

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

Tutkintotyö

Pekka Norri

1000 VOLTIN JAKELUVERKON RAKENTAMINEN

Työn ohjaaja DI Järvi Seppo
Työn teettäjä Vertek Oy, valvojana Jarmo Lahtinen
Tampere 2006

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

Norri Pekka

Tutkintotyö

Työnohjaaja

Työnteettävä

Hakusanat

1000 voltin jakeluverkon rakentaminen

41+2

Järvi Seppo

Vertek Oy, valvoja Lahtinen Jarmo

kilovoltin jakeluverkko

TIIVISTELMÄ

Tutkintotyö käsittelee 1000 V:n verkon rakentamista. Erityisesti siinä tarkastellaan verkkoa rakentavan yrityksen tarpeita, jotta yritys pystyisi tarjoamaan kilovoltin verkkoa jakeluyhtiöille. 1000 V:n verkko lisää yhden jännitetason lisää jakeluverkkoon, jolloin verkosta tulee 20/1/0,4 kV:n järjestelmä. Verkon rakentaminen ei paljoa eroa tavallisesta pienjänniteverkon rakentamisesta. Uusina komponentteina tulevat 20/1 ja 1/0,4 kV:n muuntajat ja katkaisijat.

Jakeluyhtiö voi säästää huomattavasti rakentamalla verkon kilovoltin suuruiseksi. Kilovoltin verkko on usein häiriöttömämpi ja saattaa tulla halvemmaksi rakentaa kuin keskijänniteverkko ja tehoa voidaan siirtää 2,5 kertaa enemmän ja 2,5 kertaa pidemmälle kuin 0,4 kilovoltin verkossa.

Työssä tuon esille 1000 V:n verkon rakentamisen, suojaamisen, materiaalit ja tarkastelen taloudellisuutta sekä työturvallisuutta. Työn loppupäätelmänä voidaan pitää sitä, että 1000 V:n verkon rakentaminen ei eroa paljoakaan tavallisesta 0,4 kV verkon rakentamisesta, koska käytettävä materiaali on pääosin samaa.

TAMPERE POLYTECHNIC
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering
Norri Pekka
Engineering Thesis
Thesis supervisor
Commissioning company
Keywords

1000 volt distribution network building
41+2
Järvi Seppo
Vertek Oy
kilovolt distribution network

ABSTRACT

Engineering thesis observe 1000 V distribution network. I observe specially needs of company, which only build distribution networks. 1000 V adds new voltage level to distribution network. Network is 20/1/0.4 kV system. Building of 1000 V network does not differences much, if we compare it to the ordinary low-voltage distribution network. New components are 20/1 kV and 1/0.4 kV transformers and circuit breakers.

Distribution Company can make savings, if they build 1000 V network instead of ordinary low and middle voltage network. 1000 V distribution network is often more undisturbed. It could be also cheaper to build. 1000 V network can transfer 2.5 times more power and 2.5 times longer than 0.4 kV network.

I observe building of 1000 V distribution network, protection, components and safety. I also look economically at 1000 V network. Building of 1000 V distribution network is quite same than building of low-voltage network, because most of the components are same.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 TYÖN TARKOITUS JA RAJAUS.....	5
2 1000 VOLTIN JAKELUJÄRJESTELMÄN KUVAUS.....	5
Peruseriaate.....	6
3 RAKENNERATKAISUT JA KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET	8
4 TEKNISTALOUEDELLINEN TARKASTELU	10
4.1 Jakeluyhtiön kustannustarkastelu	10
4.2 Verkkoa rakentavan yrityksen kustannustarkastelu	12
4.3 Verkon mitoittaminen.....	12
4.2.1 Pien- ja keskijänniteverkon kustannusero	13
4.2.2 Jännitteenalenema.....	13
5 TYÖTURVALLISUUS.....	19
5.1 Sähkötyöturvallisuus	20
5.2 Työkalut, varusteet ja laitteet.....	21
5.3 Turvalliset työskentelykäytännöt.....	22
6 TARVIKKEET JA NIIDEN SAANTI.....	23
6.1 Johtimet ja johtimien soveltuvuus	24
6.2 Muuntajat.....	24
6.3 Suojausyksiköt.....	27
6.3.1 Katkaisija.....	27
6.3.2 Ylijännitesuojat.....	29
6.4 Ilmajohtotarvikkeet.....	30
6.5 Maakaapelitarvikkeet.....	32
6.5 Työkalut.....	32
7 RAKENTAMINEN	32
7.1 Suunnittelu.....	33
7.2 Pylväitten asennus	33
7.3 Haruksien asentaminen.....	34
7.4 Koukuttaminen	34
7.5 Raivaus	34
7.6 AMKA-riippukierrekaapelin veto	35
7.7 Liittäminen	35
7.8 Suojat.....	36
7.9 Merkitseminen.....	36
7.10 Maakaapelit	36
7.11 Tarkastus.....	37
8 KOULUTUS.....	37
9 KÄYTTÖÖNOTTO JA TARKASTUKSET	38
9.1 Käyttöönottotarkastus (Oman työn tarkastus).....	38
9.2 Kuntotarkastus.....	39
10 LOPPUPÄÄTELMÄT	40
LÄHDELUETTELO	40
LIITTEET.....	41

1 TYÖN TARKOITUS JA RAJAUS

Nykyinen pienjänniteverkko on pääosin nimellisjännitteeltään 400 voltia. Pienjännitteen raja on kuitenkin määritetty 1000 volttiin saakka ja osin siksi 400 voltin verkon komponentit on rakennettu kestävämmän 1000 voltin jännitteitä. Jakeluyhtiöille voi kertyä huomattavaa säästöä, jos verkko rakennettaisiin kilovoltin jännitteellä ja siten siirtomatkaa ja tehoa voitaisiin lisätä. Verkkoa rakentavan yrityksen on hyvä osata kilovoltin verkon rakennus, jotta se ei menettäisi 1000 V:n verkon rakentamista muille yrityksille. Tärkeää on pysyä myös kehityksen mukana.

Tutkintotyöni käsittelee verkkoa rakentavan yrityksen tarpeita, jotta se pystyisi tarjoamaan jakeluyhtiöille 1000 voltin jakelujärjestelmää. Työssäni käsittelen rakennuskohteet, joihin 1000 voltin järjestelmää voidaan käyttää. Lisäksi tarkastelen verkossa käytettäviä materiaaleja, rakennustapaa, työturvallisuutta, koulutusta ja tutkin 1000 V:n verkon rakentamista teknistaloudellisesti. Olen tarkastellut hieman myös kilovoltin verkon taloudellisuutta jakeluyhtiön kannalta ja tuonut esiin verkon hyödyt ja haitat.

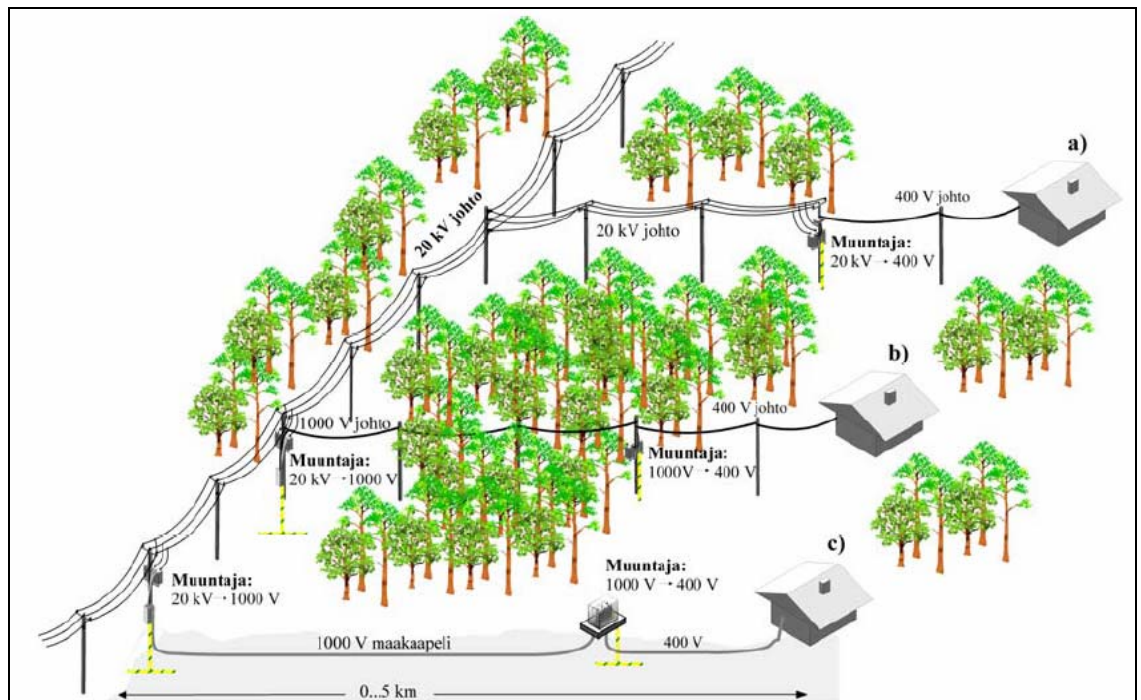
2 1000 VOLTIN JAKELUJÄRJESTELMÄN KUVAUS

1000 V:n järjestelmä lisää jakelujänniteportaaseen yhden tason lisää. Kilovoltin järjestelmä tulee keskijänniteverkon (20 kV) ja pienjänniteverkon (400 V) väliin eli järjestelmä on 20/1/0,4 kV. Kilovoltin järjestelmällä on tarkoitus siirtää sähköä silloin, kun 400 voltin jakelujännitejärjestelmä ei käy jännitteen aleneman vuoksi ja vastaavasti 20 kV:n verkkoa ei ole taloudellisesti tai muusta syystä kannattavaa rakentaa. Kilovoltin järjestelmän sähkönsiirtokyky on parempi kuin 400 V:n järjestelmän, jolloin siirtomatkaa pystytään lisäämään. Keskijännitejohdot vaativat leveät johtokadut, joita 1000 voltin jännitejärjestelmässä ei tarvita. Järjestelmän hyötynä ovat myös häiriöttömämpi jakelu, pienemmät rakennuskustannukset ja ylläpitokustannukset. Kilovoltin haara muodostaa oman

suojausalueen katkaisijan avulla, ja siten vika ei pääse leviämään pitkälle verkkoon. Päällystetty johto vähentää myös kokonaisuudessaan pikajälleenkytkentöjen määrää.

Perusperiaate

Verkon perusperiaate selviää kuvasta 1. Siinä on kuvattu, kuinka 20/1/0,4 kV:n jännitejärjestelmä korvaa perinteisen 20/0,4 kV:n järjestelmän. Kuvan 1 a tilanne on normaali 20 kV:n haarajohto, jonka päässä on 20/0,4 kV:n muuntaja. Kuvan b ja c tilanne kuvaa samaa tilannetta kuin a, mutta kilovoltin järjestelmällä toteutettuna. Kuvassa on myös havainnollistettu keskijänniteverkon tarvitsema johtokatu. /10/



Kuva 1 Kolmen erilaisen haarajohtoon rakennusmallit /10/

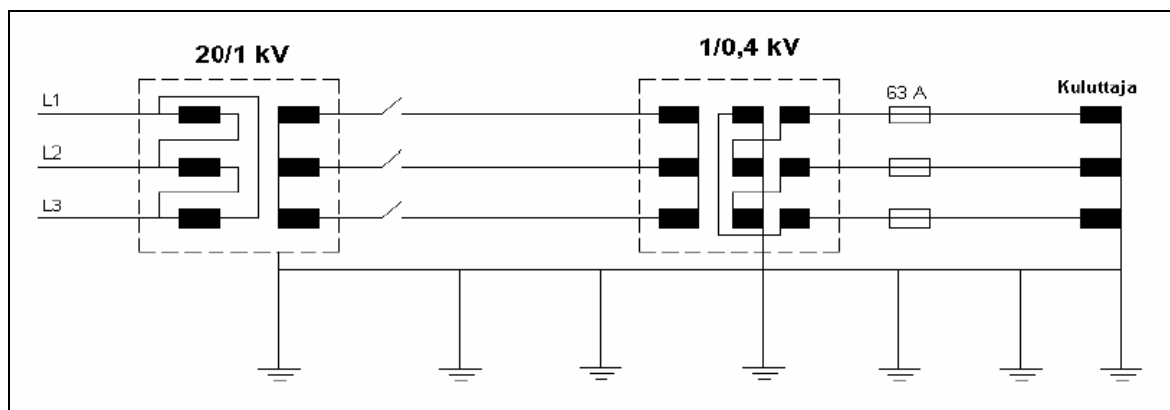
1000 voltin verkossa käytetään samoja tarvikkeita kuin 400 voltin verkossa. Uusina tarvikkeina tulevat muuntajat 20000/1000/400 V, 20000/1000 V ja 1000/400 V sekä verkon suojaava yksikkö. Kilovoltin linjan merkitsemiseen on omat kyltinsä ja merkkinsä.

Vahinkojen välttämiseksi kilovoltin järjestelmä tulee merkitä hyvin. Se tulee erottaa selvästi tavallisesta 400 V:n verkosta. Merkitsemisessä on ollut hieman eri tapoja. Ennen pylväitten lähelle johtoon tuli keltainen kolmio, johon oli merkitty 1 kV ja liitoskohdissa johtimet oli merkitty ruskealla kutisteletkulla. Näistä on luovuttu. Kutistusletku ei ole UV:lta suojattu, joten väri saattaa ajan myötä haalistua. Nyt on vakiintumassa tapa, jossa käytetään vain yhtä kylttiä, jossa on merkintä 1 kV ja varoittava salama.

Pylväitten latvat merkitään keltaisella nauhalla, joka on merkinä teleasentajille. 1000 voltin yhteiskäyttönauha on leveämpi kuin 400 voltin nauha. Kilovoltin nauha on 100 mm:n levyistä, kun 400 voltin verkossa se on 25 mm leveää.

Verkkoa rakentavan yrityksen kannalta on huomioitavaa, että varaston koko ei kasva merkittävästi rakennettaessa 1000 voltin verkkoa, koska käytettävä materiaali on pääosin samaa kuin 400 V:n verkossa. Johtiminakin käyvät samat johtimet kuin 400 voltin verkossa eli kilovoltin järjestelmässä käytetään ilmajohtimena AMKA-johtimia ja maakaapelina vastaavasti AXMK-kaapeleita ja vesistökaapelina käy normaali pienjänniteverkon vesistökaapeli. /10/

1000 V:n järjestelmä rakennetaan aina kolmivaiheiseksi ja se tulee rakentaa maasta erotettuna verkkona. 1000 V:n verkon suojausta ei tehdä samoin kuin 400 V:n verkon suojaus. Verkko pitää suojata omalla katkaisijalla. Verkon perusrakenne näkyy kuvassa 2. /10/



Kuva 2 20/1/0,4 kV:n verkon perusrakenne /10/

3 RAKENNERATKAISUT JA KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Kilovoltin järjestelmällä on monia käyttömahdollisuuksia. Jokaista rakentamiskohdetta tulee teknistaloudellisesti tarkastella erikseen. Alla on lueteltu käyttömahdollisuuksia, joihin kilovoltin järjestelmää voidaan käyttää.

1000 V:n johto korvaa olemassa olevan 400 V:n johdon

Pienellä työllä on mahdollista lisätä merkittävästi olemassa olevan pienjänniteverkon siirtokykyä muuttamalla se kilovoltin järjestelmäksi. Etuna on verkon kuormituksen lisääminen tämän jälkeen, jos tarvetta ilmenee. Verkko muuntajan läheisyydessä pystytään pitämään entisellään (20/1/0,4 kV) kolmikäämimuuntajan avulla.

Taloudellisesti verkon korvaaminen on kannattavaa, jos verkon kuormitus kasvaa merkittävästi ja siirtomatka kuluttajille pitenee. Esimerkiksi 400 voltin johto tulisi kahdentaa. Lisättävien muuntajien kustannukset eivät saa ylittää vanhan verkon vahvistukseen käytettävien johdinten kustannuksia. Töihin kuluva aika on myös huomioitava. Kilovoltin järjestelmän rakentamisen taloudellista kannattavuutta tulee tarkastella tapausittain. /10/

Uudisrakennuskohteessa 20 kV:n haaran korvaaminen tai vanhan haaran jatkaminen 1000 V:n johdoilla

Uuden haarajohdon rakentaminen kilovoltin järjestelmällä kannattaa usein silloin, kun kuluttajille siirrettävä matka on muutama kilometri ja tehot ovat melko pieniä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi vapaa-ajan asunnot, kohteet saarissa ja haja-asutusalueet. Säästöä jakeluyhtiölle tulee keskeytys-, ylläpito- ja vikojen korjauskustannuksista. Investointikustannuksissa saattaa myös tulla säästöä. Se riippuu matkasta ja tehosta.

Kilovoltin järjestelmää voidaan käyttää myös tilapäisenä ratkaisuna silloin, kun alueen lopullista käyttöä ja kuormitusta ei vielä tiedetä. Tällöin vältetään turhan

järeiltä verkon rakennuksilta. Tosin tilapäiset ratkaisut tulevat usein kokonaiskustannuksissa kalliimmiksi.

Kilovoltin järjestelmän suurena hyötynä on sopivuus ympäristöön. Se ei häiritse ympäristössä asuvia asukkaita niin paljoa kuin 20 kV:n rakenneratkaisuun. /10/

Keskijännitejohdon muuttaminen saneerattaessa 1000 V:n järjestelmäksi

Pienikuormaisen keskijännitehaaran korvaaminen 1000 V:n järjestelmällä tulee silloin kysymykseen, kun haaran kuormitus on jäänyt pieneksi. Mikäli 20 kV:n haarajohto pitää korvata kaikkien osien ja komponenttien osalta, se vastaa uudisrakennuskohteen tarkastelua. Tosin johtokatu on valmiina keskijännitejohdolle. Hyöty jää vähäisemmäksi kuin uudisrakennuskohteessa. /10/

Ympäristöystävällinen rakentaminen

Joskus ympäristö voi estää keskijänniteverkon rakentamisen, jolloin kilovoltin järjestelmällä pystytään rakentamaan ehkä parhaiten kyseinen kohde. Kilovoltin järjestelmä on rakenteeltaan kevyempi eikä tarvitse leveitä johtokatuja. Se voidaan rakentaa helposti esimerkiksi tien viereen. Se on paljon huomaamattomampi kuin keskijännitelinjat, ja sijoitusluvut on helpohkosti saatavissa.

Keskijännitekaapeli voidaan tietenkin kaivaa, jolloin se on huomaamaton, mutta maakaapeleihin verrattuna kilovoltin järjestelmä ilmajohtona tulee usein halvemmaksi. Täytyy myös huomioida, että kaivinkone vaatii paljon tilaa ja voi estää maakaapeloinnin.

4 TEKNISTALOUELLINEN TARKASTELU

4.1 Jakeluyhtiön kustannustarkastelu

Verkon taloudellisuutta tutkittaessa on tarkastelu helpompaa, jos jakaa kustannukset eri ryhmiin. Kilovoltin verkon kustannuslaskenta on vaikeaa, koska se koostuu monista eri osista ja jotkin osat ovat sellaisia, joita on vaikea hinnoitella. Yksi tapa jakaa kustannustarkastelu ryhmiin, on alla olevan luettelon mukainen.

En ole työssäni käsitellyt kyseisiä asioita tarkasti, koska lopputyön teettävä yritys rakentaa verkkoa eikä niinkään omista sitä. Kuitenkin on hyvä kertoa, mihin kaikkeen kilovoltin järjestelmä vaikuttaa taloudellisesti tarkasteltuna. /10/

1. Investointikustannukset
2. Taloudellisuuden tarkastelu
3. Keskeytyksistä aiheutuvien haittojen tai kustannusten arvostus (KAH)
4. Käyttö- ja huoltokustannukset
5. Häviökustannukset
6. Ympäristöystävällisen rakentamisen arvostus

Investointikustannukset

Investointikustannuksia tarkasteltaessa verrataan eri verkon rakennustapojen ja materiaalien kustannuksia. Kilovoltin järjestelmän rakentaminen lisää kalliiden muuntajien määrää. Tosin säästöä tulee, kun kalliimpaa keskijänniteverkkoa tarvitsee rakentaa vähemmän. Verkostokomponenttien kustannukset saa osin verkostosuosituksista (KA2:2003; SA5:94; SA2:92), joiden mukaan mitoitusta kannattaa tehdä. Kilovoltin verkkoa suojaava yksikkö maksaa noin 800 €. Liiteosiossa 2 on esitetty Suur-Savon Sähkön tekemässä selvityksessä käytetyt yksikköhinnat, jotka antavat kustannusmitoitukselle suunnan.

Taloudellisuuden tarkastelu

Taloudellisuuden tarkastelussa tutkitaan verkon pitoaikaa eli sitä miten kauan rakennettavaa verkkoa käytetään ja lisäksi tarkastellaan sitoutuneen pääoman tuottoa.

Keskeytyksistä aiheutuvien haittojen tai kustannusten (KAH) arvostus

Kustannuksella tarkoitetaan sähköyhtiön asiakkaalle koituvaa kustannusta, joka asiakkaalle tulee sähkökatkosta. Kustannukselle on vaikea määrittellä tarkkaa hintaa. Kilovoltin järjestelmän estäessä sähkökatkos 20 kV:n verkossa olevalle asiakkaalle, joka on esimerkiksi suuri tehdas, voi keskeytyksestä koitua paljon vaivaa ja kustannuksia tehtaalle.

Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttö- ja huoltokustannuksilla tarkoitetaan ylläpitokustannuksia. Verkon käyttövarmuuden ja ylläpidon panostamiseen tulee löytää sopiva tasapaino. Liiallinen käyttövarmuuteen panostaminen lisää vain turhia kustannuksia. Kilovoltin järjestelmä on pienjänniteverkkoa ja usein pienjänniteverkon ylläpito on keskijänniteverkkoa halvempi. Vikatilanteesta koituvat paikannus- ja korjauskustannukset kuuluvat näihin kustannuksiin. Kilovoltin järjestelmässä vikoja esiintyy vähemmän.

Häviökustannukset

Häviökustannuksilla tarkoitetaan verkkoyhtiölle koituvia tehohäviöstä koituvia kustannuksia. Tehohäviö riippuu verkon rakenteesta. Muuntajissa on aina jonkin verran tehohäviöitä ja siksi tehohäviöt ovat suuremmat kilovoltin järjestelmässä. Kustannukset riippuvat myös verkkoyhtiön ostaman häviötehon hinnasta.

Ympäristöystävällinen rakentaminen

Ympäristöystävällistä rakentamista on vaikea hinnoitella. Se on aina tapauksittaista ja eri ihmiset arvostavat asiaa eri tavoin.

4.2 Verkkoa rakentavan yrityksen kustannustarkastelu

Toiselle osapuolelle verkkoa rakentavan yrityksen kustannustarkastelu on muusta poikkeava. Lisäkustannuksia tai säästöä ei niinkään tule. Mahdollisia kustannuksia tulee työntekijöiden koulutuksesta, kun heidät koulutetaan kilovoltin verkon osajiksi. Varaston koko ei kasva merkittävästi, joten sitä kautta ei kustannuksia synny merkittävästi. Materiaaleihin sitoutuva pääoma ei kasva.

1000 V:n verkkoa rakentava yritys hyötyy ehkä aluksi erikoisosaamisestaan, koska erikoisosaamisessa maksetaan enemmän kuin muusta. 1000 voltin verkon rakentajien määrän lisääntyessä työn kannattavuus alenee.

1000 voltin verkko vähentää vikatilanteita, ja siten se voi vähentää yrityksen vikatoiden määrää, mutta se vaikutus on melko vähäinen. Tosin töiden määrä lisääntyy sellaisissa paikoissa, joihin ennen oli kannattamatonta tai mahdotonta rakentaa.

Verkkoa suunnittelevan henkilön kannattaa tarkastella perusmitoituksen avulla, kannattaako verkkoa rakentaa eli verrata pien- ja keskijänniteverkon kustannuseroa ja tarkistella jännitteenalenemaa.

4.3 Verkon mitoittaminen

Kilovoltin verkon kannattavuus määräytyy jännitteenaleneman mukaan sekä keski- ja pienjänniteverkon kustannusvertailulla. Jännitteenalenema määrää

teknisen ylärajan, ja pien- ja keskijänniteverkon kustannusero määrää taloudellisen rajan. Mitoittamisessa tulee myös tarkastaa oikosulkuvirran riittävyys.

4.2.1 Pien- ja keskijänniteverkon kustannusero

Pien- ja keskijänniteverkon kustannusero määritellään laskemalla pienjänniteverkon ja keskijänniteverkon kustannukset sekä vertailemalla niitä keskenään.

Tarkastelu voidaan tehdä tarkastelemalla 20 kV:n johdon kilometrikustannuksia 1 kV:n johdon kilometrikustannuksiin. Lisäksi muuntajien kustannukset tulee lisätä laskelmiin. Laskelmissa tulee ottaa huomioon elinkaarikustannukset, joita ovat ylläpito-, huolto- ja häviökustannukset

4.2.2 Jännitteenalenema

Verkon tekninen mitoitus määräytyy jännitteenaleneman perusteella. Jännitteenalenemaan vaikuttavat pääosin siirtomatka, siirrettävä teho ja verkon rakenne. Verkon vaiheita tulisi kuormittaa tasaisesti, koska muutoin verkon epäsymmetria voi aiheuttaa johonkin vaiheeseen liian alhaisen jännitteen.

Jännitetason pitää pysyä standardien mukaisissa arvoissa. Jakelujännitteen ominaisuudet on määritelty standardissa SFS 50 160 Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa, pois luettuna vikatapaukset ja keskeytykset, pienjännitejakeluverkossa jokaisen viikon aikana 95 %:n jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista tulee olla välillä $U_n \pm 10 \%$. /5/

Jännitteenaleneman laskenta

Jännitteenalenema lasketaan asiakkaan liittymälle asti, ja sen tulee olla standardien mukaisissa rajoissa. Jännitteenalenema lasketaan verkossa syntyvien jännitehäviöitten kautta. Jännitteenalenema määritellään vertailemalla alkupään

jännitettä loppupään jännitteeseen. On määriteltävä kaapelissa ja muuntajissa syntyneet jännitehäviöt. Muuntajissa ja johtimissa syntyvät jännitehäviöt lasketaan impedanssien ja niiden läpi kulkevien virtojen kautta.

Kokonaisimpedanssi

Kokonaisimpedanssi muodostuu 0,4 ja 1 kilovoltin johtimien impedansseista sekä 20/1 ja 1/0,4 kilovoltin muuntajien impedansseista. Impedanssit lasketaan kulmamuodossa. Liiteosiossa 2 on annettu teknisiä parametrioita, joita voi käyttää laskettaessa kokonaisimpedanssia.

Kokonaisimpedanssia laskettaessa ylemmän jännitetason impedanssit täytyy redusoida alempaan jännitetasoon. Redusoidessa muuntajan ja johtimen impedansseja toiselle jännitetasolle pitää impedanssi kertoa muuntosuhteella, joka on toisessa potenssissa (kaava 1). Alla on esimerkki 20/1 kV:n muuntajan impedanssin redusoinnista 0,4 kilovoltin jännitetasoon.

$$Z' = \mu^2 * Z = \left(\frac{400}{1000} \right)^2 * 0,37 \Omega \angle 55^\circ = 0,0592 \Omega \angle 55^\circ \quad (1)$$

Muuntajan impedanssi:

Muuntajan impedanssi lasketaan kaavoilla 2, 3, 4 ja 5. Esimerkkilasku on muuntosuhteeltaan 20/1 kV:n ja teholtaan 100 kVA:n muuntaja. Muuntajan $r_k = 2,1 \%$ ja $x_k = 3 \%$ /1/

$$Z_N = \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{1000 \text{ V}^2}{100000 \text{ VA}} = 10 \Omega \quad (2)$$

Muuntajan sisäinen resistanssi:

$$R_k = r_k * Z_N = 0,021 * 10 \Omega = 0,21 \Omega \quad (3)$$

Muuntajan sisäinen reaktanssi:

$$X_k = x_k * Z_N = 0,03 * 10 \Omega = 0,3 \Omega \quad (4)$$

Muuntajan kokonaisimpedanssi:

$$Z_k = R_k + jX_k = 0,37 \Omega \angle 55^\circ \quad (5)$$

Taulukko 1 Jakelumuuntajien tekniset arvot /10/

Muuntaja	$r_k(\%)$	$X_k(\%)$	P_0 (W)	P_k (W)
1/0,4				
10 kVA	3,5	2,8	60	350
16 kVA	3	2,9	88	480
25 kVA	2,5	2,7	125	625
50 kVA	2,2	3,3	200	1100
100 kVA	2,1	3	342	2063
200 kVA	2,1	2,7	575	4190

Johtimen impedanssi:

Johtimien impedanssit on ilmoitettu alla olevissa taulukoissa 2 ja 3. /10/

Taulukko 2 Ilmajohtojen tekniset arvot /10/

Johdin	r (Ω/km)	x (Ω/km)
AMKA 35	0,938	0,104
AMKA 70	0,479	0,097
AMKA 120	0,273	0,092

Taulukko 3 Maakaapeleiden tekniset arvot /10/

Johdin	r (Ω/km)	x (Ω/km)
AXMK 4x25	1,3	0,088
AXMK 4x35	0,939	0,088
AXMK 4x70	0,48	0,085
AXMK 4x120	0,277	0,082
AXMK 4x185	0,182	0,082
AXMK 4x240	0,135	0,079

Muuntajien ja johtimien jännitehäviö

Liittymän jännite saadaan kaavalla 1. Jännitettä tarkastellaan yksivaiheisesti.
Kaavan 6 vaihevirta saadaan laskettua mitoittavasta tehosta kaavan 7 avulla.

$$U_2 = U_1 - Z_{\text{kok}} * I \quad (6)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} \quad (7)$$

jossa: U_1 = alkupään jännite
 U_2 = loppupään jännite
 Z_{kok} = yhden vaiheen kokonaisimpedanssi
 I = vaiheen virta
 P = mitoittava teho

Liittymän jännitteen tulisi pysyä standardin mukaisissa arvoissa eli U_2 :n arvon tulee olla pienjännitejakeluverkossa jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista välillä $U_n \pm 10$ % ./5/

Siirtoteho siirtomatkan funktiona

Suur-Savon Sähkön tekemän selvityksen mukaan kaavojen 8 ja 9 mukaan voidaan piirtää kuvien 3, 4 ja 5 mukaiset kuvaajat. Kuvaajissa on esitetty taloudellinen

alaraja ja tekninen yläraja. Kuvaajiin on merkitty 1000 V:n investointi- ja sulkuihin kokonaiskustannuksissa saavutettu keskimääräinen prosentuaalinen säästö verrattuna keskijänniteavojohton vastaaviin kustannuksiin eri siirtotehoilla ja -matkoilla. Kuvaajat antavat hyvän suunnan verkon mitoittamiselle. /10/

$$Alaraja = \frac{K_{\text{muuntaja } 1/0,4 \text{ kV}}}{K_{\text{johto } 20 \text{ kV}} - K_{\text{johto } 0,1 \text{ kV}}} \quad (8)$$

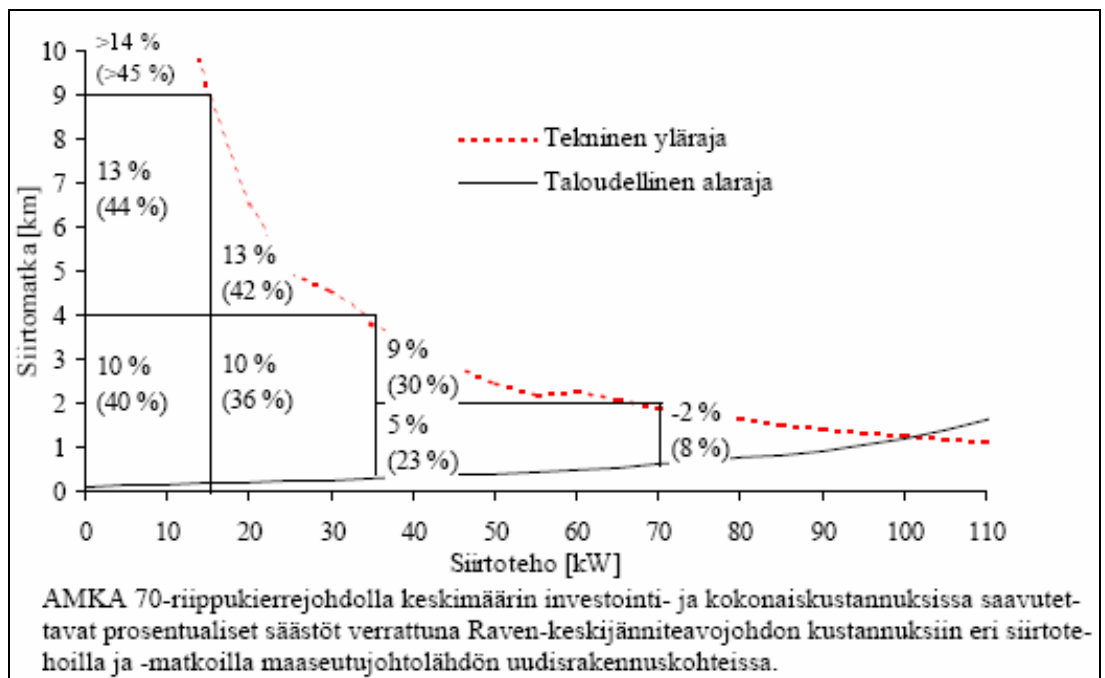
jossa:

$K_{\text{muuntaja } 1/0,4 \text{ kV}}$	= muuntajan kokonaiskustannukset (€)
$K_{\text{johto } 20 \text{ kV}}$	= johdon kilometrikustannukset (€/km)
$K_{\text{johto } 0,1 \text{ kV}}$	= johdon kilometrikustannukset (€/km)

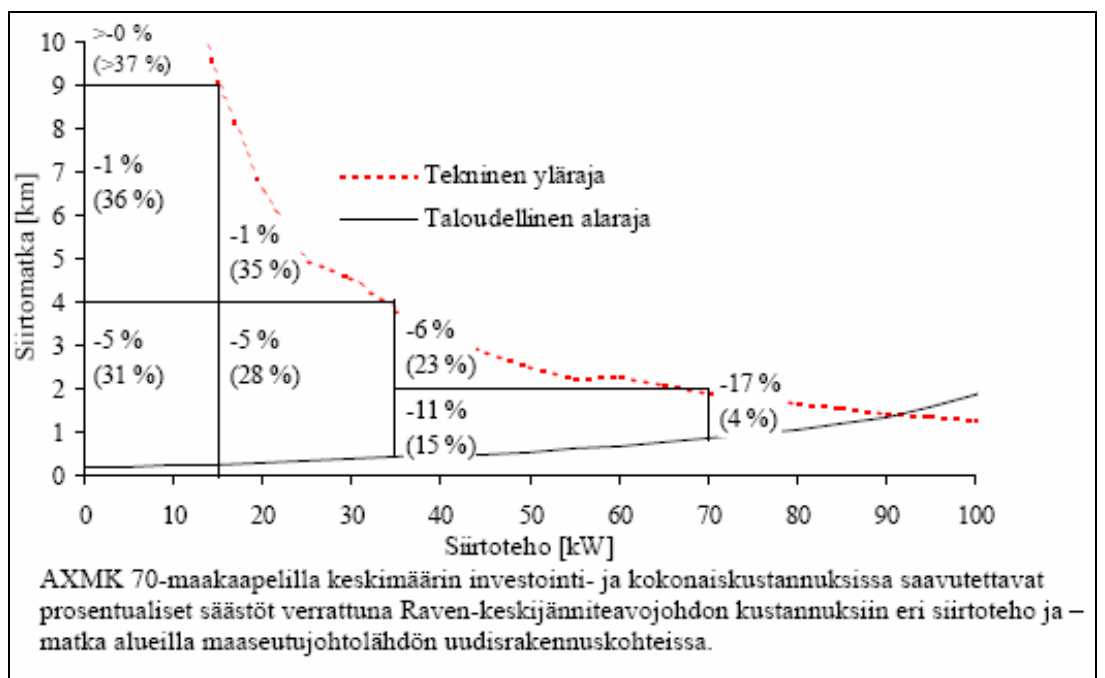
$$Yläraja = -\frac{1}{40} * U_1 * U_2 * \frac{-U_{h\%} * S_N + P * x_K * \tan \varphi}{P * S_N * (r_j + x_j * \tan \varphi)} \quad (9)$$

jossa:

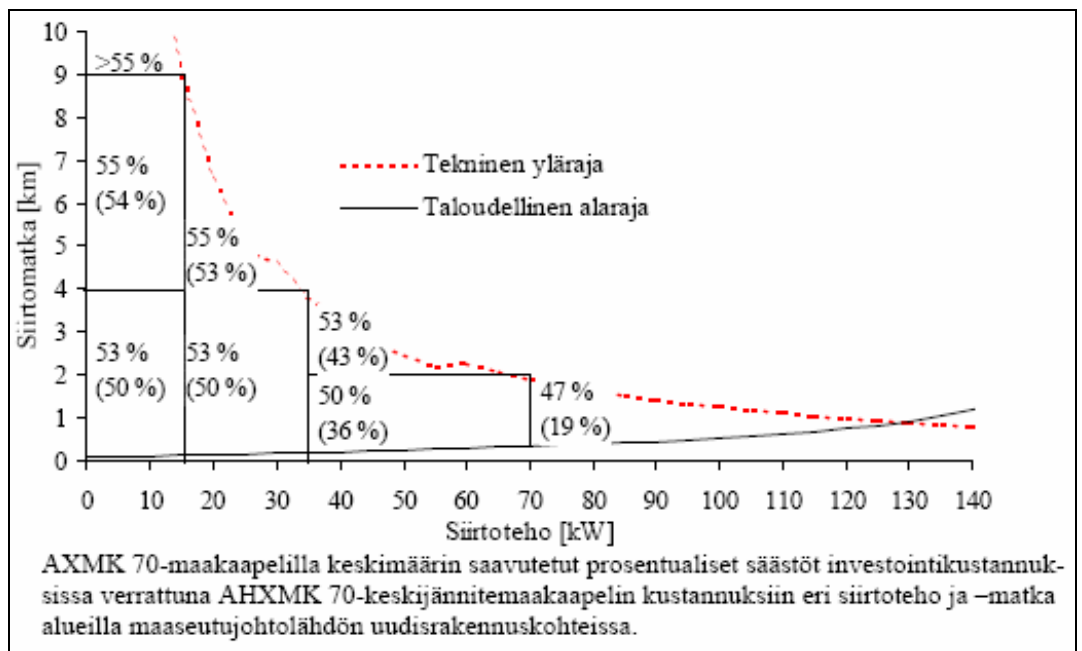
U_1	= muuntajan ensiöjännite (1 kV)
U_2	= muuntajan toisiojännite (0,4 kV)
$U_{h\%}$	= suhteellinen jännitteenalenema toisiossa (%)
S_N	= muuntajan nimellisteho (kVA)
P	= mitoitusteho (kW)
r_K	= muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi (%)
x_K	= muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi (%)
r_j	= johtimen resistanssi (Ω /km)
x_j	= johtimen reaktanssi (Ω /km)
φ	= tehokulma



Kuva 3 AMKA 70 riippukierrekaapelin mitoituskuvaaja verrattuna Raven-keskijänniteajohtoon nähden /10/



Kuva 4 AXMK 70 maakaapelin mitoituskuvaaja verrattuna Raven-keskijänniteajohtoon nähden /10/



Kuva 5 AXMK 70 maakaapelin mitoituskuvaaja verrattuna AHXMK-keskijännitemaakaapeliin nähden /10/

5 TYÖTURVALLISUUS

Sähkötöitä tekevän turvallisuus voidaan jakaa kahteen osaan, sähköturvallisuuteen ja yleiseen työturvallisuuteen. Yleiset vaatimukset työturvallisuudesta ja henkilöiden vastuista on annettu seuraavissa säädöksissä:

- Työturvallisuuslaki (299/1958)
- Työsopimuslaki (320/1974)
- Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta (629/1994)
- Sähköturvallisuuslaki (410/1996)
- Sähköturvallisuusasetus (498/1996)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä (516/1996)

Olen työssäni käsitellyt oleellisina pitämäni asiat enkä ole lähtenyt käsittelemään jokaista säädöstä. Käsittelem sähkötyöturvallisuutta standardin SFS 6002 Sähkötyöturvallisuuden mukaan. /2/

5.1 Sähkötyöturvallisuus

Sähkötyöturvallisuusmääräykset eivät eroa 400 V:n ja 1000 V:n verkkojen välillä, koska molemmat ovat pienjänniteverkkoja. Sähköalan töiden tekeminen edellyttää alan ammattitaitovaatimusten lisäksi sitä, että työntekijällä on ajan tasalla olevat tiedot sähkötyöturvallisuudesta. Tämä edellyttää säännöllistä kouluttautumista. Sähkötyöturvallisuuskoulutus tulee uusia enintään 5 vuoden välein. Koulutus tulee uusia myös silloin, kun vaatimuksissa tapahtuu oleellisia muutoksia. Sähkötöiden tekemiseen vaadittavat turvallisuusvaatimukset on esitetty KTM-asetuksessa 1194/1999. Käytännössä nämä vaatimukset voidaan toteuttaa helpoiten noudattamalla voimassa olevaa standardia SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus. Koulutusvaatimus ei koske pelkästään konkreettisen työn tekijöitä, vaan myös esimiesten ja asiantuntijoiden pitää tuntea turvallisuusperiaatteet. Jokaiseen työkohteeseen on nimettävä itsenäiseen työhön kykenevän sähköalan ammattihenkilön vaatimukset täyttävä henkilö. Tämä sähköturvallisuustoimien valvoja valvoo työnaikaista sähköturvallisuutta.

Sähkötyöturvallisuus muodostuu oikeista työskentelykäytännöistä, työvälineistä, suojarusteista ja ennen kaikkea oikeista asenteista. Sähkötyöturvallisuuden varmistaminen edellyttää selkeää vastuiden tunnistamista ja näistä vastuista huolehtimista.

Ihmisen saadessa sähköiskun kilovoltin järjestelmästä on virta suurempi kuin 0,4 kV:n järjestelmässä ja siksi sähköturvallisuuteen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Alla on havainnollistamisen vuoksi verrattu 1000 ja 400 voltin jännitteiden muodostamia virtoja, jotka kulkevat ihmisessä.

Ihmisen vastus kädestä toiseen käteen = 1700 Ω

Maadoitusverkko = 4 Ω

Henkilön läpi kulkeva virta 400 voltin verkossa

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230 \text{ V}}{1704 \text{ Ω}} = 135 \text{ mA} \quad (10)$$

Henkilön läpi kulkeva virta 1000 voltin verkossa

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{1000/\sqrt{3} \text{ V}}{1704 \Omega} = 339 \text{ mA} \quad (11)$$

Molemmat virrat ovat hengenvaarallisia. Kilovoltin aiheuttama virta on yli puolet suurempi kuin 400 voltin verkosta saatu. Sydänkammiovärinän voi saada siis helposti sähkötapaturman sattuessa. /7/

5.2 Työkalut, varusteet ja laitteet

Työkalujen, varusteiden ja laitteiden on täytettävä standardien mukaiset vaatimukset. Turvallisuuden takaamiseksi on hyvä tarkistaa käytössä olevien työkalujen, varusteiden ja laitteiden oikeellisuus ja todeta, että sähkötöiden tekijät käyttävät niitä oikein. Alla on lueteltu suojatarvikkeet, joiden tulisi olla kunnossa, kun rakennetaan kilovoltin ja 400 voltin verkkoa. /2/

- Eristävät saappaat, käsineet ja suojakengät
- Silmien tai kasvojen suojaimet
- Päänsuojaimet
- Sopivat suojavaatteet
- Eristävät matot, työtasot ja telineet
- Eristävät joustavat ja jäykät suojukset
- Eristetyt ja eristävät työkalut
- Lukot, varoitus- ja huomautuskilvet
- Jännitteen koettimet ja ilmaisimet
- Työmaadoitusvälineet
- Suojukset, liput, tuet

Työkaluja, varusteita ja laitteita pitää käyttää valmistajan tai toimittajan antamien ohjeiden tai opasteiden mukaan. Niitä on myös pidettävä käyttökunnossa ja

käsiteltävä oikein. Osa tarvikkeista saattaa usein unohtua ja työnjohdon on aina välillä hyvä muistuttaa suojarusteiden käytöstä. Vaikeinta tuntuu asentajille olevan kypärän käyttö, koska sen tunnetaan olevan hankala pitää päässä. Kypärän käyttö on tärkeää, koska työskentelytilanteessa toinen työntekijä on varsin usein toisen yläpuolella. Tavarat ja työkalut putoavat helposti eikä esineen tarvitse olla kovinkaan painava, kun jo syntyy vahinkoa. /2/

5.3 Turvalliset työskentelykäytännöt

Työn suoritus on suunniteltava ennen kuin työ aloitetaan, näin vältetään entistä paremmin vaaratilanteita. Työn laatu ja luonne on hyvä selvittää ennen työhön ryhtymistä. Työskentely jaetaan kolmeen erilaiseen käytäntöön: työskentely jännitteettömänä, jännitetyö ja työ jännitteisten osien läheisyydessä. Alla on käsitelty tehtävät työt ja niiden järjestys, jolloin estetään tapaturmat. /2/

a) Työskentely jännitteettömänä

Jännitteettömänä työskenneltäessä on syytä varmistaa, että työkohde on ja pysyy jännitteettömänä. Seuraavat toimenpiteet on tehtävä kyseisessä järjestyksessä. /2/

1. Täydellinen erottaminen
2. Jännitteen kytkemisen estäminen
3. Johdon ja laitteiden jännitteettömyyden toteaminen
4. Työmaadoittaminen (muuntajat)
5. Suojaus lähellä olevia jännitteisiä osia vastaan

b) Jännitetyöt

Jännitteisessä laitteistossa tehtävät työt jakautuvat lähitöihin ja jännitetöihin.

Jännitetyöalueen ja lähialueen etäisyydet ovat kilovoltin verkossa samat kuin 0,4 kV:n verkossa. Nimellisjännitteen ollessa alle 1 kV:n on jännitetyöalueen etäisyys D_{1m} 0,2 metriä ja lähialueen etäisyys D_{Vm} 0,7 metriä.

Jännitetöitä tehdään työryhmässä, johon kuuluu kaksi ammattihenkilöä, ja heidän on molempien pitänyt suorittaa jännitetyökoulutus. lisäksi he ovat saaneet vaadittavan koulutuksen kyseiseen jakokaappiin tai eristyksen läpäiseviin liittimiin. Molemmilla tulee olla jännitetyössä vaadittavat suojarusteet. Kilovoltin verkossa työmenetelmänä ovat usein kumikäsineiden avulla liitettävät eristeen läpäisevät liittimet tai jakokaapissa tehtävät jännitetyöt. Henkilöiden tulee noudattaa jännitetyökoulutuksessa saamiaan oppeja turvallisuuden takaamiseksi. Molempien tulee olla tarkkaavaisia, koska tekijältä saattaa helposti jäädä jokin asia huomaamatta. Kytkentätoissa helposti unohtuva asia on kuorman pois kytkeminen. /2/

c) Työskentely jännitteisten osien läheisyydessä

Työskenneltäessä jännitteisten osien läheisyydessä tulee varmistua turvallisuustoimenpitein siitä, että jännitteisiin osiin ei voida koskea eikä joutua jännitetyöalueelle. Alle 1000 V:n rakentaminen 700 mm:iin asti on työskentelyä jännitteisten osien läheisyydessä. Jännitteisistä osista johtuvan vaaran torjumiseksi, osat voidaan suojata suojuksilla, esteillä, koteloilla tai eristävillä päällyksillä. Ennen työn aloittamista on syytä tiedostaa läheisyydessä olevat jännitteiset osat. Erityisesti kilovoltin verkkoa rakennettaessa ilmajohtoilla pitää ottaa huomioon johtimien kaikki mahdolliset liikkeet, heilahtelut, kiertymiset ja putoamiset. /2/

6 TARVIKKEET JA NIIDEN SAANTI

Kilovoltin verkon verkostotarvikkeina käytetään samoja kuin 400 V:n jänniteportaassa. Uusia tarvikkeita ovat muuntajat, suojausyksikkö ja 1000 V:n merkitsemiseen käytettävät kilvet ja merkit.

6.1 Johtimet ja johtimien soveltuvuus

Pienjännitekaapeleiden soveltuvuutta kilovoltin järjestelmään on testattu Tampereen teknillisessä yliopistossa Kari Lahden ja Aki Kärnän toimesta. Tutkimuksen tuloksena oli, että pienjännitekaapelit toimivat 1000 V:n järjestelmässä. /10/

Tutkimuksen tuloksena oli myös kentänvoimakkuuslaskelmien perusteella, että osittaispurkausten ja vesipuiden syntymisille ei pitäisi olla edellytyksiä uusien ja ehjien kaapeleiden osalta. Osittaispurkausmittausten perusteella osittaispurkauksia ei pitäisi ilmetä AMKA-kaapeleilla. /10/

Jännitelujuustestien mukaan kaapelit kestävät hetkellisesti suuriakin jännitteitä ja käytettyjen kaapeleiden jännitelujuus ei ollut heikentynyt merkittävästi eli AMKA-riippukierrekaapeleita ja AXMK-maakaapeleita voidaan käyttää 1000 V:n järjestelmässä. AMCMK-vesistökaapeli soveltuu myös kilovoltin jännitteelle. /10/

6.2 Muuntajat

Muuntajia kilovoltin järjestelmään löytyy hyvin. Muuntajan jännitetasot on rakennettaessa syytä merkitä hyvin, jotta niitä ei sekoiteta tavallisiin 20500/400 voltin muuntajiin.

Jakelumuuntajia valmistaa ABB. Heiltä löytyy myös puistomuuntamot. Muuntajia saa alla olevan luettelon mukaisilla tehoilla. Taulukossa 4 ovat ABB:n muuntajien tekniset tiedot.

<u>Jännitetasot</u>	<u>Näennäisteho</u>
20500/1000 V	100 kVA
20500/1000/400 V	150 kVA (kolmikäämirakenne)
1000/400 V	50, 30 kVA



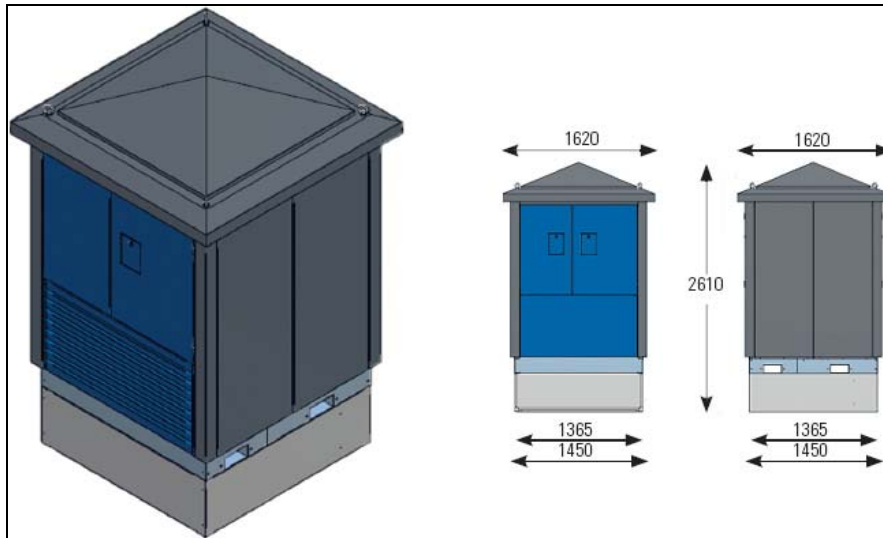
Kuva 6 Kilovoltin verkossa käytettävät muuntajat /10/

Taulukko 4 ABB:n muuntajien tekniset tiedot /13/

Teho kVA	Lajimerkki	Un V/V	Kytkentä-ryhmä	Po W	Pk W	Zk %	Kokonais-paino kg	Öljyä kg	Pituus mm	Leveys mm	Korkeus mm	Snro
30	CT030/1-vok	1000+2x2,5%/400	Yzn11	100	750	4.0	300	85	740	695	880	57 611 63
50	CT050/1-vok	1000+2x2,5%/400	Dyn11	170	1000	4.0	340	90	810	700	880	57 611 65
100	CT0100/20.5(1)-vok	20500+2x2,5%/1000	Dyn11	250	1550	4.0	550	125	880	775	1055	57 611 70
150	CT0100/20.5/1-0.4	20500+2x2,5%/1000-410	Dyn11yn11	250	1850 ja 660	5.0 ja 3.5	800	200	1080	750	1200	57 611 75

Koppimuuntamot 20 / 1 / 0,4 kV

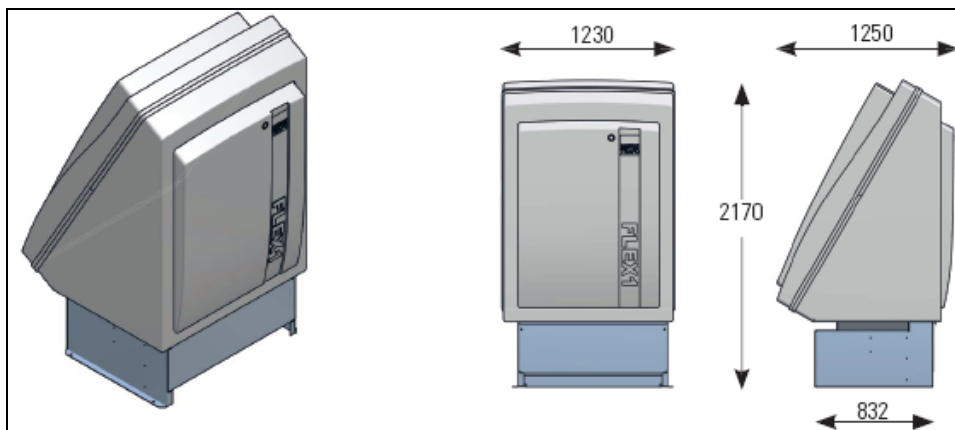
Maakaapeliverkkoihin on saatavissa kuvan 7 mukainen SLO:n puistomuuntamo, johon voidaan sijoittaa 150 kVA:n 20/1/0,4 kV:n kolmikäämimuuntaja. Muuntamossa on pienjännitepuolella omat erilliset osastonsa 1000 V:n ja 400 V:n lähdöille. 1000 V:n suojaukseen käytetään samaa katkaisijakoteloä kuin pylvasasennuksissakin (Snro 54 117 10), jolloin kaapeleiden kytkentä tapahtuu samoin kummassakin tapauksessa. 20 kV:n kaapelilla käytetään pistokepäätteitä, jotka lisäävät käyttövarmuutta ja työturvallisuutta. 400 V:n pj-keskuksen puolella on jonovarokelähdöt. /13/



Kuva 7 Slo:n koppimuuntamot 20 / 1 / 0,4 kV

Koppimuuntamot 1 / 0,4 kV

SLO myy myös 1/0,4 kV:n koppimuuntajia, johon on asennettu 1/0.4 kV:n muuntaja valmiiksi tehtaalla. Muuntajan pystyy tarvittaessa vaihtamaan. Muuntamo voidaan asentaa joko pylväsasennuksena tai perustusten päälle maahan. 400 voltin johtolähdöt ovat kannen alla. /13/

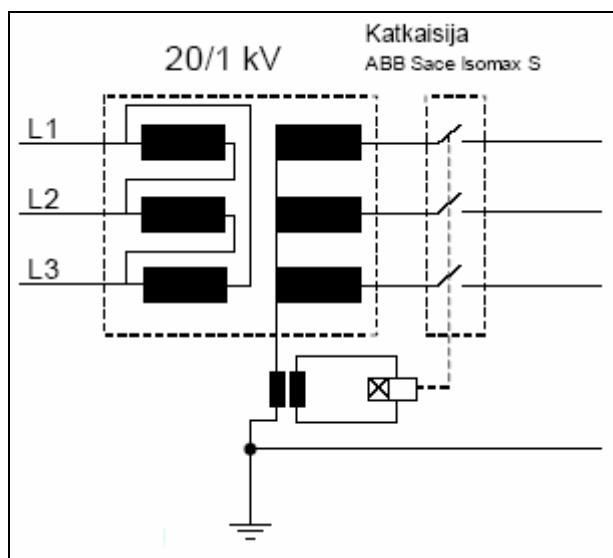


Kuva 8 Slo:n koppimuuntamot 1 / 0,4 kV

6.3 Suojausyksiköt

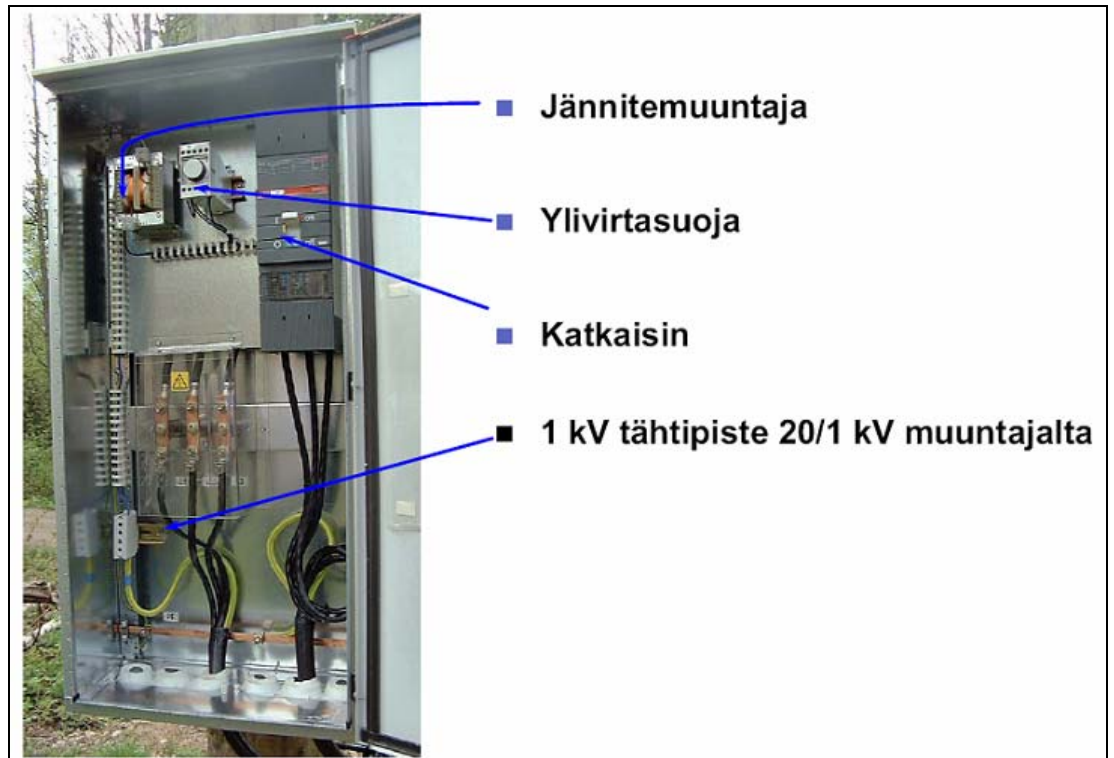
6.3.1 Katkaisija

1000 V:n järjestelmä tulee suojata omalla suojausyksiköllä eli katkaisijalla. Suojausyksikkö suojaa verkon ylikuormitukselta, oikosululta ja maasululta. Kuvassa 9 on piirikaavio, jossa näkyy katkaisijan peruseriaate ja kytkentä. Se kytketään 20/1 kV:n muuntajan 1000 V:n lähtöihin. Suojausyksikkönä käytetään Suomessa pääosin ABB Sace Tmax katkaisijaa. Elkamo valmistaa myös katkaisijayksiköitä. /13/



Kuva 9 Piirikaavio katkaisijan toiminnasta ja kytkennästä /10/

Katkaisija koostuu jännitemuuntajasta, ylivirtasuojasta ja katkaisijasta. Komponentit ovat esillä kuvassa 10. 20/1 kV:n muuntajan alajännitepuolta ei kytketä maahan, vaan tähtipistejännite mitataan maata vasten. Katkaisija toimii maasulkutilanteessa tähtipistejännitteestä.



Kuva 10 Suojausyksikkö ja sen peruskomponentit /10/

Suojausyksikön katkaisuparametrit tulee asetella oikein ja ennen käyttöönottoa. Suojaus yksiköllä on kaksi eri porrasta, kun katkaisu tehdään oikosulusta. Toinen toimii välittömästi ja toinen saadaan säädettyä toimimaan hidastetusti. Katkaisijan hidastusta ei saa säätää yli 5 s:n, kun katkaisija toimii 100 – 800 A:n virroilla. /10/

Ylivirtasuojaus

Vika	Virta	Katkaisuaika
Ylikuormitus	60 A	18 s (kohteesta riippuvainen)
Oikosulku (hidastettu)	100 A	maksimi 5 s
Oikosulku (välitön)	800 A	heti (pikalaukaisu)

Maasulkusuojaus

Maasulkusuojaus on jännitemittaukseen perustuva ja tapahtuu katkaisureleen avulla. Releelle on mahdollista tehdä 1-5 sekunnin hidastus. Jännitemuuntajana käytetään 100 VA:n muuntajaa, jonka muuntosuhde on 575/230 V. /10/

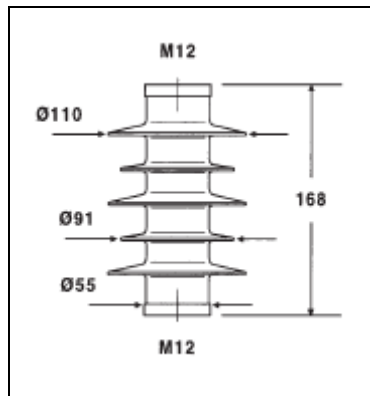
6.3.2 Ylijännitesuojat

Ylijännitesuojaus kilovoltin verkossa on hieman hankala asia. 1000 voltia on pienjännitteen yläraja ja kaikki kilovoltin verkon suojat ovat mitoitettu esimerkiksi 1,3 kV:lle, jolloin ne ovat jo keskijännitesuojia. Tämä tekee suojan rakenteesta vähän raskaamman.

1000 voltin laitteiden ylijännitesuojaukseen voidaan käyttää kuvan 11 Raychemin HDA-1N ylijännitesuojaa., jolloin jäännösjännitteet ovat melko pieniä.

Ylijännitesuojan jäännösjännite on normaaliolosuhteissa maksimissaan 4,4 kV:a, joka on noin puolet katkaisijan kestävästä impulssijännitteestä, eikä täten aiheuta vaaraa katkaisijalle.

Suojia käytetään eri yhtiöissä eri paikoissa. Joissakin yhtiöissä niitä käytetään 1/0,4 kV:n muuntajan yläjännitepuolella suojaamassa muuntajaa ja taas toisaalla heti 1 kV:n katkaisijan perässä suojaamassa verkon herkintä komponenttia eli katkaisijaa takaa päin tulevilta ylijännitteiltä. Käytännössä suojaamaan katkaisijaa heti 1 kV:n linjan alkuun iskeviltä salamilta. Suur-Savon Sähkössä on ollut pari katkaisijaa, jotka ovat hajonneet kyseisellä tavalla, tosin niissä saattoi olla myös asennuksessa tehtyjä virheitä maadoitusten suhteen. /13/



Kuva 11 Raychemin HDA-1N ylijännitesuoja

6.4 Ilmajohdotarvikkeet

Kilovoltin järjestelmässä käytetään samoja ilmajohdotarvikkeita kuin 0,4 kilovoltin verkossa. Kaikki tarvikkeet on leimattu ja testattu kilovoltin jännitteelle. Alla on lueteltu käytettävät tarvikkeet, joita kilovoltin verkon rakentamisessa tarvitaan. Valmistajia on monia ja mahdollisia tarvikke vaihtoehtoja monia. Olen käsitellyt vain oleellisimmat tarvikkeet. /11,12/

Liittimet ja jatkot

- Eristyksen läpäisevät liittimet (jännitetöihin)
- Kosketusliittimet (johtimet samaa materiaalia)
- Kuparimaadoitusliittimet (puristettavat C-liittimet)
- Siirtymäliittimet (johtimet eri materiaalia)
- Suojakotelot liittimiin (liittimet pitää kosketussuojata)
- Automaattiset kartiojatkot (kannatin johdin 70–95 mm²)
- Jatkoholkki (AMKA:n vaihejohtimien jatkamiseen)

Harukset

- Haruslaatat (HL 43 ja HL 60)
- Harustanko (harusköyden ja haruslaatan väliin)
- Kalliosilmu (harus kallioon tai kiveen)
- Harusköysi (25 mm²)
- Haruskierukka (harusköyden liittämiseen)
- Harusmerkkisarja (harusvaijerin merkitsemiseen)

- Haruseristin (Harustangon galvaaninen eristäminen)

Suojat

- Suojakourut (johtimen mentäessä pylväästä maahan)
- Oravasuojat (muuntajan alajännite napojen suojaksi)
- Pylväshatut (pylvään lahoamisen estoon, koot 160, 180 ja 220 mm)
- Lintusuojat (muuntajan navoissa)
- Suojatulppa (johdon päässä kosteussuojana)

Kaapelin pitimet ja koukut

- Läpimenevät koukut (kulmissa käytettävät)
- Puukierrekoukut (suoralla käytettävät)
- Ripustuspitimet (yli 90 ° kulmiin, kaussi)
- Päätepitimet (kierukkapäätteet tai SO 141 pidin 25–95 mm²)
- AMKA naula (kaapelia kiinnitettäessä pylvääseen)

Pylväsvarokekuormanerotimet

- Pylväsvarokekytkimet (0,4 kV puolelle sulakkeet ja 1 kV puolelle oikosulkuveitset)
- Pylväskeytkinteline (mahdollistaa useampia pylväsvarokekytkimiä pylvääseen)
- Merkintäkilpien kiinnityskisko (Sulakkeelle ja lähdonnumerolle)

Pylväät

- Puunsitojalevyt (Useamman pylvään toisiinsa kiinnittämiseen)
- Pylväät (Paksuus luokat 1-5)

Merkit ja kilvet

- Yhteispylväsnauha (100 mm leveää nauhaa)
- 1 kV kyltti (joka pylväälle johtoon ja 1 kV puolelle pylväserottimelle sekä jakokaapeille)
- Sulakekoon merkintä kilpi (varokekytkimeen 400 voltin puolelle)
- Lähdon numero kilpi

Lähes kaikki 0,4 kV:n verkon rakentamisessa käytettävä materiaali käy 1 kV:n verkon rakentamiseen. 1 kV:n verkon mittaamiseen ei saa käyttää 0,4 kV:n verkon mittalaitteita.

6.5 Maakaapelitarvikkeet

- Kaapelijakokaapit
- Jonovarokeytkin
- Haaroituskaapit
- 1 kV:n jatkospakkaukset
- Haaroitussuojat ja päätetuppilot 1 kV kaapeleille

6.5 Työkalut

Kilovoltin verkossa käytetään samoja työkaluja kuin 400 voltin verkossa. Mittalaitteet ovat tosin erilaiset. Erikoistyökaluna on Kyoritsun valmistama KEW 3125 digitaalinen suurjännite-eristysvastusmittari, joka kestää kilovoltin jännitteen. Mittareita myy ainakin Onninen. /10/

Toinen käytettävä mittalaite on MultiSafe DSP 2. Se on kaksinapainen jännitteenkoetin. Testeriin on myös yhdistetty jatkuvuuden, vaiheen ja napaisuuden tunnistus sekä kiertosuunnan ja resistanssin mittaus. Testerillä on turvallista mitata AC ja DC jännitteet aina 1200 VAC/1500 VDC asti. Resistanssimittaukset onnistuvat 1999 k Ω saakka. /13/

7 RAKENTAMINEN

Rakentaminen kappaleessa käsittelen pienjänniteverkon rakentamisen perustoimenpiteitä. En käsittele niinkään sen suunnittelua, vaan toimenpiteet joita verkkoa rakentavat työryhmät tekevät. Käsittely koostuu Sähkötarkastuskeskuksen laatimista vahvavirtailmajohtomääräyksistä. /6/

7.1 Suunnittelu

Maastosuunnittelija mitoittaa verkon ja käy merkitsemässä sen maastoon. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon niin sähköinen kuin mekaaninen mitoitus. Sähköisessä mitoituksessa verkon tulee kestää tarvittavat virrat ja jännitteenaleneman tulee olla sallituissa puitteissa. Mekaanisessa mitoituksessa pitää tarkastella kaapeleiden etäisyyksiä, sekä tarkastaa voimat, jotka kohdistuvat kaapeliin. Harukset mitoitetaan niihin kohdistuvien voimien perusteella. Mitä kauempana harus on pylvästä, sitä vähemmän siihen kohdistuu voimia. Haruksen paikan määräävät viereisten pylväitten etäisyydet ja kulma, jonka johto tekee.

7.2 Pylväitten asennus

Rakentaminen alkaa pylväitten pystyttämällä. Maastosuunnittelija merkitsee pylväitten ja haruksien paikat maastoon. Pylvää ja harukset tulee asentaa oikeaan syvyyteen. Oikea kaivussyvyys saadaan alla olevan kaavan 7 mukaan tai katsomalla taulukosta 5.

$$\text{Pylväskuopan kaivussyvyys} = 1,4 \text{ m} + L/20 \quad (7)$$

jossa: L = pylväspituus

Taulukko 5 Pylväitten kaivussyvyys pituuteen nähden /4/

Pylväspituus L	Kaivussyvyys
7 - 8 m	1,8 m
9 - 10 m	1,9 m
11 - 12 m	2 m
13 - 14 m	2,1 m
15 - 16 m	2,3 m
>18 m	2,6 m

Pehmeään maahan pystytetyt pylvää saattavat vähitellen painua maahan alkuperäistä syvemmälle. Pylvään alla voidaan käyttää rakenteita, jotka jakavat kuormituksen suuremmalle pinta-alalle. /4/

7.3 Haruksien asentaminen

Harukset voidaan laittaa samalla, kun pylväitä pystytetään, jolloin vältetään turhalta kiipeilyltä. Kaikki harukset on syytä laittaa ennen kaapelin vetoa, jotta pylväitten vääntymisiltä vältetään. Tilapäisiä haruksia on käytettävä silloin, kun jostain syystä haruslimppua tai kalliosilmusta ei ole vielä laitettu.

Haruslaatta 43:n upotussyvyys on 1,5 m, jos harusköytenä on 25 Fe. Upotussyvyys on 2,2 m, jos harusköytenä on 2x25 Fe.

Harustanko on syytä erottaa sähköisesti verkosta, jotta tangon syöpymiseltä vältetään. Eriste laitetaan haruksen ja harustangon väliin. /4/

7.4 Koukuttaminen

Uutta linjaa rakennettaessa voidaan koukutkin laittaa ennen pylväitten pystytystä. Koukun paikat määrittävät johtimien mukaan. Pienjännitejohtimet eivät saa kulkea ristiin ja etäisyydet risteäviin ja rinnakkaisiin johtimiin tulee olla vähintään 300 mm:ä.

Yhteispylväsrakenteissa eli keskijännite ja pienjännite ovat samassa pylväässä, tulee johtimien etäisyyden olla 1,5 m:ä + jännitelisä. /6/

7.5 Raivaus

Kaapelin vedon kannalta on syytä raivata suurimmat oksat ja puut pois tieltä ennen vetoa. Kaapelin vedon jälkeen on vielä tarkistettava, ettei mikään oksa kosketa tai ole liian lähellä kaapelia.

7.6 AMKA-riippukierrekaapelin veto

Kaapelia vedettäessä on katsottava, ettei kaapeli kierry muiden kaapeleiden ympäri tai mene muuten ristiin. Kaapeli voidaan vetää monella eri tavalla. Kaapeli voidaan vetää tien viereen autolla, lyhyet matkat voidaan vetää käsin ja kelakärryn avulla kaapelia saadaan vedettyä helposti pitkiäkin matkoja.

Autolla voidaan kiristää aluksi, jotta saadaan alku löysät pois. Lopuksi kaapeli kiristetään taljan avulla. Taljaan voidaan kiinnittää mittari, joka näyttää kaapeliin kohdistuvan voiman. Mittarin avulla kaapeli saadaan oikeaan kireyteen ja silloin ei tarvitse silmämääräisesti arvioida kaapelin kireyttä. Kaapelin kireyteen vaikuttaa lämpötila ja kaapelinjänneväli. Liitteessä 1 on taulukot kaapelien kireyksille erilaisissa lämpötiloissa ja pylväsväleillä.

7.7 Liittäminen

AMKA:n johtimien liittäminen aloitetaan kytkemällä ensin PEN johdin kiinni, jonka jälkeen vasta kytketään vaiheet kiinni. Vaiheita kytkettäessä pitää aina muistaa tarkastaa kiertosuunta tai vaiheistus. AMKA-kaapelin PEN johdinta kytkettäessä maadoituksen kupariin pitää muistaa käyttää vaihtoliittimiä. Vaiheitten liittäminen voidaan tehdä joko jännitteettömänä tai jännitetyönä. Kaikki liittimet tulee kosketussuojata.

Kilovoltin osuus verkosta rakennetaan maasta erotetuksi, joten 20/1 kV:n muuntajan tähtipistettä ei kytketä maahan. Se pitää kytkeä katkaisijan muuntajaan, jotta verkon suojaus toimii oikein.

7.8 Suojat

Muuntajien napojen suojaksi asetetaan eläinsuojat vikatilanteiden estämiseksi.

Pylväitten päähän laitetaan pylväitten käyttöiän pidentämiseksi pylväshatut.

Maakaapeleiden mennessä pylvääseen, tulee kaapeli suojata suojakourulla. Kouru laitetaan 20 cm:ä maan sisään.

7.9 Merkitseminen

Kilovoltin verkko tulee erottaa 400 voltin verkosta selvästi. Jokaiselle 1000 voltin pylväälle tulee laittaa keltainen yhteiskäyttönauha, joka on 100 mm:ä leveää. 400 voltin pylvääät merkitään 25 mm:ä leveällä keltaisella yhteiskäyttönauhalla. Nauha laitetaan heti kaapelin alapuolelle.

Jokaiselle pylväälle tulee lisäksi kuvan 12 mukainen kyltti. Kilovoltin verkon erottamisessa käytettävä erotin (pylväsvarokekytkin, jossa oikosulkuveitset) tulee merkitä samanlaisella kyltillä. /6, 10/



Kuva 12 Kilovoltin merkitsemisessä käytettävä kyltti /10/

7.10 Maakaapelit

Maakaapelit sijoitetaan kohteesta riippuen kaapelikanaviin tai kaapeliojiin.

Kaapelin tavallisimmat laskemistavat ovat kaapelin laskeminen vaunusta, kaapelin

vetäminen koneellisesti tai kantaminen ja vetäminen miesvoimin. Kaapeli voidaan myös aurata. Kaapelin päälle tulee myös asettaa kirkasvärinen merkkinauha.

Maakaapelit päättyvät muuntajille, jakokaapeille, haaroituskaapeille tai pylvääseen. Muuntajille, haaroitus- ja jakokaapeille liitettäessä on kaapeli liitettävä valmistajan ohjeitten mukaan oikeisiin kiskoihin oikeanlaisilla liittimillä.

Kaapeli tulee merkitä. Siihen on syytä merkitä kaapelityyppi ja poikkipinta sekä kaapelin osoite. Tarpeen mukaan kaapeliin voidaan merkitä myös pituus ja asennusvuosi. /9/

7.11 Tarkastus

Ennen käyttöönottoa tulee tehdä käyttöönotto tarkastus, jossa tehdään luvun 9 mukaiset toimenpiteet.

8 KOULUTUS

Koulutus kilovoltin järjestelmän rakentajille ja suunnittelijoille on tarpeellinen, jotta rakennettavasta verkosta tulee turvallinen ja työtaturmilta vältytään. Koulutus asentajille ei sinänsä ole vaativaa, koska verkon rakentaminen on samanlaista kuin 0,4 kV:n verkossa. Koulutusta tarvitaan suojauslaitteiden asentamiseen ja asetteluarvojen laittamiseen sekä oikeiden 1000 V:n merkintöjen tekemiseen. Asentajille on tultava selväksi, että AMKA voi olla eri jännitetasolla ja maasta erotettu. Opettaminen tekemällä on huomattavasti tehokkaampaa kuin opiskelu lukemalla ja siksi suosittelen kouluttamista, jossa tehdään kytkentöjä.

Asentajille ja suunnittelijoille järjestetään aika ajoin koulutusta. Niistä ilmoitetaan internetissä tai sähköalanlehdissä. Kouluttajina ovat olleet Seppo Patja (Adaton

kursseja, entinen Suur-Savon Sähkön työntekijä), Aimo Kukkonen (konsultti, AK Laatuverkot) sekä Esa Lipsanen (SLO).

Asentajilla tulee olla pienjänniteverkon rakentamiseen vaadittavat pätevyudet ja koulutukset. Esimerkiksi työturvallisuus SFS 6002 koulutus vaaditaan.

Koulutusta ei välttämättä kannata antaa kaikille työntekijöille heti. Aluksi ehkä riittää pari, jotka saavat koulutuksen. Jos kilovoltin järjestelmä saa suosiota niin, koulutettavien määrää kannattaa lisätä.

9 KÄYTTÖÖNOTTO JA TARKASTUKSET

Verkonhaltijan toimesta tulee suorittaa vaadittavat tarkastukset. Erilaisia tarkastuksia on käyttöönottotarkastus, varmennustarkastus, määräaikaistarkastus ja kuntotarkastus. 1000 V:n verkon tarkastuksista tärkeimpänä on käyttöönottotarkastus

9.1 Käyttöönottotarkastus (*Oman työn tarkastus*)

Jakeluverkot ja niiden laajennukset pitää tarkastaa ennen kuin ne otetaan käyttöön. On todettava, että laajennus tai muutos on vaatimusten mukainen ja ettei se heikennä olemassa olevan asennuksen turvallisuutta. Senerin tekemän verkostosuosituksen TA 1:97 mukaan sähkölaitteiston rakentajan on aina huolehdittava asentamansa sähkölaitteen tarkastuksesta ja laadittava haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja, josta käy ilmi kohteen yksilöintitiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä, tarkastusten ja testausten tulokset.

Käyttöönottotarkastukselle on asetettu pöytäkirjaamisvelvoite aivan vähäisiä töitä lukuun ottamatta, joten verkkojen laajennuksista ja muutoksista tulisi aina olla säädösten mukainen tarkastajan allekirjoittama käyttöönottotarkastuspöytäkirja.

Pienjänniteverkon silmämääräisessä tarkastuksessa tarkastuksen kohteena ovat ilmajohtojen mekaaniset rakenteet kuten johtojen asennuskorkeudet, johtimien mekaaninen kunto, pylväiden kunto ja upotussyvyys sekä harusten kunto ja merkinnät sekä erillisten suojajohtimien kunto, suojaus ja liitokset. Tarkastukseen kuuluu myös johtokatuja riittävyden tarkastaminen. Maa- ja vesistökaapeleista tarkastetaan mm. asennussyvyudet ja mekaaniset suojaukset. /3/

Kilovoltin järjestelmän käyttöönotto on hieman vaativampaa 0,4 kilovoltin verkkoon nähden, koska verkkoon tulee suojauslaitteisto. Kilovoltin järjestelmään tulee tehdä normaalit pienjänniteverkon mukaiset käyttöönottotarkastustoimet. Sen lisäksi erityistoimenpiteinä tulee tehdä eristysvastusmittaus, oikosulkukoe ja maasulkukoe. Maasulku- ja Oikosulkutesti tehdään verkon ääripäissä. Mittaustulokset tulee merkitä käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Vaadittavat arvot on esitetty osiossa 6.3.

Eristysvastusmittaus:	Tarkistetaan kytkentöjen oikeellisuus. Varmistetaan, että kytkentä on maasta erotettu.
Oikosulkukoe:	Oikosulkukoe tehdään ensiökokeena ja siinä tarkistetaan laukaisuaika kesto.
Maasulkukoe:	Maasulkusuojauksen toimivuus tehdään ensiökokeena. Tarkistetaan laukaisuaika ja releitten toimivuus.

/3, 8, 10/

9.2 Kuntotarkastus

Sähkölaitteiston käyttöönoton jälkeen suoritettavien kuntotarkastusten perusteellisuus ja tiheys riippuvat mm. laitteiston tai sen osan iästä, mahdollisen

vian syntymisen ja sen vaaran suuruuteen vaikuttavista olosuhteista sekä vaara-alueen laajuudesta. Esimerkiksi jos ilmajohto on toisen johdon, rakennuksen, varaston tai liikenneväylän läheisyydessä ja erityisesti kosketukselle alttiissa paikassa tai muuten helposti vioittuvassa tai vaarallisessa paikassa, vaaditaan perusteellisempi ja tiheämmin välein suoritettu tarkastus.

Senerin laatiman verkostosuositus TA 1:97 mukaan pienjänniteverkoston (100...1000 V) jakokeskusten kunnan sekä ylivirta ja maasulkusuojausten tarkastus tulisi tehdä 6 vuoden välein. /8/

10 LOPPUPÄÄTELMÄT

Kilovoltin verkko on häiriöttömämpi, koska se muodostaa oman suojausalueen, eikä siten aiheuta häiriötä 20 kV:n johtolähdölle. 1000 V:n verkko ei välttämättä tule paljoa edullisemmaksi rakentaa kuin keskijänniteverkko, mutta taloudellinen hyöty saadaan keskeytys-, korjaus- ja ylläpitokustannuksista. Näitten asioitten takia kilovoltin verkko on tulossa osaksi jakeluverkkoa. Verkkoa rakentavan yrityksen olisi kannattavaa kouluttaa ainakin muutama henkilö, jotka tuntisivat verkon rakentamisen. 1000 V:n verkon rakentaminen ei eroa paljoakaan 400 V:n verkon rakentamisesta, siksi sen rakentaminen ei ole moni mutkaista, mutta suojalaitteiden asentaminen ja turvallisen verkon rakentaminen vaatii koulutusta.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1. Teollisuuden sähkösuunnittelu, Muuntajan mitoitus moniste, Lauri Hietalahti
2. SFS 6002, Sähkötyöturvallisuus, Suomen standardisoimisliitto SFS
3. Pienjännitesähköasennukset SFS 6000, Suomen standardisoimisliitto SFS, 93
4. Verkostosuositus RJ 18:94, Sähköenergialiitto ry

5. Johdon mitoitus ja suojaus, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2004
6. Vahvavirtailmajohantomääräykset A4, 1993, Sähkötarkastuskeskus
7. Sähköturvallisuus moniste, SFS 6002
8. Verkostosuositus TA 1:97, Sähköenergialiitto ry
9. Sähkölaitosasennukset, Markku Monni, Oy Edita Ab, 1996

Sähköiset lähteet

10. <http://www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkkina/seminaari1kV.html>
11. <http://www.ensto.fi>
12. <http://www.slo.fi>

Painamattomat lähteet

13. Sähköposti keskustelu SLO:n Esa Lipsasen kanssa

LIITTEET

- LIITE 1. Köysivoima ja riippumataulukko
LIITE 2. Yksikköhintoja ja parametrialvoja