

SÄHKÖNJAKELUVERKON KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMISPROJEKTI

Projektin loppuraportti

Lapin Ammattikorkeakoulun Verkko-projekti

Oikkonen Joonas

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Teknologia osaamisen johtamisen koulutusohjelma
Insinööri (YAMK)

2014

Tekniikan ja liikenteen ala
Teknologia osaamisen johtamisen
Koulutusohjelma

Tekijä	Joonas Oikonen	Vuosi	2014
Ohjaaja	Veikko Kärnä		
Toimeksiantaja	Rovaniemen Energia Oy		
Työn nimi	Sähkönjakeluverkon kunnossapidon kehittämisprojekti		
Sivu- ja liitemäärä	114 + 17		

Opinnäytetyö toimii loppuraporttina Rovaniemen Energia Oy:lle tehdyssä organisaation kehittämisprojektissa. Kehittämiskohteena oli sähkönjakeluverkon kunnossapito. Painotus on kuitenkin johtamisen näkökulmassa. Etsitään kustannustehokkaita, oikein kohdistuvia toimia, joilla kunnossapitoa voidaan kehittää. Tehty projekti toimii myös Lapin Ammattikorkeakoulun Verkko-projektin Start Up – projektina.

Projekti on toteutettu työelämän tutkimuksellisen kehittämisen menetelmillä. Projektin toteutukseen on osallistunut useita Rovaniemen Energian ja Verkon henkilöitä. Osa projektin tietoperustasta nousee projektihenkilöstön omista kokemuksista ja osaamisesta.

Projektissa käydään läpi tarkastuksia, mittauksia ja korjauksia. Tutkitaan jakeluverkon vikojen syntymekanismeja, kartoitetaan keinoja niiden tehokkaaseen haarukointiin sekä etsitään järkeviä korjaus- ja kunnossapitotoimenpiteitä. Toimenpiteille muodostetaan hinnastot.

Projektissa tutkitaan RCM-strategian soveltamista sähkönjakeluverkon kunnossapitoon ja sen yhdistämistä RBM-strategian mukaiseen taulukointiin. Taulukon kunto- ja tärkeysindeksien määrittämiseksi etsitään teoriapohjaa. Taulukoinnin loppuun saattaminen jätetään alkavaan Verkko-projektiin.

Organisoinnilla on oleellinen vaikutus kunnossapidon tehokkuuteen sekä kustannuksiin, joten projektissa tutkitaan myös organisointia. On tärkeää määrittää, mihin ajanjaksoon kunnossapitotyöt on järkevä kohdistaa.

Työn viimeisessä kohdassa testataan organisoinnin, määriteltyjen toimenpiteiden ja hinnaston toimintaa mahdollisimman realistisella budjetoinnilla. Tällä todennetaan hinnaston toimivuus.

Avainsanat Sähkönjakeluverkko, kunnossapito, RBM-strategia ja RCM-strategia

Lapland University of Applied Sciences
Leadership of technological knowledge

Author	Joonas Oikkonen	Year	2014
Supervisor(s)	Veikko Kärnä		
Commissioned by	Rovaniemen Energia Oy		
Subject of thesis	Development project for the maintenance of the grid		
Number of pages	114 + 17		

Thesis is a final report for organisation development project that was made in Rovaniemen Energia. Main subject for project was to develop the maintenance of the grid. The project is made from the leadership point of view. Studies are trying to find cost-effective ways to develop the maintenance. This project is also the Start Up project for a Verkko project of the University of Applied Sciences.

Research method that is used in this project is the research-oriented method of working life development. A lot of employees of Rovaniemen Energia have taken part for the project. Therefore some of the knowledge base of this project comes from the experience and the knowledge of the employees.

The project goes through grid inspections, measurements and corrigenda. The studies try to find the mechanism behind the failures and also ways to measure and predict problems before they cause the failure. Prices-list is also made for these measurements.

The project studies application of RCM-strategy for the grid and combining it to RBM-tabulation. To build the tabulation, the project searches background theory for health-index and priority-index. Accomplishment of the RBM-tabulation is a task for the Verkko project.

Organisation has essential effect for performance and the costs of the maintenance. That is why studies also include organisation research and on-the-job supervision. It is important to define the periods of the effective maintenance.

On the last chapter the prices-list and the ways of the maintenance are being tested with making of the budget. With this budget, the success of the project is being verified.

Key words

Grid, maintenance, RBM-strategy and RCM-strategy

SISÄLTÖ

1 PROJEKTIN TAUSTA.....	6
1.1 KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMISTARPEEN TAUSTAT.....	6
1.1.1 Yhteistoimintamenettely	8
1.1.2 Rovaniemen Verkko Oy:n näkökulma	9
1.2 ENERGIAN SISÄISEN KEHITTÄMISPROJEKTIN YHTEYS LAPIN AMMATTIKORKEAKOULUN VERKKO-PROJEKTIIN.....	10
1.3 PROJEKTIN TOTEUTTAMISEN MENETELMÄT.....	11
1.3.1 Työelämän tutkimuksellinen kehittäminen.....	11
1.3.2 Työn rakenteellinen kokoonpano.....	13
2 PROJEKTIN KUVAUS JA SUUNNITTELU.....	14
2.1 PROJEKTIN MÄÄRITELMÄT	14
2.1.1 Projektin tulostavoitteet	14
2.1.2 Rajaus ja liittymät	14
2.2 PROJEKTIORGANISAATIO.....	14
2.2.1 Projektiryhmä (OBS, Organisation Breakdown Structure).....	14
2.2.2 Ohjausryhmä.....	15
2.3 TOTEUTUSSUUNNITELMA.....	16
2.3.1 Ositus (WBS, Work Breakdown Structure)	16
2.3.2 Tehtäväjärjestys	17
2.4 OHJAUSSUUNNITELMA	19
2.4.1 Kokoussuunnitelma ja aikataulu	19
2.4.2 Tiedottaminen ja sitouttaminen.....	19
2.4.3 Valvonta ja raportointi.....	20
3 PROJEKTIN ETENEMINEN	21
3.1 TARKASTUKSET.....	21
3.1.1 Tarkastuksiin vaikuttavat verkostosuosituks ² ja lait.....	21
3.2 MITTAUKSET ELI VERKON KUNNON DIAGNOSOINTI	23

3.2.1 Määritelmät vialle	24
3.2.2 Vikataajuudet.....	34
3.2.3 Vikojen yleisimmät aiheuttajat ja kriittiset kohteet maakaapeliverkossa	38
3.2.4 Kaapeleiden eristeen rappeutuminen ja sen vaikutukset.....	41
3.2.5 Puupylväiden lahoaminen	46
3.2.6 Muuntajien ikääntyminen.....	48
3.2.7 Vian hakuun ja kunnossapitoon tarkoitettuja laitteita ja mittausmenetelmiä	50
3.3 KORJAUKSET	57
3.4 RCM -STRATEGIA.....	58
3.4.1 Kunnossapitoon liittyvät termit ja käsitteet.....	58
3.4.2 RCM-strategia yhdistettynä konsernin visioon ja strategiaan	63
3.4.3 RBM-taulukoinnin toteutus osana RCM-strategiaa.....	66
3.4.4 Tärkeysindeksien määrittely	68
3.4.5 Kuntoindeksien määrittely	73
3.5 TRIMBLE MMS-JÄRJESTELMÄ.....	75
3.5.1 MMS kunnossapitosovelluksen kuvaus	75
3.5.2 Tarkastukset MMS-järjestelmään	77
3.5.3 Korjaustoiminnallisuus.....	77
3.6 KUNNOSSAPIDON ORGANISOITUMINEN.....	78
3.7 TYÖJÄRJESTELYIDEN GANTT-KAAVIO	84
4 PROJEKTIN TULOKSET	86
4.1 TARKASTUKSET.....	86
4.1.1 Pj-kuntotarkastus.....	86
4.1.2 Kj-kuntotarkastus.....	89
4.1.3 Muuntamotarkastus	90

4.1.4 Sähköasematarkastus.....	92
4.1.5 Lahotarkastus.....	92
4.2 KORJAUKSET JA HUOLTO.....	93
4.2.1 Pj- ja Kj-verkko	93
4.2.2 Muuntamot	94
4.2.3 Lahopylväät.....	96
4.2.4 Raivaus	97
4.3 MITTAUKSET	97
4.3.1 Sähkönlaatu	98
4.3.2 Lämpökamera	98
4.3.3 Kuormitusmittaus.....	98
4.3.4 Eristysvastus- ja oikosulkuvirranmittaukset	99
4.3.5 Maadoitusmittaus	99
4.3.6 Akustojen mittaus	99
4.4 RAPORTOINTI, MITTARIT JA TYÖNOHJAUS.....	100
4.4.1 Päivystysraportit	100
4.4.2 Toiminnan ohjaus	101
4.4.3 Huolto- ja tarkastuskierto.....	103
4.5 TALOUS.....	105
4.5.1 Yksikkökustannukset.....	105
4.5.2 Budjetointi.....	105
5 POHDINTA.....	107
5.1 PROJEKTIA SEURAAVAT JATKOTUTKIMUKSET	107
5.2 HYÖDYNNETTÄVYYS NAPAPIIRIN VEDEN KUNNOSSAPITOON	107
LÄHTEET	110
LIITTEET	115

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

EV	Energiavirasto
ICT	Information and Communication Technology
KJ-	Keskijännite, 1000V-35kV
KTM	Kauppa- ja teollisuus ministeriö
mmo	muuntamo
Mobile	MMS-järjestelmän maastokannettava
MMS	Maintenance management system, Trimble NIS verkkotietojärjestelmän kunnossapitosovellus
NIS	Trimblen verkkotietojärjestelmä
PJ-	Pienjännite, alle 1000V vaihtojännitteellä
RBM	Reliability Based Maintenance
RCM	Reliability Centered Maintenance
RTF	Run To Failure
TDR	Time Domain Reflectometry
VVA	Vikavaikutus analyysi

1 PROJEKTIN TAUSTA

1.1 Kunnossapidon kehittämistarpeen taustat

Projektin tavoitteena on Rovaniemen Energian sähköverkon kunnossapidon kehittäminen. Yhtiön konsernirakenteesta sekä monopoliasemasta johtuen tämä ei ole aivan yksiselitteinen tehtävä. Yksi Projektin tavoitteista on yhteisten pelisääntöjen luominen Rovaniemen Verkon kanssa siten, että Energiaviraston asettamat rajat ja hyödyt huomioidaan. Kunnossapidolle luodaan hinnasto sekä kunnossapitotöiden Gantt-kaavio, joka helpottaa budjetointia sekä Verkon että Energian puolella. Hinnasto toimii myös perustana konsernin ulkopuoliselle urakoinnille. Gantt-kaavion tarkoitus on myös selkeyttää asentajien työtä ja se sidotaan osaksi rakentamista koko asentajakunnalle. Pyrkimyksenä on luoda kokonaisvaltaisesti kustannustehokas toimitapa, jossa kaikki epäoleellinen riisutaan pois.

Energiavirasto valvoo ja ohjaa sähkön siirron monopolitoimintaa. Se kuuluu Työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalaan ja toteuttaa valvontatehtäväänsä yhteistyössä ministeriön, kilpailuviraston ja muiden viranomaisten kanssa. Sen tehtäviin kuuluu valvoa sähköverkkotoimintaa, siirtohinnoittelua ja sähkömarkkinan noudattamista, myöntää toimilupia, kerätä ja julkaista sähkömarkkinoihin liittyvää tietoa sekä neuvoa yrityksiä ja asiakkaita. EV:n valvontamallissa projekti rajataan laatu- ja tehostamiskannusteisiin.

Energian käytössä on Trimble NIS, joka on verkon suunnitteluun ja hallintaan luotu verkkotietojärjestelmä. Uusimpana lisäominaisuutena on MMS-järjestelmä. MMS mahdollistaa kuntotietojen lisäämiseen verkon komponenteille, työnohjauksen sekä verkkotiedon viemisen maastoon. Tällä hetkellä tilanne on sellainen, että Energialla on välineet ja järjestelmä, mutta niiden käyttö on vähäistä. Tähän vaikuttavat mm. työkuultuuri, toimitavat ja järjestelmän käyttöönoton haasteet. Projektissa hyödynnetään ”Trimble NIS”-järjestelmään kerättyä tietoa luotettavuuspohjaisen kunnossapitojärjestelmän luomiseen.

Kunnossapito voidaan jakaa karkeasti kahteen eri tasoon: ehkäisevään ja korjaavaan. Ehkäisevällä kunnossapidon tasolla voidaan määrittää kaksi eri lähestymistapaa, kuntoon perustuva sekä aikaan perustuva. Kokonaisvaltaisessa kunnossapidossa pyritään hyödyntämään nämä molemmat tasot ja niiden variaatiot. Tietoperustaa hyödyntämällä luodaan luotettavuus keskeinen kunnossapitostrategia (RCM, reliability centered maintenance). Myöhemmin RCM-

strategia. Perusajatus on tutkia komponenttien vika-vaikutus malleja, sekä luoda jokaiselle komponentille tärkeys ja kuntoindeksi. Tietoperusta tullaan keräämään MMS-järjestelmää hyödyntäen. Tärkeys- ja kuntoindeksien pohjalta voidaan ristikoimalla muodosta prioriteettitaulukko, joka toimii pitkäaikaisen kunnossapidon suunnittelun pohjana. Tämä taulukko tullaan luomaan QlikView-ohjelmiston pilottina.

Budjetoinnin osalta pyritään rakentamaan kustannusrakenteelle raamit kahdelle seuraavalle Energiaviraston valvontajaksolle. Nämä raamit muodostetaan työjaksojen Gantt-kaavion, luotettavuus keskeisen kunnossapitostrategian sekä yksikköhinnointeluun pohjautuvan kunnossapidon töiden määräärvion perusteella. Trendien rakentaminen kunnossapidon toiminnoille talousjärjestelmässä on myös osa raameja.

Mittaukset ja vikojen paikannus ovat oleellinen osa kunnossapitoa. Projektissa selvitetään mittausmenetelmien ja laitteiden hyödyntäminen osana tehokkaan kunnossapidon maksimointia. Mittauksen tuottamaa tietoa pyritään hyödyntämään RCM-strategiassa. Mittaukset ovat myös tärkeä hinnoittelun kohde ulkoisessa urakoinnissa, koska se vaatii erityisosaamista ja -laitteita. Mittauksia ovat mm. sähkölaatu-, kuormitus- ja eristysvastusmittaus. Selvitetään myös oikosulku- ja silmukkaimpedanssimittauksen sekä osittaispurkausmittausten hyödyntämisen mahdollisuuksia.

Projektin ensisijainen tarkoitus on kunnossapidon järjestelmällinen kehittäminen. Tähän haetaan näkemyksiä automaatio puolen kunnossapidosta, etenkin tutkitaan RCM-strategian hyödyntämisen mahdollisuuksia. Projektilla ei suoraan haeta henkilöstön ammattiosaamisen kehittämistä, vaan enemmänkin toimintamallien tehostamista sekä kartoitetaan uusia menetelmien kunnossapitoon. Projektilla lähdetään hakemaan parannusta seuraaviin strategisiin päämääriin: kunnossapito liiketoiminnan kassavirtojen ennustamiseen ja parantamiseen, palveluiden kilpailukykyinen ja läpinäkyvä hinnoittelu, kunnossapidon menetelmien kehittäminen sekä kumppanuuksien kehittäminen. Kunnossapidolle luodaan myös oma strategia, jossa huomioidaan konsernin strategian jalkautuminen.

1.1.1 Yhteistoimintamenettely

Kunnossapidon kehittämisen tarpeisiin vaikuttavat useat tekijät, yksi niistä on konsernissa läpi käyty yhteistoimintamenettely. Rovaniemen Energia käynnisti yhteistoimintamenettelyt 23.9.2013. Yhteistoimintamenettelyn tavoitteeksi valittiin toiminnan tehostaminen ja kehittäminen siten, että vuoden 2014 tulosparannus Energian konsernilla on 800 k€ ja 900 k€ jaksole 2015–2017. Tämän lisäksi toimintaprosesseja, organisaatiota ja resursseja on parannettava siten, että ne hyödyntävät paremmin hankittuja tietojärjestelmiä. Talusjohtaminen ja tietojärjestelmien merkitys todettiin korostuvan. Tarkastelun alle valittiin muun muassa seuraavia asioita: työehtojen mukainen työtuntikirjaus, tilojen muuttaminen tehokkuutta tukeviksi, lomajaksot ja -järjestelyt, ulkopuolisten palveluiden supistaminen, organisaation tehostaminen, tukitoimintojen ulkoistaminen ja henkilöstön määrä suhteessa kannattavuuteen. (Rovaniemen Energia 2013b, 1-2.)

Yhteistoimintamenettelyn julistamisen jälkeen konsernin jokaisessa yksikössä valittiin yt-työryhmä, jonka tehtävänä oli miettiä, miten toimintaa voitaisiin tehostaa. Sähköverkon rakentaminen, kunnossapito ja suunnittelu toimivat yhtenä yksikkönä, jonka ryhmään kuului 9 henkilöä: 3 esimiestä, ICT vastaava, henkilöstöpäällikkö, suunnittelija, 2 asentajaa sekä asentajien luottamusmies. Työryhmän kokoontumisten pohjalta laadittiin loppuraportti, jossa peräänkuulutettiin kärkimiesroolin vahvistamista, lomien parempaa järjestelyä, erinäisiä työjärjestelyitä, töiden suunnittelun tehostamista, pikatilauksille oma hintansa, työnohjausjärjestelmän käytön tehostaminen, taukotupien hyödyntäminen työmailla, työvaatteiden säästeliäämpi käyttö ja palveluiden tuotteistaminen. (Rovaniemen Energia 2013a, 1-2.)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä kunnossapidon kehityshanke käynnistyi projektina vasta yhteistoimintamenettelyiden loputtua rakentamis-, kunnossapito- ja suunnitteluyksikön osalta. Koko organisaation osalta yhteistoimintamenettely päättyi vasta 10.6.2014. Käydyillä yt-neuvotteluilla oli suuri roolia projektin tavoitteiden osalta. Yhteistoimintamenettelyn loppuraportista voidaan kunnossapidon kehittämiseen katsoa liittyvän seuraavat kohdat:

1. Konsernin sisällä tehdään kaikki mahdolliset työt itse, kilpailukykyiseen hintaan. Käytännön tasolla tämä tarkoittaa kunnossapidon osalta:
 - a. töiden tarkempaa kohdistamista ja turhien töiden karsimista
 - b. kunnossapidon siirtymistä ennakoiwaan kunnossapitoon

- c. hinnaston luonti budjetoinnin perustaksi ja ulospäin markkinointiin
- 2. Kärkimiehen roolin vahvistaminen
- 3. Töiden järjestely siten, että ylitöiden osuus jää mahdollisimman pieneksi.
 - a. aggregaatin tehokas hyödyntäminen huoltotöissä
- 4. Tilaaja-tuottaja mallin yhteistyön lisääminen
 - a. sovitaan yhteisesti tulevan vuoden kunnossapitotöistä ja pidetään yhteispalavereita
 - b. yhteinen toimintamalli (RCM)
- 5. Kaikkien hankittujen järjestelmien tehokas hyödyntäminen
 - a. Tarkastukset ja korjaukset tehdään maastokannettavilla MMS-järjestelmään
 - b. Headpoweriin määritellään hinnasto ja työmäärät
 - c. Headpowerissa työnohjauksen tehostaminen ja kalenterin käyttö
 - d. DMS-raportointi määräaikaistarkastusten pohjaksi
 - e. SCADA:n tehokas hyödyntäminen vian paikannukseen

1.1.2 Rovaniemen Verkko Oy:n näkökulma

Tilaaja-tuottaja mallin mukaisesti Rovaniemen Verkko Oy omistaa verkko-omaisuuden ja Rovaniemen Energia tuottaa palvelut rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyen. Verkon haltijan näkökulma on keskeinen kunnossapidon kehittämisen kannalta.

Verkon haltijaa rajoittaa viranomaisen valvontamalli, joka laskennallisesti asettaa tietyt raamit operatiivisille kustannuksille. Valvova viranomainen on energiavirasto. Emoyhtiön, eli Rovaniemen Energian, Verkolle myymistä palveluista operatiivisten kustannusten osuus on noin 73 %, joten Verkon näkökulmasta leikkauspaine kohdistuu suurelta osalta emoyhtiön palveluihin. Operatiivisista kustannuksista noin 40 % kuuluu kunnossapitoon. Tämä tekee kunnossapidosta merkittävän kuluerän, jonka kehittämiseen kohdistuu kova paine. Mikäli Verkko ei pääse valvontamallin puitteisiin, rajan ylittävä osa rupeaa syömään liiketoiminnasta saatavia voittoja. Pitkällä juoksulla tämä näkyy kassassa, ja sitä kautta rahavarat heikkenevät, ja investointien rahoitus muodostuu haasteelliseksi. Valvontamallissa keskeytysaikojen merkitys on korostunut, sillä keskeytysten määrän ja ajan lisääntyminen rupeaa myös leikkaamaan laskentamallissa saatavaa voittoa. Valvontamalli ohjaa myös jakamaan investointien ja kunnossapidon osuudet entistä tarkemmin. Operatiivisissa kustannuksissa ei laske sitä työtä, joka katsotaan investoinniksi. Tämä tarkoittaa, että mitä enemmän pystytään tekemään investointeja kunnossapidon sijaan, sitä paremmalta val-

vontamalli näyttää. Tämäkin seikka edellyttää kunnossapidon ja investointien rajapintojen tarkempaa erottelua ja täten kunnossapidon kehittämistä.

1.2 Energian sisäisen kehittämisprojektin yhteys Lapin Ammattikorkeakoulun Verkko-projektiin

Kaikki lähti liikkeelle Rovaniemen Energian tarpeesta kehittää sähköverkon kunnossapitoa. Työtä on tehty Energian sisäisenä toimintojen kehittämisprojektina ja siihen on osallistunut laajasti henkilöstöä sekä Rovaniemen Energiasta että Rovaniemen Verkosta. Käsiteltävä aihepiiri on viime vuosina noussut verkoliiketoiminta-alalla puheenaiheeksi muun muassa suurmyrskyjen seurauksena. Kunnossapitoa on pyritty selvittämään erilaisina projekteina sekä diplomitöinä useiden verkkoyhtiöiden toimesta. Esimerkkinä Tampereen Teknillisen Yliopiston LuoVa-projekti (Verho, Pylvänäinen, Järvinen, Oravasaari, Kunttu & Sarsama 2005, projekti), sähköjakeluverkon kunnossapitojärjestelmän kehitys (Heikkilä 2009, diplomityö), Vaasan sähköverkko Oy:n keskijänniteverkon nykytilan määrittäminen sekä kehittämissuunnitelma käyttövarmuuden näkökulmasta (Nykänen 2009, diplomityö), sähkönsiirtoyriyten kunnossapidon taloudellinen malli (Kivinen 2009, diplomityö) sekä RCM for Electric Power Distribution Systems (Bertling 2002, väitöskirja).

Kunnossapidon kehittämisen tarve on yhtäläinen kaikilla sähköjakeluverkkoyhtiöillä ja ongelmat samankaltaisia. Kaikkien toimintaa säätelevät samat velvoitteet ja kunnossapidon historia jokaisella verkkoyhtiöllä on samankaltainen. Koska verkkoyhtiöiden toiminta perustuu monopoliasemaan, mitään liikesalaisuuksia ei ole yritysten välillä. Tämä mahdollistaa hyvien käytäntöjen jakamisen eri toimijoiden kesken.

Näistä lähtökohdista lähdettiin hakemaan yhteistyökumppaneita Lapin alueelta laajemman kunnossapidon kehitysprojektin perustamiseksi. Suuri kiitos kuuluu Lapin Ammattikorkeakoulun YAMK-päällikkö Veikko Kärnäälle, joka mahdollisti laajemman projektin käynnistämisen Lapin Ammattikorkeakoulun puolelta.

Projektia lähti rakentamaan Lapin Ammattikorkeakoulun Kemi-Tornion projektisyksikkö ja projektipäälliköksi tuli Aslak Siimes. Muita osallistujia haettiin Lapin alueen sähköverkkoyhtiöistä ja mukaan lähtivät Rovaniemen Energia Oy:n lisäksi, Kemin Energia Oy, Koillis-Lapin Sähkö Oy, Enontekiön Sähkö Oy, Muonion sähkösuuskunta, Pellon Sähkö Oy, Tornionlaakson Sähkö Oy, Oulun Energia Oy sekä Energiavirasto.

Lapin Ammattikorkeakoulun projektin tavoitteet listataan seuraavasti:

1. Tutkia osallistuvien yritysten alueellansa sijaitsevien sähköverkkojen kunnossapidollinen nykytila case tutkimuksena sekä kartoittaa toiminnanohjausjärjestelmissä olevan tiedon oikeellisuus ja ajankohtaisuus.
2. Tutkia edellä mainittujen sähköverkkojen laitteiden kriittisyys ja laatia niille vika-vaikutus –analyysi yhteiseksi geneeriseksi malliksi ja hyödynnettäväksi verkon eri kohteiden ennakoivan kunnossapidon optimoimiseksi.
3. Tutkia 1. ja 2. osioiden perusteella selvitetyn ja laaditun kunnossapitostrategian toimivuutta ja käytettävyyttä kenttäolosuhteissa yrityksille laadittavissa case -tapauksissa ja parantaa laadittavaa kunnossapidon mallia yrityksille hyödynnettäväksi.
4. Tutkia alueellisten verkkojen varayhteyksien rakentamista ja niihin liittyvien sopimusten selvittäminen.
5. Tutkia mahdollisuutta yhteistyön ja osaamisen siirron kehittämisestä, esimerkiksi yhteisten koulutus- ja seminaaritapahtumien kautta.

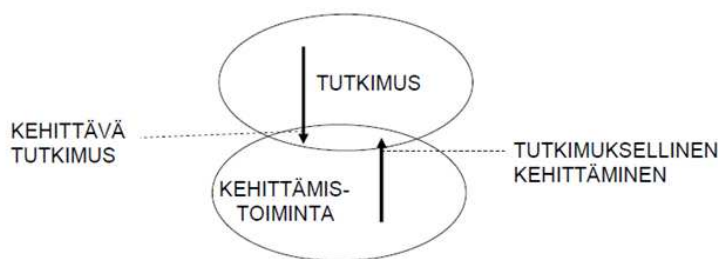
Verkko-projekti on jaettu kahdeksaan eri työpakettiin. Työpaketteja ovat projektin hallinta, verkkotiedon nykytilan kartoitus, kuntotietojen kartoitus, VVA- ja VVKA-malli sähköjakeluun, geneerinen ennakkohuollon malli sähköjakeluun, geneerisen mallin EH-toimenpiteiden kenttätestaus caseissa, varayhteyksien mahdollisuus, tiedon ja osaamisen siirto sekä yhteistyön tiivistäminen eri toimijoiden välillä.

Tässä työssä tarkasteltava Rovaniemen Energian kehittämisprojekti toimii Lapin Ammattikorkeakoulun projektille Start Up –projektina, joka liitetään työpakettiin 4, VVA- ja VVKA-malli sähköjakeluun. Tämä projekti etsii myös tietoperustaa alkavalle Verkko-projektille käymällä läpi kunnossapitoon liitettyjä diplomitoita, tutkimuksia ja projekteja.

1.3 Projektin toteuttamisen menetelmät

1.3.1 Työelämän tutkimuksellinen kehittäminen

Tämä työ toteutetaan työelämän tutkimuksellisen kehittämisen menetelmillä. Tutkimuksellinen kehittäminen voidaan katsoa olevan käytäntöön suuntautunutta toimintaa, jolla pyritään kehittämään sen hetkistä työn tekemisen tilannetta tieteellistä tietoa hyväksi käyttäen. Tämä on toimintaa, jossa tutkimus palvelee kehittämistä. Kuitenkin siten, että kehittäminen on ensisijainen asia ja tutkimus toissijainen. (Toikko & Rantanen 2009, 33.)



Kuvio 1. Tutkimuksen ja kehittämisen risteyspaikka (Toikko & Rantanen 2009, 21).

Tutkimuksen ja kehittämisen yhdistäminen ei ole itsestään selvä asia, vaikka sanapari esiintyy usein yhdessä. Näiden kahden käsitteen voidaan ajatella risteävän kahdessa eri kohdassa, jolloin tarkastelukulma ja painopiste voi olla joko kehittämisen tai tutkimuksen suunnassa (Kuvio 1). Kehittämistoiminnan suunnasta katsottuna risteyspaikka voidaan nimetä kehittäväksi tutkimukseksi ja tutkimuksen suunnasta katsottuna risteys on tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Kehittävässä tutkimuksessa lähtökohtana voidaan pitää tutkimuksellista kysymyksenasettelua, jolloin tietoa tuotetaan kehittämisprosessin aikana. Painotus on tässä tapauksessa tutkimuksessa. Vastaavasti tutkimuksellisessa kehittämisessä pääpaino voidaan katsoa olevan käytännön työympäristössä tapahtuvassa kehittämisessä. Silloin tutkimusmenetelmät ovat apuna tiedon tuottamisessa. Kehittämisen lisäksi tavoitteena on myös tulosten käsitteellistäminen ja yleiseen keskusteluun saattaminen. (Toikko & Rantanen 2009, 22.)

Tutkimusavusteisen kehittämisen prosessi muodostuu seuraavista tehtäväkokonaisuuksista: perustelu, organisointi, toteutus, levittäminen ja arviointi. Perusteluissa otetaan kantaa siihen, mitä ja miksi kehitetään. Organisoinnissa otetaan kantaa siihen, kuka tekee mitään ja millä resursseilla. Kehittämistoiminnan toteutus muodostuu ideoinnista ja priorisoinnista. Arvioinnilla pyritään tuottamaan tietoa, jonka avulla kehittämisprojektia voidaan edelleen ohjata. Arviointivaiheessa kehittämisen perustelua, organisointia ja toteutusta puntaroidaan laajasti. Levittämistoiminnasta voidaan myös käyttää nimitystä valtavirtaistaminen, jolloin itse tulosten levittäminen saattaa edellyttää omaa erillistä prosessia. (Toikko & Rantanen 2009, 56–63.)

Tässä projektissa tutkimuksen perustelut on avattu kappaleen alkupäässä, kappaleessa 1. Organisoinnista ja toteutuksesta kerrotaan tarkemmin kappaleessa

2. Tulosten levittäminen ja valtavirtaistaminen toteutuvat kahdella tavalla. Ensimmäinen projektiryhmä on koottu siten, että kunnossapitoon käytännötasolla osallistuvat henkilöt ovat osana projektiorganisaatiota. Tällä tavoin tietoa kerätään yhdessä, oppiminen sekä tulosten levittäminen tapahtuvat siinä samalla. Ideologisella tasolla yhtäläisyyttä on haettu kehittävästä työntutkimuksesta. Tuloksia käsitellään myös projektin loppupalaverissa. Toinen tapa valtavirtaistaa on Lapin Ammattikorkeakoulun Verkko-projektissa luotava geneerinen kunnossapidon toimintamalli. Arviointi suoritetaan projektin tulokset osiossa sekä pohdinnassa. Lisäksi arviointi saa jatkoa Verkko-projektissa.

1.3.2 Työn rakenteellinen kokoonpano

Projektin suunnittelussa on sovellettu PMBOK:in työkaluja, joista ennen kaikkea kriittistä polkua sekä projektin ositusta. Projektin raportti on myös kasattu näiden työkalujen ympärille. Projektin selvittäminen on toteutettu kriittistä polkua pitkin ja lopuksi tuloksia on kerätty osituksen alle. Molemmat työkalut ovat olleet apuna projektin alusta loppuun.

Kriittisessä polussa ensimmäisenä selvitetään kunnossapidon pohjana toimivat tarkastukset, mittaukset ja korjaukset. Tämän jälkeen pureudutaan kunnossapidon strategian luontiin. Viidennessä vaiheessa tehdään muutoksia MMS -järjestelmään. Kuudennessa vaiheessa tehdään organisaatiotutkimusta. Tehtävät ja vastuu sekä Gantt-kaavion rakentaminen käynnistyvät samanaikaisesti. Lopuksi pohditaan hinnaston rakentamista ja sen pohjalta budjetointia.

Luku 1 kertoo projektin taustoista. Luvussa 2 kerrotaan mitä projekti pitää sisällään sekä miten projektia on viety eteenpäin. Projektin loppuraportin tutkimuksellinen osio, luku 3, on rakennettu kriittisenpolun ympärille. Saadut tulokset on koottu lukuun 4, joka rakentuu osituksen ympärille. Luvussa 5 on pohdinta.

Projektin aikaansaannokset ovat koko projektiryhmän tuotosta ja tietoperustaa on käyty projektiryhmän jäsenten kanssa läpi, joten se toimii jo sinänsä koulutuksena ja työssä oppimisena koko ryhmälle. Projektipäällikön tehtävänä on ollut etsiä tietoperusta ja kirjata se loppuraporttiin.

2 PROJEKTIN KUVAUS JA SUUNNITTELU

2.1 Projektin määritelmät

2.1.1 Projektin tulostavoitteet

Projektin päätavoite on kunnossapidon kehittäminen korjaavasta enna-koivaan. Tähän tavoitteeseen päässään seuraavien välitavoitteiden kautta:

- Kunnossapidon töiden tuotteistaminen konsernin sisällä sekä ulkopuolella.
- Kunnossapidon operatiivisten kustannusten selvittäminen ja ”turhi-en” kustannusten karsiminen. Tavoite -10 % tämän hetkisestä budjetista.
- Tehokkaiden ja oikein kohdistuvien toimenpiteiden selvittäminen Energiaviraston ohjaus huomioiden.
- Uuden toimintamallin luominen kunnossapidon laadun parantamiseksi.

2.1.2 Rajaus ja liittymät

- Sähköasemat ovat rajattu projektin ulkopuolelle, sähköasematarkastusta lukuun ottamatta.
- Projektissa ei myöskään lähdetä selvittämään ja avaamaan teknisten näkökohtien takana olevaa sähkötekniikan laskentaa tai muuta vastaavaa teoriaa.
- Komponenttien mekaniikan selvittäminen rajataan projektin ulkopuolelle.
- Projektissa tutkitaan RBM-taulukoinin eteenpäin vientiä ja indeksien mahdollista rakennetta. Taulukon lopulliseen muotoon saattaminen jätetään alkavan AMK-projektin tehtäväksi.
- Työkulttuurin tarkempi tutkiminen rajataan pois
- Vika-Vaikutusanalyysjä varten etsitään tutkimustietoa, listataan kohteet ja rakennetaan lomake. Tarkempi selvittäminen jätetään alkavaan AMK-projektiin.

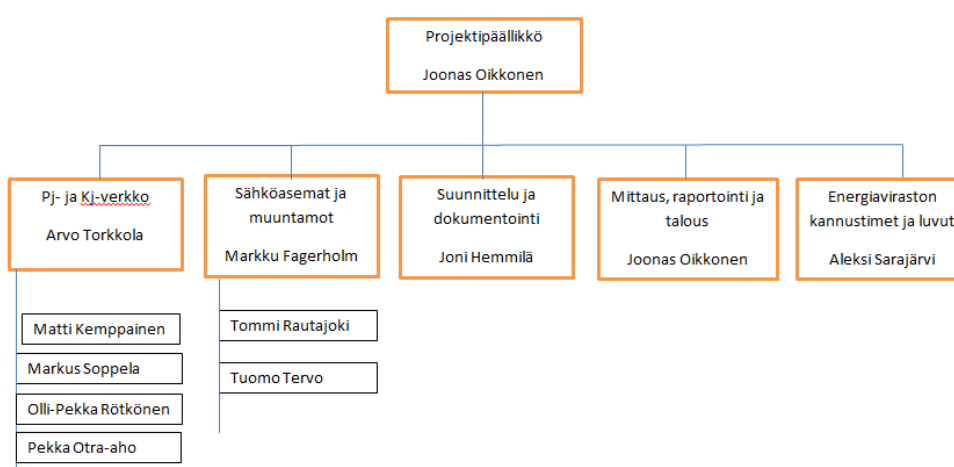
2.2 Projektioorganisaatio

2.2.1 Projektiryhmä (OBS, Organisation Breakdown Structure)

Työn tutkimuksellinen osio toteutetaan työn tutkimuksellisena kehittämisenä, toteuttamisen periaatteet mukailevat kehittävän työntutkimuksen ideologiaa. Kehittävä työntutkimus on muutosstrategia, joka yhdistää työelämän

käytännön kehittämistyön, tutkimuksen ja koulutuksen. Se on osallistuva lähestymistapa, jossa työntekijät analysoivat ja muuttavat omaa työtään. (Engeström 1995, 11–12.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että projektihenkilöstöön valitaan ne henkilöt, jotka tekevät pääsääntöisesti kunnossapitotöitä. Toisena projektiryhmän valintaperusteena on se, että jokaiselta kunnossapitotoon osallistuvalla portaalla on oltava edustaja.

Tilaajan puolelta organisaatiota edustavat: Arvo Torkkola, Markku Fagerholm ja Aleksi Sarajärvi. Tuottajan puolelta organisaatiota edustavat: Joni Hemmilä, Joonas Oikonen, Matti Kempainen, Tommi Rautajoki, Markus Soppela, Tuomo Tervo, Kai Häyrynen ja Pekka Otra-aho.



Kuvio 2. Projektioorganisaatio

Projektioorganisaatio on jaettu toiminnallisiin lohkoihin (Kuvio 2). Lohkot toimivat projektipäällikön alaisuudessa ja ne koostuvat henkilöistä, jotka myös omassa työssään joutuvat käsittelemään kyseisiä asioita.

2.2.2 Ohjausryhmä

Projektille muodostetaan johtoryhmä, joka koostuu: Rovaniemen Energia-konsernin toimitusjohtajasta, Rovaniemen Verkot Oy:n toimitusjohtajasta sekä 'sähköverkon suunnittelu ja rakentaminen' -yksikön verkkopäälliköstä (kuvio 3). Projektipäällikkö raportoi ohjausryhmälle työn etenemisestä.

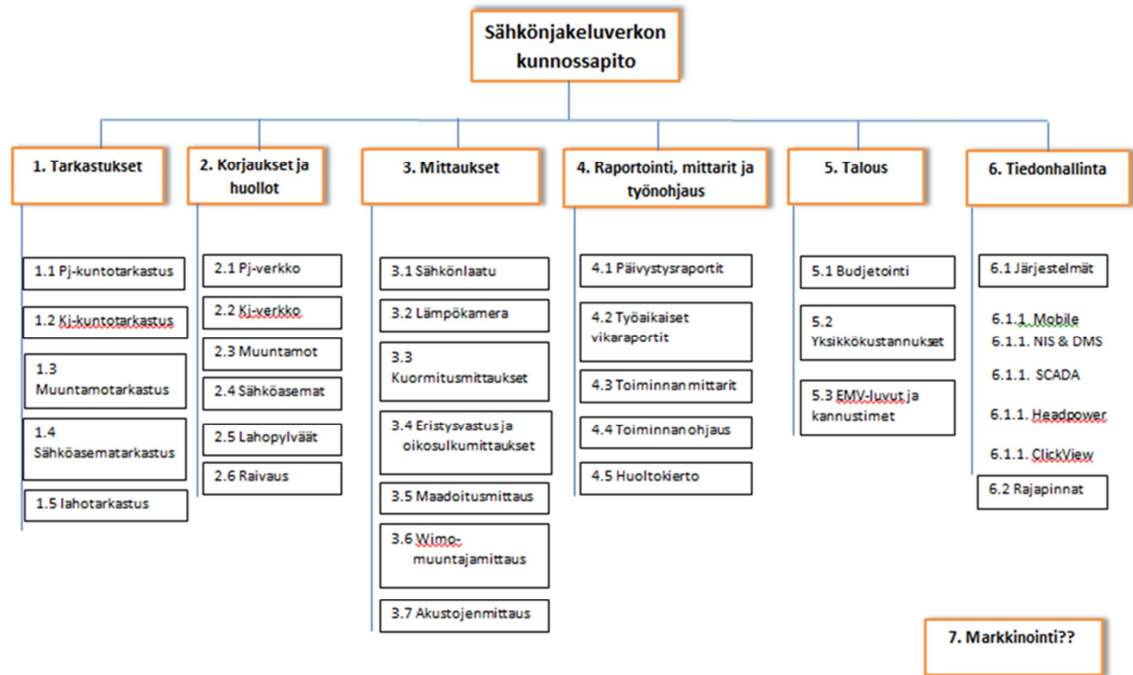


Kuvio 3. Projektin johtoryhmä

2.3 Toteutussuunnitelma

2.3.1 Ositus (WBS, Work Breakdown Structure)

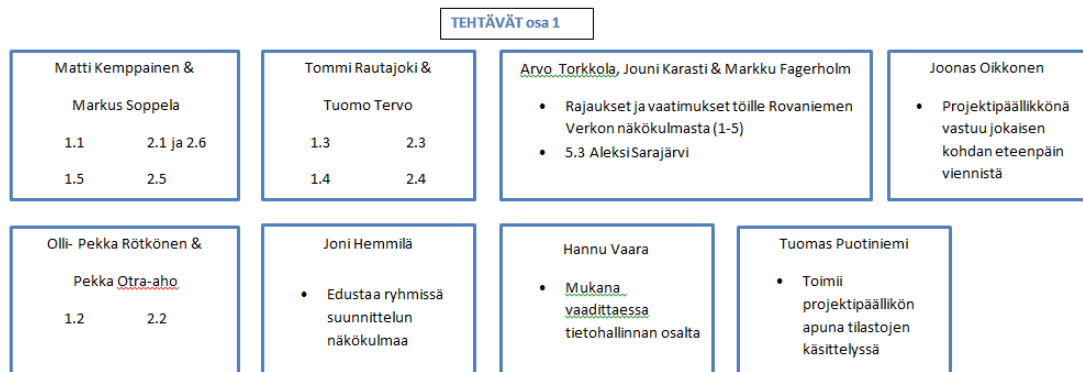
Osituksessa projekti on jaettu kunnossapidossa tehtävien töiden osalta toiminnallisiin kokonaisuuksiin (Kuvio 4). Tällä pyritään kuvaamaan kunnossapidon eri osa-alueita. Ositus avataan luvussa neljä kohta kohdalta. Tarkastukset, korjaukset ja mittaukset ovat osa työn tietoperustaa, mutta samalla niiden kartoittaminen on oma toiminnallinen kokonaisuus. Neloskohdan sisältö, raportointi, mittarit ja työnohjaus, voisivat olla myös jokainen omana kokonaisuutena, mutta projektin luonteen kannalta niille ei aseteta liian suurta painoarvoa. Markkinointi jätetään projektin ulkopuolelle, koska alalla ei ole todellista kilpailua. Projektissa tullaan kuitenkin luomaan hinnasto, joka mahdollistaa myös markkinoinnin liittämissä osaksi kunnossapitoyksikön toimintaa. Jäljempänä tässä projektisuunnitelmassa tullaan viittaamaan osituksen sisältöön numeroilla..



Kuvio 4. Projektin ositus (WBS, work breakdown structure)

2.3.3 Tehtävuluettelo

Kuviossa 5 esitetty tehtävien jako on muodostettu organisaatiokaavion ja osituksen ristikointina. Tehtävien jaossa on myös huomioitu kehittävän tutkimuksen periaate oman työn kehittämisestä.

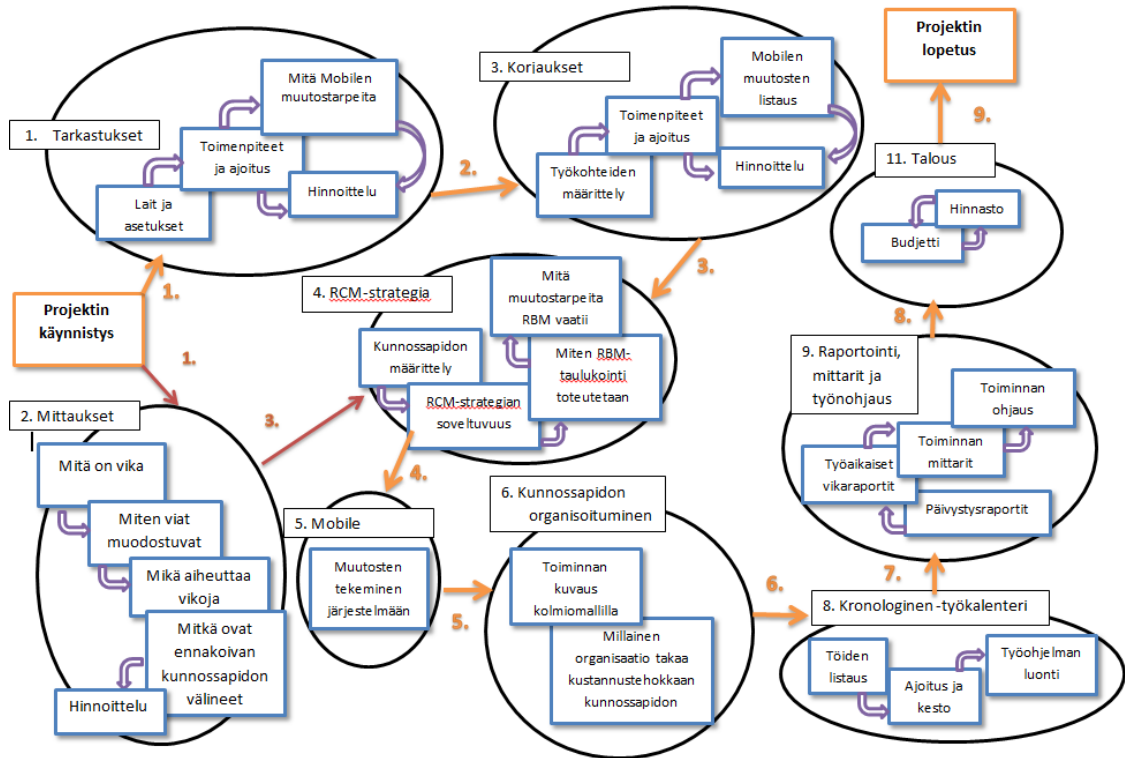


Kuvio 5. Tehtävuluettelo

2.3.2 Tehtäväjärjestys

Kuviossa 6 on kuvattu etenemisjärjestys nuolilla. Tehtäviä voi olla samaan aikaan selvityksessä useampia, joka ilmaistaan numeroinnilla. Tehtäväpaketeilla on juokseva numerointi. Ympyröityjen ”tehtäväpakettien” sisällä on kuvattu tarkemmin miten asiaa käsitellään. Tehtäväpakettien sisällä on kirjattu tutkimuskysymykset, joiden pohjalta asioita on ryhdytty selvittämään. Selvitystyön edetes-

sä uusia asioita voi nousta esille. Joten tässä vaiheessa alla oleva kuvio 6 on luonnos, joka tulee tarkentumaan ja elämään projektin edetessä.



Kuvio 6. Tehtäväjärjestys

Kunnossapidossa tehtävien töiden määrä ja vaikutus voidaan kuvata myös kuvion 7 pyramidimallilla. Tällä mallilla pyritään kuvaamaan tiedonkeräyksen tärkeyttä ja suurta työmäärää. Kentällä kerättyä tietoa jalostetaan ylöspäin aina strategiaan asti. RCM-strategian toiminta perustuu kentältä koottuun kuntotietoon, jota sitten voidaan hyödyntää työnohjauksessa, budjetoinnissa sekä strategisessa suunnittelussa.



Kuvio 7. Kunnossapidon tehtävien ja töiden kulminoituminen

2.4 Ohjaussuunnitelma

2.4.1 Kokoussuunnitelma ja aikataulu

Kokoukset ja palaverit ovat listattuina liitteessä 6. Liitteestä ilmene kokousten aika, aihepiiri ja osallistujat. Käsittelen tässä yhteydessä projektin kannalta tärkeimpiä tapahtumia.

Projekti lähti käyntiin aloituspalaverilla 23.1.2014. Aloitus palaverissa kerrottiin tarkoituseristä, tavoitteista, tehtäväjärjestyksestä ja tehtäväpaketeista. Aloitus palaverin jälkeen tarkastuksia, korjauksia ja mittauksia käsiteltiin ensimmäisen kerran koko projektiorganisaatiolla 7.2.2014. Rahoitus kuvioita alettiin järjestellä 4.2.2014 ohjausryhmän kanssa. Projekti esiteltiin sähkönsiirtoliiketoiminnan kehittämispäivillä 25.3.2014 kaikille Rovaniemen Energian ja Verkon sähkötekniikan henkilöille. Lapin Ammattikorkeakoulun kanssa projektin käynnistämistä keskusteltiin ensimmäisen kerran 8.5.2014 ja Gopp-työpaja pidettiin 12.6.2014. Työpajaan osallistui laaja joukko lappilaisia sähköalan ammattilaisia. Vianhaku koulutus järjestettiin 3.9.2014 ja koulutuksen veti Kontram Oy:n asiantuntija. Projektin lopputulokset käydään läpi yhteisesti joulukuussa 2014.

2.4.2 Tiedottaminen ja sitouttaminen

Tiedotus on mukana projektin onnistumisessa kahdella tavalla. Ensiksi tieto projektin tarkoituseristä saatetaan kaikkien tietouteen väärinkäsitysten välttämiseksi. Tässä ovat vaarana projektin tarkoituserien väärinymmärrykset, jotka voivat vaikuttaa kehitystutkimuksen tuloksiin. Toiseksi tiedotuksella vaikutetaan projektin tuottamien käytännön sovellusten käyttöönottoaktiivisuuteen. Kun tiedotus on alusta saakka aktiivista ja työyhteisön jäsenet osallistuvat kehitysprojektiin, on parempi todennäköisyys saada muutoksia toimintaan.

Projektista tiedottaminen koko siirtoliiketoiminnalle, käsittäen kaikki siihen osallistuvat henkilöt Rovaniemen Verkolta ja Rovaniemen Energialta, pidettiin 25.3.2014 siirtoliiketoimen kehittämispäivän yhteydessä. Vastaava tilaisuus tullaan pitämään myös projektin loppuraportoinnin yhteydessä.

Sitouttaminen toteutetaan kehittävän työntutkimuksen metodien mukaisesti. Kehittävä työntutkimus on muutosstrategia, joka yhdistää työelämän käytännön kehittämistyön, tutkimuksen ja koulutuksen. Se on osallistuva lähestymistapa, jossa työntekijät analysoivat ja muuttavat omaa työtään. (Engeström 1995, 11–

12.) Tämän näkemyksen mukaisesti on valittu projekti ryhmään henkilöt, jotka osallistuvat kunnossapidon jokapäiväisiin töihin ja ovat näin ollen kunnossapidon ammattilaisia. Sen lisäksi, että avainhenkilöt on sidottu projektiorganisaatioon, tullaan myös valmis työ jalkauttamaan koulutusten ja kokousten muodossa. Projektin päätyttyä pidetään tiedoksiänto koko siirtoliiketoimelle.

2.4.3 Valvonta ja raportointi

Valvonnasta ja raportoinnista Rovaniemen Energian puolesta vastaa projektipäällikkö. Projektin etenemisestä raportoidaan säännöllisesti ennalta määritetylle johtoryhmään kuuluvalle jäsenelle sekä erikseen sovitusti koko johtoryhmälle.

Projektipäällikkö tekee projektin aikana listaa kaikista pidetyistä tilaisuuksista. Listaan kirjataan osallistujat, aihe, kesto ja päivämäärä. Pidetyistä kokouksista tehdään myös muistiot.

3 PROJEKTIN ETENEMINEN

3.1 Tarkastukset

Tarkastukset ovat oleellinen osa kunnossapidon toimintaa. Ne ovat myös keskeisessä osassa RBM-tilaukkojen luonnissa. Tarkastusten perusteella määritetään kohteen todellinen kunto. Kuntoisuusluokka vaikuttaa myös seuraavan tarkastuksen ajankohteen. Rovaniemen Energiassa tehdään seuraavia kuntotarkastuksia: Pj-tarkastus, Kj-tarkastus, muuntamotarkastus ja lahopylvästar-
kastus.

3.1.1 Tarkastuksiin vaikuttavat verkostosuositukset ja lait

Sähköverkon kuntotarkastuksiin vaikuttavat sähköturvallisuuslaki 410/96, sähköturvallisuusasetus 498/96, KTMp 516/96, KTM 517/96, SFS 6001 suositukset (käsikirja 601) sekä SFS 6000 suositukset (käsikirja 600). (Latvala 2013, 11.) Näiden lisäksi Headpowerin kunnonhallintaohjeisto nimeää sähkötyöturvallisuuslain 410/96 muutospykälät 220/2004 ja 323/2004. Sähköturvallisuus asetus 498/96 on annettu sähkötyöturvallisuuslain 410/96 nojalla. Siinä määritellään arviointi, varmennus ja tarkastustehtävien pätevyysvaatimukset. KTM päätöksistä Headpower listaa myös päätöksen 1193/99, jossa määritellään sähkölaitteiden suojavaatimukset sekä erilaitteistojen yhteensovittamisperiaatteet. (Headpower kunnonhallintaohjeisto 2014.)

Sähköturvallisuuslaki 410 velvoittaa sähköverkon haltijaa huolehtimaan, ettei laitteisto aiheuta vaaraa tai häiriötä ja, että havaitut puutteet sekä viat poistetaan riittävän nopeasti. Sähköturvallisuuslaki määrittää tarkastusvastuut seuraavasti: käyttöönottotarkastus suoritetaan kaikkiin sähköasennuksiin ja suorituksesta vastaa tekijä, vastaanottotarkastuksen suorittaa tilaaja, varmennustarkastuksen valtuutettu tarkastaja tai laitos, määräaikaistarkastuksen suorittaa viranomaisen ja kuntotarkastuksen sähkölaitteiston haltija. (Latvala 2013, 13–14; KTM 517/96 Luku 3 § 10.) Käyttöönottotarkastusten tekeminen kuuluu Rovaniemen Energialle, mutta se on liitetty rakentamiseen ja näin ollen myös tämän työn ulkopuolelle. Tässä työssä perehdytään kunnossapito-ohjelman luomiseen sekä tarkastusten ja korjausten järjestelemiseen.

Olemassa olevan asennuksen yksityiskohtainen tutkiminen kunnossapitotarkastuksen yhteydessä tehdään yleensä purkamatta asennusta. Tarkastusta täy-

dennetään käyttöönottotarkastuksen testausmenetelmillä, joita ovat muun muassa: suojajohtimien jatkuvuus, eristysresistanssi, kiertosuunnan mittaaminen, jännitteenalenema, maadoituselektrodin resistanssin mittaaminen ja oikosulkuvirranmittaus. Tarkastuksessa tehtävillä mittauksilla osoitetaan, että seuraavat asiat käyvät toteen:

1. ihmiset ja kotieläimet on suojattu sähköiskuilta,
2. omaisuus on suojattu palo- ja lämpövaaroilta
3. asennus ei ole vioittunut, kulunut tai liitos löystynyt
4. vaara aiheuttavat viat sekä standardista poikkeavat asennukset tunnistetaan

Kunnossapitotarkastus tulee toteuttaa siten, ettei siitä aiheudu vaaraa tai vahinkoa. Tarkastuksen dokumentista tulee selvittää poikkeamien, vikojen ja vaaratekijöiden lisäksi sen laajuus, tekijä sekä tulokset. Tarkastuksen tekijän pitää olla sähköalan ammattilainen. Tarkastuksesta on tehtävä yksilöivä pöytäkirja, missä ilmenee tarkastetun asennuksen yksityiskohdat ja tarkastukseen liittyvät rajoitukset. Pöytäkirjasta tulee olla merkinnät tarkastuksista, siitä on ilmentävä viat ja testaus tuloksista. Pöytäkirja voi sisältää suosituksia korjauksesta ja parannuksista, kuten laitteiston ajanmukaistamisesta. (SFS-käsikirja 600-1, 62.1.2.)

KTM 517 jakaa sähkölaitteet kolmeen luokkaan. Luokan 1 sähkölaitteilla tarkoitetaan enemmän kuin kahden huoneen asuinrakennuksessa sijaitsevaa laitetta, yli 35 A nimellivirran ylivirtasuojalla suojattua laitetta tai sähkölaitteistoa, joka on ilmoitusta vaativassa räjähdysvaarallisessa tilassa, missä ei kuitenkaan valmisteta räjähteitä. Luokan 2 sähkölaitteeksi luetaan kaikissa muissa lääkinnällisissä tiloissa olevat laitteet, paitsi yleisanestesiaa tai laajapuudutusta edellyttävien kirurgisten toimenpiteiden tiloja. Luokkaan 2 luetaan myös yli 1000 voltin nimellisjännitteisiä osia sisältävät sähkölaitteistot sekä summaltaan yli 1600 kilovoltiampeerin liittymistehoiset sähkölaitteet. Luokan 3 sähkölaitteiksi katsotaan laite, joka on ilmoitusta vaativassa räjähdysvaarallisessa tilassa, jossa valmistetaan räjähteitä. Luokkaan 3 kuuluvat myös laitteet, jotka ovat yleisanestesiaa tai laajapuudutusta edellyttävien kirurgisten toimenpiteiden tiloissa sekä verkonhaltijan siirto-, jakelu- ja muuksi vastaavaksi sähköverkoksi luettavat osat. (Tukes 2014.)

Kaikille sähkölaitteille luokissa kaksi ja kolme on laadittava kunnossapito-ohjelma ennakkoon. Luokan 1 laitteille riittää käyttö- ja huolto-ohjeet. (Tukes 2014.)

Määräaikaistarkastuksia on tehtävä kaikille käytössä oleville sähkölaitteille. Luokkaan 1 kuuluvilla sähkölaitteilla, jotka ovat liiketiloissa tai muissa vastaavissa yli 35 A ylivirtasuojauksen omaavissa tiloissa tarkastusväli on 15 vuotta. Luokan 2 sähkölaitteilla tarkastusväli 10 vuotta ja luokan 3 sähkölaitteilla 5 vuotta. Määräaikaistarkastuksissa todennetaan pistokokeilla tai muilla vastaavilla menetelmille, että huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaiset toimet ovat toteutuneet, laitteiston käyttö on turvallista, tarkastuspöytäkirjat löytyvät sekä kaikki sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon liittyvät välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä. Määräaikaistarkastuksen tekee valtuutettu laitos tai tarkastaja. Tehdystä määräaikaistarkastuksesta tehdään pöytäkirja, joka toimitetaan tarkastajan allekirjoittamana sähkölaitteiston haltijalle. (Tukes 2014)

KTMP 516/96 määrittää millä tavalla sähkötöitä on tehtävä ja minkälaisia pätevyysvaatimuksia tarvitaan. Tässä yhteydessä sähkötöillä tarkoitetaan sähkölaitteen korjaus- ja huoltotöitä, mutta myös laajemmin sähkölaitteiston rakennus-, korjaus- ja huoltotöitä.

Kaikille sähköasennuksille määritellään kuntotarkastusväli, joka ottaa huomioon asennuksen ja laitteen tyypin, asennuksen käytön, kunnossapidon tiheyden ja laadun sekä ulkoiset olosuhteet, joille asennus on alttiina. Kunnossapitotarkastuksessa tulisi määrittää väliaika seuraavalle tarkastukselle. Helposti likaantuvilla tai muuten kriittisillä tarkastus väli voi olla muutama vuosi, esimerkiksi 4 vuotta. Kriittisiksi kohteiksi SFS 600 määrittelee tilat, joissa on sähköiskun vaara; palo- tai räjähdysvaara; sekä tilat, joissa on suur- tai pienjänniteasennuksia, julkiset tilat, rakennustyömaat ja turvajärjestelmien asennukset. Ei kriittisille kohteille, kuten asunnoille, tarkastusväli voi olla esimerkiksi 10 vuotta. (SFS-käsikirja 6001, 62.2.1)

3.2 Mittaukset eli verkon kunnan diagnosointi

Ennakoivaan huoltoon pääseminen vaatii onnistuakseen tehokkaat ja luotettavat menetelmät, joilla voidaan määrittää laitteiden kunto. Myös verkon kompo-

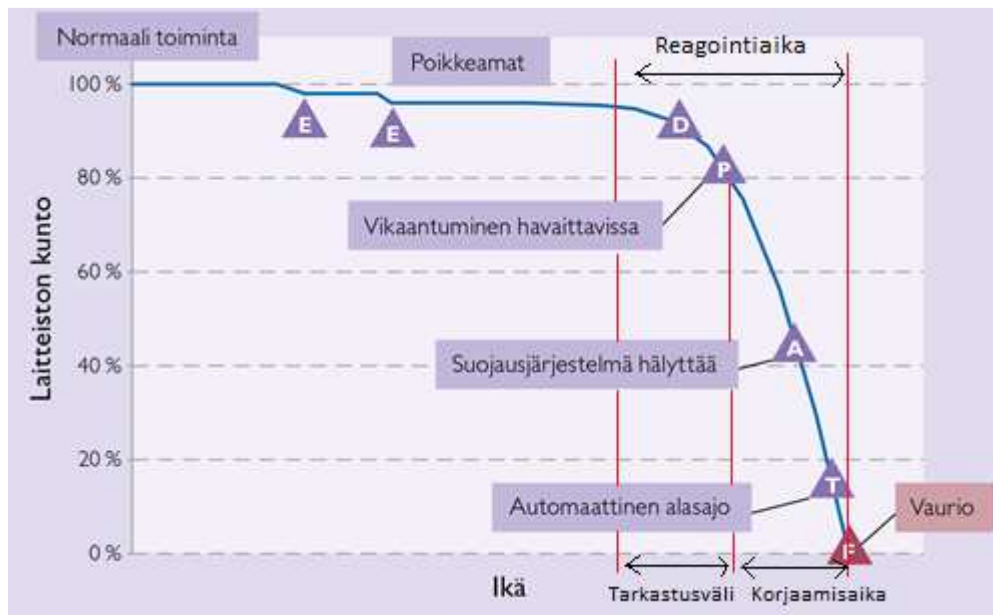
nenttien laaja ikäjakauma ja eri vuosilta peräisin olevat rakenneratkaisut ovat suuri haaste kunnan arvioinnille. (Hyvönen 2003, 3.) Tässä kappaleessa tutkitaan vikojen syntymismekanismeja, sekä kartoitetaan laitteita ja menetelmiä, joilla erityyppiset viat voidaan haarukoida ja löytää ennen kuin ne aiheuttavat vikakatkon sähköjakeluun. RCM-strategiassa on keskeistä tunnistaa vikojen syntymekanismi.

3.2.1 Määritelmät vialle

Kaikki laitteet on suunniteltu siten, että ne kykenet suorittamaan tehtävänsä. Edellytyksiä tälle on, että laitteessa ei ole valmistusvirhettä, sitä käytetään oikein ja oikeassa olosuhteessa sekä tehdään tarvittavat huollot. Viat eivät synny itsestään ja jokaisella vialla on oma mekanismi syntyä ja kehittyä. Vaurioita kyetään vähentämään merkittävästi, jos tähän ketjuun päässään kiinni. Kunnossapidotaidon kannalta on äärimmäisen tärkeää ymmärtää miten viat syntyvät ja kehittyvät. (Järviö–Lehtiö 2012, 72.) Verkoston tarkastajat ovat suuressa roolissa vikojen tunnistamisessa ja heiltä vaaditaan paljon tieto-taitoa. Heidän on tunnettava erilaiset ja eri-ikäiset rakenteet sekä vaatimuksia eri aikakausilta. Tarkastajan on myös uskallettava ottaa vastuu omasta näkemyksestä ja osattava perustella. (Latvala 2013, 8.) Tarkastusten perusteella tehdään investointipäätöksiä huonokuntoisen verkoston korvaamiseksi, ja jotta investoinnit kohdistuvat oikein, on tarkastustulosten oltava luotettavia ja tasalaatuisia. Tyypillisesti kunnossapidon tekemät toimenpiteet eivät ole yksittäisinä investointeina suuria, mutta määrät ovat merkittäviä. Tästä johtuen tarkastajien tekemien päätösten vaikutus kertaantuu tarkastettavien kohteiden määrän mukaan. Oikein tehdyn tarkastuksen vaikutus näkyy paitsi oikein kohdistuneissa investoinneissa, myös sähköverkon turvallisuutena sekä sähköjakelun toimintavarmuutena. (Rajala 2013, 13–14.)

Vikaantumisen syntymistä voidaan kuvata PF-käyrällä (Kuvio 8). P tarkoittaa vikaantumisen alkuhetkeä käyrällä ja F sitä hetkeä, kun laite lopettaa toiminnan. Aluksi vika kehittyy näkymättömänä. Jossakin vaiheessa alkaa esiintyä poikkeamina: vaihe E. Poikkeamat saattavat aiheuttaa oireilua, mutta eivät estä toimintaa. Mikäli oireilu muuttuu havaittavaksi viaksi, on mahdollista ehtiä reagoida siihen ennen laitteen rikkoutumista. Latvalan mukaan reagointiaika muodostuu tarkastusvälistä ja korjaamisajasta. Tälle käyrälle voidaan sijoittaa

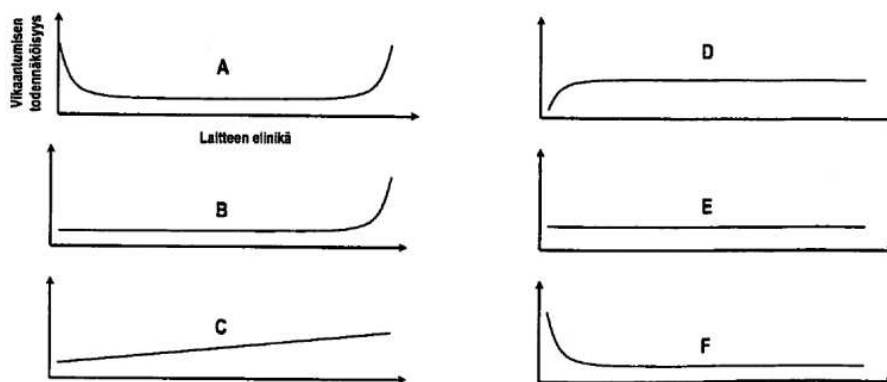
myös tekniset ratkaisut, joilla vikaantumiset voidaan havaita. (Promaintlehti 2013; Järviö–Lehtiö 2012, 75.)



Kuvio 8. Vikaantumisen vaiheet PF-käyrällä (Promaintlehti 2013; Latvala 2013, 75.)

Sähkönjakelu verkossa PF-käyrällä voidaan kuvata muun muassa kaapelia, jonka vaippaan on syntynyt reikä. Normaali-toimintaan tulee poikkeamia, kun vesi pääsee kosketuksiin johdinmateriaalin kanssa ja aiheuttaa aluksi pieniä läpilyöntejä kosteilla keleillä. Tällöin ollaan PF-käyrän kohdassa P. Vesi syövyttää alumiinin pikkuhiljaa ja lopulta aiheuttaa joko yksivaiheisen oikosulun tai vaihejohtimen täydellisen katkeamisen.

Laitteen elinikää ja vikaantumisen todennäköisyyttä voidaan kuvata niin sanotulla kylpyammemallilla, jossa laitteen eliniän alku ja loppuvaiheet ovat vikaantumisherkkiä (Kuvio 9). Tämä perinteinen malli on käyrä A, alla esitettyssä kuvassa. Myöhemmin on tunnistettu myös useita muita käyrämuotoja. Esimerkiksi käyrä B on muuten sama kuin käyrä A, mutta kohteen valmistusvirheet on saatu poistettua. (Järviö–Lehtiö 2012, 77.) Sähkönjakeluverkoissa Fortum on tunnistanut ja käyttää alla esitetystä käyrästä käyriä: A, B ja C. (Pakarinen 2005, 13.)



Kuvio 9. Vikaantumismallit (Järviö–Lehtiö 2012, 77).

Laitteiden vikaantumiseen syyksi voidaan määritellä viisi pääsyitä: laitetta on käytetty väärin, käyttäjillä tai kunnossapidolla ei ole tarpeeksi ammattitaitoa, laitteen toimintakyky heikkenee ikääntyessään, käyttöolosuhteet ovat väärät tai suunnittelussa on tehty virhe. Oireiden selvittäminen ja oikea toiminta voi olla haastavaa. Tyypillisesti oireilut kuitataan normaalina vanhenemiseen liittyvänä ilmiönä. Laitteen luotettavuuden parantamiseksi on tunnistettava ilmiöt vikaantumisien takana. (Järviö–Lehtiö 2012, 81.)

RCM-prosessissa lähdetään selvittämään jokaisen komponentin kohdalla vikaantumisesta aiheutuvat seuraukset, käyttäen seuraavia seitsemää kysymystä alakohtineen:

1. Mitkä ovat komponenttien toimintoja ja standardisuorituskyvyt tämän hetkessä toimintaympäristössä?
2. Mitä laiterikko aiheuttaa?
 - a. Missä olosuhteissa vika voi esiintyä?
 - b. Mistä syystä vika on syntynyt?
3. Mikä aiheuttaa vajaatoiminnan tai rikkoutumisen?
 - a. Listataan kaikki mahdollisuudet, jotka voivat johtaa vikaantumiseen.
 - b. Listataan myös inhimilliset erehdykset ja väärinkäytöt
4. Mitä vikaantumisen yhteydessä tapahtuu?
 - a. Mistä vika voidaan havaita?
 - b. Millaisia riskejä vikaantuminen aiheuttaa ympäristölle ja terveydelle?
 - c. Mitä vaikutuksia vika synnyttää toimintaan ja tuotantoon?
 - d. Mitkä ovat konkreettiset vahingot?
 - e. Mitkä ovat vian korjaustoimenpiteet?
5. Mitä vahinkoja ja seuraamuksia vika voi aiheuttaa?
 - a. Ryhmä 1, piilevien vikojen seuraukset
 - b. Ryhmä 2, turvallisuus ja ympäristöseuraukset
 - c. Ryhmä 3, toiminnalliset seuraukset

- d. Ryhmä 4, ei-toiminnalliset seuraukset
- 6. Miten vikaantumisen voidaan havaita riittävän ajoissa tai välttää kokonaan?
 - a. Ryhmä 1, jaksotettu korjaus tai uusiminen
 - b. Ryhmä 2, kunnonvalvonta
 - c. Ryhmä 3, vian etsintä
 - d. Ryhmä 4, uudelleen suunnittelu
 - e. Ryhmä 5, RTF (run to failure) ja korjaava kunnossapito
- 7. Miten toimitaan, jos ongelman ehkäisykeinoa ei löydy?

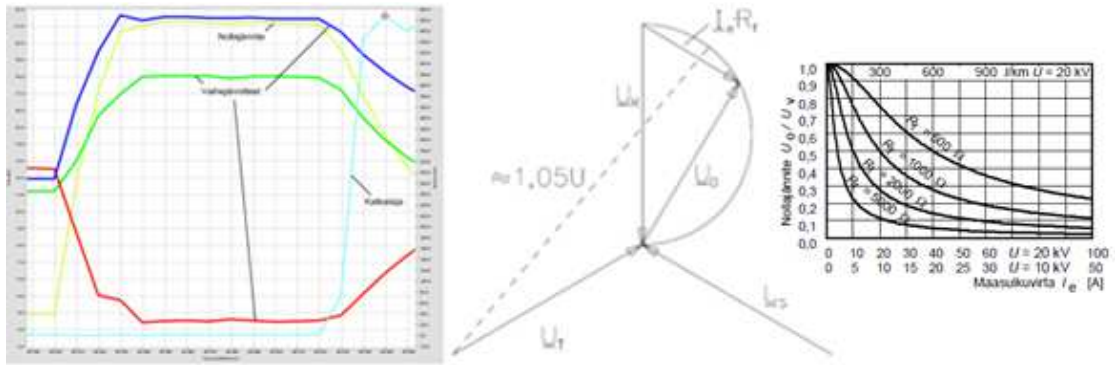
Neljä ensimmäistä kysymystä pyrkivät selvittämään, miten kunnossapitotoimet tulisi keskittää. Avainasemaan oikean tiedon saamisessa nousee laitteiden käyttäjien tietotaito. Viides kysymys asettaa kohteille tärkeysjärjestykset. Viimeiset kysymykset haarukoivat tehokkaimmat tavat hallita vikaantumista ja niiden vaikutuksia. RCM-prosessin rakentamisessa täytyy ensin määritellä laitteilta vaaditut toiminnot ennen kuin on mahdollista tietää, mitä kunnossapidolla pitää saavuttaa. Tähän kuuluu myös vikakäsitteen ymmärtäminen kyseisellä laitteella ja kyseisessä ympäristössä. (Järviö–Lehtiö 2012, 164–167.)

3.2.2. Sähkönjakeluverkossa esiintyvät viat

Sähkönjakeluverkossa voi esiintyä mekaanisesti aiheutettuja vikoja, kuten maakaapelin vioittaminen kaivinkoneella tai jakokaapin rikkoutuminen lumen aurauksen yhteydessä. Vika voi syntyä myös ikääntymisen seurauksena, kuten esimerkiksi kaapelin vaippaan syntyvistä vesipuista tai rakenteiden väsymisestä. Asennuksessa tehdyt virheet voivat johtaa vikaantumiseen. Laitteiden vikaantumisen syy voi olla myös sähkönlaatuun liittyvä ongelma, kuten muuntamon rikkoutuminen harmonisten yliaaltojen seurauksena. Sähköverkon viat on mahdollista tunnistaa, mikäli verkkoon on kytketty häiriötallennus ominaisuuden omaavia suojauskomponentteja. Ennakointia varten tarvitaan säännöllisiä, tarkasti suunniteltuja mittauksia. Tässä kappaleessa tarkastellaan erityyppisiä jakeluverkon vikoja.

Yksivaiheinen maasulku

Yksivaiheinen maasulku (Kuvio 10) on epäsymmetrinen vika, jolloin vaiheita ei voida käsitellä yksivaihetapauksina. Epäsymmetriset viat ratkaistaan niin kutsuttua symmetristen komponenttien menetelmää käyttäen, joka määrittelee yleis-pätevät yhtälöt ja säännöt myös epäsymmetrisille vioille. Laskennassa on huomioitava myötä-, vasta- ja nollaverkko.

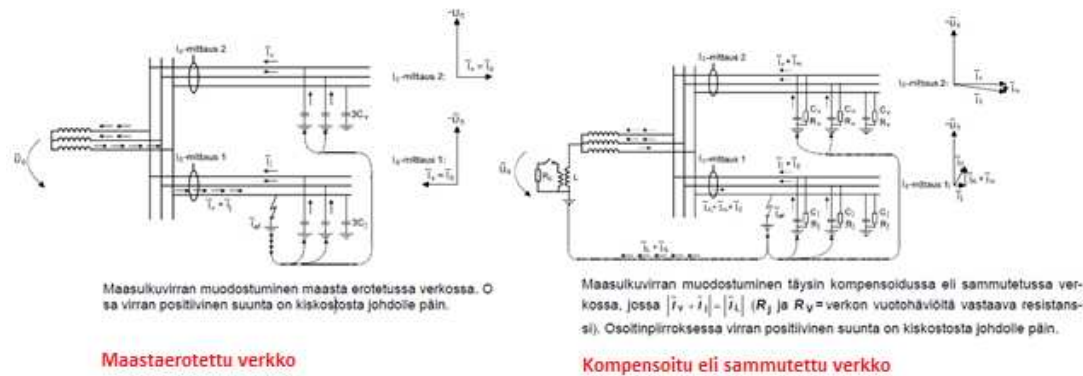


Kuvio 10. Maasulun käyttäytyminen, osoitinkuva ja etäisyyden vaikutus (Hurkala 2009, 14; ABB 1990, 201.)

Maasulussa viallisen vaiheen jännite laskee ja Kirchhoffin jännitelain mukaisesti nollijännite pomppaa ylös (Kuvio 10). Mikäli R_f on nolla, niin viallisen vaiheen jännite on myös nolla. Maasulun aikana kaikki jännitteet, myös tähtipiste, muuttuvat. (Partanen 2011, 7.)

Yksivaiheinen maasulku näkyy myös transienttina jännitteessä ja vikaantuneen vaiheen virrassa. Alkutransientti koostuu varaustransientista ja purkaustransientista. Varaustransientti syntyy terveiden vaiheiden kapasitanssien varautumisesta ja purkaustransientti viallisen vaiheen kapasitanssien purkautumisesta. (Mäkinen–Nikander–Pylvänäinen 2007, 25.)

Maasulku on pahimmillaan seuraavissa tilanteissa: vikaresistanssi on lähellä 0 ohmia, se tapahtuu lähellä syöttävää sähköasemaa, vika iskee vaihejännitteen huippukohdassa tai verkon kapasitiivinen maasulkuvirta on suurimmillaan. (Mäkinen ym. 2007, 25.) Verkon eri maadoitus tavoilla maasulun käyttäytyminen vaihtelee hieman. Kuviossa 10 äärimmäisenä oikealla, nähdään miten etäisyys ja resistanssi vaikuttavat maasulussa nollijännitteen suuruuteen.



Kuvio 11. Maasta erotetun verkon ja sammutetun verkon maasulku (ABB 1990, 200;202.)

Maastaerotetuksi verkoksi kutsutaan verkkoa, jonka päämuuntajan tähtipistettä ei ole maadoitettu. Se on kuitenkin yhteydessä maanpotentiaaliin verkon maakapasitanssin kautta.¹ (Rouhiainen 2008, 20.) Tämä toteutetaan tähtipisteeseen kytketyillä kompensointikeloilla, joista saadaan suuri impedanssi kumoamaan maakapasitanssi samansuuruisella induktanssilla.² Maastaerotetussa verkossa (Kuvio 11) tilanne on hankalampi kuin jäykästi maadoitetussa, koska se on vaikea havaita johtuen tuntemattomasta vikakohdan vastuksesta, sekä vastuksen arvon laajasta vaihtelusta. Maasta erotetun verkon maasulku saattaa myös aiheuttaa vaarallisen korkeita jännitteitä. (Nurma 2008, 4.)

Toinen verkon maadoitustapa on verkon tähtipisteen kytkeminen induktanssin kautta maahan. Tätä kutsutaan sammutetuksi verkoksi tai kompensoiduksi verkoksi. Virta, joka kulkee maadoitusinduktanssin kautta, muodostaa 180 asteen vaihesiirrossa olevan nollavirran. Tällä tavalla toteutetussa verkossa on huomioitava induktanssiarvon muuttaminen galvaanisesti yhteen kytkettyjen johtojen pituuden muuttuessa. (Nurma 2008, 5.)

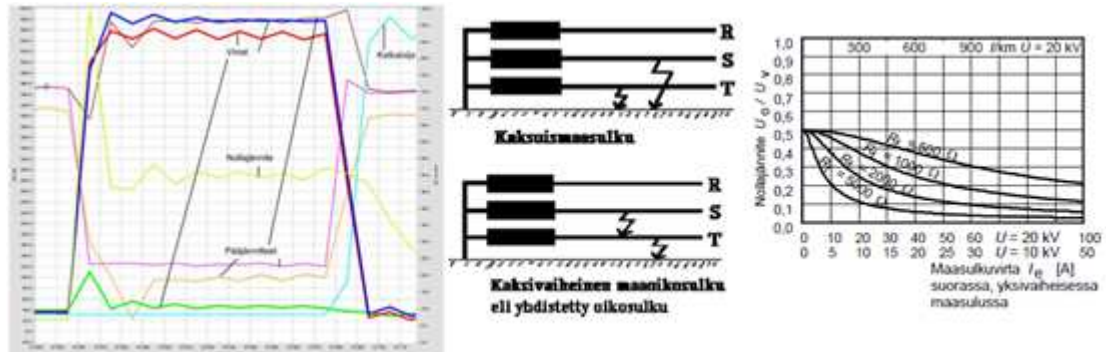
Kaksivaiheinen maaikosulku

Kaksivaiheisessa maaikosulussa vikaantuneiden vaiheiden virrat nousevat ja vaihejännitteet muuttuvat (Kuvio 12). Nollajännite voi nousta, jopa 50 prosenttia. Pienimmillään nollajännite on silloin, kun molemmat vikaresistanssit ovat yhtä

¹ Hänninen, S. 2001. Single phase earth faults in high impedance grounded networks: Characteristics, indication and location. Espoo: VTT, ISBN 951-38-5961-4.

² Lehtonen, M. — Hakola, T. 1996. Neutral Earthing and Power System Protection. Vaasa: Kirjapaino Fram Oy.

suuria. Vikaresistanssin ollessa suuri nollajännite on lähes yhtä suuri kuin yksivaiheisessa maasulussa. Mikäli molemmat maasulut ovat samalla lähdöllä, virtaan ei sisälly vaiheiden välistä vikavirtaa, toisin kuin vikojen ollessa eri lähdöillä. (ABB 1990, 202.)



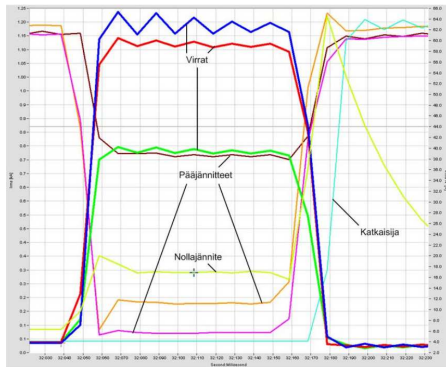
Kuvio 12. Kaksivaiheisen maaosulun käyttäytyminen (Hurkkala 2009, 16; Korpinen 2008, 3; ABB 1990, 201.)

Kaksoismaasulussa vikavirta kulkee maassa olevia johtavia osia pitkin, tällöin vikavirta on yleensä suuri. Mikäli maaperä on huonosti johtavaa, voivat vikavirrat polttaa kaapelin vaippaa ja vahingoittaa viereisiä kaapeleita tai rakenteita. (Lakervi–Partanen 2008, 189.) Korpinen havainnollistaa materiaalissaan yksinkertaisen kuvan avulla, miten kaksoismaasulku syntyy (kuviossa 12 keskellä). Kaksoismaasulku on siis johtimen suora kosketus maanpotentiaaliin. (Korpinen 2008, 3.)

Verrattaessa kuviota 12 ja kuviota 10 etäisyyden suhdetta nollavirtaan huomataan, että yksivaiheiseen oikosulkuun etäisyys ja resistanssi vaikuttavat eri tavoin kuin kaksivaiheiseen. Yksivaiheisen maaosulun nollajännite on huomattavasti suurempi lyhyellä matkalla.

Kolmivaiheinen maaosulku

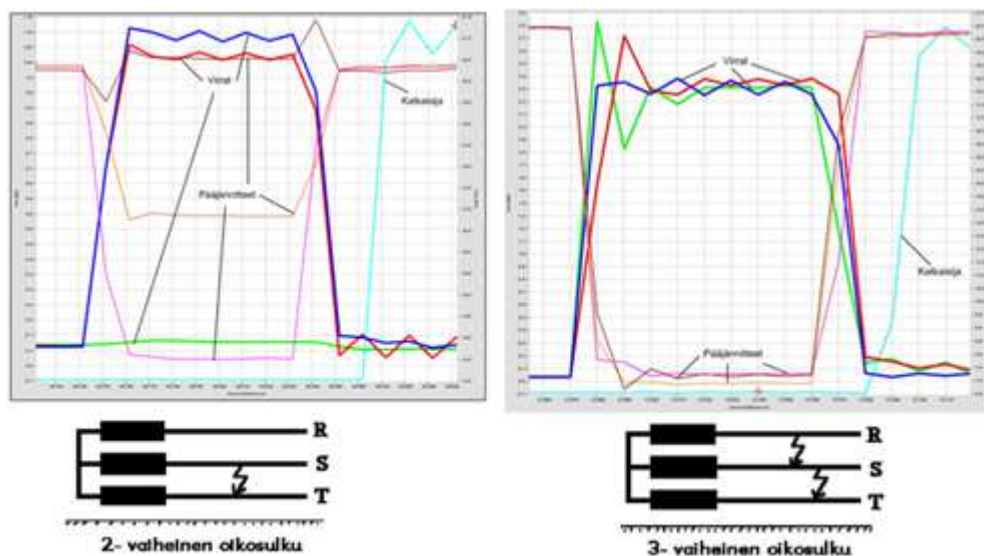
Kolmivaiheinen maaosulku muistuttaa kovasti kolmivaiheista oikosulkua (kuvio 13). Molemmissa kaikki vaihevirratt nousevat merkittävästi. Erona on se, että nollajännite nousee jonkin verran vian aikana. Toinen tunnuspiirre on, että pääjännitteet eivät laske symmetrisesti, kuten ne kolmivaiheisessa oikosulussa tekevät. (Hurkkala 2009, 18.)



Kuvio 13. Kolmivaiheinen maaikosulun käyttäytyminen (Hurkkala 2009, 18).

Kaksi- ja kolmivaiheinen oikosulku

Kuviossa 14 oikosulun aikana terveiden vaiheiden pisyessä ennallaan, kaksi muuta vaihevirtaa nousevat. Pääjännitteiden suuruudet vaihtelevat vikaresistanssista riippuen. Vastuksettomassa kaksivaiheisessa oikosulussa yksi pääjännitteistä putoaa nolnaan samalla, kun kaksi muuta laskevat 87 % normaalista arvostaan.³ (Hurkkala 2009, 15.)



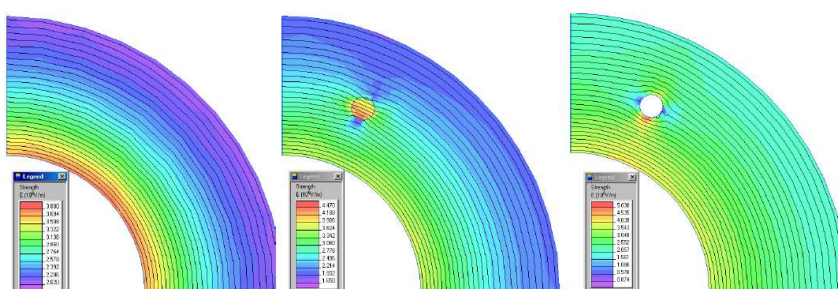
Kuvio 14. Kaksivaiheisen ja kolmivaiheisen oikosulun käyttäytyminen (Hurkkala 2009, 15;17; Korpinen 2008, 3.)

Osittaispurkaus kaapelin vaipassa

³ Bollen, M.H.J. 2000. Understanding power quality problems : voltage sags and interruptions. New York. IEEE. 543 s. 182–183.

Osittaispurkaus voi syntyä kaasuonkalon tai muun eristeen sisällä olevan epäpuhtauden seurauksena, mutta myös sähkö- tai vesipuun kanavia pitkin purkautumalla. Se ilmenee latauksien siirtymisenä ja se voidaankin ajatella pieneksi sähköiseksi lumivyöryksi, jonka käynnistää paikallisesti häiriytynyt sähkökenttä dielektrisisissä materiaaleissa. Se on oire eristeen heikkoudesta ja voi samalla johtaa vakavaan heikkenemiseen eristysmateriaalissa. Tämän takia sitä pidetään yhtenä pahimmista eristeen hajoamista kiihdyttävistä tekijöistä. (Ghulam 2008, 17.)

Kuviossa 15 on havainnollistettu osittaispurkauksen syntymistä. Ensimmäisessä kuvassa vasemmalta on kaapelin eristyksen sähkökenttä normaalitilassa, ulkopinnan jännite on 0 voltia. Seuraavassa kuvassa 6 mm paksuun eristeeseen on muodostunut 1 mm ontelo. Kentän voimakkuuden maksimi on siirtynyt keskelle eristettä, ontelon sisään. Kentän voimakkuus ontelon sisällä ylittää ilman läpilyöntilujuuden. Osittaispurkaus syntyy, kun sähkökentän voimakkuus ylittää sähkölujuuden. Sen seurauksena voi syntyä ionisaatio, jolloin syntyy vapaita varauksenkuljettajia. Onteloon syntyy johtava kanava, joka aiheuttaa läpilyöntin. Tämä on kuvattu sarjan kolmannessa kuvassa. Ontelon ollessa johtavassa tilassa, kentänvoimakkuus putoaa nolnaan ja varaus purkautuu. (Hyvönen 2003, 22–23.) Osittaispurkausta käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2.3 Vikojen yleisimmät aiheuttajat ja kriittiset kohteet) sekä kappaleessa 3.2.7 Vian hakuun ja kunnossapitoon tarkoitettuja laitteita ja mittausmenetelmiä).



Kuvio 15. 1 mm ontelon vaikutus tasapotentialinpintoihin ja sähkökentän jakaumaan. (Hyvönen 2003, 23–24.)

Harmoniset yliaallot

Sähköjakaiverkon yliaaltoja aiheuttavat virran tai jännitteen suhteen epälineaarit virtapiirien osat, jotka ottavat verkosta epäsinimuotoista virtaa. Epälineaarit virrat ovat ongelma koko ympäröivällä verkolla, sille ne leviävät verkkoa pitkin muille sähkön käyttäjille. Yliaaltojen lähteet voidaan jakaa virta- ja jännite-

lähdeyyppisiksi yliaaltogeneraattoreiksi. Jännitteen tai virran käyrämuodon poiketessa sinimuotoisesta, voidaan katsoa sen muodostuvan useista eritaajuisista signaaleista. Yliaaltojen suuruus ilmoitetaan yleensä yliaallon ja perusaallon suuruuksien suhteellisarvolla, U_n/U_1 . Jännitteen yliaallot syntyvät yliaaltovirtalähteen syöttäessä verkkoon virtayliaaltoja, jotka sitten kohtaavat taajuutensa perusteella määräytyviä yliaaltoimpedansseja, joissa muodostuu jännitehäviöitä. Summautuessaan perusaaltoon, jänniteyliaallot aiheuttavat säröytymistä eli käyrämuodon vääristymistä. Järjestysluku syntyneellä yliaallolla on sama kuin sen aiheuttaneella virtayliaallolla. Verkon impedanssin pienuudesta johtuen virran särö on usein suurempi kuin jännitteen. (Korpinen 2008, 3-5.)

Yliaallot jaetaan ominaisuuksien mukaan eri komponentteihin (Kuvio 16). Yliaallonkomponenttiluokasta voidaan määrittellä perustaajuuteen nähden vaiheesoittimen pyörimissuunta, tästä muodostetaan komponenttijako positiiviseen-, negatiiviseen-, ja nollakomponenttiin. Tämän lisäksi jako voidaan tehdä myös parillisiin ja parittomiin. Normaali käyrämuoto synnyttää ainoastaan parittomia yliaaltoja. Vastaavasti, jos parillisia on paljon, voidaan olettaa verkossa olevan viallinen laite. (Korpinen 2008, 6.)

No.	perus	2	3	4	5	6	7	8	9
Taajuus	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Komp.	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Kuvio 16. Yliaaltojen komponenttijako (Korpinen 2008, 6).

Yliaaltoja synnyttää teollisuuden, voimansiirron ja liikenteen erilaiset puolijohdetekniikalla toteutetut suuntaajakäytöt. Kotitalouksien elektroniikka voi olla yliaaltojen lähde. Kotitalouksissa näitä ovat laitteet, joissa on puolijohdetekniikalla toteutettuja suuntaajia. Tyypillisesti tällaisia ovat tietokoneet, TV, UPS, moottorien pyörimisnopeudensäätö sekä valonhimentimet. Ongelmia synnyttää niiden poikkeavuus siniaallosta. Yksinkertaistetun teorian mukaan, suuntaajan pulssiluku kertoo yliaaltojen suuruuden ja määrän. Teollisuuden käyttämät tyristorikytkimet ja valokaariuunit ovat tyypillisiä yliaaltojen aiheuttajia. Jakeluverkon muuntajat, joissa on raudan magneettista epälineaarisuutta, voivat myös synnyttää yliaaltoja. Purkaus- ja loistelamput synnyttävät yliaaltoja, ja niissä vaaditaan standardin IEC 555-2 perusteella yliaaltosuodattimia. Mikäli niiden suodatintarve on rikki, niin yliaallot leviävät verkkoon. Pienoisloistelamppuja tämä stan-

dardi ei sido ja ne aiheuttavat isoissa rakennuksissa ongelmia. Generaattorit voidaan katsoa yliaaltolähteiksi, koska niiden tuottama jännite poikkeaa sini-muodosta. Myös oikosulkumoottorit, joiden magneettipiirien raudat tai käämirakenteet ovat kyllästyneet, voivat toimia yliaaltolähteinä. (Korpinen 2008, 7-21.)

Yliaaltojen haittavaikutuksia ovat voimansiirron häviöiden kasvu, verkon komponenteissa aiheutuva ylimääräinen lämpeneminen, joka nopeuttaa eristeiden vanhenemista sekä vääristyneiden käyrämuotojen aiheuttamat laitteiden virhe-toiminnot. Tämän lisäksi yliaallot häiritsevät viestiliikennettä, kuten puhe ja radiotaajuuksia. Kaikkein haitallisin yliaallon aiheuttama ilmiö on kuitenkin resonanssi. Resonanssia muodostuu jonkin yliaaltotaajuuden ollessa lähellä verkon resonanssitaajuutta, mikä aiheuttaa yliaaltovirtojen tai jännitteen moninkertais-tumista normaalitilanteeseen verrattuna. Resonanssi syntyy verkon osan induk-tanssin ja kapasitanssin välille. Sarjaresonanssi muodostuu yleensä kompen-sointikondensaattorien ja niitä syöttävän muuntajan hajainduktanssien välille. Sarjaresonanssitilanteessa impedanssi jää pieneksi, ja näin ollen verkon jänni-tesärö myös jää pieneksi. Sitä vastoin kondensaattorin jännite säröytyy pahasti. Rinnakkaisresonanssi on sarjaresonanssia vaarallisempi. Siinä impedanssi voi kasvaa suureksi, mikä taas säröyttää jännitettä voimakkaasti. Resonanssi-piirissä kulkee silloin suuri virta, joka aiheuttaa kondensaattoripariston ylikuormituk-sen. Virta voi olla moninkertainen normaalitilanteeseen nähden. Jakeluverkon muuntajissa yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua sekä kuumia pisteitä muunta-jan sisällä. Kuumat pisteet lyhentävät muuntajan käyttöikä. Muita yliaaltojen haittavaikutuksia ovat elektronisten laitteiden viat. Nämä johtuvat monesti jänni-tesärön luomista nollakohdista tai niiden muutoksista. (Korpinen 2008, 22–25.)

3.2.2 Vikataajuudet

Tampereen teknillisen yliopiston luotettavuuspohjaisen verkkoanalyysin (LuoVa) projektissa on kehitetty vikataajuusmalli, jonka tuloksia sovelletaan myös tässä työssä. LuoVa-projekti on tehty lähinnä sellaisten sähkönjakeluverkkoyhtiöiden käyttöön, joiden jakeluverkko koostuu enimmäkseen ilmalinjoista ja pylväs-muuntajista. Rovaniemen Verkon jakeluverkko on enimmäkseen maakaapeloi-tua verkkoa. Maakaapeliverkossa muuntajat ovat etupäässä puisto- ja kiinteis-tömuuntamoita. Maakaapeliverkon vikaantumistaajuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin ilmalinjoilla. Toinen merkittävä ero on, että viat ovat pääsääntöi-sesti ulkopuolisten huolimattomuudesta aiheutuvia, kun taas ilmalinjaan vaikut-

taa eniten sääilmiöt ja elukat. Verkon vikataajuuteen vaikuttaa myös verkon keskijänniteverkon maadoitustapa, sammutetussa verkossa esiintyy vähemmän vikoja kuin sammuttamattomassa (Verho ym. 2005, 19; 26–29.) Näin ollen LuoVa-projektin tuloksia ei voida suoraan hyödyntää tässä työssä, mutta niitä sovelletaan RBM-tilastointiin. Sama koskee useimpien muiden verkkoyhtiöiden vikatilastoja.

Vikaantumistaajuudella kuvataan vikojen lukumäärää tiettyä aikayksikköä kohden. Vikaantumistodennäköisyydellä ja vikaantuvuudella taasen tarkoitetaan ehdollista vikaantumistodennäköisyyttä, joka voidaan laskea jakamalla tarkastelujakson aikana vikaantuneiden koneiden tai osien määrä tarkastelujakson alussa toimineiden määrällä. Vikaantuvuus kertoo todennäköisyyden, jolla kone tai osa vikaantuu seuraavan jakson aikana. Englanniksi vikataajuus käännetään useasti *failure rate* ja vikaantumistodennäköisyys käännetään *hazard rate*. (Verho ym. 2005, liite 2 2-3.)

LuoVa-projektissa verkon iälle ei ole annettu vikataajuuteen vaikuttavaa parametria, koska heidän käymissä keskusteluissa on päädytty siihen, ettei kalenteri-ikä selitä komponentin vikaantumisalttiutta. Sen sijaan LuoVassa ikä vaikuttaa kuntokertoimeen. (Verho, ym. 2005, 19.) Myös Rovaniemen Energialla projektin tiimoilta käydyissä keskusteluissa todettiin, että ikä ei kerro suoranaisesti komponentin vikaantumisalttiudesta. Verkon komponenttien ikä vaikuttaa kuitenkin Energiaviraston sähköyhtiölle laskemaan sallittuun tuottoon. Tätä kautta tulee hintaa jokaiselle yli 40 vuotta vanhalle komponentille. Useat teollisuuden standardit määrittelevät kuitenkin muuntajalle käyttöiän, IEC 60354 35-40 vuotta ja IEEE C57.91 22 vuotta.

LuoVa-projektissa käytetyssä aineistossa vikataajuudet muuntajille olivat pienimmillään 0,5 vikaa 100 muuntajaa kohden vuodessa ja suurimmillaan yli 1 vikaa sataa muuntajaa kohden. Avojohtoilla vikataajuudet olivat maaseutuverkossa pienimmillään 3,5 vikaa vuodessa sataa kilometriä kohden ja suurimmillaan 9 vikaa. Vaihtelu on niin suurta, että LuoVa-projektin loppuraportissakin todetaan, että on järkevintä käyttää omasta verkosta laskettuja vikataajuuksia, mikäli sitä on riittävän pitkältä aika väliltä. (Verho ym. 2005, 21.) Keskimääräiset vikataajuudet voidaan katsoa suuntaa-antaviksi.

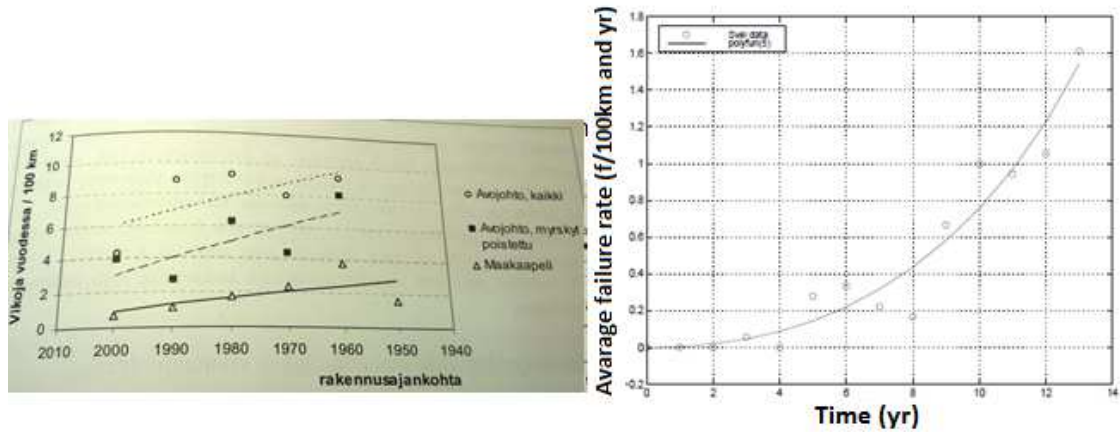
Taulukko 1. Keskimääräiset vikataajuudet (Verho,ym. 2005, 22; Bertling 2002, 235.)

	Vikataajuudet vuodessa			
	LuoVa-aineisto	Vuosien 1998-2002 keskiarvo Senerin keskeytys tilastoissa	Rovaniemen Verkko 2007-2014 Keskeytys tilastot	Tukholman kaupungin jakeluverkko 1982-1990
Avojohto	5,07 vikaa/100 km	5,42 vikaa/100 km	6,88 vikaa/100km	17,6 vikaa/100 km
Avojohto, myrskyt poistettu	4,62 vikaa/100 km			
Maakaapeli	1.62 vikaa/100 km	1.94 vikaa/100 km	2,10 vikaa/100km	2,85 vikaa/100km
Jakelumuntamat	0,74 vikaa/100 mmo	0,62 vikaa/100 mmo	0,30 vikaa/100mmo	14,25 vikaa/vuosi
Kaikki viat	5,30 vikaa/100 km	6,32 vikaa/100 km		

Maakaapeliverkossa vikojen määrä on huomattavasti pienempi kuin avojohtoililla. Maakaapeliverkkoa puhutellaankin usein säältä suojatuksi verkoksi. LuoVan ja Senerin aineistoissa valtaosa verkkoyhtiöistä on niin sanottuja kairayhtiöitä, eli niiden kaapelointiaste on pieni. Kaapelointiasteeltaan Rovaniemen Verkkoa voisi verrata Tukholman kaupungin verkkoon, jossa kaapelointi aste on 90 %, kun Rovaniemen Verkolla se on keskijänniteverkossa 86%. Pienjänniteverkossa se on jopa 91 %. Vikataajuudet kaapeli- ja avojohtoverkossa ovat Rovaniemen Verkolla hieman suuremmat kuin, mitä ne ovat Senerin tilastoissa tai LuoVa-projektin aineistossa. Maakaapelia on pj-verkossa 676,23 km ja Kj-verkossa 160,55 km. Avojohtoa on Pj-verkossa 58,85 km ja Kj-verkossa 23,60 km. Tilastoidut viat ovat keskijänniteverkon vikoja (Taulukko 1). Vikataajuus suhteutettuna Rovaniemen Verkon määrätietoihin antaa keskijännite avojohtojen vuosittaiseksi vikamääräksi 4,04 vikaa vuodessa ja keskijännite maakaapeleiden vikamääräksi 3,37 vikaa vuodessa. Vikojen määrät ovat silloin lähes samat. Maakaapelit sijaitsevat kriittisemmällä paikoilla ja vaikuttavat useampaan asiakkaaseen. Näin ollen maakaapelit voidaan määrittää kokonaiskunnossapidon herkimmiksi kohteiksi.

Luova-projektissa on maakaapeliverkolle laskettu keskimääräinen vikataajuus iän mukaan. LuoVa-ryhmän keskusteluissa on todettu, ettei iällä kaikissa tapauksissa ole vaikutusta kohteen kuntoon. Iän vaikutus maakaapelin vikataajuuteen lasketaan LuoVassa kaavalla $0,5 + 0,02 \times \text{ikä}$. Aina kymmentä vuotta kohden kerroin kasvaa noin 0,2. Luova-projektissa ei ole tunnistettu eri maakaapelityyppien vaikutusta vikataajuuteen. (Verho ym. 2005, 22–24.) Bertling omassa

väitöskirjassaan on myös tutkinut iän vaikutusta maakaapelin vikaantumistaajuuteen. Hänen tutkimuksissaan voidaan ikääntyminen yhdistää suoraan vesipuiden aiheuttamiin vikaantumisiin. Käytössä olleesta datasta voitiin muodostaa vaikutuskäyrä vain 13 ikävuoteen asti (Kuvio 17). (Bertling 2002, 235.)



Kuvio 17. Rakennusajankohdan vaikutus vikataajuuteen regressiosuorien avulla esitettynä sekä vikataajuuden keskiarvo ajan funktiona (Verho ym. 2005, 22; Bertling 2002, 235).

Muuntamoviat on Senerin ja Luova-projektin tarkasteluissa jaettu sisäisiin vikoihin ja muihin muuntamovikoihin. Ukkosviat on käsitelty erikseen. Luova-projektissa muuntajien vikajaottelussa on mukana 315 vikatapausta ja Senerillä vastaavasti 12470. Rovaniemen Energialla niitä on ollut 6. Luovan tarkastelussa on käsitelty vikoja kahden eri tapauksen kautta (Taulukko 2). Tapauksessa 1 ukkosen aiheuttamat viat on sisällytetty sisäisten vikojen taajuuteen. Tapauksessa 2 ukkosviat on sisällytetty muihin muuntamovikoihin. Kokonaisvikataajuudeksi Luovan aineistolla tulee 0,68 vikaa sataa muuntajaa kohden. Senerin aineistossa vastaava luku on 0,61. Rovaniemen Energialla muuntajavikojen määrä on huomattavasti alhaisempi vain 0,3. Senerin tarkastelussa on todettu, että kerätyssä (1998–2002) aineistossa keskimääräinen vikataajuus ei suuresti muutu eri vuosina. Senerin aineistosta löytyy vikataajuudet laajemmin ja pidemmältä aikaväliltä. (Verho ym. 2005, 30–32.)

Taulukko 2. Vikojen jaottelu sisäisiin ja ulkoisiin vikoihin (vikaa/ 100 kpl) (Verho ym. 2005, 30.)

Tarkastelu	Sisäiset viat	Muut muuntamoviat	ukkosvika erikseen	Kokonaisvikataajuus

Tapaus 1	0,32	0,36	0,17	0,68
Tapaus 2	0,14	0,53	0,17	0,68

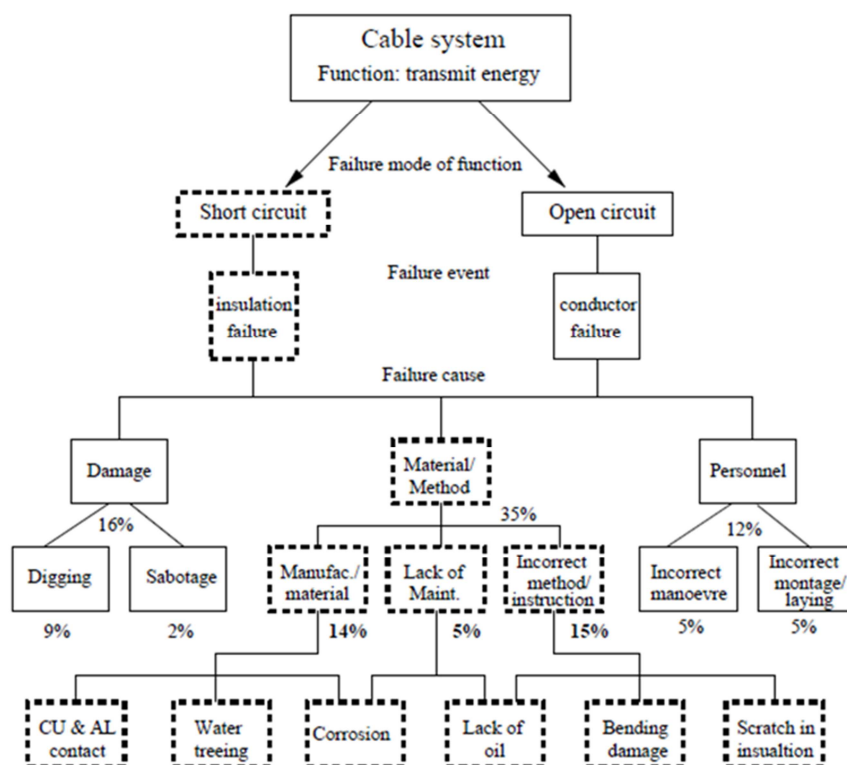
Muuntamoiden ikätarkastelun perusteella, alle 5 vuotta vanhat muuntajat ja yli 30 vuotta vanhat muuntajat ovat vikaantumisherkempiä verrattuna muuntajiin, jotka ovat olleet käytössä 5-29 vuotta. Tuloksessa ei ole huomioitu eri muuntajatyypin vaikutusta tarkasteluun. Projektiryhmässä oltiin vahvasti sitä mieltä, että muuntajatyypillä on vaikutusta vikataajuuteen, mutta vikadatan kautta he eivät pystyneet todistamaan ajatusta. (Verho ym. 2005, 33.)

Muuntajaerottimien vikataajuudeksi saatiin 0,073 vikaa sataa muuntamoaa kohden. Pylväsmuuntamoilla erotinvikataajuus oli 0,13 sataa muuntamoaa kohden. Yleisellä tasolla erotin vikoja on 0,05-0,6 vikaa sataa erotinta kohden. Tässä on suuria eroja sähköyhtiöiden välillä. Asiaan vaikuttavat muun muassa huoltojen määrä. (Verho ym. 2005, 34.)

Liitteeseen 7 on kerätty Luova projektissa määriteltyjä kunto- ja tyyppikertoimia. Näitä kertoimia tullaan hyödyntämään myöhemmin RBM-taulukoita rakennettaessa.

3.2.3 Vikojen yleisimmät aiheuttajat ja kriittiset kohteet maakaapeliverkossa

Bertling on analysoinut väitöskirjassaan Tukholman kaupungin vikaraportteja ja todennut kriittiseksi jännitetasoksi 11kV, eli keskijännitteen ja kriittiseksi komponentiksi maakaapelin. (Bertling 2002, 119.) Tarkasteltaessa Rovaniemen Verkon vikataajuuksia, voidaan tehdä sama päätelmä. Muuntajaviat ovat huomattavasti harvinaisempia kuin maakaapeleissa ja avolinjoissa tapahtuvat viat. Rovaniemen Energiolla keskijänniteverkon avojohtoja on vain 23,6 km, kun taas maakaapelia on 160,55 km. Tämä aiheuttaa sen, että vaikka vikataajuus kaapeliverkolla on huomattavasti pienempi, niin käytännössä vikoja on määrällisesti enemmän.



Kuvio 18. Kaapelivikojen synty (Bertling 2002, 137.)

Bertling jakaa tutkimuksessaan kaapeliverkon oikosulkuvikojen aiheutumisen syyt karkeasti kolmeen osa-alueeseen: henkilökunnasta johtuviin, materiaalista tai metodeista johtuviin ja ulkopuolisen aiheuttamiin (Kuvio 18). Henkilöstöstä johtuvat jaetaan käyttövirheisiin (väärä liike/ohjaus) ja asennusvirheisiin (virheellinen leikkaus/rakentaminen). Materiaalista ja metodista johtuvat jaetaan valmistusvirheisiin, kunnossapidon puutteeseen ja virheelliseen menetelmään tai ohjeeseen. Valmistusvirheet voidaan edelleen jakaa kupari- ja alumiiniliitännöistä johtuviin, vesipuuhan ja korroosioon. Kunnossapidon puute voidaan jakaa korroosioon syntymiseen ja öljyn puutteeseen. Väärät menetelmät ja ohjeet jakautuvat öljyn vähyyteen, asennusaikaisen taivutuksen aiheuttamiin jännityksiin sekä ruhjeisiin eristeessä. Ulkopuolisten aiheuttamat viat voidaan jakaa kaivuutöistä aiheutuviin ja sabotointiin. (Bertling 2002, 132–137.) Kaapeleissa vallitsevat viat liittyvät materiaaliin ja metodeihin. Kaikista Tukholman sähköverkon vioista jopa 36 % oli yhdistettävissä eri jännitetasojen kaapeleihin. (Bertling 2002, 119.)

Kupari- ja alumiiniliitännöille Bertling tarkoittaa kontaktipintoja eri materiaalien välillä, jotka voivat johtaa oikosulkuihin. Näin voi käydä esimerkiksi, jos liitosta ei ole kiristetty kunnolla tai mikäli ei ole käytetty kemiallisesti yhdistettyä liitoskap-

paletta. Vesipuu on ilmiö, jossa vesi pääsee eristeen läpi ja aiheuttaa läpilyönin. Tätä esiintyy erityisesti 1970-luvun puolivälissä valmistetuissa XLPE eristeisissä kaapeleissa. (Bertling 2002, 133.)

Rovaniemen Verkon vikatilastoja tutkittaessa voidaan todeta, että avolinjoilla eniten vikoja ovat aiheuttaneet eläimet (taulukko 3). Yleensä kyse on oravasta, joka on muuntajan kannalle aiheuttanut vaiheiden välisen oikosulun. Tosiksi eniten vikoja avojohtolla ovat aiheuttaneet ulkopuoliset. Yllättäen eniten asiakkaita on ollut ulkopuolisten aiheuttamien vikojen piirissä. Eläimien aiheuttamia vikoja voidaan vähentää erilaisilla eläinsuojilla. Lumi ja jää kuormien aiheuttamia vikoja voidaan vähentää pudottelemalla tykkylumia talvella.

Taulukko 3. Vikojen aiheuttajat Rovaniemen Verkon avojohtoverkossa 2009-2014.

Vian sijainti avojohtoverkko *)

Jännitetaso	Kpl	Mpk	Mph	Asiakkaita	Asiakastunnit	TJS (kWh)
103 (PJ) Ulkopuolisten aiheuttama	1	0	0,0	56	32,7	35,2
201 L3: Ukkonen	2	40	17,9	1404	540,2	1130,1
202 L2: Lumi ja jää (kuorma)	1	7	8,0	62	108,3	599,4
203 L2: Lumi ja jää (puu)	1	18	1,7	737	68,4	180,7
204 L1: Tuuli ja myrsky	1	9	0,9	637	65,5	142,1
206 L5: Eläimet, linnut	4	26	1,4	906	136,6	240,7
209 U1: Ulkopuoliset (muu)	3	44	17,9	1413	935,7	1727,8
	13	144	47,8	5215	1887,3	4056,0

Maakaapeliverkossa selkeästi eniten vikoja aiheuttavat ulkopuoliset toimijat maankaivuun yhteydessä (taulukko 4). Toiseksi eniten esiintyy rakennevikoja. Vikojen aiheuttajat ovat samansuuntaisia Bertlingin aineiston kanssa, mutta Rovaniemen Verkolla on tapahtunut prosentuaalisesti huomattavasti enemmän ulkopuolisten aiheuttamia vikoja. Ulkopuolisten aiheuttamiin vikoihin voidaan vaikuttaa rakennusvaiheessa laitettavilla varoitusnauhoilla sekä tehokkaalla kaapelinnäytön toiminnalla. Seuraavaksi eniten on rakennevikoja, joista ei ole tarkempaa tietoa tallennettuna.

Taulukko 4. Vikojen aiheuttajat Rovaniemen Verkon maakaapeliverkossa 2009-2014

Vian sijainti kaapeliverkko *)

Jännitetaso	Kpl	Mpk	Mph	Asiakkaita	Asiakastunnit	TJS (kWh)
0	4	50	21,2	4108	1139,9	3586,0
103 (PJ) Ulkopuolisten aiheuttama	1	7	4,9	497	346,8	368,6
208 U1: Ulkopuoliset (maan kaivu)	10	111	57,0	8252	4148,4	6135,2
209 U1: Ulkopuoliset (muu)	2	22	12,3	935	398,6	469,8
211 R2: Verkonhaltijan toiminta (käyttö)	2	25	0,8	1699	71,0	114,0
212 R2: Verkonhaltijan toiminta (asen. t)	1	7	0,7	30	3,0	74,5
215 R1: Rakenneviat	6	59	80,3	4127	4907,1	7399,4
216 T: Tunteamaton	1	13	14,5	1972	2196,6	524,5
	27	294	191,7	21620	13211,3	18671,9

3.2.4 Kaapeleiden eristeen rappeutuminen ja sen vaikutukset

Rappeutuminen vaikuttaa kaikkiin sähköverkon laitteisiin ja eristyksiin ajan saatossa. Rappeutumiseen ja kaapelin kuntoon vaikuttavat useat eri tekijät: käyttötoimenpiteet, ympäristön olosuhteet, kuormitus, mekaaniset rasitukset, sähköiset rasitukset sekä kunnossapitotoimet. Kaikissa laitteissa esiintyy myös ikäänymisen aiheuttamaa muutosta, toisissa herkemmin kuin toisissa. Jotkin yllirasitukset saattavat nopeuttaa rappeutumista. Ikäänymisen ja rappeutuminen ovatkin laitteiden peruuttamatonta muutosta. (Vehanen & Hyvönen 2003, 18.) Pitkän käyttöiän takaa oikein valittu materiaali, ylimääräisen rasituksen poistaminen ja oikeat kunnossapitotoimenpiteet.

Ajan ja erilaisten rasitusten vaikutuksesta kaapeleiden eristeissä tapahtuu mekaanista, kemiallista ja sähköistä heikkenemistä. Erilaiset rasitukset saattavat aiheuttaa onteloita eristeen sisään tai muutoksia eristeen muodossa. UV-säteily voi myös haurastuttaa eristeitä, polymeeriketjuja katkomalla. Varsinkin kaapeleiden eristimiin vaikuttavat rappeutumistekijät jaetaan neljään tekijään: 1) lämpötila ja sen muutokset, eli terminen rappeutuminen, 2) sähkökenttä, yleensä liittynään osittaispurkauksiin, 3) mekaaniset rasitukset ja 4) ympäristöolosuhteet, erityisesti kosteus. (Vehanen & Hyvönen 2003, 18–19.)

Terminen rappeutuminen on joukko erilaisia kemiallisia muutoksia, kuten terminen vanheneminen, hapettumisreaktio sekä hydrolysoitumisreaktio. Kokemuseräisesti tiedetään, että 8-12 celsiusasteen pitkäaikainen lämpötilan nousu voi lyhentää eristeen elinikää puolella. Matalilla lämpötiloilla voi metalliosien ja muoviosien välinen lämpölaajeneminen tapahtua eri lämpötiloissa, mikä johtaa

jännitteiden synnyttämiin murtumiin. Muovieristeen murtuminen voi aiheuttaa läpilyönnin. (Vehanen & Hyvönen 2003, 19.)

Eristeiden sähköiseen rappeutumiseen vaikuttavat lämpötila ja rasitusaika. Puhutaan lyhytaikaisesta ja pitkäaikaisesta sähkölujuudesta. Sähköisen rappeutumisen pääsyyllinen on osittaispurkaus. Osittaispurkaukset aiheuttavat mekaanista kulumista, välittömiä reaktioita eristeessä, varausten kulkemista, sekundaarisia pintapurkauksia sekä otsonin ja typpioksidien syntymistä. (Vehanen & Hyvönen 2003, 19.)

Mekaaninen rappeutuminen on eristeillä verrattavissa metallien väsymiseen. Erona metallien väsymiseen on kemialliset reaktiot, koska kemialliset sidokset katkeilevat mikrotasolla. Mekaanista rappeutumista syntyy kaapelin hioutuessa johonkin, liiallisesta taivutuksesta tai liiallisesta vedosta. (Vehanen & Hyvönen 2003, 19.)

Ympäristötekijöillä kuten UV-säteilyllä, kosteudella, kemikaaleilla, hydrolyysireaktiolla, hapettumisella ja mekaanisesti kuluttavilla olosuhteilla on merkitystä eristeiden rappeutumiseen. Ympäristöolosuhteita ei aina voida ennakoida tarkasti, joten materiaalien pitkäkestoisuutta ja käyttäytymistä ei silloin tunneta. (Vehanen & Hyvönen 2003, 19.)

Yleisimpiä öljypaperi eristeisiä kaapeleita 10kV verkossa ovat APAKKM, APY-AKMM, HPLKVJ ja PLKVJ. (Hyvönen 2003, 20.) Rovaniemen Verkolla on öljyeristeisiä kaapeleita yhteensä noin 60 kilometriä. Tämä kaapelimäärä voidaan jakaa karkeasti 20 suurempaan osakokonaisuuteen ja todella karkeasti sataan muuntamoiden väliseen kaapeliin. Tätä jakoa voidaan hyödyntää näiden kaapeleiden kunnonseurantamittausten järjestämiseen.

Orgaanista materiaalia, kuten paperia ja öljyä rappeuttaa hapettuminen. Öljyssä rappeutuminen tapahtuu ketjureaktiona, jossa öljyn hiilivetymolekyylin hapettuu vetyperoksidiksi. Vetyperoksidi hajoaa vapaiksi radikaaleiksi. Nämä vapaat radikaalit ovat erittäin reaktiivisia ja hapettavat helposti uusia vapaita radikaaleja, jolloin eristeen lahoaminen kiihtyy. Johtimen lämpeneminen ja epäpuhtaudet toimivat reaktioita kiihdyttäen. Öljyn rappeutumisesta syntyvä kosteus ja hapot ovat haitallisia eristeessä olevalle paperille. Paperi rappeutuu näiden seurauksena myös mekaanisesti muuttamalla entistäkin hauraammiksi. Paperin säh-

kömekaaniset ominaisuudet eivät muutu paljoo hajoamisen seurauksena. Mekaanista hajoamista aiheuttavat osittaispurkaukset, UV-valo, oksidikaasut, lämpölaajeneminen, värähtely, oikosulku ja muu mekaaninen stressi. (Hyvönen, Oyegoke & Aro 2001, 7.)

Öljykaapeleissa on täytteenä öljy paperinauhojen välissä. Hajoamistuotteina syntyy erilaisia kaasuja, jotka syrjäyttävät öljyn ja täyttävät paperinauhojen välisen tilan. Syntyy kaasutäytteinen ontelo, josta seurauksena on sähkökentän paikallinen voimistuminen ja lopuksi osittaispurkaus. Purkaus voi muodostaa uuden kaasukuplan ja hiilihiukkasia. Hiilihiukkaset heikentävät öljyn jännitekestoisuutta. Öljypaperieristyksen hyvä puoli on se, että öljyllä on mahdollisuus liikkua ja näin ollen se on osittain itseään korjaava. (Hyvönen 2003, 14.)

Osittaispurkauksien syynä voi olla myös kaapeliin kohdistuva mekaaninen rasitus. Mekaaninen rasitus on yleensä ulkopuolisen tekijän aiheuttama isku, painauma tai liian jyrkkä taivutus. Liian jyrkässä taivutuksessa paperinauhat saattavat painautua voimalla toisiaan vasten ja aiheuttaa rypyn ja sitä myöden voimakkaan paikallisen kentänvoimakkuuden. Metallivaipan painautumisella on sama vaikutus. Päätteissä ja jatkoissa osittaispurkauksia aiheuttaa epäyhtenäinen eristys. (Hyvönen 2003, 14.)

Öljykaapeleita uudempia ovat erilaiset polymeerieristeiset kaapelit, jotka tulivat käyttöön 1960-luvun lopulla. Kolme yleisintä keskijännitekaapeleissa käytettävää polymeerieristettä ovat polyeteeni (PE), eteeni-propeenikumi (EPR) ja ristsilloitettu polyeteeni (PEX). (Hyvönen 2003,12.) Keskijännitekaapelityypeistä taasen yleisimmät ovat AHXCMK ja AHXAMK-W. (Hyvönen 2003, 20.) Polymeerieristeiden rappeutumiseen vaikuttavat eniten fyysiset, kemialliset ja sähköiset rappeutumismekanismit. Polymeerit eivät saavuta lopullista kideäistä muotoaan heti valmistuksen jälkeen, vaan useamman vuoden kuluttua. Koska kovettuminen tapahtuu erittäin hitaasti, voi eristeeseen muodostua mikroonteloita ja paikoittain tiheämpiä kohtia. Epätasainen eristeen rakenne lisää sähköistä hajoamista ja läpilyöntien vaaraa. Polymeerinen eriste on herkkä jopa pienille osittaispurkauksille. Kemiallinen hajoaminen vaikuttaa polymeeristen eristeiden mekaaniseen kestävyYTEEN. Kemiallisen hajoamisen seurauksena voivat pitkät polymeeriketjut hajota, jolloin eriste haurastuu. Vapaat radikaalit ovat osa tätä reaktiota. Nämä vapaat radikaalit muodostuvat hapettumisen seurauksena. Niiden määrään vaikuttavat lämpötila, hapen määrä ja säteily. Osit-

taispurkaukset eristeen sisällä muodostavat ionisoivaa säteilyä, jonka seurauksena vapautuu haitallisia kaasuja ja happoa. Auringon UV-säteily on haitallista polymeerisille eristeille. Osittaispurkausten lisäksi sähkö- ja vesipuut ovat kaikkein haitallisimpia. Näiden vaikutukset ovat paikallisia, toisin kuin lämmön vaikutukset kaapeliin. Osittaispurkauksen, sähkö- tai vesipuun syntyminen voi aiheuttaa kaapelin valmistuksessa tai asennuksessa syntynyt kaasukupla tai epäpuhtaus eristeen sisällä. Kaasukupla tai esimerkiksi kiven siru eristeessä muuttaa kaapelin magneettikenttää, jolloin muodostuu positiivisesti latautuneita ioneja ja elektroneja, jotka taas käynnistävät eristeen rappeutumisen. Tällä tavoin syntyvää rappeutumista kutsutaan sähköpuuksi. Täydellinen läpilyönti eristeessä tapahtuu, kun sähköpuun haaraumat muodostavat elektrodisillan kautta yhteyden maanpotentiaaliin. (Hyvänen ym. 2001, 8.)

Polymeerikaapeleista, niiden käyttäytymisestä ja elinkaaresta, ei ole vielä tietoa yhtä pitkältä aikajaksolta kuin öljyeristeisistä. Heikkenemisen tärkeimpiä prosesseja ovat kuitenkin sähkökemiallinen heikkeneminen, puhdas sähköinen heikkeneminen, hajoaminen ja sähköpuiden synnyttämä heikkeneminen. Puhdas sähköinen heikkeneminen voidaan katsoa eristeen normaaliksi heikkene miseksi. Sähkökemiallisen heikkenemisen käynnistää jokin vieras aine, joka reagoi eristeen kanssa sitä vahingoittavasti. Varsinkin ensimmäisille PEX-eristeisille kaapeleille oli ongelmana veden kanssa reagointi. Vesi muodosti niihin vesipuita. Hajoamisen aiheuttaa terminen rasitus, hapettuminen sekä itsetuhomekanismi. Pitkäaikaisessa käytössä kaapelin lämpötilan tulisi olla alle 90 celsiusastetta, hetkellisesti se voi olla 120 astetta. Lämpötilan lisäksi UV-säteily aiheuttaa hajoamista. Itsehajoamisessa molekyyliketjut sekä niiden välillä olevat sillat pilkkoutuvat ja katkeilevat. Sähköpuut syntyvät osittaispurkausten seurauksena ja aiheuttavat eroosiota, josta muodostuu puumaisia sähköä johtavia kanavia. (Hyvönen 2003, 15–16.)

Maakaapeloinnissa kaapeloinnissa lämpötilaan vaikuttaa muun muassa se kuinka monta kaapelia laitetaan yhteen kouruun. Tämä on syytä huomioida myös kaapeleiden mitoituksessa. Sähköverkon kaapeloinnissa yleisesti käytetyn pienen kourun leveys on 120 mm ja korkeus 80 mm. Ison kourun mitat ovat 140 mm ja 90 mm. Rovaniemen Verkolla kaapeloinnissa käytetään talojohtona AXMK 4x25, jonka halkaisija on 22 mm. PJ-runkokaapeleina käytetään AXMK 4x185 ja 4x240, joiden halkaisijat ovat 48 mm ja 55 mm. Yhden 120 mm leveän

kourun alle mahtuu enimmillään 12 kpl AXMK 4x25 kaapelia tai 3 kpl AXMK 4x185 kaapelia. SFS-käsikirja 600-1:ssä on määritetty korjauskertoimet kaapeliasennukselle, jossa kaapelit ovat suorassa kosketuksessa toisiinsa. (Sesko 2012, 254.) Kaapeli voi kourussa olla suorassa kosketuksessa jopa 6 kaapeliin, tällöin korjauskertoimeksi tulee 0,55. AXMK kaapelin kuormitettavuus on 100 A yksittäin maahan asennettuna. Edellä esitetty korjauskerroin huomioitaessa, kuormitettavuus on vain 55 A. Mikäli kouru laitetaan täyteen kaapeleita niin se on kosketuksessa vähintäänkin kahteen muuhun kaapeliin, jolloin korjauskerroin on 0,79. Kourujen tehokas käyttäminen johtaa helposti magneettikenttien häiriintymiseen, ylikuormitukseen ja lämpenemiseen. Lämpeneminen taas johtaa Hyvösen tutkimuksen mukaiseen käyttöiän lyhenemiseen.

Kaapelipäätteet

Kaapelipäätteen tehtäviä ovat yhdistää eristetyt johtimet esillä oleviin liittimiin, estää kosteuden tai epäpuhtauksien pääsy kaapelin sisään, suojata kaapelia ympäristön vaikutuksilta, estää öljyn pois valuminen, antaa mekaanista suojaa ja sähkökentän ohjaaminen. Kaapelipäätteen täytyy kestää samoja sähköisiä rasituksia kuin itse kaapelinkin. Varsinkin keskijännitteellä on tärkeää ohjata kentänjakauma oikein, jolloin vältytään liukupurkauksilta. Jännitteen ohjauksessa ongelmaksi muodostuu jännitteisen elektrodin jatkuminen ja maadoitetun elektrodin päättyminen. Tämä vääristää kentänvoimakkuusjakamaa ja muodostaa paikallisia huippuja kentänvoimakkuuteen, joka taasen johtaa liukupurkauksiin. Kentänohjauksella pyritään muodostamaan pitkittäinen sähkökenttä varsinaisen eristeen ja lisäeristeen väliin, jolloin sähkökenttä pysyy mahdollisimman pienenä ja vakiosuuruisena. Kentänohjaus voidaan toteuttaa eristyspaksuutta kasvattamalla ja muotoilemalla se keilamaiseksi, kapasitiivisesti sijoittamalla eristeeseen sylinterimäisiä johtavia kerroksia tai resistiivisesti laittamalla puolijohtava materiaali eristyksen päälle. Nykyisin kentänohjaukseen käytetään puolijohtavaa kutistemuovilettoa. Kaapelipäätteiden ongelmat voivat syntyä myös sisälle päässeistä epäpuhtauksista päätteen teon aikana tai johtimen ja kaapelikengän liian suuresta ylimenovastuksesta, jonka seurauksena voi syntyä osittaispurkauksia. Öljypäätteissä osittaispurkauksia voi alkaa syntymään öljypinnan laskiessa liian alas. Rappeutuminen muodostuu samoin kuin kaapeleisakin. (Hyvönen 2003, 17.)

Kaapelijatkokset

Kaapelijatkon tehtäviä ovat johtimien yhdistäminen ja eristäminen, suojaaminen ympäristön vaikutuksilta, antaa mekaaninen suoja sekä ohjata sähkökenttiä. Johtimet liitetään toisiinsa jatkosholkeilla, joiden tulee olla mahdollisimman lie-riömäisiä ja reunoilta pyöristettyjä, jotta kentän voimakkuuteen ei tulisi piikkejä. Jatkoksessa vaikuttaa sekä säteen suuntaisia, että pitkittäisiä kentänvoimakkuuksia. Kentänvoimakkuuksilla on suuri merkitys jatkon jännitekestoisuuden kannalta. Pitkittäisillä kentänvoimakkuuksilla on 10–15 kertaa heikompi jännitekestoisuus verrattuna säteensuuntaisilla. Nykyisissä polymeerikaapeleissa käytetään kutistemuovijatkoja, joissa kentän ohjaus hoidetaan rakenteen puolijoh-tavilla osilla. (Hyvönen 2003, 18.)

Materiaalin heikentymiseen kaapelijatkoilla vaikuttavat samat tekijät kuin kaape-leilla. Lämpötilan liiallinen nousu voi johtua ylikuormituksesta tai väärin kiinnite-tyistä liitosholkista. Vesi ja kosteus voivat päästä kaapeliin, mikäli suojakerros on vioittunut tai väärin tehty. Lämpötilan vaihtelu ja muut mekaaniset voimat saattavat heikentää jatkoa. Osittaispurkauksia voi syntyä, mikäli eristeeseen on jäänyt ilmakuplia tai epäpuhtauksia. (Hyvönen 2003, 18.)

3.2.5 Puupylväiden lahoaminen

Arvioilta 90 % Suomessa käytettävistä puupylväistä on suolakyllästeisiä. Näistä suurimpaan osaan on käytetty kupari-kromi-arseeni-pohjaista CCA-kyllästettä. Vuonna 1982 kyllästeliuoksen koostumusta muutettiin vähentämällä arseenia ja lisäämällä samalla suhteella kromia, jolloin saavutettiin ympäristöystävällisempi koostumus. Kromihappo reagoi kyllästekomponenttien ja puunaineosien kans-sa. Vesiliukoisena solukkoon puristettu kyllästeaine muuttaa muotoaan liu-kenemattomaksi ja kiinnittyy puuhun. Käyttöään täytyttyä pylvästä käsitellään ongelmajätteenä, joka on toimitettava asianmukaisen luvan omaavalle ongel-majätteen vastaanottajalle. CCA-kyllästeiden käyttö on kielletty 1.9.2006. (Ver-kostosuositus RJ 33:09, 3.)

Kreosoottikyllästeisiä pylväitä on noin 10 % koko Suomen pylväskannasta. Kreosootti on kivihiilitervasta tislaamalla valmistettua öljyä, jota on käytetty jo 150 vuotta puun lahonestoaineena. Sen teho perustuu tervahappoihin ja öljyn sisältämiin tervaemäksiin ja neutraaliaineisiin. Kreosoottiöljy valuu pylvästä alas ajan myötä ja vahvistaa näin ollen maanrajakohdan lahonkestävyyttä. (Verkos-tosuositus RJ 33:09, 4.)

Kuparikyllästetyt pylväät ovat kasvattaneet suosiotaan koko ajan. Muita kyllästemenetelmiä ja -aineita ovat osmoosimenetelmä, liotusmenetelmä, puserrusmenetelmä, boliden BIS, wolman ja K33. (Verkostosuositus RJ 33:09, 6.)

Täysin kyllästämätön pylväs lahoaa noin 10 vuodessa. Osmoosi-, liotus- ja puserrusmenetelmillä odotusikä pylväälle on noin 20 vuotta. Boliden BIS, Wolman ja kuparikyllästeille odoteikä on noin 30 vuotta. Heikosti kyllästyneet kreosotti- ja K33 -pylväät kestävät 30–40 vuotta. Hyvin kyllästyneiden K33 -pylväiden odotettu kestoikä on 40–50. Kaikkein pisin odote on hyvin kyllästyneillä kreosottipylväillä, jotka voivat kestää jopa 50–60 vuotta. (Verkostosuositus RJ 33:09, 6.)

Lahoamisprosessin aikaansaavat puuhun päässeet lahottajasienet. Lahottajasienet hajottavat ligniinin ja selluloosan takaisin hiilidioksidiksi ja vedeksi, jotka ovat niiden lähtöaineita. Sopiva lämpötila ja sopiva kosteus ovat sienirihmaston kasvuun ja lahoamiseen eniten vaikuttavia tekijöitä, hapen lisäksi. Puun kosteuden on oltava vähintään 20 % ja lämpötilan +5...+30 °C. Ilmakuiva puu ei lahoa. Puun ajoittainen kuivuminen ei tuhoa sienirihmastoja, kasvu vain pysähtyy ja jatkuu kosteuden ollessa taas sopiva. Pakkanen ei myöskään tuhoa sienirihmastoja. Sienirihmasto ja lahoaminen tarvitsevat kuitenkin happea. Tästä johtuen vedessä tai hapettomassa maassa, kuten savessa olevat pylväät eivät lahoa. Normaalimaaperässä 1,5 metrin, ja tiiviissä maaperässä 0,5 metrin syvyyteen, happi ei enää riitä lahoamisprosessiin tai sienirihmaston kasvuun. (Verkostosuositus RJ 33:09, 5.)

Maaperällä on suuri vaikutus pylvään juuren lahoamisnopeuteen. Seuraavat tekijät nopeuttavat lahoamista: lannoitettu peltomaa, hiekkamaa, maatäyteinen tyveys sekä maan alle ulottuva kaapelin suojakouru. Karussa metsämaassa, savimaassa ja suomaastossa pylväs ei lahoa herkästi, koska happea on siellä niukasti. (Verkostosuositus RJ 33:09, 7–8.)

Pylvään kuntoa huonontavat myös nostovaiheessa aiheutuneet mekaaniset vahingot, tikankolot, halkeamat ja salamaniskut. Näiden vaikutus on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin maarajan lahoaminen. Pylvään käyttöikä muodostuu kuitenkin kaikkien tekijöiden summana. (Verkostosuositus RJ 33:09, 8.)

Laho voi esiintyä pinta-, sisä- tai latvalahona. Pintalaho muodostuu kyllästeen huuhtoutuessa hiljalleen pois, sekä kyllästeessä tapahtuvien kemiallisten muutosten takia. Suolakyllästetyillä pylväillä pintalaho on usein katkolahoa tai ruskolahoa. Kreosoottipylväissä tyypillisin lahon muoto on sisälaho, koska kreosoottiöljy työntyy pylvästä ulos ja valuu maanrajaan. Sisälaho ei ole pylvään kestävyydelle yhtä haitallista kuin pintalaho. (Verkostosuositus RJ 33:09, 8-9.)

Latvan lahoaminen on hitaampaa ja harvinaisempaa, koska siellä ei ole jatkuvaa kosteutta ja se on suojattu latvahattulla. Mikäli latvahattu puuttuu, on suuri vaara, että latva lahoaa. Suurin todennäköisyys latvan lahoamiseen on puseruskyllästetyillä pylväillä. (Verkostosuositus RJ 33:09, 10.)

3.2.6 Muuntajien ikääntyminen

Muuntajan tehtävä on muuttaa jännitteen tasoa ensiöpiiristä toisiopiiriin. Sähköenergia muuntoprosessi aiheuttaa mekaanisia, termisiä ja sähköisiä rasituksia muuntajan rakenteisiin sekä muuntajassa käytettyihin materiaaleihin. Mekaaninen jännite- ja oikosulkukestoisuus laskevat materiaalien ominaisuuksien heikentäessä, jolloin vikaantumisriski kasvaa. Muuntajan suunnittelussa on määritetty tietty rasitetaso, jonka muuntajan pitäisi kestää ilman isompia ongelmia.⁴ (Heikkilä 2009, 13.)

Normaalikäytössäkin muuntajan sisällä tapahtuu häviöitä, jotka aiheuttavat lämpenemistä. Muuntajan sisällä kuumien piste määräytyy ympäristön ja kuormituksen mukaan, mikäli oletetaan, ettei muuntajaan kohdistu haitallisen tason harmonisia yliaaltoja. Sallitun maksimilämpötilan ylittäminen aiheuttaa vanhenemisen nopeutumista. Voimakkaimmin lämpötilan vaikutus näkyy öljypaperieristeissä. Reaktio on sama kuin edellä kuvatuissa öljypaperikaapeleissa. Yleensä lämpötilan nousun aiheuttaa muuntajan ylikuormitus. Lämpeneminen voi johtua myös öljyn jäähdytysominaisuuksien heikkenemisestä. Öljyn ominaisuuksiin vaikuttavat saostumat ja epäpuhtaudet, jotka huonontavat öljyn liikkuvuutta. Liikkuvuuden heikennyttyä, myös lämmönsiirtokyky heikkenee ja lämpötila muuntajassa pääsee nousemaan. (Heikkilä 2009, 13.)

⁴ Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K. & Palva, V. Suurjännitetekniikka. 2. korjattu ja täydennetty painos. Helsinki: Otatieto. 520 s.

Suuremmat rasitukset muuntajaan aiheuttavat verkossa esiintyvät transienttivirrat ja -jännitteet, oikosulkuvirrat sekä harmoniset yliaaltovirrat ja -jännitteet. Muuntajat on suunniteltu siten, että jänniterasitukset, jotka kohdistuvat rakenteisiin, jäisivät mahdollisimman pieniksi. Suurimmat ylijännitteet aiheutuvat salamiskuista, joilta muuntajat pyritään suojaamaan jo rakenteiden suunnittelulla. Vikatilanteissa syntyvät oikosulkuvoimat aiheuttavat muuntajaan mekaanisia voimia, jotka saattavat aiheuttaa mekaanista rasitusta muuntajan rakenteille tai tärinän vaikutuksesta liikkumista. (Heikkilä 2009, 13.) Liikkuminen taas saattaa vahingoittaa muuntajan napoihin kytkettyjä kaapeleita. Yleensä mekaaniset rasitukset aiheuttavat muuntajan sisäosien liikkumisesta pois paikoiltaan. (Laine 2005, 56.)

Käyttöympäristöllä on suuri vaikutus muuntajan käyttöikänsä. Puisto- ja kiinteistömuuntajissa maksimilämpötila saavutetaan varsin helposti, varsinkin silloin, kun muuntajatilassa on muita lämpöä tuottavia laitteita ja tilan ilmastointi on väärin mitoitettu. Lämpötilan kestää hetkellisesti nousta hyvinkin korkeaksi, mutta jatkuva sekä pitkäaikainen maksimin ylittäminen aiheuttaa vahinkoa. (Heikkilä 2009, 14.) Esimerkiksi ABB:n jakeluverkon öljyeristeiselle muuntajalle ilmoitetaan normaali lämpötilaksi 25 °C, matalaksi -20 °C ja korkeaksi 85 °C. (ABB NT-1002 2001, 4.) Nestemuuntaja standardien IEC 60354 ja IEEE C57.91 mukaan muuntajien vanhenemismekanismit riippuvat suoraan muuntajan kuumimman pisteen lämpötilasta. Näiden standardien mukaan nimelliskuormalla oleva muuntajan vikaantumaton elinikä on noin 35–40 vuotta (IEC) ja IEEE standardin mukaan vain 22 vuotta. Molemmissa standardeissa on arvio, että kuumimman pisteen ylityksessä jokainen 6 °C ylitys kaksinkertaistaa muuntajan vanhenemisnopeuden ja vastaavasti jokainen 6 °C pudotus pienentää vanhenemisnopeutta puolella. Tämä ilmiö on eksponentiaalinen ja tunnetaan paremmin nimellä Montsingerin yhtälö. (Laine 2005, 58.)

Muuntajien öljyn on todettu olevan yksi tärkeimmistä muuntajien tekniseen ikään vaikuttavista tekijöistä. Öljyn kemiallisten ominaisuuksien on oltava stabiilit, jotta sen ominaisuudet säilyvät hyvinä. Lähes kaikki muuntajaa vanhentavat tekijät vaikuttavat muuntajaöljyn kautta. Öljyn tutkiminen ja vaihtaminen ovat suhteellisen helppoa. (Heikkilä 2009, 14.)

3.2.7 Vian hakuun ja kunnossapitoon tarkoitettuja laitteita ja mittausten menetelmiä

Verkon komponenteille tehtävät huoltotoimenpiteet ja mahdolliset korjaukset tulisi valita mittaustulosten perusteella. Yleensä halutun ominaisuuden suora mittaus on hankalaa tai mahdotonta. Tämän takia on mitattava epäsuoria suureita, joilla tiedetään olevan yhteyksiä kyseiseen ominaisuuteen. Esimerkiksi eristyksen tilaa voidaan kartoittaa seuraavilla suureilla: vuotovirta, vesipitoisuus ja osittaispurkaustaso. Alkavien vikojen onnistuneella havaitsemisella on suuri taloudellinen merkitys. (Vehanen & Hyvönen 2003, 20.)

Vianhakumenetelmät voidaan jakaa tuhoaviin ja ei-tuhoaviin menetelmiin. Tuhoavista menetelmistä yleisin on jännitekoee, jossa testausjännite nostetaan ennalta sovitulle tasolle ja katsotaan, kestäkö se tason. Tulos on joko hyväksytty tai hylätty. Jännitteen maksimi kestotaso voidaan myös testata jännitekoeeella. Tässä testissä jännitettä nostetaan niin kauan, että tapahtuu läpilyönti. Jännitekoeeen ongelma on, että testattava kaapeli saattaa rikkoontua. Toinen tuhoava menetelmä on näytteen ottaminen kaapelista visuaalista tutkintaa varten. Näytteiden perusteella voidaan löytää muun muassa vesipuita kaapelin eristeestä. Näytettä varten kaapeli on kuorittava auki ja normaali toiminta on estynyt ilman korjausta. Öljyeristekaapeleilta voidaan ottaa näyte sekä öljystä että eristeestä. (Hyvönen 2003, 19.)

Osittaispurkausmittaus

Osittaispurkausmittausta voidaan käyttää tehokkaana työkaluna määriteltäessä kaapeleiden kuntoa. (Hyvönen 2003, 90.) Osittaispurkaukset voidaan karkeasti jaotella pinta-, korona- ja ontelopurkauksiin. Osittaispurkaukset ovat yleensä merkki eristeen vanhenemisesta tai vauriosta. Asennuksen jälkeiseen diagnosointiin ja ennakoivaan kunnossapitoon osittaispurkausmittaus on omiaan kertomaan PEX-eristeisten kaapeleiden, jatkojen ja päätteiden kunnosta. (Vehanen & Hyvönen 2003, 21.)

Ontelopurkaukset eli sisäiset osittaispurkaukset voivat syntyä kaasu täyteen onkalon, ruhjeen, halkeaman tai muun kaapelin eristeen sisäisestä poikkeamasta. Sisäiset purkaukset voidaan edelleen jakaa puhtaasti eristeen sisällä tapahtuviin ja niihin, jotka tapahtuvat eristeen ja metallin välissä. Sähköpuu on yksi sisäisen purkauksen muodoista. Sähköpuu voi syntyä elektrodin pullistumasta

tai eristeen muodon epäsymmetriasta. Sisäiset purkaukset ovat kriittisiä eristeen elinkaarelle. Jännitteen kulkemiseen vaikuttavat useat tekijät, joista tärkeimmät ovat kentän voimakkuus, purkausten suuruus ja materiaali. (Ghulam 2008, 18.)

Eristeen pinnassa voi olla myös purkauksia; paikoissa, joissa on voimakkaita sekundäärisiä purkauksia. Esimerkiksi PAS-johdolla makaava puu voi aiheuttaa pintapurkauksia, jotka eivät välttämättä aiheuta laukaisua johtoa suojaavalla releellä. Viallisissa kaapelipäätteissä ja staattorin käämityksissä voi olla pintapurkauksia. Pintapurkaukset eivät ole kaapelille yhtä haitallisia kuin sisäiset purkaukset. (Ghulam 2008, 18.)

Koronapurkaukset tapahtuvat kaasussa ja ne aiheutuvat paikallisesti teräväksi muuttuneesta elektrodikentästä. Koronapurkaus on usein harmiton, mutta muodostaa ympäristölle haitallisia kaasuja. (Ghulam 2008, 19.)

Osittaispurkausmittauksen hankaluuksia on oikeiden parametrien asettelu, jotta kunnossapito tai kaapelin vaihtotarve voidaan määritellä. Usein kalibrointi tehdään syöttämällä tiedossa oleva määrä latausta ja mittaamalla jännitteen amplitudi ilmaisimesta. Perinteinen osittaispurkausmittaus tunnistaa purkaukset tarkasti vain lyhyiltä, erotetuilta kaapelireiteiltä. Suurilla johtopituuksilla osittaispurkausmittaus ei ole tarkka, koska kaapelin kapasitanssi kasvaa liian suureksi. Osittaispurkausmittaus voidaan tehdä tärkeille kohteille kaapelin ollessa käytössä. Käytönaikainen osittaispurkausmittaus vaatii itse mittarin lisäksi myös koe-tusjännite lähteen sekä kytkentäkondensaattorin. Tämä on kuitenkin erittäin kallias ja raskas tapa tehdä "online"-testauksia. Helpompi tapa on toteuttaa online-mittaus Rogowskin-kelan avulla, jossa osittaispurkaus havainnoidaan ja paikannetaan akustisilla menetelmillä. Rogowskin-kela on pienikohinainen, tarkasteltavan johtimen ympärille asetettava kela, jossa on rengaskäämitetty ei-magneettinen ydin. Tästä esimerkkinä FLUKE i2000flex. (Ghulam 2008, 24; Hyvönen 2003, 25.)

PEX-kaapeleilla (10kV) osittaispurkausmittauksen sekä kaapelitutkauksen etenemisnopeutena voidaan käyttää 168,7 m/μs, tapauksissa joissa kaapelin koko pituus ei ole tiedossa. Öljypaperieristeillä vastaavissa tapauksissa voidaan käyttää seuraavia arvoja: APAKM 164,1 m/μs, APYAKMM 157,2 m/μs ja PLKVJ 156,7 m/μs. (Hyvönen 2003, 49;55.)

Petri Hyvösen lisenssiaattityön mittaustuloksissa ei pystytty määrittelemään tutkittujen PEX-kaapeleiden eristysten heikkenemistä, eikä siinä myöskään esitetty raja-arvoja PEX-kaapeleille. Hyvösen kenttämittausten tulosten perusteella on öljypaperikaapeleilla määritelty Taulukko 5 mukaiset raja-arvot. Raja-arvoista poikkeaminen ei välttämättä tarkoita, että kaapelieristys on heikentynyt. Raja-arvon ylittäminen vaatii tarkempaa analysointia purkauksen aiheuttajan selvittämiseksi. (Hyvönen 2003, 90.)

Taulukko 5. 10kV öljypaperieristeisten kaapeleiden osittaispurkausten raja-arvot (Hyvönen 2003, 90).

Jännite	APAKM	APYAKMM	PLKVJ
U_0	5000 pC	1000 pC	2700 pC
$1,3U_0$	5000 pC	1200 pC	5000 pC
$1,5U_0$	6000 pC	1300 pC	8200 pC

Kaapelitutka TDR (Low-Voltage time domain reflectometry)

Kaapelitutka on erityisesti vian hakemiseen tarkoitettu mittari, mutta sitä voidaan soveltaa myös kunnossapitoon. Vianhaussa on tiedettävä kaapelin reitti ja kaapelin pituus. Jännitteettömän kaapelin reittiä on erittäin hankala paikantaa kaapelinhakulaitteella, joten kaapelireitin tarkka dokumentointi on ehdottoman tärkeää. Vianhaku vaatii tietoa, taitoa ja kokemusta. Varsinkin kaupunkialueella, missä on paljon muita kaapeleita ja putkia. Vian paikantamisessa tai vastaavasti laitteen soveltamisessa kunnossapitoon, on tärkeää, että ymmärtää paikannuslaitteen toimintaperiaate. (Megger 2003, 7.)

TDR perustuu lähetetyn pulssin heijastumisen tulkintaan. Tämä tekniikka on kehitetty jo 1940-luvulla. Sillä voidaan mitata kaapelin pituus ja kaikki poikkeamat kaapelissa, kuten kaapelijatkot ja viat. Kaapelin pituus voidaan laskea jakamalla signaalin matkaama aika kahdella ja kertomalla tulos etenemisnopeudella. Tämä tarkoittaa sitä, että on tiedettävä, millä nopeudella signaali etenee mitattavassa aineessa. Väärä etenemisnopeus antaa virheellisen mittatiedon. Oikean etenemisnopeuden valitseminen on erityisen haastavaa, mikäli kaapelin johdinaine muuttuu matkan aikana. Yleisesti käytettyjä etenemisnopeuksia eri materiaaleissa näkyy kuviossa 19. (Megger 2003, 13.) Rovaniemen Energiolla vian haussa on käytetty seuraavia etenemisnopeuksia: Cu (10kV) 149 m/μs, Al (10kV) 179 m/μs ja Al (0,4kV) 183 m/μs.

CableType	Remark	Average Propagation Time Velocity v/2 [m/μs]
PILC	Impregnated paper Dry paper	75 - 85 108 - 132
XLPE		78 - 87
PE		Approx. 100
PVC		76 - 87
EPR		68 - 83

Fig. 2.6; propagation velocity v/2 for different types of cables

Insulation Type	kV	Wire Size	Vp Percent	Vp Ft/μs	Vp M/μs	Vp Ft/μs
EPR	5	#2	45	443	135	221
EPR	15	#2 AL	55	541	165	271
HMW	15	1/0	51	502	153	251
XLPE	15	1/0	51	502	153	251
XLPE	15	2/0	49	482	147	241
XLPE	15	4/0	49	482	147	241
XLPE	15	#1 CU	56	551	168	276
XLPE	15	1/0	52	512	156	256
XLPE	25	#1 CU	49	482	147	241
XLPE	25	1/0	56	551	168	276
XLPE	35	1/0	57	561	171	280
XLPE	35	750 MCM	51	502	153	251
PILC	15	4/0	49	482	147	241
XLPE	0.6	#2	62	610	186	305
Vacuum	—	—	100	984	300	492

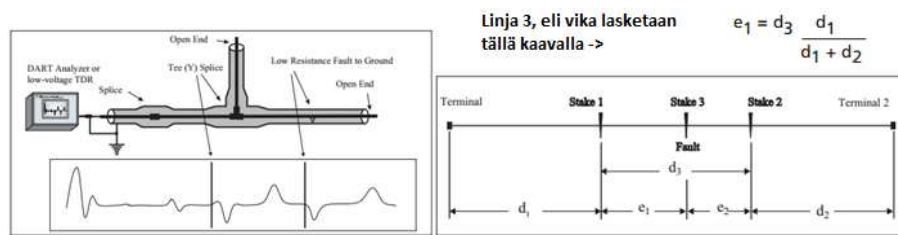
Kuvio 19. Etenemisnopeudet eristeessä (Neler 2009, 6.) ja johtimessa (Megger 2003, 15.)

Ehjä kaapeli ei anna heijasteita muuten kuin kaapelin loppupäästä. Kaapelin impedanssin muuttuessa jatko- tai vikapaikassa, osa lähetetystä energiasta palaa takaisin ja piirtyy TDR:n näytölle. Kaapelitutka on erinomainen väline avoimien virtapiirien, kaapelijatkosten ja T-liitosten paikantamiseen. Yli 200 ohmin oikosulkujen sekä maasulkujen heijastuma on niin pieni, että niitä on vaikea erottaa. Valitettavasti maakaapeliverkossa vikaresistanssit kohoavat usein tuhansien tai jopa Megaohmien suuruiseksi, ja näin ollen ovat lähes mahdoton paikantaa pelkästään TDR-tekniikalla. Parhaimmillaan TDR kaapelitutka on parikaapeleiden ja koaksiaalikaapeleiden vianpaikannuksessa. (Megger 2003, 13.)

Avoimen johtimen ja maasulussa olevien johtimien heijastumat ovat vastakkaisia toisiinsa nähden, koska niiden impedanssit ovat erilaisia. Jokaista heijastumaa kohden pulssin amplitudi on aina hieman pienempi. Tämä tarkoittaa, että kun kaapelissa on peräkkäin kaksi samanlaista jatkoa, niin ensimmäinen heijastuma on suurempi kuin sitä seuraavassa. Heijastuman suuruudesta ei voida tehdä mitään päätelmiä. (Megger 2003, 13.) Pienivastuksisessa maasulussa, alle 200 ohmia, signaali jatkuu vikapaikan läpi aina kaapelin loppupäähän. Silloin kun kaapeli on täysin poikki, niin heijastuma näyttää ehyeltä kaapelilta. Tällaisessa tapauksessa on verrattava tutkan antamaa etäisyyttä tiedossa olevaan kaapelin mittaan. (Megger 2003, 15–16.)

Kaapelijatko aiheuttaa pienen häiriön kaapelin impedanssissa ja näkyy näytöllä kohoumana ja kuoppana. Mikäli tiedossa olevan jatkos kohdalla näkyy kuoppa, niin jatko on todennäköisesti viallinen. Kaapelin haaroittuminen näyttää äkkisel-

tään samalta kuin jatko, mutta erona on paluusignaali haaroittuvan kaapelin päästä. (Megger 2003, 17–18.)



Kuvio 20. TDR mittaus, kaapelissa jatko, T-liitos ja maasulku (Megger 2003, 18).

Toisinaan signaalin tulkitseminen on haastavaa ja dokumentoinnin on täsmättävä, jotta tiedetään, mitä kuvassa pitäisi näkyä. Pelkästään kaapelitutkauksen perusteella ei kannata alkaa kaivamaan vikaa esille, koska liian moni muuttuja vaikuttaa tarkkuuteen. Nopeus voi olla väärä, tarkka kaapelireitti ei ole tiedossa tai TDR:n tarkkuus ei ole riittävä. Mikäli paikannus pitää kuitenkin tehdä pelkästään TDR:llä voidaan käyttää kolmen linjan tekniikkaa, joka antaa paremman tarkkuuden (Kuvio 20). Menetelmä koostuu suurpiirteisestä mittauslukemasta kaapelin yhdestä päästä (terminal 1) ja asettamalla kursori linjalle 1 (stake 1). Kytetään TDR toiseen päähän mitattavaa kaapelia (terminal 2) ja asetetaan nyt näkyvään vikakohtaan linja 2 (stake 2). Viivat eivät välttämättä asetu kuten kuvassa on esitetty, vaan voivat olla toisinpäin tai vaikka päällekkäink. Olivat viivat miten vain, niin vika on viivojen välissä. On tärkeää, että samaa nopeutta on käytetty molemmissa päissä. Todellinen vika on linjan 3 (stake 3) kohdalla ja lasketaan kuvion 20 kaavalla. (Megger 2003, 15–16.)

Eristysresistanssimittaus

Eristysresistanssimittauksella todennetaan sähkölaitteiden kunto ja turvallisuus mittaamalla jännitteisten osien ja kosketeltavien osien välinen eristys. Tällä varmistetaan, että jännitteiset osat ovat riittävän eristettyjä maasta. Tyypillisesti tämä mittaus tehdään käyttöönottotarkastuksen yhteydessä, joten vertauskohta kunnossapito varten on saatavilla. Rovaniemen Energialla käyttöönottotarkastusten raportit tehdään erillisille Excel-pohjille. Mikäli mitattua tietoa halutaan hyödyntää pidemmälle, on raportointia muutettava. Rakentamisen yhteydessä mitattua tietoa voidaan tällä hetkellä verrata käsipelillä kunnossapidossa tehtyyn mittaukseen.

Maadoitusmittaus

Maadoituksella varmistetaan käyttö- ja työturvallisuus estämällä vaarallisten kosketusjännitteiden syntyminen vikatapauksissa. Tämä mahdollistetaan yhdistämällä jännitteelle alttiit osat sähköverkon suojamaadoitukseen. Oikein mitoitetuna maadoitusverkko vähentää ylijännitteiden aiheuttamia vaurioita ja vaaratilanteita. Maadoitukset muodostavat turvallisen reitin vikavirralle sekä varmistavat suojalaitteiden nopean toiminnan.⁵ (Suuronen 2006, 7.)

Eri maalajeilla on hyvin suuria resistiivisyyden vaihteluita, joihin vaikuttavat muun muassa raesuuressa, kosteus, tiiviys, suolojen määrä ja lämpötila. Maahan johdettu virta leviää suurelle alueelle, ja näin ollen maan todellinen resistanssi jää pieneksi. Suomessa käytetään maaperän vastuksen keskiarvona 2300 Ohmia metriä kohden. (Suuronen 2006,14.)

Maadoitusjärjestelmille on asetettu neljä vaatimusta. Ensinnäkin sillä on oltava riittävä mekaaninen lujuus ja korroosion kestävyys. Toiseksi sen on termisesti kestävä verkon suurin vikavirta. Maadoituksen on estettävä omaisuuden ja laitteiden vaurioituminen. Neljänneksi sillä on varmistettava henkilöiden turvallisuus maadoitusjärjestelmässä esiintyvien jännitteiden suhteen. Maadoitusverkko on mitoitettava vikavirran suurimman arvon, vian kestoajan sekä maaperän ominaisuuksien mukaan. Maasulkuvirran suuruus kasvaa maadoitusverkon laajentuessa. (Sesko 2012, 70.)

Maadoitusresistanssi on mitattava uusien laitteistoiden käyttöönottotarkastuksessa. Tämän lisäksi SFS 6001 suosittelee sen mittaamista 6 vuoden välein silloin, kun maadoitus on yhden maadoituselektrodin varassa ja 12 vuoden välein silloin, kun maadoitus on useamman kuin yhden elektrodin varassa. Mittauksien kannalta on tärkeää, että maa ei ole roudassa. Maadoitusmittauksia tulee tehdä suurjännite-erottimien suojamaadoitukselle, muuntajan suurjännitepuolen suojamaadoitukselle, sähköaseman maadoituksille ja enintään 1000 V:n jakeluverkon maadoituksille silloin, kun järjestelmä on alttiina yli 1000 V:n jännitteille. (SFS 6001).

⁵ Maadoituskirja. Sähkö- ja teleurakointiliitto. 2001.

Maadoitusresistanssi voidaan mitata monella eri tavalla. Eniten käytetään menetelmää, missä syötetään tietyn suuruista virtaa mitattavan maadoituselektrodin kautta ja mittaamalla tämän jälkeen elektrodin yli vaikuttava jännite. Saadusta tuloksesta voidaan ohmin lain mukaisesti laskea maadoitusresistanssi. Tätä menetelmää kutsutaan maasulkumittausmenetelmäksi. Toinen mittausmenetelmä on käännepistemenetelmä. Siinä mitataan resistanssin arvoja, jotka sovitetaan käyräksi. Käyrän käännepisteestä voidaan mitata maadoituselektrodin arvo. Mittaus voidaan tehdä myös virta-jännitemenetelmällä, voltti- ampeerimenetelmällä tai sarjamittauksena. (Suuronen 2006, 26–36.)

Akustojen kapasiteettikoe

Akustoilla suojataan sähkönjakelulle kriittisten kohteiden toiminta. Tyypillisesti sähkönjakelussa akustolla varmistetaan kaukokäyttöä, tietokoneita, suojareleiden toimintaa sekä hätävalaistusta. (Megger 2012, 4.)

Akut ovat monimutkaisia kemiallisia mekanismeja. Akuissa on useita osia, joista jokainen voi aiheuttaa vikaantumisen. Akustojen testauksella varmistetaan, että akustojen kapasiteetti on riittävä tukemaan sen perässä olevia laitteistoja. Akustot mitoitetaan yleensä 20 % syötettävän laitteiston kuormaa suuremmaksi. kapasiteettikokeella pyritään myös ennustamaan akuston rikkoutumista, mittaamalla sen kykyä purkaa virtaa. Kapasiteetin mittaus on tärkeä työkalu akuston riittävyyden ja kunnon arvioinnissa sekä akuston oikea aikaisen vaihdon määrittämisessä. Mittauksen yhteydessä havaitaan myös, mikäli rakenne on mekaanisesti vaurioitunut. (Megger 2012, 4.)

Lyijyakut voidaan jakaa nesteakkuihin ja kuivavarattuihin, eli suljettuihin akkuihin. Akkujen huolloille on määritelty eri standardeja. Nesteakkuja koskeva standardi on IEEE 450 ja suljetuille IEEE 1188. Nikkeli-kadmiumakuille standardi on IEEE 1106. Rovaniemen Energialla on käytössä pelkästään nesteakkuja, joten käsittelen tässä yhteydessä vain niiden huoltoa. IEEE450 määrittelee nesteakuille seuraavat huoltotoimet. Kuukausittainen tarkistus, joka sisältää silmä-määräinen tarkistuksen, akkujen jännitteen ja virtojen mittauksen, latausvirtojen ja -jännitteen mittauksen sekä ympäröivän lämpötilan tarkistamisen. Kuukausitarkastuksen lisäksi suositellaan neljännesvuosittaista tarkastusta, jossa edellisten lisäksi mitataan jännite ja lämpötila satunnaisesti 10 %:lta kennoista. Kerran vuodessa suositellaan laajennettua kuukausitarkastusta, jossa mitataan kaikki-

en kennojen jännitteet ja lämpötilat. Kapasiteettimittaukset tulisi tehdä akuston asennuksen yhteydessä, kahden vuoden jälkeen käyttöönotosta, säännöllisesti aikavälillä 25 % oletetusta iästä sekä tiheästi akuston kapasiteetin pudottua 85 %:iin. (Megger 2012, 9.)

Kapasiteettitesti on varmin tapa todentaa akuston kuntoa ja todellista varauskapasiteettia. Se kertoo myös, milloin akuston uusiminen on syytä tehdä. Uusien akustojen kapasiteetti on hieman ilmoitettua pienempi, ja se on aivan normaalia akun käyttäytymistä. Tyypillinen testiaika on 5 tai 8 tuntia. Purkaus lopetetaan kennojännitteen ollessa 1,75V kohdalla. Normaalitilassa kennon napajännitteen on oltava 2,23V, jolloin sallittu hajonta on 2,19-2,25V. Suurempi hajonta on merkki kennossa olevasta häiriöstä. Testiajan tulisi olla sama kuin akustolle laskettu todellinen käyttöaika häiriötilanteessa. Samaa testausaikaa suositellaan käytettäväksi koko akuston elinkaaren ajan, jotta mittaukset olisivat vertailukelpoisia. Testissä mitataan, kuinka paljon akuston kapasiteetti kykenee luovuttamaan virtaa ennen termistä jännitteen putoamista. Kapasiteetti on virta kertaa aika, ilmaistuna ampeeritunteina (Ah). Mikäli akusto on esimerkiksi kapasiteetiltaan 100 Ah, ja sen purkausajaksi halutaan 10 tuntia, niin purkausvirran tulee olla 10 Ah. Mikäli akusto kestää koko mittausajan romahtamatta, on sen kapasiteetti 100 %. Mikäli romahdus tapahtuu 8 tunnin kohdalla, on kapasiteetti 80 % ja akusto on syytä uusia. Kapasiteettikokeen aikana mitataan myös elektrolyyttitiheyttä, joka mitataan kokeen alkaessa sekä joka toinen tunti kokeen alusta puoleen väliin, jonka jälkeen mittaus tehdään joka tunnille. (Megger 2012, 12.)

3.3 Korjaukset

Headpowerin kunnonhallintaohjeisto on monilla verkkoyhtiöllä käytössä. Se antaa pohjatietoja kunnonhallinnan sekä kunnossapidon suunnittelustrategioista. Ohjeiston perustietopakettiin kuuluu lakisääteisen ja dokumentoidun kunnossapito-ohjelman tausta-aineistot, suunnittelumallit sekä niiden täyttöohjeet. Ohjeisto auttaa keräämään riittävän määrän tietoa jakeluverkon kunnosta. Tarkastuksissa kerättävä tieto tulee olla sellaista, että niistä ilmenee riittävästi tietoa korjaustoimintojen tekemiseen. Kuntohierarkiasta tulee myös kunnossapitotoimenpiteiden ehdotukset. (Headpower ratkaisumallit 2014.)

Liitteessä 1 on listattu Headpowerin kunnossapidon korjauskohteet, ja mitä töitä ne pitävät sisällään. Esimerkiksi johtoalueen kasvillisuuden raivaus ja reunapuiden oksiminen, pj-riippujohdossa mittayksikkö on kilometri. Työ pitää sisällään alustan raivaamisen ja reuna-puiden oksimisen 1 metrin leveydeltä. Raivausjätteen käsittely tehdään tilaajan ohjeiden mukaan. Näistä korjaustoimenpiteistä kaikki käydään läpi ja valitaan Rovaniemen Energian käyttöön sopivat korjaustyöt. Jokaiselle korjaustyölle täytyy löytyä sen käynnistävä input-tarkastuksista. Valitut korjaustyöt lisätään MMS -järjestelmään korjaustöiksi.

HeadPowerista käyttöön valitaan liitteessä 1 oranssilla merkityt korjaustyöt. Liitteessä yksi kerrotaan myös mitä kyseiset työt pitävät sisällään ja mitä mittayksiköitä käytetään. Valitut kunnossapitoyksiköt aktivoidaan HeadPowerin hinnastossa.

3.4 RCM -strategia

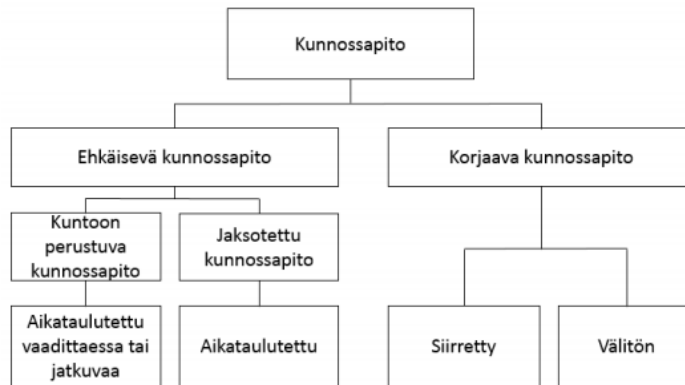
Järviö ja Lehtiö jakavat kunnossapidon strategiat karkeasti kolmeen ryhmään: laatujohdannaisiin, tuottavaan kunnossapitoon (TPM, Total Productive Maintenance) ja luotettavuus keskeiseen kunnossapitoon (RCM, Reliability centered maintenance ja SRCM, Streamlined RCM). Ensimmäiselle ryhmälle on tyypillistä, että kunnossapitotyöt pyritään suorittamaan oikein heti ensimmäisellä kerralla. Toisessa ryhmässä oleva TPM pyrkii motivoimaan käyttäjiä pitämään koneista huolta ja rakentamaan yhteistyötä muiden osastojen välillä. Kolmannessa ryhmässä tarkoituksena on valita kullekin laitteelle mahdollisimman tehokas kunnossapito strategia. (Järviö–Lehtiö 2012, 112.)

Tässä projektissa lähdettiin selvittämään RCM-strategian soveltamista sähkönjakeluverkon kunnossapitoon. RCM on saanut vakaan jalansijan Suomalaisessa automaatio ympäristössä, joten siitä löytyy paljon kirjallisuutta. Sitä on myös sovelluttu sähkönjakelutekniikkaan mm. Kanninen 2013 ja Bertiling 2002.

3.4.1 Kunnossapitoon liittyvät termit ja käsitteet

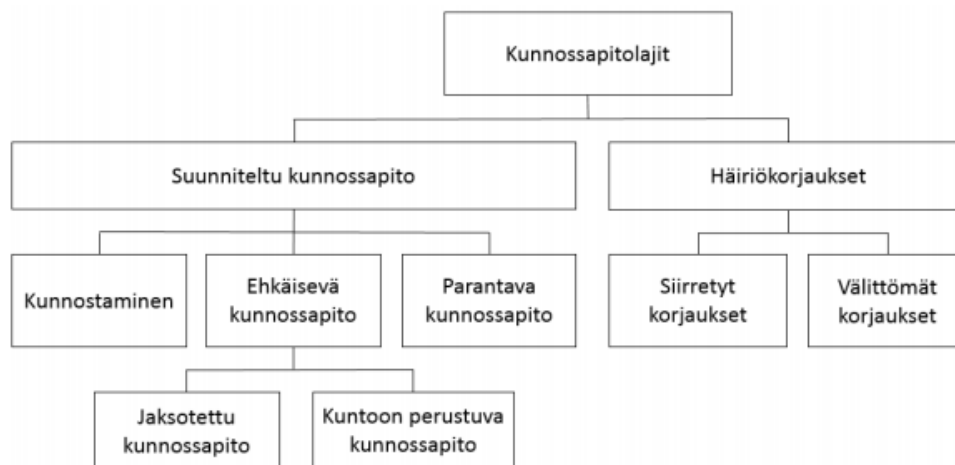
Kunnossapidon tehokkaan johtamisen perustavaa laatua olevaksi edellytykseksi voidaan lukea tekemisten jako tuotannon-omaisuuden lajeiksi. Jaotteluun on määritelty eri standardeissa erilaisia tapoja. SFS-EN 13306:2010 -jako on yksi suoraviivaisimmista (Kuvio 21). Siinä kunnossapidon toimet jaetaan vikahavainnon mukaan. Kaikki kunnossapito, joka tapahtuu ennen vian ilmenemistä, on

ehkäisevää kunnossapitoa ja vastaavasti vian ilmaannuttua korjaavaa. (Järviö & Lehtiö 2012,46.)



Kuvio 21. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2010 mukaan (Järviö & Lehtiö 2012, 46.)

PSK 6201:2011 (Kuvio 22) mukainen tarkastelu lähtee vialuokittelun sijaan jakamaan lajit suunnittelun ja tuotantohäiriöiden mukaan. Korjaukset jaetaan samoin kuin edeltävässä mallissa, mutta suunniteltuun kunnossapitoon lisätään ehkäisevän kunnossapidon lisäksi kunnostaminen ja parantava kunnossapito. PSK 7501:2010 on aikaisemmin julkaistu versio. Ainoa ero näiden välillä on, että PSK 7501:2010 -versiosta luovuttaessa, yhdistettiin siinä olleet kunnonvalvonta, ja kuntoon perustuva suunniteltukorjaus yhdeksi kokonaisuudeksi: kuntoon perustuvaksi kunnossapidoksi. (Järviö & Lehtiö 2012,47.)



Kuvio 22. Kunnossapitolajit PSK 6201:2011 mukaan (Järviö & Lehtiö 2012, 47.)

RCM koostuu ennakoivista eli proaktiivisista ja reagoivista kunnossapidon toimista. Ennakoivia toimia ovat vikaantumisen havaitseminen ja vikaantumisen estäminen jaksotetulla kunnossapidolla. Järviön ja Lehtiön mukaan standardit

pyörivät paljon vikaantumisen ja korjaamisen ympärillä, eivätkä ne useinkaan huomioi uudistamisen näkökulmaa. Esimerkiksi RTF (Run To Failure), jolla tarkoitetaan konetta, joka ei ole ehkäisevän kunnossapidon piirissä ja täten sille tehdään vain normaalit huoltotoimenpiteet ja silmämääräinen seuranta. RTF-strategiassa koneen rikkoontuessa se joko korjataan tai vaihdetaan uuteen. Tällaista strategiaa voidaan käyttää koneilla, joiden arvo ja vian vaikutus ovat pieniä. Tämän lisäksi standardit jättävät sivuun myös modernisoinnit ja käytännön kunnossapitoon liittyvät analyysit. (Järviö & Lehtiö 2012,48.)

Kunnossapito voidaan mieltää laajemmin kuuluvan tuotanto-omaisuuden hoitamiseen. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen on laajempi käsite, joka voidaan ryhmitellä viiteen osaan: huoltoon, ehkäisevään kunnossapitoon, korjaavaan kunnossapitoon, parantavaan kunnossapitoon sekä vikojen ja vikaantumisen selvittämiseen. (Järviö & Lehtiö 2012,49.)

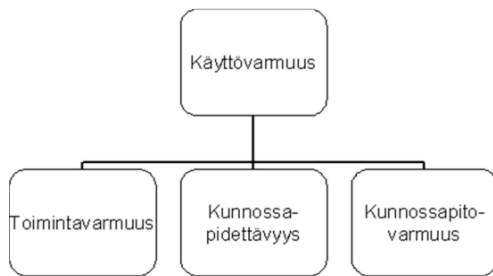
PSK 6201:2011 määrittelee huollon seuraavasti: jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka sisältää kohteen tarkastamisen, säädön puhdistamisen, rasvauksen, öljynvaihdon, suodattimen vaihdon ja muut vastaavat toimenpiteet (Järviö & Lehtiö 2012,49). Järviö ja Lehtiö sisällyttävät huoltotoimenpiteisiin huollon toimintaedellytysten vaalimisen, puhdistuksen, voitelut, huoltamisen, kalibroinnin, kuluvien osien vaihtamisen ja toimintakyvyn palauttamisen.

PSK 6201:2011 määrittelee ehkäisevän kunnossapidon seuraavasti: ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toiminta kyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen (Järviö & Lehtiö 2012,49). Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyy tarkastaminen, kuntoon perustuva kunnossapito, määräystenmukaisuuden toteaminen, testaaminen, käynninvalvonta ja vikaantumistiedon analysointi. (Järviö & Lehtiö 2012,50.)

PSK-standardin määritys korjaavalle kunnossapidolle on seuraava: korjaavaa kunnossapito on häiriökorjaus, kunnostaminen ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus (PSK 6201:2011). SFS-standardi tunnistaa myös korjaavan kunnossapidon ja määrittelee sen niin, että korjaava kunnossapito on kunnossapitoa, jota tehdään vian havaitsemisen jälkeen tavoitteena saattaa kohde tilaan, jossa se voi toteuttaa vaaditun toiminnon (SFS-EN 13306;2010). Korjaavaan kunnossapitoon sisältyy vian määrittäminen, tunnistaminen, paikantaminen, korjaus ja toimintakunnon palauttaminen. (Järviö & Lehtiö 2012,51.)

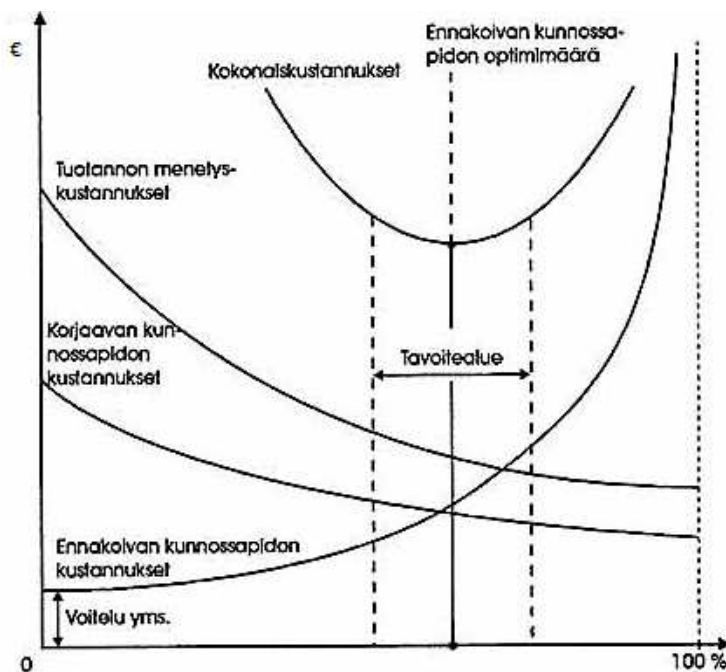
Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa (PSK 6201:2011). Parantavassa kunnossapidossa on kolme pääryhmää. Ensimmäisessä ryhmässä kohteeseen vaihdetaan kulunut tai rikkiäinen osa joka on uudempi tai hieinan erilainen, mutta joka ei kuitenkaan muuta kohteen suorituskykyä. Toinen ryhmä muodostuu uudelleensuunnittelusta tai korjauksesta, jossa kohteen luotettavuus paranee ilman suorituskyvyn muutosta. Kolmas ryhmä koostuu modernisoinneista, joilla haetaan suoraa suorituskyvyn parantamista. Yleensä modernisoinnissa muuttuvat sekä komponentti että prosessi. (Järviö & Lehtiö 2012,51.)

Järviön mukaan luotettavuudesta puhuttaessa käytetään yleisesti sen synonyymiä käyttövarmuus (Kuvio 23). Käyttövarmuutta on käytetty yläkäsitteenä puhuttaessa kohteen aikaan liittyvistä laatuominaisuuksista. Käytettävyys on kohteen kyky pysyä tilassa, jossa se voi suorittaa siltä vaaditun toiminnon olettaen, että tarvittavat ulkoiset resurssit toteutuvat. Luotettavuus rinnastuu käyttövarmuuden kautta käytettävyyteen, joka koostuu toiminta varmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Toimintavarmuudella tarkoitetaan komponentin kykyä suoriutua toiminnosta määrättyssä olosuhteessa ja vaaditussa ajassa. Kunnossapidettävyydellä tarkoitetaan komponentin pitämistä toimintakunnossa määrättyissä olosuhteissa, kun käytetään kunnossapidolle määriteltäviä tapoja ja resursseja. Kunnossapitovarmuudella Järviö tarkoittaa kunnossapidolle määritellyn organisaation kykyä suorittaa oikeita tukitoimenpiteitä oikeaan paikkaan, jotta kohteelle tarvittavat toimenpiteet voidaan suorittaa. (Järviö & Lehtiö 2012, 54–56.) SFS-IEC 50(191) -standardi määrittelee käyttövarmuuden samoin kuin Järviö & Lehtiö. Standardissa toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyys määritellään kohteen ominaisuuksiksi, joihin kunnossapidon suunnittelulla vaikutetaan. Kunnossapitovarmuus määritellään standardissa kunnossapito-organisaation kykyä tuottaa kohteen vaatimat palvelut. (Ahonen, Jännes, Kunttu, Vlkokari, Venho-Ahonen, Välisalo, Ellman, Hietala, Multanen, Mäkiranta, Saarinen & Franssila 2012, 9.)



Kuvio 23. Käyttövarmuus

Kunnossapito kuuluu liiketoimintaan, joten on kyettävä osoittamaan ketju, jolla laitteen toiminnan tehokkuus voidaan yhdistää taloudellisiin lukuihin. Järviö & Lehtiä käyttävät pohjana Hans Ahlmanin työtä toteutuneen tuotannon pilkkomisessa pienempiin kokonaisuuksiin. Toteutunut tuotanto koostuu tässä mallissa teknisestä suorituskyvystä, käytettävyydestä ja käytön tehokkuudesta. Tuotannon kokonaistehokkuutta ja käyttövarmuutta voidaan yleisesti pitää kunnossapidon keskeisenä tavoitteena. (Järviö & Lehtiö 2012, 57.) Sähköverkkoyhtiön tuotantokoneistoksi voidaan mieltää sen jakeluverkko komponentteineen.



Kuvio 24. Ennakoivan kunnossapidon optimointi (Opetushallitus 2014).

Kuviossa 24 on erittäin havainnollisesti osoitettu, kuinka taloudellisen tasapainon tulisi löytyä suhteessa kunnossapidon kustannuksiin. Tavoitealueena on kohta, missä kokonaiskustannukset ovat alimmillaan. Tavoitealue on ennakoivan kunnossapidon ja vikojen aiheuttamien kustannusmenetysten leikkauskohdassa.

3.4.2 RCM-strategia yhdistettynä konsernin visioon ja strategiaan

Yksikötason strategiaa määriteltäessä tulisi kiinnittää huomiota myös ylemmän tason visioiden ja strategian asettamista näkökulmista.

Rovaniemen Energia – konsernin visio vuodelle 2015 on jaettu seuraaviin kohtiin:

1. Täytetään asiakkaiden energiaan liittyvät tarpeet mahdollisimman tehokkaasti, hyödyntäen paikallisia resursseja.
2. Henkilöstön osaamista kehitetään, toimintamalleja tehostetaan ja luodaan kannustava yrityskulttuuri.
3. Yhteistoiminta yritysten ja kuntien liiketoimien kanssa hyödynnetään.
4. Biopolttoaineiden käyttöä hyödynnetään voimalaitoksessa

Edellä mainittujen kohtien lisäksi visiossa on annettu sanallisia selvennyksiä koskien asiakkaita, energiaan liittyviä tarpeita, paikallisia resursseja sekä henkilöstön osaamisen kehittämistä koskien. (RE konsernin visio ja strategia 2015, 2.)

Uusia kannattavia asiakkuuksia pyritään saamaan, vaikka yrityksen strategia ei ole kasvua hakeva. Asiakkuudet on rajattu nykyisen sähkönsiirron ja kaukolämmön asiakkaisiin, mutta myös uusiin tuotteisiin tai palveluihin liittyvät tai maantieteellisesti uusilla alueilla olevat. (RE konsernin visio ja strategia 2015, 2.)

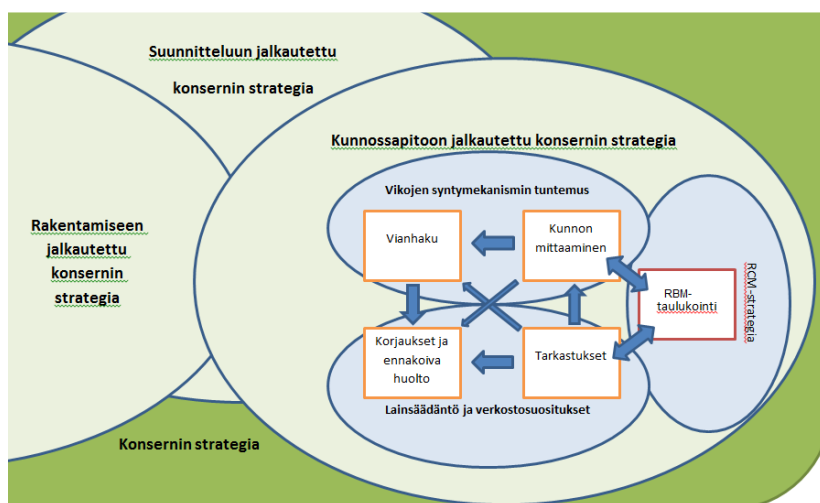
Energiaan liittyvillä tarpeilla visiossa tarkoitetaan olemassa olevien tuotteiden lisäksi asiakkaiden uusia ja kehittyviä tarpeita. Esimerkkeinä on mainittu energiankulutuksen mittaustietoon, energiatehokkuuteen, pien- ja mikrotuotantoon sekä sähköautoihin liittyvät tarpeet. (RE konsernin visio ja strategia 2015, 2.)

Asiakkaiden tarpeisiin vastaaminen nähdään elinkyvyn ja jatkuvuuden kannalta kriittiseksi. Henkilöstön osaaminen tulee rakentaa palvelemaan tätä näkökulmaa. (RE konsernin visio ja strategia 2015, 2.)



Kuvio 25. Kunnossapitoon jalkautettu konsernin strategia

Sähköverkon kunnossapidon suurin asiakas on Rovaniemen Verkko, jonka tarpeet pyritään ensisijaisesti täyttämään. Asiakkuuksia on myös yksityisten muuntajien omistajissa. Asiakkaan tarpeiden täyttäminen kustannustehokkaasti tarkoittaa käytännössä osaavalla henkilöstöllä hyvin suunniteltujen töiden tekemistä. Kunnossapidon visioksi voidaan määrittää energiatohokkuuden ja -varmuuden perustan luominen kustannustehokkaasti ja ammattitaidolla (Kuvio 25).



Kuvio 26. Kunnossapidon RCM-strategian rakentuminen

Kuvio 26 on hahmoteltu kunnossapitoon vaikuttavaa strategista kenttää. Kaiken toiminnan lähtökohtana on konserninstrategia, jota jalkautetaan alaspäin kaikille konsernin toiminnoille. Yllä on kuvattu kunnossapitoon oleellisesti vaikuttavat toiminnot, joita ovat rakentaminen ja suunnittelu. Verkon rakentaminen, suunnittelu ja kunnossapito muodostavat yhden toiminnallisen kokonaisuus, jossa yhden osakokonaisuuden toiminta vaikuttaa myös toiseen. Tässä työssä pureudutaan tarkemmin kunnossapidon toimintaan. Suunnittelun ja rakentamisen osuuden vaikutus kunnossapitoon rajataan tarkastelun ulkopuolelle.

Kunnossapito voidaan jakaa seuraaviin komponentteihin: tarkastukset, kunnon mittaaminen, vianhaku sekä korjaukset ja ennakoiva huolto. Kunnon mittaamisesta ja tarkastuksista tieto komponenttien teknisestä kuntoisuudesta menee RBM-tilukointiin, joka toimii kunnossapidon strategisena ja operatiivisena työkaluna. Tilukoinnista nähdään heikkojen komponenttien määrä koko jakeluverkossa. Näin ollen sitä voidaan hyödyntää budjetointiin, suunniteltaessa tulevan vuoden kunnossapitokohteita. Operatiivisella tasolla RBM-tilukointi nostaa esille mittaus, tarkastus ja huoltotehtäviä. RBM-tilukoinnin taustalla vaikuttaa RCM-strategia. RCM-strategiassa on määritelty vika-vaikutusanalyysit ja pohdittu, mitkä ovat verkon kriittisiä kohteita ja mitä halutaan nostaa RBM-tilukossa esille.

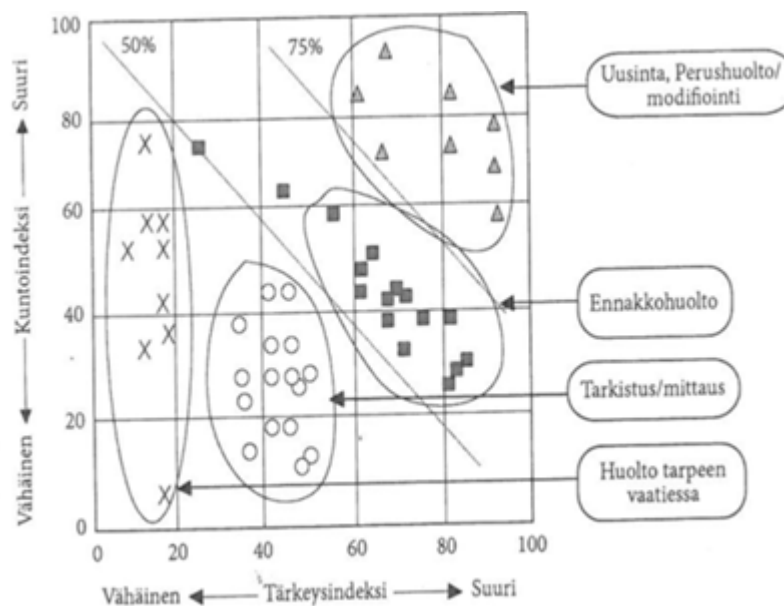
Tarkastukset käynnistyvät RBM-tilukoinnin tuloksena ja niissä tehdyt havainnot palaavat takaisin RBM-tilukkoon. Tarkastukset voivat käynnistää myös kunnon mittaamisen, komponentin korjauksen tai joskus jopa vianhaun.

Korjaukset voivat käynnistyä vianhaun, tarkastusten tai kunnon mittauksen seurauksena. Sekä korjausten että ennakoivan taustalla vaikuttavat sähköturvallisuuslaki ja verkostosuositukset, mutta myös jakeluverkkotoiminnan tuntemus ja eri aikakausina vallalla olleiden säädösten tuntemus.

Kunnon mittaaminen toimii myös molempiin suuntiin RBM-tilukoinnin kanssa. RBM:stä tulee lähetteitä kunnon mittaamiseen, muun muassa verkon laskennallisen kuormituksen mukaan. Kunnon mittauksen tuloksia hyödynnetään RBM-tilukoinnin taustatietoihin. Kunnon mittaamisen perusteella voidaan joutua suorittamaan varsinainen vianhaku tai korjaustoimenpide. Sekä vianhaun että kunnon mittaamisen taustalla vaikuttaa vikojen syntymekanismien tuntemus.

3.4.3 RBM-taulukoinnin toteutus osana RCM-strategiaa

Erkki Lakervi ja Jarmo Partanen esittelevät idean luotettavuuspohjaisesta kunnossapidosta (RBM, reliability based maintenance), jota voidaan käyttää apuna sopivien toimenpideohjelmien määrittelyssä verkostokomponenteille (Kuvio 27). Ydinajatuksena on tarkastella jokaista komponenttia sen kriittisyyden ja todellisen kuntotiedon valossa. Pystyakselille kuvataan komponentin kunto ja vaak akselille tärkeys. Korkea kuntoindeksi tarkoittaa, että komponentti on huonossa kunnossa ja sen kunnostustarve on kasvanut. Tärkeysindeksi kuvataan käyttövarmuuden näkökulmasta. Kohteen tärkeyden ollessa pieni, kunnossapitoa tehdään vain tarpeen mukaan. RCM-strategian termein vähäinen tärkeys tarkoittaa, että kone ajetaan loppuun (RTF, run to failure). Käyttövarmuuteen enemmän vaikuttaville komponenteille tehdään tarkastuksia ja mittauksia määräajoin. Koneille, joiden kunto on jo heikentynyt, voidaan tehdä ennakkohuolto. Teknisen käyttöiän tultua vastaan tehdään joko vaihto uuteen tai laaja perushuolto, jolla käyttöikä voidaan jatkaa. (Lakervi–Partanen 2008, 228–229.)

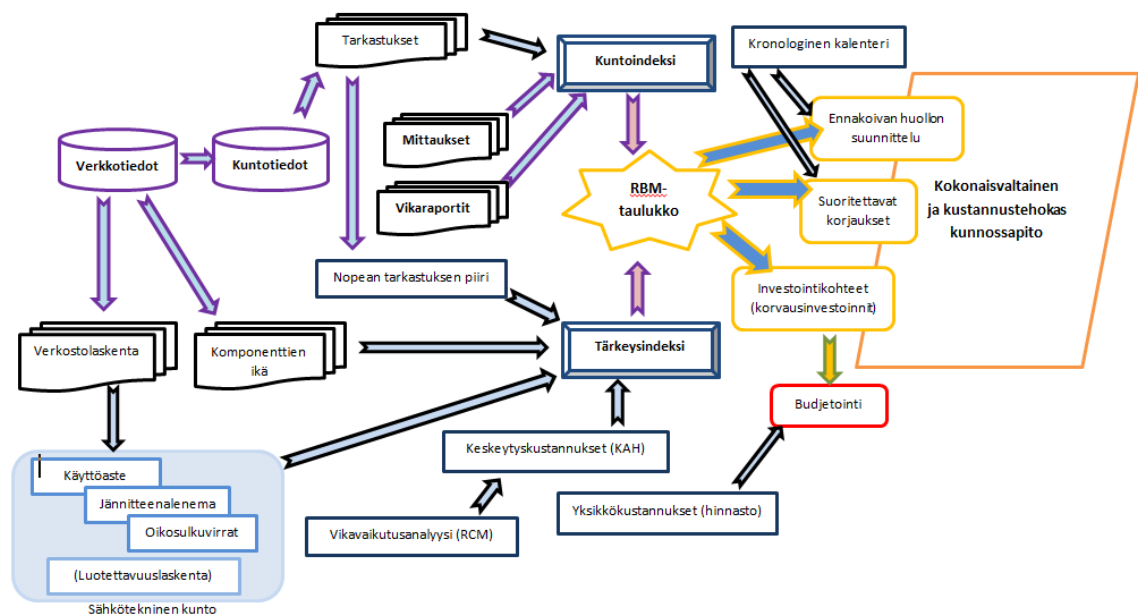


Kuvio 27. Luotettavuuspohjainen kunnossapito. (Lakervi–Partanen 2008, 229).

Lakervi & Partanen eivät ole kuitenkaan kertoneet kirjassaan tarkemmin, miten tämä käytännössä tulisi toteuttaa. He asettavat pallon tässä kohtaa lukijalle. Tutkittuani kunnossapidon eri strategioita en löytänyt ohjeita tai tietoa käytössä olevasta RBM-strategiasta. Sitä vastoin kuntoindeksiä pelkästään hyödyntäviä järjestelmiä löytyi, mistä esimerkkinä LuoVa-projekti, jossa on lähdetty hakemaan kuntoindeksiin vaikuttavia kertoimia, mihin on sitten yhdistetty kustannus-

vaikutukset (KAH-luku). Myös Trimblellä on kehitetty sovellus kuntoindeksin hyödyntämiseen. Käytän näistä kerättyä tutkimustietoa hyväksi RBM-taulukoinnin luomisessa.

Luotettavuuspohjaisen kunnossapidon ajatus on hyvä, ja Rovaniemen Energialla on käytössä sen toteuttamiseen tarvittavat välineet. Avainasemaan nousevat MMS Mobile ja QlikView. Mobilella voidaan kerätä kentällä todelliset komponenttien kuntotiedot tarkastuksissa, joista sitten jalostetaan kuntoindeksi. QlikView taas mahdollistaa tiedon keräämisen eri ohjelmien tietokantatauluista ja yhdistämisen erinäköisiksi kaavioiksi. QlikView pystyy hyödyntämään myös Excel-taukoita, mikä mahdollistaa mittausten ja vikaraportin tuomisen myös osaksi RBM-taulukointia.



Kuvio 28. RBM-taulukon koonti ja vaikutukset

Kuvio 28 on hahmoteltu RBM-taulukon vaikuttavia tekijöitä. Mikäli taulukointi rakennetaan oikein, se mahdollistaa siirtymisen pois alueperustaisesta kunnossapidon järjestelystä. Vaatimuksia tähän suuntaan olen kunnossapidon päällikönä saanut kuulla eri tahoilta jo pidemmän aikaa, mutta korvaavaa järjestelmää ei ole ollut. RBM-taulukoinnista voidaan myös poimia huollon tarpeessa olevat kohteet sekä korjaustarpeessa olevat. Se voi näin ollen toimia budjetoinnin perustana, yhdessä yksikkökustannusten kanssa. RBM-taulukointi perustuu kunto- ja tärkeysindekseihin, kuten Lakervi & Partanenkin esittivät.

Karkeasti määriteltynä kuntoindeksi muodostuu tarkastuksista, mittauksista ja vikaraporteista. Tarkastukset tehdään Trimblen MMS järjestelmällä, joten ne

sijaitsevat verkkotietokannan kuntotiedostotaulukoissa. Tarkastuksiin tehdään myös mahdollisuus asettaa komponentti nopean tarkastuksen piiriin, jolloin se vaikuttaa tärkeysindeksin kohoamiseen.

Tärkeysindeksiin vaikuttaa tarkastuksesta tuleva nopean tarkastuksen piiri, keskeytyskustannukset yhdistettynä vikavaikutusanalyysiin, komponenttien ikä sekä komponentin sähkötekniinen kunto. Komponenttien ikä tulee suoraa verkkotietojärjestelmästä. Verkkotietojärjestelmästä tulevat myös verkostolaskennat, joista komponenteille valitaan niihin vaikuttavat sähkötekniisen kunnan tekijät.

Sekä kunto- että tärkeysindeksissä on määriteltävä jokaiselle kohteelle juuri siihen vaikuttavat tekijät ja annettava tekijöille painoarvot. Tässä kohdassa tul- laan hyödyntämään LuoVa-projektissa tehtyä kuntoindeksimäärittystä.

Kunnossapito-ohjelmaa listattaessa on mietittävä tarkkaan, mitkä toimenpiteet siihen kannattaa sisällyttää. Tarkoitus ei ole vain listata mukaan kaikki mieleen tulevat ja sopivalta tuntuvat. Esimerkiksi jotkut osat ovat säännöllisin väliajoin vikaantuvia, erittäin nopeasti ja helposti vaihdettavia sekä kaiken lisäksi vielä suhteellisen halpoja. Mikäli tällaisten osien vikaantumisen mittaaminen vaatii paljon aikaa ja on vielä suhteellisen hankala toteuttaa, kannattaa tarkkaan miet- tiä, onko vain järkevämpää vaihtaa osa tietyin väliajoin sen hetkisestä kunnosta riippumatta ja jättää vikaantumisen mittaaminen kokonaan suorittamatta. Silloin puhutaan RTF (run to failure) -määrityksestä. Vastakohtana edelliseen esimerkkiin ovat taas sellaiset osat, joiden korjaaminen vie paljon aikaa ja itse osa on erittäin kallis. Tällaisille osille on järkevää panostaa vikaantumisen mittaami- seen ja erilaisiin tarkasteluihin.⁶ (Kanninen 2013, 27.)

3.4.4 Tärkeysindeksien määrittely

Koneiden ja laitteiden käytettävyyden, kunnan ja eliniän hallinnointia tekee hel- pommaksi järjestelmällinen kriittisyysluokittelu, tässä työssä se tarkoittaa tärke- ysindeksiä. Teollisuudessa käytetään tähän standardia PSK 6800, joka antaa hyvät lähtökohdat luokittelulle. Lähtökohtana standardissa on turvallisuus- ja ympäristövaikutukset, näiden lisäksi myös korjaus- ja seurauskustannuksilla on vaikutusta kriittisyysluokitteluun. Luokitteluun voi joillakin kohteilla vaikuttaa

⁶ Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito. Kerava: KP-Media.

myös vikaantumisen todennäköisyys tai varaosien saatavuus. (Kylliäinen, Laakso & Viitasaari 2011, 11.)

Kriittisyysluokittelu on kannattavaa tehdä, koska siitä saadaan hyötyä tuottavuuden parantamiseen jo pelkästään kriittisyysluokitteluun perustuvalla työllä, kunnossapitotoimenpiteiden uudelleenmäärittelyllä sekä kriittisyysluokituksen lisäämisellä osaksi kunnossapidon tietojärjestelmää. (Kylliäinen ym. 2011, 11.)

PSK 6800 antaa kriittisyyden laskentaan seuraavanlaisen laskentakaavan:

$$K=p(W_sM_s+W_eM_e+W_pM_p+W_qM_q+W_rM_r) \quad (1)$$

missä

p	on	vian esiintymistajuus arvio
W _s	on	turvallisuusriskien painoarvo
M _s	on	turvallisuusriskien kerroin
W _e	on	ympäristöriskien painoarvo
M _e	on	ympäristöriskien kerroin
W _p	on	tuotannon menetyksen painoarvo
M _p	on	tuotannon menetyksen kerroin
W _q	on	laatukustannusten painoarvo
M _q	on	laatukustannusten kerroin
W _r	on	korjauskustannusten painoarvo
M _r	on	korjauskustannusten kerroin

Taulukko 6 Laitetason kriittisyyden tekijät, PSK 2008 mukaan sovellettuna (Mikkonen 2009, 149.)

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_p = 20$		$M_p = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_p = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_p = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_p = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_p = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantoaikutukset	Tuotannon menetyt $W_c = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)	
Korjaus- tai seurauksenkustannukset	Korjaus- tai seurauksenkustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauksenkustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.	
		$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)	
		$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)	

Yllä esitettyä taulukkoa 6 voidaan soveltaa suoraan tärkeysindeksin rakentamiseen. Kertoimia tulee muuttaa siten, että maksimitulos on 100. PSK 6800 standardissa maksimitulos on 11200. Voi olla, että näin suuri luku mahdollistaa komponenteille laajemman hajonnan, mutta RBM-tyylisessä ristikoinnissa se ei mielestäni toimi. Taulukko 6 maksimiarvot ovat: turvallisuusriskien asteikko on 0-480, ympäristöriskien asteikko on 0-320, tuotannon menetyksen asteikko on 0-400, laatukustannuksen asteikko on 0-120 ja korjaus- tai seurauksenkustannus on 0-80. Kun lähdemme soveltamaan tätä sähkövoimatekniikkaan, turvallisuusnäkökulma on syytä nostaa siinäkin korkeimmalle sijalle. Sähkövoimatekniikassa, kuten monella muullakin teollisuuden alla, työtaturmat voivat johtaa hengen menetykseen. Ympäristöriskejä ovat muun muassa öljyvuodot ja tulipalot. Tuotannon menetyksen arviointiin voidaan hyödyntää keskeytyskustannusten

laskentaa ja KAH-arvoja. Yksittäisellä komponentilla voi olla sähkönlaatuun vaikuttavia tekijöitä, mutta yleensä ottaen komponentin rikkoutuminen johtaa suoraan sähkökatkoon. Mahdollinen sähkönlaatuvaikutus voi ilmetä muualla verkossa esimerkiksi transientteina äkillisen kuorman putoamisen seurauksena. Korjauskustannuskertoimen voidaan ajatella tulevan esimerkiksi pitkästä toimitusajasta.

Myös LuoVa-projektissa on käytetty vastaavanlaista laskutoimitusta kuin, mitä PSK 6800 esittää. LuoVan laskukaava on vain huomattavasti yksinkertaisempi. Siinä on annettu komponenttia kuvaavalle suurelle sen kuntoa kuvaava asteikko, ja sen jälkeen komponentin mekaaninen ja turvallisuuspainoarvo.

Kokonaisvaltainen sähkönjakeluverkon analysointi on LuoVa-projektissa katsottu sisältävän luotettavuuden, mekaanisen kuntotilan, turvallisuusteknisen tilan ja sähkötekniikan tilan yhtäläistä tarkastelua. Laskennan hyödyntämisen tila on hyvä, koska verkostonlaskentaohjelmissa on luotu sähkötekniisesti kriittisten tietojen tarkasteluun mahdollisuus. Näiden kriittisten verkonosien haku kuuluu perinteisesti osaksi verkostonlaskentaa jo suunnitteluvaiheessa ja näin ollen se on osa sähkönjakeluinsinöörin ammattitaitoa. (Verho ym. 2005, 69.) Tämä sama pätee myös Rovaniemen Energian toimitavoissa ja järjestelmissä.

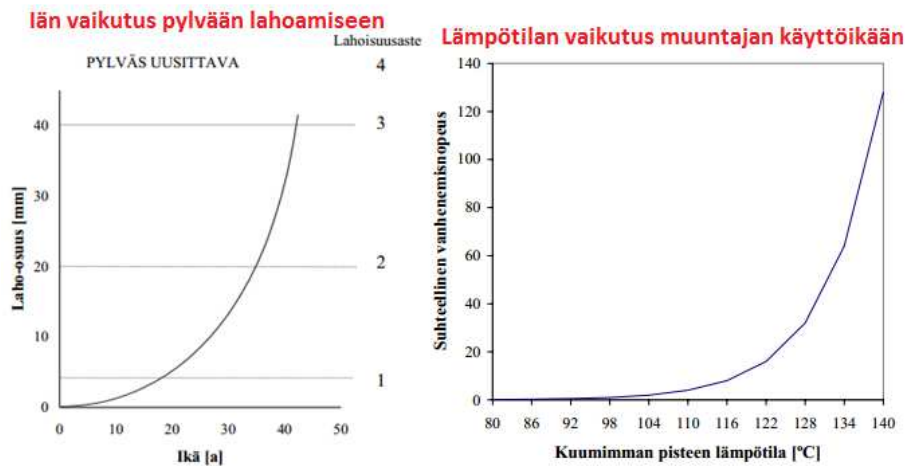
Taulukko 7. Sähkötekniikan kuntotilan painoarvo (Verho ym. 2005, 70.)

Johto-osa	Asteikko	Painoarvo
Suhteellinen tehohäviö W/m	Suhteellinen koko verkossa, minimi => 0, maksimi => 4	1
Suhteellinen jännitehäviö V/m	Suhteellinen koko verkossa, minimi => 0, maksimi => 4	1
Oikosulkukestoisuus lk max/kestoisuus	Absoluuttinen < 50% => 0, 100% => 4	4
Kuormitus I max/kestoisuus	Absoluuttinen < 50% => 0, 100% => 4	4
Muuntaja		
Jännitetaso	Absoluuttinen < 100% nimellisestä => 0, 95% nimellisestä => 4	2
Jännitejäykkyys %/kW	Suhteellinen koko verkossa, minimi => 0, maksimi => 4	2
Kosketusjännite suhteessa määräyksiin	Absoluuttinen 100% => 4, 50% => 0	4
Kuormitus	Absoluuttinen <50% => 0, 100% => 4	2

Sähkötekniisessä laskennassa osa tuloksista kuvaa verkon sähkötekniistä hyväksyttävyyttä, osa sähkötekniistä suorituskykyä ja osa kuvaa sähkön laatua.

Hyväksyttävyyttä kuvaavat eri suojaustekniset tulokset ja kuormitettavuus. Suorituskykyä kuvaavat esimerkiksi häviöt ja jännitteenalenema. Sähkön laatua kuvaavia ovat muun muassa jännitetaso ja -jäykkyys. Verkostoanalyysin kannalta on pyrittävä löytämään oleelliset tekijät, koko sähkötekni- sen kirjjon seasta. Taulukko 7 näkyy Luova-projektissa käytetyt painoarvokertoimet sähkötekni- stä kuntoa arvioitaessa. Luovassa on mallinnettu johto-osaa ja muuntajaa kuvaavia sähkötekni- siä arvoja. Hyvyyden asteikko on nolasta neljään ja painoarvolle on annettu sama asteikko. Painoarvon tarkoitus on määrittellä kokonaisvaltainen sähkötekni- nen tila-arvio. Luova-projektin mallissa suurimmat painokertoimet on annettu suojausteknisille kriteereille, jotta ne tulisivat varmuudella kriittisiksi koh- teiksi. (Verho ym. 2005, 70–71.)

Heikkilä on tutkimuksessaan todennut, että laitteen ikä on suoraan verrannolli- nen sen fyysiseen kuntoon. (Heikkilä 2009, 49.) LuoVa-projektissa myös selvi- tettiin iän vaikutusta laitteen kuntoon. Vaikka asian arveltiin vaikuttavan, sitä ei pystytty näyttämään toteen. (Verho ym. 2005, 22.) Verkon ikääntyminen vaikut- taa myös Energiaviraston laskentamallissa sähköyhtiön sallittuun tuottoon. Kai- kesta päätellen komponentin iästä voidaan päätellä sen fyysistä kuntoa, mutta en usko, että se on suoraan verrannollinen kuten Heikkilä esittää. Suurin osa verkossamme olevista erittäin vanhoistakin komponenteista pelaa moitteetto- masti. Iän myötä esiintyvä rappeutuminen on eri komponenteilla erilaista. Esi- merkiksi CCA-kyllästeisille puupylväillä keskimääräinen lahoaminen tapahtuu alla esitetyn käyrän mukaisesti (Kuvio 29). Pylväillä on toki huomioitta suuri alu- eellinen vaikutus. (Laine 2005, 38.) Kun taas normaalikäytöllä olevan muuntajan käyttöikään vaikuttaa oleellisesti muuntajan sisällä sen kuumimmasta pisteestä mitattu lämpötila, joka lähtee jyrkkään nousuun lämpötilan ylittäessä 98 °C as- tetta.



Kuvio 29. län vaikutus pylvään lahoamiseen SENER 1996 tilastoissa sekä lämpötilan vaikutus muuntajan käyttöikä (Laine 2005, 38).

3.4.5 Kuntoindeksien määrittely

Kuntoindeksi on käytännössä komponenteille määriteltyä kuntotietoa, millä pyritään kuvaamaan komponentin osien kuntotilaa tarkasteluhetkellä. Kuntotieto perustuu valtaosin tarkastuksen suorittaneen henkilön tekemään, yleensä visuaaliseen, havaintoon. Kohteen osien kuntotilaa voidaan tarkastella usealta eri näkökulmalta. Tarkastuksessa voidaan kerätä myös muuta tietoa, kuntotiedon ohella. Komponentin perustiedot eivät yleensä muutu, mutta kuntotieto elää koko ajan. Varsinainen kuntotieto on siis lähinnä luotettavuustasosta kertovaa tietoa, muu komponentilta kerättävä tieto voi olla perustietojen lisäksi turvallisuuden tai ympäristöön liittyvää tietoa. Tarkastuksessa kerätystä kuntotiedosta tulisi Luova-projektin loppuraportin mukaan jalostaa kaksi erillistä kuntoarviota. Nämä ovat mekaanisen kuntotilan arvio sekä turvallisuutta kuvaava arvio (Taulukko 8). Luova-projektissa kuntotiedoille on annettu seuraavien taulukoiden mukaiset painoarvot. Arvioinnissa käytetty asteikko on 0 – 4, jossa paras arvo on 0. (Verho ym. 2005, 65).

Taulukko 8. LuoVa-projektissa käytettyjä painotusarvoja (Verho, ym. 2005, 67–69.)

Kinteistömuuntamon kunto	Mekaaninen painoarvo	Turvallisuus painoarvo	Huomautus
Sj-kojeisto	2	1	
Pj-laitteet	1	1	
Ilmastointi	2	0	
Puhtaus	2	1	
Muuntaja	3	2	
Merkinnät	0	1	Varokaa hengenvaara kyltti jne.
Rakennus	1	3	
Pylväsmuuntamon kunto			
Erotin	1	1	
Pj-laitteet	1	1	
Muuntaja	3	1	
Merkinnät	0	1	Varokaa hengenvaara kyltti jne.
Maadoitukset	0	3	
KJ-pylvään kunto			
Latvarakenne	2	1	Sisältää eristimet, orren ja hatun
Harus	1	1	
Johdin	4	2	
Johtokatu	3	2	Raivaustarve ym.
Lahoisuus	3	2	
Muu pylväspuun kunto	2	1	Kallistunut, tikankolot, jne.
Etäisyydet	0	3	
Merkinnät	0	1	Varokaa hengenvaara kyltti jne.
Maadoitukset	0	3	

Trimble NIS:n kunnossapito-osioon kuuluu kohteille määritelty kuntoindeksi. Se on suunniteltu verkkotietojärjestelmään digitoitujen komponenttien priorisointiin. Itsessään kuntoindeksi on yksinkertainen pistejärjestelmä, joka summaa kyseiseen indeksiin määriteltyjen tekijöiden arvot. Siinä on mahdollista huomioida eri kuntotyyppisiä, ominaistietoja, täysin vapaita attribuutteja sekä kiireellisyysluokkaa. Kuntotyypit voidaan määritellä vapaasti ja lisätä kuntotiedoksi kohteille. Kuntotyypit voidaan määrittää taulu- tai lajikohtaisesti, mutta myös kaikille lajeille yhteiseksi tiedoksi. Kuntoindeksi puolestaan määritellään yksittäisen taulun tietyille lajeille tai kaikille taulun eri lajeille. On myös mahdollista valita lajeja useammasta taulusta. Kunnossapidon alaisille kohteille voidaan luoda useita erikäyttötarkoituksiin tehtyjä kuntoindeksejä. Kuntoindeksissä voidaan kuntotietoa laskettaessa huomioida kiireellisyysluokka, jonka laskentaan voidaan käyttää yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolaskuja. Kohteiden historiatiedoille voidaan tehdä poimintaa tietyille aikavälille. Näille tiedoille voidaan laskea yhteenlaskuja, keskiarvoja sekä hakea minimi- ja maksimiarvoja. (Heikkilä 2009, 40.)

EON Kainuulla on käytössä Teklan kuntoindeksi. Kuntoindeksi muodostuu peruspisteistä ja kuntotarkastuksista tulevista priorisoitavista pisteistä. Peruspisteet määräytyvät kohteen yleistiedoista ja ovat kuntoindeksin pohjana. Kerättä-

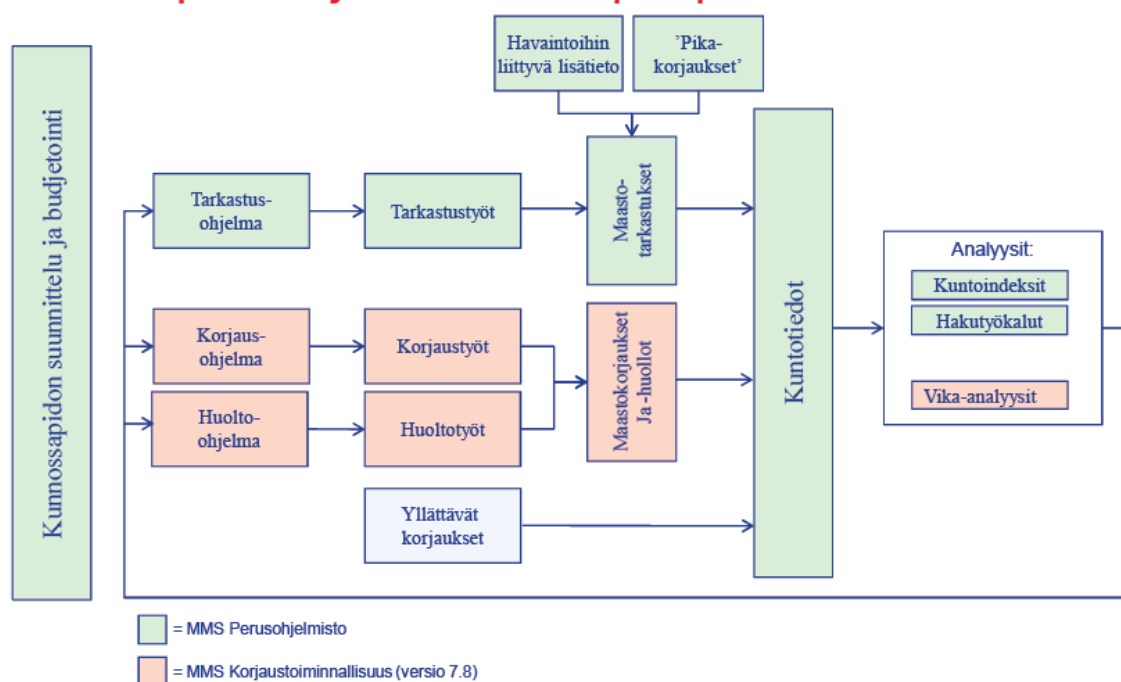
viä pohjatietoja ovat muun muassa ikätieto ja käytössä oleva rakenne. Eri tyypeille ja rakenteille annetut pisteet on määritelty yhtiön omiin laiterakenteisiin ja komponentteihin liittyvien kokemusten ja arvostuksen mukaan. Pisteiden jakaminen perustuu pitkälti sähkön toimintavarmuuden merkitykseen sekä kohteessa havaitun vian kriittisyyteen. Priorisointiluokkia on kolme. Priorisointiluokan 1 havainnot saavat 100 pistettä, priorisointi luokan 2 havainnot 60 pistettä ja kii-reettömin luokka saa 20 pistettä. Luokan 1 havainnot osoittavat selvästi jonkin vian, joka vaatii pikaista korjausta. Komponentille saatu havainto aiheuttaa vian tai vaaraa ihmisille ja vian seurauksena aiheutuu häiriö sähkönjakeluun. Myös hitaasti tai vaikeasti korjattavat kohteet kuuluvat luokkaan 1. Priorisointiluokan 2 havainnoissa ei nähdä varsinaista vikaa, mutta havainto osoittaa vikaantumisen todennäköisyyden nousua. Tämän luokan havainnot eivät suoranaisesti aiheuta vaaraa ympäristölle, vaikka niitä ei heti korjattaisikaan. Viimeisessä, eli luokassa 3 olevat havainnot ovat lähinnä muodollisia seikkoja, jotka eivät aiheuta vaikutuksia sähkön jakeluun. Näille luokille on määritelty liikennevalojen värit kriittisyyden mukaan verkkotietojärjestelmän topologialla. Mustalla värillä on merkitty kohteet, joissa useampia korjausta vaativia havaintoja. (Heikkilä 2009, 43.)

3.5 Trimble MMS-järjestelmä

3.5.1 MMS kunnossapitosovelluksen kuvaus

Trimblen NIS verkkotietojärjestelmään kuuluu osana kuntotiedon hallintaan tarkoitettu lisäosa: MMS kunnossapitoyjärjestelmä. Se pitää sisällään tarkastusten tekemisen maastokannattavilla ja korjaustoiminnallisuuden. Alla näkyvässä kuvassa on vihreällä värillä esitetty MMS perusohjelmiston prosessit (Kuvio 30). Prosessi lähtee siitä, kun työpäällikkö tekee NIS:ssä tarkastustöiden hallinnassa kunnossapitotyön, esimerkiksi pj-verkon kuntotarkastustyön. Työ syötetään tarkastustyönä maastotietokoneelle, jolla tarkastus tehdään. Tarkastuskohteessa tehdään kuntohavainnot ja kirjataan maastokannettavaan. Maastokannettava kytketään verkkoon tarkastuksen jälkeen ja kuntotieto ajetaan tietokantaan. Tietokannassa tarkastustietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi korjauskohteiden määrittelyssä. Rovaniemen Energialla on käytössä myös korjaustoiminnallisuus, jolla voidaan hakea tarkastuksessa havaittuja puutteita ja tehdä niistä korjaus-

työ. Korjaustyö ajetaan myös Mobile maastokannattavalle, johon kirjataan suoritus. (Tekla versiokoulutus 770 ja 780 2011, 34–41.)



Kuvio 30. MMS kunnossapitoprosessit (Tekla versiokoulutus 770 ja 780 2011, 32).

MMS kunnossapitojärjestelmällä voidaan todentaa kaikki työt, mitä kunnossapidon piirissä tehdään. Myös päivämäärät kirjautuvat jokaisesta tarkastuksesta ja korjaustoimenpiteestä. Tästä voidaan helposti rakentaa mittari kunnossapidon tehokkuudelle. Myös RBM-taulukoinnin vaatima numeerinen kuntotieto saadaan tällä järjestelmällä.

Kunnossapitojärjestelmään kahdenlaisia lisenssejä: Tekla Offline ja Mobile. Offline on paljon suppeampi, pelkästään maastokannettavan tietokantaan tallennettu verkkotieto. Mobilessa hyödynnetään GSM-yhteyttä tarkemman tiedonhakuun suoraan palvelimelta. (Tekla NIS versiokoulutus 121 2013, 100.)

MMS kunnossapito mahdollistaa pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnittelun ja antaa paremman kuvan koko verkon kunnossapitotarpeista. Se toimii myös työnohjausjärjestelmänä, jossa työpäällikkö syöttää työmääräykset kunnossapitotehtäville. Myös hinnastojen luonti on mahdollista. (Tekla NIS versiokoulutus 121 2013, 108.)

3.5.2 Tarkastukset MMS-järjestelmään

Rovaniemen Energialla tarkastuksia alettiin tekemään MMS-järjestelmään vuonna 2011. Ensimmäisenä aloitettiin pj-verkon kuntotarkastukset. Työpäällikkö määrittää, mitä aluetta lähdetään tarkastamaan ja tekee siitä kunnossapitotyön, joka sitten lähetetään kunnossapitohenkilöstön maastokannettaviin. Tarkastus tehdään kohteessa ja tarkastustieto ajetaan tietokantaan.

Rovaniemen Energialle on jo aiemmin tehty valmiita tarkastuspohjia. Tässä projektissa niitä on tarkasteltu kunnossapitohenkilöstön kanssa, sekä verrattiin niitä HedPowerin määrittämiin tarkastuksiin. Tarkastelussa merkittiin värikoodeilla olemassa olevat, lisättävät ja poistettavat tarkastusrivit. Vihreällä pohjalla merkitty löytyvät entuudestaan MMS tarkastuksesta, vihreä pohja ja punainen teksti tarkoittavat kunnossapitotyöntekijöiden lisäystä. Keltainen tarkoittaa rivin poistoa. Sinisellä pohjalla olevat löytyvät sekä vanhasta pohjasta että HeadPowerista. Punaisella pohjalla olevat löytyvät ainoastaan HeadPowerista ja ne lisätään tarkastukseen. Muutokset tehtiin tämän listauksen pohjalta Trimble MMS-järjestelmän tarkastuspöytäkirjaan.

3.5.3 Korjaustoiminnallisuus

Jokaiselle tarkastuksessa havaitulle epäkohdalle tai vialle pitää löytyä korjaustoiminnallisuus, joten tarkastus ja korjaus kulkevat käsi kädessä. Tekla NIS:ssä määritellään jokaiselle havainnolle sen korjaava toimenpide. Esimerkiksi, jos havainto on kaapelit pinnassa, niin sen korjaavaksi toimenpiteeksi määritellään maantäyttö. Toimenpide ja havainto tulee olla aina sidottuna kuntohierarkiassa johonkin verkon kohteeseen, kuten jakokaappiin. Korjaustoimenpiteille on mahdollista määritellä, mitä vikoja ne korjaavat ja mihin arvoon havainnon halutaan muuttuvan toimenpiteen jälkeen. (Heusala 2011, 4.) Toimenpiteelle voidaan määrittää myös hinta, joka voi olla metrimääräinen tai kohteittain. Toimenpiteestä on myös mahdollista tehdä toistuva tapahtuma.

Korjaustoiminnallisuuteen kuuluu myös vika-analyysi, joka etsii tarkastuksessa korjattavaksi merkittyjä kohteita. Haku voidaan suorittaa myös Finder-kyselyllä. Valitaan halutut vikahavainnot ja luodaan niille korjaustoimenpiteet. Korjaustoimenpide lähetetään maastokannettavaan. Toimenpide kirjautuu myös kohteen ominaistietojen kunnossapitotietoon. (Heusala 2011, 6-10.)

3.6 Kunnossapidon organisoituminen

Organisaation kehittäminen on syytä käynnistää tutkimalla nykytilaa, käytäntöjä sekä vallalla olevaa organisaatiokulttuuria. ”*Historiallisten kehitysvaiheiden tunnistaminen antaa pohjan tulkita työyhteisössä rinnakkain ilmeneviä erilaisia käytäntöjä, ajattelutapoja, välineitä, jne. eri kehitysvaiheista peräisin olevina 'kerrostumina'.*” (Engeström 1995, 139).

Organisaatiokulttuuri muodostuu ihmisten tavoista tuntea, ajatella, reagoinnista mielipiteisiin, arvojen muodostamisesta ja ideoista. Shein (1985) on määritellyt organisaatiokulttuurin seuraavasti. ”*Organisaatiokulttuuri on sellaisten perusolettamusten malli, joita tietty ryhmä on keksinyt, löytänyt tai kehittänyt sitä mukaan kuin on oppinut hallitsemaan ongelmiaan ulkoisesti sovittamalla ja sisäisen yhtenäisyyden avulla ja joka on toiminut tarpeeksi hyvin ollakseen pätevä ja joka siksi opetetaan uusille jäsenille oikeana tapana havaita ja suhtautua ongelmiin.*”⁷ (Ekman 2003, 62).

Jokaisessa organisaatiossa on muodostunut oma kulttuurinsa huolimatta siitä, hyväksyvätkö esimiehet sen tai eivät. Kulttuuri on organisaatiolle tärkeä ja jokainen henkilö vaikuttaa sen muodostumiseen. Esimiehet voivat vaikuttaa kulttuurin muodostumiseen esimerkiksi palkitsemalla työntekijöitä syystä tai toisesta, ja näin toimiessaan saattavat vaikuttavat kulttuurin muotoutumiseen. Selkeä kulttuuri helpottaa koordinoitua, mikä edes auttaa organisaation menestymistä. Vahva ja yhtenäinen kulttuuri vaikuttaa positiivisesti ihmisten motivaatioon, sekä edistää yhteenkuuluvuuden ja vastuun tunnetta. Kulttuurin rakennusmateriaalina toimivat normit. Normit ovat ihmisten käsitys oikeasta ja väärästä, sekä hyvästä ja pahasta. Kulttuurin voidaan katsoa olevan ”normikokoelma”, mikä toimii reseptinä johdolle ja työntekijöille ennalta tunnetuissa tilanteissa. (Ekman 2003, 62–63.)

Normit ovat monesti kirjoittamattomia ja tiedostamattomia. Ne ohjaavat toimintaamme kertomalla, mikä asia on sallittua tai vastaavasti sopivaa. Organisaati-

⁷ Shein, E. H. 1985. Organizational culture and leadership. San Francisco: Jossey-Bass

oissa on tyypillisesti hyvin paljon erilaisia normeja, joista osa on lakiin sidottuja, osa toimintasuunnitelmaan, mutta suurin osa on näkymättömiä. Yleensä normit koskevat useampaa kuin yhtä ihmistä ja ne pohjautuvat perinteisiin toimitapoihin, jotka toistuvat nykyäänkin. Normeja on sekä virallisia että epävirallisia, ja ne voivat ilmentyä rutiineina, myytteinä, kielenä, rakenteina tai teksteinä. Arki on pullollaan epävirallisia keskusteluita, tarinoita ja mielipiteiden vaihtoa. Juttujen kertominen työpaikalla tuottaa normeja, eli niissä käsitellään monesti joko suoraan tai epäsuorasti sitä, mikä on hyväksyttävää ja mikä ei. Normit voivat ilmetä työpaikan kahvikeskustelussa vanhempien työntekijöiden vitsaillessa jonkun työkaverin edesottamuksille. Se on tapa ilmaista, mikä on oikein ja mikä ei. (Ekman 2003, 64–67.)

Rovaniemen Energialla moni normi on peräisin kunnallisen työn tekemisen leimasta. Perinteisesti sähköyhtiön työpaikat on mielletty pysyviksi, isältä pojalle siirtyviksi. Moni vanhempi työntekijä on tullutkin töihin isänsä jalan jälkiä seurailleen tai vastaavasti jonkin muun lähisukulaisen. Normeja ja ennakkokäsityksiä tulee myös ulkopuolelta, asiakkailta on esimerkiksi hyvin sitkeä käsitys kunnallisen työn tekemisen hitaudesta.

Kaikista ennakkokäsityksistä huolimatta Rovaniemen Energialla on hyvä tekemisen kulttuuri, ainakin rakentamisen ja kunnossapidon osalta. Hyvä yhteishenki on ollut tässä oleellinen tekijä. Hyvästä yhteishengestä kertoo esimerkiksi, että vapaa-aikaa vietetään työkavereiden kanssa muun muassa yhteisissä lentopallotreeneissa, yhteisillä reissuilla, illanvietoissa ja niin edelleen. Yhteishenki on yksi niistä asioista, jotka luovat pohjan hyvälle tekemisen kulttuurille ja sitä tukeville normeille. (Rovaniemen Energia 2011, sisäisen toimivuuden tutkimus.)

Normien selvityksen jälkeen tehdään organisaatioanalyysi, jolla pyritään selvittämään nykytilaa. Organisaatioanalyysi kuvaa käsitteenä siirtyä strategiasta käytännöntasolle varsinaiseen toimintaan. Tämä toteutetaan järjestelmällisenä organisaatiossa vallalla olevien käytäntöjen arviointina sekä sovittamisena liiketoiminnan tavoitteisiin. Prosesseista puhuttaessa tämä on suhteellisen uusi käsite. Taloushallinnon puolella tämä on yleisempi käytäntö ja tarkoittaa yrityksen taloudellisten prosessien tarkkailua. Organisaatiotarkastuksessa käydään läpi sekä prosessit että järjestelmät. Tarkastuksella pyritään parantamaan niitä ja varmistamaan, että ne palvelevat strategisten päämäärien toteutumista. Dave Ulrichin (2007) mukaan täydellinen organisaatioanalyysi sisältää neljä eri vai-

hetta, jotka toteutetaan yhdessä henkilöstöammattilaisten, asiakkaan ja linjajohdon kanssa. Ensimmäinen vaihe on organisaatioarkkitehtuurin määritteleminen. Toisessa vaiheessa luodaan arviointi prosessit. Kolmannessa vaiheessa pohditaan, miten käytäntöjen parantaminen tulisi johtaa. Viimeisessä vaiheessa asetetaan käytännöt tärkeysjärjestykseen. (Ulrich 2007, 94–95.)

Organisaatioanalyysin ensimmäisessä vaiheessa Ulrich käyttää organisaatiokonsultti David Nadlerin lanseeraamaa arkkitehtuuri käsitettä puhuttaessa organisaation järjestäytymisestä. Organisaatioarkkitehtuurilla pyritään siis kuvaamaan järjestelmät ja prosessit, joista organisaatio muodostuu. Arkkitehtuurin määrittelemisen avaa johdolle laajemman näkymän organisaatiosta Tällä välteetään johdon oletus organisaatiosta pelkkänä rakenteena. Taulukko 9 on hyödynnetty Nadlerin, Galbraithin ja McKinsey organisaation analysointi ja kuvaimismalleja. Taulukon mallissa painopiste on organisaation rakentamisessa strategian toteuttamiseksi. Ensimmäisellä rivillä kerrotaan yritykselle haluttu suunta tai visio. Vastataan kysymykseen: ”Mitä yritys haluaa saada aikaan?”. Loppuosa taulukosta koostuu kuudesta eri osasta, jotka määrittelevät organisaation toiminnan ja mitä pitää muuttaa strategian toteuttamiseksi. Nämä osat ovat: Yhteinen ajattelutapa, osaaminen, seuraukset, hallintotapa, työprosessit/muutoskyky ja johtajuus. Yhteinen ajattelutapa sekä johtajuus ovat organisaatiota yhdistäviä tekijöitä. Yhteinen ajattelutapa voidaan mieltää myös yhteiseksi kulttuuriksi tai ajattelutavaksi, joka toimii organisaatiota koossapitävänä liimana. Johtajuus puolestaan kertoo, kuinka yrityksen tai toiminnan suunta on valittu, viestitty ja miten siihen on sitouduttu. Johtajuus voidaan mieltää perustaksi, jonka päälle käytännöt on rakennettu. Loput neljä osaa muodostavat tukipylväät henkilöstöjohtamisen työkalujen määrittelylle strategian toteuttamiseen. Kukin pylväs edustaa vaatimusta, joka kohdistuu organisaatioon. Osaamisen pylvään tehtävä on selvittää, miten taitoja, kykyjä ja tietoa tulee ylläpitää ja hankkia, jotta liiketoimintatavoitteet saavutetaan. Seurausten pylvään tehtävä on varmistaa prosessien kehittäminen organisaatiossa siten, että onnistumista voidaan todentaa ja hyödyntää. Tämä pitää sisällään lähinnä johtamisen standardeja, mittareita, palkkioita ja arviointijärjestelmiä. Hallinta tavan pylvään tehtävänä on varmistaa henkilöstön käyttäytymistä ohjaavien rakenteiden ja viestinnän toteutuminen. Tämä pitää sisällään muun muassa raportoinnin, päätöksentekoprosessit, toimintaperiaatteet ja viestintäprosesseja. Viimeinen pylväs, työprosessien/muutoskyvyn tukipylväs takaa sopeutumiseen ja organisaation uudistumi-

seen tarvittavat prosessit. Kun kaikki tukipylväät saadaan sulautettua organisaatioon, on mahdollista muuttaa liiketoimintastrategiat ajattelutavoiksi sekä vielä pidemmälle: toiminnaksi. Tällä arkkitehtuurimallilla liiketoimintastrategioista tulee organisaation sitouttamisen suunnannäyttäjiä. Huomio tulee jakaa tasaisesti jokaiselle pylväälle, jotta tasapaino pysyy oikeana. (Ulrich 2007, 96–97.)

Taulukko 9. Organisaatioanalyysin arkkitehtuurimallin selvittäminen (Ulrich 2007, 98.)

Strateginen aie: Mitä yritys haluaa saada aikaan			
Strategia: taustatekijät, jne.	Suunnitelma, painopisteet	Ympäristötekijät:	Säännöt, talous
Asiakkaat:	Segmentointi, lisäarvo	Ydinosaaminen:	teknologia
Taloudelliset tekijät:	Mittarit, tuotto, luotu lisäarvo		
Organisaation osaaminen: Millaista organisaatio-osaamista yritys tarvitsee?			
Yhteinen ajattelutapa: Mistä yritys haluaa olla tunnettu asiakkaiden keskuudessa			
Osaamisen pylväs	Seurauksien pylväs	Hallintotavan pylväs	Työprosessien/ muutoskyvyn pylväs
Millaista osaamista yritys tarvitsee strategian toteuttamiseen?	Mitkä ovat strategian toteuttamiseen tarvittavat standardit ja seuraukset	Millaisen organisaation yritys tarvitsee strategian toteuttamiseen?	Kuinka hyvin yritys pystyy hallitsemaan työprosesseja ja muuttumaan toteutukseen strategian
Henkilöstövalinnat: Keitä yritykseen palkataan? Ketkä yrityksen sisällä saavat ylennyksen? Keitä yrityksessä ei tarvita?	Arviointi: Millaisia suoritusstandardeja organisaation yksiköille, ryhmille ja osastoille asetetaan? Miten työntekijöille annetaan palautetta heidän suorituksistaan standardeihin verrattuna? Millaisilla prosesseilla varmistetaan tarkat, mielekkäät ja tehokkaat arvioinnit?	Organisaatiosuunnittelu: Minkä mallinen organisaation tulisi olla (esim. kuinka monta tasoa, millaisia tehtäviä, millaiset raportointi suhteet, millainen työnjako, jne.)? Kuinka yritys osaa tehdä oikeita päätöksiä?	Työprosessien kehittäminen Millaisiin hankkeisiin yrityksen tulisi ryhtyä varmistaa, että johtamisprosessit toimivat hyvin (esim. laatuhamkkeet, uudelleensuunnittelu)?
Kehittäminen: Millaista koulutusta henkilöstölle tulisi tarjota liiketoimintaympäristö ja liiketoimintastrategia huomioon ottaen? Millaisia kehitysvaihtoehtoja henkilöstölle tulisi tarjota liiketoimintaympäristö ja liiketoimintastrategia huomioon ottaen?	Palkitseminen: Millaisia taloudellisia ja ei-taloudellisia seurauksia on standardien saavuttamisesta? Kuinka palkitsemisjärjestelmällä varmistetaan, että yksilöitä motivoidaan oikeisiin suuntiin?	Toimintaperiaate: Millaisia toiminta periaatteita yrityksellä on (esim. työturvallisuuteen, työterveyteen, henkilöstöön liittyen)? Viestintä: Kenelle organisaatiossa pitäisi tiedottaa ja mistä? Kenen tulisi antaa ja saada tietoa? Millaisia menetelmiä tiedon jakamisessa tulisi käyttää?	Muutosprosessit: Mitkä ovat muutoksen kannalta kriittisiä prosesseja? Oppimisen hyödyntäminen muutoksissa: Kuinka yrityksessä voidaan jakaa ideoita ja oppimista organisaatirajojen yli?
Johtajuus:		Kuinka laadukasta johtaminen on?	

Organisaatioanalyysin jälkeen (vaiheessa 2) luodaan arviointiprosessi. Arkkitehtuurimallin kuudesta osa-alueesta saadaan rakennettua arviointi- ja tarkastuskysymyksiä, joista ilmenee organisaation vahvuudet ja heikkoudet. Ulrich on

nimennyt tästä syntyvän taulukon analyysityökaluksi (Taulukko 10). Sen vasemmassa sarakkeessa ovat ne osa-alueet, jotka yhdessä muodostavat organisaation. Sarakkeessa 2 nämä osa-alueet on muutettu kysymykseksi. Kysymykset on muotoiltu siten, että ne korostavat strategisten tavoitteiden saavuttamista. Kolmas sarake pitää sisällään numeerisen arvosanan, joka kertoo miten annettu kysymys toteutuu organisaatiossa. Arvosana-asteikolla 1 on huonoin ja 10 paras. Annettu arvosana ei kuitenkaan ole tärkeintä, vaan asian ympärillä käyty keskustelu. Taulukko 10 arviointi voidaan toteuttaa joko virallisena tai epävirallisena. Se on myös hyvä pohja keskustelun ohjaamiseksi strategisiin tavoitteisiin. Aineiston keräämisen voi suorittaa usealla eritavalla. Sen voivat kerätä henkilöstöammattilaiset, linjajohtajat tai joku ulkopuolinen taho, kuten konsultti. Tarkasteluun tulee kerätä useampia näkemyksiä eri lähteistä. Lähteinä voivat toimia henkilöstön edustajat eri tehtävistä. Lähteitä voidaan hakea myös urakoitsijoilta, yhteistyökumppaneilta tai asiakkailta. On myös mahdollista verrata omaa toimintaa kilpailijoihin tai muilla toimialoilla menestyneisiin yrityksiin. Kerättävä aineisto voi olla näkemyksiä tai todennettua tietoa. Näkemyksillä tarkoitetaan organisaation kanssa yhteydessä olevien henkilöiden tunteita ja ajatuksia. Näkemysten kerääminen on tärkeää, sillä ne kuvastavat monesti ihmisten kokemaa todellisuutta sekä heidän toimintaansa sen pohjalta. Todelliseksi tiedoksi luetaan suhdeluvut ja muut mittarit, jotka kertovat organisaation tilasta. Organisaatioille on tyypillistä, että tietoa kerätään valtavasti, luodaan raportteja ja tilastoja. Ongelmaksi muodostuu yleensä tiedon hyödyntäminen. Asioihin pitäisi tarttua sitä mukaan, kun analyysissä löydetään ongelmakohtia. (Ulrich 2007, 99–102.)

Taulukko 10. Organisaatio-osaamisen arkkitehtuurin arviointimalli (Ulrich 2007,101)

	Kysymys	Arvosana (1-10)	Paras Käytäntö
Yhteinen Ajattelutapa	Missä määrin yrityksellä on oikea yhteinen ajattelutapa(kulttuuri)?		
Osaaminen	Missä määrin yrityksellä on tarvittava osaaminen (tiedot, taidot ja kyvyt) tulevien päämäärien saavuttamiseksi?		
Seuraukset	Missä määrin yrityksellä on oikeanlainen suoritusten johtamisjärjestelmä (mittarit, palkitseminen ja kannustimet) tulevien päämäärien saavuttamiseksi?		
Hallintotapa	Missä määrin yrityksellä on oikeanlainen organisaatorakenne sekä tarkoituksenmukaiset viestintäjärjestelmät ja toimintaperiaatteet tulevien päämäärien saavuttamiseksi?		
Työprosessi/ muutoskyky	Missä määrin yrityksellä on kykyä parantaa työprosessiä, muuttua ja oppia niin, että tulevat päämäärät voidaan saavuttaa?		
Johtajuus	Missä määrin yrityksellä on tarvittavaa johtajuutta tulevien päämäärien saavuttamiseksi?		

Vaihe 3 on käytäntöjen parantamisen johtaminen, missä tarkoituksena on ulottua arviointi parannuksiin asti (Taulukko 11). Tässä vaiheessa pyritään luomaan jokaiselle kuudelle organisaatiotekijälle korvaavia tekijöitä, käytäntöjä sekä toimenpiteitä. Erilaisten toimitapojen jatkuva pohtiminen, luominen ja vertailu muihin toimijoihin johtavat parhaiden käytäntöjen muodostumiseen ja jatkuvaan kehitykseen. (Ulrich 2007, 103.)

Taulukko 11. Organisaatio-osaamisen arkkitehtuurin parhaat käytännöt (Ulrich 2007,104)

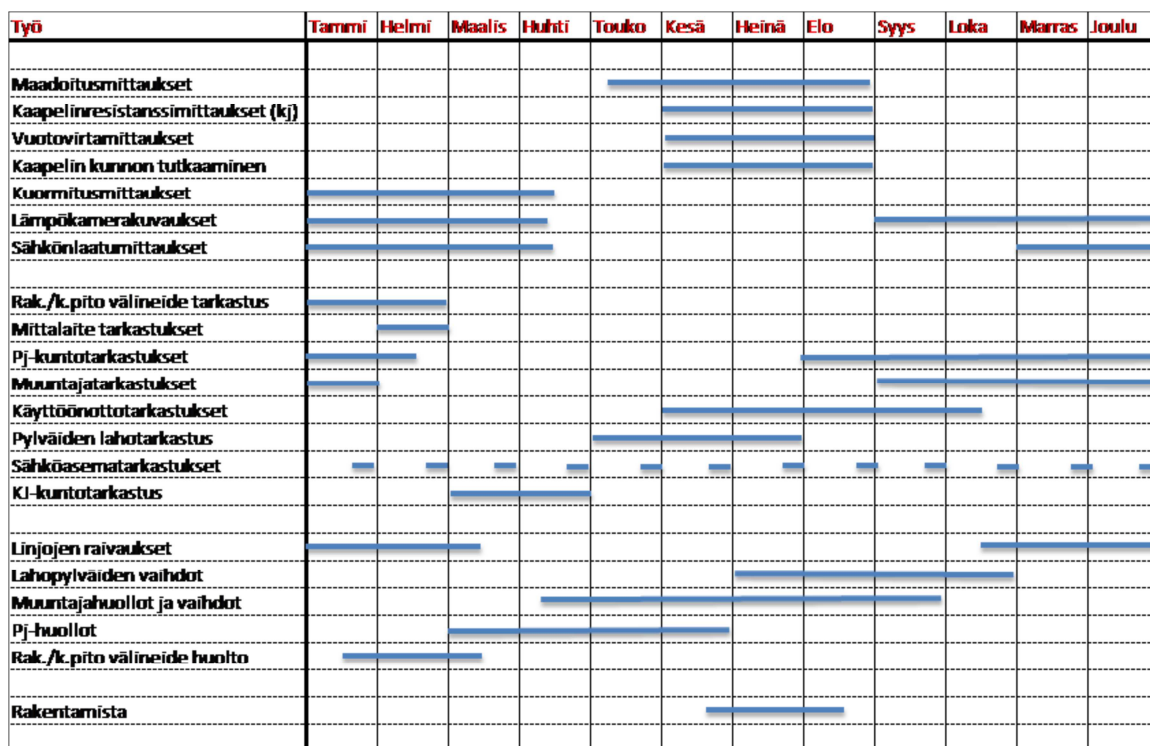
Strateginen aie: Mitä yritys haluaa saada aikaan			
Organisaation osaaminen: Millaista organisaatio-osaamista yritys tarvitsee?			
Yhteinen ajattelutapa: Mistä yritys haluaa olla tunnettu asiakkaiden keskuudessa			
Osaamisen pylväs	Seurauksien pylväs	Hallintotavan pylväs	Työprosessien/ muutoksen pylväs
Millaista osaamista yritys tarvitsee strategian toteuttamiseen?	Mitkä ovat strategian toteuttamiseen tarvittavat standardit ja seuraukset	Millaisen organisaation yritys tarvitsee strategian toteuttamiseen?	Kuinka hyvin yritys pystyy hallitsemaan työprosesseja ja muuttumaan toteutukseen strategian
Osaamisen tarkastus Osaamisen lisääminen o Henkilöstövalinnat <ul style="list-style-type: none"> o Sisään o Ulos o Ylös o Kehittäminen ja oppiminen (rakenne) <ul style="list-style-type: none"> o Osaamisesta tuloksiin o Yksilöistä tiimeihin o Rajoitetusta rajattomaan o Standardoidusta räätälöityyn o Yleisestä johtamisesta prosessiin 	Suoritusten johtamisjärjestelmän rakentaminen o Mikä on yrityksen tavoite? o Kuinka tätä tavoitetta tulisi mitata? <ul style="list-style-type: none"> o Käyttämismallit + lopputulokset o Yksilö ja tiimi o Kuinka yritys voi yhdistää palkkiot mittareihin? o Taloudelliset o Ei-taloudelliset	Organisaatiosuunnittelu o Keskiytyminen prosesseihin, ei hierarkiaan o Rajojen poistaminen <ul style="list-style-type: none"> o Pystysuorassa o Vaakasuurassa o ulkopuolella Viestintä o Viestintä ja viestintävälineiden yhteensovittaminen o Viestintäsuunnitelmien laatiminen Henkilöstön osallistaminen Toimintaperiaatteiden hallinta (työturvallisuus, työterveys ja työntekijäsuhteet)	Prosessien uudelleen suunnittelu o Prosessien tunnistaminen o parhaiden prosessien valitseminen o Prosessien tehostaminen Muutoksenhallinta o muutoksen määrittäminen Oppimiskyvyn kasvattaminen o Vaikuttavien ideoiden luominen o Vaikuttavien ideoiden yleistäminen
Jaettu johtajuus			
Henkilökohtainen uskottavuus		Todelliset muutosjohtajat	
Organisaatio-osaaminen		Keski johdon johtajuus	

3.7 Työjärjestelyiden Gantt-kaavio

Gantt-kaaviossa määritellään, millä aikavälillä kyseinen työ tulisi suorittaa, jotta tekeminen olisi mahdollisimman sujuvaa ja tehokasta (Kuvio 31).

Maadoitusmittaukset tulee suorittaa sulan maan aikaan, ja parhaaksi ajankohdaksi katsotaan aika heti lumien ja roudan sulamisen jälkeen. Kaapelin resistanssin-, vuotovirran- ja kunnontutkaaminen saattavat vaatia keskeytyksen tai vian esiin kaivamisen, joten nekin on järkevää suorittaa sulan maan aikana. Kuormitus- ja sähkönlaatumittauksissa sekä lämpökameralla kuvattaessa on eduksi, että kuormat ovat mahdollisimman suuria, joten ne kannattaa sijoittaa pakkaskausille. Rakentamisen ja kunnossapidon koneet ja välineet tarkastetaan sekä huolletaan hiljaisimpaan aikaan tammi-helmikuussa. Pj-tarkastukset kan-

nattaa aloittaa mahdollisimman pian alkusyksystä. Ensimmäisenä tarkastetaan alueet, joihin kuuluu pj-pylväitä. Muuntamotarkastukset aloitetaan syksyllä puisto ja pylväsmuuntajista. Talvelle jätetään kiinteistömuuntajat. Käyttöönotto tarkastuksia tehdään rakennuskaudella. Pylväiden lahotarkastus on tehtävä sulan maan aikaan. Sähköasematarkastukset tehdään jokaisen kuukauden lopulla. Kj-kuntotarkastus tehdään kevät-talvella, kun päivä on jo pidentynyt ja kelkalla pääsee kulkemaan. Linjojen raivauksia on kaupunkialueella tehtävä kasvukauden ulkopuolella, jotta puut eivät tarpeettomasti kärsi. Kj-linjoilla puut raivataan kokonaan pois linjojen alta, joten puita ei tarvitse säästellä ja se voidaan tehdä kesällä. Lahopylväs vaihdot on tehtävä sulan maan aikaan. Muuntajien huolloista ja vaihdoista aiheutuu asiakkaille vähiten häiriötä, kun ne tehdään kuormien ollessa pieniä. Pj-huollot aloitetaan Pj-kuntotarkastusten valmistuttua, kaivutyötä vaativat jätetään alkukesään. Kesällä voidaan muutaman kuukauden ajan keskittyä tukemaan rakentamista, sen kiireisimpään aikaan.



Kuvio 31. Työjärjestelyiden Gantt-kaavio

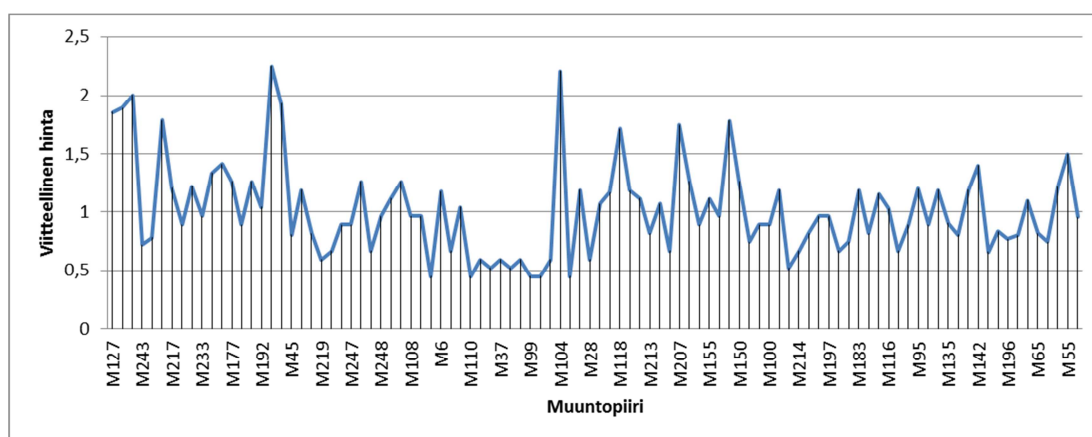
4 PROJEKTIN TULOKSET

4.1 Tarkastukset

4.1.1 Pj-kuntotarkastus

Projektiryhmän jäsenet kellottivat omia suorituksiaan pienjänniteverkon kunnossapitotarkastukseen liittyen. Kohteiksi valittiin yksi tyypillinen kaupungin keskusta-alueen muuntopiiri, jossa tyypillisesti ei ole montaa jakokaappi. Tämän tyypisessä muuntopiirissä muuntaja on kellaritiloissa ja suurin osa pienjännite puolen lähdöistä ovat suoraan muuntajan pj-keskuksen perässä. Toinen valituista edustaa jakeluverkkomme keskivertomuuntopiiriä. Kolmanneksi valittiin muuntopiiri, johon kuuluu jakokaappien lisäksi pj-pylväitä. Kellotusten näytemäärä on suhteellisen pieni, mutta katsoimme sen kertovan tuloksen riittävällä tarkkuudella, koska kaikki pj-verkon kohteet ovat samankaltaisia. Siirtymäaika paikasta toiseen vaihtelee suuresti. Arvioimme verkkomme alueella keskimääräinen siirtymäajan yhteen suuntaan. Tämän lisäksi arvioitiin, että kohteen lataukseen verkkotietojärjestelmästä mobile-laitteelle ja takaisin kuluva aika. Kellotukset on kirjattu liitteen 9 taulukkoon 1.

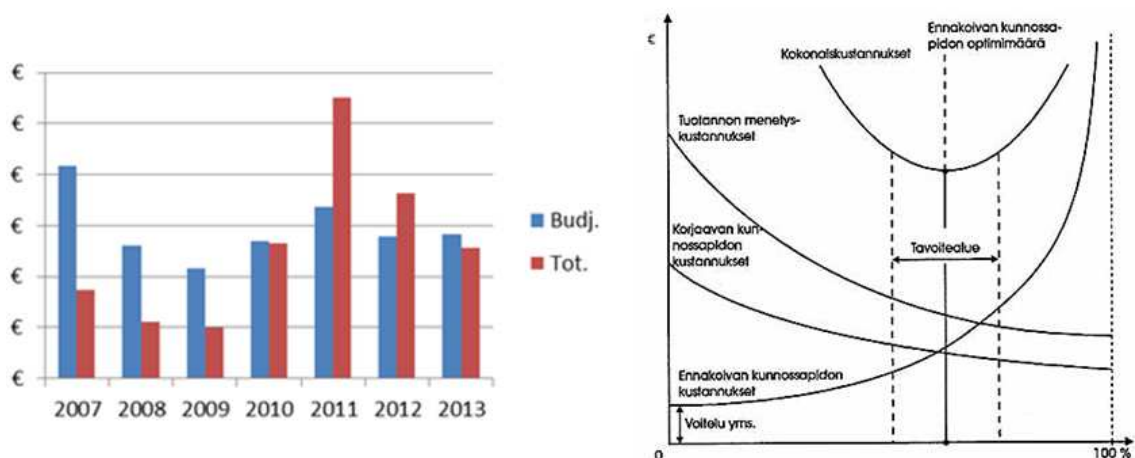
Näiden aikojen perusteella laskettiin sadalle erialueilta valitulle muuntopiirille hinta (Kuvio 32). Tarkastuksen hintaan on laskettu työ kahdelle asentajalle ja yhden auton kustannukset. Matka-aikaa on laskettu meno ja paluu, ei ruokatunteja tai vastaavia. Näillä laskentaperusteilla kalleimmaksi tulivat muuntopiirit, joissa oli paljon tarkastettavia pj-pylväitä. Keskimääräisesti voidaan todeta, että muuntopiirit, joissa sähköt kulkevat pylväitä pitkin, ovat kaksi kertaa kalliimpia tarkastaa kuin maakaapeloidut muuntopiirit.



Kuvio 32. Pelkästään työtuntien perusteella laskettu hinta.

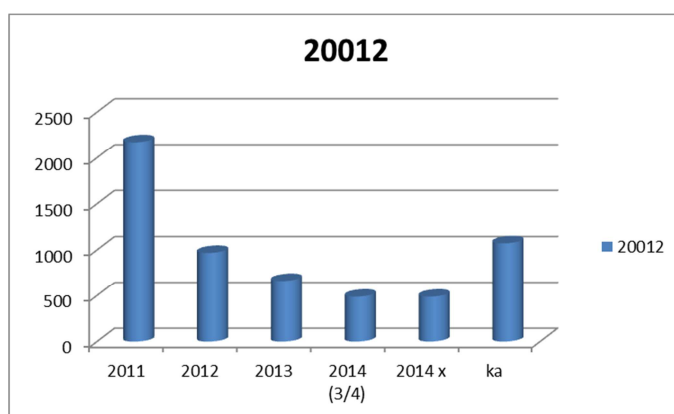
Työtuntien lisäksi työllä on muitakin kustannuksia, kuten laitteiston ylläpito (ICT-ylläpitopalvelut). Kokonaiskustannuksissa työn osuus keskiarvo laskettiin kolmelta edelliseltä vuodelta. Samalla tutkittiin mitä muita kustannuksia työlle on kertynyt. Liitteen 9 taulukossa 2 on esitetty tarkka kustannusrakenne Pj-verkon tarkastuksille.

Kunnossapitoa lisättiin vuonna 2011 (Kuvio 33). Vuonna 2011 otettiin myös ensimmäistä kertaa MMS-järjestelmä käyttöön kuntotarkastuksissa. Ensimmäinen vuosi oli pitkälti järjestelmän käytön harjoittelua. Nämä kaksi seikkaa vaikuttavat kaikkiin kunnossapidon kustannuksiin, mutta erityisesti se näkyy pj-tarkastuksessa, koska se oli ensimmäinen tarkastustyyppi, joka tehtiin täysin MMS-järjestelmään. Budjetissa siihen oli varauduttu nostamalla budjettia edellisen vuoden tasosta, mutta ei osattu täysin varautua uuden järjestelmän käyttöönoton haasteisiin. Tarkastusten tekeminen maastokannettavalla on jonkin verran hitaampaa kuin ennen vuotta 2011 käytössä ollut Excel-pohjainen tarkastus ja se vaikuttaa tuntimäärään ja hintaan. Vuoden 2013 taso tulee todennäköisesti pysymään tulevina vuosina ja sitä voidaan käyttää vertailukohtana, koska silloin järjestelmän käyttö on jo opittu ja kustannukset pienentyneet, vaikka tarkastuksia on tehty sama määrä kuin edellisenä vuonna. Kunnossapidon kustannusrakenteen kehittyminen ilmenee myös hyvin kuvioista 33. Kunnossapitoyksikön ensimmäisenä vuonna (2011) on tehty paljon toimenpiteitä ja haettu toimitapoja. Seuraavina vuosina toimenpiteitä on kohdistettu paremmin ja saatu ennakoivan kunnossapidon kustannuksia alaspäin. Pyrkimyksenä on löytää ennakoivan kunnossapidon optimimäärä, kuten kuviossa 33 esitetään.



Kuvio 33. Pj-verkon tarkastuksen kustannusten kehitys (Rovaniemen Verkon talouslukuja) ja ennakoivan kunnossapidon optimointi (Opetushallitus 2014).

Vuoden 2011 jälkeen osaaminen ja ohjelmien käyttövarmuus ovat kasvaneet, mikä näkyy sekä toteutuneissa kustannuksissa että tarkastuksiin käytetyn tuntimäärän pienenemisessä (Kuvio 34). Kustannuksiin ja tuntimäärään vaikuttaa myös, millainen alue on tarkistettavana. Aikaisemmin kunnossapito on tehty alueittain siten, että aluekierto on ollut 6 vuotta. Tällaisessa aluejaossa on kaksi ongelmaa: aluejako ei ota kantaa, milloin alue on valmistunut ja toinen ongelma, että tarkastusalueet ovat laajuudeltaan ja tarkastusten kestoilta hyvin poikkeavia. Kuten Taulukko 12 näkyy, vuoden 2014 tarkastusalue on huomattavasti pienempi kuin edellisten vuosien alueet.



Kuvio 34. Asentajien pienjänniteverkon tarkastukseen (työnro. 20012) käyttämät tunnit

Tehokkaaseen työskentelyyn katsottiin vaikuttavan eniten työskentely pareittain. Parityöskentelyssä toinen toimii kirjurina mobileen samalla, kun toinen suorittaa varsinaista tarkastusta. Varsinkin pakkasella tämä helpottaa työskentelyä, koska kirjuri voi istua lämpimässä autossa, kun toinen tekee tarkastusta. Pakkasella kirjoittaminen tietokoneelle hankaloituu huomattavasti.

Taulukko 12. Toteutuneet pienjännitetarkastukset

	2012	2013	2014	2015
Tarkastetut kohteet/kpl	48	48	31	Suunniteltu 40 kpl

Kunnossapidon tarkastusprosessien kulku sovittiin yhteisesti kaikkien siihen osallistuvien henkilöiden kesken. Prosessiin kuuluu kunnossapidon asentajat, verkon dokumentoitsija sekä kunnossapidon työpäällikkö. Prosessi lähtee liikkeelle, kun dokumentoija lisää tarkastusalueen kohteet N-levykkeen kuntotarkastuksen kansioon ja ilmoittaa siitä työpäällikölle, joka avaa tarkastustyöt TrimbleNIS:in MMS-järjestelmään ja kirjoittaa sähköiset työmääräykset maasto-

kannettavaan. Verkostoasentaja tulostaa tarkastusalueiden kaaviot ja lukee työt maastokannettavaan. Asentaja kirjaa tarkastuksen havainnot maastossa suoraan maastokannettavaan. Kun tarkastus on tehty, se ladataan Mobilesta Trimble NIS:n tietokantaan. Tästä tiedotetaan työpäällikköä, joka lukee työmääräyksen ja tarkistaa, tarvitaanko korjaustoimenpiteitä. Mikäli korjauksia ei tarvita, työ on valmis, mutta jos korjauksia tarvitaan, käynnistetään korjaustyö. Verkostoasentaja toimittaa korjauskaaviot dokumentoijalle. Mikäli kaavioissa on poikkeamia NIS:n verrattuna, niin dokumentoija korjaa poikkeamat ja päivittää kaaviot M-levylle. Mikäli virheitä ei ole, niin tarkastus on valmis. Prosessikaavio löytyy liitteestä 2.

4.1.2 Kj-kuntotarkastus

Keskijänniteverkon tarkastukseen kuuluu pylväsrakenteen tarkastus ja johtoreitin tarkastus. Tarkastuksen hinnan muodostaminen aloitettiin määrittämällä keskimääräinen aika pylvään, johtovälin ja pääteen tarkastamiselle sekä siirtymiselle kohteeseen. Näiden tarkastusaikojen perusteella laskettiin jokaiselle keskijännite johtolähdölle tarkastukseen varattava aika. Rovaniemen Verkolla keskijännitelinjat voidaan jakaa 8 tarkastuskohteeseen.

Ongelmaksi KJ-tarkastuksen hinnaston luomisessa nousee Roopinpalonlinja, joka on pituudeltaan moninkertainen muihin verrattuna. Mikäli käytettäisiin keskihintaa, niin Roopinpalo nostaisi sitä huomattavasti. Tarkastettavia linjoja on niin vähän, että laskutus voidaan toteuttaa jokaiselle erikseen. Tarkastussyklit sen sijaan pyritään jakamaan mahdollisimman tasaisesti eri vuosille, jolloin keskimääräinen tarkastusväli olisi 3 vuotta. Tämä huomioidaan hinnoittelussa. Lisäksi huomioidaan myös ruokarahat kaukaisilla linjan osuuksilla.

Aluejakoon perustuvassa järjestelmässä kustannukset vaihtelevat suuresti eri vuosina. Perinteisesti KJ-tarkastus on tehty kevät-talvella, jolloin liikkuminen on moottorikelkalla helppoa. Osa linjoista kulkee tien vierustaa, jolloin se voidaan tarkastaa autosta käsin. Liikkumistavalla on suuri merkitys tarkastuksen hintaan. Esimerkiksi vuoden 2013 tarkastuksessa on käytetty kelkkaa, jonka vuokra koneen vuokratarkastukset ovat koko tarkastuksesta lähes puolet. Tarkastus kesti noin puolipäivää kelkalla. Autolla ja kävelemällä tarkastus olisi kestänyt paljon kauemmin. Linjan sijainnilla on siis suuri vaikutus kustannuksiin. Muita keskijännite tarkastukseen kohdistuvia kustannuksia on listattu liitteen 9 taulukossa 4.

Hinta lasketaan jokaiselle johtolähdölle erikseen. ICT ja laitteiston huolto laskeaan aina yhdelle vuodelle, jolloin se jakaantuu tasaisemmin eri tarkastuksille. Liitteen 9 taulukossa 5 työt on jaettu kolmelle eri vuodelle. Jokainen tarkastusvuosi on kuvattu eri värillä. Työn tehokkuutta lisätään yhdistämällä tarkastettavat johto-osuudet alueittain siten, että ne voidaan ajaa vuokratulla moottorikelkalla läpi saman vuorokauden aikana. Toisilla linja osuuksilla määräävätekijä yhdistämisen suhteen on siirtymäosuuksien minimointi.

Pitkillä ja metsäisillä linjoilla, moottorikelkka nopeuttaa niiden tarkastamista oleellisesti. Tällöin ne kannattaa tarkastaa talvella, ja mieluiten kevät-talvella, kun hanki kantaa ja aurinko alkaa lämmittää. Tien vierellä kulkevat linjat voidaan tarkastaa helpoimmin autosta käsin, jolloin tien tulee olla auki. Kaikilla teillä ei välttämättä ole talvikunnossapitoa, jolloin paras ajankohta on sulan maan aikaan. Tässäkin tarkastuksessa katsottiin parityöskentelyn tuottavan parempaa tulosta kuin yksintyöskentelyn. Toinen voi keskittyä olemaan kirjuri, kun toinen ajaa kelkalla ja tekee havainnot. Todettiin myös, että kaksi silmäparia huomaa puutteet paremmin kuin yksi.

4.1.3 Muuntamotarkastus

Pylväsmuuntajalle tehtävä tarkastus on huomattavasti suppeampi, kuin puistomuuntamolle tai kiinteistömuuntamolle tehtävä tarkastus. Pylväsmuuntamon tarkastuksessa tärkeää on päästä katsomaan myös sen kannelle, johon tarvitaan nostokoriautoa. Kaikissa paikoissa nostokoriauton käyttö ei ole mahdollista ja silloin on tyydyttävä kiikaroimaan maasta käsin. Puisto- ja kiinteistömuuntamoiden rakenteissa on pieniä eroja, mutta tarkastuskohteet ovat kuitenkin samat. Tarkastuksen hinnoittelun pohjaksi kelloitettiin tarkastuksia.

Tarkastus ajan lisäksi on myös muita kustannuksia, joita on listattu liitteen 9 taulukossa 6. Liitteen 9 taulukossa 7 on avattu jokaisen tarkastuskohteen kustannusrakenteet.

Rovaniemen Verkon alueella on 43 omaa kiinteistömuuntamoita ja 41 yksityistä kiinteistömuuntamoita. Omia puistomuuntajia on 182 ja yksityisiä 15. Pylväsmuuntamoita on 18, joista kaikki Rovaniemen Verkon omistuksessa. Osa yksityisistä muuntamoista on samassa tilassa Verkon muuntajan kanssa, mutta kumpikin on tarkastettava erikseen. Yksityismuuntajien tarkastuksista veloitetaan kyseisen muuntajan haltijaa. Tarkastettavia muuntajia on siis 299. SFS

6002 suositus kuntotarkastuksien väliksi on 4- 10 vuotta. Kappalemääräksi muutettuna neljän vuoden kierrolla tarkastuksia tulisi tehdä 74 joka vuosi ja vastaavasti 10 vuoden kierrolla noin 30.

Tarkastukset määräytyvät RBM-taulukoinnin mukaan siten, että huonokuntoisia ja likaantumiselle alttiita tarkastetaan tiheämmin kuin muita. Laitetaan normaali-tarkastuksen rytmiksi 8 vuotta. Arvioidaan karkeasti, että 40 % kohteista tarvitsee tiheämpää seurantaa kuin 8 vuotta, mikä tarkoittaisi 119 muuntajaa. Annetaan näille tarkastusväliksi 6 vuotta. Mikäli näistä 119 muuntajasta katsotaan vielä erittäin kriittisiksi 20 %, niin se tarkoittaisi 24 muuntamoaa. Erittäin kriittisille voidaan määrittää tarkastus 4 vuoden välein. Tällä laskukaavalla tarkastukseen tulisi noin 44 muuntajaa vuodessa. Nykyisellä järjestelmällä niitä täytyisi tarkastaa 50 vuodessa, eikä tarkastuksessa huomioida kriittisyyttä.

Muuntamotarkastusten suorittaminen talvella vaatii lumien auraamista, jotta muuntajalle päässään kulkemaan ja ovet saadaan auki. Lapiolla tämä olisi todella kova työ. Lumien luonti voidaan myös mieltää osaksi käytön helpottamista. Aina toisinaan tulee tarve järjestellä verkkoa, jolloin on saatava muuntajan ovi auki. Tai vastaavasti, jos muuntaja vikaantuu, niin lumien luonti ennakkoon osana talvikunnossapitoa helpottaa korjaustoimenpiteitä. Usein pidetäänkin järkevänä lumien luonti muuntajan edustalta vähintään kerran talvessa. Perinteisesti tarkastuksia on tehty nimenomaan talvityönä, mutta se nostaa myös niihin kohdistuvia kustannuksia. Aurauskustannukset voivat olla jopa 30 % kokonaiskustannuksista. Toisaalta talvella ei juurikaan rakenneta, joten kunnossapidon lisääntyneet kustannukset on yleisesti hyväksytty.

Tehokas työskentely vaatii eri toimenpiteitä eri muuntajatyypeillä. Pylväsmuuntamolla on tärkeää nähdä koneen kannelle, jos se vaan on mahdollista ilman työturvallisuuden vaarantamista. Yleensä tarvitaan nostokoriauto tähän tarkoitukseen. Rovaniemen Verkon alueella on mahdollista päässä suurimpaan osaan pylväsmuuntajista nostokoriautolla. Puistomuuntajilla tarkastukseen on laskettu mukaan yksi konetyötunti, joka on tarpeellinen talvella. Tarkastusta voidaan tehdä sulan maan aikaan, mutta perinteisesti se on katsottu olevan hyvää talviajan työtä. Lisäksi kuten aikaisemminkin todettiin, niin käytön kannalta on katsottu eduksi, että lumet luodaan pois muuntajien edestä. Parityöskentelyä puoltavat samat seikat kuin aikaisemmissakin tarkastuksissa.

Aikaisemmista tarkastuksista poiketen muuntajatarkastuksia tehdään myös yksityisille muuntamoille. Nämä niin kutsutut Y-muuntajat ovat etupäässä teollisuuden ja kauppojen omistuksessa, mutta ne katsotaan osaksi jakeluverkkoa ja näin ollen niitä tarkastetaan ja huolletaan kuten kaikkia muitakin muuntajia. Lasku tarkastuksista ja huolloista menee Y-muuntajan haltijalle.

4.1.4 Sähköasematarkastus

Rovaniemen verkolla on kolme sähköasemaa ja yksi voimalaitoksen yhteydessä oleva sähköjakelukenttä. Sähköasemat ovat Viirinkankaan SA, Palkisentien SA ja Ounasvaaran SA. Keskijännitekojeistot ovat kaikissa saman valmistajan, mutta kenttien koot vaihtelevat hieman. Myös muita eroja on asemien välillä. Tarkastusajoissa on pientä eroa. Varsinkin Suosiolan kenttä on huomattavasti pienempi kuin kolmella muulla asemalla. Asemille määritelty kuukausitarkastus on suhteellisen laaja, laajempi kuin mikään aikaisemmin käsitellyistä. Toisaalta myös vikojen vaikutukset ovat sähköasemilla kymmenkertaiset, joten sähköasematarkastus on syytä tehdä huolella.

Jokaiselle sähköasemalle määritetään oma hinta, vaikka kolme suurinta ovat lähellä toisiaan. Konetyötä tarvitaan jonkin verran talvella, joten sille lisättiin talviajan pituuteen suhteutettu hinta. Kustannukset on yksilöity liitteen 9 taulukossa 8.

Tarkastuskohteita on paljon ja niitä on sisällä sekä pihalla, joten tarkastuksen sujuvuuteen vaikuttaa paljon oikea etenemisjärjestys. Sähköisellä tarkastuslomakkeella oikean järjestyksen aikaansaaminen on hankalaa, se vaatii tietämystä komponenttien sijainnista ja tarkastettavista kohteista.

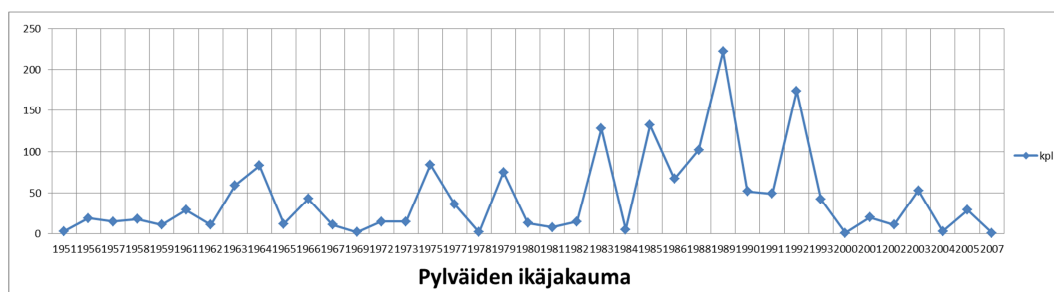
4.1.5 Lahotarkastus

Pylväiden ikätiedot puuttuivat lähes kokonaan NIS:n verkkotiedoista, ja olemassa olevatkin tiedot olivat suurelta osin virheellisiä. Projektissa tehtiin pylväiden iän selvitys, joka vaati suuren työn maastossa. Kaikki pylväät, joilta puuttui ikätieto, kierrettiin läpi, ja tieto lisättiin NIS-järjestelmään. Kaikkiaan käytiin läpi 1665 pylvästä. Pylväiden ikätieto nähtiin tärkeäksi projektin kannalta, lahopylvästarkastusten kannalta sekä maakaapelointisuunnittelun kannalta.

Lahotarkastusta on tehty omana työnä, mutta myös teetetty ulkopuolisena työnä. Lahotarkastus on tehtävä sulan maan aikaan, koska siinä on kaivettava jon-

kin verran pylvästä näkyviin. Useana vuonna rakentaminen on kuormittanut suolan maan aikaan, joten on pitänyt käyttää ulkopuolista urakoitsijaa. Pylvään lahotarkastuksen voi tehdä usealla eri tavalla. Rovaniemen Energialla on käytetty piikkiä lahoasteen määrittämiseen. Maaperä vaikuttaa jonkin verran yhden suorituksen keston. Keskimääräiseksi ajaksi saatiin 17 minuuttia yhden pylvään lahotarkastuksen suorittamiseen.

Kaikkiaan pienjänniteverkon pylviäitä on 1671 kappaletta, joista suurin osa on yli 25 vuotta vanhoja (Kuvio 35). Vuoden 2005 jälkeen on korjattu vanhoja pylviäitä ja näin ollen kappalemäärät uusilla pylvillä ovat pieniä. Mikäli pylväs määrä jaetaan tasaisesti verkostosuosituksen mukaan, tulisi vuosittain noin 250 pylväs- tä tarkastettavaksi.



Kuvio 35. Pj-pylväiden ikäjakauma

Mikäli tarkastuksia tehdään 250 kappaletta suunnitellulla kustannusrakenteella (Liite 9 taulukko 9) urakoitsijan tekemä tarkastus on vain 3,8 % halvempi. Urakoitsija ei kuitenkaan omista mobilelaitteita, joilla tehdä tarkastusta. Mikäli tarkastuksia tehdään useampia, niin ICT:n sekä ylläpidon osuudet pienenevät ja näin ollen ero kuroutuu umpeen.

4.2 Korjaukset ja huolto

4.2.1 Pj- ja Kj-verkko

Suurin osa kunnossapidon töistä on hyvin pieniä, kuten esimerkiksi sulakkeen vaihtaminen. Suurimpia töitä ovat esimerkiksi jakokaappien korjaaminen ja vaihtaminen. Näitä ei ole kuitenkaan koskaan eritelty omille työnnumeroille. Työkohdet poikkeavat toisistaan paljon. Liitteessä 1 on avattu työn sisällöt tarkemmin. Liitteen 1 listauksesta Pj- ja Kj-verkon toimenpiteiksi kunnossapidon hinnastoon

valitaan oranssilla ympyröidyt työt. Työt järjestellään MMS-järjestelmässä työpaketeiksi, jotka pitävät sisällään useamman työsuoritteen.

Hinnat lasketaan tilastoitujen töiden ja henkilöstön omien arvioiden perusteella. HeadPoweriin lisätään sekä sovittu hinta että työmäärä tunteina. Työmäärän lisääminen mahdollistaa työkalenterin käyttöönoton. Työkalenterissa työmäärä piirtyy Gant-kaavion mukaisesti jokaisen työhön nimetyn asentajan aikajanelle ja mahdollistaa näin ollen muun muassa tulospalkkausmittariston rakentamisen työnkeskimääräisen ajan saavuttamisen tukemiseen.

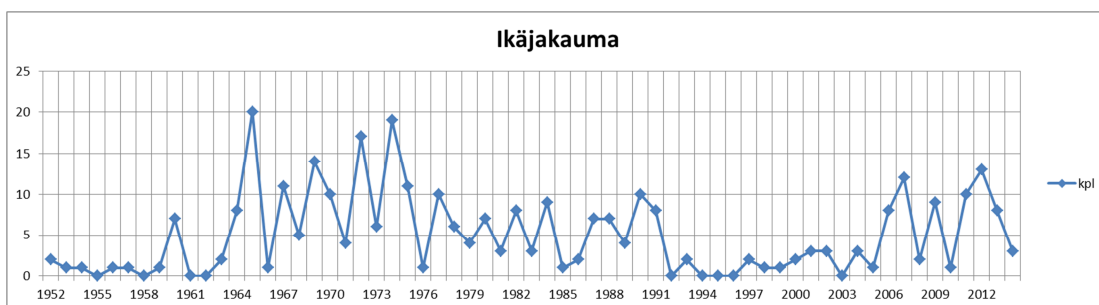
Pj- ja Kj-verkon huolto ja kunnossapitotyön osuus myydään kokonaispalveluna Rovaniemen Verkolle, ja ylimenevältä osuudelta veloitetaan jokaisesta työstä hinnaston mukaan. Yksittäiset työt kirjataan mahdollisuuksien mukaan NIS MMS-järjestelmään.

4.2.2 Muuntamot

Liitteessä 1 on avattu työn sisällöt tarkemmin. Hinnastoon valittiin muuntamoiden osalta liitteen 1 taulukoiden 4, 6 ja 13 oranssilla merkityt työt.

Hinnat lasketaan tilastoitujen töiden sekä henkilöstön omien arvioiden perusteella. HeadPoweriin lisätään sekä sovittu hinta että työmäärä tunteina. Työmäärän lisääminen mahdollistaa työkalenterin käyttöönoton. Kaikki hinnat sisältävät liitteessä 9 olevan taulukon 11 mukaiset tarvikkeiden, työkalujen, ICT:n, koneiden vuokrien, puhelinten sekä muiden liiketoiminnan kulujen lisäykset. Tarkempi hinnaston rakenne on esitetty prosentteina liitteessä 3. Töiden sisältö on taasen avattu liitteessä 1.

Rovaniemen Verkolla on huomattavan paljon vanhoja jakelumuuntajia (Kuvio 36). Kuten todettiin kappaleessa 3.2.6 Muuntajien ikääntyminen), ikä ei suoraan kerro muuntajan teknisestä toimintakunnosta. Ratkaiseva tekijä iän suhteen on Energiaviraston laskentamalli, missä yli 40 vuotta vanhat komponentit alkavat verottamaan verkkoyhtiöiden sallittua tuottoa.



Kuvio 36. Jakeluverkon muuntajien ikäjakauma

Liitteen 10 taulukossa 1 on tehty muuntajien ikätiedon pohjalta erilaisia skenaarioita uusinta syklien vaikutuksesta verkon keski-ikään sekä yli 40 vuotta vanhojen muuntajien kappalemäärään.

Keski-ikä on kuvattu viivoilla, joiden arvon kehittyminen voidaan lukea oikeanpuoleisista luvuista. Ylin käyrä (turkoosi ja ruksit) kuvaa tilannetta, missä vanhojen muuntajien saneerausta ei tehdä ollenkaan ja uusia muuntajien tulee verkkoon joka vuosi 5 kappaletta. Tässä käyrässä keski-ikä lähtee luonnollisesti nousemaan. 35 vuoden keski-ikä ylitetään vuonna 2023, eli vajaan kymmenen vuoden kuluttua. Samaan tarkasteluun voidaan lisätä yli 40 vuotta vanhojen muuntajien määrä, joka siis vaikuttaa heikentävästi sallittuun tuottoon. Vuonna 2023 niiden määrä on 170 kappaleen luokkaa. Seuraava käyrä (oranssi ja salmiakit) kuvaa tilannetta, jossa verkkoon rakennetaan joka vuosi 10 uutta muuntamoita, mutta ei saneerata yhtään. Keski-ikä kasvu hidastuu hieman tällä skenaariolla, mutta yli 40 vuotta vanhojen määrä kasvaa vauhdilla. Ensimmäisen käyrä, joka lähtee laskusuhdanteeseen (sininen ja salmiakit) osoittaa, että pelkästään viidellä saneerausvaihdolla yhdistettynä samaan määrään uusia, saadaan keski-ikä laskemaan. Muuntajan saneerausvaihdolla on oletuksena, että muuntaja vaihdetaan aina vanhimmasta päästä. Yli 40 vuotta olevien muuntajien määrä pysyy viidellä saneerauksella samalla tasolla vuodesta toiseen. Yli 40 vuotta vanhojen muuntajien määrä lähtee jyrkemmin laskuun vasta, kun saneerauksia tehdään vähintään 10 vuodessa. Keski-ikä käyriä vertaamalla voidaan myös todeta, että saneerauksella on huomattavasti suurempi vaikutus keski-ikään sekä sallittuun tuottoon, kuin mitä uudisrakentamisella.

Uusittuihin muuntajiin liittyvät työt tehdään aina omalla, tapauskohtaisella työnumerolla. Työnumerolle liitetään myös kaikki komponentit, jotka menevät kyseiseen työhön. Tehty työnumero liitetään verkon investointeihin, jolloin se kirjataan taseeseen ja on näin ollen pois kunnossapidon kuluista. Työn kirjaaminen

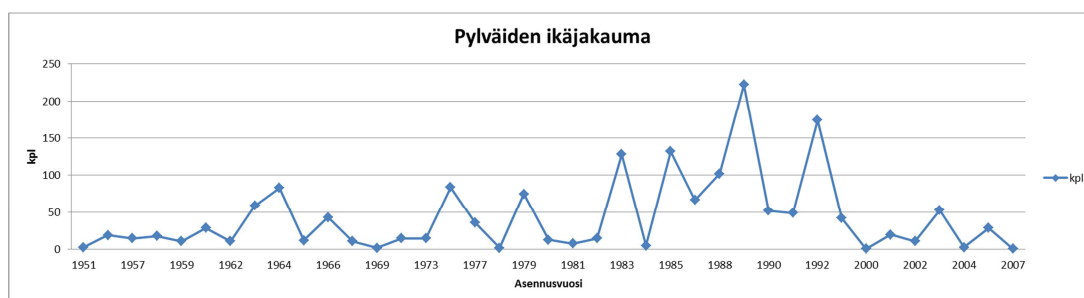
investoinniksi poistaa sen myös Energiaviraston kunnossapitoon kohdistuvasta laskentamallista ja näin ollen parantaa tulosta. Laajemmassa mittakaavassa tällä on suuri rahallinen merkitys.

4.2.3 Lahopylväät

Liitteessä 1 on avattu työn sisällöt tarkemmin. Hinnastoon valittiin HeadPowerin kunnossapitoyksiköistä eripylvästyypeille tarkoitetut yksiköt: normaalipylväs rakne, yhteiskäyttöpylväs, harustettu pylväs ja A-pylväs.

Liitteen 9 taulukossa 12 vuosi 2014 on vajaa. Käyttö- ja investointitarvikkeiden osuus on todella suuri vuodelle 2014. Tämä johtuu siitä, että tälle työnumerolle on tilattu varastoon suuri määrä pylväitä. Vuonna 2011 lahovaihtoja on tehty vain muutama, mutta kustannuksia nostaa tilillä olevat rakennuspalveluiden osot. Vuonna 2011 kaikille pylväille tehtiin lahotarkastukset urakoitsijan toimesta. Tarkempi hinnaston rakenne on esitetty prosentteina liitteessä 3. Töiden sisältö on taasen avattu liitteessä 1.

Vuoden 2003 jälkeen ei enää ole rakennettu uusia alueita ilmalinjoilla (Kuvio 37) Strateginen linjaus rakentamisen suhteen on muuttunut hiljalleen 90-luvun lopun jälkeen suosimaan maakaapelointia. Tänä päivänä se näkyy vähäisinä viikoina ja maakaapelointiaste alkaa lähetä 90 prosenttia. Koko verkossa pylväitä on 1671 kappaletta ja keski-ikä on 31 vuotta, joten lähestulkoon jokainen pylväs on lahotarkastuksen piirissä ja sitä myöten mahdollisesti lahovaihdossa. Uusimmat pylväät ovat kuparikyllästettyjä ja niiden odotettu käyttöikä on 30 vuotta. Ennen vuotta 2006 asennetut pylväät ovat CCA-kyllästeisiä. Hyvin kyllästetty CCA-pylväs voi kestää jopa 50 vuotta, yleisesti pylvään käyttöikä jakautuu 30-50 ikävuoteen. Tässä voi kuitenkin piillä todellinen pommi kunnossapidon kanalta, koska pylväskanta on vanhaa ja rakennettu tienvarren hiekkapenkkaan.



Kuvio 37. Verkon pylväiden ikäjakauma

Pylväiden keski-ikä kehittymistä on tutkittu liitteen 10 taulukossa 2, jossa on esitetty eri huoltoskenaarioita. Pylväiden osalta on aivan toivoton työ saada keski-ikä laskemaan tai yli 40 vuotta vanhempien pylväiden määrä putoamaan. Saneerausvaihtoa tulisi tehdä yli 75 kappaletta vuodessa ennen kuin vanheneminen saadaan kuriin. Vaihtoon pitäisi varata kaivinkone ja kaksi miestä joka kesä noin 3 kuukauden ajaksi. Sijoitukselle saatu hyöty jäisi kuitenkin melko pieneksi. Järkevämpää on suunnitella vanhojen ilmalinja alueiden uusiminen maakaapeliksi ja tehdä tehokkaasti lahotarkastusta sekä vaihtaa kaikki vähänkään epäilyttävät pylväät uusiin. Tämä tukee yrityksen linjausta kaupunkialueen maakaapeloinnin suhteen, sekä takaa turvallisuuden lahojen pylväiden suhteen. Yhä vanhenevassa ilmalinjaverkossa todennäköisesti tulee vuosittain kymmeniä lahovaihtojakin, joihin on syytä varautua budjetissa.

4.2.4 Raivaus

Liitteessä 1 on avattu työn sisällöt tarkemmin. Hinnastoon valittiin liitteen 1 taulukossa 1 oranssilla merkityt työt. Tarkempi hinnaston rakenne on esitetty liitteessä 3. Raivaushinnaston pohjana on käytetty kaupungin metsureiden tekemää keskijännitelinjan raivaustyötä.

Raivattavien alueiden määrät tulevat RBM-tilukoinnista työtilauksina. Taulukoinnissa kuntoindeksi määräytyy verkostoasentajan kuntohavaintojen perusteella, joten se perustuu todelliseen havaintoon. Käytännössä kunnossapitotarkastusta tekevä verkostoasentaja määrittelee milloin raivaus on seuraavan keran tehtävä.

4.3 Mittaukset

Liitteeseen 11 on tehty hinnasto kaikista kunnossapidon piirissä tehtävistä mittauksista, joihin Rovaniemen Energialta löytyy mittalaitteet. Mittausten hinnasto on tehty kirjaamalla kaikki vaiheet joita kyseinen mittaus pitää sisällään. Jokaiselle vaiheelle on määriteltävä kesto. Kokonaiskestoajalle lasketaan työtuntikulut sen mukaan kuka mittauksen tekee. Toimihenkilöiden tuntilaskutus on suurempi kuin verkostoasentajien.

4.3.1 Sähkönlaatu

Sähkönlaatumittaukselle tehdään hinnastoon kaksi eri mittausta: perusmittaus ja laatumittaus. Perusmittaus sisältää standardimittauksen asiakkaan sähköverkon tilasta ja Fluke:n vakioraportin ilman muokkauksia. Laatumittaus on kalliimpi ja pitää sisällään asiantuntija-arvion. Raportointi on laatumittauksessa aina kohteeseen räätälöity, ja siinä on häiriötyypit ja niiden esiintymistiheydet eriteltyinä. Asiantuntijalausunto sisältää myös korjausehdotuksen ja tarkemman jatkomittauksen. Mittausjakso molemmissa mittauksissa on 3-7 vuorokautta.

Sähkönlaatumittauksessa kytkentä ja mittaus on helppo järjestää. Sen voi tehdä kuka tahansa tarvittavat sähköpätevyudet omaava henkilö. Mittaustulosten käsittely ja vian tunnistaminen tuloksista vaatii korkean tason sähkötekniistä ymmärrystä ja kokemusta.

Aikaisemmin hinnastossa ollut tehontarpeen mittaus asiakkaan kohteessa (pääsulakkeen koon tarkistus) poistetaan hinnastosta. Uudet kaukoluettavat mittarit poistavat erillisen mittauksen tarpeen.

4.3.2 Lämpökamera

Lämpökamera mittausta tarvitaan puisto- ja kiinteistömuuntamotarkastuksissa, sähköasematarkastuksissa sekä pj-tarkastuksissa. Lämpökamerakuvausta tehdään myös yksittäisille verkon kohteille tarpeen mukaan. Lisäksi sitä voidaan tehdä sähkönlaatumittauksen yhteydessä. Lämpökameran kuvasta näkee yhdellä vilkaisulla ylikuormitustilanteet, kuormituksen epäsymmetrian sekä löysät liitokset.

Hinnastoon laskettiin kolme erillistä hintaa: 1 mittaus, 5-10 mittausta ja yli 10 mittausta. Oletuksena hinnastolle on, että mittauskohteita on useampia ja ne ovat suhteellisen lyhyen siirtymän päässä toisistaan. Näin ollen kuvaaminen on nopeampaa ja taloudellisempaan. Hinnastossa yksi kappale tarkoittaa yhtä kohdetta, ei kuvaa. Rovaniemen keskusta-alueen ulkopuolelle siirryttäessä hinnaan lisätään matkat.

4.3.3 Kuormitusmittaus

Kuormitusmittaus tehdään yleensä muuntajille. Mittauksella voidaan tutkia, onko kyseisen muuntajan mitoitus riittävä. Mittaus kannattaa ajoittaa jaksolle, jolloin

kuormat ovat huipussaan. Mikäli huippukuorman ajanjakso ei ole tiedossa voidaan mittausnäytteiden ottoväliä säätää esimerkiksi tuntiin ja mitata kohdetta pidempään. Muuntajan jatkuva ylikuormitus lyhentää sen käyttöikä huomattavasti.

Mittauksen työmäärään laskettiin matkat, kytkennän suunnittelu, mittarin kytkentä, mittaus aika, kytkennän purku, lataaminen tietokoneelle ja raportin teko. Muita kuluja olivat ICT-kustannukset ja laitteiden huoltoon ja ylläpitoon varatut osuudet. Matkoista Rovaniemen keskusta-alueen ulkopuolelle veloitetaan erikseen.

4.3.4 Eristysvastus- ja oikosulkuvirranmittaukset

Eristysvastuksenmittaaminen ja oikosulkuvirranmittaus ovat kaksi erillistä mittausta, mutta niiden katsottiin vaativan samanlaiset toimenpiteet. Näin ollen niille määriteltiin sama hinta. Työmäärään laskettiin samat toiminnot kuin mitä kuormitusmittauksilla, lisäksi verkon järjestelyistä ja keskeytyslappujen jakamisesta aiheutuvat kustannukset laskettiin hintaan mukaan. Mittauksista Rovaniemen keskusta-alueen ulkopuolelle peritään matkakulut.

4.3.5 Maadoitusmittaus

Maadoitusmittaukset voidaan tehdä V/A-menetelmällä tai käännepestemenetelmällä. Maadoituksen eheysmittaus lisättiin erillisenä mittauksena hinnastoon. Hinta muodostui työmäärästä, ICT-kustannuksista sekä laitteiden huolto- ja ylläpitokustannuksista. Työmäärään laskettiin matkat, kytkennän suunnittelu, verkon järjestelyt, keskeytyslappujen jakamisesta, mittalaitteiden kytkennästä, mittaus ajasta, kytkennän purkamisesta ja raportin tekemisestä.

4.3.6 Akustojen mittaus

Hinta muodostui työmäärästä, ICT-kustannuksista sekä laitteiden huolto ja ylläpitokustannuksista. Työmäärään laskettiin matkat, kytkennän suunnittelu, mittalaitteiden kytkentä, mittaus ajanjakso, kytkentöjen purkaminen sekä raportin tekeminen.

4.3.8 Kaapelitutka, TDR

Hinta muodostui työmäärästä, ICT-kustannuksista sekä laitteiden huolto ja ylläpitokustannuksista. Työmäärään laskettiin kytkennän suunnittelu, verkon järjeste-

lyt, keskeytyslappujen jakamisesta, mittalaitteiden kytkennästä, mittaus ajasta, kytkennän purkamisesta ja raportin tekemisestä

4.4 Raportointi, mittarit ja työnohjaus

4.4.1 Päivystysraportit

Rovaniemen Energian päivystys toimii virka-ajan ulkopuolella ja jokaisesta tehdystä keikasta on jäätävä jälki. Päivystysraportit ovat päivystäjän keikoista tehtyjä Excel-pohjaisia raportteja. Raportointipohja on peruja HeadPowerin lomakkeista. Samainen pohja on ollut käytössä vuosia eikä siihen ole tehty aikaisemmin muutoksia. Alun perin lomakkeen kierto on tapahtunut seuraavasti: Päivystäjä on keikkaa seuraavana arkipäivänä täyttänyt tulostetun raportin ja toimittanut sen esimiehelle. Esimies on kerännyt kaikki raportit ja kerran vuodessa toimittanut ne postittamalla tai viemällä itse kaikki raportit verkon käytönjohtajalle. Käytönjohtaja on koonnut tiedoista Energiavirastolle toimitettavan vikaraportin. Vuonna 2012 toimintaa muutettiin sen verran, että työpäällikkö skannasi raportit ja lisäsi ne liitteiksi käytönjohtajan tekemään HeadPower työhön. Muilta osin prosessi pysyi samana.

Tämän projektin tuloksena päivystysraportin prosessia on muutettu seuraavasti. Raportti on rakennettu Excelillä yhteiselle N-levykkeelle "Vikaraportit"-kansioon. Aikaisemmin jokaisesta raportista tehtiin oma Excel-pohja. Erona aikaisempaan on, että nyt lähdettiin rakentamaan yhtä ainoaa pohjaa, johon kertyy kaikki yksittäiset raportit. Raportissa yhdelle sarakkeelle kirjautuu yksittäinen keikka. Keikan yksityiskohdat ja tiedot valitaan alavetovalikoista ja loppuun jätettiin tilaa sanalliselle lisätiedolle. Kaikkien raporttien siirtäminen yhteen taulukkoon vähensi monta vaihetta raportointi prosessista. Lisäksi tämä mahdollisti raporttien jatkojalostamisen erilaisiksi vikaraporteiksi, joita voidaan hyödyntää vikojen ennakointiin. Lisäksi käytönjohtajan Energiavirastolle toimittama raportti saatiin tämän myötä automatisoitua. Päivystysraportit löytyvät liitteestä 4.

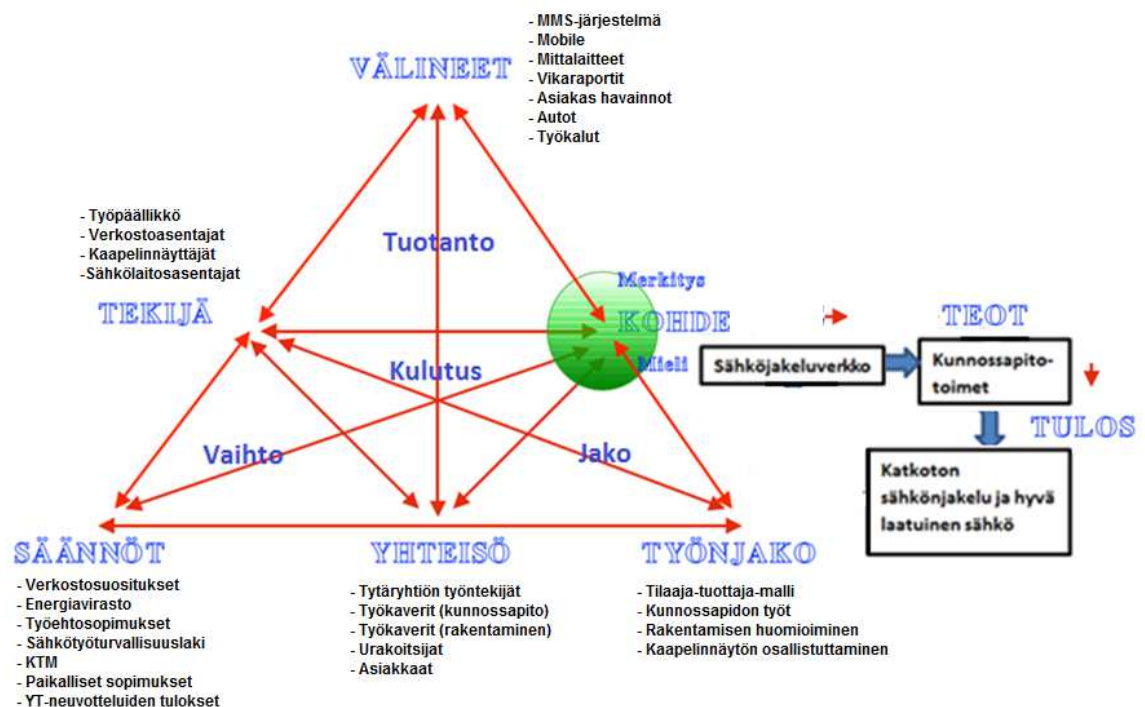
Uuteen raportointipohjaan kirjattiin kaikki tämän vuoden viat ja taulukot päivittyvät sitä mukaan, kun uusia rivejä lisätään. Seuraava askel on poimia näistä taulukoista tarpeellinen tieto RCM-strategian lähtötiedoiksi sekä poimia ennakoi-vaan kunnossapitoon vaikuttavat oleelliset tiedot ja liittää ne osaksi RBM-

taulukointia. Tiedon jatkokäsittelyn kannalta ja tehtävien helpottumisten kannalta tällä vikataulukoinnilla on valtaisa merkitys.

4.4.2 Toiminnan ohjaus

Toiminnan ohjausta on pohdittu liitteessä 8 Ulrichin organisaatioanalyysin arkkitehtuurimallilla. Käytetyn mallin teoriapohja on esitelty aiemmin luvussa 3.6 Kunnossapidon organisoituminen).

Kuviossa 38 on hahmoteltu kunnossapidon toimintaympäristöä kehittävän työntutkimuksen kolmiomallilla. Hahmottelu on tehty yleisellä tasolla. Kolmion kärki muodostuu kunnossapidossa käytettävistä välineistä ja tehtävistä töistä. Välineillä pyritään vaikuttamaan kohteeseen, eli tässä tapauksessa sähkönjakeluverkkoon ja sen toimivuuteen. Kohteen ympärille muodostuu syy-seuraus-ketju, joka alkaa kohteen määrittelystä ja päättyy tulokseen, johon päässään tekojen kautta. Tavoiteltu tulos on katkoton ja hyvälaatuinen sähkö. Siihen vaikuttaa kunnossapitotoimissa onnistuminen eli oikein suunnatut konkreettiset teot.



Kuvio 38. Kunnossapidon yleinen toimintaympäristö, esitettyä kehittävän työntutkimuksen kolmiomallilla

Kolmion oikean puolimmaisien sakaran muodostaa työnjako. Rovaniemen Energiolla tähän vaikuttaa oleellisesti käytössä oleva tilaaja-tuottaja-malli. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat kunnossapitotöiden ja rakentamisen väliset työnjaot.

Perinteisesti kunnossapito on ollut talvityötä. Talvityönä kustannukset kuitenkin nousevat. Kunnossapitoa on tehty talvityönä, koska rakentaminen on katsottu tärkeämmäksi tehdä sulanmaan aikaan. Rakentamisessa ei talvella ole läheskään niin paljon työtä kuin kesällä. Kunnossapito taasen on ympärivuotista työtä. Mikäli ajatellaan vain miten kunnossapito saadaan tehtyä sujuvasti ja kustannustehokkaasti, niin sitä on tehtävä yhtäläillä kesällä kuin talvellakin.

Tekijöitä on sekä Energian puolella että Verkon puolella. Pääsääntöiset tekijät voidaan kuitenkin jakaa työpäällikköön, verkostoasentajiin, kaapelinnäyttäjiin ja sähkölaitosasentajiin. Tekijät vaikuttavat sähkönjakeluverkon katkottomaan toimintaan tarkastusten myötä nousevilla korjaustoimenpiteillä, ja näin varmistavat katkottoman sähkönjakelun.

Kolmion vasen ala laita muodostuu säännöistä. Sähkönjakelutekniikkaa säätelevät erilaiset verkostosuosituksiset, Energiavirasto, KTM ja sähkötyöturvallisuus laki. Näiden lisäksi tekemistä säätelee työehtosopimukset, paikalliset sopimukset ja käydyt yt-neuvottelut.

Yhteisö, joka muodostuu kunnossapidon ympärille, koostuu konsernin työntekijöistä, asiakkaista sekä urakoitsijoista. Kunnossapidon varsinaiset tekijät ovat työpäällikkö, verkostoasentajat, kaapelinnäyttäjät sekä sähkölaitosasentajat. Sekä tekijöitä että koko yhteisöä sitovat säännöt, joita tulee verkostosuosituksista, Energiavirastolta, työehtosopimuksista, paikallisista sopimuksista, yt-neuvotteluiden tuloksista sekä lainsäädännöstä.

Pääkolmion sisään voidaan määrittää neljä pienempää kokonaisuutta: tuotanto, jako, kulutus ja vaihto. Tuotanto muodostuu tekijöistä, välineistä ja kohteesta. Rovaniemen Energialla tuotannonvälineeksi on tässä projektissa muokattu RBM-taulukkoa, jonka pohjana toimii RCM-strategia. Tuotantoa ovat myös kunnossapitotöiden suunnittelu, huoltotoimenpiteet, tarkastukset ja päivystys.

Jako muodostuu kohteesta, työnjaosta ja yhteisöstä. Yhteisön sisällä on selkeä työnjako liittyen sähkönjakeluverkkoon. Suunnittelu toimii omana yksikkönään, mutta kuitenkin tukien kunnossapitoa ja rakentamista. Rakentamisen ja kunnossapidon henkilöstö on jaettu kahtia, mutta tarvittaessa ne myös tukevat ja täydentävät toisiaan. Toimiakseen tehokkaasti näiden välille on löydettävä sopiva tasapaino. Työnjaon lisäksi jakoon kuuluu myös toiminta tilaaja-tuottajamallin mukaisesti.

Tekijät, yhteisö ja säännöt muodostavat yhden kokonaisuuden, joka on nimetty vaihdoksi. Vaihdossa muodostuu vuorovaikutusyhteys tekijöiden ja yhteisön välillä, säännöt peilaavat näiden välistä suhdetta. Vaihtoon kuuluu säädösten mukainen toiminta, henkilöstön keskinäinen vuorovaikutus, normit ja työkulttuuri.

Kulutus on tekijöiden, kohteen ja yhteisön muodostama kokonaisuus. Sähkönjakeluverkkoon vaikuttaa suunnittelijoiden toiminta sekä rakentamisen ja kunnossapidon omat tekijät. Kaikkien toimiminen vaikuttaa osaltaan sähkönjakeluverkon kuntoon ja korjaustoiminnan kohdistumiseen. Kulutusta on kunnossapitotoimenpiteiden suorittaminen, rakentaminen ja SLO:n kaupintavaraston toiminta. Näiden lisäksi tarvitaan myös työvaatteita ja työkaluja, jotta kunnossapittoa voidaan tehdä.

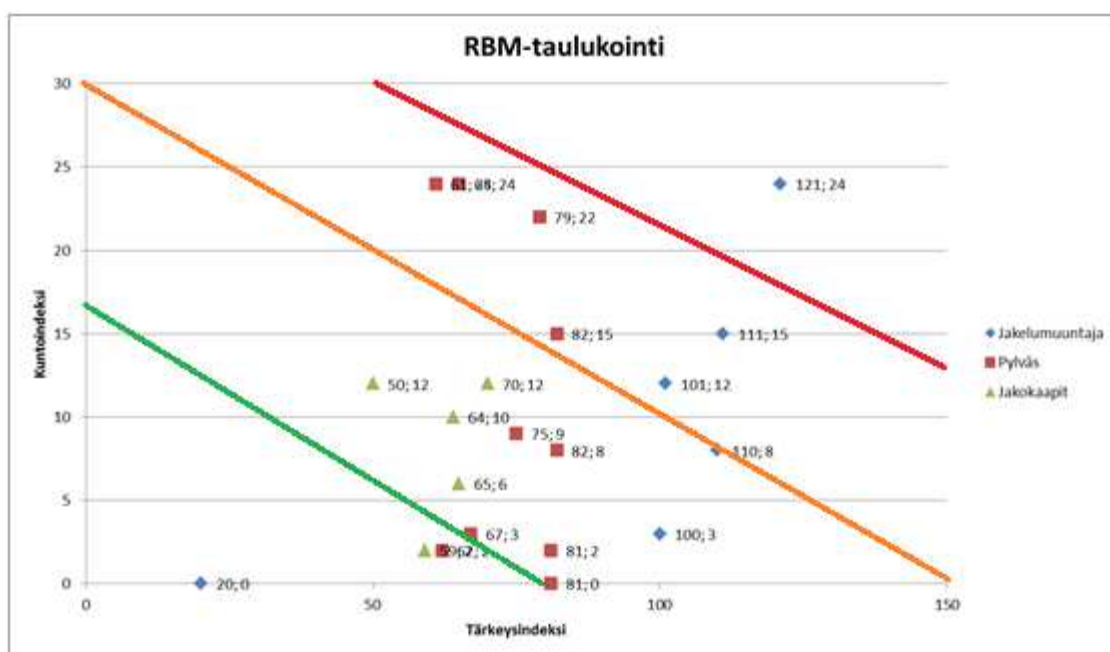
4.4.3 Huolto- ja tarkastuskierto

Tarkastusten kierto on aikaisemmin perustunut maantieteelliseen jakoon. Käytännössä sama jako on koskenut myös huoltokiertoa. Koko maantieteellinen sähkönjakeluverkko on jaettu kuuteen pienempään osaan pj-tarkastusta varten ja kolmeen suurempaan osaan kj-tarkastusta varten. Aluejako on tullut verkostosuositusten määräyksestä tehdä pienjännite tarkastuksia kohteille kuuden vuoden välein ja keskijännitteelle kolmen vuoden välein. Ennakoivan huollon kannalta tällainen alue jako ei ole optimaalinen, vaikka se muuten toimisikin. Maantieteellisessä jaossa alueet ovat erikokoisia, eikä niissä huomioida ollenkaan kohteiden kuntoa tai rakennusvuotta. Esimerkiksi tänä kesänä rakennettu alue voi olla seuraavassa kuntotarkastus alueessa tarkastettavana. Verkossa on myös kohteita, jotka vaativat tiiviimpää tarkkailua ja toisaalta myös niitä, joille riittää pitempikin tarkasteluväli. Verkostosuositukset ovat myös muuttuneet siten, että niissä voidaan huomioida ennakoivan huollon tarpeet. Suositusten mukaan tarkastusväli voi olla esimerkiksi 4-10 vuotta. Sähköturvallisuusnäkökohdista katsottuna 10 vuotta on liian pitkä väli, mutta sitä varten voidaan määrittää paljon kevyempi katselmus. Katselmukseen riittää silmämääräinen tarkastus jakokaapin tai muuntajan eheydestä, maatäytön riittävydestä ja maadoitusten liitoksista. Aikaa tähän kuluu muutama minuutti, ja kun siitä kirjataan kuittaus MMS-järjestelmään, käynti voidaan myös todentaa tarvittaessa.

RBM-taulukointi on erinomainen työkalu ennakoivaan huoltoon (Kuvio 39). Siinä nähdään jokaiselle verkon komponentille todellisiin kuntohavaintoihin perustuva

tekninen kuntoisuusaste sekä kohteelle määritelty kriittisyys. Jokaiselle verkon toimintaan oleellisesti vaikuttavalle komponentille määritellään vika-vaikutus-analyysin sekä aikaisempiin tutkimuksiin (LuoVa-projekti) perustuva tärkeysindeksi. Kuntoindeksiin vaikuttavat tarkastukset, mittaukset, sekä vikaraportit.

Taulukkoon asetetaan kolme trendiviivaa, jotka kertovat kunnossapidon asteen. Punaisen viivan ylittävät kohteet ovat välittömästi toimenpiteitä tarvitsevia kohteita. Toimenpide voi olla tarkastus, korjaus tai varmennus mittausta ja sitten korjaus. Erikohteille annetaan eri symbolit kuvion 39 mukaisesti salmiakki jakelumuuntajille, neliö pylväille, kolmio jakokaapeille ja niin edelleen. Oranssin viivan ylittävät ovat huoltoa kaipaavia kohteita sekä tiheämmän tarkastuksen kohteita. Vihreä viiva kertoo vähäisestä huollon tarpeesta ja hyväkuntoisista komponenteista. Taulukon molemmat asteikot tullaan muuttamaan 0-100, joissa 100 on kriittisin mahdollinen.



Kuvio 39. Hahmotelma RBM-tilauskoinnista (lopullinen taulukko rakennetaan QlikViewiin Verkko-projektissa)

Jokainen piste RBM-tilauskoinnissa voidaan kohdentaa Trimble NIS järjestelmästä id:n avulla. QlikView-näkymään voidaan tehdä erillisiä poimintoja oleellisista toimenpiteistä, kuten tarkastuksista, tulevista huolloista ja kriittisistä korjauskohteista.

4.5 Talous

4.5.1 Yksikkökustannukset

Hinnasto on luotu arvioimalla työn osuus, tarvittavien koneiden osuus sekä selvittämällä, mitä muita kustannuksia töille on kirjautunut viimeisen parin vuoden ajalla. Hinnaston pohjana on käytetty HeadPowerin kunnossapito-ohjeistusta. Hinnasto löytyy liitteestä 3 ja hinnastossa olevien töiden sisältö löytyy liitteestä 1.

4.5.2 Budjetointi

Budjetointi kuuluu oleellisesti osaksi kunnossapidon taloudellista johtamista, mutta tässä työssä se ei ole keskiössä, ja näin ollen sitä käsitellään ainoastaan pintapuolisesti. Budjetoinnille rakennetaan kuitenkin mahdollisimman todenmukaiset kehykset ja testataan luotua hinnastoa. Rovaniemen Energialle sekä hinnasto että budjetti on laadittu euromääräisiksi, mutta tässä työssä kaikki hinnat ja lähdeluvut on merkitty vain prosentteina. Budjetti löytyy liitteestä 5.

Budjetin rakentaminen aloitettiin selvittämällä kaikki jokavuotiset kiinteät menot. Kiinteiksi menoiksi katsottiin palkat, ICT-kustannukset, kiinteistön ylläpito ja autot. Konetöiden osuus ei vaikuta kaikkiin töihin ja sen osuus vaihtelee vuosittain hieman. Konetöille laskettiin keskiarvohinta edellisten vuosien toteumasta. Muita liiketoiminnan kuluja otettiin myös keskiarvona edellisiltä vuosilta, lukuun lisättiin myös hieman virhemarginaalia.

Palkat ovat todellisia palkkahallinnon toimittamia ja niihin sisältyy myös ylityöt ja muut lisät. Palkat ovat kuitenkin laskettu yhteen ja jaettu henkilömäärällä, jotta ne eivät olisi tunnistettavissa. Tehtävänimekkeen jälkeen ensimmäinen prosentti kuvaa palkkojen suuruutta, ja ne ovat summattuna palkkojen viimeisellä rivillä. Jokaisen henkilön palkka on jaettu työnumeroille, kyseisen henkilön tehtäväkuva mukailten. Jokaisen vaakarivin viimeisenä prosenttilukuna on tarkastusluku, jolla varmistetaan, että koko palkka on jaettu työnumeroiden kesken. Palkkojen jälkeen on rivi, jossa ynnätään työnumerolle kertyneet palkkakustannukset. Saman rivin viimeisenä on jälleen tarkistusluku, jota verrataan palkkojen kokonaiskustannuksiin.

ICT-kustannusten kokonaismassaa kuvaa kirjainyhdistelmä AAA. Tämä luku on jaettu työnumeroille samalla prosentuaalisella jaolla kuin palkat. Oleellista on huomioida, että tämä ei ole sama prosenttiluku kuin, mitä aikaisemmin on esitetty yksittäisen työn prosentiksi. Tästä saatu ICT:n kokonaiskustannus on jaettu yksittäisten töiden kesken, ja siitä muodostuu hinnaston pohjassa esitetyt ICT-kustannukset. Kiinteistön ylläpito (BBB) on budjetoitu vain varastotoimintoihin ja sillä on vaikutusta vain kunnossapidon kokonaiskustannukseen. Matkahuellinten kohdistumiseen vaikuttaa henkilön töiden kohdistuminen. Autojen kustannukset on jaettu edellisten vuosien toteumien keskiarvon mukaisesti. Oletuksena, että työt pysyvät suhteellisen samanlaisina. Konetyöt lasketaan, kuten edellä jo mainittiinkin, toteutuman keskiarvona.

Kaikki menot on laskettu yhteen keltaisella pohjalla. Menojen jälkeen turkoosilla pohjalla ovat töille lasketut tulot. Tulojen laskennassa on käytetty projektissa laadittua hinnastoa sekä esitettyjä kappalemääriä huolloille ja tarkastuksille. Laadituilla hinnoilla pystytään kattamaan kaikki kulut, joita toimiva kunnossapito vaatii. Voittoa kertyisi jopa 7,33 %, joka on voittoa tavoittelemattomalle yksikölle erinomainen tulos. Lisäksi saavutetaan huomattavasti aiempaa budjettia alhaisemmat kustannukset.

Tämä kustannusrakenne toteutuu kuitenkin vain silloin, kun kunnossapitoa suorittavat siihen organisaatorakenteessa nimetyt henkilöt. Kyseiset henkilöt perehtyvät kunnossapitotehtäviin ja sitoutuvat suorittamaan kappalemääräiset kunnossapitotehtävät. Onnistumisesta tehtävien täyttämässä voidaan rakentaa tulospalkkauksen mittari. Tämän lausunnon taustalla vaikuttavat organisaatiokulttuurissa ollut kunnossapitonumeroiden väärinkäyttö.

Hinnasto on luotu arvioimalla työn osuus, tarvittavien koneiden osuus sekä selvittämällä, mitä muita kustannuksia töille on kirjautunut viimeisen parin vuoden ajalla. Hinnasto löytyy liitteestä 3 ja hinnastossa olevien töiden sisältö löytyy liitteestä 1.

5 POHDINTA

5.1 Projektia seuraavat jatkotutkimukset

Projekti on herättänyt monipuolisesti keskustelua kunnossapidosta läpi koko organisaation. Monella rintamalla on otettu isoja askeleita eteenpäin projektin ansioista. Kehittäminen on kuitenkin vasta polkaistu käyntiin ja jatkotutkimuksia vaaditaan.

RBM-taulukointia varten on tarvittava materiaali kasassa ja sitä lähdetään kehittämään todelliseksi työkaluksi. Yhtiöllä on jo kaikki taulukoinnin luontiin tarvittavat ohjelmat hallussa. Seuraava askel on kohdentaa taulukoinnissa kunnossapito kriittisille kohteille, käyttäen tärkeysindeksien painoarvo kertoimia. Tämän jälkeen voidaan ryhtyä rakentamaan QlikView näkymää kunnossapidon tarpeisiin. Odotusarvot ovat korkealla tämän suhteen.

Tulevaisuudessa budjetointia suoritetaan kappalehinnoilla. Kunnossapidon kappalemääräisistä töistä sovitaan yhteisesti aina ennen budjetin rakentamista. Projektin tuloksena rakennettiin hinnasto, jota lähdetään edelleen kehittämään. Kappalemääräiset työt pitää sitoa järkeviksi työpaketeiksi, jotta ei mennä urakkahinnoittelun tasolle. Pj- ja Kj-kunnossapidon osuudesta sovitaan, jokin kokonaishinta. Kokonaishinta vaatii myös selkeän tavan puolin ja toisin seurata kustannusten kehittymistä. Ratkaisua lähdetään hakemaan QlikViewistä. Tiedot tähän voisivat muodostua Trimble MMS-järjestelmän korjaustoiminnallisuuden työpaketeista.

5.2 Hyödynnettävyys Napapiirin Veden kunnossapitoon

”Vesihuoltolaitos huolehtii perus-, korjaus- ja kehittämisinvestoinneista toiminta-alueellaan sekä puhtaan talousveden hankinnasta ja käsittelystä, jätevesien johtamisesta ja puhdistamisesta sekä hulevesien johtamisesta. Napapiirin Veden tavoitteena on kunnallisena liikelaitoksena jakaa asiakkailleen moitteetonta ja turvallista talousvettä ja huolehtia jäteveden johtamisesta ja puhdistamisesta ympäristölupien vaatimusten mukaisesti.” (Napapiirin Vesi 2014).

Napapiirin Vesi on kaupungin omistama liikelaitos, samoin kuin Rovaniemen Energia. Yhtäläisyydet eivät lopu omistajuuspohjaan, sillä molemmissa käytetään saman valmistajan suunnittelu ja dokumentointi ohjelmaa. Teklan ohjelmat on suunniteltu siten, että niiden sisältämää tietoa voidaan helposti hyödyntää

molempiin suuntiin. Tällä hetkellä tästä esimerkkinä Webmap-sovellus, joka on internetissä toimiva palvelu. Tämän ohjelman avulla voidaan nähdä jakeluverkkojen reaaliaikainen tila sekä molempien jakeluverkkojen sijaintitieto. Sijaintitietoa voidaan hyödyntää suunnittelussa.

Vesi- ja sähkölaitoksen yhdistämisestä on puhuttu kaupunginhallituksessa paljon jo useamman vuoden ajan. Yhdistyminen on taas noussut puheenaiheeksi ja kaupunki voi halutessaan yhdistää nämä kaksi laitosta. Teknisesti katsottuna alat ovat hyvin erilaisia, mutta kyllä näkisin synergiassa hyviäkin puolia. Periaatteellisella tasolla taloushallintoa voidaan yhdistää, samoin ylin johtoporras, mittarointia voidaan yhdistää, samoja kaivuutyömaita voidaan hyödyntää, ATK-tuki voi olla yhteinen ja kunnossapidon tiedonkeruu voi perustua samaan logiikkaan samoin kuin strategia. Synergia etuja voidaan myös etsiä jätevesilietteen ja tuhkan muuttamisesta lannoitteeksi.

Napapiirin Vesi on kartoittanut verkostonsa kuntoa sekä dokumentoinut sitä sähköiseen muotoon 2012 vuodesta lähtien. (Napapiirin Veden vuosikertomus 2013, 4.) Tämä mahdollistaa kunnossapidon tehokkaan seurannan ja siihen liittyvien töiden tehokkaamman kohdistamisen. Vuotovesien määrä on kasvanut neljä prosenttia ja on nyt kokonaisuudessaan 20 % pumpatusta ja 25 % myydystä vesimäärästä. (Napapiirin Veden vuosikertomus 2013, 7.) Tämä kertoo heikosta jakeluverkon kunnosta. Verkon sähköinen dokumentoiminen Teklan järjestelmään mahdollistaa myös tiedon soveltamisen myös strategisen suunnittelun tasolle sekä kunnossapito ohjelman (MMS) täyden käyttöönoton.

Teoreettisella tasolla projektissa tehtyä kunnossapitostrategiaa voidaan soveltaa myös Napapiirin Vedelle. Projektin alkuvaiheessa Napapiirin Veden yhdistämistä osaksi projektia tutkittiin. Napapiirin Vedeltä ei kuitenkaan saatu ketään osallistumaan Lapin Ammattikorkeakoulun järjestämään GOPP-työpajaan (12.6.2014). Tämä johti siihen, että painotus projektille muodostui vastaamaan vain verkkoyhtiöiden tarpeita. Napapiirin Veden verkostomestarilla on kuitenkin mahdollisuus lähteä hakemaan vastaavanlaista projektirahoitusta opiskeluiden myötä kuin, mitä olen hakenut tähän projektiin. Napapiirin Veden ulos jättäminen tästä projektista tulee palvelemaan veden tarpeita paremmin, kuin vastaavasti pienen siivun saaminen tämän projektin rahoituksesta. Näkisin, että vastaavan projektin käynnistämisen suhteellisen akuuttina Napapiirin Vedellä ja rahoituksen osuuden ratkaisevana tekijänä. Projektissa kannattaa lähteä hake-

maan mahdollisimman laajaa vaikutusta, eli hakea mukaan Lapin alueen muita vesilaitoksia. Verkostomestarilla on ylemmän ammattikorkeakoulu opiskelun myötä mahdollisuus tehdä projektista opinnäytetyö ja Lapin ammattikorkeakoulun kannattaa pyytää mukaan. Lapin ammattikorkeakoulun osallistuminen parantaa mahdollisuuksia saada rahoitushakemus läpi, rahoituksen osuus on suurempi, kun hakijaksi tulee ammattikorkeakoulu ja lisäksi projekti saa koulun myötä projektiammattilaisten tuen ja osaamisen.

LÄHTEET

ABB 1990. TTT-teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa: ABB Oy.

ABB 2001. NT-1002. Instruction book. Liquid insulated network transformers. South Boston: ABB Oy.

Ahonen, T., Jännes, J., Kunttu, S., Valkokari, P., Venho-Ahonen, O., Välisalo, T., Ellman, A., Hietala, J-P., Multanen, P., Mäkiranta, A., Saarinen, H. & Franssila, H. 2012. Käyttövarmuuden hallinta - standardista käytäntöön. Espoo: VTT Technical Research Center of Finland. Osoitteessa <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T69.pdf>. 1.9.2014.

Bertling, L. 2002. Reliability centered maintenance for electric power distribution systems. Tohtorinväitöskirja. Tukholma: Royal Institute of Technology.

Ekman, G. 2003. Johda enemmän, hallitse vähemmän – epäviralliset keskustelut esimiehen työvälineenä. Juva: WS Bookwell Oy.

Engeström, Y. 1995. Kehittävä työntutkimus. Perusteita, tuloksia ja haasteita. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Ghulam, M.H. 2008. Partial discharge detection for condition monitoring of covered-conductor overhead distribution networks using rogowski coil. Tohtorin väitöskirja. Helsingin teknillinen korkeakoulu, Espoo.

Headpower. Ratkaisumallit. Sähköverkoistoihin. Kunnonhallinta. Osoitteessa <http://www.headpower.fi/ratkaisumallit/sahkoverkostoisiin/kunnonhallinta/>. 29.10.2014.

Headpower. Sähköjakelun yksiköt. Kunnossapito- ja vianhoitoyksiköt (S). Osoitteessa <https://rakenne.headpower.fi/units/WA32557527251.html>. 29.10.2014.

Headpower. Sähköjakelun yksiköt. Kunnossapitoyksiköt 2015. Osoitteessa https://portal.headpower.fi/classic/cms/default.asp?op=NaytaDokumentti&iid=122&ACACCE_UID=297&PRODUCT_NAME=Kunnonhallintaohjeisto. 23.11.2014.

Heikkilä, P. 2009. Sähköverkon kunnossapitojärjestelmän kehitys. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.

- Heusala, T. 2011. Tekla Xpower Kunnossapidon korjaustoiminnallisuus. Tekla käyttäjäpäivät 2011, Tampere.
- Hipotronics. Products. Cable fault locator. TDR Fault Location Techniques. Osoitteessa http://www.hipotronics.com/Collateral/Documents/English-US/Basic%20TDR%20Techniques_WP.pdf. 10.11.2014.
- Hurkkala, M. 2009. Sähkönjakeluverkon vikojen automaattinen analysointi. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Hyvönen, P. 2003. Keskijännitteisten maakaapelijärjestelmien osittaispurkauspäivitykset käyttöpaikalla. Lisensiaattityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Hyvönen, P., Oyegoke, B. & Aro, M. 2001. Advanced diagnostic test and measurement methods for power cable systems on-site. Literature review with discussions. Tutkimusraportti. Helsingin teknillinen yliopisto, Espoo.
- Hyvönen, P., Oyegoke, B. & Aro, M. 2003. Diagnostics and testing of high voltage cable systems. Final Report. Tutkimusraportti. Helsinki University of Technology, Espoo.
- Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Helsinki: KP-Media Oy.
- Kanninen, O. 2013. Kunnossapito-ohjelman rakentaminen RCM-menetelmän avulla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta.
- Korpinen, L., Mikkola, M., Keikko, T. & Falck, E. 2008. Sähköverkko. Yliaalto-opus. Osoitteessa <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>. 21.11.2014.
- Korpinen, L. 1998. Sähköverkko. Vikatilanteet. Osoitteessa <http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf>. 1.9.2014.
- Laine, J. 2005. Sähkönjakeluverkon komponenttien pitoajat. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kajaani.
- Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press Oy Yliopistokustannus.
- Latvala, R. 2013. Sähkönjakeluverkon kunnossapitotarkastukset. Kunnossapitotarkastuskoulutus. Adato Energia Oy.

- Megger. 2003. Fault finding solutions.MEG-23/MIL/11.2003. Osoitteessa http://www.artecing.com.uy/pdf/guias_megger/FaultFindingBook_AG_en_V03.pdf. 6.11.2014.
- Megger. 2012. Battery testing guide. AG_en_Vo2. Osoitteessa http://www.megger.com/common/documents/BatteryTesting_AG_en_V02.pdf. 20.11.2014.
- Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
- Mäkinen, A., Nikander, A. & Pylvänäinen, J. 2007. Sähköverkon häiriöiden ja sähkölaitteiden yhteensopivuuden hallinta. Tutkimusraportti. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- Napapiirin Vesi. Osoitteessa <http://www.napapiirinvesi.fi/Suomeksi/Etusivu>. 24.7.2014.
- Napapiirin Vesi. Toimintakertomus 2013. Osoitteessa <http://www.napapiirinvesi.fi/loader.aspx?id=22306b13-e39a-4a41-b2f3-7ea85d30cadf>. 24.7.2014.
- Neler, T. 2009. Cable fault location in LV, MV and HV underground cable networks. Practical experience. Osoitteessa http://www.hvtechnologies.com/Portals/0/products/hv_brochures/Cable%20Fault%20Location%20Practical%20Experience.pdf". 10.11.2014.
- Nurma, T. 2008. Maasulun paikannusmenetelmät keskijänniteverkossa. 8419 sähkövoimatekniikan erikoiskysymyksiä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Lappeenranta.
- Opetushallitus. Kunnossapito –menestystekijä. Perusteet. Osoitteessa <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet.html>. 15.9.2014.
- Oyegoke, B. 2003. On-site and laboratory measurements of dielectric response on medium voltage cable systems. Measurements and data analysis. Tutkimusraportti. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Pakarinen, M. 2005. Fortum –johtava energiayhtiö pohjoisilla markkinoilla. Käyttövarmuus mallinnus ja simulointi. Kunnonhallintapäivä 2005. HeadPower Oy.

Partanen, J. 2011. BL20A0500 Sähkönjakelutekniikka. Maasulkusuojaus. Osoitteessa:

<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/.../maasulkusuojaus.pdf>.
2.10.2014.

Kylliäinen, V-V., Laakso, L. & Viitasaari, O. 2011. Kunnonvalvonta ja käyttövarmuus. Tehokasta vikaantumisen seurantaa. Promaint kunnossapidon erikoislehti — 5. 2011. Osoitteessa:

http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Asiantuntijapaive-lut/Promaint_osa2_k%C3%A4ytett%C3%A4vyys_kunto_elinik%C3%A4.pdf.
3.9.2014.

Promaint kunnossapidon erikoislehti— 11.12.2013. Kunnonvalvonta ja käyttövarmuus. Tehokasta vikaantumisen seurantaa. Osoitteessa

<http://www.promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Tehostavikaantumisen-seurantaa>. 2.9.2014.

Rajala, J. 2013. Sähkönjakeluverkon kunnossapitotarkastukset verkkoyhtiön kannalta ja tilaajan asettamat vaatimukset tarkastuksille. Helsinki: Adato Energia Oy.

Rovaniemen Energia 2013a. Rakentaminen, kunnossapito ja suunnittelu – yksikön loppuraportti 2013. Rovaniemen Energian laatu järjestelmä. 28.7.2014.

– 2013b. Tiedote henkilöstölle 23.9.2013. Yhteistoimintamenettely tiedote sisäiseen käyttöön.

Sesko ry. 2012. SFS-käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000.

Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

Sesko ry. 2009. SFS-käsikirja 600-2. Sähköasennukset. Osa 2: Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

Sesko ry. 2012. SFS-käsikirja 600-3. Sähköasennukset. Osa 3: sähkötyöturvallisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

Suuronen, M. Maadoituksen mittaustapojen soveltuvuuden arviointi. Tutkintotyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Tampere.

Tekla versiokoulutus 121 ja 122. 2013. Tekla potential3. Trimble Oy.

- Tekla versiokoulutus 770 ja 780. 2011. Tekla potential3. Trimble Oy.
- Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Tampere. Juvenes Print.
- Tukes. Lainsäädäntö. 5.7.1996/517. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä. Osoitteessa:
<http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960517>. 14.10.2014.
- Tukes. Lainsäädäntö. 5.7.1996/516. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä. Osoitteessa
<http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960516>. 30.10.2014.
- Ulrich, D. 2007. Henkilöstö - johtamisella huipulle. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Vehanen, J. & Hyvönen, P. 2003. Päälystetyn keskijänniteavojohtodon kunnan diagnosointi. Tutkimusraportti. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Verho, P., Pylvänäinen, J., Järvinen, J., Oravasaari, M., Kunttu, S. & Sarsama, J. 2005. Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi (LuoVa) projektin loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- Verkostosuositus RJ 33:09. Puupylväiden lahoisuustarkastus ja lujuuden määrittäminen.

LIITTEET

- Liite 1. HeadPower kunnossapitoyksiköt
- Liite 2 Pj-tarkastuksen prosessikaavio
- Liite 3 Kunnossapitohinnaston rakenne (SALATTU)
- Liite 4 Päivystysraportti
- Liite 5 Budjettirakenne 2016
- Liite 6 Kokoukset ja palaverit
- Liite 7 Kunto- ja tyyppikertoimet
- Liite 8 Organisaation arkkitehtuurin määrittäminen
- Liite 9 Kunnossapitotoimintojen kustannusrakenne (SALATTU)
- Liite 10 Komponenttien vanheneminen eri huoltoskenaariolla
- Liite 11 Mittaushinnaston rakenne (SALATTU)