

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Energia- ja ympäristötekniikan osasto

DIPLOMITYÖ

SÄHKÖNJAKELUVERKON KOMPONENTTIEN PITOAJAT

Diplomityön aihe on hyväksytty Lappeenrannan teknillisen yliopiston energia- ja ympäristötekniikan osastoneuvoston kokouksessa 8.9.2004.

Diplomityön tarkastajina olivat professori Jarmo Partanen ja diplomi-insinööri Paula Ala-Nojonen.

Työn ohjaajana toimi diplomi-insinööri Paula Ala-Nojonen.

Kajaanissa 18.1.2005

Janne Laine

Ketunpolku 5 A

87100 Kajaani

+358 40 734 2740

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Janne Laine
Työn nimi: Sähkönjakeluverkon komponenttien pitoajat
Osasto: Energia- ja ympäristötekniikan osasto
Vuosi: 2005
Paikka: Kajaani

Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

133 sivua, 23 kuvaa, 6 taulukkoa, 2 liitettä.

Tarkastajat: Professori Jarmo Partanen ja diplomi-insinööri Paula Ala-Nojonen
Hakusanat: sähkönjakeluverkko, verkkokomponentit, pitoaika, teknistaloudellinen, valvonta, vanheneminen, rappeutuminen

Suomessa sähkönjakeluverkkoyhtiöt toimivat verkkovastuualueillaan yksinoikeudella. Verkkovastuualuiden ominaispiirteet voivat olla hyvin erilaiset. Energiamarkkinavirasto valvoo sähkömarkkinalainsäädännön noudattamista jakeluverkkotoiminnassa. Jakeluverkonhaltijat on veloitettu Energiamarkkinaviraston valvontamallin kautta määrittämään tiettyjen rajoitusten mukaisesti verkkokomponenteillaan sopivimmat teknistaloudelliset pitoajat. Nämä pitoajat vaikuttavat varsinkin verkkoyhtiön tuottomahdollisuuksiin ja asiakkaiden siirtohintoihin. Lisäksi huomioon on otettava jaettavan sähkön laatu, verkon käyttövarmuus sekä vaikutukset ympäristöön ja turvallisuuteen.

Pitoaikojen matemaattinen mallintaminen on usein monimutkaista. Teknistaloudellinen pitoaika valitaankin monesti kokemuksen ja harkinnan perusteella. Tärkeimmät reunaehdot jakeluverkkokomponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen valinnalle muodostavat verkkovastuualueen sähkönkulutuksen kasvun sekä infrastruktuurin muutoksen nopeudet. Hitaan muutoksen alueilla verkkokomponenttien teknistaloudelliset pitoajat lähenevät teknisiä pitoaikoja, joihin vaikuttavat voimakkaasti verkkovastuualueen maantieteelliset ja ilmastolliset ominaispiirteet. Yhtiöittäin vaihtelevat verkon rakennus- ja ylläpitomenetelmät tulee myös huomioida.

Tässä diplomityössä keskitytään pääosin sähkönjakeluverkon komponenttien teknistaloudelliseen pitoaikaan verkon ja verkkovastuualueen ominaispiirteiden kautta. Aluksi määritellään jakeluverkon pitoaika usealla eri tavalla, sekä selvitetään pitoajan merkitystä nykytilanteessa. Lisäksi työn alkuosassa esitellään Energiamarkkinaviraston vuoden 2005 alusta käyttöön otettu jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamalli ja käydään läpi teknistaloudellisen pitoajan merkitys siinä. Sen jälkeen tarkastellaan jakeluverkkokomponenttien ja niiden osien tekniseen pitoaikaan vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti puupylväisiin ja niihin liittyviin ajankohtaisiin asioihin kiinnitetään huomiota, koska puupylväät määräävät monesti koko ilmajohtorakenteen uusimisajankohdan. Lisäksi suolakyllästeiselle puupylväälle esitetään yleinen rappeutumismalli ja jakelumuuntajan rappeutumistapahtumaa tutkitaan. Lopuksi tarkastellaan Graninge Kainuu Oy:tä jakeluverkonhaltijana sekä määritetään sen verkkovastuualueelle ominaisia komponenttien teknisiä ja teknistaloudellisia pitoaikoja haastattelujen, tuoreimpien lähteiden, tutkimustulosten, vertailun ja harkinnan avulla.

ABSTRACT

Author: Janne Laine
Title: Lifetimes of electricity distribution network components
Department: Department of Energy and Environmental Technology
Year: 2005
Place: Kajaani

Master's thesis. Lappeenranta University of Technology.

133 pages, 23 figures, 6 tables, 2 appendices.

Supervisors: Professor Jarmo Partanen and M.Sc. Paula Ala-Nojonen

Keywords: electricity distribution network, network components, lifetime, technical-economic, regulation, ageing, deterioration

Electricity distribution network companies in Finland operate in their geographical areas of responsibility as natural monopolies. Characteristics of these geographical areas of responsibility can vary in many ways. Compliance of network operation with the Electricity Market Act is supervised by the Energy Market Authority. The regulation model of the Energy Market Authority obliges network operators to define the most suitable technical-economic lifetimes for their network components, taking certain limitations into account. These lifetimes particularly affect the earnings potential of network operators and consequently the transmission prices of electricity. Furthermore, the quality of distributed electricity, network reliability, safety and environmental issues should be considered.

Mathematical modelling of the lifetimes is often complex. Therefore, the combination of technical and economic lifetime is often chosen based on experience and practical considerations. When selecting technical-economic lifetimes of network components, the most important boundary conditions are set by the rate of electricity consumption growth and infrastructure change. Under conditions of low rate of growth and change, technical-economic lifetimes converge with technical lifetimes which depend on the geographical and climatic characteristics of the area of responsibility. Company-specific network construction and maintenance methods must also be taken into account.

This thesis concentrates mainly in presenting an approach to the technical-economic lifetime of electricity distribution network components, especially considering the characteristics of the network and geographical area of responsibility. The lifetime of components in electricity distribution network is first defined in various ways and the significance of the concept under present conditions is described. The pricing reasonableness regulation model of 2005 by the Energy Market Authority and the role of technical-economic lifetime in it is studied. The middle chapters of this thesis concentrate in the factors affecting the technical lifetime of network components. Attention is particularly paid to wooden poles and associated topical issues, because the wooden pole is often the key factor when scheduling the renovation of an overhead line. An ageing model for a salt impregnated wooden pole is presented and the ageing process of a distribution transformer is studied. Finally, electricity distribution network operator Graninge Kainuu Ltd. is described, and technical and technical-economic lifetimes of network components characteristic to its area of responsibility are defined based on interviews, latest source material, findings of this thesis, comparisons and practical considerations.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Kajaanissa pääosin vuonna 2004 Graninge Kainuu Oy:n esittämästä aiheesta. Graninge Kainuu Oy:n edustajana työtäni on ohjannut ja tarkastanut yhtiön liiketoimintajohtaja, diplomi-insinööri Paula Ala-Nojonen. Lappeenrannan teknillisen yliopiston puolesta työni tarkastajana on toiminut professori Jarmo Partanen. Heille molemmille esitän parhaat kiitokset saamistani neuvoista ja ohjeista.

Haluan kiittää kaikkia muitakin työni edistymiseen vaikuttaneita henkilöitä hyvästä yhteistyöstä, ja erityisesti Graningelaisia heidän tarjoamastansa miellyttävästä työilmapiiristä.

Lämmin kiitos tuesta ja kannustuksesta myös vanhemmilleni, sisaruksilleni ja kaikille valmistumiseeni myötävaikuttaneille ystäville.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	PITOAIKA JA SEN MERKITYS SÄHKÖNJAKELUSSA.....	9
	2.1 Yleistä sähköjakelusta.....	9
	2.2 Pitoajan määritelmät.....	9
	2.2.1 Kirjanpidollinen pitoaika.....	9
	2.2.2 Tekninen pitoaika.....	10
	2.2.3 Taloudellinen pitoaika	10
	2.2.4 Teknistaloudellinen pitoaika	11
	2.3 Matemaattinen optimointi	12
	2.4 Pitoajan merkitys.....	14
	2.4.1 Verkonhaltijan tuottomahdollisuudet.....	14
	2.4.2 Sähkön laatu ja käyttövarmuus	15
	2.4.3 Verkkoasiakkaan siirtohintataso.....	16
	2.4.4 Ympäristö	17
	2.4.5 Turvallisuus.....	18
3	SÄHKÖNJAKELUVERKKOLIIKETOIMINNAN VALVONTA JA PITOAIKA SÄHKÖVERKON ARVONMÄÄRITYKSESSÄ	20
	3.1 Yleistä sähköverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnista	20
	3.2 Kohtuullinen tuotto	21
	3.3 Verkko-omaisuuden arvonmääritys kohtuullisen tuoton laskentaa varten valvontajaksolla 2005...2007.....	23
	3.3.1 Verkon jälleenhankinta-arvo valvontajakson ensimmäisenä vuonna.....	24
	3.3.2 Verkon nykykäyttöarvo valvontajakson ensimmäisenä vuonna.....	24
	3.3.3 Verkon nykykäyttöarvo jatkossa	26
	3.3.4 Tasapoistot.....	26
	3.3.5 Yhteenveto verkko-omaisuuden määrittämisestä valvontajaksolla 2005...2007	27
4	SÄHKÖNJAKELUVERKON KESKEISIMPIEN RAKENTEIDEN JA KOMONENTTIEN RAPPEUTUMINEN	29
	4.1 Puupylväät.....	30
	4.1.1 Pylväiden kyllästys Suomessa	31
	4.1.2 Lahotyypit	36
	4.1.3 Rappeutumismalli puupylväälle.....	38
	4.1.4 Kyllästeiden tulevaisuus.....	40
	4.2 Ilmajohdot ja kaapelit.....	43
	4.2.1 Ilmajohdinrakenteista	43

4.2.2	Tuulen aiheuttama ilmajohtojen värähtely	46
4.2.3	Maa- ja vesistökaapelirakenteista	49
4.2.4	Kaapelieristeiden rappeutuminen vaihtojännitteellä.....	50
4.2.5	Alumiinin korroosio ilmajohtimilla ja kaapeleilla.....	52
4.2.6	PAS-johtimien ongelmista.....	54
4.3	Jakelumuuntajat	54
4.3.1	Rasitukset	55
4.3.2	Öljyeriste.....	56
4.3.3	Paperieriste.....	56
4.3.4	Neste-eristeinen jakelumuuntaja.....	57
4.3.5	Kuivaeristeinen jakelumuuntaja	58
4.3.6	Jakelumuuntajan rappeutumisen tarkastelu	58
4.4	Tuki- ja riippueristimet.....	61
4.4.1	Lasieristimet.....	62
4.4.2	Keraamiset eristimet	63
4.4.3	Moniaine-eristimet.....	63
4.4.4	Valumuovieristimet	64
4.4.5	Osittaispurkaukset ja eroosio	65
4.5	Verkoston kunnossapito ja kehittäminen	65
5	GRANINGE KAINUU OY	68
5.1	Yhtiön historia	68
5.2	Verkoston ikä- ja määrätiedot.....	70
5.2.1	Aluesiirtojohdot.....	71
5.2.2	Sähköasemat	72
5.2.3	Keski- ja pienjännitejohdot.....	73
5.2.4	Jakelumuuntamot	77
5.2.5	Jakelumuuntajat.....	78
5.3	Investoinnit	79
5.3.1	Inflaatio ja korko.....	79
5.3.2	Graninge Kainuu Oy:n investoinnit.....	81
5.4	Sähkönkulutuksen ja infrastruktuurin kehittyminen.....	82
5.5	Verkkovastualueen muita ominaispiirteitä	84
5.5.1	Maantiede ja verkosto.....	84
5.5.2	Ilmasto ja verkosto	86
6	PITOAJAT GRANINGE KAINUU OY:N JAKELUVERKOSSA	89
6.1	Haastattelu.....	90
6.2	Muut lähteet	92
6.3	Taustaa verkkokomponenttien teknisiin ja teknistaloudellisiin pitoaikoihin vaikuttavista tekijöistä	93

6.4 Verkonrakennustarvikkeiden teknisiä pitoaikoja haastattelun ja eri lähteiden perusteella	94
6.4.1 Pylväät	94
6.4.2 Orret.....	96
6.4.3 Eristimet.....	97
6.4.4 Ylijännitesuojat	98
6.5 Teknitaloudellisten pitoaikojen arviointi kerätyn aineiston perusteella	99
6.5.1 Aluesiirtojohdot.....	99
6.5.2 Sähköasemat	101
6.5.3 Keskijännitejohdot	103
6.5.4 Pienjännitejohdot.....	108
6.5.5 Jakelumuuntamot ja -muuntajat	110
6.5.6 Erottimet ja erotinasemat	114
7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	117
8 YHTEENVETO	121
LÄHDELUETTELO.....	127

LIITTEET:

LIITE I VERKKOKOMPONENTIT, YKSIKKÖHINNAT JA TEKNISTALOUDELLISEN PITOAJAN VAIHTELUVÄLIT VUODELLE 2005 ENERGIAMARKKINAVIRASTON MUKAAN

LIITE II GRANINGE KAINUU OY:N VERKKOKOMPONENTTIEN PITOAIKOJA KOSKEVAN HAASTATTELUN TULOKSET SEKÄ TEKNISIÄ JA TEKNISTALOUDELLISIA PITOAIKOJA ERI LÄHTEIDEN PERUSTEELLA

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AB	aktiebolag, osakeyhtiö
as	asiakasta
CCA	Chromated Copper Arsenate, kromista, kuparista ja arseenista koostuva suolakylläste, jota käytetään puun lahontorjuntaan
CEN	European Committee for Standardization, Euroopan standardointikomitea
DP	Degree of Polymeration, polymeroitumisaste
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer, eteenipropeeni
EPR	Ethylene Propylene Rubber, eteenipropeenikumi
EU	Euroopan Unioni
FG	Fingrid Oyj
GGK	Graninge Kainuu Oy
GIS	Gas Insulated System, kaasueristeinen kojeisto
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen standardoimisjärjestö
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, amerikkalainen standardoimisjärjestö
JHA	Jälleenhankinta-arvo
KAVO	Kainuun Voima Oy
kpl	kappaletta
NKA	nykykäyttöarvo
NTR	Nordiska Träskyddsrådet, Pohjoismainen puunsuojaneuvosto
OK	operatiiviset kustannukset
Oy	osakeyhtiö
Oyj	julkinen osakeyhtiö
PE	Polyethylene, polyeteeni
PEX	ristisilloitettu polyeteeni
PTFE	Polytetrafluoroethylene, polytetrafluorieteeni, teflon
PVC	Polyvinyl Chloride, polyvinylikloridi
ry	rekisteröity yhdistys
TUKES	Turvatekniikan keskus
UV	ultravioletti

WACC	Weighted Average Cost of Capital, pääoman painotettu keskikustannus
XLPE	ristisilloitettu polyeteeni

JOHDINTYYYPIT

AMKA	pienjänniteriippukierrekaapeli
AMKK	pienjänniteriippukierrekaapeli
Bantam	keskijänniteavojohdin
Fersemal	keskijänniteavojohdin
PAS	päällystetty keskijänniteavojohdin
Pigeon	keskijänniteavojohdin
Raven	keskijänniteavojohdin
SAMKA	keskijänniteriippukierrekaapeli
SAXKA	PEX-eristeinen keskijänniteriippukierrekaapeli
Sparrow	keskijänniteavojohdin

1 JOHDANTO

Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan muodostamilla yhteispohjoismaisilla sähkömarkkinoilla kilpailu on vapaata. Kuluttajilla on vapaus valita, keneltä he ostavat sähkönsä. Tuottajilla on mahdollisuus rakentaa uutta kapasiteettia muihin maihin tai ostaa jo olemassa olevaa kapasiteettia muualta. Päälekkäisten kilpailevien sähköverkkojen rakentaminen sähkön siirtoa ja jakelua varten ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista. Kullakin alueella toimii ainoastaan yksi jakeluverkkoyhtiö, joka on velvollinen liittämään alueella toimivat sähkön tuottajat ja käyttäjät verkkoonsa ja siirtämään sähköä. Jakeluverkonhaltijoiden verkkojen ja verkkovastuualuiden ominaispiirteet voivat olla hyvin erilaiset.

Jakeluverkkotoimintaa valvovina viranomaisina ovat Suomessa Energiamarkkinavirasto ja Turvatekniikan keskus TUKES. Jakeluverkkoyhtiöiden kohdalla valvoo Energiamarkkinavirasto sähkömarkkinalain ja TUKES sähköturvallisuuslain noudattamista. Energiamarkkinavirasto arvioi sähköverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuutta verkkotoiminnan oikaistun tuloksen, investointien ja toimintaan sitoutuneen pääoman perusteella. Energiamarkkinaviraston vuonna 2005 käyttöönottamassa uudessa hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamallissa tarvitaan teknistaloudellista pitoaikaa aluksi paitsi verkoston lähtötason nykykäyttöarvon määrittämisessä, niin myös verkosta tehtävien tasapoistojen laskemisessa. Jatkossa verkon nykykäyttöarvo määritetään tehtyjen laajennus- ja korvausinvestointien sekä tasapoistojen perusteella, jolloin teknistaloudellinen pitoaika vaikuttaa verkonhaltijan tuottomahdollisuuksiin lähinnä tasapoistojen kautta. Verkkomaisuuden jälleenhankinta-arvon ja edelleen nykykäyttöarvon sekä tasapoistojen laskemista varten on Energiamarkkinavirasto eritellyt verkonhaltijoiden verkonrakennuksen perustarvikkeet liitteen I mukaisiksi kustannuseriksi eli verkkokomponenteiksi. Verkonhaltijat on veloitettu Energiamarkkinaviraston valvontamallin kautta määrittämään itse tiettyjen rajoitusten mukaisesti verkkokomponenteillensa verkkovastuualueen ominaispiirteiden puitteissa sopivimmat teknistaloudelliset pitoajat. Teknistaloudellisella pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka jokin komponentti todellisuudessa saa olla verkossa.

Yksinkertainenkin pitoaikojen mallintaminen matemaattisesti on hyvin monimutkaista. Tästä syystä kannattaakin teknistaloudellisten pitoaikojen valintaan käyttää muita menetelmiä. Teknistaloudellisten pitoaikojen valinnalle tärkeimmät reunaehdot määräytyvät verkonhaltijan verkkovastuualueen sähkönkulutuksen ja infrastruktuurin muutosnopeuksien perusteella. Kuitenkin, jotta teknistaloudellisten pitoaikojen suuruusluokka selviäisi, täytyy verkkokomponenttien ja niitä muodostavien osien käytön aiheuttamaan kulumiseen johtavat syyt ja tekijät ymmärtää. Lisäksi verkon rakennus- ja ylläpitomenetelmät voivat vaihdella yhtiöittäin hyvinkin paljon. Nykyisiin verkkotietojärjestelmiin sisällytettyjen kunnonhallintajärjestelmien avulla muodostettujen rappeutumismallien kautta voitaisiin esimerkiksi verkkokomponenttien sopivimpia vaihtoajankohtia ennustaa usein hyvinkin tarkasti. Kuitenkin luotettavien mallien muodostamiseen tarvittava aineisto on monesti vielä riittämätön, koska se vaatii kuntotietojen ja yleensäkin materiaalin useiden vuosien seurannan. Toisaalta komponenttien tekniset ominaisuudet ovat vuosikymmenien aikana muuttuneet suuresti, jolloin kokemuksia nykyisin asennettavien komponenttien todellisesta kestästä käytössä on suhteellisen vähän. Tulevaisuudessa verkosta purkautuvan materiaalin pitoaikojen seurannalla on yhä tärkeämpi merkitys pitoaikojen määrittämisen kannalta. Yleensä verkkokomponenttien käytön aiheuttamaa kulumista hidastavina tai nopeuttavina tekijöinä ovat verkkovastuualueen maantieteelliset ja ilmastolliset ominaispiirteet.

Graninge Kainuu Oy on laajalla verkkovastuualueella toimiva maaseutujakeluverkkoyhtiö. Tämä diplomityö on tehty Graninge Kainuu Oy:lle yhtiön verkkokomponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen määrittämistä varten. Tämän työn tavoitteina on selvittää verkoston pitoaikaa eri näkökulmista, tutkia sähkönjakeluverkon komponenttien vanhenemiseen ja rappeutumiseen johtavia tekijöitä sekä etsiä Graninge Kainuu Oy:lle sen verkkovastuualueen ominaispiirteiden puitteissa sopivia teknisiä ja teknistaloudellisia pitoaikoja.

Aluksi työssä määritellään kirjanpidollinen, tekninen, taloudellinen ja teknistaloudellinen pitoaika, sekä selvitetään pitoajan merkitystä nykytilanteessa useista eri näkökulmista. Lisäksi työn alkuosassa esitellään Energiamarkkinaviraston vuoden 2005 alusta käyttöön otettu jakeluverkkoliiketoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamalli ja käydään läpi teknistaloudellisen pitoajan merkitys siinä. Sen jälkeen

tässä diplomityössä paneudutaan keskeisimpien jakeluverkkokomponenttien ja niiden osien tekniseen pitoaikaan vaikuttaviin tekijöihin. Erityisesti puupylväiden rappeutumista ja ajankohtaisia asioita tutkitaan tässä yhteydessä. Puupylväälle esitetään yleinen rappeutumismalli sekä myöskin jakelumuuntajan rappeutumistapahtumaa havainnollistetaan. Työn loppuosassa esitellään Graninge Kainuu Oy jakeluverkonhaltijana, tutkitaan yhtiön historiaa ja selvitetään sen nykyisen jakeluverkoston ikä- ja määrätiedot. Lopuksi tarkastellaan myös Graninge Kainuu Oy:n investointeja, verkon ja verkkovastuualueen ominaispiirteitä sekä pyritään löytämään yhtiölle sen toimintaolosuhteiden puitteissa ominaisia teknisiä ja teknistaloudellisia pitoaikoja haastattelujen, tuoreimpien lähteiden, tutkimustulosten, vertailun ja harkinnan avulla.

2 PITOAIKA JA SEN MERKITYS SÄHKÖNJAKELUSSA

Pitoajalla on monta erilaista määritelmää riippuen sen käyttötarkoituksesta. Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnassa tarvitaan nykyisin varsinkin teknistaloudellista pitoaikaa. Sähkönjakeluverkon komponenttien pitoajat vaikuttavat välillisesti tai välittömästi monella eri tavalla verkonhaltijaan, asiakkaisiin ja muuhun ympäröivään maailmaan. Verkkoyhtiön kohdalla verkkokomponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen valinnan oikeellisuudella on suuri merkitys toiminnan kannattavuuden ja tulevaisuuden kannalta.

2.1 Yleistä sähkönjakelusta

Suomen sähköverkko koostuu valtakunnallisesta 110...400 kV:n kantaverkosta, erillisistä 110 kV:n alueverkoista sekä paikallisten sähköyhtiöiden hallitsemista 0,4...70 kV:n jakeluverkoista. Verkkopalveluita myyviä sähköyhtiöitä kutsutaan yhtiön hallitseman verkon perusteella kanta-, alue- tai jakeluverkonhaltijoiksi (EMV 2004a). Osalla jakeluverkonhaltijoista on hallinnassaan myös 110 kV:n tai 45 kV:n aluesiirtoverkkoa, joka useissa yhteyksissä katsotaan kuuluvaksi jakeluverkkoon. Suomessa vuonna 2004 toimivia jakeluverkonhaltijoita oli 91 kappaletta ja kanta- sekä alueverkonhaltijoita 14 kappaletta (EMV 2004a). Jakeluverkko jaetaan karkeasti sen jännitetaso perusteella keskijänniteverkoksi ja pienjänniteverkoksi. Keskijännitteellä voidaan tarkoittaa 6...70 kV:n jännitetasoja, mutta nykyisin käytössä on lähinnä 10...20 kV:n jännitetasot. Pienjännitetaso on tyypillisesti 0,4 kV. Verkko tarkoittaa erilaisten sähkönjakeluun tarvittavien rakenteiden ja laitteiden muodostamaa kokonaisuutta. Johdosta puhuttaessa tällä tarkoitetaan koko johtorakennetta, mihin kuuluu varsinaisten johtimien lisäksi aina muita oheisia osia.

2.2 Pitoajan määritelmät

Pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaväliä alkuhetkestä loppuhetkeen, jonka kuluttua laite uusitaan. Pelkkä pitoaika sellaisenaan on harkinnanvarainen suure, joka ei riipu laitteen tai laitteiston kunnosta.

2.2.1 Kirjanpidollinen pitoaika

Kirjanpidossa käytetyistä poistoajoista johdetuilla pitoajoilla ei käytännössä ole kovin merkittävää yhteyttä verkostokomponenttien teknistaloudellisiin pitoaikoihin.

Kirjanpidollisissa poistoissa valitaan verotuksellinen tai suunnitelmallinen poistoaika. Jos suunnitelmassa pysytään, käyttöomaisuus on poistettu eli kuoletettu suunnitellun ajan jälkeen kokonaan.

Usein kirjanpidollinen poistoaika määritetään niin, että väliin jää vielä varmuusaika, ennen kuin käyttöomaisuus on todella romutettava. Tästä syystä monissa yrityksissä on koneita ja yleensäkin käyttöomaisuutta, jotka on poistettu kokonaan vaikka niitä käytetäänkin yhä tuotannossa. Tämä johtaa tilanteeseen, että toiminnan kulut vaikuttavat paljon halvemmilta kuin aikaisemmin, koska enää ei ole poistettavaa eikä korkoja tarvitse ottaa huomioon. Tuotannossa käytetyille koneille ja laitteille lasketaan luonnollisesti jokin arvo. Koska jollakin komponentilla on arvo, on tälle arvolle myöskin laskettava korkoa. Ellei lasketun arvon lisäksi odoteta säilyvän ikuisesti, sitä on myöskin poistettava. Ellei näin tehdä, voidaan hintoja pitää liian alhaisina, koska kustannuksia jätetään huomiotta (Bergstrand 1997).

2.2.2 Tekninen pitoaika

Teknisellä pitoajalla tarkoitetaan yleisesti käyttöomaisuushyödykkeen teknistä käyttöikä. Tässä työssä teknisellä pitoajalla tarkoitetaan joko verkkokomponenttien tai verkkokomponentteja muodostavien osien teknistä käyttöikä. Kirjallisuudessa puhutaan joissakin yhteyksissä myös teknisestä elinkaaresta tai teknisestä eliniästä tarkoitettaessa teknistä pitoaika. Sähköverkkokomponentin tekninen pitoaika määräytyy sen ominaisuuksien perusteella, eli kyseessä on siis se kokonaisaika, jolloin komponenttiryhmä, komponentti tai komponentin osa toimii suunnitellun mukaisesti. Käytöstä johtuvan kulumisen aiheuttama vanheneminen johtaa lopulta teknisen pitoajan päättymiseen.

2.2.3 Taloudellinen pitoaika

Kirjanpitoa koskevassa lainsäädännössä taloudellisella pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaväliä, jona käyttöomaisuuden ennakoidaan hyödyntävän kirjanpitovelvollista tuloa tuottamalla. Kirjallisuudessa taloudellisella pitoajalla on joissakin yhteyksissä myös toinen hieman ristiriitainen merkitys, eli sitä käytetään kuvaamaan kirjanpidollista poistoaikaa (LTKK 2002). Käytännössä taloudellinen pitoaika loppuu usein olosuhteiden muutoksista aiheutuvan vanhenemisen seurauksena. Olosuhteiden muutoksilla ei tässä tarkoiteta tekniseen pitoaikaan vaikuttavia tekijöitä kuten ilmasto.

Sähköverkkoliiketoiminnan ja verkkokomponenttien taloudellisen pitoajan kannalta olosuhteiden muutokset voivat tarkoittaa esimerkiksi parempien teknisten ratkaisujen ilmestymistä markkinoille.

2.2.4 Teknitaloudellinen pitoaika

Teknitaloudellista pitoaikaa käytetään usein vertailtaessa laitteiden edullisuutta tai kannattavuutta. Teknitaloudellinen pitoaika on pitkälti harkinnanvarainen suure, koska siinä yhdistyvät toisistaan suuresti eroavat tekninen ja taloudellinen pitoaika. Teknitaloudellinen pitoaika on yleensä lyhyempi kuin tekninen pitoaika, mutta toisaalta pitempi kuin kirjanpidossa käytetyistä poistoajoista johdettavat taloudelliset pitoajat.

Verkostokomponenttien teknitaloudelliset pitoajat kuvaavat aikaa, jonka jälkeen verkossa olevat komponentit keskimäärin tulevat uusituiksi. Esimerkiksi verkonhaltijan kannalta teknitaloudellisten pitoaikojen oikeellisuudella on suuri merkitys, koska nämä pitoajat vaikuttavat verkonhaltijoiden viranomaisvalvonnan kautta verkon nykykäyttöarvon kehittymiseen ja verkkoliiketoiminnan sallittuun tuottoon. Teknitaloudellisten pitoaikojen määrittelyssä on verkkoyhtiön otettava huomioon monia verkkovastuualueen ominaispiirteistä johtuvia tekijöitä. Keskeisimmät reunaehdot määräytyvät toimialueen sähkönkulutuksen kasvun ja infrastruktuurin kehityksen mukaan.

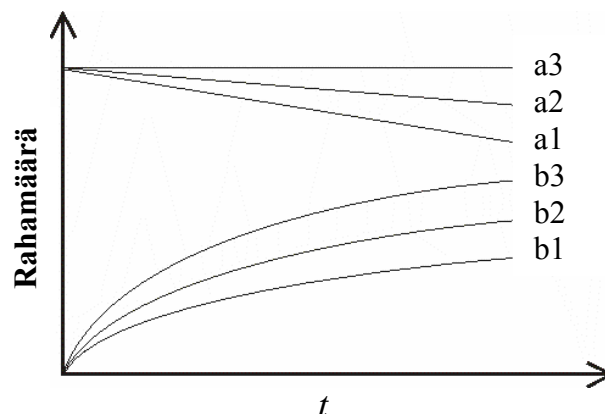
Voimakkaan kasvun alueilla teknitaloudelliset pitoajat ovat usein huomattavasti lyhyempiä kuin tekniset pitoajat, koska komponentteja joudutaan uusimaan muista syistä kuin teknisen käyttöiän loppumisen takia. Esimerkiksi kapasiteetin loppuminen ja häviöiden voimakas kasvu voivat johtaa komponenttien aikaiseen vaihtamiseen. Lisäksi kasvualueille on ominaista se, että johtoja joudutaan rakentamaan myös kaavoittamattomille alueille. Kun kaava on valmistunut, joudutaan johto mahdollisesti purkamaan vain muutamia vuosia rakentamisen jälkeen. Sähkönkulutuksen kasvun pysyessä ennallaan tai kasvaessa vain hitaasti lähestyvät verkostokomponenttien teknitaloudelliset pitoajat komponenttien teknisiä pitoaikoja. Komponentteja on toisin sanoen taloudellisesti kannattavaa pitää verkossa niin kauan kuin ne siellä kestävät (LTKK 2002).

2.3 Matemaattinen optimointi

Kone tai muu tuotantoväline luonnollisesti vanhenee ja on joskus kokonaan poistettava käytöstä. Vanhenemisen syyt voidaan karkeasti jakaa käytöstä johtuvasta kulumisesta aiheutuvaan vanhenemiseen ja erilaisista olosuhteiden muutoksista aiheutuvaan vanhenemiseen. Jatkuvin korjauksin on kulumisesta aiheutuva vanheneminen teknillisesti jopa täysin mahdollista eliminoida ja pitää kone tuotantokykyisenä melkein rajattomiin. Olosuhteiden muutoksen kautta vanhentunut kone voi olla vielä hyvinkin tuotantokykyinen, kun markkinoille ilmestyy uusia koneita, joiden käyttökustannukset ovat ratkaisevasti niin paljon pienemmät, että vanha kannattaa romuttaa ja hankkia uusi.

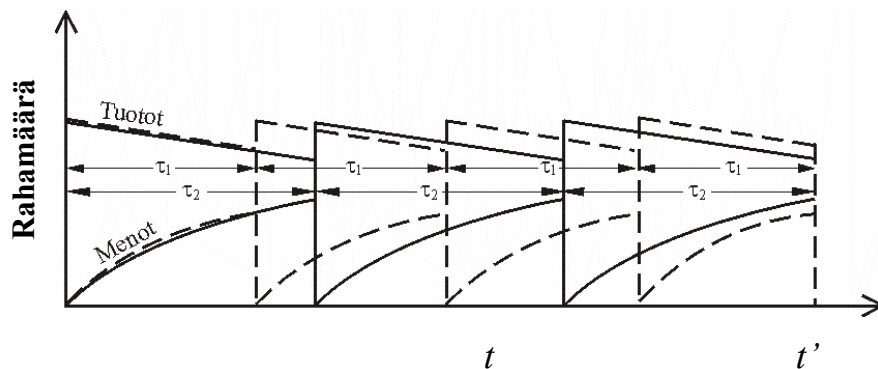
Yleistä tarkkaa edullisimman pitoajan yhtälöä ei voida koskaan esittää. Pitoaika määrätään yleensä erillisin laskelmin ja osittain harkinnan sekä kokemuksen avulla. Matemaattinen pitoajan määrääminen on erittäin monimutkainen asia. Tämä johtuu siitä, että muuttujia on paljon ja monet muuttujista ovat tuntemattomia.

Pitoajan kasvaessa kunnossapito- ja käyttökustannuksilla on taipumus kasvaa samalla, kun saavutukset laskevat eli tuotot pienenevät. Kuvassa 2.1 käyrä b1 kuvaa koneen kunnossapitokustannuksia, kun sen tuottokyvyn annetaan laskea käyrän a1 mukaisesti. Käyrä b3 kuvaa kustannuksia, kun tuottokyky pidetään uuden veroisena käyrän a3 mukaisesti (Tapaninen 1972).



Kuva 2.1. Koneen kunnossapitokustannukset ajan funktiona erilaisilla tuottoasteilla: a =tuottoa, b =kustannuksia, t =aika.

Kun tehdään oletamus, että toisen samanlaisen koneen on korvattava aikanaan edellinen, päästään vertailemaan eri pitkillä pitoajoilla saavutettavia nettotuloksia. Jos kone vaihdetaan hyvin usein uuteen, ei kokonaistulos voi pitkältä kaudelta olla edullisin. Ei varmasti ole myöskään kannattavaa jatkaa saman koneen käyttämistä jatkuvilla korjauksilla loputtomiin. Jossain välillä on edullisin tulos. Kuvassa 2.2 on esitetty tulo- ja menokäyrät kahdella eri pitkillä pitoajalla τ_1 ja τ_2 kaudelta t' , kun koneen tuottokyvyn annetaan laskea tietyllä tavalla (Tapaninen 1972).



Kuva 2.2. Koneen tuotto- ja menokäyrät kaudelta t' kahdella eri pitoajalla τ_1 ja τ_2 , kun tuottokyvyn annetaan alentua tietyllä tavalla. t =aika.

Jos tuotto- ja menokäyrät noudattavat jotakin tiettyä funktiota, voidaan matemaattisesti laskea edullisin pitoaika. Laskeminen tulee jo hyvin monimutkaiseksi, jos tuottokyvyn erilaiset muuttumistapaukset otetaan huomioon. Kun käytännössä tulo- ja menofunktiot tulevat poikkeamaan hyvin paljon oletetuista, voidaan katsoa, että matemaattisella pitoajan optimoinnilla on vähäinen merkitys (Tapaninen 1972).

Edellä olevassa tarkastelussa ei oteta olleenkaan olosuhteiden muutoksista aiheutuvaa vanhenemista huomioon. Varsinkin sähköalalla itse käytön aiheuttaman kulumisen aikaansaama vanheneminen on hidasta. Olosuhteiden muutoksista aiheutuva vanheneminen on hyvin usein paljon nopeampaa. Pitoajan matemaattisen optimoinnin vaikeudesta johtuen kannattaa esimerkiksi teknistaloudellinen pitoaika valita usein kokemuksen ja harkinnan perusteella.

2.4 Pitoajan merkitys

Sähköverkkotoiminnan alalla verkonhaltijat on veloitettu määrittämään itse tiettyjen rajoitusten mukaisesti verkostolleen sopivimmat teknistaloudelliset pitoajat. Valittavilla pitoajoilla on monta välillistä ja välitöntä vaikutusta varsinkin verkkoyhtiölle ja sen asiakkaille. Vaikutukset kohdistuvat lähinnä verkonhaltijan tuottomahdollisuuksiin, sähkön laatuun ja käyttövarmuuteen, verkkoasiakkaan siirtohintatasoon, ympäristöön sekä turvallisuuteen.

2.4.1 Verkonhaltijan tuottomahdollisuudet

Sähkömarkkinoita säädellään vuonna 1995 voimaan tulleella sähkömarkkinalailla sekä sen nojalla annetuilla säädöksillä. Aikaisemmin Sähkömarkkinakeskuksena tunnetun Energiamarkkinaviraston tehtävänä on valvoa sähkömarkkinalainsäädännön noudattamista sekä edistää kilpailulle perustuvien sähkö- ja maakaasumarkkinoiden toimintaa. Energiamarkkinavirasto on kauppa- ja teollisuusministeriön alainen itsenäinen keskusvirasto.

Sähkömarkkinalain 14 §:n 2 momentin mukaan sähköverkkopalveluiden hinnoittelun on oltava kohtuullista. Hallituksen esityksessä sähkömarkkinalaiksi ja siihen sisältyvissä yksityiskohtaisissa perusteluissa on todettu, että monopoliasemassa olevalta verkkotoiminnalta tulee edellyttää hinnoittelun kohtuullisuutta. Peruseriaatteena on, että hinnoittelun tulisi vastata toiminnan kustannuksia. Toisaalta perusteluissa on todettu, että hinnoittelun tulisi turvata riittävä tulo-rahoitus ja vakavaraisuus. Tulot saisivat kattaa verkon ylläpidon, käytön ja rakentamisen kohtuulliset kustannukset sekä antaa sitoutuneelle pääomalle kohtuulliseksi katsottavan tuoton (EMV 2004b).

Kun erilaisin menetelmin määritetään sähköverkon nykykäyttöarvoa ja verkostoinvestointien poistoja, on verkostokomponenttien teknistaloudellisilla pitoajoilla suuri ohjaava vaikutus. Komponenttien teknistaloudellinen pitoaika vaikuttaa suoraan verkon nykykäyttöarvoon, joka puolestaan on keskeisenä suureena kohtuullista tuottoa laskettaessa.

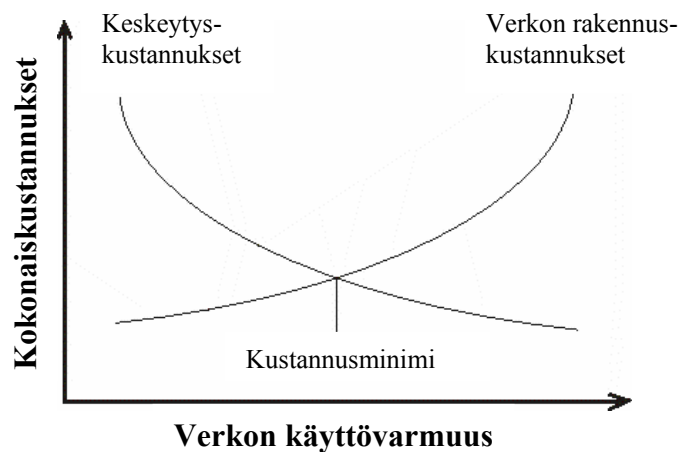
2.4.2 Sähkön laatu ja käyttövarmuus

Sähköverkkotoimintaan vaaditaan sähkömarkkinalain mukaisesti verkkolupa, jonka Energiamarkkinavirasto myöntää. Verkonhaltijoita koskevat verkon ylläpito- ja kehittämisvelvollisuus, sähkönkäyttöpaikkojen ja tuotantolaitosten liittämismvelvollisuus sekä sähkön siirtovelvollisuus. Verkonhaltijoiden vastuulla on sähköverkoston kunto ja asiakkaille toimitettavan sähkön laatu.

Sähkön laatua ja käyttövarmuutta voidaan parantaa lähes loputtomiin verkkoon tehtävillä investoinneilla. Panostamalla esimerkiksi maasulkuvirtojen kompensointiin, ylijännitesuojaukseen, verkon eläinsuojaukseen ja maakaapelien sekä päällystettyjen avojohtojen käyttöön saavutetaan merkittäviä parannuksia. Kunnossapidon ja huollon määrällä on myöskin suuri vaikutus jaettavan sähkön laatuun ja verkon käyttövarmuuteen. Lisäksi erotinasemien kauko-ohjauksella, erillisillä katkaisijaseimilla, tarkemmalla vianpaikannuslaskennalla ja vianilmaisimien käytöllä tehostetaan toimintaa.

Verkkoon tehtävien toimenpiteiden ja investointien määrä on vahvasti riippuvainen toimintaolosuhteista. Suuret etäisyydet ja lumikuormat lisäävät sähkönjakelun häiriöalttiutta ja vikaantuminen taas usein lyhentää verkkokomponenttien teknistä pitoaikaa. Liiallinen investointi verkostoon johtaa kuitenkin siihen, että saatava hyöty ei enää kata kustannuksia.

Verkon käyttövarmuuden optimointi on teknistaloudellinen kysymys. Jakeluverkon varmuudelle löydetään oikea taso, kun verkonhaltijalle aiheutuneiden rakennus- ja korjauskustannusten sekä asiakkaiden kokemien keskeytyksien aiheuttamien kustannusten summa saavuttaa minimiarvonsa. Sähkön toimitusvarmuuden optimin määrittäminen etsimällä kokonaiskustannusten minimi on esitetty kuvassa 2.3.



Kuva 2.3. Verkon kokonaiskustannusten minimi.

Toisaalta verkkokomponenttien ikääntyessä niiden keskimääräinen vikaantumisherkkyys todennäköisesti kasvaa, jolloin sähkön laatu ja verkon käyttövarmuus laskevat. Verkonhaltijoita sitoo korvausvelvollisuus sähkön toimituksen keskeytymisestä ja vikojen paikantaminen sekä korjaus on kallista. Pitkät keskeytysajat rasittavat yhtiötä taloudellisesti ja syövät toiminnan imagoa. Asiakkaan näkökulmasta keskeytyksillä on paitsi taloudellista haittaa, niin myöskin elämänlaatu heikkenee.

2.4.3 Verkkoasiakkaan siirtohintataso

Sähkömarkkinalain mukaan jakeluverkonhaltijan hakemaan verkkolupaan liittyy maantieteellinen vastuualue, jolla jakeluverkonhaltijalla on yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoa. Asiakkaan siirtohintojen suuruuteen ei saa vaikuttaa sijainti jakeluverkonhaltijan vastuualueella. Siirtohintaan ei saa myöskään vaikuttaa, keneltä sähkönmyyjältä asiakas sähkönsä ostaa.

Eri sähköverkonhaltijoiden välillä sähkön siirtopalveluiden hinnat eroavat toisistaan, mutta asiakkaat eivät voi kilpailuttaa eri verkonhaltijoita. Siirtomaksu määräytyy lähinnä asiakkaalle toimitetun sähköenergian määrän, tehontarpeen sekä asiakkaan liittymän jännitetaso perusteella. Lisäksi sähkön siirtohinnat laaditaan yleisesti siten, että siirtohinnoilla saadaan kerätyksi rahaa riittävästi kattamaan sähkön siirron vuotuiset operatiiviset kulut ja pääomamenot sekä kohtuullinen tuotto, ja näin pystytään huolehtimaan laissa mainitusta verkon kehittämisvelvollisuudesta.

Verkkoyhtiön valitessa verkkokomponenteillaan lyhyet teknistaloudelliset pitoajat tarkoittaa tämä samalla korkeaa investointitasoa, jos verkon nykykäyttöarvo halutaan säilyttää. Lisäinvestoinnit näkyvät kuitenkin suoraan asiakkaiden siirtohintojen korotuksena, jolloin ovat vaarassa sekä asiakastyytyväisyys että yhtiön imago. Pitkät teknistaloudelliset pitoajat mahdollistavat matalamman investointitason ja maltillisen hinnoittelun. Pitoaikojen loppupuolella ongelmia aiheuttavat kuitenkin lisääntyneet viat ja keskeytykset, mikä voi vaikuttaa suoraan yhtiön tulokseen. Asiaan keskitytään tarkemmin luvussa 3.3.

2.4.4 Ympäristö

Sähköverkon näkyvimmat osat ovat ilmajohtorakenteet ja jakelumuuntamot. Esimerkiksi lähteen (EMV 2002) mukaan koko Suomen 6...70 kV sähköverkon kaapelointiaste vuonna 2002 oli noin 7,4 % eli siis keskijänniteverkko on suurilta osin ilmajohtoja. Tämä johtuu osaksi siitä, että sähköverkon rakentaminen varsinkin maaseudulla ilmajohtoin on tähän mennessä ollut ja on edelleenkin halvempi vaihtoehto kuin maakaapeli.

Verkoston suunnittelulla on suuri merkitys verkkokomponenttien ympäristövaikutusten kannalta. Lyhyemmällä pitoajoilla verkon uusiutuminen on nopeaa, mikä verkostosuunnittelun on kyettävä huomioimaan. Nopeaan tahtiin tehtävästä uusrakentamisesta aiheutuu ympäristölle monia haittoja. Maisemaa joudutaan muokkaamaan kaivamalla ja uusia johtokatuja raivaamalla. Monesti hätiköiden tehtyjä johto-osia joudutaan purkamaan. Lisäksi rakentamisen aiheuttama liikenne sekä meluhaitat lisääntyvät.

Ympäristöä voidaan säästää tuottamalla mahdollisimman vähän kierrätyskelvotonta ongelmajätettä. Tällä hetkellä esimerkiksi ilmajohtolinjan puupylväät luetaan kierrätyskelvottomaksi ongelmajätteeksi niiden sisältämän kyllästysaineen takia. Kyllästettyjen puupylväiden polttolaitokset ovat vasta kehitysasteella. Myöskin muuntajien eristeöljy sekä eräissä muissa sähköverkon komponenteissa käytettävät yhdisteet ovat ympäristölle erittäin haitallisia. Maakaapelit voivat ehkä maisemallisesti ja käyttövarmuuden kannalta olla parempia verrattuna ilmajohtoihin. Kuitenkin vanhat

ilmajohtorakenteet puretaan täysin pois maastosta, kun taas käytöstä poistetut maakaapelit jäävät useimmiten maahan.

Pitkillä pitoajoilla tuotetaan siis ainakin vähemmän kierrätyskelvotonta jätettä ja muutenkin vältetään turhaa energiavarojen tuhlausta. Toisaalta teknisesti vanhentuneiden komponenttien suorituskyky iän myötä laskee, huoltokustannukset lisääntyvät ja todennäköinen vikaantumisriski uuteen tekniikkaan verrattuna kasvaa. Myöskin maisemallisesti huonosti sijoitetun verkon haitta kasvaa pitoajan myötä. Lisäksi vanhentuneet verkkokomponentit erottuvat muusta uusiutuvasta ympäristöstä selvästi. Ympäristönäkökulmasta huollon ja kunnossapidon merkitys pitkien pitoaikojen myötä korostuu. Suunnittelun kannalta esimerkiksi ympäristölain, metsälain ja rakennuslain muutosten ennakoiminen pitkällä aikavälillä on hankalaa.

2.4.5 Turvallisuus

Sähköalan töitä saavat tehdä ainoastaan sähköalan ammattilaiset, joilla on riittävä pätevyys ja jotka ovat ilmoittaneet toiminnastaan Turvatekniikan keskukselle, TUKES:ille. TUKES on 1995 perustettu virasto, joka toimii kauppa- ja teollisuusministeriön hallinnonalalla. Perusvaatimukset sähköalan töille, laitteistojen käytölle, huollolle ja kunnossapidolle, sähkötarkastuksille ja muille vastaaville on annettu sähköturvallisuussäädöksissä ja TUKES-ohjeissa. Tekniset ratkaisut ja ohjeet on määritelty sähköalan standardeissa.

TUKES valvoo sähkölaitteistojen turvallisuutta sekä niiden asentamista, käyttöä ja tarkastamista, ylläpitää rekisteriä sähköurakoitsijoista ja huolehtii turvallisuustutkintojen järjestämisestä (TUKES 2004a). Verkonhaltijoiden sähköjakeluverkot tarkastetaan voimassa olevien turvallisuusmääräysten osalta Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 517/1996 mukaisesti viiden vuoden välein. Nykyisin sovellettava sähköturvallisuuslaki on vuodelta 1996.

TUKES:in mukaan vuosina 1980...2003 sattui 117 kuolemaan johtanutta sähkötapaturmaa. 74 näistä tapahtui alle 1000 voltin pienjännitteellä ja 43 yli 1000 voltin suurjännitteellä. Suurjännitetapaturmista 6 liittyi 110 kV avojohtoon, 19 liittyi 20 kV avojohtoon, 7 liittyi muuntamoihin, 6 liittyi junaratoihin ja 5 liittyi muihin kuin

edellä mainittuihin. Kaiken kaikkiaan kuolemaan johtaneista sähkötapaturmista vuosina 1980...2003 sattui 21 ammattilaisille ja 96 maallikoille (TUKES 2004b).

Yleensäkin sähkötapaturmia tapahtuu niin ammattilaisille kuin maallikoillekin. Esimerkiksi vuoden 2003 kaikki 49 sähkötapaturmaa jakautuivat tasan ammattilaisten ja maallikoiden kesken. Vuonna 2003 siirto- ja jakeluverkostoon liittyneiden sähkötapaturmien 38 % osuus oli suurin. Eniten onnettomuuksia tapahtui ilmajohtojen yhteydessä. Vuonna 2003 sattui kuolemaan johtaneita sähkötapaturmia 4, joista esimerkkinä pylväaseen kiivennyt sähköasentaja, joka joutui kosketuksiin vanhan avojohdon jännitteisten johtimien kanssa (TUKES 2004c).

Sähköverkon hyvällä huollolla ja kunnossapidolla on yhteys matalaan tapaturmataajuuteen. Myöskin koneiden ja laitteiden asianmukaiset turvalaitteet vähentävät tapaturmariskiä. Sähköverkon komponentin vaihtoperusteena on useimmiten juuri sen iän myötä lisääntynyt turvallisuusriski. Jakeluverkkojen turvallisuuden merkitys korostuu erityisesti siksi, että ne sijaitsevat laajasti muun yhteiskuntatekniikan keskellä.

Lisäksi nyky-yhteiskunta on tuonut tullessaan uusia työturvallisuuden kannalta kriittisiä ongelmia. Teknologian edistyessä nopeasti yritysten johtamiskulttuuri sekä lainsäädäntö eivät pysy tekniikan kehityksessä mukana. Laitteiden monimutkaistuesssa suurempien häiriöiden todennäköisyys kasvaa. Informaatio- ja kommunikaatioteknologian kehittyessä järjestelmiä integroidaan toisiinsa. Yhdellä väärällä päätöksellä voi olla kauaskantoiset seuraukset. Myöskin nyky-yhteiskunnan aggressiivinen ja kilpailuhenkinen työympäristö johtaa siihen, että päätöksentekijöiden on keskityttävä lyhyen tähtäimen taloudellisiin ja muihin ongelmiin. Pitkän aikavälin kehityksen huomioimiseen ei ole resursseja (Rasmussen 1997).

3 SÄHKÖNJAKELUVERKKOLIIKETOIMINNAN VALVONTA JA PITOAIKA SÄHKÖVERKON ARVONMÄÄRITYKSESSÄ

Suomessa sähkö- ja kaasuverkkolupien myöntäminen, sähkömarkkinalain ja kaasumarkkinalain noudattamisen sekä sähkön siirron monopolihinnoittelun valvonta kuuluvat Energiamarkkinavirastolle. Suomen verkkoliiketoiminnan valvonta keskittyy hinnoittelun kohtuullisuuden ja toiminnan tehokkuuden arviointiin. Energiamarkkinaviraston tehtäviin sähkömarkkinalain 386/1995 mukaisesti kuuluu valvoa myöskin sähköjakeluverkkojen kehittämisvelvollisuuden toteutumista. Johtuen Euroopan Unionin sähkö- ja maakaasusisämarkkinadirektiivien muuttumisesta, ollaan Suomessakin parhaillaan uudistamassa näitä edellä mainittuja valvontaperiaatteita ja -menetelmiä. Uusi EU direktiivi on 2003/54/EY.

3.1 Yleistä sähköverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnista

1.1.2005 käyttöön otetussa valvontamallissa ensimmäisen valvontajakson pituus on kolme vuotta ja sitä seuraavilla jaksoilla neljä tai viisi vuotta (HE 127/2004), (EMV 2004c). Hinnoittelun kohtuullisuutta arvioidaan valvontajakson aikana kokonaisuutena. Yksittäisen vuoden tunnuslukuja ei käytetä siis päätöksenteon perusteena. Kuitenkin joka vuosi ilmoitetaan viranomaisen toimesta verkonhaltijoille heidän verkkoliiketoiminnan sallittu tuotto ja toteutunut tuotto, jotta mahdollisiin korjaaviin toimenpiteisiin voidaan jo valvontajakson aikana ryhtyä.

Valvontajakson päättyttyä toteaa Energiamarkkinavirasto valvontapäätöksellään jokaisen verkkoyhtiön tuloksen ja vahvistaa mahdollisen kohtuullisen tuoton ylittävän tai alittavan määrän. Tarvittaessa valvontapäätökseen sisältyy myös velvoite palauttaa päättyneeltä valvontajaksolta kertynyt ylituotto seuraavan valvontajakson aikana asiakkaille. Palautus tehdään hinnoittelun kautta eli alennetaan siirtohintoja. Samoin vastaava alituotto päättyneeltä valvontajaksolta voidaan ottaa huomioon hinnoittelussa korottamalla siirtohintoja seuraavalla jaksolla.

Valvontajaksolla sovellettavat hinnoittelumenetelmät ja tarvittavat valvontaparametrit vahvistetaan Energiamarkkinaviraston antamilla yrityskohtaisilla vahvistuspäätöksillä

ennen kunkin valvontajakson alkua. Päätös on voimassa valvontajakson ajan kerrallaan ja sitä muutetaan tarvittaessa seuraavalle valvontajaksolle.

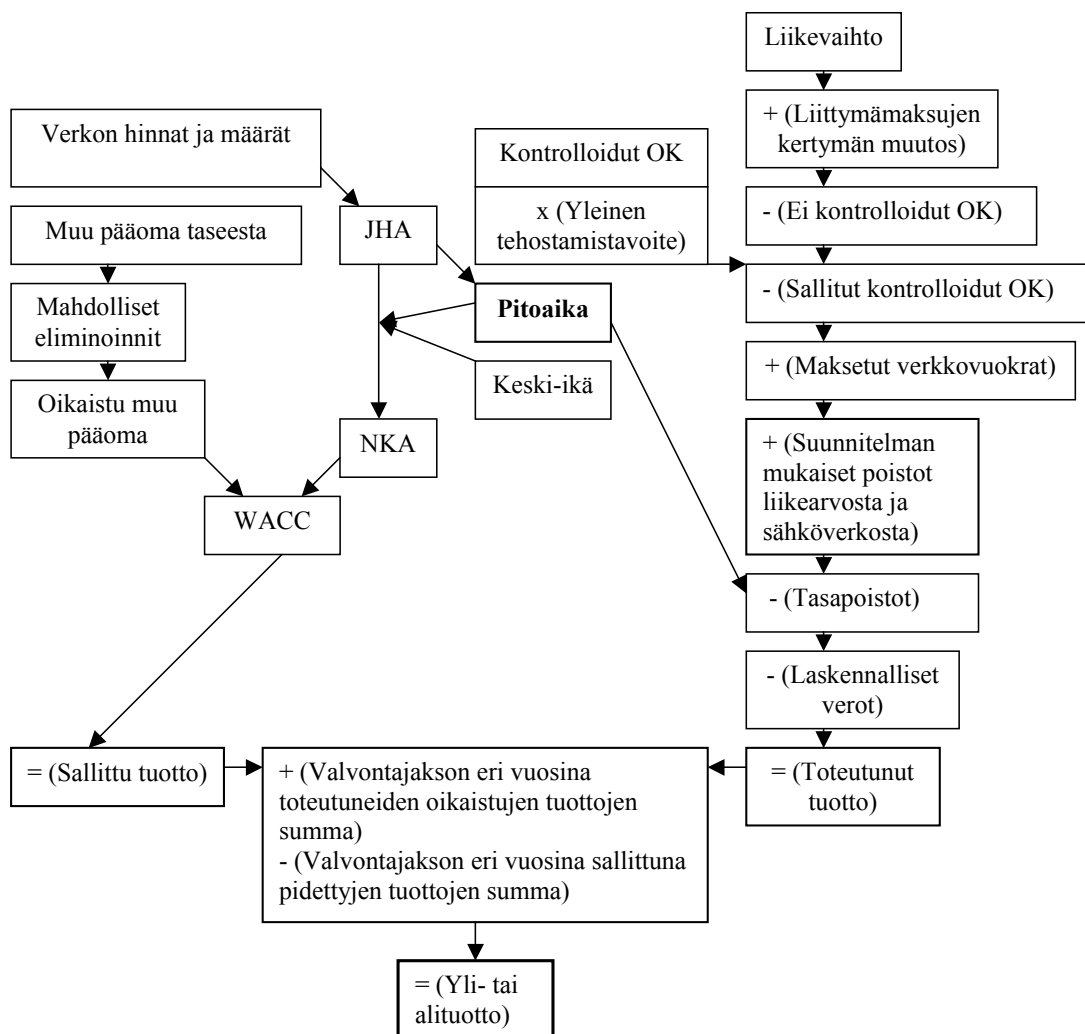
Vuoden 2005 laskentaa varten verkonhaltijan on tullut ilmoittaa Energiamarkkinavirastolle liitteen I mukaiset 1.1.2005 käytössä olleiden komponenttien määrä-, pitoaika- ja keski-ikä tiedot 31.3.2005 mennessä. Valittavat teknistaloudelliset pitoajat voivat vaihdella liitteessä I eri verkkokomponenttiryhmillä esitettyjen pitoaikojen vaihteluvälien mukaisesti. Valvontajakson seuraavina vuosina ilmoitetaan komponenttien määrä- ja keski-ikä tiedot sekä edellisenä vuonna verkkoon tehdyt komponenttiryhmäkohtaiset investoinnit. Vuosittain verkonhaltija ilmoittaa Energiamarkkinavirastolle vahvistetun eriytetyn tilinpäätöksen mukaisen tuloslaskelman ja taseen (EMV 2004c).

Verkonhaltijan tulee ottaa huomioon, että ensimmäisellä valvontajaksolla käytettäviä pitoaikoja voidaan ainoastaan poikkeustapauksissa muuttaa tuleville valvontajaksolle. Sähköverkon jälleenhankinta-arvon laskennassa käytettävien liitteen I mukaisten standardikustannusten sijasta voidaan perustelluista syistä ottaa huomioon yrityskohtaisia, alueellisista seikoista johtuvia kustannuksia. Tällä tarkoitetaan hyvin poikkeuksellisista olosuhteista aiheutuneita rakenteiden lisäkustannuksia (EMV 2004c).

3.2 Kohtuullinen tuotto

Sähköverkkopalvelujen hinnoittelun kohtuullisuuden arvioiminen tapahtuu siten, että toiminnalle määrätään laskennallisesti sallittu tuotto, jota sitten verrataan todelliseen toteutuneeseen tuottoon. Kuva 3.1 havainnollistaa tätä määrittämisprosessia.

Hinnoittelun kohtuullisuutta arvioitaessa käytetään laskennan perusteena eriytetyn sähköverkkotoiminnan tasetta. Yhtenä osana tasetta vastaavaa -puolella on verkkotoimintaan sitoutuneen pääoman määrä. Pääosin tähän otetaan kirjanpitoarvojen mukaisina kaikki muut paitsi sähköverkko ja rahoitusomaisuus. Kohtuullisuuslaskelmia varten sähköverkon arvoa oikaistaan siten, että se vastaa kirjanpitoarvon sijaan nykykäyttöarvoa. Arvonmäärittämisessä ja nykykäyttöarvoa laskettaessa keskeisinä tekijöinä ovat sähköverkon komponenttien teknistaloudellinen pitoaika ja keski-ikä.



Kuva 3.1. Yksinkertaistettu periaate hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnista ja pitoajan merkityksestä siinä valvontajakson 2005...2007 ensimmäisenä vuonna. Pitoaika=Teknistaloudellinen pitoaika, JHA=Verkko-omaisuuden jälleenhankinta-arvo, NKA=Verkko-omaisuuden nykykäyttöarvo, OK=Operatiiviset kustannukset, WACC=Pääoman keskikustannus.

Energiamarkkinavirasto käyttää kohtuullisen tuoton arvioimisessa WACC-mallia. Lyhenne WACC tulee englanninkielien sanoista Weighted Average Cost of Capital, mikä tarkoittaa pääoman painotettua keskikustannusmallia. Menetelmän mukaan pääoma erotellaan omaan ja vieraaseen pääomaan eli korolliseen ja korottomaan pääomaan, joille molemmille määritetään kohtuullinen tuottotaso. Painokertoimina käytetään oman ja vieraan pääoman osuuksia yrityksen kokonaispääomasta.

Ensimmäiselle valvontajaksolle 2005...2007 on tarkoitus asettaa ainoastaan alan yleiseen tuottavuuskehitykseen perustuva 1,3 % yleinen tehostamisvaatimus, joka

kohdistuu verkonhaltijan kontrolloitavissa oleville operatiivisille kustannuksille. Kontrolloiduilla operatiivisilla kustannuksilla tarkoitetaan verkkotoiminnan tuloslaskelmassa aine-, tarvike- ja energiaostoja, varastojen vähennyksiä ja lisäyksiä, eriytetyn verkkotoiminnan sähkönostojä, henkilöstökuluja, vuokria, muita vieraita palveluja sekä muita kuluja. Verkkovolyymissä tapahtunut muutos voidaan tulkita myös verkonhaltijan kustannustasossa tapahtuneeksi muutokseksi, jonka perusteella tehostamistavoitteen toteutumista tarkastellaan. Vuoden 2005 lähtötasona käytetään vuosien 2000...2003 toteutuneiden kontrolloitavissa olevien operatiivisten kustannusten keskiarvoa ja tästä eteenpäin edellisen vuoden kontrolloitavissa olevia operatiivisia kustannuksia. Samalla tavalla käsitellään myös verkkovolyymissä tapahtunutta muutosta. Yrityskohtainen tehostamistavoite otetaan käyttöön todennäköisesti vasta seuraaville valvontajaksoille (EMV 2004c).

Oikaistussa tuloslaskelmassa otetaan huomioon myös tasapoistot, jotka lasketaan jakamalla verkon jälleenhankinta-arvo teknistaloudellisella pitoajalla. Verkonhaltijan tuloslaskelmasta eliminoidaan kirjanpidossa tehtävät poistot ja korvataan nämä laskennallisilla tasapoistoilla. Sähköverkon tapauksessa nimittäin tulouttamiskyky ei vähene ajan kulumisen myötä vaan säilyy samana koko teknistaloudellisen pitoajan. Tällöin sähköverkosta tehtävien suunnitelmapoistojen määrittäminen on perusteltua tehdä tasapoistomenetelmällä käyttäen poistoaikana verkon todellista pitoaikaa.

Liittymämaksujen kertymän muutoksella tarkoitetaan tässä taseen liittymämaksujen lisäystä vähennettynä liittymämaksujen palautuksilla. Vuoden 2005 alusta lähtien lisää Energiamarkkinavirasto kohtuullisuuslaskelmissaan taseeseen kirjattujen liittymämaksujen vuotuisen nettomuutoksen kyseisen vuoden verkkotoiminnan tuloksi.

3.3 Verkko-omaisuuden arvonmääritys kohtuullisen tuoton laskentaa varten valvontajaksolla 2005...2007

Teknistaloudellinen pitoaika vaikuttaa Energiamarkkinaviraston valvontamallissa verkonhaltijan kohtuullisena pidettyyn tuottotasoon verkko-omaisuuden jälleenhankinta-arvon ja nykykäyttöarvon kautta. Lisäksi verkonhaltijan toteutuneen tuloksen laskentaa varten eliminoidaan kirjanpidosta tehtävät poistot ja korvataan ne jälleenhankinta-arvon avulla laskettavilla tasapoistoilla. Koska vuosi 2005 on uuden

valvontamallin ensimmäisen valvontajakson ensimmäinen vuosi, poikkeaa verkko-omaisuuden arvonmääritys tästä jatkossa jonkin verran.

3.3.1 Verkon jälleenhankinta-arvo valvontajakson ensimmäisenä vuonna

Vuonna 2005 laskee Energiamarkkinavirasto verkkotoiminnan kohtuullisen tuoton määrittämisessä käytettävän sähköverkon nykykäyttöarvon sähköverkon jälleenhankinta-arvon eli jälleenhankintahinnan kautta. Sähköverkon jälleenhankinta-arvolla tarkoitetaan sitä kustannusta, jonka vastaavan uuden verkon rakentaminen nykykustannustasolla maksaisi.

Verkon jälleenhankinta-arvo lasketaan pääsääntöisesti verkonhaltijan vuosittain ilmoittamien komponenttiryhmäkohtaisten määrätietojen ja liitteen I mukaisten yksikköhintatietojen perusteella. Ilmoitettu määrätieto kerrotaan vastaavalla hintatiedolla ja näin saadut komponenttiryhmäkohtaiset kustannukset lasketaan yhteen. Myöskin yrityskohtaisten yksikköhintojen käyttö on mahdollista perustelluista syistä (EMV 2004c).

Eräiden komponenttien kuten sähköasemien kojeistojen, erilaisten järjestelmien sekä maakaapelien kohdalla jälleenhankinta-arvon määrittäminen poikkeaa edellä esitetystä hieman. Sähköaseman 110 kV kojeistojen ja keskijännitekojeistojen perushintaan lisätään kenttien lukumäärällä kerrottu kenttäkohtainen hinta sekä keskijännitekojeistojen osalta mahdollisten maasulun sammutuslaitteistojen ja kondensaattoriparistojen hinta. Käytönvalvontajärjestelmän jälleenhankinta-arvon laskentaan vaikuttaa sähköasemien ja erotinasemien lukumäärä. Verkko- ja asiakastietojärjestelmien laskennassa huomioidaan asiakasmäärä. Maakaapelien yksikköhinnat on jaettu asennuksen ja kaivun aiheuttamiin kustannuksiin. Lisäksi maakaapelien jälleenhankinta-arvoon vaikuttaa sijainnista riippuva kaivuaste. Myös nämä mainitut poikkeavuudet on merkitty liitteeseen I.

3.3.2 Verkon nykykäyttöarvo valvontajakson ensimmäisenä vuonna

Jälleenhankinta-arvon avulla voidaan nyt määrittää vuodelle 2005 verkon nykykäyttöarvo, joka on jälleenhankinta-arvo vähennettynä verkkokomponenttien teknistaloudellista pitoaikaa ja komponenttien käyttöikää vastaavilla teknistaloudellisen pitoajan mukaisilla poistoilla. Energiamarkkinaviraston soveltama menetelmä perustuu

lineaarisiin tasapoistoihin, jolloin pitoajan jälkeen verkkokomponenttiryhmän nykykäyttöarvo laskee nolleen.

Nykykäyttöarvo lasketaan komponenttiryhmittäin sähköverkon jälleenhankinta-arvosta jäljellä olevan pitoajan perusteella käyttäen hyväksi verkonhaltijan ilmoittamia komponenttiryhmäkohtaisia pitoaika- ja keski-ikä tietoja liitteen I mukaisesti. Koko sähköverkon nykykäyttöarvo saadaan laskemalla komponenttiryhmäkohtaiset nykykäyttöarvot yhteen.

Kun komponenttiryhmän jälleenhankinta-arvo eli JHA tunnetaan, voidaan nykykäyttöarvo NKA laskea seuraavasti:

$$NKA = \left(1 - \frac{\text{keski-ikä}}{\text{pitoaika}} \right) \cdot JHA, \quad (3.1)$$

jossa

NKA on komponenttiryhmän nykykäyttöarvo

JHA on komponenttiryhmän kaikkien verkkokomponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo

$pitoaika$ on teknistaloudellinen pitoaika, eli se aika, jonka komponentti saa todellisuudessa olla käytössä verkossa

$keski-ikä$ on komponenttiryhmän verkkokomponenttien ikätietojen jälleenhankinta-arvoilla painotettu keskiarvo. Yksittäisen komponentin kohdalla keski-ikä lasketaan keskiarvona.

Jos verkkoyhtiö ei ole ilmoittanut Energiamarkkinavirastolle jonkin komponenttiryhmän keski-ikä tietoja määräaikaan 31.3.2005 mennessä, niin kyseisen komponenttiryhmän nykykäyttöarvoksi asetetaan 1.1.2005 tilanteessa 50 % sen jälleenhankinta-arvosta (EMV 2004c). 31.3. jälkeen Energiamarkkinavirasto määrittää kyseisen vuoden ensimmäistä päivää vastaavan sähköverkon nykykäyttöarvon ja ilmoittaa siitä jakeluverkonhaltijalle vuoden viimeiseen päivään mennessä.

3.3.3 Verkon nykykäyttöarvo jatkossa

Ensimmäisen valvontajakson vuosina 2006 ja 2007 verkkotoiminnan kohtuullisen tuoton määrittämisessä käytettävä sähköverkon nykykäyttöarvo lasketaan edellisen vuoden nykykäyttöarvon, edellisen vuoden laskennallisten tasapoistojen, edellisen vuoden rakennuskustannusindeksin sekä edellisenä vuonna sähköverkkoon tehtyjen investointien perusteella:

$$NKA_i = k_{i-1} \cdot NKA_{i-1} - TP_{i-1} + INV_{i-1}, \quad (3.2)$$

jossa

NKA_i on verkon nykykäyttöarvo vuonna i

k_i on rakennuskustannusindeksin 1995=100 toisen neljänneksen arvo vuonna i

TP_i on verkosta tehdyt laskennalliset tasapoistot vuonna i

INV_i on verkkoon tehdyt investoinnit vuonna i standardikustannuksilla.

Energiamarkkinavirasto tarkoittaa tässä verkkoinvestoinneilla korvaus- ja laajennusinvestointeja. Verkkoinvestoinnit ilmoitetaan Energiamarkkinavirastolle määrätietoina ja virasto laskee ilmoitetuista tiedoista standardikustannuksia käyttäen euromääräisen investointikustannuksen. Korvausinvestoinneilla tarkoitetaan yleisesti pitoajan jatkamiseen tai verkon sähköisen kapasiteetin lisäämiseen tähtäviä toimenpiteitä. 31.3. jälkeen määrittää Energiamarkkinavirasto vuoden ensimmäistä päivää vastaavan sähköverkon nykykäyttöarvon ja ilmoittaa siitä jakeluverkonhaltijalle vuoden viimeiseen päivään mennessä.

3.3.4 Tasapoistot

Verkko-omaisuudesta tehtävät tasapoistot lasketaan verkon jälleenhankinta-arvon ja teknistaloudellisen pitoajan perusteella seuraavasti:

$$TP_i = \frac{JHA_i}{pitoaika_i}, \quad (3.3)$$

jossa

TP_i on verkosta tehtävä tasapoisto vuonna i

JHA_i on verkkokomponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo vuoden i alussa

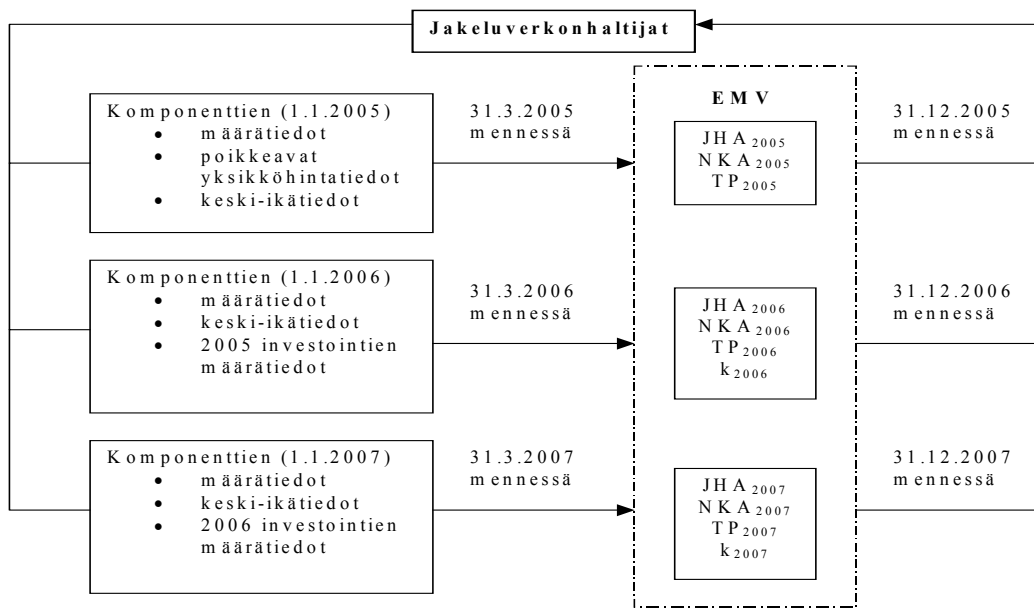
$pitoaika_i$ on koko sähköverkon teknistaloudellinen pitoaika. Vuoden i alussa käytössä ollut verkko vastaava teknistaloudellinen pitoaika lasketaan komponenttiryhmillä määritettyjen pitoaikojen keskiarvona painottaen tätä komponenttiryhmiä jälleenhankinta-arvoilla.

Teknistaloudellisten pitoaikojen perusteella lasketut tasapoistot ohjaavat verkonhaltijan vuotuisten korvaus- ja laajennusinvestointien määrää. Verkon nykykäyttöarvo laskee, jos korvausinvestoinnit ovat tasapoistoja pienemmät. Lyhyemmät pitoajat johtavat korkeaan investointitasoon, jos verkon nykykäyttöarvon halutaan säilyvän ennallaan. Tämä edellyttää esimerkiksi verkkopalvelujen hintojen nostoa, jos toiminnasta halutaan maksimaalinen tuotto.

Pidemmät pitoajat johtavat matalampaan investointitasoon, joka taas antaa mahdollisuuden siirtohintojen maltillisuudelle. Yli-investoimalla voidaan kyllä nostaa sallittua tuottoa, mutta tämä ei kasvata yhtiön tulosta johtuen kasvavista todellisista poistoista ja investointien rahoituskuluista.

3.3.5 Yhteenveto verkko-omaisuuden määrittämisestä valvontajaksolla 2005...2007

Kuva 3.2 selvittää varsinaiseen sähköverkkoon sitoutuneen pääoman määrittämisprosessia ensimmäisellä valvontajaksolla 2005...2007. Keski-ikä tietojen lisäksi verkonhaltija on velvoitettu ilmoittamaan myöskin valitut teknistaloudelliset pitoajat Energiainvirovirastolle 31.3.2005 mennessä.



Kuva 3.2. Sähköverkon jälleenhankinta- ja nykykäyttöarvon määrittäminen ensimmäisellä valvontajaksolla. JHA=Jälleenhankinta-arvo, NKA=Nykykäyttöarvo, TP=Tasapoisto, k=Hintaindeksikorjaus. Hintaindeksikorjaus tehdään Tilastokeskuksen vuoden toiselle neljännekselle määrittämän rakennuskustannusindeksin (1995=100) perusteella (EMV 2004c).

4 SÄHKÖNJAKELUVERKON KESKEISIMPIEN RAKENTEIDEN JA KOMPONENTTIEN RAPPEUTUMINEN

Suomen kolmivaiheisten jakeluverkkojen välityksellä jaetaan sähköä pienille ja keskisuurille sähkökäyttäjille. Jakeluverkkoon kuuluvat johdot, muuntamot, muuntajat ja muut mahdolliset osat nykyisin siis pääosin 0,4...20 kV jännitetasojen väliltä. Osa jakeluverkonhaltijoista omistaa myös aluesiirtoverkkoa, jonka jännitetaso voi olla esimerkiksi 45 kV tai 110 kV. Johdosta puhuttaessa käsitetään tällä koko rakenne, eli ainakin pylvää, orret, eristimet ja johtimet. Aluesiirtoverkkojen suuremmat jännitteet muunnetaan sähköasemilla keskijännitteeksi ja jakelumuuntamot muuntavat jakeluverkkojen keskijännitteet sähkökuluttajien käyttöön soveltuvaksi pienjännitteeksi. Erityyppisiä jakelumuutamoita ovat pylväsmuuntamo, puistomuuntamo ja kiinteistömuuntamo. Näissä sijaitsee yksi tai useampi jakelumuuntaja. Jakeluverkkojen johdot ovat rakenteeltaan ilmajohtoja tai maa- ja vesistökaapeleita. Ilmajohtoja ovat avojohdot, päällystetyt avojohdot eli PAS-johdot ja riippukaapelit kuten pienjänniteriippukierrekaapeli AMKA. Avojohto on erikoisnimitys ilmajohdolle, jossa jokainen osajohdin on erikseen kiinnitetty eristimeen tai muuhun kiinnikkeeseen. Jakeluverkon ilmajohtimet ripustetaan usein kyllästettyjen puupylväiden varaan. Keskijännitejohdinten ripustukseen on käytetty paljon posliinieristimillä varustettuja teräs- tai alumiiniorssia, kun taas AMKA-johtimen kannatusköysi kiinnitetään pylväisiin metallisilla koukuilla ja ripustimilla. Kaapelit voidaan upottaa maahan tai veteen, taikka sitten ne asennetaan sisätiloihin kaapelikanaviin ja hyllyille. Nykyään käytetään eniten muovieristeisiä kaapeleita. Johdinmateriaalina alumiini on syrjäyttänyt kuparin.

Kaupunkien ja maaseudun jakeluverkkojen rakenteet eroavat toisistaan suuresti. Myöskin verkkovastuualueiden ominaispiirteet ovat kaupunkiyhtiöillä ja maaseutuyhtiöillä hyvin erilaiset. Kaupunkiverkot rakennetaan turvallisuus- ja tilankäyttösyistä maakaapeliverkoiksi, kun taas maaseudulla keskijänniteverkon johdot ovat yleensä avojohdota ja pienjänniteverkon johdot ovat pääosin AMKA-johtoja. Maaseutujen vaihteleva maasto sekä pitkät siirtomatkat tekevät kaapeloinnista edelleenkin kalliin vaihtoehdon. Harvaan asutuilla alueilla keskijänniteverkon osuus koko verkostopituudesta on yleensä suuri. Kaupunkien ja suhteellisen tiheään asuttujen

alueiden kaapeliverkoissa käytetään yleisesti puisto- ja kiinteistömuuntajia, kun taas maaseutujen ilmajohtoverkoissa taloudellisin muuntamotyyppi on pylväsmuuntamo.

Sähkönjakeluverkon komponenttien rappeutumiseen ja tätä kautta tekniseen pitoaikaan vaikuttavat yleensä monien tekijöiden ja osien summa. Eri materiaalien pitkäaikaiskestävyys vaihtelee paljon. Käytössä komponentteihin ja niiden osiin vaikuttaa suoraan ja välillisesti monia erityyppisiä termisiä, sähköisiä, mekaanisia ja ympäristön aiheuttamia rasituksia. Sähköverkolle tyypillisiä rasituksia ovat tuuli-, jää- ja lumikuormat, sähköiset ja lämpörasitukset sekä esimerkiksi asentajien omasta painosta aiheutuvat rasitukset. Komponentin käytön loppumiseen voivat johtaa teknisten syiden lisäksi kuitenkin myös taloudelliset ja strategiset syyt. Kunnossapidon merkitys on suuri odotetun teknisen pitoajan kannalta. Verkoston pitoaikaa voidaan haluta myös jatkaa tai verkon kapasiteettia voidaan haluta lisätä korvausinvestointien kautta. Kunnonhallintajärjestelmät auttavat verkkosuunnittelijoita arvioimaan verkon jäljellä olevaa käyttöikää ja saneerausajankohtaa. Jakeluverkon keskeisimpien komponenttien tai komponenttien osien rappeutumismallien avulla voidaan ennakoida tulevia investointeja ja verkon yleisen kuntotilan kehitystä.

Vaikkakin jakeluverkot käsittävät monia muitakin osia, niin pääosin tässä yhteydessä tarkastellaan pien- ja keskijännitteisen jakeluverkon puupylväitä, johtimia, kaapeleita, muuntajia ja eristimiä, sekä näiden materiaalien rappeutumista ja käytöstä aiheutuvaa kulumista. Esimerkiksi jakeluverkon ilmajohtorakenteen teknisen pitoajan määrää usein puupylväs. On kuitenkin pidettävä mielessä, että seuraavat tarkastelut on suoritettu vain teknistaloudellisten pitoaikojen valintaa helpottamaan.

4.1 Puupylväät

Merkittävin puupylvään lujuteen ja tätä kautta rappeutumisnopeuteen vaikuttava tekijä on lahoaminen. Lahoamisen aiheuttavat lahottajasienet ja eräät muut eliöt. Lujuuden aleneminen alkaa jo hyvinkin varhaisessa lahon kehitysvaiheessa. Tällainen alkanut laho voi näkyä ulospäin ainoastaan pylvään lievänä värinmuutoksena, mutta kaiken kaikkiaan se on hyvin vaikea havaita ulospäin. Hyönteisten pylväille aiheuttamia tuhoja ei Suomessa juurikaan esiinny.

Tavanomaisten lahottajasienten eli Basidiomycetes–makrosienten aiheuttama kehittynyt laho on helppo todeta. Ennen lopullista tuhoutumistaan puu tulee hauraaksi, murenee kuivana ja sen väri muuttuu. Lisäksi varsinkin kyllästetyn puun ja puupylväiden tyypillinen lahotyyppe on katkolaho, jonka aiheuttavat Ascomycetes- tai Fungi imperfekti-mikrosienet. Usein katkolaho on alkuvaiheessaan pelkällä näköhavainnolla hyvinkin hankala todeta (LAHO 1984).

Lahottajasienten menestyminen riippuu vahvasti kosteuspitoisuudesta, lämpötilasta ja hapen määrästä. Edullisin kosteuspitoisuus sienten kehittymiselle on 25...50 % puun kuivapainosta laskettuna, mutta joillekin sienille kelpaa huomattavasti alemmassakin, jopa 20 % kosteustilassa oleva puu. Sopivin lämpötila lahottajille on +5...+30 °C. Normaalisissa maaperässä noin 1,5 metrin syvyydessä ja tiiviissä maaperässä noin 0,5 metrissä eivät lahottajasienet enää pysty toimimaan johtuen hapen puutteesta. Optimaaliset olosuhteet sienten kasvuun toteutuvat siis aivan pylvään tyvessä, maanrajassa. Maanrajakohdan siirtäminen kuten pylvään oikaisu, upottaminen tai uudelleenkäyttö lyhentävät odotettua teknistä pitoaikaa huomattavasti. Jonkin verran maanrajan yläpuolella pylvään kyllästysainepitoisuus on nimittäin vähäisempi kuin maanrajassa johtuen sateesta ja auringonvalosta. Lisäksi suojana toimineet kiilakivet voivat siirtyä maatäytöksi (LAHO 1984).

Myös maaperän ominaisuudet vaikuttavat paljon puupylväiden rappeutumisen ja lahoamisnopeuteen. Pelloille ja niityille pystytetyt pylväät lahoavat keskimäärin nopeammin kuin metsään pystytetyt pylväät. Peltojen ja niittyjen lahottavaa vaikutusta lisäävät huokoinen maaperä, kiilakiveyksen umpeutuminen ja mahdollinen viljelysmaan lannoitus. Lahoaminen pelto- ja niittyylväillä on voimakkainta eteläpuoleisella osalla. Tienviereen pystytettyjen pylväiden lahovauriot esiintyvät alkuvaiheessa tien puolella, valoisammalla sivustalla. Hiekkamaassa puupylväs lahoaa nopeammin kuin savimaassa, ja suomaastossa sekä yleensä vedenpinnan alapuolella oleva pylväänosa lahoaa hyvin hitaasti (LAHO 1984).

4.1.1 Pylväiden kyllästys Suomessa

Puupylväiden lahosuojaukseen voidaan käyttää monia erilaisia kyllästysaineita. Suomen sähkö- ja puhelinverkkojen ripustukseen käytetään tällä hetkellä pääosin CCA:lla tai

kreosoottiöljyllä kyllästettyjä puupylväitä. Lyhenne CCA tulee englanninkielen sanoista Chromated Copper Arsenate, ja se on kromista, kuparista sekä arseenista muodostuva yhdiste. CCA on siis suolakylläste. Teoriassa CCA:n ja kreosoottiöljyn suojavaikutukset ovat suunnilleen yhtä hyviä, jos kyllästys on suoritettu oikein. Käytännössä kreosootin antama kosteussuoja saattaa pidentää hieman kreosoottikyllästettyjen pylväiden teknistä pitoaika verrattuna CCA-kyllästettyihin.

CCA on intialaisen tutkijan Sonti Kamesamin vuonna 1933 keksimä suolakylläste. Suomessa CCA:ta alettiin käyttää vuonna 1949. Kupariyhdisteiden lahontorjuntavaikutus tunnettiin jo aikaisemmin, mutta ongelmana oli niiden liukeneminen pois puusta. CCA-kyllästeissä kromi toimii kiinnittäjänä, ja kun kuusiarvoinen kromi muuttuu lämpötilan ja ajan vaikutuksesta kolmiarvoiseksi, niin kyllästysaine pysyy varsin hyvin puussa pitkiä aikoja. CCA tyyppi C on parhaiten kiinnittyvä CCA-kyllästeistä. Nykyään CCA on maailman eniten käytetty teollinen painekylläste (Ropponen 2004).

Kreosoottiöljy on kivihiilitervan tisle, jonka kiehumisväli on noin 200...400 °C. Sitä alettiin valmistaa jo 1800-luvun alussa Englannissa tervaksi laivanrakennukseen ja myös muihin laholle ja kosteudelle alttiisiin puurakenteisiin. Suomessa kreosoottia on käytetty puumateriaalin lahontorjuntaan 1900-luvun alusta. Kreosoottiöljy ei kiinnity minkään kiinnittymisreaktion avulla puuhun. Jos tätä öljyä saatetaan liikaa puuhun, niin sitä valuu ulos puusta usean vuoden ajan. Kreosootti myös haihtuu puusta lämmön ja auringonpaisteen vaikutuksesta, mutta se antaa erittäin hyvän ja pitkäaikaisen suojan lahosieniä, hometta sekä hyönteisiä vastaan. Tunnetaan yli 80 vuotta vanhoja kreosoottikyllästetystä puusta tehtyjä rakenteita, jotka ovat edelleen hyvässä kunnossa (Ropponen 2004).

Kuten taulukosta 4.1 nähdään, luokitellaan Suomessa puunsuojaukseen käytetyt kyllästeet suoja-ainepitoisuuden perusteella luokkiin M, A, AB ja B. Luokitukset ovat Pohjoismaisen puunsuojaneuvoston eli Nordiska Träskyddsrådet NTR:n ja Euroopan standardointikomitea CEN:n kehittämisiä. Luokka M on tarkoitettu äärimmäistä kestävyyttä ja varmuutta vaativalle rakenteelle. Luokkaan A kuuluvat puurakenteet, jotka joutuvat maan tai veden kanssa pysyvään kosketukseen. Luokkaan A kuuluvat myös maan yläpuoliset puurakenteet, jotka edellyttävät erityistä suojausta. Sähkö- ja

puhelinverkkojen puupylväät ovat hyvä esimerkki luokkaan A kuuluvasta materiaalista. Maan yläpuolisiin rakenteisiin käytettävä puutavara kuuluu luokkaan AB. Luokkaan B kuuluvat maanpinnan yläpuolisiin kohteisiin tarkoitettut valmiiksi työstetyt puuosat. Erilaisten puunsuoja-aineiden ja suojausluokkien kohdalla tulee ottaa huomioon, että yksityiselle ja ammattimaiselle käytölle on omat rajoituksensa.

Taulukko 4.1. Suomessa teolliseen käyttöön 20.1.2003 hyväksytyt puunsuoja-aineet (Ropponen 2004)

Luokka	Suoja-ainepitoisuus [kg/m ³]			
	M	A	AB	B
<u>VESIPOHJAISET TUOTTEET</u>				
CCA-KYLLÄSTEET				
Celcure CCA Type C	24	12	-	-
Kemwood K33 C	24	12	-	-
OK-K33 Type C	24	12	-	-
Celcure CCA Type C 60 %	24	12	-	-
Tanalith CCA Oxide Type C	24	12	-	-
CC-KYLLÄSTEET				
Kemwood KC73	-	10	-	-
C-KYLLÄSTEET				
Celcure AC 800	-	36	19	19
Kemwood ACQ 1900	-	36	19	19
Tanalith E	-	18	13	13
Wolmanit CX-S	-	-	4	4
Wolmanit CX-8	-	-	12	12
Impralit-KDS 4	-	-	12	-
<u>ÖLJYPOHJAISET TUOTTEET</u>				
Kreosoottiöljy	400	135	90	-

CC-kyllästeiden tehoaineina ovat kupari ja kromi. Kromipitoisuus on CCA-kyllästeisiin verrattuna suurempi. CC-kyllästysprosessi on kuitenkin vaikea. Kiinnittymis- ja kuivausvaiheet vaativat myös suurta tarkkuutta. Voimakas auringonvalolle altistuminen tai muutoin epäonnistunut kuivausvaihe voi aiheuttaa CC-kyllästeisen puupylvään pintaan läiskiä. Suomessa CC-kyllästeitä on vähäisissä määrin käytetty luokassa A. CC-kyllästeiden suojausteho on kromin ansiosta huomattavasti parempi kuin C-kyllästeiden (Ropponen 2004).

C-kyllästeissä käytetään kuparia ja sen lisäksi booria, polymeerista betaiinia sekä ammoniumkloridia. Näitä käytetään yleensä AB luokan kyllästeinä. Metallivapaat kyllästeet sisältävät yleensä ammoniumkloridia, polymeeristä betaiinia, booria, propikonatsolia tai tebukonatsolia ja niitä käytetään myöskin AB luokan kyllästeinä. Liuotinpohjaiset kyllästeet koostuvat kevyestä liuottimesta kuten teollisuusbensiniä ja siihen liuotetusta tehoaineesta. Näitä käytetään yleensä luokassa B (Ropponen 2004).

CCA-kyllästeet luokitellaan niiden sisältämän arseenimäärän mukaan A-, B- tai C-tyypin valmisteisiin taulukon 4.2 mukaisesti. CCA:n koostumus vaihtelee hieman valmistajasta riippuen. Tyypin A CCA-kyllästettä ei olla Suomessa käytetty ollenkaan. Sen käyttö on ollut yleisempää esimerkiksi Yhdysvalloissa. Valtaosa Suomen nykyisestä pylväskannasta on 1960...1980-lukujen välistä uudissähköistyksen ajoilta. Suurin osa näistä pylväistä on kyllästetty B-tyypin CCA-kyllästeellä. Vuonna 1983 B-tyypin käyttö Suomessa kuitenkin kiellettiin kokonaan, koska todettiin kyllästysaineen liukenevan liian herkästi maaperään. Käyttö korvattiin tehokkaammin kiinnittyvällä C-tyypin CCA-kyllästeellä, jota käytetään vielä tänäkin päivänä. Se sisältää vähemmän arseenia ja enemmän kromia. Korkeamman kromipitoisuuden takia CCA tyyppi C pysyy puussa paremmin kuin CCA tyyppi B. CCA tyyppi B oli puuhun kiinnittyneenä hyvin heikkoliukoinen ja CCA tyyppi C on vieläkin heikkoliukoisempi. Tutkimusten perusteella CCA-kyllästeen vaihtuminen B-tyypistä C-tyyppiin ei vaikuttanut CCA-kyllästeisten puupylväiden tekniseen pitoaikaan kovin merkittävästi.

Taulukko 4.2. CCA:n valmistajasta riippuvat oksidien suhteellisten pitoisuuksien vaihteluvälit tyypeille A ja B, sekä Suomessa yleisesti käytössä olevat oksidien suhteellisten pitoisuuksien arvot tyyppille C (Ropponen 2004)

	Tyyppi A [%]	Tyyppi B [%]	Tyyppi C [%]
CrO_3 (Kromitrioksidi)	59,4-69,3	33,0-38,0	47,5
CuO (Kupari(II)oksidi)	16,0-20,9	18,0-22,0	19,0
As_2O_5 (Diarseenipentoksidi)	14,7-19,7	42,0-48,0	33,5

Tehtaalta lähtiessään raaka CCA-kylläste sisältää suoloja 72 % ja kidevettä 28 %. CCA-kyllästeitä myydään tihenteinä ja pastoina, jotka laimennetaan kyllästämöillä. Vesipohjainen CCA-kylläste sisältää pääasiassa kupariarsenaattia ja kuparidikromaattia.

Kyllästämöiden käyttöliuoksen väkevyys on 2...2,5 %. CCA:n määrä pylväissä, kyllästyneestä pintapuusta laskettuna 72 % aineena, on esimerkiksi Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa 12 kg/m³, Englannissa 16,3 kg/m³, Ranskassa 12,5 kg/m³ ja Yhdysvalloissa 13,3 kg/m³ (Ropponen 2004).

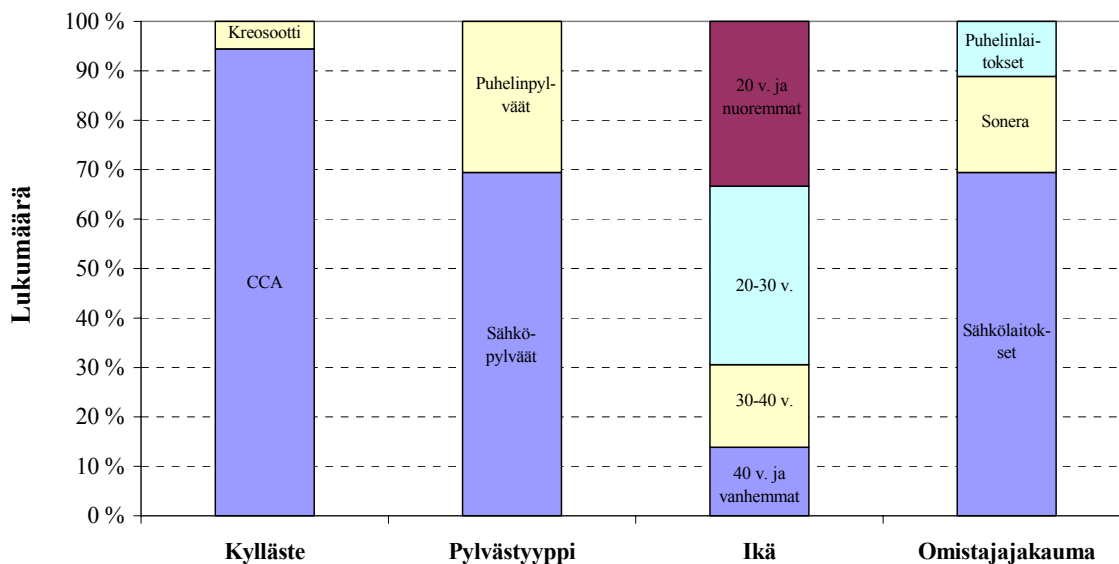
Suomessa käytetään periaatteessa kahta kyllästysmenetelmää, jotka ovat Bethell-prosessi ja Rüping-prosessi. Kyllästys suoritetaan suurissa makaavan lieriön muotoisissa paineastioissa eli autoklaaveissa (Ropponen 2004).

Täyssolumenetelmää eli Bethell-prosessia käytetään suolakyllästeiden kuten CCA:n kanssa. Suolakyllästeet ovat useimmiten metallioksidien vesiliuoksia. Nykyään on käytössä myös muita vesiliukoisia kyllästeitä. Tällä menetelmällä pyritään nimen mukaisesti saamaan mäntypuun pintapuusolukko aivan täyteen kyllästeliuosta. Puun solukosta vedetään ilmaa pois alipaineen avulla ja sen jälkeen kylläste saatetaan puun sisään kyllästysnesteen ollessa ylipaineessa. Bethell-prosessin lopussa on vielä lopputyhjäksi kutsuttu vaihe, jolla kyllästetyn puutavaran pinta kuivataan.

Tyhjäsolumenetelmää eli Rüping-prosessia käytetään yleensä kreosoottiöljyn yhteydessä, mutta joskus erikoistapauksissa myös suolakyllästeille. Rüping-prosessia voidaan käyttää myös muiden öljypitoisten kyllästeiden kanssa. Tällä menetelmällä pyritään nimen mukaisesti jättämään mäntypuun pintapuusolukon soluonkalot varsin tyhjiksi. Alkutyhjön eli alipaineen sijaan käytetään ylipainetta, jolla puristetaan ilmaa puun solukkaan. Kyllästysaine tunkeutuu puun sisään soluseiniin ylipaineessa ja lopuksi käytetään lopputyhjöä poistamaan ylimääräinen kreosootti.

Kuvassa 4.1 on esitetty karkea arvio Suomen vuoden 1999 pylväskannasta, johon on otettu mukaan ainoastaan kreosootti- ja CCA-kyllästeiset pylväät. Arvioitu pylväskanta on jaoteltu kyllästeen, tyypin, iän ja omistajan mukaan, eikä jaottelussa samanvärisillä osilla ole mitään tekemistä toistensa kanssa. Kuvasta 4.1 nähdään, että Suomen pylväskannassa on todennäköisesti vielä paljon jopa 1950-luvulla kyllästettyjä pylväitä.

Kreosoottiöljyä ovat käyttäneet yleensä suuret vientikyllästämöt. Kreosoottikyllästettyjen pylväiden vienti on ollut huomattavasti suurempaa kuin suolakyllästettyjen pylväiden vienti. Kuitenkin tällä hetkellä valtaosa kotimaassa käytettävistä pylväistä kyllästetään C-tyypin CCA-kyllästeellä ja vain pieni osa kreosoottiöljyllä, kuten kuvasta 4.1 nähdään.



Kuva 4.1. Arvioitu Suomen pylväskanta vuonna 1999, jossa on huomioitu ainoastaan kreosootti- ja CCA-kyllästeiset pylväät. Samanväriset arvoalueet eivät liity toisiinsa.

Puupylväiden kestoon käytössä on kautta aikojen vaikuttanut merkittävimmin kyllästyksen laatu. Hyvä laatu ja retentio eli kyllästeen pysyvyys saavutetaan, kun kyllästysaineen koostumus ja määrä ovat oikeat sekä tunkeuma puuhun on riittävä ja kyllästeen kiinnitys onnistuu. Lisäksi pylväsmateriaalin tulee olla kuivaa ja muutenkin kelvollista. Puhtaus vaikuttaa paljon kyllästeen tunkeumaan (Ropponen 2004). CCA tyyppi C-kyllästeen hyvinä puolina ovat sen tahraamattomuus ja varsin hyvä pysyvyys pylväissä. Perinteisen kreosoottiöljyn haittapuolina ovat olleet sen valuminen pylväistä ja tahraavaisuus. Pylväessä kreosoottiöljy valuu alaspäin, vähenee latvapuolella ja lisääntyy maarajassa. Osa kreosootista haihtuu pois pylvästä, mutta joskus pieni osa valuu maahan pylvään viereen, mikä kuitenkin osaltaan parantaa juuri pylvään lahoherkimmän kohdan kestävyyttä.

4.1.2 Lahotyypit

Puupylvään lahoisuus todetaan ammattilaisen suorittamalla lahoisuustarkastuksella. Yleisesti lahoisuustarkastuksissa käytettyjä menetelmiä ovat purasinpiikkikoe, lastun veisto ja kairaus.

Suolakyllästettyjen pylväiden yleisin lahoamistapa on pintalahoa, joka muodostuu vähitellen huuhtoutuvan kyllästeen liukenemisen ja kyllästeessä ajan mittaan tapahtuvien kemiallisten muutosten seurauksena. Kreosoottikyllästeisillä puupylväillä tavataan taas eniten sisälahoa. Latvalahon esiintyminen on harvinaista ja eteneminen hidasta, koska pylvään latvassa ei ole lahottajasienille suotuisia olosuhteita. Varsinkin tarvittava kosteus puuttuu pylvään latvasta. Nykyään pylväiden päät suojataan lisäksi latvahatulla.

Kreosoottiöljy valuu ajan mittaan pylvään pintapuuosassa alaspäin suojaten vanhankin puupylvään maanrajan laholta. Kuitenkin pylvään sisäosa lahoaa tehden rakenteesta onton ja putkimaisen. Verrattuna pinnalta ja maanrajasta lahoavaan suolakyllästettyyn puupylvääseen, säilyy kreosoottipylvään taivutuslujuus paremmin.

Yleisimmät suolakyllästettyjen pylväiden lahotyypit ovat ruskolaho ja katkolaho. Katkolahoa on tavattu yleisesti sinkkipitoisilla kyllästeillä käsitellyillä pylväillä, kun taas kuparipitoiset kyllästeet torjuvat tätä tehokkaammin. Katkolahon aiheuttaa hyvinkin määrässä maassa viihtyvät mikrosienet. Nykyisillä kreosoottipylväillä ei juuri esiinny katkolahoa. Kuparipohjaisilla C-kyllästeillä suojattuun pylvääseen voi varsinkin hiekkamaassa tulla nopeastikin makrosienten aiheuttama ruskolaho (LAHO 1982).

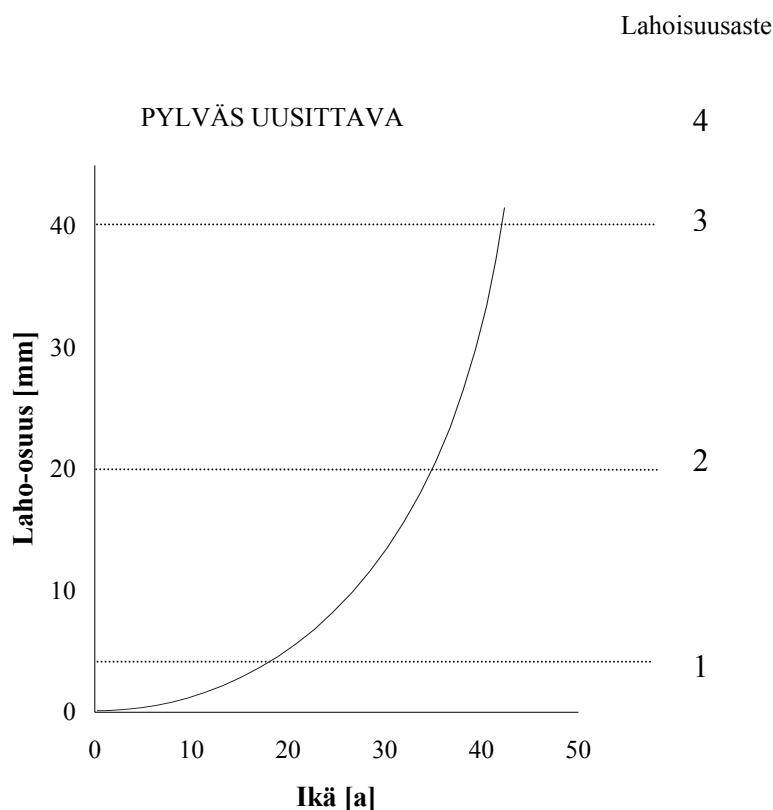
Katkolahon voi tunnistaa pylväässä tummaksi muuttuneesta puuaineesta, joka katkeaa purasinpiikillä kaivettaessa suhteellisen helposti ja jyrkkärajaisesti kohtisuoraan puun syitä vastaan. Yleensä katkolahoinen puu säilyttää hyvin alkuperäisen muotonsa ja on kuivana kova (SENER 1996).

Ruskolahon tunnistaa ruskeaksi tai melkein mustaksi muuttuneesta puuaineksesta, joka lohkoutuu kuutiomaiseksi murentumalla. Aiheuttajina ovat tavanomaiset lahottajat, ja lahoaminen tapahtuu tasaisesti. Puu menettää lujuutensa jo lahon alkuvaiheessa.

Harvinaisempi valkolaho on myöskin makrosienten aiheuttama ja se etenee siten, että aluksi puupylväs muuttuu vaaleaksi ja halkeilee vuosirenkaitaan pitkin. Tämän jälkeen puu muuttuu hauraaksi, kuitumaiseksi massaksi.

4.1.3 Rappeutumismalli puupylväälle

Lähteessä (SENER 1996) esitetään yhteenvedona CCA-kyllästeiselle puupylväälle keskimääräistä lahoamistapahtumaa kuvaava käyrä, joka on kuvan 4.2 mukainen. Pylvään lahoaminen on kuitenkin aina yksilöllinen tapahtuma, joten käyrää voidaan käyttää ainoastaan suurien pylväsmäärien tarkastusajankohtia suunniteltaessa. Kuvaan 4.2 on lisäksi merkitty lähteen (SENER 1996) mukaiset lahoisuusasteet.



Kuva 4.2. Terveen tyvihalkaisijan väheneminen lahoamisen vaikutuksesta CCA-pylväillä sekä lahoisuusasteet.

Lähteessä (SENER 1996) määritetään puupylvään lahoisuusaste välillä 0...4 siten, että pylväs on terve ollessaan lahoisuusasteeltaan 0 ja pahoin lahonnut ollessaan lahoisuusastetta 4. Jos pylvään laho on edennyt yli 40 mm terveeseen pylvään tyvihalkaisijaan nähden, jolloin lahoisuusaste vaihtuu 4:ään, tulisi pylväs uusia. Kuvan 4.2 rappeutumismallin perusteella voidaan pylvään vaihtohetki määrittää iän ja havaitun lahoisuusasteen funktiona. Kuitenkin pylvään lahoamisnopeuteen vaikuttavat tekijät vaihtelevat suuresti alueittain ja ne riippuvat paikallisista lämpötila- ja

kosteusolosuhteista, maaperän ominaisuuksista sekä kyllästykseen liittyvistä tekijöistä. Kuvan 4.2 käyrä esittää vain keskimääräisesti pylvään lahoamistapahtumaa, ja asennusympäristöstä riippuen voidaankin määrittää keskimääräistä käyrää mukaileva kokemusperäinen kuvaaja.

Pylväiden pitoaikaa voidaan myös jatkaa juurituennalla ja jälkikyllästyksellä joitakin vuosia. Lähteen (Hokkanen 2000) mukaan saavutettava jatkoaika olisi noin 10...15 vuotta. Myöskin näiden pitoaikaa jatkavien menetelmien kannattavuutta tulisi tarkastella tapauskohtaisesti.

Taulukossa 4.3 on esitetty eri lähteistä kerättyjä puupylväiden teknisiä pitoaikoja. Tästä taulukosta on hyvin nähtävissä kyllästyksen ja materiaalin laadun kehittyminen sekä kokemusten ja tietämyksen lisääntyminen ajan mittaan. Taulukossa 4.3 Lahontuho K-33 on Suomessa yleisesti käytetty CCA-kylläste. Wolman- ja BIS-suoloilla tarkoitetaan sinkkipitoisia kyllästeitä. Celcure-tyyppisellä suolalla tarkoitetaan tässä arseenitonta kyllästettä. Taulukossa 4.3 lähteestä (SENER 1996) saadut arvot on poimittu kuvasta, joten ne ovat vain likimääräisiä.

Taulukko 4.3. Puupylväiden teknisiä pitoaikoja

Lähde	Tekninen pitoaika [a]		
	(LAHO 1970)	(LAHO 1982)	(SENER 1996)
Puun kyllästys			
Kyllästämättömät pylväät			
			10
	Etelä-Suomi	10	-
	Pohjois-Suomi	15	-
Kreosootilla kyllästetyt pylväät			
	Hyvin kyllästetyt	40...50	40...60
	Heikosti kyllästyneet	20...30	20...35
Osmoosi-, liuotus- ja puserrusmenetelmillä kyllästetyt pylväät			
		15...20	15...20
Vanhalla Wolman- ja BIS-suolalla ennen vuotta 1953 kyllästetyt pylväät			
		25...30	25...30
Uudentyyppisillä Wolman- ja BIS-suoloilla kyllästetyt pylväät			
		25...35	-
Lahontuho K-33:lla kyllästetyt pylväät			
	Hyvin kyllästetyt	30...40	35...45
	Heikosti kyllästyneet	20...30	25...35
Celcure-tyyppisellä suolalla kyllästetyt samoin kuin kaikki puolipuhutuksi kuorittuina kyllästetyt pylväät			
	Hyvin kyllästetyt	25...35	20...35
	Heikosti kyllästyneet	15...25	15...20
	Hiekkamaassa	-	5...15

Tämän hetken käsityksen mukaan CCA-kyllästeisen puupylvään teknisen pitoajan odotusarvo Suomessa on noin 40...50 vuotta ja kreosoottikyllästeisen pylvään teknisen pitoajan odotusarvo Suomessa on noin 50...60 vuotta (Verkonrakennus 1999), (Ropponen 2004).

4.1.4 Kyllästeiden tulevaisuus

Tehokkaiden kyllästysaineiden käyttöä tullaan ympäristöpainostuksesta ja viranomaisten toimesta tulevaisuudessa rajoittamaan yhä enemmän. Perusteena tiukemmille määräyksille ja kielloille ovat vakavien terveys- ja ympäristöhaittojen vaaran poistaminen, koska haitattomampia korvaajia on saatavilla.

30.6.2003 voimaan tullut Valtioneuvoston asetus 8/2003 koskien kreosoottiöljyä ja sillä käsitellyn puun käyttöä rajoittaa kreosoottiöljyn käytön ammattimaiseen teolliseen tarkoitukseen, kuten ratapölkkyihin, sähkö- ja puhelinpylväisiin, aitatolppiin, maatalousrakenteisiin sekä satama- ja vesiväylärakenteisiin. Saksassa ja Tanskassa on kehitelty uusia kreosoottilaatuja ja kehitellään edelleen. Kun kreosoottiöljyn sisältämän bentso-a-pyreenin määrä on saatu riittävän pieneksi ja jälkivaluminen saadaan todella estetyksi, niin kreosoottiöljyn käyttö pylväiden ja ratapölkkyjen kyllästämisessä todennäköisesti jatkuu hyvin pitkään.

Uuden EY-rajoituksen 2003/02/EY mukainen Valtioneuvoston asetus 440/2003 tuli voimaan 30.6.2004 rajoittaen CCA:n käyttöä. Jatkossa CCA:n käyttö on sallittu silloissa, laitureissa makean veden alueilla tai murtovesissä, aitatolpissa, maan tukirakenteissa, sähkö- ja puhelinpylväissä sekä ratapölkkyissä tietyin rajoituksin aina 1.9.2006 saakka.

Euroopan parlamentin ja neuvoston biosidivalmisteita koskeva direktiivi 98/8/EY oli pantava täytäntöön EU:n jäsenmaissa 13.5.2000 mennessä. Tarkoituksena oli yhdenmukaistaa haitallisia eliöitä torjumaan tarkoitettujen biosidivalmisteiden markkinoille luovuttamista koskeva lainsäädäntö sekä taata terveyden ja ympäristön suojelun korkea taso. Direktiivin piiriin kuuluu 23 erilaista valmisteryhmää. Siirtymäajan jälkeen markkinoille sai luovuttaa vain sellaisia biosidivalmisteita, jotka on hyväksytty tai rekisteröity kyseisessä jäsenvaltiossa ja joiden sisältämät tehoaineet on arvioitu ja sisällytetty direktiivin liitteeseen (YMP 2004a).

Direktiivin toimeenpanon määräajan umpeutuessa Euroopan yhteisön markkinoilla jo olevat biosiditehoaineet katsottiin niin sanotuiksi vanhoiksi tehoaineiksi. Nämä piti joko identifioida eli tunnistaa tai notifioida eli ilmoittaa Euroopan kemikaalitoimistolle 27.3.2002 mennessä komission asetuksen 1896/2000/EY nojalla (YMP 2004a).

CCA sai identifiointiaan tai notifiointiaan varten kuitenkin lisäaikaa, joka päättyi vuoden 2004 kesällä. Mikään taho ei määräaikaankaan mennessä ollut ilmoittanut kiinnostustaan, joten näillä näkymin CCA:n käyttö puupylväiden kyllästysaineena tulee loppumaan 1.9.2006 kokonaan (FINERGY 2004a), (LAHO 2004).

Asetuksen 440/2003 mukaan CCA-kyllästettyjen puupylväiden uudelleenkäyttö on mahdollista vain seuraavin edellytyksin (YMP 2004b):

- On kyettävä tarvittaessa osoittamaan, että uudelleenkäytettävä puu on käsitelty C-tyypin CCA-kyllästeellä.
- Puun vastaanottajalla on oltava ympäristölupa ottaa vastaan kyseistä puuta.
- Markkinoille luovutettavassa puussa on oltava asetuksen 2§ mukaiset merkinnät.
- Uudelleenkäytettävää puuta saa käyttää vain asetuksessa sallittuihin käyttökohteisiin.

Kyllästetyn puun kaatopaikkasijoittamiseen liittyviä vaatimuksia on ollut tarkoitus tiukentaa vuonna 2004 saattamalla voimaan jätteen kaatopaikkakelpoisuuden arviointia koskeva EY-säädös 2003/33/EY. Sen mukaan CCA-kyllästeillä käsitellyn puun sijoittaminen kaatopaikalle tulee kielletyksi kokonaan. Kreosotilla kyllästetyn puun jätehuoltoa ja säännösten valvontaa koskevat samat tulkinnat kuin edellä on esitetty CCA-kyllästetylle puulle (YMP 2004b).

CCA-kyllästettyjen puupylväiden hävittäminen on hyvin ongelmallista. Eräs tapa on polttaa pylväät siihen tarkoitettuun yksikössä, jossa polttokaasuista erotellaan ympäristölle haitalliset aineet. Polttolaitokset ovat kuitenkin vasta kehitysasteella.

Demolite Oy on puunsuojateollisuuden toimialajärjestön Lahontorjuntayhdistys ry:n vuonna 2000 perustama kyllästetyn puutavaran energiakierrätysyksikkö. Demolite Oy vastaanottaa jätepylväitä Kestopuun kierrätysterminaaliin, mutta palautuksista peritään jätteenkäsittelymaksu. Kyllästämöt eivät enää vastaanota pylväspalautuksia, joten ainoana vastaanottopisteenä toimii tämä terminaali Tuuloksessa. Verkonhaltija järjestää omalla kustannuksellaan pylväiden kuljetuksen Kestopuun kierrätysterminaaliin

Jos ja kun CCA:n käyttö kyllästyksessä loppuu 1.9.2006 alkaen koko EU:n alueella, tulee jonkinlaisia ongelmia, millä CCA:n käyttö korvataan kantavissa puurakenteissa, silloissa, laitureissa, aitatolpissa, maan tukirakenteissa, sähkö- ja puhelinpylväissä ja ratapölkyissä.

Kuparia sisältävillä C-kyllästeillä voidaan CCA:n käyttö sahatavaran kyllästyksessä korvata melko hyvin, ja niiden käyttö todennäköisesti lisääntyy CCA:n käytön rajoituksen myötä. Tulevaisuudessa C-kyllästeiden rinnalle nousevat mahdollisesti myös täysin metallivapaat kyllästeet.

Puupylväiden kyllästyksessä tulee kuitenkin suuria ongelmia. Kreosottiöljyn käyttö saattaa lisääntyä jonkin verran pylväiden suojaamisessa, mutta koko Suomen tarpeisiin nykyisellä tuotantokapasiteetilla ei yllätä. CCA:ta korvaavien C-kyllästeiden kupari ei pysy puussa samalla tavalla kuin CCA:n kupari pysyy kiinnittymisen jälkeen. Tästä seuraa, että C-kyllästeillä saavutettava tekninen pitoaika on vuosikymmeniä lyhyempi.

CC-kyllästeiden käyttö on Suomessa tällä hetkellä melko vähäistä. On todennäköistä, että myöskin kromin käyttö puunsuojauksessa tullaan arseenin tavoin terveyssyistä kieltämään lähitulevaisuudessa, jolloin CC-kyllästeidenkin käyttö loppuu kokonaan.

Puunsuoja-aineiden valmistajat yrittävät koko ajan kehitellä uusia kyllästeitä, mutta tämä on erittäin hidasta toimintaa. On vaikea löytää toimivia ja tehokkaita suoja-aineita,

jotka samalla noudattavat asetettuja määräyksiä ja vaatimuksia. Aineiden suojaustehon tutkiminen on hidasta koekentillä ja laboratorioissa. Lisäksi kyllästeiden lupahakemusmenettely on hyvin pitkäkestoinen prosessi.

4.2 Ilmajohtimet ja kaapelit

Myös ilmajohtojen johtimien ja kaapeleiden teknisiin pitoaikoihin vaikuttaa monta erilaista osatekijää. Teknisen pitoajan päättymistä tarkasteltaessa nämä osatekijät vahvistavat usein toistensa vaikutuksia. Joskus kuitenkin yksikin näistä osatekijöistä voi tulla merkitseväksi materiaalin rappeutumisen kannalta.

Johtimen materiaalivalinnoilla ja rakenteella on suuri merkitys sen lujuuteen. Tuuli aiheuttaa monia ongelmia sähköverkon maanpäällisille rakenteille. Sähköeristyksillä on tietty sallittu lämpötila, jonka ylittäminen esimerkiksi ylikuormitustilanteessa tai ylivirtasuojauksen pettäessä nopeuttaa eristeen vanhenemista. Lisäksi ylikuormittaminen haurastuttaa toisinaan jopa rakenteen ulkovaippaa. Veden pääsy johdinrakenteisiin edistää aina vanhenemista. Avojohtojen ja kaapeleiden oikeanlaisella asennuksella ja asennustarvikkeilla voidaan vaikuttaa myönteisesti tekniseen pitoaikaan. Lisäksi asennusympäristöllä ja –olosuhteilla on suuri merkitys saavutettavan teknisen pitoajan kannalta. Asennusympäristöstä kohdistuu johtimelle lämpötilan, UV-säteilyn, kemiallisten yhdisteiden ja ilmansaasteiden aiheuttamia ongelmia. Myös asennusolosuhteet voivat rasittaa johtimia monilla eri tavoilla kuten tuuli-, jää-, routa- tai värinävaurioiden kautta.

Nykyään valmistettavien sähköjakelussa käytettävien erilaisten keskijännitteisten alumiini- ja teräsalumiinirakenteisten ilmajohtinten sekä pienjännitekaapeleiden teknisen pitoajan odotusarvo on karkeasti yleistäen keskimäärin 50...70 vuotta. Vastaavasti keskijännitemaakaapeleiden teknisen pitoajan odotusarvo on tällä hetkellä noin 70...90 vuotta (Pirelli 2004).

4.2.1 Ilmajohdinrakenteista

Nykyisten jakelu- ja siirtoverkkojen kolmivaihejärjestelmän ilmajohtojen sekä kaapeleiden pääasiallisiksi johdinmateriaaleiksi ovat aikojen kuluessa valikoituneet erilaiset alumiini- ja teräsalumiinirakenteet. Sähköistyksen historian alussa paljon käytetty kupari on sähköisiltä ominaisuuksiltaan parempi kuin alumiini. Kuparijohtimia

käytetään sähköjakelussa ja -siirrossa nykyään kuitenkin melko vähän johtuen materiaalin kalleudesta ja raskaudesta verrattuna alumiiniin.

Alumiinin huonomman sähköjohtavuuden seurauksena kasvaa tarvittava johdinpinta-ala, joka alumiinijohtimella on noin 1,6 kertaa kuparijohdinta suurempi. Sähköisesti kuparijohdinta vastaavan alumiinijohtimen massa on kuitenkin noin puolet pienempi kuin kuparijohtimen (INSKO 1967).

Ilmajohdot voidaan jakaa niiden rakenteen perusteella avojohtoihin, päällystettyihin avojohtoihin ja riippukaapeleihin. Jakeluverkossa avojohtoja käytetään nykyään pääasiassa keskijännitteellä. Avojohtojen johtimet, joissa on käytetty alumiinia, voidaan jakaa teräsvahvisteisiin alumiinijohtimiin, teräsvahvisteisiin alumiiniseosjohtimiin, alumiinijohtimiin ja alumiiniseosjohtimiin. Avojohtojen ja päällystetyillä avojohtojen on kolme erillistä johdinta, jotka on erotettu toisistaan erilaisin orsirakentein. Riippukierrekaapeleiden eristetyt vaihejohtimet on kierretty kannatinvaijerin ympärille yhdeksi nipuksi.

Teräsvahvisteisten alumiinijohtimien kuten Sparrow'n tai Ravenin ytimen muodostaa yksi tai useampi keskenään kierretty sinkitty teräslanka. Ytimen ympärille on kierretty useita lähes puhtaasta alumiinista tehtyjä säikeitä. Teräsvahvisteiset alumiiniseosjohtimet, kuten Fersemal, poikkeavat edellisestä siten, että niissä käytetyn alumiinin koostumus on puhtaan alumiinin sijaan vaikkapa piin, magnesiumin ja alumiinin seos. Lisäksi on valmistettu myös johtimia, joissa on kierrettynä keskenään useita teräslankoja ja alumiiniseoslankoja. Tällaista johdinta, kuten Bantamia, käytettiin aikanaan paikoin melko paljon, koska sen lujuusominaisuudet, vikasietoisuus ja hinta vastaavan poikkipinnan johtimiin nähden olivat ylivoimaiset. Suuri lujuus antoi mahdollisuuden käyttää pitkiä jännevälejä tai lyhentää pylväitä, jolloin säästettiin pylvästyskustannuksissa. Rakenteen on pitkien jänneväliden takia kuitenkin herkkä tuulen ja lumikuormien aiheuttamille vaurioille. Lisäksi huonoista sähköisistä ominaisuuksista johtuen tällainen teräsvahvisteinen alumiiniseosjohdin kuumenee enemmän ja sen siirtokyky on huonompi. Alumiini- ja alumiiniseosjohtimien rakenteena on karkeasti kuvattuna pariton määrä nipuksi kierrettyjä lankoja.

Päällystettyjä avojohtimia kutsutaan yleisesti PAS-johtimiksi ja ne eroavat avojohtimista siten, että niiden pinnalla on muutaman millimetrin paksuinen eristekerros. PAS-johdot on kehitetty, jotta saavutettaisiin pienemmät johtoalueet ja vikatiheydet keskijänniteverkossa. Eristeenä käytetään nykyään paljon PEX- tai XLPE-eristettä eli ristisilloitettua polyeteeniä. Ristisilloitettu polyeteeni eroaa tavallisesta PE polyeteenistä siten, että materiaalin makromolekyyliketjut on ristisilloituksella sidottu kemiallisesti toisiinsa. Tällä menettelyllä saavutetaan monia etuja kuten suuremmat käyttölämpötilat.

Riippukierrekaapelin kolme eristepäällysteistä vaihejohtinta on kierretty ripustukseen tarvittavan kannatusköyden ympärille. Pienjänniteriippukierrekaapeli AMKA on suomalaisen kehitystyön tulosta jo vuodelta 1967. Perinteisen rakenteen johtimet ovat yleensä 7-lankaisia, tiivistettyä rakennetta, pyöreitä, kierrettyjä alumiinijohtimia ja eristeenä on käytetty mustaa polyeteenimuovia. Myöskin 1-lankaisia malleja on käytetty. Vaiheet on merkitty pitkittäisin muovissa olevin harjantein. AMKA:n kannatusköytenä toimii 7-lankainen tiivistettyä rakennetta oleva alumiiniseosköysi, jonka poikkipinta on yhtä porrasta vaihejohtimia suurempi. Kannatusköysi toimii samalla nollajohtimena (INSKO 1978).

SAMKA eli suurjännitteinen AMKA kehitettiin 1970-luvun alussa korvaamaan suurjänniteavojohtoja lähinnä taajamissa ja muilla tiheämmin asutuilla alueilla. Nykyään SAMKA:aa ei enää kylläkään valmisteta. SAMKA:lla on täydellinen suurjännitekaapelirakenne. Sen teräksisen kannatusköyden ympärille on kerrattu kolme yksivaihekaapelia. SAMKA:n johtimet ovat 7- tai useampilankaisia, köydeksi kierrettyjä, pyöreitä alumiinijohtimia. Tämän riippukierrekaapelin johdinsuoja ja hohtosuoja ovat puolijohtavaa muovia, eristys polyeteeniä, kosketussuoja alumiininauhaa, vaippa sään ja pakkasen kestävä muovia ja kannatusköytenä toimii monilankainen sinkitty teräsköysi (INSKO 1978). SAMKA:n tilalle tuli 1980-luvulla suurjänniteriippukierrekaapeli SAXKA, jonka eristeenä käytetään PEX-muovia.

Lisäksi viime vuosina on saatavilla ollut sekä ilmajohtimina että maa-asennuksissa toimivia monikäyttökaapeleita. Monikäyttökaapeleiden tulee kestää sekä ilma- että maa-asennuksessa niihin kohdistuvat rasitukset. Teknisen pitoajan puolesta voidaan

monikäyttökaapelien odottaa kestävän yhtä kauan kuin vastaavat ilmajohdot tai maakaapelit kestävät.

Ilmajohdinrakenteen heikoin paikka on kannatuspidikkeen kohta, jossa siihen vaikuttaa kiinnitystavasta riippuen useita erisuuntaisia voimia. Ilmajohdimilla on tapana materiaalista riippuen virua jonkin verran asentamisen jälkeen ja tämän takia johtimet kiristetään tiettyyn jännitykseen. Kiristyksestä aiheutuvan jännityksen lisäksi ilmajohtimiin vaikuttaa kannatuspidikkeessä taivutusjännitys. Kannatuspidikkeen mahdollisten pulttien kiristämisestä aiheutuu myöskin puristusjännitystä. Ilmajohdimien erilaisilla rakenteilla onkin pyritty vaikuttamaan lähinnä murtolujuuteen ja painoon. Kuparin murtolujuus on alumiiniin verrattuna suurempi, kun taas alumiiniseoksen murtolujuus on suurempi kuin kuparin. Teräsvahvisteiset alumiinijohtimet ovat lujempia kuin edellä mainituista materiaaleista tehdyt ja suurin murtolujuus näistä on teräsvahvisteisella alumiiniseosjohtimella. Ilmajohdojen ripustukseen nykyään käytetyt teräSORRET ja koukut ovat erittäin kestäviä ja ne rappeutuvat hyvin hitaasti. Ilmajohdorakenne pettääkin yleensä jostain muusta kohdasta kuin itse ripustimesta, joten tässä yhteydessä ei tarkastella näitä sen tarkemmin.

4.2.2 Tuulen aiheuttama ilmajohtojen värähtely

Tuuli aiheuttaa ilmajohtoihin dynaamista kuormitusta, joka voi pahimmillaan johtaa jopa johtimen katkeamiseen. Yleisin tuulen aiheuttama värähtelyilmiö ilmajohdoissa on aeolinen värähtely. Tässä johtimessa irtoaa jaksollisesti ilmavirtapyörteitä, jotka saavat johtimen dynaamiseen liikkeeseen. Jos värähtelyn synnyttämä taivutusjännitysvaihtelu ylittää johtimen väsymislajuuden, seuraa pitkällä aikavälillä jopa johtimen lankojen katkeaminen (Leskinen 2000).

Ilmajohtoon voi muodostua myös tanssimisilmiö. Tähän on syynä johtimen poikkileikkauksen aerodynaaminen epästabiliteetti. Kun normaalisti symmetrinen poikkileikkaus muuttuu vaikkapa jäästä johtuen epäsymmetriseksi, niin sopivalla tuulella johdin voi joutua suuriamplitudiseen värähtelyliikkeeseen. Seurauksena voi olla esimerkiksi oikosulku, kun johtimet lyövät yhteen. Tanssimisilmiö voi tuhota myös muita johtorakenteita (Leskinen 2000).

Nippujohtimilla tavataan osajännevärähtelyksi kutsuttua värähtelytyyppiä. Suuremmilla siirtojännitteillä käytettävissä nippujohdinrakenteissa useampi samaa vaihetta oleva johdin on mekaanisesti sidottu toisiinsa. Tuulen alapuolella oleva osajohdin joutuu vanavirtauksen aiheuttamien voimien vietäväksi. Osajohtimet on yleensä kiinnitetty toisiinsa välisitein, joten koko nippujohdin voi joutua värähtelyliikkeeseen. Osajännevärähtely voi vaurioittaa välisiteitä ja johtimia (Leskinen 2000).

Aeolista värähtelyä tapahtuu käytännössä koko ajan johtimissa. Muut värähtelytyypit eivät ole niin yleisiä, ja esimerkiksi tanssimistapauksia sattuu Suomessa talvisaikaan vain muutamia.

Aeolisessa värähtelyssä johtimen pinnasta irtoavien tuulen virtauspyörteiden irtoamistaajuus f saadaan Strouhalin laista (Leskinen 2000):

$$f = \frac{S \cdot u}{d}, \quad (4.1)$$

jossa

S on Strouhalin luku (0,2)

u on tuulen nopeus

d on johtimen halkaisija.

Johtimella ominaistajuudet ovat luonnostaan hyvin lähellä toisiaan. Käytännössä siis lähes jokaiselle tuulen nopeudelle löytyy resonanssitila.

Aeolinen värähtely pyrkii asettumaan tietylle taajuudelle ja tuulen nopeuden pienet variaatiot eivät pysty häiritsemään resonanssitilaa. Värähtelyn amplitudi on maksimissaan johtimen halkaisijan suuruinen. Käytännössä mekaaninen vaimennus yhdessä aerodynaamisen vaimennuksen kanssa rajoittavat johtimen värähtelyn amplitudin pienemmäksi. Johtimen vaimennukseen vaikuttavat sen mekaaniset ominaisuudet, värähtelysuureet sekä johtimen kireys. Johtimen ominaisvaimennus huononee kiristyksen kasvaessa (Leskinen 2000).

Lisäksi värähtelyn taajuuteen vaikuttaa tuulen luonne. Jos tuuli on tasainen ja laminaari, niin se edistää seisovan aaltoliikkeen muodostumista ja amplitudin kasvua. Tuulen turbulentsisuus riippuu ilmajohtoa ympäröivästä maastosta. Metsän suojassa sijaitseva johto on siten paremmassa turvassa aeoliselta värähtelyltä kuin pellolle rakennettu tai vesistöalueen ylittävä johto (Leskinen 2000).

Johtimen kiristystaso vaikuttaa siis syntyvän värähtelyn suuruuteen. Samalla se vaikuttaa myöskin johdon elinikään. Johto tulisi varustaa värähtelynvaimentimilla tai sitten voidaan alentaa johtimen kiristystä riittävän eliniän saavuttamiseksi (Leskinen 2000).

Cigre on määrittänyt ohjeet turvallisista johtimen kiristystasoista vaimentamattomille johtimille (Cigre 1999). Julkaisun ohje perustuu parametrin H/w laskentaan, missä H on johtimen kiristysvoima laskettuna vuoden kylmimmän kuukauden keskilämpötilan mukaan ja w on johtimen paino pituusyksikköä kohden. Taulukossa 4.3 on esitetty turvalliset kiristysparametrin arvot maastotyypeittäin (Leskinen 2000).

Taulukko 4.3. Vaimentamattoman johtimen turvalliset kiristystasot (Cigre 1999)

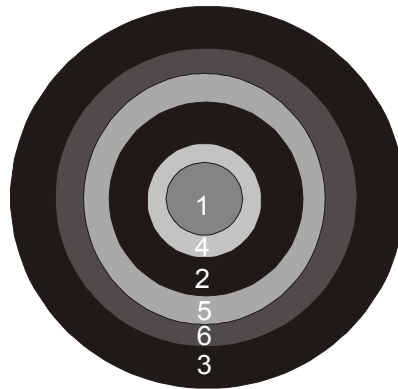
Maastoluokka	Maaston ominaisuudet	H/w [m]
1	Avonainen, tasainen maasto lumipeitteellä tai vesialueiden vieressä.	1000
2	Avonainen, tasainen maasto, ei lunta, esimerkiksi pelto kesällä.	1125
3	Avonainen, tasainen maasto, jossa on muutamia puita tai pensaita.	1225
4	Vaihteleva maasto, jossa on puita ja rakennuksia.	1425

Esimerkiksi erään johtimen paino on 11,3 N/m, jolloin maastoluokassa 3 turvallinen kiristystaso ilman vaimentimia on $11,3 \cdot 1225 \approx 13850$ N. Tämä arvo vastaa 38 N/mm² nollasääjännitystä, kun kylmimmän kuukauden keskilämpötila on -10 °C ja kiristysvälin ekvivalenttijänne on 200 m (Leskinen 2000).

Vaimenninratkaisujen toimivuutta ja vaimentamattoman johtimen elinikää voidaan tarkastella erilaisten värähtelymittausten avulla. Toinen tapa on laskennallinen eliniän määrittäminen energiatasapainomenetelmää käyttäen.

4.2.3 Maa- ja vesistökaapelirakenteista

Kuten jo ilmajohdintenkin kohdalla todettiin, käytetään myös jakeluverkon kaapeleiden pääasiallisena johdinmateriaalina alumiinia ja erilaisia alumiiniseoksia. Voimakaapeleiden johtimet ovat yleensä pienemmillä poikkipinnoilla pyöreitä ja yksilankaisia. Suuremmilla poikkipinnoilla johtimet ovat useammasta langasta koostuvia pyöreitä tai erimuotoisia sektoreita. Lisäksi suurjännitekaapelit on kokonaisuudessaan muotoiltu yleensä pyöreiksi, jotta sähkökentänvoimakkuus johtimen pinnalla olisi mahdollisimman pieni. Nykyään kaapeleiden eristyksessä käytetään muovia, kun taas aikaisemmin käytettiin yleisesti öljypaperieristystä. Polymeeri- eli muovieristeisten kaapeleiden perusrakennetta havainnollistaa kuva 4.2. Myös monijohdinkaapeleilla on samat päärakennneosat, vaikkakin joskus eri tavoin yhdistettynä. Esimerkiksi kosketussuoja saattaa kaapelityypistä riippuen olla joko yhteinen tai jokaisella johtimella omansa. Pienjännitekaapeleille riittää yleensä rakenneosat 1, 2 ja 3 sekä jos kyseessä on vielä monijohdinkaapeli, sidotaan johtimet vyönauhoituksella yhteen.



Kuva 4.2. Polymeerieristeisen yksivaihekaapelin rakenne pääpiirteittäin. 1) Johdin. 2) Sähköeristys. 3) Ulkoinen suojaus, eli metalli- tai muovivaippa, armeeraus tai muu sellainen. 4) Johdinsuoja, joka on puolijohtava ja suojaa eristystä sähköisiltä rasituksilta. 5) Hohtosuoja, joka on puolijohtava ja suojaa eristystä sähköisiltä rasituksilta. 6) Metallinen kosketussuoja.

4.2.4 Kaapelieristeiden rappeutuminen vaihtojännitteellä

Sähköverkkojen vaihtojännitteisissä kaapeliyhteyksissä käytetään yleisesti polymeerieristeisiä kaapeleita ja mineraaliöljyllä kyllästettyjä paperieristeisiä kaapeleita. Nykyisin muovit ovat syrjäyttäneet öljypaperirakenteen lähes täysin johtuen erilaisista taloudellisista sekä valmistus- ja käyttöteknisistä syistä.

Sähkönjakelussa polymeerikaapeleiden eristemateriaaleina on käytetty alemmilla jännitteillä polyvinyylikloridia eli PVC:tä ja erityisesti AMKA-johtimissa polyeteeniä. Suuremmilla jännitteillä käytetään polyeteeniä eli PE:tä tai ristosilloitettua polyeteeniä kuten PEX. Ristosilloitus, eli makromolekyyliden sitominen yhteen kemiallisesti, parantaa huomattavasti polyeteenin ominaisuuksia kuten lämmönkestävyyttä. Paljon siirreltäväissä kaapeleissa voidaan käyttää joustavaa eteenipropeenikumia EPR.

1970-luvun puolivälin jälkeen eristysmateriaalien laatu, eristyksen rajapintojen tasaisuus ja valmistustekniikka ovat parantuneet huomattavasti. Siirtyminen PE- ja PVC-eristyksestä PEX-eristykseen on lisännyt kaapeleiden teknistä pitoaika huomattavasti. Monesti kaapelirakenteiden ongelmat esiintyvät kuitenkin kaapelipäätteissä ja –jatkoksissa.

Kaapeleiden eristeen rappeutuminen voi johtua yhdestä tai useammasta osatekijästä. Vanhenemiseen voivat vaikuttaa (Pirelli 2004):

- sähkökentän voimakkuus eristeessä, joka aiheuttaa eristyksen sähköistä vanhenemista
- johtimen lämpötila, joka aiheuttaa eristyksen termistä vanhenemista
- kaapelirakenne, erityisesti vesitiiveys kosteissa olosuhteissa
- kaapelimateriaalien ominaisuudet, puhtaus ja tasalaatuisuus
- valmistustekniikka
- asennustapa
- ympäristöolosuhteet.

Kentänvoimakkuuteen eristyksessä vaikuttavat eristyskerroksen paksuus, johtimen halkaisija ja muoto. Suurimmilla jännitteillä käytettävillä kaapeleilla on halkaisija- ja

painorajoituksia, jolloin kentänvoimakkuus on näissä suurempi kuin keskijännitekaapeleissa. Tekninen pitoaika voi siis suurjännitekaapeleilla olla teoriassa lyhyempi kuin keskijännitekaapeleilla, mutta toisaalta korkeilla jännitteillä käytetään korkealaatuisempia eristysmateriaaleja (Pirelli 2004).

Eristyksen termiseen vanhenemiseen vaikuttavat kuormitusvirta ja ympäristön lämpötila. Mitä korkeampi johtimen lämpötila on sitä nopeammin eristys vanhenee, kun polymeeriketjut rikkoutuvat ja eristyksen tärkeät lisäaineet kuten stabilointiaineet poistuvat eristyksestä (Pirelli 2004). Esimerkiksi maa-asennuksessa kaapeli saattaa kuumentua kuivassa ja huonosti lämpöä johtavassa maaperässä ennakoitua enemmän, mikä voi kiihdyttää kaapelin eristyksen vanhenemista.

Maa- ja vesistöasennuksessa kaapeleiden tekniseen pitoaikaan vaikuttaa oleellisesti rakenteen poikittaissuuntainen vesitiiveys. Tällainen vesitiiveys saavutetaan yhtenäisellä metallikerroksella. Poikittaissuuntaisesti vesitiiviiden kaapelirakenteiden tekninen pitoaika maa- ja vesistöasennuksissa on yli kaksinkertainen verrattuna vesitiivistämättömiin kaapeleihin. Pituussuuntainen vesitiivistys sen sijaan estää veden kulkeutumisen kaapelissa pituussuuntaisesti esimerkiksi kaapelin katketessa tai kaapelin ulkovaipan vaurioituessa (Pirelli 2004).

Muovieristeisten kaapeleiden valmistuksessa eristeeseen jää väistämättä epäpuhtauksia ja kaasukuplia, jotka edesauttavat osittaispurkausten ja tätä kautta sähköpuiden syntymistä. Sähköpuulla tarkoitetaan tässä yhteydessä puumaisesti etenevää purkauskanavaa eristeessä. Nimenomaan PE-eristeet ovat äärimmäisen herkkiä osittaispurkauksille. PEX kestää osittaispurkauksia hieman paremmin. Muovieriste on palautumaton eriste, jolloin osittaispurkausten aiheuttamat vauriot vanhentavat rakennetta peruuttamattomasti, ja johtavat lopulta läpilyöntiin eristeessä. Jos polyeteenikaapeleiden eristeeseen pääsee vettä, voi sähkökentän vaikutuksesta muodostua myöskin vesipuu. Vettä voi päästä eristeeseen valmistusvaiheessa, asennusvaiheessa tai sitten vaikkapa diffundoitumalla muovivaipan läpi. Osittaispurkauksista kerrotaan lisää kappaleessa 4.4.5.

Öljypaperikaapeli voi olla joko paineistettu tai paineistamaton. Itse eristepaperi kerrataan johtimen päälle. Paperi on kyllästetty öljyllä tai kaapelissa on lisäksi yksi tai useampi öljykanava paperin riittävän kyllästystason ylläpitämiseksi. Pääosin kaapelin rakenne poikkeaa muovieristeisestä kaapelista lisäksi siten, että johdinsuojana on yleensä nokipaperikerros ja kosketussuojan päällä on vielä painevahvistus ennen ulkoista suojakerrosta. Öljypaperikaapeli vaurioituu usein herkästi kaapelin taivuttelusta. Jos sallittu taivutussäde syystä tai toisesta ylitetään, voi paperikerrokseen syntyä ryppy tai repeämä. Tämä taas johtaa paikallisen sähkökentän voimakkuuden kasvamiseen ja osittaispurkausten syntymiseen. Myös öljypaperikaapeliin voi joutua ilmakuplia, jotka helpottavat osaltaan osittaispurkausten syntyä. Kuitenkin öljypaperieristeisten kaapeleiden osittaispurkauskestävyys on huomattavasti suurempi verrattuna polymeerieristeisiin kaapeleihin. Tämä johtuu siitä, että öljypaperieristys on jossain määrin itsekorjautuva, eli kyllästysmassat ja –öljyt pyrkivät tasoittumaan ja tätä kautta ne pystyvät torjumaan alkavia vikoja.

Kaapelipäätteiden ja jatkosten suunnittelussa tulee ottaa huomioon radiaalisen sähkökentän lisäksi nimenomaan aksiaalinen sähkökenttä ja liukupurkausten syntymisen estäminen eri eristeiden välisessä rajapinnassa (Aro 1996).

4.2.5 Alumiinin korroosio ilmajohtimilla ja kaapeleilla

Alumiinisten avojohdinten pintaan syntyy ulkoilmassa nopeasti johdinta korroosiolta suojaava ohut oksidikalvo. Oksidin liukoisuus on pienimmillään pH-alueella 4,5...8,5 (INSKO 1967).

Alumiini- ja alumiiniseosjohtimien korroosio-ominaisuudet eivät juurikaan eroa toisistaan. Ulkojohtimille kohdistuu paljon syöpymistä lisääviä tekijöitä, jotka johtuvat seuraavista johtimien rakenteeseen ja toimintaan liittyvistä seikoista (INSKO 1967):

- Happiväkevyysero johtimien sisä- ja ulkokerrosten välillä edistää syöpymistä.
- Teräsalumiinijohtimien sinkityn terässydämen ja alumiinisäikeiden välillä tapahtuu galvaanista korroosiota varsinkin meri-ilmastossa.

Alumiini on katodinen sinkin suhteen ja anodinen raudan suhteen, joten ensin syöpyy terässäikeiden sinkitys ja vasta sen jälkeen alumiini. Meri-ilmastossa suositeltavampi johdinrakenne onkin tästä syystä kokoalumiinijohdin, jolla galvaanista korroosiota ei tapahdu.

- Johtimen sähköinen potentiaali kerää ilmasta kiinteitä hiukkasia. Nämä hiukkaset, kuten noki, pöly ja suolahiukkaset, kiihdyttävät katodisina tai hygroskooppisina johtimen syöpymistä.
- Johtimen lämpötila on käytössä ympäristöä korkeampi, jolloin sadeveten liuenneiden aineiden väkevöityminen säikeiden väleissä tehostuu. Tämä taas edistää korroosiota. Toisaalta johtimen korkeampi lämpötila kuivattaa johdinta paremmin ja näin ollen syöpymisvaarakin pienentyy.
- Johtimen sähköpurkaukset eli koronailmiö synnyttää otsonia ja typen oksideja, jotka kiihdyttävät korroosiota.
- Varastoinnin yhteydessä voi johdin joutua tekemisiin korroosiota kiihdyttävien tekijöiden kanssa. Johtimen ulkopinta voi syöpyä nopeastikin varastoitaessa esimerkiksi teollisuusilmastossa tai jos johdin joutuu kosketuksiin vaikkapa kelan välityksellä epäorgaanisten kyllästysaineiden kanssa.

Teollisuusilmasto sekä meri-ilmasto siis nopeuttavat korroosiota. Suomen maaseutuilmastossa ilmansaasteiden määrä on kuitenkin vähäinen ja rannikoiden meriveden suolaisuus matala, joten alumiinin korroosiota avojohdoilla ei olla pidetty suurempana ongelmana.

Maa- ja vesistökaapeleiden korroosiolle herkimvät osat ovat kaapelipäätteet ja -jatkokset. Kaapelit itsessään suojataan kosteudelta ja tästä seuraavalta korroosiolta monilla erilaisilla kerroksilla. Joskus, kuten ulkoisen suojakerroksen vahingoituttua, korroosiota voidaan kuitenkin tavata kaapelin alumiinisten vaippakerrosten

ulkopinnasta. Maaperässä alumiinia suojaava oksidikalvo vahingoittuu varsin nopeasti johtuen vallitsevista olosuhteista kuten kosteudesta, elektrolyyttiväkevydestä ja hapen vähäisestä määrästä.

4.2.6 PAS-johtimien ongelmista

Päällystetyt avojohtimet eli PAS-johtimet ovat herkempiä tuulen aiheuttamalle johdinvärähtelylle kuin tavalliset avojohdot. Syynä tähän on se, että johtimen tuulelle altis pinta-ala on eristekerroksen takia suurempi. PAS-johdot ovat lisäksi kevyempiä kuin muut pinta-alaltaan vastaavat johdot ja niillä on erilaiset sisäiset vaimennustekijät kuin pinnoittamattomilla johtimilla.

Aikaisemmin PAS-johtimilla on esiintynyt selittämättömiä katkeiluja. Jos pitkittäisesti vesitiivistämättömän PAS-johtimen eristeen alle pääsee syystä tai toisesta vettä, on korroosion vaara ilmeinen. Kuitenkin nykyään valmistettavat PAS-johtimet tehdään usein pituussuuntaan vesitiiviiksi. PAS-johtimilla on lisäksi tavattu eristeen selittämätöntä reikiintymistä. Syynä tähän voivat olla jänniterasitusten ja sähkökenttien epämääräisyys, ilmastolliset ylijännitteet ja johtimille kaatuneiden puiden aiheuttamat eristevauriot (Vehanen 2003). Myöskin johtimen ja eristeen erilaisista lämpölaajenemisominaisuuksista voi toisinaan olla haittaa.

Jos PAS-johdin jostain syystä katkeaa ja putoaa maahan tai esimerkiksi puu kaatuu johdolle, voi syntyä suuri-impedanssinen vika. Syntynyt vika on megaohmien luokkaa, kun taas tavanomainen relesuojaus kykenee havaitsemaan maasulut vain muutaman kilo-ohmin vikaimpedanssiin asti. Vaaralliset viat voivat jäädä siis pitkäksikin aikaa havaitsematta.

4.3 Jakelumuuntajat

Pitkän ajan kuluessa muuntajille kohdistuvat termiset, sähköiset, mekaaniset ja ympäristön aiheuttamat rasitukset heikentävät muuntajan mekaanista- sekä jännite- ja oikosulkukestoisuutta lisäten samalla vikaantumisriskiä. Eristeaineiden kunto on määräävässä asemassa tarkasteltaessa muuntajien käytöstä aiheutuvaa vanhenemisprosessia. Muuntajan eristemateriaalien vanhenemisnopeus riippuu pääasiassa lämpötilasta.

Suomessa käytettävien neste-eristeisten muuntajien eristemateriaaleina ovat usein mineraaliöljy ja paperi. Muuntajaöljyn tehtävänä on toimia muuntajan jäähdytysnesteinä ja toisaalta parantaa paperin eristyskykyä. Paperieristeen tehtävänä taas on eristää muuntajan käämit toisistaan sekä maadoitetuista osista. Lisäksi paperi lisää rakenteen mekaanista kestävyyttä ja mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirron muuntajan käämien ja muuntajaöljyn välillä.

Öljymuuntajien paloturvallisuus- ja ympäristöriskien takia on käytössä myöskin kuivaeristeisiä muuntajia sekä esteripohjaisella eristysöljyllä varustettuja nestemuuntajia. Kuiva-eristeiset muuntajat valmistetaan palamattomista tai vaikeasti syttyvistä materiaaleista. Esimerkiksi epoksi-lasikuitueriste voidaan mitoittaa kestävämmän samat koestusjännitteet kuin mitä öljymuuntajalta vaaditaan.

Suomessa käytetään standardia IEC 60354 öljymuuntajien kuormitettavuudesta. Standardin antamia ohjekuormituksia voidaan käytännössä esimerkiksi Suomessa ylittää johtuen erilaisista ilmasto-olosuhteista. Muuntajien kuormituskykyä nostavat varsinkin tuulisuus ja ympäristön lämpötila.

4.3.1 Rasitukset

Muuntajan eristerakenteen hajoamis- ja muutosprosesseja kiihdyttää voimakkaimmin normaalista käytöstä aiheutuva termien eli lämpötilasta johtuva rasitus (Pylvänäinen 2002). Eristeet muuttuvat lämpötilan vaikutuksesta sekä kemiallisesti että fysikaalisesti huonommin muita erityyppisiä rasituksia kestäviksi. Prosessi vaatii yleensä happea.

Verkossa esiintyvät transienttivirrat ja jännitteet, oikosulkuvirrat ja harmoniset yliaaltovirrat sekä –jännitteet rasittavat muuntajaa sähköisesti. Salamet aiheuttavat suurimmat muuntajiin kohdistuvat ylijännitteet. Muuntajat kuitenkin suojataan ylijännitesuojilla kuten venttiilisuojilla ja kipinäväleillä siten, että ne toimivat ennen kuin suojattavan laitteen eristyksen kesto-aste ylitetään. Lisäksi muuntajat on yleensä mitoitettu siten, että jänniterasitusten vaikutukset eristerakenteeseen ovat pienet, jos eristerakenne ei ole vielä vanhentunut liikaa.

Verkon vikatilanteet rasittavat muuntajia mekaanisesti transienttiylijännitteistä aiheutuvien oikosulkuvoimien kautta. Myös muuntajan liikuttelu aiheuttaa mekaanista rasitusta. Muuntajaa voidaan joutua liikuttelemaan vaikkapa huoltokuljetuksien yhteydessä, jolloin värinä saattaa vahingoittaa sitä. Käytännössä mekaaniset rasitukset aiheuttavat yleensä muuntajan sisäosien liikkumista pois oikeilta paikoiltaan. Muuntajaan kohdistuu lisäksi ympäristön aiheuttamia rasituksia. Ilman epäpuhtaudet, lämpötilan vaihtelut ja kosteus kiihdyttävät muuntajassa tapahtuvia vanhenemisprosesseja.

4.3.2 Öljyeriste

Öljyn ensisijainen vanhenemismekanismi on hapettuminen. Ilmassa olevat happimolekyylit reagoivat hiilivety-molekyylin kanssa muuttaen samalla hiilivety-molekyylit vetyperoksideiksi. Lisäksi öljyn happamuusaste kasvaa. Öljyn hapettumisen reaktionopeutta kiihdyttävät varsinkin korkea lämpötila, ilman epäpuhtaudet sekä eristeen metalliepäpuhtaudet kuten rauta ja kupari (Aro 1996).

Pitkän ajan kuluessa muuntajaöljyyn kertyy erilaisia vanhenemisprosessiin vaikuttavia epäpuhtauksia kuten eräitä happamia yhdisteitä, paperieristeen hajoamistuotteita sekä vettä. Varsinkin pisaroiksi tiivistynyt vesi heikentää eristerakenteen jännitelujuutta. Pisanan yli vaikuttava sähkökenttä on voimakkaampi kuin öljyssä vaikuttava sähkökenttä, jolloin läpilyönnin todennäköisyys kasvaa.

Myöskin muuntajan eristemateriaalissa esiintyvät osittaispurkaukset nopeuttavat vanhenemistä. Osittaispurkaukset kuumentavat eristemateriaalia kiihdyttäen kemiallisia ja fysikaalisia hajoamisprosesseja.

4.3.3 Paperieriste

Muuntajien paperieriste koostuu 90 %:sti lineaarisista selluloosamolekyyleistä, jotka muodostavat helposti vetysidoksia läheisten molekyylin kanssa (Pylvänäinen 2002). Tämän kuiturakenteen selluloosamolekyylit muodostuu yhteenliittyneistä glukoosirenkaista, joista paperin mekaaninen lujuus riippuu. Selluloosan glukoosirenkaiden määrää kuvataan DP-luvulla. DP-lyhenne tulee englanninkielien sanoista Degree of Polymeration ja se tarkoittaa suomeksi polymeroitumisastetta. Paperin vanhetessa selluloosamolekyylit pilkkoutuvat yhä pienempiin osiin, jolloin

niiden polymeroitumisaste pienenee. Lopulta paperieriste on niin haurasta, että se ei enää kestä esimerkiksi oikosulkuvoimia. DP-luku on laskenut tällöin uuden paperin 900...1300:sta vanhan paperin 150...200:aan. Joskus paperieristeen mekaaninen heikkeneminen aiheuttaa halkeamia eristerakenteeseen, jolloin esimerkiksi osittaispurkausten todennäköisyys kasvaa (Aro 1996).

Erilaiset katalyytit voivat kiihdyttää paperieristeen vanhenemista. Esimerkiksi vesi nopeuttaa selluloosan pyrolyysiä ja happamat yhdisteet puolestaan edistävät selluloosan hapettumista. Toisin sanoen molekyylit pilkkoutuvat ja haurastuvat. Joskus eristemateriaalin kemiallisissa reaktioissa voi myös syntyä rakennetta heikentäviä happoja. Kemialliset muutokset eristemateriaalissa eivät kuitenkaan yleensä vaikuta merkittävästi rakenteen sähköisiin ominaisuuksiin (Aro 1996).

Paperieristeenkin vanhenemisnopeus riippuu eniten lämpötilasta. Lisäksi tämän eristemateriaalin vanhenemiseen vaikuttavat lähinnä kosteus, happipitoisuus ja käytetyn paperin reagointialttius. Eristepaperi hajoaa vedeksi, hapoiksi, suoloiksi, aldehydeiksi ja hiilidioksidiksi sekä –monoksidiksi (Aro 1996).

Paperieriste määrää öljymuuntajan teknisen pitoajan lähes kokonaan. Vanhenemisesta johtuvien muuntajarikkojen yleisin aiheuttaja nimittäin on eristerakenteen mekaanisen kestävyuden heikkeneminen. Lisäksi muuntajaöljy voidaan vaihtaa verrattain helposti paperieristeeseen nähden (Pylvänäinen 2002).

4.3.4 Neste-eristeinen jakelumuuntaja

Standardien IEC 60354 ja IEEE C57.91 tavoitteena on määrittää raja-arvot muuntajien suurimmille sallituille kuormituksen arvoille kehitettyjen lämpötilamallien perusteella. Kyseisissä nestemuuntajastandardeissa muuntajien vanhenemismekanismit riippuvat suoraan muuntajan kuumimman pisteen lämpötilasta. Näissä standardeissa määritetään muuntajalle lisäksi normaali vanhenemisnopeus nimelliskuormituksella. IEC-standardissa nimelliskuormitusta vastaavaksi käämin kuumimman pisteen nimellisarvoksi annetaan 98 °C ja IEEE –standardissa 110 °C. Standardien perusteella nimellisvirralla jatkuvasti kuormitetun muuntajan vikaantumaton elinikä on IEC 60354:n mukaan noin 35...40 vuotta (Sauna-Aho 1984) ja IEEE C57.91:n mukaan noin

22 vuotta (Pylvänäinen 2002). Molempien standardien yhtälöille pätee karkea arvio, että jokainen 6 °C lisäys muuntajan kuumimman pisteen lämpötilassa kaksinkertaistaa muuntajan vanhenemisnopeuden ja jokainen 6 °C pudotus kuumimman pisteen lämpötilassa pienentää vanhenemisnopeuden noin puoleen. Ilmiö on eksponentiaalinen ja se tunnetaan paremmin Montsingerin yhtälön nimellä.

4.3.5 *Kuivaeristeinen jakelumuuntaja*

Standardissa IEC 60905 käsitellään yliaaltojen vaikutusta luonnollisesti jäähdytetyn muuntajan kuormittamiseen. Kuivamuuntajarakenteille tietyissä olosuhteissa suurimpien sallittujen kuormitusrajojen lisäksi standardi määrittää lämpötilan vaikutuksesta tapahtuvaan muuntajan eristerakenteen vanhenemiseen liittyviä yhtälöitä.

Standardin rajoituksia noudattaen on kokeellisesti voitu todeta, että eristerakenteen ja samalla koko kuivamuuntajan elinikä on yleisesti 30...40 vuotta. Elinikä määritetään kuumimman pisteen lämpötilan perusteella (Pylvänäinen 2002). Poiketen hieman nesteeristeisestä muuntajasta kaksinkertaistaa kuivaeristeisellä muuntajalla jokainen 10 °C lisäys muuntajan kuumimman pisteen lämpötilassa muuntajan vanhenemisnopeuden, ja vastaavasti jokainen 10 °C pudotus kuumimman pisteen lämpötilassa pienentää vanhenemisnopeuden noin puoleen.

4.3.6 *Jakelumuuntajan rappeutumisen tarkastelu*

Muuntajan eristyksen vanheneminen riippuu monista eri tekijöistä, jolloin yksiselitteistä mallia eristyksen jäljellä olevalle tekniselle pitoajalle on käytännössä vaikea esittää. Kuitenkin erilaisia vertailuja voidaan suorittaa esimerkiksi suhteellisen vanhenemisen avulla. Oletetaan, että tekninen pitoaika vastaisi täysin muuntajan termistä elinikää. Suhteellinen vanhenemisnopeus V voidaan nyt laskea:

$$V = 2^{(\theta_h - \theta_{hr})/6}, \quad (4.2)$$

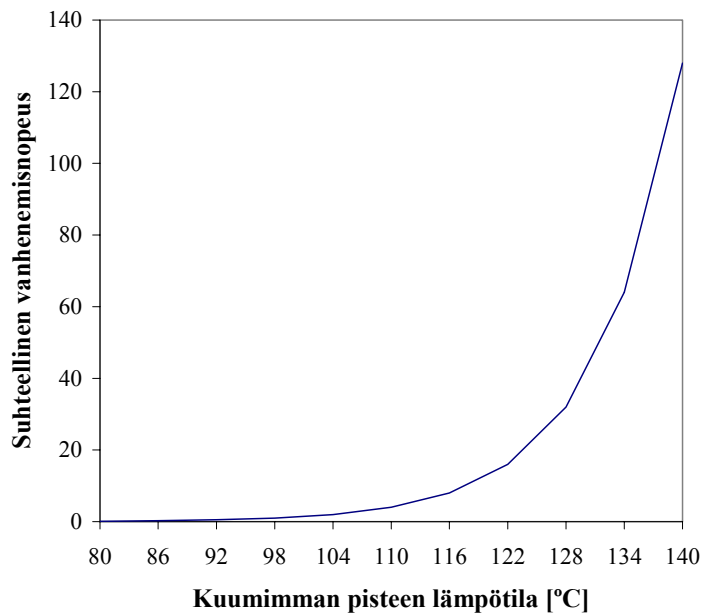
jossa

V on muuntajan suhteellinen vanhenemisnopeus

θ_h on muuntajan kuumimman pisteen lämpötila

θ_{hr} on muuntajan kuumimman pisteen lämpötila ympäristön lämpötilassa 20 °C.

Tehomuuntajia käsittelevän IEC standardin 60076 mukaan suunnitelluilla muuntajilla suhteellinen vanhenemisnopeus on 1 kuumimman pisteen lämpötilan ollessa 98 °C, mikä vastaa muuntajan käyttöä ympäristön lämpötilassa 20 °C. Kuvassa 4.1 esitetään muuntajan suhteellisen vanhenemisnopeuden riippuvuus muuntajan kuumimman pisteen lämpötilasta (IEC 354 1991). Kuvasta voidaan nähdä, että suhteellinen vanhenemisnopeus riippuu vahvasti muuntajan kuumimman pisteen lämpötilasta.



Kuva 4.1. Suhteellisen vanhenemisnopeuden riippuvuus muuntajan kuumimman pisteen lämpötilasta.

Yleensä muuntajan vanhenemisnopeus kuitenkin vaihtelee sen teknisen pitoajan kuluessa riippuen lähinnä vallitsevista lämpötila- ja kuormitusolosuhteista. Suhteellinen vanheneminen L tietyllä pitoajalla saadaan yhtälöstä 4.3:

$$L = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_j, \quad (4.3)$$

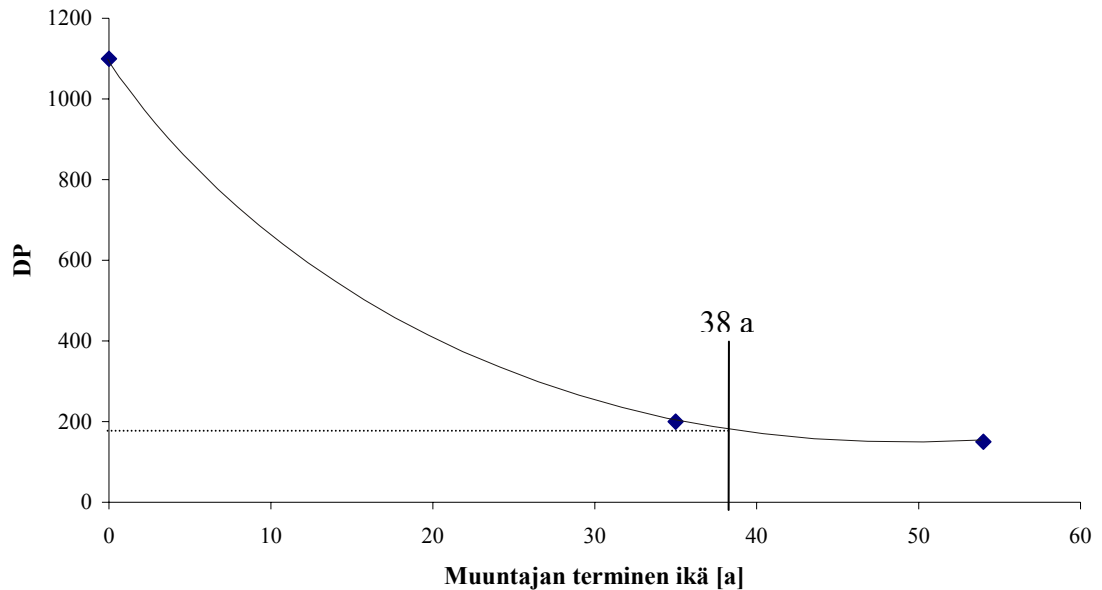
jossa

n on pitoaika

V_j on muuntajan suhteellinen vanhenemisnopeus jollakin pitoajan tarkasteluvälillä j .

Toisaalta öljypaperieristyksen teknisen pitoajan määrää siis lähes kokonaan paperieriste. Lähteessä (Sauna-Aho 1984) on perehdytty 50 kVA, 10 kV öljymuuntajan termiseen pitoaikaan. Viiden metrin korkeudelle ulkoilmaan asennetulle jakelumuuntajalle

suoritettiin lähteen mukaan vanhentamiskoe, jossa muuntajan kuormitusvirta oli 1,4-kertainen nimellisvirtaan nähden noin vuoden verran ja 1,5-kertainen nimellisvirtaan nähden noin 2,2 vuotta. Syöttöjännite oli koko kokeen ajan nimellinen. Vanhentamiskokeen perusteella laadittiin kuvan 4.2 mukainen kuvaaja eristyspaperin DP-luvusta muuntajan termisen iän funktiona (Sauna-Aho 1984).



Kuva 4.2. Eristyspaperin DP-luku muuntajan termisen iän funktiona.

Lähteen (Sauna-Aho 1984) vanhentamiskokeessa muuntaja läpäisi vaadittavat kestoisuuskokeet, kun sen termisen ikä oli Montsingerin yhtälön perusteella 35 vuotta. Vanhentamiskokeen lopussa muuntajan termisen ikä oli 54 vuotta eikä se enää läpäissyt IEC-standardin mukaista oikosulkukoesarjaa. Loppuun vanhentuneen muuntajapaperin DP-luku on 150...200, jonka keskiarvona 175 kuvan 4.2 kuvaajalle on määritetty vanhentamiskokeen muuntajan termisen elinikä 38 vuotta. Tämän yksittäisen kokeen perusteella pääteltiin öljyjakelumuuntajan termiseksi eliniäksi keskimäärin 35...40 vuotta (Sauna-Aho 1984). Myöskin sähköasemilla käytettävien suurmuuntajien osalta eliniän odotusarvo on lähteen (Plukka 1992) mukaan samansuuntainen. Pienemmällä kuormituksella ja paremmilla jäähdytysolosuhteilla päästään todennäköisesti pidempiinkin pitoaikoihin.

Riittävän usein tehdyillä muuntajaöljyn vaihdoilla ja perushuolloilla saavutetaan muuntajan maksimaalinen tekninen pitoaika. Lähteessä (Sauna-Aho 1984) mainitaan,

että muuntajaöljy tulisi vaihtaa, kun joko neutraloimisluku on noussut arvoon 0,5 mg KOH/g tai öljyn rajapintajännitys on laskenut arvoon 15×10^{-3} N/mm. Lähteen (Plukka 1992) perusteella esimerkiksi suurmuuntajille tehdään yleisimmin käämikytkinhuoltoja noin 2...6 vuoden välein.

Vaikka liiallinen ylikuormitus vanhentaakin muuntajaa varmasti, niin on myöskin mahdollista, että liiallinen alikuormitus vaikuttaa muuntajan vanhenemiseen. Reilusti ylimitoitettu muuntaja ei nimittäin välttämättä tuota riittävästi lämpöä, joka poistaisi kosteutta rakenteista.

4.4 Tuki- ja riippueristimet

Eristimien vanheneminen käytössä on yleensä hidasta. Ulosasennettavien eristimien rappeutumiseen voidaan vaikuttaa materiaalivalinnoilla ja muotoilulla. Materiaali määrää eristimen mekaanisen lujuuden, lämpötilakäyttäytymisen sekä pintavirta-, valokaari-, eroosio- ja UV-säteilykestoisuuden. Eristimet muotoillaan ottamalla huomioon jännitelujuus, pintamatka, lian kertymisen estäminen ja itsepuhdistuvuus. Lisäksi tiivistyvästä vedestä tai sateesta aiheutuvat ongelmat pyritään minimoimaan muotoilun avulla. Suomessa sähköjakelussa ilmajohtojen yhteydessä käytettävät eristimet ovat usein rakenteeltaan tukieristimiä tai riippueristimiä. Tukieristimet ovat tavallisesti tappieristimiä. Yleisimmin käytetty riippueristin on kappa- eli lautaseristin. Siirtojännitteellä käytetään yleensä useasta lautaseristimestä koottua eristinketjua. Eniten käytetyt eristinmateriaalit ovat lasi ja keraamiset aineet.

Kiinteät eristimet ovat palautumattomia eristeitä. Kun eristimessä on ensimmäisen kerran tapahtunut läpi- tai ylilyönti, kulkevat uudet purkaukset aina vain pienemmillä jänniterasituksilla kuin ennen.

Pitkän ajan kuluessa voi eristinmateriaali myös väsyä. Tällainen rakenteen väsyminen aiheutuu sekä ulkopuolisen mekaanisen rasituksen vaikutuksesta että sisäisten voimien kuten materiaalin oman lämpölaajenemisen seurauksena. Eristimiin vaikuttaa johtimien välityksellä suuria erisuuntaisia voimia. Esimerkiksi talvella johtimia painavat lumikuormat ja lämpölaajenemisilmiöstä seuraava johtimien kiristyminen vääntelevät eristimiä voimakkaasti. Lisäksi oikosulkujen aiheuttamat voimat ja erilaiset värinät

vaikuttavat eristinmateriaalin mekaaniseen vanhenemiseen. On myös havaittu, että eristin voi haljeta, kun syystä tai toisesta materiaaliin syntyneisiin koloihin päässyt vesi jäätyy.

Orgaanisista aineista valmistettujen eristeiden käyttäytymiseen vaikuttavat lämpötila ja rasitus aika. Kovatkin muovit muuttuvat riittävän korkeissa lämpötiloissa kumimaisiksi ja niiden mekaaninen sekä sähköinen lujuus heikkenevät. Alhaisissa lämpötiloissa muovit haurastuvat ja niiden iskutkeys huononee. Käyttölämpötila on siis keskeisin eristinmateriaalin valintaperuste. Mekaanisessa sekä sähköisessä rasituksessa muovit viruvat ja vanhenevat (Aro 1996).

Sähkönjakelussa käytettävien keraamisten eristimien teknisen pitoajan odotusarvo on lähteen (TD 2003) mukaan noin 40...50 vuotta. Lasieristimien tekninen pitoaika on keraamisten eristimien kanssa samaa luokkaa. Moniaine- ja muovieristimien pitkäaikaiskestoisuudesta ei ole vielä varmaa käsitystä, mutta on arvioitu, että niidenkin tekninen pitoaika on keraamisten eristimien tasoa.

4.4.1 Lasieristimet

Yleisimmin käytetyt eristinmateriaalit ovat lasi ja keraamiset aineet. Lasia käytetään varsinkin lautaseristinyksiköiden valmistuksessa. Lasin ja keraamisten aineiden ongelmana on niiden alhainen vetolujuus verrattuna puristuslujuuteen. Rakenteet suunnitellaankin niin, että vetorasitus saadaan muotoilun avulla muutettua puristusrasitukseksi (Aro 1996).

Nykyisten lasieristinten pääasiallinen valmistusaine on karkaistu lasi. Karkaisulla saavutetaan suurempi mekaaninen lujuus, jolloin voidaan tehdä ohuempia rakenteita. Lasieristimen pinnassa vaikuttava puristus muuttuu karkaisun ansiosta sisäosissa jännitykseksi.

Huolimatta karkaisusta, jää eristimen pinnalle kuitenkin mikroskooppisen pieniä halkeamia, jotka voivat riittävästi laajennuttuaan edetä lasin läpi. Lasilla ei nimittäin ole pitkälle järjestäytyntä kiderakennetta. Tämä lasieristimen pirstoutuminen voi aiheutua

käytössä tai käsiteltäessä, mekaanisesta iskusta tai likaantuneen eristimen pintavirran aiheuttamasta eroosiosta. Pirstoutuminen on yleisempää tasavirralla kuin vaihtovirralla.

Eristinkomponentit kiinnitetään muuhun rakenteeseen usein metallisten osien välityksellä. Johtuen lasin ja metallin samantapaisista lämpölaajenemisominaisuuksista, lämpötilan vaihtelu ei aiheuta lasieristimille samanlaisia ongelmia kuin esimerkiksi posliinista valmistetuille eristimille.

4.4.2 Keraamiset eristimet

Keraamiset eristimet on yleensä valmistettu posliinista, joka on eräs alumiinisilikaatin muoto. Posliinin mekaaninen- ja läpilyöntilujuus ovat alhaisemmat kuin karkaistulla lasilla. Posliini ei kuitenkaan pirstoudu samoin kuin lasi ja lisäksi suurempien eristimien valmistaminen on helpompaa. Posliinieristin lasitetaan, jotta saavutetaan sileä ja likaa hylkivä pinta. Myöskin posliinieristimen pinnalle jää mikrohalkeamia, jotka vaikuttavat eristimen sähköisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin (Aro 1996).

Avojohtoeristimet joutuvat alttiiksi salamaniskuista aiheutuville läpilyönneille. Posliinieristimien ongelmana on, että läpilyöneitä yksilöitä ei voida välttämättä löytää ilman yksikkökohtaista mittausta. Lasieristimet puolestaan rikkoutuvat usein läpilyönnin seurauksena niin, että tapahtunut on helppo havaita maastakin käsin.

Posliinieristimetkin kiinnitetään muuhun rakenteeseen yleensä metalliosien välityksellä. Koska posliinin ja metallien lämpölaajenemisominaisuudet eroavat toisistaan suuresti, aiheutuu tästä toisinaan ongelmia. Esimerkiksi metallinen eristintappi voi laajetessaan halkaista ympäröivän keraamisen eristinmateriaalin, jonka lämpölaajeneminen on vähäistä.

4.4.3 Moniaine-eristimet

Moniaine-eristimet ovat huomattavasti kevyempiä, mekaanisesti lujempia ja kalliimpia kuin lasista ja keraamisista aineista valmistetut eristimet. Moniaine-eristimiä käytetään erityisesti avojohtosovelluksissa eristinketjujen vaihtoehtona, vetoeristiminä, vaihevälieristiminä sekä esimerkiksi ylijännitesuojien ulkoisena eristyksenä (Aro 1996).

Moniaine-eristimien ydinmateriaalina käytetään lasikuituvahvisteista hartsia. Kuorimateriaaleina puolestaan käytetään erilaisia polymeereja kuten polytetrafluorieteeniä PTFE, eteenipropeenä EPDM, eteenipropeenikumia EPR sekä silikonista tai polyolefiineista ja täyteaineista valmistettua kutistemuovia.

Orgaanisista materiaaleista johtuen moniaine-eristimien pitkäaikaiskestävyys ei välttämättä ole yhtä hyvä kuin lasi- ja posliinieristimillä. Esimerkiksi erilaisten kemiallisten prosessien, ilman hapen ja UV-säteilyn tiedetään vaurioittavan moniaine-eristimien pintaa (Aro 1996).

Jos moniaine-eristimen ydin pääsee kastumaan, niin koko komponentin mekaaninen lujuus on vaarassa. Sähkökentän aiheuttamat osittaispurkaukset voivat synnyttää orgaanisesta eristemateriaalista vapautuvan vedyn ja kosteuden kanssa happoa, joka taas voi syövyttää pintamateriaalin lasikuitusäikeitä. Lopulta koko eristin saattaa katketa. Jotta vältyttäisiin ytimen kastumiselta, tulisi erityisesti huomioida eristävän vaipan kiinnitys eristimen päissä oleviin metalliosiin. Lisäksi itse eristimen pinnan läpi voi diffundoitua kosteutta (Aro 1996).

4.4.4 Valumuovieristimet

Valumuovieristimiä käytetään yleensä tuki- ja läpivientieristiminä. Valumuovi sopii erityisen hyvin erilaisten laitteiden sisäiseksi ja ulkoiseksi eristykseksi.

Ehkä yleisin eristinvalmistuksessa käytetty muovi on epoksihartsi. Valumuovieristinten raaka-aine valmistetaan siten, että nestemäinen hartsi sekoitetaan katalyyttinä toimivaan kovettimeen ja täyteaineena toimivaan kvartsihiekkään tai alumiinioksidiin.

Ulkoasennuksissa valumuovieristimiin kohdistuu useita rakennetta vanhentavia rasituksia, jotka aiheuttavat molekyyli-rakenteen muutoksia, katkeilua sekä uudelleen polymeroitumista tai haihtumista. Esimerkiksi lämpöjännityksistä johtuvat murtumat syntyvät ulkolämpötilan muutoksista ja epoksin sekä sen sisään valettujen osien erilaisista lämpölaajenemisominaisuuksista (Aro 1996).

4.4.5 Osittaispurkaukset ja eroosio

Sähköjälkelussa kiinteiden eristeiden ongelmat johtuvat usein osittaispurkauksista. Myös eristimillä on osittaispurkausten aiheuttama eroosio yksi tärkeimmistä sähkötekniisiä ja mekaanisia ominaisuuksia ajan mittaan heikentävistä tekijöistä. Valmistusvaiheessa voi varsinkin posliini- ja valuhartsieristinmateriaaleihin jäädä onteloita ja kaasukuplia, joissa on alentunut jännitelujuus. Ontelossa vaikuttava jänniterasitus kasvaa johtuen näihin onteloihin jääneen kaasun alemmasta permittiivisyydestä verrattuna ympäröivään eristemateriaaliin.

Eristimen sisässä eroosio vaikuttaa siten, että jopa normaalilla käyttöjännitteellä voi ontelon läpilyöntilujuus ylittyä. Tämän seurauksena syntyy ontelon poikki osittaispurkaus. Kun purkauksia tapahtuu riittävästi, törmäilevät purkausten irrottamat positiiviset ionit ja elektronit ontelon seiniin ja aiheuttavat näin yhä kasvavaa eroosiota. Lisäksi, jos ontelon seinämälle muodostuu syystä tai toisesta jokin epätasaisuus, aiheuttaa tämä paikallisen sähkökentän tihentymän. Tämä taas johtaa paikallisesti kasvavaan jänniterasitukseen, joka aiheuttaa lisää purkauksia ja eroosiota. Lopulta eristeeseen voi muodostua jopa käytävä tai halkeama (Aro 1996).

Osittaispurkauksia tapahtuu myös eristimen pinnalla, jossa eroosio toimii melkein samoin kuin sen sisälläkin. Pitkän ajan kuluessa saattaa eristimen pinnalle muodostua puumainen osittaispurkausjälki, jota pitkin varsinainen ylilyönti sitten kulkee. Myöskin eristimien pinnalle kertyvä lika edesauttaa ylilyöntien kulkua.

4.5 Verkoston kunnossapito ja kehittäminen

Sähköverkon kunnossapidolla tarkoitetaan yleisesti jo olemassa olevan verkoston toimintakuntoisena pitämiseen tähtäviä toimintoja. Uudisrakentamisen lisäksi jo olemassa olevalle verkostolle voidaan tehdä myös paljon erilaisia kehittämistoimenpiteitä, joiden syynä voi olla verkon teknisen iän loppuminen, verkon sähkötekniikan kapasiteetin lisäystarve tai sähköturvallisuuteen liittyvät asiat. Kaikkien verkoston kunnossapito- ja kehittämistoimenpiteiden tarpeellisuutta sekä taloudellista kannattavuutta tulisi arvioida verkkovastuualuekohtaisesti.

Erilaisia sähköverkkoyhtiön kunnossapitostrategioita ovat korjaava, parantava ja ennakoiva kunnossapito. Korjaava kunnossapito tarkoittaa toimintavalmiutta, jolla pyritään vähentämään komponentin vikaantumisesta aiheutuvia haittoja. Kunnossapitotoimia tehdään vasta, kun jokin laite rikkoutuu. Parantavalla kunnossapidolla panostetaan turvallisuuteen, laatuun ja käyttövarmuuteen. Ennakoivaa kunnossapitoa ovat määräaikaistarkastukset ja laitevalmistajan huolto-ohjeiden noudattaminen. Pitkällä aikavälillä kaikkien strategioiden käyttäminen jossain määrin rinnan on kannattavaa. Sähköyhtiöt ovat siirtymässä yhä enemmän ennakoivan kunnossapidon suuntaan, sillä tällä strategialla voidaan pienentää verkossa olevien komponenttien vikaantumisriskiä pienin kustannuksin. Tämä vaikuttaa suoraan yhtiön tehokkuuteen.

Kunnonhallintajärjestelmän avulla voidaan kerätä hyödyllisiä tietoja verkon tilasta. Usein kunnonhallintajärjestelmä on rakennettu verkonhaltijan verkkotietojärjestelmän osaksi. Järjestelmä sisältää kuvaukset seurattavista komponenteista rakenne- ja kuntotietotasolla. Ikä- ja kuntoluokkatietojen perusteella voidaan verkkokomponenteille muodostaa verkkovastuualueelle ominainen rappeutumismalli. Kerättyjä tietoja voidaan käyttää verkostosuunnittelussa ja edelleen erilaisten huolto- sekä saneerausohjelmien suunnittelun apuna. Kuntotietojen suunnitelmallinen kerääminen auttaa lisäksi arvioitaessa tulevia investointitarpeita, jolloin myöskin budjetin ja kohtuullisen tuoton muodostumisen seuranta helpottuvat. Kun esimerkiksi maaseutuyhtiössä suunnitellaan johtovaihtoja tai johto-osan siirtoa helpommin huollettavaan paikkaan, määrää verkoston saneerausajankohdan pitkälti puupylväiden kunto ja jäljellä oleva pitoaika.

Kaikkien verkostokomponenttien tilaa voidaan seurata komponenttikohtaisin määräaikaistarkastuksin. Tietyille laitteille määrää valmistaja omat huoltoajankohtansa, joita noudattamalla komponentin kuntoa pidetään yllä. Puupylväiden kuntoa voidaan arvioida lahoisuustarkastusten avulla. Muuntajan kuntoa voidaan seurata esimerkiksi öljyanalyysin, dielektristen häviöiden ja osittaispurkausten mittauksen sekä lämpötilavalvonnan perusteella. Oikein ajoitetuilla muuntajaöljyn vaihdoilla ja huolloilla on suuri merkitys saavutettavan pitoajan kannalta. Ilmajohdorakenteille tehtäviä kunnossapitotoimia ovat johtoalueravaukset ja erilaiset tarkastukset. Eristimien

kuntoa voidaan valvoa vaikkapa määräaikaistarkastusten yhteydessä ja eristimien pinnalle kertyvä lika voidaan tilaisuuden tullen puhdistaa.

Kulujen minimointi on myös verkkotoiminnassa edellytys kustannustehokkaalle toiminnalle. Laajennus- ja korvausinvestoinnit voidaan aktivoida poistojen kautta. Verkkoon tehtävien toimenpiteiden kirjaustavat aiheuttavat kuitenkin monesti hämmennystä. Toimien suunnitelmallisuus ratkaisee usein sen, kirjataanko ne investoinneiksi vai kuluiksi. Yleensä suunnitelmalliset laajennus-, muutos- ja kunnossapitotyöt kirjataan investoinneiksi, kun taas huolto- ja korjaustyöt varsinkin yksittäisinä tapauksina ovat kuluja. Toisaalta ainoastaan odotetun pitoajan turvaamiseksi tehtävä kunnossapito on usein kuluihin luettavaa toimintaa. Sähköjako- ja verkko- laajentaminen tai uudisrakentaminen on kirjanpitolainkin perusteella yksiselitteisesti investointia vastaavaa toimintaa. Jos verkkokomponenttien pitoaika jatketaan tai verkon kapasiteettia lisätään, kutsutaan tällaisia toimia korvausinvestoinneiksi. Yksinkertaisimmillaan korvausinvestointi voi olla vaikkapa juuritukien asentaminen tai jälkikyllästys muutamalle pienjännitepylväälle ja laajimmillaan se voi olla sähköaseman täydellinen perusparannus.

5 GRANINGE KAINUU OY

Graninge on osa kansainvälistä E.ON-energiakonsernia. Suomessa Graninge-yhtiöihin kuuluvat sähkönmyyntiä ja verkkotoimintaa harjoittava Graninge Kainuu Oy eli GGK, sähkön tuotannosta ja hankinnasta vastaava Graninge Energia Oy, vihreän sähkön markkinoilla toimiva Ekosähkö Oy sekä kaukolämpötoimintaa harjoittava Kajaanin Lämpö Oy. Lisäksi Graninge Suomi Oy tuottaa liiketoimintojen tukipalvelut.

Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualue kattaa Kainuun 10 kuntaa sekä Pyhännän ja Kestilän kunnat Pohjois-Pohjanmaalla. Yhtiön omistajat ovat tällä hetkellä Kajaanin kaupunki 37 % osuudella, Graninge AB 26 % osuudella, Graninge Suomi Oy 25 % osuudella ja Sotkamon kunta 12 % osuudella. Lisäksi Graninge AB omistaa Graninge Suomi Oy:n. GGK vastaa verkkoalueellaan sähkönsiirrosta ja sähköverkon rakennuttamisesta. Yhtiö hoitaa myöskin käytön ja kunnossapidon suunnittelun sekä näihin liittyvien palvelujen ostamisen. Verkonrakennus- ja kunnossapitopalvelut ovat ennen vuotta 2002 kuuluneet omiin töihin, mutta tällä hetkellä GGK ostaa palvelut eri verkonrakennusyhtiöiltä kuten Eltel Networks Pohjoinen Oy:ltä.

Vuonna 2003 GGK:n verkko käsitti runsaat 53 300 sähkökäyttöpaikkaa ja kokonaisjakeluverkkosiirto mukaanlukien häviöt oli tuolloin vajaat 720 GWh. Kaikkien jännitetasojen yhteenlaskettu verkostopituus on tällä hetkellä lähes 13 000 kilometriä. Verkon toimintakunto on taattu jatkuvilla verkostoinvestoinneilla ja oikein kohdistettujen kunnossapitotoimien avulla.

5.1 Yhtiön historia

Kajaanin kaupungissa sähkölaitostoiminta alkoi jo Venäjän vallan aikana 1911. Sähkö Oy Kainuun Valo perustettiin vuonna 1947 ja se oli yksi lukuisista sotien jälkeen alueella toimintansa aloittaneista maaseudun jakeluyhtiöistä. Nimi muutettiin vuonna 1961 Kainuun Valo Oy:ksi. Kajaanin kaupungissa aloitettiin kaukolämpötoiminta vuonna 1974, ja tämän seurauksena Kajaanin kaupungin sähkölaitoksen nimi muutettiin Kajaanin energialaitokseksi vuonna 1982.

Kajaanin kaupungin ja Kajaanin maalaiskunnan kuntaliitoksen yhteydessä vuonna 1977 tuli Kajaanin kaupungista yksi Kainuun Valo Oy:n omistajista. Vuonna 1986 Kajaaniin perustettiin kaukolämpövoimayhtiö Kainuun Voima Oy, KAVO, jonka omistajina 50 % osuuksilla olivat Kajaanin kaupunki ja tuolloinen Kajaani Oy. Myöhemmin toiseksi omistajaksi tuli Yhtyneet paperitehtaat Oy Kajaani Oy:n sulaututtua siihen. 1990-luvun alussa Kajaaninjoen Ämmäkosken ja Koivukosken vesivoimaosuudet vuokrattiin KAVO:lle. Samalla myös Yhtyneet paperitehtaat Oy myi vanhat voimalaitoksensa KAVO:lle. Kajaanin energialaitoksen ja Kainuun Valon yhdistyttyä pitkien neuvottelujen jälkeen vuonna 1994 aloitti toimintansa Kainuun Sähkö –konserni. Nimeksi tuli yhtiöjärjestelyjen jälkeen Kainuun Sähkö Oy. Konsernin tytäryhtiöksi muodostettiin Kainuun Lämpö Oy, joka vastasi kaukolämpötoiminnasta. Lisäksi Kajaanin kaupunki vuokrasi konsernille 50 vuoden sopimuksella omistamansa puolikkaan KAVO:sta. Kainuun Sähkö Oy:stä tuli vuonna 1997 julkinen osakeyhtiö, jolloin nimikin muuttui Kainuun Sähkö Oyj:ksi. Lisäksi vuonna 1997 Graningesta tuli Kainuun Sähkön vähemmistöomistaja.

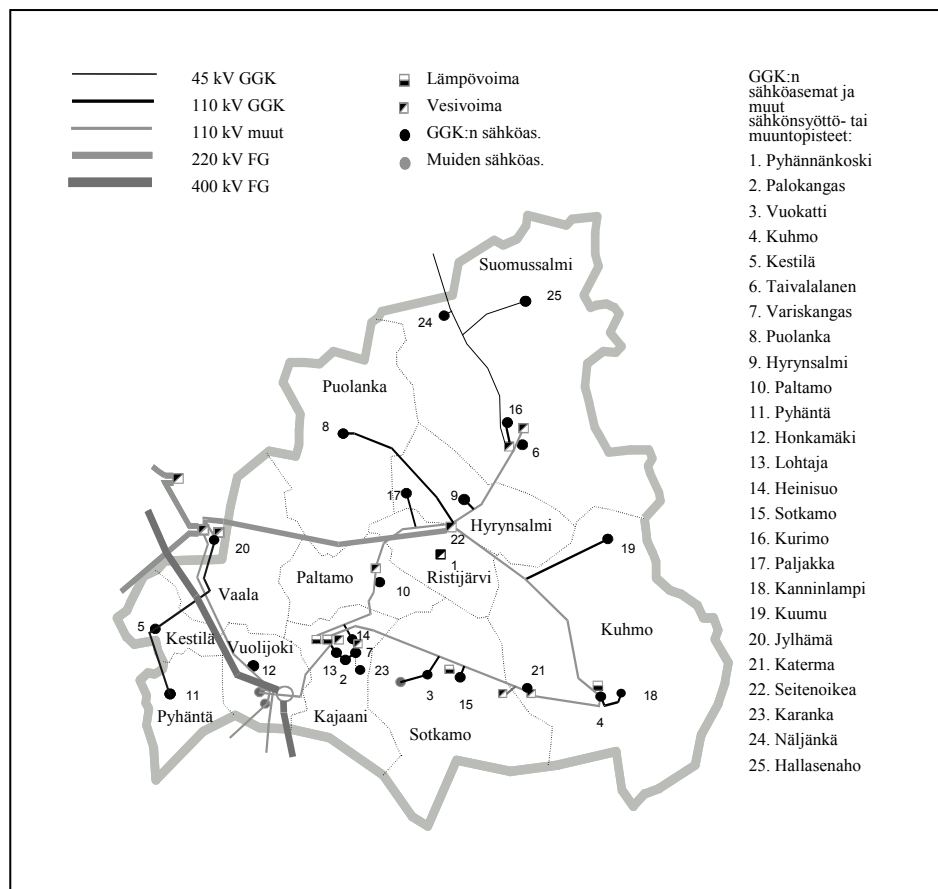
Vuonna 2001 siirtyi Kainuun Sähkö Oyj vastaamaan myös kaukolämmön tuotannosta kuitenkin myyden edelleen lämpöenergiaa tytäryhtiö Kajaanin Lämpö Oy:lle. Monien vaiheiden jälkeen päättivät Kuhmon kaupunki sekä Vaalan ja Suomussalmen kunnat vuoden 2002 alussa myydä omistamansa Kainuun Sähkö Oyj:n osakkeet Graninge AB:lle. Kaupan seurauksena aikaisemmasta vähemmistöomistajasta tuli Kainuun Sähkön pääomistaja ja Kainuun Sähköstä tuli Graningen konserniyhtiö. Kainuun Sähkö Oyj:n nimi vaihdettiin vuonna 2002 Graninge Kainuu Oy:ksi. Kainuussa sähköistyksen alkuvuosina toimintansa aloittaneista sähköyhtiöistä ja sähköosuuskunnista GGK on ainoa, joka toimii edelleen.

Sähköverkkotoiminnan tavoitteet ovat Suomessa eri aikakausina vaihdelleet suuresti. Ennen toiminta oli hädin tuskin tuottavaa, kun nykyään hinnoittelun kohtuullisuutta valvotaan viranomaisen toimesta. Vuosisadan alussa sähköistettiin kaupunkeja ja sotien jälkeen oli vuorossa maaseudun sähköistys. 1970-luku oli maaseudulla voimakkaan uudissähköistyksen aikaa. 1980-luvulla heräsi asiakaslähtöinen ajattelu ja 1990-luvulla alettiin suunnittelemaan yhteisiä sähkömarkkinoita. Vuonna 1995 sähkömarkkinat avautuivatkin kilpailulle uuden lainsäädännön ansiosta.

5.2 Verkoston ikä- ja määrätiedot

Graninge Kainuu Oy:llä on parhaillaan käynnissä kunnonhallintaprojekti, jonka tarkoituksena on kerätä maastosta yhteen kunnonhallintaan tarvittavat tarkat tiedot verkkokomponenteista. Projektin kesto on kuitenkin useita vuosia. Kaikkien verkkokomponenttien tietoja ei yhtiössä olla luotettavasti ajan mittaan kerätty, joten tässä keskitytään vain pääkomponentteihin. Verkosta purkautuvan materiaalin ikää ei olla seurattu. GGK:n verkoston ikätiedot on pääosin kerätty Kajaanin Energialaitoksen, Kainuun Valo Oy:n, Kainuun Sähkö Oy:n ja Graninge Kainuu Oy:n vuosien 1947...2003 toiminta- ja vuosikertomuksista. 2000-luvun tietoja on haettu myös verkkotietojärjestelmän tietokantaan tehdyillä kyselyillä. GGK:ssa uusittiin äskettäin verkkotietojärjestelmä, mikä hankaloitti osaltaan verkoston ikätietojen keräämistä.

Kuvassa 5.1 on esitetty GGK:n nykyiseen verkkovastuualueeseen kuuluvat kunnat sekä kanta- ja alueverkko. Kuvaan on merkitty myös sähköasemat ja muut sähkönsyöttö- tai muuntopisteet.



Kuva 5.1. Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualue. GGK=Graninge Kainuu Oy, FG=Fingrid Oyj.

GGK:n verkkovastuualueen päävoimansiirtoverkko koostuu Fingrid Oyj:n omistamasta kantaverkosta, Fortumin 110 kV:n alueverkosta ja GGK:n omasta 110 kV:n alueverkosta. Fingridin rengasmaisen 110 kV:n verkko kattaa koko Kainuun. Suuren kuormituksen takia Kajaanin kaupungin ympärillä on GGK:n oma 110 kV:n rengasverkko. Rengasverkko takaa varasyöttöyhteyden häiriötilanteessa. Sähköasemat ja muut sähkönsyöttö- tai muuntopisteet on sijoitettu lähelle taajamia suuren kuormitustiheyden takia sekä takaamaan varasyöttöyhteyksiä.

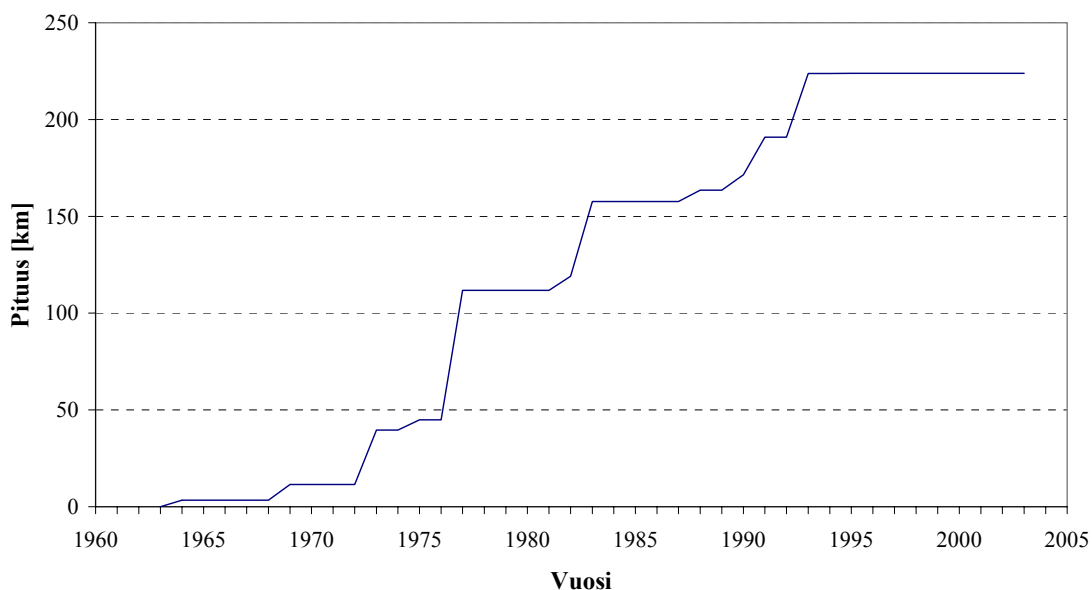
Taulukkoon 5.1 on kerätty verkkotietojärjestelmästä ja vuosikertomusten pohjalta yhteenveto vuoden 2003 lopun tilannetta vastaavista tiedoista GGK:n verkostosta. Pienjänniteverkon kokonaispituus oli 5535 km, jos mukaan lasketaan asiakkaiden omistamat liittymisjohdot, joita oli 651 km.

Taulukko 5.1. GGK:n verkoston tietoja vuoden 2003 lopussa

110 kV:n aluesiirtojohtoja	224 km
45 kV:n aluesiirtojohtoja	112 km
Sähköasemia	25 kpl
20 kV:n keskijännitejohtoja	6811 km
10 kV:n keskijännitejohtoja	201 km
0,4 kV:n pienjännitejohtoja	4884 km
Jakelumuuntamoita	5120 kpl
Jakelumuuntajia	5480 kpl
Sähkönkäyttöpaikkoja	53366 kpl

5.2.1 Aluesiirtojohdot

Graning Kainuu Oy omistaa noin 224 km avojohdoin toteutettua 110 kV:n aluesiirtoverkkoa. Kuvaan 5.2 on kerätty GGK:n nykyisin omistamien 110 kV johtojen ikätiedot. Vuoden 2003 lopussa GGK:n 110 kV verkon pylväitä oli noin 1000 kpl, jos keskimääräiseksi jänneväliksi oletetaan 200 m. GGK:n 110 kV verkon pylväät ovat pääosin kreosoottikyllästeisiä puupylväitä, mutta sähköasemien yhteydessä ja kulmarakenteissa käytetään paikoin teräspylväitä. Kuten kuvasta 5.2 nähdään, ovat GGK:n vanhimmat edelleen käytössä olevat 110 kV:n johdot 40 vuotta vanhoja.



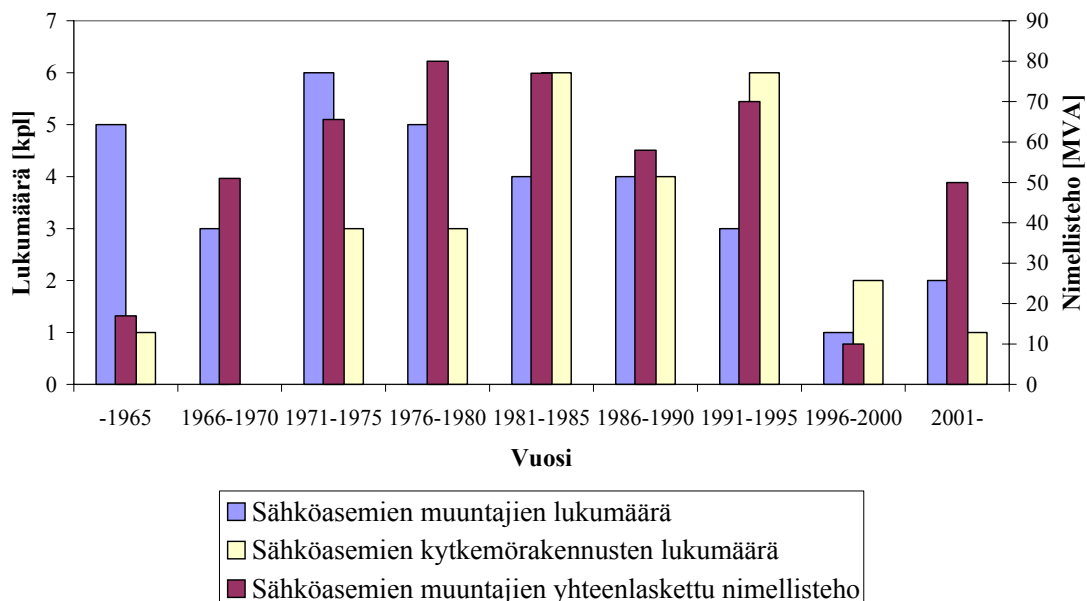
Kuva 5.2. GGK:n nykyisin omistamien 110 kV:n aluesiirtojohtojen ikätiedot vuoden 2003 lopussa.

GGK omistaa lisäksi 112 km 45 kV:n aluesiirtoverkkoa, jonka johdot on toteutettu pääosin kreosoottipylväillä ja avojohtimilla. 45 kV:n avojohtojen vähydestä johtuen, niiden ikätiedot käsitellään tarkemmin keskijänniteavojohtojen yhteydessä.

5.2.2 Sähköasemat

Sähköasemien osalta ikätietojen selvittäminen ei ole aivan yksiselitteinen asia. Esimerkiksi asemien rakenteet ja rakennelmat saattavat erota toisistaan paljonkin. Lisäksi sähköaseman kytkemörakennusten, kiskokojeistojen ja lisäkenttien iät eivät läheskään aina ole samoja. Kytkemörakennusta on ajan mittaan voitu peruskorjata ja sähköaseman komponentteja kuten muuntajaa on voitu vaihtaa.

Kuvaan 5.3 on kerätty Graninge Kainuu Oy:n sähköasemien kytkemörakennusten ja niissä olevien muuntajien ikätiedot. Lisäksi kuvassa 5.3 esitetään sähköasemien muuntajien yhteenlasketut nimellistehot.

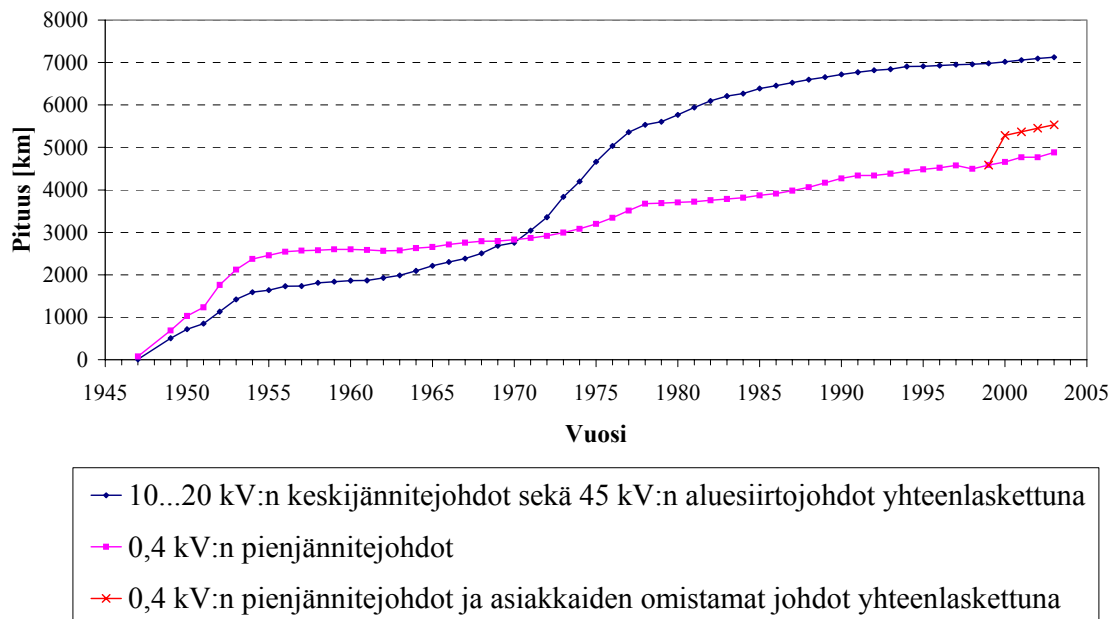


Kuva 5.3. GGK:n nykyiset sähköasemat ja niillä sijaitsevat muuntajat sekä muuntajien nimellisteho vuoden 2003 lopussa.

GGK:n verkkoon kuuluu 25 sähköasemaa, jotka on varustettu pääosin 110 kV/20 kV tai 110 kV/10 kV kojeistoilla. Lisäksi verkossa on muutamia 6 kV/20 kV, 10 kV/20 kV, 20 kV/45 kV tai 45 kV/20 kV jännitetasoilla toimivia asemia. Pienin päämuuntaja on nimellisteholtaan 2 MVA ja se löytyy Näljängän sähköasemalta. Suurimmat päämuuntajat ovat nimellisteholtaan 25 MVA. Vanhin käytössä oleva muuntaja on vuodelta 1956 ja se sijaitsee Hallasenahon sähköasemalla. Uusin päämuuntaja on toinen Taivalalasen 110 kV/20 kV muuntajista vuodelta 2002. Sähköasemarakennuksista vanhin on Pyhännäkoski, joka on vuodelta 1956. Pääosin GGK:n kytkemörakennukset ovat kuitenkin 1980..1990-luvuilta, joskin muutama yksilö on 1970-luvulta.

5.2.3 Keski- ja pienjännitejohdot

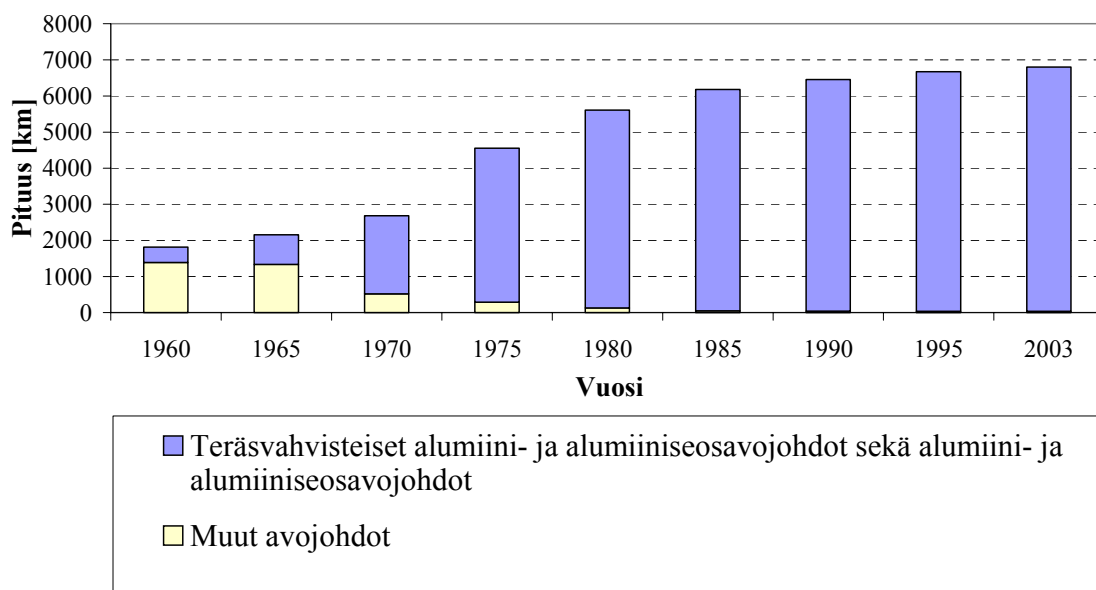
Graninge Kainuu Oy:n keski- ja pienjänniteverkkojen rakentuminen vuosina 1947...2003 on esitetty kuvassa 5.4. 45 kV aluesiirtoverkon pienestä määrästä johtuen on sen 112 km laskettu mukaan keskijänniteverkkopituuteen. Kuvaan on lisätty myöskin asiakkaiden omistamien pienjännitejohtojen määrä vuosina 2000...2003.



Kuva 5.4. GGK:n nykyisin omistamat 10...20 kV:n keskijännitejohdot ja 45 kV:n aluesiirtojohdot yhteensä, sekä 0,4 kV:n pienjännitejohdot vuosina 1947...2003.

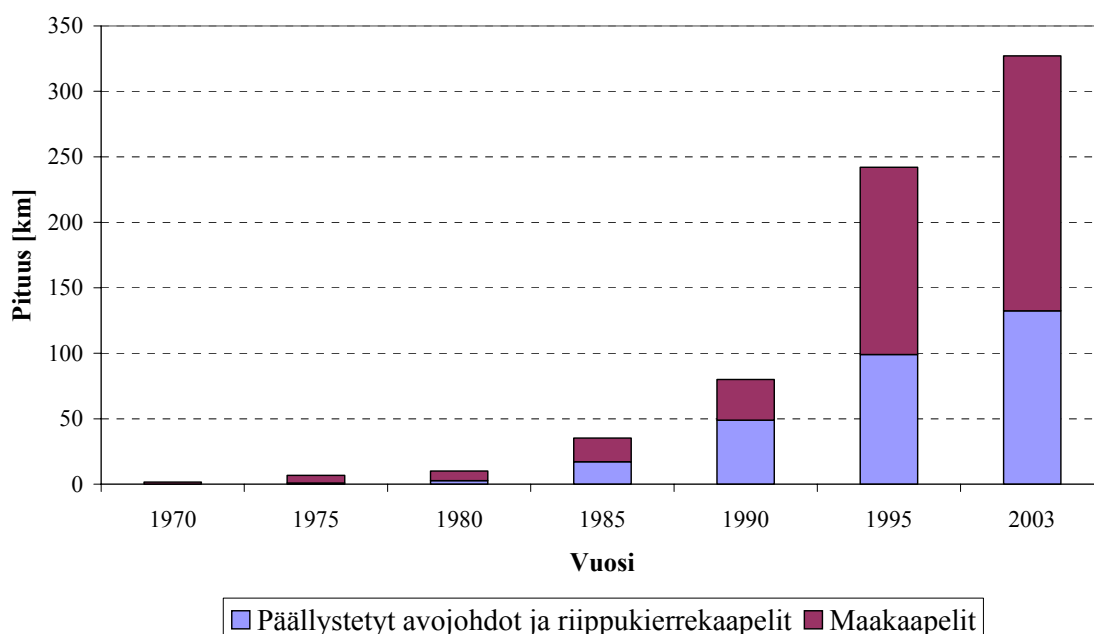
Kuvasta 5.4 havaitaan, että yhtiön alkuaikoina sähköverkosta enemmistö oli pienjännitejohtoja, joita rakennettiin kiivaimmin ensimmäisinä toimintavuosina aina vuoteen 1955 asti. Vasta maaseudun uudis sähköistämisen ja kuormien lisääntymisen takia 1970-luvulla keskijänniteverkko kasvoi pidemmäksi kuin pienjänniteverkko. GGK:n pienjänniteverkko on viimeisen 20 vuoden aikana kasvanut tasaisesti noin 50 km vuodessa. Keskijänniteverkkoa rakennettiin eniten 1970-luvulla. Keskijänniteverkkopituuden lisäys vuotta kohden on hidastunut tämän jälkeen ja on nykyään noin 30 km vuodessa. Vanhimmat GGK:lla edelleen käytössä olevat keskijännite- ja pienjännitejohdot ovat jopa 45 vuotta vanhoja. Vastaavasti 45 kV:n vanhimmat avojohdot ovat jo 40 vuotta vanhoja.

Kuvassa 5.5 on esitetty GGK:n keskijännitteisen avojohtoverkon rakentuminen vuosina 1960...2003 johtolajeittain viiden vuoden jaksoissa. GGK:n 112 km pituinen 45 kV:n aluesiirtoverkko on myöskin huomioitu kuvassa. Avojohtoja vuoden 2003 lopussa oli yhteensä 6762 km. GGK:n avojohdot ovat pääosin erilaisia teräsvahvisteisia alumiini- tai alumiiniseosjohtimia. Muista materiaaleista tehtyjä johtimia on avojohdoista tällä hetkellä vain noin 35 km.



Kuva 5.5. GGK:n nykyisin omistamat 10...20 kV:n keskijänniteavojohdot ja 45 kV:n aluesiirto johdot yhteensä vuosina 1960...2003.

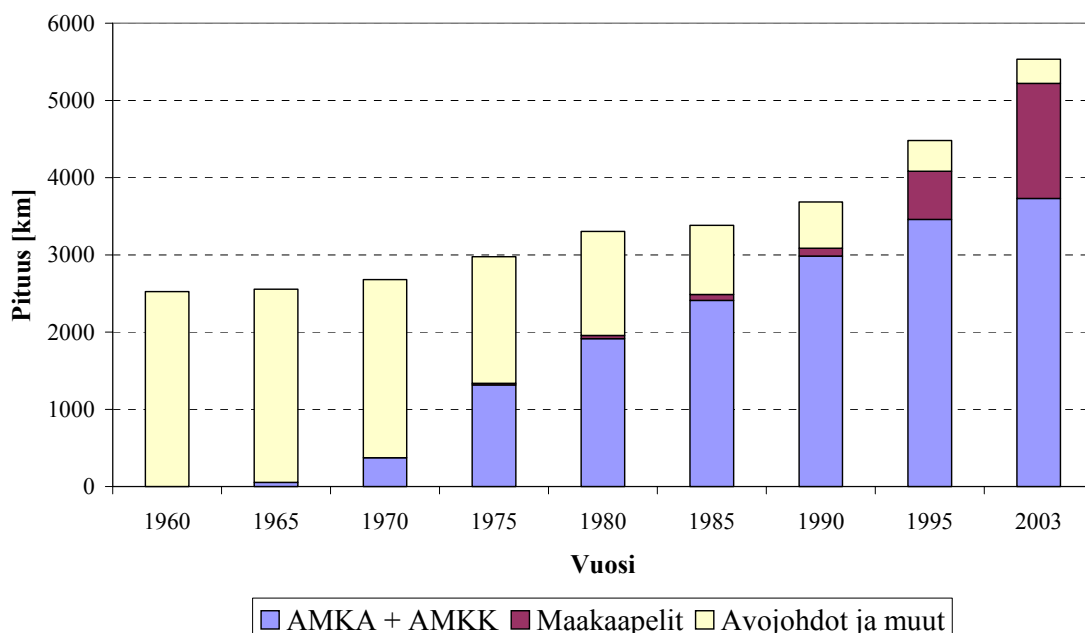
GGK:n omistamat keskijännitteiset päällystetyt avojohdot ja kaapelit on eritelty kuvassa 5.6. Kuvasta voidaan nähdä, että maakaapeleiden osuus on viimeisen 15 vuoden aikana yli kuusinkertaistunut ja päällystettyjen avojohdojen sekä riippukierrekaapeleiden määräkin on vastaavana aikana lisääntynyt moninkertaiseksi. Maakaapeleiden enemmistöä ovat tällä hetkellä muovieristeiset kaapelit. GGK:lla oli vuoden 2003 lopussa 132 km päällystettyjä avojohdoja ja riippukierrekaapeleita sekä 195 km maa- ja vesistökaapeleita.



Kuva 5.6. GGK:n nykyisin omistamat 10...20 kV:n keskijännitteiset päällystetyt avojohdot ja kaapelit vuosina 1970...2003.

GGK:n 10...20 kV:n keskijänniteverkon ja 45 kV:n aluesiirtoverkon ilmajohtojen yhteispituus vuoden 2003 lopussa oli noin 6929 km ja pylväiden määräksi saadaan noin 87000 kpl, jos keskimääräiseksi jänneväliksi oletetaan 80 m. GGK:n 10...20 kV:n keskijänniteverkon pylvääit ovat pääosin CCA-kyllästeisiä puupylväitä. 112 km pituisen 45 kV aluesiirtoverkon pylvääit on pääosin kyllästetty kreosootilla. Suurin osa keskijänniteverkon eristimistä on posliinisia tappi- eli tukieristimiä tai sitten lasilautaseristinyksiköitä eli riippueristimiä.

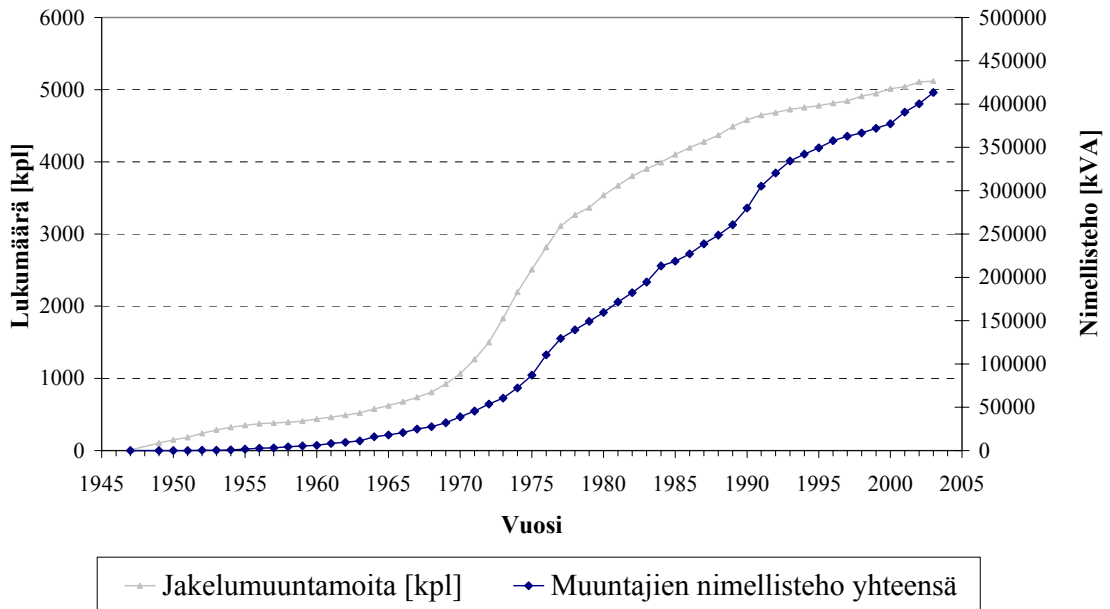
Kuva 5.7 esittää GGK:n pienjänniteverkon rakentumista vuosina 1960...2003. Tiedot on esitetty johtolajeittain viiden vuoden jaksoissa. GGK:n pienjänniteverkon kokonaispituus oli vuoden 2003 lopussa noin 5535 km. Johtimet ovat tällä hetkellä suurimmaksi osaksi AMKA- tai AMKK-pienjänniteriippukierrekaapeleita. Kaikista voimakkaimmin pienjänniteverkkoon on viime aikoina lisätty maakaapeleita, kun taas pienjänniteavojohdot on poistettu verkosta kohta kokonaan. Vuoden 2003 lopussa pienjänniteverkon pylvääit oli yhteensä noin 76000 kpl, jos keskimääräiseksi jänneväliksi oletetaan 53 m. GGK:n pienjänniteverkon pylvääit ovat pääosin CCA-kyllästeisiä puupylväitä.



Kuva 5.7. Nykyisin GGK:n verkostoon kuuluvat 0,4 kV:n pienjännitejohtot vuosina 1960...2003.

5.2.4 Jakelumuuntamot

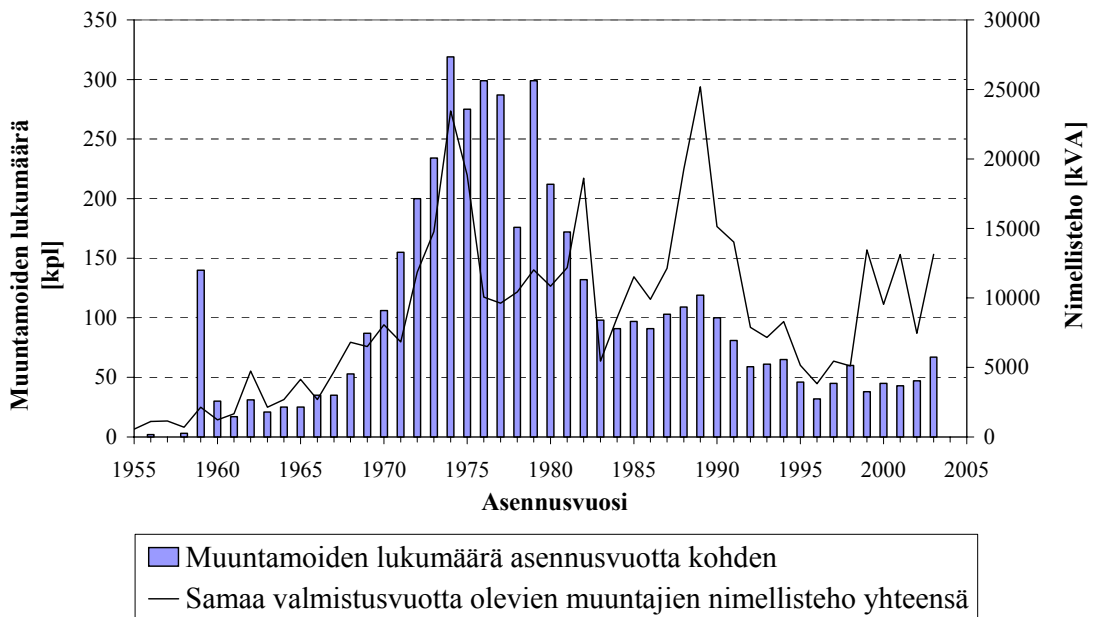
Kuvassa 5.8 on esitetty Graninge Kainuu Oy:n nykyisin omistamat jakelumuuntamot vuosina 1947...2003. Kuvaan 5.8 on myös lisätty verkkoon asennettujen samaa valmistusvuotta olevien muuntajien yhteenlasketut nimellistehot.



Kuva 5.8. GGK:n nykyisin omistamat jakelumuuntamot vuosina 1947...2003 ja verkkoon asennettujen samaa valmistusvuotta olevien muuntajien nimellistehojen summa.

Ikätiedoista kuvassa 5.8 nähdään, että muuntamoita asennettiin kappalemääräisesti eniten 1970-luvulla maaseudun uudissähköistyksen aikaan. Myöskin keskijänniteverkkoa rakennettiin tuolloin eniten. Vaikka jakelumuuntamoita ei viimeaikoina ollakaan kappalemääräisesti lisätty verkkoon yhtä paljon, niin kuitenkin muuntajien yhteenlaskettu nimellisteho kasvaa tasaisesti. Vuoden 2003 lopussa GGK:n verkossa oli 5120 jakelumuuntamoita. Näistä yli 90 % on pylväsmuuntamoita.

GGK:n jakelumuuntamoiden asennusvuodet ja samaa valmistusvuotta olevien muuntajien yhteenlasketut nimellistehot vuoden 2003 lopun tiedoilla esitetään graafisesti kuvassa 5.9. Myöskin kuvasta 5.9 voidaan nähdä, että verkonrakennus on ollut voimakkainta 1970-luvulla.

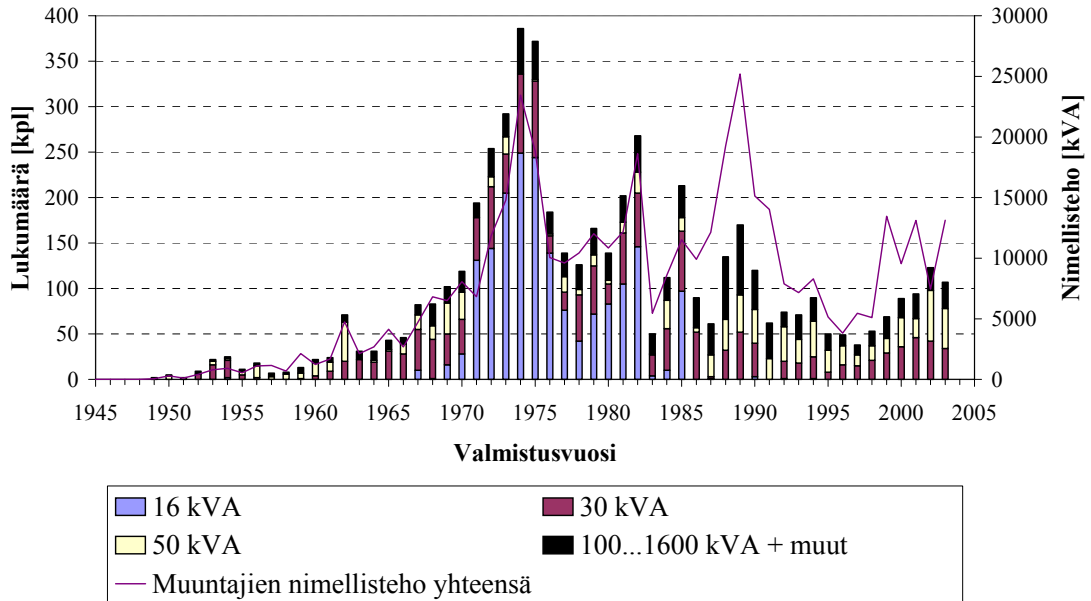


Kuva 5.9. GGK:n nykyisin omistamat jakelumuuntamot vuonna 2003 lajiteltuna asennusvuoden mukaan sekä samaa valmistusvuotta olevien muuntajien yhteenlaskettu nimellisteho.

Lisäksi kuvan 5.9 tehokäyrä selittää kuvan 5.8 tasaista nimellistehon kasvua. GGK:n verkkoon on viime aikoina siis asennettu nimellisteholtaan suurempia muuntajia kuin ennen. Verkossa tällä hetkellä olevista jakelumuuntamoista vuonna 1959 asennettujen muuntamoiden osuus on poikkeuksellisen suuri. Kuvasta 5.9 nähdään myös, että vanhimmat GGK jakelumuuntamot ovat jo yli 45 vuotta vanhoja.

5.2.5 Jakelumuuntajat

Graninge Kainuu Oy:n kaikkien jakelumuuntajien valmistusvuodet eri nimellisteholuokittain vuoden 2003 lopun tiedoilla on kerätty kuvaan 5.10. Kuvasta nähdään erityisesti, että verkossa on lukumääräisesti paljon varsinkin 16 kVA:n jakelumuuntajia valmistusvuosilta 1970...1985.



Kuva 5.10. GGK:n nykyisin omistamien jakelumuuntajien valmistusvuodet vuoden 2003 lopussa lajiteltuna nimellistehon mukaan sekä asennettujen muuntajien yhteenlaskettu nimellisteho.

Kuten myöskin kuvista 5.8 ja 5.9 on nähty, ovat uusien asennettujen muuntajien nimelliset tehot kuvan 5.10 mukaan kasvaneet viimeisten vuosikymmenien aikana huomattavasti. Vuoden 2003 lopussa GGK:lla oli 5480 jakelumuuntajaa. Suurin osa näistä on öljymuuntajia. Kuvasta 5.10 nähdään, että vanhimmat GGK jakelumuuntajat ovat jo aikoja sitten kestäneet niille lähteessä (Sauna-Aho 1984) määritetyn 35...40 vuoden termisen eliniän verran.

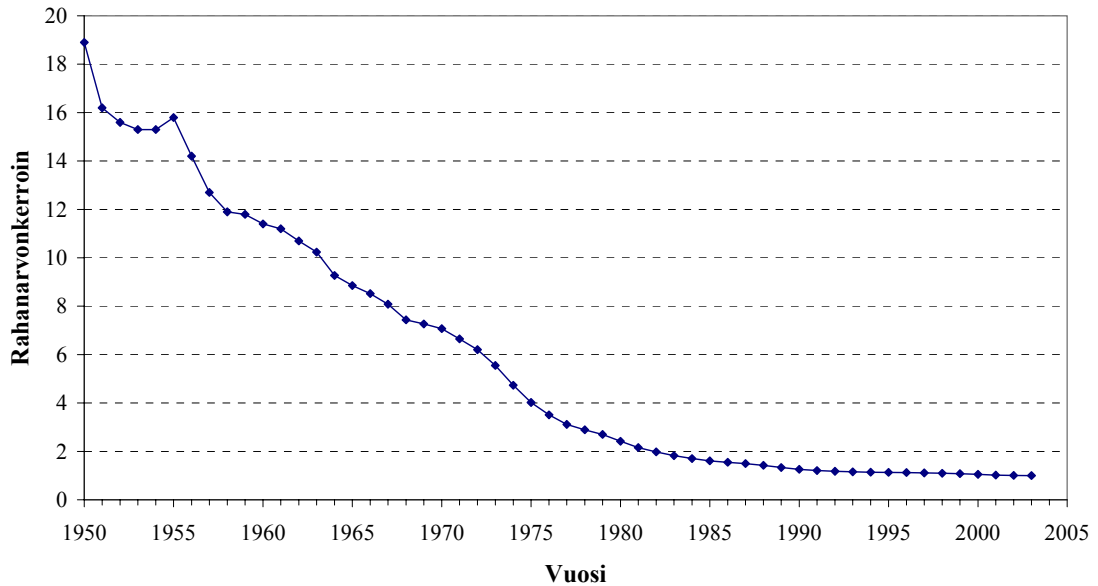
5.3 Investoinnit

Sähköverkkoon eri aikoina tehtyjä investointeja seuraamalla saadaan jonkinlainen kuva verkon tämänhetkisestä kunnosta ja iästä. Investointien erilaiset kirjaustavat aikakausittain kuitenkin vaikeuttavat seurantaa. Lisäksi investointeihin vaikuttavat vallitseva inflaatio ja korkotaso. Tällöin investointien seurantaa monimutkaistaa se, että yleensä nettokassavirrat koostuvat useista komponenteista, jolloin inflaatio voi vaikuttaa eri tavoin.

5.3.1 Inflaatio ja korko

Inflaatio vaikuttaa investoinnin nettokassavirtoihin ja laskentakorkokantaan. Nimelliset nettokassavirrat ilmoitetaan kunkin vuoden omassa rahassa, jolloin niissä näkyy myös inflaation vaikutus. Reaaliset kassavirrat ilmaistaan yleensä investointihetken rahassa yhtäläisen rahanarvon pohjalta, jolloin inflaatio eliminoiduu. Nimelliset investoinnit

voidaan muuntaa reaalieuroiksi esimerkiksi rahanarvonkertoimen perusteella. Rahanarvonkerroin Suomessa vuosina 1950...2003 on esitetty graafisesti kuvassa 5.11 lähteen (Nordea 2003) tietojen perusteella. Vuoden 2003 arvo on 1.



Kuva 5.11. Rahanarvonkerroin Suomessa vuosina 1950...2003.

Investointilaskelmissa käytetään joko nimellistä tai reaalista laskentakorkokantaa. Nimellinen laskentakorko sisältää myös inflaatioprosentin, ja korot ilmaistaankin aina nimellisinä:

$$1 + r = (1 + p_{\text{inf}}) \cdot (1 + R)$$

$$\Rightarrow r = p_{\text{inf}} + R + p_{\text{inf}} \cdot R, \quad (5.1)$$

jossa

r on nimelliskorko

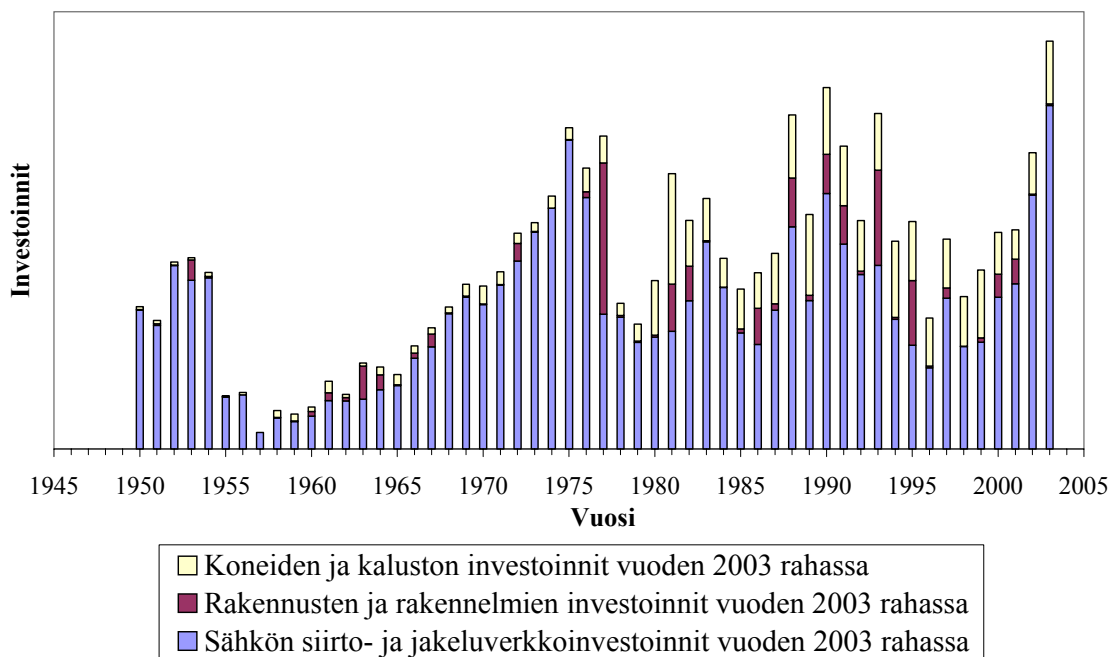
R on reaalikorko

p_{inf} on inflaatioprosentti

Diskonttaus voidaan suorittaa käyttäen reaalisia kassavirtoja ja reaalista laskentakorkokantaa, mutta lähes aina kuitenkin käytetään nimellisiä kassavirtoja ja nimellistä laskentakorkokantaa. Molemmilla laskutavoilla päädytään samaan lopputulokseen.

5.3.2 Graninge Kainuu Oy:n investoinnit

Graninge Kainuu Oy on aikaisemmin toiminut nimillä Kainuun Sähkö Oy ja Kainuun Valo Oy. Kuvaan 5.12 on kerätty yhtiöiden vuosikertomusten taseen mukaisia investointeja, jotka on jaoteltu koneiden ja kaluston, rakennusten ja rakennelmien sekä siirto- ja jakeluverkkotoiminnan investointeihin. Luvuista on jätetty pois Kajaanin energialaitosta koskevat tiedot. Investoinnit on muutettu vuoden 2003 rahaksi rahanarvonkertoimella (Nordea 2003). Vuoden 1994 siirto- ja jakeluverkkoinvestoinneista on jätetty pois Imatran Voima Oy:n kanssa tehdyt alueverkkokaupat sekä Kajaanin energialaitoksen apporttijärjestelyt. Vuoteen 2001 asti investoinnit on tehty omana työnä, jolloin investointien yleiskulut kirjattiin kuluiksi. Tästä syystä vuosien 2002 ja 2003 investoinnit eivät ole täysin vertailukelpoisia aikaisempien vuosien investointien kanssa.



Kuva 5.12. Kainuun Valo Oy:n, Kainuun Sähkö Oy:n ja Graninge Kainuu Oy:n investointeja vuosina 1950...2003.

Kuvasta 5.12 on selvästi erotettavissa 1950-luvun alun pienjänniteverkon voimakkaaseen laajentamiseen käytetyt investoinnit. Maaseudun uudissähköistyksen vuosina 1965...1976 investoitiin sähköverkkoon ehkä kaikkein voimakkaimmin. 1980- ja 1990-luvuilla tehtiin vielä kolmas muuntopiirijakokierros. Vuosien 1980...1995 välillä rakennettiin suurin osa GGK:n nykyisistä sähköasemista. Verkkoon asennettiin

lisäksi yhä suurempia muuntajia. Kuvan 5.12 verkkoinvestoinneista on myöskin nähtävissä, että 1990-luvulla alettiin kiinnittämään enemmän huomiota verkon käyttövarmuuteen. Kaiken kaikkiaan GGK:n investoinneista on nähtävissä jatkuva verkon toimintakuntoon panostaminen. Verkoston korvausinvestoinneissa on lähdetty siitä, että verkoston keski-ikä ei vanhene. Pitoajan jatkamiseen tähtäviä toimia kuten puupylväiden juurituenta ei GGK:ssa kuitenkaan tehdä aktiivisesti.

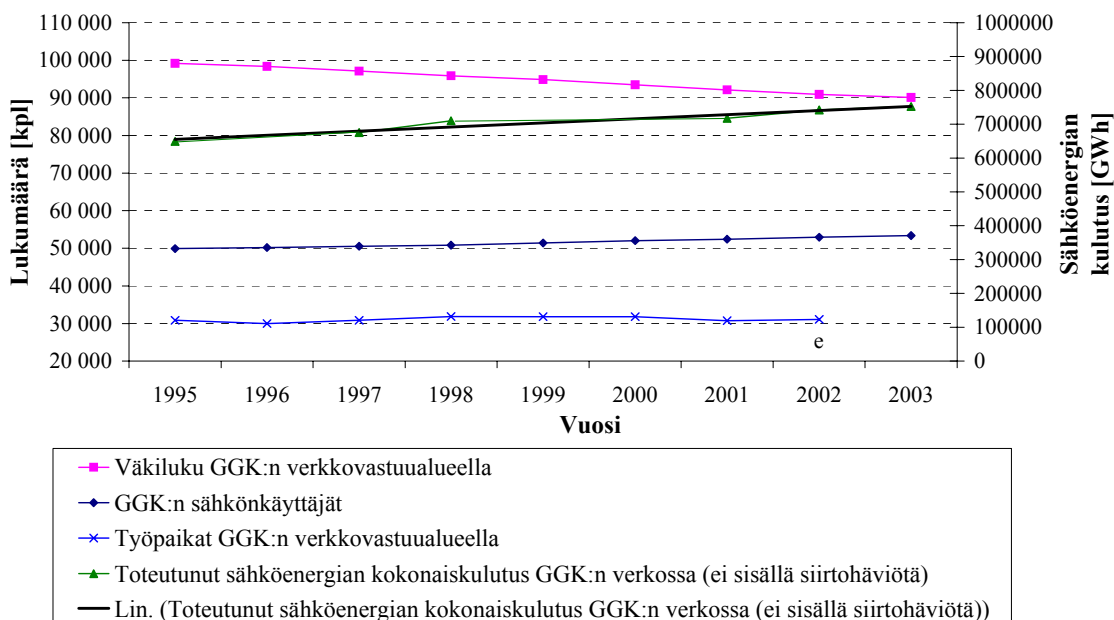
5.4 Sähkönkulutuksen ja infrastruktuurin kehittyminen

Sähköverkon komponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen valintaa jossakin tietyssä verkkoyhtiössä ohjaavat vahvasti sähkönkulutus, kulutuksen kasvu sekä infrastruktuurin kehittyminen kyseisellä verkkovastuualueella. Sähköenergian kokonaiskulutuksen kasvu ja bruttokansantuote kehittyvät osittain samalla tavalla. Alueellista kulutuksen kasvua voidaan arvioida yhtiön verkkoon liittyvien asiakkaiden määrän ja laadun sekä jo olemassa olevien liittymien kulutustapojen muuttumisen perusteella. Verkkoon liittyvien uusien asiakkaiden määrä riippuu osittain väkiluvun kehityksestä, mutta kulutuksen ennustamisessa kannattaa huomioida myöskin alueen infrastruktuurin kehittyminen ja työpaikkanäkymät. Lisäksi vuosittaisissa sähkönkulutuksissa on eroja johtuen esimerkiksi poikkeuksellisista lämpötilaolosuhteista.

Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualueeseen kuuluvat Kainuun 10 kuntaa sekä Pyhännän ja Kestilän kunnat alueen lounaisnurkassa. Kuvaan 5.13 on kerätty yhteen Kainuun, Kestilän ja Pyhännän väkiluvut vuosina 1995...2003 lähteen (TK 2004a) tietojen perusteella. Samassa kuvassa esitetään myöskin toteutunut sähköenergian kokonaiskulutus GGK:n verkossa ja GGK:n verkkopalveluiden piiriin tällä hetkellä kuuluvien asiakkaiden määrän kehitys vuosina 1995...2003. Lisäksi kuvassa 5.13 esitetään työpaikkojen kokonaismäärä Kainuussa, Kestilässä ja Pyhännässä vuosina 1995...2002 lähteen (TK 2004b) perusteella.

Kuten kuvasta 5.13 nähdään, on väkiluku GGK:n verkkovastuualueella pienentynyt vuosina 1995...2003 kohtalaisen tasaisesti. Työpaikkojen määrä taas on pysynyt alueella vuosina 1995...2002 melko vakiona. Kuitenkin GGK:n asiakkaiden määrä kasvaa vuosittain. Sähköenergian kulutuksen kasvun vuosivauhti GGK:n verkossa on

tällä hetkellä Suomen keskitasoa eli noin kahden prosentin luokkaa (Finergy 2004b). Lähivuosina GGK:n verkon kulutuksen kasvun on arvioitu hieman hidastuvan.



Kuva 5.13. Väkiluku, kulutuksen kasvu ja sähkökäyttäjät GGK:n verkossa 1995...2003 sekä työpaikat GGK:n verkkovastuualueella 1995...2002e. e=Ennuste, Lin.= Linearisoitu kuvaaja.

Infrastruktuuri tulee keskittymään GGK:n verkkovastuualueella yhä enemmän taajamiin. Rakennukset, joista muutetaan pois, jäävät vapaa-ajan asunnoiksi. Usein näihin jää myös peruslämpö ja useimmiten se on sähkö. Huonokuntoiset rakennukset jäävät kylmilleen, mutta näistäkään ei yleensä haluta irtisanoa sähköliittymää. Autoiksi jääneiden talojen liittymää pidetään yllä sähkönsiirron perusmaksulla. Vapaa-ajan asuntoja tullaan alueelle kuitenkin rakentamaan koko ajan lisää. Uudet mökit sähköistetään usein ja yleensä ne ovat myöskin hyvin varusteltuja, joten sähkönkulutus on suurempi kuin vanhoissa mökeissä.

Tapahtuneen kehityksen perusteella Kainuun maatalousyksiköiden määrä vähenee, mutta samalla uusien yksiköiden koko kasvaa, joten kulutuksen voidaan arvioida näiden osalta säilyvän ennallaan. Pienteollisuuden osuus sähkönkulutuksesta GGK:n verkossa on tällä hetkellä melko pieni, ja kulutuksen kasvu on lievää jatkossa. Näköpiirissä on, että joitakin kaivosteollisuusyksiköitä rakennetaan alueelle tulevaisuudessa.

GGK:n verkkovastuualueella julkinen sähkönkulutus, johon luetaan kunnat, kuntainliitot ja valtio, on kasvultaan taittumassa. Kunnat ylläpitävät tärkeimpiä julkisia toimintojansa eli vanhainkoteja, sairaaloita, terveyskeskuksia ja kouluja. Palveluiden, kuten kaupat, postit ja tietoliikenne, sähkönkulutus on tietoliikennetekniikkaa lukuunottamatta maltillista jo ennestään. Tietotekniikan käyttö ja kehittyminen kuitenkin lisäävät hieman kulutusta. Myöskin vapaa-ajan palveluiden osalta tapahtunee hienoista kasvua, mutta muuten palveluiden sähkönkulutuksen oletetaan säilyvän ennallaan.

Energiansäästöillä ei ole lyhyellä aikavälillä juurikaan vaikutusta alueen sähkönkulutukseen. Merkittäviä havaintoja paikallisesta ilmaston lämpenemisestä tai kylmenemisestä ei ole.

Yhteenvetona voidaan todeta, että GGK:n verkossa kulutuksen kasvu on maltillista, kuten maaseutuverkkoyhtiöille on tyypillistä. Infrastruktuurin osalta ei suuria muutoksia ole odotettavissa.

5.5 Verkkovastuualueen muita ominaispiirteitä

Verkonhaltijoiden verkkovastuualueella sähkönkulutuksen ja infrastruktuurin kehittyminen määräävät pitkälti reunaehdot verkonhaltijan verkkokomponenttien teknistaloudellisille pitoajoille. Kuitenkin kulutuksen kasvu ja infrastruktuurin kehittyminen riippuvat toisinaan paljonkin verkkovastuualueen ominaispiirteistä, ja toisaalta verkkovastuualueen muut ominaispiirteet vaikuttavat suoraan valittaviin pitoaikoihin. Verkkovastuualueet voivat olla Suomessa maantieteellisesti ja ilmastollisesti hyvinkin erilaisia.

5.5.1 Maantiede ja verkosto

Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualue on noin 22500 km² laaja ja se kattaa arviolta 7 % koko Suomen pinta-alasta. Verkkovastuualueellaan GGK:lla on reilut 90000 asukasta, joten keskimääräiseksi asukastiheydeksi tulee noin 4 asukasta neliökilometriä kohden. Suomen keskimääräinen asukastiheys on noin 17 asukasta neliökilometriä kohden, joten GGK:n verkkovastuualue on varsin harvaan asuttu.

GGK:lla oli vuoden 2002 lopulla 52960 sähkökäyttöpaikkaa ja kaikkien jännitetasojen eli 0,4...110 kV verkon yhteenlaskettu pituus oli tuolloin noin 12739 km. Asiakasta kohden verkkoa tulee siis noin 241 m. Vastaavasti koko Suomen yhteenlasketussa 0,4...110 kV:n verkossa oli vuonna 2002 keskimäärin noin 130 m verkkoa asiakasta kohden (EMV 2002). Myöskin johtolähtöpituudet ovat GGK:lla yli Suomen keskiarvon. Laaja toiminta-alue ja pitkät johtolähdöt aiheuttavat suurempia huolto- ja kunnossapitokustannuksia. Lisäksi pidemmästä verkosta aiheutuu verkonhaltijalle esimerkiksi vakiokorvausten kautta huomattavasti suurempi taloudellinen riski. Yhtiön investoinnit asiakasta kohden muodostuvat myöskin suuremmiksi kuin etelässä tiheimmin asutuilla ja suppeamilla verkkovastualueilla. Tästä seuraa, että verkonhaltijan toiminnan on oltava kustannustehokasta, jos asiakkaiden siirtohinnat halutaan pitää edullisina. Kustannustehokas toiminta GGK:n verkkovastualueella taas edellyttää verkkokomponenttien teknisten pitoaikojen hyödyntämistä mahdollisimman pitkälle. Energiamarkkinaviraston mukaan GGK onkin maamme tehokkaimpia jakeluverkon haltijoita (EMV 2004d). Lisäksi 1990-luvun puolivälin jälkeen standardin SFS-EN50160 suositusten mukaisesti rakennettu verkko on siirtokapasiteetiltaan reilusti ylimitoitettu arvioituun sähkönkulutuksen kasvuun nähden. Maltillinen kulutuksen kasvu ei siis tällöin aiheuta voimakasta verkoston muutostarvetta.

Vuonna 2002 koko Suomen 6...70 kV verkon kaapelointiaste oli noin 7,4 %. Jos valitaan ne jakeluverkkoyhtiöt, joilla vuonna 2002 oli 0,4...110 kV:n verkkoa asiakasta kohden koko Suomen vastaavaan verkostoon verrattuna keskimääräistä vähemmän eli alle 130 m/asiakas, niin näiden yhtiöiden yhteenlasketun 6...70 kV verkon kaapelointiaste oli noin 13,4 %. Jos taas valitaan ne jakeluverkkoyhtiöt, joilla vuonna 2002 oli 0,4...110 kV:n verkkoa asiakasta kohden koko Suomen vastaavaan verkostoon verrattuna keskimääräistä enemmän, niin näiden yhtiöiden yhteenlasketun 6...70 kV verkon kaapelointiaste oli noin 3,5 %. Jos valitaan lisäksi GGK:n kaltaiset verkkoyhtiöt eli sellaiset yhtiöt, joilla vuonna 2002 oli 0,4...110 kV:n verkkoa yli 200 m/asiakas, niin näiden yhteenlasketun 6...70 kV verkon kaapelointiaste oli noin 1,3 %. GGK:n 6...70 kV verkon kaapelointiaste vuonna 2002 oli noin 2,7 % (EMV 2002).

GGK:n keskijännitteisen verkon kaapelointiaste on siis valtakunnallisella tasolla melko pieni johtuen laajasta maaseutuverkosta. Kuitenkin verrattaessa esimerkiksi asiakasta

kohti tulevan verkkopituuden perusteella samantyyppisiin yhtiöihin, niin GGK:n keskijänniteverkossa oli vuonna 2002 jopa yli kaksinkertainen määrä kaapeleita. GGK käyttää kaapeleita pääasiassa taajamissa. Kaapeleiden määrä vaikuttaa myönteisesti verkoston käyttövarmuuteen ja toimitettavan sähkön laatuun.

GGK:n ilmajohtoverkostosta arviolta 70 % sijaitsee metsissä. Kaikkien Suomen maaseutujakeluverkkoyhtiöiden vastaava luku on noin 50 % (SENER 2002). Metsässä sijaitsevat johdot ovat paremmin turvassa tuulen aiheuttamilta johtovärähtelyiltä. Toisaalta metsäisyys lisää jonkin verran jälleenkytkentöjen määrää. Johtokatuja raivataan kuitenkin jatkuvasti ja ennakoivasti siten, että myöskin potentiaaliset vianaiheuttajat kuten kallistuneet reunapuut poistetaan. Metsäinen maaperä on peltoon verrattuna joka tapauksessa edullisempi puupylvään teknisen pitoajan kannalta, sillä lahon on todettu etenevän nopeammin peltomaassa.

Toisaalta liiallinen kosteus on epäedullista lahottajille. GGK:n verkkovastuualueen maapinta-alasta noin 15...20 % on geologista suota. Yhteensä erityyppisiä soita on reilut 40 % GGK:n verkkovastuualueen maapinta-alasta (GEO 2003). Vaikka ilmajohtolinjoja ei yleensä mielellään vedetäkään suon poikki, niin GGK:n verkkovastuualueella soilla ja muilla kosteilla alueilla sijaitsevien pylväiden määrä on todennäköisesti suurempi kuin vähäsoisemmillä alueilla Suomen etelä- ja keskiosissa. Lisäksi maadoitusolosuhteet ovat paikoin hyvät.

5.5.2 Ilmasto ja verkosto

Kainuussa ilmasto on hyvin mantereinen ja tyypillisiä ovat suuret lämpötilavaihtelut. Lämpötilojen suurta vaihtelevuutta kuvaa kylmimmän ja lämpimimmän kuukauden keskilämpötilojen erotus, joka on noin 28 °C. Vuoden kylmin kuukausi on tammikuu, jolloin keskilämpötila Kajaanissa on pitkäaikaisen tilaston mukaan vuosina 1961...1990 ollut noin -12,4 °C. Lämpimintä on puolestaan heinäkuussa, jolloin vuorokauden keskilämpötilaksi saavutetaan noin 15,6 °C (KM 2001). Lämpötilan suuret vaihtelut rasittavat ulkorakenteita jonkin verran, mutta tämä kuitenkin otetaan huomioon jo rakenteita suunniteltaessa. Vuosien 1971...2000 perusteella vuoden keskilämpötilaksi muodostui Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualueella noin +1,0 °C ja aivan

eteläisimmässä Suomessa jopa +5 °C (ITL 2004a). Ilmatieteenlaitoksen mukaan Suomen keskilämpötila jaksolla 1961...1990 oli noin +1,5 °C (ITL 2004b).

Luvussa 4.1 todettiin, että lahottajille suotuisimmat lämpötilaolosuhteet ovat +5...+30 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä alempi vuoden keskilämpötila on, sen lyhyempi on myöskin lahottajasienten toiminta-aika. Esimerkiksi Kajaanissa lahottajille otollinen yli +5 °C:n keskilämpötila vallitsee noin 5 kuukauden ajan, kun vastaava aika on Helsingissä noin 6 kuukautta (KM 2001), (ITL 2004c). Jos lahottajat ovat toimineet Helsingissä 40 vuotena, eli lahottajille otollinen aika on ollut yhteensä 20 vuotta, niin vastaava lahottajien toiminta-aika Kajaanissa on vain 16,7 vuotta.

Öljymuuntajan suhteellinen vanhenemisnopeus riippuu lämpötilasta yhtälön 4.2 mukaisesti. Ylikuormitettaessa muuntaja lämpenee normaalia enemmän, jolloin vanhenemisnopeus kasvaa. Ympäristön lämpötila taas vaikuttaa muuntajan jäähdytysolosuhteisiin. Vuosittaisten keskilämpötilojen perusteella GGK:n muuntajien jäähdytysolosuhteet ovat siis keskimääräistä paremmat. Kuten Suomen sähkönkulutukselle on tyypillistä, myöskin GGK:n muuntajien kuormitus on suurimmillaan talvella johtuen suuresta lämmöntarpeesta. Kuitenkin talvella ovat muuntajien jäähdytysolosuhteet parhaat. GGK:n jakelumuuntajille verkkotietojärjestelmästä haettu suurin kuormitusaste ylitti nimellisen 100 % tason vain noin 5 %:lla muuntajista. GGK:n muuntajat käyvät siis harvoin ylikuormalla johtuen riittävästä tehokapasiteetista, kulutuksen lyhyestä käyttöajasta ja kulutushuipun osumisesta talviaikaan.

Ilmanlaatu on Kainuussa hyvä (KYMPK 2004). Tutkimusten mukaan ilman keskimääräinen rikkidioksidipitoisuus Kajaanissa vuonna 2000 oli noin 33 % kaikkien mittauksen keskimääräistä tasoa pienempi. Mittauksia tehtiin yhteensä 69 kappaletta eri puolilta Suomea. Samoin myöskin ilman hengitettävien hiukkasten keskimääräinen pitoisuus alitti Kajaanissa vuonna 2000 keskimääräisen tason noin 38 %:lla. Mittauksia tehtiin 52 kappaletta ympäri Suomea. Ainoastaan ilman typpidioksidipitoisuus vuonna 2000 oli Kajaanissa keskimääräistä tasoa noin 26 % suurempi, vaikkakin erilaisista raja- ja ohjearvoista jäätiin keskiarvojen perusteella edelleenkin reilusti. Mittauksia tehtiin 50 kappaletta ympäri Suomea (ITL 2003).

Jonkin tietyn alueen ilmanlaatua voidaan tarkastella myöskin ilmanlaatuindeksillä, jota käytetään monissa kunnissa ilmanlaadusta tiedottamiseen. Indeksien tarkoituksena on kuvata kansanomaisesti vallitsevan ilmanlaadun tilannetta. Indeksit eivät kuitenkaan sellaisenaan sovi eri paikkakuntien vertaamiseen johtuen esimerkiksi mittausasemien vaihtelevasta määrästä. Indeksit määräytyvät ilmasta mitattavien typen ja rikin oksidien, hiukkaspitoisuuden, hiilimonoksidin ja otsonin perusteella. Kajaanista vuonna 2003 mitatut indeksiarvot ylittivät arvon ”välttävä” vain talviaikaan ja suurimmaksi osaksi ilman laatu olikin vuoden aikana tyydyttävä tai hyvä. Välttävä tai huonompi arvo merkitsee selviä kasvillisuus- ja materiaali-vaikutuksia pitkällä aikavälillä (Kajaani 2003).

Huono ilmanlaatu edistää erilaisten sähköjälkijärjestelmien käytettävien ulkorakenteiden korroosiota. Lisäksi esimerkiksi eristimien jännitelujuus alenee niiden pinnalle kertyvän lian seurauksena.

Ukkonen voi olla tuhoisa varsinkin sähköjälkijärjestelmässä käytettäville muuntajille, mutta Kainuussa ukkosta ei kuitenkaan esiinny keskimääräistä useammin (KS 2004). Kainuu on kylläkin suhteellisen runsassateista aluetta. Vuotuiseksi sademääräksi tulee noin 600 mm, josta sataa lumena arviolta 40 %. Maakunta tunnetaan yhtenä Suomen runsaslumisimmista alueista. Lunta on maassa keskimäärin kuuden kuukauden ajan. Lumikerros on paksuimmillaan maaliskuussa, jolloin lumen syvyys on keskimäärin noin 60 cm (KM 2001). Maaseutuverkko-yhtiöiden ongelmana varsinkin pohjoisessa ja talvella ovat juuri lumen aiheuttamat keskeytykset sähköjälkijärjestelmässä. GGK:ssa panostetaan kuitenkin ennaltaehkäiseviin toimiin, jotta lumen aiheuttamat ongelmat saataisiin minimoitua.

Runsas lumipeitteen vuoksi maan pinta routaantuu Kainuussa melko ohuesti. Syvimmillään routa on yleensä maaliskuussa, jolloin sitä tavataan maalajista riippuen 21...22 cm:n syvyydeltä (KM 2001). Routaan vaikutus siis erilaisiin maaseutuverkkoihin, kuten pylväspäälaitteisiin, on pienempi. Lisäksi ohuen routakerroksen ansiosta maakaapeliverkosto pysyy pidempään paremmassa kunnossa.

6 PITOAJAT GRANINGE KAINUU OY:N JAKELUVERKOSSA

Työn eräänä tärkeimmistä tavoitteista oli määrittää Graninge Kainuu Oy:n verkkokomponenteille ominaisia pitoaikoja verkkovastuualueen ominaispiirteiden puitteissa. Pääosin pitoaikojen määrittelyssä keskityttiin teknistaloudellisiin pitoaikoihin. Rakenteen teknistaloudellisten pitoaikojen valinnan taustalla ovat kuitenkin myös tekniset pitoajat, joten nämäkin on otettu huomioon. Kaikki tässä luvussa mainitut pitoajat ovat keskimääräisiä arvoja suurelle verkostomassalle, jolloin ne eivät välttämättä päde tarkasteltaessa vain yhtä kohdetta.

Sähkönjakeluverkon komponenttien teknistaloudelliset pitoajat on käytännöllisintä määrittää kokemukseen ja harkintaan perustuen, joten pitoaikojen selvittämistä varten järjestettiin GGK:n verkkoa ja toimintaolosuhteita parhaiten tunteville haastattelu. Lisäksi vertailun vuoksi kerättiin eri lähteistä teknisiä ja teknistaloudellisia pitoaikoja.

Henkilökohtaisen haastattelun tuloksia pidetään GGK:n pitoaikoja arvioitaessa tärkeimpänä ohjaavana tekijänä. Haastattelun tulokset ovat tässä tapauksessa luotettavin tietolähde, koska useiden alaa tuntevien henkilöiden puolueettomien mielipiteiden yhdistetty tarkasteleminen ottaa huomioon useimmat mahdolliset verkkovastuualueelle ominaisiin pitoaikoihin vaikuttavat syyt ja seuraukset. Lisäksi tällaisella tarkastelulla saadaan hyvä yleiskuva tapahtuneesta, tästä hetkestä ja tulevasta kehityksestä muidenkin kuin työn tekijän näkökulmasta.

Sähkönkulutuksen kasvun sekä infrastruktuurin muutosten nopeudet määräävät tärkeimmät reunaehdot verkonhaltijan verkkokomponenttien teknistaloudellisille pitoajoille. Verkonhaltijan verkkokomponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen valintaa ohjaavat myös verkkovastuualueen muut ominaispiirteet ja niiden mahdolliset muutokset, verkkokomponenttien uusiokäyttö, verkon kunnossapidon ja perusparannusten taso sekä komponenttien ympäristö- ja turvallisuusriskit. Lisäksi tulisi ottaa huomioon, että valitsemillaan teknistaloudellisilla pitoajoilla verkkoyhtiö vaikuttaa varsinkin omiin tuottomahdollisuuksiinsa, asiakkaiden siirtohintatasoon, jaettavan sähkön laatuun ja verkon käyttövarmuuteen.

6.1 Haastattelu

Tätä työtä varten suoritettiin Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualueelle ominaisia pitoaikoja koskeva haastattelu 12 henkilölle. Haastattelun tarkoituksena oli kerätä yhteen kokemusperäistä tietoa GGK:n verkoston komponenttien käytöstä, kunnossapidosta ja pitoajoista. Kyseessä oli nimenomaan jokaisen haastateltavan henkilökohtaisen mielipiteen tiedustelu. Haastateltavien keskimääräinen työkokemus alalta oli 22 vuotta ja he työskentelivät tällä hetkellä verkonrakennus-, suunnittelu- ja kunnossapitotehtävissä GGK:lla tai Eltel Networks Pohjoinen Oy:llä. Haastattelun tulokset ja selitteet on kerätty yhteen liitteeseen II.

Haastattelun apuna käytettiin osin lähteen (LTKK 2002) pitoaikoja koskevaa verkkokomponenttijaottelua, jota tarkennettiin vielä pylväiden, orsien, eristimien ja ylijännitesuojien osalta liitteen II mukaisesti. Koska Energiamarkkinaviraston esittämä komponenttijaottelu (EMV 2004c) perustuu pääsääntöisesti silloisen Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun tutkimukseen (LTKK 2002), saatiin näin mahdollisimman vertailukelpoiset haastattelutulokset. Työn rajauksen takia haastattelusta jätettiin pois mittarit, tietoliikennejärjestelmät ja ohjelmistot, ATK-laitteet, työvälineet, kuljetus- ja konekalusto sekä kiinteistöt. Komponenttijaottelua tarkennettiin siksi, että esimerkiksi ilmajohtorakenteen pitoajan määräävät tekijät voitaisiin eritellä paremmin. Verkkokomponentin osien teknisiä pitoaikoja vertailemalla voidaan usein päätellä, mikä osista todennäköisesti aiheuttaa toimenpiteitä koko rakenteelle. Pylvää jaettiin puupylväisiin ja teräspylväisiin, ja edelleen puupylväät eriteltiin vielä sijaintinsa perusteella normaaleihin ja kriittisiin. Puupylväs tarkoitti haastattelussa CCA:lla kyllästettyä puupylvästä, koska näitä käytetään GGK:n verkossa eniten. Jatkossa kreosoottipylväistä mainitaan tekstissä aina erikseen. Kriittisellä puupylväällä tarkoitetaan tässä esimerkiksi kulmakohtien, ylitysten tai pylväsmuuntamoiden asettamia lisävaatimuksia. Orret jaettiin puu- ja teräsorsisiin sekä eristimet jaettiin tuki- ja riippueristimiin. Lisäksi ylijännitesuojia käsiteltiin erikseen venttiilisuojien ja kipinäväliä osalta.

Haastattelussakin tekniseksi pitoajaksi käsiteltiin pääosin rakenteen tietyn osan tekninen pitoaika. Esimerkiksi avojohdon tekninen pitoaika on pelkän johtimen tekninen pitoaika, ja pylvään tekninen pitoaika on pelkkä pylvään tekninen pitoaika. Kuitenkin

haastateltavat huomioivat keskijännitemaakaapeleiden teknisissä pitoajoissa myös kaapelipäätteiden ja –jatkosten tekniset pitoajat. Vastaavasti pienjännitemaakaapeleiden teknisissä pitoajoissa on huomioitu myös jakokaappien tekniset pitoajat.

Haastateltavat ovat ottaneet komponenttien teknistaloudellisissa pitoajoissa sen sijaan aina huomioon koko rakenteen yhdistetyn pitoajan. Esimerkiksi avojohdon teknistaloudellisessa pitoajassa on huomioitu pylväiden, orsien, eristimien ja johtimen pitoajat. Pelkkien pylväiden, orsien, eristimien tai ylijännitesuojien teknistaloudellisia pitoaikoja ei lähdetty arvioimaan, koska asiaan vaikuttaa myös oheinen muu rakenne. Lisäksi verkko-omaisuutta määritettäessä näitä ei virallisesti lueta kokonaisiksi verkkokomponenteiksi.

Haastattelu käytiin läpi henkilökohtaisesti jokaisen haastateltavan kanssa. Haastateltavat vastasivat suullisesti esitettyihin kysymyksiin oman kokemuksensa perusteella. Yhtä verkkokomponenttijaottelun komponenttia tai osaa kohden esitettiin 15 kysymystä. Kysymykset koskivat kyseisen komponentin yleisimpiä vikoja, uusiokäyttöä, kunnossapitoa, huoltoa, kehitystoimenpiteitä ja perusparannuksia, ympäristö- ja turvallisuusvaikutuksia pitoajan kannalta, sekä teknistä ja teknistaloudellista pitoaikaajo olemassa olevan verkon osalta ja toisaalta uuden, tulevaisuudessa rakennettavan verkon osalta.

Haastateltavien arvioimat rakenteiden teknisten pitoaikojen ja käyttöhistorian aikana tapahtuneen teknisen sekä teknistaloudellisen kehityksen arvot on pyöristetty lähimpään viiteen vuoteen, joten ne ovat vain suuntaa-antavia arvoja. Arvojen karkea pyöristäminen johtuu siitä, että jopa 100 vuoden aikavälillä kaikenlainen arviointi on hyvin hankalaa. Lisäksi verkkorakenteiden teknistä kehitystä pyydettiin seuraavan kymmenen vuoden aikana arvioimaan vuosissa. Koska arvot olivat tyypillisesti vain muutamia vuosia, on uudessa verkossa odotetun teknisen kehityksen aritmeettiset keskiarvot pyöristetty vain lähimpään kokonaiseen vuoteen. Vastaavasti on haastattelusta saaduista vanhan verkon teknistaloudellisista pitoajoista sekä uudessa verkossa odotetun teknistaloudellisen kehityksen osalta kaikkien vastanneiden kesken laskettu aina aritmeettinen keskiarvo, joka on pyöristetty lähimpään kokonaiseen vuoteen. Tarkemmat arvot helpottavat verkkokomponenttien teknistaloudellisten

pitoaikojen vertailua sekä toisaalta mahdollistavat tulevan kehityksen suunnan arvioimisen suhteellisen lyhyellä aikavälillä.

Haastateltavien mielestä liitteen II mukainen komponenttijaottelu oli sopiva ja esitetyt kysymykset palvelivat tarkoitustaan. Kokonaisuudessaan haastattelua pidettiin mielenkiintoisena, vaikka kaikkien kysymysten läpikäyminen olikin hidasta. Ainoastaan erilaisten vuosiarvojen tarkka arvioiminen koettiin hieman hankalaksi.

6.2 Muut lähteet

Aineiston analysointia ja vertailua varten on liitteeseen II kerätty haastattelusta saatujen tulosten lisäksi myös kirjallisuudessa esiintyneitä tuoreimpia verkkokomponenttien teknisten ja teknistaloudellisten pitoaikojen arvoja. Teknisiä pitoaikoja kerättiin lähteistä (Sauna-aho 1984), (SENER 1997), (Verkonrakennus 1999), (Ropponen 2004) ja (Pirelli 2004). Liitteessä II esitetyt tai muissakaan yhteyksissä tässä työssä mainitut lähteestä (Pirelli 2004) saadut teknisen eliniän arvot eivät ole valmistajan takaamia arvoja vaan ainoastaan nykyisen käsityksen mukaisia odotusarvoja käyttöajasta. Lähteestä (SENER 1997) poimitut arvot ovat lähteen mukaan tyypillisiä eri verkostosi-
osien teknisiä pitoaikoja, joita voidaan käyttää valtakunnallisina keskiarvoina.

Sähköverkon komponenttien teknistaloudellisia pitoaikoja kerättiin liitteeseen II lähteistä (Hokkanen 2000), (LTKK 2002) ja (EMV 2004c). Lähteessä (LTKK 2002) esitetään silloisen Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun Energiamarkkinaviraston toimeksiannosta toteuttaman tutkimushankeen ”Investoinnit sähkön siirron hinnoittelun arvioinnissa” keskeiset tulokset. Tutkimushankkeessa ja raportissa käsitellään muun muassa verkostokomponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen määrittämistä. Lähteissä (Hokkanen 2000) ja (LTKK 2002) pitoaikoja on selvitetty useille verkkoyhtiöille tehtyjen erilaisten haastattelujen tai kyselyjen perusteella. Lähteen (EMV 2004c) pitoaikavälit perustuvat pääsääntöisesti lähteeseen (LTKK 2002), vaikkakin niitä on korjattu harkinnan mukaan joissakin yhteyksissä.

Lähteissä (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) esiintyvissä teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluväleissä alaraja on yleensä tarkoitettu kaupunkiverkkoyhtiöille, joiden verkkovastuualueella sähkönkulutuksen kasvu sekä infrastruktuurin muutokset ovat

nopeita. Vastaavasti yläraja on yleensä tarkoitettu hyvin pienen kasvun ja hitaan muutoksen alueilla toimiville maaseutuverkkoyhtiöille, joiden verkkokomponenttien teknistaloudelliset pitoajat lähenevät teknisiä pitoaikoja. Lähteestä (Hokkanen 2000) saadut teknistaloudelliset pitoajat ovat pääosin maaseutuyhtiöiden verkkokomponenttien teknisten pitoaikojen vaihteluvälejä, joissa on otettu huomioon yhtiöiden arviot kasvavista ympäristövaatimuksista ja teknisestä kehityksestä.

6.3 Taustaa verkkokomponenttien teknisiin ja teknistaloudellisiin pitoaikoihin vaikuttavista tekijöistä

Verkkokomponenttien tekniset pitoajat ovat Graninge Kainuu Oy:n verkkovastuualueella tyypillisesti pitkiä. Alue on metsäinen, mikä vähentää tuulen ilmajohdoille aiheuttamaa värähtelyä. Lisäksi metsämaassa puupylväät lahoavat hitaammin kuin pelloilla. GGK:n verkkovastuualueen maaperä on paikoin suhteellisen kostea, mikä myöskin hidastaa pylväiden lahoamista ja parantaa maadoitusolosuhteita. Kainuun ilmasto on Suomen olosuhteissa keskimääräistä kylmempi, jolloin puupylväiden lahottajien toiminta-aikakin on lyhyempi. Toisaalta kylmä ilmasto parantaa muuntajien jäähdytysolosuhteita. Kainuun ilma on lisäksi puhdasta, mikä vähentää lian kertymistä eristimien pinnalle ja korroosion vaikutusta. Muuntajille haitallista ukkosta ei Kainuussa esiinny keskimääräistä useammin. Paksu lumikerros talvella vähentää roudan vaikutusta maa-asennuksiin.

GGK on maaseutuverkkoyhtiö. GGK:n verkossa sähkönkulutuksen kasvu on maltillista ja verkkovastuualueen infrastruktuurissa ei odoteta tapahtuvan nopeita muutoksia. GGK:n verkkovastuualueella on taloudellisesti kannattavaa hyödyntää verkkokomponenttien teknistä pitoaikaa mahdollisimman pitkälle. Lisäksi 1990-luvun puolivälin jälkeen standardin SFS-EN50160 suositusten mukaisesti rakennettu verkko on siirtokapasiteetiltaan reilusti ylimitoitettu arvioituun sähkönkulutuksen kasvuun nähden. Tästäkään syystä ei voimakasta verkon muutostarvetta siis ole.

GGK:lla on pitkäaikaiset käytännön kokemukset verkon rakennuksesta, käytöstä ja kunnossapidosta. GGK on kustannustehokkaalla tavalla jatkuvien verkostoinvestointien sekä panostamalla kunnossapitoon ja huoltoon taannut verkostollensa pitkän iän, hyvän kunnan, käyttövarmuuden ja sähkön laadun. GGK:n verkoston järjestelmällinen

kunnossapito käsittää jossain muodossa verkon kaikki komponentit. Lisäksi erilaisilla perusparannuksilla ja pienimuotoisella uusiokäytöllä aiotaan verkkokomponenttien ja niiden osien tekninen pitoaika jatkossakin hyödyntää mahdollisimman tarkoin. Kuitenkaan aktiivista pitoajan jatkamiseen tähtäävää toimintaa kuten juurituenta ei GGK:ssa harjoiteta. Nyrkkisääntönä GGK:ssa onkin, että korvausinvestoinneilla ja mahdollisilla kehittämistoimenpiteillä tietyn verkko-osuuden ikä pyritään säilyttämään samana eli koko verkon keski-ikää ei päästetä vanhenemaan. Viime vuosina keskijännitejohtoja on käyttövarmuussyistä siirretty teiden varsille ja tämä on johtanut lisääntyneeseen uusien materiaalien käyttöön verrattuna aikaisempiin vuosikymmeniin, jolloin monia verkkokomponentteja kuitenkin uusiokäytettiin melko laajasti.

GGK:n kunnonhallintaprojekti saadaan lähitulevaisuudessa päätökseen. Uudella kunnonhallintajärjestelmällä tavoitellaan jakeluverkkokomponenteille lisää pitoaikaa tarkentuvan kunnonseurannan myötä.

6.4 Verkonrakennustarvikkeiden teknisiä pitoaikoja haastattelun ja eri lähteiden perusteella

Useimpien verkkokomponenttien tai niiden osien tekninen pitoaika on käyttöhistorian aikana vähitellen pidentynyt johtuen teknisestä kehityksestä. Käyttöhistorialla tarkoitetaan tässä sitä aikaväliä, joka on kulunut jonkin verkkokomponentin ensimmäisestä asentamisesta tähän hetkeen. Tälle aikavälille voi mahtua useammankin komponentin elinkaari. Nykyään valmistettavien verkkokomponenttien teknisten pitoaikojen odotusarvot ovat jo hyvin pitkiä, ja näihin verrattaessa ei todennäköisesti suuria tai nopeita muutoksia useimpien komponenttien teknisissä pitoajoissa ole lähitulevaisuudessa odotettavissa. Kuitenkin toisinaan pitoajat saattavat muuttua erilaisten lakien, määräysten ja päätöksien seurauksena hyvinkin äkillisesti. Tällaisia muutoksia on pitkällä aikavälillä erittäin vaikea ennakoida. Esimerkiksi verkkokomponentin teknistaloudellinen pitoaika voi lyhentyä taloudellisista syistä tehdyn päätöksen vaikuttaessa sen tekniseen pitoaikaan. Haastattelun tulokset ja eri lähteiden esittämät tekniset pitoajat on kerätty liitteeseen II.

6.4.1 Pylväät

Graninge Kainuu Oy:n käyttämät puupylväät ovat luvun 5.2 mukaisesti pääosin CCA-kyllästeisiä. Jo olemassa olevan vanhan verkon osalta saatiin GGK:n normaalin

sijainnin puupylväiden tekniseksi pitoajaksi haastattelun perusteella keskimäärin 55 vuotta. Arvo korreloi liitteeseen II merkittyjen lähteissä (Ropponen 2004) ja (Verkonrakennus 1999) CCA-kyllästetyille puupylväälle esitettyjen 40...50 vuoden teknisten pitoaikojen kanssa, kun otetaan huomioon luvussa 5.5 käsitellyt GGK:n verkolle ominaiset olosuhteet. Liitteeseen II on merkitty vertailun vuoksi lähteen (Hokkanen 2000) suola- ja kreosoottikyllästeiselle puupylvästykselle esittämä 40 vuoden teknistaloudellinen pitoaika. Puupylväitä on GGK:n verkossa käytetty koko verkon historian ajan ja haastateltavat arvioivat pylväiden teknisen pitoajan tuona aikana kehittyneen huomasti. Pääosin teknisessä pitoajassa tapahtunut kehitys johtui haastateltavien mielestä siitä, että verkonrakennukseen käytettiin alkuaikoina jopa kyllästämättömiä puupylväitä, joiden tekninen pitoaika oli vain muutamia kymmeniä vuosia. Lisäksi puupylväiden tekniseen kehitykseen ovat haastateltavien mukaan vaikuttaneet siirtyminen kuorimisesta sorvaukseen, tehokkaammat kyllästysaineet ja menetelmät, parempi materiaalin laadunvalvonta sekä pylväshatun käyttöönotto. Seuraavan 10 vuoden aikana uusien, normaalien puupylväiden teknisen pitoajan odotettiin kasvavan vielä entisestään keskimäärin kolmella vuodella verrattuna nykyisiin puupylväisiin. Haastateltavien mielestä tuleva kehitys johtuisi mahdollisesta kyllästystekniikan muutoksesta sekä kokemuksien ja tietämyksen lisääntymisestä. Koska puupylväiden tekninen pitoaika on jo luonnostaan pitkä, ei GGK:ssa olla juurikaan käytetty teknistä pitoaikaa jatkavia menetelmiä, kuten jälkikyllästystä tai juurituenta.

Haastateltavat arvioivat GGK:n kriittisen sijainnin kuten kulmien, ylitysten ja pylväsmuuntamoiden puupylväiden teknisen pitoajan olevan nykyisessä verkossa keskimäärin 40 vuotta, mikä on jonkin verran tavallisen puupylvään teknistä pitoaikaa lyhyempi. Eroa selitettiin sillä, että kriittisiin puupylväisiin kohdistuvat voimat ovat usein suuremmat ja toisaalta kestoisuusvaatimukset ovat huomattavasti tiukemmat. Kriittisen sijainnin puupylväiden teknisessä pitoajassa tapahtuneen kehityksen arvioitiin olleen samansuuntaista ja johtuvan pääosin samoista syistä kuin normaaleillakin puupylväillä. Lisäksi käyttöhistorian aikana tapahtuneeseen tekniseen kehitykseen ovat haastateltavien mielestä vaikuttaneet tuennan järjeistäminen ja pyrkimys vaikuttavien voimien minimointiin. Uusien kriittisen sijainnin puupylväiden teknisen pitoajan odotettiin seuraavan 10 vuoden aikana kasvavan keskimäärin yhdellä vuodella

verrattuna nykyisiin vastaaviin pylväisiin. Kehitys johtuisi haastateltavien mielestä samoista syistä kuin normaaleillakin puupylväillä.

Teräspylväitä on GGK:n verkossa joitakin kappaleita ja nämä sijaitsevat 110 kV:n verkossa, lähes aina kriittisissä paikoissa. Teräspylväiden teknistä pitoaikaa voidaan kunnossapidon ja erilaisten kehittämistoimenpiteiden avulla jatkaa hyvin paljon, joten haastateltavat arvioivatkin teräspylväiden teknisen pitoajan olevan keskimäärin 100 vuotta. Kuitenkin taloudelliset seikat rajoittavat teräspylvään teknistaloudellista pitoaikaa huomattavasti teknistä pitoaikaa lyhyemmäksi. Liitteeseen II on merkitty vertailun vuoksi lähteen (Hokkanen 2000) jakeluverkon teräspylvästykselle mainitsema 40 vuoden teknistaloudellinen pitoaika. Verrattuna puupylväisiin, tarvitsevat teräspylväät merkittävästi enemmän kunnossapitoa ja huoltoa. Teräspylväät ovat lisäksi erittäin herkkiä värinävaurioille sekä maan kautta kulkevat tasavirrat syövyttävät pylväsrakennetta. Vertailun vuoksi on liitteeseen II merkitty myös teräspylväille lähteistä saatujen teknisten pitoaikojen kohtaan lähteiden (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) antama teräsristikopylväin toteutetun 110 kV:n johdon teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälien yläraja, joka on 60 vuotta.

6.4.2 Orret

Esimerkiksi avojohtimien pylväsripustukseen käytetyt orret ovat Graninge Kainuu Oy:n verkossa nykyisin pääosin teräsorsia. Uuden verkon rakennuksessa on viimeisen 30 vuoden ajan käytetty lähes pelkästään teräsorsia. Aikaisemmin verkonrakennukseen käytettiin kuitenkin puuorsia, jotka oli kyllästetty samoilla aineilla kuin puupylväätkin. GGK:n puuorsien tekniseksi pitoajaksi haastateltavat arvioivat keskimäärin 45 vuotta, joten nämä tulevat poistumaan käytöstä kokonaan lähivuosien aikana. Nykyään valmistettavien kuumasinkittyjen teräsorsien tekniseksi pitoajaksi GGK:n verkossa saatiin haastattelun perusteella keskimäärin 80 vuotta, ja viimeisen 30 vuoden aikana teknisen pitoajan arvioitiin pidentyneen noin 15 vuotta. Kehitys johtui haastateltavien mielestä pääosin siirtymisestä ei sinkityistä orsista sinkittyihin orsiin. Lisäksi hyväkuntoiset teräsorret voidaan uusiokäyttää. Vanhimpia teräsorsia käytetään kuitenkin vain harvoin uudelleen, sillä niissä on ohuempi eristintappi, joka ei ole yhteensopiva nykyisten eristimien kanssa. Alumiiniortta ei GGK:ssa olla 1970-luvun joitakin kokeiluja lukuunottamatta käytetty johtuen materiaalin kalleudesta ja huonosta

kestävyydestä verrattuna teräkseen. Seuraavan 10 vuoden aikana eivät haastateltavat odottaneet teräsorsien teknisessä pitoajassa muutoksia.

Lähteessä (Suhonen 2003) mainitaan, että valmistajat lupaavat kuumasinkitystä raudasta valmistetuille komponenteille ja rakenteille yleisesti noin 50 vuoden teknisen eliniän odotusarvon. Ero haastateltujen arvioon selittyy osaksi sillä, että lähteessä (Suhonen 2003) poimitussa arvossa on kyseessä useamman osan, komponentin ja rakenteen keskimääräinen teknisen eliniän odotusarvo, eikä se ole pelkästään teräsorren tekninen pitoaika.

6.4.3 Eristimet

Haastatteluun otettiin mukaan erillisenä osana lisäksi Graninge Kainuu Oy:n lähinnä keskijännitteisessä avojohtoverkossa pylväiden ja johtimien välikappaleina käyttämät eristimet. Nämä jaoteltiin tuki- ja riippueristimiin toimintaperiaatteen perusteella. Tukieristimillä tarkoitetaan tässä lähinnä posliinista valmistettuja, orren yläpuolelle asennettuja tappieristimiä ja riippueristimillä tarkoitetaan lähinnä lasista valmistettuja lautaseristinyksiköitä, jotka voidaan asentaa orren alapuolelle. Myös muista materiaaleista tehtyjä eristimiä käytetään jonkin verran, mutta pääosin GGK:n eristimet ovat kuitenkin edellä kuvattuja posliini- tai lasieristimiä.

Haastateltavat arvioivat tekniseksi pitoajaksi GGK:n nykyisille tukieristimille sekä riippueristimille keskimäärin 70 vuotta. Kuitenkin haastateltavat pitivät tukieristimiä hieman pitkäikäisempinä kuin riippueristimiä. Tukieristimiä on GGK:n nykyisin omistamassa verkossa käytetty koko sen historian ajan, mutta riippueristimiä on käytetty vasta noin 30 vuotta. Vastaavina aikoina on tukieristimien tekninen pitoaika haastattelun perusteella pidentynyt keskimäärin 10 vuotta ja riippueristimien 5 vuotta. Tukieristinten teknisen pitoajan kehityksen arvioitiin johtuvan esimerkiksi siitä, että pienikaulaiset eristimet muuttuivat aikoinaan huippu-urallisiksi ja siirryttiin käyttämään lasin sijasta posliinieristimiä. Riippueristimien teknisen kehityksen taas arvioitiin haastattelussa johtuvan siitä, että materiaalit ovat parantuneet ja heikot mallit ovat jääneet pois käytöstä. Lisäksi hyväkuntoiset paksukaulaiset tukieristimet ja lasiset riippueristimet voidaan GGK:ssa uusiokäyttää. Haastateltavat arvioivat, että seuraavan 10 vuoden aikana uusien eristimien tekninen pitoaika lyhenee noin yhdellä vuodella

verrattuna nykyisiin eristimiin. Haastateltavien mielestä kehityksen suunta johtuisi teknistaloudellisista syistä. Tuotteiden elinkaaren odotettiin lyhentyvän tulevaisuudessa lisääntyvien laatuvaatimusten kautta. Lisäksi rakenteiden yhteensopimattomuutta pidettiin suurena ongelmana tulevaisuudessa.

Lähteessä (TD 2004) mainitaan keraamisten eristimien tekniseksi pitoajaksi yleisesti 40...50 vuotta. Ero haastattelusta saatuun arvoon selittyy osaksi sillä, että lähteen (TD 2004) arviossa on todennäköisesti huomioitu kaikenlaisten keraamisten eristimien pitoajat. Lisäksi GGK:n verkkovastuualueen ilma on luvun 5.5.2 mukaisesti puhdasta, mikä edesauttaa eristimiä saavuttamaan pitkän teknisen pitoajan.

6.4.4 Ylijännitesuojat

Ylijännitesuojia käytetään esimerkiksi muuntajien ja tiettyjen verkonosien suojana pienentämään verkossa vaikuttavien ylijännitteiden vaikutuksia. Ylijännitesuojia käsiteltiin haastattelussa erikseen kipinäväliä ja venttiilisuojien osalta. Nykyään kipinäväliä ja venttiilisuojaa käytetään monesti myös yhdessä, jolloin niiden muodostamaa virtaa rajoittavaa suojaa sanotaan puoliventtiilisuojaksi.

Molempien Graninge Kainuu Oy:n käyttämien ylijännitesuojatyyppeiden keskimääräiseksi tekniseksi pitoajaksi saatiin haastattelun perusteella noin 50 vuotta. Pitkä tekninen pitoaika takaa sen, että kyseisten komponenttien vaihtoperusteena onkin usein niiden suojaaman komponentin kuten muuntajan uusinta. Lisäksi GGK:n verkkovastuualueella ei luvun 5.5.2 mukaisesti esiinny keskimääräistä useammin ukkosta, mikä edesauttaa myös ylijännitesuojia saavuttamaan pitkän teknisen pitoajan.

Kipinäväliä ollaan GGK:n verkossa käytetty aina, mutta venttiilisuojia ollaan asennettu verkkoon vasta noin 30 vuoden ajan. Venttiilisuojien käyttö yleistyi suuremmissa määrin vasta noin 10 vuotta sitten. Sekä kipinäväliä että venttiilisuojien tekniset pitoajat ovat niiden käyttöhistorian aikana GGK:n verkossa jatkuneet haastateltavien mukaan keskimäärin viidellä vuodella. Haastateltavien mielestä kipinävälin tekninen kehitys johtuu siitä, että sen rakenne on aikojen kuluessa hieman muuttunut, sekä nykyään kipinäväliin estetään esimerkiksi lintujen pääsy lintupiikillä. Venttiilisuojien tekniset ominaisuudet muuttuivat merkittävimmin 1980-luvulla, jolloin siirryttiin

kipinäväliventtiilisuojusta käyttämään sinkkioksidisuoja. Haastateltavien mielestä sinkkioksidisuojaat olivat aikaisempaan verrattuna varmempia toimimaan ja niillä oli vähemmän ukkosongelmia. GGK:n molemmat ylijännitesuojaat ovat käytännössä kertakäyttöisiä, koska vanhan kipinävälin vikaantuessa se on halpa korvata uudella, ja venttiilisuojan kunnan toteaminen on hyvin hankalaa. Haastateltavat arvioivat uusien venttiilisuojaan teknisen pitoajan kasvavan nykyisiin pitoaikoihin verrattuna noin yhdellä vuodella seuraavan kymmenen vuoden aikana johtuen parempien suojaavien aineiden kehittelystä. Kipinävälille ei odotettu lähitulevaisuudessa merkittävää teknistä kehitystä.

6.5 Teknitaloudellisten pitoaikojen arviointi kerätyn aineiston perusteella

Tässä luvussa Graninge Kainuu Oy:lle lähitulevaisuutta varten määritetyt verkkokomponenttien teknitaloudelliset pitoajat on kerätty yhteen liitteen II kohtaan ”Oma arvio”. Arvioissa on haastattelun pohjalta ensinnäkin otettu huomioon komponenttien teknisissä ja teknitaloudellisissa pitoajoissa käyttöhistorian aikana tapahtunut kehitys ja toisaalta lähitulevaisuudessa, seuraavan kymmenen vuoden aikana odotettu kehitys. GGK:n verkkokomponenteille tässä työssä arvioituja teknitaloudellisia pitoaikoja on myös verrattu muista lähteistä saatuihin arvoihin. Lopullinen päätös GGK:n verkostokomponenttien teknitaloudellisia pitoaikoja arvioitaessa on tehty verkon ja verkkovastuualueen ominaispiirteiden perusteella. Muut seuraavissa luvuissa esiintyvät pitoaikoja koskevat lukuarvot löytyvät myös liitteestä II. Seuraavien verkkokomponentteja käsittelevien lukujen rakenne on sellainen, että ensin niissä kommentoidaan teknisiä pitoaikoja, tämän jälkeen teknitaloudellisia pitoaikoja ja lukujen viimeisissä kappaleissa on aina perusteluita omista arvioista GGK:n verkkokomponenttien teknitaloudellisiksi pitoajoiksi.

6.5.1 Aluesiirtojohdot

Graninge Kainuu Oy:n nykyisten 110 kV avojohtimien tekniseksi pitoajaksi saatiin haastattelun perusteella keskimäärin noin 65 vuotta. Vertailun vuoksi, lähde (Pirelli 2004) esittää esimerkiksi keskijänniteavojohtimille 50...70 vuoden teknisen eliniän odotusarvoväliä. GGK:lla on 110 kV:n avojohdoista vasta muutaman kymmenen vuoden käyttökokemus. Kuitenkin asennettavien johdinten tekninen pitoaika olisi haastattelun perusteella pidentynyt tuona aikana jopa kymmenellä vuodella. Haastateltavien mielestä 110 kV avojohdinten tekninen kehitys johtui paremmista

johdinrakenteista ja rakennusmenetelmistä. Lisäksi haastateltavat arvioivat 110 kV:n avojohdinten teknisen pitoajan jatkuvan nykyisestä vielä noin kahdella vuodella seuraavan kymmenen vuoden aikana.

GGK ei aio enää rakentaa merkittävässä määrin uutta 45 kV:n aluesiirtoverkkoa, vaikkakin jo olemassa oleva verkko pyritään kuitenkin pitämään toimintakuntoisena mahdollisimman pitkään. Tästä syystä GGK:n 45 kV:n avojohtoja ei käsitelty haastattelussa erikseen ja niiden teknisen ja teknistaloudellisen pitoajan katsotaan olevan verrattavissa vähintäänkin keskijänniteavojohtoihin.

Haastateltavien mielestä GGK:n 110 kV avojohtojen kohdalla määrää puupylvään tekninen pitoaika koko rakenteen teknisen pitoajan. Koko rakenteen osalta teknistä kehitystä todettiin tapahtuneen varsinkin perustusten ja puupylväiden kyllästyksen laadun parantuessa sekä pylväiden maahanupotuksen lopettamisen takia.

Haastateltavat arvioivat GGK:n jo olemassa olevan 110 kV avojohtorakenteen keskimääräiseksi teknistaloudelliseksi pitoajaksi noin 49 vuotta. Saatu arvo on samansuuntainen liitteessä II esitettyjen, lähteiden (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) 110 kV:n avojohdoille määrittämien 35...45 ja 35...50 vuoden teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälien kanssa. Vastaavasti GGK:n 110 kV:n avojohdoille saatu 49 vuoden teknistaloudellinen pitoaika korreloi hyvin normaalille puupylväälle haastattelussa arvioidun 55 vuoden teknisen pitoajan kanssa. Tässä tulee ottaa lisäksi huomioon, että GGK käyttää 110 kV:n avojohdoilla pääosin kreosoottikyllästeisiä puupylväitä. 110 kV avojohtojen teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttivat haastateltavien mielestä merkittävimmin kaavoituksen muuttuminen ja muut ympäristöpaineet, tykkylumi sekä ylipitkät jännevälit. Ylipitkien jännevälien vaikutuksesta johdin venyy ja riski johtimien yhteenlyönnistä kasvaa huomasti. Haastateltavat arvioivat, että GGK:n 110 kV avojohtojen siirtokapasiteetti riittää useimmiten. 110 kV avojohtojen ei koettu aiheuttavan merkittäviä ympäristö- tai turvallisuusriskejä, jotka vaikuttaisivat tämän verkkokomponentin teknistaloudelliseen pitoaikaan.

Haastateltavien mielestä 110 kV:n avojohdoille tehtävät kunnossapitotoimet kuten määräaikaistarkastukset, johtoalueravaukset ja pienet korjaukset olivat riittävät

rakenteen teknisen pitoajan maksimoimiseksi. Osaksi johtojen pienen määrän vuoksi uusiokäyttökin on GGK:ssa vähäistä.

Haastateltavat arvioivat GGK:n 110 kV avojohtojen teknistaloudellisen pitoajan pidentyvän seuraavan kymmenen vuoden aikana nykyiseen verrattuna keskimäärin kahdella vuodella. Kasvun oletettiin osin olevan seurausta puupylvään teknisen pitoajan kehitykselle.

Luvun 5.4 mukaisesti GGK:n verkon sähkönkulutuksen kasvu on tulevaisuudessa maltillista eikä verkkovastuualueen infrastruktuurissakaan odoteta tapahtuvan pitoaikoihin vaikuttavia merkittäviä muutoksia. Verkkovastuualueen maantieteellisten ja ilmastollisten ominaispiirteiden ei katsota ainakaan lähitulevaisuudessa muuttuvan merkittävästi. Puupylväiden kyllästeisiin liittyvät määräykset voivat kuitenkin muuttaa myös 110 kV avojohtojen teknistaloudellista pitoaika. Vanhimmat GGK:n verkossa yhä käytössä olevat 110 kV:n johdot ovat luvun 5.2.1 mukaisesti jo 40 vuotta vanhoja. GGK:n verkkovastuualueelle jo asennetuille sekä uusille, lähitulevaisuudessa rakennettaville 110 kV:n avojohdoille ehdotetaan tämän työn perusteella 50 vuoden teknistaloudellista pitoaika.

6.5.2 Sähköasemat

Graninge Kainuu Oy:n nykyisten sähköasemien 110 kV:n ja 45 kV:n kojeistoille saatiin haastattelun perusteella keskimäärin 45 vuoden tekninen pitoaika. Vastaavasti 20 kV:n kojeistoille haastateltavat arvioivat noin 40 vuoden teknisen pitoajan. Lisäksi näiden sähköasemien päämuuntajien tekninen pitoaika oli haastateltavien mielestä keskimäärin 50 vuotta. Lähteessä (SENER 1997) mainitaan kaikille valtakunnan sähköasemille keskimäärin 30 vuoden tekninen pitoaika, johon verrattuna haastattelusta saadut arvot ovat jonkin verran pidempiä. Eroa voidaan selittää osaksi GGK:n verkon ominaispiirteistä johtuvilla tekijöillä. GGK:n sähköasemien vanhemmissa kojeistoissa käytetään eristeaineena öljyä, kun taas uudemmat ovat kaasueristeisiä kojeistoja. Haastateltavat eivät uskoneet GGK:n sähköasemien kojeistojen teknisen pitoajan kuitenkaan muuttuneen niiden käyttöhistorian aikana juuri ollenkaan. Ainoastaan päämuuntajien teknisen pitoajan arviotiin pidentyneen noin viidellä vuodella johtuen siitä, että päämuuntajien materiaalit sekä tekniikka ovat kehittyneet paljon viimeisten

vuosikymmenien aikana. Haastateltavat eivät odottaneet seuraavan kymmenen vuoden aikana GGK:n uusien sähköasemakomponenttien osalta tapahtuvan merkittävää teknistä kehitystä verrattuna nykyisiin. Vain uusien 20 kV kojeistojen teknisen pitoajan odotettiin lyhentyvän noin yhdellä vuodella seuraavan 10 vuoden aikana johtuen lähinnä osien lyhyemmistä elinkaarista.

Haastateltavat arvioivat GGK:n tällä hetkellä omistamien sähköasemakomponenttien keskimääräisiksi teknistaloudellisiksi pitoajoiksi 110 kV kojeistojen osalta 37 vuotta, 45 kV:n kojeistoille 38 vuotta, 20 kV:n kojeistoille 35 vuotta ja päämuuntajille 43 vuotta. 20 kV kojeiston teknistaloudellista pitoaikaa verrattuna muihin kojeistoihin lyhentää suurempi kuormitusaste, verkon luonne ja erilaisten toimintakertojen korkeampi määrä. Haastateltavien arvioimat pitoajat ovat samansuuntaisia lähteiden (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) sähköasemakomponenteille määrittämien teknistaloudellisen pitoajan 30...45 vuoden vaihteluvälien kanssa. GGK:n sähköasemakomponenttien teknistaloudellisiin pitoaikoihin vaikuttivat haastateltavien mielestä eniten varaosien saatavuus, ukkonen, käyttöolosuhteet, ympäristömääräykset, sekä kunnossapito ja huolto. Esimerkiksi kosteuden aiheuttamien ongelmien takia sähköasemien kunnossapito ja huolto ovat välttämättömiä. Odotettujen pitoaikojen saavuttamiseksi GGK tekee säännöllisesti myös valmistajien ohjeiden mukaiset huollot. Päämuuntajien käämikytkinhuollot tehdään noin viiden vuoden välein. Vaikkakin sähköasemat muodostavat lievän uhkan lähiympäristölle ja turvallisuudelle, niin erilaisilla suojarakenteilla on kuitenkin melko hyvin minimoitu mahdollisten vahinkojen seuraukset. Haastateltavat eivät siis kokeneet GGK:n sähköasemien aiheuttavan ympäristö- tai turvallisuusriskejä, jotka vaikuttaisivat merkittävästi niiden teknistaloudelliseen pitoaikaan. Sähköasemien kojeistojen ja päämuuntajien osalta uusiokäyttö on GGK:ssa nykyään hyvin vähäistä. Joissakin tapauksissa esimerkiksi varaosia on kuitenkin käytännössä mahdotonta saada, jolloin osia on taloudellista käyttää uudelleen.

Haastateltavat arvioivat, että GGK:n sähköasemien 20 kV kojeistojen ja päämuuntajien teknistaloudelliset pitoajat eivät olleet muuttuneet viimeisen reilun 50 vuoden aikana ollenkaan, kun taas 110 kV ja 45 kV kojeistojen teknistaloudelliset pitoajat olivat tulleet viimeisen 30 vuoden aikana noin viisi vuotta lyhyemmiksi. Negatiivisen kehityksen

nähtiin johtuvan siitä, että ensinnäkin sähkönkulutus on historian aikana kasvanut huomasti ja toisaalta myös viranomaismääräykset ovat kiristyneet. Lisäksi varaosien saatavuus on heikentynyt merkittävästi, varsinkin 45 kV kojeistojen osalta.

Haastateltavat odottivat lähitulevaisuudessa eli seuraavan 10 vuoden aikana GGK:n sähköasemien 110 kV ja 20 kV kojeistojen teknistaloudellisten pitoaikojen kasvavan keskimäärin yhdellä vuodella. Kehityksen arvioitiin johtuvan siitä, että tulevaisuudessa ajatellaan pidemmällä tähtäimellä, verkkosuunnittelun taso paranee, sekä nykyisten kojeistojen suunnittelu on parantunut, öljyn huollon tarve on pienentynyt ja katkaisijat eivät kulu yhtä nopeasti kuin ennen. 45 kV kojeistojen teknistaloudellisen pitoajan taas arvioitiin seuraavan kymmenen vuoden aikana lyhenevän edelleen yhdellä vuodella, tosin uusiakaan kojeistoja ei verkkoon enää siis tulla asentamaan. Päämuuntajien osalta eivät haastateltavat odottaneet teknistaloudellisessa pitoajassa muutoksia.

Verkkovastuualueelle ominaisten tekijöiden ohjaamana ja kerätyn materiaalin perusteella voidaan GGK:n sähköasemien nykyisten ja toisaalta lähitulevaisuudessa asennettavien päämuuntajien teknistaloudelliseksi pitoajaksi arvioida keskimäärin 45 vuotta. Huomattava osa GGK:n verkossa yhä käytössä olevista päämuuntajista on luvun 5.2.2 mukaisesti saavuttanut 40 vuoden iän, mikä tukee ehdotusta. Vastaavasti GGK:n sähköasemien kojeistojen osalta teknistaloudelliseksi pitoajoiksi arvioidaan keskimäärin 40 vuotta.

6.5.3 Keskijännitejohdot

Graninge Kainuu Oy:n verkossa on keskijänniteajojohtoja käytetty koko verkon historian ajan. Nykyisen verkon johtimien tekniseksi pitoajaksi saatiin haastattelun perusteella keskimäärin 75 vuotta ja teknistä kehitystä olisi käyttöhistorian aikana tapahtunut noin kymmenen vuotta. Tekninen kehitys johtui haastateltavien mielestä pääosin siitä, että aikanaan johtimien materiaali muuttui kuparista alumiiniin, ja toisaalta ennen oli paljon erilaatuisia johdintyyppisiä, joista osa oli merkittävästi toisia huonompia. GGK:ssa ollaan viime aikoina myöskin pyritty pääsemään eroon ohuemmista johtimista, joilla on usein lyhyempi tekninen ja teknistaloudellinen pitoaika kuin paksummilla johdinpoikkipinta-aloilla. Tulevaisuudessa eivät haastateltavat odottaneet merkittäviä muutoksia keskijänniteajojohtimien teknisissä ominaisuuksissa.

Haastattelusta GGK:n keskijänniteavojohtimille saatu 75 vuoden tekninen pitoaika ylittää hieman lähteen (Pirelli 2004) 50...70 vuoden odotusarvovälin keskijänniteavojohtimen teknisestä eliniästä. Osittain GGK:n keskijänniteavojohtinten pitkän teknisen pitoajan taustalla on verkosta purkautuvien hyväkuntoisten keskijänniteavojohtinten uusiokäytöstä saadut kokemukset. Uusiokäytön ratkaisee johtimen jatkosten määrä ja muu kunto sekä johtimen poikkipinta. Vain Sparrow'ta paksummat johtimet käytetään mahdollisesti uudelleen. Vaikka lähteessä (SENER 1997) mainittu 30 vuoden tekninen pitoaika keskijänniteilmajohdoille onkin valtakunnallinen keskiarvo, ja vaikka muun rakenteen pitoajat huomioitaisiinkin, niin silti tekniseksi pitoajaksi arvo tuntuisi olevan kovin lyhyt.

PAS-, SAXKA- ja SAMKA-johdot käsiteltiin haastattelussa yhdistetysti, koska niiden käyttö on GGK:ssa ollut vähäistä. PAS-, SAXKA- ja SAMKA-johdoille käytetään tässä yhteistä nimikettä päällystetyt keskijänniteilmajohdot vaikkakin PAS-johdot ovat päällystettyjä avojohdoja sekä SAXKA- ja SAMKA-johdot ovat riippukierrekaapeleita. GGK:lla ei ole päällystetyistä keskijänniteilmajohdoista vielä kovin pitkää käyttökokemusta. Komponenttia on käytetty viimeiset 25 vuotta jossain muodossa harvoissa ja tarkkaan valituissa kohteissa, avojohdon sijasta. Haastateltavat arvioivat GGK:n jo olemassa olevan verkon pelkille päällystetyille keskijänniteilmajohtimille keskimäärin 55 vuoden teknisen pitoajan. Myös lähteen (Pirelli 2004) 30...70 vuoden teknisen eliniän odotusarvoväli on samansuuntainen. Päällystetyille keskijänniteilmajohtimille haastattelun perusteella saatu 55 vuoden tekninen pitoaika korreloi lisäksi hyvin normaalille puupylväälle haastateltavien arvioiman 55 vuoden teknisen pitoajan kanssa. Päällystettyjen keskijänniteilmajohdinten tekninen pitoaika oli haastateltavien mielestä pidentynyt viimeisen 25 vuoden aikana noin viidellä vuodella johtuen johdinmateriaalien kehittymisestä. Lisäksi päällystettyjen keskijänniteilmajohdinten teknisen pitoajan kasvuun on vaikuttanut ripustusrakenteiden muuttuminen standardiosiksi. Haastateltavat uskoivat positiivisen kehityksen jatkuvan siten, että seuraavan kymmenen vuoden aikana näiden päällystettyjen ilmajohdinten teknisen pitoajan odotettiin pidentyvän vielä noin kolmella vuodella. Tulevan teknisen kehityksen uskottiin johtuvan entistä paremmista eristemateriaaleista ja suojaustekniikasta.

GGK:n keskijännitemaakaapeleiden, kaapelipäätteiden ja -jatkosten yhdistetyksi tekniseksi pitoajaksi saatiin haastattelun perusteella keskimäärin noin 75 vuotta. Heikoin kohta rakenteessa oli haastateltavien mielestä kaapelipäätteet. Myös lähteessä (Pirelli 2004) mainitaan pelkälle keskijännitemaakaapelille 70...90 vuoden teknisen eliniän odotusarvo. Lähteessä (SENER 1997) pelkille kaapeleille mainittu 40 vuoden teknisen pitoajan valtakunnallinen keskiarvo vaikuttaa taas kovin lyhyeltä. Maakaapeleita on GGK:n verkossa käytetty aina ja haastateltavat arvioivat yhtiön perustamishetkestä tähän päivään mennessä kaapeleiden teknisen pitoajan pidentyneen noin viidellä vuodella johtuen paremmista materiaaleista ja valmistustekniikasta. Haastateltavat uskoivat samansuuntaisen kehityksen jatkuvan lähitulevaisuudessakin siten, että seuraavan kymmenen vuoden aikana keskijännitemaakaapeleiden, kaapelipäätteiden ja -jatkosten teknisen pitoajan arvioitiin kasvavan keskimäärin kahdella vuodella. Kehityksen odotettiin johtuvan siitä, että tulevaisuudessa tehdään mekaanisesti entistä lujempia kaapeleita asennuksen onnistumiseksi.

GGK:n keskijänniteilmajohtojen teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttivat haastateltavien mielestä merkittävimmin pylvään pitoaika, kaavoituksen muutokset, kuorman kasvu ja käyttövarmuustekijät. Avojohtojen ympäristö- ja turvallisuusriskien ei koettu tällä hetkellä vaikuttavan merkittävästi niiden teknistaloudelliseen pitoaikaan. Haastateltavat arvioivat GGK:n nykyisten keskijänniteavojohtojen keskimääräiseksi teknistaloudelliseksi pitoajaksi 45 vuotta. Myös lähteiden (EMV 2004c) 30...45 vuoden ja (Hokkanen 2000) 40...50 vuoden teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälit ovat haastattelusta saadun arvon kanssa samansuuntaisia, ja lähteen (LTKK 2002) 30...40 vuoden vaihteluvälikin ylitetään vain hieman. GGK:n keskijänniteavojohtojen teknisen pitoajan tavoin myöskin niiden teknistaloudellinen pitoaika oli haastateltavien mielestä kasvanut yhtiön alkuajoista noin kymmenellä vuodella, mikä oli seurausta ympäristön ja yhteiskunnan muutoksista sekä lisääntyneestä tietämyksestä teknisistä ratkaisuksista. Lähitulevaisuudessa eli seuraavan kymmenen vuoden aikana odottivat haastateltavat keskijänniteavojohtojen teknistaloudellisen pitoajan pidentyvän vielä yhdellä vuodella.

Haastateltavat arvioivat GGK:n verkkoon asennettujen päällystettyjen keskijänniteilmajohtojen teknistaloudelliseksi pitoajaksi keskimäärin 43 vuotta, mikä on myös samansuuntainen lähteen (EMV 2004c) 30...45 vuoden vaihteluvälin kanssa.

Lähteiden (Hokkanen 2000) ja (LTKK 2002) 40 vuoden ja 30...40 vuoden arviot päällystettyjen keskijänniteilmajohtojen teknistaloudellisesta pitoajasta ylitetään haastattelussa vain hieman. Haastateltavat arvioivat seuraavan kymmenen vuoden aikana päällystettyjen keskijänniteilmajohtojen teknistaloudellisen pitoajan pidentyvän vielä yhdellä vuodella lisääntyneen kokemuksen ja materiaalin hinnanlaskun myötä. Lukuunottamatta SAMKA-rakennetta, on päällystettyjen keskijänniteilmajohtojen uusiokäyttö GGK:ssa ollut vähäistä johtuen pääosin rakenteen ominaispiirteistä. Toisaalta materiaalin vähäisen määrän vuoksi sitä ei ole vielä purkautunut uusiokäyttöön paljoakaan. Haastateltavat eivät pitäneet päällystettyjä keskijänniteilmajohtoja kovinkaan suurena uhkana ympäristölle tai turvallisuudelle, eivätkä nämä tekijät vaikuttaneet tällä hetkellä GGK:n johtojen teknistaloudelliseen pitoaikaan merkittävästi.

GGK:n nykyisten keskijännitemaakaapeleiden, kaapelipäätteiden ja –jatkosten teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttivat haastateltavien mielestä eniten kuormien kasvu, kaavan muutokset, käyttövarmuustekijät sekä routa ja asennuksen onnistuminen. Maakaapeleita ei uusiokäytetä vaan ne jäävät usein käytön jälkeen maahan. Haastateltavat eivät kuitenkaan pitäneet tätä kovin suurena ympäristöriskinä. Maakaapelit voivat aiheuttaa kaivutöissä vaaratilanteita, mutta toisaalta maakaapelit ovat sijaintinsa ansiosta huomattavasti turvallisempia kuin esimerkiksi avojohdot. Kaiken kaikkiaan GGK:n keskijännitemaakaapeleiden ympäristö- ja turvallisuuskysymykset eivät haastateltavien mielestä vaikuttaneet niiden teknistaloudelliseen pitoaikaan.

Haastateltavat arvioivat GGK:n nykyisen verkon keskijännitemaakaapeleiden, kaapelipäätteiden ja –jatkosten teknistaloudelliseksi pitoajaksi keskimäärin 48 vuotta. Haastattelusta saatu arvo on samansuuntainen lähteestä (Hokkanen 2000) poimitun maaseutuyhtiön 30...50 vuoden teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälin kanssa. Toisaalta lähteiden (LTKK 2002) 30...40 vuoden ja (EMV 2004c) 30...45 vuoden teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälien ylärajat ylitetään hieman. Haastateltavien mielestä GGK:n maakaapelirakenteiden teknistaloudellinen pitoaika oli niiden käyttöhistorian aikana pidentynyt noin viidellä vuodella johtuen ylijännitesuojauksen kohentumisesta päätepuolella sekä kaapelin ja eristeen valmistustekniikan

kehittymisestä. Haastateltavat arvioivat lisäksi, että GGK:n keskijännitemaakaapelirakenteiden teknistaloudellinen pitoaika pidentyisi vielä vuodella seuraavan kymmenen vuoden aikana öljypaperieristeisten kaapeleiden korvautuessa muovieristeisillä kaapeleilla.

Kaiken kaikkiaan haastattelusta GGK:n keskijännitejohtimille ja -johdoille saadut pitoajat korreloivat melko hyvin lähteen (Pirelli 2004) teknisen eliniän odotusarvojen kanssa sekä lähteen (Hokkanen 2000) keskijännitejohtoja koskevien teknistaloudellisten pitoaikojen kanssa. Lähteiden (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluvälit tuntuivat osin kuitenkin hieman ahtailta.

Verkkovastuualueen ominaispiirteet ja varsin pitkät tekniset pitoajat huomioiden voitaisiin GGK:n nykyiselle sekä uudelle rakennettavalle keskijänniteverkolle avojohtojen osalta ehdottaa keskimäärin jonkin verran yli 45 vuoden teknistaloudellista pitoaikaa. Jotta kuitenkin muun verkon komponenttien teknistaloudelliset pitoajat korreloisivat paremmin keskijänniteverkon pitoajan kanssa, ehdotetaankin pitäytymistä 45 vuoden teknistaloudellisessa pitoajassa. Ehdotusta tukee luvun 5.2.3 mukaisesti se, että vanhimmat GGK:n keskijännitejohdot ovat jo saavuttaneet 45 vuoden iän. Vastaavasti GGK:n 45 kV:n avojohdoille voidaan hyvin ehdottaa 45 vuoden teknistaloudellista pitoaikaa. 45 kV avojohtojen pylväähän ovat suurilta osin kreosoottikyllästeisiä puupylväitä.

Päällystettyjen keskijänniteilmajohtojen suhteen lähteiden ja haastateltavien arviot maaseutuyhtiölle sopivista pitoajoista vastasivat toisiaan erittäin hyvin. GGK:n päällystetyille keskijänniteilmajohdoille voidaan tämän perusteella ehdottaa jo olemassa olevan verkon osalta ja toisaalta lähitulevaisuudessa rakennettavalle verkolle keskimäärin 45 vuoden teknistaloudellista pitoaikaa.

Haastateltavat arvioivat, että jo nykyisen GGK:n verkon keskijännitemaakaapeleiden, kaapelipäätteiden ja –jatkosten yhdistetty teknistaloudellinen pitoaika ylittää Energiamarkkinaviraston määrittämän 45 vuoden ylärajan usealla vuodella. Lisäksi jatkossakin näyttäisi siltä, että maakaapeleiden teknistaloudellinen pitoaika tulee GGK:n verkossa pidentymään. Energiamarkkinaviraston tälle komponentille määräämä

teknistaloudellinen pitoaikaväli voisi GGK:n tapauksessa olla siis liian ahdas. GGK:n nykyisille ja lähitulevaisuudessa asennettaville keskijännitekaapeleille, kaapelipäätteille ja –jatkoksille ehdotetaan keskimäärin 50 vuoden teknistaloudellista pitoaikaa.

6.5.4 Pienjännitejohdot

Luvun 5.2.3 mukaisesti Graninge Kainuu Oy:n pienjänniteilmajohdot ovat tällä hetkellä pääosin AMKA- tai AMKK-johtoja, mutta myöskin pienjännitemaakaapeleiden käyttö on viime aikoina lisääntynyt. Yhtiön verkossa on käytetty AMKA-rakennetta ja pienjännitemaakaapeleita varsinaiseen sähkönjakeluun noin 35 vuoden ajan. Haastateltavat arvioivat tekniseksi pitoajaksi nykyisen GGK:n verkon AMKA-johtimille keskimäärin 60 vuotta sekä pienjännitemaakaapeleille ja jakokaapeille keskimäärin 65 vuotta. Lähteen (Pirelli 2004) arvio AMKA-johtimen teknisen eliniän odotusarvosta on 50...70 vuotta ja vastaavasti pienjännitemaakaapeleille odotusarvo on 30...70 vuotta, mikä vahvistaa haastattelusta saatujen teknisten pitoaikojen arvioiden oikeellisuutta. Lisäksi lähde (SENER 1997) antaa valtakunnallisena teknisen pitoajan keskiarvona pienjänniteilmajohdoille 30 vuotta ja pienjännitemaakaapeleille 40 vuotta. Vaikka ero haastattelun tuloksiin onkin melko suuri, niin myöskin tämän lähteen perusteella haastattelusta saadut arvot vaikuttavat GGK:n verkon ominaispiirteiden puitteissa oikeansuuntaisilta.

AMKA:n edeltäjällä AMKK:lla oli selkeästi huonommat sähkötekniset ominaisuudet ja lujuus verrattuna AMKA:aan. AMKK-johtoja GGK:lla on kuitenkin melko vähän. Varsinaisen AMKA:n johdinrakenne ei ole aikojen kuluessa merkittävästi muuttunut. Kuitenkin joidenkin yksittäisten parannusten kuten eristeen UV-kestoisuuden kehittymisen ansiosta arvioivat haastateltavat johtimen teknisen pitoajan pidentyneen viimeisen 35 vuoden aikana keskimäärin viidellä vuodella. Haastattelun mukaan GGK:n pienjännitemaakaapeleiden tekniset ominaisuudet olivat niiden käyttöhistorian aikana kohentuneet jopa kymmenellä vuodella johtuen varsinkin paperieristeen vaihtumisesta muoviksi ja liitostekniikan kehittymisestä. Haastateltavat uskoivat lisäksi seuraavan 10 vuoden aikana sekä AMKA:n että pienjännitemaakaapeleiden teknisen kehityksen jatkuvan ja pidentävän teknisiä pitoaikoja noin yhdellä vuodella. Teknistä pitoaikaa tulevaisuudessa lisääisivät haastateltavien näkemysten mukaan AMKA:lle odotettu vahvempi kannatinköysi ja pienjännitemaakaapeleiden paremmat materiaalit.

Haastateltavien mielestä GGK:n pienjännitejohtojen teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttivat eniten kuormituksen kasvu, kaavoituksen muutokset, luonnonvoimat ja erilaiset viranomaisohjeet. GGK:n verkossa ei maakaapeleita uusiokäytetä ja pienjänniteilmajohtojenkin uusiokäyttö on vähäistä. Ainoastaan jakokaappeja saatetaan hyväkuntoisina käyttää uudelleen. Haastateltavat kokivat pienjännitejohtojen ympäristö- ja turvallisuusriskit pieniksi eikä näiden koettu vaikuttavan johtojen teknistaloudelliseen pitoaikaan merkittävästi. Haastateltavat arvioivat GGK:n nykyisen verkon AMKA-johdoille keskimäärin 38 vuoden teknistaloudellisen pitoajan sekä pienjännitemaakaapeleille ja jakokaapeille keskimäärin 43 vuoden teknistaloudellisen pitoajan. AMKA:n teknistaloudellinen pitoaika korreloi hyvin normaalille puupylväälle määritetyn 55 vuoden keskimääräisen teknisen pitoajan kanssa. Haastattelusta pienjännitejohdoille saadut teknistaloudelliset pitoajat ovat samansuuntaisia lähteen (Hokkanen 2000) maaseutuyhtiöille ominaisten AMKA:n 40 vuoden ja pienjännitemaakaapelien ja jakokaappien 20...50 vuoden teknistaloudellisten pitoaikojen kanssa. Samoin myöskin lähteessä (EMV 2004c) AMKA:lle annettu 25...40 vuoden sekä pienjännitemaakaapeleille ja jakokaapeille annettu 30...45 vuoden teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluvälit vahvistavat haastattelun tuloksia. Lähteen (LTKK 2002) ehdottamat AMKA:n 25...35 vuoden ja pienjännitemaakaapeleiden sekä jakokaappien 30...40 vuoden teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluvälit ylitetään haastattelun tuloksissa vain muutamalla vuodella.

Viimeisten 35 vuoden aikana oli GGK:n AMKA-johtojen teknistaloudellinen pitoaika pysynyt haastateltavien mielestä ennallaan, kun taas pienjännitemaakaapeleiden teknistaloudellinen pitoaika oli pidentynyt noin viidellä vuodella. Kehityksen arvioitiin johtuneen siitä, että maakaapelien materiaalit olivat parantuneet, hinnat olivat halventuneet ja rakenteet kuten päätteet ja liitokset olivat yksinkertaistuneet. Verrattuna nykyiseen, odottivat haastateltavat seuraavan kymmenen vuoden aikana GGK:n pienjännitejohtojen teknistaloudellisen pitoajan pidentyvän AMKA:n osalta kahdella vuodella ja pienjännitemaakaapeleiden sekä jakokaappien osalta yhdellä vuodella. AMKA:n teknistaloudellisen pitoajan positiiviseen kehitykseen uskottiin teknisten ominaisuuksien parantumisen lisäksi vaikuttavan sen, että esimerkiksi kuormien kasvu tullaan tulevaisuudessa ottamaan verkostosuunnittelussa entistä paremmin huomioon.

Haastateltavat olettivat pienjännitemaakaapeleiden ja jakokaappien teknistaloudellisen pitoajan kehittyvän teknisen pitoajan myötä.

Haastattelusta GGK:n vanhoille pienjännitejohdoille saadut kokemuseräiset tekniset ja teknistaloudelliset arvot vastasivat hyvin eri lähteistä saatuja arvoja. Koska maaseudun keskijänniteverkossa tapahtuvat muutokset ohjaavat kuitenkin vahvasti oheisen pienjänniteverkon teknistaloudellista pitoaikaa, tulisi pienjänniteverkon pitoajan teknistaloudellisesti ajateltuna mielellään yltää lähelle keskijänniteverkon teknistaloudellista pitoaikaa. Aikaisemmin pienjänniteilmajohtot rakennettiin melko ohuilla johdinpoikkipinnoilla, jolloin pienikin kulutuksen kasvu saattoi aiheuttaa toimenpiteitä. Varsinkin GGK:n pienjänniteverkon ilmajohtojen kohdalla tulee erityisesti huomioda standardin SFS EN 50160 mukaisesti mitoitettu uusi verkko, jonka johtimet ovat poikkipinnoiltaan vanhaan verkkoon verrattuna huomattavasti paksumpia ja näin ollen pitkäikäisempiä. Teknistaloudellisiksi pitoajoiksi GGK:n verkkovastuualueen ja verkoston ominaispiirteiden puitteissa ehdotetaan AMKA-johdoille keskimäärin 45 vuotta sekä vastaavasti pienjännitemaakaapeleille ja jakokaapeille 45 vuotta. Ehdotuksien tukena on luvun 5.2.3 mukaisesti se, että GGK:n verkossa on edelleenkin käytössä pienjännitejohtoja, jotka ovat vanhempia kuin 45 vuotta.

6.5.5 Jakelumuuntamot ja -muuntajat

Muuntajat ja muuntamot ovat luonnollisesti kuuluneet Graninge Kainuu Oy:n nykyisin omistamaan verkkoon aina. Haastateltavat arvioivat GGK:n pylväsmuuntamoille 50 vuoden, puistomuuntamoille 60 vuoden sekä kiinteistömuuntamoille ja jakelumuuntajille 55 vuoden keskimääräisen teknisen pitoajan. Pylväsmuuntamon teknisen pitoajan arviossa ei olla huomioitu rakenteessa käytettävän kriittisen puupylvään teknistä pitoaikaa. Lähteessä (SENER 1997) arvioidaan kaapeliverkon muuntamoiden teknisen pitoajan valtakunnalliseksi keskiarvoksi 40 vuotta, mikä ylitetään haastattelun tuloksissa melkoisesti. Lähteessä (Sauna-Aho 1984) on arvioitu sähkönjakeluun käytettävän öljymuuntajan termiseksi eliniäksi keskimäärin 35...40 vuotta. Jos kuitenkin huomioon otetaan GGK:n verkkovastuualueen hyvät jäähdytysolosuhteet ja muuntajien pieni kuormitusaste, tuntuisi haastateltavien GGK:n jakelumuuntajille arvioima 55 vuoden tekninen pitoaika vain hieman liian pitkä. Vaikka

haastattelusta saatu pylväsmuuntamoiden tekninen pitoaika vaikuttaakin pitkältä, niin se on looginen verrattuna jakelumuuntajan tekniseen pitoaikaan.

Haastateltavien mielestä kaikkien GGK:n jakelumuuntamotyyppien ja jakelumuuntajien teknistaloudellisiin pitoaikoihin vaikuttivat kuormituksen kasvu, kaavoituksen muutokset sekä asennusympäristön ilmastolliset olosuhteet. Lisäksi haastateltavat arvioivat, että pylväsmuuntamoiden teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttaa erityisesti kriittisen puupylvään tekninen pitoaika. Vastaavasti puistomuuntamoiden ja kiinteistömuuntamoiden teknistaloudellista pitoaikaa lyhentävänä koettiin pölyn vaikutukset, kun taas pitoaikaa pidentävänä tekijänä pidettiin komponenttien kuulumista osaksi kaapeliverkkoa. Tällöin ilmastollisten ylijännitteiden vaikutukset eivät ole ongelmana. GGK:n jakelumuuntajien teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttivat haastattelun perusteella eniten ilmastolliset ylijännitteet, sijainti verkossa ja kuormitustaso.

Haastattelussa kävi ilmi, että GGK:n jakelumuuntamoille voidaan toisinaan tehdä erilaisia pieniä kehittämistoimenpiteitä kuten pienjännitekeskusten uusintoja. Nimellisteholtaan 30 kVA:n jakelumuuntajia tai suurempia myös uusiokäytetään GGK:ssa jonkin verran. Kuitenkin 1990-luvulta alkaen GGK:n jakelumuuntajien uusiokäyttöikä on laskenut, koska samanlaista riskitasoa kuin aikaisemmin ei sallita enää. Samalla työn hinta on noussut. GGK:n pylväsmuuntamoiden pylväsvarokeytkimet saatetaan myöskin uusiokäyttää.

GGK:n muuntamot eivät haastateltavien mielestä aiheuttaneet merkittäviä ympäristö tai turvallisuusriskejä, jotka olisivat vaikuttaneet komponenttien teknistaloudelliseen pitoaikaan. Ainoastaan jakelumuuntajan sisältämän öljyn todettiin olevan mahdollinen paikallinen haitta sen päästessä leviämään ympäristöön. Kuitenkin muuntamot on tarvittaessa varustettu öljykaukaloilla, joilla öljyn pääsy ympäristöön estetään. Lisäksi kiinteistömuuntamot voivat toisinaan aiheuttaa läheisille muille laitteille sähkömagneettisia häiriötä. Koska kiinteistömuuntamot voivat sijaita asuinrakennuksissa, niin esimerkiksi tulipalon aiheuttajina ne ovat myöskin vaarallisempia kuin muut muuntamotyyppit.

GGK:n verkkoon tällä hetkellä kuuluvien pylväsmuuntamoiden teknistaloudelliseksi pitoajaksi saatiin haastattelun perusteella keskimäärin 36 vuotta. Arvo korreloi hyvin haastateltavien nykyisen verkon AMKA-johdolle arvioiman 38 vuoden teknistaloudellisen pitoajan kanssa. Vastaavasti GGK:n puistomuuntamoiden ja kiinteistömuuntamoiden teknistaloudelliseksi pitoajaksi haastattelussa arvioitiin keskimäärin 43 vuotta sekä jakelumuuntamoille 37 vuotta.

Lähteessä (Hokkanen 2000) on arvioitu maaseutuyhtiön teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluväleiksi pylväsmuuntamoille 40...50 vuotta, puistomuuntamoille 30...50 vuotta, kiinteistömuuntamoille 20...40 vuotta ja jakelumuuntajille 30...40 vuotta. Lähteessä (LTKK 2002) on ehdotettu pylväsmuuntamoille 25...35 vuotta teknistaloudelliseksi pitoajaksi ja vastaavasti lähteessä (EMV 2004c) se on arvioitu 25...40 vuodeksi. Lisäksi lähteet (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) arvioivat puistomuuntajille, kiinteistömuuntajille ja jakelumuuntajille 30...40 vuoden teknistaloudellisen pitoajan.

Haastateltavien arvio GGK:n pylväsmuuntajien teknistaloudellisesta pitoajasta jää jonkin verran lähteen (Hokkanen 2000) vaihteluvälin alarajasta. Lähteen (LTKK 2002) pylväsmuuntamoiden teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälin yläraja taas ylittyy haastattelussa hieman. Kuitenkin haastateltavien GGK:n pylväsmuuntajille arvioima teknistaloudellinen pitoaika on samansuuntainen lähteen (EMV 2004c) pylväsmuuntamoille antaman teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälin kanssa. Pylväsmuuntamoita lukuunottamatta puoltavat lähteessä (Hokkanen 2000) mainittujen muiden muuntamoiden ja jakelumuuntajan maaseutuyhtiölle sopivat pitoajat haastattelusta saatuja arvoja. Vastaavasti haastattelusta GGK:n jakelumuuntajille saatu teknistaloudellinen pitoaika on samansuuntainen lähteistä (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) poimittujen teknistaloudellisten pitoaikojen kanssa maaseutuyhtiölle tyypillisenä arvona. GGK:n puistomuuntamoiden ja kiinteistömuuntamoiden teknistaloudelliset pitoajat eivät kuitenkaan aivan vastaa lähteiden (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) pitoaikaväliä, vaikkakin arvot ovat kyllä oikeansuuntaiset.

Haastateltavat arvioivat pylväsmuuntamoiden teknistaloudellisen pitoajan pidentyneen niiden GGK:n verkon käyttöhistorian aikana noin viidellä vuodella. Kehitystä pidettiin

parempien teknisten ratkaisujen kuten pylväsvarokekytkimen ja puupylväiden paremman laadun ansiona. Tulevaisuudessa eli seuraavan kymmenen vuoden aikana odottivat haastateltavat vielä noin kahden vuoden jatkoa GGK:n pylväsmuuntamoiden nykyiseen teknistaloudelliseen pitoaikaan. Positiivisen kehityksen arveltiin pääosin johtuvan ennakoivammasta verkostosuunnittelusta. GGK:n puistomuuntamoiden teknistaloudellisen pitoajan odotettiin haastattelun perusteella lyhentyvän nykyisestä noin yhdellä vuodella seuraavan kymmenen vuoden aikana johtuen uusista lainsäädäntöasioista ja varustelutason muutoksista. Haastateltavat eivät pitäneet GGK:n kiinteistömuuntajia kovinkaan taloudellisina ratkaisuin vaan ne pyritään aina mahdollisuuksien mukaan rakentamaan puistomuuntamoiksi. Kiinteistömuuntamoiden kunnossapito ja huolto on huomattavasti hankalampaa kuin muiden muuntamotyyppien ja toisaalta sijainti asuinrakennuksissa on turvallisuussyistäkin epäedullista. Tämän vuoksi haastateltavat arvioivat kiinteistömuuntamoiden teknistaloudellisen pitoajan lyhentyneen niiden käytön aloittamisesta GGK:n verkossa noin viidellä vuodella. Samansuuntaisen kehityksen oletettiin jatkuvan, sillä haastateltavat odottivat kiinteistömuuntajien teknistaloudellisen pitoajan lyhentyvän vielä kolmella vuodella seuraavan kymmenen vuoden kuluessa. Haastateltavat uskoivat GGK:n jakelumuuntajien teknistaloudellisen pitoajan säilyneen samana hyvin pitkään eikä tulevaisuudessakaan suurempia muutoksia odotettu. Haastatteluhetkellä ei haastateltavilla ollut vielä tietoa GGK:n mahdollisesta lisäpanostuksesta jakelumuuntamoiden ja -muuntajien ylijännitesuojaukseen.

Kaiken kaikkiaan haastattelusta saadut GGK:n jo olemassa olevan verkon muuntamoita ja muuntajia koskevat teknistaloudelliset pitoajat vaikuttivat lähteidenkin perusteella melko oikeansuuntaisilta. Pylväsmuuntamoille haastattelussa arvioitu hieman lyhyempi teknistaloudellinen pitoaika verrattuna puistomuuntamoihin ja kiinteistömuuntamoihin selittyy muuntamoiden rakenne-erojen sekä käyttökohteiden ja kuormitusasteiden eroavaisuuksien perusteella. Kuitenkaan haastateltavat eivät pitoaikoja arvioidessaan ottaneet huomioon, että jakelumuuntamoiden ja -muuntajien suojaukseen tullaan erittäin todennäköisesti yhtiössä panostamaan lähitulevaisuudessa voimakkaasti. Muuntamoiden ja muuntajien hyvä ylijännitesuojaus jatkaa varmasti jonkin verran niiden teknistaloudellista pitoaikaan GGK:n verkossa. Jakelumuuntamoiden ja -muuntajien kohdalla teknistaloudellisia pitoaikoja GGK:lle lähitulevaisuutta varten

valittaessa tulee ottaa huomioon myöskin se, että nykyisin GGK:n jakelumuuntajat ovat luvun 5.2.5 mukaisesti nimellisteholtaan huomattavasti aikaisempaa suurempia. Tällöin todennäköisesti myöskin muuntajien teknistaloudellinen pitoaika verkossa on jatkunut. GGK:n jakelumuuntajien tekninen pitoaika on verkon ja verkkovastuualueen ominaispiirteistä johtuen huomattavan pitkä, ja toisaalta muuntajien uusiokäytöllä tätä teknistä pitoaikaa hyödynnetään hyvin. Tämän tulee näkyä myöskin jatkossa jakelumuuntajien teknistaloudellisessa pitoajassa. Koska maaseudun keskijänniteverkko vaikuttaa paitsi pienjänniteverkon uusimistahtiin, niin se ohjaa monesti myöskin jakelumuuntajien ja –muuntamoiden uusimistahtia. Tällöin näiden komponenttien pitoaikojenkin tulisi teknistaloudellisesti ajateltuna olla lähellä toisiaan. GGK:n jakelumuuntamoiden keskimääräisiksi teknistaloudellisiksi pitoajoiksi tämän työn perusteella ehdotetaan 45 vuotta kullekin muuntamotyypille. Pylväsmuuntamoiden kohdalla ongelmaksi pitkällä aikavälillä saattaa kuitenkin muodostua kriittisen puupylvään suhteellisen lyhyt tekninen pitoaika. Tätä voidaan tarvittaessa jatkaa osittaisilla perusparannuksilla joitakin vuosia. Vastaavasti GGK:n jakelumuuntajien keskimääräiseksi teknistaloudelliseksi pitoajaksi ehdotetaan 45 vuotta. Lukujen 5.2.4 ja 5.2.5 mukaisesti osa edelleenkin käytössä olevista GGK:n jakelumuuntamoista ja -muuntajista on jo saavuttanut 45 vuoden iän.

6.5.6 Erottimet ja erotinasemat

Tyypillisesti maaseudun keskijänniteverkoissa käytettävän erottimen tehtävänä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja syöttävän verkon välille sekä saattaa tietty verkon osa jännitteettömäksi esimerkiksi turvallista työskentelyä varten. Tavallisia johto- eli pylväserottimia käytetään manuaalisesti. Kauko-ohjattavien erottimien ja erotinasemien avulla voidaan syöttöpiirien jakorajoja muuttaa nopeasti suoraan jakeluyhtiön valvomosta käsin. Tämä helpottaa varsinkin vikatilanteessa vian rajaamista tietylle alueelle.

Verrattuna moneen muuhun komponenttiin ovat johtoerottimet ja kaukokäyttöerotinasemat melko tuoreita komponentteja Graning Kainuu Oy:nkin verkossa, jossa niitä on käytetty vasta noin 25 vuotta. Haastateltavat arvioivat johtoerottimelle keskimäärin 45 vuoden teknisen pitoajan, kun taas kaukokäyttöerotinaseman tekniseksi pitoajaksi arvioitiin keskimäärin 35 vuotta.

Haastateltavien mukaan GGK:n johtoerottimien tekninen pitoaika olisi viimeisen 25 vuoden aikana pidentynyt noin viidellä vuodella. Haastateltavien mielestä nykyisten erottimien virtakestoisuudet ovat kasvaneet, tekniset ominaisuudet ovat toimivampia ja katkaisukykykin on parempi. GGK:n kaukokäyttöerotinasemien tekninen pitoaika oli haastateltavien mukaan pysynyt viimeiset 25 vuotta ennallaan, vaikka erottimien tekniset ominaisuudet olivatkin nykyään parempia. Haastateltavien mielestä tänä päivänä valmistetaan kaukokäyttöerotinasemille aikaisempaa halvempia laitteita, joihin on vähemmän varaosia saatavilla. Lisäksi elektroniikan määrä on huomattavasti lisääntynyt. GGK:n johtoerottimien ja kaukokäyttöerotinasemien nykyisten teknisten pitoaikojen odotettiin kuitenkin pidentyvän seuraavan kymmenen vuoden aikana yhdellä vuodella. Positiivisen kehityksen taustalla oli haastateltavien mielestä se, että vaikka tulevaisuudessa varaosien saanti heikentyykin, niin silti uusien komponenttien paremmat tekniset ominaisuudet vaikuttavat enemmän.

Haastateltavat arvioivat, että GGK:n johtoerottimien teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttivat eniten huollon määrä, käyttöaste, kuormituksen kasvu ja katkaisukyvyyn riittävyys, sijainti verkossa, pylvään ikä, lumi- tai jääongelmat sekä ilmastolliset ylijännitteet. Haastateltavien mielestä GGK:n kaukokäyttöerotinasemien teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttaa edellä mainitun lisäksi varsinkin automaatio ja varaosien saatavuus. Itse erottimien huoltoa ja huoltoseurantaa voisi haastateltavien mukaan lisätä.

GGK:n erottimien ja erotinasemien uusiokäyttö oli haastateltavien mukaan melko vähäistä. Erottimien ja erotinasemien ympäristö- tai turvallisuustekijät eivät vaikuttaneet haastateltavien mielestä kyseisten komponenttien teknistaloudellisiin pitoaikoihin merkittävästi. Erottimilla nähtiin kuitenkin olevan suuri vaikutus sähkönjakelun toimivuuteen asiakkaiden näkökulmasta.

GGK:n verkossa tällä hetkellä olevien johtoerottimien teknistaloudelliseksi pitoajaksi saatiin haastattelun perusteella keskimäärin 38 vuotta. Teknistaloudellinen pitoaika oli haastateltavien mielestä johtoerottimien käyttöhistorian aikana pidentynyt noin viidellä vuodella johtuen teknisistä tekijöistä. GGK:n nykyisten kaukokäyttöerotinasemien

teknistaloudelliseksi pitoajaksi arvioivat haastateltavat keskimäärin 29 vuotta. Haastateltavat eivät uskoneet seuraavan kymmenen vuoden aikana erottimien ja erotinasemien teknistaloudellisten pitoaikojen muuttuvan nykyisestä.

Lähteet (LTKK 2002) ja (EMV 2004c) arvioivat sekä johtoerottimen että kaukokäyttöerotinaseman teknistaloudellisiksi pitoajoiksi 25...30 vuotta. Haastateltujen johtoerottimelle arvioima teknistaloudellinen pitoaika ylittää näiden lähteiden pitoaikavälin reilusti, kun taas kaukokäyttöerotinasemalle saatu teknistaloudellinen pitoaika on samansuuntainen edellä mainittujen lähteiden pitoajan vaihteluvälien kanssa maaseutuyhtiölle tyypillisenä arvona. Haastattelusta saadut arvot vastaavat myös lähteen (Hokkanen 2000) maaseutuyhtiön johtoerottimille ja kaukokäyttöerotinasemille mainitsemia 30...40 vuoden teknistaloudellisen pitoajan vaihteluvälejä.

Eri lähteidenkään perusteella haastattelusta saaduista GGK:n kaukokäyttöerotinasemia koskevista pitoajoista ei ole mitään syytä poiketa. Verkkovastuualueelle ominaisten piirteiden ohjaamana ehdotetaan GGK:n kaukokäyttöerotinasemille keskimäärin 30 vuoden teknistaloudellista pitoaikaa. Haastateltavat arvioivat kuitenkin johtoerottimelle melkein kymmenen vuotta Energiamarkkinaviraston pitoaikakatosta poikkeavan teknistaloudellisen pitoajan. Koska haastattelusta kaukokäyttöerotinasemille ja johtoerottimille saadut tekniset ja teknistaloudelliset pitoajat ovat keskenään loogisia, ehdotetaan GGK:n johtoerottimille 35 vuoden teknistaloudellista pitoaikaa, mikä korreloisi hyvin myös kriittisen sijainnin puupylväiden teknisen pitoajan kanssa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän diplomityön tavoitteina oli selvittää sähköjakeluverkon pitoaikoja koskevia käsitteitä eri näkökulmista, etsiä sähköjakeluverkon komponenttien vanhenemiseen ja rappeutumiseen johtavia tekijöitä sekä määrittää Graninge Kainuu Oy:lle sen verkkovastuualueen ominaispiirteiden puitteissa sopivia teknisiä ja teknistaloudellisia pitoaikoja. Sähköjakeluverkon pitoaikaan ja verkkokomponenttien vanhenemiseen liittyen ei kirjallisuudesta löytynyt kovinkaan paljon lähdemateriaalia. Yleisesti aiheesta puhuttaessa käytetään monesti hyvin erilaisia käsitteitä, jotka voivat helposti johtaa harhaan. Aiheen ajankohtaisuudesta johtuen lähdemateriaali saattoi muuttua työn aikana useastikin. Tätä työtä tehtäessä ei esimerkiksi ole ollut täyttä varmuutta siitä, saadaanko Energiamarkkinaviraston sähköverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuutta valvova malli käyttöön vuoden 2005 alusta vai siirtyykö sen käyttöönotto tulevaisuuteen. Erilaisia pitoaikoja käsiteltäessä suurin paino tässä työssä asetettiin tavoitteiden mukaisesti teknisille ja teknistaloudellisille pitoajoille eikä kirjanpidossa käytettyihin poistoaikoihin syvennytty kovinkaan tarkasti. Työn alku- ja keskiosan luvut on kirjoitettu nojautuen kirjallisuudesta mahdollisesti löytyneeseen ja muiden lähteiden materiaaleihin. Graninge Kainuu Oy:tä ja sen pitoaikoja käsittelevät luvut sen sijaan on kirjoitettu pääosin omien havaintojen ja tutkimustulosten sekä monin eri tavoin kerätyn aineiston analysoinnin perusteella. Tärkeimpänä tietolähteenä määritettäessä GGK:n verkkokomponenttien pitoaikoja pidettiin useille alaa tunteville henkilöille järjestettyä haastattelua. Koska tekniset ja teknistaloudelliset pitoajat riippuvat hyvin paljon verkonhaltijasta ja verkkovastuualueesta, ovat haastattelun tulokset varsinkin teknisten pitoaikojen puolesta vain suuntaa-antavia. Joka tapauksessa työlle asetetut tavoitteet saavutettiin.

Vahvan ohjausvaikutuksen takia verkkoyhtiön valitsemien teknistaloudellisten pitoaikojen tulisi olla mahdollisimman lähellä todellisuutta. Jos arvioidut pitoajat ovat todellisiin käytännössä toteutuviin pitoaikoihin nähden liian pitkiä, joutuu yhtiö investoimaan suunniteltua enemmän ja toiminnan todellinen tuotto jää olennaisesti laskennallista tuottoa vähäisemmäksi. Toisaalta, jos arvioidut pitoajat ovat liian lyhyitä, joutuu yhtiö tekemään korvausinvestointeja todellisuudessa liian aikaisin tai verkon nykykäyttöarvo ja sitä kautta sallittu tuotto laskee.

Tekniset ja teknistaloudelliset pitoajat riippuvat suuresti verkkovastuualueen ominaispiirteistä. Siellä missä sähkönkulutuksen kasvu ja infrastruktuurin muutosnopeus ovat hitaampia, vanhenevat komponentit sekä käytön aiheuttaman kulumisen että olosuhteiden muutoksien seurauksena vähemmän. Tällaiset olosuhteet toteutuvat yleensä maaseutuverkkoyhtiöissä. Toisaalta kustannustehokkuus maaseutuverkkoyhtiöissä edellyttää hyödyntämään teknisiä pitoaikoja mahdollisimman tarkoin. Varsinkin pohjoisen maaseutuverkkoyhtiöiden verkkokomponenttien teknisiä ja tätä kautta teknistaloudellisia pitoaikoja ovat jatkamassa alueille tyypillinen metsäisyys ja kylmä vuoden keskilämpötila.

Vaikka todellisuutta mallintamaan pyrkivät valvontamenetelmät ovat usein monimutkaisia eivätkä ne kohtaa täysin todellisuutta, ovat Energiamarkkinaviraston hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamallissa teknistaloudelliset pitoajat toimiva ratkaisu. Malli ei kuitenkaan ole aivan tasapuolinen kaikille verkkoyhtiöille. Maaseutuverkkoyhtiöiden verkkovastuualueet ovat usein hyvin laajoja ja asiakkaat harvassa. Tällöin asiakasta kohti muodostuvat investoinnit ovat maaseutuyhtiöissä moninkertaiset verrattuna esimerkiksi kaupunkiverkkoihin. Samalla myöskin verkkokomponenttien teknistaloudellisten pitoaikojen valinnan oikeellisuus korostuu. Suomessa jakeluverkkoyhtiöillä tulee tuskin ongelmia viranomaisen määrittelemien teknistaloudellisten pitoaikavälien alarajan kanssa. Kuitenkin, jotta maaseutuyhtiöt kykenisivät jatkossakin turvaamaan toimintansa kannattavuuden ja kustannustehokkuuden sekä silti pitämään verkkopalveluhintansa vertailukelpoisina, tulisi yhtiöiden voida hyödyntää komponenttiensa teknistä pitoaikaa riittävän pitkälle turvallisuuden, sähkön laadun ja käyttövarmuuden sanelemien ehtojen mukaisesti. Tämän työn perusteella näyttäisi Energiamarkkinaviraston jakeluverkkokomponenteille antamien teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluvälien ylärajoissa olevan tarkistamisen varaa.

Taulukossa 7.1 on esitetty karkea yleistys pitoajan merkityksestä jakeluverkkoyhtiön verkosta tehtävässä tasapoistossa hinnoittelun kohtuullisuuden valvonnassa. Tasapoistot on laskettu luvussa 3.3.4 esitetyn yhtälön 3.3 perusteella. Jälleenhankinta-arvot ovat vain suuntaa-antavia pyöristyksiä Graninge Kainuu Oy:n vuoden 2001 tiedoilla lasketuista arvoista. Taulukon 7.1 laskelmassa ei ole huomioitu sähköasemia, 45 kV:n

verkostoa, mittareita, viestiverkkoa, verkostoautomaatiolaitteita tai tietojärjestelmiä. Taulukossa 7.1 lähteestä (EMV 2004c) saadut arvot ovat teknistaloudellisten pitoaikojen vaihteluvälien ylärajoja. Vastaavasti ”Oma arvio” –kohdan teknistaloudelliset pitoajat ovat liitteen II mukaisia arvoja. ”Haastattelun perusteella mahdollinen pitoaika” –kohdan pitoajat ovat keski- ja pienjänniteverkoston osalta saatu ottamalla huomioon viiden vuoden marginaali turvallisuus- ja käyttövarmuussyistä luvussa 6.4.1 haastattelun perusteella puupylväälle määritetyssä 55 vuoden teknisessä pitoajassa. Vastaavasti jakelumuuntajille taulukon 7.1 kohdassa ”Haastattelun perusteella mahdollinen pitoaika” esitetty arvo on saatu vähentällä 5 vuotta luvussa 6.5.5 mainitusta haastattelun perusteella saadusta GGK:n jakelumuuntajien 55 vuoden teknisen pitoajan arviosta. Taulukossa 7.1 tarkoittaa lyhenne JHA jälleenhankinta-arvoa, ja esiintyvät euroarvoiset luvut on esitetty miljoonina euroina, M€.

Taulukko 7.1. Pitoaikojen vaikutus tasapoistoihin

	JHA [M€]	Teknistaloudellinen pitoaika (Lähde)		Haastattelun perusteella mahdollinen pitoaika [a]
		(EMV 2004c) [a]	Oma arvio [a]	
Keskijänniteverkosto	145	45	45	50
Pienjänniteverkosto	60	40	45	50
Jakelumuuntamot	25	40	45	45
Jakelumuuntajat	20	40	45	50
JHA yhteensä	250			
Verkosto-osien JHA:lla painotettu pitoaika [a]		42,9	45,0	49,5
Tasapoisto [M€]		5,83	5,56	5,05

Oletetaan, että GGK alkaisi käyttämään taulukossa 7.1 esitettyjen ”Oma arvio” –kohdan teknistaloudellisten pitoaikojen sijaan Energiemarkkinaviraston määrittämiä teknistaloudellisia pitoaikoja. Oletetaan lisäksi, että tasapoistojen määrä ratkaisisi GGK:n verkkoon tehtävät laajennus- ja korvausinvestoinnit, joista taas asiakkaiden siirtohinnat riippuisivat suoraan. Vuonna 2001 Graninge Kainuu Oy:n liikevaihto oli noin 20 miljoonaa euroa, jonka perusteella laskettuna asiakkaiden siirtohintojen korotukseksi pitoaikojen muuttumisen myötä muodostuisi noin 1,4 %. Vastaavasti, jos verkon tekninen pitoaika hyödynnettäisiin erilaisin pitoaikaa jatkavin menetelmin mahdollisimman loppuun asti, tarkoittaisi Energiemarkkinaviraston pitoaikoihin siirtyminen asiakkaiden siirtohinnoissa jopa 3,9 % korotusta.

Verkkotoiminnan yleinen tehokkuustavoite kannustaa yhtiöitä minimoimaan euromääräiset kulunsa. Jakeluverkoille tehdään nimittäin paljon muitakin toimenpiteitä kuin laajennus- ja korvausinvestointeja. Erilaisten toimenpiteiden kirjaaminen kuluiksi tai investoinneksi aiheuttaa nykyään kuitenkin paljon epäselvyyksiä valvontamallinkin takia. Usein suunnitelmalliset toimet kirjataan investoinneiksi. Tehtävien toimenpiteiden määrä ja laatu määräytyvät verkonhaltijan verkkovastuualueen ominaispiirteiden perusteella. Tasapuolisuuden vuoksi tulisi verkonhaltijoiden voida hyödyntää valvontamallin kautta mahdollisimman laajaa toimenpidevalikoimaa ja toisaalta yhtiöiden kirjaustapojen tulisi olla yhtenevät. Jakeluverkkoyhtiöitä tulisi jatkossa kannustaa toimimaan myöskin muuten kuin euromääräisesti tehokkaalla tavalla. Esimerkiksi, ympäristöä ja energiavaroja säästetään tuottamalla mahdollisimman vähän jätettä. Joskus jakeluverkoista purkautuu kuitenkin suhteellisen uusia verkkokomponentteja. Verkkokomponentteihin on jo kertaalleen investoitu, jolloin nämä voidaan aktivoida poistojen kautta. Jäljelle jää siis paljon uusiokäyttöön kelpaavaa tavaraa, jonka verkkoon palauttaminen kirjautuu usein epäedullisesti kuluiksi.

Energiamarkkinaviraston uuden sähköverkkotoiminnan hinnoittelua koskevan valvontamallin mukaan verkonhaltijan ensimmäisellä valvontajaksolla käyttämiä pitoaikoja voidaan ainoastaan poikkeustapauksissa muuttaa tuleville valvontajaksoille (EMV 2004c). Jakeluverkonhaltijoilla tulisi kuitenkin sopivin väliajoin olla mahdollisuus tarkistaa verkkokomponenteille valitut teknistaloudelliset pitoajat. Tällä tavoin muutokset toimintaolosuhteissa ja verkkokomponenttien teknisissä pitoajoissa voitaisiin ottaa huomioon. Kokemuksen myötä myöskin mahdolliset virhearviot voitaisiin korjata. Jos jakeluverkkoyhtiöt kuitenkin saisivat tarkistaa valitsemiaan teknistaloudellisia pitoaikoja liian usein, voisi vaarana olla, että yhtiöt pyrkisivät pitoaikojen valinnalla ainoastaan optimoimaan lyhyen tähtäimen tuottoansa.

Kun Graninge Kainuu Oy saa tulevaisuudessa kunnonhallintajärjestelmänsä kautta tarkempaa tietoa verkostostaan, voidaan tässä työssä määritettyjä pitoaikoja tarkentaa edelleen erilaisten rappeutumismallien kautta. Rappeutumismallien avulla voidaan lisäksi ennustaa tietyn ikäisten komponenttien kuntoa, jäljellä olevaa pitoaikaa ja optimoida kuntotarkastusten ajankohtia. Lisäksi verkosta purkautuvan materiaalin pitoaikojen seurannalla on yhä tärkeämpi merkitys pitoaikojen määrittämiselle.

8 YHTEENVETO

Jakeluverkkoyhtiöt olivat aikaisemmin tottuneet käyttämään vain verkosta tehtävien kirjanpidollisten poistojen laskentaan tarvittavia pitoaikoja sekä arvioimaan verkkokomponenttiensa elinikää pääosin käytön aiheuttaman kulumisen kautta. Vuonna 1995 voimaan tulleen sähkömarkkinalain mukaan sähköverkkopalveluiden hinnoittelun oli oltava kohtuullista. Tulot saisivat kattaa verkon ylläpidon, käytön ja rakentamisen kohtuulliset kustannukset sekä antaa sitoutuneelle pääomalle kohtuulliseksi katsottavan tuoton. Energiamarkkinaviraston tehtäväksi asetettiin sähkömarkkinalainsäädännön noudattamisen valvonta. Energiamarkkinaviraston sähköverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamalli edellyttää, että jakeluverkkoyhtiöt määrittävät käyttämilleen verkkokomponenteille teknistaloudelliset pitoajat. Tekninen pitoaika tarkoittaa verkkokomponentin kohdalla sitä aikaväliä, jolloin se toimii alunperin tarkoitetulla tavalla. Taloudellinen pitoaika taas loppuu usein olosuhteiden muutoksista aiheutuvan vanhenemisen seurauksena. Tällaisia muutoksia voivat olla esimerkiksi parempien teknisten ratkaisujen ilmestyminen markkinoille. Teknisen ja taloudellisen pitoajan välissä sijaitseva teknistaloudellinen pitoaika tarkoittaa sitä aikaa, jonka komponentit todellisuudessa saavat olla verkossa. Teknistaloudellinen pitoaika vaikuttaa Energiamarkkinaviraston valvontamallin kautta verkon nykykäyttöarvoon sekä tasapoistoihin ja tätä kautta verkkoyhtiön tuottomahdollisuuksiin. Pitoaikojen valinnassa jakeluverkkoyhtiön on huomioitava myöskin jaettavan sähkön laatu ja verkon käyttövarmuus, voimassa olevat sähköturvallisuusmääräykset ja muut turvallisuusasiat, erilaiset lait sekä ympäristövaikutukset.

Energiamarkkinaviraston uudessa sähköverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamallissa ensimmäisen valvontajakson ensimmäisenä vuonna 2005 jakeluverkon nykykäyttöarvo lasketaan komponenttiryhmittäin verkon jälleenhankinta-arvosta jäljellä olevan pitoajan perusteella käyttäen hyväksi verkonhaltijan ilmoittamia komponenttiryhmäkohtaisia pitoaika- ja keski-ikä tietoja liitteen I mukaisesti. Jos verkkoyhtiö ei ole ilmoittanut Energiamarkkinavirastolle jonkin komponenttiryhmän keski-ikä tietoja määräaikaan mennessä, niin kyseisen komponenttiryhmän nykyarvoksi asetetaan 50 % sen jälleenhankinta-arvosta. Jatkossa verkkotoiminnan kohtuullisen tuoton määrittämiseen tarvittava sähköverkon nykykäyttöarvo lasketaan edellisen

vuoden nykykäyttöarvon, edellisen vuoden laskennallisten tasapoistojen, edellisen vuoden rakennuskustannusindeksin sekä edellisenä vuonna sähköverkkoon tehtyjen investointien perusteella.

Teknitaloudellisten pitoaikojen perusteella lasketut tasapoistot ohjaavat jatkossa verkonhaltijan vuotuisten korvaus- ja laajennusinvestointien määrää. Verkon nykykäyttöarvo laskee, jos investoinnit ovat tasapoistoja pienemmät. Lyhyemmät pitoajat johtavat korkeaan investointitasoon, jos verkon nykykäyttöarvon halutaan säilyvän ennallaan. Tämä edellyttää esimerkiksi verkkopalvelujen hintojen nostoa, jos toiminnasta halutaan maksimaalinen tuotto. Pidemmät pitoajat johtavat matalampaan investointitasoon, joka taas antaa mahdollisuuden siirtohintojen maltillisuuteen. Yli-investoimalla voidaan kyllä nostaa sallittua tuottoa, mutta tämä ei kasvata yhtiön tulosta johtuen kasvavista todellisista poistoista ja investointien rahoituskuluista.

Verkonhaltijoiden vastuulla on sähkömarkkinalain perusteella sähköverkoston kunto ja asiakkaille toimitettavan sähkön laatu. Verkostoon tehtävillä toimenpiteillä ja investoinneilla voidaan parantaa sähkön laatua ja käyttövarmuutta lähes loputtomiin. Liiallinen investointi verkostoon johtaa kuitenkin siihen, että saatava hyöty ei enää kata kustannuksia. Verkon käyttövarmuuden optimointi on teknitaloudellinen kysymys. Lyhyillä pitoajoilla verkkokomponenttien toimintavarmuus säilyy todennäköisesti melko hyvänä läpi niiden käytön, jolloin sähkön laatua heikentävää vaikutusta ei ole. Pitkillä pitoajoilla eli verkkokomponenttien ikääntyessä niiden keskimääräinen vikaantumisherkkyys kuitenkin todennäköisesti kasvaa, jolloin sähkön laatu ja verkon käyttövarmuus voivat laskea.

Ympäristöä voidaan säästää tuottamalla mahdollisimman vähän kierrätyskelvotonta ongelmajätettä. Verkoston suunnittelulla on suuri merkitys verkkokomponenttien ympäristövaikutusten kannalta. Lyhyemmillä pitoajoilla verkon uusiutuminen on nopeaa, mikä verkostosuunnittelun on kyettävä huomioimaan. Ympäristöä joudutaan muokkaamaan voimallisemmin sekä virhearvioiden todennäköisyys nopeasti muuttuvassa ympäristössä kasvaa. Pitkillä pitoajoilla tuotetaan vähemmän kierrätyskelvotonta jätettä ja vältetään turhaa energiavarojen tuhlausta. Toisaalta teknisesti vanhentuneiden komponenttien suorituskyky iän myötä laskee,

huoltokustannukset lisääntyvät ja todennäköinen vikaantumisriski uuteen tekniikkaan verrattuna kasvaa. Myöskin maisemallisesti huonosti sijoitetun verkon haitta kasvaa pitoajan myötä. Ympäristönäkökulmasta huollon ja kunnossapidon merkitys pitkien pitoaikojen myötä korostuu. Suunnittelun kannalta erilaisten lakien ja määräysten muutosten ennakoiminen pitkällä aikavälillä on hankalaa.

Sähköverkon hyvällä huollolla ja kunnossapidolla on yhteys matalaan tapaturmataajuuteen. Myöskin koneiden ja laitteiden asianmukaiset turvalaitteet vähentävät tapaturmariskiä. Sähköverkon komponentin vaihtoperusteena on useimmiten juuri sen iän myötä lisääntynyt turvallisuusriski. Jakeluverkkojen turvallisuuden merkitys korostuu erityisesti siksi, että ne sijaitsevat laajasti muun yhteiskuntatekniikan keskellä.

Verkkokomponenttien rappeutumiseen ja tätä kautta tekniseen pitoaikaan vaikuttavat monet eri tekijät. Usein lämpötila on yksi merkittävimmistä tekijöistä. Sähköverkon rakenteiden rappeutuminen on joka tapauksessa tyypillisesti hyvin hidasta. Ilmajohditimet ja maakaapelit ovat hyvin pitkäikäisiä, samoin kuin orret ja eristimet kestävät usein puupylvään teknisen pitoajan. Puupylväs määrääkin useimmiten koko ilmajohtorakenteen teknisen pitoajan. Vastaavasti ylijännitesuojat uusitaan monesti niiden suojaaman komponentin vaihdon yhteydessä. Puupylvään rappeutumiseen vaikuttaa eniten laho, jota torjutaan erilaisilla kyllästysaineilla. CCA:n käyttö puupylväiden kyllästyksessä tullaan näillä näkymin lopettamaan vuoden 2006 syyskuun alusta. Korvaavien kyllästeiden löytäminen tuottaa todennäköisesti jonkinlaisia ongelmia tulevaisuudessa. CCA:n korvaajaksi puupylväiden kyllästysaineena tulee jatkossa todennäköisesti kreosoottiöljy. Kreosoottipylvään tekninen pitoaika on nykyisen käsityksen mukaan hieman pidempi kuin CCA-kyllästeisen puupylvään tekninen pitoaika. Tällä hetkellä käytössä olevilla muilla kyllästeillä ei päästä lähellekään CCA:n tai kreosoottiöljyn suojavaikutuksia. Puupylväiden tekninen pitoaika riippuu lisäksi verkkovastualueen sijainnista. Pohjoisessa puupylväät lahoavat kylmemmästä ilmastosta johtuen merkittävästi etelän pylväitä hitaammin. Samoin muuntajien tekninen pitoaika on vahvasti riippuvainen käyttölämpötilasta. Kuormitustaso ja toisaalta ympäristön jäähdytysolosuhteet taas vaikuttavat suuresti muuntajan kuumimman pisteen lämpötilaan.

Tässä työssä Graninge Kainuu Oy:n jakeluverkon ikä- ja määrätiedot selvitettiin pääosin vuosikertomusten perusteella. Lisäksi verkkotietojärjestelmää käytettiin uusimpien tietojen hankinnassa. Vuoden 2003 lopussa GGK:lla oli 110 kV:n aluesiirtojohtoja 224 km, 45 kV:n aluesiirtojohtoja 112 km, sähköasemia 25 kpl, 20 kV:n keskijännitejohtoja 6811 km, 10 kV:n keskijännitejohtoja 201 km, 0,4 kV:n pienjännitejohtoja 4884 km, jakelumuuntamoita 5120 kpl, jakelumuuntajia 5480 kpl ja sähkökäyttöpaikkoja 53366 kpl. GGK:n nykyinen verkko on suurilta osin rakennettu uudissähköistämisen aikoihin vuosina 1970...1985. 1990-luvun puolivälin jälkeen standardin SFS-EN50160 suositusten mukaisesti rakennettu verkko on siirtokapasiteetiltaan reilusti ylimitoitettu arvioituun sähkönkulutuksen kasvuun nähden.

GGK:n verkon ja verkkovastuualueen ominaispiirteitä tutkittiin lukuisten eri tietolähteiden ja vertailun avulla. GGK on maaseutuverkkoyhtiö ja sen laajalla verkkovastuualueella sähkönkulutuksen kasvun sekä infrastruktuurin muutosnopeudet ovat maltillisia. GGK on kustannustehokkaalla tavalla, jatkuvien verkostoinvestoinnein sekä panostamalla kunnossapitoon ja huoltoon taannut verkostollensa pitkän iän, hyvän kunnan, käyttövarmuuden ja sähkön laadun. GGK:n verkkovastuualueen maantieteelliset ja ilmastolliset ominaispiirteet edesauttavat verkkokomponentteja pitkän teknisen pitoajan saavuttamisessa. Alue on metsäinen, mikä vähentää tuulen ilmajohdoille aiheuttamaa värähtelyä. Lisäksi metsämaassa puupylväät lahoavat hitaammin kuin pelloilla. GGK:n verkkovastuualueen maaperä on paikoin suhteellisen kostea, mikä myöskin hidastaa pylväiden lahoamista ja parantaa maadoitusolosuhteita. Kainuun ilmasto on Suomen olosuhteissa keskimääräistä kylmempi, jolloin puupylväiden lahottajien toiminta-aikakin on lyhyempi. Toisaalta kylmä ilmasto parantaa muuntajien jäähdytysolosuhteita. Kainuun ilma on lisäksi puhdasta, mikä vähentää lian kertymistä eristimien pinnalle ja korroosion vaikutusta. Muuntajille haitallista ukkosta ei Kainuussa esiinny keskimääräistä useammin. Paksu lumikerros talvella vähentää roudan vaikutusta maa-asennuksiin. Erilaisilla peruseräparannuksilla ja pienimuotoisella uusiokäytöllä aiotaan GGK:n verkkokomponenttien ja niiden osien tekninen pitoaika jatkossakin hyödyntää mahdollisimman tarkoin. Kuitenkaan aktiivista pitoajan jatkamiseen tähtävää toimintaa kuten juurituenta ei GGK:ssa harjoiteta. Korvausinvestoinneilla ja mahdollisilla kehittämistoimenpiteillä tietyn verkko-osuuden ikä pyritään säilyttämään samana eli koko verkon keski-ikä ei päästetä vanhenemaan.

GGK:n verkossa toteutuvat teknistaloudelliset pitoajat ovat siis myös tyypillisesti pitkiä. Jotta teknistaloudelliset pitoajat palvelisivat mahdollisimman hyvin tarkoitustaan, kannattaa ne usein valita harkinnan ja kokemuseräisen tiedon avulla. Myöskin kunnonhallintajärjestelmien tiedot ovat yhä tärkeämpi tekijä määrättäessä verkkokomponenttien pitoaikoja. GGK:n kunnonhallintaprojekti on tällä hetkellä kuitenkin kesken. Verkosta purkautuvia komponentteja ei yhtiössä olla seurattu. GGK:lle määritettiin sen verkkovastuualueelle ominaisia pitoaikoja käyttäen tärkeimpänä päätöksentekovälineenä haastattelua, joka järjestettiin verkostoa ja aluetta parhaiten tunteville. Tuloksia vertailtiin viimeisimpiin lähdetietoihin, tutkimustuloksiin sekä GGK:n verkossa jo toteutuneisiin pitoaikoihin. Saadut tulokset, lähteistä poimitut arvot sekä ehdotetut pitoajat koottiin yhteen liitteeseen II.

Koska itse johtimella on usein erittäin pitkä tekninen pitoaika, niin ilmajohtorakenteen muiden osien teknisten pitoaikojen perusteella havaitaan, että GGK:nkin tapauksessa puupylväs rappeutuu usein nopeiten. Parhaiten asia tulee GGK:ssa tällä hetkellä esille keskijänniteilmajohdoilla, mutta ennakoivamman suunnittelun ja yhä paksumpien johdinpoikkipintojen ansiosta myöskin pienjänniteilmajohtojen teknistaloudellinen pitoaika lähenee jatkossa puupylvään teknistä pitoaika. Vastaavasti GGK:n ylijännitesuojat kestävät monesti suojattavan komponentin pitoajan verran. GGK:n maakaapeleiden kohdalla niiden teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttavat eniten kuormien kasvu, kaavan muutokset, käyttövarmuustekijät sekä routa ja asennuksen onnistuminen. Sijainti maassa edesauttaa kaapeleita pitkän teknisen pitoajan saavuttamisessa. GGK:n sähköasemakomponenttien teknistaloudelliset pitoajat määräytyvät usein varaosien saatavuuden, ukkosen vaikutusten, käyttöolosuhteiden, ympäristömääräysten, sekä kunnossapidon ja huollon perusteella. GGK:n eri jännitetasojen sähköasemakojeistojen keskinäisissä teknistaloudellisissa pitoajoissa eroavaisuuksia aiheuttavat lähinnä erilaiset kuormitusasteet, verkon luonne ja toimintakertojen määrä. GGK:n jakelumuuntamoiden- ja muuntajien teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttavat varsinkin kuormituksen kasvu, kaavoituksen muutokset ja ilmastolliset tekijät. Erityisesti GGK:n pylväsmuuntamoiden teknistaloudelliseen pitoaikaan vaikuttaa kriittisen puupylvään tekninen pitoaika. Puistomuuntamoiden ja kiinteistömuuntamoiden teknistaloudellisia pitoaikoja lyhentävänä tekijänä on pölyn vaikutukset, kun taas kuuluminen osaksi kaapeliverkkoa

vaikuttaa myönteisesti näiden komponenttien pitoaikaan. GGK:n erottimien ja erotinasemien teknistaloudellisiin pitoaikoihin vaikuttaa hyvin monia eri tekijöitä kuten huollon määrä, käyttöaste, kuormituksen kasvu ja katkaisukyvyyn riittävyys, sijainti verkossa, pylvään ikä, lumi- tai jääongelmat sekä ilmastolliset ylijännitteet. Lisäksi kaukokäyttöerotinasemien kohdalla varsinkin automaatio ja varaosien saatavuus vaikuttavat merkittävästi teknistaloudelliseen pitoaikaan. Monet GGK:n verkkokomponentit ovat jo osoittaneet kestävänsä niiden teknistaloudellisiksi pitoajoiksi arvioidun ajan. Yhä ennakoivampi verkostosuunnittelu ottaa tulevaisuudessa entistä paremmin kuormien kasvun sekä muut muuttuvat tekijät huomioon. Ympäristö ja turvallisuustekijät eivät merkittävästi vaikuttaneet GGK:n verkkokomponenttien teknistaloudelliseen pitoaikaan tällä hetkellä, mutta pitoaikojen loppupuolella ja yhä tiukentuvien määräysten sekä lakien kautta näiden tekijöiden merkitys korostuu todennäköisesti.

Tässä työssä teknistaloudellisiksi pitoajoiksi verkkovastuualueen ominaispiirteiden puitteissa GGK:n 110 kV:n avojohdoille ja keskijännitemaakaapelirakenteille arvioitiin 50 vuotta. Vastaavasti GGK:n sähköasemien päämuuntajien, keskijänniteilmajohtojen, pienjännitejohtojen sekä jakelumuuntamoiden ja -muuntajien osalta teknistaloudellisiksi pitoajoiksi arvioitiin 45 vuotta. GGK:n sähköasemakojeistojen teknistaloudellisiksi pitoajoiksi arvioitiin 40 vuotta, johtoerottimille 35 vuotta ja kaukokäyttöerotinasemille 30 vuotta.

Yleisesti ottaen tässä diplomityössä Graninge Kainuu Oy:lle määritetyt teknistaloudelliset pitoajat vastasivat hyvin muita lähteitä ja oletuksia. Kuitenkin GGK:n tapauksessa keskijännitemaakaapeleille, kaapelipäätteille ja -jatkoksille, AMKA-johdoille, jakelumuuntamoille ja -muuntajille sekä johtoerottimille määritetyt teknistaloudelliset pitoajat ylittivät hieman Energiamarkkinaviraston määrittämien pitoaikavälien ylärajan.

Jakeluverkon verkkokomponenttien teknistaloudellisilla pitoajoilla on verkonhaltijoille suuri taloudellinen merkitys viranomaisen valvonnan kautta. Toiminnan viranomaisvalvonnan ja valvontamenelmien tulisi tällöin olla mahdollisimman tasapuoliset ja yhtenevät kaikille verkonhaltijoille.

LÄHDELUETTELO

(Aro 1996)

Aro, M. & Elovaara, J. & Karttunen, M. & Nousiainen, K. & Palva, V. *Suurjännitetekniikka*. Espoo: Otatieto Oy, 1996. 483 s. ISBN 951-672-226-1

(Bergstrand 1997)

Bergstrand, J. *Tehokas talouden ohjaaminen*. Ekonomia-sarja. 3. painos. Helsinki: WSOY, 1997. 234 s. ISBN 951-0-22138-4

(Cigre 1999)

Cigre Study Committee 22- Working Group 11 Task Force 4. *Safe design tensions with respect to aeolian vibration. Part 1: Single unprotected conductors*. Electra No. 186, 1999. s. 53-67.

(EMV 2002)

Energiamarkkinavirasto. *Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2002*. Tietokantatyökirja. Viitattu 3.9.2004. Saatavissa www-osoitteesta: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Tunlu02.xls>

(EMV 2004a)

Energiamarkkinaviraston www-sivut. Sähköverkonhaltijoista kertova yleiskuvaus. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/select.asp?gid=40>

(EMV 2004b)

Energiamarkkinavirasto. *Sähkön jakeluverkkotoiminnan suuntaviivojen perustelumuistio*. Muistio 22.6.2004. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/EMV_sahko_jakeluverkko_tuotto_perustelumuistio_20040622.pdf

(EMV 2004c)

Energiamarkkinavirasto. *Sähkön jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnin suuntaviivat vuosille 2005-2007*. Asiakirja 22.6.2004. Dnro 9/429/2004. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Sahko_jakelu_suuntaviivat_9-429-2004.pdf

(EMV 2004d)

Energiamarkkinaviraston www-sivut. *Jakeluverkonhaltijoiden tehokkuusluvut vuodelta 2002*. Tilasto. Viitattu 3.9.2004. Saatavissa www-osoitteesta: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Tehokkuusluvut2002.pdf>

EU-asetukset

1896/2000 (Biosidien identifiointi ja notifiointi)
2032/2003/EY (Biosidien tehoaineet, toinen arviointiohjelma)

EU-direktiivit

- 98/8/EY (Biosididirektiivi)
- 2003/02/EY (Arseenikyllästettyä puuta koskevat rajoitukset)
- 2003/33/EY (Kaatopaikkadirektiivi)
- 2003/54/EY (Sähkön sisämarkkinat)

(FINERGY 2004b)

Energia-alan Keskusliitto ry Finergy. *Sähkön käyttö kasvanut 2000-luvun alussa ennustettua nopeammin*. Lehdistötiedote 29.1.2004. Viitattu 18.10.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://www.energia.fi/page.asp?Section=474&Item=8069>

(GEO 2003)

Virtanen, K. & Hänninen, P. & Kallinen, R.-L. & Vartiainen, S. & Herranen, T. & Jokisaari, R. *Suomen turvevarat 2000*. Tutkimusraportti 156. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 2003. 101 s. ISBN 951-690-844-6

(HE 127/2004)

Hallituksen esitys Eduskunnalle laeiksi sähkömarkkinalain ja markkinaoikeuslain muuttamisesta. Viitattu 21.9.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://www.finlex.fi/linkit/hepdf/20040127>

(Hokkanen 2000)

Hokkanen, J. *Sähkönjakeluverkon jälleenhankinta-arvon määrittäminen*. Diplomityö: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, 2000. 130 s. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
http://www.ee.lut.fi/fi/tutkimus/dtyo_hokkanen.pdf

(IEC 354 1991)

IEC 354 Loading guide for oil-immersed power transformers. Standardi. Geneve: IEC, 1991. 80 s.

(INSKO 1967)

Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. *Alumiinin käyttö sähkötekniikassa*. Julkaisu 19-67. Helsinki, 1967.

(INSKO 1978)

Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. *Voimakaapelien valinta ja asennus*. Julkaisu 98-77. Insinööritieto Oy, 1978. 290 s. ISBN 951-793-006-2

(ITL 2003)

Anttila, P. & Alaviippola, B & Salmi, T. *Ilmanlaatu Suomessa –Mitatut pitoisuudet suhteessa ohje- ja raja-arvoihin sekä vertailuja Eurooppalaisiin pitoisuustasoihin*. Ilmatieteenlaitos: Helsinki, 2003. 101 s. ISBN 951-697-574-7

(ITL 2004a)

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut. *Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1971-2000*. Viitattu 29.9.2004. Saatavissa www-muodossa:
http://www.fmi.fi/saa/tilastot_99.html

(ITL 2004b)

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut. *Kevään keskilämpötila kohonnut kaksi astetta*. Tiedote 16.3.2004. Viitattu 29.9.2004. Saatavissa www-muodossa:
<http://www.fmi.fi/uutiset/?Id=1078831894.html>

(ITL 2004c)

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut. Kuukausikeskilämpötilan vaihteluista Helsingin Kaisaniemessä 1900-2000 kertova kappale. Viitattu 29.9.2004. Saatavissa www-muodossa:
http://www.fmi.fi/saa/tilastot_4.html

(Kajaani 2003)

Kajaanin ilmanlaadun mittaustulokset vuodelta 2003. Kajaanin kaupunki: Ympäristötoimi, 2003. 9 s. Viitattu 26.10.2004. Saatavissa www-muodossa:
http://www.kajaani.fi/modules/upndown/download_upndownfile.asp?id=821AD800A88C4E72AC9E53ED8AF3B36B&itemtype=UPNDOWNFILE

(KL 2002)

Korhonen, S & Keränen, Heikki & Keränen Heimo. *Kainuun väestöennuste 1999-2020*. Julkaisu B:41. Kajaani: Kainuun liitto, 2002. 48 s. ISBN 952-5326-09-8

(KL 2003)

Kainuun liitto. *Kainuun maakuntasuunnitelma 2020*. Julkaisu A:19. Kajaani: Kainuun liitto, 2003. 67 s. ISBN 952-5326-18-7

(Korhonen 2000)

Korhonen, P. & Syrjänen, M. *Sähkönjakelutoiminnan kustannustehokkuuden mittaaminen DEA-menetelmällä*. Energiamarkkinaviraston julkaisuja 1/2000. Helsinki, 2000.

(KS 2004)

Romppainen, H. *Kainuussa jyrisee keskiverrosti*. Sanomalehtiartikkeli. Kainuun Sanomat 26.7.2004, osa A3. Kajaani, 2004.

(KTM 2003)

Kauppa- ja teollisuusministeriö. *Energiamarkkinoiden kohtuullisuutta uudistavan työryhmän raportti*. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 13/2003.

(KM 2001)

MTK-Kainuu ry. *Kainuun maaseutuelinkeino-ohjelma 2001-2006*. Viitattu 29.9.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
http://www.mtk.fi/binary.asp?page=18022&file=Kainuun_ohjelma.doc

(KYMPK 2004)

Kainuun ympäristökeskuksen www-sivut. *Kainuussa hengitetään puhdasta ilmaa*. Ilmansuojelusta ja Kainuun ilmanlaadusta kertova kappale, 2004. Viitattu 26.10.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6338&lan=fi>

(LAHO 1970)

Lahontorjuntayhdistys ry. *Puupylväiden huolto-ohjeita*. Vammalan kirjapaino Oy, 1970. 22 s.

(LAHO 1982)

Lahontorjuntayhdistys ry. & Posti- ja telehallitus & Puhelinlaitosten liitto ry. & Suomen sähkölaitosyhdistys ry. *Puupylväiden kunnossapidon ja uusimisen perusteita*. 1982. 55s. ISBN 951-95740-1-8

(Leppiniemi 1999)

Leppiniemi, J. *Omaisuuuden arvo : arvonmääritys, tilinpäätös, verotus*. Helsinki: Kauppakaari, 1999. 189 s. ISBN 952-14-0220-2

(Leskinen 2000)

Leskinen, T. *Ilmajohtojen eliniän arviointi*. Sähkö&Tele-lehti, 2000. Vol 73, no 2. s. 34-36.

(LTKK 2002)

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. *Investoinnit sähkön siirron hinnoittelussa*. Tutkimusraportti 2002. 69 s. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

<http://www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkkina/tutkimus/Investoinnit.pdf>

(NORDEA 2003)

Nordean 22.1.2003 päivittämä rahanarvontaulukko. Viitattu 27.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

http://www.nordea.fi/fin/hen/sasi/rahanarvo_ taulukko.asp? navi=sasi

(Plukka 1992)

Plukka, H. *Vanhan suurmuuntajan optimaalinen vaihtoaikajankohta*. Diplomityö: Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1992. 91 s.

(Pylvänäinen 2002)

Pylvänäinen, J. *Jakelumuuntajan seurantamenetelmien kehittäminen*. TESLA-raportti 68/2002. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 123 s. Viitattu 17.8.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

<http://www.vtt.fi/pro/tutkimus/tesla/julkaisut/rap68.pdf>

(Rasmussen 1997)

Rasmussen, J. *Risk management in a dynamic society: a modelling problem*. Safety Science 27, 2/3. 1997. s. 183-213.

(Sauna-Aho 1984)

Sauna-Aho, S. & Nordman, H. & Lehtisalo, T. *Muuntajien kuormitettavuus ja terminen elinikä*. Sähkö-lehti, 1984. Vol. 57, no 1. s. 54-59.

(SENER 1996)

Sähköenergialiitto ry SENER. Verkostosuositus RJ 33:96. *Puupylväiden lahoisuustarkastus ja lujuuden määrittäminen*. Helsinki: Sähköenergialiitto ry, 1996. 33 s.

(SENER 1997)

Sähköenergialiitto ry SENER. *Perusteita jakeluverkon siirtohintojen vertailuun ja kohtuullisuuden arviointiin*. Julkaisusarja 4/97. Helsinki: Sähköenergialiitto ry, 1997. ISBN 952-9696-23-X. 19 s.

(SENER 2002)

Sähköenergialiitto ry SENER, Energialan Keskusliitto ry Finergy. *Keskeytystilasto 2002*. Helsinki: Sähköenergialiitto ry, 2003. 21 s. Viitattu 29.9.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://www.energia.fi/attachment.asp?Section=19&Item=5340>

(Suhonen 2003)

Suhonen, T. *Verkonrakennuskomponenttien uudelleenkäyttö*. Insinööriyö: Helsingin ammattikorkeakoulu, 2003. 46 s.

(Sähkömarkkinalaki 386/1995)

Sähkömarkkinalaki 386/1995. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/select.asp?gid=42>

(Tapaninen 1972)

Tapaninen, M. *Sähköalan talouslaskentaa*. Luentomoniste, teollisuustekniikan liite. Porin teollinen oppilaitos, 1972. 85 s.

(TD 2003)

Cherney, E. *Insulator Selection is a Complex Balancing Act*. Transmission & Distribution –verkkolehti. June 1, 2003. Viitattu 17.8.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
http://tdworld.com/mag/power_insulator_selection_complex/

(TK 2004a)

Tilastokeskuksen www-sivut. StatFin-tilastopalvelu. *Väkiluku alueittain 1980-2003*. Viitattu 7.10.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://statfin.stat.fi/statweb/start.asp?LA=fi&DM=SLFI&lp=catalog&clg=vaesto>

(TK 2004b)

Tilastokeskuksen www-sivut. StatFin-tilastopalvelu. *Työpaikat alueittain 1993-2002*. Viitattu 7.10.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:
<http://statfin.stat.fi/statweb/start.asp?LA=fi&DM=SLFI&lp=catalog&clg=tyomarkkinat>

(TUKES 2004a)

Turvatekniikan keskuksen www-sivut. Sähkötöistä, -urakoinnista ja sähkölaitteistoista kertova tietoisuus. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

http://www.tukes.fi/asia_sahkojahissit_sahkolaitteistot.html

(TUKES 2003b)

Turvatekniikan keskuksen www-sivut. Tilasto kuolemaan johtaneista sähkötapaturmista 1980-2003. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

http://www.tukes.fi/sahko_ja_hissit/rekisterit/sahkotapaturmat.html

(TUKES 2004c)

Rusanen, M. Toimialan onnettomuudet 2003. TUKES-julkaisu 4/2004. Helsinki: Turvatekniikan keskus, 2004. Viitattu 21.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta: http://www.tukes.fi/julkaisut/4_2004.pdf

Valtioneuvoston asetukset

8/2003 (Kreosootin ja sillä käsitellyn puun käytön ja markkinoille luovuttamisen rajoittaminen).

440/2003 (Arseeniyhdisteellä ja sitä sisältävällä valmisteella käsitellyn puun, elohopeayhdisteen ja dibutyylitinavytyboraatin sekä niitä sisältävien tuotteiden markkinoille luovuttaminen ja käytön rajoittaminen).

(Vehanen 2003)

Vehanen, J. Hyvönen, P. *Päällystetyn keskijänniteavojohdon kunnan diagnosointi*. Tutkimusraportti TKK-SJT-61. 2003. 42 s. ISBN 951-22-6548-6

(Verkonrakennus 1999)

Vierumäen pylvääit tunnetaan ympäri maailman. Artikkelit: Verkonrakennusuutiset, Fincopower Oy:n asiakaslehti. No 3, 1999. Risteen Kirjapaino Oy. s. 10-11.

(YMP 2004a)

Ympäristökeskuksen www-sivut. Biosidien hyväksymismenettelystä kertova kappale. Viitattu 5.8.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1789&lan=fi>

(YMP 2004b)

Ympäristökeskuksen www-sivut. *Opas arseenilla käsiteltyä puuta koskevan valtio-neuvoston asetuksen (440/2003) tulkinnasta* 28.6.2004. Viitattu 30.7.2004. Saatavissa www-muodossa osoitteesta:

<http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=86291&clan=FI#a1>

MUUT LÄHTEET:**(FINERGY 2004a)**

Puhelinhaastattelu. Jalonen, M., Sähköverkkotoiminnan ja sähkökaupan toimialajohtaja, Energia-alan Keskusliitto ry Finergy. 28.9.2004.

(LAHO 2004)

Puhelinhaastattelu. Huhtala, J., Toimitusjohtaja, Lahontorjuntayhdistys ry. 5.8.2004.

(Pirelli 2004)

Puhelinhaastattelu 4.8.2004 ja kirjallinen tuoteinfo vuodelta 2003. Kivisaari, R., Design Manager, Pirelli Cables and Systems Oy. 4.8.2004.

(Ropponen 2004)

Puhelinhaastattelu ja kirjallinen materiaali liittyen puupylväiden kyllästykseen. Ropponen, E., Ab Osmose Finland Oy. 30.7.2004.

**VERKKOKOMPONENTIT, YKSIKÖHINNAT JA TEKNIHALOUDEL-
LISEN PITOAJAN VAIHTELUVÄLIT VUODELLE 2005
ENERGIAMARKKINAVIRASTON MUKAAN (EMV 2004c)**

(Taulukon yksikköhinnat sisältävät vuodelle 2005 tehdyn indeksikorjauksen)

Muuntamot	Yksikkö	Määrä	Yksikkö- hinta	Keski- ikä	Pitoaika- väli	Pito- aika
		[kpl]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
1-pylväsmuuntamo	kpl		3 550		25...40	
2-pylväsmuuntamo	kpl		6 130		25...40	
4-pylväsmuuntamo	kpl		8 710		25...40	
Puistomuuntamo, tyyppi 1	kpl		28 380		30...40	
Puistomuuntamo, tyyppi 2	kpl		34 000		30...40	
Kiinteistömuuntamo	kpl		36 720		30...40	
Satelliittimuuntamo (enint. 315 kVA)	kpl		16 560		30...40	
Satelliittimuuntamo (väh. 400 kVA)	kpl		16 440		30...40	

Muuntajat	Yksikkö	Määrä	Yksikkö- hinta	Keski- ikä	Pitoaika- väli	Pito- aika
		[kpl]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
16	kpl		2 430		30...40	
30	kpl		2 430			
50	kpl		2 780			
100 – 160	kpl		3 530			
200	kpl		4 290			
300 - 315	kpl		5 660			
500 – 630	kpl		7 650			
800	kpl		9 100			
1000	kpl		11 360			
1250	kpl		14 850			
1600	kpl		18 250			

20 kV ilmajohdot	Yksikkö	Määrä	Yksikkö-hinta	Keski-ikä	Pitoaikaväli	Pitoaika
		[km]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
Sparrow tai pienempi	km		17 290		30...45	
Raven	km		18 800			
Pigeon	km		20 870			
Al 132 tai suurempi	km		23 100			
SAXKA 70	km		31 240			
SAXKA 120 tai suurempi	km		32 620			
PAS 35 – 70	km		24 730			
PAS 95 tai suurempi	km		29 630			
Muut	km		17 290			

0,4 kV ilmajohdot	Yksikkö	Määrä	Yksikkö-hinta	Keski-ikä	Pitoaikaväli	Pitoaika
		[km]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
AMKA 16 – 25	km		11 870		25...40	
AMKA 35 – 50	km		11 880			
AMKA 70	km		15 530			
AMKA 120	km		16 660			
Muut	km		11 870			

20 kV erottimet	Yksikkö	Määrä	Yksikkö-hinta	Keski-ikä	Pitoaikaväli	Pitoaika
		[kpl]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
Johtoerotin, kevyt	kpl		2 800		25...30	
Johtoerotin, kaasukammioin	kpl		5 860			
Kauko-ohjattu erotinasema 1 erotin	kpl		11 940		25...30	
Kauko-ohjattu erotinasema 2 erotinta	kpl		15 780			
Kauko-ohjattu erotinasema 3-4 erotinta	kpl		38 750			

20 kV maakaapelit (asennus)	Yksikkö	Määrä [kpl, km]	Yksikkö- hinta [euroa]	Keski- ikä [a]	Pitoaika- väli [a]	Pito- aika [a]
enintään 70 maakaapeli	km		30 930		30...45	
95 – 120 maakaapeli	km		34 270			
150 – 185 maakaapeli	km		40 910			
240 – 300 maakaapeli	km		43 190			
enintään 70 vesistökaapeli	km		53 450			
95 – 120 vesistökaapeli	km		45 100			
Kojeistopääte	kpl		1 050			
Pylväspääte	kpl		2 350			
Jatko	kpl		1 770			
Maakaapelit yhteensä:	km					

0,4 kV maakaapelit (asennus)	Yksikkö	Määrä [km]	Yksikkö- hinta [euroa]	Keski- ikä [a]	Pitoaika- väli [a]	Pito- aika [a]
enintään 25 maakaapeli	km		6 280		30...45	
35 – 50 maakaapeli	km		8 730			
70 maakaapeli	km		10 300			
95 – 120 maakaapeli	km		11 890			
150 – 185 maakaapeli	km		19 430			
240 – 300 maakaapeli	km		22 460			
enintään 35 vesistökaapeli	km		8 520			
50 – 70 vesistökaapeli	km		16 020			
95 – 120 vesistökaapeli	km		15 370			
vähintään 150 vesistökaapeli	km		13 410			
Maakaapelit yhteensä:	km					

0,4 ja 20 kV maakaapelit (kaivu)	20 kV kaivuaste	0,4 kV kaivu- aste	Yksikkö- hinta
	[%]	[%]	[euroa/km]
Haja-asutusalue			10 880
Taajama-alue			31 100
Kaupunkialue			58 230

Jakokaapit ja jonovarokeytkimet	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikkö-hinta [euroa]	Keski-ikä [a]	Pitoaikaväli [a]	Pitoaika [a]
Haarotuskaappi	kpl		560		30...40	
Kaapelijakokaappi enint. 400 A	kpl		880		30...40	
Kaapelijakokaappi väh. 630 A	kpl		1290		30...40	
Jonovarokeytkin enint. 160 A	kpl		200		30...40	
Jonovarokeytkin 250 – 400 A	kpl		300		30...40	
Jonovarokeytkin 630 A	kpl		360		30...40	

45 ja 110 kV johdot	Yksikkö	Määrä [km]	Yksikkö-hinta [euroa]	Keski-ikä [a]	Pitoaikaväli [a]	Pitoaika [a]
45 kV puupylväsjohto	km		26 450		35...45	
Puupylväsjohto, yksi virtapiiri	km		91 570		35...50	
Teräsristikopylväsjohto, yksi virtapiiri	km		198 400		35...60	
Teräsristikopylväsjohto, kaksi virtapiiriä	km		295 060		35...60	
Maakaapeli	km		427 320		30...40	
Johtoaluekorvaus	km		13 230			

Käytönvalvontajärjestelmä	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikkö-hinta [euroa]	Keski-ikä [a]	Pitoaikaväli [a]	Pitoaika [a]
Perusinvestointi	kpl		305 230		5...10	
+ sähköasemakohtainen lisähinta	kpl		10 170			
+ erotinasemakohtainen lisähinta	kpl		2 030			

Verkko- ja asiakastietojärjestelmä	Yksikkö	Määrä [kpl, as]	Yksikkö-hinta [euroa]	Keski-ikä [a]	Pitoaikaväli [a]	Pitoaika [a]
Verkkotietojärjestelmähinta	kpl		101 740		5...10	
+ käyttäjämäärään perustuva osa	asiakasta		3			
Asiakastietojärjestelmähinta	kpl		152 620		5...10	
+ käyttäjämäärään perustuva osa	asiakasta		4			

Energiamittauslaitteet	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikkö- hinta [euroa]	Keski- ikä [a]	Pitoaika- väli [a]	Pito- aika [a]
1-aikamittaus, 1-vaihe	kpl		110		15...25	
1-aika-mittaus, 3-vaihe	kpl		120			
2-aikamittarit	kpl		130			
Kello- ja ohjauslaitteet	kpl		190			
Tuntimittaus mittari ja keruupäätte	kpl		860			

Sähköasemat	Yksikkö	Määrä [m ²]	Yksikkö- hinta [euroa/m ²]
Sähköasematontit			
Suurkaupunkien kaava-alueet	m ²		60
Muut kaava-alueet	m ²		10
Kaavoittamaton alue	m ²		3

Sähköasemat	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikkö- hinta [euroa]	Keski- ikä [a]	Pitoaika- väli [a]	Pito- aika [a]
110/20 kV muuntajat [MVA]						
6	kpl		98 690		30...45	
10	kpl		164 820			
16	kpl		264 530			
20	kpl		284 880			
25	kpl		305 230			
31,5	kpl		356 100			
40	kpl		396 800			

45/20 kV Sähköasemat	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikkö- hinta [euroa]	Keski- ikä [a]	Pitoaika- väli [a]	Pito- aika [a]
45/20 kV sähköasema	kpl		478 200		30...45	

Sähköasemat	Yksikkö	Määrä	Yksikkö-hinta	Keski-ikä	Pitoaika-väli	Pitoaika
110kV kentät		[kpl]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
Ilmaeristeisen 1-kiskokojeiston perushinta	kpl		249 270		30...45	
+ lisäkentän hinta	kpl		137 350			
Ilmaeristeisen 2-kiskokojeiston perushinta	kpl		300 140			
+ lisäkentän hinta	kpl		183 140			
Kaasueristeisen 1-kiskokojeiston perushinta	kpl		386 630			
+ lisäkentän hinta	kpl		198 400			
Kaasueristeisen 2-kiskokojeiston perushinta	kpl		468 020			
+ lisäkentän hinta	kpl		269 620			

Sähköasemat	Yksikkö	Määrä	Yksikkö-hinta	Keski-ikä	Pitoaika-väli	Pitoaika
20 kV kojeistot		[kpl]	[euroa]	[a]	[a]	[a]
Ilmaeristeisen 1-kiskokojeiston perushinta	kpl		111 920		30...45	
+ kenttäkohtainen lisähinta	kpl		17 300			
Ilmaeristeisen 2-kiskokojeiston perushinta	kpl		147 530			
+ kenttäkohtainen lisähinta	kpl		23 400			
Kaasueristeisen 2-kiskokojeiston perushinta	kpl		203 490			
+ kenttäkohtainen lisähinta	kpl		30 520			
Kondensaattori 2,4 Mvar	kpl		22 380			
Maasulun sammutuslaitteisto	kpl		132 270			

GRANINGE KAINUU OY:N VERKKOKOMPONENTTIEN PITOAIKOJA KOSKEVAN HAASTATELUN TULOKSET SEKÄ TEKNISIÄ JA TEKNISTALOUELLISIA PITOAIKOJA ERI LÄHTEIDEN PERUSTEELLA

”Haastattelu” –kohdan otsikoiden selitteet:

Komponenttia käytetty

Haastateltujen karkea arvio siitä, kuinka kauan komponentteja on tähän hetkeen mennessä jossain muodossa käytetty Graninge Kainuu Oy:n verkossa.

Tekninen pitoaika, vanha verkko

Haastattelun perusteella lasketut Graninge Kainuu Oy:n jo olemassa olevan verkon komponenttien tai usein kyseisen komponentin pääosan keskimääräisen teknisen pitoajan arvioiden aritmeettiset keskiarvot pyöristettynä lähimpään viiteen vuoteen. Avojohton tekninen pitoaika on siis pelkän johtimen tekninen pitoaika, ja pylvään tekninen pitoaika on pelkkä pylvään tekninen pitoaika. Ainoastaan keskijännitemaakaapeleiden teknisissä pitoajoissa on huomioitu myös kaapelipäätteiden ja –jatkosten tekniset pitoajat sekä pienjännitemaakaapeleiden teknisissä pitoajoissa on huomioitu myös jakokaappien tekniset pitoajat.

Teknistaloudellinen pitoaika, vanha verkko

Haastattelun perusteella lasketut Graninge Kainuu Oy:n jo olemassa olevan verkon komponenttien koko rakenteen keskimääräisen teknistaloudellisen pitoajan arvioiden aritmeettiset keskiarvot pyöristettyinä lähimpään kokonaiseen vuoteen.

Tapahtunut kehitys

Haastateltujen arvio siitä, kuinka paljon komponentin tai sen osan keskimääräinen tekninen tai teknistaloudellinen pitoaika on ”Komponenttia käytetty”-kohtaa vastaavana aikana muuttunut. Aritmeettiset keskiarvot on pyöristetty lähimpään viiteen vuoteen.

Odotettu kehitys

Haastateltujen arvioima uusien Graninge Kainuu Oy:n verkkoon asennettavien komponenttien keskimääräisen teknisen tai teknistaloudellisen pitoajan kehitys verrattuna vanhaan verkkoon seuraavan kymmenen vuoden aikana. Aritmeettiset keskiarvot on pyöristetty lähimpään kokonaiseen vuoteen.

”Teknistaloudellisia pitoaikoja” –kohta:

Oma arvio

Graninge Kainuu Oy:n verkkokomponenteille tässä diplomityössä lähitulevaisuutta varten arvioidut teknistaloudelliset pitoajat.

Komponentti tai sen osa	Haastattelu [a]						Teknisiä pitoaikoja [a] (Lähde)		Teknitaloudellisia pitoaikoja (Lähde)				Huomioitavaa (Missä lähteessä)	
	Komponenttia käytetty	Tekninen pitoaika			Teknitaloudellinen pitoaika					(Hokkanen 2000) [a]	(LTKK 2002) [a]	(EMV 2004c) [a]		Oma arvio [a]
		Vanha verkko	Tapahtunut kehitys	Odotettu kehitys	Vanha verkko	Tapahtunut kehitys	Odotettu kehitys							
Pylväät, orret ja eristimet														
<i>Puupylväs, normaali</i>	>50	55	20	3			CCA 40...50, kreosootti 50...60 (Ropponen 2004)	CCA 40, kreosootti 50...60 (Verkonrakennus 1999)	40				Jakeluverkko, suola- ja kreosoottikyllästeinen pylvästys (Hokkanen 2000)	
<i>Puupylväs, kriittinen</i>	>50	40	15	1									Kulmat, ylitykset, pylväsmuuntamot tai muut erikoisrakenteet	
<i>Teräspylväs</i>	>50	100	0	0			60 (LTKK 2002)	60 (EMV 2004c)	40				Teknitaloudellisen pitoajan vaihteluvälin yläraja 110 kV:n teräsristikopylväsjohtolle (LTKK 2002), (EMV 2004c). Jakeluverkko (Hokkanen 2000)	
<i>Puuorsi</i>	>50	45	0	0										
<i>Teräsorsi</i>	30	80	15	0			50 (Suhonen 2003)						Kuumasinkityt rakenteet (Suhonen 2003)	
<i>Tukieristin</i>	>50	70	10	-1			40...50 (TD 2003)						Keraamiset eristimet (TD 2003)	
<i>Riippueristin</i>	30	70	5	-1			40...50 (TD 2003)						Keraamiset eristimet (TD 2003)	
Ylijännitesuojat														
<i>Kipinäväli</i>	>50	50	5	0			15...30 (Suhonen 2003)		20...25					
<i>Venttiilisuoja</i>	30	50	5	1			15...30 (Suhonen 2003)		20...25	20...30				

Komponentti tai sen osa	Haastattelu [a]						Teknisiä pitoaikoja [a] (Lähde)		Teknitaloudellisia pitoaikoja (Lähde)				Huomioitavaa (Missä lähteessä)	
	Komponenttia käytetty	Tekninen pitoaika			Teknis- taloudellinen pitoaika					(Hokka- nen 2000) [a]	(LTKK 2002) [a]	(EMV 2004c) [a]		Oma arvio [a]
		Vanha verkko	Tapahnutun kehitys	Odotettu kehitys	Vanha verkko	Tapahnutun kehitys	Odotettu kehitys							
110 kV avojohtdot	20	65	10	2	49	0	2				35...45	35...50	50	Puupylväsjohto, yksi virtapiiri (LTKK 2002), (EMV 2004c)
Sähköasemat								30 (SENER 1997)						
<i>110 kV kojeisto</i>	30	45	0	0	37	-5	1				30...40	30...45	40	GIS 45 (LTKK 2002)
<i>45 kV/20 kV kojeisto</i>	30	45	0	0	38	-5	-1					30...45	40	
<i>20 kV kojeisto</i>	>50	40	0	-1	35	0	1				30...40	30...45	40	GIS 45 (LTKK 2002)
<i>Päämuuntaja</i>	>50	50	5	0	43	0	0				30...45	30...45	45	
Keskijännite- johtdot														20 kV (EMV 2004c)
<i>Avojohto</i>	>50	75	10	0	45	10	1	30 (SENER 1997)	50...70 (Pirelli 2004)	40...50	30...40	30...45	45	Johdin (Pirelli 2004)
<i>PAS, SAXKA, SAMKA</i>	25	55	5	3	43	0	1	30 (SENER 1997)	30...70 (Pirelli 2004)	40	30...40	30...45	45	Johdin (Pirelli 2004)
<i>Maakaapeli, kaapeli- päätteet ja -jatkokset</i>	>50	75	5	2	48	5	1	40 (SENER 1997)	70...90 (Pirelli 2004)	30...50	30...40	30...45	50	Maakaapeli (Pirelli 2004), (SENER 1997)
Pienjännite- johtdot														0,4 kV (EMV 2004c)
<i>AMKA</i>	35	60	5	1	38	0	2	30 (SENER 1997)	50...70 (Pirelli 2004)	40	25...35	25...40	45	Johdin (Pirelli 2004)
<i>Maakaapeli, jakokaapit</i>	35	65	10	1	43	5	1	40 (SENER 1997)	30...70 (Pirelli 2004)	20...50	30...40	30...45	45	Jakokaapit 30...40 (EMV 2004c). Maakaapeli (Pirelli 2004)

Komponentti tai sen osa	Haastattelu [a]						Teknisiä pitoaikoja [a] (Lähde)		Teknitaloudellisia pitoaikoja (Lähde)				Huomioitavaa (Missä lähteessä)	
	Komponenttia käytetty	Tekninen pitoaika			Teknitaloudellinen pitoaika					(Hokkanen 2000) [a]	(LTKK 2002) [a]	(EMV 2004c) [a]		Oma arvio [a]
		Vanha verkko	Tapahnut kehitys	Odotettu kehitys	Vanha verkko	Tapahnut kehitys	Odotettu kehitys							
Jakelu- muuntamot ja -muuntajat														
<i>Pylväs- muuntamo</i>	>50	50	10	1	36	5	2			40...50	25...35	25...40	45	
<i>Puisto- muuntamo</i>	>50	60	5	-1	43	0	-1	40 (SENER 1997)		30...50	30...40	30...40	45	Kaapeliverkko (SENER 1997)
<i>Kiinteistö- muuntamo</i>	>50	55	5	0	43	-5	-3	40 (SENER 1997)		20...40	30...40	30...40	45	Kaapeliverkko (SENER 1997)
<i>Jakelu- muuntaja</i>	>50	55	0	1	37	0	0	35...40 (Sauna-Aho 1984)	30 (SENER 1997)	30...40	30...40	30...40	45	Öljymuuntaja, termien elinikä (Sauna-Aho 1984)
Eroottimet ja erotinasemat														20 kV (EMV 2004c)
<i>Johtoerotin</i>	25	45	5	1	38	5	0			30...40	25...30	25...30	35	
<i>Kaukokäyttö- erotinasema</i>	25	35	0	1	29	0	0			30...40	25...30	25...30	30	