

**KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN
SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOASENNUSTARKASTUKSET**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2020

Henri Hietala

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Valkeakoski

Tekijä	Henri Hietala	Vuosi 2020
Työn nimi	Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen sähkö- ja automaatioasennustarkastukset	
Työn ohjaaja	Timo Viitala	

TIIVISTELMÄ

Ydinlaitoksen rakentamisessa on noudatettava Säteilyturvakeskuksen määräyksiä ja ohjeita. Ydinlaitosta rakennettaessa on ylläpidettävä hyvää turvallisuuskulttuuria ja turvallisuus on aina asetettava etusijalle. Säteilyturvakeskus ottaa huomioon ydinenergialaissa säädetyn periaatteen ydinenergian käytön turvallisuuden pitämisestä niin korkealla tasolla kuin mahdollista.

Loppusijoituslaitoksen rakentaminen on käynnistynyt ja työn tarkoituksena oli tuottaa asennusohjeistomateriaalia sähkö- ja automaatioasentajille, koska ydinlaitoksen erityispiirteet asettavat erityisvaatimuksia sähkötekniisille asennuksille. Asennuksissa on noudatettava ensisijaisesti standardeja, määräyksiä ja ohjeita sekä toissijaisesti Posivan sähkötekniistä asennusohjeistoa.

Työssä perehdyttiin hyviin asennustapoihin sekä Posivan sähkötekniiseen asennusohjeistoon. Turvallisuusluokiteltuun asennukseen on suoritettava erillinen asennuksen tekijöistä riippumaton asennustarkastus. Tämä ei vapauta asennuksen tekijää suorittamasta standardien mukaista käyttöönottotarkastusta.

Asennustarkastuksen tarkoituksena on varmistaa, että sähkölaitteisto tai asennus on tehty määräysten ja Posivan teknisten vaatimusten mukaisesti. Opinnäytetyön tilaaja oli Teollisuuden Voima Oyj.

Avainsanat Asennustarkastus, asennustekniikka, loppusijoitus, ydinlaitos

Sivut 39 sivua, joista liitteitä 6 sivua

Electrical and Automation Engineering
Valkeakoski

Author	Henri Hietala	Year 2020
Subject	Electrical and automation installation inspections at a final disposal facility for spent nuclear fuel.	
Supervisor	Timo Viitala	

ABSTRACT

The regulations and guidelines of the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) must be followed when constructing a nuclear facility. Safety and safety culture are the most important issues in the nuclear industry. The nuclear energy act guides the STUK regulations. Safety of the facility must be as high as reasonably practicable.

The final disposal facility is currently under construction and the purpose of this thesis project was to produce guidance material for the electricians, because the facility has special features for electrical installations. Standards, guidelines and regulations are to be applied primarily and Posiva guides secondarily.

Good installation practices and Posiva electrotechnical guidelines were getting familiarized in this project. STUK guidelines require a separate and independent installation inspection in safety class installations. The installation inspection does not discharge the electrotechnics constructor from responsibility to carry out a standard regulated commissioning inspection.

The purpose of the installation inspection is to confirm that the installations are completed and installed confirming to standards, regulations, guidelines and Posiva electrotechnical guides. This thesis was commissioned by Teollisuuden Voima Oyj.

Keywords Inspection, installation technique, final disposal, nuclear facility

Pages 39 pages including appendices 6 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LOPPUSIJOITUS	2
2.1	Kapselointilaitos	3
2.2	Loppusijoitustilat.....	4
3	MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	5
3.1	Määräykset.....	5
3.2	YVL-ohjeet	6
3.3	Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu.....	6
3.4	Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet	7
4	TARKASTUSTOIMINTA	8
4.1	Yleiset vaatimukset ja vastuut.....	9
4.2	Sähkölaitteistot ja tarkastukset.....	9
4.3	Sähköasennusten käyttöönottotarkastukset SFS 6000	9
4.3.1	Aistinvarainen tarkastus	10
4.3.2	Mittaukset ja testaukset.....	11
5	ASENNUSTEKNIikka	13
5.1	Kaapelointi.....	14
5.2	Liitokset	17
5.3	Merkintäjärjestelmä	20
5.4	Maadoitukset	20
5.5	Keskukset, kotelot ja kojeet	22
6	ASENNUSTARKASTUS	25
6.1	Tarkastusprosessi	25
6.2	Työturvallisuus	29
7	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31

Liitteet

Liite 1	Sähkötekniisiä asennusohjeita
Liite 2	Sub-erottelu

1 JOHDANTO

Työn tilaaja on Teollisuuden Voima Oyj (TVO). TVO on listaamaton julkinen osakeyhtiö, jonka suurin omistaja on Pohjolan Voima Oyj. Ydinjätehuolto-yhtiö Posiva on TVO:n (60 %) ja Fortum Power & Heat Oy (40 %) omistama yhteisyritys. Loppusijoituslaitoksen rakentaminen aloitettiin 2019. Posiva perustettiin vuonna 1995 ja se vastaa omistajiensa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta.

Ydinvoimalaitoksissa käytetty ydinpolttoaine on voimakkaasti radioaktiivista, joten sen loppusijoitus vaatii erityistoimenpiteitä. Loppusijoitus toteutetaan moniesteperiaatteen mukaisesti ja loppusijoituskapselit sijoitetaan yli 400 metrin syvyyteen peruskallioon. Aikanaan tunnelit täytetään ja suljetaan. Suomi on edelläkävijä loppusijoituksen toteuttamisessa. Ensimmäisenä maailmassa Suomi aloittaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen.

Tässä työssä loppusijoituslaitoksella tarkoitetaan maanpäällistä kapselointilaitosta ja loppusijoitustiloja peruskalliossa. Asentamisessa noudatetaan ensisijaisesti voimassa olevia standardeja ja määräyksiä sekä lisäksi Posivan sähköasennusteknistä asennusohjeistoa. Asennustekniikka itsessään ei eroa normaalista asentamisesta riippumatta siitä tehdäänkö ydinlaitosta vai toimitiloja. Kaikessa asentamisessa sovelletaan hyviä asennustapoja.

Ydinlaitoksen rakentaminen on vaativaa teollista rakentamista. Säteilyturvakeskuksen määräykset ohjeet antavat vaatimuksia laitoksen rakentamiselle ja käyttämiselle. Ydinturvallisuusohjeet asettavat ydinenergiälain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset.

Raportin tekemisen aikana sähkötekniisiä asennuksia ei ollut vielä aloitettu. Työn tavoitteena oli sähkötekniinen asennusohjeisto, jota kehitetään asennusten edetessä. Asennustarkastuksessa kiinnitetään erityistä huomiota dokumentointiin, merkintöihin, kytkentöihin ja maadoituksiin. Tarkastajan tehtävänä on varmistaa, että asennustöissä on noudatettu sähkötekniisiä asennusohjeita.

2 LOPPUSIJOITUS

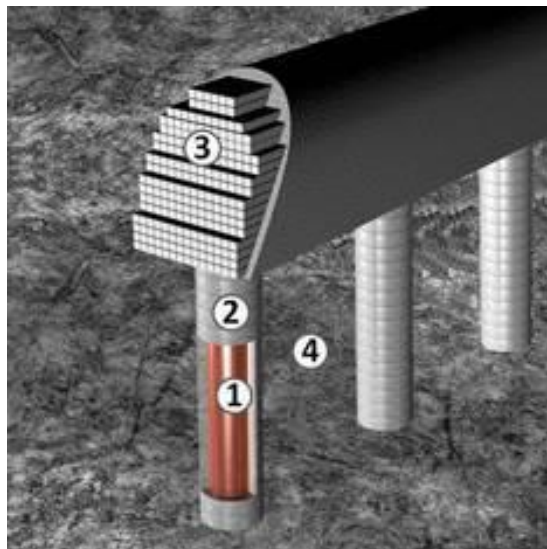
Ydinenergialain (990/1987) 6 a §:n mukaisesti ydinjätteet, jotka ovat syntyneet Suomessa tapahtuneen ydinenergian käytön yhteydessä tai seurauksena, on käsiteltävä, varastoitava ja loppusijoitettava Suomessa.

Laki velvoittaa huolehtimaan ydinjätteistä siten, että niistä ei aiheudu säteilyaltistusta loppusijoittamisen jälkeen. Säteily ei saa ylittää hyväksyttävää tasoa ja pitkäaikaisturvallisuus on varmistettava suunnitelmallisella ja tarkoituksenmukaisella tavalla. (Ydinenergialaki, 2008)

TVO:n ja Fortumin ydinvoimalaitosten käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan Olkiluodossa sijaitsevaan loppusijoituslaitokseen ja se jatkuu noin sata vuotta alkaen 2020-luvulta. Loppusijoituslaitos rakentuu kapselointilaitoksesta ja loppusijoitustilasta.

Käytettyä polttoainetta säilytetään reaktorihallin vesialtaissa joitakin vuosia. Tämän jälkeen se siirretään säilytettäväksi käytetyn polttoaineen välivarastoon, jossa sitä säilytetään noin 40 vuotta ennen loppusijoitusta.

Käytetty ydinpolttoaine on eristettävä elollisesta luonnosta. Tämä toteutetaan kapseloimalla polttoaine ja sijoittamalla se yli 400 metrin syvyyteen peruskallioon. Polttoaine eristetään moninkertaisen vapautumisesteen avulla (kuva 1), nämä ovat polttoaineen olomuoto, loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri, tunnelitäyte sekä peruskallio.



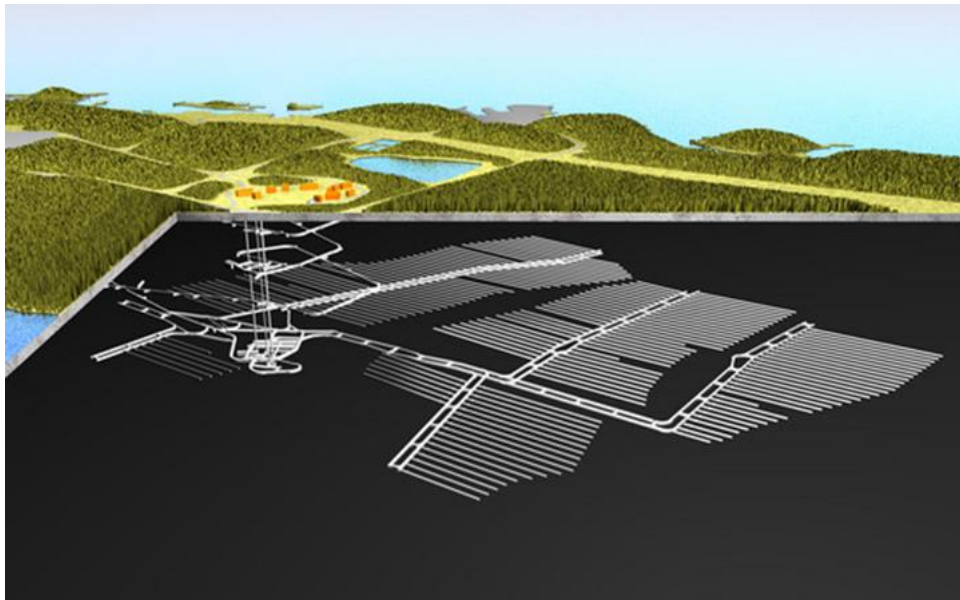
Kuva 1. Moniesteperiaate. (Posiva, 2020)

1. Loppusijoituskapseli
2. Bentoniittipuskuri
3. Tunnelitäyte
4. Peruskallio

Käytetyn polttoaineen keraaminen olomuoto itsessään on jo ensimmäinen vapautumiseste. Uraani on kaasutiiviissä metallisauvassa kiinteässä muodossa. Uraani liukenee veteen huonosti, mikä hidastaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Loppusijoituskapseli on suunniteltu kestäämään korroosiota ja mekaanista rasitusta.

Bentoniittipuskuri suojaa kapselia kallion liukahduksilta. Peruskallion olosuhteet ovat ennustettavissa, joten se tarjoaa hyvän suojan maanpäällisiltä muutoksilta, kuten jääkausilta. (Posiva, 2020)

Maanpäällisessä kapselointilaitoksessa käytetty polttoaine vastaanotetaan, kuivatetaan ja pakataan loppusijoituskapseleihin. Yli 400 metrin syvyydessä olevaan loppusijoitustilaan sijoitetaan kapseloitu polttoaine. (kuva 2)



Kuva 2. Loppusijoituslaitos. (Posiva, 2020)

Pitkäaikaisturvallisuus on toteutettava teknisillä toimenpiteillä niin, että radioaktiiviset aineet eivät vapaudu ensimmäiseen 10 000 vuoteen elolliseen ympäristöön. Säteilyturvakeskus valvoo loppusijoituslaitoksen rakentamista. (STUK, 2018a, YVL D.5, s.14)

2.1 Kapselointilaitos

Käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan käsittelykammiossa, jossa polttoaine on siirretty kuljetussäiliöstä kuivausaseman kautta loppusijoituskapseliin. Tämän jälkeen kapseli täytetään argonkaasulla ja suljetaan teräskannella. Kapseli hitsataan elektronisuihkuhitsauksella, minkä jälkeen tiiviys tarkastetaan röntgen- ja ultraäänitarkastuksella.

Laitos on suunniteltu siten, että ympäristöön ei pääse radioaktiivisia aineita, vaikka käsittelyssä tapahtuisi häiriö. Hyväksytyt kapselit siirretään

ensisijaisesti hissillä loppusijoitustilaan tai vaihtoehtoisesti ajotunnelia pitkin erikoisajoneuvolla. Kuvassa 3 on esitetty pituusleikkaus kapselointilaitoksesta.

Maanpäällisiä apurakennuksia ovat käyttörakennus, ilmanvaihtorakennus, tutkimusrakennus ja varasto- ja korjaamorakennukset. Laitosalueen maanpäällinen rakennusala on noin 20 hehtaaria.



Kuva 3. Kapselointilaitos. (Posiva, 2020)

1. Kapselien vastaanotto- ja varastotila
2. Polttoaineen käsittelykammio
3. Kuparikannen hitsauskammio
4. Hitsin tarkastuspaikat
5. Kapselin pinnan puhdistuspaikka
6. Kapselihissi

2.2 Loppusijoitustilat

Loppusijoitustila rakentuu kolmesta kokonaisuudesta, jotka ovat loppusijoitustunnelit, keskustunnelit ja maanalaiset aputilat. Tämän hetken suunnitelma on sijoittaa 2800 loppusijoituskapselia, jotka sisältävät yhteensä 5500 tU: a. Tunnelistoa tarvitaan 42 kilometriä sisältäen 137 loppusijoitustunnelia. Louhintatilavuus on noin 1,3 miljoonaa kuutiota.

Loppusijoitustiloihin johtaa henkilö- ja kapselikuilu, kaksi ilmanvaihtokuilua sekä ajotunneli. Kapselit asennetaan loppusijoitusreikiin (kuva 4). Tilat louhitaan vaiheittain, jotta investoinnit jakaantuvat pitkälle aikavälille. Etuna siinä on myös tutkimustulosten kerääntyminen ja tekniikan kehittyminen.



Kuva 4. Kapselin loppusijoitus. (Posiva, 2020)

Kapselit sijoitetaan 6-8 metriä syviin reikiin ja täytetään esipuristetulla bentoniittisavella. Tunneleita suljetaan sitä mukaan, kun loppusijoituskapsелеita sijoitetaan lopullisesti.

3 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

Säteilyturvakeskus (STUK) on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalan viranomainen, jonka tehtävä on taata säteilyturvallisuus Suomessa. Toiminnan tavoitteena on pitää kansalaisten säteilyaltistus mahdollisimman pienenä ja varmistaa turvallisuus käytännöllisin toimenpitein säteily- ja ydinonnettomuudet. STUK perustettiin vuonna 1958.

STUKin määräyksiä ovat ydinenergiain nojalla annetut määräykset (Y-sarja), säteilylain ja ydinenergiain nojalla annetut määräykset (SY-sarja) ja säteilylain nojalla annetut määräykset (S-sarja). Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuutta koskee määräys Y/4/2018. (STUK, 2020)

3.1 Määräykset

Säteilyturvakeskuksen määräykset annetaan säteilylain (859/2018) ja ydinenergiain (990/1987) nojalla. Uusi säteilylaki tuli voimaan 15.12.2018 ja samalla tehtiin muutoksia ydinenergiain lakiin. Säteilyturvakeskuksen määräyksillä tarkennetaan edellä mainittujen lakien säännöksiä. Määräykset ovat oikeudellisesti sitovia.

Ydinlaitosta rakennettaessa on ylläpidettävä hyvää turvallisuuskulttuuria ja turvallisuus on aina asetettava etusijalle. Säteilyturvakeskuksen

määräyksessä määrätään ydinlaitoksen turvallisuudesta, käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyyn ja varastointiin tarkoitettussa ydinlaitoksessa, jossa on kerralla yli 100 tonnia uraania. Määritelmän mukaan ydinjätelaitoksella tarkoitetaan ydinlaitosta, jota käytetään käytetyn ydinpolttoaineen kapselointiin tai käsittelyyn loppusijoitusta varten. (STUK, Y/4/2018, s. 3).

3.2 YVL-ohjeet

Ydinturvallisuusohjeet asettavat ydinenergiain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset. Ohjeita uudistetaan jatkuvana prosessina.

Ydinenergiain (990/1987) 7 r § mukaan Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on asettaa ydinenergiain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset.

Ohjeita sovelletaan käytössä tai rakenteilla oleviin laitoksiin erillisellä päätöksellä. Uusiin ydinlaitoksiin ohjeita sovelletaan sellaisenaan. Kun ohjeita sovelletaan käytäntöön, niin Säteilyturvakeskus ottaa huomioon ydinenergiain säädetyn periaatteen ydinenergian käytön turvallisuuden pitämisestä niin korkealla tasolla kuin mahdollista. (STUK, 2020)

3.3 Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu

Ydinlaitoksen järjestelmät, laitteet ja rakenteet luokitellaan niiden turvallisuusmerkityksen perusteella. Turvallisuustoimintoja toteuttavien järjestelmien ja laitteiden on täytettävä vaatimustenmukaiset turvallisuusluokat.

Luokitus perustuu ensisijaisesti deterministisiin menetelmiin eli alkutilan perusteella ennustettuihin lopputuloksiin ja sitä täydennetään todennäköisyysperusteisella riskianalyysillä.

Ydinlaitoksen turvallisuusluokat ovat 1, 2, 3 ja EYT (ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu). Turvallisuusluokitus perustuu laitoksen turvallisuustoimintoja toteuttaviin järjestelmiin ja niiden merkitykseen turvallisuustoimintojen luotettavuudelle syvyysuuntainen turvallisuus huomioiden. (STUK, 2019a, YVL B.2, s 5.)

Turvallisuusluokka 1 käsittää ydinreaktorin primääripiirin. Turvallisuusluokkaan 1 ei kuulu sähkö- ja automaatiolaitteita.

Turvallisuusluokkaan 2 kuuluu järjestelmät, joita tarvitaan laitoksen hallittuun tilaan saamiseksi mahdollisen oletetun onnettomuuden sattuessa. Oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan poikkeamaa normaalista

käyttötilanteesta, jonka voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa. (STUK, 2019a, YVL B.2, s. 15)

Turvallisuusluokkaan 3 luokiteltavia järjestelmiä ovat mm.

- laitoksen saattamiseksi turvalliseen tilaan oletetun onnettomuuden laajenuksen jälkeen tarvittavat järjestelmät
- laitokselle kiinteästi asennetut järjestelmät, jotka osallistuvat ydinlaitoksen prosessien sekä ilmastoinnin aktiivisuusvalvontaan tai päästöjen valvontaan
- huonetilojen tai radioaktiivisuuden valvontaan osallistuvat järjestelmät ja ne ovat laitokselle kiinteästi asennettu
- päävalvomossa, varavalvomossa tai valmiuskeskuksessa työskentelyolosuhteiden ylläpidon kannalta kriittiset järjestelmät
- instrumentointi, jolla operaattori valvoo laitoksen tilaa ja turvallisuustoimintoja hallittuun tilaan siirtymisessä käyttöhäiriön tai onnettomuuden tai oletetun onnettomuuden laajenuksissa.
- merkittävien radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseen laitoksen sisätiloihin tai ympäristöön osallistuvat järjestelmät

EYT järjestelmiä ovat mm. palontorjunta- ja turvajärjestelmät, jotka suojaavat laitosta sisäisiltä ja ulkoisilta tapahtumilta. Muita järjestelmiä ovat työvälineiden, työntekijöiden, päästöjen, säteilyn, pintakontaminaation ja säähavaintojen valvontajärjestelmät.

Ydinlaitosten järjestelmät, rakenteet ja laitteet luokitellaan lisäksi maanjäristysluokkiin S1, S2A ja S2B. Maanjäristysluokitus tarkistetaan todennäköisyysperustaisella riskianalyysillä (PRA). Kaikkiin S1 ja S2A luokkiin kuuluville laitteille määritetään ominaisuudet, jotka niiden on säilytettävä suunnitellumaanjäristyksen aiheuttaman kuormituksen jälkeen. (STUK, 2019a, YVL B.2, s. 11)

3.4 Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet

Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteiden ja kaapeleiden asennuksessa on otettava huomioon voimassa olevat, myös muiden kuin STUKin antamat määräykset. Näitä ovat mm. standardit

- Pienjännitesähköasennukset SFS 6000
- Suurjännitesähköasennukset SFS 6001
- Sähkötyöturvallisuus SFS 6002

Turvallisuusluokan 2 ja 3 sähkö- ja automaatiolaitteet, kaapelit, rakenteet ja materiaalit valitaan siten, että niiden toimintakyky säilyy onnettomuuksissa vaatimusten mukaisina koko niiden suunnitellun käyttöajan ajan. (STUK, 2019b, YVL E.7, s. 23)

Asennuksille on tehtävä asennusaikataulu. Asennuksen jälkeen tehtävät asennus- ja kytkentätarkastukset, toimintatestien laajuus, toimenpiteet ja vastuut sekä tallenteet tulee määrittää. Turvallisuusluokitelluille sähkö- ja automaatioasennuksille luvanhaltijan on tehtävä asennustarkastus. Asennustarkastuksessa varmistetaan, että asennus on tehty suunnitelmien sekä ydinlaitosta koskevien ohjeiden ja periaatteiden mukaisesti. (STUK, 2019b, YVL E.7, s. 33)

Asennustarkastuksen jälkeen tehtävässä YVL mukaisessa käyttöönottotarkastuksessa luvanhaltija varmistaa, että sähkö- ja automaatiolaitteet sekä järjestelmät täyttävät käyttöpaikan ympäristö- ja käyttöolosuhdevaati-
mukset. Käyttöönotossa varmistetaan myös, että asennustarkastukset ja toimintakokeet on tehty hyväksytysti. Koekäytön ja koestuksen tulosa-
neisto ja pöytäkirjat tarkistetaan puuteiden varalta. Turvallisuusluokiteltujen käyttöönottotarkastuksia saa tehdä vain STUKin hyväksymä, suunnit-
telusta ja asennuksesta riippumaton tarkastaja. (STUK, 2019b, YVL E.7, s. 34)

Turvallisuusluokiteltujen asennusten valvontaa varten STUKille on toimi-
tettava asennusaikataulu. Valvonnan yhteydessä STUKille on esitettävä
asennustarkastuksessa käytetyt suunnitelmat ja ohjeet. (STUK, 2019b, YVL
E.7, s. 38)

4 TARKASTUSTOIMINTA

Ydinlaitoksen erityispiirteiden takia asennustarkastuksen suorittavat erik-
seen nimetyt henkilöt, jotka ovat asennuksen suoritusorganisaatiosta riip-
pumattomia asiantuntijoita. Sähköasennuksia tekevän ryhmän tai urakoit-
sijan on tehtävä SFS 6000-6 mukaiset käyttöönottotarkastukset erillisestä
tarkastusorganisaatiosta riippumatta.

Tapauskohtaisesti sähköasennuksille tehdään seuraavanlaisia tarkastuksia

- esivalmisteet
- käyttöönotto
- asennus
- luovutus
- varmennus
- takuu
- määräaikais

Turvallisuusluokiteltuihin asennuksiin tehdään lisäksi YVL:n mukaiset asen-
nus- ja käyttöönottotarkastukset. Tässä yhteydessä käyttöönottotarkastus
käsittää luvanhaltijan ja viranomaisen tarkastuksia eikä ne korvaa sähkö-
lain mukaisia tarkastuksia. (Olkidoc, 2017)

4.1 Yleiset vaatimukset ja vastuut

Asennustarkastaja varmistaa, että asennustöissä on noudatettu sähkötekniisiä asennusohjeita, standardeja, ohjeita ja määräyksiä. Säteilyturvakeskus ja Turvatekniikan keskus valvovat omalta osaltaan näiden tarkastusten suorittamista. Viranomaisten saatavilla tulee olla kaikki tarkastusta koskeva kirjallinen aineisto. Tarkastussuunnitelman laatiminen voi olla aiheellista toteuttaa erityisesti laajoissa korjaus- ja muutostöissä.

Asennustyö on suoritettava siten, että se on laadultaan ensiluokkaista, suoritettu ensisijaisesti voimassa olevia standardeja, ohjeita ja määräyksiä sekä toissijaisesti voimassa olevia Posivan asennusohjeita. Tarkastuksista on tehtävä pöytäkirja. (Olkidoc, 2016)

4.2 Sähkölaitteistot ja tarkastukset

Sähkölaitteistot luokitellaan niiden varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelmaa koskevien vaatimusten mukaan kolmeen luokkaan.

Posiva Oy:n laitteistoluokka on 2c, joka on sähkölaitteisto, johon kuuluu yli 1000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016)

Mikäli määräyksistä, standardeista tai turvallisuusvaatimuksista poikeetaan, niin siitä tulee laatia selvitys, joka sisältää

- ratkaisut ja kuvaus siitä miten täytetään olennaiset turvallisuusvaatimukset
- tilaajan antama suostumus standardeista poikkeamiseen
- laatijan allekirjoitettu yksilöity dokumentti

Selvitystä voi täydentää valtuutetun tarkastajan tai tarkastuslaitoksen lausunnolla. (Valtioneuvoston asetus 1434/2016)

4.3 Sähköasennusten käyttöönottotarkastukset SFS 6000

Sähköasennukset on tarkastettava asennuksen aikana ja sen valmistuttua ennen käyttöönottoa ja asennuksen suorittaja tekee käyttöönottotarkastuksen.

Tarkastuksen suoritus ei saa aiheuttaa vaaraa eikä vahingoittaa omaisuutta ja laitteita. Asennuksen korjaus- tai muutostyö on oltava vaatimusten mukainen eikä se saa heikentää turvallisuutta. (SFS 6000-6; 2017 s. 7)

4.3.1 Aistinvarainen tarkastus

Aistinvarainen tarkastus ei ajoitu vain asennuksen jälkeen tehtäväksi, vaan sitä suoritetaan työn alusta alkaen. Tarkastuksen tekijän tulee olla riittävän ammattitaitoinen ja siihen kykenevä sähköalan ammattilainen. Työhön liittyvät määräykset ja ohjeet tulee tuntea laaja-alaisesti. Tarkastus tehdään ennen mittauksia normaalisti jännitteettömään laitteistoon.

Käyttöönottotarkastuksen osioista laaja-alaisin on aistinvarainen tarkastus. Se kohdentuu pääosin asennuksen asiakirjoihin, IP-luokitukseen, mekaaniseen suojaukseen, merkintöihin, palosuojaukseen sekä suojaukseen sähköiskulta. (Ylinen, 2018, s. 13)

Tärkeitä asioita sähköiskulta suojaukseen ovat

- Perussuojauksen toimivuus varmistetaan tarkastelemalla, että jännitteisiin osiin koskettaminen on estetty koteloinnilla tai muulla suojauksella.
- Vikavirtasuojien olemassaolo varmistetaan, jos sellaisia on asennuksen osana.
- Palosuojuksien tarkastelussa varmistetaan, että sähkölaitteiden läheisyydessä ei ole paloherkkää materiaalia.
- Oikosulku- ja vikasuojauksien olemassaolo, niiden selektiivisyys, sijoittelu sekä suojalaitteiden asettelut.
- Ylijännitesuojien, suoja- ja valvontalaitteiden sekä muiden (keskus)komponenttien asettelut ja valinnat.
- Erotus- ja kytkentälaitteiden toteaminen sekä niiden tarvitsemat käyttö- ja ohjauslaitteet.
- Suojamaadoitus ja potentiaalintasaus.
- Sähkölaitteiston käytön ja huollon tarvitsemat tilat.
- EMC

(SFS 6000-6:2017)

Kaapelitiet ja läpiviennit on tarkastettava aistinvaraisesti. Läpivienti voi olla esimerkiksi modulaarinen (kuva 5). Modulaariseen kaapeliläpivientiin voidaan lisätä kaapeleita jälkiasennuksena.

Kaapelien kiinnitys ja asettelu tarkastetaan kokonaisuudessaan.



Kuva 5. Modulaarinen kaapeliläpivienti.

Kaapeliläpivienti voi olla myös massattu (kuva 6). Kaapelien lisääminen on huomattavasti hankalampaa massattuun läpivientiin. Palokatkomassa on hyvä sovellus suurien aukkojen palon ja savun leviämisen estämiseksi.



Kuva 6. Massattu läpivienti.

4.3.2 Mittaukset ja testaukset

Mittauksilla täydennetään aistinvaraisia tarkastuksia ja niiden avulla varmistetaan suojausjärjestelmien toimivuus. Jännitteettömänä tehtävät mittaukset on tehtävä, jotta sähkölaitteisto voidaan käyttöönottaa turvallisesti.

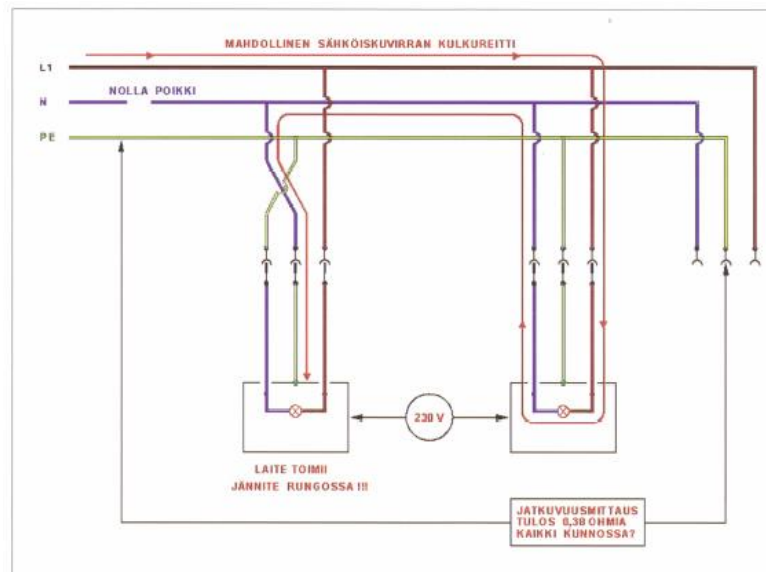
Jännitteettömänä tehtävät mittaukset

- eristysresistanssimittaukset
- suojajohtimien jatkuvuusmittaukset
- SELV- tai PELV-piirien erotusmittaukset
- tarvittaessa lattia- ja seinäpintojen resistanssimittaukset sekä maadoituselektrodin resistanssin mittaukset.

Standardeissa SFS 6000 ja EN 61557 ei ole vaatimuksia mittalaitteiden määrävälein tehtäville kalibroinneille. Tilaajan tai urakoitsijan laatujärjestelmä saattaa kuitenkin vaatia voimassa olevia mittalaitteiden kalibrointia. Mittauksissa on käytettävä standardin EN 61557 mukaisia mittalaitteita. (D1-2017)

Suojajohtimen jatkuvuus on todettava ehdottomasti jokaisesta laitteesta ja kojeesta. Jos näin ei toimita niin virheellinen kytkentä yhden vian tapauksessa on hengenvaarallinen (kuva 7). Jatkuvuuden testauksella selvitetään vikasuojauksen edellyttämä suojajohdinpiirin jatkuvuus ja

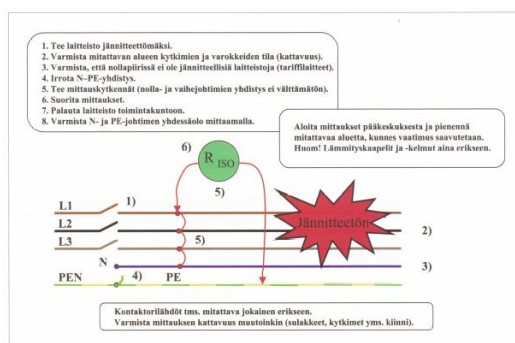
varmistetaan liitoksen olevan tehty kunnolla. Myös potentiaalintasausjohtimet pitää muistaa mitata.



Kuva 7. Virheellisen kytkennän aiheuttama hengenvaara yhden vian tapauksessa. (Ylinen, 2018, s. 27)

SELV-järjestelmän käyttöönottomittauksessa varmistetaan ensiö- ja toisipuolen eristystila sekä toisipuolen eristystila suojamaadoituksesta käyttämällä 250 VDC, mittaustuloksen on oltava vähintään 0,5 M Ω . PELV-järjestelmässä varmistetaan vain ensiö- ja toisipuolen erilläänolo 250 VDC mittauksella ja eristystilan oltava vähintään 0,5 M Ω . (Ylinen, 2018, s. 35)

Eristysresistanssin mittauksella varmistetaan jännitteisten johtimien erillään pysyminen maadoitusjohtimesta. Mittauksen ajaksi oikosuljetaan jännitteiset johtimet ja mitataan eristysresistanssi maata vasten (kuva 8). Tarvittaessa mitataan erikoistiloissa (esimerkiksi ATEX-tilat) myös L1-L2, L1-L3 ja L2-L3 sekä L1/2/3-N eristysresistanssi.



Kuva 8. Eristysresistanssin mittaus. (Ylinen, 2018, s. 35)

Jännitteisinä tehtäviin mittauksiin kuuluvat

- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- vikapiirin impedanssin mittaaminen
- vikavirtasuojan toiminnan testaus
- jännitteenaleneman tarkastus
- kiertosuunnan tarkistus

Vikavirtasuojat testataan testipainikkeesta ja asennustesterillä mitataan, että laite toimii nimellistoimintavirralla. Ramppitestillä saadaan mitattua toiminta-aika sekä toimintavirta. Kiertosuunta varmistetaan tarvittaessa keskuskohtaisesti.

Syötön automaattisen poiskytkennän toiminta voidaan tehdä mittaamalla pienin oikosulkuvirta vaiheen ja suojajohtimen välisessä viassa. Jos vika-suojaus on toteutettu vikavirtasuojauksella, silloin ei vaadita silmukkaimpedanssin tai oikosulkuvirran mittaamista. (SFS 6000-6:2017)

Vikapiirin impedanssi mitataan normaalisti jokaisen keskuksen epäedullisimmasta kohdasta eri poikkipinta-aloilla. Epäedulliset kohdat ovat yleensä pienillä poikkipinta-aloilla esim. 1,5 mm² kaukaisimmassa kojeessa. Syötön automaattinen poiskytkentä varmistetaan mittaamalla vikapiirin impedanssi, jonka perusteella määritellään vikatapauksen oikosulkuvirta ja verrataan sitä taulukkoarvoihin.

5 ASENNUSTEKNIikka

Sähköasennuksissa noudatetaan hyviä asennustapoja, jotka pätevät talon rakentamisesta aina vaativaan teolliseen rakentamiseen. Kaapelin vetäminen, kiinnittäminen ja kytkeminen sekä pinta-asennukset on tehtävä laadukkaasti riippumatta asennusympäristöstä.

Järjestelmien ja laitteiden asennus tulee olla tehty säädösten vaatimalla tavalla ammattitaitoisesti. Työn vaatimat tarpeelliset työkalut ja mittalaitteet sekä henkilökohtaiset suojavarusteet ovat edellytys laadukkaasti työn suorittamiseksi. (Mäkinen & Koivisto, 2020, s. 13)

Noudattamalla hyviä asennustapoja saavutetaan turvallinen, selkeä ja toiminnallinen kokonaisuus sekä teknisesti että taloudellisesti. Hyvä asennus on oikein dokumentoitu, merkitty hyvin eikä se vaaranna sähkötyöturvallisuutta miltään osin. Hyvin toteutettu asennus on myös esteettisesti miellyttävä (kuva 9) ja ennen kaikkea se on teknisesti turvallinen. (Mäkinen & Koivisto, 2020, s. 14)



Kuva 9. Työn jälkeä vuodelta 1979. (Mäkinen & Koivisto, 2020, s. 69)

Suunnitelmallisuutta ja hyvää asennustapaa noudattaen asentaminen ei ole merkittävästi hitaampaa kuin hutiloimalla tehty, varsinkin jos asennus korjataan tai uusitaan kokonaan. Tilojen ahtaus aiheuttaa monesti lisäsuunnitelmia ja selvityksiä, mikä saattaa johtaa asennusten viivästymiseen. Oikea työjärjestys ja työnjohtajien aktiivinen asennusten valvonta edistävät asennusteknistä tehokkuutta.

5.1 Kaapelointi

Kaapelinveto tapahtuu käsin tai koneellisesti ja kaapelin tulee purkautua kelan yläpuolelta. Kaapelia vetäessä vectorullia pitää olla riittävän tiheästi sijoitettuna, jotta vältetään kitkan aiheuttamalta eristeen palamiselta. (kuva 10)



Kuva 10. Kaapelin eriste on vaurioitunut. (Mäkinen & Koivisto 2020, s. 44.)

Suurin sallittu vetolujuus ja taivutussäde on otettava huomioon. Tarvittaessa vetoköysi varustetaan murtolenkillä (kuva 11), joka estää sallitun vetovoiman ylittämisen. Pystysuorissa asennuksissa kaapelin vetorasitus on huomioitava ja kaapeli on kiinnitettävä välittömästi vedon jälkeen. (Reka, 2020)

Asennustyö suunnitellaan toteutetaan siten, että jälkiasennuksia voidaan tehdä muuttamatta entisiä. Kaapelien risteilyjä pitää välttää ja asennus pitää olla tarkastettavissa ja vaihdettavissa mahdollisuuksien mukaan.



Kuva 11. Murtolenkki. (SLO, 2020)

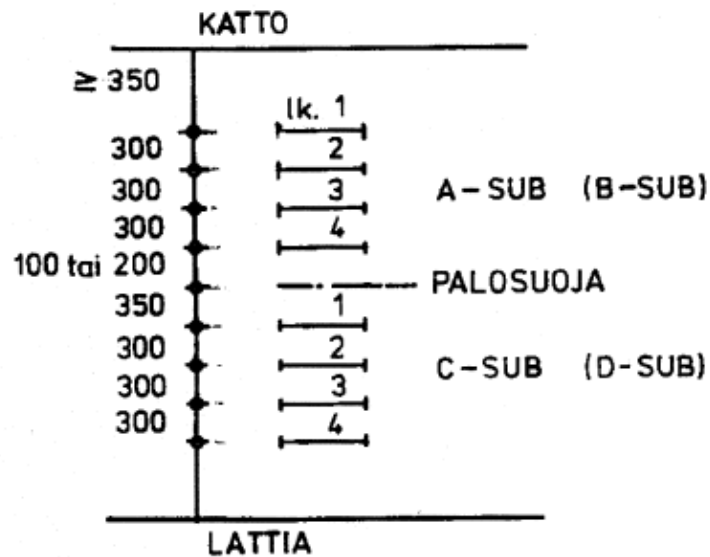
Maanpäällisissä asennuksissa kaapelihyllyjärjestelmä tarvikkeineen on Meka Pro Oy: n (HST) KS80. Kapselikuilussa ja maanalaisissa tiloissa käytetään haponkestävää terästä (AISI 316).

Hyllyjen kannakkeiden ja ripustimien kiinnityskohtien väli saa olla enintään 2 000 mm tai 2 500 mm maanalaisissa tiloissa. Hyllyn tai kourun vapaan pään pituus saa olla korkeintaan 500 mm kannakkeesta. Kaapelihyllyn etäisyys putkistoista ja kanavista tulee olla vähintään 100 mm. (Posiva DMS, 2019c)

Kiinnityskiskojen kiinnitysväli on enintään 500 mm ja niille asennettavat kannakkeet ovat seinäkannakkeita, jotta hyllyille voidaan vetää kaapeleita ilman pujotuksia. Kannakkeiden kiinnittäminen nosturikiskoihin, putkiin tai niihin verrattaviin järjestelmiin on kielletty ilman kirjallista lupaa.

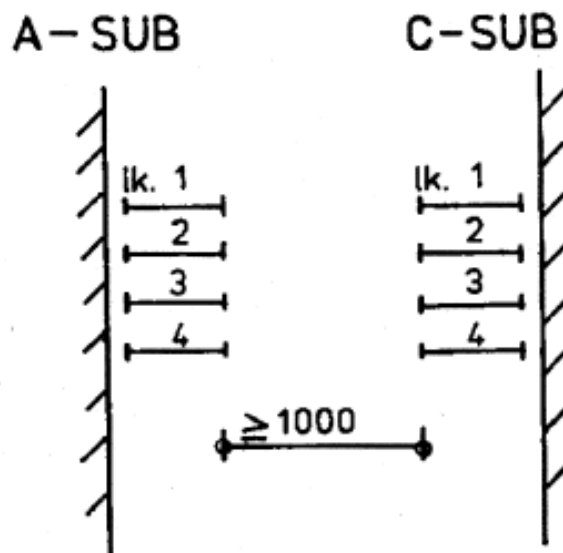
Kaapelien läpiviennit ei saa heikentää osastoivuutta. Osastoivan rakenteen on tarkoitus rajoittaa palon leviäminen tilasta toiseen. Samassa aukossa olevat eri luokan kaapelit ryhmitetään selvästi erilleen luokakohtaisesti. Valettavia läpivientejä käytetään yleensä vain tasoläpivienneissä. Läpivienit merkitään erillisen ohjeen mukaan.

Kaapeliluokat asennetaan järjestyksessä ylhäältä alaspäin ja noudatetaan kuvan 12 etäisyyksiä.



Kuva 12. Kaapelihyllyjen etäisyydet. (Posiva DMS, 2019d)

Eri subiin kuuluvat kaapelit asennetaan riittävän erilleen toisistaan, jotta saavutetaan ohjeistuksen mukainen erotteluväli, jotta palo tms. tilanteessa rinnakkainen järjestelmä pysyy käyttökuntoisena. SUB-erottelun ilmäväli on vähintään kuvan 13 mukainen. Jos tätä ei voida toteuttaa, niin asennetaan palosuojalevyjä.



Kuva 13. SUB-erottelun ilmäväli. (Posiva DMS, 2019d)

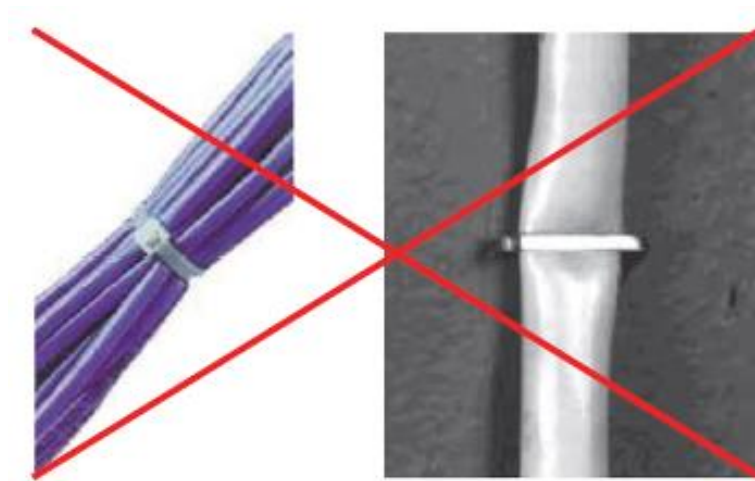
Pääkaapelointireiteillä subiparit jaetaan eri palo-osastoihin. Eri subien kaapelit asennetaan ohjeita noudattaen riittävän etäälle toisistaan. Suojaputkella tai palosuojalevyillä etäisyyttä voidaan pienentää.

Kaapelit jaetaan neljään luokkaan

- Kaapeliluokkaan 1 kuuluvat suurjännitekaapelit $>1\ 000\ V$.
- Kaapeliluokkaan 2 kuuluvat kaapelit, joiden nimellisjännite on max $1\ 000\ V$. Tähän luokitellaan pienjännitekaapelit, joiden järjestelmäjännite on $230\text{--}1\ 000\ V$ ja jotka eivät kuulu muihin luokkiin.
- Kaapeliluokkaan 3 kuuluvat $60\text{--}230\ V$ järjestelmäjännitteiset kaapelit ja $12\text{--}230\ V$ jännitteensyöttö- ja kosketintietokaapelit. Telekaapelit paloilmoitinjärjestelmän kaapeleita lukuun ottamatta kuuluvat luokkaan 3.
- Luokan 4 kaapelit ovat analogiset (mA) mitta- ja merkinantosignaali-kaapelit sekä alle $60\ V$ järjestelmäjännitteiset kaapelit.

Suurjännitekaapelit (luokka 1) kiinnitetään pystyhylllyyn kaarikiinnikkeillä ja vaakaan sidontalangalla tai -nauhalla. Luokan 2 kaapelit kiinnitetään vaakasuorassa joka kolmanteen poikkipienaan, pystysuorassa kiinnitetään joka toiseen ja mutkissa jokaiseen pienaan.

Luokan 3 ja 4 kaapeleita ei sidota vaakasuorilla osuuksilla, pystyosuudet kiinnitetään joka toiseen pienaan ML-sidontalangalla. Kaapelinipun paksaus on enintään $80\ mm$, poikkeusluvalla nippu voi olla enintään $100\ mm$. Kaapelien sidonta ei saa olla liian kireällä (kuva 14). Kaapelin vaippaan syntyy kylmäjuoksua ja liian kireälle sidottuna kaapelin elinkaari lyhenee.



Kuva 14. Kaapeleita ei saa niputtaa liian tiukasti. (Mäkinen & Koivisto, 2020, s. 191)

5.2 Liitokset

Liitosten on oltava luotettavia kestääkseen kuormitus- ja vikavirrat lämpenemättä liikaa. Liittimiin ei saa kohdistua vetorasitusta ja siksi tarvittaessa

käytetään vedonpoistoa. Tarvikkeet ja työkalut pitää olla oikeanlaisia sekä liitokset kiristetään oikeaan momenttiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Palonkestävissä asennuksissa on lisävaatimuksia. (ST 51.09, s.4)

Puristusliitoksissa kaikki johtimen säikeet on oltava liittimen sisällä ja puristamiseen käytetään asianmukaisia työkaluja. (Kuva 15)



Kuva 15. Kaapelikengän puristus. (Watski, 2020)

Liitoksen voi testata vetokokeella tai paksuusmittauksella. Liittimien valmistajat ilmoittavat tarkistusmitat sekä vaadittavien puristuksien määrän. Paksuusmittauksia tehdään pistokokein asennustarkastuksen yhteydessä. Kaapelikenkiä käytetään monisäikeisten kaapelien ja johtimien kytkentään. Yksilankaiseen johtimeen ei saa puristaa kaapelikengää.

Puristusliitoksen on täytettävä myös seuraavat vaatimukset

- Kaapelikengässä on leimaus ja se näkyy selvästi, eikä liitoksessa ole halkeamia.
- Kaapelikengämalli on varustettu tarkistusaukolla.
- Johtimen päätä ei saa juottaa.

Kiskoliitokset kiristetään (taulukko 1) momenttiin ellei valmistaja toisin määrää. Ruuvikiristeisten kaapelikengien käyttö on kielletty.

Taulukko 1. Kiristysmomentit. (ST 51.09, s. 9)

Kiskon materiaali	E-AlMgSi (T6)				
	M6	M8	M10	M12	M16
Pultin koko					
Kiristysmomentti Nm	6–9	15–22	30–44	50–75	120–190

Kiskoliitoksiin merkitään tussilla momenttiviiva (kuva 16). Eri materiaalia olevat liitostarvikkeet täytyy olla liitokseen soveltuvia ja valmistajan

hyväksymiä tarvikkeita. Liitoskohtiin ei saa syntyä korroosiota. Siirtymäkaapelikengää käytetään kosteissa olosuhteissa tai kuparipintaan liitettävässä alumiinikaapelikengässä.



Kuva 16. Kiskoliitos. (Mäkinen & Koivisto, 2020, s. 88)

Cadweld-menetelmää (kuva 17) voidaan käyttää ja sillä on hyvä liittää esimerkiksi ukkossuojauksen alastulojohtimet runkorakenteisiin.



Kuva 17. Cadweld-liitos. (TSP, 2020)

Juotosliitosten tarkastajalla tulee olla pätevyys liitosten tarkastamiseen. Liitoksilla on omat tarkastusvaatimukset, näitä ovat mm. liitoksen eheys, juotosväli ja juotosaineet pitää hyväksyty Posivan ohjeen mukaisesti.

5.3 Merkintäjärjestelmä

Yhtenäisen merkintätavan saavuttamiseksi laite-, koje- ja kaapelimerkinöissä käytetään erillistä ohjetta. Olosuhteet ja kohteen tärkeys vaikuttavat siihen, millaista kilpimallia kohteessa käytetään. Esimerkiksi kojeiston tunnus on tärkeämpi kuin siinä oleva laitepaikkatunnus. Käytössä on myös eri värisiä kilpiä. Kilvet, jotka on asennettava

- Standardien ja määräysten vaatimat kilvet.
- Maadoitus- ja potentiaalintasauskiskojen sekä maadoitusliittimien kilvet.
- Moottorien ja lämmittimien kilvet.
- KytKentäkaappien ja koteloiden kilvet.
- PaikallisoHjauskytkimien kilvet.
- Pienjännitekeskuksien kilvistä pitää käydä ilmi syöttökohde, suojalaitteen nimellisvirta ja tyyppi sekä lähtevän kaapelin poikkipinta.
- Kenttäinstrumentointilaitteiden tunnuskilvet.
- Kilpitekstin on oltava suomenkielinen.

Kaapelit merkitään päätepisteissään suunnitelman mukaisilla kaapelinumeroilla ja kaikki kaapeleiden johtimet merkitään, mikäli toisin ei ole määrätty. Rakennussähkön kuten valaistus- ja pistorasiaryhmien syöttökaapelit merkitään molemmista päistä, ensimmäisen rasiän jälkeisiä kaapeleita ei merkitä. (Posiva DMS, 2019a)

Keskuksen tunnuskilpi asennetaan keskelle yläreunaan tai kojeistoissa pääkytkinkenttään. Kennokeskuksen kentät vasemmalta juoksevilla numerolla sekä kenttien kennot aakkosilla ylhäältä alas. Pienjännitekeskuksissa etuseinässä pitää olla tunnuskilpi pääkatkaisijalle ja laiteryhmillä.

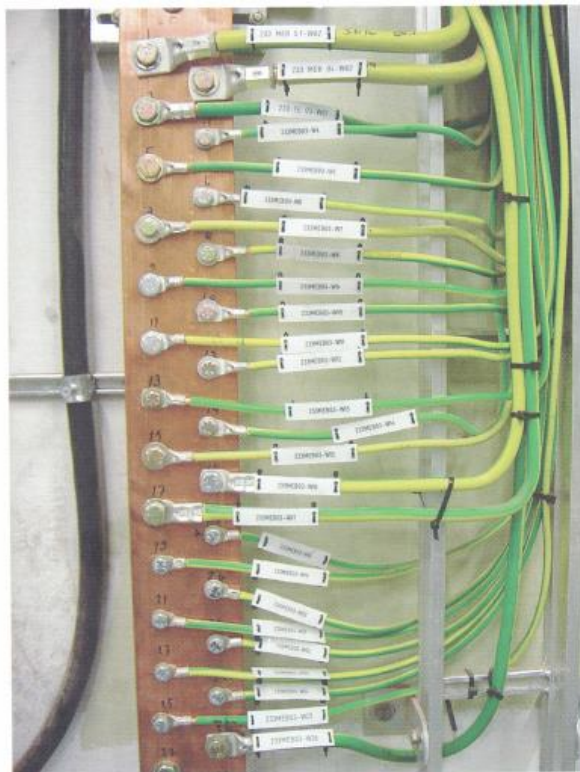
5.4 Maadoitukset

Maadoitusjärjestelmä rakentuu useasta eri osasta, joiden määritelmiin ei tässä puututa, näitä ovat mm. maadoituselektrodi, maadoitusjohdin, päämaadoituskisko, suojajohdin ja suojamaadoitusjohdin. Potentiaalintasaus sekä toiminnallinen maadoitus ovat myös osa maadoitusjärjestelmää. Yksityiskohtaiset määritelmät ovat standardissa SFS-6000-5-54:2017.

Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten tarkoituksena on rajoittaa viikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä. Maadoituksen tarkoituksena on myös estää vaarallisten jännitteiden siirtymistä järjestelmästä toiseen sekä estää vuotovirtojen ja valokaarien syntyminen. (D1-2017, s. 285)

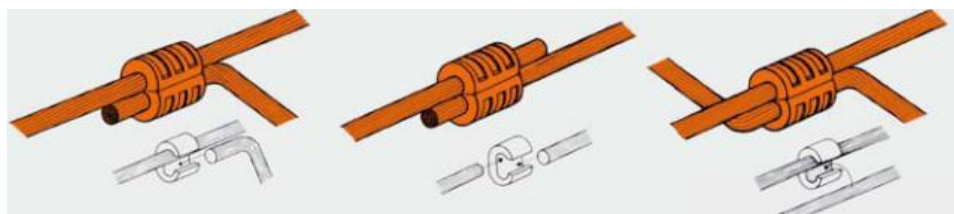
Suojajohtimet asennetaan kaapelihyllyn ulkopuolelle. Kiinnittäminen ei saa vahingoittaa johtimia eikä ne saa jäädä puristuksiin hyllyn ja kannakkeen väliin. Päämaadoitusjohtimia ei saa asentaa samasuuntaisesti kiinni toiseen kaapeliin, jotta häiriötilanteessa vältytään mahdolliselta lämmön

johtumiselta. Läpivienneissä suojajohtimen ja kaapelin väliin on jätettävä vähintään 10 mm etäisyys. Maadoituskiskoon liitetty johdin (kuva 18) on merkittävä ja se on voitava irrottaa erikseen. (Posiva DMS, 2019b)



Kuva 18. Maadoituskisko. (Tiainen, 2013, s. 106)

Suojajohtimet haaroitetaan käyttämällä C-liittimiä (kuva 19). Maanalaisissa tiloissa liitokset eristetään teippaamalla ja kosteissa tiloissa ne jätetään irti sinkitystä hyllystä. Teräsrakenteeseen liitos tehdään pulttiliitoksena käyttämällä kaapelikenkää. Liitoksen teko ei saa heikentää rakenteita. (Posiva DMS, 2019b)



Kuva 19. Maadoituksen haaroitus. (Teleinstrument, 2020)

Potentiaalintasaus on keskeinen osa sähkölaitteiston suojausta ja siksi sen on oltava jokaisessa rakennuksessa. Potentiaalintasaukseen liitetään yhteen kaikki jännitteelle alttiit osat, kuten putkistot, ilmavaihtokanavat ja muut isot johtavat rakenteet.

Potentiaalintasaus jaetaan

- pääpotentiaalintasaukseen
- lisäpotentiaalintasaukseen
- maadoittamattomaan potentiaalintasaukseen

Rakennusten ympärille asennetaan ydinlaitosalueella potentiaalintasausrengas, joka on 120 mm² kirkas kupariköysi ja se asennetaan n. 1 metrin etäisyydelle seinästä 0,7 m syvyyteen.

5.5 Keskukset, kotelot ja kojeet

Keskusten pitää täyttää standardin SFS-EN 61439 vaatimukset. Keskusten rakenteet tulee olla testattu IEC-60439-sarjan mukaan. Kytkinlaitteet ja muut komponentit on asennettava valmistajan ohjeiden mukaan.

Keskusvalmistajan on suoritettava rakenteen tarkastus ennen toimitusta, mikä sisältää rakenteen osalta

- materiaalien ja osien lujuus
- kotelointiluokka
- ilmvälit
- suojaus sähköiskulta
- suojajohdinsiirien jatkuvuus
- komponenttien ja siirien liitännät
- ulkoisten johtimien liittimet

Näiden lisäksi on suorituskykyvaatimuksia

- sähköiset ominaisuudet
- lämpötilan nousun tarkastaminen
- oikosulun kestävyys
- EMC
- mekaaninen toiminta

(SFS-EN 61439-1, s. 96)

Holkkitiivisteiden kiristäminen siirtopihdeillä ei ole sallittu ja sen pitää olla valittu siten, että sitä ei tarvitse kiristää kuin enintään $\frac{3}{4}$ kierreosasta. Kaapelin paksuuden suurentaminen teippaamalla ei ole sallittua. Muovikoteloissa käytetään muovisia ja metallikoteloissa vastaavasti metallisia holkkeja. Ulos asennetut kotelot varustetaan sadelipalla. (Posiva DMS, 2019c)

Metallikoteloiden pitää olla haponkestävää, ruostumatonta tai epoksipulverimaalattua teräslevyä ja ne tulee varustaa saranoiduilla kansilla ja avainlukolla (kuva 20). Koteloiden laipat ja peitelevyt pitää olla yhteensojivia pintakäsittelyn ja värin osalta. (Posiva DMS, 2019c)



Kuva 20. Kytkentäkaappi. (Rittal, 2020)

Suuripoikkipintaisilla kaapeleilla pitää olla riittävä vapaa kytkentätila. Jokaiselle ulkopuoliselle kaapelin N- ja PE-johtimelle tulee olla oma liitäntäpaikka.

Kotelo- ja keskuksasennuksissa huomioitava (kuva 18), että kaapelin vaippa tulee riittävästi läpivientiholkin yli. Kaapelivaippa pitää ulottua vähintään 10 mm holkin tai laipan yli. Erillisissä kentissä kaapeli kuoritaan kennon korkeudelta.

Koteloista ja keskuksista pitää poistaa kytkentä- ja työstöjäte. Konsentrisen johdin eristetään eriyttämiskohdastaan vulkaanisella teipillä. Palmikoitu johdin pujotetaan suojaletkuun. (Posiva DMS, 2019c)



Kuva 21. Koteloasennus. (Mäkinen & Koivisto, 2020 s. 209)

Kotelointiluokka (IP-luokitus) on esitetty standardissa SFS-EN 60529. Keskuksen tai kotelon käyttöolosuhde vaikuttaa merkittävästi luokkavaatimuksiin. Kotelointiluokat täytyy tuntea, jotta laitteet voidaan valita sekä tarkastaa oikeisiin käyttöolosuhteisiin. IP-koodi on esitetty kuvassa 22.

Esimerkiksi IP44 suojaa

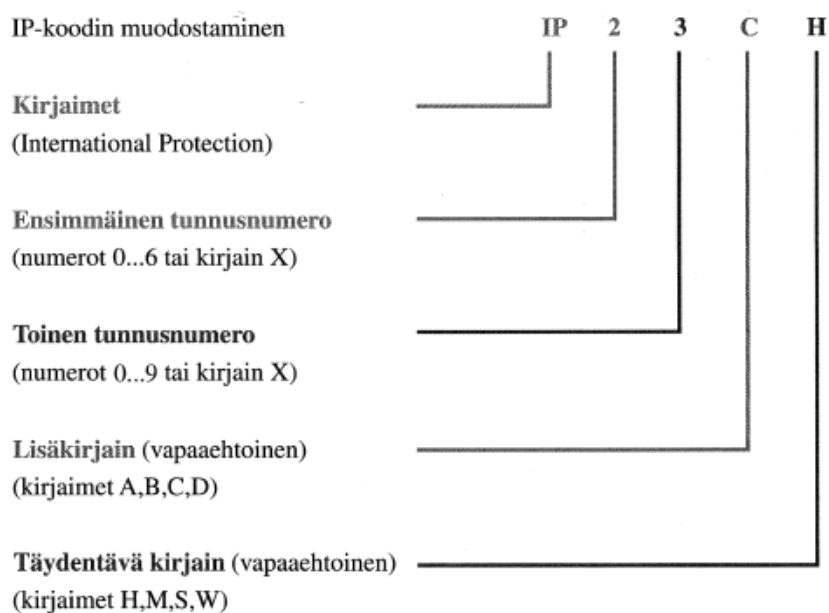
- langalta kun halkaisija on $\geq 1,0$ mm
- roiskuvalta vedeltä kaikista suunnista

IP56 suojaa

- pölyltä
- voimakkaalta vesisuihkulta

Ensimmäinen tunnusnumero ilmaisee, kuinka kotelo on kosketussuojattu vaarallisilta osilta sekä vierailta esineiltä ja pölyltä. Toinen tunnusnumero ilmaisee suojauksen veden haitalliselta tunkeutumiselta.

Kotelointiluokan tunnus (IP-koodi)



Kuva 22. IP-koodi. (D1-2017, s. 172)

Kotelointiluokan lisäkirjainta käytetään, jos kosketussuojaus on parempi kuin ensimmäisellä tunnusnumerolla on esitetty tai vaarallisten osien kosketussuojaus ilmoitetaan ja ensimmäinen tunnusnumero on korvattu X-kirjaimella. Täydennyskirjaimet ilmaisevat jotain poikkeuksellista ominaisuutta. (D1-2017, s. 173.)

6 ASENNUSTARKASTUS

Työnaikainen valvonta kohdistuu työmenetelmiin, asennusteknisiin asioihin, asennuspaikan olosuhteisiin tms. työhön kohdistuvaa valvontaa, kuten kaapeleiden taivutussäteet ja asennuslämpötila. Tarpeen mukaan asennustarkastaja voi ohjata työn suoritusta. Asennus on tarkastettava standardien, määräysten ja ohjeiden mukaan sekä erillisen tarkastusohjeen mukaan.

Sähköasennuksiin, jotka eivät ole todettavissa myöhemmissä vaiheissa, tehdään esitarkastus, joka on esimerkiksi tehdastarkastus toimittajan luona. Asennusten tulee täyttää voimassa olevan TUKES-S10-ohjeessa mainittujen standardien vaatimukset. Olennaiset S10-ohjeiston standardit

- SFS 6000 (2017). Pienjännitesähköasennukset
- SFS 6001 (2018). Suurjännitesähköasennukset
- SFS-EN 60079-14 (2015). Räjähdyksenvaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen
- SFS-käsikirja 604-2 (2017). Räjähdyksenvaaralliset tilat. Osa 2: Sähköasennukset, tarkastus ja huolto, luku 3: Räjähdetilat.

S10-ohjeisto on luettelo standardeista, joita noudattamalla katsotaan sähkölaitteistojen ja sähkötyöturvallisuuden vaatimusten täyttyvän. (Tukes, 2019)

6.1 Tarkastusprosessi

Asennustarkastus tehdään, kun asennus tai osakokonaisuus on valmis. Kohteessa pitää olla asennuksessa käytetyt piirustukset ja muut asiakirjat, joista voidaan todeta asennuksen vastaavan dokumentointia. Isoissa kokonaisuuksissa tehdään yksittäiskohteen tarkastuksia, joka voi olla esimerkiksi kaapeloinnin tarkastus ennen niiden kytkentää. Näin voidaan välttyä asennusvirheiltä ennen työn valmistumista.

Tarkastuksissa todetaan, että laitteita ei ole vahingoitettu asennustyön aikana ja asennus on suoritettu voimassa olevia standardeja, ohjeita ja määräyksiä sekä erillisiä asennusohjeita noudattaen. Myös puhtausvaatimukset ja tarvikkeille asetetut vaatimukset pitää olla täytetty.

Tarkastuksista tehdään aina tarkastuspöytäkirja, johon kirjataan mahdolliset puutteet ja korjaustoimenpiteet. Asennustarkastuksen jälkeen virtapiirit voidaan koestaa sekä tehdä toimintakokeet.

Suunnitelmat ja asiakirja tulee olla saatavilla tarkastuksen alkaessa. Instrumentoinnin toimilaitteissa, kuten lämpötilan mittaus tai kosteusanturi on huomioitava mahdollinen koestusmerkintä. Myös vastaanottotarkastuksen suoritusmerkintä voi tulla kyseeseen.

Asennusta tai kytkentää verrataan tarkekuva eli punakynäversioon, kansainvälisesti As-built. Asiakirjat päivitetään viimeistään loppudokumentaatioon.

Asiakirjoista tarkastetaan myös

- kaapeleiden tyypit ja poikkipinnat
- mittauspöytäkirjat
- asentajan ja työnjohtajan allekirjoitettu käyttöönottotarkastuspöytäkirja
- kuitatut kytkentälistat
- laitteiden ja tarvikkeiden ympäristö- ja käyttöolosuhteet

Kaapelointi (kuva 23) tarkastetaan kokonaisuudessaan. Hyllyjen kiinnitykset ja etäisyydet pitää olla asennettu ohjeistuksen osoittamalla tavalla. Turvaluokitellut rakenteelliset kiinnitykset tarkastaa kyseisen vastuualueen organisaatio.

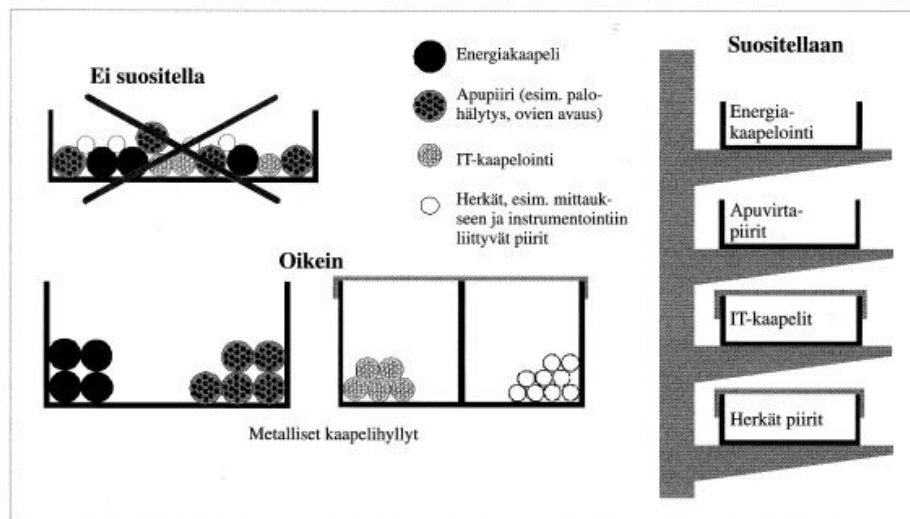


Kuva 23. Hyvin toteutettu kaapelointi.

Valetut tasoläpiviennit tarkastaa eri organisaatio. Asentaja pitää olla koulutettu kyseiselle esim. MCT-kaapeliläpiviennin pakkaamiseen. Modulaarinen läpivienni on esitetty kuvassa 5.

Kaapelien sub-erottelun etäisyydet varmistetaan. Liitteessä 1 on esimerkkejä erottelusta. Lisäksi tarkastetaan kaapeleiden sidonnat ja sähkömagneettinen yhteensopivuus (kuva 24). Kaapelit pitää suojata mekaanisesti riittävälle korkeudelle.

Kaapelien sidontaan käytetään muovipäällysteistä sidelankaa, esimerkiksi ML 1,5 mm². Kaapeli- johdinniput sidotan yhdellä langalla, joten ylimääräiset langat ja johdinsiteet pitää poistaa nippujen sisältä.



Kuva 24. Kaapeleiden sijoittamisella voidaan estää häiriöiden syntyminen. (D1-2017, s. 170)

Kojeistot ja keskuksat ovat tarkastettu jo ennen kohteeseen toimittamista. Tällä toiminnalla varmistetaan, että keskuksien sisäiset johdotukset ja kytkennät ovat asianmukaisesti tehty eikä työmaalla tarvitse suorittaa aikaa vieviä korjauksia. Keskustarkastuksissa huomioitavia asioita

- IP-luokitus on ympäristöolosuhteisiin soveltuva
- kytkennät ja niiden kireys
- läpiviennit ja vedonpoistot
- kojeiden kiinnitys
- layout
- koje-, kaapeli- ja johdinmerkinnät
- maadoitukset
- kyltit ja kilvet
- puristusliitosten tiedot

Erittäin tärkeää on varmistaa kaappien ovien ja kansien sulkeutuminen ilman johtimien puristuksiin jäämistä. Kuvassa 25 johtimet on niputettu spiraalilla. Vikatilanne ei välttämättä ilmene heti käyttöönoton jälkeen ja vian etsintä jälkeenpäin saattaa olla hyvinkin haasteellista. Laite toimii, mutta vikaohjelmia tulee, mikä kuormittaa turhaan resursseja.



Kuva 25. Kaapelointi ovikojeilta. (Kiertonet, 2020)

Laitevallinnassa ulkoisista olosuhteista täytyy varmistua ja huomioida ainakin vesi, korroosio, ukkonen, materiaalit, iskut, vieraat esineet, värähtely ja rakennuksen rakenteet. Kaapissa olevien eri järjestelmien toisistaan eroavat jännitetasot pitää olla erotettu, jotta häiriöiden mahdollisuus on käytännössä olematon. Laitesijoitusten rajoituksista ja kaapeleiden käytöstä vastaa suunnittelija niistä olisi hyvä olla selvitys sähkösuunnitelmissa.

Mittauspöytäkirjan täytyy olla täytetty ja siitä pitää käydä ilmi

- mittauspaikka, mitattava laite ja mittaaja
- mittausarvot
- mahdolliset huomautukset
- mittalaitteen tiedot
- suoritettavat mittaukset
- silmukkaimpedanssi
- oikosulkuvirta
- kiertosuunta
- vikavirtasuojan testaus ja mitatut arvot
- napaisuus

ATEX-asennuksissa käyttöönottotarkastuksen tulee olla yksityiskohtainen ja se pitää olla dokumentoitu. Suunnitelmadokumenteissa pitää olla mm. räjähdysuojausasiakirja. Räjähdyksivaarallisissa tiloissa tehdään yksityiskohtaisen tarkastuksen lisäksi lähitarkastus ja silmämääräinen tarkastus. (ST 51.21.17, s .5)

Pinta-asennuksissa ja putkituksissa tuetaan (kuva 26) on kiinnitettävä huomiota. Pinta-asennuksessa voidaan käyttää JAPP-putkea tai vastaavaa maanpäällisissä valaistus- ja vastaavissa asennuksissa. Jos käytetään panssariletkeä, on sen oltava lujuusluokkaa 4.



Kuva 26. Putken tuenta. (Steam Industries, 2020)

JAPP-putki soveltuu vain asennusputkeksi. Suojaputken on oltava vähintään lujuusluokan 4 putkea. Sub-suojaukseen käytetty putki on oltava ainespaksuudeltaan vähintään 1 mm. Putkien liittimet ja muhvit pitää olla sinkittyä, haponkestävää, ruostumatonta tai niklattua messinkiä. Putkikiinnikkeet täytyy olla kahdella kiinnityspisteellä varustettuja metallisia ja putkelle hyväksyttyä materiaalia. (Posiva DMS, 2019e)

6.2 Työturvallisuus

Säteilytyöturvallisuus on ajankohtainen vasta laitoksen rakentamisen ja käyttöönoton jälkeen. Säteilyä vastaan suojautumisessa aika, suoja ja etäisyys ovat paras keino välttää säteilyannokselta. Aina ei ole mahdollista suojautua täydellisesti säteilyä vastaan. Ohjeet ja määräykset velvoittavat rakentamaan ydinlaitoksen niin, että suunnittelulla ja rakenteellisilla ratkaisuilla säteilylle altistumien on mahdollisimman vähäistä.

Säiliötyöturvallisuus varmistetaan parityöskentelyllä ja turvavarusteilla. Happipitoisuusmittari on oltava varusteena, jos tiedetään happitason olevan riskitekijä. Raitisilmamaskia käytetään tarvittaessa.

Putoamissuojaus on keskeinen osa työturvallisuutta. Teollisuuslaitoksissa on usein korkeita työskentelyolosuhteita ja esimerkiksi kuilujen läheisyydessä on käytettävä turvavaljaita.

Sähkötyöturvallisuus on aina varmistettava. Rakenteilla olevissa laitoksissa, joissa yleensä käyttöönotetaan sähkölaitteiston osia tai järjestelmiä on kohonnut sähköiskun vaara. Turvatoimilla ja merkinnöillä saavutetaan hyvä sähkötyöturvallisuuden taso sekä sähkötyöntekijöiden oikea asenne mahdollistaa pääsyn terveenä kotiin.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö rajattiin pääsääntöisesti hyviin asennustapoihin ja ydinlaitoksen sähköasennustekniikkaan. Työn aikana pääsin tutustumaan ja perehtymään erinomaisesti käyvien ydinvoimalaitosten sähkötekniisiin asennuksiin. Loppusijoituslaitoksen asennukset noudattavat pääsääntöisesti käyvien laitosten asennuksia. Eroavaisuuksia laitosten välillä on esimerkiksi, että loppusijoituslaitoksessa ei ole reaktorin suojarakennusta, jossa asennusteknisiä vaatimuksia on enemmän.

Työn tarkoitus oli luoda sähkö- ja automaatioasentajille ohjeisto. Käytännössä luvut viisi ja kuusi palvelevat tätä tarkoitusta. Sisältöön pyrittiin koostamaan useimmin eteen tulleisiin asennusteknisiin ongelmiin. Muun muassa etäisyydet, kiinnitykset ja puristusliitokset ovat tällaisia.

Painettua vihkoa ei toteutettu vielä tässä vaiheessa vaan ohjeistoa kehitetään ennen painatusta. Vihon suunnittelussa pitää tehdä yhteistyötä viestintäosaston kanssa mm. taittamisessa ja graafisen ulkonäön kanssa. Kapselointilaitokseen on suunnitteilla tila, johon tehdään malliasennuksia. Mallisennusten valmistuttua siitä saadaan todellisia tilannekuvia painettuun vihkoon.

Työ oli hyvä läpileikkaus ydinlaitosten asennusten erityisvaatimuksiin. Myös loppusijoituskonsepti tuli tutuksi prosessin aikana. Turvallisuus tulee aina huomioida ennen kaikkea ydinlaitoksen rakentamisessa, käyttöönotossa ja käyttämisessä. Ydinlaitolla ylläpidetään ja kehitetään hyvää turvallisuuskulttuuria.

LÄHTEET

D1-2017. (2017). Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy

Fluke. (2020). Manuals. Haettu 2.2.2020 osoitteesta <https://www.fluke.com/en-gb/product/electrical-testing/installation-testers/fluke-1653b>

Kiertonet. (2020). Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://kiertonet.fi/tyokalu-ja-koneet/koneet-ja-laitteet/sahkokeskus-seka-taajuusmuuttajat-vacon-17600>

Mäkinen, M & Koivisto, P. (2020). *Hyvä asennustavat. Sähkö- ja tietotekniset järjestelmät*. ST-Käsikirja 34. Espoo: Sähköinfo Oy.

Olkidoc. (2016). Sähkötekniset asennusohjeet – Yleiset vaatimukset ja vastuut. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Olkidoc. (2017). Sähköturvallisuuslain mukaiset sähköasennusten tarkastukset. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Posiva. (2020). Loppusijoitus. Haettu 28.1.2020 osoitteesta http://posiva.fi/loppusijoitus/loppusijoituksen_perusteet#.XjBSDyPkuUk

Posiva DMS. (2019a). Laite- ja kojemerkinnot, 02864. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Posiva DMS. (2019b). Maadoitukset, 028655. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Posiva DMS. (2019c). Kojeistot, keskukset ja kotelot, 028651. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Posiva DMS. (2019d). Kaapeloinnin luokat, sub-jako sekä palosuojaus, 028654. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Posiva DMS. (2019e). Asennustarvikkeet, 028652. Julkaisematon dokumentti. TVO.

Reka. (2020). Kaapelitietoa. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://www.reka.fi/kaapelitietoa/kaapeliohjeet>

Rittal. (2020). Kytkenäkaapit. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://www.rittal.com/fi-fi/product/show/variantdetail.action;jsessionid=3EC4FCF5FAE53DBC677D967006FE2FD1?categoryPath=/PG0001/PG>

[0002SCHRANK1/PGR2685SCHRANK1/PGR14360SCHRANK1/PRO0026SCHRANK&productID=1019600](https://www.severi.fi/0002SCHRANK1/PGR2685SCHRANK1/PGR14360SCHRANK1/PRO0026SCHRANK&productID=1019600)

ST 51.09. (2013). ST-kortisto. Sähkötekniset liitokset. Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/>

ST 51.21.17. (2018). ST-kortisto. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja EX. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/>

SFS 6000 (2017). Pienjännitesähkösäennukset. Osa 6: Tarkastukset. SFS Online. Haettu 2.2.2020 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 61439. (2013). Pienjännitekeskukset. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://online.sfs.fi/>

SLO. (2020). Verkkokauppa. Haettu 8.2.2020 osoitteesta <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/murtolenkki-so135-150-12-24kv-5048155>

Steam Industries. (2020). Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://www.streamindustries.fi/palvelut/teollisuuden-sahkotyot/>

STUK. (2019a). Ohje YVL B.2. Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu. Haettu 2.2.2020 osoitteesta <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>

STUK. (2018a). Ohje YVL D.5. Ydinjätteiden loppusijoitus. Haettu 1.2.2020 osoitteesta <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>

STUK. (2019b). Ohje YVL E.7. Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet. haettu 2.2.2020 osoitteesta <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>

STUK. (2018b). Säteilyturvakeskuksen määräys ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta. Y/4/2018. Haettu 2.2.2020 osoitteesta <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-maaraykset>

STUK. (2020). Säännöstö. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Haettu 28.1.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Tiainen, E. (2013). Sähkösäennukset 1. 3. Painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Teleinstrument. (2020). Liittimet. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <http://www.teleinstrument.fi/liittimet-cembre/c-liittimet/>

TSP. (2020). Tampereen sähköpalvelu. Tuotteet. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://www.tsp.fi/suomeksi/tuotteet/tuoteryhma/cadweld-liitos-tarvikkeet/action/list/>

Tukes. (2019). Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/standardit>

Ydinenergialaki 990/1987. Haettu 28.1.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870990#L2P6a>

Ylinen, T. (2018). Kiinteistöjen sähköasennusten käyttöönottotarkastukset. 9. Painos. Espoo: Sähköinfo.

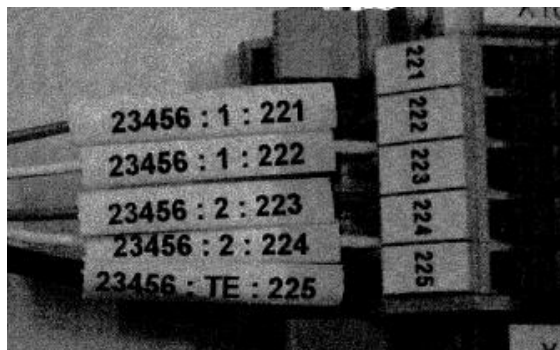
Watski. (2020). Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://www.watski.fi/Putki-kaapelikengt-6-mm2-11dwc>

Sähkötekniisiä asennusohjeita

Oman työn tarkastus

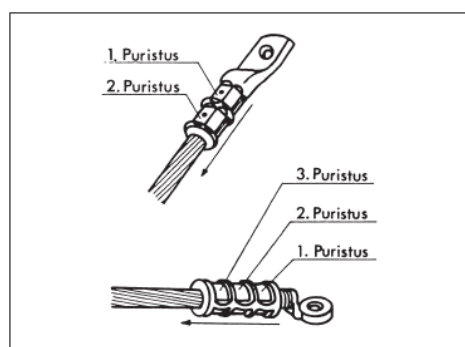
- Johtimien säikeet ovat mitoitettu oikein ja ne ovat vahingoittumattomina liittimen sisällä sekä eristämätön johtimen osa on riittävän syvällä liittimessä.
- Kojeet ja johtimien eristeet ovat ehjiä.
- Kytkenöille on tehty vetotesti.
- Kannet ja ovet sulkeutuvat vaivatta.
- Keskuksista ja koteloista on poistettu työstä- ja kytkentäjäte.

Johtimien merkkaus (kuva 27).



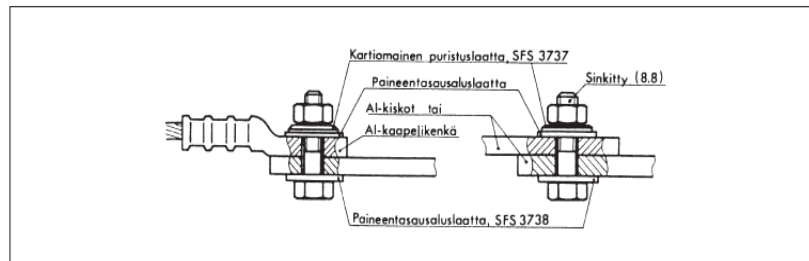
Kuva 27. Esimerkki johtimien merkinnästä. (Posiva DMS)

Oikea puristusjärjestys.



Kuva 28. Oikea puristusjärjestys. (ST 51.09, s. 8)

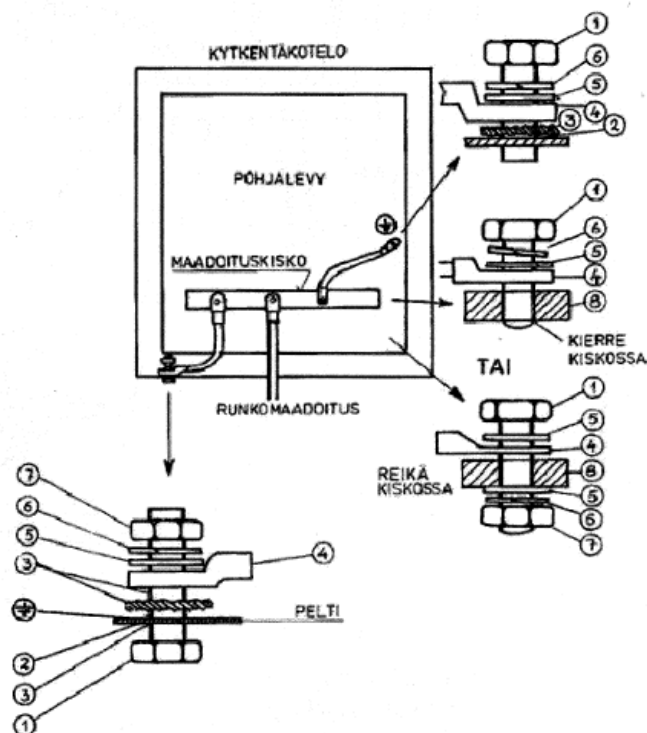
Paineentasauslaattojen käyttäminen



Kuva 29. Paineentasauslaatta ja puristuslaatta. (ST 51.09, s. 9)

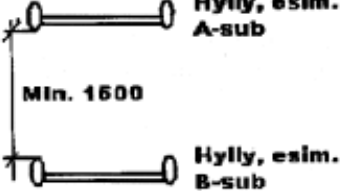
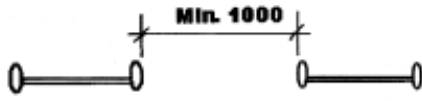
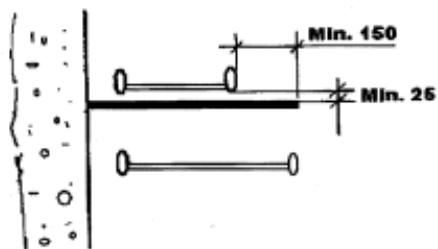
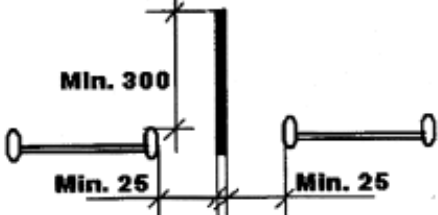
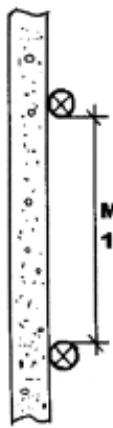


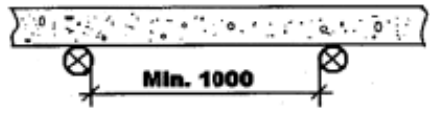
MAADOITUKSEN LIITTÄMINEN KOJEKOTELOON

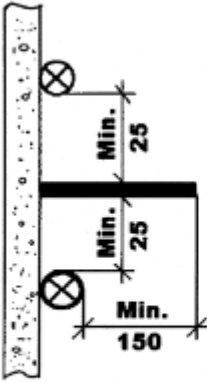
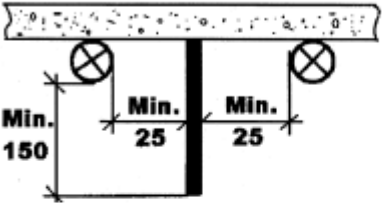
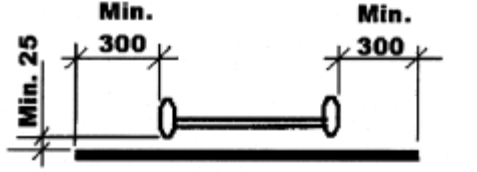
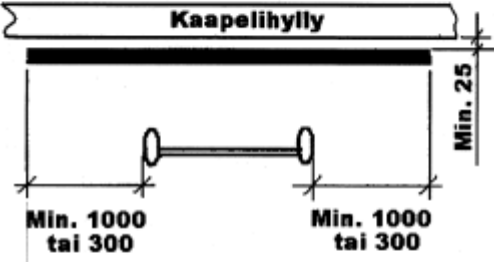
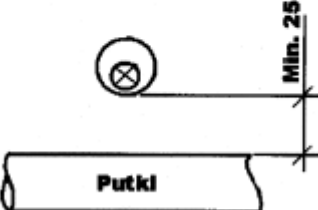
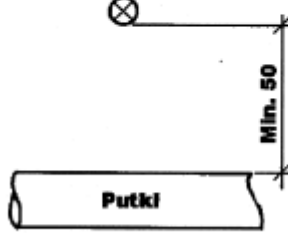
1. Kuusioruuvi
2. Kotelon maalattu pohjalevy
3. Ulkohampainen tähtialuslevy
4. Kaapelikenkä
5. Aluslevy
6. Jousialuslevy
7. Kuusiomutteri
8. Maadoituskisko

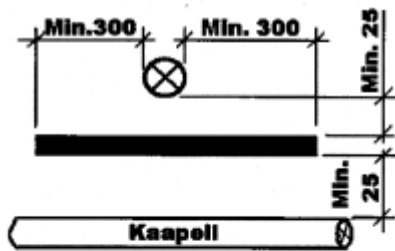


Kuva 30. Maadoituksen liittäminen. (Posiva DMS, 2019b)

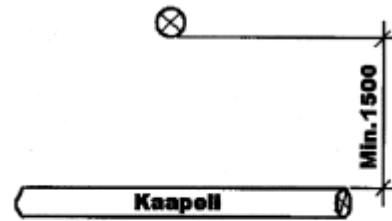
Sub erottelua. (Posiva DMS, 2019d)

 <p>Hylly, esim. A-sub Min. 1600 Hylly, esim. B-sub</p> <p>Kuva 1: Min. 1,5 m vapaata ilmatilaa kun hyllyt ovat päällekkäin tai menevät ristiin.</p>	 <p>Min. 1000</p> <p>Kuva 2: Minimi 1,0 m vapaata ilmatilaa kun hyllyt ovat vierekkäin (myös pystyasennuksessa).</p>
 <p>Min. 150 Min. 25</p> <p>Kuva 3: Palosuoja tulee ulottua vähintään 150 mm yläpuolella olevan hyllyn ulkopuolelle, kuitenkin vähintään alemman hyllyn ulkoreunan tasalle.</p>	 <p>Min. 300 Min. 25 Min. 25</p> <p>Kuva 4: Palosuoja tulee ulottua min. 300 mm vierellä olevan hyllyn yläpuolelle sekä olla hyllyn alareunan tasolla.</p>
 <p>Min. 1500</p> <p>Kuva 7: Eri subiin kuuluvien paljaiden kaapelien etäisyys toisistaan seinälle päällekkäin asennettuna on minimi 1,5 m kiinnitystavasta riippumatta.</p>	 <p>Min. 25</p> <p>Kuva 5: Eri subiin kuuluvien putkitettujen kaapelien etäisyys toisistaan on min. 25 mm kiinnitystavasta riippumatta.</p>
 <p>Min. 50</p> <p>Kuva 6: Eri subiin kuuluvan putkitetun ja paljaan kaapelien etäisyys toisistaan on min. 50 mm kiinnitystavasta riippumatta.</p>	 <p>Min. 1000</p> <p>Kuva 8: Eri subiin kuuluvien paljaiden kaapelien etäisyys toisistaan pystyasennuksessa tai kattoon asennettuna on minimi 1,0 m kiinnitystavasta riippumatta.</p>

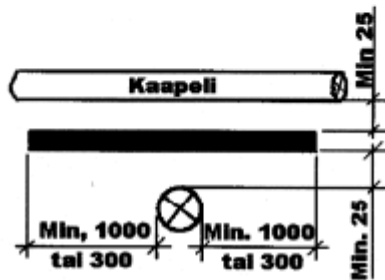
<p>Kuva 9:</p> <p>Palosuoja tulee ulottua vähintään 150 mm kaapelin ulkopuolelle asennettaessa kaapeli seinäpintaan kiinnitystavasta riippumatta.</p> 	 <p>Kuva 10: Palosuoja tulee ulottua vähintään 150 mm kaapelin alapinnan alapuolelle asennettaessa kaapeli kattopintaan kiinnitystavasta riippumatta.</p>
 <p>Kuva 11: Palosuoja tulee ulottua vähintään 300 mm hyllyn reunasta risteävän alemman hyllyn pituussuuntaan.</p>	 <p>Kuva 12: Palosuoja tulee ulottua vähintään 1,0 m alemman hyllyn reunasta yli risteävän hyllyn pituussuuntaan. Jos alla oleva hylly kuuluu luokkaan 3 tai 4 tulee suojan ulottua vähintään 300 mm yllä olevan alemman hyllyn pituussuuntaan.</p>
 <p>Kuva 13: Putkien risteyksessä on minimietäisyys 25 mm</p>	 <p>Kuva 14: Kaapelin ja putken risteyksessä on minimietäisyys 50 mm.</p>



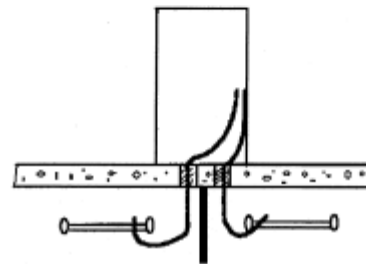
Kuva 16: Palosuojan tulee ulottua kaapelista vähintään 300 mm alta risteävän kaapelin pituussuuntaan.



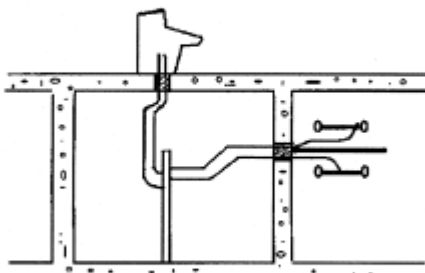
Kuva 15: Kaapelien risteyksessä on minimietäisyys 1,5 m



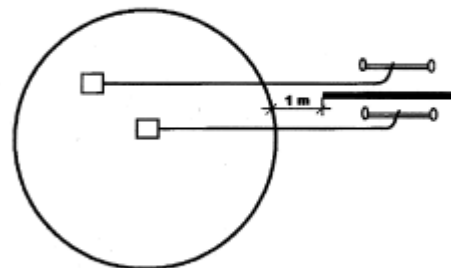
Kuva 17: Palosuojan tulee ulottua kaapelista vähintään 1,0 m yli risteävän kaapelin pituussuunnassa. Jos alla oleva kaapeli kuuluu luokkaan 3 tai 4 tulee suojan ulottua vähintään 300 mm ylempään kaapelin pituussuuntaan.



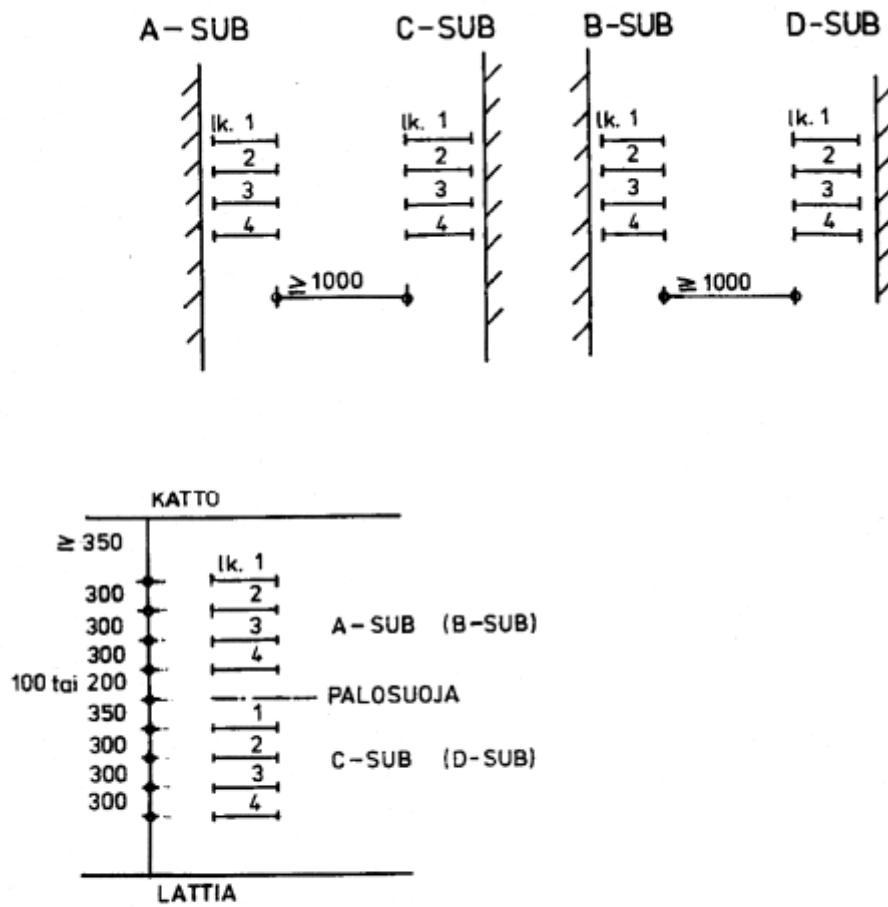
Kuva 18: Eri subien kaapelit erotetaan palosuojalla välipohjan läpivientiin saakka. Kaapin, pulpetin tai muun koteloitun laitteen sisällä ei käytetä sub-erotuksia.



Kuva 19: Eri subien kaapelit erotetaan palosuojalla seinäläpivienteihin saakka. PA-pulpetin alla ei sub-erotusta kuitenkaan käytetä.



Kuva 20: Eri subien kaapelit erotetaan palosuojilla 1 m:n päähän reaktoritankin alaosaan. Reaktoritankin alla olevassa tilassa ei käytetä sub-erotusta.



Minimietäisyys samaan kaapeliluokkaan kuuluvien hyllyjen alareunojen välillä on 300 mm