

3 SÄHKÖN SIIRTO- JA JAKELUVERKOT

Sähköenergian tuotannossa käytettävien voimalaitosten sijoituspaikat määräytyvät pitkälti ympäristötekijöiden perusteella. Vesivoimalaitokset on sijoitettava koskien varsille. Suuret lämpövoimalaitokset puolestaan tarvitsevat suuren määrän lauhdevettä ja lämpöhäviöt on voitava siirtää ympäristöön siten, että niistä aiheutuu mahdollisimman vähän rasitusta ympäristölle. Tällaisia sijoituspaikkoja ei normaalisti löydy sähkön kulutuspisteiden lähistöltä. Tästä on seurauksena, että sähkön kulutus ja tuotanto on yhdistettävä toisiinsa sähköverkolla. Suomessa kaikki kuluttajat ja merkittävät voimalaitokset on yhdistetty yhteiseen sähköverkkoon, jonka pituus on yhteensä n. 375 000 km.

Sähköverkot jaetaan käytetyn jännitetason perusteella siirto- ja jakeluverkkoihin. Siirtoverkkoihin kuuluvat Suomessa johdot, joiden jännite on 400, 220 ja 110 kV. Näistä 400, 220 ja tärkeimmät 110 kV johdot sekä sähköasemat muodostavat koko maan kattavan valtakunnallisen kantaverkon, joka yhdistää toisiinsa voimalaitoksia ja syöttöasemia. Sitä käytetään sähkön siirtoon kulutusalueille. Kantaverkon omistaa vuonna 1997 perustettu yhtiö Suomen Kantaverkko Oy. Kantaverkosta on yhteydet Ruotsin, Venäjän ja Norjan sähköverkkoihin. Tämä mahdollistaa sähkön tuonnin ja viennin naapurimaidemme kanssa.

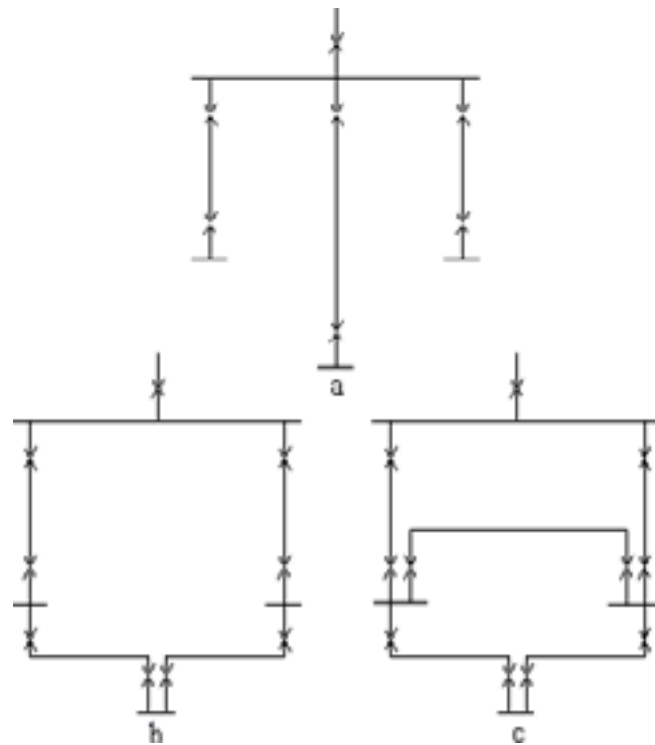
Kantaverkkoon kuulumattomat 110 kV johdot ja sähköasemat sekä harvinaiset 30 ja 45 kV johdot muodostavat eri sähköyhtiöiden omistaman alueverkon. Alueverkon kautta siirretään sähköä kantaverkosta jakeluverkkoon.

Jakeluverkkoa käytetään sähkön siirtoon kulutusalueilla pienille ja keskisuurille sähkökäyttäjille. Jakeluverkot voidaan jakaa edelleen keski- ja pienjänniteverkkoihin. Keski-jännite on Suomessa useimmiten 20 kV. Joissain kaupungeissa käytetään myös 10 kV jännitettä. Pienjänniteverkoissa käytetään 400 V jännitettä. Tavalliselle sähkökäyttäjälle tutuin 230 V jännite on pienjänniteverkon vaihejännite. Valtaosalle sähkökäyttäjistä pienjänniteliityntä on sopivin laitteiden käyttöjännitteen kannalta.

Jännitetasoista puhuttaessa käytetään aina kolmivaihejärjestelmän kahden vaiheen välistä pääjännitettä. Vaiheen ja maan välinen vaihejännite saadaan jakamalla pääjännite $\sqrt{3}$:lla. Suomessa käytetään siirto- ja jakeluverkoissa kolmivaiheista vaihtosähköjärjestelmää. Ulkomailla on käytössä myös yksi- ja kaksivaihejärjestelmiä. Pienjänniteverkoissa käytetään vaihejohtimien lisäksi nollajohdinta, jolloin yksivaiheiset kuormitukset, joita kodin sähkölaitteet yleensä ovat, voidaan kytkeä vaihe- ja nollajohtimen väliin. Vaihtosähkön taajuus on Euroopassa 50 Hz.

Sähköverkot voidaan niiden rakenteen perusteella jakaa avoimiin eli säteittäisverkkoihin ja suljettuihin eli silmukkaverkkoihin. Säteittäisen verkon kuormitukset saavat sähköä vain yhtä reittiä. Silmukoidussa verkossa sähköllä on useampi kulkutie. Näitä tapauksia on esitetty kuvassa 3.1. Silmukkaverkon käyttövarmuus on parempi, sillä yhden johdon

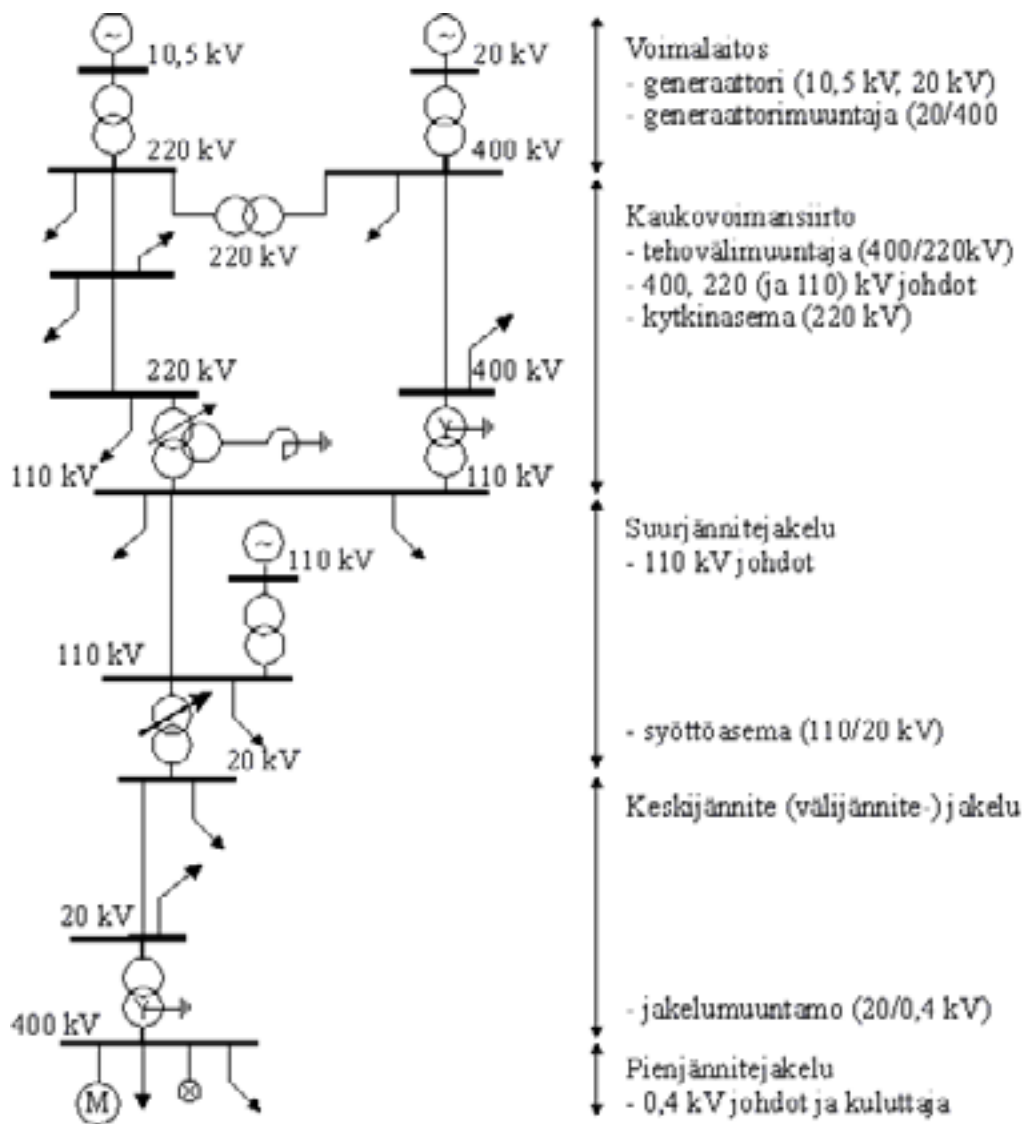
vikaantumisen ei vielä aiheuta sähkökatkoa. Lisäksi jännitteenalenema ja tehohäviöt ovat silmukkaverkossa pienempiä. Silmukoidun rakenteen haittapuolina ovat suuremmat oikosulkuvirrat ja suojauksen monimutkaisuus. Siirto- ja keskijänniteverkot rakennetaan silmukkaverkoiksi. Kantaverkossa johtorenkaat pidetään yleensä suljettuina. Alue- ja keskijänniteverkoissa johtorenkaat pidetään normaalisti avoimina. Rengasmuotoa käytetään lähinnä vianetsinnässä ja verkon kytkentää muuttaessa. Pienjänniteverkot rakennetaan maaseudulla kustannussyistä lähes pelkästään säteittäisiksi. Kaupungeissa ne ovat yleensä silmukoituja, mutta niitä käytetään säteittäisesti.



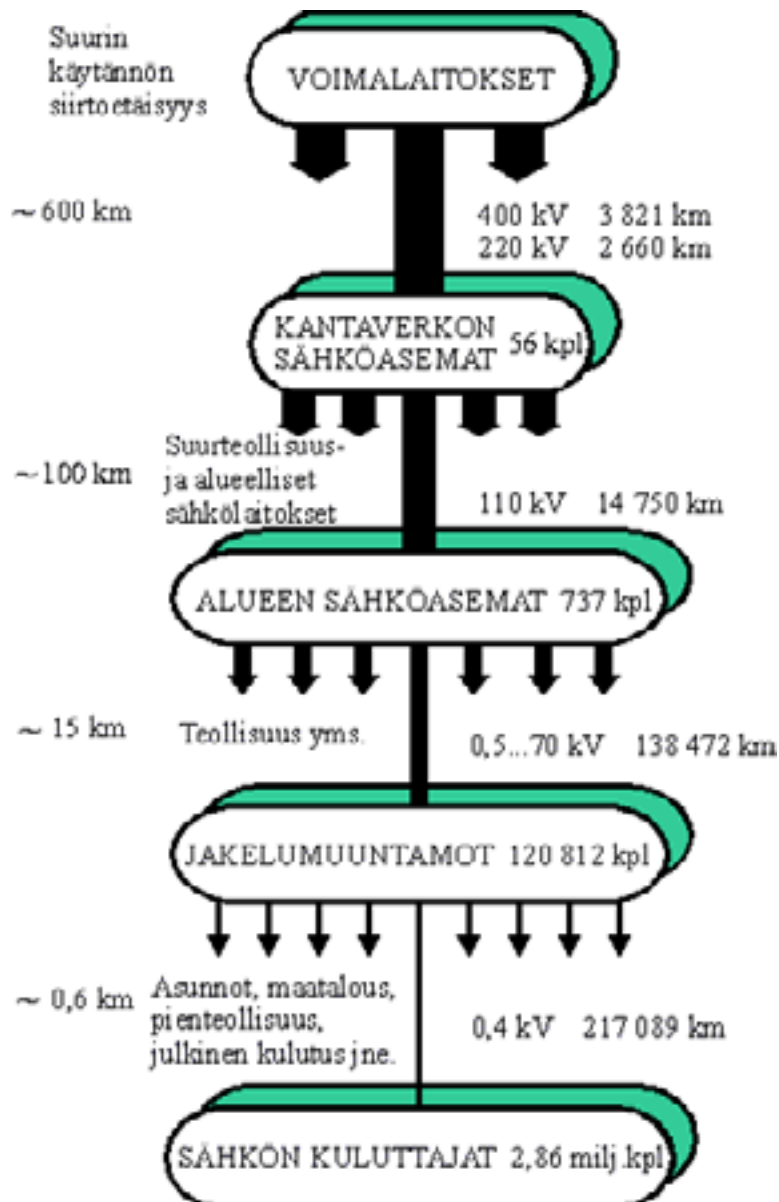
Kuva 3.1 a) säteittäinen verkkomuoto. b) ja c) silmukoitu verkkomuoto. Kuvissa lyhyet vaakasuorat viivat kuvaavat kuormituspisteitä ja X:t kytkinlaitteina käytettäviä katkaisijoita./2/

Sähkövoimajärjestelmässä pyritään hyvällä, yli 95 %, hyötysuhteella tapahtuvaan voimansiirtoon. Tämä merkitsee, että siirron ja jakelun häviöt on pyrittävä pitämään kohtuullisina. Johdolla syntyvät pätötehohäviöt ovat verrannollisia virran neliöön ($P_h = 3RI^2$). Johdolla siirrettävä teho on puolestaan verrannollinen jännitteeseen ja virtaan ($P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$). Tästä seuraa, että mitä suurempia tehoja joudutaan siirtämään, sitä suurempia jännitteitä on käytettävä. Toisaalta jännitteen kasvaessa johdon rakentamiskustannukset nousevat. Optimiratkaisuna käytettävät jännitetasot on järkevä porrastaa siirrettävän tehon ja etäisyyden mukaan. Karkeasti arvioituna voidaan esittää, että johdolla siirretyn tehon (MW) ja johdon pituuden (km) tyypillinen suuruusluokka on sama kuin käytetyn jännitteen (kV).

Kuvissa 3.2 ja 3.3 on esitetty periaatteellisena kaaviona sähkön kulku voimalaitokselta kuluttajalle.



Kuva 3.2 Suomen siirto- ja jakeluverkoston periaatteellinen rakenne. /3/



Kuva 3.3 Sähkön kulku voimalaitokselta kuluttajalle. Luvut ovat vuodelta 1995. /4/

Voimalaitoksen generaattorit rakennetaan kustannussyistä tuottamaan sähköä suhteellisen matalalla jännitetasolla (esim. 20 tai 10,5 kV). Generaattorin ja verkon välisellä generaattorimuuntajalla jännite nostetaan sähkönsiirrossa käytettävän jännitteen tasolle. Kantaverkon sähköasemalla 400 tai 220 kV jännite muunnetaan 110 kV tasolle. Sähkøyhtiöt ja suuret teollisuuslaitokset saavat sähkön yleensä 110 kV jännitetasolla. Alueellisella sähköasemalla 110 kV jännite muunnetaan keskijännitteeksi, mikä on yleisimmin 20 kV. Sähköasemat pyritään sijoittamaan kulutuksen painopistealueille. Keskijänniteverkkoa tarvitaan sähkön siirtämiseen sähköasemalta lopullisten sähkökäyttäjien läheisyyteen. Joillekin suurille kuluttajille, esim. teollisuudessa, sähkö jaetaan suoraan keskijännitteellä. Tavallisten sähkökäyttäjien käyttämä jännite muunnetaan keskijännitteestä jakelumuuntamoilla 400 V pienjännitteeksi. Avojohtoverkossa käytetään pylväsmuuntamoita. Kaapeliverkoissa muuntajat sijoitetaan

rakennusten kellaritiloihin tai erikseen niitä varten rakennettuihin muuntamotiloihin. Pienjännitteellä voidaan sähköä siirtää enintään muutama sata metriä.

3.1 Sähköjohdot

Sähköenergian siirrossa ja jakelussa käytettävät johtimet ovat aina eristettyjä. Eristeaineet ovat kiinteitä tai kaasumaisia. Yleisin kaasumainen eriste on ilma. Ilmaa käytetään eristeenä avojohdoissa ja sähköasemien kiskostoissa. Kaasueristeisissä kojeistoissa käytetään eristeenä tavallisesti SF₆-kaasua. Kiinteitä eristeaineita käytetään kaapeleissa ja eristetyissä johtimissa.

Asennustavan perusteella sähköjohdot voidaan jakaa kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Ilmajohdot ripustetaan kiinnikkeiden avulla pylväiden varaan. Ilmajohdot voivat olla avojohdoja tai ilmakaapeleita. Kaapelit sijoitetaan kaapelikanaviin, kaapelihyllyille tai lasketaan suoraan maahan tai veteen.

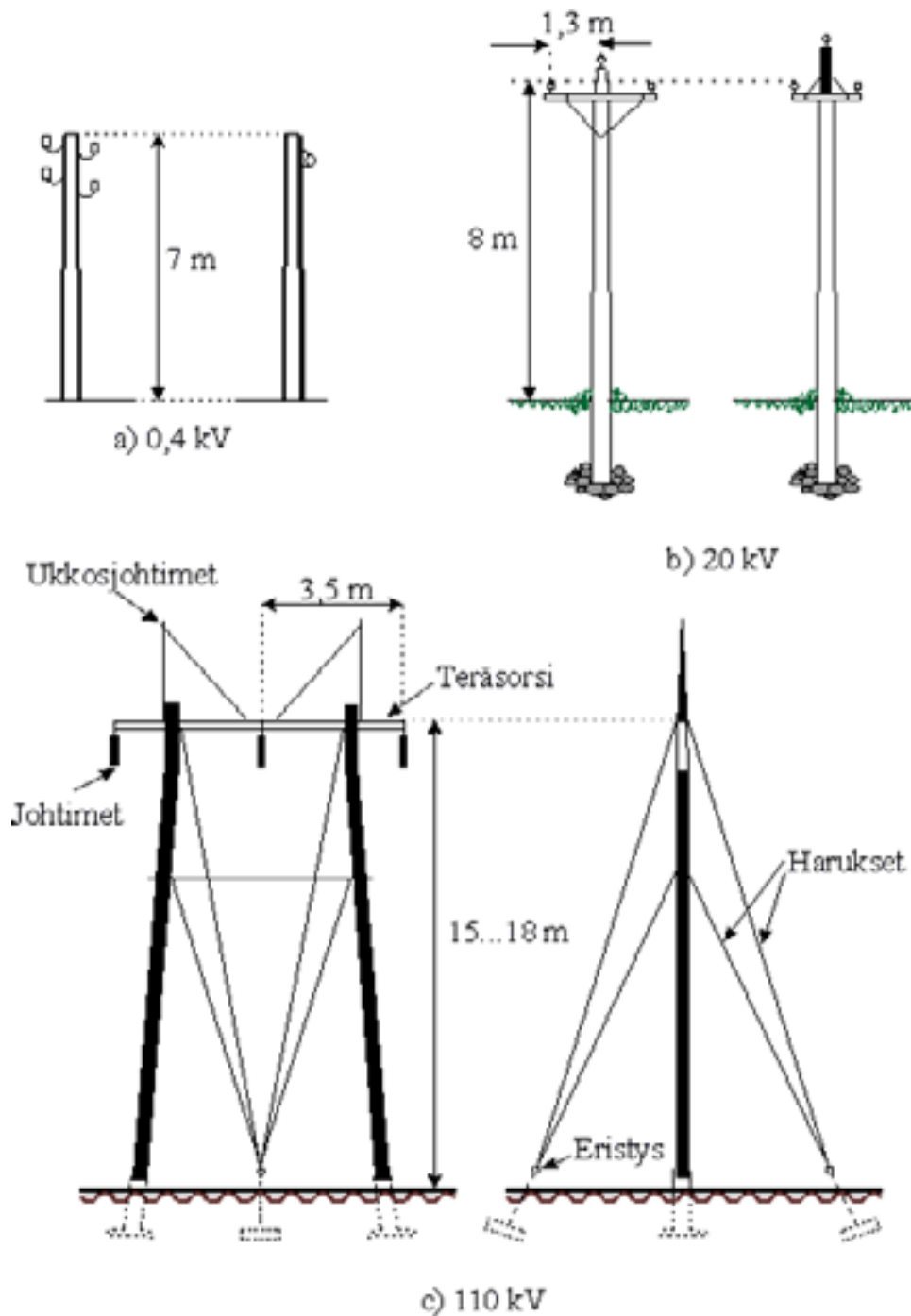
3.1.1 Ilmajohdot

Suurin osa Suomen sähköverkosta, keskijännitteestä lähtien ja siitä ylöspäin, on rakennettu päällystämättömillä avojohdoilla. Päällystämättömän avojohdon etuna on edullisimmat rakennuskustannukset. Haittapuolina ovat suuri tilantarve ja huono soveltuvuus maisemaan. Johdinmateriaaleina käytetään alumiinia, alumiiniseoksia ja terästä. Suurilla siirtojännitteillä käytetään koronahäviöiden estämiseksi ns. nippujohtimia. Nippujohtin muodostuu kahdesta tai useammasta samaan vaiheeseen kuuluvasta osajohtimesta, jotka kytketään mekaanisesti toisiinsa erityisillä sidoksilla. 110 kV jännittetasosta alkaen vaihejohtimien yläpuolella käytetään ukkosjohtimia. Niiden tehtävänä on suojata varsinaisia vaihejohtimia salamaniskuilta.

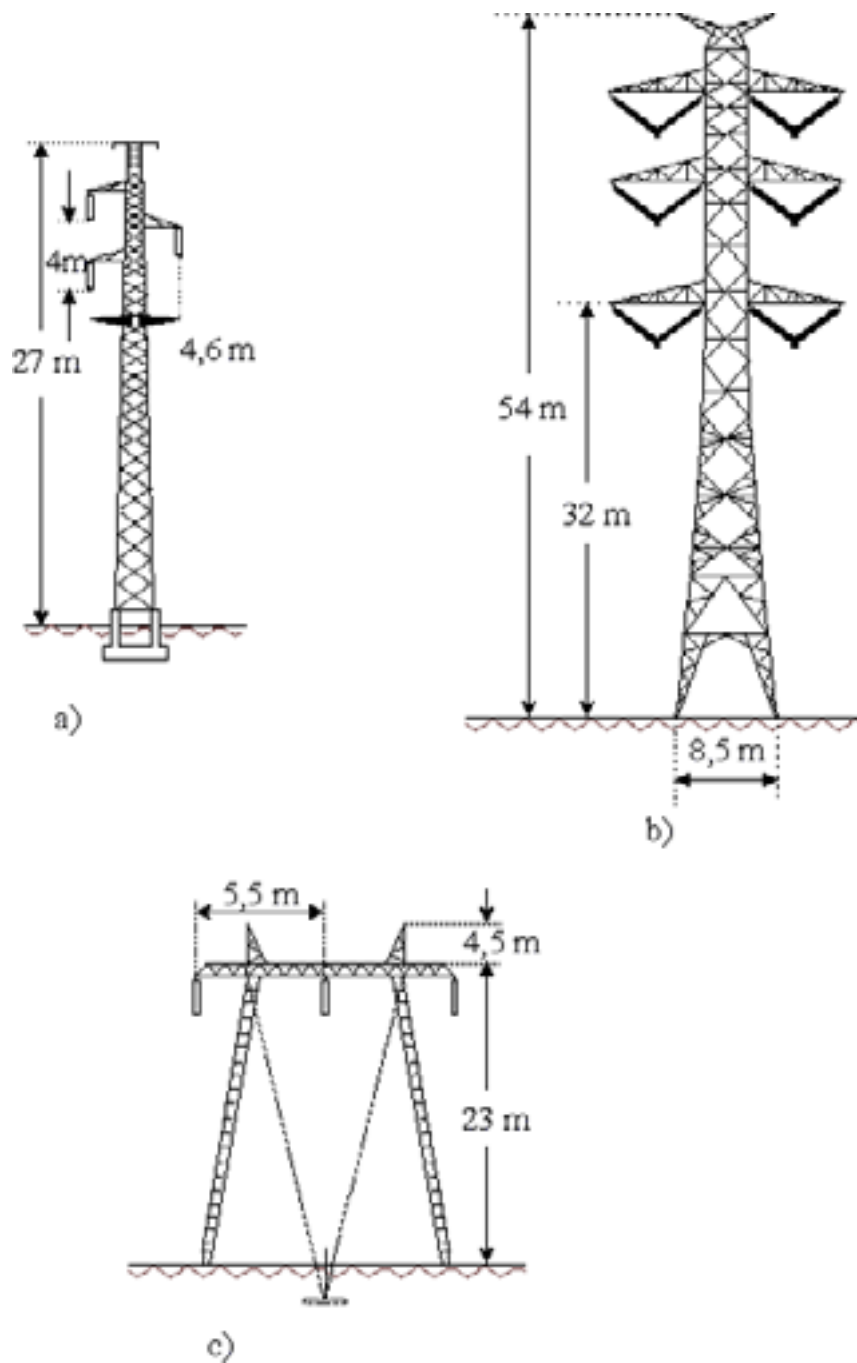
Pienjännitejohdoilla eristepäällysteiset riippukierrejohtimet ovat korvanneet päällystämättömiä avojohdoja. Tunnetuin riippukierrejohtintyyppi on AMKA. Siinä polyeteenipäällysteiset vaihejohtimet on kierretty kannatusköytenä toimivan nollajohtimen ympärille. Vaihejohtimet ovat alumiinia ja kannatusköysi seosalumiinia. Keskijänniteverkoissa on yleistynyt päällystetty avojohdo eli PAS-johto. Niissä vaihejohtimen ympärillä on ohut muovieriste, jolloin johtimien yhteenlyönnit eivät aiheuta käyttöhäiriöitä eivätkä johdinvaurioita.

Pylväät valmistetaan puusta, teräksestä tai alumiiniseoksista. Puuta käytetään yleisesti 220 kV jännitteeseen saakka. Puun etuna ovat halpa hinta ja sen hyvä eristyskyky ilmastollisia ylijännitteitä vastaan jakeluverkoissa. Puupylväät suojataan lahoamiselta kyllästämällä. Teräs- ja seosalumiinipylväitä käytetään suurimmilla jännitteillä ja tilanteissa, joissa puupylvään korkeus tai lujuus ei ole riittävä. Seosalumiinipylväiden käytössä Suomi on edelläkävijämaa. Puupylväiden orsimateriaalina käytetään yleisimmin seosalumiinia. Kuvissa 3.4 ja 3.5 on esitetty erilaisia pylväsrakenteita. Pienjännitteellä käytetään tavallisimmin I-pylvästä, johon riippukierrejohto kiinnitetään koukulla. Keskijänniteverkon pylväät varustetaan tavallisesti orrella. 110 kV jännitteestä

alkaen Suomessa käytetään yleisimmin harustettuja portaalipylväitä. Keski-Euroopassa käytetään yleisesti vapaasti seisovaa pylvästä. Sen tarvitsema johtoalue on pienempi, mutta se on rakennuskustannuksiltaan kalliimpi kuin harustettu portaalipylväs.

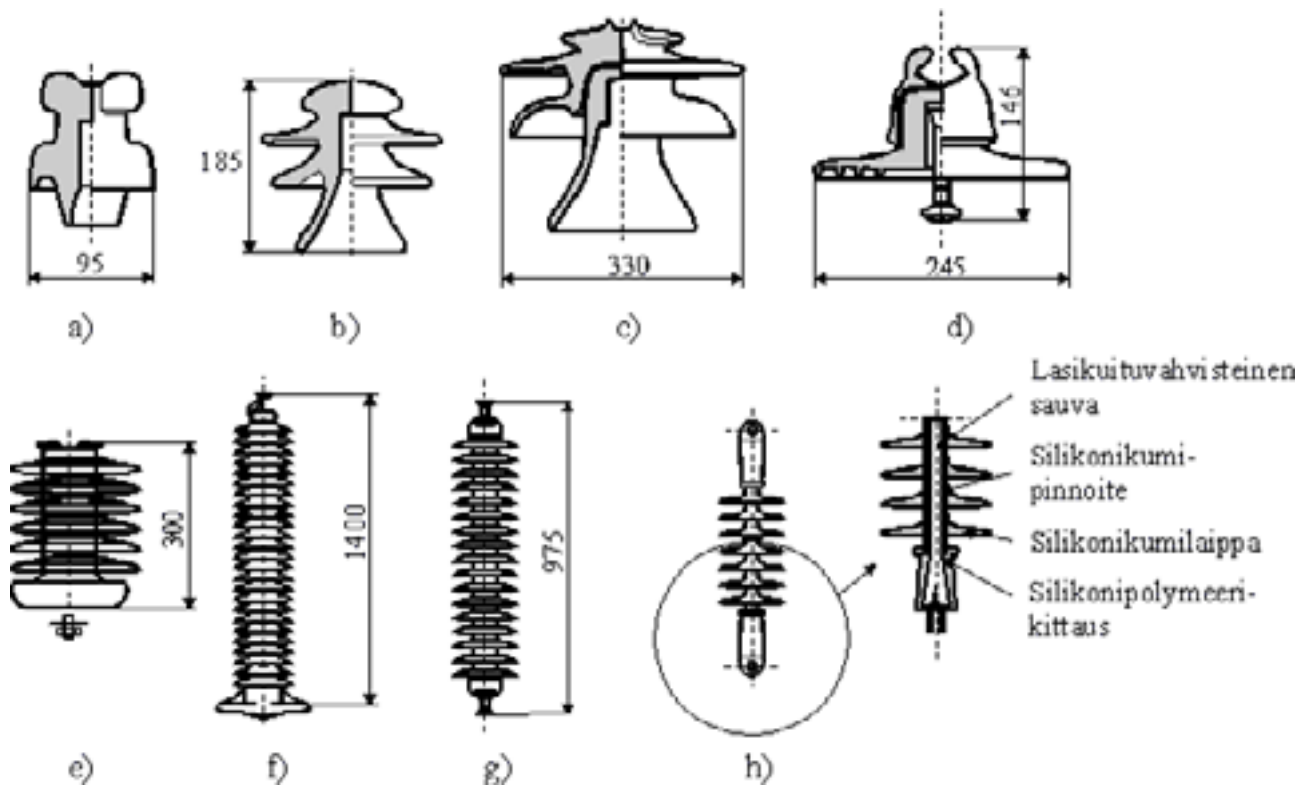


Kuva 3.4 Puupylväsrakenteita. /1/



Kuva 3.5 Metallipylväsrakenteita a) 110 kV, b) 400 kV c) 400 kV. /1/

Johdin tuetaan pylvääseen eristimen avulla. Eristin kiinnitetään orteen tai suoraan pylvääseen. Eristimien valmistusmateriaaleina on perinteisesti käytetty posliinia tai lasia. Keskijännitejohdoilla on alettu käyttää myös valumuovisia eristimiä ja suuremmilla jännitteillä ns. moniaine-eristimiä. Rakennetavaltaan eristin voi olla tukieristin tai riippueristin. Suomessa käytettävät tukieristimet ovat tavallisesti tappieristimiä. Niitä käytetään pien- ja keskijänniteverkoissa. Yleisimmin käytetty riippueristin on kappa- eli lautaseristin. Siirtojännitteillä käytetään yleensä useasta lautaseristimestä koottua eristinketjua. Yleisimpiä eristintyyppäjä on esitetty kuvassa 3.6.



Kuva 3.6 Avojohtoilla käytettäviä eristintyyppiä. a) pienjännite-eristin, b) 20 kV:n eristin S-20, c) 45 kV:n eristin S-45, d) kappaeristin 150 kV, e) massiivinen tukieristin, f) massiivinen sauvaeristin, g) sauvaeristin, h) moniaine-eristin. Kuvissa olevat mitat ovat millimetrejä. /1/

3.1.2 Kaapelit

Voimakaapeli on johto, jossa tehdasvalmisteisen kosteutta ja korroosiota estävän ja mekaanista vahingoittumista kestävä vaipan sisällä on yksi tai useampia toisistaan eristettyjä sähköenergian siirtoon tarkoitettuja johtimia. Kaapeleita käytetään sähköenergian siirtoon tilanteissa, joissa avojohtoja ei voida käyttää. Mm. kaupunkien ja muiden taajamien jakeluverkot rakennetaan yleensä maakaapeleilla. Myös vesistöissä on yleensä käytettävä merikaapeleita. Yksi Suomen ja Ruotsin välisistä yhteyksistä on rakennettu n. 200 km pitkällä merikaapelilla.

Kaapeleita valmistetaan 400 kV nimellisjännitteelle asti. Kaapeli koostuu yhdestä tai useammasta johtimesta, johdinsuojasta, johdineristyksestä, hohtosuojasta, kosketussuojasta ja ulkoisista suojakerroksista. Johdin-, kosketus- ja hohtosuoja on vain suurjännitekaapeleilla. Johdinmateriaaleina kaapeleissa käytetään kuparia ja alumiinia. Alumiinia käytetään etenkin suurilla poikkipinnoilla. Voimakaapelin poikkipinta voi suurimmillaan olla jopa 1000 mm². Eristemateriaalina on perinteisesti käytetty kaapelimassalla tai öljyllä imeytettyä paperia. Viime vuosina muovien käyttö eristemateriaalina on lisääntynyt huomattavasti, ja lähivuosina niiden odotetaan

syryttävän perinteiset eristeaineet kokonaan. Pienjännitekaapeleissa käytetään eristeenä polyvinylikloridia eli PVC:tä ja suurjännitekaapeleissa käytetään eristeenä polyeteeniä eli PE:tä.

3.2 Sähköasema

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista sähköenergian siirto- tai jakeluverkon kohtaa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköenergian siirron keskittämistä tai jakoa eri johdoille. Jos sähköasemalla suoritetaan jännitteen muuntamista, sitä voidaan kutsua muuntoasemaksi. Sähköasemasta käytetään myös nimityksiä kytkinasema ja kytkinlaitos. Muuntajien ja kokoojakiskojen avulla energia jaetaan kytkinlaitoksessa tarkoituksenmukaisimmalla tavalla. Lisäksi sähköasemilla on useita erilaisia kojeita ja laitteita, jotka voidaan hankkia myös tehdasvalmisteisina valmiina kojeistoina. Kytkinlaitteina käytetään katkaisijoita ja erottimia. Katkaisijaa käytetään kuormitetun virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Sen on kestettävä myös verkossa vian seurauksena esiintyvä oikosulkuvirta. Erotinta käytetään kuormittamattoman virtapiirin kytkentöihin. Erottimia sijoitetaan myös johtoreittien varrelle. Mittamuuntajia käytetään jännitteiden ja virtojen muuntamiseen mittalaitteille sopiviksi. Suojaustarkoituksissa käytetään releitä ja varokkeita sekä ylijännitesuojauksessa venttiilisuojia tai kipinävälejä.

3.3 Teollisuusverkot

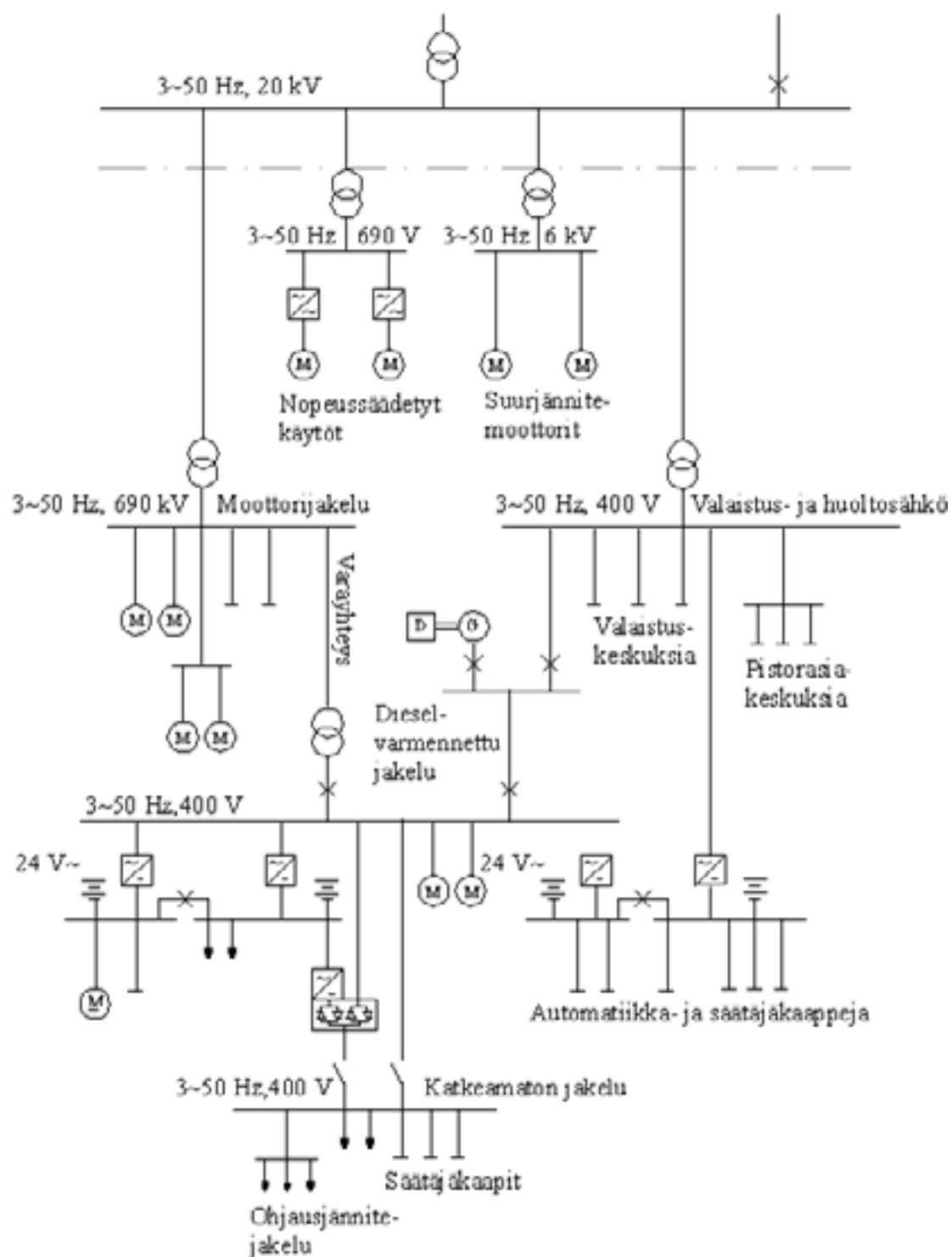
Teollisuussähköjakelujärjestelmä koostuu liittynästä yleiseen sähköverkkoon, keskijännitejakelusta sekä käyttöjakelusta kulutuskohteille (kuva 3.7). Teollisuuslaitos liittyy yleiseen sähköverkkoon 110, 20, 10 tai 0,4 kV jännitetasolla. Suurissa teollisuuslaitoksissa, joissa tarvitaan yli 10 MW:n sähköteho käytetään yleensä 110 kV jännitettä. Pienissä ja keskisuurissa laitoksissa käytetään tavallisesti 20 tai 0,4 kV jännitettä. Suuret teollisuuslaitokset tuottavat usein osan tarvitsemastaan sähköenergiasta omilla voimalaitoksillaan.

Käyttöjakelujärjestelmä voidaan jakaa seuraaviin osiin: tuotannon sähköjakelu, valaistus- ja huolto-sähköverkko sekä apusähköjärjestelmä. Tuotannon sähköjakelun ylivoimaisesti suurimman kuluttaja-ryhmän muodostavat moottorit. Moottorijännitteinä käytetään Suomessa 10 kV, 6 kV, 3 kV, 690 V ja 400 V. Näistä viimeksi mainittu on yleisin pienessä ja keskisuurissa teollisuudessa. 10 kV jännitettä käytetään vain yli 1 MW tehoisilla moottoreilla. Tärkeimmät moottorijännitteen valintaan vaikuttavat tekijät ovat: huipputehon suuruus, suurimpien moottoreiden teho, alueen laajuus, laitoksessa jo käytössä olevat jännitteet ja jakelumuuntajan oikosulkuteho. Suurimmilla moottoreilla käynnistyksen aiheuttama jännitteenalenema ei saa aiheuttaa haittaa verkon muiden laitteiden toiminnalle. Valaistus- ja huoltosähköverkon jännitteenä käytetään 400 V. Apusähköjärjestelmään kuuluu ohjaus- ja automaatiojärjestelmien sähkönsyöttö.

Teollisuuslaitoksessa voidaan käyttää yhtä tai useampaa keskijännitetasoa. Pääjakelujännitteeksi määritellään sen järjestelmän jännite, jolla jakelu pääosin tapahtuu

ja johon on liitetty pääosin jakelumuuntajia. Pääjakelujännitteen suuruus on yleensä 6, 10 tai 20 kV. Pienteollisuudessa, jossa liityntäjännite on 0,4 kV, pääjakelujännite on luonnollisesti myös 0,4 kV.

Nykyään moottoreiden ohjaukseen käytetään paljon taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttajakäyttöjen haittapuolena on niiden verkkoon synnyttämät yliaallot. Niiden leviämisen estämiseksi suositellaan, että taajuusmuuttajalla ohjatut moottorit kytketään omaan jakelumuuntajaan. Valaistus- ja huoltosähköverkko kytketään myös tavallisesti omaan jakelumuuntajaan.



Kuva 3.7 Erään teollisuusverkon rakenne. /5/

LÄHTEET

/1/ Aura, L. & Tonteri, A.J., Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.

/2/ Lakervi, E.& Holmes E.J., Electricity distribution network design, Peter Peregrinus 1995, 325 s.

/3/ Nousiainen K.,Sähköenergiatekniikka, luentomoniste, TTKK 1994, 218 s.

/4/ Sähkölaitostilasto 1995, Sähköenergialiitto ry.

/5/ Sääski, P., Toisiojakelujärjestelmän muoto, INSKO 104-86.