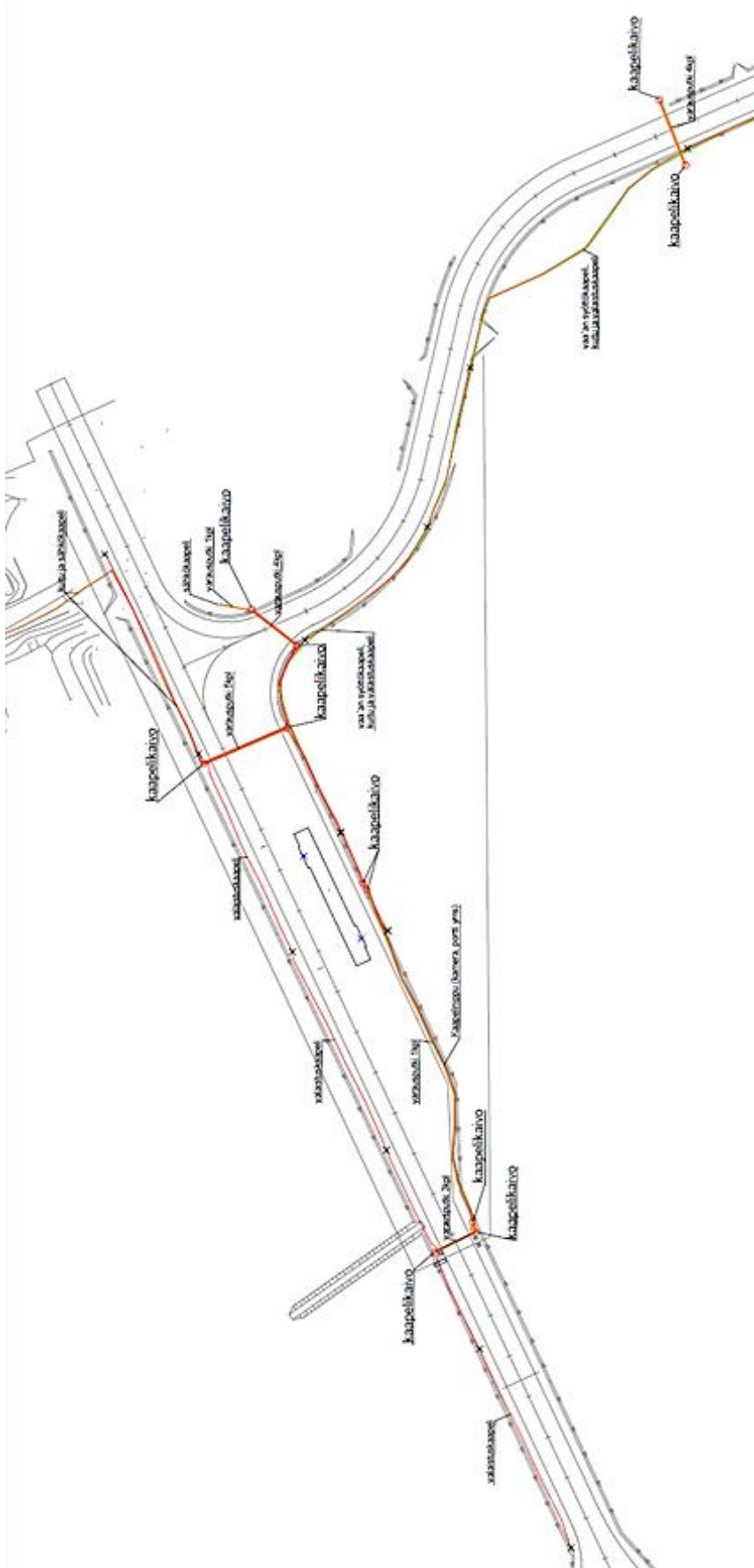


Vanha aluekaapeliinpiirustus 80-luvulta.



IMATRAN VOIMA OY		9005 B5
JOKESKUN VOIMALAITOS		
ALUEKAPELINTI JA TETUTUSPIIRUSTUS		
ERONK		4985
SL JOE UZH		
R 2425-S-		1 / 1

Aluekaapelointi, Fortumintie ja autovaaka.



Aluekaapeloinnin sijaintipiirustus Joensuun voimalaitokselle

