

Iiris Rauhalampi

Huolto-ohjelman laatiminen sähköjakeluverkon komponenteille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

6.5.2013

Tekijä Otsikko	liris Rauhalammi Huolto-ohjelman laatiminen sähköjakeluverkon komponenteille
Sivumäärä Aika	63 sivua + 6 liitettä 6.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	kunnossapitoinsinööri Arto Matsinen TkL Jarno Varteva
<p>Insinööriytyössä oli tarkoituksena luoda perusteet uudentyyppiselle ennakkohuolto-ohjelmalle. Ennakkohuolto-ohjelman pääpaino on tavoissa, joilla pyritään määrittämään komponentin huollontarve ja -kannattavuus. Jokainen ennakkohuolto-ohjelman tavoista pohjautuu eri ajatukseen siitä, miten komponentin huollon tarvetta halutaan tarkastella.</p> <p><i>Tapa 1</i> pohjautuu Fortumin nykyiseen käytäntöön. Tällöin komponentille suoritetaan ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimet komponentin pitoajan loppuun asti.</p> <p><i>Tapa 2</i> pohjautuu verkkoyhtiön sallittuun tuottoon. Tällöin komponentille lasketaan jokin tietty ikä, minkä jälkeen sen tuotto ja poistot eivät enää kata huoltokustannuksia.</p> <p><i>Tapa 3</i> perustuu luotettavuuslaskentaan. Tässä komponentin huollon tarve määräytyy sen mukaan, aiheuttaako se häiriössä suuremman kustannuksen kuin sen huollon kustannukset ovat.</p> <p>Lopuksi tarkastelu toteutetaan vielä yhdistämällä tavat 2 ja 3. Näin ollen komponentin huollontarve määräytyy viimeisen huoltovuoden ja luotettavuuslaskennan pohjalta.</p> <p>Ennakkohuolto-ohjelman tavoista 2 ja 3 sekä niiden yhdistelmä laskee huoltokustannuksia nykyisestä arvosta. Huoltokustannukset saadaan laskemaan noin 34–50 prosenttia.</p> <p>Työn ennakkohuolto-ohjelma mahdollisti komponenttien luokittelun niiden huollon tarpeen mukaan. Näin ollen komponenttien huoltokustannuksia voidaan tarvittaessa laskea ilman, että jakeluverkon taloudellisuus, luotettavuus tai turvallisuus kärsii. Lisäksi komponenttien valinta ennakkohuoltoon helpottuu.</p>	
Avainsanat	ennakkohuolto-ohjelma, sallittu tuotto, luotettavuuslaskenta

Author Title	liris Rauhalammi Maintenance Plan for Components in Power-Distribution Network
Number of Pages Date	63 pages + 6 appendices 6 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Arto Matsinen, Maintenance Engineer Jarno Varteva, Lic. Sc.
<p>The purpose of this Thesis was to create the foundation for a new kind of preventive maintenance program. The main focus was in creating different solutions on how to determine if a component needs maintenance, and, if it is profitable to do maintenance work for the component. Each of the solution is based on different idea of how it is possible to choose components for maintenance.</p> <p><i>Mode 1</i> is based on the current way of doing maintenance at Fortum. In this case maintenance is carried out following the maintenance plan until the component reaches its technical service time.</p> <p><i>Mode 2</i> is based on the allowed income that can be made with the component. In this case there will be calculated a certain age, after which income and depreciation will not be able to cover the cost of maintenance.</p> <p><i>Mode 3</i> is based on reliability. In this case maintenance is carried out if component has greater interruption costs than maintenance costs.</p> <p>Mode 2 and 3 are also combined. By doing this, it is possible to find out the year when maintenance actions are still profitable, considering economical and reliability point of view.</p> <p>Represented modes 2, 3 and their combination will descend maintenance costs. Maintenance cost will descend 34–50 percent.</p> <p>Maintenance plan will make it possible to categorize the components by their need for maintenance. This makes it possible to decrease the costs of maintenance without compromising financial aspect, reliability of the network or the safety of the network. It also makes it easier to choose components for preventive maintenance.</p>	
Keywords	preventive maintenance, allowed income, reliability

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Ennakkohuolto-ohjelman taustaa	2
2.1	Fortum Oyj	2
2.2	Sähköverkon komponentit	3
2.2.1	Jakelumuuntajat ja muuntamot	3
2.2.2	Erottimet	5
2.2.3	Katkaisijat	6
2.3	Lakiin perustuvat veloitteet jakeluverkkoyhtiölle	7
2.4	Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistus	8
2.4.1	Muuntamoiden tarkastus- ja kunnossapitotöidenohje	8
2.4.2	Erottimien tarkastus- ja kunnossapitotöidenohje	12
2.4.3	Katkaisijoiden tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohje	13
2.5	SF6-kaasueristeisten komponenttien huoltokäytännöt	14
2.6	Alueelliset tarkastus- ja huoltokäytännöt Fortumissa	15
3	Ennakkohuolto-ohjelmassa käytetyt menetelmät	16
3.1	Puuttuvan ikätiedon täydentäminen komponentille	16
3.2	Eri sovellukset huollon tarpeen määrittämiseksi	17
3.2.1	Ikään perustuva huollon tarpeen määrittäminen	17
3.2.2	Luotettavuuslaskenta	17
3.3	Taloudellisen kannattavuuden määrittäminen	19

3.4	Huollon kustannusten määrittäminen	20
3.5	Alueellisen sijainnin vaikutuksen huomiointi	22
4	Ennakkohuolto-ohjelman tulokset ja analyysi	23
4.1	Suunniteltu ennakkohuolto-ohjelma	23
4.2	Huollontarpeen määrittäminen	23
4.2.1	Tapa 1: Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen (MM:n) mukainen huollon kannattavuuden määrittäminen	23
4.2.2	Tapa 2: Komponentin ikään pohjautuva huollon kannattavuuden määrittäminen	25
4.2.3	Tapa 3: Luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittäminen	31
4.2.4	Ikään ja luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden tarkastelutapa	33
4.3	Ennakkohuolto-ohjelmaan kuuluvat huoltotoimenpiteet	34
4.4	Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltokustannukset	35
4.5	Ennakkohuolto-ohjelman luotettavuus	38
4.6	Ennakkohuolto-ohjelman vaikutus komponenttien elinkaareen	40
4.7	Ennakkohuolto-ohjelman taloudelliset vaikutukset	41
4.8	Huoltokäytäntöjen yhdistäminen	42
4.9	Ennakkohuolto-ohjelman soveltaminen	43
5	Ennakkohuolto-ohjelman todennus	44
5.1	Tarkastettava mallialue	44
5.2	Huollontarpeen määrittäminen mallialueella	50
5.3	Suunnitellut huoltotoimet	58
6	Yhteenveto	60
	Lähteet	62

Liitteet

Liite 1. Fortumin jakelumuuntajien, erottimien ja katkaisijoiden määrä iän mukaan

Liite 2. Ennakkohuolto-ohjelman huoltotoimenpiteet

Liite 3. Ennakkohuolto-ohjelman huoltokustannukset

Liite 4. Puutteellisen dokumentoinnin vaikutus ennakkohuolto-ohjelmaan

Liite 5. Mallialueen komponenttien huollon kannattavuus

Liite 6. Ennakkohuolto-ohjelman vaikutus mallialueella

Lyhenteet ja käsitteet

EMV	Energiamarkkinavirasto. Energiaviraston tarkoituksena on tarkkailla sähköverkon kustannuksia asiakkaille ja antaa ohjearvoja muun muassa sähköverkon komponenttien hinnoille. Se toimii työ- ja elinkeinoministeriön alaisena.
ESD	Electricity Solutions and Distributions- divisioona. Tarkoitetaan yhtä Fortumin neljästä divisioonasta. Se vastaa sähkön myynnistä sekä jakelutoimintojen ja uusien energiaratkaisujen kehittämisestä.
JHA	Jälleenhankinta-arvo. Komponentin jälleenhankinta-arvolla tarkoitetaan sitä arvoa, mikä joudutaan maksamaan, jos komponentti korvataan uudella komponentilla.
MM	Maintenance Manual. Maintenance Manual on Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen englannin kielinen nimi. Sillä siis tarkoitetaan samaa kuin Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksella. Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistus/Maintenance Manual on Fortumin tämän hetkisen huoltokäytännön perusta.
NKA	Nykykäyttöarvo. Komponentin nykykäyttöarvolla tarkoitetaan komponentin sen hetkistä arvoa. Se on siis arvo, jolla esimerkiksi komponentti voidaan myydä. Nykykäyttöarvoa käytetään pääasiassa verkkoyhtiön omaisuuden esittämiseen. Sitä voidaan myös käyttää avuksi, kun tarkastellaan huollon kannattavuutta.
NNA	Nettonykyarvo. Huollon kannattavuudessa käytetty Excelin valmiiksi antama kaava. Nettonykyarvoa (NNA) käytetään, kun lasketaan esimerkiksi tuoton kokonaisarvoa. Se kertoo siis sen tuoton, mikä komponentista on vielä saatavana (inflaation huomioiden). Jos taas esimerkiksi tutkitaan huoltokustannusten kokonaisarvoa, NNA kertoo sen huoltokustannusten arvon eli, minkä verran rahaa on sijoitettu komponentin huoltoon siihen pisteeseen asti (inflaation huomioiden). Näin ollen NNA kertoo saatavan edun tai siitä koituvan kustannuksen tarkastelutavasta riippuen.

- PG PowerGrid. Tarkoitetaan Fortumin verkonhallintajärjestelmää. Sen avulla muun muassa suunnitellaan muutokset jakeluverkkoon, sinne dokumentoidaan muutokset jakeluverkosta ja kirjataan komponenttien tiedot. PG:llä siis hallitaan jakeluverkkoa, ja se toimii tietolähteenä Fortumin verkosta.
- TeklaNIS TeklaNIS on Fortumin käyttämä laskentajärjestelmä, jolla lasketaan esimerkiksi tietyn muuntopiirin kulutus. Ohjelmassa näkyy muun muassa komponenttien tiedot, kuluttajien määrät, häiriöiden määrät vuodessa ja kestot sekä vikataajuudet. Se on pitkän ajan suunnitteluohjelma ja laajempi kuin PG.
- Vikataajuus Vikataajuus on komponentin vikaantumisen ennustamista varten kehitetty työkalu. Se kuvaa vikojen määrää aikayksikössä laskentayksikköä kohden. Tällöin vikataajuus voidaan esittää esimerkiksi muodossa 5 vikaa/1 vuosi, tai jos halutaan vielä tarkentaa 5 vikaa/1 vuosi/100 jakelumuuntajaa.

1 Johdanto

Tämä insinööriyö on tehty Fortum Sähkösiirto Oy:lle. Työn tarkoituksena on luoda perusteet uudentyyppiselle ennakkohuolto-ohjelmalle. Tarve ennakkohuolto-ohjelman kehittämiseksi syntyi Fortumin halusta kehittää huolto- ja kunnossapito-ohjelmaa riski- ja luotettavuuspohjaiseksi. Komponentin tarkastus- ja huoltoajankohta määräytyy tällöin komponentin sijainnin ja mekaanisen kunnan mukaan. Nykyisistä tarkastus- ja huoltoväleistä voidaan tämän seurauksesta luopua.

Insinööriyössä esitellään suunniteltu sähköverkon komponenteille tarkoitettu ennakkohuolto-ohjelma. Tavoitteena on luoda periaatteet ennakkohuolto-ohjelmalle, joka ottaa huomioon muun muassa todennäköisyyden komponenttien vioittumiselle ja komponenttien sijainnin. Ennakkohuolto-ohjelmalla pyritään myös huomioimaan kulloisenkin verkon osan ominaispiirteet. Samalla pyritään yhdistämään jakelualueiden käytännöt huollon tarpeen määrittämisen suhteen.

Ennakkohuolto-ohjelmalla on tärkeä osa sähköverkon luotettavuuden ja turvallisuuden kannalta. Lisäksi sen avulla voidaan vaikuttaa myös sähkösiirtoyriyksen taloudellisuuteen. Ennakkohuolto-ohjelman avulla voidaan luokitella komponentit huollontarpeen kriittisyyden mukaan.

Ennakkohuolto-ohjelman valmistuttua on tarkoitus analysoida komponenttikohtaisesti ennakkohuolto-ohjelman vaikutukset

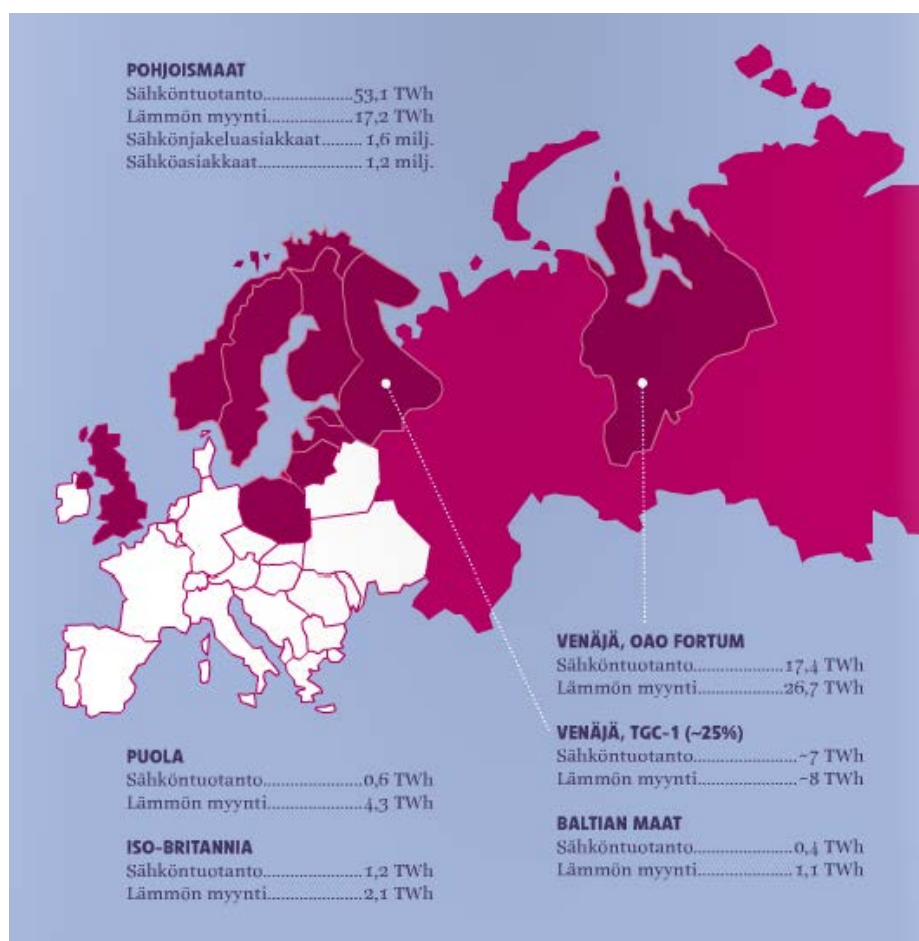
- komponenttien elinkaareen
- taloudellisuuteen
- verkkoyhtiön sallittuun tuottoon.

Ennakkohuolto-ohjelmassa on tärkeintä turvallisuus, luotettavuus ja taloudellisuus. Tässä työssä keskitytään kehittämään ennakkohuolto-ohjelmaa jakelumuuntajille, erotimille ja katkaisijoille, sillä niiden toiminta on sähköverkon toiminnan kannalta erityisen tärkeää.

2 Ennakkohuolto-ohjelman taustaa

2.1 Fortum Oyj

Fortum on suomalainen energiaa tuottava yritys, joka perustettiin vuonna 1998. Se pyrkii tarjoamaan kestäviä ratkaisuja asiakkailleen sähkön ja lämmön tuotannossa. Fortum tuottaa, myy ja jakelee sähköä sekä lämpöä. Lisäksi se tarjoaa asiantuntijapalveluita energia-alalle. Fortum toimii Pohjoismaissa, Venäjällä, Puolassa ja Itämeren alueella. Kuvassa 1 esitetään toimialue tarkemmin. [1.]



Kuva 1. Fortumin toimialue [2, s.4]

Fortumilla on 10 780 työntekijää. Sähköasiakkaita on 1,2 miljoonaa ja sähkönjakeluasiakkaita 1,6 miljoonaa. 1,2 miljoonaa kotitalous- ja yritysasiakasta saavat sähkönsä hiilidioksidivapaana. Fortumin pääkonttori sijaitsee Keilanimessä Espoossa. [1;3.]

Fortum jakaantuu neljään divisioonaan, jossa jokaisella divisioonalla on oma tehtävänsä: Power-, Heat-, Russia- sekä Electricity Solutions and Distributions-divisioona (ESD). Tämä työ kuuluu ESD:n alueeseen. ESD:n toiminta-alue on Fortumin sähkön myynti sekä jakelutoimintojen ja uusien energiaratkaisujen kehittäminen. [3.]

2.2 Sähköverkon komponentit

Sähköverkon komponenteista rajattiin tähän työhön mukaan muuntamot, jakelumuuntajat, erottimet ja katkaisijat. Ennakkohuolto-ohjelmassa huomioitaviksi katkaisijoiksi valittiin pylväskatkaisijat, 1 kV:n katkaisijat ja muuntamokatkaisijat. Näiden koettiin hyötyvän eniten ennakkohuolto-ohjelmasta.

2.2.1 Jakelumuuntajat ja muuntamot

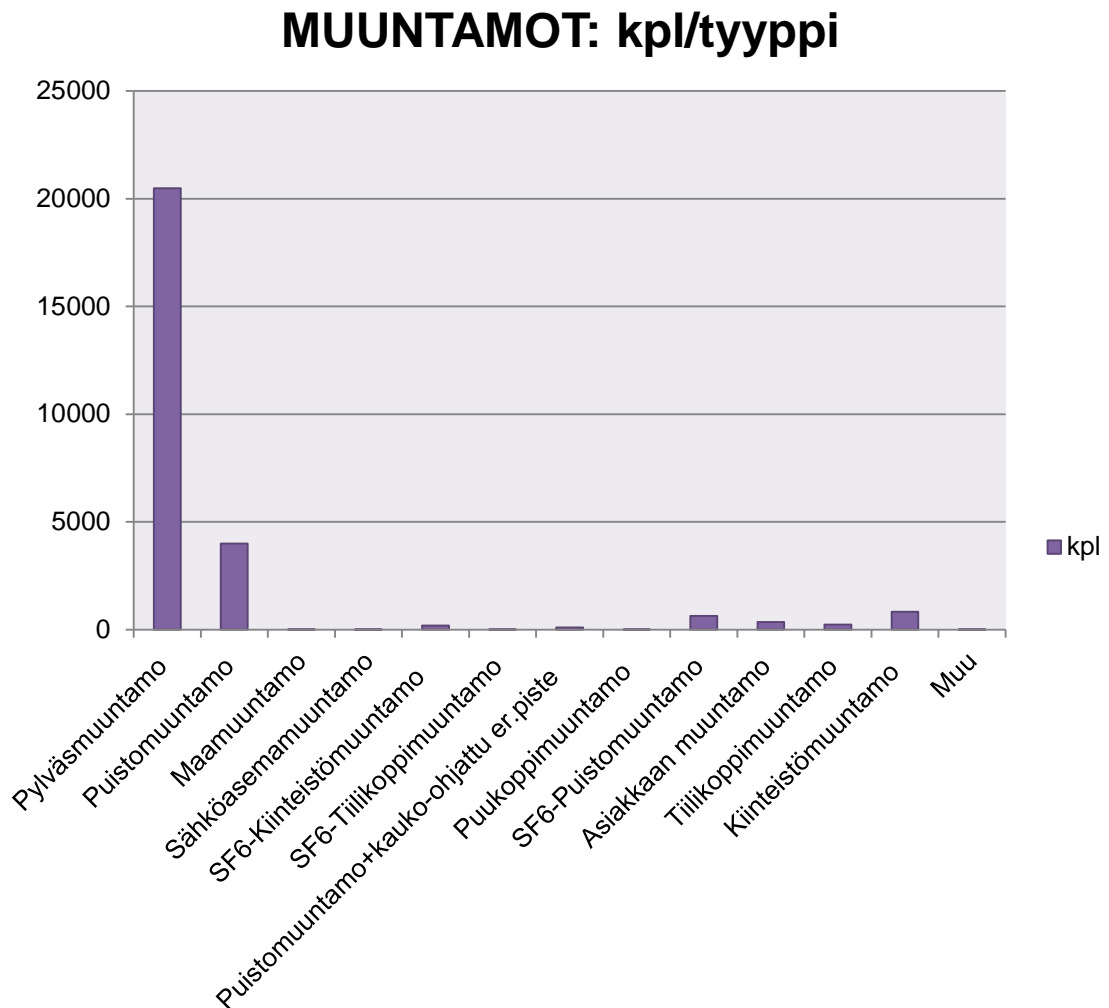
Teho- eli voimamuuntajat jaetaan kahteen ryhmään: jakelu- eli pientehomuuntajiin ja suurtehomuuntajiin. *Jakelumuuntajiksi* Fortumilla luokitellaan ne muuntajat, joiden ensiöpuolen nimellisjännite on $1 \text{ kV} < U_{n1} \leq 33 \text{ kV}$. Jos ensiöpuolen nimellisjännite ylittää 33 kV, kyseessä on *suurtehomuuntaja*.

Jakelumuuntajat jaetaan rakenteensa mukaan seuraaviin ryhmiin: paisuntasäiliölliset jakelumuuntajat, hermeettiset jakelumuuntajat ja valuhartsiset jakelumuuntajat. *Paisuntasäiliöllisissä jakelumuuntajissa* on erillinen paisuntasäiliö. *Hermeettisissä jakelumuuntajissa* ei ole erillistä paisuntasäiliötä. Ne ovat myös matalampia kuin paisuntasäiliölliset jakelumuuntajat, joten ne soveltuvat paremmin ahtaisiin tiloihin. *Valuhartsisia jakelumuuntajia* käytetään niissä tiloissa, joissa halutaan erityisesti huomioida palovaaraa tai saastumisvaaraa. Niitä käytetään esimerkiksi sairaaloissa. [4, s. 280–287; 5]

Puisto- ja kiinteistömuuntamoihin kuuluu yleensä suurjännitekojeisto, jakelumuuntaja ja pienjännitekojeisto. Suurjännitekojeisto voi olla kennokoteloitu tai SF6-eristeinen kojeisto. Pienjännitekojeiston pääkoje on kuormakytkin tai kompaktikatkaisija. Siinä voi olla myös jonovaro- tai kompaktikatkaisijalähtö sekä mittaus-, omakäyttö ja katuvalo. [6, s.25.]

Fortumin verkossa on eniten pylväsmuuntamoja (yli 20 000 kappaletta) ja toiseksi eniten puistomuuntamoita (yli 3 900 kappaletta). Muita muuntamotyyppisiä, joita Fortumilla

on verkossa, on muun muassa kiinteistömuuntamot, sähköasemamuuntamot, tiilikoppimuuntamot sekä puukoppimuuntamot. Yhteensä muuntamoita on yli 26 800 kappaletta. Kuviossa 1 esitetään muuntamotyypit ja niiden määrät. Liitteessä 1 esitetään Fortumin jakelumuuntajien määrät kytkentävuoden mukaan.[7.]



Kuvio 1. Eri muuntamotyypit Fortumin verkossa

Kuvion 1 tiedot etsittiin Fortumin verkonhallintajärjestelmästä PowerGridstä (PG). Kuviossa näkyy asiakkaan muuntamot, jotka eivät siis ole Fortumin omistamia, mutta ovat osana Fortumin verkkoa.

2.2.2 Erottimet

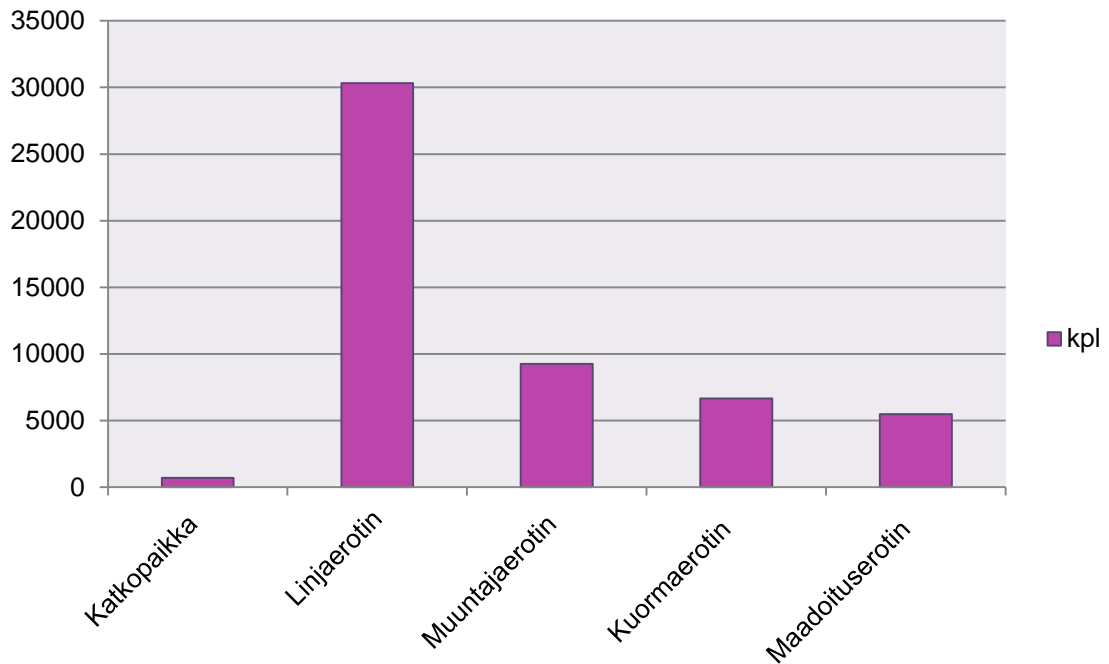
Erottimella erotetaan virtapiirin osat toisistaan. Avausvälin tulee olla selvästi näkyvillä erottimen ollessa auki. Erotin on voitava lukita auki- tai kiinnitilaan, jotta voidaan varmistaa turvallisuus. Verkon turvallisuuden säilyttämiseksi, erottimen toiminnan tulee olla luotettavaa. Lisäksi Suomen sääolot vaativat erottimelta kykyä toimia auki- ja kiinni-ohjauksessa myös jääpeitteen (20 mm) alaisena.

Kuormaerotin on erotintyyppi, jolla voidaan suorittaa kaikki erottimelle tyypilliset toiminnot. Lisäksi sillä pystytään tietyn suuruisten kuormitusvirtojen katkaisuun ja pienien oikosulkuvirtojen kytkemiseen. Kuormaerotinta käytetään keskijänniteverkossa, kun joudutaan erottamaan kuormitusvirrallisia verkon osia toisistaan tai erotetaan kuormittamaton muuntamo verkosta. Suurvoiman siirrossa ja jakelussa erotintyypeistä tärkeimmät ovat kuormaerottimet ja ne erottimet, jotka pitävät kaksi verkon osaa sähköisesti erillään toisistaan (jakorajaerottimet). [5; 8, s.190–198.]

Muita erotintyyppejä on muun muassa kiertoerottimet, kolmipilariset kiertoerottimet, vertikaalitartuntaerottimet ja horisontaaliset tartuntaerottimet. *Kiertoerottimet* ovat yleisimpiä. Ne sopivat hyvin kytkinlaitoksille, ja ne ovat rinnankytkettäviä. *Kolmipilarisissa kiertoerottimissa* on pienempi vaiheväli. *Vertikaalitartuntaerottimet* ja *horisontaaliset tartuntaerottimet* täyttävät hyvin kytkinlaitoksen erotintarpeen. [8, s.190–198.]

Fortumin verkossa on eniten linjaerottimia. Niitä on noin 30 300 kappaletta. Linjaerottimien määrään lukeutuu myös ne linjaerottimet, jotka ovat muuntamon sisällä. Toiseksi eniten Fortumin verkossa on muuntajaerottimia. Muita erotintyyppejä, joita on Fortumin verkossa, on katkopaikkojen erottimet, kuormaerottimet ja maadoituserottimet. Erottimia on yhteensä noin 52 442 kappaletta Fortumin verkossa. Kuviossa 2 (s. 6) esitetään Fortumin verkossa olevat erotintyytit niiden määrän mukaan. Liitteessä 1 esitetään Fortumin erottimien määrät jaoteltuna valmistusvuoden mukaan. [7.]

EROTTIMET: kpl/tyyppi



Kuvio 2. Eri erotintyypit Fortumin verkossa

2.2.3 Katkaisijat

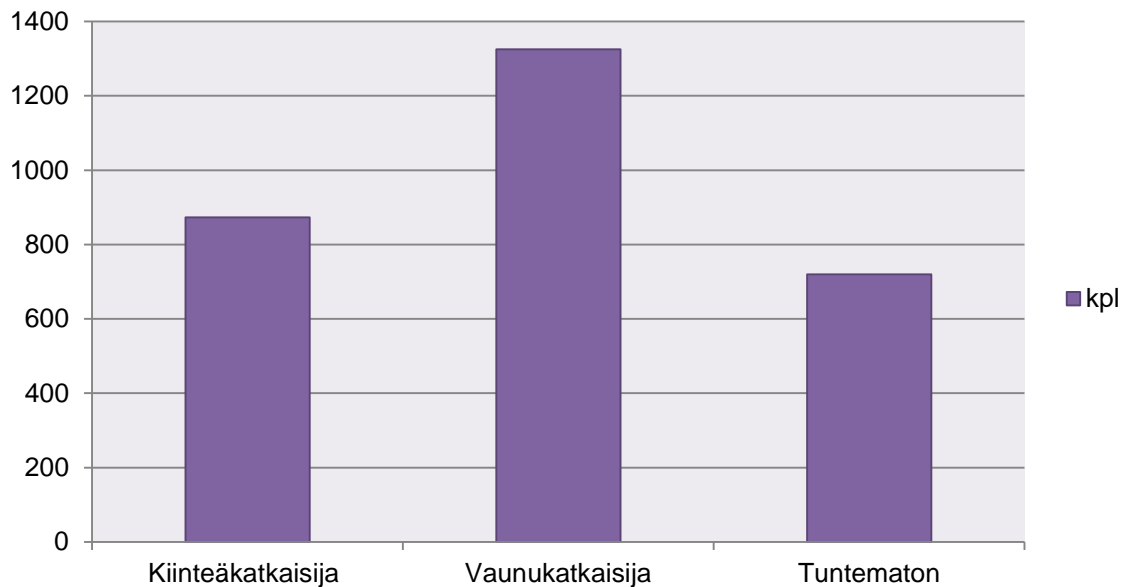
Katkaisijat on kytkinlaitteita. Niitä käytetään avaamaan ja sulkemaan virtapiiriä. Sähköjakalessa tärkeimpiä katkaisijoita on ne katkaisijat, joilla pystytään katkaisemaan suurimmatkin verkossa esiintyvät virrat. Katkaisija on voimansiirtoverkossa kallein kytkinlaite.

Katkaisijat voidaan jakaa käsin ohjattaviin katkaisijoihin tai automaattisiin katkaisijoihin. Automaattinen katkaisija voi avautua ylivirran vaikutuksesta. Sulkeutuminen voidaan myös toteuttaa automaattisesti esimerkiksi releen avulla. Katkaisijan hyviin piirteisiin kuuluu kyky pystyä avaamaan ja sulkemaan oikosulkupiiri, vaikka virta on moninkertainen katkaisijan mitoitusvirtaan nähden. [8, s.161–162.]

Fortumin verkossa kolmea eri tyyppiä katkaisijoita: kiinteät katkaisijat, vaunukatkaisijat ja pylväskatkaisijat. Kuviossa 3 (s. 7) esitetään eri katkaisijatyypit Fortumin verkossa niiden määrän mukaan. Eniten on vaunukatkaisijoita, joita on 1 325 kappaletta. Yh-

teensä katkaisijoita on 2 918 kappaletta. Liitteessä 1 esitetään Fortumin katkaisijat määrän ja valmistusvuoden mukaan.

KATKAISIJAT: kpl/tyyppi



Kuvio 3. Eri katkaisijatyypit Fortumin verkossa

Kuviossa 3 on esitetty myös yksi sarake, jossa lukee tuntematon. Nämä ovat yleensä kiinteitä katkaisijoita. [5.]

2.3 Lakiin perustuvat velvoitteet jakeluverkkoyhtiölle

Suomeen lakiin on määritelty velvoitteita jakeluverkon omistajille. Nämä velvoitteet jakeluverkkoyhtiön tulee täyttää, jotta se voi harjoittaa toimintaansa.

Sähkölaitteiston ei tule missään tapauksessa aiheuttaa vaaraa (hengelle, terveydelle tai omaisuudelle) tai häiriötä (sähköisesti tai magneettisesti). Sähkölaitteen toiminnan ei tule myöskään häiriintyä helposti (sähköisesti tai magneettisesti).

Kunnon ja turvallisuuden tarkkailu kuuluu verkkoyhtiön huolehdittaviin asioihin. Tämä voidaan toteuttaa, joko ennakoivana kunnossapitona tai korjaavana kunnossapitona. Tärkeintä on, että havaitut puutteet ja viat poistetaan nopeasti.

Verkonhaltijan on suunniteltava sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Kunnossapito-ohjelma koskee verkkonhaltijan jakeluverkkoa, siirtoverkkoa ja muita vastaavaa sähköverkkoa.

Sähkölaitteistolle on tehtävä käyttöönottotarkastus, varmennustarkastus ja määräaikaistarkastus. Käyttöönottotarkastus suoritetaan ennen sähkölaitteen käyttöönottoa. Siinä tarkistetaan ettei laitteistosta aiheudu vaaraa. Varmennustarkastuksella varmistetaan sähkölaitteiston täyttävän sähköturvallisuudelle vaaditun tason, ja että käyttöönottotarkastus on suoritettu. Määräaikaistarkastukset tehdään tietyssä määräajassa. Jakeluverkon, siirtoverkon ja muiden vastaavien sähköverkkojen määräaikaistarkastukset on tehtävä viiden vuoden välein. Määräaikaistarkastuksessa varmistetaan, että sähkölaitteiston käyttö on turvallista ja huolto- sekä kunnossapito-ohjelmaa on noudatettu. Samalla varmistetaan, että sähkölaitteistolle kuuluvat dokumentit käytöstä ja hoidosta löytyvät sekä laajennus- ja muutostöistä löytyy tarkastuspöytäkirjat. [9, s. 27–36.]

2.4 Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistus

Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistus (englanniksi Maintenance Manual, MM) laadittiin, jotta verkon kunnossapitoon liittyvien töiden suunnittelu, hankinta ja budjetointi olisi selvempi. Suomea varten on tehty jakelumuuntajille, muuntamoille, erottimille ja katkaisijoille ohjeistus. Jakelumuuntajien ja muuntamoiden huollot käsitellään samassa osiossa. [10, s.1.]

2.4.1 Muuntamoiden tarkastus- ja kunnossapitotöidenohje

Muuntamoille tehdään niitä huoltotoimia, jotka ovat lakiin perustuvien velvoitteiden mukaisia. Tällöin ne kohteet, joille viranomaiset ovat määrittäneet tarkasteluvälit, tarkastetaan määrätyillä aikaväleillä ja niille suoritetaan määrätyt toimenpiteet. Velvoitteiden mukaisia toimenpiteitä on muuntamoiden maadoitusmittaukset, puistomuuntamoiden kunnossapito ja muuntamoiden turvallisuuden ylläpito.

Maadoitusmittaukset

Muuntamoiden maadoitusmittaukset tehdään, koska halutaan tarkistaa, ettei kosketusjännitetaso ylitä määräysten mukaisia arvoja. Huoltovälinä on 6 tai 12 vuotta. Maadoitusmittaus suoritetaan noudattaen määräyksiä ja suosituksia. Huolto tehdään kaikille muuntamoille, jotka eivät kuulu laajaan maadoitusverkkoon. Tällöin maadoitusmittaus voidaan tehdä yhdessä verkon osassa, ja näin saadaan samalla tietää koko verkon osan maadoituksen taso. Mittauksen suorittamisen aikaväliksi saadaan tällöin kuusi vuotta.

Puistomuuntamoiden kunnossapito

Puistomuuntamoiden kunnossapidon aikaväli määräytyy sijainnin ja yhteiskunnan vaatimusten mukaan. Tällöin huolletaan kaikki puistomuuntamot 10–24 kV:n/0,4 kV:n johdoverkossa. Muuntamoita tarkastettaessa tulee varmistaa, ettei niistä koidu vahinkoa ulkopuolisille henkilöille. Tällöin tarkistetaan, että mahdolliset aidat ja ovet ovat kunnossa. Näitä tarkastuksia tulisi tehdä kerran vuosineljänneksessä (käytännössä tehdään kuuden vuoden välein). [11, s. 6–17; 12.]

Kiinteistönhoito

Fortum on asettanut lain mukaisten vaatimusten lisäksi vielä omia tärkeäksi kokemiaan huoltotoimia. Näihin kuuluu muuntajien kiinteistönhoito, joka suoritetaan kunnan tai maanomistajan pyynnöstä. Lisäksi Fortumin julkisuuskuvan ylläpitäminen vaikuttaa kiinteistön hoitoon. Kiinteistönhoidolla voidaan tarkoittaa töhrittyjen puhdistamista (kuvat 2 ja 3, s. 10). Huollon aikaväli määräytyy aseman sijainnin mukaan. Suositusaikavälinä on kahdeksan vuotta. Tämä huolto-ohje koskee kaikkia 10–24 kV:n verkon puistomuuntamoja.



Kuva 2. Sotkettu puistomuuntamo (23.1.2013)

Kuvassa 2 on esitetty puistomuuntamo ennen kiinteistönhoitoa. Kuvassa 3 esitetään sama puistomuuntamo kiinteistönhoidon jälkeen.



Kuva 3. Puistomuuntamolle suoritettu kiinteistönhoito (13.4.2013)

Muuntamovarusteiden tarkastus- ja huoltotoimenpiteet

Muuntamovarusteiden tarkastus- ja huoltotoimenpiteet koskee tiettyjä erikoisasemia, joissa on kauko-ohjaus, akusto, ilmastointi tai omat jäähdytyslaitteet. Sen tarkastusväli on mahdollisimman pitkä. Siihen kuitenkin vaikuttaa aseman sijainti ja tärkeys. [10, s. 21–23.]

Laaja tarkastus

Muuntamolle tulee myös suorittaa laaja tarkastus, jossa tarkistetaan sisäpuolella ja ulkopuolella olevat komponentit. Huoltoväliksi on määrätty kuusi vuotta, mutta tähän vaikuttaa kuitenkin kokemusperäiset tiedot huollon tarpeesta kyseiselle muuntamolle.

Lämpökuvaukset

Lisäksi muuntamot tulisi lämpökuvata ulko- ja sisätiloista. Tämä tulisi suorittaa kahden vuoden sisällä käyttöönotosta. Tätä väliä voidaan kuitenkin muuttaa kokemusten tuoman tiedon mukaan.

Tarkastusten jälkeiset huoltotoimenpiteet

Fortum on asettanut tarkastuksen jälkeisiä toimenpiteitä. Muuntamoiden tarkastuksen jälkeiset toimenpiteet jaetaan kolmeen eri luokkaan: luokka 1, luokka 2 ja luokka 3.

Luokka 1 on huoltotoimenpiteet, jotka koskevat laitteiston pikkuvikojen korjaamista. Nämä pikkuviat eivät vaikuta laitteiston toimintaan eikä turvallisuuteen ja ne korjataan aseman muita koskevien korjausten yhteydessä. Luokka 1 huolletaan tarvittaessa. *Luokkaan 2*:ksi kuuluu toimenpiteet, jotka ylläpitävät sekä parantavat laitteiston toimintaa. Nämä toimenpiteet suunnitellaan osaksi budjettia. Ylläpidollisina ja parantavina toimenpiteinä pidetään niitä toimenpiteitä, jotka ovat tarpeellisia muutaman vuoden sisällä, jotta henkilö- ja käyttöturvallisuus ei vaarantuisi. Luokan 2 huoltotoimenpiteet suoritetaan 1–3 vuoden päästä puutteen huomaamisesta. *Luokka 3* on akuuttien vikojen ja puutteiden huoltotoimenpiteet, jotta normaali henkilö- ja käyttöturvallisuus voitaisiin palauttaa. Nämä huoltotoimenpiteet on tehtävä välittömästi tai mahdollisimman nopeasti. Luokan 3 huoltotoimenpiteiden huoltoväli on 0–1 vuotta.

Tarkastuksen jälkeisiin toimenpiteisiin kuuluu myös muuntamoiden yleiskatsaus, jolla pyritään ylläpitämään ja parantamaan laitteiston toimintaa ja turvallisuutta. Yleiskatsaus suoritetaan tarvittaessa, ja sen tarkastusvälissä huomioidaan muuntamon sijainti ja sähköntoimituksen varmuutta koskevat yhteiskunnalliset vaatimukset. Yleiskatsaus koskee niitä laitteiston osia, joihin ei päästä käsiksi katkaisijan, erottimen tai muuntajan käytön aikana. [10, s. 23–25; 12.]

2.4.2 Erottimien tarkastus- ja kunnossapitotöidenohje

Ennakoiva huolto

Ennakoivaa huoltoa suoritetaan niille erottimille, jotka ovat ilmajohdoissa tai toissijaisissa muuntamoissa. Tällöin erottimille suoritetaan perushuoltotoimet (kuten voitelu) tarkastuksen yhteydessä. Tämän ennakkohuollon aikaväli riippuu siitä, onko kyseessä käsin ohjattava erotin vai automaattinen erotin. Käsin ohjattavien erottimien ennakkohuoltoväli on 12 vuotta. Automaattisen erottimen ennakkohuoltoaikaväli on kuusi vuotta. [11, s. 20.]

Kuntotarkastus

Jakeluverkon kuntotarkastuksessa (10–24 kV:n verkko) tarkistetaan myös erottimet. Kuntotarkastus tehdään kulkemalla maastossa tai helikopterikuvauksin (kuva 4, s. 13). Tulokset dokumentoidaan verkkotietojärjestelmään. Tämä tarkastustoimenpide perustuu lakiin ja siitä on dokumentoitava tulokset, jotka on tarvittaessa pystyttävä esittämään. Jakeluverkon kuntotarkastukseen perustuu kaikki muut korjaustoimenpiteet ja korvausinvestoinnit. Kuntotarkastus tehdään kuuden vuoden välein. Kuntotarkastuksessa kerätään komponenttien perustiedot tai niiden oikeellisuus tarkistetaan. [10, s. 11.]



Kuva 4. Helikopterikuvauksen dataa [13]

Erotinhuolto

Erotinhuolto on kaikkia 10–24 kV:n avojohtoverkon erottimia sekä muuntamoasemien erottimia koskeva huoltotoimenpide. Erotinhuolto tehdään vain niille erottimille, joissa on havaittu vikaa operoidessa tai tarkastuksessa. Huolto perustuu toiminnallisuuden ja turvallisuuden säilyttämiseen. Erotinhuollon aikaväli on 12 vuotta. [10, s. 19.]

2.4.3 Katkaisijoiden tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohje

Kuntotarkastus

Kuntotarkastus on Fortumin asettama katkaisijoille suoritettava huoltotoimenpide. Se on yksinkertainen toimintatarkastus, jossa tarkistetaan komponenttien mekaaninen kunto. Huoltoväli on 12 vuotta ja niillä katkaisijoilla, joilla on erillinen koestus huoltoväli on neljä vuotta. [10, s. 7–8; 11.]

Toimintatarkastus

Katkaisijan toimintatarkastukset tehdään kuntotarkastuksen perusteella. Sillä ei ole määritettyjä aikavälejä, vaan se perustuu kuntotarkastuksen tuloksiin ja on tällöin katkaisijakohtainen. Tämän lisäksi huomioidaan myös valmistajan suosittelemat toimenpiteet ja mahdolliset aikavälit. [10, s. 13–14.]

2.5 SF6-kaasueristeisten komponenttien huoltokäytännöt

SF6-kaasua voidaan käyttää eristeenä sähköverkon komponenteilla ilman sijasta. SF6-kaasu on kuuden fluoriatomin ja yhden rikkiatomin yhdistelmä. Sillä on hyvät sähköiset ominaisuudet. Eristeenä se on 2,5 kertaa parempi kuin ilma. SF6-kaasu on myös ilmaa painavampaa. SF6-kaasun haittana on kuitenkin se, että se edistää ympäristön lämpenemistä. Näin ollen SF6-kaasun oikeellinen käsittely on tärkeää ja sitä ei saa käsitellä ilman erillistä koulutusta.

Käyttöominaisuuksiensa ansiosta SF6-kaasu on luotettava valinta sähkökomponentin eristeeksi. SF6-kaasueristeinen komponentti on ympäristöstä riippumaton, sillä on alhainen häiriöherkkyys, ja se on pitkälti huoltovapaa. Nämä ominaisuudet takaavat myös hyvän henkilöturvallisuuden sillä näissä komponenteissa ei yleensä ole paljoa avattavia osia.

Painejärjestelmän avulla voidaan määrittää huoltoväli ja täyttöväli SF6-kaasueristeiselle komponentille. Suljetussa painejärjestelmässä täyttöväli on yli 10 vuotta, sillä vuotohäviö on alle yksi prosenttia vuodessa. Hermeettisesti suljetut järjestelmät takaavat sen, ettei jälkitäyttöä ole tarpeellista tehdä. Vuotohäviöt ovat 0,1 prosenttia vuodessa, ja eliniäksi annetaan 35 vuotta. Näin ollen SF6-kaasueristeisiä käytetään yleensä silloin, kun on tarvetta luotettavalle ja suhteellisen huoltovapaalle komponentille.

SF6-kaasueristeiset komponentit ovat siis pitkälti huoltovapaita. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö näillekin komponenteille olisi tiettyjä huoltotoimia, joita tulisi tehdä. Näihin huoltotoimiin lukeutuu kaikkien SF6-kaasueristeisten komponenttien kaasunmäärän seuraaminen ja esimerkiksi muuntamojen yleisen kunnossapidon työt (muun muassa pölyjen imurointi). [14.]

2.6 Alueelliset tarkastus- ja huoltokäytännöt Fortumissa

Kun alueellisia tarkastus- ja huoltokäytäntöjä lähdettiin tarkastelemaan, voitiin huomata, että oletuksista huolimatta, tarkastus- ja huoltokäytännöt olivat suhteellisen samantyyppiset. Tämä johtuu paljolti siitä, että annetusta huolto-ohjelmasta riippumatta sitä ei ole pystytty suorittamaan läpi vaan kaikkein tärkeimmät huollot on suoritettu.

Tarkastus- ja huoltokäytännöt pohjautuvat pitkälti käyttöorganisaation ilmoittamiin viikkoihin. Tällöin komponenttien huolto suoritetaan, kun käyttö ilmoittaa, että komponentti on vioittunut tai hajonnut tietyllä alueella. Komponenttien huoltoa suoritetaan myös listamalla komponentit iän ja alueen mukaan. Tämän jälkeen listaa aloitetaan suorittamaan järjestyksessä. Ongelmana nykyisessä käytännössä on se, että huoltotoimia ei suoriteta säännöllisesti niille luodun ohjelman mukaan. Tarkastuksille ja huolloille ei siis ole kunnon aikavälejä eikä käytäntöjä.

Huoltokäytännössä on myös se ongelma, että urakoitsijat eivät ole innostuneita suorittamaan huoltotoimia. Urakoitsijat tekevät mieluummin verkon rakennus- ja saneerausprojekteja. Tarkastustenkin tekeminen on mieluisampaa kuin huoltotoimien tekeminen. Huoltojen tekeminen ja valvominen tulee siis vaivalloiseksi aluevastaaville.

Lisäksi ongelmana nykyisessä käytännössä on toteutuneiden huoltojen heikko dokumentointi. Dokumentaation laatu vaihtelee aluekohtaisesti ja joillakin alueilla dokumentointi voi olla erittäin hyvää. Yleisesti dokumentoinnissa on kuitenkin kehittämisen varaa. Dokumentaatio on tärkeää tulevan ennakkohuollon suunnittelussa, jotta tiedetään, mitä komponenteille on tehty ja, milloin uusi huoltotoimi tullaan tekemään. Dokumentoinnin puutteellisuus heijastuu Fortumin verkonhallintajärjestelmään, PowerGridissä (PG:ssä), missä saatava tieto ei ole ajan tasalla, vaan se saattaa olla useita vuosia jäljessä. [15.]

3 Ennakkohuolto-ohjelmassa käytetyt menetelmät

3.1 Puuttuvan ikätiedon täydentäminen komponentille

Riittävä dokumentointi on usein helposti unohtettava asia jakeluverkkoyhtiössä. Kunnon dokumentoinnilla luodaan kuitenkin perusta jakeluverkon suunnittelulle, hallinnalle ja kehittämiselle. PG:stä voidaan huomata, että tämän työn kannalta tärkeät komponenttien ikätiedot puutuivat osalta komponenteista. Liitteessä 1 esitetään Fortumin verkossa olevien jakelumuuntajien, erottimien ja katkaisijoiden määrät iän mukaan. Tästä voidaan huomata, että erityisesti erottimilla on runsaasti puutteita ikätiedoissa. Ikätieto on puutteellinen silloin, kun valmistusvuosi on 1900–1920, tai sitä ei ole ollenkaan merkitty, jolloin se on liitteen 1 kuvaajiin merkitty sarakkeeseen muu. [7.]

Energiamarkkinaviraston, EMV:n, tehtävänä on valvoa jakeluverkon toimintaa muun muassa erilaisilla valvontamalleilla. EMV esittää puuttuvia ikätietoja varten menetelmän, jolla ne pystytään määrittämään. Tätä käytettiin pohjana työtä koskevien mallialueen komponenttien ikätietojen määrittämisessä taloudellisessa mielessä. Tämän avulla saatua ikätietoa ei voida kuitenkaan käyttää teknisen iän korvaamiseen. Komponenttien puutuva ikätieto voidaan määrittää kolmella eri tavalla.

Ensimmäisellä tavalla komponentin ikätieto pyritään saamaan selville. Tämä on ensisijainen tapa ikätiedon määrittämisessä. Puutuva ikätieto voidaan selvittää tällöin vanhasta dokumentaatiosta tai kuntotarkastusten yhteydessä.

Jos ensimmäisellä tavalla ei pystytä määrittämään komponentin ikätietoa, voidaan siirtyä *toiseen tapaan*. Tässä puutuva ikätieto määritetään syöttävän lähiverkon avulla. Tällöin voidaan selvittää, löytyykö komponenttia syöttävästä verkosta ikätietoja, jotka voivat antaa viitteitä komponentin todellisesta iästä.

Jos edelliset tavat eivät ole johtaneet komponentin ikätiedon saamiseen, voidaan selvittää komponentin ikä *kolmannella tavalla*. Tällä tavalla komponentin puutuva ikätieto on 70 % komponentin pitoajasta. [16, s. 8.]

3.2 Eri sovellukset huollon tarpeen määrittämiseksi

Ennakkohuolto-ohjelman suunnittelussa halutaan löytää mahdollisimman tarkka ja luotettava sovellus tai sovellusten kokonaisuus, joka mahdollistaa huollon tarpeen ennakoinnin. Näin ollen on tärkeää perehtyä olemassa oleviin menetelmiin ja pohtia niiden tarpeellisuutta työn kannalta sekä kehittää niitä vastaamaan ennakkohuolto-ohjelmaa. Haasteellista on se, että ennakkohuolto-ohjelmista ei löydy paljoa tietoa.

3.2.1 Ikään perustuva huollon tarpeen määrittäminen

Huollon tarpeen määrittäminen voi pohjautua komponentin ikään. Tällöin perusajatus on, että komponentin vanhetessa komponentin kunto heikkenee. Pyrkimyksenä tässä ikätarkastelussa on luoda suhde iälle ja komponentin kunnolle. Uskotaan, että on mahdollista löytää optimaalinen aika huollon suorittamiselle eli jokin tietty ikä, jolloin komponentin korjaaminen on kannattavinta tehdä.

Huollon toteutus voidaan perustaa ajatukselle, että kaikki kulut pyritään minimoimaan (huolto-ohjelma on tällöin myös taloudellisesti kannattava). Huolto toteutetaan vasta turvallisuuden heikennyttyä alle hyväksyttävän tason. Komponenttia pyritään pitämään mahdollisimman pitkään tasolla, jossa käyttöturvallisuus säilytetään ja komponentin vaikutus verkon luotettavuuteen säilyy hyväksyttävällä tasolla. Turhia ja enneaikaisia huoltotoimia siis vältetään. [17, s. 11–12.]

3.2.2 Luotettavuuslaskenta

Luotettavuuslaskennan avulla voidaan huomioida useita muuttujia vikataajuuteen. Se pohjautuu pitkälti verkkoyhtiön vikatilastointiin, ja jos verkkoyhtiöllä ei ole kunnollista vikatilastointia, luotettavuuslaskennan luotettavuus kärsii.

Vikataajuus on komponentin todennäköisen vioittumisen määrittämistä varten kehitetty työkalu. Sillä saadaan selville todennäköisyys jonkin komponentin vioittumiseen. Vikataajuuden avulla ilmoitetaan komponentin vikaantumisen todennäköisyys muodossa vikojen määrä/vuosi.

Luotettavuuslaskennassa vikataajuudella on suuri merkitys. Komponentin vikataajuus muodostuu eri komponentille tyypillisten vikojen taajuuksista. Tällä tarkoitetaan siis sitä, että esimerkiksi muuntajan vikataajuus on muun muassa ukkosen, eläinten ja kunnan vikataajuuksien summa. [18, s. 16–17.]

Vikataajuus saadaan laskettua suhteellisen helposti. Tällöin sen kaava voidaan pelkistää muotoon

$$f = \frac{\text{vikojen määrä}}{\text{komponenttien määrä}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

missä *vikojen määrä* kuvaa tietyn komponentin vikojen yhteenlaskettua määrää ja *komponenttien määrä* kuvaa tarkasteltavan komponentin kokonaismäärää tutkittavalla alueella.

Vikataajuuden tarkastelua lähdetään toteuttamaan niin, että keskitytään vain tietyn vuoden vikoihin. Tällöin jakeluverkkoyhtiön keräämistä vikatiedoista suodatetaan tietyn komponentin kaikki viat. Nämä viat voidaan vielä jakaa omiin ryhmiinsä mikäli halutaan laskea tietyn komponentin tietyn vian vikataajuus (esimerkiksi ukkosen aiheuttama vikataajuus muuntamolle). Viat lasketaan yhteen ja saadaan tietty määrä vikoja tietylle vuodelle. Tämä arvo jaetaan jakeluverkkoyhtiön verkossa olevien komponenttien kokonaismäärällä (kyseessä siis tarkasteltavan komponentin kokonaismäärä jakeluverkkoyhtiön verkossa kyseisenä vuonna). Saatu arvo kerrotaan 100 prosentilla. Näin ollen saadaan vikataajuus tietylle komponentille (tarkastelusta riippuen tämä arvo saattaa olla komponentin vikataajuus tietylle vialle).

Kun yhden vuoden vikataajuus komponentin vioittumiselle ollaan saatu tehtyä, lasketaan saman komponentin vikataajuus muillekin vuosille näiden kyseisten vuosien tietojen pohjalta. Kun jokaiselle vuodelle on laskettu komponentin vikataajuus, lasketaan näistä arvoista keskiarvo, joka on komponentin todellinen vikataajuus.

Esitelty teoria on ollut pohjana Fortumille tehdyssä diplomi-insinöörityössä *The Utilization of Fault Data in the Aspect of Asset Management* (Koponen Erik, julkaistaan kesällä 2013), minkä avulla Fortumin verkon laskentaohjelmaan TeklaNIS:iin on määritetty arvot eri komponenttien vikataajuuksille. TeklaNIS:ssä olevat vikataajuudet on määritetty vuosien 2005–2011 vikatietojen pohjalta. [19.]

3.3 Taloudellisen kannattavuuden määrittäminen

Komponentin pitoaika

Komponentin pitoaika on aika, jonka ajan komponenttia pyritään pitämään sähköverkossa. Tämä on siis aika, joka määritetään suunnitteluvaiheessa ja komponentin oletetaan toimivan tämän ajan. Pitoaika pohjautuu kokemukseen ja valmistajien antamiin tietoihin. Pitoajat voivat poiketa komponenttikohtaisesti.

Komponentin poisto

Komponentin ostosta koituvista kustannuksista voidaan poistaa joka vuosi tietty summa. Poistoksi saadaan tällöin

$$Poisto(t) = \frac{JHA(t)}{Pitoaika}, \quad (2)$$

missä t kertoo tarkasteluvuoden ja JHA on komponentin jällelhankintahinta eli se hinta, mikä joudutaan maksamaan, jotta komponentti voidaan korvata uudella (muuttuu vuosittain inflaation seurauksena). *Pitoaika* on edellä esitetyn määritelmän mukainen.

Komponentin tuotto

Komponentin tuotto saadaan kertomalla komponentin senhetkinen hinta tuoton kertoimella. Tuoton kerroin on se arvo, joka voidaan olettaa komponentin tuottavan vuodessa. Tällöin tuotto voidaan esittää kaavamuodossa

$$Tuotto(t) = NKA(t) \cdot tuoton\ kerroin, \quad (3)$$

missä (t) kuvaa kyseistä tarkasteluvuotta, NKA on komponentin nykykäyttöarvo ja *Tuoton kerroin* on se arvo, millä komponentti tuottaa tuottoa. Tuoton kerroin annetaan yleensä prosentteina (esimerkiksi tuotto 5 %), ja tämä tulee muuntaa desimaaliluvuksi (esimerkiksi tällöin tuottokerroin 0,05). Tuottoa laskettaessa tuottokertoimella kerrotaan aina sen vuoden nykykäyttöarvo.

Nykykäyttöarvo NKA

Nykykäyttöarvolla (NKA:lla) tarkoitetaan verkkokomponentin sen hetkistä arvoa. Se voidaan laskea seuraavasti

$$NKA(t) = \left(1 - \frac{\text{komponentin ikä}(t)}{\text{pitoaika}}\right) \cdot JHA(t), \quad (4)$$

missä (t) kuvaa kyseistä tarkasteluvuotta, *komponentin ikä* on se ikä, jonka ikäinen komponentti on, *pitoaika* on edellä kuvattu aika ja *JHA* on verkkokomponentin jälleenhankintahinta. [16, s. 6.]

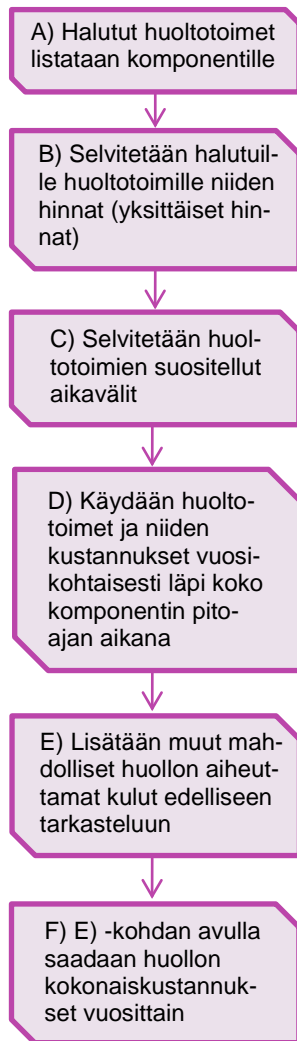
Komponentin ikä ajatellaan niin, että ensimmäisenä tarkasteluvuonna se on tämän vuoden arvosta vähennetty valmistusvuosi (esimerkiksi: 2013 – 1988 = 25 vuotta). Seuraavana vuonna komponentin ikä on edelliseen ikään lisätty yksi vuosi (esimerkiksi: 25 + 1 = 26 vuotta). Tästä eteenpäin komponentin ikä on aina yhtä vuotta vanhempi kuin edellisenä vuonna. Tämä johtuu siitä, että tarkastelua tehdään tulevaisuuteen, joten on täysin selvää, että komponentin ikä kasvaa.

Huomioitavaa laskuja tehdessä

Kun taloudellisia laskuja aloitetaan laskemaan, on huomioitava muutama asia. Komponentilla käytettävän pitoajan tulee olla sama jokaisessa laskussa, joka suoritetaan komponenttia tutkittaessa. Jälleenhankintahintaa laskiessa tulee myös huomioida inflaatio ja se tuleeikin jokaisena tarkasteluvuonna kertoa inflaatiokertoimella. Tällöin esimerkiksi 3. vuoden jälleenhankintahinta on 2. vuoden jälleenhankintahinta kerrottuna inflaatiokertoimella.

3.4 Huollon kustannusten määrittäminen

Jotta voidaan tehdä ennakkohuolto-ohjelma, ja etenkin huollontarpeen määrittäminen, on jotenkin pystyttävä määrittämään komponentin huoltokustannukset sen eliniälle. Tämä tehdään kuvion 4 (s. 21) mukaan.



Kuvio 4. Huollon kustannusten määrittäminen komponentin koko eliniälle

Huoltokustannukset saadaan muodostettua noudattamalla kuviota 4. Huoltotoimien hinnat noudattaa eri huoltotoimenpiteille annettuja arvoja. Nämä voivat olla jakeluverkoyhtiön omia tarkkoja arvoja tai summittaisia. Tässä työssä arvot ovat summittaisia. Huoltokustannusten määrittämisestä esitetään esimerkki myöhemmin. (Ks. 4.4 Ennakohuolto-ohjelman mukaiset huoltokustannukset)

3.5 Alueellisen sijainnin vaikutuksen huomiointi

Komponentin sijainnilla on vaikutusta sen tärkeyteen verkon luotettavuuden kannalta. Kaupunkialueilla jakeluverkolla on useita asiakkaita, joten jos jakeluun syntyy häiriö, useat asiakkaat kärsivät siitä, ja näille asiakkaille joudutaan myös korvaamaan katko rahallisesti. Kaupunkialueilla on kuitenkin usein mahdollista rajata vika koskemaan vain pientä aluetta muun muassa erottimien avulla. Näin ollen jakeluverkko on luotettava hyvin hoidettuna kaupunkialueilla.

Maaseuduilla asiakkaat asuvat laajemmalla alueella. Häiriö jakeluverkossa ei siis aiheuta yhtä laajaa häiriötä, jos asiaa tarkastellaan keskittymällä asiakkaiden määrään. Vika voidaan kyllä rajata koskemaan jotain tiettyä aluetta, kuten kaupungeissa, mutta useasti nämä alueet ovat laajempia pinta-alaltaan kuin kaupunkialueilla. Häiriöllä on myös tapana kestää pidempää sillä korjaamiseen menee pidempi aika jo paikalle saapumisen kannalta.

Katkojen määrälle ja pituudelle on annettu suositukset, joita jokaisen jakeluverkon omistajan tulisi tarkentaa oman toimintatapansa pohjalta. Kaupungeille (tarkoitetaan erityisesti keskusta-alueita) on asetettu ohjearvoksi kokonaiskeskeytysten osalta enimmillään yksi tunti vuodessa. Lyhyitä keskeytyksiä, eli siis keskeytyksiä, joiden pituus alle kolme minuuttia, ei tulisi syntyä. Taajama-alueella kokonaiskeskeytysajoiksi saa enimmillään vuodessa syntyä kahdeksan tuntia. Lyhyitä keskeytyksiä saa taajamassa syntyä enimmillään 10 vuodessa. Maaseutualueilla kokonaiskeskeytysten pituus saa enimmillään olla kuusi tuntia vuodessa. Lyhyitä keskeytyksiä saa olla enintään 60. [20.]

Lyhyiden keskeytysten määrä maaseudulla saattaa tuntua suurelta määrältä. Tässä on kuitenkin huomioitavaa se, että kaupunkialueet ovat usein maakaapeliverkkoa, kun taas maaseutualueet ilmajohtoverkkoa. Näin ollen ilmajohtoverkko voi vaurioitua sääolosuhteiden seurauksena helpommin kuin maakaapeliverkko.

Katkojen määrälle ja pituudelle suositellut arvot tulevat tulevaisuudessa kiristymään. Jakeluverkkoyhtiöltä vaaditaan tällöin luotettavampaa ja säävarmempaa verkkoa, jotta voitaisiin välttyä esimerkiksi Tapani-myrskyn kaltaisilta katkoilta. Kiristyvät suositukset tullaan huomioimaan niin verkon suunnittelussa kuin huollossa.

4 Ennakkohuolto-ohjelman tulokset ja analyysi

4.1 Suunniteltu ennakkohuolto-ohjelma

Suunniteltu ennakkohuolto-ohjelma perustuu kolmeen vaihtoehtoiseen tapaan, jolla komponenttien huollontarve luokitellaan. Näistä tavoista voidaan valitaan yksi tapa tai tapojen yhdistelmä, joka tuottaa tutkittavalle mallialueelle taloudellisimman ja parhaimman tuloksen. Tämän tavan mukaan luokiteltuja komponentteja aloitetaan huoltamaan liitteen 2 huoltotoimilla.

4.2 Huollontarpeen määrittystavat

Huollontarpeen määrittystavat pohjautuvat jokainen omaan näkökulmaan huollon kannattavuudesta. Ensimmäinen tapa perustuu Fortumin nykyisen tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen. Toinen tapa on komponentin ikään pohjautuva huollon kannattavuuden tarkastelutapa. Kolmas tapa on luotettavuuslaskentaan pohjautuva huollon tarpeen määrittystapa. Näiden tapojen avulla saadaan tarkastettavalle verkonosalle lista huolehdittavista komponenteista. Tämä lista tulee esittämään taloudelliset kulut huollosta kunkin huollonkustannukset määrittystavan mukaan.

4.2.1 Tapa 1: Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen (MM:n) mukainen huollon kannattavuuden määrittystapa

Tapa 1 perustuu Fortumin nykyiseen tapaan hoitaa huollot. Tällä siis tarkoitetaan kirjallisena esitettyä mallia tarkastusten ja kunnossapitotöiden toteuttamiselle. Kyseinen tapa on esitetty edellä. MM:n mukainen huollontarpeen määrittymisen tapa otetaan osaksi ennakkohuolto-ohjelmaa, sillä on tutkittava, onko nykyinen käytäntö optimaalisin tarkastelutapa. (Ks. 2.4 Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistus)

MM:n mukainen tarkastelu lähtee liikkeelle siitä, että komponentin valmistusvuosi on selvitettävä. Valmistusvuoden perusteella lasketaan komponentin ikä. Tällöin saadaan muodostettua kaava 5:

$$\text{Komponentin ikä} = \text{tämä vuosi} - \text{valmistusvuosi}, \quad (5)$$

missä *tämä vuosi* tarkoittaa tarkasteluvuotta, jolloin komponentin ikää tutkitaan ja *valmistusvuosi* tarkoittaa komponentin valmistusvuotta.

Jos esimerkiksi on komponentti, joka on valmistettu vuonna 2001, saadaan sen iäksi tänä vuonna (kaava 5):

Komponentin ikä = tämä vuosi – valmistusvuosi = 2013 – 2001 = 12 vuotta.

Kun komponentin ikä on saatu selvitettyä, tulee selvittää komponentin pitoaika. Näiden kahden tiedon perusteella saadaan selvitettyä, kuinka monta vuotta komponenttia tul-
laan huoltamaan:

$$\text{Huoltovuodet} = \text{pitoaika} - \text{komponentin ikä.} \quad (6)$$

Tällöin siis pitoajasta vähennetään komponentin ikä.

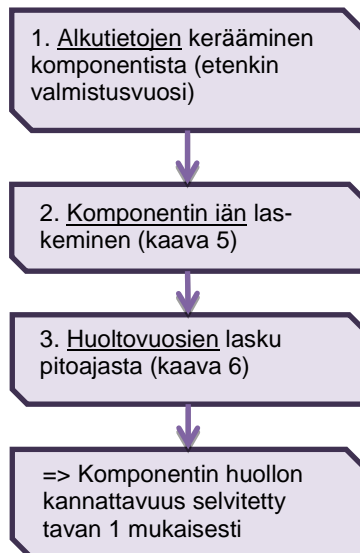
Jos edelliselle esimerkkikomponentille lasketaan huoltovuodet, saadaan niiksi (kaava 6)

Huoltovuodet = pitoaika – komponentin ikä = 40 – 12 = 28 vuotta

pitoajan ollessa 40 vuotta. Esimerkkikomponenttia tulisi tämän mukaan huoltaa 28 vuotta eteenpäin.

Huoltovuodet määräävät tavassa 1 komponentin huollon kannattavuuden. Tapa 1 ei siis ota kantaa siihen kannattaako huolto taloudellisesti vai ei. Itse huoltotoimet jaetaan huoltovuosille tasaisesti liitteessä 2 esitetyin aikaväleihin.

MM:n mukainen huollon kannattavuuden määrittäminen esitetään vielä kuviossa 5 (s. 25). Kuviossa 5 esitetään tavan 1 pääkohdat.



Kuvio 5. Tapa 1: MM:n pohjautuva huollon kannattavuuden määrittäminen

4.2.2 Tapa 2: Komponentin ikään pohjautuva huollon kannattavuuden määrittäminen

Tapa 2 perustuu ajatukseen, että iän perusteella voidaan määrittää huollon kannattavuus. Näin ollen komponentille pyritään määrittämään jokin tietty ikä, jonka jälkeen huolto ei enää ole kannattavaa. Tässä työssä kyseinen ikä selvitetään käyttäen pohjana regulaatiomallissa esitettyä laskentamallia. Tällöin siis tarkastellaan komponentista saatavaa hyötyä. Kun komponentin jäljellä olevat tuotot ja poistot eivät kata huoltokustannuksia, ei sen huoltaminenkaan ole kannattavaa.

Lähettäessä tarkastelemaan komponentin huollontarvetta ikään perustuen, täytyy alkuun koota tietoja komponentista. Koottaviin tietoihin kuuluu

- komponentin rakenne (esim. pylväsmuuntamo) ja
- valmistusvuosi.

Tämän jälkeen on helpointa luoda Exceliin taulukko huollontarpeen tutkimisen helpottamiseksi. Tähän kerätään tutkittavan alueen kaikki komponentit (tässä työssä erottimet, katkaisijat, jakelumuntajat ja muuntamot).

Komponentin ikään pohjautuva huollontarpeen määrittäminen tapa lähtee liikkeelle siitä, että komponentille lasketaan ikä, jonka jälkeen huolto ei enää kannata. Tämä saadaan laskettua niin, että komponentin tuottoon lisätään poisto. Tätä arvoa verrataan

komponentin sen vuoden huoltokustannuksiin. Jos tämä arvo jää alle huoltokustannusten, ei huoltoa ole kannattavaa tehdä.

Ensiksi on laskettava jokainen nykykäyttöarvo (NKA) komponentin pitoajan ajalta. Tämä tehdään noudattaen kaavaa 4 (s. 20). Tästä voidaan esittää esimerkiksi linjaerottimen T05791 nykykäyttöarvon lasku. Linjaerottimen valmistusvuosi on 2001 eli sen ikä on 12 vuotta. Linjaerottimen ensimmäisen vuoden jälleenhankintahinnaksi saadaan 3 490 euroa [21]. Pitoaikana pidetään 40 vuotta (linjaerotin kuuluu muuntamoon). Inflaatiokerroimeksi annetaan 2 %.

Näin ollen nykykäyttöarvo on ensimmäisenä vuonna

$$NKA(1) = \left(1 - \frac{\text{komponentin ikä}(1)}{\text{pitoaika}}\right) \cdot JHA(1) = \left(1 - \frac{12}{40}\right) \cdot 3\,490 = 2\,443,00 \text{ (€)}$$

ja toisena vuonna

$$NKA(2) = \left(1 - \frac{\text{komponentin ikä}(2)}{\text{pitoaika}}\right) \cdot JHA(2) = \left(1 - \frac{13}{40}\right) \cdot 3\,490 \cdot 1,02 = 2\,402,87 \text{ (€)}.$$

Tarkastelua jatketaan oheiseen tapaan ja se onnistuu parhaiten Excelissä. Kuten edellä voidaan huomata, inflaatiokerroin otetaan mukaan laskuun ensimmäisen vuoden jälkeen. Ensimmäisenä vuonna inflaatiota ei ole tapahtunut, mutta siitä eteenpäin on oletettavaa, että näin tapahtuu. Tällöin kolmannen vuoden JHA on:

$$JHA(3) = JHA(2) * inf = 3\,490 \cdot 1,02 \cdot 1,02 = 3\,631,00 \text{ (€)},$$

missä *inf* on inflaatiokerroin. Samalla periaatteella lasketaan muidenkin vuosien JHA:t. Tällöin yleiseksi JHA:n inflaation huomioon ottavaksi kaavaksi saadaan

$$JHA(t) = JHA(t - 1) * inf, \quad (7)$$

missä *t* on tutkittava vuosi ja *inf* on inflaatiokerroin.

Komponentin jälleenhankintahinnat on tähän työhön katsottu EMV:n antamien sähköverkon komponenttien suositushinnoista. EMV on siis koontanut suositeltavat hinnat komponenteille, jotta komponenttien hintojen nousua saataisiin rajoitettua ja seurattua.

Kun NKA on saatu laskettua, lasketaan komponentin tuottama tuotto kyseiseltä vuodelta. Tässä käytetään hyväksi kaavaa 3 (s. 19). Tällöin esimerkiksi edellisen linjaerottimen tuotoksi saadaan tuottokertoimella 4 % ensimmäisenä vuonna

$$Tuotto(1) = NKA(1) \cdot tuoton\ kerroin = 2\,443,00\text{€} \cdot 0,04 \approx 97,72\text{€}$$

ja toisena vuonna

$$Tuotto(2) = NKA(2) \cdot tuoton\ kerroin = 2\,402,87\text{€} \cdot 0,04 \approx 96,11\text{€}.$$

Tämän jälkeen on laskettava tutkintavuosille kultakin vuodelta saatava kokonaistuotto. Tämä tehdään Excelin NNA-kaavalla. NNA eli nettonykyarvo kertoo rahallisen tuloksen arvon nettoarvon nykyisen rahanarvon mukaan huomioiden jokaisen tarkasteluvuoden rahallisen tuloksen arvon ja niiden summan. Tässä se kertoo sen tuoton määrän, mikä komponentista on vielä saamatta (kyseisenä tutkintavuonna). Lisäksi se muuntaa tämän tuloksen kyseisen vuoden rahanarvoon inflaatiokertoimen avulla. Nettonykyarvo lasketaan kaavalla 8:

$$NNA = \sum_{i=1}^n \frac{arvot(i)}{(1+korko)^i}, \quad (8)$$

missä n on rahallisten tulosten määrä ja i on, joko korko tai diskonttokorko. [22]

Esimerkkilinjaerottimessa ensimmäisen vuoden kokonaistuotto on 1 416,94 euroa, toisena vuonna se on 1 345,60 euroa ja kolmantena se on 1 274,48 euroa. Näin ollen komponentin kokonaistuotto laskee sitä mukaan, mitä mukaan se lähestyy pitoaikansa päätöstä.

Poistot otetaan vertailuun huomioon niin, että ne lasketaan pitoajalle, eikä sitä pidemmälle. Nykyinen EMV:n tarkastelumalli mahdollistaisi poistojen tekemisen tätäkin pidemmälle. Tämä näkyy kaavasta 2 (s.19). Poistot saadaan komponentin jälleenhankintahinnasta, joka luonnollisesti kasvaa vuosi vuodelta inflaation seurauksena.

Esimerkkilinjaerottimelle saadaan poistoiksi kaavalla 2 ensimmäisenä vuonna

$$Poisto(1) = \frac{JHA(1)}{Pitoaika} = \frac{3\,490\text{€}}{40} = 87,25\text{€}$$

ja toisena vuonna

$$Poisto(2) = \frac{JHA(2)}{Pitoaika} = \frac{3\,559,8 \text{ €}}{40} = 89,00 \text{ €}.$$

Kun poistot on laskettu kaavalla 2, selvitetään niiden kokonaisarvo. Tämä tehdään NNA:lla (samoin, kuin tuotolle laskettaessa). Esimerkkilinjaerottimella kokonaispoistoiksi saadaan ensimmäisenä vuonna 2 530,25 euroa, toisena vuonna 2 491,86 euroa ja kolmantena vuonna 2 450,92 euroa.

Kun kokonaistuotto ja -poisto on laskettu, summataan ne yhteen ja vähennetään sen vuoden kokonaishuoltokustannukset. Tämän tuloksen avulla voidaan selvittää huollon kannattavuus. Tällöin saadaan muodostettua kaava 9:

$$Huollon\ kannattavuus(t) = Tuotto(kok)(t) + Poisto(kok)(t) - Huoltok.(t), \quad (9)$$

missä (t) kuvaa tutkittavaa vuotta, $Tuotto(kok)$ on kokonaistuotto, $Poisto(kok)(t)$ kuvaa komponentin kyseisen vuoden kokonaispoistoa ja $Huoltok.$ on kyseisen vuoden kokonaishuoltokustannus.

Kokonaishuoltokustannus saadaan komponentille lasketuista vuosittaisista huoltokustannuksista. Aluksi noudatetaan kuviota 4 (s. 21) ja selvitetään huollon kustannukset pitoajalle. Nämä muunnetaan NNA:n avulla uudeksi arvoksi ja saadaan kokonaishuoltokustannukset ($Huoltok.$).

NNA:an avulla todellisista huoltokustannuksista voidaan nähdä, paljonko rahaa komponentin huoltoon on kyseiseen vuoteen mennessä laitettu. Tähän tulokseen on myös huomioitu kyseisen vuoden rahanarvon muutos inflaatiokertoimella. Komponenttien kokonaishuoltokustannukset esitetään liitteessä 3. Näiden lasku esitellään tarkemmin myöhemmin. (Ks. 4.4 Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltokustannukset)

Esimerkkilinjaerottimella huollon kokonaiskustannukseksi saatiin ensimmäisenä vuonna 0 euroa ja toisena vuonna 0 euroa (liite 3). Tällöin edellä esitetyllä esimerkkilinjaerottimen ensimmäisen vuoden huollon kannattavuus on

$$\text{Huollon kannattavuus}(1) = \text{Tuotto}(\text{tod})(1) + \text{Poisto}(\text{tod})(1) - \text{Huoltok.}(1) = \\ 1\,416,94 \text{ €} + 2\,530,25 \text{ €} - 0 \text{ €} = 3\,947,19 \text{ €}$$

ja toisen vuonna

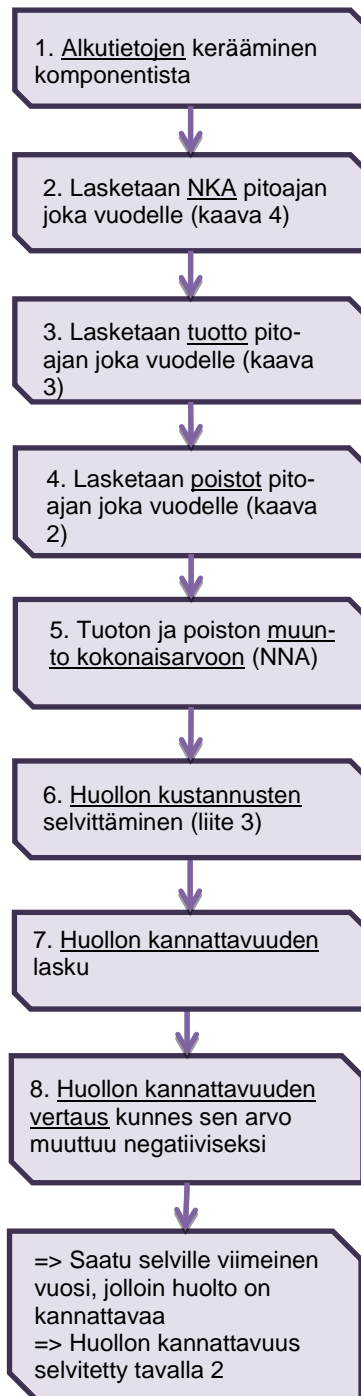
$$\text{Huollon kannattavuus}(2) = \text{Tuotto}(\text{tod})(2) + \text{Poisto}(\text{tod})(2) - \text{Huoltok.}(2) = \\ 1\,345,60 \text{ €} + 2\,491,86 \text{ €} - 0 \text{ €} = 3\,837,46 \text{ €}.$$

Kun huollon kannattavuus menee negatiiviseksi, ei huoltoa kannata enää tehdä. Esimerkkilinjaerottimella huollon kannattavuus menee negatiiviseksi komponentin ollessa 37 vuotta (tarkasteluvuosi 26). Tällöin huollon kannattavuuden arvoksi saadaan

$$\text{Huollon kannattavuus}(26) = \text{Tuotto}(\text{tod})(26) + \text{Poisto}(\text{tod.})(26) - \text{Huoltok.}(26) = \\ 34,35 \text{ €} + 572,57 \text{ €} - 746,66 \text{ €} = -139,74 \text{ €}.$$

Huoltotoimia suoritetaan tavan 2 mukaisesti niin pitkään, kun se on kannattavaa eli tuoton ja nykyarvon summa on suurempia kuin huollon kustannukset. Tällöin esimerkkilinjaerottimella huoltoa suoritettaisiin 36 vuoden ikään asti eli 25 vuotta tästä vuodesta eteenpäin.

Kuvio 6 (s. 30) esittää, miten huollontarve lasketaan tavalla 2. Tähän on siis koottu edellä esitetyt laskut ja muut toimet, jotka on tehtävä, jotta huollontarve saataisiin selvitettyä.



Kuvio 6. Tapa 2: Komponentin ikään pohjautuva huollon kannattavuuden määrittäminen

Edellä esitetyn esimerkkilinjaerottimen huollontarvetta kuvaa kuva 5 (s. 31). Tässä on otettu kuva suoraan luodusta Excel-taulukosta. Kuvassa on kuvion 6 mukainen tarkastelu merkitty sen kohtia vastaavalla numeroinnilla.

TAPA 2: Ikään pohjautuva huollon kannattavuuden määrittäminen

LINJAEROTIN

Tunnus: T05791

1. Aikustajien kerääminen

Uuden komponentin tämänhetkinen ostahinta 3490
 Lisäkomponentin tämänhetkinen ostahinta 0
 Komponentin pituus 40

JHA 3490

2001

ikä 12

Inflaatiokerroin 2,1%

Tutkokerroin 4%

1,02

0,02

0,02

2. NKA:n lasku

3. Poistot laskeminen

4. Tuotto laskeminen

5. Todellinen tuotto ja poisto

6. Todelliset huollonkustannukset

7. Huollon kannattavuuden lasku

8. Huollon kannattavuuden vertaus

JHA	ikä	NKA	Poistot	TUOTTO	Todellinen tuotto	Todellinen poisto	Huollon kannattavuus	Huollon kustannukset (€)
3490	12	2 445,00 €	87,25	97,72 €	1 416,94 €	2 530,25 €	9 947,19 €	0,00 €
3559,8	13	2 402,87 €	88,999	96,31 €	1 345,60 €	2 491,86 €	9 837,46 €	0,00 €
3630,996	14	2 360,15 €	90,7449	94,81 €	1 274,48 €	2 450,92 €	9 725,40 €	0,00 €
3703,616	15	2 317,76 €	92,590298	92,59 €	1 203,68 €	2 407,85 €	9 611,03 €	0,00 €
3777,688	16	2 286,61 €	94,442006	90,66 €	1 133,31 €	2 361,06 €	9 494,36 €	0,00 €
3853,342	17	2 215,61 €	96,3310501	88,62 €	1 063,49 €	2 311,95 €	9 375,44 €	0,00 €
3930,307	18	2 163,67 €	98,2576711	86,47 €	994,37 €	2 259,93 €	9 257,69 €	66,60 €
4008,913	19	2 105,88 €	100,222823	85,39 €	928,08 €	2 204,90 €	9 146,36 €	66,60 €
4089,091	20	2 044,55 €	102,227281	81,78 €	858,71 €	2 146,77 €	9 038,88 €	66,60 €
4170,873	21	1 981,16 €	104,271827	79,25 €	792,47 €	2 085,44 €	8 931,30 €	66,60 €
4254,201	22	1 914,43 €	106,357263	76,58 €	727,48 €	2 020,79 €	8 821,67 €	66,60 €
4339,376	23	1 844,23 €	108,484408	73,77 €	663,92 €	1 952,72 €	8 709,04 €	66,60 €
4426,164	24	1 770,47 €	110,654097	70,82 €	601,96 €	1 881,12 €	8 592,60 €	417,18 €
4514,687	25	1 693,01 €	112,867179	67,72 €	541,79 €	1 805,87 €	8 469,18 €	417,18 €
4604,961	26	1 611,74 €	115,124572	64,47 €	483,53 €	1 726,87 €	8 339,51 €	417,18 €
4697,091	27	1 526,55 €	117,427033	61,06 €	427,43 €	1 643,99 €	8 203,94 €	417,18 €
4791,022	28	1 437,31 €	119,765553	57,49 €	373,70 €	1 557,08 €	8 062,90 €	417,18 €
4886,843	29	1 343,88 €	122,141064	53,78 €	322,53 €	1 466,05 €	7 917,10 €	417,18 €
4984,579	30	1 246,14 €	124,644485	49,85 €	274,15 €	1 370,76 €	7 767,92 €	469,99 €
5084,271	31	1 143,96 €	127,267275	45,76 €	228,79 €	1 271,07 €	7 615,87 €	469,99 €
5185,956	32	1 037,19 €	129,99991	41,49 €	186,69 €	1 166,84 €	7 460,54 €	469,99 €
5289,676	33	925,69 €	132,841889	37,03 €	148,11 €	1 057,94 €	7 302,66 €	469,99 €
5395,469	34	809,32 €	134,886726	32,37 €	113,30 €	944,21 €	7 141,81 €	469,99 €
5503,378	35	687,92 €	137,044461	27,52 €	82,55 €	825,51 €	6 977,99 €	469,99 €
5613,446	36	561,34 €	140,31615	22,45 €	56,15 €	701,68 €	6 811,16 €	746,66 €
5725,715	37	429,43 €	143,702873	17,18 €	34,35 €	572,57 €	6 641,93 €	746,66 €
5840,229	38	292,01 €	148,00578	11,88 €	17,32 €	438,02 €	6 470,88 €	746,66 €
5957,024	39	148,93 €	148,925845	5,96 €	5,96 €	297,85 €	6 308,66 €	746,66 €
6076,174	40	0,00 €	151,904362	0,00 €	-5,96 €	449,76 €	6 153,96 €	746,66 €

→ Viimeinen vuosi, jolloin huolto kannattava

Kuva 5. Esimerkkijakelumuuntajan huollontarpeen selvitys tavalla 2

Kuvasta 5 voitiin huomata, että kun linjaerotin on 36 vuotta huolto ei enää ole kannattavaa. Tällöin muuntamon tuotto ja poistot ovat liian pieniä kattamaan huollon kustannukset.

Inflaatiokerroimelle on annettu kaksi eri arvoa kuvassa 5. Arvoa 1,02 käytetään jälleenhankintahinnan laskemisessa. Tällöin on suoraan saatu tarkasteluvuoden JHA ilman, että on jouduttu tekemään välivaiheita. 0,02 kerrointa käytettiin NNA:n laskussa. Kuvan arvot *JHA*, *NKA*, *poistot*, *TUOTTO*, *todellinen tuotto*, *todellinen poisto*, *huollon kannattavuus* ja *huollon kustannukset* ovat euroina esitettäviä lukuja.

Edellä esitetty tapa huollonkannattavuuden selvittämiseksi pätee myös jakelumuuntajille, katkaisijoille ja muuntamoille. Kuvion 5 kohdan 1 tiedot on vaihdettava vain vastaamaan tutkittavaa komponenttia.

4.2.3 Tapa 3: Luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittäminen

Tapa 3 perustuu pitkälti TeklaNIS:stä haettaviin luotettavuuslaskennan tuloksiin. Tärkeiksi tietoja ovat asiakasmäärä, vikataajuus, katkon pituus ja katkosta aiheutuvat kustannukset. Näistä tärkein tieto on katkosta aiheutuvat kustannukset. Tämä on

laskennallinen kustannus, minkä jakeluverkkoyhtiö joutuu maksamaan jakelun katkosta. Sen arvo riippuu vikataajuudesta ja katkon pituudesta. Näin ollen tavassa 3 voidaan ajatella, että huollontarpeeltaan tärkeimpiä komponentteja ovat ne komponentit, jotka vioittuessaan aiheuttavat suurimman kustannuksen.

Katkosta koituvat kustannukset saadaan suoraan laskentatuloksista. Nämä on kuitenkin määritetty TeklaNIS:iin asiakasmäärän, vikataajuuden ja katkon pituuksien avulla. Näin ollen katkosta koituvia kustannuksia tutkittaessa saadaan samalla tutkittua nämäkin asiat.

Korvattavat kustannukset kootaan tavassa 3 komponenttikohtaisiksi. Tällöin TeklaNIS:stä saatu katkosta koitua kustannus tulee kertoa komponentin asiakasmäärällä. Näin ollen saadaan tietää se kustannus, mikä koituu komponentin vioittumisesta kokonaisuudessaan. Samalla saadaan painotettua huollontarvetta asiakasmäärän mukaan. Tästä saadaan muodostettua kaava 10

$$\text{Korvattava kok. kustannus} = KKA \cdot \text{asiakasmäärä}, \quad (10)$$

missä *KKA* tarkoittaa katkosta koituvaa asiakaskohtaista kustannusta ja *asiakasmäärä* kuvaa asiakkaiden määrää kyseisellä komponentilla. Tällöin esimerkkijakelumuintajalle (T0579), jolla on kaksi asiakasta ja katkosta koitua todennäköinen kustannus 2 369,57 euroa, saadaan tulokseksi

$$\text{Korvattava kok. kustannus} = KKA \cdot \text{asiakasmäärä} = 2\,369,57 \text{ €} \cdot 2 = 4\,739,14 \text{ €}.$$

Tavan 3 tulokset jaetaan kahteen ryhmään: huollettavat komponentit ja ei huollettavat komponentit. Jako näihin ryhmiin tapahtuu niin, että komponentin kokonaiskustannuksesta vähennetään sen huoltokustannukset:

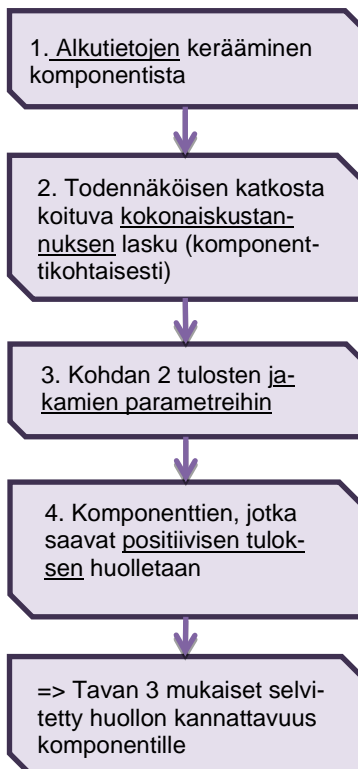
$$\text{Ryhmäjako} = \text{Korvattava kok. kustannus} - \text{huoltokustannukset} \quad (11)$$

missä *Korvattava kok. kustannus* on edellä esitetty kaavan 10 mukainen arvo ja *huoltokustannukset* ovat tutkittavan komponentin huoltokustannukset sen loppu pitoajalle. Huoltokustannukset katsotaan kaavaan 11 liitteessä 3 olevien hintojen pohjalta niin, että huoltoja suoritetaan liitteen 2 mukaisilla aikaväleillä.

Jos kaava 11 tuottaa positiivisen tuloksen, komponentti huolletaan. Jos taas tulos on negatiivinen, komponenttia ei huolleta.

Edellä esitetty ryhmittely ottaa huomioon edellä esitetyn alueellisen sijainnin vaikutuksen komponenttien huollossa. Tällöin saadaan siis luokiteltua komponentit niin, että verkko on mahdollisimman luotettava ja taloudellinen. Samalla huomioidaan kunkin alueen katkojen vuosittaiset pituudet, asiakasmäärä ja luotettavuus vikataajuuden muodossa. (Ks. 3.5 Alueellisen sijainnin vaikutuksen huomiointi)

Tavan 3 mukainen huollon kannattavuuden määrittystapa koottiin kuvioksi 7. Tästä kuvioista voidaan nähdä tavan 3 pääkohdat.



Kuvio 7. Tapa 3: Luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittäminen

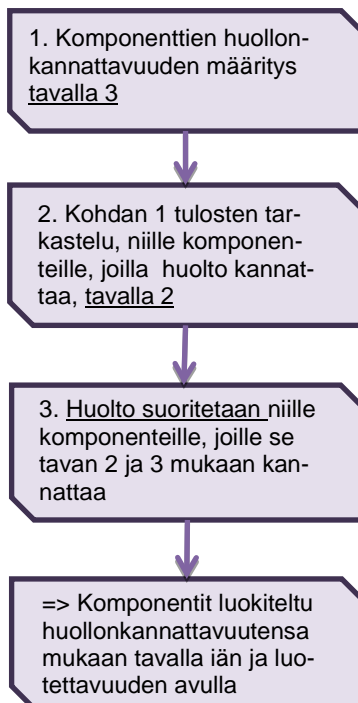
4.2.4 Ikään ja luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden tarkastelutapa

Tavat 2 ja 3 yhdistettiin vielä yhdeksi tarkastelutavaksi, jotta saataisiin tietää näiden tapojen yhdessä tuoma etu. Tämä on myös oletettavasti optimaalisin ratkaisu. Tällöin

huollon kannattavuutta voidaan verrata luotettavuuden ja taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta.

Tarkastelu on siis vain tapojen 2 ja 3 yhdistämistä. Tämä onnistuu parhaiten niin, että tavalla 3 selvitetään ne komponentit, joiden huolto kannattaa (kuvio 7, sivu 33). Kun tästä on saatu tulokset, tutkitaan kannattaako komponentin huolto tavan 2 mukaan (kuvio 6, sivu 30). Jos huolto kannattaa, komponentti huolletaan ja, jos se ei kannata, ei komponenttia huolleta.

län ja luotettavuuslaskennan mukainen tarkastelu voidaan esittää kuviossa 8. Kuviossa 8 esitetään, kuinka tavat 2 ja 3 yhdistetään.



Kuvio 8. län ja luotettavuuslaskennan yhdistämiseen perustuva huollon kannattavuuden määrittäminen

4.3 Ennakkohuolto-ohjelmaan kuuluvat huoltotoimenpiteet

Ennakkohuolto-ohjelman huoltotoimet ovat Fortumin kunnossapitokäsikirjan mukaisia. Nämä toimenpiteet esitettiin aikaisemmin. (Ks. 2.5 Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistus)

Ennakkohuolto-ohjelmaan ei erikseen lähdetty luomaan uusia huoltotoimenpiteitä. Huoltotoimenpiteet päätettiin ottaa kunnossapitokäsikirjan huoltotoimista, sillä nämä ovat Fortumin määrittämiä huoltotoimenpiteitä. Ennakkohuolto-ohjelman huoltotoimenpiteet esitetään liitteessä 2. Näitä toimenpiteitä käytetään ennakkohuolto-ohjelman määrittämiseen.

4.4 Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltokustannukset

Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimenpiteet esitetään liitteessä 2. Tämän tiedon perusteella voidaan alkaa laskemaan huollon kustannuksia komponenteille noudattamalla kuviota 4 (s. 21). (Ks. 3.4 Huollon kustannusten määrittäminen)

Tällöin kohdan A) mukaan halutut toimenpiteet komponentille valitaan liitteessä 2 esitettävistä huoltotoimenpidetaulukoista (taulukot 1–3) kyseisen komponenttityypin mukaan. Valitun taulukon tiedoista tähdennetään ne huoltotoimenpiteet, jotka koskevat tutkittavan komponentin rakennetta.

B) kohdan mukaan selvitetään halutuille komponenteille niiden huollon hinnat. Hinnat on saatu Fortumin sisäisestä tiedonjaosta, ja ne ovat luottamuksellisia. Niinpä tässä työssä huollon hintoja on pyöristelty suuntaan ja toiseen. Ne toimivatkin suuntaa antavina.

Muuntamoiden huoltotoimien hinnat

Tässä työssä huollonkustannukset muuntamoille määriteltiin kyseisen huoltotoimen hintojen ja tuntihintojen perusteella. Tällöin mallialueen muuntamoiden maadoitusmittauksen huoltokustannus on 125 euroa, puistomuuntamon kunnossapito on yli 90 euroa (erottimien hinnat huomioidaan tässä työssä erikseen), kiinteistöhuollon kustannus on 150 euroa, lämpökuvaus on 170 euroa ja muuntamoiden laaja tarkastaminen maksaa 90 euroa.

Jakelumuuntajan huoltotoimien hinnat

Jakelumuuntajan huoltokustannukset määritetään eri tehoille saatavista todellisista huollon hinnoista. 100 kVA:n jakelumuuntajan huoltokustannukset ovat 580 euroa, 200

kVA:n jakelumuuntajan huoltokustannukset ovat 670 euroa, 300–315 kVA:n jakelumuuntajan huoltokustannukset ovat 660 euroa, 500 kVA:n jakelumuuntajan huoltokustannukset ovat 740 euroa ja 800 kVA:n jakelumuuntajalla huoltokustannukset ovat 820 euroa.

Erottimien huoltotoimien hinnat

Erottimien huollon kustannusten laskussa huomioitiin kyseisen huoltotoimen hinta ja tunti hinnat. Tällöin kuntotarkastuksen hinnaksi saatiin 75 euroa ja ennakoivan huollon hinnaksi 370 euroa.

Katkaisijoiden huoltotoimien hinnat

Katkaisijoilla huollon kustannukset määritettiin kuten erottimien huollon kustannukset. Tällöin kunnan tarkastuksen hinnaksi saatiin 75 euroa. [23.]

Liitteessä 2 olevista taulukoista saadaan kyseiselle huoltotoimelle suositellut aikavälit. Näin ollen ne kirjataan kohdan C) mukaisesti ylös.

Tämän jälkeen kohtien A), B) ja C) tiedot kerätään yhteen. Tarkastelu on tässä työssä tehty Exceliin tehdyllä taulukolla. Huoltotoimia aletaan tässä taulukossa käymään läpi kohdan D) mukaisesti.

Tämän jälkeen kohdan E) mukaisesti lisätään muut mahdolliset kulut, joita huollosta on koitunut kyseisenä vuonna. Tämän jälkeen lasketaan vuosikohtaisesti yhteen kyseisen vuoden huoltokustannukset ja saadaan sen vuoden huoltokustannukset.

Huoltokustannusten laskemisesta voidaan esittää esimerkkinä linjaerottimen T05043 huoltokustannusten lasku. Huoltokustannusten lasku esitetään kuvissa 6 ja 7 (s. 37).

Aikaväli / v	Erötintyyppi	Huoltotoimi
12	ilmajohdoissa tai toissijaisissa muuntamoissa olevat erottimet	Ennakoiva huolto
6	kaikki	Kuntotarkastus

Hinta /€	Tuntihinta /€	Huoltokustannus /€
300	70	370
25	50	75

Kuva 6. Erottimien huoltokustannusten määrittäminen

Kuvassa 6 on esitetty linjaerottimen huoltotoimenpiteet ja huoltokustannukset. Oikean puoleisimmassa sarakkeessa on kyseisen huoltotoimen huoltokustannus.

Erottimien pitoaika			30 v				
Vuosi	Aikaväli	Huoltotoimi	Hinta /€	Aikaväli	Huoltotoimi	Hinta /€	Kokonaiskustannus /€
1							0
2							0
3							0
4							0
5							0
6					6 Kuntotarkastus	75	75
7					5 Kuntotarkastus	0	0
8					4 Kuntotarkastus	0	0
9					3 Kuntotarkastus	0	0
10					2 Kuntotarkastus	0	0
11					1 Kuntotarkastus	0	0
12	12	Ennakoiva huolto	370		6 Kuntotarkastus	75	445
13	11	Ennakoiva huolto	0		5 Kuntotarkastus	0	0
14	10	Ennakoiva huolto	0		4 Kuntotarkastus	0	0
15	9	Ennakoiva huolto	0		3 Kuntotarkastus	0	0
16	8	Ennakoiva huolto	0		2 Kuntotarkastus	0	0
17	7	Ennakoiva huolto	0		1 Kuntotarkastus	0	0
18	6	Ennakoiva huolto	0		6 Kuntotarkastus	75	75
19	5	Ennakoiva huolto	0		5 Kuntotarkastus	0	0
20	4	Ennakoiva huolto	0		4 Kuntotarkastus	0	0
21	3	Ennakoiva huolto	0		3 Kuntotarkastus	0	0
22	2	Ennakoiva huolto	0		2 Kuntotarkastus	0	0
23	1	Ennakoiva huolto	0		1 Kuntotarkastus	0	0
24	12	Ennakoiva huolto	370		6 Kuntotarkastus	75	445
25	11	Ennakoiva huolto	0		5 Kuntotarkastus	0	0
26	10	Ennakoiva huolto	0		4 Kuntotarkastus	0	0
27	9	Ennakoiva huolto	0		3 Kuntotarkastus	0	0
28	8	Ennakoiva huolto	0		2 Kuntotarkastus	0	0
29	7	Ennakoiva huolto	0		1 Kuntotarkastus	0	0
30	6	Ennakoiva huolto	0		6 Kuntotarkastus	75	75

Kuva 7. Erottimen vuosikohtainen huoltokustannustarkastelu pitoajalta

Kuvassa 7 on laskettu linjaerottimen huoltokustannukset sen pitoajan ajalta. Tässä on koko pitoajan ajalta tutkittu huoltotoimenpiteet. Huoltotoimenpiteet on laitettu aikaväliensä mukaan suoritettaviksi pitoajalla. Esimerkiksi erottimen kuntotarkastus tapahtuu kuuden vuoden välein, joten se on laitettu toistumaan pitoajalla kuuden vuoden välein (ensimmäisen kerran kuudentena vuonna, toisen kerran 12. vuonna, kolmannen kerran 18. vuonna ja niin edelleen).

Jokaisen vuoden omat huoltokustannukset on laskettu vuosikohtaiseksi summaksi oikean reunan viimeiseen sarakkeeseen. Näitä tietoja on käytetty hyväksi ennakkohuolto-ohjelman määrittämisessä. Nämä ovat niitä tietoja, mitkä liitteessä 3 on muunnettu NNA:lla kokonaishuoltokustannuksiksi.

Muuntamoiden, erottimien ja katkaisijoiden huoltokustannukset lasketaan edellä esitetyllä menetelmällä eli kuvion 4 (s. 21) mukaan. Jakelumuntajilla huoltokustannusten määrittäminen poikkeaa tästä.

Jakelumuuntajille ei ole huoltotoimia niiden ollessa osana verkkoa. Niiden huoltokustannukset perustuvat niihin kustannuksiin, mitkä syntyvät silloin, kun jakelumuuntaja poistetaan verkosta, ja todetaan, että huollolla sitä voidaan pitää vielä verkossa. Jakelumuuntajan huolto voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun se poistetaan verkosta siksi, että suuritehosempi jakelumuuntaja tarvitaan. Poistettava jakelumuuntaja voidaan huollon jälkeen kuitenkin sijoittaa sinne, missä kyseisen tehon muuntajaa tarvitaan.

Jakelumuuntajien huoltokustannuksissa lasketaan siis sitä arvoa, mikä sen pitoajan mukaisena vuotena koituu sen huoltamisesta. Tämä arvo kasvaa vuosi vuodelta inflaation takia.

Jakelumuuntajien huollon kustannukset laskettiin keskiarvallisina tuloksina niiden todellisten huoltokustannusten hinnoista. Tässä tarkastelussa toteutuneiden huoltojen kustannuksista tarkasteltiin suhteellisen suppea erä. Tästä erästä saatiin kuitenkin hyvä osviitta huoltokustannusten suuruuteen. Erän suppeus kuitenkin todennäköisesti heijastuu jakelumuuntajan 200 kVA:n tehon ja 300–315 kVA:n tehon huoltokustannusten laskuun. Jos näitä arvoja verrataan keskenään, voidaan huomata, että 200 kVA saa suuremmat huoltokustannukset kuin 300–315 kVA. Tulos poikkeaa muiden tehojen huoltokustannusten laskusta, mistä voidaan huomata, että näiden tulosten mukaan tehon kasvaessa huoltokustannuksetkin kasvavat. Jakelumuuntajan kokonaishuoltokustannukset esitetään liitteessä 3.

4.5 Ennakkohuolto-ohjelman luotettavuus

Tapa 1 perustuu pitoajalle jaettaviin huoltotoimiin. Näin ollen komponentin ensimmäisestä vuodesta eteenpäin jaetaan huoltotoimet sen loppupitoajalle. Jos komponentilta puuttuu ikätieto, voidaan huoltotoimia siltikin lähteä toteuttamaan määrittämällä ne tarkasteluvuodesta eteenpäin. Puutteellinen dokumentaatio ei näin ollen vaikuta tapaan 1 kovin suuresti.

Itse tapa 1 on hyvin luotettava. Luotettavuuden ehtona on, että määritetyissä aikaväleissä pysytään. Jos nämä aikavälit eivät pidä, tavan 1 luotettavuus kärsii. Tavan 1 luotettavuus perustuu siihen, että kaikkia komponentteja tullaan tasaisin väliajoin tarkastamaan ja huoltamaan.

Tavan 2 mukainen huollontarpeen määrittämisen tapa nojautuu pitkälti komponentin ikätietoihin. Jos ikätieto on puutteellista, komponentti, jonka huolto olisi kannattavaa vielä monen seuraavan vuoden ajan, saattaa laskennassa näyttää tulosta, että huolto ei ole kannattavaa. Liitteessä 4 esitetään tästä esimerkki (esimerkki 1), jossa todennetaan, kuinka suuri merkitys ikätiedolla on tavan 2 luotettavuuteen. Näin ollen tavan 2 tulosten voidaan todeta olevan luotettavaa, mikäli dokumentointi on hoidettu kunnolla.

Itse tapa 2 ei pelkästään ole luotettava tapa huollontarvetta määrittäessä. Komponentin kunto ei yksinään perustu sen ikään. Kunto ei välttämättä heikkene komponentin iän kasvaessa vaan se saattaa säilyä samana useita vuosia. Kunto voi myös heikentyä nopeammin kuin sen ikä kasvaa. Tapa 2 ei ota kantaa komponentin kuntoon vaan keskittyy sen iän käsittelyyn. Näin ollen ikään perustuva huollon tarpeen määrittämisen tapa ei yksinään ole luotettava.

Tavan 3 mukainen huollon tarpeen määrittämisen tapa keskittyy pitkälti vikataajuuden ympärille. Jos vikataajuus on saatu komponentille selvitettyä, on todennäköistä, että muutkin tiedot löytyvät. Puutteellisen tiedon vaikutusta tarkastellaan liitteessä 4. Tästä voidaan huomata, että puutteellinen tieto johtaa siihen, että komponentille ei kannata tehdä huoltotoita. Tämä tietenkin heijastuu tavan 3 luotettavuuteen.

Itse tapa 3 on hyvällä dokumentaatiolla varsin luotettava. Tapa 3 kuitenkin perustuu luotettavuuslaskentaan ja siinä selvitetään todennäköisyyttä vioittumiseen ja sen avulla määritellään todennäköiset katkosta koituvat kustannukset. Näiden kustannusten suuruus määrittää komponentin huollon tarpeen. Tapa 3 on luotettava, mutta tietenkin on mahdotonta saada 100 % varmuudella ennustaa komponentin vioittuminen. Tapa 3 säilyttää parhaiten luotettavuutensa, kun TeklaNIS:iin päivitetään vikataajuudet joka vuosi kyseisten vikatilastointien mukaan niin kuin edellä esitettiin. Lisäksi lopuillekin komponenteille, joilta vikataajuus puuttuu, olisi hyvä kehittää vikataajuudet.

Jos tavat 2 ja 3 yhdistetään, saadaan suhteellisen luotettava tulos. Tuloksessa otetaan huomioon niin taloudellinen kannattavuus kuin todennäköisyys vioittumiselle. Tapojen 2 ja 3 avulla huollontarpeeltaan tärkeimmät komponentit saadaan rajattua esiin.

Itse ennakkohuolto-ohjelma on teoreettisesti luotettava. Teoriamielessä sen luotettavuus on voitu todentaa laskuin ja päätelmin. Ennakkohuolto-ohjelma huomioi tasaisten huoltovälien mukaiset huoltotoimet, huollon kannattavuuden ja todennäköisyyden kom-

ponentin vikaantumiselle. Lopullisesti ennakkohuolto-ohjelman luotettavuus tulee kuitenkin todennettua, kun se otetaan käyttöön. Tällöin voidaan huomata, pitääkö teorian mukaiset tulokset paikkansa.

4.6 Ennakkohuolto-ohjelman vaikutus komponenttien elinkaareen

Elinkaaren tarkastelu komponentille on itsessään hieman hankalaa. Valmistajilta tätä asiaa kysyttäessä vastauksena oli, että komponentit tulevat toimimaan elinkaarensa ajan, jos niille suoritetaan niiltä vaaditut valmistajan antamat huoltotoimenpiteet. Valmistajan intressien mukaista ei kuitenkaan ole kertoa, että komponentti säilyy yli sille annetun pitoajan ja suhteellisin vähäisin huoltotoimin. Lisäksi valmistaja olettaa, että komponenttia tarkkaillaan jatkuvasti. Jatkuvan tarkkailun suorittaminen valmistajan antamin ehdoin on kuitenkin lähes mahdotonta silloin, kun jakeluverkko on niin laaja kuin esimerkiksi Fortumilla. Näin ollen komponentin elinkaareen koituvat muutokset ennakkohuolto-ohjelmasta käsitellään suhteellisen pintapuolisesti.

Ennakkohuolto-ohjelman tavoista tapa 1 ylläpitää komponentin kuntoa tasasin välein koko sen pitoajan ajan. Tähän tapaan on myös määritetty lisäparametreja tarkentamaan huoltoajankohtaa tietyille komponenttityypeille. Näin ollen komponentin elinkaari ei kärsi tavassa 1. Tapa 1 huomioi komponentin huoltotoimien tekemisen koko sen pitoajalle ja pitoaika on yleensä myös komponenttivalmistajien antama oletettu elinikä komponentille. Elinkaaren voidaan siis olettaa pysyvän suhteellisen samana kuin valmistajan arviot siitä.

Tapa 2 lyhentää osan komponenteista elinkaarta. Tällöin useilta komponenttityypeiltä karsitaan pitoajasta muutama vuosi pois. Komponentin huolto ei kannata, sillä komponentista ei saada tuottoa. Näin ollen komponentin elinkaarikin tulee tavalla 2 lyhenemään. Elinkaaren lyhentyminen ei kuitenkaan ole pelkästään huono asia, sillä sen lyhentyminen johtaa kustannusten keskittymiseen lyhyemmälle ajalla ja samalla myös kustannukset komponentille pienenevät.

Tapa 3 lyhentää niiden komponenttien, joiden keskeytyskustannus on pieni, elinkaarta. Toisaalta se voi taas pidentää niiden komponenttien elinkaarta, joilla on suuret keskeytyskustannukset. Näin ollen tavan 3 tarkastelu tulee ylläpitämään niiden komponenttien elinkaarta, joiden koetaan eniten hyötyvän huollosta.

Tapojen 2 ja 3 toteuttaminen johtaa elinkaaren lyhentymiseen niiden komponenttien osalta, joiden huolto ei kannata taloudellisessa mielessä tietyn vuoden jälkeen ja niiden, joiden huolto ei kannata, mikäli ne eivät aiheuta suurta keskeytyskustannusta. Osalta komponenteista elinkaari tulee siis lyhenemään.

Elinkaaren lyhenemistä ei kuitenkaan tarvitse minkään tavan kohdalla pitää pahana asiana. Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset tavat pyrkivät tähdentämään komponenttien huollontärkeyttä niin taloudellisessa näkökulmassa kuin luotettavuuden ja turvallisuuden näkökulmasta. Näin ollen elinkaaren lyhentymisen johtaa kustannusten uudelleen keskittämiseen sille välille, kun huolto todellisuudessa kannattaa. Elinkaari voi olla vaikka kuinka pitkä, mutta tämä ei kuitenkaan pakolla tarkoita, että huolto olisi tällöin kannattavaa. Näin ollen ennakkohuolto-ohjelman tavat luovat omat uudet elinkaaret komponenteille, jotka samalla vastaavat niistä oikeasti saatavan edun mukaisia elinkaaria.

4.7 Ennakkohuolto-ohjelman taloudelliset vaikutukset

Tapa 1 ei ole taloudellisin ratkaisu. Jos huoltoja toteutetaan tavan 1 mukaisesti koko komponentin pitoajan ajan, on hyvinkin mahdollista, että ennenaikaisia huoltoja tullaan suorittamaan. Näin ollen jakeluverkkoyhtiö menettää rahaa komponenttien huoltoon, jotka eivät oikeasti olisi huollon tarpeessa. On tietysti myös mahdollista, että joitakin komponentteja tulisi huoltaa tiheämmin ja tätä kautta jakeluverkkoyhtiön talous kärsii komponentin aiheuttamien katkojen seurauksena. Lisäksi komponenttien huoltaminen koko pitoajan ajalta aiheuttaa myös tappiota verkkoyhtiölle. Tavassa 2 todennettiin, että huoltojen suorittaminen komponentille sen viimeisillä pitoajan vuosilla, ei ole kannattavaa.

Tavan 2 taloudellisia vaikutuksia voidaan tulkita molemmilta puolilta. Koska tapa 2 määrittää osan komponenteista sellaiseksi, että niille ei tulisi suorittaa huoltotoimia, näyttää tapa 2 tietyillä tutkittavilla alueilla hyvinkin taloudelliselta. Toisaalta, jos asiaa tutkitaan huomioimalla mahdollinen vioittuminen, saattaa ne komponentit, jotka on määritetty huollon piiristä pois (esimerkiksi puutteellisen ikätiedon pohjalta), aiheuttaa suurenkin kustannuksen häiriöstään. Tapa 2 ei siis yksinään ole taloudellisessakaan mielessä kannattavin ratkaisu. Jos kuitenkin dokumentointi on kunnollinen, tapa 2

osoittaa taloudellisuutensa niin, ettei komponentteja, joiden huolto ei enää kannata (niistä ei saada tuottoa) huolleta.

Tapa 3 on varsin taloudellinen ratkaisu. Tässä tarkastelussa asiakkaiden määrä ja katkosta korvattavan summan mukaan on määritelty huollon tarve. Tällöin ne komponentit, joilla on monta asiakasta ja suuret katkosta koituvat kulut, sijoittuvat ylös huollontarpeen listalla. Ne huolletaan siis ensimmäiseksi. Tämän taloudellinen vaikutus on se, että huoltobudjetti saadaan jaettava koskemaan niitä alueita, joilla suurin taloudellinen tappio syntyy katkosta.

Tapojen 2 ja 3 yhdistäminen johtaa taloudelliselta kannattavuudeltaan optimaalisimpaan tulokseen. Tämän tarkastelun mukaan saadaan rajattua eniten komponentteja huolto-ohjelman piiristä pois. Ulosrajattavat komponentit ovat niitä komponentteja, joiden huolto ei kannata taloudellisessa mielessä ja niitä, joiden häiriöstä syntyvä keskeytyskustannus on pieni. Taloudellisesti tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä saadaan huoltobudjetti keskitettyä koskemaan niitä komponentteja, jotka siitä eniten hyötyvät.

Itse ennakkohuolto-ohjelma on taloudellisempi ratkaisu kuin pelkästään nykyinen käytäntö. Ennakkohuolto-ohjelma mahdollistaa huoltokustannusten pienentämisen ja auttaa löytämään ne komponentit, joiden huoltaminen tuottaa suurimman taloudellisen edun.

4.8 Huoltokäytäntöjen yhdistäminen

Eri huoltoalueiden huoltokäytäntöjen yhdistäminen saadaan toteutettua ennakkohuolto-ohjelmalla. Tällöin huoltoalueiden tulee noudattaa ennakkohuolto-ohjelman mukaista käytäntöä.

Ongelmana kuitenkin lienee se, että miten huoltoalueet saadaan pysymään ennakkohuolto-ohjelmassa. Jo nyt on todettu, että nykyisessäkin huolto-ohjelmassa on vaikea pysyä. Ennakkohuolto-ohjelman tärkeyttä on pyrittävä painottamaan ja samalla on saatava aluevastaavat ymmärtämään, kuinka tärkeää on noudattaa ennakkohuolto-ohjelmaa sekä dokumentoida suoritettut huollot.

Ennakkohuolto-ohjelman päätarkoituksena on korvata tarkastuksia huoltotoimilla. Tämä on sekä taloudellista että parantaa verkon luotettavuutta ja turvallisuutta. Jos kuitenkin ennakkohuolto-ohjelmaa laiminlyödään ja jatketaan vanhan käytännön mukaan eli korjataan komponentteja vasta niiden vioittuessa, koko ennakkohuolto-ohjelma muuttuu tarpeettomaksi. Tällöin verkkoyhtiön taloudellisuus kärsii. Ennakkohuolto-ohjelmalla on mahdollista saada estettyä pitkien katkojen syntymistä. Näin ollen voidaan välttää myös suuret korvausmaksut ja säilytettyä verkon luotettavuus sekä turvallisuus.

4.9 Ennakkohuolto-ohjelman soveltaminen

Esitelty ennakkohuolto-ohjelma antaa vasta perusteet uuden tyyppiselle tarkastelulle huollonmäärityksessä. Näin ollen sitä voidaan soveltaa hyvinkin helposti.

Ennakkohuolto-ohjelman sisällöstä löytyy sovellettavaa. Komponentin huollon tarpeen määritykseen voidaan soveltaa myös riskipistetarkastelu mukaan. Riskipistetarkastelu huomioi kuntotarkastuksessa saadun datan. Näin ollen, jos riskipistetarkastelu otetaan huomioon ennakkohuolto-ohjelmassa, saadaan komponentin kuntokin huomioitua huollontarpeen määrityksessä. Tällöin riskipistetarkastelu tulisi kehittää ennakkohuolto-ohjelman komponenteille.

Nykyinen ennakkohuolto-ohjelma huomioi vain osan sähköverkon komponenteista. Näin ollen tässä on myös ennakkohuolto-ohjelman sovellusmahdollisuus. Ennakkohuolto-ohjelma voidaan soveltaa koskemaan muitakin sähköverkon komponentteja.

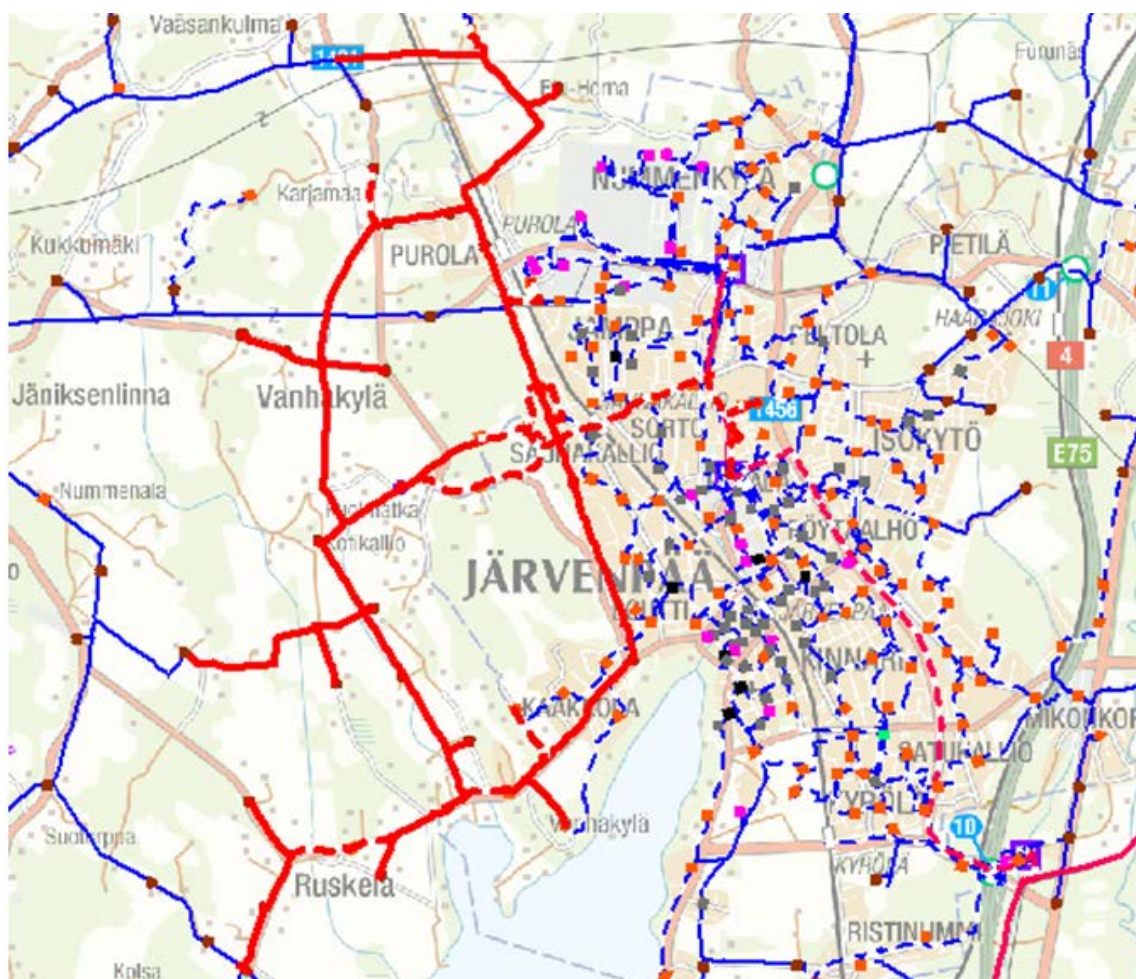
Itse ennakkohuolto-ohjelmaa voidaan soveltaa kehittämällä yksinkertainen Excel- tai Access-tiedosto, josta komponentin huollonkannattavuus saadaan muutamaa parametria muuntamalla selvitettyä. Näin ollen yksi sovellusmahdollisuus on luoda ennakkohuolto-ohjelmasta toimiva ohjelmisto tai luoda esimerkiksi PG:seen kenttä, mistä komponentin huollonkannattavuus nähdään.

5 Ennakkohuolto-ohjelman todennus

Ennakkohuolto-ohjelma todennettiin tarkastelemalla sen määritystapoja ja huoltotoimia tietyllä alueella. Alueeksi valittiin Keski-Uudeltamaalta Järvenpään kaupungin keskustan läheisyydestä alue. Tälle alueelle suoritettiin ennakkohuolto-ohjelman mukainen tarkastelu. Tarkastelualueet valittiin Fortumin verkostonhallintajärjestelmän PG:n avulla.

5.1 Tarkasteltava mallialue

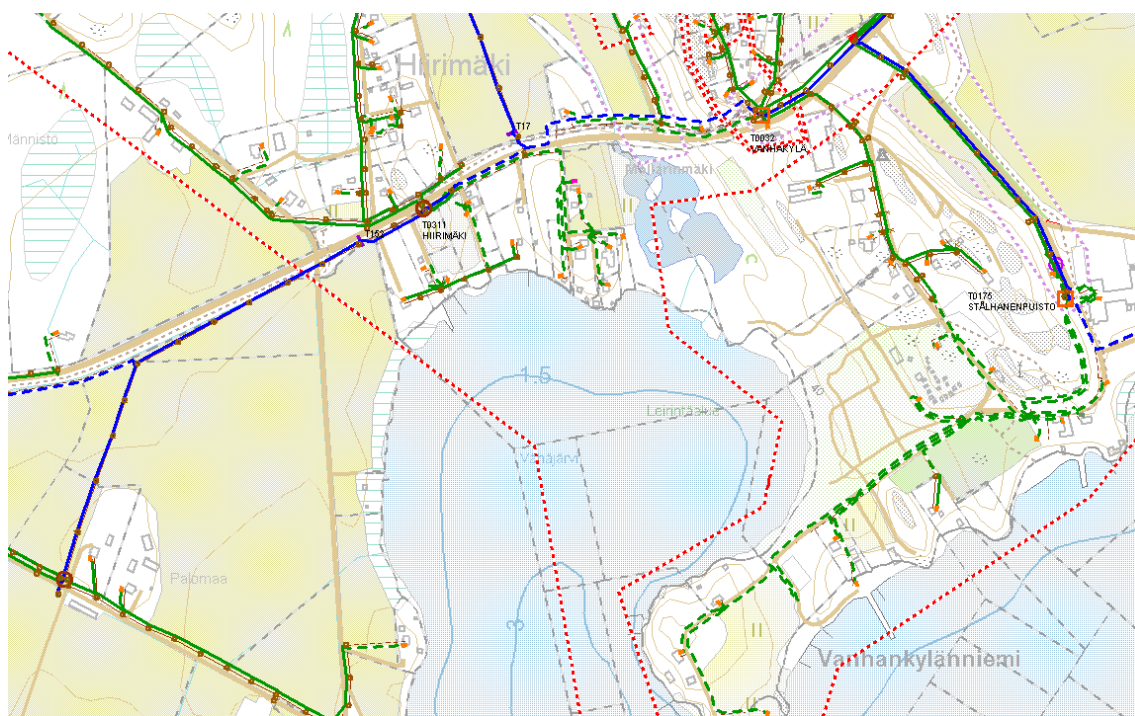
Tarkastelualueeksi valittiin Ruskelan ja Puolan väliin jäävä alue. Tällä alueella on sekä ilmajohtoverkkoa että maakaapeliverkkoa keskijännite- ja pienjännitepuolelta. Kuvassa 8 esitetään tarkasteltava alue.



Kuva 8. Mallialue [6.]

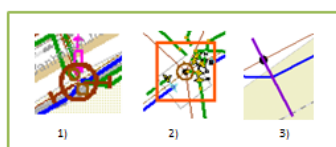
Kuvan 8 mallialue on jouduttu ottamaan PG:ltä kaukaa katsottuna. Tällöin siitä on kokonaan kadonnut pienjännitepuoli, erottimet ja katkasijat. Muuntamot näkyvät kuvassa. Ruskea ympyrä tarkoittaa pylväsmuuntamoa, oranssi neliö tarkoittaa puistomuuntamoa, pinkki neliö tarkoittaa asiakkaan muuntamoa, harmaa neliö tarkoittaa kiinteistömuuntamoa ja musta neliö tarkoittaa SF6-tiilikoppimuuntamoa.

Kuvassa 9 esitetään mallialueesta osa, jossa samalla näkyy myös pienjännitepuoli. Kuvan 9 alue on otettu Ruskelan läheltä.



Kuva 9. Mallialueen verkon monimuotoisuus [6.]

Kuvassa 9 sinisellä värillä on esitetty keskijännitepuolen kaapelit. Yhtenäinen viiva tarkoittaa ilmajohtoa ja katkonainen maakaapelia. Vihreällä värillä on esitetty pienjännitepuoli. Siinä yhtenäinen ja katkonainen viiva tarkoittaa samaa kuin keskijännitepuolella. Komponenttien symbolit esitellään kuvassa 10:






















Kuva 10. Jakeluverkon komponentit [6.]

Kuvassa 10 merkintää 1) käytetään, kun halutaan esittää pylväsmuuntamo. Symboli voi poiketa riippuen siitä, onko pylväsmuuntamolla ylijännitesuoja (pinkillä esitetty merkintä kuvassa 10, kohdassa 1) ja haruksia (ruskealla T-kirjainta muistuttava väkänen, kohdassa 1 niitä on kaksi kappaletta). Pylväsmuuntamo on ruskea ympyrä, johon pylväät on merkitty kahdella pienellä ympyrällä.

Kuvassa 10 merkintää 2) käytetään, kun kyseessä on puistomuuntamo. Puistomuuntamoa kuvaa oranssi neliö. Muuntamon neliön väri kertoo, minkä tyyppinen muuntamo on kyseessä. Tässä pätee kuvan 8 (sivu 44) kohdalla esitetyt väritiedot. Muita merkintöjä kohdassa 2) on pienjännitepuolen lähdöt, jotka on esitetty tähtinä.

Kuvassa 10 merkintä kohdassa 3) tarkoittaa erotinta. Lilalla poikkiviivalla merkitään siis erotin PG:hen. Erottimen tyyppiä ei merkitä erikseen vaan se kirjataan komponenttien lomakkeeseen. Jokaisella komponentilla on siis oma lomakkeensa, johon on kirjattu yksityiskohtaisemmin komponentin tiedot (kuva 11).

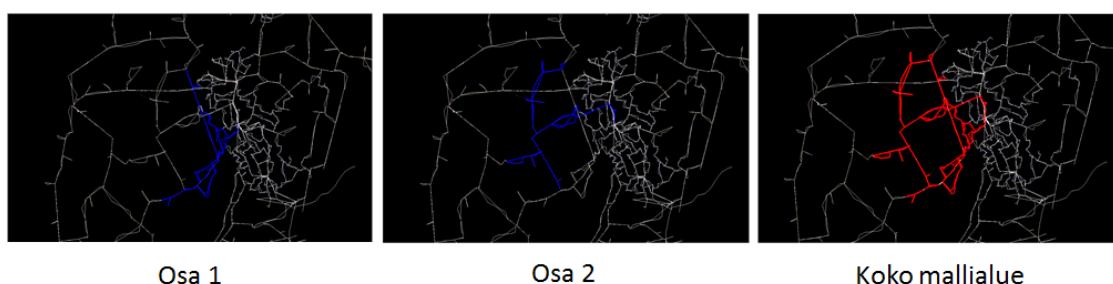
Kentän nimi	Arvo
 Tunnus *	T152
 Luokka	Erotin
 Katalogityyppi	NPC 24
 Karkea tyyppi	Linjaerotin
 Nimi	
 Kunta	TUUSULA
 KytKentätila *	Kiinni
 Ohjaustapa *	Paikallinen ohjaus
 Asennusvuosi	1912
 Asennuspvm	
 Valmistaja (katalogi)	ABB
 Nimellisvirta	0 A
 Oikosulkukestoisuus	
 Sulake	
 Sulaketyyppi	
 Syöttävä lähtö	
 Kuormankatkaisukyky *	
 Verkkotyyppi	KJ-verkko
 Maadoitusryhmä	D
 Huoltopvm	
 Syöttösuunta	

Kuva 11. Komponentin lomake PG:ssä [6.]

Kuvan 11 lomake on otettu kuvassa 10 esitetyn kohdan 3) erottimelta. Tällöin siis voidaan huomata, että kyseinen erotin on linjaerotin.

Muuta huomattavaa kuvasta 9 (sivu 45) on se, että liittymät on merkitty oranssilla täytetyllä suorakaiteella. Alueella olevat suunnitelmat (esimerkiksi muutossuunnitelmat) on merkitty punaisella katkoviivalla. Muut ruskeat pienemmät ympyrät, joita on suhteellisen tiuhasti ja ilmajohton (yhtenäisen sinisen tai vihreän viivan) vieressä, ovat pylväitä.

Tutkittava mallialue valittiin ensiksi PG:n avulla, sillä tästä on helpompi paikantaa verkon osa ja tutkia sitä komponenttikohtaisesti (kuva 8, s. 44). Tämän jälkeen mallialue haettiin TeklaNIS:stä ja huomattiin sen olevan kahdessa osassa. Näin ollen nämä osat laskettiin yhtä aikaa ja saatiin mallialueen asiakaskohtaiset tiedot komponenttikohtaisesti selville. Asiakaskohtaisiin tietoihin kuuluu asiakkaiden määrä, vikataajuus ja vikojen kestojen pituus vuodessa. Mallialueen osat ja koko mallialue TeklaNIS:ssä esitetään kuvassa 12.



Kuva 12. Mallialue TeklaNIS:ssä [24.]

Kuten kuvasta 12 voitiin huomata, mallialue ei täysin vastannut kuvan 8 (s. 44) aluetta. Tämä ei kuitenkaan haittaa sillä tarkastelu tullaan tekemään kuvan 12 koko mallialueen pohjalta. Kuva 8 (s. 44) on hyvä kuva antamaan suuntaa siitä, minkätyyppinen ja laajuinen alue on kyseessä.

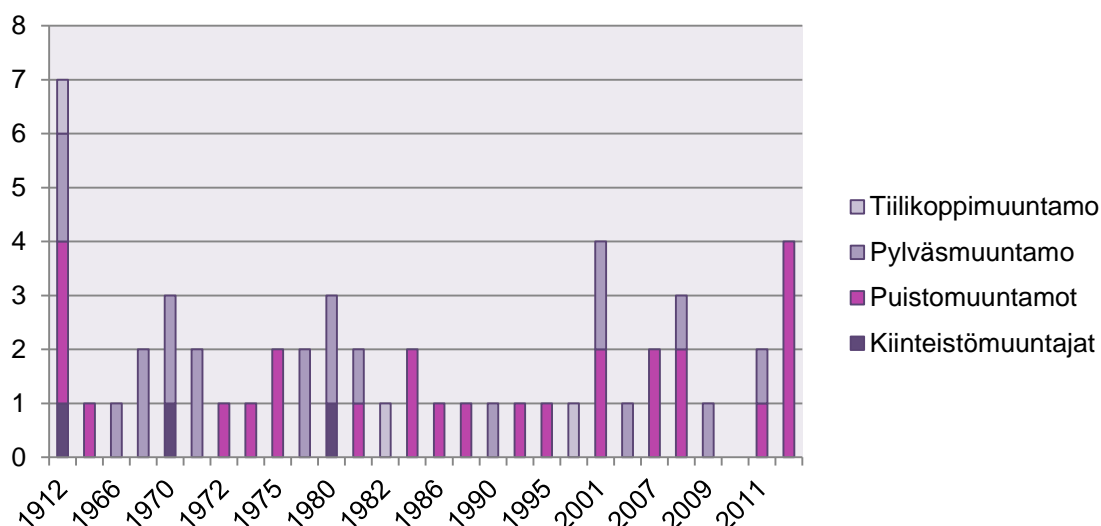
TelkaNIS- ja PG-tietojen pohjalta saatiin tietää mallialueella olevan 44 muuntamo. Taulukko 1 (s. 48) koottiin näiden tietojen pohjalta ja siitä näkyy, kuinka monta rakenteeltaan erilaista muuntamo mallialueella on.

Taulukko 1. Mallialueen muuntamoiden lukumäärät rakenteittain

Rakenne	kpl
Kiinteistömuuntajat	3
Puistomuuntamo	23
Pylväsmuuntamo	16
Tiilikoppimuuntamo	2

Muuntamoiden ikätiedot esitetään kuviossa 9. Samalla voidaan nähdä, kuinka monta eri tyyppistä muuntamo on minäkin vuonna valmistettu. Saatua tietoa käytetään myöhemmin hyväksi, kun määritetään ennakkohuolto.

Muuntajan rakenne ja valmistusvuosi



Kuvio 9. Mallialueen muuntajat rakenteensa ja valmistusvuotensa mukaan

Muuntamoita tutkittaessa selvitettiin samalla niiden jakelumuuntajat. Jakelumuuntajille saatiin selville niiden ikätiedot, tehot ja osalle jakelumuuntajista valmistaja sekä eriste. Eriste oli pitkälti kaikilla öljyä. Kuudelta jakelumuuntajalta puuttui tämä tieto. Muita eristetyyppejä ei myöskään oltu ilmoitettu mallialueella olevan. Valmistajatieto oli myös puutteellinen, ja valmistaja oltiin kerrottu 21 jakelumuuntajalle.

Mallialueeseen kuuluu yksi sähköasema ja päämuuntaja. Sähköaseman ikätieto puuttuu, mutta sille ollaan annettu muita toiminnallisia arvoja (häviötehot, pätöteho,

maasulkuvirta ja niin edelleen). Alueella sijaitseva päämuuntaja on vuoden 2001. Sillekin on annettu samoja toiminnallisia arvoja kuin sähköasemalle.

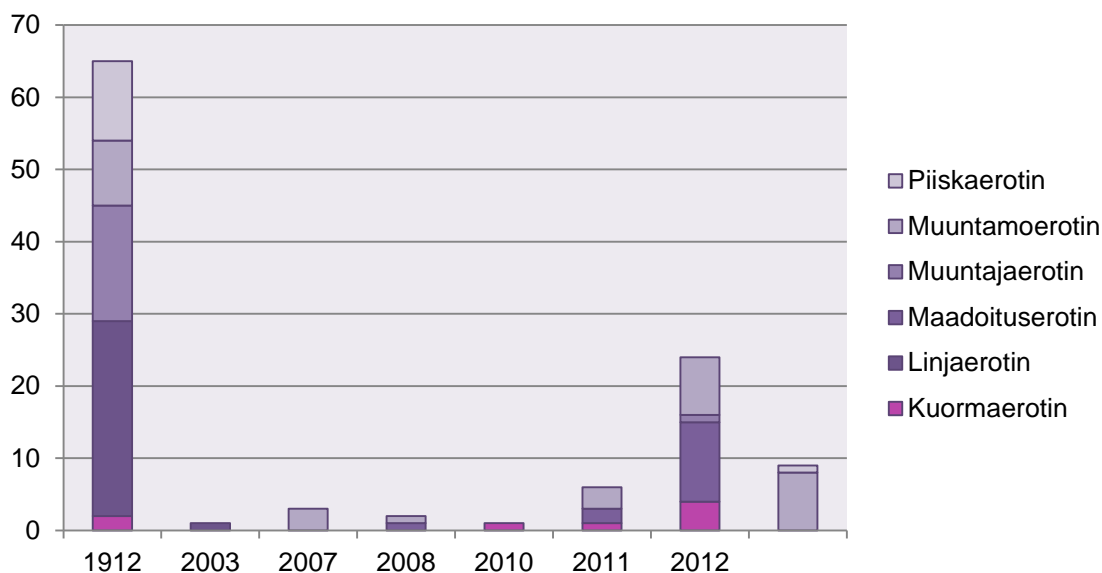
Mallialueella on 130 erotinta. Erottimia on kuutta eri tyyppiä, ja nämä on esitetty taulukossa 2 niin, että samalla selviää, miten monta kappaletta niitä on mallialueella.

Taulukko 2. Mallialueen erottimien lukumäärät tyypeittäin

Tyyppi	Kpl
Kuormaerotin	9
Linjaerotin	45
Maadoituserotin	14
Muuntajaerotin	18
Muuntamoerotin	32
Piiskaerotin	12

Erottimien ikätiedoista kasattiin kuvio 10. Tällöin nähdään, kuinka monta erityyppistä erotinta on minäkin vuonna valmistettu. Tätä tietoa hyödynnetään ennakkohuolto-ohjelmassa.

Erotintyyppi ja valmistusvuosi



Kuvio 10. Mallialueen erottimet tyyppinsä ja valmistusvuotensa mukaan

Erotintyyppiä voidaan tarkentaa vielä osalle erottimista. Kammiollisia erottimia on 24 kappaletta. Muuntajaerottimia, jotka ovat myös varokeuormaerottimia, on viisi. SF6-erottimia on kolme kappaletta ja SF6-muuntajaerottimia varokeuormaerottimella on yksi kappale.

Mallialueella on myös yksi katkasija. Tämä katkasija on rakenteeltaan kiinteä katkasija. Se ei siis suoranaisesti kuulu suunnitellun ennakkohuolto-ohjelman piiriin, mutta otetaan tässä tarkastelussa kuitenkin huomioon siksi, että saadaan todennettua ennakkohuolto-ohjelma käytännössä myös katkasijoille.

TeklaNIS:stä ja PG.stä etsittiin mallialueen komponenttien kaikki tarvittavat tiedot. Näistä koottiin erillinen Excel-tiedosto, jonka avulla pystytään helposti toteuttamaan eri huollontarpeen määrittävät.

5.2 Huollontarpeen määrittävät mallialueella

Huollontarpeen määrittämistä lähdettiin toteuttamaan ennakkohuolto-ohjelman mukaisesti. Tällöin oikeat huoltotoimet selvitettiin tapojen 1–3 avulla niin, että kustannustehokkain ratkaisu saatiin selvitettyä ilman, että luotettavuus ja turvallisuus kärsii. Tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä käsiteltiin myös mallialue.

Tapa 1: Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen (MM:n) mukainen huollon kannattavuuden määrittäminen

Mallialue tarkastellaan ensimmäiseksi Fortumin antaman ohjeistuksen mukaan, jotta saataisiin tietää tämän hetkiset huoltokustannukset mallialueelta. Tällöin noudatetaan aiemmin esitettyjä huoltotoimia (liite 2) ja kuvion 5 (s. 25) mukaista tarkastelua.

Liitteessä 3 esitetään komponentin huoltokustannukset. Siinä esitellään myös, kuinka ne on saatu selvitettyä.

Komponentin ikä lasketaan kaavalla 5 (s. 24). Tästä lasketaan huoltovuodet eli ne vuodet, joiden aikana komponenttia vielä huolletaan. Laskettujen huoltovuosien avulla katsotaan huoltokustannukset. Laskettua huoltovuosien määrää verrataan komponentin pitoajan huoltokustannuksiin. Tällöin katsotaan huoltovuosia vastaava vuosi

pitoaikatarkastelusta. Tämän vuoden huoltokustannus kirjataan ylös komponentin huoltokustannukseksi. Tällöin esimerkiksi, jos komponenttia huolletaan 12 vuotta, huoltokustannus katsotaan pitoaikatarkastelusta 12. vuoden kohdalta. Komponenttityyppien pitoajan aikaiset huoltokustannukset esitetään liitteessä 3.

Komponentin huoltokustannukset määritetään jokaiselle mallialueen komponentille oheiseen tapaan. Kun kaikille komponenteille on kerätty niiden huoltokustannukset, voidaan komponentit, jotka kuuluvat tiettyyn muuntamoon (esimerkiksi muuntamoerotimet) kasata muuntamoittain yhteen. Tällöin katsotaan PG:stä tai TeklaNIS:stä, mitkä komponentit kuuluvat millekin muuntamolle. Näiden komponenttien huoltokustannuksista lasketaan yksi yhteinen summa muuntamolle. Muuntamoille itsessään on myös laskettu omat huoltokustannukset, jotka sisältävät muuntamorakenteen huollot (esimerkiksi puistomuuntamolla muuntamon kunnossapidon). Nämäkin huoltokustannukset lasketaan muuntamoiden kokonaiskustannuksiin sen komponenttien huoltokustannusten lisäksi.

Näin ollen ollaan saatu laskettua tämän hetkinen huoltokustannus mallialueella. Mallialueen tulokset Fortumin ohjeistuksen mukaan esitellään liitteessä 5. Koko mallialueen huoltokustannuksiksi saatiin 218 960,45 euroa.

Kuvassa 13 (s. 52) esitetään otos mallialueen tarkastelusta. Tähän on esimerkiksi koottu komponentteja, joita huolletaan, ja joita ei huolleta. Huollon kannattavuus on katsottu huoltovuosista. Jos huoltovuodet ovat suurempia kuin nolla, komponentille suoritetaan huoltotoimia. Komponenteista huolletaan ne, joiden huollon kustannuksen sarakkeeseen (*Huollon kustannus MM:n mukaan* /€) on merkitty ✓. Komponentit, joita ei huolleta, on merkitty merkinnällä ✗. Sarakkeen värin tummuus riippuu siitä, kuinka paljon huolto tulee kustantamaan. Sarake on sitä tummempi, mitä suurempi määrä rahaa joudutaan huoltoon laittamaan.

Tunnus	Rakenne	KytKentäpäivä	Asiakkaat	Arvioitu ikä	Ikä	huoltovuodet	Muuntajan teho /kVA	Huollon kannattavuus MM:n mukaan /€
13775	Puistomu	1.1.2007	8	2007	6	→ 34	200	1287,9
13775	Puistomuuntamo		403	2007	6	34		40575,94
T0357	Puistomuuntamo		78	1975	38	2		0
T0436	Puistomuuntamo		2030	1999	14	26		4085,72
T196	Piiskaerot	1912	2030	1960	53	-23		0
T2	Piiskaerot	1912	403	2009	4	26		746,66
T236	Piiskaerot	1912	403	1970	43	-13		0

Kuva 13. Mallialueen tarkastelu tavan 1 mukaan

Tapa 2: Komponentin ikään pohjautuva huollon kannattavuuden määrittystapa

Mallialueen tarkastelu tavalla 2 aloitetaan katsomalla mallialueesta tehdyn Excel-tiedoston tietoja. Näistä tiedoista tärkeiksi nousevat komponenttien ikätiedot. Näin ollen mallialueen komponenttien puuttuvat ikätiedot pyritään täydentämään edellä esitettyjen tapojen avulla. (Ks. 3.1 Puuttuvan ikätiedon täydentäminen komponentille)

Puutteellisia ikätietoja oli 97 komponentilla. Näistä suurin osa oli erottimia. Puuttuvia ikätietoja lähdettiin täyttämään ohjeiden mukaisesti. Tavalla 1 ikätieto saatiin täydennettyä kahdelle komponentille: linjaerottimelle ja puistomuuntamolle. Tavalla 2 löydettiin puuttuvia ikätietoja 93 komponentille. Näistä useimmat komponentit olivat muuntaerottimia. Tavalla 3 etsittiin ikätieto kahdelle komponentille. Näille löytyi kytkentäpäivä ja tämän mukaan laskettiin komponentin ikä.

Puuttuvien ikätietojen täydentämisen jälkeen voidaan siirtyä tarkastelemaan mallialuetta kuvion 6 (s. 30) mukaisesti. Aluksi komponentit käydään yksitellen läpi. Kun huoltokustannukset on saatu yksittäin komponentille laskettua, voidaan ne komponentit, jotka kuuluvat tiettyyn muuntamoon, yhdistää koskemaan muuntamo.

Seuraavaksi täydennetään mallialueen komponenteille muut tarvittavat alkutiedot (komponentin rakenne ja muuntamoille jakelumuuntajan teho). Tämän jälkeen lähdetään komponenttikohtaisesti määrittämään huollon kannattavuutta seuraten kuviota 6 ja käyttäen kaavoja 3–7 (s. 19–26). Esimerkilaskut on aiemmin esitetty. (Ks. 4.2.2 Tapa 2: komponentin ikään pohjautuva huollon kannattavuuden määrittystapa)

Tarkastelu onnistuu parhaiten niin, että luodaan yksi huollon kannattavuuden laskutaulukko Exceliin. Taulukkoon luodaan solut tutkittavan komponentin tiedoille ja solut, jotka sisältävät kaavat 3, 4, 5, 9 (s. 19–28) ja JHA:n inflaatiollisen hinnan (kaava 7, s. 26). Taulukon tulisi siis sisältää kuvan 5 (s. 25) mukaiset tiedot. Exceliin luodussa taulukossa on muistettava muuttaa ikätiedon asettamisen jälkeen NNA:ta sisältävät kaavat päättymään ja alkamaan oikeasta kohtaa.

Kun komponentin huollonkannattavuus on saatu selvitettyä Excelissä, kirjataan tästä ylös viimeinen huoltovuosi, kun komponentin huolto on vielä kannattavaa. Komponentille selvitetään tämän jälkeen sen huoltovuodet. Huoltovuodet selitetään tavassa 2 niin, että viimeisestä huollon kannattavuuden vuodesta vähennetään komponentin ikä. Näin ollen saadaan kaava 12 muodostettua:

$$\text{Huoltovuodet}(tapa\ 1) = \text{viimeinen huoltovuosi} - \text{komponentin ikä.} \\ (12)$$

tällöin esimerkiksi, jos on jakelumuuntaja, joka on 10 vuotta ja sen huolto kannattaa vuoteen 30 asti, sitä huolletaan

$$\text{Huoltovuodet}(tapa\ 1) = \text{viimeinen huoltovuosi} - \text{komponentin ikä} = 30 - 10 = 20 \\ \text{vuotta.}$$

Kaavan 12 mukaan saadun tiedon perustella katsotaan huoltokustannukset komponentin pitoajalle lasketuista huoltokustannuksista (liite 3). Huoltokustannukset katsotaan huoltovuosia vastaavasta kohdasta.

Tämän jälkeen voidaan tehdä muuntamokohtainen tarkastelu. Ne komponentit, jotka kuuluvat johonkin tiettyyn muuntamoon kasataan yhteen yhden muuntamotunnuksen alle.

Näin ollen ollaan tavalla 2 mukaan saatu selvitettyä huoltokustannukset. Tavalla 2 mallialueelle saadut huoltokustannusten arvot esitetään liitteessä 5. Mallialueen kokonaishuoltokustannuksiksi saatiin 144 864 euroa.

Seuraavaksi tavalla 2 saatua kokonaiskustannusten arvoa verrataan Fortumin tarkastus- ja kunnossapitoöiden käsikirjan mukaan laskettuun arvoon. Huoltokustannusten muutos saadaan laskettua kaavalla 13:

$$\text{Huoltokustannusten vertaus} = MM - \text{Tapa}(x), \quad (13)$$

missä MM on Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden käsikirjan mukaan laskettu huoltokustannusten arvo ja $\text{Tapa}(x)$ on jokin ennakkohuolto-ohjelman huollon kannattavuuden määrittäytavoista. Kaavan 13 avulla voidaan laskea huoltokustannusten muutos, kun tarkastelu tehdään tavalla 2. Tällöin muutokseksi saadaan

$$\text{Huoltokustannusten vertaus} = MM - \text{Tapa}(2) = 269\,294,23 \text{ €} - 144\,864 \text{ €} = 74\,096 \text{ €}.$$

Tavan 2 mukaan huoltokustannukset saadaan siis laskemaan 74 096 euroa nykyisestä. Mallialueen huollonkustannukset saadaan toisinsanottuna laskemaan tavalla 2 noin 34 prosenttia.

Kuvassa 14 esitetään esimerkkikuva siitä, miten huoltokustannukset on laskettu tavan 2 mukaan. Komponenteista huolletaan ne, joiden huollon kustannuksen sarakkeeseen (*Huollon kustannus Tavan 2 mukaan / €*) on merkitty ✓. Komponentit, joita ei huolleta, on merkitty merkinnällä ✗. Sarakkeen värin tummuus riippuu siitä, kuinka paljon huolto tulee kustantamaan. Sarake on sitä tummempi, mitä suurempi määrä rahaa joudutaan huoltoon laittamaan.

Mallialueen huoltokustannukset noudattaen

Tapaa 2: Ikään pohjautuva huollonkannattavuudenn määrittäytksen tapa

Tunnus	Rakenne	Kytkeäpäivä	Asiakkaat	Arvioitu ikä	Pylväät	Ikä	Muuntajan teho /kVA	Viimeinen huoltovuosi (tapa 2)	Huoltovuodet	Huollon kannattavuus tavan 1 mukaan / €	
13775	Jakelumuuntaja	1.1.2007	8	2007		6	200	→	38	→ 32 ✓	1237,88
T0023	Tiilikoppimuuntamo		403	1982		31				✓	945,21
T0023	Tiilikoppimuuntamo	1.1.1912	35	1982		31			40	9 ✓	812,01
T00231	Muuntamoerotin	1912	403	1982		31			40	9 ✓	66,6
T00232	Muuntamoerotin	1912	403	1982		31			40	9 ✓	66,6
T0032	Jakelumuuntaja	1.1.1912	29	1962		51	300		0	-51 ✗	0
T0437	Jakelumuuntaja		128	2011		2	800		39	37 ✓	1672,71
T0437	Puistomuuntamo	1.1.1912	2030	2011		2				✓	6174,58
33667	Muuntamoerotin	1912	2030	2011		2			38	36 ✓	788,06
T0437	Puistomuuntamo	1.1.1912	128	2011		2			38	36 ✓	3810,4
T04371	linjaerotin	1912	2030	2011		2			38	36 ✓	788,06
T04372	linjaerotin	1912	2030	2011		2			38	36 ✓	788,06
T87	Piiskaerotin	1912	2030	1971		42			42	0 ✗	0
T92	Piiskaerotin	1912	2030	2008		5			28	23 ✓	469,99

Kuva 14. Mallialueen tarkastelu tavan 2 mukaan

Huollon kustannukset on kuvassa 14 katsottu sarakkeen *Huoltovuodet* mukaan, sillä tästä nähdään, kuinka pitkään komponenttia huolletaan tavan 2 mukaisesti. Huoltovuodet on laskettu viimeisen huoltovuoden ja komponentin iän pohjalta.

Tapa 3: Luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittämistapa

Kun tavalla 3 tutkitaan mallialueen komponenttien huollon kannattavuutta, täytyy aluksi kerätä mallialueen komponenteille niiltä vaadittavat tiedot. Koko mallialueen tarkastelu tavalla 3 noudattaa kuviota 7 (s. 33).

Komponentit käydään aluksi yksitellen läpi. Lopuksi niiden muuntamoiden, joihin kuuluu useampi komponentti, komponenttien huoltokustannukset kootaan yhdeksi yhteiseksi huoltokustannukseksi.

TeklaNIS:stä haetaan jokaiselle komponentille niiden

- asiakasmäärä
- vikataajuus
- aika, jonka ne ovat ilman sähköä ja
- todennäköinen korvaussumma (asiakasta kohden), joka katkosta syntyy.

Asiakasmäärän ja todennäköisen korvaussumman (asiakasta kohden) avulla voidaan laskea komponentin katkosta seuraava todennäköinen korvaussumma. Tämä saadaan kaavalla 10 (s. 32). Kyseinen arvo selvitetään jokaiselle mallialueen komponentille.

Tästä arvosta vähennetään komponentille lasketut huoltokustannukset (kaava 11, s. 32). Huoltokustannukset katsottiin komponentin huoltovuosien mukaan, jotka selvitettiin kuten Fortumin ohjeistuksen mukaisessa tarkastelussa eli kaavalla 6 (s. 24). Komponentti huolletaan, jos kaavan 11 tulos on positiivinen ja, jos tulos on negatiivinen, ei komponenttia huolleta.

Tämän jälkeen huoltokustannukset merkittiin niille komponenteille, jotka kuuluivat huollettaviin komponentteihin. Näin ollen saatiin tavan 3 mukaiset huoltokustannukset mal-

lialueelle. Komponenttikohtaiset tulokset esitetään liitteessä 5. Mallialueen kokonais-huoltokustannuksiksi saatiin 129 744 euroa.

Seuraavaksi tavalla 3 saatua kokonaiskustannusten arvoa verrataan Fortumin tarkastus- ja kunnossapitoöiden käsikirjan mukaan laskettuun arvoon. Huoltokustannusten muutos saadaan laskettua kaavalla 13 (s. 54):

$$\text{Huoltokustannusten vertaus} = TK - \text{Tapa}(3) = 269\,294,23 \text{ €} - 129\,744 \text{ €} = 89\,186 \text{ €}.$$

Tavan 3 mukaan huoltokustannukset saadaan siis laskemaan 89 186 euroa nykyisestä. Mallialueen huollonkustannukset saadaan toisinsanottuna laskemaan tavalla 3 noin 41 prosenttia.

Kuvassa 15 esitetään esimerkki siitä, miltä tavan 3 määrittäminen mallialueella näytti. Tähän on kerätty huollettavia komponentteja (merkintä ✓) ja niitä komponentteja, joita ei huollata (merkintä ✗). Sarakkeen tummuus viittaa huoltokustannuksen suuruuteen.

Mallialueen huoltokustannukset noudattaen

Tapaa 3: Luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittystapa

Tunnus	Rakenne	Kytkentäpäivä	Asiakas	Avioitu ikä	Pylväät	Rä	Mauntajärj.	Korvaussumma vasta (per asikaat) / €	Komponentin aiheuttama korvaussumma katkosta / €	Katkon kustannus suurempi kuin huollon	Parametri	Huollon kannattavuus tavalla 3 / €
13775	Jakelumuntaja	1.1.2007	8	2007		6	200	11,021	88,168	-1199,732	2	0
15271	VAIN EROTTIMET	2008	2030	2008		5			442052,8	440476,68	1	1576,12
26493	Muuntamoerotin	2008	2030	2008		5		108,88	221026,4	220238,34	1	788,06
2649309	maadoituserotin	2008	2030	2008		5		108,88	221026,4	220238,34	1	788,06
T0032	Jakelumuntaja	1.1.1912	29	1962		51	300	426,62	12429,98	12429,98	1	0
T0436	Jakelumuntaja	4384	119	1999		14	500	453,67	53986,73	52772,68	1	1214,05
T0176	Pylväsmuuntamo	1.1.1912	23	1971	1	42		421,6		9696,8	1	0
T0311	Jakelumuntaja			1976		37	200	425,99	0	-697,07	2	0
T0311	Pylväsmuuntamo	1.1.1912	31	1976	2	37		425,99	13205,69	13042,29	1	163,4
T0374	Jakelumuntaja	2008				5	315	130,06		-1294,05	2	0
T0374	Pylväsmuuntamo	1.1.1912	37	2008	2	5		130,06	4812,22	1976,05	1	2636,17
T0570	Jakelumuntaja			2001		12	200	130,06		-1143,61	2	0
T0570	Pylväsmuuntamo	1.1.1912	32	2001	2	12		130,06	4161,92	1815,71	1	2346,21

Kuva 15. Mallialueen tarkastelu tavan 3 mukaan

Kuvassa 15 esitetään parametrit omassa sarakkeessaan (violetilla suorakaiteella merkitty tieto). Komponentti saa parametrin arvon 1 tai 2 (huolto tai ei huoltoa) sen mukaan, mitä *Katkon kustannus suurempi kuin huollon*-sarake kertoo. Jos tämän sarakkeen tulos menee negatiiviseksi, annetaan parametri 2. Tällöin tapa 3 sulkee nämä komponentit huollettavien komponenttien listalta pois.

Ikään ja luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittäminen

Tapojen 2 ja 3 yhdistäminen on vielä yksi tarkastelumahdollisuus mallialueella. Tällöin noudatetaan kuviota 8 (s. 34).

Ensiksi mallialueen komponentit käsitellään tavan 3 mukaan. Tällöin voidaan käyttää hyväksi edellä laskettua tulosta. Tästä tuloksesta poistetaan ne komponentit, jotka tavan 2 mukaan eivät kuuluneet huollon kannattavuuden piiriin. Näin saadaan käsiteltyä mallialue tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä.

Tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä saadaan huollon kustannuksiksi 109 719 euroa. Tätä arvoa verrataan Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden käsikirjan mukaan saatuihin huoltokustannuksiin. Muutosta Fortumin ohjeistukseen on kaavan 13 (s. 54) mukaan

$$\text{Huoltokustannusten vertaus} = TK - \text{Tapa}(2 + 3) = 269\,294,23 \text{ €} - 109\,719 \text{ €} = 109\,241 \text{ €}.$$

Tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä huoltokustannukset saadaan siis laskemaan 109 241 euroa nykyisestä käytännöstä. Huoltokustannukset tulevat siis laskemaan noin 50 prosenttia.

Kuvassa 16 esitetään esimerkkitaulukko siitä, kuinka tapojen 2 ja 3 yhdistelmä toteutettiin Excelissä. Huollettavat komponentit on merkitty merkillä ✓ ja ne komponentit, joita ei huolleta, on merkitty merkillä ✗.

Mallialueen huoltokustannukset noudattaen

Tapaa 2+3: Ikään ja luotettavuuslaskentaan perustuva huollon kannattavuuden määrittäminen

Tunnus	Rakene	Asiakas	Asiointi ikä	Muuntajan t	Välisein huoltovuos (tapa 1)	Huoltovuodet	Huollon kannattavuus komponentin län mukaan //	Parametri	Huollon kannattavuus luotettavuuslaskennalla //
T3775	Puistomuuntamo	403	2007				6647,75	1 ✓	6647,75
T0347	Jakelumuuntaja	125	1995	800	39	21	1218,48	1 ✓	1218,48
T0347	Puistomuuntamo	2030	1995				4327,95	1 ✓	4327,95
T0356	Jakelumuuntaja	59	1981	500	39	7	833,36	1 ✓	833,36
T0357	Puistomuuntamo	78	1975				0	1 ✗	0
T0436	Jakelumuuntaja	119	1999	500	39	25	1190,24	1 ✓	1190,24
T0436	Puistomuuntamo	2030	1999				3227,74	1 ✓	3227,74
T0470	Jakelumuuntaja	223	1997	800	39	23	1267,7	1 ✓	1267,7
T0470	Puistomuuntamo	2030	1997				4437,91	1 ✓	4437,91
T0579	Jakelumuuntaja	2	2001	800	39	27	1372,2	2 ✗	0
T0579	Puistomuuntamo	2030	2001				5379,24	1 ✓	5379,24
T0267	Jakelumuuntaja	85	1975	500	39	1	740	1 ✓	740
T0083	Pylväsmuuntamo	13	2006		36	29	2507,04	1 ✓	2507,04
T0570	Jakelumuuntaja	3	2001	200	38	26	1099,21	2 ✗	0
T0570	Pylväsmuuntamo	32	2001		36	24	2005,26	1 ✓	2005,26
T106	Iinjaerotin	403	1978		35	0	0	1 ✗	0
T92	Piiskaerotin	2030	2008		28	23	469,99	1 ✓	469,99

Kuva 16. Mallialueen tarkastelu tapojen 2 ja 3 mukaan

Kuvassa 16 näkyy molempien tapojen tiedoista ne tiedot, jotka vaikuttavat saatavaan lopputulokseen. Violetilla suorakaiteella on merkitty tieto, joka loppujenlopuksi määrittää, huolletaanko komponenttia vai ei.

Näin ollen mallialue on saatu tarkasteltua ennakkohuolto-ohjelman tarkastelutapojen mukaan. Ennakkohuolto-ohjelman mukaisilla tavoilla 2 ja 3 sekä niiden yhdistelmällä saadaan siis huoltokustannuksia laskemaan nykyisestä käytännöstä.

5.3 Suunnitellut huoltotoimet

Mallialue on tutkittu ennakkohuolto-ohjelman mukaisilla tavoilla. Näiden tapojen avulla saadaan määritettyä uudet määrät suoritettaville huolloille. Taulukossa 3 (s. 59) esitetään mallialueen huoltotoimien tiedot eri tapojen perusteella. Huoltotoimia tullaan suorittamaan komponentin pitoajan loppuun tai sitten tavan 2 mukaan laskettuun viimeiseen huoltovuoteen asti.

Taulukosta 3 (s. 59) nähdään mallialueen tulosten muutos komponenttikohtaisesti ja kokonaisuudessaan eri ennakkohuolto-ohjelman tavoilla. Taulukosta 3 voidaan myös nähdä, kuinka monta huoltotoimea kuhunkin määrittystapaan kuuluu. Tarkastelutapa 2 laskee huoltotoimien määrää 134 kappaletta verrattuna nykyiseen käytäntöön. Tarkastelutapa 3 laskee huoltotoimien määrää 237 kappaletta nykyiseen käytäntöön nähden. Tarkastelutapojen 2 ja 3 yhdistelmä laskee huoltotoimia 284 kappaletta verrattuna nykyiseen käytäntöön. Näin ollen voidaankin todeta, että tavat 2, 3 ja niiden yhdistelmä tulevat vähentämään huoltotoimien määrää.

Suoritettavat huoltotoimet ovat liitteen 2 mukaisia ja niitä suoritetaan liitteen 2 mukaisilla aikaväleillä. Huoltotoimia suoritetaan niin pitkään kuin kukin tapa näin esittää. Taulukon 3 (s. 59) tiedot on toteutettu näiden vaatimusten mukaan.

Taulukko 3. Mallialueen komponenttien huoltotoimien muutokset eri tavoilla

Komponentti	Määrittystapa	Kustannukset	Viimeinen huoltovuosi	Huoltojen määrä	Muutos MM:n	Muutos prosentina
Jakelumuuntajat	MM:n mukaan	36 635 €	40	EI MM:N MUKAISIA HUOLTOJA	0	0,00 %
	Ikä	31 612 €	Keskiarvo 37	EI MM:N MUKAISIA HUOLTOJA	4 973 €	13,58 %
	Luotettavuuslaskenta	22 317 €	40	EI MM:N MUKAISIA HUOLTOJA	14 318 €	39,08 %
	Luotettavuuslaskenta +ikä	19 355 €	Keskiarvo 37	EI MM:N MUKAISIA HUOLTOJA	17 280 €	47,17 %
Muuntamot	MM:n mukaan	115 789 €	40	605	0	0,00 %
	Ikä	59 359 €	Keskiarvo 38	540	56 431 €	48,74 %
	Luotettavuuslaskenta	41 099 €	40	368	74 690 €	64,51 %
	Luotettavuuslaskenta +ikä	36 649 €	Keskiarvo 38	321	79 140 €	68,35 %
Erottimet	MM:n mukaan	66 358 €	40	587	0	0,00 %
	Ikä	53 715 €	Keskiarvo 38	518	12 643 €	19,05 %
	Luotettavuuslaskenta	66 358 €	40	587	0 €	0,00 %
	Luotettavuuslaskenta +ikä	53 715 €	Keskiarvo 38	587	12 643 €	19,05 %
Katkaisija	MM:n mukaan	178 €	40	3	0	0,00 %
	Ikä	178 €	40	3	0 €	0,00 %
	Luotettavuuslaskenta	0 €	40	3	178 €	100,00 %
	Luotettavuuslaskenta +ikä	0 €	40	3	0 €	0,00 %

Kaikki komponentit mallialueelta	MM:n mukaan	218 960 €	40	1195	0	0,00 %
	Ikä	144 864 €	Keskiarvo 38	1061	74 096 €	33,84 %
	Luotettavuuslaskenta	129 774 €	40	958	89 186 €	40,73 %
	Luotettavuuslaskenta +ikä	109 719 €	Keskiarvo 38	911	109 241 €	49,89 %

Kuvassa 8 (s. 44) esiteltiin mallialue. Liitteessä 6 esitetään samalle mallialueen kartta-pohjalle tehty ennakkohuolto-ohjelman mukainen huolto-ohjelma. Tähän on siis merkitty kaikki mallialueen komponentit sekä niiden huollontarve eri määrittystavoilla. Merkityille komponenteille suoritetaan liitteen 2 mukaiset huoltotoimet. Liitteeseen 6 on koottu myös esimerkiksi kuormaerottimen 33675 ja puistomuuntamon T0579 huoltojen määrän muutos eri määrittystavoilla. Huoltotoimet suoritetaan kuten edellä mainittiin komponentin pitoajan loppuun tai sitten tavalla 2 laskettuun viimeiseen huoltovuoteen asti.

6 Yhteenveto

Komponenttien säännöllinen tarkastus ja huolto on edellytys luotettavalle ja turvalliselle sähköverkolle. Näin ollen näiden laiminlyönti vaikuttaa verkkoyhtiön talouteen sekä jakeluverkon luotettavuuteen että turvallisuuteen.

Työssä kehitettiin uudenlainen ennakkohuolto-ohjelma. Työssä esitetty ennakkohuolto-ohjelma esittelee yhteensä neljä eri tapaa siitä, miten ennakkohuolto-ohjelman piiriin kuuluvat komponentit voidaan määrittää.

Ensimmäinen tapa on nykyisen käytännön mukainen. Tässä siis noudatetaan Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistusta komponentin pitoajan loppuun asti. Tapa on luotettava, sillä sen mukaan kaikki komponentit käydään läpi tasaisin väliajoin. Ongelmana on kuitenkin se, että turhia huoltotoimia ja tarkastuksia tehdään tämän ohjeistuksen mukaan. Näin ollen tapa 1 ei ole kustannustehokkain ratkaisu.

Toinen tapa on sallittuun tuottoon perustuva määritystapa. Tällä rajataan ne komponentit, jotka eivät tuota tuottoa, pois ennakkohuolto-ohjelman piiristä. Tällöin siis, kun tuotto ja poistot eivät kata huoltokustannuksia, ei huoltotoimia tehdä. Tällöin komponentti siirtyy uudelleen investoinnin piiriin. Tapa 2 on siis taloudellisempi kuin tapa 1. Se myös säilyttää jakeluverkon turvallisuuden ja luotettavuuden.

Kolmas tapa on vikataajuuteen pohjautuva määritystapa. Tällöin komponentin todennäköisyys vioittumiselle huomioidaan huollon kannattavuutta määritettäessä. Samalla huomioidaan komponenttien asiakasmäärät. Tapa 3 takaa hyvän luotettavuuden tiheästi asutuille alueille. Samalla sillä voidaan myös pienentää huollon kustannuksia tehokkaasti.

Neljäs tapa on tapojen 2 ja 3 yhdistelmä. Tällöin huomioidaan komponentin huollon kannattavuus sallitun tuoton perusteella sekä vikataajuuden ja asiakasmäärän vaikutus komponentin huollon tärkeydessä. Näin ollen huoltokustannuksia saadaan entisestään pienennettyä. Verko säilyttää luotettavuutensa myös niillä alueilla, joilla on monta asiakasta yhtä komponenttia kohden.

Ennakkohuolto-ohjelma tarjoaa keinon huollontarpeeltaan tärkeimpien komponenttien luokitteluun. Tällöin näille komponenteille voidaan suorittaa ennakkohuoltoa.

Ennakkohuolto-ohjelma säilyttää verkon luotettavuuden, taloudellisuuden ja turvallisuuden sillä huoltoja voidaan tehdä muutoinkin kuin ennakkohuoltoina. Ennakkohuolto-ohjelma auttaa vain erottelemaan näistä tärkeimmät komponentit, jotta ainakin nämä saadaan huollettua.

Ennakkohuolto-ohjelmaa soveltamalla voidaan tulevaisuudessa optimoida yhä suurempi osa tavallisista huoltotoimista. Näin saavutetaan myös taloudellista etua tinkimättä turvallisuudesta ja verkon luotettavuudesta. Taloudellista etua saavutetaan jo siinä, että tarkastuksia korjataan suoraan huoltotoimilla. Ennakkohuolto-ohjelman avulla voidaan myös tiettyyn pisteeseen asti ennakoida verkon vioittumista, ja tällöin verkon luotettavuus sekä turvallisuus saadaan säilytettyä. Näin ollen ennakkohuolto-ohjelmassa on suuri potentiaali kehittää verkkoyhtiön huolto-ohjelmaa kannattavammaksi.

Lähteet

- 1 Fortum lyhyesti. 2012. Fortumin kotisivut. <http://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-lyhyesti/pages/default.aspx>. Luettu 10.1.2013
- 2 Fortumin esite. 2012. Esite. Kuva 1 sivulta 4. <http://verkkojulkaisu.viivamedia.fi/fortumesfi/yleisesite2012>. Luettu 10.1.2013
- 3 Electricity solutions & distribution -divisioona. 2013. Fortumin konsernin rakenne. Sisäinen diaesitys. ESD_PRESENTATION_NEWTEMPLATE_FINNISH. Luettu 10.1.2013
- 4 Aura, L. & Tonteri A. J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. WSOY. Helsinki.
- 5 Matsinen Arto. 2013. Kunnossapitoinsinööri, Fortum Sähkönsiirto Oy. Kommentit insinööriyöhön. 14.4.2013. Espoo.
- 6 ABB:n TTT-käsikirja 2000-7. 2000. Verkkodokumentti. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf. Luettu 20.2.2013
- 7 Tiedot Fortumin verkon nykytilasta. 2013. Power Grid. Citrix.GE Energy. Tieto Fortumin verkonhallintajärjestelmä.
- 8 Elovaara J. & Haarala L. 2011. Sähköverkot II, verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto. Helsinki.
- 9 SFS-käsikirja 600-2. Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähköturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. 1. painos. 2012. Suomen standardisointiliitto SFS Ry. Helsinki.
- 10 Fortumin tarkastus- ja huolto-ohje. Tarkastus- ja kunnossapitotöiden käsikirja. 2005. Sisäinen dokumentti. Luettu 14.1.2013
- 11 Fortum maintenance manual. Kunnossapidon käsikirja. 2011. Sisäinen dokumentti. Luettu 14.2.2013.
- 12 Matsinen Arto. 2013. Kunnossapitoinsinööri, Fortum Sähkönsiirto Oy. Keskustelu 13.3.2013. Espoo.
- 13 Helikopteritarkastusten data. 2013. Fortumin kuntotarkastuksissa kerätty data. Visimind Production.

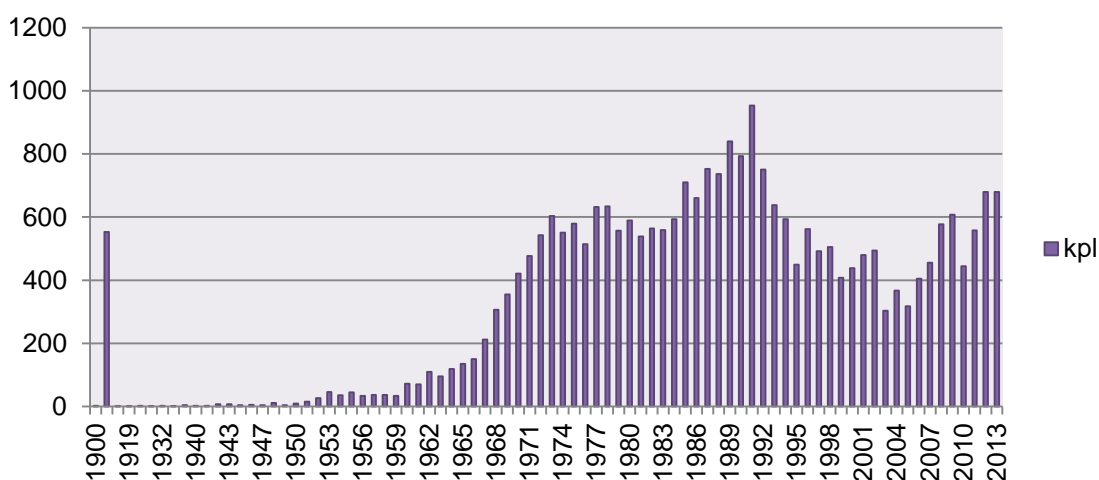
- 14 Lehtonen, Olli. 2012. SF6-kaasu sähkökojeistoissa. Seminaariesitys. http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/03_sf6-kaasu_sahkokojeistoissa.pdf. Luettu 8.2.2013.
- 15 Kaarlela, M. et al. 2013. Aluevastaavien ja kunnossapitovastaavien kanssa käyty palaveri. 11.2.2013. Espoo.
- 16 Keski-ikä huomiointi sähköverkon nykykäyttöarvon laskennassa. Verkostokomponenttien puuttuvien ikätietojen määrittäminen. 2011. Energiamarkkinavirasto, Emv. Perustelumuistio. Helsinki.
- 17 Korpijärvi, Juha. 2012. Aging based maintenance and reinvestment scheduling of electric distribution network. Thesis for the degree of Doctor of Science. Lappeenranta University of Technology.
- 18 Verho, P., Pylvänäinen, J., Järvinen, J., Oravasaari, M., Kunttu, S. & Sarsama, J. 2005. Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi (LuoVa)–projektin loppuraportti. Loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.
- 19 Koponen Erik. 2013. Diplomityöntekijä, Fortum Sähkönsiirto Oy. Keskustelu 8.2.2013. Espoo.
- 20 Partanen, J. & Verho, P. 2010. Sähköjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto & Tampereen teknillinen yliopisto. Lappeenranta & Tampere.
- 21 Verkkokomponentit ja indeksikorjatut yksikköhinnat vuodelle 2013. 2013. EMV:n ohjearvot komponenttien hinnoille. Excel-taulukko. Fortumin sisäinen tiedonjako. Luettu 13.3.2013.
- 22 Microsoft Office excel-help. 2013. Nettonykyarvon eli NNA:n laskeminen. Nettisivu. <http://office.microsoft.com/fi-fi/excel-help/nettonykyarvon-ja-sisaisen-koron-laskeminen-excelissa-HA010342558.aspx>. Luettu 23.4.2013.
- 23 Huoltojen hinnat. 2013. Fortumin sisäinen tiedonjako. Excel-taulukko huollon hinnoista komponenttityypeittäin ja alueittain.
- 24 Tiedot Fortumin verkon nykytilasta. TEKLA Power System Analysis. Tekla Corporation. 2013.

Fortumin jakelumuuntajien, erottimien ja katkaisijoiden määrä iän mukaan

Tässä liitteessä esitetään Fortumin verkossa olevat jakelumuuntajat, erottimet ja katkaisijat PG:seen ilmoitetun ikätietonsa pohjalta. Komponentit on jaoteltu valmistusvuotensa mukaan niin, että kyseisenä vuonna valmistettujen komponenttien määrät näkyvät. Muuntamoita ei erikseen esitellä, sillä niiden ikätiedon puute heijastuu yleensä jakelumuuntajien ja erottimien ikätiedon puutteessa. Näin ollen se voidaan pitkälti nähdä kuvioista 1 ja 2. Kuviot 1–3 esittävät hyvin, kuinka monelta komponentilta ikätieto puuttuu.

Kuviossa 1 esitetään jakelumuuntajien määrä Fortumin verkossa kytkentävuoden mukaan. Kytkentävuoden ollessa 1900–1932 kytkentävuosi on tuntematon (ikä tietoa ei tunneta) Fortumin verkostonhallintajärjestelmässä.

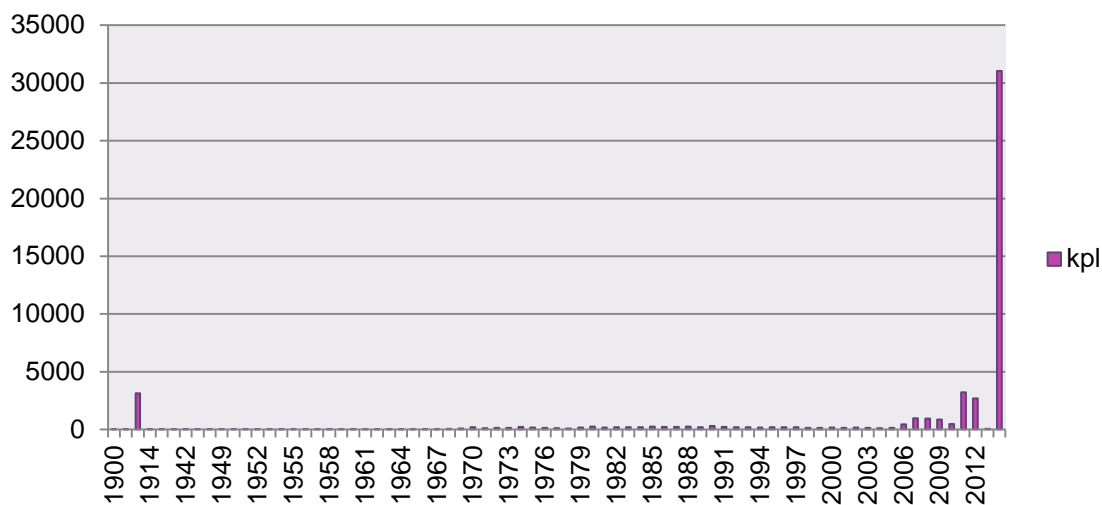
JAKELUMUUNTAJAT: kpl/valmistusvuosi



Kuvio 1. Fortumin jakelumuuntajien määrän ja kytkentävuoden mukaan

Kuviossa 2 (s. 2) esitetään erottimien määrä Fortumin verkossa niiden valmistusvuoden mukaan. Valmistusvuoden ollessa 1900, 1914 tai tyhjä, ei valmistusvuotta tunneta eli ikätieto puuttuu.

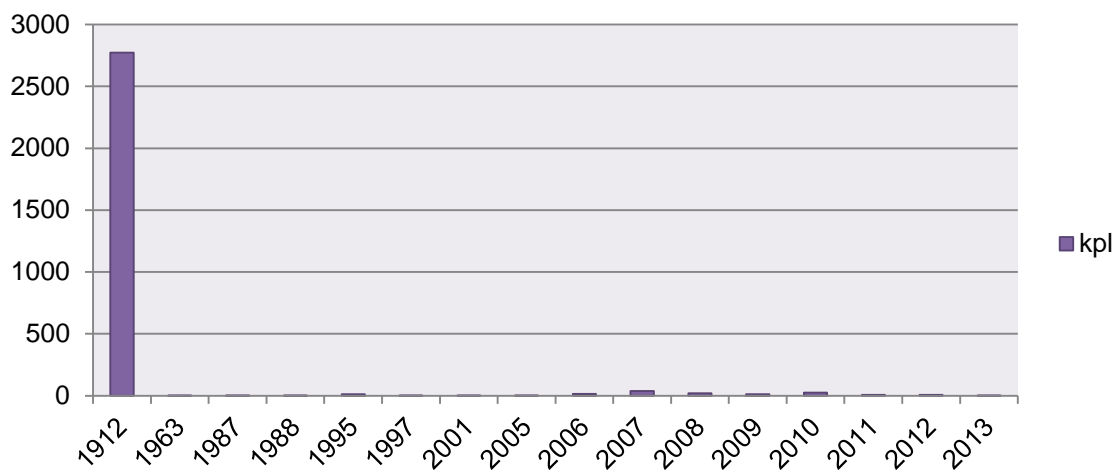
EROTTIMET: kpl/valmistusvuosi



Kuvio 2. Fortumin erottimet määrän ja valmistusvuoden mukaan

Kuviossa 3 esitetään katkaisijoiden lukumäärä Fortumin verkossa valmistusvuoden mukaan. 1912 on merkitty valmistusvuodeksi, kun sitä ei ole tiedetty.

KATKAISIJAT: kpl/valmistusvuosi



Kuvio 3. Fortumin katkaisijoiden määrän ja valmistusvuoden mukaan

Ennakkohuolto-ohjelman huoltotoimenpiteet

Tässä liitteessä esitetään ennakkohuolto-ohjelman huoltotoimenpiteet ja niille suositeltavat aikavälit (taulukot 1–3). Taulukossa 1 esitetään muuntamolle ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimet. Suoritettavat huoltotoimet riippuvat muuntamon tyyppistä ja tästä syystä taulukkoon on eritelty se, minkä tyyppisille muuntamoille huoltotoimi suoritetaan.

Taulukko 1. Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimet muuntamoille

Aikaväli / v	Muuntamotyyppi	Huoltotoimi
6–12	kaikki muuntamot, jotka ei osana yhtenäistä maadoitusverkkoa	maadoitusmittaus
0,25*	puistomuuntamot	kunnossapito
8	kaikki	kiinteistönhoito
2	kaikki muuntamot	lämpökuvaus
6	kaikki muuntamot	laaja tarkastaminen

*Käytännössä 6 vuotta.

Jakelumuntajille ei ole erillisiä huoltoja. Niitä ei siis huolleta niiden ollessa osana verkkoa. Ne huolletaan vain, jos ne poistetaan verkosta, ja on todettu niiden olevan sen verran hyvässä kunnossa, että huolto tuo niiden elinikaareen lisäpituutta. Muuten jakelumuntaja romutetaan.

Taulukosta 2 voidaan huomata katkaisijoiden ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimenpiteet. Näille on olemassa vain yksi huoltotoimi.

Taulukko 2. Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimenpiteet katkaisijoille

Aikaväli / v	Katkaisijatyyppe	Huoltotoimi
6–12*	kaikki	kuntotarkastus

* Huoltoväli 6 vuotta, kun katkaisijalla erillinen koestus, muuten 12 vuotta.

Taulukossa 3 (s. 2) esitetään erottimille ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimet. Huoltotoimet ovat joko ennakoivaa huoltoa tai kuntotarkastusta.

Taulukko 3. Ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltotoimet erottimille

Aikaväli / v.	Erotintyyppi	Huoltotoimi
12	ilmajohdoissa tai toissijaisissa muuntamoissa olevat erottimet	ennakoiva huolto
6	kaikki	kuntotarkastus

Nämä huoltotoimet (taulukot 1–3) ovat niitä toimenpiteitä, joilla ennakkohuolto-ohjelma on määritetty. Huoltotoimet ovat Fortumin kunnossapidon käsikirjan mukaisia.

Ennakkohuolto-ohjelman huoltokustannukset

Tähän liitteeseen koottiin lasketut huoltokustannukset (taulukot 1 ja 2). Taulukossa 1 esitetään kiinteistömuuntamoiden, puistomuuntamoiden, pylväsmuuntamoiden, tiilikoppimuuntamoiden ja katkaisijoiden huoltokustannukset 40 vuoden pitoajalle.

Taulukko 1. Huoltokustannukset kiinteistömuuntamoille, puistomuuntamoille, pylväsmuuntamoille, tiilikoppimuuntamoille ja katkaisijoille

Vuosi	MUUNTAMOT:				KATAKISIJAT
	kiinteistömuuntamot	puistomuuntamot	pylväsmuuntamot	tiilikoppimuuntamot	
1	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
2	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
3	163,40 €	163,40 €	163,40 €	163,40 €	0,00 €
4	163,40 €	163,40 €	163,40 €	163,40 €	0,00 €
5	422,08 €	422,08 €	422,08 €	422,08 €	0,00 €
6	422,08 €	422,08 €	422,08 €	422,08 €	0,00 €
7	573,03 €	573,03 €	573,03 €	573,03 €	66,60 €
8	573,03 €	573,03 €	573,03 €	573,03 €	66,60 €
9	812,01 €	940,03 €	812,01 €	812,01 €	66,60 €
10	812,01 €	940,03 €	812,01 €	812,01 €	66,60 €
11	951,47 €	1 079,49 €	951,47 €	951,47 €	66,60 €
12	951,47 €	1 079,49 €	951,47 €	951,47 €	66,60 €
13	1 255,04 €	1 698,46 €	1 255,04 €	1 255,04 €	125,73 €
14	1 255,04 €	1 698,46 €	1 255,04 €	1 255,04 €	125,73 €
15	1 383,88 €	1 827,30 €	1 383,88 €	1 383,88 €	125,73 €
16	1 383,88 €	1 827,30 €	1 383,88 €	1 383,88 €	125,73 €
17	1 587,84 €	2 140,53 €	1 587,84 €	1 587,84 €	125,73 €
18	1 587,84 €	2 140,53 €	1 587,84 €	1 587,84 €	125,73 €
19	1 706,87 €	2 259,56 €	1 706,87 €	1 706,87 €	178,25 €
20	1 706,87 €	2 259,56 €	1 706,87 €	1 706,87 €	178,25 €
21	1 895,30 €	2 447,99 €	1 895,30 €	1 895,30 €	178,25 €
22	1 895,30 €	2 447,99 €	1 895,30 €	1 895,30 €	178,25 €
23	2 005,26 €	2 557,95 €	2 005,26 €	2 005,26 €	178,25 €
24	2 005,26 €	2 557,95 €	2 005,26 €	2 005,26 €	178,25 €
25	2 244,62 €	3 139,26 €	2 244,62 €	2 244,62 €	224,88 €
26	2 244,62 €	3 139,26 €	2 244,62 €	2 244,62 €	224,88 €
27	2 346,21 €	3 240,85 €	2 346,21 €	2 346,21 €	224,88 €
28	2 346,21 €	3 240,85 €	2 346,21 €	2 346,21 €	224,88 €
29	2 507,04 €	3 401,67 €	2 507,04 €	2 507,04 €	224,88 €
30	2 507,04 €	3 401,67 €	2 507,04 €	2 507,04 €	224,88 €
31	2 600,89 €	3 495,52 €	2 600,89 €	2 600,89 €	266,28 €
32	2 600,89 €	3 495,52 €	2 600,89 €	2 600,89 €	266,28 €
33	2 749,47 €	3 723,70 €	2 749,47 €	2 749,47 €	266,28 €
34	2 749,47 €	3 723,70 €	2 749,47 €	2 749,47 €	266,28 €
35	2 836,17 €	3 810,40 €	2 836,17 €	2 836,17 €	266,28 €
36	2 836,17 €	3 810,40 €	2 836,17 €	2 836,17 €	266,28 €
37	3 024,91 €	4 195,23 €	3 024,91 €	3 024,91 €	303,05 €
38	3 024,91 €	4 195,23 €	3 024,91 €	3 024,91 €	303,05 €
39	3 105,01 €	4 275,33 €	3 105,01 €	3 105,01 €	303,05 €
40	3 385,01 €	4 705,33 €	3 385,01 €	3 385,01 €	303,05 €

Taulukko 2 esittää huoltokustannukset jakelumuuntajille (tehoille: 100 kVA, 200 kVA, 300–315 kVA, 500 kVA ja 800 kVA) sekä erottimille. Tarkastelu on tehty 40 vuoden pitoajalle.

Taulukko 2. Huoltokustannukset jakelumuuntajille (tehoittain) ja erottimille

vuosi	JAKELUMUUNATAJAT 100 kVA	200 kVA	300-315 kVA	500 kVA	800 kVA	EROTTIMET
1	580,00 €	670,00 €	660,00 €	740,00 €	820,00 €	0,00 €
2	591,60 €	683,40 €	673,20 €	754,80 €	836,40 €	0,00 €
3	603,43 €	697,07 €	686,66 €	769,90 €	853,13 €	0,00 €
4	615,50 €	711,01 €	700,40 €	785,29 €	870,19 €	0,00 €
5	627,81 €	725,23 €	714,41 €	801,00 €	887,59 €	0,00 €
6	640,37 €	739,73 €	728,69 €	817,02 €	905,35 €	0,00 €
7	653,17 €	754,53 €	743,27 €	833,36 €	923,45 €	66,60 €
8	666,24 €	769,62 €	758,13 €	850,03 €	941,92 €	66,60 €
9	679,56 €	785,01 €	773,30 €	867,03 €	960,76 €	66,60 €
10	693,15 €	800,71 €	788,76 €	884,37 €	979,98 €	66,60 €
11	707,02 €	816,73 €	804,54 €	902,06 €	999,58 €	66,60 €
12	721,16 €	833,06 €	820,63 €	920,10 €	1 019,57 €	66,60 €
13	735,58 €	849,72 €	837,04 €	938,50 €	1 039,96 €	417,48 €
14	750,29 €	866,72 €	853,78 €	957,27 €	1 060,76 €	417,48 €
15	765,30 €	884,05 €	870,86 €	976,41 €	1 081,97 €	417,48 €
16	780,60 €	901,73 €	888,27 €	995,94 €	1 103,61 €	417,48 €
17	796,22 €	919,77 €	906,04 €	1 015,86 €	1 125,68 €	417,48 €
18	812,14 €	938,16 €	924,16 €	1 036,18 €	1 148,20 €	417,48 €
19	828,38 €	956,92 €	942,64 €	1 056,90 €	1 171,16 €	469,99 €
20	844,95 €	976,06 €	961,50 €	1 078,04 €	1 194,59 €	469,99 €
21	861,85 €	995,58 €	980,73 €	1 099,60 €	1 218,48 €	469,99 €
22	879,09 €	1 015,50 €	1 000,34 €	1 121,59 €	1 242,85 €	469,99 €
23	896,67 €	1 035,81 €	1 020,35 €	1 144,02 €	1 267,70 €	469,99 €
24	914,60 €	1 056,52 €	1 040,75 €	1 166,91 €	1 293,06 €	469,99 €
25	932,89 €	1 077,65 €	1 061,57 €	1 190,24 €	1 318,92 €	746,66 €
26	951,55 €	1 099,21 €	1 082,80 €	1 214,05 €	1 345,30 €	746,66 €
27	970,58 €	1 121,19 €	1 104,46 €	1 238,33 €	1 372,20 €	746,66 €
28	989,99 €	1 143,61 €	1 126,55 €	1 263,10 €	1 399,65 €	746,66 €
29	1 009,79 €	1 166,49 €	1 149,08 €	1 288,36 €	1 427,64 €	746,66 €
30	1 029,99 €	1 189,82 €	1 172,06 €	1 314,13 €	1 456,19 €	746,66 €
31	1 050,59 €	1 213,61 €	1 195,50 €	1 340,41 €	1 485,32 €	788,06 €
32	1 071,60 €	1 237,88 €	1 219,41 €	1 367,22 €	1 515,02 €	788,06 €
33	1 093,03 €	1 262,64 €	1 243,80 €	1 394,56 €	1 545,32 €	788,06 €
34	1 114,89 €	1 287,90 €	1 268,67 €	1 422,45 €	1 576,23 €	788,06 €
35	1 137,19 €	1 313,65 €	1 294,05 €	1 450,90 €	1 607,75 €	788,06 €
36	1 159,94 €	1 339,93 €	1 319,93 €	1 479,92 €	1 639,91 €	788,06 €
37	1 183,13 €	1 366,72 €	1 346,33 €	1 509,52 €	1 672,71 €	1006,21 €
38	1 206,80 €	1 394,06 €	1 373,25 €	1 539,71 €	1 706,16 €	1006,21 €
39	1 230,93 €	1 421,94 €	1 400,72 €	1 570,50 €	1 740,29 €	1006,21 €
40	1 255,55 €	1 450,38 €	1 428,73 €	1 601,91 €	1 775,09 €	1006,21 €

Huoltokustannukset laskettiin aiemmin esitetyllä tavalla kuvion 4 (sivu 21) mukaisesti. Lisäksi taulukoissa esitetyt huoltokustannukset on muunnettu vastaamaan kokonaiskustannuksia. Näin ollen niihin on huomioitu inflaatio. Jokaista vuotta vastaava huoltokustannus kertoo myös sen summan, kuinka paljon kyseisen komponentin (poikkeuk-

sena jakelumuuntajat) huoltoon on siihen mennessä laitettu rahaa (NNA). Näin ollen esimerkiksi erottimen huoltamiseen on 15. vuonna laitettu 417,48 euroa.

Jakelumuuntajien huoltokustannukset on laskettu niin, että jos jakelumuuntaja päätetään huoltaa ensimmäisenä vuonna, on sen huoltokustannus x euroa. Jos huolto kuitenkin päätetään tehdä vasta seuraavana vuonna, on sen huoltokustannus ensimmäisen vuoden huoltokustannus kerrottuna inflaatiokertoimella. Jos huolto päätetään tehdä kolmantena vuonna, on sen vuoden huoltokustannus toisen vuoden huoltokustannus kerrottuna inflaatiokertoimella ja niin edelleen.

Kun huoltokustannukset halutaan määrittää Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen mukaan, huoltokustannukset katsotaan komponenteille niiden huoltovuosien perusteella. Huoltovuodet komponentille selvitetään kaavalla 6 (s. 24, laskut esitetty aiemmin). Tätä arvoa verrataan taulukkojen 1 ja 2 huoltokustannuksiin. Tällöin esimerkiksi, jos kiinteistömuuntamoaa tulee huoltaa 10 vuotta, on sen huoltokustannukset 3 682,93 euroa. (Ks. 5.2 Mallialueen tarkastelu Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen mukaan)

Kun huoltokustannukset halutaan määrittää tavalla 2 (ikään perustuva huollontarpeen määrittämisen tapa), huoltokustannukset katsotaan myös komponentin huoltovuosien perusteella. Tällöin huoltovuodet kuitenkin selvitetään kaavalla 12 (s. 53). Esimerkiksi muuntamoerotin 2210 on valmistettu vuonna 2007 eli se on 6 vuotta vanha. Tavalla 2 tutkittaessa sen huolto kannattaa viimeisen kerran 38 vuotena. Näin ollen sitä tulee huoltaa 32 vuotta. Huoltokustannukset katsotaan taulukosta 2 vuoden 32 ja erottimien huoltokustannusten kohdalta. Tällöin huoltokustannuksiksi saadaan 788,06 euroa. (Ks. 5.3 Huollontarpeen määrittämistavat mallialueella)

Kun huoltokustannukset halutaan määrittää tavalla 3 (luotettavuuslaskentaan perustuva huollontarpeen määrittämisen tapa), huoltokustannukset selvitetään kuten Fortumin ohjeistuksessa, niille komponenteille joiden parametrit näin kertovat. Tällöin kaavalla 6 (s. 24) on selvitetty komponentin huoltovuodet, jotka määräävät komponentin huoltokustannukset (esimerkiksi katkaisijaa huolletaan 20 vuotta, joten sen huoltokustannukset ovat 178,25 euroa).

Puutteellisen dokumentoinnin vaikutus ennakkohuolto-ohjelmaan

Puutteellinen dokumentaatio heijastuu vaikeutena saada luotettavia tuloksia ennakkohuolto-ohjelman määrittystavoilla. Dokumentoinnin tärkeyttä demonstroidaan seuraavissa esimerkeissä.

Esimerkeissä huollon kannattavuus on laskettu niin, että on ajateltu, että komponenttia tullaan pitämään sen pitoajan loppuun asti tai sitten tavan 2 määrittämään aikaan asti esimerkissä 1. Tällöin siis huollonkannattavuus ja huoltokustannukset on määritetty pitoajan tai tavan 2 (esimerkki 1) loppuun asti. Kun komponentti ylittää pitoaikansa, ei huoltotoimia tulla tekemään. Tällöin uuden komponentin ostoa aletaan harkitsemaan eli komponentti siirtyy uudelleeninvestoitavaksi.

Esimerkki 1: Tavan 2 tulosten luotettavuus puutteellisella ikätiedolla

Tapa 2 on ennakkohuolto-ohjelmassa esitetty huollon tarpeen määrittystapa, joka nojautuu komponentin ikätietoon. Tällä pyritään määrittämään iän mukaan aika jolloin huolto ei enää kannata.

Jos komponentin ikätieto puuttuu, tavan 2 mukainen tarkastelu kärsii ja samoin kärsii sen luotettavuus. Tästä voidaan esimerkkinä esittää jokin kuormaerotin. Oletetaan, että kuormaerotin on valmistettu vuonna 2006. Sen uudelleenhankkiminen maksaa 5 110 euroa (JHA) ja sitä pidetään verkossa 40 vuotta. [20.]

Tällöin lasketaan ensin NKA kaavan 4 (s. 20) mukaan ja NKA:ksi saadaan

$$NKA(1) = \left(1 - \frac{\text{komponentin ikä}(1)}{\text{pitoaika}}\right) \cdot JHA(1) = \left(1 - \frac{2013-2006}{40}\right) \cdot 5\,110 = 4\,215,75(\text{€}).$$

Komponentin tuotoksi saadaan kaavalla 3 (s. 19) ja tuottokertoimella 4 %

$$Tuotto(1) = NKA(1) \cdot \text{tuoton kerroin} = 4\,215,75\text{€} \cdot 0,04 = 168,63\text{€}.$$

Kokonaistuotto saadaan NNA:n avulla. Tällöin ensimmäisen vuoden kokonaistuotto kuromaerottimella on 2 866,71 euroa. Poistoiksi saadaan kaavalla 2 (s. 19) ensimmäisenä vuonna

$$Poisto = \frac{JHA}{Pitoaika} = \frac{5\,110\text{ €}}{40} = 127,75\text{ €}.$$

Poistot muunnetaan kokonaisarvoihin samoin kuin tuotot. Tällöin ensimmäisen vuoden kokonaispoisto on 4 434,50 euroa. Tämä arvo summataan kokonaistuottoon ja vähennetään kokonaishuollonkustannukset kyseiseltä vuodelta (0 euroa) ja saadaan tietää huollon kannattavuus ensimmäisenä vuonna. Huollon kannattavuudeksi saadaan kaavalla 9 (s. 28)

$$Huollon\ kannattavuus(1) = Tuotto(kok)(1) + Poisto(kok)(1) - Huoltok.(1) = 2\,866,71\text{ €} + 4\,434,50\text{ €} - 0\text{ €} = 7\,210,21\text{ €}.$$

Huolto kannattaa siis ensimmäisenä vuonna. Huollon kannattavuutta tutkitaan tavan 2 mukaisten ohjeiden mukaan, kunnes se ei enää kannata. Esimerkkikomponentilla huolto on kannattavaa viimeisen kerran, kun komponentti on 40 vuotta eli tarkasteluvuonna 34. Tällöin sen arvoksi saadaan kaavalla 9 (s. 28)

$$Huollon\ kannattavuus(34) = Tuotto(kok)(34) + Poisto(kok)(34) - Huoltok.(34) = -275,03\text{ €} + 1\,964,52\text{ €} - 788,06\text{ €} = 901,43\text{ €}.$$

Tätä seuraavana vuonna huollon todelliset kustannukset ovat 788,06 euroa ja huollon kannattavuus muuttuu negatiiviseksi (arvoon -1 319,07 €).

Jos edellisen komponentin ikätieto puuttuu ja tilalle merkitään vuosi 1912. NKA:ksi ensimmäisenä tarkasteluvuonna saadaan kaavalla 4 (s. 20)

$$NKA(1) = \left(1 - \frac{\text{komponentin ikä}(1)}{\text{pitoaika}}\right) \cdot JHA(1) = \left(1 - \frac{101}{40}\right) \cdot 5\,110 = -7\,792,75\text{ (€)}.$$

Komponentin tuotto saa arvon (kaava 3, s. 19 ja tuottokerroin 4 %)

$$Tuotto(1) = NKA(1) \cdot tuoton\ kerroin = -7\,792,75\text{€} \cdot 0,04 = -311,71\text{€}.$$

Kokonaistuotto saa arvon - 628,53 euroa. Komponentilla ei ole poistoja, sillä se on ylittänyt pitoaikansa. Tällöin kokonaispoistot saavat arvon 0.

Huollon kannattavuus saa näin ollen ensimmäisenä tarkasteluvuonna arvon

$$Huollon\ kannattavuus(1) = Tuotto(kok)(1) + Poisto(kok)(1) - Huoltok.(1) = -628,53\text{€} + 0\text{€} - 0\text{€} = -628,53\text{€}.$$

kaavalla 9 (s. 28). Huolto ei näin ollen kannattaisi edes ensimmäisenä vuonna. Huolto- toimia ei ensimmäisenä tarkasteluvuonna ole, joten niiden kustannukset ovat 0 euroa.

Puutteellinen ikätieto johtaa siis siihen, että tutkittavan komponentin huollonkannattavuutta on vaikeaa ennustaa. Esimerkkikomponentti ikätiedollaan olisi kannattava pitää verkossa vielä 34 vuotta. Jos ikätieto puuttuu, komponenttia ei kannattaisi huoltaa kertaakaan. Näin ollen ikätiedon puutteellinen dokumentointi johtaa siihen, että komponenteista ei saada niiden taloudellista etua ja verkkoyhtiön talous sekä verkon luotettavuus kärsii.

Esimerkki 2: Tavan 3 tulosten luotettavuus puutteellisilla luotettavuuslaskennantiedoilla

Huollontarpeen määrittäminen tavalla 3 nojautuu täysin kunnolliseen dokumentaatioon. Tavan 3 avulla komponentin huollontarve määritetään komponentin katkosta koituvan kokonaiskorvaussumman mukaan. Kuten aikaisemmin esitettiin tämä selvitetään kaavoilla 10 ja 11 (s. 32). Tällöin asiakasmäärä ja asiakaskohtainen korvaussumma katkosta on vaadittavia tietoja.

Jos esimerkiksi on jakelumuuntaja, jolla on 216 asiakasta, valmistettu vuonna 2003, teholtaan 300 kVA ja katkosta korvattava asiakaskohtainen korvauskustannus 2 358,28 euroa, saadaan komponentin kokonaiskorvaussummaksi kaavalla 10 (s.32)

$$Korvattava\ kok.\ kustannus = KKA \cdot asiakasmäärä = 2\,358,28\text{€} \cdot 216 = 509\,388,48\text{€}.$$

Esimerkkijakelumuuntajan ikä saadaan kaavalla 5 (s. 23) ja sen arvoksi saadaan

$$\text{Komponentin ikä} = \text{tämä vuosi} - \text{valmistusvuosi} = 2013 - 2003 = 10 \text{ vuotta.}$$

Kaavalla 6 (s. 24) lasketaan sen huoltovuodet ja niiksi saadaan:

$$\text{Huoltovuodet} = \text{pitoaika} - \text{komponentin ikä} = 40 - 10 = 30 \text{ vuotta.}$$

Seuraavaksi katsotaan huoltovuosille koitua kustannus. Tämä katsotaan 30 vuoden ajalle liitteen 3 taulukon 2 huollonkustannuksen arvoista. Tällöin 30 vuoden huollon kokonaiskustannuksiksi saadaan 1 172,06 euroa.

Näin ollen kaavan 11 (s. 32) mukaisella ryhmäjaolla esimerkkijakelumuuntaja luokitellaan ryhmään kaavan tuloksen mukaan:

$$\begin{aligned} \text{Ryhmäjako} &= \text{Korvattava kok. kustannus} - \text{huoltokustannukset} = 509\,388,48 \text{ €} - \\ &1\,172,06 \text{ €} = 508\,216,42 \text{ €} \end{aligned}$$

eli siis, koska kaavan 11 tulos on positiivinen, kuuluu komponentti ryhmään 1. Ryhmän 1 komponentit tullaan huoltamaan, joten esimerkkijakelumuuntaja tulisi siis huoltaa tavan 3 mukaan.

Jos tavan 3 tarkastelussa asiakaskohtainen korvaussumma tai asiakasmäärä puuttuu, tulee korvattava kokonaiskustannus komponentilla näyttämään nollaa:

$$\text{Korvattava kok. kustannus} = KKA \cdot \text{asiakasmäärä} = 2\,358,28 \text{ €} \cdot 0 = 0 \text{ €.}$$

Näistä asiakasmäärän puute on vakavampi, koska korvattava kokonaiskustannus saattaa olla hyvinkin suuri. Tällöin jos vain tiedetään korvaussumma, on mahdollista vetää johtopäätöksiä komponentin huollontärkeydestä.

Näin ollen samaa esimerkkijakelumuuntajaa tutkittaessa, saadaan sille iäksi kaavalla 5 (s. 23) sama 10 vuotta ja kaavalla 6 (s. 24) saadaan huoltovuosiksi sama 30 vuotta. Kokonaisuhoitokustannuksetkin ovat samat 1 172,06 euroa.

Tällöin esimerkkijakelumuuntajalle saadaan kaavalla 11 (s. 32) tulokseksi:

$$\text{Ryhmäjako} = \text{Korvattava kok. kustannus} - \text{huoltokustannukset} = 0 \text{ €} - 1\,172,06 \text{ €} = -1\,172,06 \text{ €}.$$

Saatu tulos on negatiivinen, joten esimerkkijakelumuuntaja tulisi kuulumaan ryhmään 2. Näin ollen sitä ei huollettaisi.

Puutteellinen dokumentaatio johtaa tulokseen, missä komponentti, jonka huolto kannattaa, saatetaan sulkea pois huolto-ohjelmasta. Näin ollen dokumentaation puutteellisuus johtaa tavassa 3 tavan 3 luotettavuuden horjumiseen.

Tavan 3 tiedot ovat puutteellisia myös silloin, kun vikataajuus ja katkon keston pituus puuttuu. Tällöin ei voida laskea todennäköistä korvaussummaa asiakkaalle.

Mallialueen komponenttien huollon kannattavuus

Tähän liitteeseen on koottu mallialueen tarkastelun mukaiset tulokset. Aluksi esitellään Fortumin tarkastus- ja kunnossapitotöiden ohjeistuksen mukaan selvitetty huoltokustannukset. Tämän jälkeen esitellään muut ennakkohuolto-ohjelman huollontarpeen määrittämisen määrittäytävät. Tulokset esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. Mallialueen ennakkohuolto-ohjelman mukaiset huoltokustannukset

Tunnus	Rakenne	Huollon kannattavuus MM:n mukaan /€	Huollon kannattavuus komponentin iän mukaan / €	Huollon kannattavuus luotettavuuslaskennalla / €	Huollon kannattavuus luotettavuuslaskennalla / €
13775	Jakelumuuntaja	1287,9	1237,88	0	0
13775	Puistomuuntamo	40575,94	6647,76	40575,94	6647,76
15271	VAIN EROTTIMET	1576,12	1576,12	1576,12	1576,12
17627	Jakelumuuntaja	1740,29	1570,5	0	0
17627	Puistomuuntamo	14337,43	14257,33	14337,43	14257,33
17628	Jakelumuuntaja	1294,05	1243,8	1294,05	1243,8
17628	Jakelumuuntaja	1294,05	1243,8	1294,05	1243,8
17628	Puistomuuntamo	11860,08	11860,08	11860,08	11860,08
18651	Jakelumuuntaja	1400,72	1346,33	0	0
18651	Puistomuuntamo	10312,59	8923,59	10312,59	8923,59
M21273	Jakelumuuntaja	1394,06	1339,93	1394,06	1339,93
M21273	Puistomuuntamo	10232,49	9847,66	10232,49	9847,66
T0023	Jakelumuuntaja	773,3	743,27	773,3	743,27
T0023	Tiilikoppiuuntamo	945,21	945,21	945,21	945,21
T0032	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0032	Puistomuuntamo	1576,12	1576,12	1576,12	1576,12
T0053	Jakelumuuntaja	1056,9	1036,18	1056,9	1036,18
T0053	Puistomuuntamo	3914,38	3988,7	3914,38	3988,7
T0089	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0089	Puistomuuntamo	2239,98	1409,97	2239,98	1409,97
T0122	Jakelumuuntaja	1082,8	1040,75	1082,8	1040,75
T0122	Tiilikoppiuuntamo	5396,86	5231,26	5396,86	5231,26
T0131	Jakelumuuntaja	833,36	801	833,36	801
T0131	Kiinteistömuuntamo	839,43	839,43	839,43	839,43
T0175	Jakelumuuntaja	1019,57	999,58	1019,57	999,58
T0175	Puistomuuntamo	19681,45	1345,89	19681,45	1345,89
T0231	VAIN EROTTIMET	2156,63	1879,96	2156,63	1879,96
T0240	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0240	Kiinteistömuuntamo	469,99	469,99	469,99	469,99
T0340	Jakelumuuntaja	660	0	660	0
T0340	Puistomuuntamo	0	0	0	0
T0347	Jakelumuuntaja	1242,85	1218,48	1242,85	1218,48
T0347	Puistomuuntamo	4327,95	4327,95	4327,95	4327,95
T0356	Jakelumuuntaja	573,03	833,36	573,03	833,36
T0356	Puistomuuntamo	1519,49	1519,49	1519,49	1519,49
T0357	Jakelumuuntaja	754,8	740	754,8	740
T0357	Puistomuuntamo	0	0	0	0
T0436	Jakelumuuntaja	1214,05	1190,24	1214,05	1190,24
T0436	Puistomuuntamo	4085,72	3227,74	4085,72	3227,74
T0437	Jakelumuuntaja	1706,16	1672,71	1706,16	1672,71
T0437	Puistomuuntamo	7213,86	6174,58	7213,86	6174,58
T0445	Jakelumuuntaja	1019,57	999,58	1019,57	999,58
T0445	Puistomuuntamo	1279,29	1139,83	1279,29	1139,83
T0451	Jakelumuuntaja	850,03	833,36	850,03	833,36
T0451	Puistomuuntamo	772,83	772,83	772,83	772,83
T0470	Jakelumuuntaja	1293,06	1267,7	1293,06	1267,7
T0470	Puistomuuntamo	4437,91	4437,91	4437,91	4437,91
T0502	Jakelumuuntaja	850,03	833,36	850,03	833,36
T0502	Kiinteistömuuntamo	772,83	772,83	772,83	772,83
T0503	Jakelumuuntaja	957,27	837,04	957,27	837,04
T0503	Puistomuuntamo	3539,63	2619,72	3539,63	2619,72
T0504	Jakelumuuntaja	938,5	920,1	938,5	920,1

Tunnus	Rakenne	Huollon kannattavuus MM:n mukaan /€	Huollon kannattavuus komponentin iän mukaan / €	Huollon kannattavuus luotettavuuslaskennalla / €	Huollon kannattavuus luotettavuuslaskennalla / €
T0504	Puistomuuntamo	3368,38	1345,89	3368,38	1345,89
T0579	Jakelumuuntaja	1399,65	1372,2	0	0
T0579	Puistomuuntamo	5480,83	5379,24	5480,83	5379,24
T0267	Jakelumuuntaja	754,8	740	754,8	740
T0267	Puistomuuntamo	0	0	0	0
33445	Muuntajaerotin	0	0	0	0
M19507	Jakelumuuntaja	1206,8	1159,94	0	0
M19507	Pylväsmuuntamo	3024,91	2749,47	0	0
T0035	Jakelumuuntaja	754,53	725,23	754,53	725,23
T0035	Pylväsmuuntamo	573,03	422,08	0	0
T0052	Jakelumuuntaja	989,99	951,55	0	0
T0052	Pylväsmuuntamo	2346,21	2005,26	0	0
T0083	Jakelumuuntaja	1243,8	1195,5	0	0
T0083	Pylväsmuuntamo	2749,47	2507,04	2749,47	2507,04
T0102	Jakelumuuntaja	754,53	725,23	0	0
T0102	Pylväsmuuntamo	573,03	422,08	573,03	422,08
T0117	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0117	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0126	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0126	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0152	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0152	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0170	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0170	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0171	Jakelumuuntaja	1159,94	1114,89	0	0
T0171	Pylväsmuuntamo	2836,17	2600,89	0	0
T0176	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0176	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0311	Jakelumuuntaja	697,07	670	0	0
T0311	Pylväsmuuntamo	163,4	163,4	163,4	163,4
T0374	Jakelumuuntaja	1294,05	1243,8	0	0
T0374	Pylväsmuuntamo	2836,17	2600,89	2836,17	2600,89
T0376	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0376	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0535	Jakelumuuntaja	0	0	0	0
T0535	Pylväsmuuntamo	0	0	0	0
T0570	Jakelumuuntaja	1143,61	1099,21	0	0
T0570	Pylväsmuuntamo	2346,21	2005,26	2346,21	2005,26
T106	linjaerotin	0	0	0	0
T152	Piiskaerotin	0	0	0	0
T17	Linjaerotin	0	0	0	0
T18	Piiskaerotin	0	0	0	0
T19	Piiskaerotin	0	0	0	0
T196	Piiskaerotin	0	0	0	0
T2	Piiskaerotin	746,66	469,99	746,66	469,99
T20	Piiskaerotin	0	0	0	0
T22	Piiskaerotin	0	0	0	0
T230	Piiskaerotin	469,99	469,99	469,99	469,99
T236	Piiskaerotin	0	0	0	0
T5	Piiskaerotin	0	0	0	0
T87	Piiskaerotin	0	0	0	0
T92	Piiskaerotin	746,66	469,99	746,66	469,99

Taulukon tulokset on luokiteltu niin, että muuntamoittain on koottu muuntamon erottimet ja muuntamon rakenteen huolto. On oletettavaa, että jos huoltotoimia aloitetaan suorittamaan, saman muuntamon komponentit huolletaan samalla kertaa. Näistä poikkeuksena on jakelumuuntajat, joita ei huolleta muuten kuin silloin, jos ne poistetaan verkosta. Tällöin kaikkien komponenttien tuloksista on määritetty uusi huollon kustannus yhden muuntamotunnuksen alle. Jakelumuuntajat ovat edelleen tarkastelussa erikseen.

Ennakkohuolto-ohjelman vaikutus mallialueella

Tähän liitteeseen on todennettu ennakkohuolto-ohjelman mukaista tarkastelua mallialueella. Kahdesta mallialueen komponentista, kuormaerotin 33675 ja puistomuuntamo T0579, esitetään huoltotoimien muutos. Tämä on toteutettu taulukoissa 1 ja 2 (s. 2). Tällöin siis taulukoista nähdään komponentille suoritettavat huoltotoimet ja niiden määrä.

Lisäksi liitteessä esitetään mallialueen kaikki komponentit ja komponenttien huollontarve eri ennakkohuolto-ohjelman määritystavoilla. Tämä esitetään kuvassa 1 (s. 3), mihin on mallialueen karttapohjalle merkitty jokainen komponentti sekä niiden huollontarve eri määritystavoilla.

Taulukko 1. Ennakkohuolto-ohjelman mukaisten huoltotoimien muutos kuormaerottimella

Ennakkohuolto-ohjelman mukainen määritystapa	Ennakoiva huolto	Kunnontarkkailu
Tapa 1 /kpl	3	6
Tapa 2 /kpl	2	5
Tapa 3 /kpl	3	6
Tapa 2+3 /kpl	2	5

Taulukossa 1 esitettiin kuormaerottimen 33675 huoltotoimien muutos ennakkohuolto-ohjelman mukaisilla määritystavoilla. Tässä näkyy komponentille suoritettavat huollot ja se, kuinka monta kertaa komponenttia huolletaan ennakkohuolto-ohjelman mukaisilla tavoilla. Komponentilla on pitoajan mukaan huoltovuosia jäljellä 39 kappaletta. Tavan 2 mukaan huoltovuosia on 35 jäljellä.

Kuormaerotin saa tavoilla 1 ja 3 yhteensä yhdeksän eri huoltotoimea loppu pitoajalleen. Tavan 2 sekä tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä (tapa 2+3) kuormaerottimelle tehdään seitsemän eri huoltotoimea. Huoltotoimia suoritetaan tässä siihen ikään asti, mikä on määritetty viimeiseksi huoltovuodeksi. Huoltotoimien lukumäärän muutokseksi saadaan parhaimmillaan kyseiselle erottimelle 22 prosenttia ($\frac{7}{9} \cdot 100 \% \approx 22 \%$) ennakkohuolto-ohjelman mukaisella tarkastelulla.

Taulukko 2. Ennakkohuolto-ohjelman mukaisten huoltotoimien muutos puistomuuntamalla

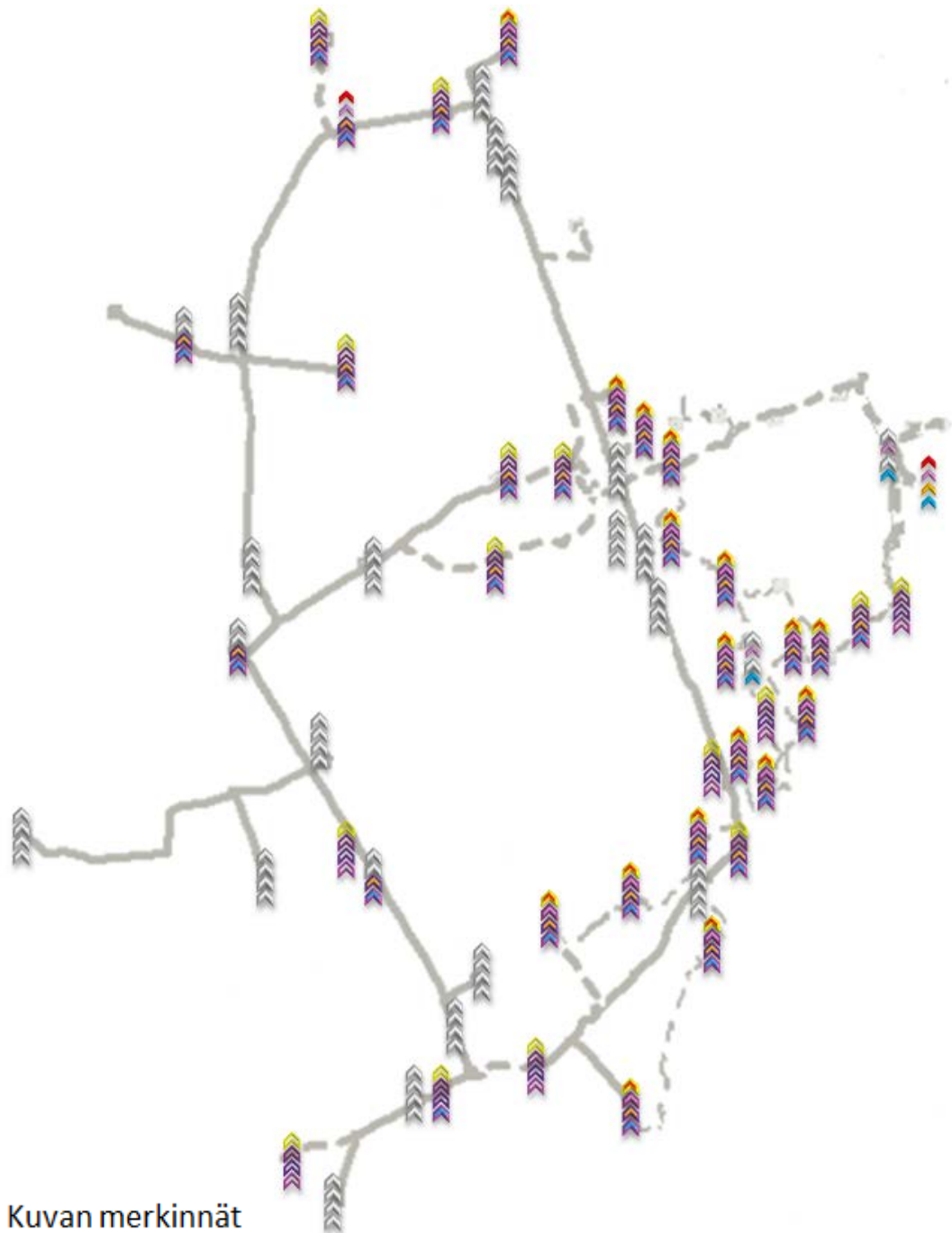
Ennakkohuolto-ohjelman mukainen määritystapa	Maadoitusmitaus	Kunnossapito	Kiinteistöhuolto	Lämpökuvaus	Laaja tarkastaminen
Tapa 1 /kpl	2	2	3	14	7
Tapa 2 /kpl	2	2	3	13	6
Tapa 3 /kpl	0	0	0	0	0
Tapa 2+3 /kpl	0	0	0	0	0

Taulukossa 2 esitettiin puistomuuntamon T0579 (tarkoitetaan vain itse muuntamora-kennetta) huoltotoimien muutos ennakkohuolto-ohjelman määritystavoilla. Tässä näkyy komponentille suoritettavat huoltotoimet ja niiden määrä eri määritystavoilla. Komponentilla on pitoajan mukaan huoltovuosia jäljellä 28 vuotta ja tavan 2 mukaan 26 vuotta. Tavalla 3 komponentin huolto ei ole kannattavaa. Tällöin myös tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä huolto ei tule kannattavaksi.

Tavalla 1 puistomuuntamolle tehdään 28 kappaletta huoltotoimia sen loppu pitoaikana. Tavalla 2 huoltotoimien määrä on 26 kappaletta. Tällöin huoltotoimien suorittaminen loppuu tavalla 2 määritettään viimeisen huoltovuoden mukaan. Tavalla 3 sekä tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä puistomuuntamolle ei tulla suorittamaan yhtäkään huoltotoimea. Näin ollen tapojen 1 ja 2 huoltotoimien muutos on noin 7 prosenttia. Tavan 3 sekä tapojen 2 ja 3 yhdistelmällä huoltotoimien määrä saadaan muuttumaan 100 prosenttia tapojen 1 ja 2 tuloksista.

Kuvassa 1 (sivu 3) esitetään mallialueen komponentit. Tähän on merkitty jokaisella ennakkohuolto-ohjelman huollontarpeen määrityksen tavalla kyseisen komponentin huollontarve.

Kuva 1. Mallialueen komponentit eri ennakkohuolto-ohjelman määrittystavoilla

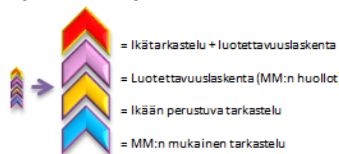


Kuvan merkinnät

Eri huoltokäytännöt esitetään seuraavassa järjestyksessä:

4. Ikätarkastelu + luotettavuuslaskenta
3. Luotettavuuslaskentaan perustuva tarkastelu
2. Ikään perustuva tarkastelu
1. Maintenance Manualin mukainen tarkastelu

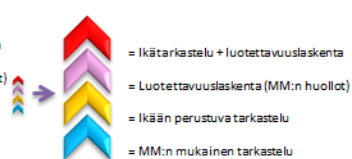
Huolletaan muuntamo* ja jakelumuuntaja:



Mallialueen komponentti (ei huoltotoimia):



Huolletaan jakelumuuntaja (ei muuntamo*):



* Muuntamon huollossa huolletaan erottimet ja muuntamorakenne

Huolletaan muuntamo* (ei jakelumuuntajaa):

