

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantotalous

Tutkintotyö

Hannes Maasalo

## **IKÄÄNTYVIEN VOIMAJOHTORAKENTEIDEN KUNNONHALLINTA**

Työn valvoja  
Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2007

Lehtori Simo Marjamäki  
DI Mikko Jalonen  
Fingrid Oyj

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotalous

Hannes Maasalo

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Tammikuu 2007

Hakusanat

Ikääntyvien voimajohtorakenteiden kunnonhallinta

60 sivua

Lehtori Simo Marjamäki

Fingrid Oyj, valvojana DI Mikko Jalonen

kunnonhallinta, kunto, kunnossapito, voimajohto, elinkaari

## TIIVISTELMÄ

Työn keskeisenä tavoitteena on luoda menettelytavat, joita noudattamalla elinkaarensa lopulla olevaa voimajohtoa voidaan ylläpitää kevennetysti niin, että se on kuitenkin ympäristölleen turvallinen ja käyttövarma.

Työn teoreettisessa osassa on tarkasteltu johtojen nykyistä kunnonhallintaa ja johtorakenteiden vanhenemismekanismia. Käytännössä rakenteiden kuntoa ja kunnan muutoksia on tarkasteltu Elnet-verkkotietojärjestelmään vuosina 2001 – 2005 kerättyjen kuntotietojen avulla. Kunnan muutosten tarkastelu perustuu kuntoluokkien välisten siirtymätodennäköisyyksien analysointiin.

Analyysissa on pyritty löytämään siirtymätodennäköisyyksien ja verkon iän välillä mahdollisesti oleva yhteys, sekä määrittämään ne tekijät, joita on erityisesti tarkkailtava voimajohdon elinkaaren loppupuolella.

Työ osoittaa, että iän myötä verkon kunto huononee ja kunnan heikkeneminen on varsin suoraviivaisesti etenevää. Kunnan heikkenemisen alkuvaiheessa ovat eri komponenttien väliset erot heikkenemisnopeudessa suurempia, mutta erot tasoittuvat iän myötä.

Työn lopussa on arvioitu iän vaikutusta voimajohdon tilaajakuvakohtaiseen rakenteeseen sekä esitetty kevennetty kunnossapitomalli elinkaarensa lopulla olevalle voimajohdolle.

TAMPERE POLYTECHNIC  
Mechanical and Production Engineering  
Industrial Engineering and Management  
Hannes Maasalo

Engineering Thesis  
Academic Supervisor  
Commissioning Company  
January 2007  
Keyword

Controlling the condition of ageing power line  
structures

60  
Senior Lecturer Mr Simo Marjamäki  
Fingrid Ltd. Supervisor: Mikko Jalonen (MSc)

control of condition, condition, maintenance, power  
line, life cycle

## **ABSTRACT**

The main objective of the study is to develop the procedures by following of which the power line can be maintained with less maintenance at the end of its life cycle. However the power line must remain its service reliability and safety.

The control of conditions and the ageing mechanisms of power line structures are studied in the theoretical part of the study. In practise the condition and the changes of condition of the structures are analyzed by the help of condition information gathered between years 2001 and 2005. The condition information is stored in Elnet-network information system. The condition changes of the structures are analysed on the basis of the transition probabilities between condition grades.

The correlation between the transition probabilities and the age of the network is analysed. Also the factors which specifically have to be monitored at the end of the life cycle of the power line are determined.

It's shown that during the ageing the condition of the transmission network deteriorates and the deterioration is clear and straightforward. In the early stage of deterioration process the differences in the rate of deterioration between components are quite big but the differences are seeing less by the age.

In the last section of the study the effect of the age on the state variables of the power line is assessed. One of the main recommendations of this study is a less expensive maintenance procedure. This procedure can be applied to the power lines at the end of their life cycle.

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Fingrid Oyj:n Länsi-Suomen alueen voimajohtojen kunnossapitotoiminnassa. Kiitän ohjaajaani Mikko Jalosta arvokkaasta avusta ja Ari Levulaa hyvistä kommentteista opinnäytetyöhöni liittyen sekä muita työtovereitani Fingridissä tuesta ja hyvästä työilmapiiristä.

Kiitos kuuluu myös perheelleni tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Petäjäviedellä 8. tammikuuta 2007

Hannes Maasalo

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO .....	4
1 JOHDANTO .....	5
2 SÄHKÖN SIIRTO JA KANTAVERKON VOIMAJOHTORAKENTEET .....	6
2.1 Suomen sähköjärjestelmä .....	6
2.2 Kantaverkko .....	8
2.3 Voimajohtorakenteet .....	11
3 VOIMAJOHTOJEN KUNNONHALLINTA FINGRID OYJ:SSÄ .....	14
3.1 Toimintamalli .....	14
3.2 Tarkastukset .....	15
3.3 Kuntoluokittelu .....	16
3.4 Toimenpiteet .....	21
3.5 Fingridin viankorjausvalmius ja voimajohtovaraosat .....	21
4 VOIMAJOHTORAKENTEIDEN VANHENEMISMEKANISMI JA KERÄTYT KUNTOTIEDOT VUOSILTA 2000 - 2005 .....	23
4.1 Verkosta kerätyt kuntotiedot .....	23
4.1.1 Maadoitusviat .....	24
4.1.2 Eristimiin ja eristinvarusteisiin kohdistuvat viat .....	25
4.1.3 Johdinten viat .....	26
4.1.4 Pylväisiin kohdistuvat viat .....	28
4.1.5 Haruksiin kohdistuvat viat .....	29
4.1.6 Perustuksiin kohdistuvat viat .....	30
4.2 Tutkittavat rakenneosat .....	31
4.3 Rakenteiden vanhenemismekanismit .....	31
4.3.1 Betonirakenteiden rapautuminen .....	32
4.3.2 Teräsrakenteiden ja alumiinijohtimien korroosio .....	32
4.3.3 Puuosien lahoaminen .....	33
5 KUNTOTIETOJEN KÄSITTELY .....	34
5.1 Yleistä .....	34
5.2 Kuntoluokkien väliset siirtymätodennäköisyydet .....	35
5.3 Iän vaikutus siirtymätodennäköisyyksiin .....	38
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	53
6.1 Iän vaikutus verkon kuntoon .....	53
6.2 Saattohoito .....	55
6.3 Jatkotutkimustarpeet .....	56
LÄHDELUETTELO .....	57
TAULUKKOLUETTELO .....	58
KUVALUETTELO .....	59

## 1 JOHDANTO

Sähkömarkkinoiden vapautumisen seurauksena sähköverkkoyhtiöiden kustannustietoisuus ja -vastuu ovat voimistuneet. Toimintatavat ovat muuttuneet radikaalisti, johtaen entistä kriittisempään suhtautumiseen sekä rutiininomaiseen kunnossapitotoimintaan että verkon saneeraukseen ja saneerausperiaatteisiin. Tavoitteeksi on asetettu verkon eliniän maksimaalinen hyödyntäminen sekä kunnossapitokustannusten minimoiminen kohdistamalla toimenpiteet entistä tarkemmin.

Tilanne on vastaavanlainen myös kantaverkkotasolla. Sähkönsiirrolle asetettavat luotettavuus ja turvallisuusvaatimukset pyritään saavuttamaan entistä kustannustehokkaammin. Sähkönsiirtojohdot vaativat jatkuvaa kunnonvalvontaa ja kunnossapitoa. Kunnossapidon taso johdon elinkaaren aikana ei kuitenkaan yleensä ole vakio, vaan vaihtelee muun muassa verkon iän mukana.

Perinteisesti on ajateltu, että johdon ikääntyessä kunnossapitotarve kasvaa. Näin tilanne varmasti onkin silloin, kun johdon kuntoa pyritään ylläpitämään samanlaisena vuodesta toiseen. Jossain vaiheessa johto kuitenkin saavuttaa elinkaarensa pään ja se on uusittava. Optimitilanne olisi, jos johtoa uusittaessa se täyttää kuntonsa osalta juuri turvallisuus- ja käyttövarmuusvaatimukset. Johdon kunnon voidaan siis antaa hallitusti heiketä elinkaaren loppupuolella.

Työn keskeisenä tavoitteena on luoda menettelytavat, joita noudattamalla voidaan kustannustehokkaasti ylläpitää johtoa sen elinkaaren lopulla eli toisin sanoen tavoitteena on määrittää, millainen kevennetty kunnossapito eli ”saattohoito” on johdolle tarkoituksenmukaisinta.

Työn teoreettisessa osassa tarkastellaan johtorakenteiden vanhenemismekanismia sekä johtojen nykyistä kunnonhallintaa. Erityisesti keskitytään elinkaaren loppupuolen tapahtumiin. Tämän jälkeen analysoidaan vuosina 2001 - 2005 voimajohdoilta kerättyjä kuntotietoja. Analyysissä pyritään

löytämään kuntotietojen ja verkon iän välillä mahdollisesti oleva yhteys. Tämän avulla pyritään määrittämään ne tekijät, joita tarkkailemalla voitaisiin arvioida, missä elinkaaren vaiheessa johto on, ja mitä tekijöitä on erityisesti tarkkailtava elinkaaren loppupuolella. Näiden pohjalta luodaan käsitys johdon saattohoidossa käytettävistä menettelytavoista. Opinnäytetyön tiedot on kerätty lähinnä Fingridin omista järjestelmistä ja dokumenteista.

## **2 SÄHKÖN SIIRTO JA KANTAVERKON VOIMAJOHTORAKENTEET**

### **2.1 Suomen sähköjärjestelmä**

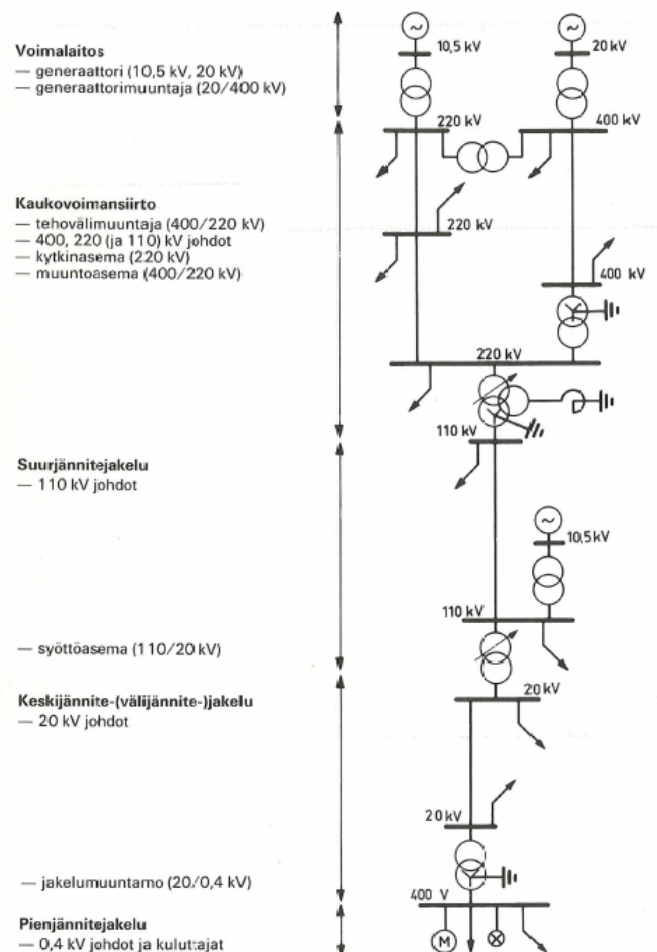
"Suomen sähköjärjestelmä (kuva 1) koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta (päävoimansiirtoverkosta), alueverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Se on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää yhdessä Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa. Lisäksi Venäjältä Suomeen on tasasähköyhteys, jolla nämä eri periaattein toimivat järjestelmät voidaan yhdistää. Vastaavasti yhteispohjoismainen järjestelmä on kytketty Keski-Euroopan järjestelmään tasavirtayhteyksin". /1/

"Fingridin vastuulla ovat kantaverkon käytön suunnittelu ja valvonta sekä verkon ylläpito ja kehittäminen. Kantaverkko palvelee sähkön tuottajia ja kuluttajia mahdollistaen näiden osapuolien keskinäisen kaupan koko valtakunnan tasolla sekä myös valtakunnan rajat ylittävän kaupan. Valtaosa Suomessa kulutetusta sähköstä siirretään kantaverkon kautta". /1/

Suomen sähköverkko on rakennettu pääosin ilmaeristeisinä avojohtoina, koska kaapeleiden käyttö pitkiin siirtoihin ei ole perusteltua niiden kalleuden ja maankäyttöä rajoittavien seikkojen vuoksi. Sähköasemat ovat myös pääasiassa ulosasennettuja. /1/

Alueverkot liittyvät kantaverkkoon ja ne siirtävät sähköä alueellisesti yleensä yhdellä tai useammalla 110 kV siirtojohdolla. /1/

Jakeluverkot ovat liittyneenä yleensä alueverkkoon ja ne hyödyntävät kantaverkon palveluita alueverkon kautta. Jakeluverkot toimivat pääasiassa 0,4 - 20 kV jännitetasoilla. Kotitaloudet ovat liittyneinä jakeluverkkoihin. Teollisuus voi olla liittyneenä joko suoraan kantaverkkoon tai alueverkon kautta. Kauppa, palvelut ja muu kulutus (esim. maatalous) liittyvät yleensä jakelu- tai alueverkkoon mm. tarvitsemansa tehon suuruudesta riippuen. Suurimmat voimalaitokset liitetään alue- tai kantaverkkoon sekä pienet voimalaitokset jakeluverkkoon tapauskohtaisesti. /1/



**Kuva 1** Periaatekuva Suomen sähköjärjestelmästä /2/



## 2.2 Kantaverkko

Suurjännitteisiä voimajohtoja on kantaverkossa kolmea jänniteporrasta. Suuret korkealla kulkevat 220 - 400 kV sekä rakenteeltaan hieman pienemmät 110 kV voimajohtot muodostavat Suomen kantaverkon.

Fingridin hallitsemaan Suomen kantaverkkoon kuuluu noin

- 4000 km 400 kV voimajohtoja (kV = kilovoltti = 1000 voltia)
- 2400 km 220 kV voimajohtoja
- 7600 km 110 kV voimajohtoja
- 104 sähköasemaa

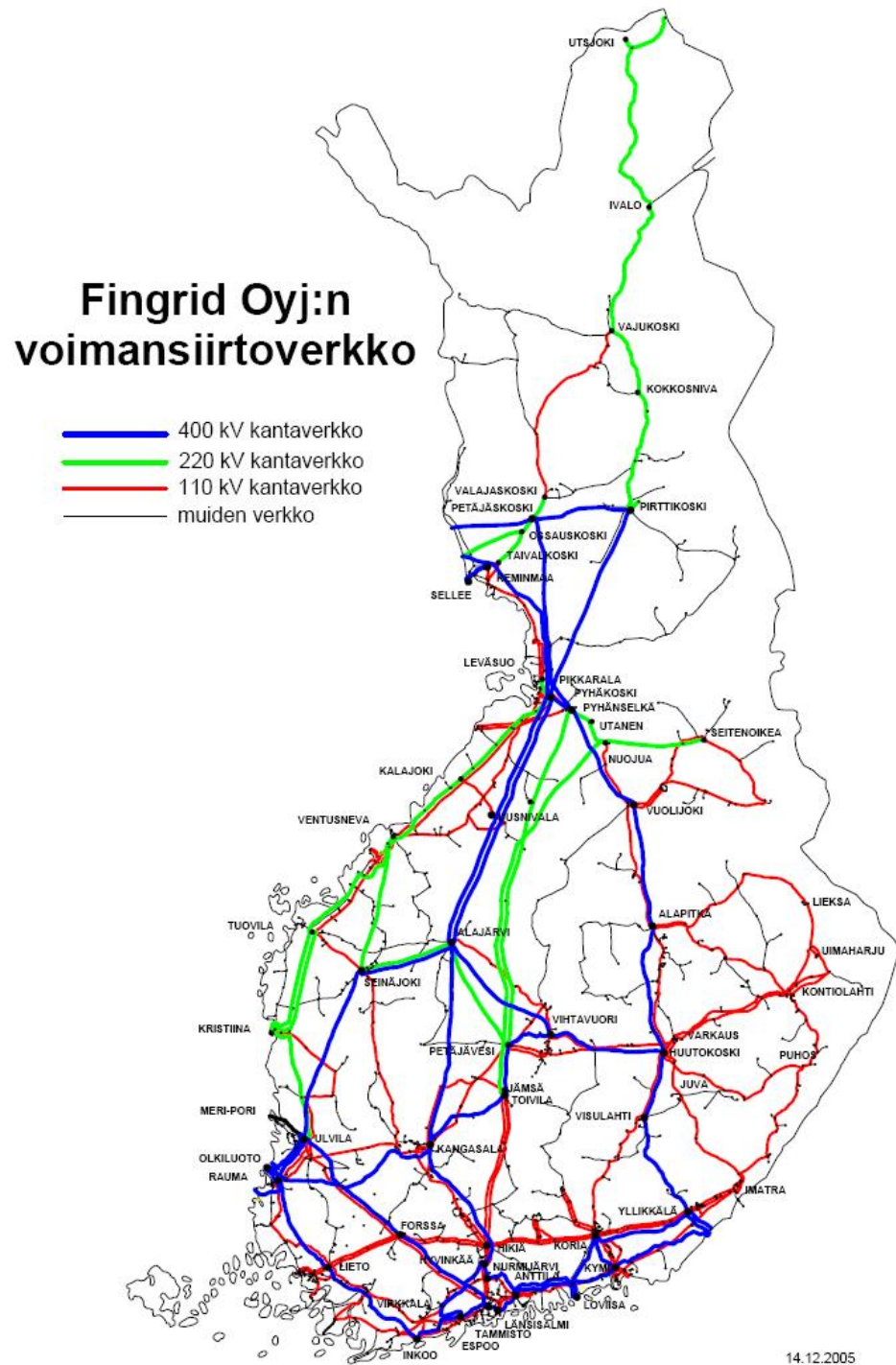
Fingridin maanlaajuinen kantaverkko (kuva 2) on keskeinen osa Suomen sähköjärjestelmää. Yhtiön omistuksessa ovat Suomen päävoimansiirtoverkko ja kaikki merkittävät ulkomaanyhteydet. Luotettava sähkön saanti on yhteiskunnan ja elinkeinoelämän pystyessä pysymiselle ja kehitykselle välttämätöntä. Fingridin tehtävänä on vastata lain velvoittamana sähköjärjestelmän toimivuudesta valtakunnan tasolla. Sähkömarkkinoiden tehtävänä on huolehtia sähkön riittävydestä Suomessa. /3/

Fingridin tehtävä on

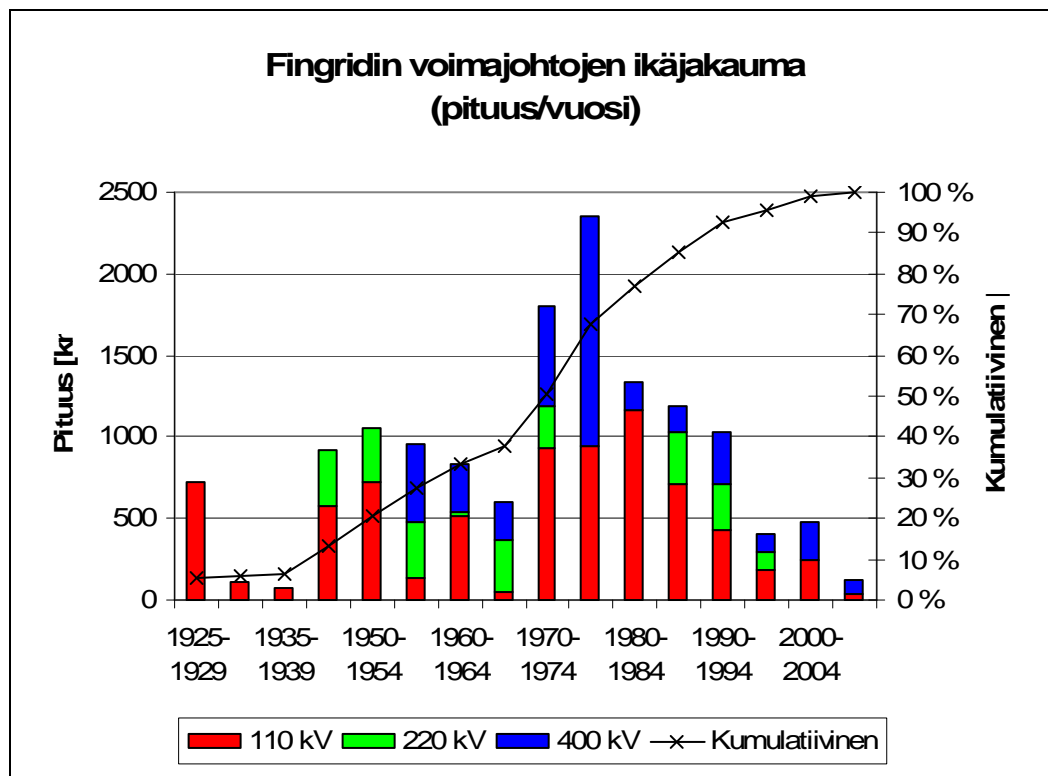
- siirtää sähköä kantaverkossa
- ylläpitää sähkön kulutuksen ja tuotannon kunkinhetkinen tasapaino
- selvittää osapuolten väliset sähköntoimitukset valtakunnan tasolla
- kehittää kantaverkkoa
- edistää sähkömarkkinoiden toimintamahdollisuuksia.

Nämä tehtävät Fingridin on hoidettava pitkäjännitteisesti, tasapuolisesti ja tehokkaasti. Yhtiön on pidettävä kantaverkko käyttövarmana ja siirtokyvyltään riittävänä sekä ympäristövaikutuksiltaan yleiseen etuun sopivana. Fingridin toimintaa valvoo Energiainfovirasto. /3/

"Fingridin tavoitteena on olla kantaverkkotoiminnan edelläkävijä kansainvälistyillä sähkömarkkinoilla kansalliset edut turvaten". /3/



**Kuva 2** Suomen kantaverkko vuonna 2005 /1/



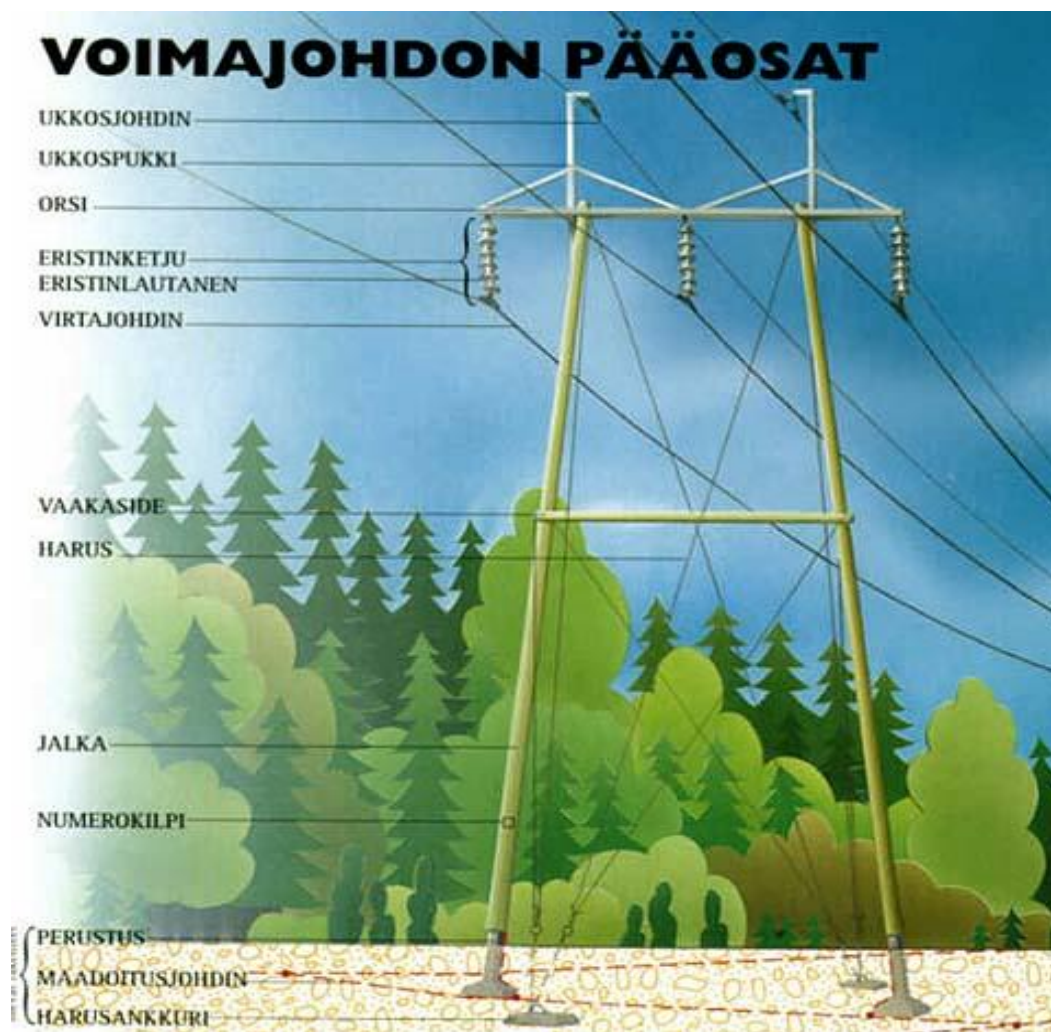
**Kuva 3** Fingrid Oyj:n voimajohtojen ikäjakauma

Kuvassa 3 on esitetty Fingridin voimajohtojen ikäjakauma vuosilta 1925 - 2004. Kuten kuvasta huomataan, on Fingridin vanhimmat johdot rakennettu jo ennen vuotta 1930. Varsinainen kantaverkon rakentaminen alkoi heti sodan jälkeen 1940-luvulla jatkuen 1960-luvun alkupuolelle melko tasaisena. Vilkkainta rakentaminen oli 1970-luvulla jolloin ydinvoimalaitosten tehonsiirtotarpeita tyydyttämään rakennettiin niin sanottu "atomirengas". Suuri osa Fingridin omistamista voimajohtoista on jo yli 30 vuotta vanhoja ja vanhimmat johdot jo yli 50 vuotta vanhoja. Esimerksi yli 30-vuotiaita johtoja on hieman yli puolet kokonaismäärästä ja yli 50-vuotiaita hieman yli 20%. Kuvaajan perusteella voidaan todeta ikääntyneiden (> 50 vuotta) voimajohtorakenteiden määrän lisääntyvän selvästi seuraavan 20 vuoden aikana.

Ikäänymisestä huolimatta voimajohtojen vikataajuudet ovat pysyneet varsin alhaisina. Esimerkiksi pysyviä vikoja Fingridin voimajohdoilla esiintyi vuonna 1997 0,044 kpl / 100 km ja vuonna 2005 0,014 kpl / 100 km.

### 2.3 Voimajohtorakenteet

Voimajohto on pienin mahdollinen kahden tai useamman saman jännitteisen kytkinlaitoksen rajaama verkon osa, joka voidaan erottaa katkaisijoilla jännitteettömäksi. Johtimet ja pylväävät muodostavat sen pääosat (kuva 4).



**Kuva 4** Voimajohdon pääosat /4/

Voimajohtopylväät ovat joko vapaasti seisovia - (kuva 5) tai harustettuja - (kuva 6) rakenteita. Ne on pystytetty pääosin maahan upotettujen betonisten perustuspilarien päälle. Maahan upotetut haruslaatat on pääosin valmistettu betonista, mutta vielä on käytössä jonkin verran myös puisia haruslaattoja. Haruslaatoista lähtee teräksiset kuumasinkityt harusvartaat maanpinnalle, joihin teräksiset harusvaijerit kiinnittyvät. Suurin osa harustettujen 110 - 220 kV voimajohtopylväiden pylväsaloista on puisia ja varustettu tikkojen aiheuttamia vahinkoja estävillä tikkaverkoilla. Kaikki 400 kV voimajohtopylväät (kuva 6) ovat teräksisiä.

Harustettujen pylväiden orret ovat terästä ja niistä riippuvat pylvään eristimet sekä eristinvarusteet, joilla johtimet kiinnittyvät. Eristimet ovat joko posliinia, lasia tai nykyisin jopa komposiittia. Eristinvarusteet ovat kuumasinkittyä terästä. Virtajohtimet ovat ulkovaipaltaan seosalumiinia ja niissä on terässydän. Ukkosjohtimet ovat joko seosalumiinisia terässydämellä vahvistettuja tai teräksisiä. Ukkosjohtimet on harustetuissa pylväissä kiinnitetty orresta lähtevään teräksiseen ukkospukkiin.



**Kuva 5** Vapaasti seisova voimajohtopylväs



**Kuva 6** 400 kV harustettu voimajohtopylväs

### 3 VOIMAJOHTOJEN KUNNONHALLINTA FINGRID OYJ:SSÄ

#### 3.1 Toimintamalli

Fingridin voimajohtokunnossapito perustuu asiantuntijaorganisaatioon ja peruskunnossapitosopimukseen. Alueelliset asiantuntijat (Johtomestarit) suunnittelevat, tilaavat ja valvovat voimajohtotöitä sekä auditoivat, kouluttavat ja kehittävät toimintoja omilla alueillaan. Apuna tässä työssä ovat atk-pohjaiset työvälineet kuten Elnet-verkkotietojärjestelmä, ProjectWise dokumenttienhallintajärjestelmä, MapInfo karttajärjestelmä, erilaiset tekniset ohjeet ja erittelyt sekä toimittajille suunnattu FgPartners palvelu.

Fingrid kilpailuttaa voimajohtojen peruskunnossapitotyöt avoimin menettelyin kolmen vuoden välein ja valitsee peruskunnossapitotoimittajan työalueittain aina sopimuskaudelle. Tällä hetkellä Fingridillä on kaksi kunnossapitotoimittajaa kuudella eri työalueella (taulukko 1). Peruskunnossapitosopimukseen sisältyy kauden yleistarkastukset, määräaikaiset erikoistarkastukset, euromääräinen kunnossapitotöiden volyyymi €/ km / sopimuskausi, vikavalmius resurssien ja kaluston osalta (ilman varallaoloa) sekä tietyt varaosat. Lisäksi sopimukseen kuuluu toimittajan resurssien kehittämismuutokset ja Pohjois-Suomen alueella "Arktinen valmius". /5/

**Taulukko 1** Voimajohtojen peruskunnossapitosopimuksen mukaiset työalueet ja alueilla sijaitsevan verkon pituus /5/

Työalue	Johdot / km
Häme-Uusimaa	2566
Lounais-Suomi	2063
Itä-Suomi	2573
Länsi-Suomi	3660
Pohjois-Pohjanmaa	2004
Lappi	964

### 3.2 Tarkastukset

Sähkölaitteiston sähköturvallisuuden ylläpitäminen kuuluu haltijan velvollisuuksiin ja vastuuseen. Määräykset edellyttävät, että niissä tarkemmin määriteltyjen sähkölaitteistojen kunnosta huolehditaan noudattamalla sähkölaitteiston käyttö- ja huolto-ohjeita ja tarvittaessa ennalta laadittua hoito- ja kunnossapito-ohjelmaa. Lisäksi rakentamisessa sekä laajennus- ja muutostöissä tulee noudattaa säädösten mukaisia tarkastusmenettelyjä.

Määräaikaistarkastuksen tarkoituksena on valvoa, että haltija pitää yllä sähkölaitteiston käytön sähköturvallisuutta noudattamalla laadittua hoito- ja kunnossapito-ohjelmaa, mikäli sellainen on edellytetty. Määräyksiin perustuva, jopa viidentoista vuoden välein suoritettava määräaikaistarkastus ei korvaa haltijan velvollisuutta huolehtia säännönmukaisesti sähkölaitteistonsa sähköturvallisuudesta. /6/

Sen lisäksi, että viranomaismääräykset tulevat täytettyä, on voimajohtojen tarkastaminen oleellinen osa Fingridin kunnossapitotoimintaa.

Tarkastuksien avulla saadaan täsmällistä tietoa korjattavista vioista verkon ylläpidon tarpeisiin. Näin saadaan varma tieto verkon nykykunnosta, ja kuntotieto ja toimenpiteet voidaan kohdistaa tarkasti korjattavaan osaan. Kunto- ja kiireellisyysluokittelu toimenpide- ja keskeytystarpeineen on työsuunnittelun ja raportoinnin perusta. /7/

Nykyisin Fingridin siirtojohdot maastotarkastetaan joka toinen vuosi sekä tarvittaessa suoritetaan erikoistarkastuksia. Tällaisia erikoistarkastuksia ovat lentotarkastus tarpeen mukaan, lahotarkastus, teknisen kunnan tarkastus esimerkiksi haruskorroosio, eristinjännitetestaus posliinieristimillä, risteämäkartoitus, tekninen kartoitus, maadoitusmittaus 12 vuoden välein ja johdinliitosten tarkastus sekä GPS- mittaukset. /5/



Maastotarkastuksessa tarkastaja kulkee maastossa jalan ja tarkastaa kaikki tarkastusohjelmaan kuuluvat pylvää ja johtimet. Tarkastaja havainnoi kaikki rakenneviat, häiriö-, risteämä- ja kasvustotiedot sekä ympäristöasiat.

Maastotarkastuksessa ei kuitenkaan kiivetä pylväisiin vaan tehdään kaikesta yleissilmäys ja arvioidaan myös kohteen erikoistarkastuksen tarvetta. Kaikki tarkastushavainnot tallennetaan heti tarkastuskohteessa mukana kuljetettavaan tallentimeen ja edelleen Fingridin kunnonhallintajärjestelmään. Tarkastajien mukanaan kuljettamat tallentimet ohjaavat tarkastustyötä ja edesauttavat tasalaatuisen tiedon keräämistä. /7/

Erikoistarkastus on, kuten nimikin kertoo, kohteen yksityiskohtaisempaa tarkastamista eli silloin kiivetään pylväisiin, suoritetaan testausta, otetaan näytteitä ja niin edelleen. Erikoistarkastukset suoritetaan siitä laaditun tarkastusohjeen mukaisesti ja raportointi suoritetaan erikseen laaditun yksityiskohtaisen raportointimallin mukaisesti. Erikoistarkastuksissa saatu tieto tallennetaan myös maastotarkastuksen tavoin Fingridin kunnonhallintajärjestelmään.

Kaikilla työalueilla kerätty tarkastustieto tulee olla yhdenmukaista ja sen vuoksi kaikilla Fingridin verkkoon tarkastustyötä tekeville henkilöillä pitää olla Fingridin myöntämä tarkastuslisenssi. /7/

### **3.3 Kuntoluokittelu /8/**

Elnet- verkkotietojärjestelmää käytetään Fingridissä voimajohtojen kunnossapidon ohjaukseen ja kunnossapidon operatiiviseen suunnitteluun. Elnettiin tallennetaan kaikki voimajohtojen tarkastuksissa tehdyt havainnot ja viat. Saamiensa lähtötietojen avulla Elnet tuottaa tietoa voimajohtojen kunnossapidon tueksi. Elnetissä voimansiirtojohtojen kunto kuvataan 9 luokitellun (kunto- ja kiireellisyysluokat) tilakuvaajan avulla. Tilakuvaajiksi on valittu voimansiirtojohtojen kunnan ja toiminnan kannalta tärkeimmät osat. Tilakuvaajat on esitelty taulukossa 2.

**Taulukko 2** Tilakuvaajat ja niiden sisältämät rakenneosat /8/

<b>Tilakuvaaja</b>	<b>Tilakuvaajan osat</b>
1 Johtoalue	Johtokatu Reunavyöhyke Rakennus Muu Rakennelma Tieristeämä Maanrakennus Maanpäällinen risteämä Väylätaulu
2 Perustukset	Pylväsperustus Harusperustus I-paaluperustus Perustus-muut
3 Harukset	Harusköysi Kiilakiristin Haruseristys Harustanko Korroosiosuoja Harukset muut
4 Maadoitukset	Maadoitusjohdin Alastuontijohdin Ukkosen lisämaadoitus Maadoitus muut
5 Pylväs	Runko Jalka Vaakaside Orsi Ukkosuloke Varusteet Pylväs muut
6 Eristimet ja varusteet	Eristinketju Virtajohtimen varusteet Ukkosjohtimen varusteet Eristimet ja varusteet muut
7 Johtimet	Virtajohdin Ukkosjohdin Yhdistysjohdin Johtimet muut
8 Ympäristötekijät	Johtovika Törmäysvaara Jääkuorma-alue Ulkopuoliset ilmoitukset Ympäristötekijä muu
9 Muut	Tiedot-rakennetiedot Pylväs tarkastettu

Tilakuvaajien ja niiden vauriotyyppien perusteella voidaan muodostaa kaikkiaan lähes 300 eri kuntolajia. Tarkastuksissa näille kuntolajeille määritetään niiden sen hetkinen tila. Tähän käytetään apuna kunto- ja kiireellisyysluokitusta.

Tarkastushavainnot luokitellaan kolmeen eri kuntoluokkaan vaurioasteen mukaan sekä neljään eri kiireellisyysluokkaan korjauksen kiireellisyyden mukaan. Kuntoluokitusta käytetään sellaisille rakenneosille, joiden kunnan kehitystä voidaan järkevästi seurata. Osat, joiden kunnolla on ainoastaan vaihtoehdot kunnossa tai rikki, luokitellaan pelkästään korjauksen kiireellisyyden perusteella. Kiireellisyyteen vaikuttaa luonnollisesti se, kuinka tärkeä osa on johdon turvallisuuden ja käyttövarmuuden kannalta.

Kuntoluokitus on laadittu betoniosille, teräsosille sekä puuosille. Näiden osien kuntoluokitukset on esitetty taulukoissa 3 - 6.

**Taulukko 3** Betoniosien kuntoluokitus /8/

Luokka	Luokituksen määritelmä
1	Hiushalkeamia ja / tai lievää pintarapautumista
2	Halkeamat alle 2 mm ja / tai teräkset näkyvissä ja tai pinta rapautunut 10-30 mm
3	Halkeamat yli 2 mm ja / tai teräkset syöpyneet ja / tai pinta rapautunut yli 3 mm

**Taulukko 4** Puuosien kuntoluokitus /8/

Luokka	Luokituksen määritelmä
1	Vauriot alle 10 % poikkipinta-alasta
2	Vauriot 10-25 % puun poikkipinta-alasta. Taipumat yli 7 cm, mutta alle puolet keskikohdan läpimitasta. Pultinsuuntaisia halkeamia.
3	Vauriot yli 25 % puun poikkipinta-alasta. Taipumat yli puolet keskikohdan läpimitasta. Pultinsuuntaiset halkeamat läpi puun.

**Taulukko 5** Teräksisten pylväsosien kuntoluokitus /8/

Luokka	Luokituksen määritelmä
1	Alkavaa ruostumista
2	Osittain ruostunut tai hilseilnyt
3	Ruostunut tai syöpynyt kauttaaltaan

**Taulukko 6** Harusten ja johtimien kuntoluokitus /8

Luokka	Luokituksen määritelmä
1	Tumma tai osittain ruostunut
2	Ruosteessa ja / tai lievää syöpymistä
3	Pahoja syöpymiä ja / tai kauttaaltaan ruosteessa

Taulukossa 7 on esitetty käytettävä kiireellisyysluokitus. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki rapautuneesta pylväsperustuksesta ja taulukossa 8 on esimerkki kuntotiedon kirjaamisesta kyseisen perustuksen tapauksessa.

**Taulukko 7** Korjauksen kiireellisyysluokitus /8/

Kiire	Korjauksen kiireellisyys
0	Korjaus tilaajan harkinnan mukaan
1	Ehdotetaan korjattavaksi 5-8 vuoden aikana
2	Ehdotetaan korjattavaksi 1-3 vuoden aikana
3	Korjattava mahdollisimman pian
4	Vika on aiheuttanut pysyvän käyttöhäiriön, tai vian korjaamiseksi on välittömästi otettava siirtokeskeytys. Kiire 4 ei käytetä tarkastuksessa vaan se määritetään korjauksen jälkeen.



**Kuva 7** Esimerkki rapautuneesta pylväsperustuksesta

**Taulukko 8** Esimerkki rapautuneen pylväsperustuksen kuntotiedon kirjaamisesta

2122 Perustukset\_Pylväsperustus\_Pilari\_Rapautunut

Osa	Nro	Pyl	Siv	Pit	Lev	Kor	Luo	Kii	V/K/T	Kes	Sel
							3	1	K	E	

Yllä oleva perustuspilari on luokiteltu kuntoluokkaan 3 ja kiireellisyysluokkaan 1. Lisätietoina toimenpiteeksi on määritelty korjaus (K), joka ei kuitenkaan vaadi sähkön siirtoon keskeytystä (E).

Elnetissä voidaan tarkastella voimansiirtojohtojen kunnan kehittymistä myös lähitulevaisuudessa luomalla tilakuvaajakohtaisia ennusteita.

Voimansiirtojohtojen kunnan kehittyminen ilman toimenpiteitä (rappeutuminen) on kuvattu rappeutumismallien avulla. Mallit perustuvat kuntoluokkien välisiin siirtymätodennäköisyyksiin.

### 3.4 Toimenpiteet

Voimajohtojen tarkastus tehdään kesällä lumettomana aikana. Tarkastustyön yhteydessä kaadetaan vaaralliset, pitkät puuhiipat ja kaikista käyttövarmuuden tai käyttöturvallisuuden vaarantavista vioista ilmoitetaan välittömästi verkon omistajalle. Tarkastustyön yhteydessä tarkastajat voivat myös korjata ennalta tilattuja niin sanottuja pienkorjaustöitä. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi kilpien asentamiset ja harusten säätötyöt.

Tarkastustulosten perusteella alueelliset asiantuntijat tekevät vuosittaiset korjaussuunnitelmat johdoittain. Korjauksen kiireellisyyden määrää tarkastuksessa vialle annettu kiireellisyysluokitus. Periaatteena on, että kiire-3 -vialta on korjattava välittömästi. Tavallisempia korjattavia vikoja ovat eristinlautasten ja värähtelyvaimentimien rikkoutumiset, pilari sekä harusperustusten korjaukset, harusten säätötyöt, haruseristysvikojen korjaukset, maadoitusten korjaukset, erilaisten kaivantojen ja ojien siirrot pois pylväsalalta sekä lahojen tai tikan hakkaamien pylväspuiden vaihdot. Pylväspuita ei kuitenkaan vaihdeta pelkän maastotarkastuksen perusteella vaan aina ensin tehdään pylvään lahotarkastus.

Tulevaisuudessa siirrytään toimintamalliin missä korjaussuunnitteluun ja seuraavan vuoden korjaukseen otetaan vain ne voimajohdot, jotka on kesällä tarkastettu. Näin johtojen kuntoa voidaan analysoida tarkemmin ja luodaan selvä systematiikka tarkastusten ja korjausten välille.

### 3.5 Fingridin viankorjausvalmius ja voimajohtovaraosat /5/

Fingridin voimajohtojen viankorjausvalmius perustuu toimittajien kanssa tehtyihin sopimuksiin ja omiin varaosiin. Kriisiaikaa varten ei ole mitään erillisiä valmiusvarastoja.

Toimittajien kanssa tehdyt sopimukset vikavalmiudesta sisältävät

- Partiointi- ja pienviankorjausvalmiuden

- Vakavien vikojen korjausvalmiuden
- Vakavien vikojen korjausvalmius sisältää lisäksi valmiuden suurvian vikapaikan raivaukseen, suojaukseen, taakaukseen ja työvalaisemiseen
- Suurten vikojen korjausvalmiuden
- Jää- ja huurrekuormien partiointi- ja pudotusvalmiuden
  - Toimittajalla tulee olla sopimuksen mukaisilla työalueilla määritetyt työkalut varaosat ja materiaalit em. yllättävien vikojen partiointiin, raivaukseen ja korjaukseen
  - Partiointivalmius ei edellytä jatkuvaa henkilöstön varallaoloa eikä työajan ulkopuolista päivystystä, mutta kuitenkin riittävän henkilömäärän saatavissa oloa. Vian partiointi tai tarvittavan henkilöstön ja kaluston siirtyminen partiointikohteeseen tulee käynnistyä yhden (1) tunnin kuluessa hälytyksestä.
  - Toimittajan tulee olla varautuneena tilaajan viankorjausmateriaalien ja työvälineiden kuljetuksiin vikapaikalle sopimusalueella.

Fingridin omat varaosat sisältävät yleisimpiä johdintyyppejä ja eristinvarusteita sekä viankorjauspylväitä 110 - 400 kV johdoille. Keskusvarasto sijaitsee Hämeenlinnassa ja toinen varasto sijaitsee Muhoksella. Varaosia ei lainata muuta kuin hätätapauksissa Fingridin verkkoon kohdistuviin töihin ja varaosien korvausaika on maksimissaan kaksi kuukautta.

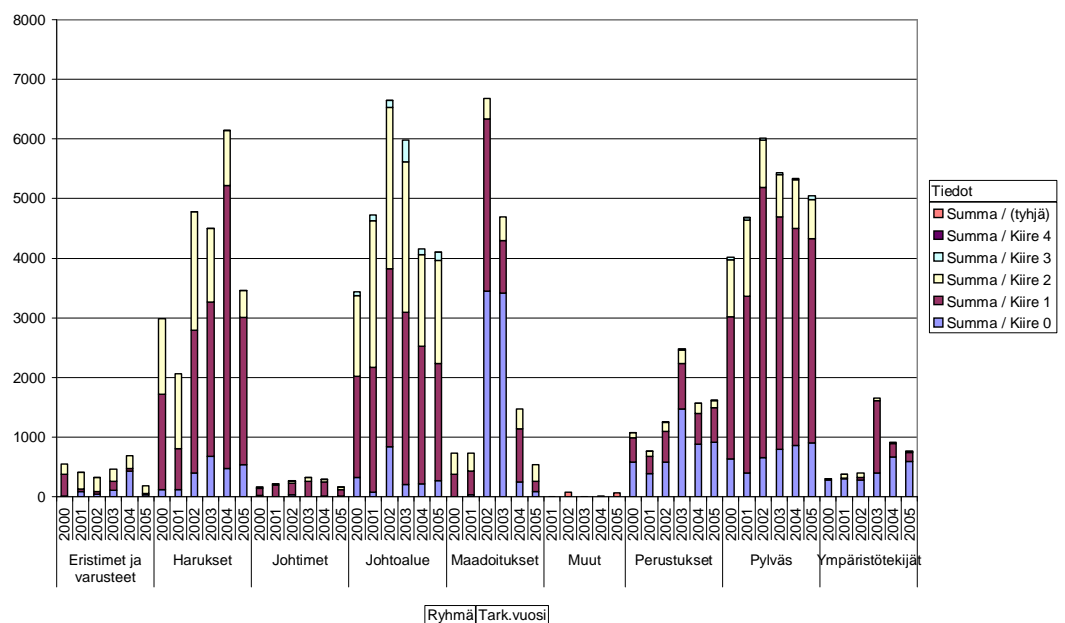
Nykyinen Fingridin viankorjausvalmius on katsottu olevan riittävä tämän hetkiseen tilanteeseen. On kuitenkin muistettava, että kun verkot vanhenevat ja kunnossapito on optimoitu, niin myös viankorjausvalmiutta on kehitettävä edelleen.

## 4 VOIMAJOHTORAKENTEIDEN VANHENEMISMEKANISMI JA KERÄTYT KUNTOTIEDOT VUOSILTA 2000 - 2005

### 4.1 Verkosta kerätyt kuntotiedot

Tarkastelun kohteena ovat vuosien 2000 - 2005 aikana tarkastuksissa kerätyt kuntotiedot. Tarkasteltavat kuntotiedot ovat uusia havaintoja, eivätkä siten kuvasta sellaisenaan verkon nykykuntoa. Osa havainnoista ja vioista myös käsitellään ja korjataan suhteellisen pian havaintoajankohdan jälkeen.

Kuvassa 8 on esitetty verkosta kerätyt uudet kuntotiedot vuosina 2000 - 2005. Kuvasta voidaan päätellä, että eniten vikahavaintoja kohdistuu maadoituksille, pylväsrakenteille, haruksille ja perustuksille. Eristimiin, eristinvarusteisiin sekä johtimiin kohdistuvia vikoja on hyvin vähän ottaen huomioon verkon laajuuden. Johtoalueeseen kohdistuvia havaintoja ei käsitellä, koska niillä ei ole suoranaista vaikutusta verkon ikääntymiseen. Johtoalueen kasvustonkäsitelyssä sovelletaan omia kiertoaikoja ja toimintamalleja, joiden puitteissa toimenpiteet suoritetaan.



**Kuva 8** Uudet kuntotiedot vuosina 2000 - 2005

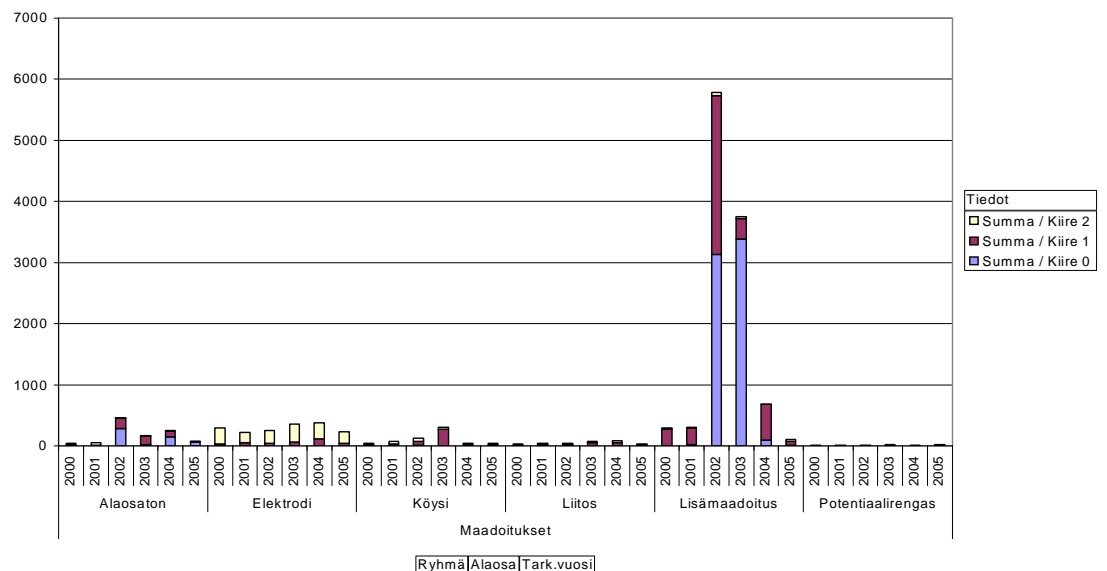


### 4.1.1 Maadoitusviat

Kuvassa 9 on esitetty maadoituksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005.

Kuvasta voidaan havaita, että pääosa maadoitusvioista kohdistuu ukkosjohtimien lisämaadoituksiin. Tämä johtuu siitä, että kyseessä olevana aikana on kerätty tietoja ukkosjohtimien sähköisesti luotettavien liitosten puutteesta, joten suuri osa maadoitusvioiksi kirjatuista havainnoista ei siten ole varsinaisia vikoja, eivätkä ne vaikuta johdon käyttöikään.

Varsinaisia maadoitusvikoja on suhteellisen vähän ja osa niistä on luonteeltaan ulkopuolisten aiheuttamia, kuten esimerkiksi kaivamalla vaurioitettut elektrodit. Elektrodien maanalaista kuntoa tarkkaillaan muun muassa maadoitusmittauksin. Maastotarkastuksissa elektrodien maanalaisten osien kuntoa on vaikea todeta. Toisaalta osa maadoitusvioista on suhteellisen helppoja korjata.

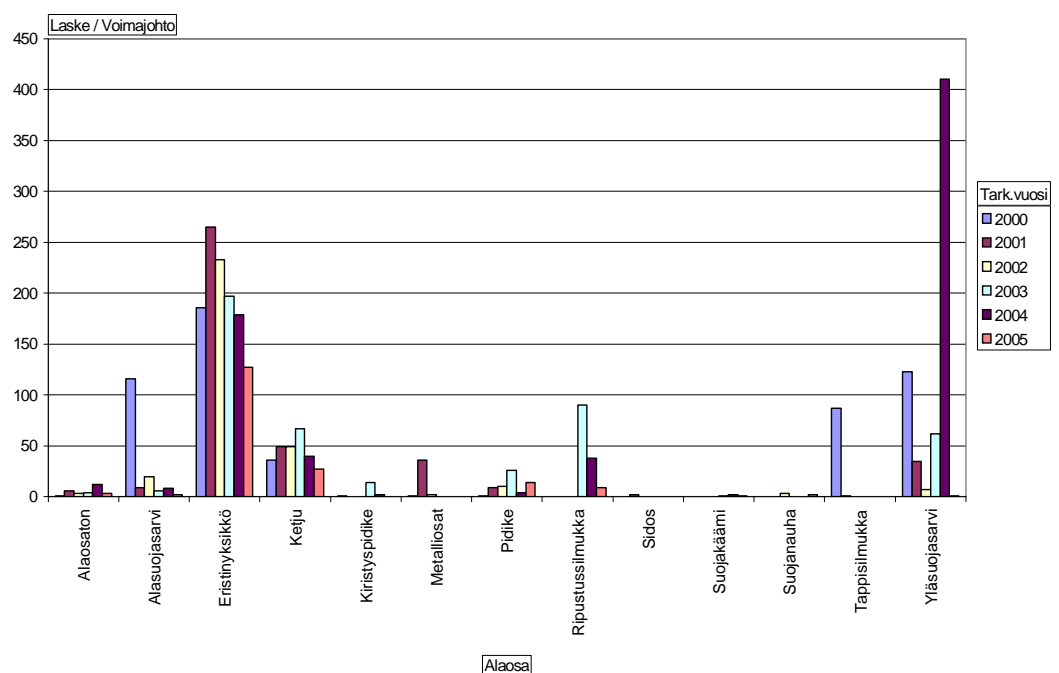


**Kuva 9** Maadoituksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005

#### 4.1.2 Eristimiin ja eristinvarusteisiin kohdistuvat viat

Kuvassa 10 on esitetty eristimiin ja eristinvarusteisiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005. Kuvasta voidaan havaita, että suuri osa eristinvarusteisiin kohdistuvista vioista kohdistuu yläsuojasarviin. Tämä johtuu siitä, että kyseessä olevana aikana on kerätty tietoja yläsuojasarvien puuttumisista ja jonkin verran mukana on myös suojasarvien ruostumisesta aiheutuvia tietoja. Nämä viat eivät kuitenkaan vaikuta johdon käyttövarmuuteen eivätkä johdon käyttöikään.

Merkittävin osa tämän ryhmän vioista on kuitenkin eristimien rikkoontumisia ja niiden likaantumisia. Eristinviat ovat niin sanottuja on / off -vikoja, ja ne hoidetaan normaalissa kunnossapidossa.



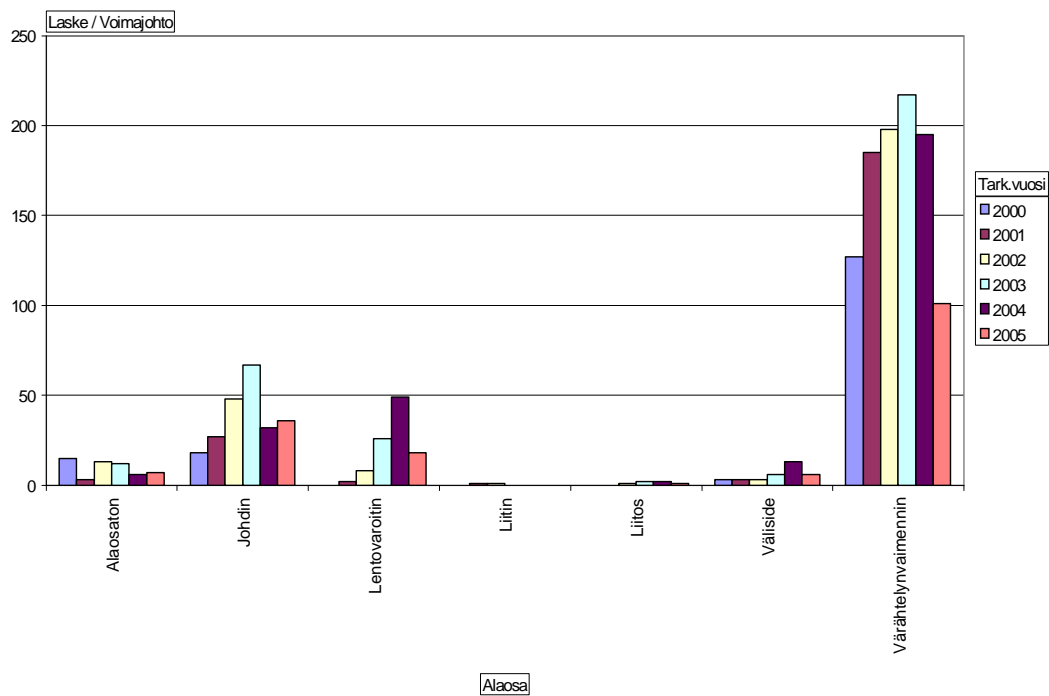
**Kuva 10** Eristimiin ja eristinvarusteisiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005

### 4.1.3 Johdinten viat

Kuvassa 11 on esitetty johtimiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005. Kuten kuvasta voidaan havaita, pääosa johtimiin kohdistuvista vioista kohdistuu värähtelynvaimentimiin, mikä johtuu siitä, että on kerätty tietoa puuttuvista värähtelynvaimentimista. Värähtelynvaimentimiin kohdistuvat puutteet on arvioitu ja ne eivät juuri vaikuta johdon käyttöikään eivätkä sen käyttövarmuuteen.

Pieni määrä johtimiin kohdistuvista vioista on parihohtimien välisiteiden rikkoontumisia. Nämä johtimien välisiteisiin kohdistuneiden vikojen määrä sekä laatu on arvioitu ja ne hoidetaan normaalissa kunnossapidossa.

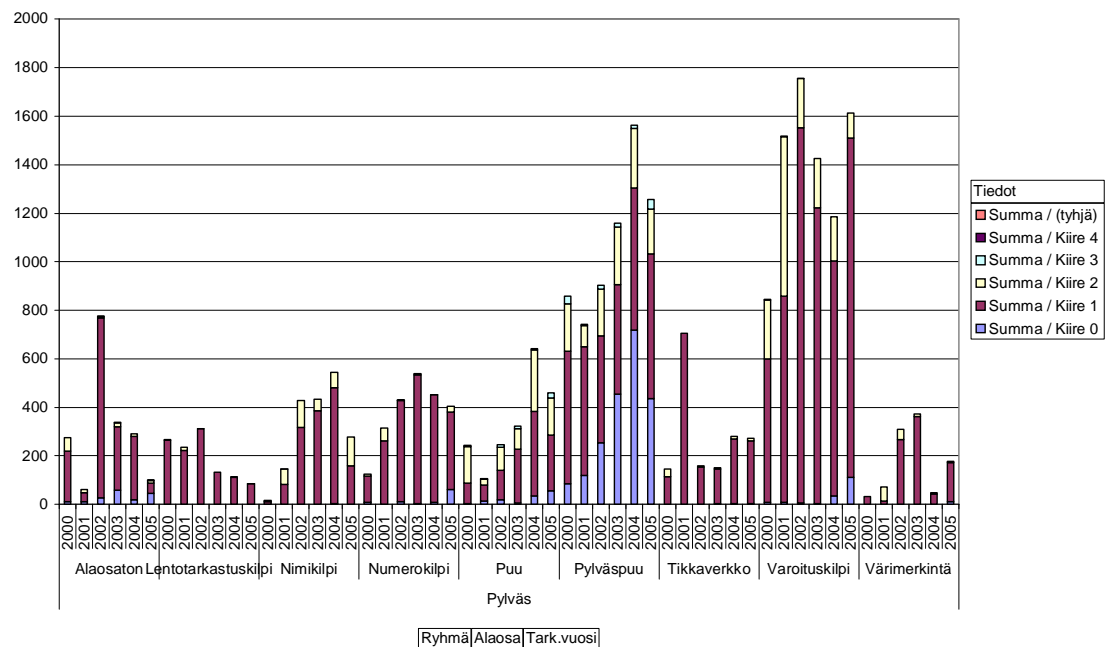
Varsinaisiin johtimiin kohdistuvat viat ovat teräsukkosjohtimien ruostuminen ja värimuutokset. Esiintyviä vikoja on kuitenkin suhteellisen vähän ja muutokset tapahtuvat melko hitaasti. Vanhemmilla johdoilla useimmiten johdon siirtokapasiteetti tuleekin määrääväksi tekijäksi johdon käyttöikää arvioitaessa. Fingridissä on myös tutkittu johtimien liitoksia, mutta näissä tutkimuksissa ei ole havaittu mitään erityistä.



**Kuva 11** Johtimiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005

#### 4.1.4 Pylväisiin kohdistuvat viat

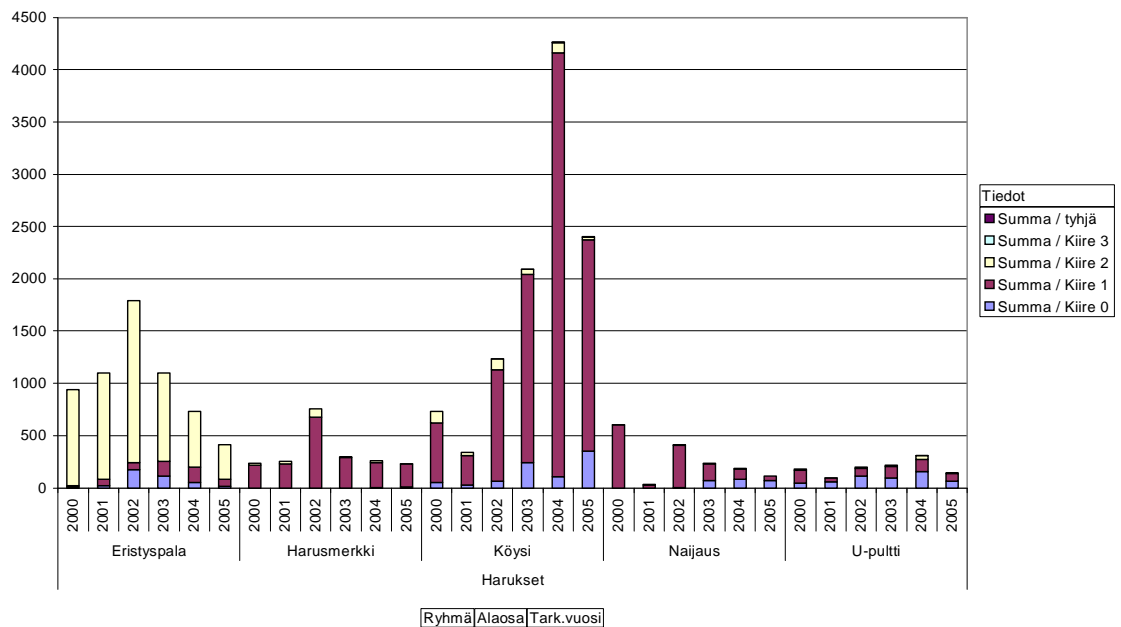
Kuvassa 12 on esitetty pylväisiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005. Kuvasta voidaan päätellä, että erilaiset kilpiviat muodostavat suurimman osan tämän lajin vioista, mutta niillä ei ole merkitystä johdon käyttövarmuudelle eikä rakenteen käyttöiälle. Toinen merkittävä havainto pylväsvioista kohdistuu pylväspuihin. Näillä vioilla on merkitystä rakenteen käyttöiälle ja sitä kautta myös johdon käyttövarmuuteen.



**Kuva 12** Pylväisiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005

#### 4.1.5 Haruksiin kohdistuvat viat

Kuvassa 13 on esitetty haruksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005. Kuvasta voidaan nähdä, että haruseristysviat ovat merkittävä osa haruksiin kohdistuvista vioista, mutta nämä viat ovat todettuja ja ne hoidetaan korjaustöiden yhteydessä. Harusköysiin kohdistuvia vikoja on kuitenkin suuri määrä. Koska harusviat vaikuttavat johdon käyttövarmuuteen, on niiden esiintyminen ja mahdollinen ikäkäyttäytyminen tämänkin työn kannalta mielenkiintoista.

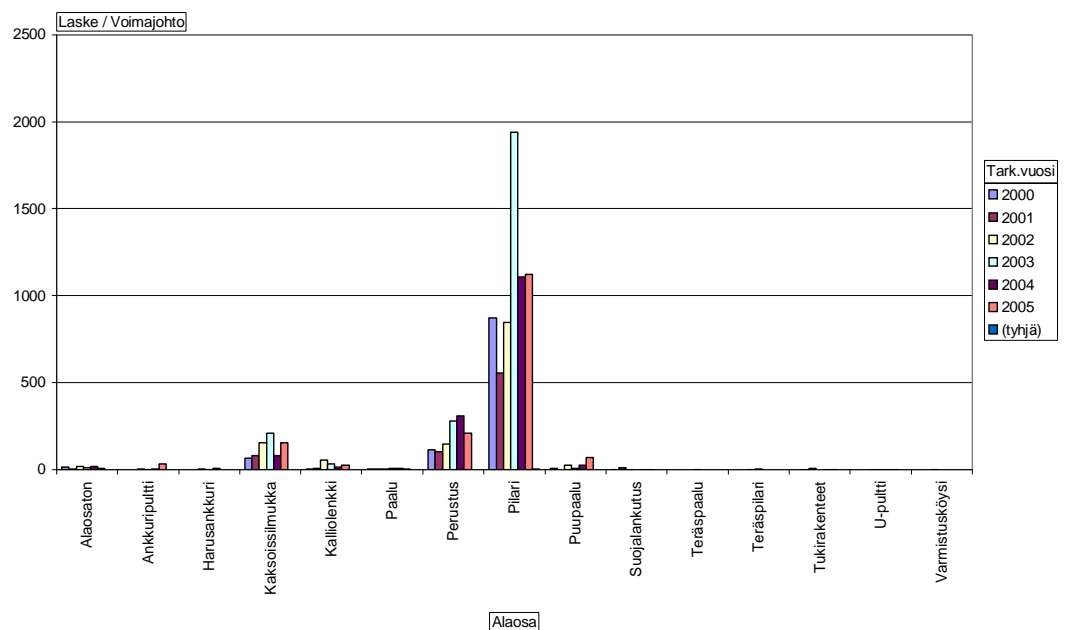


**Kuva 13** Haruksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005

#### 4.1.6 Perustuksiin kohdistuvat viat

Kuvassa 14 on esitetty perustuksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005.

Kuvasta voidaan päätellä, että huomattavin osa perustusvioista kohdistuu perustuspilareille, mutta vikoja kohdistuu myös harusperustuksiin. Suuri osa harusperustuksiin kohdistuvista vioista on kuitenkin perustusten vajaatäyttöjä tai pieniä vesipesiä, jotka eivät varsinaisesti vaikuta johdon käyttöikään. Käyttöikään ja erityisesti johdon käyttövarmuuteen vaikuttava vika on kuitenkin harusten kaksoissilmukoiden ruostuminen mikä vaatii lähempää tarkastelua perustuspilarien tutkimisen ohella.



**Kuva 14** Perustuksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005

## 4.2 Tutkittavat rakenneosat

Edellä esitetyn analyysin pohjalta valitaan lähempään tarkasteluun ne voimajohdon osat eli komponentit, joissa esiintyy eniten vikoja ja jotka vaikuttavat voimajohdon käyttöikään sekä sen käyttövarmuuteen. Tällaisia osia ovat betoniset perustus pilarit, harusperustusten teräksiset kaksoissilmukat, pylvään harusvaijerit sekä pylväiden puiset pylväsjalat.

Eristimiin, eristinvarusteisiin sekä johtimiin kohdistuvia kuntotietoja on niin vähän, että luotettavaa kuvaa vikojen kehittymisestä ei voida tämän perusteella muodostaa aineistoa tilastollisesti käsiteltäessä. Lisäksi kyseessä oleviin komponentteihin kohdistuvat viat hoidetaan normaalissa kunnossapidossa vuosittaisten korjausten yhteydessä. Pylväiden näkyvien teräosien ruostuminen on verkon laajuuteen nähden melko vähäistä ja haitta on lähinnä kosmeettinen. Eristinvarusteiden mekaanista kulumista sen sijaan on syytä seurata ja on hyvä suorittaa tarkastuksia vanhemmilla johdoilla etenkin pitkissä ja tuulelle alttiiden pylväiden jänneväleissä.

## 4.3 Rakenteiden vanhenemismekanismit

Optimi olosuhteissa voimajohdon rakenteet voivat kestää hyvinkin pitkään. Näin ei kuitenkaan aina ole, vaan rakenteet altistuvat erilaisille rasituksille. Tällaisia rasituksia voivat olla lumi-, jää-, ja voimakkaat tuulikuormat, jatkuvat lämpötilan muutokset, auringonpaiste, ilman epäpuhtaudet, lintujen ulosteet, pohjavedenpinnan muutokset, routa, jäiden liikkuminen, ulkopuolisten tekemät ojat, kaivannot sekä täyttötöyt. Kaikki nämä yhdessä tai erikseen vaikuttavat rakenteiden kestävyys ja vanhentavat rakenteita eri nopeudella.



### 4.3.1 Betonirakenteiden rapautuminen

Pääosa Fingridin voimajohtopylväistä on pystytetty maahan upotettujen betoniperustusten varaan. Oikein toteutettuna betoniperustukset ovat käyttöikänsä pitkäikäisiä, noin 50 - 100 vuotta. Valmistus- ja rakennevirheiden takia betoniperustukset saattavat kuitenkin alkaa vaurioitua jo muutaman vuoden kuluttua rakentamisesta. Yleisimpiä rakennevirheitä ovat kiviaineksen lujuuden riittämättömyys, vesisideainesuhde, sideainelaatu sekä betonin huokostus. Rapautumien kasvaa vesisideainesuhteen kasvaessa ja huokostus pienentää rapautumista. Masuunikuonasementeillä valmistetun betonin rapautumien on selvästi suurempaa kuin portlandsementeillä valmistetun betonin rapautuminen./9/

Betoniperustusten vaurioita ovat teräksen karbonisoitumisesta aiheutuva terästen korroosio ja siitä aiheutuva betonin lohkeilu sekä betonin suojarahokosten vähäisestä määrästä aiheutuva pakkasrapautuma. Edellä kuvatut rapautumiset saattavat edetä hyvinkin nopeasti tai sitten vaurion eteneminen on alkuvaiheessaan melko hidasta kiihtyen kuitenkin vaurion edetessä. Loppuvaiheessa rapautuminen voi edetä todella nopeasti ja perustus ikään kuin räjähtää ja betoni vain häviää pois.

### 4.3.2 Teräsrakenteiden ja alumiinijohtimien korroosio

Fingridin omistamassa verkossa on noin 23 000 teräspylvästä ja kaikkien harustettujen pylväiden harusperustusten harusvartaat ovat kuumasinkittyä terästä, joten teräsrakenteiden osuus on todella merkittävä.

Teräsrakenteiden käyttöiän yleisimmin määrääviä tekijöitä ovat mekaaninen kuluminen, väsyminen ja korroosio sekä näiden yhteisvaikutus.

Korroosio on ympäristön vaikutuksesta tapahtuvaa materiaalin muuttumista käyttökelvottomaan muotoon. Vahingoittava materiaali liukenee tai muuten reagoi ympäristön (ilma, neste, maa jne.) aineiden kanssa. Korroosion taustalla on

kemiallinen tai sähkökemiallinen ilmiö, mutta ympäristö voi vaikuttaa myös mekaanisesti korroosioilmiön syntymiseen ja nopeuteen. Fingridin voimajohtorakenteissa esiintyy ainakin yleistä korroosiota, galvaanista korroosiota, rakokorroosiota, pistekorroosiota sekä sähkökemiallista korroosiota. /10/

Yksinkertainen esimerkki korroosiosta on raudan hapettumien rautaoksideiksi, eli raudan ruostuminen. Ruostumista esiintyy myös Fingridin voimajohdon rakenteissa etenkin teollisuuskaupunkien läheisyydessä. Ruostuminen kohdistuu lähinnä teräspylväisiin, pylväiden orsiin, eristinvarusteisiin sekä maanalaisiin teräsrakenteisiin. Ruostumisen estämiseksi lähes kaikki edellä mainitut rakenteet on Fingridin verkossa kuumasinkitty. Jonkin verran ruostumista esiintyy myös teräsukkosjohtimissa, mutta ei juurikaan seosalumiinisissa virtajohtimissa. /10/

Sähkökemiallisen korroosion estämiseksi lähes kaikki Fingridin harustettujen pylväiden maahan menevät harusvartaat on eristetty pylvään haruksista. Ei ole kuitenkaan täysin varmaa pysäyttääkö harusten eristäminen korroosion etenemisen harusvartaissa kokonaan, joten sitä tulisi tutkia tarkemmin.

### **4.3.3 Puuosien lahoaminen**

Suomen sääolosuhteet asettavat ulkotilojen puurakenteet erittäin kovalle rasitukselle. Olosuhteissa, joissa on kosteutta, lämpöä ja happea, kyllästämätön puu ei kestä ollenkaan vaan lahoaa. Kyllästämillä puurakenteiden käyttöikä voidaan kasvattaa huomattavasti. Terveen, oikean kosteuden omaavan raakapuun onnistunut kyllästysprosessi antaa puurakenteelle käyttöikä 50 - 100 vuotta edellyttäen, että rakenne muuten säilyy ehjänä.

Läheskään kaikki kyllästetyt puurakenteet eivät kuitenkaan ole olleet virheettömiä voimajohtotyömaalle saapuessaan. Raakapuun on saattanut olla liian kostea tai siinä on saattanut olla joko kääpälahoa tai varastolahoa ennen kyllästysprosessia, tai kyllästysprosessi itsessään on epäonnistunut. Näistä edellä

mainituista syistä johtuen kyllästettyjen pylväsrakenteiden ennenaikainen lahoamisprosessi on käynnistynyt.

Puurakenteiden halkeilu, tikkojen hakkaamat pesäkolot ja hevostuuraajaisten aikaansaamat syömäjäljet vaurioittavat rakenteita ja saavat aikaan jatkuvan säänvaihtelun kanssa lahoamisprosessin käynnistymisen. Osa puisista voimajohdon rakenteista sijaitsee kosketuksissa maahan tai maan alla. Lahoaminen alkaa melko nopeasti, jos kyllästämätön puu on kuivassa maassa eli se saa happea. Erityisesti maarajaleikkaus on otollinen kohta lahoamiselle.

Fingridin omistamassa verkossa on noin 25000 puupylvästä joten puuosien lahoamien on hyvin merkittävä asia verkon kunnossapidon kannalta.

## 5 KUNTOTIETOJEN KÄSITTELY

### 5.1 Yleistä

Aineistona käytettiin vuosina 2001 - 2005 kerättyjä, Elnettiin tallennettuja kuntohavaintoja. Tehtyjen tarkastelujen tarkoituksena oli saada käsitys eri komponenttien vanhenemisestä eli osien kuntoluokan muuttumisesta. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että tutkittiin kuntoluokkien "siirtymätodennäköisyyksiä" eli kuinka suuri joukko rakenneosista vaihtoi kuntoluokkaa vuodessa. Tutkimalla siirtymätodennäköisyyksiä, nähtiin kasvoiko siirtymien todennäköisyys kuntoluokan kasvaessa. Kunnan muuttumista päädyttiin tutkimaan siirtymätodennäköisyyksien pohjalta erityisesti siksi, että Elnetissä siirtymätodennäköisyyksiä käytetään voimajohtojen kunnan ennustamiseen. Asiaa lähestyttiin myös tarkastelemalla sitä, vaikuttaako komponentin ikä siirtymätodennäköisyyteen.

Käytännössä tehtiin kahden tasoisia tarkasteluja. Ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin kuntolajikohtaisesti kuntoluokkien muuttumista ottamatta huomioon

rakenneosien ikää. Toisessa vaiheessa aineisto jaettiin ikäluokkiin (5 vuoden ryhmät) ja tarkasteltiin kuntoluokkien muuttumista näissä ryhmissä.

## 5.2 Kuntoluokkien väliset siirtymätodennäköisyydet

Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin kuntoluokkien välisiä siirtymätodennäköisyyksiä. Tarkastelu tehtiin kahdessa osassa siten, että vuosien 2001 - 2003 ja 2003 - 2005 välisiä havaintoja tarkasteltiin omina ryhminään. Tällaiseen ajanjaksojakoon päädyttiin siksi, että koko verkon kuntotarkastukset jakaantuvat kahdelle vuodelle. Valitsemalla tarkastelujakso samaksi, voitiin tilastollisissa analyyseissa käyttää perusjoukkona eli populaationa koko verkossa olevien tarkasteltavien osien lukumäärää.

Tarkastelut suoritettiin seuraavasti:

- Vuoden 2001 tilanteen mukaan laskettiin, kuinka monta komponenttia kuului kuhunkin kuntoluokkaan.
- Määritettiin kuntolajeittain, kuinka suuri osuus komponenteista siirtyi kahden vuoden (2002 ja 2003) kuluessa seuraavaan kuntoluokkaan. Vuotuisen muutoksen suuruus saatiin jakamalla (molemmat vuodet mukana tarkastelussa) saadut arvot kahdella. Saadut lukumäärät muutettiin kuntoluokalle lasketun vikamäärän ja vuoden 2001 tilanteen mukaisen yhtä luokkaa alemman kuntoluokan vikamäärän avulla siirtymätodennäköisyydeksi
- Vastaavat tarkastelut tehtiin myös vuoden 2003 perustilanteen ja vuosien 2004 ja 2005 muutosten perusteella.
- Kuntolaji ja kuntoluokkakohtaiset siirtymätodennäköisyydet (taulukko 9) laskettiin edellä saatujen kahden tarkastelun todennäköisyyksien keskiarvona.
- Elnetistä haettiin vastaavien tilakuvaajien siirtymätodennäköisyydet (rappeutumismallit, taulukko 10), joihin laskennassa saatuja todennäköisyyksiä voitiin verrata.

**Taulukko 9** Kuntoluokkien väliset siirtymätodennäköisyydet

Kuntolaji	Osalkm	Siirtymä 0->1 / %	Siirtymä 1->2 / %	Siirtymä 2->3 / %
<b>2122 Perustukset</b> Pylväasperustus/Pilari/Rapautunut	143098	0,3	5,8	9,1
<b>2123 Perustukset</b> Pylväasperustus/Pilari/Lohjennut	143098	0,1	8,1	6,0
<b>2124 Perustukset</b> Pylväasperustus/Pilari/Halkeama	143098	0,1	5,6	2,2
<b>2222 Perustukset</b> Harusperustus/Kaksois./Ruostunut	194905	0,1	8,1	2,2
<b>3113 Harukset</b> Harusköysi/Köysi/Ruostunut	194905	0,2	9,6	9,2
<b>3212 Harukset</b> Kiilakiristin/U-pultti/Ruostunut	194905	0,1	5,0	0,7
<b>5211 Pylväs</b> Pylväspuu/Jalka/Tikankolo	45785	0,5	8,5	14,7
<b>5213 Pylväs</b> Pylväspuu/Jalka/Laho	45785	0,5	18,1	17,8
<b>5214 Pylväs</b> Pylväspuu/Jalka/Halkeama	45785	0,8	13,3	3,0

Taulukossa 9 on esitetty lasketut vuosittaiset siirtymätodennäköisyydet tarkastelluille kuntolajeille. Kuten voidaan havaita, kaikki kuntolajit käyttäytyvät lähes samalla tavalla eli alussa siirtymä (0 → 1) on suhteellisen hidasta, sitten se nopeutuu (1 → 2) ja lopuksi hieman hidastuu (2 → 3) ollen kaikkein suurinta välillä (1 → 2).

Tutkituilla kuntolajeilla keskimääräiset siirtymätodennäköisyydet olivat (0 → 1) = 0,3 %/v, (1 → 2) = 9,1 %/v ja (2 → 3) = 7,2 %/v. Ryhmittäin verrattaessa voidaan nähdä, että siirtymänopeudet ovat taulukon 10 mukaisia.

**Taulukko 10** Kuntoluokkien väliset siirtymätodennäköisyydet ryhmittäin verrattaessa

pilariperustuksilla	(0 → 1) = 0,2 %/v,	(1 → 2) = 6,5 %/v ja	(2 → 3) = 5,8 %/v,
haruksilla	(0 → 1) = 0,1 %/v,	(1 → 2) = 7,6 %/v ja	(2 → 3) = 4,0 %/v,
pylväspuilla	(0 → 1) = 1,6 %/v,	(1 → 2) = 13,3 %/v ja	(2 → 3) = 11,8 %/v

Edellä mainitun perusteella voidaan todeta, että aluksi kuntoluokan kasvaessa siirtymätodennäköisyys suurenee (1 → 2), mutta se ei kuitenkaan jatka suurenemista samassa suhteessa, vaan hieman pienenee kuntoluokkasiirroksessa 2 → 3.

Taulukossa 11 on esitetty Elnetissä tällä hetkellä käytössä olevat tilakuvaajien siirtymätodennäköisyydet eli rappeutumismallit.

**Taulukko 11** Elnetin tilakuvaajien siirtymätodennäköisyydet (rappeutumismallit)

Tilakuvaaja	Siirtymä 0->1 / %	Siirtymä 1->2 / %	Siirtymä 2->3 / %
Ukkosjohtimet	1,0	2,0	15,0
Pidikkeet	0,7	1,4	13,2
Orret	0,6	1,2	5,9
Eristimet	0,8	1,7	5,6
Virtajohtimet	0,4	0,8	4,8
Pylvään puuosat	0,8	1,6	11,8
Harusrakenteet	1,3	2,6	4,7
Maadoitus	5,0	5,0	3,0
Perustukset	0,5	1,1	4,4

Verrattaessa tutkittuja (harusrakenteet, perustukset, pylvään puosat) siirtymätodennäköisyyksiä käytössä oleviin Elnetin vastaaviin voidaan todeta, että siirtyminen välillä (1 → 2) ei vastaa nyt laskettua todellista siirtymää. Kunnan heikkenemisen alku- ja loppuvaiheissa siirtyminen vastaa melko hyvin todellisuutta.

Nyt saadut siirtymätodennäköisyydet voisivat tarkoittaa sitä, että varsinainen kunnan heikkenemisen muutosvaihe on suhteellisen suoraviivaisesti etenevää, ja kun eteneminen on päässyt vauhtiin, ei siinä ilmeisesti ole kovin suuria eroja komponenttien välillä. Sen sijaan kunnan heikkenemisen alkuvaiheessa ovat komponenttien väliset erot heikkenemisnopeudessa huomattavasti suurempia. Toisaalta siirtyminen kuntoluokasta kaksi luokkaan kolme saattaa sisältää myös

vastaavantyyppisen mekanismin kuin siirtyminen luokasta nolla luokkaan yksi. Myös tietynlainen saturoituminen asteikon loppupäässä saattaa tulla kyseeseen.

Käytännössä erot saattavat muodostua myös siitä, että vaikka luokituksessa on asetettu selvät kriteerit eri luokkiin sijoittamiselle, näkevät tarkastajat ääripäät hieman eri tavoin, kun taas kunnan heikkenemisen keskivaiheilla näkemykset ehkä yhtenevät helpommin. Joillekin tarkastajille saattaa olla myös tietynlainen kynnys asettaa kunto heikoimpaan luokkaan, mikäli asiasta ei olla täysin varmoja.

Saatujen tulosten perusteella näyttäisi siltä, että siirtymätodennäköisyyksiä tulisi vielä tarkastella ottamalla huomioon kiireellisyysluokkien vaikutukset tilakuvaajien arvoihin. Tällä hetkellä näyttäisi kuitenkin siltä, että Elnetin siirtymätodennäköisyydet ainakin siirtymän 1 → 2 osalta olisi syytä korjata vastaamaan paremmin todellisia arvoja.

### **5.3 Iän vaikutus siirtymätodennäköisyyksiin**

Toisessa vaiheessa selvitettiin komponentin iän vaikutusta siirtymätodennäköisyyksiin. Kohdassa 5.2 esitettyjä tarkasteluja vastaavat tarkastelut tehtiin siten, että jaettiin komponentit iän mukaan ryhmiin.

Tarkastelut suoritettiin seuraavasti:

- Kuntotiedoista muodostettiin kuntolajikohtaisesti kuntoluokkalukumäärät ikäluokittain. Komponentit jaettiin iän mukaisesti ikäluokkiin, joissa kaikki iältään viiden vuoden sisällä (0 - 5 v, 6 - 10 v, 11 - 15 v...) olevat komponentit katsottiin kuuluvaksi samaan ryhmään.
- Alkutilanteen tarkastelut tehtiin kuten kohdassa 5.2, mutta laskettiin lukumäärät ikäluokittain.
- Siirtymätarkastelut tehtiin kuten kohdassa 5.2, mutta komponentit jaettiin viiden vuoden ikäluokkiin.

- Edellisten datojen pohjalta laskettiin siirtymätodennäköisyydet eri kuntoluokille ikäluokittain.

Ikäluokittain lasketut siirtymätodennäköisyydet kuntolajeittain on esitetty taulukoissa 12 - 19. Koska havaintoaineisto ei ole verkon rakentamisen volyymin vaihteluiden vuoksi tasainen eli havainnot ja perusjoukot ikäluokittain vaihtelevat huomattavasti, saattaa laskenta antaa siirtymätodennäköisyyksiksi huomattavan suuria arvoja. Lisäksi alkuperäinen oletus siitä, että kuntoluokka ei muutu yhtä askelta enempää saattaa olla joissain tilanteissa väärä. Tämän vuoksi vertailuaineisto (yhtä alemman kuntoluokan havaintolukumäärä) saattaa olla väärä, koska uusissa havainnoissa on mukana komponentteja tuon aineiston ulkopuolelta eli vertailuaineiston kuntoluokkaa yhtä alemmasta kuntoluokasta. Tämä selittänee muutamassa kuvaajassa näkyvän yli 100 % siirtymätodennäköisyyden, joka ei ole teoriassa mahdollinen.

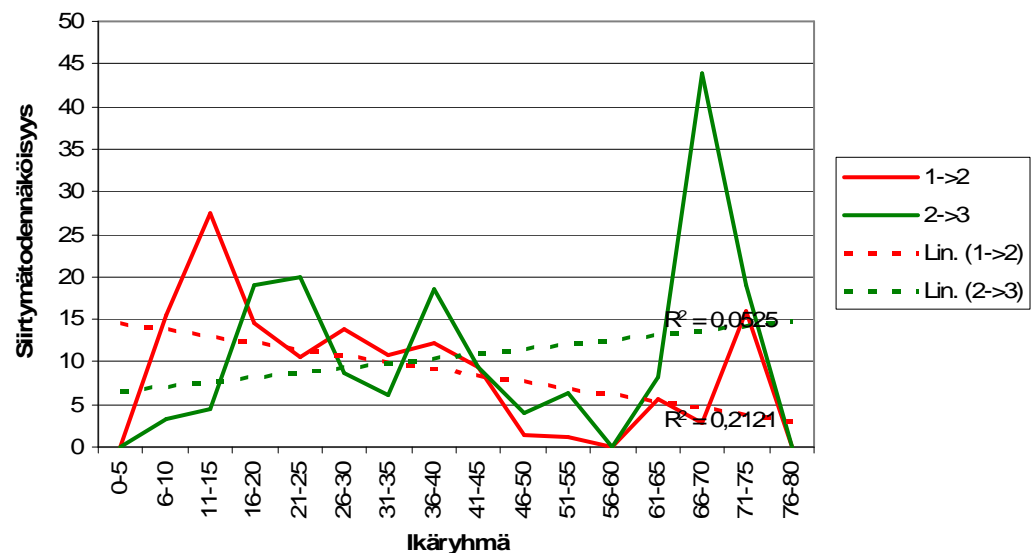
Edellä mainittujen seikkojen johdosta päätettiin ikäluokittaisia siirtymätodennäköisyyksiä tarkastella käyttämällä apuna regressiota. Siirtymätodennäköisyyksien muutoksia komponentin iän funktiona on tarkasteltu kuvissa 15 - 22. Kuviin on piirretty laskettujen arvojen lisäksi logaritmiset termikäyrät, jotka tasoittavat yksittäisten poikkeavien havaintojen vaikutusta, ja osoittavat selkeämmin muutoksen suunnan eli trendin. Käyrät on määritetty käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää. Koska luvussa 5.2 tarkastellut siirtymätodennäköisyydet eri kuntoluokkien välillä osoittivat osaltaan, ettei kyseessä ole lineaarinen riippuvuus, valittiin trendikäyriksi logaritmiset käyrät, joiden uskottiin paremmin kuvaavan kuntoluokan ja sen muutosnopeuden sekä komponentin iän välistä suhdetta. Lisäksi siirtymätodennäköisyyden muutosnopeuden arveltiin olevan iän mukana saman suuntainen eli kuvaajana "sahalaitakuvion" ei arveltu olevan teorian mukainen. Esimerkiksi minkään polynomin käyttämisen trendikäyrän sovitteena ei katsottu tarjoavan mitään todellista etua.



Taulukossa 12 on esitetty kuntolajin 2122 Perustus-Pylväsperustus-Pilari-Rapautunut siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 15.

**Taulukko 12** Kuntolajin 2122 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 2122</b>			
Perustus_Pylväsperustus_Pilari_Rapautunut	1->2	2->3	
0-5	0	0	
6-10	15,5	3,4	
11-15	27,5	4,5	
16-20	14,5	19,1	
21-25	10,6	19,9	
26-30	13,8	8,6	
31-35	10,7	6,1	
36-40	12,1	18,5	
41-45	9,3	9,3	
46-50	1,4	4,1	
51-55	1,2	6,4	
56-60	0	0	
61-65	5,7	8,1	
66-70	2,7	43,8	
71-75	16,0	18,9	
76-80	0	0	



**Kuva 15** Kuntolajin 2122 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmitiset trendikäyrät

Kuvasta 15 voidaan päätellä, että siirtyminen ja siirtymistodennäköisyys (1 → 2) pienenee iän myötä, kun taas siirtyminen ja siirtymistodennäköisyys (2 → 3) kasvaa selkeästi iän myötä. Kokonaisuutena perustusten rapautuminen kuitenkin lisääntyy iän myötä. Samoin siirtymätodennäköisyys kuntoluokkaan kolme kasvaa rakenteen vanhetessa.

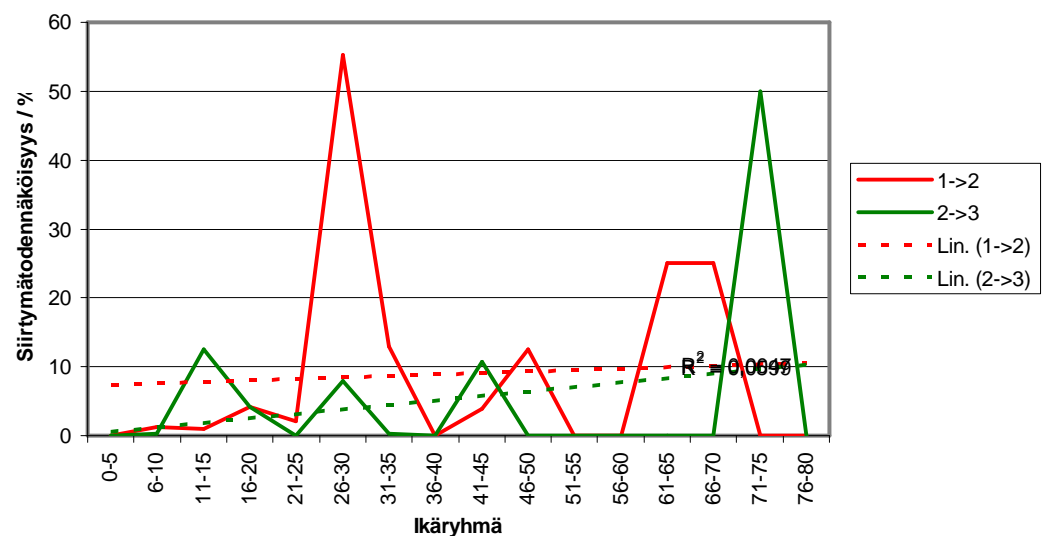
Kuvasta voidaan nähdä, että niissä perustuksissa, jotka alkavat rapautua suhteellisen paljon, perustuksien rapautumisista etenee luokkiin 2 ja 3 melko nopeasti eli jo 20 - 30 vuoden aikana. Vanhojen rakenteiden osalta iän vaikutus näkyy selkeästi eli n. 70 vuoden päästä siirtymisvauhti luokkaan 3 on jo lähes kaksinkertaistunut eliniän alun vauhtiin verrattuna. Täytyy kuitenkin muistaa, että yli 70 vuotta vanhoja rakenteita on melko vähän, joten siirtymätodennäköisyyttä nostaa tietojen vähäinen määrä ja jo muutama siirtyminen kuntoluokkien välillä saa aikaan suuren todennäköisyyden.

Koska siirtymätodennäköisyys luokan kolme osalta kuitenkin kasvaa iän myötä, ei vanhojen rakenteiden kunnonvalvonnasta ja kunnossapitotoimenpiteistä päätettäessä pylväsperustuksen rapautumista voi jättää normaalia vähemmälle huomiolle.

Taulukossa 13 on esitetty kuntolajin 2124 Perustus-Pylväsperustus-Pilari-Halkeama siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 16.

**Taulukko 13** Kuntolajin 2124 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 2124</b>			
Perustus_Pylväsperustus_Pilari_Halkeama		1->2	2->3
<b>0-5</b>		0	0
<b>6-10</b>		1,2	0,3
<b>11-15</b>		1	12,5
<b>16-20</b>		4,2	4,2
<b>21-25</b>		2,1	0
<b>26-30</b>		55,2	7,9
<b>31-35</b>		12,9	0,3
<b>36-40</b>		0	0
<b>41-45</b>		3,9	10,7
<b>46-50</b>		12,5	0
<b>51-55</b>		0	0
<b>56-60</b>		0	0
<b>61-65</b>		25	0
<b>66-70</b>		25	0
<b>71-75</b>		0	50
<b>76-80</b>		0	0



**Kuva 16** Kuntolajin 2124 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmitiset trendikäyrät

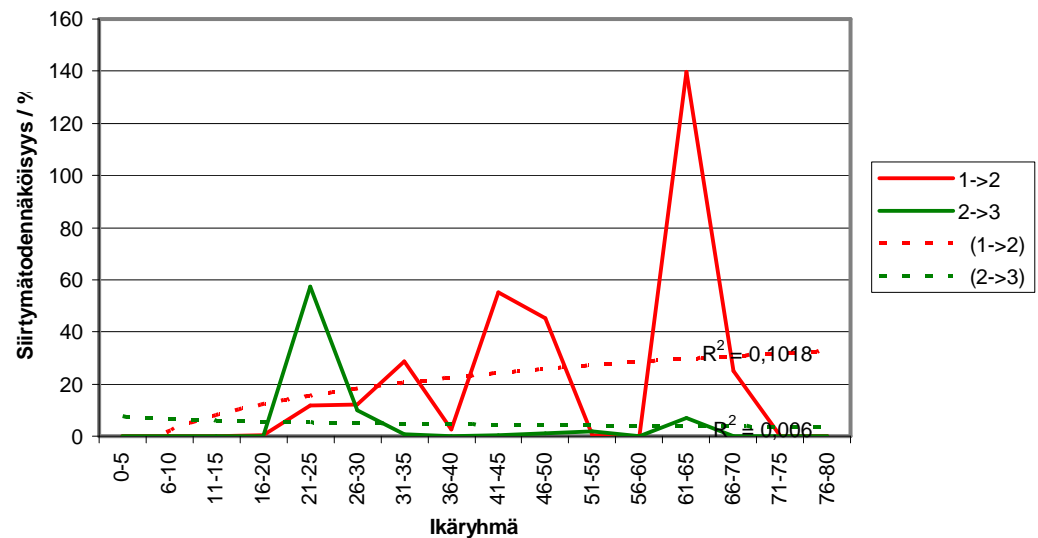
Kuvasta 16 voidaan nähdä, että halkeamien siirtymistodennäköisyys (1 → 2) ja (2 → 3) kasvaa hieman, melko tasaisesti iän myötä. Yli 70 vuotta vanhoilla rakenteilla iän vaikutus ja muutos luokkaan 3 on melko selkeää. Selkeä piikki 30 ikävuoden vaiheilla selittyy tutkittavien tietojen pienestä määrästä, jolloin siirtymäprosentti kasvaa huomattavasti.

Käytännössä siirtymätodennäköisyys ei juurikaan muutu yli 40-vuotiailla rakenteilla eli kuntoluokan muutosnopeus näyttäisi olevan likimain vakio. Tämän pohjalta perustuspilareiden halkeaminen ei näyttäisi vaativan rakenteiden vanhetessa mitään erityishuomiota.

Taulukossa 14 on esitetty kuntolajin 2222 Perustus-Harusperustus-Kaksoisilmukka-Ruoste siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 17.

**Taulukko 14** Kuntolajin 2222 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 2222</b>				
Perustus_Harusperust.	Kaksois.	Ruoste		
			<b>1-&gt;2</b>	
			<b>2-&gt;3</b>	
<b>0-5</b>			0	0
<b>6-10</b>			0	0
<b>11-15</b>			0	0
<b>16-20</b>			0,4	0
<b>21-25</b>			11,8	57,5
<b>26-30</b>			12,3	10
<b>31-35</b>			28,8	0,9
<b>36-40</b>			2,5	0
<b>41-45</b>			55,3	0,4
<b>46-50</b>			45,3	1,1
<b>51-55</b>			0,5	1,7
<b>56-60</b>			0	0
<b>61-65</b>			139,9	6,9
<b>66-70</b>			25	0
<b>71-75</b>			0	0
<b>76-80</b>			0	0



**Kuva 17** Kuntolajin 2222 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

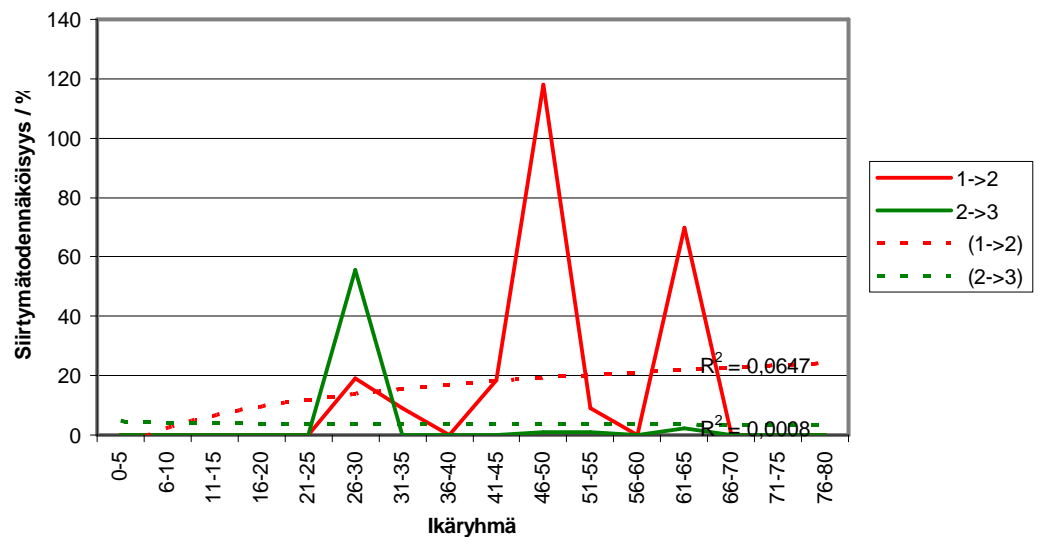
Kuvasta 17 voidaan nähdä, että harusperustusten harusvartaiden ruostuminen kiihtyy iän myötä, mutta siirtyminen (2 → 3) on melko vähäistä. Tämä selittyy sillä, että kuntoluokkaan 2 siirtyneet harusvartaat otetaan mukaan työnsuunnitteluun ja vaihdetaan. Selkeä piikki 25 ikävuoden vaiheilla selittyy tutkittavien tietojen pienestä määrästä, jolloin siirtymäprosentti kasvaa huomattavasti.

Voidaan kuitenkin sanoa, että siirtyminen luokasta yksi luokkaan kaksi on selvästi ikäriippuvaista, ja se tulisi huomioida vanhojen rakenteiden kuntoa ja toimenpiteitä arvioitaessa. Käytännössä vanhoilla rakenteilla siis tarkastus/havainnointi- ja toimenpideväliä ei harusvartaiden osalta näyttäisi olevan syytä pidentää.

Taulukossa 15 on esitetty kuntolajin 2223 Perustus-Harusperustus-Kalliolenkki-Syöpymä siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 18.

**Taulukko 15** Kuntolajin 2223 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 2223</b>			
Perustus_Harusperust._Kalliolenkki_Syöpymä		1->2	2->3
<b>0-5</b>		0	0
<b>6-10</b>		0	0
<b>11-15</b>		0	0
<b>16-20</b>		0	0
<b>21-25</b>		0	0
<b>26-30</b>		19,1	55,6
<b>31-35</b>		9,1	0
<b>36-40</b>		0	0
<b>41-45</b>		18,4	0
<b>46-50</b>		117,9	0,9
<b>51-55</b>		9,1	0,9
<b>56-60</b>		0	0
<b>61-65</b>		70	2,3
<b>66-70</b>		0	0
<b>71-75</b>		0	0
<b>76-80</b>		0	0



**Kuva 18** Kuntolajin 2223 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

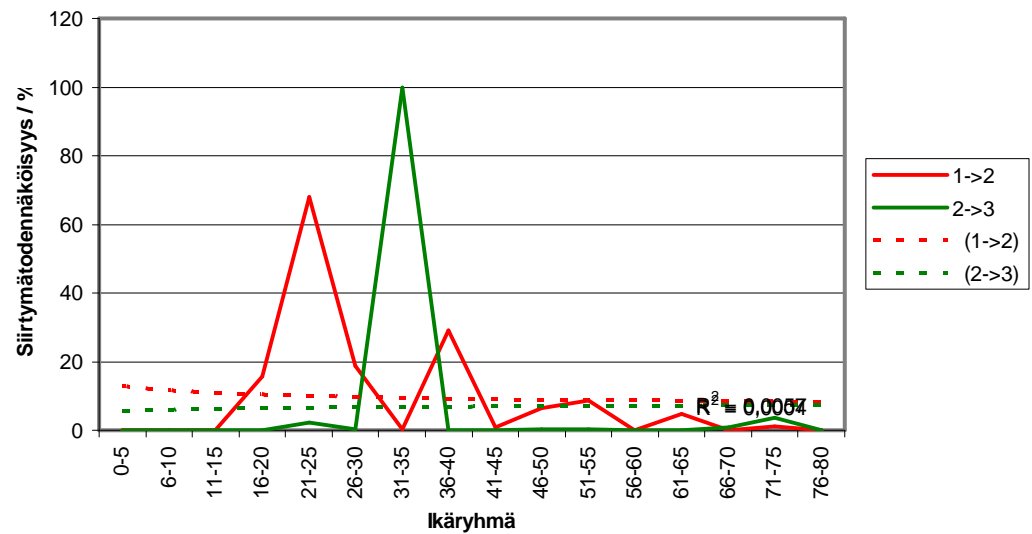
Kuvasta 18 voidaan nähdä, että harusperustusten kalliolenkkien ruostuminen kasvaa iän myötä, mutta siirtyminen (2 → 3) ja siirtymätodennäköisyyden muutos iän myötä on suhteellisen vähäistä. Tämä selittyy sillä, että kuntoluokkaan 2 siirtyneet kalliolenkit otetaan mukaan työsuunnitteluun ja vaihdetaan. Selkeä piikki 30 ikävuoden vaiheilla selittyy tutkittavien tietojen pienestä määrästä, jolloin siirtymäprosentti kasvaa huomattavasti.

Siirtymätodennäköisyyden muutos iän myötä noudattelee osittain harusvartaiden todennäköisyyden muutosta, joskaan vanhenemisen vaikutus todennäköisyyteen ei ole yhtä selkeä. Käytännön toimenpiteet vastaavat kuitenkin pitkälti harausvartaille esitettyä.

Taulukossa 16 on esitetty kuntolajin 3113 Harukset-Harusköysi-Köysi-Ruoste siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 19. Taulukossa 16 ikäluokan 31-35 vuotta siirtyminen (2 → 3) 1350 % on muutettu 100 %, koska yli 100 % siirtyminen on mahdotonta. Tätä arvoa on myös käytetty kuvan 19 kuvaajan piirtämisessä.

**Taulukko 16** Kuntolajin 3113 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 3113</b>		<b>1-&gt;2</b>	<b>2-&gt;3</b>
Harukset_Harusköysi_Köysi_Ruoste			
<b>0-5</b>		0	0
<b>6-10</b>		0	0
<b>11-15</b>		0	0
<b>16-20</b>		15,6	0
<b>21-25</b>		68	2,3
<b>26-30</b>		18,8	0,3
<b>31-35</b>		0,2	(1350) 100
<b>36-40</b>		29,2	0
<b>41-45</b>		0,9	0
<b>46-50</b>		6,3	0,4
<b>51-55</b>		8,7	0,3
<b>56-60</b>		0	0
<b>61-65</b>		4,8	0
<b>66-70</b>		0	0,7
<b>71-75</b>		1,1	3,5
<b>76-80</b>		0	0



**Kuva 19** Kuntolajin 3113 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

Kuten 19 kuvasta voidaan nähdä, että harusköysien ruostuminen ei juuri kasva iän mukana ja ruostumista aiheuttaa ehkä enemmän ilmastolliset rasitukset kuin ikä. Selkeä piikki 35 ikävuoden vaiheilla selittyy tutkittavien tietojen pienestä määrästä jolloin siirtymäprosentti kasvaa huomattavasti.

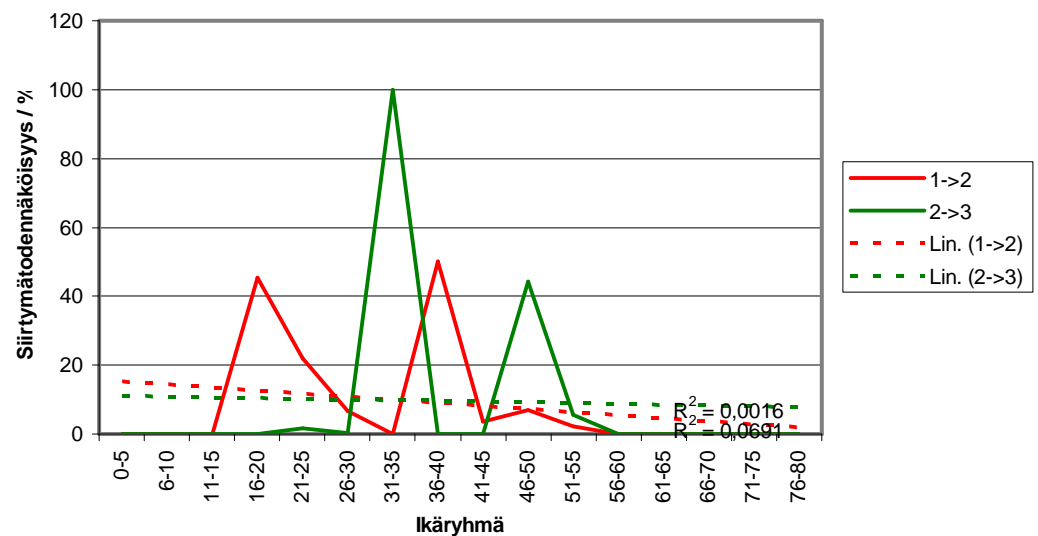
Siirtymätodennäköisyys rakenteiden vanhetessa näyttäisi pienenevän siirtymien 1 → 2 ja 2 → 3 osalta. Siirtymätodennäköisyys siirtymän 1 → 2 osalta näyttäisi olevan korkeimmillaan eliniän keskivaiheilla. Näin siis harusköysien ruostumisen osalta ei näyttäisi olevan tarvetta tehostettuun kunnonvalvontaan, mutta ottaen huomion harusten tärkeyden pylväsrakenteelle, harusten tarkastuksia ei ole syytä vanhoillakaan rakenteilla vähentää.

Taulukossa 17 on esitetty kuntolajin 3212 Harusköysi-Kiilakiristin-U-pultti-Ruoste siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 20. Taulukossa 17 ikäluokan 31 - 35 vuotta siirtyminen (2 → 3) 700 % on muutettu 100 %, koska yli 100 % siirtyminen on mahdotonta. Tätä arvoa on myös käytetty kuvan 20 kuvaajan piirtämisessä.



**Taulukko 17** Kuntolajin 3212 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 3212</b>		<b>1-&gt;2</b>	<b>2-&gt;3</b>
Harusköysi_Kiilakiristin_U-pultti_Ruoste			
<b>0-5</b>		0	0
<b>6-10</b>		0	0
<b>11-15</b>		0	0
<b>16-20</b>		45,5	0
<b>21-25</b>		22,1	1,7
<b>26-30</b>		6,8	0,3
<b>31-35</b>		0	(700) 100
<b>36-40</b>		50	0
<b>41-45</b>		3,5	0
<b>46-50</b>		7	44,4
<b>51-55</b>		2,2	5,7
<b>56-60</b>		0	0
<b>61-65</b>		0	0
<b>66-70</b>		0	0
<b>71-75</b>		0	0

**Kuva 20** Kuntolajin 3212 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

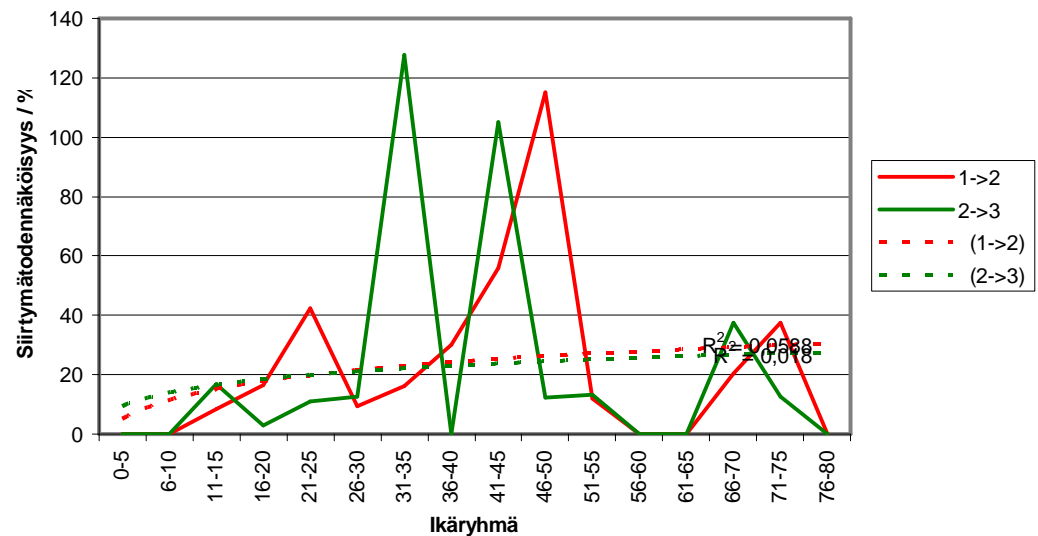
Kuten kuvasta 20 voidaan nähdä, harusköysien kiilakiristimien ruostuminen ei juuri kasva iän mukana ja ruostumista aiheuttaa ehkä enemmän ilmastolliset rasitukset kuin ikä. Selkeä piikki 35 ikävuoden vaiheilla selittyy tutkittavien tietojen pienestä määrästä jolloin siirtymäprosentti kasvaa huomattavasti.

Siirtymätodennäköisyys rakenteiden vanhetessa näyttäisi pienenevän siirtymien 1 → 2 ja 2 → 3 osalta. Siirtymätodennäköisyys siirtymän 1 → 2 osalta näyttäisi olevan korkeimmillaan eliniän keskivaiheilla. Näin siis kiilakiristimien ruostumisen osalta ei näyttäisi olevan tarvetta tehostettuun kunnonvalvontaan. Havaintoaineisto ei kuitenkaan anna kuvaa yli 55-vuotiaiden kiilakiristimien tilanteesta ja ottaen huomion kiilakiristimien tärkeyden pylväsrakenteelle, niiden tarkastuksia ei ole syytä vanhoillakaan rakenteilla vähentää.

Taulukossa 18 on esitetty kuntolajin 5213 Pylväs-Jalka-Pylväspuu-Laho siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 21.

**Taulukko 18** Kuntolajin 5213 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 5213</b>		<b>1-&gt;2</b>	<b>2-&gt;3</b>
Pylväs_Jalka_Pylväspuu_Laho			
<b>0-5</b>		0	0
<b>6-10</b>		0	0
<b>11-15</b>		8,3	16,7
<b>16-20</b>		16,4	2,9
<b>21-25</b>		42,2	11,1
<b>26-30</b>		9,4	12,7
<b>31-35</b>		16,3	127,7
<b>36-40</b>		30,1	0
<b>41-45</b>		55,9	105
<b>46-50</b>		115,1	12,2
<b>51-55</b>		12	13,3
<b>56-60</b>		0	0
<b>61-65</b>		0	0
<b>66-70</b>		20,5	37,5
<b>71-75</b>		37,5	12,5



**Kuva 21** Kuntolajin 5213 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

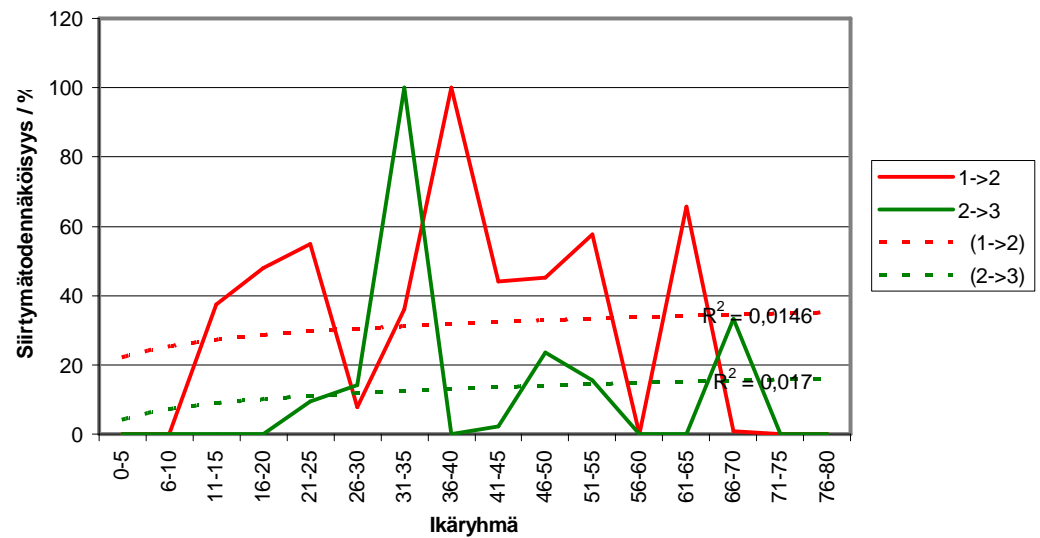
Kuvasta 21 voidaan päätellä, että pylväspuiden lahoaminen lisääntyy iän myötä. Siirtymätodennäköisyys (1 → 2) ja (2 → 3) on selkeästi kovinta ikävuosien 20 – 55 aikana eli puun lahoamien tapahtuu kestopuulle lasketun ajan puitteissa. Siirtymätodennäköisyys on suurin luokan kolme osalta jo 35 vuoden iässä, mikä ei tunnu oikealta aiempien kirjallisuudesta ja käytännöstä saatujen käsitysten valossa. Puupylväille tehdään ensimmäinen lahotarkastus 25 vuoden päästä rakentamisesta ja seuraavat tarkastukset 10 -15 vuoden välein, joten tämä selittää osaltaan korkeat siirtymätodennäköisyydet 30 - 45 vuotta vanhoille pylväille, eli todellista tietoa saadaan vasta tuolloin. Tehtyihin maastotarkastusten kuntoluokkien kirjauksiin on myös vaikuttanut tarkastajien näkemys sekä ammattitaito, joten tehdyt kirjaukset eivät ehkä täysin vastaa todellisuutta.

Kuva osoittaa kuitenkin selkeästi sen, että kunnan heikkenemisnopeus kasvaa pylvään vanhenemisen myötä. Tämä on syytä huomioida elinkaarensa loppuvaiheessa olevan verkon tarkastuksissa ja toimenpiteissä.

Taulukossa 19 on esitetty kuntolajin 5214 Pylväs-Jalka-Pylväspuu-Halkeama siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain. Vastaavat todennäköisyydet on esitetty kuvassa 22. Taulukossa 19 ikäluokan 31 - 35 vuotta siirtyminen (2 → 3) 700 % ja ikäluokan 36 - 40 vuotta siirtyminen (1 → 2) 233,3 % on muutettu 100 %, koska yli 100 % siirtyminen on mahdotonta. Näitä arvoja on myös käytetty kuvan 22 kuvaajan piirtämisessä

**Taulukko 19** Kuntolajin 5214 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

<b>Kuntolaji 5214</b>		
Pylväs_Jalka_Pylväspuu_Halkeama	<b>1-&gt;2</b>	<b>2-&gt;3</b>
<b>0-5</b>	0	0
<b>6-10</b>	0	0
<b>11-15</b>	37,5	0
<b>16-20</b>	47,9	0
<b>21-25</b>	54,8	9,4
<b>26-30</b>	7,7	14
<b>31-35</b>	36,1	(1400) 100
<b>36-40</b>	(233,3) 100	0
<b>41-45</b>	44	2,1
<b>46-50</b>	45,3	23,5
<b>51-55</b>	57,6	15,4
<b>56-60</b>	0	0
<b>61-65</b>	65,6	0
<b>66-70</b>	0,9	33,3
<b>71-75</b>	0	0



**Kuva 22** Kuntolajin 5214 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

Kuvasta 22 voidaan päätellä, että pylväspuiden halkeaminen lisääntyy iän myötä. Siirtymätodennäköisyys (1 → 2) ja (2 → 3) on selkeästi kovinta ikävuosien 25 - 55 aikana eli silloin puiden halkeamista tapahtuu eniten. Puupylväille tehdään ensimmäinen lahotarkastus 25 vuoden päästä rakentamisesta ja seuraavat tarkastukset 10 - 15 vuoden välein, joten tämä selittänee osaltaan korkeat siirtymätodennäköisyydet 30 - 45 vuotta vanhoille pylväille, eli todellista tietoa saadaan vasta tuolloin.

Kuva osoittaa kuitenkin sen, että kunnan heikkenemisnopeus kasvaa pylvään vanhenemisen myötä. Tämä on syytä huomioida elinkaarensa loppuvaiheessa olevan verkon tarkastuksissa ja toimenpiteissä.

## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli luoda menettelytavat, joita noudattamalla voidaan kustannustehokkaasti ylläpitää johtoa sen elinkaaren lopulla eli toisin sanoen tavoitteena oli määrittää, millainen kevennetty kunnossapito eli ”saattohoito” on johdolle tarkoituksenmukaisinta.

Työn teoreettisessa osassa tarkasteltiin johtorakenteiden vanhenemismekanismia. Käytännössä rakenteiden kuntoa ja kunnan muutoksia tutkittiin Elnet-verkkotietojärjestelmään vuosina 2001 - 2005 kerättyjen kuntotietojen avulla. Kunnan muutosta tarkasteltiin kuntoluokkien välisiä siirtymätodennäköisyyksiä analysoimalla. Analyysissä pyrittiin löytämään siirtymätodennäköisyyksien ja verkon iän välillä mahdollisesti oleva yhteys sekä määrittämään ne tekijät, joita on erityisesti tarkkailtava elinkaaren loppupuolella.

Työ osoitti, että iän mukana verkon kunto huononee ja heikkeneminen tapahtuu alkuun päästyään melko suoraviivaisesti. Alussa erot heikkenemisnopeuksissa eri komponenttien välillä voivat olla suuria, mutta ne tasoittuvat iän myötä.

Työn lopussa on analysoitu iän vaikutusta rakenteiden kuntoon sekä esitetty kevennetty kunnossapitomalli elinkaarensa loppupuolella olevalle voimajohdolle.

Fingridin siirtoverkkojen kunnonhallinta on hyvin tehokasta ja eri tekijät hyvin huomioonottava. Verkon eliniän maksimaalinen hyödyntäminen ja kunnossapitokustannusten minimoiminen on kuitenkin tärkeää verkon yhä ikääntyessä. Kunnossapidon tason laskeminen kuitenkin aina lisää ”riskiä” ja on aina mietittävä tarkoin onko riskinotto kannattavaa tai onko se hallittua.

### 6.1 Iän vaikutus verkon kuntoon

Tehtyjen analyysien pohjalta iällä näyttää selkeästi olevan merkitystä rakenteiden kuntoon. Iän merkitys ei kuitenkaan ole kaikkien rakenneosien osalta ratkaiseva,

koska pääosa voimajohdon heikoista komponenteista havaitaan jo paljon ennen kuin johto saavuttaa elinkaarensa lopun ja nämä havaitut viat korjataan kunnossapidossa.

Pylväsperustusten osalta voidaan todeta, että pahimmat vauriot tapahtuvat jo 10 - 30 vuotta rakentamisesta ja ne korjataan kunnossapidossa, joten perustusten osalta tuskin tulee ongelmia elinkaaren loppupäässä. Vaurioitumattomat terveet betoniperustukset kestävät hyvin iän rasitukset ja tällaisten terveiden perustusten vaurioituminen on suhteellisen hidasta. Normaali kunnonvalvonta vanhojen rakenteiden pylväsperustuksen osalta on riittävää.

Harusvartaiden syöpyminen tapahtuu melko hitaasti ja kunnossapito on hoitanut esiin tulleet pahimmat tapaukset. Harusvartaiden osalta ei kuitenkaan voida olla täysin varmoja niiden todellisesta kunnosta, koska harusvartaat sijaitsevat maan alla ja ilman maan kaivua niiden kuntoa ei voida luotettavasti todeta. Harusvartaiden todellisen kunnan selvittäminen vaatii rakenteen erikoistarkastusta.

Harusköysien ja kiilakiristimien ruostuminen ei juuri kiihdy iän mukana ja ruostumista aiheuttaa enemmän ilmastolliset rasitukset kuin ikä, joten ruostuminen osataan ottaa huomioon siellä missä on tarvetta. Normaali kunnonvalvonta riittää.

Pylväspuiden osalta voidaan todeta, että pahimmat vauriot tapahtuvat 25 - 50 vuotta rakentamisesta. Ensimmäinen lahotarkastus tehdään 25 vuotta rakentamisesta ja seuraavat 10 - 15 vuoden välein tai jopa aikaisemmin vaurioiden laajuudesta sekä vakavuudesta riippuen. Ensimmäisen lahotarkastuksen jälkeen tulee esiin kaikki heikkolaatuisen materiaalin aikaansaamat virheet. Kun pylväiden kunto on lahotarkastuksissa todettu ja arvioitu elinkaarensa loppupäässä olevilla johdoilla, normaali kunnonvalvonta riittää.

## 6.2 Saattohoito

Elinkaarensa lopulla olevien voimajohtojen tarkastuksia ei pidä vähentää vaan ne tulee pitää vähintään samalla tasolla muiden voimajohtojen tarkastusten kanssa.

Ennen kuin johto jätetään ”kevennettyyn” kunnossapitoon tulee tehdä seuraavat erikoistarkastukset:

- Puuosat lahotarkastetaan ellei tarkastustulokset ole tiedossa lähiajalta. Samassa tarkastuksessa tarkastetaan harusköysien ja kiilakiristimien kunto.
- Harusvartaiden ja kalliolenkkien kunto tarkastetaan kaivamalla pistokokein eli varmistetaan vastaako todellinen kunto tiedossa olevia kunto- ja kiireluokituksia.

Edellä mainittujen tarkastusten perusteella korjataan kaikki kiire-3-viat ja arvioidaan, tarvitseeko johto erikoistarkastusta vielä jossain elinkaarensa loppupäässä. Korjauksien osalta ei enää vaihdeta komponentteja, jos mahdollista vaan ne pyritään vahvistamaan niin, että ne kestävät noin 10 - 15 vuotta eteenpäin. Varoituskilvet korjataan vain liikennereittien, ulkoilureittien ja pihalueiden lähellä eli siellä missä ihmisiä oleskelee tai liikkuu satunnaista enemmän. Lentotarkastuskilpiä ei korjata.

Tämän jälkeen korjataan vain maastotarkastuksissa havaitut ympäristölle vaaralliset ja käyttövarmuuden vaarantavat viat.



### 6.3 Jatkotutkimustarpeet

Työssä tarkasteltiin kuntoluokkien pohjalta keskeisten rakenneosien kunnan muuttumista. Tarkastelun ulkopuolelle jäivät kuitenkin osat, joista ei löytynyt riittävästi tilastoituja kuntotietoja. Tarkemman tarkastelun ulkopuolelle jäi muun muassa teräksiset ukkosjohtimet, eristimien ripustinvarusteet sekä virtajohtimien alastulo- ja välijohtimien liitokset. Näiden mainittujen komponenttien kunnan kehittymistä olisi hyvä jatkossa selvittää.

Kevennettyä kunnossapitoa ja saattohoitoa ajatellen olisi jatkossa syytä tutkia myös niitä vikoja, joille annetaan ainoastaan kiireluokitus. Mielenkiintoista olisi selvittää, miten näiden usein on/off - tyyppisten vikojen esiintymistaajuus muuttuu verkon vanhetessa. Nämä tiedot yhdessä, nyt kuntoluokkien avulla selvitettyjen seikkojen kanssa, loisivat hyvän pohjan lopullisen saattohoito-ohjeistuksen laatimiselle.

**LÄHDELUETTELO**

- 1 Fingrid Oyj. [www-sivu] [viitattu 20.11.2006] Saatavissa:  
[Fingrid - Kantaverkko](#)
- 2 Elovaara , J. Laiho, Y. Sähkölaitostekniikan perusteet.1993.  
Otatieto s. 487 s.
- 3 Fingrid Oyj. [www-sivu] [viitattu 20.11.2006] Saatavissa:  
[Fingrid - Yritys](#)
- 4 Fingrid Oyj. [www-sivu] [viitattu 20.11.2006] Saatavissa:  
[Fingrid - Pylväät](#)
- 5 Tarjouspyyntö 23.5 2005. Fingrid Oyj:n voimajohtojen  
peruskunnossapito 2006- 2008
- 6 KTMp 517/196 Sähkölaitteistojen käyttöönotto ja käyttö
- 7 Fingrid Oyj. Voimajohtotarkastajan käsikirja,  
Voimajohtojen maasto ja lentotarkastukset
- 8 Fingrid Oyj. Voimajohtotarkastajan käsikirja,  
Voimajohtojen tarkastustietojen kirjaus
- 9 Tiennäyttäjä. [www-sivu] [viitattu 20.12.2006] Saatavissa:  
<http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/7006.PDF> s. 24
- 10 Korroosio. [www-sivu] [viitattu 16.11.2006] Saatavissa:  
[Korroosio – Wikipedia](#)  
Duquette, D. Electrochemical Principles of Corrosion,  
Encyclopedia of Materials, Elsevier, Oxford 2001

**TAULUKKOLUETTELO**

- 1 Voimajohtojen peruskunnossapitosopimuksen mukaiset työalueet ja alueilla sijaitsevan verkon pituus
- 2 Tilakuvaajat
- 3 Betonisosien kuntoluokitus
- 4 Puusosien kuntoluokitus
- 5 Teräksisten pylväsosien kuntoluokitus
- 6 Harusten ja johtimien kuntoluokitus
- 7 Korjauksen kiireellisyysluokitus
- 8 Esimerkki rapautuneen pylväsperustuksen kirjaamisesta
- 9 Kuntoluokkien väliset siirtymätodennäköisyydet
- 10 Kuntoluokkien väliset siirtymätodennäköisyydet ryhmittäin verrattaessa
- 11 Elnetin tilakuvaajien siirtymätodennäköisyydet (rappeutumismallit)
- 12 Kuntolajin 2122 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 13 Kuntolajin 2124 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 14 Kuntolajin 2222 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 15 Kuntolajin 2223 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 16 Kuntolajin 3113 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 17 Kuntolajin 3212 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 18 Kuntolajin 5213 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain
- 19 Kuntolajin 5214 siirtymätodennäköisyydet ikäluokittain

**KUVALUETTELO**

- 1 Periaatekuva Suomen sähköjärjestelmästä
- 2 Suomen kantaverkko vuonna 2005
- 3 Fingrid Oyj:n voimajohtojen ikäjakauma
- 4 Voimajohdon pääosat
- 5 Vapaasti seisova voimajohtopylväs
- 6 Harustettu 400 kV voimajohtopylväs
- 7 Esimerkki betoniosien luokituksesta
- 8 Uudet kuntotiedot vuosina 2000 - 2005
- 9 Maadoituksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005
- 10 Eristimiin ja eristinvarusteisiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005
- 11 Johtimiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005
- 12 Pylväisiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005
- 13 Haruksille kohdistuneet viat vuosina 2000 - 2005
- 14 Perustuksiin kohdistuvat viat vuosina 2000 - 2005
- 15 Kuntolajin 2122 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät
- 16 Kuntolajin 2124 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät
- 17 Kuntolajin 2222 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät
- 18 Kuntolajin 2223 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät

- |    |   |
|----|---|
| 19 | Kuntolajin 3113 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät |
| 20 | Kuntolajin 3212 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät |
| 21 | Kuntolajin 5213 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät |
| 22 | Kuntolajin 5214 siirtymätodennäköisyydet ja vastaavat logaritmiset trendikäyrät |