

Jari Ruotsalainen

Tiedon hyödyntäminen sähköasemien elinkaarisuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikka

4.12.2016

Tekijä(t) Otsikko	Jari Ruotsalainen Tiedon hyödyntäminen sähköasemien elinkaarisuunnittelussa
Sivumäärä Aika	80 sivua + 5 liitettä 4.12.2016
Tutkinto	Ylempi ammattikorkeakoulututkinto; insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Kunnonhallintapäällikkö Oskari Patjas Lehtori Katriina Schrey-Niemenmaa
<p>Työn tavoitteena oli kehittää sähköasemien elinkaarisuunnitteluun liittyviä päätöksentekoprosesseja erityisesti tiedon hyödyntämisen näkökulmasta. Työ tehtiin toimintatutkimuksena.</p> <p>Työssä käytiin läpi sähköasemien elinkaarisuunnittelun päätöksentekoprosesseja ja tiedonkeruun nykytilannetta. Havaituille puutteille määritettiin korjaavat toimenpiteet.</p> <p>Työssä yksinkertaistettiin RCM-prosessia ja luotiin toimintamalli yksinkertaistetun RCM-prosessin järjestelmälliselle käytölle. Työssä myös määritettiin kunnossapito-ohjelmiston yhtenäinen laitehierarkia, jotta kerätty kustannus- ja vikatieto saadaan hyödynnettävään muotoon.</p> <p>Työssä tarkasteltiin kunnonvalvonnan optimaalista laajuutta. Erityisesti tarkastelua tehtiin jatkuvatoimiselle kunnonvalvonnalle. Työssä määritettiin jatkuvatoimisten kaasuanalysaattoreiden ja hybriditiheysvahtien hälytysrajojen muodostumislogiikka, sekä toimintaohjeet hälytystilanteille.</p> <p>Työssä määritettiin kuntoindeksin muodostumislogiikka ja määritettiin tietomalli vikatilastoinnille.</p> <p>Työssä havaittiin, että tietoa hyödyntämällä päätöksenteon laatua on mahdollista parantaa. Tiedon saaminen hyödynnettävään muotoon tuo kuitenkin vaatimuksia toimintatavoille ja tietojärjestelmille. Työssä myös havaittiin, että yksiköiden välillä olevat toimintaerot tuovat haasteita päätöksentekoon. Ongelma on mahdollista ratkaista toimintatapojen yhtenäistämällä tai yhteisen tietomallin käytöllä.</p>	
Avainsanat	sähköasemat, elinkaarisuunnittelu, kunnonvalvonta

Author(s) Title	Jari Ruotsalainen Utilization of Information in Substation Life-Cycle Management
Number of Pages Date	80 pages + 5 appendices 4 December 2016
Degree	Master's Degree
Degree Programme	Electrical Engineering and Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Oskari Patjas, Asset Management Manager Katriina Schrey-Niemenmaa, Senior Lecturer, Lic. Sc.
<p>The aim of this work was to develop decision-making processes related to the lifecycle management of substations, in particular from the perspective of the utilization of information. The research method of this thesis was action research.</p> <p>Life cycle management processes of substations and current situation of the data collection were analyzed. Corrective measures were determined for the detected deficiencies.</p> <p>As a result, RCM-process was simplified and a systematic approach for the usage of the simplified RCM-process was created. Maintenance software device hierarchy was also determined so that the collected cost and fault data would be available in a useful format.</p> <p>Optimal amount of condition monitoring was investigated. In particular continuous condition monitoring was in the focus of the work. Alarm limits for transformer gas monitoring equipment and SF₆ hybrid density monitors were determined, as well as operating instructions for alarm situations.</p> <p>Formation logic for condition index and a data model for fault statistics were determined.</p> <p>It was discovered that it is possible to improve the quality of decision-making by using data. However, data usage brings some requirements for the operation methods and information systems. It was also found that differences between operation methods inside the company brings some challenges to decision making. This problem can be solved by harmonization of operating methods or usage of a common data model.</p>	
Keywords	substations, lifecycle management, condition monitoring

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Helen Sähköverkko Oy yrityksenä	7
3	Tutkimusmenetelmä	11
4	Teoriaa tiedon hyödyntämisestä päätöksenteossa	12
5	Sähköasemien elinkaarisuunnittelun päätöksentekomallit	14
5.1	RCM-kunnossapitomenetelmä	14
5.2	TCO-elinkaarikustannusmalli	17
6	Sähköasemien kunnonvalvonta	20
6.1	Jaksottainen kunnonvalvonta	21
6.1.1	Päämuuntajien jaksottainen kunnonvalvonta	21
6.1.2	110 kV:n kytkinlaitoksien jaksottainen kunnonvalvonta	23
6.1.3	Keskijännitekytkinlaitoksien jaksottainen kunnonvalvonta	25
6.1.4	Apusähköjärjestelmien jaksottainen kunnonvalvonta	26
6.1.5	Artturi-kunnossapito-ohjelma	27
6.2	Jatkuvatoiminen kunnonvalvonta	28
6.2.1	Päämuuntajien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta	28
6.2.2	110 kV:n GIS kytkinlaitoksien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta	31
6.2.3	PI-tietojärjestelmä	32
6.3	Kunnonvalvontaan liittyvät haasteet	34
7	Kehityssuunnitelma	36
7.1	Elinkaarisuunnittelun päätöksentekomallien kehittäminen	36
7.1.1	RCM-kunnossapitomenetelmän kehittäminen	36
7.1.2	TCO-elinkaarikustannusmallin kehittäminen	38
7.1.3	Vikatilastointi osana RCM-prosessia ja TCO-mallia	40
7.2	Kunnonvalvonnan kehittäminen	43
7.2.1	Kunnonvalvonnan laajuuden määrittely	44
7.2.2	Jaksottaisen kunnonvalvonnan kehittäminen	45
7.2.3	Jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kehittäminen	46
7.3	Kuntoindeksit osana päätöksentekoa	61
7.3.1	Kuntoindeksin muodostuminen	62
7.3.2	Kuntoindeksin hyödyntämismahdollisuudet	73
8	Yhteenvedo	75
	Lähteet	77

Liitteet

Liite 1. Jaksottainen kunnonvalvonta HSV:n sähköasemilla

Liite 2. RCM-taulukon yksinkertaistaminen

Liite 3. Jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kannattavuuslaskennat

Liite 4. Hälytysrajojen muodostuminen kaasuanalysaattorille

Liite 5. Kuntoindeksin muodostuminen

Lyhenteet

AIS-kytkinlaitos	Air Insulated Switchgear <i>Ilmaeristeinen kytkinlaitos</i>
CIGRE	Conseil International des Grands Reseaux Electriques <i>Kansainvälinen sähkövoimajärjestelmien yhteistyöjärjestö</i>
FRA	Frequency Response Analysis <i>Taajuusvasteanalyysi</i>
GIS-kytkinlaitos	Gas Insulated Switchgear <i>Kaasueristeinen kytkinlaitos</i>
HSV	Helen Sähköverkko Oy
IEC	International Electrotechnical Commission <i>Kansainvälinen sähköalan standartointiorganisaatio</i>
MTBF	Mean Time Between Failure <i>Keskimääräinen aika vikaantumisien välillä</i>
OFAF	Oil Forces Air Forced <i>Jäähdytysjärjestelmän pakotettu öljy- ja ilmakierto</i>
OFWF	Oil Forced Water Forced <i>Pakotettu öljy- ja vesikierto</i>
ONAF	Oil Natural Air Forced <i>Luonnollinen öljynkierto ja pakotettu ilmankierto</i>
PPM	Parts Per Million <i>Jonkin miljoonasosa</i>
RCM	Reliable-Centered Maintenance <i>Luotettavuuskeskeinen kunnossapito</i>
SAIDI	System Average Interruption Duration Index <i>Keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettua kesto-aika tietyllä aikavälillä</i>
TCO	Total Cost Of Ownership <i>Elinkaaren kokonaiskustannus</i>
T-SAIDI	Muuntopiirikohtainen SAIDI

1 Johdanto

Päätöksenteon onnistumistodennäköisyyttä on mahdollista parantaa hyödyntämällä tietoa enemmän päätöksentekoprosessissa. Mikäli tietoa ei ole käytettävissä, tai sen laatua ei tiedosteta, riski päätöksen epäonnistumisesta kasvaa.

Tämä työ tehdään Helen Sähköverkko Oy:n (HSV) Alueverkkoyksikölle. Työ rajataan koskemaan sähköasemien primäärilaitteiden elinkaarisuunnittelua. Alueverkkoyksikössä tehdään usein taloudellisesti ja teknisesti merkittäviä elinkaarisuunnitteluun liittyviä päätöksiä. Alueverkkoyksikössä on havaittu, että aina tietoa ei ole saatavilla päätöksentekoprosessia varten. Tämän työn tavoitteena on kehittää elinkaarisuunnitteluun liittyviä päätöksentekoprosesseja erityisesti tiedon hyödyntämisen näkökulmasta. Tutkimusongelmaa lähestytään seuraavalla tutkimuskysymyksellä:

- Miten sähköasemien primäärilaitteiden elinkaarisuunnittelua voi kehittää tiedon hyödyntämisen näkökulmasta?

Työ tehdään toimintatutkimuksena. Työn ensimmäisessä vaiheessa käydään läpi elinkaarisuunnittelun päätöksentekoprosessit sekä tiedonkeruun nykytilanne. Työn toisessa vaiheessa määritellään päätöksentekoprosessien ja tiedonkeruun kehitysmahdollisuudet havaittujen puutteiden pohjalta.

Työssä esitetyt kehittämistoimenpiteet pyritään suunnittelemaan siten, että niitä on mahdollista hyödyntää myöhemmin työn rajausta laajemmin.

Työssä käsiteltävät asiakokonaisuudet

Tässä työssä käsitellään sähköasemien elinkaarisuunnittelun päätöksentekoprosesseista RCM-kunnossapitomenetelmää (Reliable-Centered Maintenance) ja TCO-elinkaarikustannusmallia (Total Cost Of Ownership). Tiedonkeruutavoista merkittävin rooli on sähköasemien kunnonvalvonnalla.

RCM-kunnossapitomenetelmä

Alkuperäisen RCM:n eli luotettavuuskeskeisen kunnossapidon historia ulottuu 1960-luvulle. Tuolloin Yhdysvaltalainen ilmailuala halusi optimoida aikaan perustuvaa kunnossapitoa. Optimointi päätettiin tehdä RCM:n avulla. RCM:ssä tavoitellaan vaurioiden riskin sekä vaikutuksien minimoimista mahdollisimman kustannustehokkaasti. [1, s. 245]

RCM eroaa muista kunnossapitotavoista seuraavilta osin [1, s. 247]:

- RCM:ssä pyritään säilyttämään kunnossapidettävän laitteen toimintakyky, eikä niinkään tavoitella laitteen pysymistä uuden veroisena.
- RCM:ssä pyritään tarkastelemaan toimintaa järjestelmätasolta, ilman liian syvää keskittymistä yksittäisiin komponentteihin.
- RCM:ssä pyritään huomioimaan vikojen todennäköisyys kunnossapidon laajuuden määrittelyssä.
- RCM:ssä turvallisuus ja taloudellisuus ovat tärkeimmät kunnossapitoa määrittelevät kriteerit.
- RCM:ssä huomioidaan suunnittelun ja rakenteen tuomat erot laitteiden luotettavuudelle. Kunnossapidolla ei voida parantaa suunnittelun ja rakenteen tuomia puutteita.
- RCM:ssä kunnossapidon tulokset vaikuttavat kunnossapidon määrään.
- RCM:ssä määritellään kunnossapidon määrä loogisen ja järjestelmällisen käsittelymallin avulla.

RCM-kunnossapidon avulla on siis mahdollista määritellä kunnossapitostrategia, joka mahdollistaa järjestelmän toimintojen ylläpidon ja käyttäjien turvallisuuden optimaalisilla kustannuksilla. [1, s. 248]

RCM-kunnossapitomenetelmästä on olemassa useita eri versioita. Versiot voidaan jakaa seuraaviin kahteen päätyyppiin [2]:

- Klassinen RCM
- Lyhennetty RCM

Valittaessa kohteeseen soveltuvaa RCM-tyyppiä, tulee seuraaviin asioihin kiinnittää huomiota [2]:

- Miten isoja seurauksia mahdollinen vaurion aiheuttaa?
- Miten todennäköistä vaurioituminen on?
- Onko käsiteltävistä laitteistoista olemassa historiatietoja?
- Miten suuri kohdeorganisaation riskinsietokyky on?
- Miten suuret henkilöresurssit kohdeorganisaatiolla on?

Molemmissa RCM:n päätyypeissä on hyviä ja huonoja puolia. Klassinen RCM mahdollistaa mahdollisimman laajasti huomioon ottavan tavan kunnossapidon määrittelyyn. Alkuperäinen RCM-kunnossapitomenetelmä perustui klassiseen tapaan. Klassisen tyyppin avulla kunnossapito, ja sen dokumentointi tehdään mahdollisimman syvällisesti. [2]

Haasteena klassisessa RCM:ssä on sen tuoma suuri työmäärä. Klassisessa tyyppissä ei myöskään huomioida juurikaan historiatietoja, vaan päätelmät tehdään päätöksentekokaavion mukaisesti. [2]

Klassisen RCM:n käyttö on perustelua, jos mahdollisen vaurioitumisen seuraukset ovat erittäin suuria. Klassista tyyppiä voidaan myös käyttää, jos laitteistoin luotettavuus tai kunnossapidon kustannukset eivät ole tyydyttävällä tasolla lyhennetyin RCM:n käytöstä huolimatta. Klassista tyyppiä kannattaa myös käyttää, jos tarkasteltava järjestelmä on uusi, eikä sen toimintaa tunneta riittävän hyvin. [2]

Lyhennetyin RCM:n etuna on sen yksinkertaisuus ja pieni henkilöresurssien tarve. Sen avulla voidaan karsia huolto-ohjelmasta pientä lisäarvoa tuottavat huollot kevyen asiantuntija-arvion, tai kerättyjen historiatietojen perusteella. [2]

Lyhennytyssä RCM:ssä on haasteena mahdolliset virhepäätelmät. Lyhennetyin tyyppin käyttö myös edellyttää vahvaa ammatillista osaamista osallistuvilta henkilöiltä, koska se edellyttää tarkasteltavan järjestelmän toiminnan hyvää tuntemista. Kevyen tyyppin käytön edellytyksenä myös on, että mahdollisen vaurioin seuraukset eivät ole liian suuria. [2]

TCO-elinkaarikustannusmalli

Investointipäätöksessä on tärkeää huomioida päätöksen koko elinkaaren kustannusvai-
kutukset. Esimerkiksi pelkkien hankintakustannuksien huomioiminen ei takaa kokonais-
taloudellisesti pienimpiä elinkaarikustannuksia. TCO-mallin käytön historia ulottuu 1980-
luvulle. Tuolloin sitä käytettiin tietojärjestelmähankintojen vertailuun. [3]

TCO-malli mahdollistaa kaikkien elinkaarikustannuksien huomioinnin. Siinä huomioi-
daan hankintakustannuksien lisäksi muut elinkaaren aikana syntyvät kustannukset, ku-
ten ylläpidosta ja käytöstä syntyneet. TCO-mallia on perusteltua käyttää, jos tehtävä in-
vestointi tuottaa suuria ylläpito- tai kunnossapitokustannuksia ja laitteen elinkaari on
pitkä. [3]

TCO-mallin tarkoituksena on havaita myös investointiin liittyvät piilokustannukset. Piilo-
kustannuksien havainnointi edellyttää tarkan investoinnin laajuuden ja elinkaaren pituu-
den tiedostamista. Piilokustannuksien lisäksi TCO-mallissa huomioidaan myös inves-
toinnin ilmeiset kustannukset. [3]

Ilmeiset kustannukset muodostuvat hankintahinnasta ja tulevista huoltokustannuksista.
Piilokustannukset muodostuvat muista hankinnassa syntyvistä kustannuksista. Lisäksi
piilokustannuksia muodostuu elinkaaren aikana syntyvistä muista ylläpitokustannuk-
sista, kuten ylläpidon edellyttämästä työvoimatarpeesta. Piilokustannuksia voivat myös
aiheuttaa ympäristösyistä tulevat kustannukset, korkeammat vakuutusmaksut, korkeam-
mat rahoituskulut tai verotekniset syyt. Myös korkeammat tulevaisuuden purkukustan-
nukset voivat muodostaa piilokustannuksia. Piilokustannuksia muodostuu myös lukui-
sista muista yksittäisistä kustannuksista. [3]

TCO-mallin käytöllä on havaittu monia positiivisia vaikutuksia päätöksentekoon. Malliin liit-
tyy kuitenkin myös joitakin haasteita. Haasteena mainitaan järjestelmän suoritustason
kustannusvaikutuksien huomioimen tarkasteltaessa fyysisiä investointeja. Tarkemmin
suoritustasoon liittyvinä haasteina on nostettu esille seuraavat seikat [4, s. 14]:

- Tulevaisuuden kustannuskehityksen arviointi on haastavaa suuresta suorien ja epäsuorien kustannuksien määrästä johtuen.
- Tulevaisuuden ennustaminen on haastavaa määriteltäessä tulevaisuuden suori-
tustasoa.

- Kustannuksien kerrannaisvaikutuksien määrittely on haastavaa.
- Luotettavien kustannustietojen saanti valmistajilta on haastavaa.

Joissakin TCO-malleissa suoritustasoa on yritetty huomioida paremmin. Näissä malleissa TCO-malli muodostetaan erillisten suoritustaso- ja kustannusmallien avulla. Tämä edellyttää erillisen suoritustasomallin määrittelyä, ja sen hyödyntämistä kustannuksia arvioitaessa. [4, s. 15]

Kunnonvalvonta

Kunnonvalvontaa on käytetty teollisuudessa jo vuosikymmeniä ja saatavilla on useita toimivia kunnonvalvontamenetelmiä. Kunnonvalvontamenetelmät ovat kehittyneet voimakkaasti erityisesti viime vuosikymmeninä. Kehittymisen on mahdollistanut uusien kunnonvalvontaan soveltuvien sensori- ja mittalaitetyyppien tulo markkinoille. Myös tietokoneiden laskentakapasiteetin voimakas kasvu on mahdollistanut kunnonvalvonnan kehittämisen parantuneen kunnonvalvontatiedon käsittelykyvyn myötä. [5, s. 210]

Kunnonvalvontaa voidaan tehdä mittaamalla suoraan laitteen kuntoa. Vaihtoehtoisesti kunnonvalvontaa voidaan tehdä mittaamalla laitteen suorituskykyä. Epäsuorasti kuntoa mittaavia kunnonvalvontaa on otettu käyttöön viime aikoina muun muassa voimantuotantotekniikassa. [5, s. 210]

Kunnonvalvonnan kehittämisen myötä kunnonvalvonnalla voidaan kasvattaa myös kunnossapidon tehokkuutta. Tämä kuitenkin edellyttää, että käytössä on sekä kunnonvalvontaa että ennustavia menetelmiä. Pelkällä kunnonvalvonnalla voidaan havaita valvottavan kohteen kunto. Käyttämällä lisäksi ennustavaa menetelmää, voidaan määrittää tulevan kunnossapidon tarve. [5, s. 210]

Kunnonvalvonta on hyödyllinen työkalu kunnossapidon kehittämiseksi. Kunnonvalvonnan onnistumisen kannalta on oleellista, että seuraavat seikkoihin kiinnitetään huomioita [6]:

- Kunnonvalvontaan suhtaudutaan riittäjän pitkäjänteisesti. On tärkeää tiedostaa, että kunnonvalvonnan hyödyt tulevat esille pidemmällä aikavälillä.

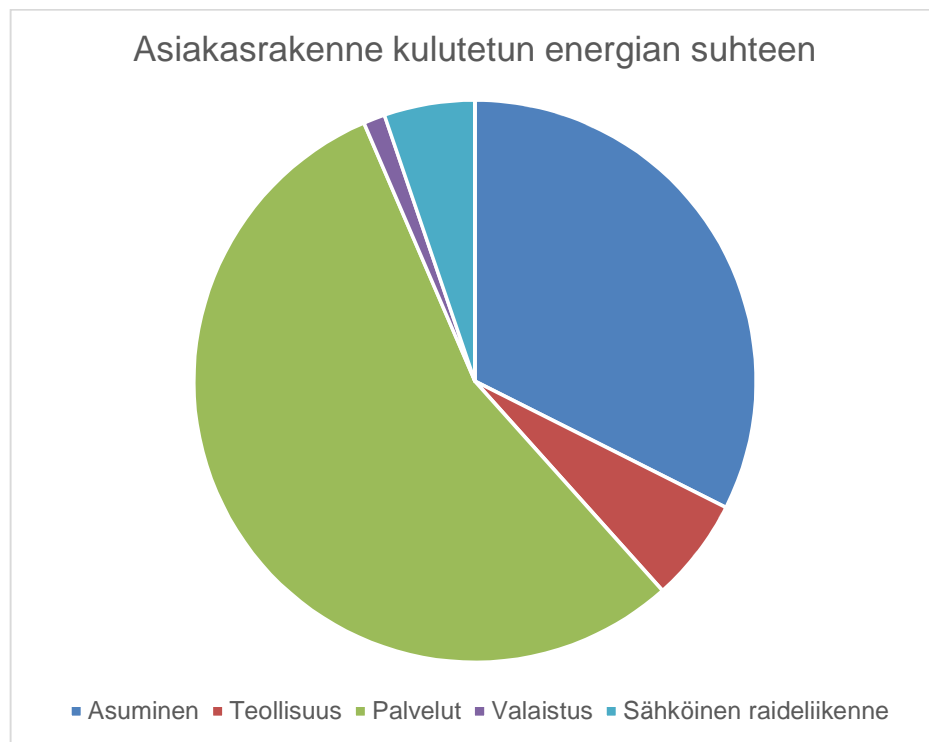
- Organisaation toiminta tukee kunnonvalvontaa. On oleellista, että kunnonvalvontaa tehdään suunnitellusti, eikä sitä esimerkiksi siirretä kiireisempien töiden tieltä. On myös tärkeää, että kunnonvalvonnalla havaittuihin vikoihin reagoidaan. Lisäksi onnistumisen kannalta on oleellista, että myös päättävässä organisaatiossa sitoudutaan kunnonvalvonnan suorittamiseen.
- Kunnonvalvonnan raportointi tulee tehdä laadukkaasti. Raportoinnin tulee olla visuaalisesti riittävän havainnollista. Lisäksi saadut positiiviset tulokset tulee raportoida myös päättävälle organisaatiolle.

Kunnonvalvonnan onnistumisen edellytyksenä on riittävän laajuuden määrittely, laadukas toteutus ja onnistunut raportointi. Myös kunnonvalvonnan kehittäminen saatujen tuloksien pohjalta on tärkeää. [6]

2 Helen Sähköverkko Oy yrityksenä

HSV vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta sekä sähköverkkopalveluista Helsingin kaupungin alueella Sipoon liitosaluetta lukuun ottamatta. HSV kuuluu Helsingin kaupungin omistamaan Helen – konserniin. [7]

Vuonna 2015 HSV:n liikevaihto oli 97,2 miljoona euroa. Henkilöstön lukumäärä oli keskimäärin 107 henkilöä. Yrityksen investoinnit olivat 37,5 miljoona euroa. HSV:lla on noin 375 000 asiakasta. Energiankulutukseltaan merkittävin asiakasryhmä on palvelut, jonka osuus on yli puolet. Asumisen osuus on noin kolmannes. Energiankulutuksen jakaantuminen asiakasryhmittäin on esitetty tarkemmin kuviossa 1. [7]

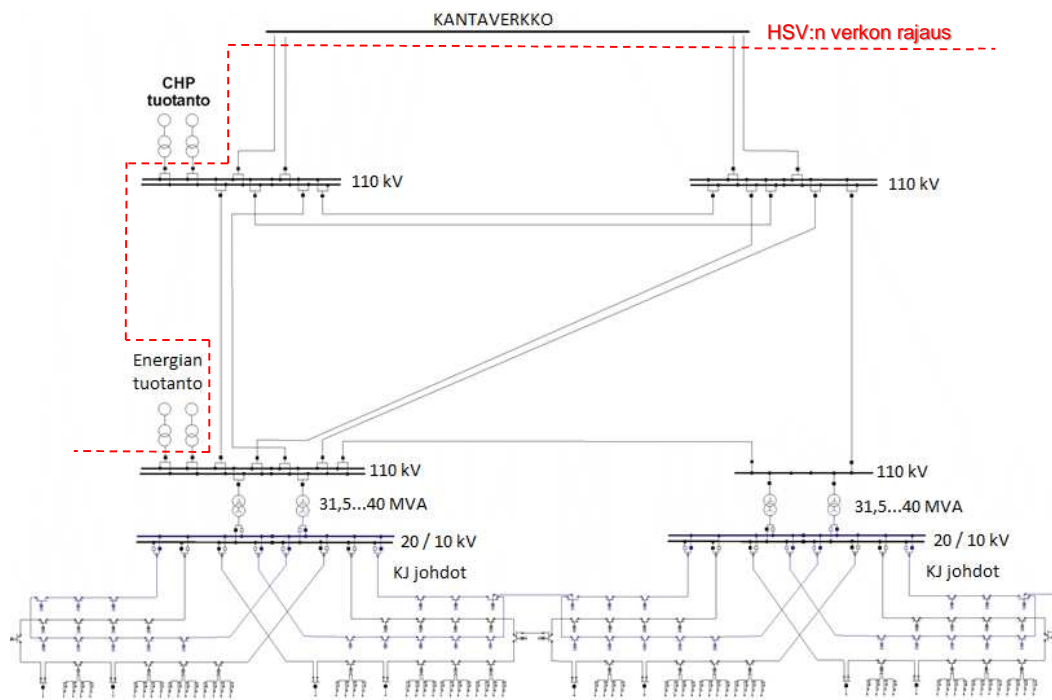


Kuvio 1. HSV:n asiakasrakenne kulutetun energian suhteen vuonna 2015 [7].

HSV on yksi Suomen suurimmista sähköverkkoyhtiöistä. Vuoden 2014 tilastojen mukaan yritys oli jakeluverkon haltijoista liikevaihdoltaan kolmanneksi suurin. [8]

HSV:n verkon rakenne

HSV:n sähköverkon rakenne on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. HSV:n verkon perusrakenne [7].

HSV:n sähköverkko sisältää 110 kV:n suurjännitejohtoa, 10/20 kV:n keskijännitejohtoa ja 0,4 kV:n pienjännitejohtoa. Vuonna 2015 verkon kokonaispituus oli lähes 6200 kilometriä, joista maahan kaapeloituna oli noin 96 prosenttia. Sähköasemia oli 23 kappaletta. Jakelumuuntamoiden lukumäärä oli 1826 kappaletta. Jakelumuuntamoiden verkostoautomaatioaste oli 15 %. Energiaa siirrettiin asiakkaille noin 4500 GWh. Suurin huipputeho oli 817 MW. [7]

Verkon toimitusvarmuutta voidaan kuvata SAIDI-arvolla (System Average Interruption Index). SAIDI-arvo kuvaa keskeytyksen keskimääräistä yhteenlaskettua kestoaikaa tietyllä aikavälillä. HSV:n asiakkaiden kokema muuntopiiri-kohtainen SAIDI-arvo (T-SAIDI) oli vuosina 2011–2015 keskimäärin 3,52 minuuttia. [7]. HSV:n sähkön siirron toimitusvarmuus on Suomen kärkitasoa [9].

Kuviossa 2 esitetyistä verkon laitteistoista sähköasemalla sijaitsevat 110 kV:n kytkinlaitokset, päämuuntajat ja keskijännitekytkinlaitokset.

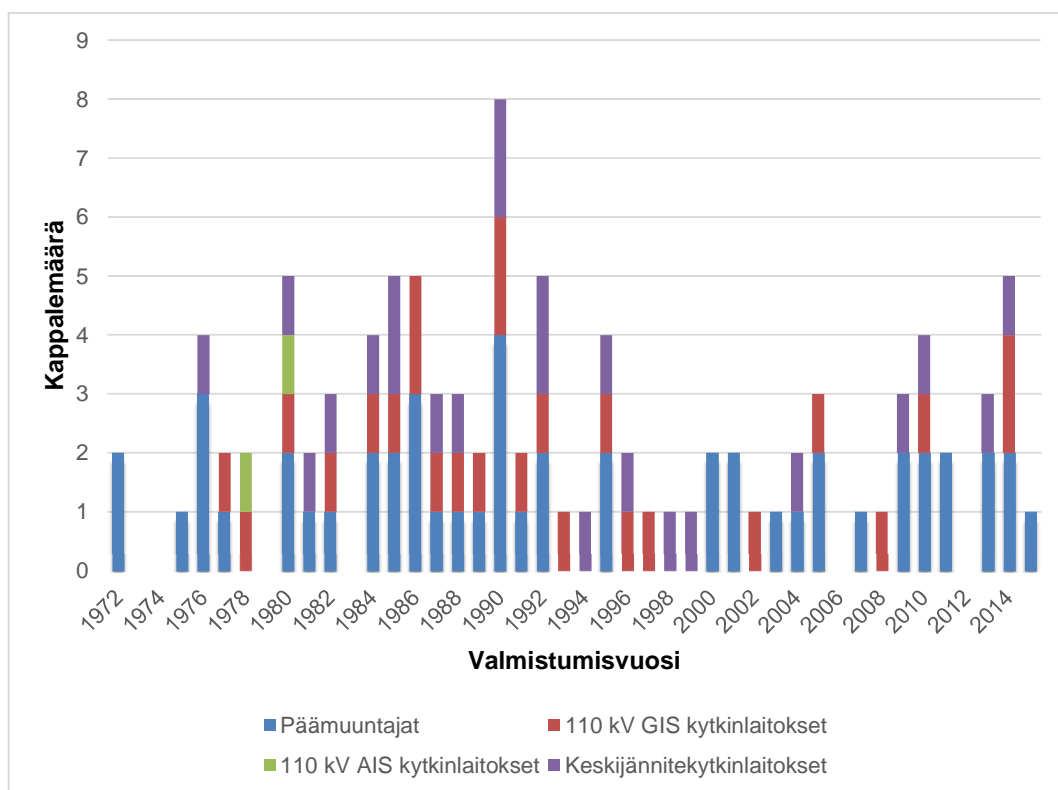
110 kV:n laitteistot jakaantuvat ilma- ja kaasueristeisiin kytkinlaitoksiin. GIS-kytkinlaitoksen (Gas Insulated Switchgear) eristekaasuna käytetään SF₆-kaasua. Kiskojärjestelmänä GIS-kytkinlaitoksissa on käytössä yksikiskojärjestelmä ja kaksikiskojärjestelmä. AIS-kytkinlaitoksien (Air Insulated Switchgear) kiskojärjestelmänä on käytössä kaksikisko apukiskojärjestelmä. [10]

Päämuuntajia sähköasemilla on yhdestä kolmeen kappaletta, muuntotarpeesta riippuen. Muuntajat ovat öljyeristeisiä. Jäähdytystapoina on käytössä OFAF (Oil Forced Air Forced), ONAF (Oil Natural Air Forced) ja OFWF (Oil Forced Water Forced). [10]

Keskijännitekytkinlaitoksien tekninen rakenne vaihtelee. Käytössä on ilma- ja kaasueristeisiä kytkinlaitoksia varustettuna vähäöljy-, tyhjö- tai SF₆-katkaisijoilla. Katkaisijat ovat vaunu- tai kiinteämallisia. Keskijännitekytkinlaitoksien kiskojärjestelmänä on Dublex- tai kaksikiskojärjestelmä. [10]

Sähköasemien 230 VAC apusähköjärjestelmää syötetään asemalla olevan omakäyttömuuntajan avulla. Omakäyttömuuntajaa syötetään aseman omasta keskijännitekytkinlaitoksesta. Apusähkösyöttö on varmennettu omakäyttömuuntajan rinnalla olevan jakeluverkon syöttämän pienjänniteliitynnän avulla. Lisäksi sähköasemilla on käytössä varmennettu tasasähköjärjestelmä. Varmennus on toteutettu kahdennetun akuston avulla. Uusilla asemilla tasasähköjärjestelmän jännite on 110 VDC.

Sähköasemilla olevista laitteistoista vanhimmat on valmistettu 1970-luvulla. Uusimmat sähköasemat valmistuivat vuoden 2015 aikana, ja niiden laitteet on valmistettu vuosien 2014–2015 aikana. Kuviossa 3 on esitetty tarkemmin sähköasemilla olevien laitteistojen ikärakenne. [10]



Kuvio 3. Sähköasemien pääkomponenttien lukumäärät valmistumisvuosittain [10].

Kappalemäärällä tarkoitetaan yksittäistä kojeistoa tai päämuuntajaa. Laitteistot on hankittu uuden sähköaseman myötä tai olemassa olevan sähköaseman vanhentuneeseen komponentit korvaamiseksi.

Kuvion 3 mukaisesti sähköasemilla on merkittävästi 1980-luvulla ja 1990-luvun alussa valmistuneita laitteistoja. 2000-luvun taitteessa laitteistoja on hankittu vähemmän. Viime vuosina hankintamäärät ovat taas kasvaneet.

Sähköasemien primäärilaitteiden elinkaari on tyypillisesti 30–50 vuotta. Taloudellisesti merkittäviä, laitteistojen uusintaa koskevia päätöksiä joudutaan tekemään tulevaisuudessa merkittävästi. Tätä suuntausta tukee myös viime vuosina vähentynyt sähkön käyttö Helsingissä [7]. Vähentyneen sähkön siirron myötä painopiste on siirtymässä uuden verkon rakentamisesta omaisuuden hallintaan ja korvausinvestointeihin. Omaisuuden hallinta ja korvausinvestointien onnistunut ajoitus edellyttävät tietoa laitteiden elinkaarikäyttäytymisestä.

3 Tutkimusmenetelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty toimintatutkimuksena. Toimintatutkimuksessa tutkitaan valitsevia käytäntöjä ja yritetään löytää ratkaisuja havaittuihin ongelmiin. Toimintatutkimukseen kuuluu olennaisena osana käytännön työtä tekevien henkilöiden aktiivinen osallistuminen. Toimintatavalla kasvatetaan muutoksen onnistumistodennäköisyyttä. [11]

Tässä toimintatutkimuksessa on käytetty pääosin laadullista lähestymistapaa. Laadullisessa lähestymistavassa tutkimus rakentuu pääosin [12]:

- Aiemmin tehdyistä tutkimuksista ja teorioista.
- Kokemusperäisistä aineistoista.
- Tutkijan omasta ajattelusta ja päättelystä.

Tutkimuksessa on käytetty myös määrällistä lähestymistapaa. Määrällisessä lähestymistavassa hyödynnetään teoriaa, kerätyn aineiston pohjalta saatuja mittaustuloksia ja tutkijan ajattelua. Toimintatutkimus sallii molempien lähestymistapojen hyödyntämisen. [11]

Valittu tutkimusmenetelmä tukee hyvin opinnäytetyön aihetta. Kohdeorganisaatiossa on haivattu, että toisinaan päätöksiä joudutaan tekemään ilman tietoa. Valitussa tutkimustavassa päätöksentekoprosessien nykytilanne käydään läpi ja havaituille puutteille pyritään löytämään ratkaisu.

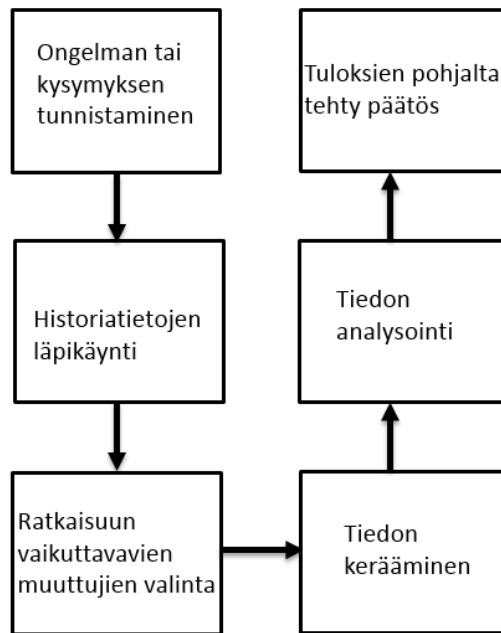
Työssä käytetään laadullista lähestymistapaa niille kohteille, joissa tutkittavia yksiköitä on vähän. Merkittävässä osassa tutkittavista kohteista tutkittavien yksiköiden määrä on pieni. Tällöin päättelyn merkitys korostuu. Niiltä osin kun tutkittavia yksiköitä on riittävästi, lähestymistapana käytetään määrällistä tutkimusta. Tällöin tulokset määritellään laskennallisesti isommasta tietomäärästä.

4 Teoriaa tiedon hyödyntämisestä päätöksenteossa

Russon ja Schoemakerin [13] mukaan hyvä päätös koostuu neljästä pääelementistä:

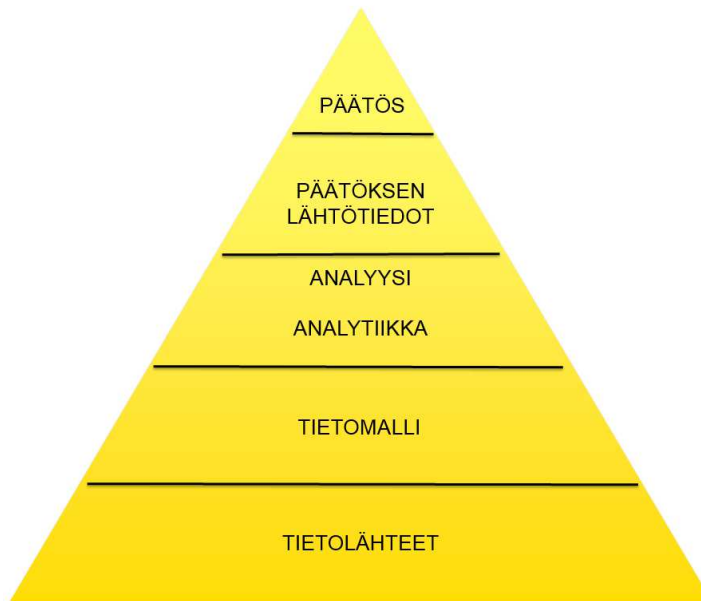
1. Kysymyksen asetteleminen
2. Tiedon kerääminen
3. Päätöksen tekeminen
4. Oppiminen palautteesta

Analytiikkaan pohjautuvassa päätöksenteossa tiedon hyödyntäminen on olennaista. Jussila [14, s. 48] ilmoittaa analytiikkaan pohjautuvan päätöksenteon koostuvan kuviossa 4 esitetyistä vaiheista.



Kuvio 4. Analytiikkaan perustuvan päätöksenteon vaiheet [14, s. 48].

HSV:ssä on käynnissä kehityshanke, jossa päätöksentekoa pyritään muuttamaan enemmän analytiikkaan perustuvaksi. Tavoiteltava päätöksentekopyramidi on esitetty kuviossa 5 [15].



Kuvio 5. HSV:n päätöksentekopyramidi [15].

Tässä opinnäytetyössä elinkaarisuunnittelun päätöksentekomalleja lähestytään erityisesti tiedon hyödyntämisen näkökulmasta. Opinnäytetyön aihe tukee hyvin yrityksen muiden kehityshankkeiden tavoitteita.

5 Sähköasemien elinkaarisuunnittelun päätöksentekomallit

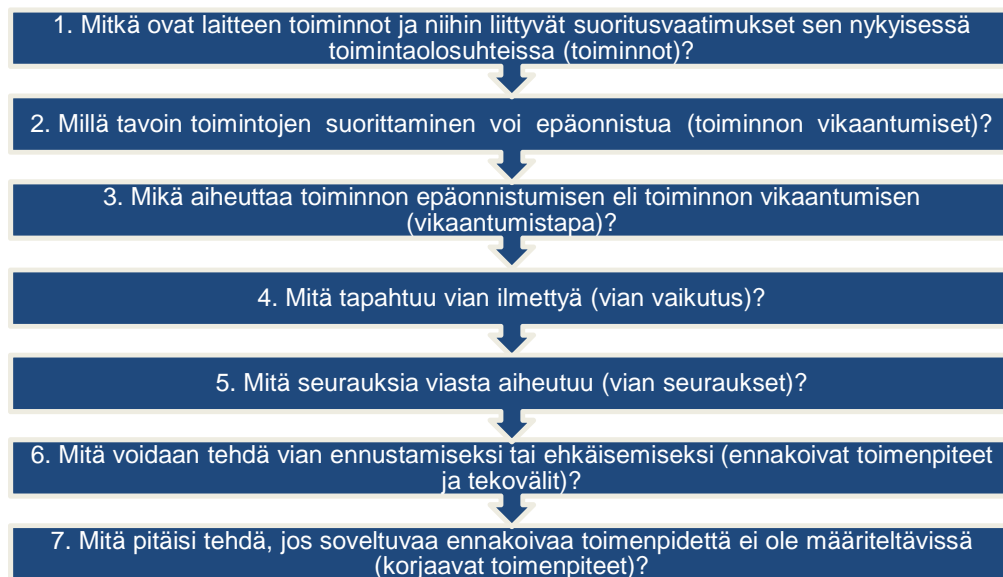
HSV:n sähköasemien elinkaarisuunnittelun osana hyödynnetään RCM-kunnossapitomenetelmää ja TCO-elinkaarikustannusmallia.

5.1 RCM-kunnossapitomenetelmä

HSV:n sähköasemien kunnossapitofilosofiana toimii luotettavuuskeskeinen kunnossapito eli RCM. HSV:n käytössä olevaa RCM-prosessia on muokattu paremmin omaan toimintaympäristöön sopivaksi. RCM-kunnossapitomenetelmä on otettu käyttöön HSV:ssä aiemmin tehtyjen opinnäytetöiden myötä. [16, s. 35]

RCM:ssä kunnossapidettävät kohteet käydään läpi käsittelymallin avulla. Käsittelymalli eli RCM-prosessi sisältää toimintojen järjestelmällisen tunnistamisen, vika- ja vaikutusanalyysin sekä päätöskaaavion. Päätöskaaavion avulla määritellään tarkasteltavalle laitteelle tehtävät kunnossapitotoimenpiteet. RCM:n avulla on tarkoitus optimoida kunnossapitotoimenpiteet mahdollisimman tehokkaaksi. [16, s. 25, 33]

Konkreettisesti RCM-prosessi voidaan suorittaa vastaamalla kuviossa 6 esitettyihin kysymyksiin.



Kuvio 6. HSV:n RCM-prosessin kysymysrunko [16, s. 35].

RCM-prosessi voidaan suorittaa laite- tai järjestelmäsuuntautuneesti. Laitesuuntautuneisuudessa RCM-prosessi tehdään yksittäiselle sähköasemakomponentille. Järjestelmäsuuntautuneisuudessa prosessi kohdistuu ensisijaisesti yksittäiselle kohteelle ja tuloksia sovelletaan kaikille vastaaville laitteille. [16, s. 34] HSV:n RCM-prosessit on tehty pääosin järjestelmäsuuntautuneesti.

HSV:n RCM-prosessit valmistuivat työryhmätyöskentelynä vuonna 2003. Niiden myötä alkuperäistä kunnossapito-ohjelmaa muokattiin päätöskaavion mukaisilla korjaavilla, aikaan perustuvilla tai kuntoon perustuvilla kunnossapitotoimenpiteillä. [16, s. 25] RCM-prosesseja on täydennetty ja laajennettu seuraavina vuosina. Viimeisin RCM-prosessien päivitys on toteutettu vuonna 2014.

RCM-kunnossapitomenetelmään liittyvät haasteet

HSV:llä käytössä olevaan RCM:n toteutukseen on liittynyt joitakin haasteita. Käyttönotovaiheessa haasteena todettiin olevan teorian ja käytännön yhdistäminen. Vaikka RCM-prosessin kautta eri laitteille olisikin perusteltua tehdä huoltoja eri aikavälillä, käytännön syyt, kuten prosessiin aiheutuvat keskeytykset, tuovat rajoituksia toimenpiteille. [16, s. 61]

Haasteina myös mainittiin vikatilastoinnin puutteellisuus ja pieni laitekanta. Tästä johtuen vikaantumistodennäköisyydet joudutaan arvioimaan todellisen tiedon puuttuessa tai ollessa puutteellista. [16, s. 38, 39]

Vikatilastointia on kehitetty, mutta siihen liittyy edelleen puutteita. Vikatilastointia tehdään Artturi-kunnossapito-ohjelmiston avulla. Vikatilastointi tehdään luokittelemalla tarvittavat työtilaukset vikatöiksi. Siten vain erillisen työtilauksen vaatimat viat kirjautuvat vikatilastoon, eikä huoltojen aikana havaittuja vikoja tilastoida. Tämä tekee tilastoinnin kattavuudesta puutteellista. Pieni laitekanta heikentää lisäksi edelleen vikatilastoinnin luotettavuutta. Kuvakaappaus Artturi-kunnossapito-ohjelmiston työtilauslomakkeesta on esitetty kuviossa 7.

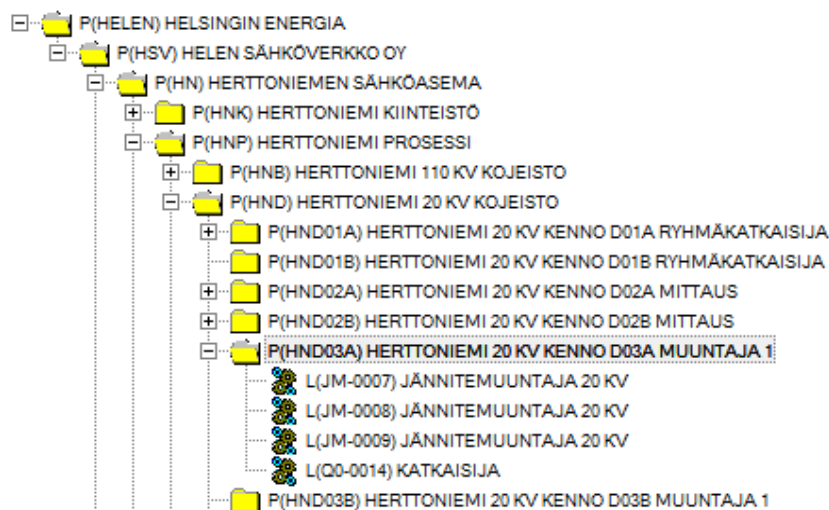
Työn järjestely

Työnnumero	Tyyppi	V - Vikatyö	Tallenna muutos
Nimi	Esimerkki työtilaus		Muuta ja läheta
Tilaaja	KJARU - JARI RUOTSALAINEN		Tallenna uusi
Laite	L Q911-0008	MAADOITUSEROTIN KOKOJAKISKK	Kuittaa
Paikka	P KIEW1A	KLJUUVI 110 KV W1-RISKO A-RYHMÄ	Tyhjennä
Työn kuvaus	Esimerkkityötilaus		Tulosta
Raportti			Kustannukset
			Sulje
Huoltoryhmä	1857 - PROSESS. KUNN.PITO		
Työlaji	1 - PRIMÄÄRI, VIKATYÖT (=EI INVESTOINTI)		
Kiireellisyys	VII - TEHTÄVÄ VIIKON SISÄLLÄ		Tilamuutos
Valm. aika			2
Tilaus aika			V
Kustannuskohde	XXXXX - LISÄTÄÄN MYÖHEMMIN		6
Laskentakohde	XXXXXXXXX - LISÄTÄÄN MYÖHEMMIN		V
Luokka 1	V2 - VIALLA EI VAIKUTUSTA KÄYTTÖÖN		7
Luokka 2	T3 - VIKA ENNALTAEHKÄISTÄVISSÄ KUNNOSSAPITOA KEHI"		V
Tila			8

Kuvio 7. Artturi-kunnossapito-ohjelmiston web-käyttöliittymän työtilauslomake.

Vikatilastointiin kirjatut viat luokitellaan kahdella eri luokitteluehdolla. Ensimmäisellä luokittelulla määritetään, vaikuttiko vika verkon käyttötilanteeseen. Toisella luokittelulla määritetään, olisiko vastaava vika ehkäistävissä kunnossapitoa kehittämällä. Vikaluokittelet näkyvät kuvion 7 alalaidassa luokka 1- ja luokka 2-tietoina. RCM ei itsessään tuo yksiselitteisiä vaatimuksia vikatilasoinnin luokittelulle. Vikojen jakaminen merkittäviin ja pieniin vikoihin tulee kuitenkin olla olemassa, mikä osaltaan ilmenee jo nykyisestä luokittelusta. Artturi-kunnossapito-ohjelmiston käyttöä on kuvattu tarkemmin kappaleessa 6.1.5.

Toisena vikatilastointiin liittyvänä puutteena ovat erot laitehierarkiassa sähköasemien välillä. Vikatiedot syötetään laitehierarkian mahdollistamalla tarkkuudella. Esimerkiksi keskijännitekytkinlaitoksen vikatiedot ovat saatavilla tarkimmillaan yksittäisen mitta-
muuntajan tai katkaisijan tarkkuudella. Kuviossa 8 on kuvakaappaus keskijännitekytkin-
laitoksen laitehierarkiasta.



Kuvio 8. Artturi-kunnossapito-ohjelman laitehierarkia.

Osassa keskijännitekojeistoja myös virtamuuntajat on syötetty laitehierarkiaan. Kuviossa 8 esitettyyn hierarkiaan niitä ei ole kirjattu. Hierarkiaerojen takia osalla sähköasemista vikatiedot kohdistetaan tarkemmin kuin toisilla. Kohdistustarkkuudessa olevat erot vääristävät vikatilastojen vertailtavuutta, mikä vaikeuttaa niiden käyttöä RCM-prosessien muodostamisessa.

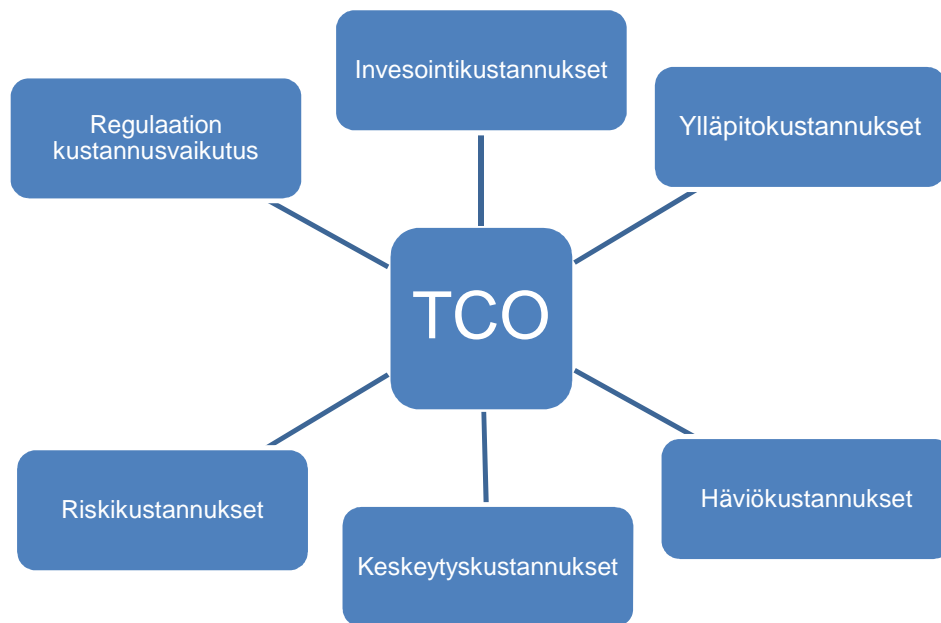
Käytäntö on tuonut esille lisäksi RCM-prosessien ylläpitoon liittyvän uuden haasteen. Sähköverkon laajetessa ja muuttuessa ei RCM-tarkastelua ole tehty aina riittävässä laajuudessa. Myös kunnossapito-ohjelmaan tehdyt muutokset ovat linkittyneet puutteellisesti RCM-prosessiin. Tehdyt muutokset tulisi aina perustella käytössä olevan kunnossapitofilosofian kautta. Tällä varmistetaan päätöksien riittävän laajasta ja järjestelmällisestä tarkastelusta.

5.2 TCO-elinkaarikustannusmalli

HSV:ssa on otettu käyttöön TCO-elinkaarikustannusmallia vuodesta 2015 alkaen. Mallin tavoitteena on ohjata toimintaa kannattavuusajattelun avulla, huomioimalla kaikki päätöksen elinkaarikustannukset. Käytännössä mallin avulla pyritään optimoimaan elinkaarikustannukset ja siten saavuttamaan asetettu vaatimustaso mahdollisimman tehokkaasti ja kannattavasti. TCO-mallin käyttöönotto tapahtuu asteittain, jatkuen vielä muu-

tamia vuosia eteenpäin. Mallia tullaan soveltamaan ylläpito- ja uudisinvestointien suunnittelussa, joten sähköasemien osalta se tulee ohjaamaan sekä kunnossapitotoimintaa että laitehankintoja. [17]

TCO-mallissa pyritään huomioimaan kaikki päätökseen vaikuttavat taloudelliset seikat. HSV:n TCO-malliin vaikuttavat asiat on kuvattu tarkemmin kuviossa 9.



Kuvio 9. TCO-elinkaarikustannusmalliin vaikuttavat asiat [18].

Mallin avulla arvioidaan ja muutetaan vertailtavaan muotoon päätösvaihtoehtojen kustannusvaikutus koko elinkaaren ajalta, jotta kokonaistaloudellisesti halvin vaihtoehto saadaan selville.

TCO-elinkaarikustannusmalliin liittyvät haasteet

TCO-mallin käytössä sähköasemien elinkaarisuunnittelussa on havaittu joitakin haasteita. Isoimpana haasteena on malliin liittyvien kustannusvaikutuksien ja vikaantumistodennäköisyyksien määrittely.

TCO-mallissa huomioitavan ylläpitokustannuksen määrittelyssä olisi mahdollista hyödyntää toteutuneita huolto- ja korjauskustannuksia. Riskikustannukset olisi puolestaan

helpompi määrittellä toteutuneiden vikamäärien ja korjauskustannuksien avulla. Päätöksen onnistumistodennäköisyys kasvaisi, mikäli käytettävissä olisi todellisia kustannus- ja vikatietoja käsiteltävän tyyppisistä laitteista.

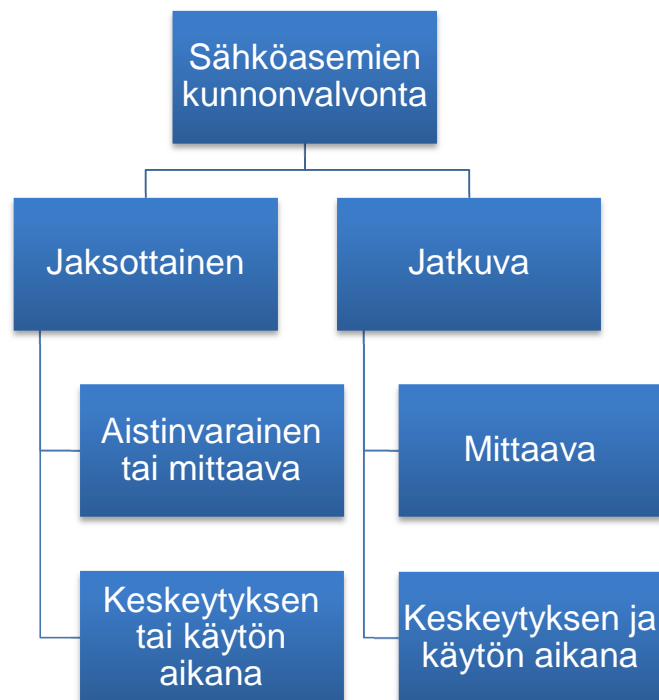
Tällä hetkellä määrittelyn tueksi ei ole saatavilla riittävän laadukasta vastaaventyyppisten laitteiden toteumatietoa. Sähköasemien primäärilaitteiden kaikista huolloista ja vikoista syntyvät kustannukset kerätään käytössä olevaan Artturi-kunnossapito-ohjelmistoon. Kustannukset luokitellaan työlajien mukaan, mikä mahdollistaa huolto- ja viankorjauskustannuksien erottelun. Kappaleessa 5.1 kuvatut kunnossapito-ohjelmiston laitehierarkiassa olevat puutteet vaikuttavat kuitenkin kerättävien kustannustietotojen vertailtavuuteen. Myös kappaleessa kuvatut vikatilastoinnin puutteet vaikuttavat TCO-malliin. TCO-mallin kannalta vikatilastoinnin tulisi olla riittävän kattavaa ja vertailtavassa muodossa olevaa.

Työn rajauksen ulkopuolelta ongelmana ovat eroavaisuudet eri yksiköiden kustannus- ja vikatietojen keruutavoissa. Eri laiteryhmiä kustannus- ja vikatiedot kerääntyvät eri kunnossapito-ohjelmistoihin tai Excel-taulukoihin. Käytössä ei ole myöskään yhteistä tietomallia. TCO-tarkastelu kohdistuu usein yli yksikkörajojen, joten tietojen tulisi olla vertailtavassa muodossa.

6 Sähköasemien kunnonvalvonta

Merkittävä sähköasemien elinkaarisuunnitteluun liittyvä tekijä on komponenttien kunnontieto. Laitteiden kunnontiedon avulla on mahdollista havaita alkavat viat ennen niiden laajenemista, sekä optimoida laitteen elinkaari. Elinkaaren optimoinnilla on mahdollista vaikuttaa laitteen huoltokustannuksien suuruuteen, korvausinvestointiin ajoitukseen sekä optimaaliseen käyttöasteeseen. [20, s. 12, 31]

Sähköasemien kunnonvalvonta voidaan jakaa jaksottaiseen tai jatkuvatoimiseen kunnonvalvontaan [20, s. 27]. Kunnonvalvontaa voidaan tehdä keskeytyksen- tai käytön aikana [20, s. 21]. Kunnonvalvontatiedon keräyksessä voidaan käyttää aistinvaraisia tarkastuksia tai mittalaitteella tehtyjä mittauksia. HSV:n sähköasemilla tehtävän kunnonvalvonnan jakaantuminen on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 10. Sähköasemien kunnonvalvonnan jaottelu.

Tässä työssä kunnonvalvontaa käsitellään kahdessa osassa, jaoteltuna jatkuvatoimiseen ja jaksottaiseen kunnonvalvontaan. Jaksottainen kunnonvalvonta tehdään ihmisen toimesta mittaamalla tai visuaalisin tarkastuksin. Jatkuvatoiminen kunnonvalvonta tehdään automatisoidusti kunnonvalvontalaitteiden avulla, ilman ihmisen aktiivista työpanosta.

6.1 Jaksottainen kunnonvalvonta

HSV:n sähköasemilla tehtävä jaksottainen kunnonvalvonta kohdistuu lähes kaikkiin prosessiin vaikuttaviin laitteisiin. Jaksottainen kunnonvalvonta tilataan kunnossapitourakoitsijalta, ja se tehdään etukäteen sovitun syklin mukaisesti. Kunnossapitoa hallinnoidaan Artturi-kunnossapito-ohjelmiston avulla.

Kunnonvalvonnan laajuus on määritetty RCM-prosessien avulla, huomioiden valmistajien suositukset ja omakohtaiset kokemukset.

Yhteenveto sähköasemalaitteistoille tehtävistä jaksottaisista kunnonvalvontatöistä on kuvattu liitteessä 1.

6.1.1 Päämuuntajien jaksottainen kunnonvalvonta

Päämuuntajien jaksoittainen kunnonvalvonta sisältää kolme kertaa vuodessa tehtävän kuntotarkastuksen, jossa muuntajalle tehdään aistinvaraisia tarkastuksia. Muuntaja on tarkastuksen ajan normaalissa käytössä. Aistinvaraisessa tarkastuksessa käydään läpi muuntaja oheislaitteineen. [10] Tarkastuksessa on mahdollista havaita viat visuaalisesti tai kuulon avulla. Kuntotarkastuksen yhteydessä muuntajalta otetaan kaasuanalyysi kannettavalla kaasuanalysointilaitteella [10]. Kaasuanalyysin avulla on mahdollista havaita muuntajassa vioittumisen johdosta syntyneet vikakaasut [19, s. 8]. Saatua tietoa on mahdollista käyttää muuntajaan ikääntymisen määrittelyyn [21, s. 2].

Päämuuntajien huolto tehdään kahden vuoden välein. Muuntaja otetaan keskeytykseen huollon ajaksi. Tämä mahdollistaa aistinvaraisten tarkastuksien tekemisen kuntotarkastusta tarkemmin, koska turvaetäisyydet jännitteisiin osiin eivät rajoita tarkastusta. [10]

Päämuuntajat lämpökuvataan kahden vuoden välein [10]. Lämpökuvaukseen suoritetaan käytön aikana. Lämpökuvauksella pyritään havaitsemaan poikkeava toiminta, kuten kuumat pisteet, jotka voivat aiheuttaa vaurioitumisen tai indikoida jo syntyneestä vauriosta. [21 s.2]. Saatavilla olevien tilastojen mukaan muuntajavioista lämpökameralla on mahdollista havaita yleisimmin ylä- ja alajännitepuolen liitäntöjen viat [19, s. 9].

Päämuuntajilta mitataan öljyn läpilyöntijännite. Mittausväliksi on määritetty kuusi vuotta. [22] Läpilyöntijännitteen mittauksella varmistetaan öljyn riittävä laatu sähköisenä eristysaineena. Öljyn läpilyöntilujuuteen vaikuttaa muun muassa kosteus, ulkopuoliset partikkelit, happamuus ja paine. [24, s. 1] Öljynäytteen otto ei edellytä muuntajakeskeytystä.

Päämuuntajilta otetaan myös laboratorioissa tehtäviä öljyanalyyskejä. Niiden ajoitus on määritelty tapauskohtaisesti. Keskimäärin öljyanalyysi tehdään noin 10 vuoden välein. [22] Laboratorioissa tehtävä öljyanalyysi on kaasuanalyysia tarkempi. Viime vuosina tehdyt laboratorioanalyysit ovat sisältäneet kaasuanalyysin lisäksi myös läpilyöntijännitteen, häviökertoimen, rajapintajännityksen, inhibiittipitoisuuden, neutraloimisluvun ja kiintoainepitoisuuden määrittämisen sekä furfuraalianalyysin [25]. Tilattujen öljyanalyysien toimenpiteet selitettiin on kuvattu tarkemmin taulukossa 1.

Taulukko 1. Laboratorioissa tehtävät toimenpiteet HSV:n tilaamissa öljyanalyysissä [25].

Toimenpide	Tarkoitus
Kaasuanalyysi	Vian havainnointi tai määrittäminen
Läpilyöntijännite	Eristekyvyn määrittäminen
Häviökertoimen	Epäpuhtauksien tai vanhenemistuotteiden havaitseminen
Rajapintajännitys	Epäpuhtauksien ja hajoamistuotteiden havaitseminen
Inhibiittipitoisuus	Vanhenemista estävän inhibiitin määrän määrittäminen
Neutraloimisluku	Korroosiota kiihdyttävien happamien yhdisteiden tai epäpuhtauksien havaitseminen
Kiintoainepitoisuus	Läpilyöntijännitteeseen ja lämmönsiirtokykyyn vaikuttavien hiukkasten havaitseminen
Furfuraalianalyysi	Paperieristeen korkeille lämpötiloille altistumisesta kertovan furfuraalin mittaaminen

Öljyeristeiset käämikytkimet huolletaan kuuden vuoden välein. Huollossa käämikytkin koskettimien, ohjaimien ja apulaitekaappeineen tarkastetaan aistinvaraisesti. Tyhjäkäämikytkimen huoltosykli on 12 vuotta. [10] Muuntaja otetaan huollon ajaksi keskeytykseen.

Muita kunnonvalvontamittauksia muuntajalle tehdään vain erillisen poikkeamahavainnon johdosta. Viime vuosina muuntajille on tehty taulukossa 2 mainittuja mittauksia poikkeamahavaintojen takia.

Taulukko 2. HSV:n muuntajille tehtyjä mittauksia vuosien 2003–2013 aikana [26, s. 2; 27, s. 2, 3; 28, s. 2].

Toimenpide	Tarkoitus
Käämien tasavirtavastusmittaus	Resistanssipokkaemien havaitseminen
Indusoitu jännitekoe	Jännitelujuuden mittaus
Osittaispurkausmittaus	Muuntajaeristeiden heikentymisen havaitseminen
Tyhjäkäyntivirran ja muuntosuhteiden mittaus	Rautasydämessä olevien poikkeavuuksien havaitseminen
Oikosulkuimpedanssin ja kuormitushäviöiden mittaus	Hajareaktanssiarvon muutoksen havaitseminen
FRA (Frequency Response Analysis) mittaus	Muuntajassa tapahtuneiden fyysisten muutoksien havaitseminen

Mittauksilla pyritään havaitsemaan ja määrittämään muuntajan vaurioituminen vertaamalla tuloksia tehtaalla mitattuihin tai tehtaalla ilmoitamiin arvoihin. Muuntaja otetaan mitausten ajaksi keskeytykseen.

6.1.2 110 kV:n kytkinlaitoksien jaksottainen kunnonvalvonta

HSV:n 110 kV:n AIS- ja GIS-kytkinlaitoksille tehdään jaksottaista kunnonvalvontaa eri sykleissä.

110 kV:n AIS:n jaksottainen kunnonvalvonta

AIS-kytkinlaitoksien kuntotarkastus tehdään kerran vuodessa. Kuntotarkastus sisältää aistinvaraisia tarkasteluja, ja se tehdään käytön aikana. [10]

AIS-kytkinlaitokset erottimet huolletaan neljän vuoden välein. Huollossa erottimien aistinvarainen tarkastelu tehdään kuntotarkastusta tarkemmin. Mikäli aikaisemmissa huolloissa tai tarkastuksissa on havaittu puutteita, voidaan huollon yhteydessä tehdä myös tarkastavia kunnonvalvontamittauksia. [10] Erotinhuollot tehdään keskeytyksen aikana.

Kytkinlaitoksen laajempi huolto suoritetaan kahdeksan vuoden välein. Huolto tehdään keskeytyksen aikana, ja siinä visuaalinen tarkastus tehdään vuosittaista kuntotarkastusta tarkemmin. Huollon yhteydessä kunnonvalvontamittauksina mitataan katkaisijan jousen viritysmoottorin toiminta-aika ja katkaisijaöljyn läpilyöntijännite. [10] Viritysmoottorin toiminta-aikamittauksella pyritään havaitsemaan moottorin, jousen tai niiden välisten mekanismien vauriot [20, s. 210]. Katkaisijaöljyn läpilyöntijännitteen mittausta vastaa kappaleessa 6.1.1 mainittua muuntajaöljyn läpilyöntijännitteen mittausta.

AIS-kytkinlaitoksille tehdään ultraäänikuvaus tiheimmillään neljän vuoden välein [10]. Ultraäänimittauksessa tukieristimien kunto tarkastetaan ultraäänikuvauksen avulla ja luokitellaan eri kuntoluokkiin. Mittauksen avulla pyritään havaitsemaan tukieristimien vauriot, kuten säröt ja murtumat, ennen tukieristimen varsinaista hajoamista. [23] Ultraäänikuvauksen aikana työskennellään virtapiirien läheisyydessä, joten ne tehdään pääsääntöisesti keskeytyksen aikana.

AIS-kytkinlaitokset lämpökuvataan kahden vuoden välein. Kuvaus suoritetaan käytön aikana. [10] Saatavilla olevien tilastojen mukaan suurijännitelaitteiden vioista lämpökuvauksella on mahdollista havaita yleisimmin erottimen kosketinpisteiden viat [19, s. 11].

Kytkinlaitoksille tehdään katkaisijamittauksia kahdeksan vuoden välein. Mittauksessa mitataan katkaisijan toiminta-ajat, valokaari- ja pääkoskettimien dynaaminen resistanssi ja pääkoskettimien staattinen resistanssi. Muiden virtateiden staattinen resistanssi mitataan soveltuvin osin. Mittaukset tehdään keskeytyksen aikana. [10] Katkaisijan toiminta-aikamittauksella pyritään havaitsemaan pääkoskettimien riittävän nopea toiminta valokaaren katkaisuun [20, s. 207]. Resistanssimittauksen avulla on mahdollista havaita mitattavien koskettimien liitoksen kunto. Dynaaminen resistanssi mitataan ajan funktiona, katkaisijan toimiessa. Staattinen resistanssi tehdään katkaisijan koskettimien ollessa paikallaan yhdistetty-asennossa.

110 kV:n GIS:n jaksottainen kunnonvalvonta

Merkittävä syy GIS-kytkinlaitoksien käyttöön kaupunkialueella on kytkinlaitoksen huomattavasti pienempi fyysinen koko ilmaeristeisiin nähden. Eristekaasun myötä kunnonvalvonta eroaa joiltakin osin AIS-kytkinlaitoksen kunnonvalvonnasta.

GIS-kytkinlaitokselle tehdään kuntotarkastus joka vuosi. Kuntotarkastuksessa kojeisto tarkastetaan aistinvaraisesti. Työ tehdään käytön aikana. [10]

GIS-kytkinlaitoksen huolto suoritetaan neljän vuoden välein. Huolto tehdään keskeytyksen aikana. Huollon yhteydessä tehtävä aistinvarainen tarkastus on kuntotarkastusta tarkempi. Huollon yhteydessä mitataan kytkinlaitoksen kaasutilojen kaasunpaine ja kastepiste, sekä ohjaimien viritysmoottorin käyntiaika ja toimintavirta. Myös katkaisijan toiminta-ajat mitataan. Huollon yhteydessä tehdään kahdeksan vuoden välein lisäksi valo-kaari- ja pääkoskettimien dynaamisen resistanssin, pääkoskettimen staattisen ylimenovastuksen, sekä muiden virtateiden staattisen resistanssin mittaukset soveltuvin osin. [10] Kaasunpaineen ja kastepisteen mittauksilla pyritään varmistamaan eriste kaasun riittävä laatu. Viritysmoottorin toimintavirtamittaus on käyntiaikamittausta täydentävä mittaus. Muut mittaukset vastaavat AIS-kytkinlaitokselle tehtäviä mittauksia.

GIS-kytkinlaitokset lämpökuvataan kahden vuoden välein. Kuvaus tehdään kytkinlaitoksen ollessa kuormitettuna. [10]

6.1.3 Keskijännitekytkinlaitoksien jaksottainen kunnonvalvonta

Keskijännitekytkinlaitoksille suoritetaan lähes yhteneväistä kunnonvalvontaa tyypistä riippumatta. Pienet erot johtuvat käytännön syistä, kuten eroista rakenteessa tai käytetyssä eristeaineessa.

Keskijännitekytkinlaitokselle tehdään kuntotarkastus vuosittain. Kuntotarkastuksessa kytkinlaitokselle tehdään aistinvarainen tarkastus. Tarkastus tehdään käytön aikana. [10]

Keskijännitekytkinlaitos huolletaan viiden vuoden välein. Huollossa aistinvarainen tarkastus tehdään kuntotarkastusta tarkemmin. Huolto suoritetaan keskeytyksen aikana. Huollossa mitataan katkaisijan molempien avauskelojen vetojännite. Lisäksi mitataan kytkinlaitoksen SF₆-kaasun tiheys, kosteus ja kaasunpitoisuus. Mittaukset tehdään, jos SF₆-kaasua on käytetty eristeaineena. Tyhjökatkaisijoilta mitataan tyhjän jännitelujuus, jos se on mitattavissa. Huollon yhteydessä tehdään myös tarkemmat katkaisijamittaukset. Niissä mitataan koskettimien staattinen resistanssi, vaiheiden samanaikaisuus ja toiminta-aika, sekä auki- ja kiinniohjauskelojen virta. [10] Vetojännitteen mittauksella varmistetaan kelan toiminta oikealla jännitteellä. Muilla mittauksilla tavoitellaan samoja asioita kuin kappaleessa 6.1.2 kuvatulla 110 kV:n kytkinlaitoksen mittauksilla.

Keskijännitekytkinlaitokset lämpökuvataan kahden vuoden välein. Mittaus tehdään käytön aikana. [10]

6.1.4 Apusähköjärjestelmien jaksottainen kunnonvalvonta

Sähköasemien apusähköjärjestelmiin kuuluvat omakäyttömuuntaja, 0,4 kV vaihtosähköjärjestelmä ja 110 V tai 220 V tasasähköjärjestelmä. Järjestelmät sisältävät tasa- ja vaihtosuuntaajat sekä akustot.

Omakäyttömuuntajat huolletaan viiden vuoden välein. Muuntaja on keskeytyksessä huollon ajan. Huollossa omakäyttömuuntajalle ja 0,4 kV pääkeskukselle tehdään aistinvaraisia tarkastuksia. Samassa yhteydessä vapaasti hengittäville öljyeristeisille omakäyttömuuntajille tehdään kaasuanalyysi kannettavalla kaasuanalyysaattorilla ja mitataan öljyn läpilyöntijännite. [10] Kaasuanalyysi ja läpilyöntijännitteen mittaus vastaavat kapaleessa 6.1.1 kuvattuja päämuuntajan mittauksia.

Tasa- ja vaihtosuuntaajat huolletaan kahden vuoden välein. Huolto tehdään käytön aikana. Huollossa laitteistoille suoritetaan vain aistinvaraisia tarkastuksia. [10]

Akustoille tehdään huolto vuoden välein. Huollon aikana akusto on normaalissa kuormituksessa. Huollossa mitataan akustojen kenno- ja napajännitteet, sekä tarkastetaan elektrolyyttien tiheys akkujen kennoista. [10] Kenno- ja napajännitteiden avulla on mahdollista havaita oikosulun tai muun syyn takia vaurioituneet kennot [29, s. 10]. Elektrolyyttien tiheysmittauksella on puolestaan mahdollista havaita akkunesteen määrässä, akun varaustilanteessa tai latausjännitteessä olevat poikkeamat [30, s. 178].

Akustoille tehdään lisäksi kapasiteettikoe takuun päättyessä. Takuun päättyttyä kapasiteettikoe tehdään kahden vuoden välein. Kapasiteettikoe kestää viisi tuntia, jonka aikana kennojen napajännitteet ja muut sähköiset suureet, elektrolyyttien tiheys ja akustojen lämpenemä mitataan. [10] Kapasiteettikokeen ja sen aikana tehtävien mittausten avulla on mahdollista havaita kapasiteetiltaan huonontuneet akut tai esimerkiksi järjestelmään liittyvät huonot liitokset [29, s. 12]. Todelliset kuormat siirretään toiselle akustolle kapasiteettikokeen ajaksi.

Omakäyttömuuntajat ja 0,4 kV vaihtosähköjärjestelmän keskukset lämpökuvataan neljän vuoden välein. Lämpökuvaus tehdään käytön aikana. [10] Saatavilla olevien tilastojen

mukaan pienjännitelaitteiden vioista lämpökuvauksella on yleisemmin mahdollista havaita varokekosketinpisteiden viat [19, s. 11].

6.1.5 Artturi-kunnossapito-ohjelma

Kunnossapidon hallintaan käytetään Artturi-kunnossapito-ohjelmistoa. Artturi on Mainiot Software Oy:n toimittama tietokantapohjainen järjestelmä [31]. Ohjelmistoa voidaan käyttää työasemalle asennetulta käyttöliittymällä, tai kevyemmällä internetselaimessa toimivalla web-käyttöliittymällä [32].

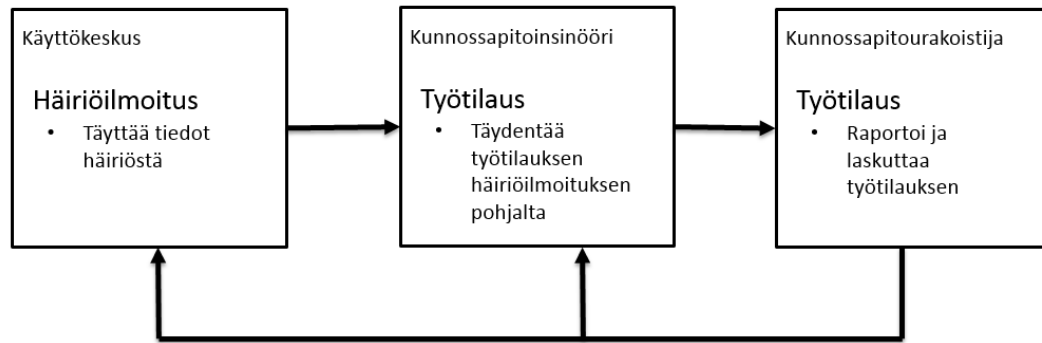
Artturin avulla hallinnoidaan seuraavia sähköasemien työkokonaisuuksia:

- Toistuvien töiden (kuten huoltojen) työnohjaus, raportointi ja laskutus.
- Yksittäisten töiden työnohjaus, raportointi ja laskutus.
- Laitetietojen hallinnointi.
- Varaosien hallinnointi.

Ohjelmiston käytön perustana on laitehierarkia, jossa kuvataan sähköasemakomponentit ylätasolta yksittäiseen komponenttiin saakka. Huollot, yksittäiset työt, laitetiedot ja varaosat kohdistetaan laitehierarkiassa haluttuun paikkaan. Laitehierarkia on syötetty kunnossapitohenkilöstön toimesta. Hierarkian tarkkuus vaihtelee asemaakohtaisesti. Hierarkian määrittelylle ei ole luotu ohjeistusta.

Huoltoja ohjataan Artturissa toistuvien työtilauksien avulla. Toistuvien työtilauksien toistumisvälit ovat määriteltävissä huoltokohtaisesti. Kunnossapitourakoitsija raportoi ja laskuttaa huollot työtilauksen päälle.

Muut työt, kuten vikatyöt tilataan yksittäisen työtilauksen avulla. Tyypillisesti vika tulee yllättäen, jolloin tieto viasta tulee käyttökeskukseen saapuvana hälytyksenä. Tällöin käyttökeskus lähettää paikalle päivystäjän ja tekee viasta häiriöilmoituksen. Häiriöilmoitus välittyy kunnossapitoinsinöörille, joka tekee häiriöilmoituksesta työtilauksen. Kunnossapitoinsinööri täydentää työtilaukselle vian luokittelutiedot, ja välittää sen edelleen kunnossapitourakoitsijalle. Kunnossapitourakoitsija kuittaa työtilauksen tehdyksi. Kuittauksen yhteydessä työ raportoidaan ja laskutetaan. Tyypillinen vikatyöprosessin eteneminen on esitetty kuviossa 11.



Kuvio 11. Vikatyöprosessin ohjaus Artturi-kunnossapito-ohjelmiston avulla.

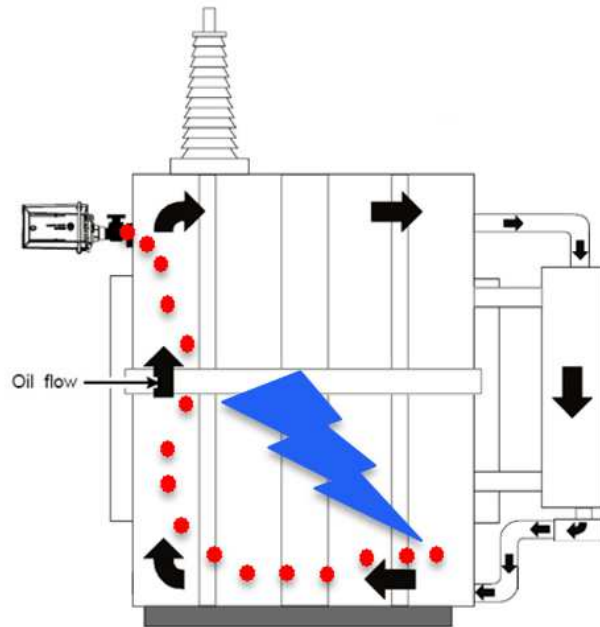
6.2 Jatkuva toiminen kunnonvalvonta

Sähköasemilla tehdään jatkuvatoimista kunnonvalvontaa päämuuntajille ja 110 kV GIS-kytkinlaitoksille. Kunnonvalvonta suoritetaan automatisoidusti kunnonvalvontalaitteilla. Kunnonvalvontalaitteilta saadaan kosketinhälytyksiä akuuteista vikatilanteista. Lisäksi kunnonvalvontatieto tallennetaan keskitetysti PI-tietojärjestelmään myöhempää tarkastelua varten. Tässä työssä jatkuvatoimisena kunnonvalvontana ei tarkoiteta laitteistojen vakiovarusteena tulevia suojalaitteita.

6.2.1 Päämuuntajien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta

Päämuuntajien jatkuvatoimisessa kunnonvalvonnassa käytetään kaasuanalysaattoreita. Kaasuanalysaattoreilla on mahdollista havainnoida muuntajavikoja ja määrittellä muuntajan elinikää [19, s. 8].

Kaasuanalysaattorit mittaavat muuntajaöljyyn liuenneita vikakaasuja. Kaasuanalysaattorin toimintaperiaate on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Kaasuanalysaattorin toimintaperiaate muuntajan vikaantuessa.

Kuviossa 12 vikapaikka on merkitty sinisellä nuolella. Vikakaasujen kulkeutuminen kaasuanalysaattoriin on kuvattu punasilla pisteillä. Vikakaasut liikkuvat kiertävän muuntajaöljyn mukana.

Markkinoilta on saatavilla useita erityyppisiä kaasuanalysaattoreita. Kaasuanalysaattorit eroavat toisistaan muun muassa mitattavien kaasujen suhteen. Lisäksi jotkin kaasuanalysaattoreista lähettävät kaasutiedot eriteltyinä ja osa vain kaasujen summa-arvon. Kaasuanalysaattorin ominaisuutena saattaa olla myös muuntajaöljyn kosteuspitoisuuden mittausta. [33; 34]

HSV:lle on toiminnassa kaasuanalysaattoreita, jotka on hankittu vuosien 2005–2015 aikana. Kaasuanalysaattoreita on käytössä yhteensä 19 kappaletta. [10] HSV:llä käytössä olevat kaasuanalysaattorit on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. HSV:llä käytössä olevat kaasuanalysaattorit [10].

Muuntajanumero	Hankintavuosi	Mitattavat suureet
1	2015	1 x yhdistelmäkaasu
2	2015	1 x yhdistelmäkaasu
3	2015	H2O, 1 x yhdistelmäkaasu
4	2014	1 x yhdistelmäkaasu
5	2014	1 x yhdistelmäkaasu
6	2014	1 x yhdistelmäkaasu
7	2014	1 x yhdistelmäkaasu
8	2013	1 x yhdistelmäkaasu
9	2013	1 x yhdistelmäkaasu
10	2013	H2O, H2, CO, C2H2, C2H4
11	2013	H2O, H2, CO, C2H2, C2H4
12	2011	H2O, H2, CO, C2H2, C2H4
13	2011	H2O, H2, CO, C2H2, C2H4
14	2009	H2O, H2, CO, C2H2
15	2009	H2O, H2, CO, C2H2
16	2007	H2, CO
17	2007	H2, CO
18	2005	H2O, 1 x yhdistelmäkaasu
19	2005	H2O, 1 x yhdistelmäkaasu

Kaasuanalysaattoreilta on käytössä asema-automaatioon meneviä kosketinhälytyksiä mittausarvon kehityksestä ja laitevikahälytyksestä. Myös kaasuanalysaattorin mitaamat suureet lähetetään asema-automaatioon. Asema-automaation lähetetyt suureet saadaan tallentumaan PI-tietojärjestelmään. PI-järjestelmä mahdollistaa arvojen kehittymistä tarkastelun jälkikäteen. PI-järjestelmän ominaisuuksia on kuvattu tarkemmin kappalessa 6.2.3.

Ennen vuotta 2014 tehtyjen kaasuanalysaattorihankintojen tekninen toteutus on tehty projektikohtaisesti. Toteutuksissa on siten projektikohtaisia eroja.

Kaasuanalysaattorihankinnoille tehtiin spesifikaatio vuonna 2014. Spesifikaatiossa määriteltiin, että laitteesta on saatava kaksiportainen kaasunarvohälytys ja laitevikahälytys. Lisäksi spesifikaatiossa määriteltiin, että mitatut arvot on siirrettävä asema-automaatioon joko väylän kautta tai mA-viestinä. [35] Spesifikaatioon myötä uudet analysaattorihankinnat ovat yhteneväisiä.

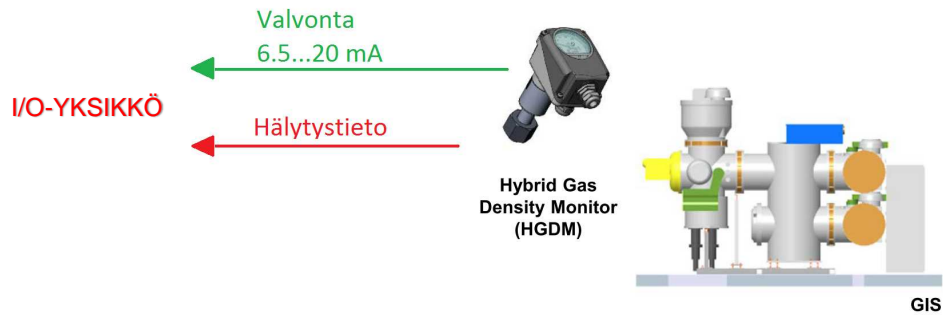
Kaasuanalysaattoreihin liittyvissä pohdinnoissa on käsitelty kaasuanalysaattorityypin valintaa. Viimeisimmät hankinnat on kohdistettu pohdintojen perusteella yhdistelmäkaasua tai yksittäistä kaasua mittaaviin analysaattoreihin [36]. Päätöstä voidaan myös perustella Michel Duvalin näkemyksillä. Duvalin mukaan kriittisille muuntajille on perusteltua lisätä useita kaasuja mittaava kaasuanalysaattori. Ei kriittisillä muuntajilla voidaan käyttää vetyä tai yhdistelmäkaasua mittaavaa kaasuanalysaattoria. [37] HSV:n verkossa olevan päämuuntajan muuntokapasiteetti on lähtökohtaisesti aina mahdollista siirtää toisille muuntajille. Siksi mitään yksittäistä päämuuntajaa ei voida pitää kriittisenä prosessin toiminnan kannalta.

6.2.2 110 kV:n GIS kytkinlaitoksien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta

110 kV:n GIS-kytkinlaitoksien vakiovarustukseen kuuluvat perinteiset tiheysvahdit. Perinteisen tiheysvahdit valvovat eristekaasun tiheyttä. Lisäksi ne hälyttävät asema-automaatioon kaasuntiheyden laskiessa. Tiheysvahdit myös aktivoivat lukituspiirejä tiheyden laskiessa riittävän alas. Osassa tiheysvahdeista on osoittava mittari tiheystiedon visualisointia varten.

Perinteisten tiheysvahdin vaihtoehdoksi on saatavilla hybriditiheysvahteja. Hybriditiheysvahdit toimivat kytkinlaitoksen suojana perinteisten tiheysvahtien tapaan. Lisäksi niiden mittaamat tiheystiedot saadaan lähetettyä eteenpäin, mikä mahdollista aikaisempaa monipuolisemman kunnonvalvonnan. [38]

Hybriditiheysvahdin tiedonsiirto on mahdollista tehdä mA-viestinä tai väylän kautta [38]. Käytettäessä tiedonsiirtoon mA-viestiä, lähetetään tiheystietoon verrannollinen virta-arvo hybriditiheysvahdilta mittaustiedon vastaanottavalle yksikölle. Vastaanottava yksikkö voi olla esimerkiksi asema-automaatioon kuuluva I/O-yksikkö. Hybriditiheysvahdin toimintaperiaate on esitetty kuviossa 13.



Kuvio 13. Hybriditiheysvahtien toimintaperiaate käytettäessä tiedonsiirtoon mA-viestiä [39].

HSV on hankkinut hybriditiheysvahtit yhteen 110 kV:n GIS-kytkinlaitokseen pilottihankkeena. Toteutuksessa tiheystiedot lähetetään asema-automaatioon mA-viestinä. Asema-automaation kautta tiheystiedot tallentuvat PI-tietojärjestelmään.

HSV:llä käytössä oleva hybriditiheysvahtijärjestelmä tuo seuraavaa lisäarvoa perinteisiin tiheysvahteihin nähden:

- Kaasuvuodon sattuessa vuoto nopeus on mahdollista määrittellä historiatietojen perusteella. Tieto helpottaa korjausaikataulun suunnittelua.
- Kaasuvuodon sattuessa vuodon kehittymistä on mahdollista tarkkailla toimistolta. Tämän tuo kustannussäästöjä, koska paikanpäälle ei tarvitse mennä.

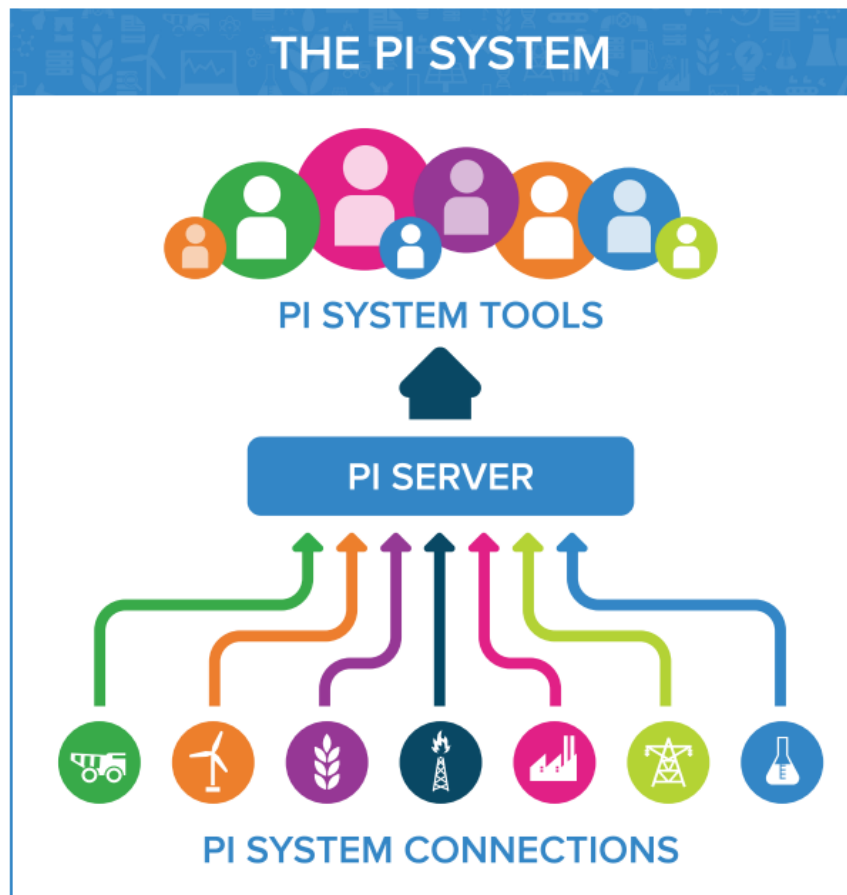
Edellä kerrotut lisäarvot tuovat hyötyä kustannus- ja ympäristönäkökulmasta.

6.2.3 PI-tietojärjestelmä

PI-tietojärjestelmä on Osisoftin toimittama mittaustiedon hallintajärjestelmä. Järjestelmän avulla voidaan kerätä ja hyödyntää mittaustietoa. PI-järjestelmä koostuu seuraavista kolmesta kerroksesta [40]:

- PI järjestelmän työkaluista.
- PI palvelimesta.
- PI järjestelmän liittymistä.

PI-järjestelmä rakenne on kuvattu tarkemmin kuviossa 14.



Kuvio 14. PI-järjestelmän rakenne [40, s. 4].

HSV:ssä PI-tietojärjestelmän avulla on mahdollista tarkastella kaikkia käytönvalvontajärjestelmään lähettyjä tietoja. Tiedon tallentuu, kun mittausarvossa tapahtuu määritellyn suuruinen muutos. Tallennuskynnys on määriteltävissä yksittäisen mittauspisteen tarkkuudella. HSV:ssä on käytössä Exceliin lisättyjä tiedon käsittely- ja hakutyökaluja. Työkalut mahdollistavat tiedon monipuolisen manuaalisen tai automatisoidun laskennan ja suodatuksen. Järjestelmään on myös rakennettu visuaalinen käyttöliittymä, joka mahdollistaa tallentuneiden tietojen tarkastelun valmiiden näkymien avulla. [40]

PI-tietojärjestelmässä on mahdollista muodostaa automaattisia hälytyksiä, jotka lähetetään sähköpostilla. [40] Toistaiseksi automaattisia hälytyksiä ei ole hyödynnetty HSV:ssä.

6.3 Kunnonvalvontaan liittyvät haasteet

Sähköasemilla tehtävään kunnonvalvontaan liittyy haasteita. Haasteet koskevat sekä jaksottaista että jatkuvatoimista kunnonvalvontaa.

Kunnonvalvonnan yhteisenä haasteena on laajuuden määrittely. Kunnonvalvonta tulisi suunnitella tavoitteiden näkökulmasta. Lisäksi kunnonvalvontaan liittyvät hankinnat tulee olla lähtökohtaisesti myös taloudellisesti perusteltavissa.

Kaasuanalysaattoreihin liittyvänä haasteena ovat toteutuksissa olevat erot laitteiden välillä. Tulevaisuudessa kaasuanalysaattorihälytyksille otetaan käyttöön yksiselitteiset toimintaohjeet. Toimintaohjeissa on määriteltävä, että ensimmäisen portaan hälytyksestä käyttökeskus ottaa muuntajan tarkkailuun. Toisen portaan hälytyksestä muuntajan otetaan keskeytykseen ja hälytyksen aiheuttaja selvitetään tarkemmilla tutkimuksilla. Näitä toimintaohjeita ei ole voitu ottaa täysimääräisesti käyttöön toteutuksissa olevien erojen vuoksi. Yksiselitteisillä hälytysrajoilla ja toimintaohjeilla voidaan helpottaa käyttökeskuksen työtä. Etukäteismietinnällä valvomohenkilökunnan ei tarvitse tehdä päätöksiä vikatilanteen ollessa päällä. [41]

Toisena kaasuanalysaattoreihin liittyvinä haasteena voidaan mainita väärät hälytykset. Usein kaasunarvo on noussut aseteltujen hälytysrajojen yläpuolelle, vaikka muuntajassa ei ole ollut todellista vikaa. Tämä on aiheuttanut turhia päivystyskäyntejä.

Kaasuanalysaattoreista olisi myös mahdollista saada enemmän hyötyä kehittämällä PI-tietojärjestelmän käyttöä. Toistaiseksi PI-tietojärjestelmää käytetään vain historiatietojen tarkasteluun. Vastaavat PI-järjestelmän kehitystarpeet koskevat myös hybriditiheysvahveja.

Jaksottaiseen ja jatkuvatoimiseen kunnonvalvontaan liittyy yhteinen kehitystarve. Tällä hetkellä kunnonvalvontaa käytetään vain akuuttien vaurioiden havainnointiin. Saatuja tuloksia ei hyödynnetä laitteen kunnan tai ikääntymisen määrittelyssä. Tämä edellyttäisi kunnonvalvonnasta saatujen tuloksien järjestelmällistä käsittelyä ja johtopäätösten keräämistä tietokantaan. Tietokantaa tulisi pystyä tarkastelemaan siten, että komponenttien kuntotieto saadaan vaikuttamaan laitetta koskeviin elinkaaripäätöksiin. Myös sähköasemien kunnan kokonaiskuva tulisi olla muodostettavissa. Laitteen kunto ja ikääntymi-

nen olisi määriteltävissä kuntoindeksin avulla. Kuntoindeksi mahdollistaisi laitteiden kuntotiedon hyödyntämisen päätöksenteossa yhdistämällä vaikuttavat tiedot yhdeksi kuntoarvoksi. Kuntoindeksin avulla kuntotieto saadaan myös visuaalisesti ymmärrettävään muotoon. Kuntoindeksin muodostamista käsitellään kappaleessa 7.3.

7 Kehityssuunnitelma

7.1 Elinkaarisuunnittelun päätöksentekomallien kehittäminen

Elinkaarisuunnittelun päätöksentekomalleihin todettiin liittyvän joitakin haasteita. Haasteet liittyvät RCM-prosesseihin ja TCO-malliin. Molempia koskevana yhteisenä haasteena esille nousivat vikatilastoinnissa olevat puutteet.

7.1.1 RCM-kunnossapitomenetelmän kehittäminen

RCM-kunnossapitomenetelmään todettiin liittyvän kappaleessa 5.1 seuraavia haasteita:

- Käytännön syyt estävät RCM-prosessien johtopäätöksien täytäntöönpanon.
- RCM-prosessien ylläpidossa on puutteita.
- Toteutuneita vikamääriä ei voida hyödyntää vikaantumistodennäköisyyksiä arvioidessa.

Käytännön syistä johtuvia ongelmia ei voida yksiselitteisellä päätöksenteolla ratkaista. Myös jatkossa RCM-prosessin tuomia toimenpide-ehdotuksia tulee tarkastella kokonaisuutensa perusteella. Jos esimerkiksi huoltotyön vaatima keskeytys kasvattaa prosessiin liittyviä riskejä enemmän kuin huoltotyö niitä vähentää, voidaan RCM-prosessin tuomasta huoltosuosituksesta poiketa.

RCM-prosessien ylläpitoon liittyy haasteita. Sähköasemilla olevien laitteiden lukumäärä ja tyypit muuttuvat vuosien kuluessa. Kaikille uusille laitetyppeille tulisi tehdä RCM-prosessi, jotta käytössä oleva kunnossapitofilosofia kattaa koko laitekannan. Vastaavasti myös kunnossapito-ohjelmaan tehdyt muutokset tulisi johtaa RCM-prosessien kautta.

RCM-prosessin ylläpitoon liittyvä haaste on ratkaistavissa RCM-prosessia kehittämällä. Lisäksi ratkaisu edellyttää kunnossapidosta vastaavien henkilöiden kanssa sovittavien uusien toimintatapojen luomista. RCM-prosessin päivityksellä ja uusilla toimintatavoilla tulee varmistaa ylläpidon järjestelmällinen toteutuminen.

RCM-prosessien tarkoitus on luoda järjestelmällinen käsittelymalli huoltotoimenpiteiden määrittelylle. Tällöin kaikkien laitteiden kunnossapito noudattaa samaa logiikkaa, ja se

kohdistetaan optimaalisesti eri laitteille. Tehtäessä huolto-ohjelmaan liittyviä päätöksiä ilman RCM-prosessia tavoitellut hyödyt menetetään. Tällöin mahdollisesti osaa riskeistä ei huomioida tai laitteille kohdistetaan kunnossapitoa, mitä mikään riski ei edellytä.

Olemassa olevat puutteet RCM-prosessien ylläpidossa johtuvat henkilöresurssien puutteesta. Nykyinen RCM-prosessi on raskas, eikä henkilöstöllä riitä aikaa prosessien järjestelmälliseen ylläpitoon. Päivittämällä RCM-prosessia yksinkertaisemmaksi, saadaan ylläpidon kynnyistä laskettua alemmaksi. [42]

RCM-prosessin yksinkertaistaminen tehtiin työryhmätyöskentelynä kunnossapitohenkilöstön kanssa. Yksinkertaistettu RCM-prosessi on johdettu alkuperäisestä prosessista. Yksinkertaistuksessa pyrittiin löytämään kompromissi, jotta ylläpitoon liittyvä työmäärä vähenisi, mutta riskit olisivat edelleen löydettävissä riittävällä tarkkuudella. [42]

Työn ensimmäisessä vaiheessa yksinkertaistettiin keskijännitekytkinlaitoksen RCM-prosessia. RCM-prosessi määritellään Excel-taulukon avulla. Yksinkertaistuksessa laitteiston osakokonaisuuksiin jakavien välilehtien määrää vähennettiin 11 välilehdestä kolmeen välilehteen. Lisäksi RCM-prosessin muodostavista sarakkeista jätettiin vain aidosti merkitykselliset. Sarakkeiden määrä väheni 24 sarakkeesta 15 sarakkeeseen. Liitteessä 2 on esitetty keskijännitekytkinlaitoksen RCM-prosessi alkuperäisenä ja yksinkertaistettuna.

RCM-prosessin yksinkertaistaminen tehdään jatkokehityshankkeena muille laiteryhmillä. Tässä työvaiheessa RCM-prosessit muokataan yksinkertaisempaan muotoon ilman sisällön tarkastelua. Työvaihe on aikataulutettu tehtäväksi seuraavien kuukausien aikana. [42] RCM-taulukoita on tehty kahdeksalle laiteryhmälle. Työaika-arvio työlle on 24 työtuntia.

Osana jatkokehityshanketta päätetään toiminnankehittämissprojektin käynnistämisestä. Siinä eri laiteryhmiä yksinkertaistettu RCM-prosessi käydään läpi myös sisällöltään. Läpikäynnissä esiin nousseet havainnot siirretään kunnossapito-ohjeisiin. Työn kolmas vaihe käynnistyy vuoden 2017 aikana. [42] Mahdollisen kehityshankkeen työmäärä on merkittävä, joten sitä tulee käsitellä projektimallin mukaisesti.

Kehitystoimenpiteenä sovittiin myös uusista toimintavavoista. Jatkossa sähköasemille tulevien uudentyyppisten laitteiden kunnossapito-ohjelma johdetaan kevennetyn RCM-

prosessin kautta. Lisäksi kaikki kunnossapito-ohjelmaan tehtävät muutokset tarkastellaan myös RCM-prosessin kautta. RCM-prosesseja ei ole tarvetta toistaa määrävälein, mikäli uudentyypiset laitteiden kunnossapito-ohjelma ja muut siihen tulleet muutokset on johdettu käyttöönottovaiheessa RCM-prosessilla. RCM-prosessit tulee kuitenkin käydä läpi, mikäli epäillään verkon kuntotilan heikenneen esimerkiksi kohonneen vikatiheyden perusteella. [42]

Uuden toimintamallin toteutumista mitataan tarkastelemalla onko kunnossapito-ohjelmaan tehdyt muutokset tai lisäykset dokumentoitu myös RCM-prosesseihin. Muutoksen mittaamisesta vastaa kunnossapito-ohjelmaan tehdyt muutokset hyväksyvä kunnonhallintapäällikkö tai muu hyväksynnän tekevä henkilö.

Riittävän laadukkaan toteumatiedon puuttumista vikaantumistodennäköisyyksiä arvioitaessa käsitellään vikatilastointia koskevassa kappaleessa 7.1.3.

7.1.2 TCO-elinkaarikustannusmallin kehittäminen

TCO-elinkaarikustannusmalliin todettiin liittyvän kappaleessa 5.2 seuraavia haasteita:

- Toteutuneita huolto- ja korjauskustannuksia ei voida hyödyntää optimaalisesti ylläpitokustannuksien määrittelyssä.
- Toteutuneita vikamääriä ja korjauskustannuksia ei voida hyödyntää optimaalisesti riskikustannuksien määrittelyssä.

TCO-mallissa tehtävä arviointi olisi helpompaa, mikäli käytettävissä olisi toteumatietoa. Tietoa tarvitaan toteutusvaihtoehdoissa tarkasteltavilta tai vastaaventyypisiltä laitteilta. Toistaiseksi arviot on tehty ilman toteumatietoja.

TCO-mallissa huomioidut ylläpitokustannukset olisivat johdettavissa toteutuneiden huolto- ja korjauskustannuksien avulla. Korjauskustannuksia olisi mahdollista hyödyntää myös malliin vaikuttavien riskikustannuksien määrittelyssä.

Kustannustietojen hyödyntäminen edellyttää niiden keräämistä soveltuvalla tietomallilla. TCO-mallissa käytettävältä kustannustiedolta edellytetään seuraavaa:

- Kustannustiedot kerätään kaikista vika- ja huoltotöistä.

- Kustannustiedot erotellaan vika- ja huoltotoissa syntyneisiin.
- Kustannustiedot kohdennetaan vähintään samalla tarkkuudella, mitä TCO-tarkastelua tehdään.
- Kustannustiedot kohdennetaan samalla tarkkuudella kaikilla samaan laiteryhmään kuuluvilla vertailtavuuden säilyttämiseksi.

Kustannustiedot ovat saatavilla Artturi-kunnossapito-ohjelmistosta. Tiedot eivät kuitenkaan täytä TCO-mallin asettamia vaatimuksia seuraavalta osin:

- Kustannustietoja ei kohdenneta samalla tarkkuudella laiteryhmiin sisällä.

Ongelma on mahdollista korjata yhtenäistämällä kunnossapito-ohjelmiston laitehierarkia. Yhtenäistämisen edellytyksenä on riittävää kohdennustarkkuuden määrittely. Kohdennustarkkuus saa tarvittaessa olla TCO-mallin vaatimuksia tarkempi, jos muut syyt sitä edellyttävät.

Tässä työssä määriteltiin kohdistustarkkuus sähköasemien primäärilaitteiden hierarkialle. Määrittely tehtiin työryhmätyöskentelynä, pohtien kustannuskohdistuksien ja muiden syiden tuomia vaatimuksia. Laiteryhmäkohtaisesti päätetty tarkkuus on esitetty taulukossa 4. [42]

Taulukko 4. Sähköasemien primäärilaitteiden hierarkia [42].

Laiteryhmä	Hierarkiassa esiintyvä komponenttitarckkuus
Keskijännitekytkinlaitos	Mittamuuntajat, katkaisijat
110 kV kytkinlaitos	Erottimet, maadoituseroottimet, katkaisijat, mittamuuntajat
Muuntaja	Käämikytin, käämikytimen ohjain, kaasuanalysaattori, 110 kV:n läpivientieristimet, 110 kV:n ylijännitesuojat, kompensointilaitteet
Vaihtosuuntaaja	Vaihtosuuntaaja
Tasasuuntaaja	Tasasuuntaaja
Akusto	Akusto
Omakäyttömuuntaja	Omakäyttömuuntaja

Taulukossa 4 esitetyt hierarkiatarkkuudet tullaan täydentämään kunnossapito-ohjelmiston laitehierarkiaan. Konkreettinen muutostyö rajattiin tämän työn ulkopuolelle. Työ tehdään jatkokehityshankkeena kesällä 2017. [42]

Ongelmana on lisäksi, että eri yksiköissä kerättävät kustannustiedot eivät keräydy samaan järjestelmään eikä käytössä ole yhteistä tietomallia. Tämä työ on rajattu koskemaan sähköasemien prosessilaitteita. Yksiköiden välisiä eroja kustannustietojen keräämisessä ei käsitellä tässä työssä. Tulevaisuudessa on tärkeää selvittää mahdollisuudet kustannustietojen keräämiseen yhteisellä järjestelmällä tai tietomallilla yli yksikkörajojen.

Toteumatiedon puuttumista riskikustannuksia määritettäessä käsitellään vikatilastointia koskevassa kappaleessa 7.1.3.

7.1.3 Vikatilastointi osana RCM-prosessia ja TCO-mallia

RCM-prosessiin liittyy vikatodennäköisyyden arviointi. RCM-prosessissa vikaantumistodennäköisyys määritellään arvioidun MTBF-luvun (Mean Time Between Failures) avulla. Luku ilmoittaa, kuinka monen vuoden välein kuvattu vika ilmenee. Mikäli käytettävissä olisi RCM-prosesseissa käsiteltävien laitteiden todelliset vikaantumismäärät, voisi niitä hyödyntää MTBF-luvun määrittelyssä.

TCO-mallissa puolestaan huomioitavien riskikustannuksien määrittely olisi helpompaa, mikäli käytettävissä olisi kattavat vikamäärät verkon komponenteista.

Vikaantumismäärien hyödyntäminen edellyttää toimivaa vikatilastointia. RCM-prosessi ja TCO-malli tuovat vikatilastoinnin tietomallille seuraavia vaatimuksia:

- Vikatilastointi kohdennetaan vähintään samalla tarkkuudella kuin RCM- tai TCO-tarkastelua tehdään.
- Vikatilastointi kohdennetaan samalla tarkkuudella laiteryhmiin sisällä vertailtavuuden säilyttämiseksi.
- Vikatilastoon kirjataan kaikki havaitut viat.
- Vikatilastoon kirjatut viat luokitellaan merkittäviin ja pieniin vikoihin.

Vikatilastot kerätään Artturi-kunnossapito-ohjelmistolla. Tiedot eivät kuitenkaan täytä RCM-prosessin ja TCO-mallin asettamia vaatimuksia. Vikatilastoinnissa on seuraavia puutteita:

- Vikatietoja ei kohdenneta samalla tarkkuudella laiteryhmiin sisällä.
- Huoltojen aikana tehtyjä vikahavaintoja ei tilastoida.

Kappaleessa 7.1.2 kuvattu hierarkiapäivitys yhtenäistää vikatilastoinnin kohdistuksen laiteryhmiä sisällä. Hierarkiapäivitykselle määritetty tarkkuus on esitetty taulukossa 4. Tarkkuus on riittävä TCO-mallin kannalta. TCO-mallin kannalta vian tyyppien luokitteluksi riittää jaottelu merkittäviin ja vähäisiin vikoihin. Näiltä osin jo nykyisessä vikatilastoinnissa tehtävä luokittelu on lähes riittävä.

RCM-prosessin asettaa vikatilastoinnille enemmän vaatimuksia. RCM-prosessin näkökulmasta vikatilastoinnista edellytetään ideaalitalanteessa kohdistus- ja vikatyypiluokittelua prosessia vastaavalla tarkkuudella.

Keskijännitekytkinlaitoksien RCM-prosessin kohdistustarkkuus on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Keskijännitekytkinlaitoksen RCM-prosessin kohdistustarkkuus [43].

Kuori	Toisiojärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Suojalaitejärjestelmät
Metallikuori	Asennonosoittimet	Tiheysvahdit	Murtokalvot
Perustukset	Käyttökytkimet	Painemittari, kaasu	Tiheysvahdit
Tiivisteet	Kontaktorit	Painemittari, hydraulikka	Painemittari, kaasu
Maadoitukset	Välireleet	Jännitemittarit	Hydrauliikkapainekytin
Merkinnät	Riviliittimet	Virtamittarit	Varoventtiili
Laipat	Toisiojohdotukset	Jännitemuuntajat	Mekaaniset lukitukset
	Apukosketinpakat	Virtamuuntajat	Sähköiset lukitukset
	Moninapaliittimet		
	Lämmitysvastukset		
	Kaukokäyttöjärjestelmä		
Katkaisijat	Erottimet	Maadoituseroottimet	Virtatiet
Katkaisupäät	Veitset	Veitset	Pääkiskot
Pääkoskettimet	Vivustot	Vivustot	Kennojen kiskot
Valokaarikoskettimet	Ohjain	Ohjain	Kiskoliitokset
Kaasutiejärjestelmä	Apukosketinpakat	Apukosketinpakat	Kaapelipäätteet
Vivustot	Moottorit	Moottorit	Läpiviennit
Iskunvaimennus		Jousi	Tukieristimet
Ohjain			
Jouset			
Viritysmoottorit			
Laitetila	Eristystila		
Ilmanvaihto	SF ₆ kaasu		
Kaasuimuri	Seoskaasu		
Lämmitys	Suodattimet		
Rakenteet	Kaasuputket		
	Sulkuventtiilit		
	Täyttöventtiilit		

RCM-prosessin näkökulmasta vikatilastointi tulisi siis pystyä kohdistamaan keskijännitekytkinlaitoksen osalta 66:n eri laitepaikkaan.

RCM-prosessissa kuvataan keskijännitekojeistolle 80:n eri vikatyyppejä [43]. RCM-prosessin näkökulmasta vikatilasoinnissa tulisi olla vastaava määrä vikatyyppeiluokitteluja.

Myös muiden laitteistoryhmien kohdistus- ja vikatyyppeiden lukumäärät ovat vastaavassa suuruusluokassa.

Monimutkaisen vikatilastoinnin ylläpitäminen kuluttaa henkilöstöresursseja. Lisäksi tiedon laadun huononemisen riski kasvaa monimutkaisuuden myötä. Näiden käytännönsyiden takia vikatilastointia ei ole perusteltua toteuttaa RCM-prosessin vaatimien tarpeiden mukaisesti.

Vikatilastointia on kuitenkin mahdollista hyödyntää RCM-prosesseissa, vaikka tarkkuus ei olisikaan ideaalinen. Yleisemmälläkin tasolla tiedetyt vikamäärät helpottavat MTBF-lukujen arviointia. Näiden syiden takia taulukossa 4 määritettyä hierarkian tarkkuutta voidaan pitää riittävä myös RCM-prosessin kannalta. Myös vian tyyppin luokittelu merkittäviin ja vähäisiin vikoihin on riittävä. Yksityiskohtaisten vikatyypin todennäköisyydet ovat johdettavissa yleisemmällä tasolla tehdystä luokittelusta. Vikatilastointia hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida pienen laitekannan mahdollisesti aiheuttama tilastollinen virhe.

Vikatilastointia koskee sama yksiköiden välisistä eroista tuleva ongelma kuin kustannustietoakin. Vikatiedot eivät keräydy samaan järjestelmään eikä käytössä ole yhteistä tietomallia. Yksiköiden väliset erot tiedonkeruutavoissa on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Yhteisen tietojärjestelmän tai tietomallin käyttöä vikatilastoinnissa tulee selvittää tulevaisuudessa.

Huoltojen aikana havaitut viat tulee saada kirjautumaan tilastoon. Käytännössä tämä edellyttää nykyiseen kirjaustapaan tehtäviä muutoksia ja kunnossapito-ohjelmiston kehitystyötä. Vikatilastointia voidaan hyödyntää myös kuntoindekseissä. Kuntoindekseistä tulevat vaatimukset vikatilastoinnille ja tarvittavat kehitystoimenpiteet kokonaisuus huomioiden on esitetty kappaleessa 7.3.

7.2 Kunnonvalvonnan kehittäminen

Kunnonvalvontaan todettiin liittyvän kappaleessa 6.3 seuraavia haasteita:

- Kunnonvalvonnan oikeaa laajuutta ei ole määrittely.
- Kaasuanalysaattoreiden toteutustavoissa olevat erot aiheuttavat ongelmia muuntajien kunnonvalvonnassa.
- Kaasuanalysaattoreiden antamat väärät hälytykset aiheuttavat ongelmia muuntajien kunnonvalvonnassa.
- PI-tietojärjestelmää hyödynnetään puutteellisesti.

- Kunnonvalvontatietoa hyödynnetään puutteellisesti ikääntymisen määrittelyssä.

Kunnonvalvontaa on tärkeää tarkastella kokonaisuutena. RCM-prosessit määrittävät kunnonvalvonnan laajuuden havaittujen riskien perusteella. Toisaalta määritelty kunnonvalvonta tulee olla teknisesti ja kokonaistaloudellisesti perusteltavissa. Ideaalilanteessa kaikki kunnonvalvonta on johdettu RCM-prosessien avulla, ja ne täyttävät kunnonvalvonnalle asetetut tekniset ja taloudelliset vaatimukset. Lisäksi RCM-prosessin mahdollisesti tuomassa vaihtoehtolanteessa kunnonvalvontatavaksi on valittu kokonaistaloudellisesti halvin vaihtoehto.

7.2.1 Kunnonvalvonnan laajuuden määrittely

Kunnonvalvonnalla on mahdollista saada kahdenlaista hyötyä. Se mahdollistaa alkavien vikojen havaitsemisen ennen niiden laajenemista. Lisäksi se mahdollistaa laitteen kunnon ja ikääntymisen määrittelyn. [20, s. 10, 12] Kunnon ja ikääntymisen määrittely mahdollistaa valvottavan laitteen korvausinvestoinnin ajankohdan optimoinnin. Kuntotiedon avulla voidaan siis siirtää korvausinvestoinnin ajoitusta hallitusti eteenpäin.

Kunnonvalvontaa on mahdollista perustella komponenttien vikaantumissyiden arvioinnilla. Joidenkin lähteiden mukaan koneiden ja laitteiden vikaantumistodennäköisyys ei ole merkittävästi riippuvainen käyttöiästä. Arvioiden mukaan jopa 80 % teollisuudessa syntyneistä vaurioista ovat satunnaisista syistä johtuvia. [6, s. 140]

Kunnonvalvonnan tekniset vaatimukset

Kunnonvalvonnan perusoletus on, että vaurioitumista edeltää havaittavissa tai mitattavissa oleva muutos. Olettamuksen mukaan lopullista vaurioitumista edeltää ajanjakso, jonka aikana vaurioitumiseen liittyviä oireita voidaan seurata ja vaurioituminen ennustaa. [6, s. 140]

Kunnonvalvontamenetelmien määrittely edellyttää vikaantumismekanismien tuntemista. Jotta kunnonvalvonta on teknisesti toteutettavissa, seuraavien ehtojen tulee täytyä [6, s. 140]:

- Jokin raja-arvo, muutos tai piirre viittaa vikaantumiseen.
- Vikaantumismekanismi on ennustettava.

- Vian eteneminen havaittavissa olevasta pisteestä vaurioon on niin pitkä, että muutos ehditään havaitsemaan kunnonvalvonnalla.

Kunnonvalvonnan avulla vaurioituminen voidaan ennustaa ja mahdollisesti estää. Tois-sijaisesti vaurioiden vaikutusta voidaan pienentää. [6, s. 140]

Kunnonvalvontamenetelmät tulee valita oletetun vikamallin perusteella. Kunnonvalvonnan on mahdollistettava huoltojen tai korjauksien suorittaminen ennen vian kehittymistä lopulliseksi vaurioksi. [6, s. 141]

Kunnonvalvonnan taloudelliset vaatimukset

Taloudelliset asiat asettavat reunaehdoja kunnonvalvonnalle. Laitteiden kunnonvalvonta on lähtökohtaisesti järkevää vain, jos kunnonvalvonnasta syntyvät kustannukset ovat mahdollisen vaurion aiheuttamia kokonaistaloudellisia kustannuksia pienemmät. [6, s. 163] Taloudellista kannattavuutta on mahdollista parantaa, mikäli kunnonvalvonnalla saatua tietoa voidaan hyödyntää valvottavan laitteen elinkaaren optimoinnissa.

7.2.2 Jaksottaisen kunnonvalvonnan kehittäminen

Sähköasemille tehtävä jaksottainen kunnonvalvonta on kuvattu liitteessä 1. Sähköase-milla tehtävä jaksottainen kunnonvalvonta täyttää kunnonvalvonnan tekniset vaatimuk-set. Mittaavan kunnonvalvonnan osalta saatuja tuloksia on verrattava valmistajan anta-miin raja-arvoihin, vanhoihin saman kohteen mittaustuloksiin tai sisarkomponenttien mit-taustuloksiin. Mittaavassa kunnonvalvonnassa vertailu tehdään itse mittaajan toimesta välittömästi mittaushetkellä. Aistinvaraisesti tehtävissä tarkastuksissa vikojen havain-nointi edellyttää riittävää ammattitaitoa, koska absoluuttista vertailukohtaa ei vastaavalla tavalla ole.

Jaksottaisen kunnonvalvonnan systemaattinen taloudellisten vaatimusten tarkastelu ra-jataan tämän työn ulkopuolelle. Kunnonvalvonnan laajuutta tarkastellaan uudelleen vuonna 2017. Tuolloin käynnistyy kappaleen 7.1.1 mukaisesti RCM-prosessien sisällön läpikäyntityö, joka määrittää myös kunnonvalvonnan laajuuden. Tarkastelu on järkevää tehdä tämän läpikäyntityön yhteydessä, koska jaksottaisen kunnonvalvonnan laajuus saattaa muuttua nykyisestä.

Vaatimukset tulee täyttyä myös tulevaisuudessa tehtävissä kunnonvalvonnan lisäyksissä. Ennen lisäyspäätöksiä on tärkeää miettiä teknisten ja taloudellisten edellytysten toteutuminen.

7.2.3 Jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kehittäminen

Sähköasemille on tullut lisää jatkuvatoimista kunnonvalvontaa viime vuosina. Hankinnat ja kehitystoimenpiteet on toistaiseksi päätetty kohdentaa päämuuntajien ja 110 kV GIS-kytkinlaitoksien jatkuvatoimiseen kunnonvalvontaan [44].

Päämuuntajien jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kehittäminen

Päämuuntajien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta täyttää kunnonvalvonnalle asetetut tekniset vaatimukset. Kaasuanalysointilaiteilla valvottava vikaantumismekanismi tunnetaan etukäteen, joka mahdollistaa hälytysrajojen määrittelyn.

Hankinnan taloudellisten vaatimusten tarkastelu vaatii tarkempaa pohdintaa. Ulkopuolisessa lähdemateriaalissa päämuuntajien korjausta vaativaksi vikaantumistodennäköisyydeksi on arvioitu 0,3 % vuodessa. Vakavan vian todennäköisyydeksi on arvioitu 0,05 % vuodessa. [37] HSV:llä on 50 kappaletta päämuuntajia. Laskennallisesti tällä muuntajakannalla vaurioituminen tapahtuu seitsemän vuoden välein. Vakava muuntajavaurio syntyy 40 vuoden välein. Mikäli muuntajien varustaminen kaasuanalysointilaiteilla maksaa vähemmän kuin vaurion havaitseminen aikaisessa vaiheessa tuo säästöjä, on hankinta taloudellisesti perusteltavissa pelkästään vikojen nopean havainnoinnin perusteella.

Nopea havaitseminen tuo taloudellisia säästöjä pienempien korjauskustannuksien myötä. Lisäksi säästöjä syntyy käyttökeskeytyksien välttämistä ja muista syistä, kuten imagohaitan välttämistä.

Laskentaa voidaan tehdä myös vertaamalla jatkuvatoimisen kaasuanalysointihankinnan tuomia säästöjä muihin kunnonvalvontakustannuksiin. Kaasuanalysointihankinnan myötä muuntajien jaksottainen kunnonvalvonta kevenee. Tämän laskennan käyttäminen kaasuanalysointihankintojen perusteluna edellyttää, että nykykyklillä mukaiset kannettavalla analysointilaiteilla tehdyt kaasuanalyysit voidaan perustella taloudellisesti. Tämän työn yhteydessä verrattiin jaksottaisien kaasuanalyysien ja jatkuvatoimisen kaasuanalysointilaiteiden taloudellista kannattavuutta. Lisäksi tarkasteltiin jatkuvatoimisen

kaasuanalysaattorin taloudellisesta kannattavuudesta vikojen nopean havainnoinnin perusteella.

Vertailulaskentaan vaikuttaa merkittävästi eri menetelmien vikojen havainnointikyky. Asiasta on saatavissa tietoa ulkopuolisesta lähdemateriaalista. Michel Duvalin mukaan noin 90 % muuntajavioista kehittyy kuukausien tai vuosien aikana. Nämä viat voidaan havaita myös kannettavalla kaasuanalysaattorilla. Jatkuvatoimisen kaasuanalysaattori voi puolestaan havaita jopa 99 % vioista. [37].

Laskennan yksinkertaistamiseksi kuitenkin oletetaan, että kannettavalla kaasuanalysaattorilla ja jatkuvatoimisella kaasuanalysaattorilla on yhtä hyvä vikojen havainnointikyky. Lähdemateriaalista poiketen havainnointikyky oletetaan yhtä hyväksi seuraavien toisinaan tasapainottavien syiden takia:

- Laskennassa tarkastellulla kannettavalla kaasuanalysaattorilla saadaan mitattua useampia kaasuja kuin laskennassa tarkastellulla jatkuvatoimisella kaasuanalysaattorilla.
- Kannettavan kaasuanalysaattorin mittaussykli on pidempi kuin jatkuvatoimisen kaasuanalysaattorin.

Laskentaa edelleen yksinkertaistettiin siten, että analysaattoreiden oletetaan havaitsevan kaikki hitaasti kehittyvät viat. Näin lopputuloksena saadaan teoreettinen ideaalitalanne kaasunvalvonnan kannalta.

Vertailulaskennassa todettiin, että kaasuanalysaattori maksaa itsensä takaisin seitsemän vuoden kuluessa kannettavalla kaasuanalysaattorilla tehtävien analyysien jäädessä pois. Laskennassa käytettiin todellisia hintoja ja mittaussyklejä. Laskennassa myös todettiin, että edes jatkuvatoimisten kaasuanalysaattoreiden hankintaa kaikkiin muuntajiin ei voida perustella taloudellisesti pelkästään vikojen nopeamman havainnoinnin perusteella. Laskennassa määritettiin kustannukset HSV:n muuntajakannan varustamisesta kaasuanalysaattoreilla. Saatuja kustannuksia verrattiin oletetun vikamäärään tuomiin kustannuksiin HSV:n muuntajakannassa, aikajakson ollessa kaasuanalysaattorin oletettu elinikä. Laskenta on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

Liitteen 3 mukaisesti laskentaa on yksinkertaistettu ja osa luvuista arvioitu. Laskennassa on mahdollista päästä eri lopputulokseen huomioimalla vaikuttavia asioita eri tavalla.

Jaksottaisen kaasuanalysoinnin ja jatkuvatoimisen kaasuanalysointilaitteen taloudelliseen kannattavuuteen on mahdollista vaikuttaa seuraavilla seikoilla:

- Laskennassa huomioitaisiin vikojen havainnointitodennäköisyydet.
- Laskennassa huomioitaisiin kaasuanalysointilaitteen ylläpitokustannukset.
- Laskennassa huomioitaisiin regulaation vaikutus.
- Laskennassa huomioitaisiin oletusarvoisesti 40 vuoden välein tapahtuva merkittävä muuntajavaurio.

Taloudellista kannattavuutta olisi mahdollista parantaa seuraavilla konkreettisilla toimilla:

- Suoritetaan kunnonvalvontaa vain muuntajan elinkaaren vikaherkimmillä ajoilla. HSV:n esisuunnitelmassa vaikutus on huomioitu jatkuvatoimisten kaasuanalysointilaitteiden osalta [36, s. 8, 9].
- Kohdistetaan kunnonvalvontaa muuntajakohtaiset keskeytysvaikutukset huomioiden.
- Kohdistetaan kunnonvalvontaa muut kustannusvaikutukset huomioiden (sijainnista aiheutuvat riskikustannukset yms.).

Muuntajien kunnonvalvonnan taloudellisen kannattavuutta olisi mahdollista parantaa huomattavasti hyödyntämällä saatua kunnonvalvontatietoa kuntoindeksin muodostamisessa. Kuntoindeksiä on mahdollista hyödyntää muuntajaa koskevissa elinkaaripäätöksissä. Kuntoindeksiä on käsitelty kappaleessa 7.3. Kuntoindeksiä ja jatkuvatoimisen kaasuanalysointilaitteen tuottamaa mittaustietoa itsessään on mahdollista hyödyntää muuntajan korvausinvestoinnin ajoituksessa.

Päämuuntajien jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan hälytysten määrittely

Kaasuanalysointilaitteiden hankinnat on tehty pääosin isojen projektien yhteydessä. Tällöin laitteiden tuomia mahdollisuuksia ei ole otettu täysin käyttöön, eikä laitteiden hälytysrajoja ole määritelty analyttisesti.

Kappaleessa 6.2.1 kerrotun mukaisesti asemille on hankittu yhdistelmäkaasua, yksittäisiä kaasuja ja useita kaasuja mittaavia kaasuanalysointilaitteita. Laitteiden yksityiskohtainen tekninen toteutus on tehty tapauskohtaisesti. Tämän myötä esimerkiksi kosketinhälytyksiä on käytössä vaihtelevasti. Spesifikaation puuttuminen on mahdollistanut useat

eri toteutustavat. Kaasuanalysaattorihankinnoille tehtiin vuonna 2014 spesifikaatio. Tämän jälkeen hankituilla analysaattoreilla on käytössä kaksi porrasta arvonylityshälytyksille ja vikahälytys. Mittavat suureet lähetään asema-automaatioon ja tallennetaan PI-järjestelmään. [35]

Kaasuanalysaattoreiden toteutustavoissa olevien erojen takia yhtenäisiä toimintaohjeita ei ole voitu ottaa käyttöön. Toimintaohjeissa määritellään toimintatavat eri kaasuanalysaattorihälytyksille. Asian korjaamiseksi kaikkien analysaattoreiden kosketinhälytykset ja asema-automaatioon lähetettävä mittaustieto päätettiin muuttaa uuden spesifikaation mukaiseksi. Käytännössä muutoksia joudutaan tekemään kaikille ennen vuotta 2014 hankituille analysaattoreille. Muutostyö rajataan tämän työn ulkopuolelle. Työ tehdään jatkokehityshankkeena vuoden 2017 aikana.

Kaikkia kaasuanalysaattoreita koskevana haasteena on hälytysrajojen määrittely. Tois-
laiseksi hälytysrajojen määrittelyssä on luotettu vain laitetoimittajan näkemykseen. Koska tavoitteena on luoda yhteinen toimintamalli kaasuanalysaattorihälytyksille, tulisi eri laitteiden hälytysrajojen taustalla oleva logiikka yhtenäistää. Kaasurajoihin ja hälytysrajoihin liittyvällä pohdinnalla turhien hälytyksien määrää on myös mahdollista vähentää.

Tulevaisuudessa tavoitetilana on, että kaasuanalysaattorit hälyttävät valvomoon vain todellisissa ongelmatilanteissa. Nostamalla käyttökeskuksessa näkyviä hälytysrajoja ylöspäin, on väärin hälytyksien todennäköisyyttä mahdollista pienentää. Hälytysrajojen kasvattaminen pienentää toisaalta hitaasti kehittyvien vikojen havainnointinopeutta. Hälytysrajojen noston vaikutus hitaasti kehittyvien vikojen havainnointiin on mahdollista korvata PI-järjestelmän sähköpostihälytyksien käyttöönoton avulla.

Kaasuanalysaattorihälytyksen ylempi hälytysporras asetellaan arvoon, jossa muuntajan kaasuarvojen voidaan olettaa olevan varmasti liian isolla tasolla. Alemman portaan kosketinhälytys asetellaan hieman tätä alemmaksi. PI-järjestelmästä tulevat sähköpostihälytykset asetetaan alemmaa kosketinhälytystä alemmaksi.

Eri muuntajien kaasunarvoissa saattaa olla eroja, vaikka muuntajassa ei olisikaan todellista vikaa [45]. Sähköpostihälytykset johdetaan siksi muuntajan normaalien kaasunarvojen perusteella.

Kosketinhälytyksiä täydennetään määrittämällä jokaiselle kaasuanalysoitsijalle hälytysraja myös mitattavien suureiden muutosnopeuden perusteella. Muutoshälytykset eli trendihälytykset määritetään niille analysaattoreille, joissa ominaisuus on olemassa. Trendihälytykset aktivoivat kaasuanalysoitsijan hälytyskoskettimet raja-arvon ylityksen rinnalla. Sähköpostihälytyksien osalta trendihälytys asetellaan kaikille analysaattoreille. Myös sähköpostihälytyksien osalta trendihälytykset asetellaan raja-arvon ylityksen rinnalle. Trendihälytyksien tarkoituksena on havaita alkavat muuntajaviat ennen kaasumäärän nousua raja-arvon ylityksen hälytysrajalle. Trendihälytykset määritettiin vuorokauden muutosnopeudelle, kuukauden muutosnopeudelle, peräkkäisinä päivinä kasvavalle kaasunmäärälle sekä peräkkäisinä kuukausina kasvavalle kaasunmäärälle.

Hälytysportaat määritettiin työryhmätyöskentelynä. Yhteenveto kaasuanalysoitsijoiden hälytyksistä toimintaohjeineen on esitetty taulukossa 6. [41]

Taulukko 6. Kaasuanalysoitsijoiden määritetyt hälytysportaat.

Hälytystaso	Hälytys	Toimintaohje
1 (korkein kaasunarvo)	Kosketinhälytys HH	Muuntaja hallitusti keskeytykseen
2	Kosketinhälytys H	Muuntaja tarkkailuun
3 (matalin kaasunarvo)	Sähköpostihälytys H	Tiedoksi kunnossapidolle

Kaasurajojen määrittelyssä on käytetty pohjana Rambolin laboratorion ilmoittamia suositusrajoja seitsemän vuotta vanhan tehomuuntajan öljyn kaasupitoisuuksille. Kosteuden osalta raja-arvona on käytetty IEC (International Electrotechnical Commission) 60422 standardissa ilmoitettua hyvän eristeöljyn rajaa 20 ppm (Parts Per Million). Rajat on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Määrittelyn taustalla käytetyt kaasun ja kosteuden suositusrajat (ppm) [25;46].

H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	H ₂ O
≤ 150	≤ 1000	≤ 200	≤ 200	≤ 300	≤ 20	≤ 20

Rambollin ilmoittamille suositusrajoille saadaan lisätukea vertaamalla niitä IEC:n tekemään tutkimukseen muuntajakaasujen vaihteluista. Tutkimuksessa saadut normaalit vaihteluvälit asettuvat asetyleenä lukuun ottamatta Rambollin rajojen alle. Taulukossa 8 on esitetty tutkimuksessa ilmenneet 90 % vaihteluvälit muuntajille, joilla ei ole yhteyttä käämikytkimeen. Tutkimus kattoi yhteensä 15 000 muuntajaa.

Taulukko 8. IEC:n tutkimuksessa saadut 90 % vaihteluvälit muuntajan kaasupitoisuudelle (ppm) [47].

H2	CO	CH4	C2H6	C2H4	C2H2
60-150	540-900	40-110	50-90	60-280	3-50

Asiaa voidaan tarkastella myös vertaamalla Rambollin suositusrajoja Cigren (Conseil International des Grands Reseaux Electriques) raportin ilmoittamiin arvoihin. Raportin ilmoittamat normaalissa tilassa olevan muuntajan kaasunarvot ovat Rambollin suositusrajojen alapuolella. Poikkeustilassa olevan muuntajan arvot puolestaan ylittävät suositusrajat. Cigren raportissa ilmoitetut raja-arvot on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Cigren ilmoittamat raja-arvot muuntajan kaasupitoisuuksille (ppm) [48, s. 17].

Konsentraatio	H2	CO	CH4	C2H6	C2H4	C2H2
Tyypillinen	100	500	80	55	170	3
Ennen vikaa	725	2100	400	900	800	450

Cigren raportissa myös ilmoitetaan tyypillinen kaasun arvon nousu ennen muuntajan viikaantumista. Muutosnopeudet muutamille kaasuille on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Cigren ilmoittama vikaa edeltävä kaasun arvon nousu vuorokaudessa (ppm) [48, s. 16].

H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2
1,3-3,3	2,5-5	7,9-11	1,4-5	0,2-0,5

Ulkopuolelta saatua tietoa voidaan myös verrata HSV:n omiin mittaustuloksiin. Vertailua varten käytettävissä on kannettavalla kaasuanalysointilaitteella otetut kaasuanalyysit vuosien 2009-2016 aikana. Kaasuanalyysit on otettu kolmen kuukauden välein kaikista muuntajista. Käytössä on siten yhteensä 821 kappaletta kaasuanalyseja. Tarkasteluun otettiin mukaan ne kaasut, joita käytössä olevilla kiinteillä kaasuanalysointilaitteilla voidaan mitata. Mittaustuloksista poistettiin selvästi virheelliset tulokset. Taulukossa 11 on esitetty suurimmat mitatut arvot kaasukohtaisesti.

Taulukko 11. Suurimmat mitatut kaasun ja kosteuden määrät muuntajilla (ppm) [45].

	H2	CO	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	H2O
1. suurin	122	589	59	224	152	25,0	49
2. suurin	100	580	26	88	142	19,9	48
3. suurin	90	579	19	84	132	19,1	35

Taulukossa 12 on esitetty Rambollin suositusrajoihin suhteutettuna suurimmat arvon muutokset kahden peräkkäisen mittauksen välillä. Vertailuun otettiin vain samalla mittalaitteella otetut peräkkäiset mittaustulokset vertailtavuuden säilymiseksi.

Taulukko 12. Suurimmat mittaustuloksien arvonmuutokset suositusarvojen suhteen [45].

Mitattu kaasu	Arvon muutos (ppm)	Mittausajankohtien väli (d)	Muutos (%:a suositusrajoista)
C2H2	9,4	158	47
C2H2	4,3	99	21,5
C2H2	4	136	20

Verrattaessa taulukossa 11 esitettyjä suurimpia mittaustuloksia Rambollin ja IEC 60422-standardin suositusrajoihin, voidaan todeta saatujen mittaustuloksien ylittäneen kosteuden ja asetyleenin suositusrajat. Kosteudessa ylityksiä on yhteensä seitsemän kappaletta. Kaikki mitatut kosteuden ylitykset olivat hetkellisiä ja arvot palautuivat myöhemmissä mittauksissa takaisin raja-arvon alle. Asetyleenin osalta ylityksiä oli yksi kappale.

Tehdyistä vertailuista voidaan todeta, että Rambollin suositusarvot näyttävät olevan hyvä pohja kaasun raja-arvon ylityksen hälytyksien määrittelyssä. Muu tutkimustieto tukee tätä päätelmää. Myöskään omissa mittauksissa ei ole saatu kuin yksi suositusrajat ylittävä mittaustulos.

Kosteuden osalta teoreettista vertailupohjaa on vähemmän. IEC 60422-standardin ilmoittama raja-arvo 20 ppm vaikuttaa matalalle. Arvo on ylitetty useissa omissa mittaustuloksissa, joten hälytysrajaa on perusteltua nostaa tätä ylemmäksi.

Trendihälytyksien osalta määrittely on haastavampaa. Cigren ilmoittama vikatilannetta edeltävä kaasunarvon nousu voi olla pienimmillään todella hidasta. Rambollin suositusrajoihin verrattuna suhteellinen pienin arvon muutos on ilmoitettu etyleenille, ollen 1,4 ppm/d. Lukema on 0,47 prosenttia Rambollin suositusrajasta. Suurin suhteellinen arvon

nousu on ilmoitettu etaanille, ollen 11 ppm/d. Lukema on 5,5 prosenttia Rambollin suositusrajasta.

Vertailu oman muuntajakannan mittausarvon nousuun on hankalaa pitkistä mittausväleistä johtuen. Suurin suhteellinen mittausarvon nousu on asetyleenin 9,4 ppm/158 d. Mikäli arvon nousu on ollut täysin tasaista, on nousu ollut päivässä 0,06 ppm. Lukema on 0,3 prosenttia Rambollin suositusrajasta. Mittausarvoissa tapahtuneet nousut eivät ylitä laskennallisesti Cigren ilmoittamia vikatilannetta edeltävää nousua.

Trendihälytyksen rajojen määrittelyyn tuo haasteita myös käytössä olevien analysaattoreiden mittausvirheet. Valmistajat ilmoittavat analysaattoreille $\pm 3-20$ % mittaustarkkuuden [33;34]. Myös mittausarvojen luonnollinen heittely tulee huomioida hälytysrajojen määrittelyssä. Trendihälytystä on mahdollista nostaa oletettua pienintä tasoa isommaksi, koska sen rinnalla on myös raja-arvon ylityksen hälytys.

Hälytysrajojen määrittely aloitettiin määrittelemällä alemman portaan kosketinhälytyksen hälytysrajat. Hälytys aktivoituu raja-arvon ylityksestä ja muutosnopeudesta. Alemman portaan kosketinhälytyksen tullessa muuntaja otetaan tarkkailuun käyttökeskuksen toimesta. Raja-arvon ylityksen hälytysrajaksi otettiin taulukon 7 mukaiset Rambollin suositusrajat. Kosteuden osalta hälytysraja määritettiin standardin ilmoittamaa raja-arvoa suuremmaksi arvoon 35 ppm.

Muutosnopeudesta aktivoituvan trendihälytyksen hälytysrajaksi määriteltiin vuorokauden tarkastelujaksolla 10 prosenttia hälytysrajasta. Kuukauden tarkastelujaksolla rajaksi määriteltiin 20 prosenttia hälytysrajasta. Arvot määriteltiin Cigren ilmoittamia arvoja suuremmaksi, jotta turhat hälytykset voidaan varmemmin välttää. Näilläkin rajoilla on kuitenkin mahdollista saada lisäarvoa. Esimerkiksi etyleenin alemman portaan kosketinhälytyksen hälytysraja on 300 ppm. Mikäli muuntajan normaalissa tilanteessa etyleenin on arvossa 100 ppm, aiheuttaisi tasainen 30 ppm vuorokausinousu raja-arvon ylityksen hälytyksen seitsemän vuorokauden kuluessa. Kun käytössä on trendihälytys vuorokaudessa tapahtuvalla arvon nousulle, aiheutuu trendihälytys yhdessä vuorokaudessa. Trendihälytyksille asetellaan hälytysviiveeksi 33 % tarkasteluajanjaksosta, joten käytännössä hälytys tulisi 32 tunnin kuluttua. Trendihälytys olisi tullut siten viisi vuorokautta raja-arvon ylityshälytystä nopeammin.

Seuraavaksi määritettiin ylemmän portaan kosketinhälytyksen hälytysraja. Hälytysrajat määriteltiin alemman tason hälytysrajojen perusteella. Tasoksi määriteltiin arvonylityksen ja trendihälytyksen arvot puolitoistakertaisena. Tämän hälytyksen tullessa muuntajan otetaan hallitusti keskeytykseen.

Uusilla hälytystasoilla pyritään vähentämään käyttökeskukseen tulevien turhien hälytyksien määrää. Tavoitetta tukee määriteltyjen hälytysrajojen vertaaminen toteutuneisiin kaasunarvoihin. Yksikään kannettavalla analysaattorilla mitatuista normaalintilan kaasun tai kosteuden arvoista ei olisi aiheuttanut ylemmän portaan kosketinhälytystä. Tarkkailurajan, eli alemman portaan hälytys olisi syntynyt kerran asetyleeni raja-arvon ylityksestä ja kolme kertaa kosteuden raja-arvon ylityksestä.

Kosketinhälytyksien jälkeen määritettiin PI-järjestelmästä tulevien sähköpostihälytyksen hälytysrajat. Sähköpostihälytysrajat määritettiin muuntajakohtaisesti toteutuneiden arvojen perusteella. Arvot haettiin automatisoidusti PI-tietokannasta. Sähköpostihälytyksen raja-arvon ylityksen hälytysrajaksi määritettiin suurin normaalin tilan arvo puolitoista kertaisena. Trendihälytyksen rajaksi määritettiin suurin normaalin tilan arvon vaihtelu puolitoista kertaisena. Määrittely tehtiin vuorokauden ja kuukauden tarkastelujaksoille. Määrittelyä varten tietokannasta haettiin kaikki saatavilla oleva tieto. Sähköpostihälytyksen haluttiin aktivoituvan myös kaikkein hitaimmin kehittyvistä vioista. Nämä viat pyritään havaitsemaan määrittelemällä hälytysehdoksi kaasupitoisuuden nousu kymmenenä peräkkäisenä päivänä tai kolmena peräkkäisenä kuukautena. Hälytyksen määrittelyssä käytetään kunkin päivän ja kuukauden suurinta mitattua arvoa. Sähköpostihälytyksien osalta ehtona oli lisäksi, että ne alittivat kosketinhälytyksien raja-arvot. Jos määrittelyssä käytettävä laitteen mittaushistoria on ollut nollassa koko mittaushistorian ajan, määritettiin sähköpostihälytysrajat laskennallisesti puolitoista kertaa alemman kosketinhälytysportaan alapuolelle. Sähköpostihälytyksen tullessa hälytyksen vastaanottava kunnossapitohenkilöstö päättää tapauskohtaisen harkinnan perusteella toimenpiteistä.

Yhdistelmäkaasua mittaavien analysaattoreiden raja-arvon ylityksen-, trendi- ja sähköpostihälytykset muodostettiin samalla logiikalla. Summautuminen huomioitiin laskemalla Rambollin yksittäisten kaasujen suositusrajat yhteen. Summauksessa huomioitiin analysaattorin mittaamat kaasut, ja niiden mittaussuhteet. Alemman portaan kosketinhälytyksen tullessa siten kaikki yksittäiset kaasunarvot ovat suositusrajallaan, tai joku yksittäisestä kaasuista reilusti sen yli.

Yhteenveto hälytysrajojen muodostumisesta on esitetty liitteessä 4.

110 kV:n GIS:n jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kehittäminen

Kappaleessa 6.2.2 kerrotun mukaisesti, 110 kV GIS-kytkinlaitoksien kunnonvalvonnassa voidaan käyttää hybriditiheysvahteja. HSV:ssä hybriditiheysvahdit on hankittu pilotti-hankkeena yhteen kytkinlaitokseen.

110 kV GIS-kytkinlaitoksien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta täyttää kunnonvalvonnalle asetetut tekniset vaatimukset. Valvottava vikaantumismekanismi on yksinkertainen ja hälytysrajat on määriteltävissä etukäteen.

Hybriditiheysvahtien taloudellisten vaatimuksien täytyminen vaatii tarkempaa pohdintaa. Jokaisen 110 kV:n GIS-kytkinlaitoksen vakiotoimitukseen kuuluu perinteiset tiheysvahdit. Siksi kannattavuuslaskennassa voidaan verrata hybriditiheysvahtien suurempia investointikustannuksia saataviin laskennallisiin säästöihin.

Laskennassa huomiointiin kappaleessa 6.2.2. kerrotut hybriditiheysvahtien tuomat hyödyt. Lisäksi laskennassa huomioitiin tässä kappaleessa myöhemmin esitettyjen kehittämistoimenpiteiden myötä tulevat hyödyt. Hybriditiheysvahtien elinkaareksi oletetaan 25 vuotta ilman ylimääräisiä korjauskustannuksia.

Laskennassa todettiin, että hybriditiheysvahtien hankintaa kaikille 110 kV:n GIS-kytkinlaitoksille on haastavaa perustella taloudellisesti pelkästään vikojen nopeamman havainnoinnin perusteella. Laskenta on kuvattu tarkemmin liitteessä 3.

Myös hybriditiheysvahtien osalta laskennassa on mahdollista päästä eri lopputulokseen huomioimalla vaikuttavia asioita eri tavalla. Taloudellista kannattavuuteen on mahdollista vaikuttaa seuraavilla seikoilla:

- Laskennassa huomioitaisiin regulaation vaikutus.
- Laskennassa huomioitaisiin nopeammasta vuotojen havainnoinnista syntyvät ympäristölliset hyödyt taloudellisesti. Tulevaisuudessa asian merkitys saattaa korostua.

- Kunnonvalvonta suoritettaisiin vain 110 GIS-kytkinlaitoksien elinkaaren vikaherkimmillä ajoilla. Tämän seikan hyödyntäminen edellyttäisi tarkempia teknisiä ja taloudellisia tarkasteluja.
- Laskennassa huomioitaisiin hybriditiheysvahtien mahdollisesti suuremmat ylläpitokustannukset.

Kuten kaasuanalysointoreillakin, hybriditiheysvahtien taloudellista kannattavuutta olisi mahdollista parantaa hyödyntämällä saatua kunnonvalvontatietoa kuntoindeksin muodostamisessa. Kuntoindeksin muodostamista on käsitelty kappaleessa 7.3.

110 kV:n GIS:n jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan hälytysrajojen määrittely

Hybriditiheysvahdeista olisi saatavissa lisäarvoa määrittelemällä niille PI-järjestelmän kautta tulevat sähköpostihälytykset. Sähköpostihälytyksien määrittelyssä tulee huomioida hybriditiheysvahtien kosketinhälytyksien rajat. Pilottikohteen hybriditiheysvahtijärjestelmän kosketinhälytyksien raja-arvot on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Tiheysvahtityyppien kosketinhälytyksien raja-arvot 20 °C lämpötilassa (kPa) [49].

Kaasutila	Täyttöpaine	Hälytystaso 1	Hälytystaso 2
1	700	620	600
2	600	540	520

Taulukon 13 mukaisesti kosketinhälytyksien raja-arvot riippuvat valvottavan kaasutilan täyttöpaineesta. Määriteltävät sähköpostihälytykset tulee asettaa näitä rajoja ylemmäksi.

Sähköpostihälytyksillä on mahdollista saada seuraavaa lisäarvoa kustannus ja ympäristönäkökulmasta:

- Kaasuvuoto on mahdollista havaita nopeammin.
- Hitaista kaasuvuodoista tulee ilmoitus suoraan sähköasemien kunnossapidolle, jolloin käyttökeskuksen ei tarvitse lähettää kohteeseen päivystäjää ja vika voidaan korjata virka-aikana.

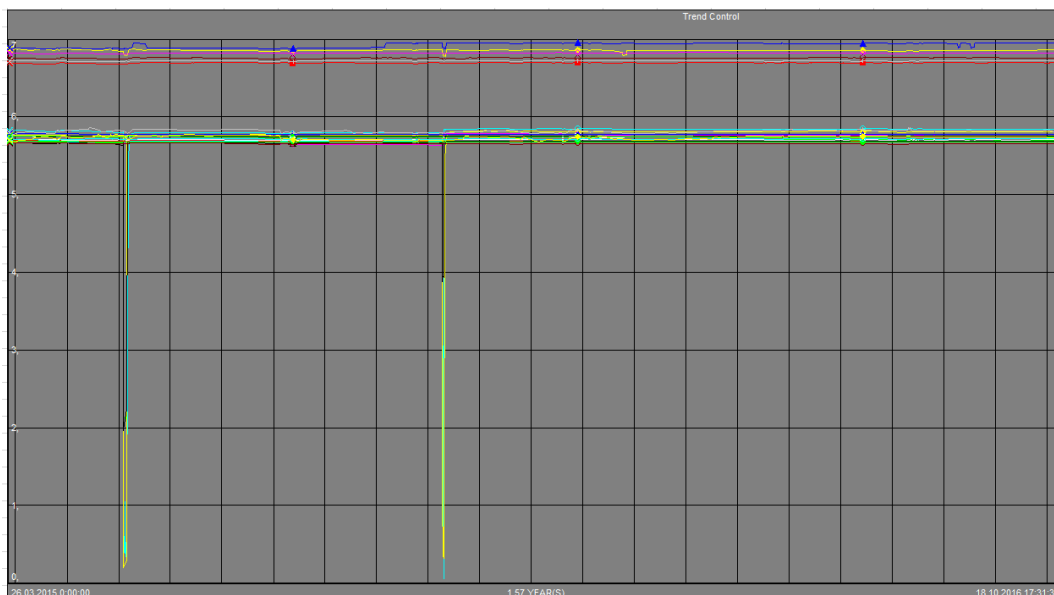
Saatu lisäarvo tulee kappaleessa 6.2.2 kuvattujen hybriditiheysvahdeista nykyisellään saatavien hyötyjen päälle.

PI-järjestelmän sähköpostihälytystoiminnallisuus toimii vastaavalla tavalla kuin muuntajien kaasuanalysointoreilla. Hälytys määriteltiin aktivoituvaksi raja-arvon ylityksestä tai tiheystiedon muutosnopeudesta. Hälytyksen tullessa PI-järjestelmästä lähetetään sähköposti kunnossapitohenkilöstölle. Kunnossapitohenkilöstö päättää tapauskohtaisen harkinnan perusteella riittävät toimenpiteet.

Hälytystason määrittelyssä tulee huomioida, että mA-viestinä vastaanotettu tiheystieto heittelee mittausepäätarkkuudesta johtuen. PI-järjestelmään tallentunut tiheystiedon heittele ei siten johdu aina kaasuvuodosta. Hälytysrajojen määrittelyssä tulee myös huomioida, että toteutunut kaasun täyttöpaine saattaa toisiaan jäädä nimellistä täyttöpainetta pienemmäksi. Edellä kerrottujen syiden takia hälytysrajoja ei voida laittaa liian tiukaksi.

Sähköpostihälytyksen raja-arvohälytyksen rajat määritettiin työryhmätyöskentelynä [41]. Raja-arvon ylityksen hälytysrajaksi määritettiin 200 kPa kosketinhälytyksen yläpuolelle. Trendihälytys määritettiin aktivoitumaan tiheystiedon minimiarvon pienentyessä vähintään 1 kPa kolmena peräkkäisenä kuukautena.

Sähköpostihälytyksien hälytysrajoja voidaan verrata mitattuihin normaalin tilan tiheystietoihin. Tarkastelemalla edellisen 19 kuukauden aikana mitattuja pilottikohteen tiheystietoja, eivät hälytysrajat olisi ylittyneet. [50] PI-järjestelmään tallentuneita tiheystietoja on esitetty kuviossa 15.



Kuvio 15. PI-järjestelmään tallentuneita tiheystietoja 110 kV kytkinlaitoksen kaasutiloista [50].

Kuviossa 15 näkyvät tiheystiedon voimakkaat laskupiikit johtuvat todellisista kaasunpaineen alenemisista. Kaasunpainetta alennettiin kytkinlaitoksessa tehtyjen korjaustöiden takia.

Yhteenveto PI-järjestelmään määriteltävistä sähköpostihälytyksistä on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Hybriditiheysvahtien mittaustiedon aktivoimat sähköpostihälytykset.

Kaasu-tila	Täyttöpaine (kPa)	Sähköpostihälylys, raja-arvon alitus (kPa)	Sähköpostihälylys, trendihälylys
1	700	640	≥ 1 kPa tiheystiedon pieneneminen 3 peräkkäisenä kuukautena
2	600	560	≥ 1 kPa tiheystiedon pieneneminen 3 peräkkäisenä kuukautena

Jatkuvatoiminen kunnonvalvonta muualla verkossa

110 kV GIS-kytkinlaitoksien ja päämuuntajien lisäksi jatkuvatoimistakunnonvalvontaa on saatavilla myös muille laitteistoille. Sähköasemalaitteistoista jatkuvatoimista kunnonvalvontaa on saatavilla myös akustoille ja keskijännitekytkinlaitoksille.

Akustojen jatkuvatoiminen kunnonvalvonta

Tasasähköakustojen jatkuvatoimista kunnonvalvontaa voidaan tehdä kiinteään valvontalaitteen avulla. Kiinteitä valvontalaitteita on saatavilla esimerkiksi ABB:n toimittamana. ABB:n laite valvoo yksittäisten akkujen napajännitettä. Lisäksi laitteen avulla on mahdollista mitata akustojen kapasiteettia niiden purkautuessa. ABB:n toimittama akustojen kiinteä kunnonvalvontalaite on esitetty kuviossa 16. [51]



Kuvio 16. ABB AKKA akustojen kunnonvalvontalaite [51].

Akustojen kunnonvalvonta täyttäisi asetetut tekniset vaatimukset. Akustojen vikaantumismekanismit on hyvin tunnettuja, ja ne ovat havaittavissa mittauksilla.

Taloudelliset vaatimukset täytetään, jos hankintakustannukset ovat pienemmät kuin vian nopeasta havainnoinnista syntyneet kustannussäästöt. Nopeasta havainnoista syntyvän kustannussäästön ei voida olettaa olevan merkittävää, koska yksittäisten akun hajoaminen ei ole prosessin kannalta kriittistä. Sähköasemien akustot ovat kahdennettuja, joten yksittäinen vioittunut akku ei uhkaa koko prosessia. Jaksottaisella kunnonvalvonnalla tehty vikojen havainnointi on myös todettu riittävän nopeaksi [44].

Asiaa on myös mahdollista tarkastella vertaamalla hankintakustannuksia pienentyneisiin jaksottaisen kunnonvalvonnan kustannuksiin. Merkittävää säästöä olisi mahdollista saada, jos akustojen kapasiteettikokeet voitaisiin tehdä automatisoidusti ilman asentajan läsnäoloa. Vuonna 2013 tehdyssä kunnonvalvontalaitteita käsittelevässä muistiossa on kuitenkin todettu, että toistaiseksi kapasiteettikokeita ei haluta tehdä riskisyyden takia ilman asentajan läsnäoloa [44]. Asentajan tekemässä kapasiteettikokeessa käytetään ulkoista vastusta ja kuormat siirretään varmentavalle akustolle. Tämä poistaa kapasiteettikokeen prosessille aiheuttamat riskit. Kapasiteettikokeen tekeminen automatisoidusti vastaavalla tavalla ei ole mahdollista vanhoissa tasasähköjärjestelmissä.

Akustojen jatkuvatoiminen kunnonvalvontaa ei voida perustella taloudellisesti tasasähköjärjestelmän rakenteen ja tehtyjen riskipäätösten johdosta. Akustoille ei luoda kuntoindeksejä, joten kuntotiedon hyödyntämisen avulla ei ole mahdollista kasvattaa taloudellista kannattavuutta.

Keskijännitekytkinlaitoksien jatkuvatoiminen kunnonvalvonta

Keskijännitekytkinlaitoksien jatkuvatoimista kunnonvalvontaa on mahdollista tehdä esimerkiksi Camlin Powerin toimittaman Profile P3 mittalaitteen avulla. Mittalaitetta käytetään katkaisijoiden kunnon määrittelyyn. Laitteella on mahdollista analysoida seuraavia toimintoja [52]:

- Pääkoskettimien toiminta.
- Apukoskettimen toiminta.
- Laukaisu ja sulkeutumiskelan toiminta.
- Ohjauspiirien johdotuksen toiminta.
- Tasasähköjännitteen suuruus.
- Suojareleen toiminta-aika.

Laitteen merkittävän hyötynä on mahdollisuus mittaukseen katkaisijan ensimmäisellä ohjaukerralla. Mittaus tehdään toisiopiireistä, joten katkaisijaa ei tarvitse ohjata ennen mittauksen suorittamista. Näin mahdollinen katkaisijan jäykistyminen on havaittavissa. Mittalaite myös mahdollistaa katkaisijan ja releen kokonaistoiminta-ajan mittauksen. [52]

Keskijännitekytkinlaitoksen jatkuvatoiminen kunnonvalvonta on teknisesti perusteltavissa. Taloudellista perusteltavuutta ei tarkastella tässä työssä.

HSV:n verkossa on käytetty jatkuvatoimista kunnonvalvontaa myös sähköasemien ulkopuolella. Jatkuvatoimista kunnonvalvontaa on tehty jakeluverkossa. Lisäksi 110 kV kaapeleihin on tulossa jatkuvatoimista kunnonvalvontaa pilottihankkeena.

Keskijännitekaapeleiden jatkuvatoiminen kunnonvalvonta

HSV:n keskijännitekaapelit koostuvat 20 kV ja 10 kV kaapeleista. Kaapeleiden jatkuvatoimista kunnonvalvontaa on mahdollista tehdä osittaispurkauksia mittaamalla. Osittaispurkausmittauksien avulla on mahdollista havaita mittausalueella olevien komponenttien eristelujuuden heikkeneminen ennen vian laajenemista. Mittaus on mahdollista tehdä myös jaksottaisesti. [53] Tällä hetkellä HSV:ssä tehdään osittaispurkausmittauksia vain jaksottaisesti.

110 kV:n kaapeleiden jatkuvatoiminen kunnonvalvonta

Myös 110 kV kaapeleille on mahdollista tehdä jatkuvatoimista kunnonvalvontaa. Prysmianin toimittamana on saatavilla kaapeleiden osittaispurkauksia ja lämpötilaa mittaava jatkuvatoiminen kunnonvalvontajärjestelmä. Järjestelmä avulla on mahdollista havaita eristelujuuden heikkeneminen mitattavan kaapelin alueella. Lämpötilamittauksen avulla johdon kuormitettavuutta on myös mahdollista optimoida. [54] HSV:ssä ollaan ottamassa käyttöön Prysmianin järjestelmä valmistumassa olevalla 2 x 110 kV kaapeliyhteydellä.

7.3 Kuntoindeksit osana päätöksentekoa

Kuntoindeksi mahdollistaa laitteiden kuntotiedon hyödyntämisen päätöksenteossa. Kuntoindeksin avulla kuntotieto saadaan myös visuaalisesti ymmärrettävään muotoon.

HSV:ssä on käynnissä toiminnankehitysprojekti, jossa päätöksentekoa pyritään muuttamaan enemmän analyttiseksi ja tietoon perustuvaksi [15]. Yleisnäkymä laitteiden kunnosta olisi hyödyllinen monen päätöksentekoprosessin kannalta. Ratkaisuna tähän on päätetty luoda kuntoindeksit. [55]

7.3.1 Kuntoindeksin muodostuminen

Tässä työssä kuntoindeksien muodostumista käsitellään sähköasemalaitteistojen näkökulmasta. Työssä pohditaan kuntoindeksin muodostumisperiaatteet. Lisäksi tarkastellaan mitä vaatimuksia ja muutoksia kunto-indeksin käyttöönotto tuo nykyisille toimintavoille ja järjestelmille. Pohdintaa tehtiin sähköasemien kunnossapidosta vastaavien henkilöiden kanssa. Pääosa konkreettisesta kuntoindeksin muodostamistyöstä tehdään tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa. Kuntoindeksin laajennusta verkon muille komponenteille tullaan selvittämään samassa yhteydessä.

Kuntoindeksi tulee rakentaa siten, että se soveltuu kaikille sähköasemilla oleville laitteille. Laitteistojen rakenne-erot eivät saa estää kuntoindeksin muodostumista. Esimerkiksi jatkuvatoiminen kunnonvalvonta ei saa olla vertailtavan kuntoindeksin muodostumisen edellytys.

Kuntoindeksi päätettiin muodostaa sähköasemien tärkeimmille laiteryhmillä seuraavalla kohdistustarkkuudella:

- Päämuuntajat.
- 110 kV kytkinlaitokset.
- Keskijännitekytkinlaitokset.

Tätä tarkkuutta voidaan pitää riittävänä oletetun loppukäytön kannalta.

Sähköasemien välinen vertailtavuus edellyttää, että kuntoindeksi summautuu ylöspäin. Summautumisen periaate on kuvattu taulukossa 15.

Taulukko 15. Kuntoindeksin summautumisperiaate.

Sähköasema	Laiteryhmä	Kuntoindeksin alataso	Kuntoindeksin ylätaso
Sähköasema 1	Päämuuntaja	kuntoindeksi a1	Kuntoindeksi d1 $[(a1+b1+c1)/3]$
	110 kV kytkinlaitos	kuntoindeksi b1	
	Keskijännitekytkinlaitos	kuntoindeksi c1	
Sähköasema 2	Päämuuntaja	kuntoindeksi a2	Kuntoindeksi d2 $[(a2+b2+c2)/3]$
	110 kV kytkinlaitos	kuntoindeksi b2	
	Keskijännitekytkinlaitos	kuntoindeksi c2	
Sähköasema 2	Päämuuntaja	kuntoindeksi a3	Kuntoindeksi d3 $[(a3+c3)/2]$
	Keskijännitekytkinlaitos	kuntoindeksi c3	

Kuntoindeksissä tulee huomioida vain laitteen kuntoon vaikuttavia asioita. Esimerkiksi tarkasteltavan komponentin vaikuttavuutta ei tule huomioida, koska se huomioidaan vasta kuntoindeksin jatkokäytössä. Kuntoindeksin jatkokäyttömahdollisuuksia on kuvattu kappaleessa 7.3.2.

Kuntoindeksin muodostamisessa oleellista on riittävä yksinkertaisuus. Yksinkertaisen kuntoindeksin etuna on vähäisempi työmäärä muodostamisessa ja ylläpidossa. Yksinkertaistuksessa on kuitenkin huomioitava, että liian yksinkertaisen kuntoindeksin informaatioarvo on vähäinen.

Kuntoindeksi päätettiin muodostaa kolmesta eri osakokonaisuudesta. Osakokonaisuuksista otetaan käyttöön ne osat, jotka käsiteltävä laitteisto mahdollistaa. Pisteiden kertymisessä tulee huomioida, että yksittäisessä osuudessa tapahtuva muutos ei saa muuttaa liikaa laitteiston kokonaispisteitä. Tällä rajoitetaan yksittäisen virhemäärittelyn vaikutusta kuntoindeksin kokonaispisteisiin. Jokaiselle osakokonaisuudelle määritellään maksimiosuus kuntoindeksin loppupisteistä. Maksimiosuudet määritellään lisäksi osakokonaisuuksien alla oleville yksittäisille vaikuttimille. Kuntoindeksiin vaikuttavat asiat maksimiosuuksineen on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Kuntoindeksiin vaikuttavat asiat maksimiosuuksineen.

Pohjatiedot (20 %)	Kerättävät tiedot (40 %)	Muut tiedot (40 %)
Yleiset laatupisteet (20 %)	Vikahavainnot (20 %)	Ikä (20 %)
	Toimintatiedot (10 %)	Tuotetuki loppunut (10 %)
	Kunnonvalvontatiedot (10 %)	Merkittävä huoltotoimenpide suoritettu (10 %)

Maksimiosuuksissa on painotettu yksiselitteisesti mitattavia asioita. Tällä painotuksella pienennetään kunto-indeksin informaatioarvon heikkenemisen riskiä.

Kaikkia kuntoindeksiin vaikuttavia asioita ei ole pakko hyödyntää. Jos jotakin kuntoindeksiin vaikuttavaa osaa ei oteta käyttöön, muodostetaan puuttuva pisteosuus samaan laiteryhmään kuuluvien keskiarvopisteistä. Tämä on perusteltua, koska paremman tiedon puuttuessa voidaan laitteiston olettaa olevan kunnoltaan keskimääräinen. Puuttuvien osien pisteyttäminen on oleellista vertailtavuuden säilymisen kannalta. Keskiarvoajattelua on mahdollista hyödyntää seuraavissa kuntoindeksiin vaikuttavissa tekijöissä:

- Yleiset laatupisteet.

- Vikahavainnot.
- Toimintatiedot.
- Kunnonvalvontatiedot.

Muissa tiedoissa keskiarvon käyttäminen pisteytyksessä ei ole perusteltua.

Pohjatietojen vaikutus kuntoindeksiin.

Pohjatiedot muodostuvat asiantuntija-arviona annetuista yleisistä laatu-pisteistä. Laatu-pisteiden maksimiosuudeksi kuntoindeksin kokonaispisteistä määriteltiin 20 %. Pisteet määritetään järjestelmäsuuntautuneesti. Jokainen laitetyyppi pisteytetään, ja annetut laatu-pisteet kohdistetaan laitetyypeittäin. Laitetyypit on jaoteltu laatu-pisteisiin mahdollisesti vaikuttavien seikkojen perusteella.

Päämuuntajille määritetyt laitetyypit on esitetty taulukossa 17. Laitetyypit on jaoteltu valmistajan, tyypin, jäähdytystavan ja käämikytkimen tyypin perusteella.

Taulukko 17. Päämuuntajien laatu-pisteiden muodostamiseen määritetyt laitetyypit [10].

Tyyppi	Valmistaja	Tyyppi	Jäähdytystapa	Käämikytkimen tyyppi
1	EBG	DOR56000/110	OFAF	Öljy
2	ABB	KKRU/T 123NC34000	ONAF	Tyhjö
3	ABB	KTAT123X32	OFAF	Öljy
4	ABB	KTAT123X40	OFAF	Öljy
5	ABB	KTPU/T 123NC31500	OFAF	Tyhjö
6	ABB	KTPU/T 123NC36750	ONAF	Öljy
7	ABB	KTRT123X40	ONAF	Öljy
8	ABB	KTRT123X47	ONAF	Öljy
9	ABB	KTRT123X48	ONAF	Öljy
10	ABB	KTRT123XA40	ONAF	Öljy
11	Asea	TAA43	OFAF	Öljy
12	Asea	TAA43	ONAF	Öljy
13	Koncar	TRP 40000-123/CA	ONAF	Öljy
14	Koncar	TRP40000-123	ONAF	Öljy
15	Koncar	TRV 40000-123	OFAF	Tyhjö
16	Koncar	TRZ31500-123/E	OFAF	Öljy
17	Koncar	TRZ40000-123/CS	OFWF	Tyhjö
18	Koncar	TRZ40000-123/CU	OFAF	Tyhjö

110 kV kytkinlaitokselle määritetyt eri laitetyypit on esitetty taulukossa 18. Laitetyypit on jaoteltu eristeaineen, valmistajan ja kytkinlaitoksen tyypin perusteella.

Taulukko 18. 110 kV kytkinlaitoksien laitetypit [10].

Tyyppi	Eristeaine	Valmistaja	Tyyppi
1	AIS	-	-
2	GIS	Siemens	8DN8
3	GIS	Siemens	8DN8-2
4	GIS	Siemens	8DN9
5	GIS	S&S	B212
6	GIS	S&S	B212/B65
7	GIS	BBC	EBK
8	GIS	ABB	ELK-04
9	GIS	ABB	EXK-0
10	GIS	Holec	L-SEP
11	GIS	Holec	TRI-SEP

Keskijännitekytkinlaitokselle määritetyt eri laitetypit on esitetty taulukossa 19. Laitetyypit on jaoteltu valmistajan, kytkinlaitoksen tyyppin ja katkaisijan eristeaineen perusteella.

Taulukko 19. Keskijännitekytkinlaitoksien laitetypit [10].

Tyyppi	Valmistaja	Kytkinlaitoksen tyyppi	Katkaisijan eristeaine
1	ABB	Unigear	Tyhjö
2	ABB	BEU	SF ₆
3	Siemens	NXPlus	Tyhjö
4	Strömberg	MEKA12	Öljy
5	Strömberg	METE24	Öljy
7	Strömberg	METE12	Tyhjö
8	ABB/Strömberg	MH24	SF ₆ /tyhjö
9	Strömberg	MH12	SF ₆
10	Delta	H96-220	SF ₆
11	Paiko	Safesix VHA-12	SF ₆

Laatupisteiden määrittelyssä on tärkeää, että kuntoindeksissä muualla huomioidut seikat eivät vaikuta pisteytykseen. Esimerkiksi laitteen iän vaikutus huomioidaan omassa kohdassaan.

Laatupisteet määritetään sijoittamalla kukin laitetyyppi johonkin seuraavista kolmesta kategoriasta:

- Laatu moitteeton 0 %.
- Laadussa mahdollisesti poikkeamia 10 %.
- Laadussa on havaittu poikkeamia 20 %.

Laitteistojen jakautuminen kategorioihin päätetään työryhmätyöskentelynä tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa.

Kerättävien tietojen vaikutus kuntoindeksiin

Kuntoindeksin tiedon informaatioarvoa on mahdollista parantaa huomioimalla laitteilta kerättävää todellista kuntotietoa. Laitteilta kerättävänä kuntotietona kuntoindeksiin vaikuttaa vikahavainnot, kunnonvalvontatiedot ja toimintatiedot. Laitteesta kerättävien tietojen maksimiosuus kuntoindeksistä on 40 %.

Vikahavaintojen hyödyntäminen edellyttää toimivaa vikatilastointia. Kappaleessa 7.1.3 käsiteltiin RCM-prosessin ja TCO-mallin tuomia vaatimuksia vikatilastoinnille. RCM-prosessit ja TCO-malli tuovat vikatilastoinnille seuraavia vaatimuksia:

- Vikatiedot on kohdennettava samalla tarkkuudella laiteryhmiin sisällä.
- Vikatietojen kohdennustarkkuus on oltava vähintään taulukon 4 mukainen.
- Myös huoltojen aikana havaitut viat on tilastoitava.
- Vikatietojen luokittelu merkittäviin ja vähäisiin vikoihin on oltava olemassa.

Artturin hierarkiaan tehtyjen muutoksien myötä vikatilastoinnin tarkkuus saadaan riittäväksi myös kuntoindeksin kannalta. Huoltojen aikana havaittujen vikojen saaminen mukaan vikatilastoon edellyttää järjestelmän kehitystyötä. Järjestelmään tehtävän kehitystyön myötä myös vikojen luokittelua voidaan yksinkertaistaa. Järjestelmän edellyttämä kehitystyö kuvataan myöhemmin tässä kappaleessa.

Kuntoindeksien tuoma uusi vaatimus vikatilastoinnille on tieto vian syntyajasta. Vikatapahtumasta kuluneella ajalla tulee olla vaikutusta annettuihin pisteisiin. Tässä opinnäytetyössä vikatilastoinnin tietomallille tulleet vaatimukset on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Vikatilastoinnin tietomallin vaatimukset.

1	Mihin laitteeseen vika kohdistuu?
2	Milloin vika on havaittu?
3	Onko vika merkittävä vai vähäinen?

Kappaleissa 5.1 ja 7.1 kerrotun mukaisesti vikatilastointi tehdään Artturi-kunnossapito-ohjelmiston työtilauksien avulla. Tehdyt vikatyötilauksen luokitellaan vikatyöksi luokka-

tietojen avulla. Tilastointitavan johdosta huoltojen aikana havaittuja vikoja ei tilastoida. Muuttamalla vikatilastointitapaa, on myös huoltojen aikana havaitut viat mahdollista saada vikatilastoon.

Vikatilastointitavan muutos edellyttää Artturi-kunnossapito-ohjelmiston kehitystyötä. Kehitystyössä vikatilastointitapaa muutetaan. Vikatilastointia ei tehdä muutoksen jälkeen työtilauksien avulla, vaan erillisen Artturi-kunnossapito-ohjelmistoon tehdyn tietokannan avulla. Artturin työtilauslomakkeille lisätään valikko, joka mahdollistaa vikatietojen syöttämisen uuteen tietokantaan. Valikko lisätään vikatyötilauksille ja huoltotyötilauksille.

Kunnossapitourakoitsija syöttää tietokantaan tiedot mahdollisesta viasta kuitatessaan työn tehdyksi. Erillisen tietokannan myötä myös huoltojen yhteydessä havaitut viat saadaan tilastoitua. Työtilauksille lisättävä uusi valikko on esitetty kuviossa 17 punaisella.

Työn järjestely

Työnumero Tyyppi **V - Vikatyö** Tallenna muutos

Nimi Muuta ja lähetä

Tilaaja Tallenna uusi

Laite Kuittaa

Paikka Tyhjennä

Työn kuvaus Tulosta

Raportti Vikatilastointi Kustannukset

Huoltoryhmä Sulje

Työlaji Tilamuutos

Kiireellisyys 2

Valm. aika V

Tilausaika 6

Kustannuskohde 7

Laskentakohde V

Luokka 1 7

Luokka 2 V

Tila 8

Kuvio 17. Kehitystyön myötä työtilauksille lisättävä vikatilastoinnin valikko.

Kuntoindeksin kannalta vikojen luokitteluksi riittää jako merkittäviin ja vähäisiin vikoihin. Kirjattaessa vika tietokantaan, tulee kirjaajan syöttää vian luokittelutieto. Luokittelu voidaan määritellä sovelletusti Cigren kuvaamasta kytkinlaitteistoihin liittyvien vikojen luokittelusta [56]. Luokitteluksi määritellään seuraavalla tavalla:

- Merkittävä vaurio:
 - o Vaurio joka aiheuttaa laitteiston yhden tai useamman keskeisen toiminnon lakkaamisen. Vika aiheuttaa laitteen käytön keskeytymisen enintään 30 minuutin kuluttua vian synnystä.
- Vähäinen vaurio:
 - o Laitteen vaurio, pois lukien merkittävät vauriot.

Vikatilastoinnin oikea luokittelu varmistetaan työtilauksen tarkastajan toimesta. Samassa yhteydessä tarkastajan tulee varmistaa myös vian oikea kohdistuminen. Uusi vikatilastointi ei lisää kunnossapitourakoitsijan työmäärää, koska aikaisemmin tiedot vioista kirjoitettiin työtilauksen raporttikenttään. Jatkossa vastaava kirjaus tehdään sähköisesti tietokantaan.

Vikaluokittelu vaikuttaa vikahavainnoin kuntoindeksille tuottamiin pistemääriin. Merkittävä vaurio pisteytetään vähäistä vauriota isommaksi. Vikojen vaikutuksen tulee poistua ajan kuluessa, jotta vertailtavuus vanhempien ja uudempien laitteistojen välillä säilyy. Tästä syystä kuntoindeksissä päätettiin huomioida vain alle kymmenen vuotta vanhat viat.

Havaittujen vikojen tulee vaikuttaa kohdistettuun laitteeseen. Lisäksi vikahavainnon vaikutuksen tulee kohdistua myös muihin vastaavantyyppisiin laitteisiin. Tällä voidaan pienentää tilastollisen virheen vaikutusta. Toiminto on mahdollista tehdä valittavassa vikatilastointiohjelmistossa. Vikahavainnoinnin omien havaintojen maksimiosuus on 10 % kuntoindeksistä. Muilta vastaavantyyppisiltä laitteilta tuleva maksimiosuus on myös 10 % kuntoindeksistä. Jos muita vastaavantyyppisiä laitteita ei ole olemassa, tulee molemmat 10 % osuudet kertyä laitteen omista vikahavainnoista. Tämä on oleellista vertailtavuuden säilyttämiseksi. Jako vastaavantyyppisiin laitteisiin voidaan tehdä taulukoissa 17, 18 ja 19 kerrottujen tyyppiluokittelujen mukaisesti.

Laitteiden välisen vertailtavuuden säilymisen kannalta on tärkeää huomioida myös vikahavaintojen suhteellinen yleisyys. Suhteellisuus saadaan huomioimalla 110 kV kytkinlaitoksien ja keskijännitekytkinlaitoksien kennojen lukumäärät vikahavaintojen pisteytyksessä. Muuntajat ovat keskenään vertailtavia ilman erillistä suhteutusta. Kytkinlaitoksien keskimääräiset koot suhteutusta varten on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. HSV:n kytkinlaitoksien keskimääräiset kennomäärät vuonna 2016 [10].

Kytkinlaitoksen tyyppi	Keskimääräinen koko
110 kV kytkinlaitos	6 katkaisijakenttää
Keskijännitekytkinlaitos	40 kennoa

Sähköasemilla olevien 110 kV kytkinlaitoksien katkaisijakenttien määrät vaihtelevat välillä 4-19 kpl. Keskijännitekytkinlaitoksien kennomäärät vaihtelevat välillä 28–62 kpl. [10]

Taulukossa 21 esitetyt arvot on pyöristetty lähimpään tasalukuun.

Vikahavaintojen kokonaisuus kuntoindeksistä on 20 %. Pisteet muodostuvat seuraavalla tavalla:

Laitteen omien vikahavaintojen vaikutus keskimääräisen kokoisella kytkinlaitoksella tai yksittäisellä muuntajalla (0-10 %):

- Ei vikahavaintoja, 0 %.
- Vähäinen vaurio, 1 % kasvu havaintoa kohden.
- Merkittävä vaurio, 5 % kasvu havaintoa kohden.

Vastaavantyyppisten laitteistojen vikahavaintojen vaikutus (0-10 %):

- Keskiarvo vastaavantyyppisistä laitteista (0-10 %)

Tällä määrittelyllä 40 kennoinen keskijännitekytkinlaitos saa maksimipisteet vikahavainnoista kymmenellä vähäisellä vauriolla tai kahdella merkittäväällä vauriolla kymmenen vuoden aikana.

Pisteiden muodostumista tulee tarkastella vielä tämän työn jälkeen tehtävässä jatkehityshankkeessa. Erityisesti on pohdittava voidaanko samaa pisteytyslogiikkaa käyttää kaikilla kolmella kohdistustarkkuudeksi määritellyllä laiteryhmillä.

Kuntoindeksiin vaikuttavaksi asiaksi valittiin myös toimintatiedot. Toimintatiedot on mahdollista saada PI-tietojärjestelmästä kappaleessa 6.2.3 kerrotun mukaisesti. Vaikuttavaksi toimintatiedoiksi valittiin keskijännitekytkinlaitoksien ja 110 kV:n kytkinlaitoksien osalta katkaisijoiden ja erottimien toimintakerrat. Erityisesti keskijännitekytkinlaitoksien vähäöljykatkaisijoiden vikavirrallisten katkaisukertojen huomioiminen olisi informaatioarvoltaan hyödyllistä.

Päämuuntajien osalta vaikuttaviksi asioiksi valittiin käämikytkimen toimintakerrat ja käämin lämpötilan kuvaaja ajan suhteen. Yhteenveto vaikuttavista asioista on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. Kuntoindeksiin vaikuttavat toimintatiedot.

Päämuuntajat	110 kV kytkinlaitokset	Keskijännitekytkinlaitokset
Käämikytkimen toimintakerrat	Katkaisijoiden toimintamäärät	Katkaisijoiden toimintamäärät
Käämin lämpötilan kuvaaja ajan suhteen	Erottimien toimintamäärät	Erottimien toimintamäärät

Toimintatietojen maksimiosuus kuntoindeksistä on 10 %. Toimintatietojen vaikutus tulee määrittellä laitteistojen toimittajien ilmoittamat suositukset huomioiden. Esimerkki vähäöljykatkaisijalle ilmoitetuista toimintamäärien ja huoltojen suhteesta on esitetty kuviossa 18.

Valokaaren kuluttamat osat kuten sammutuskammio, puikon kärki ja kiinteän koskettimen vaihto-osa tulee tarkistaa oheisen taulukon mukaisesti.

Katkaisuteho	Sallittu katkaisujen lukumäärä huoltoväliä kohden
0,6...1,0 S_N	3
...0,6 S_N	20
Nimellisvirta I_N	1000

S_N = Oikosulkuvirran nimelliskatkaisukyky

Kuvio 18. Toimittajan ilmoittavat OSAN vähäöljykatkaisijan huoltovälit [57].

Toimintatietojen laitekohtaisen vaikutuksen määrittely on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Määrittely tehdään tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa.

Lisäksi kuntoindeksiin vaikuttavaksi asiaksi valittiin kunnonvalvontatiedot. Kunnonvalvontatietojen maksimiosuus on 10 % kuntoindeksistä.

Jatkuvatoiminen kunnonvalvonta saadaan vaikuttamaan päämuuntajien ja 110 kV GIS-kytkinlaitoksien kuntoindeksiin. Pisteiden muodostumislogiikassa voidaan hyödyntää kappaleessa 7.2.3 määritettyjä hälytysrajoja.

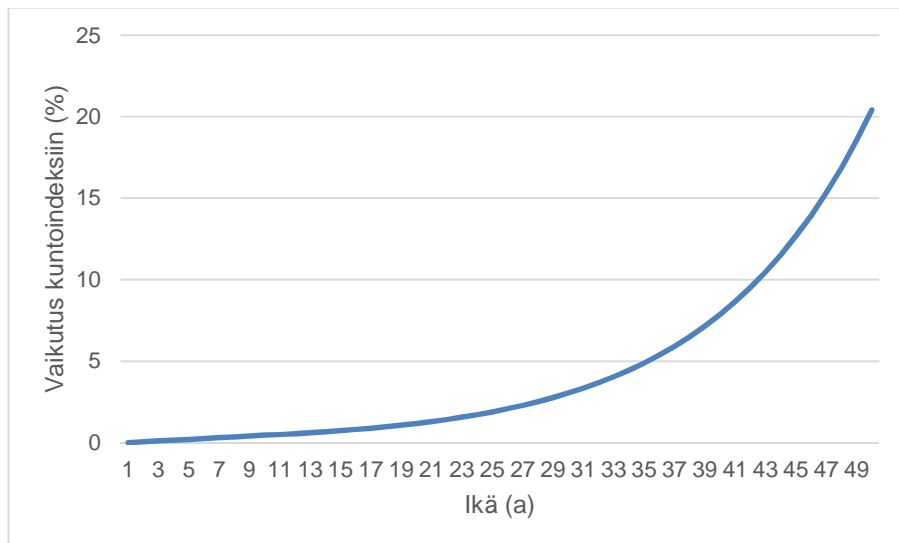
Jaksottaisen kunnonvalvonnan osalta määrittely on haastavampaa. Käytännössä hyödynnettävissä ovat ne jaksottaiset kunnonvalvontatiedot, joista on saatavilla mittaustietoa numeerisessa muodossa. Numeerista mittaustietoa tuottavat mittaukset on esitetty liitteessä 1. Muuta kuin numeerista mittaustietoa tuottavaa jaksottaista kunnonvalvontaa ei ole lähtökohtaisesti kannattavaa huomioida kuntoindeksin muodostamisessa.

Kunnonvalvontatietojen laitekohtaisen vaikutuksen määrittely on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Määrittely tehdään tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa.

Muiden tietojen vaikutus kuntoindeksiin

Muiden tietojen osalta kuntoindeksiin vaikuttavaksi asioiksi valittiin laitteen ikä, tuotetuen tilanne ja merkittävän huoltotoimenpiteen suorittaminen.

Laitteen ikä on oleellinen kuntoon vaikuttava tekijä. Iän maksimiosuus kuntoindeksistä on 20 %. Vaurioiden riski voimistuu elinkaaren loppua kohden, joten iän vaikutuksen tulee voimistua elinkaaren loppuosilla. Esimerkki mahdollisesta ikäpisteiden vaikutuksesta kuntoindeksiin on esitetty kuviossa 19.



Kuvio 19. Ikäpisteiden vaikutus kuntoindeksiin.

Ikäpisteiden määrittely tulee tehdä laitetyyppikohtaiset erot huomioiden. Esimerkiksi uudempien muuntajien oletettu elinkaari on vanhempia pidempi. Laiteryhmäkohtaiset keskimääräiset oletetut elinkaaret on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. Laiteryhmien oletettu keskimääräinen elinkaari [10].

Laiteryhmä	Oletettu elinkaari (a)
Päämuuntaja	49
110 kV kytkinlaitos	47
Keskijännitekytkinlaitos	49

Tarkempi ikäpisteiden laitetyyppikohtainen määrittely on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Määrittely tehdään tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa.

Kuntoindeksiin vaikuttavaksi tiedoksi valittiin myös tieto tuotetuen loppumisesta. Tuotetuen loppumisen maksimiosuus kuntoindeksistä on 10 %. Tieto tuotetuen loppumisesta saadaan toimittajilta. Tuotetuen loppuminen, tai sen läheneminen määritettiin vaikuttamaan kuntoindeksiin kolmessa eri portaassa. Portaat ja pistevaikutukset on esitetty taulukossa 24.

Taulukko 24. Tuotetuen päättymisen vaikutus kuntoindeksiin.

Tuotetuen tilanne	Vaikutus kuntoindeksiin (%)
Tuotetuen päättymistä ei ole näkyvissä	0
Tuotetuki on päättymässä	5
Tuotetuki on päättynyt	10

Osa valmistajista ilmoittaa tuotetuen loppumisen oma-aloitteisesti ja lähes taulukossa 24 kuvatuin termein. Niiltä osin kun valmistajat eivät tietoa ilmoita, tulee määrittely tehdä asiantuntija-arvion perusteella. Laitekohtaisen määrittelyn tekeminen on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Määrittely tehdään tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa.

Kuntoindeksiin vaikuttavaksi tekijäksi valittiin myös merkittävän huoltotoimenpiteen suorittaminen. Tällä tarkoitetaan perushuollon tai muun vastaavan huoltotoimenpiteen suorittamista. Perushuollon suorittaminen maksimiosuus on 10 % kuntoindeksistä. Vaikutus määriteltiin seuraavalla tavalla:

- Perushuolto on suoritettu, 0 %.
- Perushuoltoa ei ole suoritettu 10 %.

Yhteenveto kuntoindeksin muodostumisesta on esitetty liitteessä 5.

Kuntoindeksin tuomat vaatimukset tietojärjestelmällä

Kuntoindeksi tullaan muodostamaan erillisessä järjestelmässä. Ohjelmistolle tulee ainakin seuraavia vaatimuksia:

- Pystyttävä keräämään tietoa käytetystä kunnossapito-ohjelmistosta vikatilastoinnin takia.
- Pystyttävä keräämään tietoa Excel-taulukoista jaksottainen kunnonvalvonnan tietojen takia.
- Pystyttävä keräämään tietoa PI-järjestelmästä jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan tietojen ja toimintatietojen takia.
- Pystyttävä vastaanottamaan syötettyä tietoa laatupisteiden, iän, tuotetuen loppumisen ja merkittävän huoltotoimenpiteen suorittamisen takia.
- Pystyttävä tekemään kuntoindeksin vaatiman laskennan ja visualisoinnin.

Järjestelmän valinta on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Järjestelmävalinta tehdään tämän työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa. Valittavan järjestelmän tuomat rajoitukset saattavat vaikuttaa lopulliseen kuntoindeksin muodostamislogiikkaan.

7.3.2 Kuntoindeksin hyödyntämismahdollisuudet

Kuntoindeksiä on mahdollista hyödyntää riski-indeksin muodostamisessa. Riski-indeksin avulla on mahdollista arvioida riskejä yhtenäisesti ja muodostaa kokonaiskuva toimintaan vaikuttavista riskeistä. Riski-indeksi muodostuu riskin todennäköisyyden ja vaikutuksen tulona. Riski-indeksi muodostetaan riskimatriisin avulla. Riskimatriisin muodostuminen on esitetty kuviossa 20. [58]

		Probability							
		Vi - Virtually impossible	Po - Possible	Pt - Probable	Re - Regular	Ye - Yearly	Mj - Monthly	Pe - Permanent	
SCORE		1	2	4	8	16	32	64	
Potential Impact	Xs - Extremely Severe	64	128	256	512	1 024	2 048	4 096	C = Catastrophic
	Se - Severe	32	64	128	256	512	1 024	2 048	VH = Very High
	Co - Considerable	16	32	64	128	256	512	1 024	H = High
	Mo - Moderate	8	16	32	64	128	256	512	M = Medium
	Sm - Small	4	8	16	32	64	128	256	L = Low
	VS - Very Small	2	4	8	16	32	64	128	
	Ne - Negligible	1	2	4	8	16	32	64	N = Negligible

Kuvio 20. Riski-indeksin muodostuminen riskimatriisiin avulla [58].

Jos riski-indeksi kohdistetaan verkon komponenttiin, riskin vaikutus voidaan muodostaa esimerkiksi keskeytyksestä aiheutuneesta haitasta ja korjauskustannuksista. Riskin todennäköisyyden arvioinnissa voidaan puolestaan hyödyntää käsiteltävän komponentin kuntoindeksiä. Riski-indeksi saa suurimman arvon matriisin oikeassa yläkulmassa ja pienimmän vasemmassa alakulmassa.

Konkreettisesti riski-indeksiä olisi mahdollista hyödyntää elinkaari päätösten arvostamisessa. Kun tiedetään miten vertailtavat elinkaari päätökset vaikuttavat valittujen riskien riski-indeksiin, voidaan laskea kustannusvaikutus riski-indeksin muutokselle. Kustannusvaikutuksen avulla on mahdollista määrittellä elinkaari päätösten suhteellinen paremmuusjärjestys. Riski-indeksiä kehitetään erillisessä kehitysprojektissa.

Kuntoindeksin avulla on mahdollista helpottaa elinkaarisuunnitteluun liittyvää päätöksentekoa edellä kerrotun mukaisesti. Kuntoindeksin jatkokäyttö kuitenkin vaikeutuu, jos laitteiden kuntotiedon välille ei saada riittäviä eroja. Työn jälkeen tehtävässä jatkokehityshankkeessa on tärkeää simuloida kuntoindeksin muodostumista todellisilla sähköasemalaitteistoilla. Muodostumislogiikkaa tulee tarvittaessa korjata siten, että laitteiden välille muodostuu riittävästi eroja.

8 Yhteenveto

Tässä työssä käytiin läpi sähköasemien elinkaarisuunnittelun päätöksentekoprosesseja ja tiedonkeruun nykytilannetta. Tehtyjen havaintojen perusteella päätöksentekoprosesseihin liittyviin ongelmiin pyrittiin löytämään ratkaisut erityisesti tiedon hyödyntämisen näkökannalta. Työ tehtiin toimintatutkimuksena.

Työssä havaittiin joitakin RCM-prosessiin liittyviä haasteita. Kehitystyön myötä RCM-prosessin muodostamisessa käytettävää keskijännitekytkinlaitoksen Excel-taulukkoa yksinkertaistettiin. Myös muiden laitteistojen taulukot tullaan yksinkertaistamaan työssä tehdyn mallin mukaisesti. Lisäksi työssä sovittiin toimintatavan muutoksesta. Jatkossa uusien sähköasemalaitteistojen huollot, ja muut huoltoihin liittyvät muutokset johdetaan aina kevennetyn RCM-prosessin kautta. Jatkokehityshankkeessa tullaan päättämään projektin käynnistämisestä, jossa yksinkertaisemmat RCM-prosessit käydään läpi myös sisällöltään. Läpikäynnin myötä sähköasemien kunnonvalvonta saattaa myös muuttua.

Työssä havaittiin myös TCO-malliin käyttöön liittyviä haasteita. TCO:n liittyvänä kehityshankkeena tullaan yhtenäistämään Artturi-kunnossapito-ohjelmiston laitehierarkia, jotta kustannustiedot ja vikatilastointi saadaan vertailtavaan muotoon. Työssä luotiin malli laitehierarkian yhtenäistämiseksi. Varsinainen hierarkian yhtenäistäminen tehdään jatkokehityshankkeessa.

Työssä kehitettiin jatkuvatoimista kunnonvalvontaa. Työssä tehtiin kannattavuuslaskentaa käytössä olevalle jatkuvatoimiselle kunnonvalvonnalle. Kannattavuuslaskennassa todettiin, että jatkuvatoimista kunnonvalvontaa on haastavaa perustella pelkästään vikojen nopeamman havainnoinnin perusteella. Taloudellinen kannattavuus edellyttää saadun kunnonvalvontatiedon hyödyntämistä laitteen elinkaaren optimoinnissa. Työssä tehdyssä kehitystyössä myös määritettiin muuntajien kaasuanalysointoreille yhtenäinen hälytysrajojen muodostumislogiikka. Muodostumislogiikan johdosta käyttökeskukseen tulevien turhien hälytyksien määrä vähenee, koska tieto pienemmistä hälytysrajojen ylityksistä ohjataan kunnossapitohenkilöstölle. Vastaavaa määrittelyä tehtiin myös 110 kV GIS-kytkinlaitoksien hybriditiheysvahdeille. Määritetyt hälytysrajat otetaan käyttöön jatkokehityshankkeessa. Jatkokehityshankkeessa myös yhtenäistetään jaksottaisen kunnonvalvonnan järjestelmiä, jotta hälytystilanteiden yhtenäiset toimintaohjeet voidaan ottaa käyttöön.

Työssä todettiin, että kuntotietoa on mahdollista hyödyntää kuntoindeksin muodostamisessa. Kuntoindeksiä on mahdollista hyödyntää elinkaareen liittyvässä päätöksenteossa. Työssä määritettiin muodostumislogiikka kuntoindeksille. Kuntoindeksi päätettiin muodostaa pohjatiedoista, laitteelta kerättävistä kuntotiedoista ja muista laitteen kunnosta kertovista tiedoista. Kuntoindeksin lopullinen määrittely tullaan tekemään jatkokehityshankkeessa.

Työssä havaittiin myös vikatilastointiin liittyviä puutteita. Työssä esitettiin erillisen vikatilastointitietokannan luomista, jotta kaikki viat saadaan tilastoitumaan. Vikatilastoinnille luotiin myös tietomalli. Toimivaa vikatilastointia on mahdollista hyödyntää RCM-prosesseissa, TCO-mallin käytössä ja kuntoindeksin muodostamisessa.

Työn rajauksen ulkopuolelta merkittävänä tulevaisuuden kehitystarpeena on yhtenäistää yksiköiden toimintatavoissa olevia eroja. Yhtenäistäminen edellyttää toimintokohtaisesti yhteistä tietojärjestelmää, tai tietomallia ja rajapintaa kolmanteen järjestelmään.

Lähteet

- 1 Salih, O. & Duffuaa, A & Raouf s. 2015. Planning and Control of Maintenance Systems, Modelling and Analysis, Second Edition. Springer International Publishing.
- 2 Bride, Alan. 2016. Reliability-Centered Maintenance (RCM). Verkkodokumentti. National Institute of Building Sciences. https://www.wbdg.org/resources/reliability-centered-maintenance-rcm?r=env_sustainability. Luettu 2.12.2016.
- 3 Schmidt, Marty. 2016. Total Cost of Ownership TCO Explained. Verkkodokumentti. Solution Matrix Ltd. <https://www.business-case-analysis.com/total-cost-of-ownership.html>. Luettu 2.12.2016.
- 4 Roda, Irene & Garetti, Marco. 2015. Application of a Performance-driven Total Cost of Ownership (TCO) Evaluation Model for Physical Asset Management. Springer International Publishing.
- 5 Tinga, T. 2013. Principles of Loads and Failure Mechanisms, Applications in Maintenance, Reliability and Design. Springer-Verlag.
- 6 Mikkonen, Henry. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. KP-media Oy.
- 7 Helen Sähköverkko Oy:n yritysesitys. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 8 Sähkö- ja maakaasu-yritysten eriytetyt tilinpäätöstiedot vuodelta 2014. 2016. Verkkodokumentti. Energiavirasto . https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Tilinp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset_2014.xlsx/95a906f9-ff8c-4712-85ae-f7662639a3c2. Luettu 29.7.2016.
- 9 Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2014. 2016. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/jvh+tekniset+tunnusluvut+2014.xlsx/40320fba-025f-4c87-8ad5-1f3641f72dd2>. Luettu 29.7.2016.
- 10 Elinkaarisuunnitelma. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 11 Anita Saaranen-Kauppinen & Anna Puusniekka. 2006. KvaliMOTV-Menetelmäopetuksen tietovaranto, 5.4 toimintatutkimus. Verkkodokumentti. http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L5_4.html. Luettu 15.9.2016.
- 12 Anita Saaranen-Kauppinen & Anna Puusniekka. 2006. KvaliMOTV-Menetelmäopetuksen tietovaranto, 1.2.2 Laadullisen tutkimuksen elementit. Verkkodokumentti. http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L1_2_2.html. Luettu 15.9.2016.
- 13 J. Edward Russo & Paul J.H. Schoemaker. 1991. Decision traps: Ten barriers to brilliant decision-making and how to overcome them. John Wiley & Sons, Ltd.
- 14 Pasi Hellsten & Jari Jussila. 2015. Tutustuminen data-analytiikan ja Big Datan maailmaan. Verkkodokumentti. <http://www.slideshare.net/jjussila/tutustuminen-dataanalytiikan-ja-big-datan-maailmaan>. Luettu 17.9.2016.

- 15 Martikainen, Jari. 2016. Tehokkaat ja älykkäät prosessit, päätöksentekopyramidi. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 16 Patjas, Oskari. 2003. RCM-menetelmän soveltaminen sähköverkon kunnossapito-ohjelmaan. Insinööriyö.
- 17 Hyvärinen, Markku. 2015. Elinkaarikustannusmallin soveltaminen. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 18 Siirto, Osmo. 2015. Laskentamallin periaatteet ja esimerkkejä. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 19 Etto, Jaakko. 1998. Kunnossapitokoulu. Kunnossapito-lehti 7/1998 s.3-15.
- 20 Obtaining Value from On-Line Substation, WG B3.12, 462. 2011. International Council on Large Electric Systems.
- 21 Advanced asset health management for effective maintenance and asset replacement planning, Paper 0023. 2014. International Council on Large Electric Systems.
- 22 EHY-16 ohjeen liitetaulukko. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 23 17. 110 kV sähköaseman eristimien ultraäänitarkastus, Polartest Oy. 2003. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 24 The Effect of Moisture on the Breakdown Voltage of Transformer Oil. 2013. Verkkodokumentti. Vaisala whitepaper. <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/White%20Papers/CEN-TIA-power-whitepaper-Moisture-and-Breakdown-Voltage-B211282EN-A-LOW.pdf>. Luettu 10.8.2016.
- 25 Muuntajien öljyanalysiraportti, Rambol. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 26 Muuntajan kuntotarkastusmittausraportti, Fortum. 2010. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 27 Muuntajan kuntotarkastusmittausraportti, Fortum. 2013. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 28 Muuntajan kuntotarkastusmittausraportti, Fortum. 2003. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 29 Battery testing guide.2004. Megger. Verkkodokumentti. <http://www.surge-tek.co.za/items/btg100.pdf>. Luettu 10.8.2016.
- 30 Teknistä tietoa akuista. 2009. Verkkodokumentti. Exide Technologies Oy. http://exide.fi/wp-content/uploads/sites/15/2014/11/Exide_fi_Teknisk_info.pdf. Luettu 12.8.2016.
- 31 MainIoT Software Oy, tuotteet. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.mai-niot.fi/tuotteet/tuotteillamme-ohjataan-huolto-ja-palvelutoimintoja>. Luettu 20.8.2016.

- 32 Artturi yleistiedot. 2006. Artekus.
- 33 Hydrocal 1005 tuote-esite. 2015. MTE Meter Test Equipment AG. Verkkodokumentti. http://www.mte.ch/data/files/HYDROCAL_1005_english.pdf. Luettu 5.8.2010.
- 34 Hydran M2 tuote-esite. 2015. General Electric Company. Verkkodokumentti. http://www.gegridsolutions.com/products/brochures/MD/Hydran_M2_GEA12934.pdf. Luettu 5.8.2010.
- 35 TS D 0301 Sähköaseman 110 / 20 kV päämuuntajat, spesifikaatio. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 36 Päämuuntajien merkittävät elinkaariparannustoimenpiteet 2011-2017, esisuunnitelma. 2013. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 37 Duval, Michel. 2016. Identifying and Analyzing Quick Developing Faults with DGA, luento.
- 38 MSM product brochure. 2013. ABB.
- 39 System Architecture, Gas Monitoring. 2013. ABB.
- 40 List of PI System Products, Osisoft. 2016. Verkkodokumentti. Osisoft. http://www.osisoft.com/uploadedFiles/Pages/PI_System/PI_Capabilities/Product_List/Pi%20System%20Brochure.pdf. Luettu 18.8.2016.
- 41 Kunnonvalvontalaitteiden hälytysrajat, kokouspöytäkirja.2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 42 RCM taulukon kehitys ja kunnossapito-ohjelmiston hierarkia, kokouspöytäkirja. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu
- 43 Keskijännitekytkinlaitoksen RCM-tilukko. 2012. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 44 Kunnonvalvontalaitteet, muistio. 2013. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 45 Päämuuntajien kaasuanalyysit, taulukko. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 46 IEC 60422 Mineral insulating oils in electrical equipment, edition 4.0. 2013. Verkkodokumentti. IEC. <http://atecco.ir/fa/wp-content/uploads/2016/04/IEC-60422-2013.pdf>. Luettu 1.9.2016.
- 47 IEC 599 Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis. 2013. IEC.
- 48 DGA in Non-Mineral Oils and Load Tap Changers and Improved DGA Diagnosis Criteria, WG D1.32, 443. 2010. International Council on Large Electric Systems.
- 49 110 kV SF₆ GIS Gas Compartment, kaasutilakaavio.2015. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.

- 50 PI-tietojärjestelmä, SF₆ kaasupitoisuudet. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 51 AKKA akustojen kunnonvalvontajärjestelmän tuote-esite. 2014. ABB Oy. Verkkodokumentti. <https://library.e.abb.com/public/800835ff838aea5348257de10034d80e/Akustojen%20kunnonvalvontajarjestelma%20AKKA%20low%20res.pdf>. Luettu 5.10.2016.
- 52 Profile P3 Circuit Breaker Analyser. 2016. Verkkodokumentti. Camlin Power. <http://www.camlinpower.com/profile.php>. Luettu 11.11.2016.
- 53 On-line PD Monitoring Makes Good Business Sense. 2015. Verkkodokumentti. Omicron. https://www.omicronenergy.com/fileadmin/user_upload/pdf/papers/Article-Online-PD-Monitoring-Makes-Good-Business-Sense-ENU.pdf. Luettu 11.11.2016.
- 54 Itsenäinen Pry-Cam Grids kertoo energiaverkon kunnon. 2016. Verkkodokumentti. Prysmian Group. http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/download/Prysmian_Pry-Cam_Grids_A5.pdf. Luettu 11.11.2016.
- 55 Omaisuudenhallinnan prosessikuvaus ja kehittäminen. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 56 Obtaining Value from On-Line Substation Failure Frequencies for High Voltage Circuit Breakers, Disconnectors, Earthing Switches, Instrument Transformers and Gas Insulated Switchgear, Study Committee A3, High Voltage Equipment. 2012. International Council on Large Electric Systems.
- 57 Katkaisijan manuaali. 1976. Strömberg.
- 58 Riskienhallinnan toimintamalli 2017. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 59 Yksikköhintataulukko.2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 60 Tarjous tehomuuntajien kaasuanalysointia. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 61 Päämuuntajien tarjousvertailu. 2016. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 62 Sähköasemien lähtökohtaiset KAH-arvot. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 63 KJ-keskeytysraportti, muuntaja erosi verkosta. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.
- 64 Projektidokumentti. 2014. Helen Sähköverkko Oy. Sisäinen dokumentti, ei julkaistu.

Liite 1. Jaksottainen kunnonvalvonta HSV:n sähköasemilla

Kunnonvalvontatoimenpide	Toimenpiteen tyyppi HSV:lla *)	Tuottaa numeerista mittaustietoa	1. vuosi	2. vuosi	3. vuosi	4. vuosi	5. vuosi	6. vuosi	7. vuosi	8. vuosi	9. vuosi	10. vuosi	11. vuosi	12. vuosi	13. vuosi
PÄÄMUUNTAJA															
Kuntotarkastus	1		XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Kaasuanalyysi	3	X	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Huolto	2		X		X		X		X		X		X		X
Lämpökuvaus	4		X		X		X		X		X		X		X
Öljyn läpilyöntijännite	3	X	X						X				X		X
Öljyanalyysi laboratoriossa	3	X	X										X		
Öljyeristeisen käämikytimen huolto	2		X						X						X
Tyhjөрisteisen käämikytimen huolto	2		X												X
110 kV AIS KYTKINLAITOKSET															
Kuntotarkastus	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Erothinhuolto	2		X				X				X				X
Ultraäänikuvaus	3		X			X		X			X				X
Lämpökuvaus	3		X		X		X		X		X		X		X
Kennohuolto	2		X								X				
Katkaisijan viritysmoottorin toiminta-aika	4	X	X								X				
Katkaisijan öljyn vesipitoisuus	4	X	X								X				
Katkaisijan öljyn läpilyöntijännite	4	X	X								X				
Katkaisijan toiminta-aika	4	X	X								X				
Katkaisijan pääkoskettimien staattinen resistanssi	4	X	X								X				
Katkaisijan muiden virtateiden staattinen resistanssi	4	X	X								X				
Katkaisijan valokaari- ja pääkoskettimen dynaaminen resistanssi	4		X								X				
Katkaisijan pääkoskettimien staattinen resistanssi	4	X	X								X				
Katkaisijan muiden virtateiden staattinen resistanssi	4	X	X								X				
110 kV GIS KYTKINLAITOKSET															
Kuntotarkastus	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Huolto	2		X				X				X				X
Kaasutilojen kaasunpaine ja kastepiste	4	X	X				X				X				X
Katkaisijan ohjaimen viritysmoottorin käyntiaika ja toimintavirta	4	X	X				X				X				X
Katkaisijan toiminta-aika	4	X	X				X				X				X
Valokaari- ja pääkoskettimen dynaaminen resistanssi	4		X								X				
Pääkoskettimen staattinen ylimenovastus	4	X	X								X				
Virtateiden staattinen resistanssi	4	X	X								X				
Kojeiston lämpökuvaus	3		X		X		X		X		X		X		X
KESKIJÄNNITEKYTKINLAITOKSET															
Kuntotarkastus	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Huolto	2		X					X					X		
Katkaisijan avauskelojen vetojännite	4	X	X					X					X		
Kojeiston kaasutilojen SF6-kaasun tiheys	4	X	X					X					X		
Kojeiston kaasutilojen SF6-kaasun kosteus	4	X	X					X					X		
Kojeiston kaasutilojen SF6-kaasun kaasunpitoisuus	4	X	X					X					X		
Tyhjөkatkaisijan jännitelujuus	4	X	X					X					X		
Katkaisijan koskettimien staattinen resisitanssi	4	X	X					X					X		
Katkaisijan vaiheiden saman-aikaisuus ja toiminta-aika	4	X	X					X					X		
Katkaisijan auki- ja kiinniohjauskelojen virta	4	X	X					X					X		
Kojeiston lämpökuvaus	3		X		X		X		X		X		X		X
APUSÄHKÖJÄRJESTELMÄT															
Omakäyttömuuntajan huolto	2		X					X					X		
Omakäyttömuuntajan öljyn kaasuanalyysi	4	X	X					X					X		
Omakäyttömuuntajan öljyn läpilyöntijännite	4	X	X					X					X		
Tasa- ja vaihtosuuntajien huolto	1		X		X		X		X		X		X		X
Akkuhuolto	2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Akkujen kenno- ja napajännite	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Akkujen elektrolyyttien tiheys	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Akkujen kapasiteettikoe	4		X		X		X		X		X		X		X
Omakäyttömuuntajien ja AC keskusien lämpökuvaus	3		X				X				X				X

*) 1= Käytön aikana, aistinvarainen 2=Keskeytyksen aikana, aistin varainen 3=Käytön aikana, mittaava 4=Keskeytyksen aikana, mittaava

Liite 2. RCM-taulukon yksinkertaistaminen 1 (2)

Keskijännitekytkinlaitteisto

Helsingin Energia Verkkoyhtiön			Luottoturvakeskeisen kunnossapidon pääliikenteelomake		E = ei K = KOKO															
Järjestelmä: 1020 kv Osajärjestelmä: Kuori			Tasot:		E = ei K = KOKO															
Tarve	Tuomion vikakunnon	Vikakuntoluokka	Voin vaikutus	Vien seuraukset	Ennenlaiset toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	Toimintatavat	
				Pytytyksiä tai muita huomioita	Kunnossapito-työt	Tuottoisuus	Ympäristö	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	Käyt.	
					T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	
Kuori	Suojaa välttämättä uhkailta vaurioilta	Ei pyydy suojaamaan	Liian ohut kumien rakenne Ulkoinen osasto, rakenteen osat Välittömästi aiheuttaa kumien vaurioita.	Kuori vaurioituu ja kaasu pääsee virtaamaan ulos, jolloin virtaajien voi vaurioitua. Kuori vaurioituu ja kaasu pääsee virtaamaan ulos, jolloin virtaajien voi vaurioitua.	E	E	K	E	E	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
Määrätyt	Suojaa välttämättä aiheuttamista häiriötilanteista	Ei pyydy suojaamaan	Liian ohut kumien rakenne Pääsuojakäytävien välillä	Välittömästi tai välittömästi aiheuttaa häiriötilanteita	E	E	K	E	E	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
Tehtävät	Pää kaasu kytkinlaitteiston ohjauksella toimintavarmuuden riskien työntekijä	Kuoriin tiiviste vaihdetaan	Tiiviste päältä kosketusta sisään. Tiiviste päältä SFC:stä ulos.	Kotokuva huonontaa kaasun ennaltoimintaa, mikä voi pahentaa tapauksessa pitkäaikaista lähtymistä	E	E	E	K	K	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
		Reikiä kuorissa	Vaurio SFC:stä.	Kaasun lähtymisen leikkauksen ennaltoimintaa, mikä voi pahentaa tapauksessa pitkäaikaista lähtymistä	K	E	E	K	K	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
		Lapsen tiiviste vaihdetaan	Tiiviste päältä kosketusta sisään. Tiiviste päältä SFC:stä ulos.	Kotokuva huonontaa kaasun ennaltoimintaa, mikä voi pahentaa tapauksessa pitkäaikaista lähtymistä	E	E	E	K	K	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
		Reikiä tapauksessa	Vaurio SFC:stä.	Kaasun lähtymisen leikkauksen ennaltoimintaa, mikä voi pahentaa tapauksessa pitkäaikaista lähtymistä	K	E	E	K	K	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
määrätyt	Suojaa henkilöitä kosketusvaaroilta	Syntyä vaarallisia kosketusvaaroita	Maadoituskyky ei Liian lyhyt	Kajonien suojausohjelma on heikentynyt	E	E	K	E	E	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
tehtävät	Opettaa käytön- ja huoltohenkilöstöä oikealla toimintatavalla merkittävien arvoilla	Merkittävien arvojen opetus on ajantasalla	Merkittävät puutteet Merkittävät vauriot Merkittävät puutteet	Merkittävää väkivallan toimintatavassa Merkittävää väkivallan toimintatavassa Merkittävää väkivallan toimintatavassa	K/E	E	K	E	K/E	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
Tehtävät	Osasto kaasuilla	Ei pyydy osastamaan kaasua	Reikiä kosketuksen välillä sisä- ja ulkoisissa osastoissa	Tilajärjestelmä vaurioituu kaasuilla	E	E	E	E	E	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E
Paruutukset	Pää kaasu palkoillaan	Kajonit ei pyydy palkoillaan	Paruutus päättyi	Vaurioituminen vaurioituu kaasuilla	K	E	E	E	E	E	E	E	E	K	E	K	E	E	E	E

Liite 2. RCM-taulukon yksinkertaistaminen 2 (2)

Kaasuieristeinen keskijännitekytkinlaitteisto

Päivitys: 11.10.2016

Tekijät: Kuosmanen, Seppänen, Ruotsalainen

Laitteet:	Toiminto:	Toiminnan vikaantuminen:	Vikaantumistapa:	Vian vaikutus:	Valittu kunnosapitoimenpide:				Ensisijainen toimenpide	Toissijainen toimenpide	Huolto-ohje	Toimenpiteen suoritusväli:	arviotuu MTBF (a) HSV:n laitekannassa	Arviotuu MTRR (korjauksia/a)	HUOM
					CM	CBM	OM	TBM							
Kuori	Kojeiston kuori/koteloointi:	Syntyvä vaarallisia kosketusjännitteitä	Maadoituskyky tai sen liitos irti/työsy	Kojeiston suojausmaadoitus on heikentynyt				X							
Tiivisteet	Suojaaja henkilöitä kosketusjännitteeltä	Ulkoinen esine, rakenteen osa	Ulkoinen esine, rakenteen osa	Kuori vuotuu ja kaasu pääsee virtaamaan ulos, jolloin virtapiiri voi vuotaa.				X							
Lajit	Suojaaja virtapiiriä ulkoisilta vaurioilta	Ei pysty suojaamaan						X							
Paineenpurkausventtiili	Pitäää kaasu kytkinlaitteiston sisäpuolella Osasto kaasutalon	Kaasu vuotaa ulos tai kosteutta pääsee sisään. Ei pysty osastoimaan kaasua	Tiiviste, lämpö, rms. vuotoa	Rak. kaasutalteen välissä seinässä tai venttiili vuotaa				X	X	T1.2 Tarkastetaan huollossa kaasuntiheys kojeistoista, joissa on nähty T1.4 Korjataan kennon tai venttiili T1.4 Ei säännöllistä kunnosapitoa.	EHY-044	On-line	100 100 1000	1 1 1	2-3 pv 1vk > 1vk >>
SF6-kaasu:	Eristää virtatiet kuoresta	Ei pysty eristämään	SF6-kaasunpitoisuus laskee väärän huolto-ohjeeseen seurauksena	Eristyskyky laskee, jonka seurauksena mahdollisuus läpilyöntiin lisääntyy				X							
SF6-kaasu	Suojaa kaasun vuotamista välttämiseksi	Kaasu vuotaa ulos tai kosteutta pääsee sisään. Ei pysty osastoimaan kaasua	Tiiviste, lämpö, rms. vuotoa	Rak. kaasutalteen välissä seinässä tai venttiili vuotaa				X	X	T1.2 Tarkastetaan huollossa kaasunpitoisuus, josta on nähty T1.4 Korjataan kennon tai venttiili T1.4 Ei säännöllistä kunnosapitoa.	EHY-044	On-line	100 100 1000	1 1 1	2-3 pv 1vk > 1vk >>
Suodattimet	Suodattaa väkikäsen katkaisijassa tai erotimissa	Ei pysty suodattamaan väkikäsen	Kaasu siirtyy kaasutalteen välillä	Ma- / oksosuihu				X							
Sulkuventtiilit	Sulkee kaasutalon	Ei pysty mittaamaan tai suojittamaan kaasun käsitelyä	Työtyöntömitta	Sulkuventtiili rikki				X							
Työtyöntömitta	Tomii kaasun mittausta, täyttö- ja poistotietä	Ei pysty mittaamaan tai suojittamaan kaasun käsitelyä	Työtyöntömitta	SF6 kaasun tarkka				X							
Merkinnät	Merkinnät: Osaava käyttö- ja huoltohenkilökunta on osastoon toimenpiteisiin merkintöiden avulla	Merkintöjen antama opastus on riittävä	Merkintä puuttuu	Mahdollisuus väärään toimenpiteeseen				X							
Opastukset	Merkinnät puuttuvat	Merkintä virheellinen	Merkintä puuttuu	Mahdollisuus väärään toimenpiteeseen				X							
Asennossuunnitelmat	Toisiojärjestelmät: Osoittaa kytkinlaitteiden asennotiedot	Ei pysty osoittamaan	Mekanikka tai sähköinen piiri rikki	Mahdollisuus väärään toimenpiteeseen				X							
Käyttöohjeet	Sirtää ohjeistietoja	Ei pysty ohjaamaan	Mekanikka tai sähköinen piiri rikki	Estää kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Sirtää mittaus- ja testitietoja	Ei pysty sirtämään tietoja	Mekanikka tai sähköinen piiri rikki	Estää ohjauksen				X							
Käyttösuunnitelmat	Sirtää laukaisutietoja	Ei pysty sirtämään tietoja	Mekanikka tai sähköinen piiri rikki	Suojauksen viheläisy				X							
Käyttösuunnitelmat	Sirtää asennotietoja	Ei pysty sirtämään tietoja	Mekanikka tai sähköinen piiri rikki	Estää kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Pitäää lämpötilan ja kosteuden sopivana	Lämpötila tai kosteus nousee	Termostaatti tai vastuselementti rikki	Estää kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät: Mittaa kaasun tiheyttä Osoittaa jännitettä Suoittaa virtaa	Ei pysty mittaamaan kaasun tiheyttä Osoittaa jännitettä Ei pysty osastoimaan kaasua	Tiheyttämittari vuotanut Mittari vuotanut	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
Käyttösuunnitelmat	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Mittausjärjestelmät	Antaa väärää informaatiota, estää mahdollisesti kytkemisen				X							
<															

Liite 3. Jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kannattavuuslaskennat 1 (2)

Vertailulaskenta jaksottaisten kaasuanalysien ja jatkuvatoimisen kaasuanalysaattorin kannattavuudesta

JAKSOTTAINEN KAASUANALYYSI YHDELLE MUUNTAJALLE

Korko (%) = 5 Elinkaari 7
 Annuiteettitekijä $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0,173$
 0,173 X 0 = 0,0 € Hinta tarjouksessa (€): 0

VUOSIKULUT (€): xxx
 (muodostuvat 3 x vuodessa tehtävien jaksottaisten kaasuanalysien kustannuksista)

vuoden aikana tulee kuluja (5%:n korotukset vuosittain):

1	xxx
2	xxx
3	xxx
4	xxx
5	xxx
6	xxx
7	xxx
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	

tot xxx ave xxx

Kokonaiskustannukset vuoden ajalta:
 0,00 € X 7 = 0 € INVESTOINTIKULUT
 xxx € X 7 = xxx € VUOSIKULUT
 0,0 YHTEENSÄ

HSV:lla 50 muuntajaa, kokonaiskustannukset 7 vuoden ajalta olisi:
 xxx € X 50 xxx €

JATKUVATOIMINEN KAASUANALYSAATTORI YHDELLE MUUNTAJALLE

Korko (%) = 5 Elinkaari 7
 Annuiteettitekijä $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0,173$
 0,173 X xxx = xxx € Investoinnin hinta (€): xxx
 (Muodostuu kaasuanalysaattorin hankintakustannuksista)

VUOSIKULUT (€): 0

vuoden aikana tulee kuluja (5%:n korotukset vuosittain):

1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0

tot 0 ave 0,0

Kokonaiskustannukset vuoden ajalta:
 xxx € X 7 = xxx € INVESTOINTIKULUT
 0,0 € X 7 = 0 € VUOSIKULUT
 xxx YHTEENSÄ

HSV:lla 50 muuntajaa, kokonaiskustannukset 7 vuoden ajalta olisi:
 xxx € X 50 xxx €

Huomioita:
 - Jatkuvatoiminen kaasuanalysaattori on halvempi kunnonvalvontakeino laskennan mukaan.

Kannattavuuslaskentaa jatkuvatoimisista kaasuanalysaattoreista

Huomioita:
 - Molempien kunnonvalvontapojen havainnointikyky oletetaan yhtä hyväksi.
 - Jatkuvatoiminen kaasuanalysaattorin elinkaareksi oletetaan 7 vuotta ilman korjauskustannuksia.
 - Jaksottaaisessa kaasuanalysissa käytetty vuoden 2016 TePan Kelman-analysin hintaa (xxx €) [59] ja HSV:n mittaussykliä (3 krt/vuosi) [10].
 - Jatkuvatoiminen kaasuanalysaattorin hintana on käytetty vuonna 2014 saatua Hydrocal 1001 tarjousta (xxx €) [60], korotettuna 10 % hinnan nousulla. Lisäksi huomioitu xxx € asennuskuluja.
 - Laskennassa ei huomioida regulaation vaikutusta.

Muuntajavaurion nopeasta havaitsemisesta säästöjä syntyy:

- Pienemmistä korjauskustannuksista
- Keskeytyksen välttämistä
- Muista kustannuksista

Arvioidut kustannussäästöt:

Pienemmistä korjauskustannuksista:

- Uuden muuntajan hinta asennuksineen ja jäähdytysjärjestelmineen xxx € [61].
- Arvio korjauskustannuksista isoilla vaurioilla ilman jatkuvatoimista kaasuanalysaattoria xxx € (suurin teoreettinen korjaushinta). Hintavaikutus oletettuna vikaantumisajankohtana xxx € (5 % hintakorotus vuodessa, korjaus 7 vuoden päästä).
- Arvioitu korjaushinta vaurioiden jäädessä pieneksi jatkuvatoimisen kaasuanalysaattorin avulla xxx € (pienin teoreettinen korjaushinta). Hintavaikutus oletettuna vikaantumisajankohtana xxx €.
- > Säästö xxx €

Keskeytyksen välttämistä:

- KAH keskimäärin xxx €/min/muuntaja [62].
- Arvio keskeytyksen kestosta muuntajavauriossa 7 min [63] (differentiaalisoija erottaa muuntajan, kuormat siirretään toiselle muuntajalle), 7 min*xxx €/min = xxx €. Hintavaikutus oletettanu vikaantumisajankohtana xxx €.
- > Säästö xxx €

Muista kustannuksista:

- Arvio muiden kustannuksien vaikutuksesta huonoimmassa tilanteessa xxx € (vaikutus maineelle yms.). Hintavaikutus oletettanu vikaantumisajankohtana xxx €.
- > Säästö xxx €

Yhteensä säästöä max. xxx €.

Kokonaiskustannukset säästön saavuttamiseksi xxx €.

Erutus xxx €

Liite 3. Jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan kannattavuuslaskennat 2 (2)

Kannattavuuslaskentaa hybriditiheysvahtien tuomasta lisaarvosta perinteisiin nähden

PERINTEINEN TIHEYSVAHTI KAIKILLA 110 GIS KYTKINLAITOKSILLA

Korko (%) =	5	Elinkaari	25	
Annuiteettitekijä	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$		0,071	
	0,071	X	0	= 0,0 € Hinta tarjouksessa (€) 0
VUOSIKULUT (€):	xxx			(muodostuvat lasketuista vuosikuluista, jotka syntyvät, jos hybriditiheysvahteja ei ole käytössä)
25 vuoden aikana tulee kuluja (5%:n korotukset vuosittain):				
1	xxx	Laskennallinen säästö nykyarvossa		
2	xxx			
3	xxx			
4	xxx			
5	xxx			
6	xxx			
7	xxx			
8	xxx			
9	xxx			
10	xxx			
11	xxx			
12	xxx			
13	xxx			
14	xxx			
15	xxx			
16	xxx			
17	xxx			
18	xxx			
19	xxx			
20	xxx			
21	xxx			
22	xxx			
23	xxx			
24	xxx			
25	xxx			
	tot	xxx	ave	xxx
Kokonaiskustannukset	25	vuoden ajalta:		
0,00 €	X	25	=	0 €
xxx €	X	25	=	xxx €
				xxx
				INVESTOINTIKULUT
				VUOSIKULUT
				YHTEENSÄ

HYBRIDITIHEYSVAHTI KAIKILLA 110 GIS KYTKINLAITOKSILLA

Korko (%) =	5	Elinkaari	25	
Annuiteettitekijä	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$		0,071	
	0,071	X	xxx	= xxx € Investoinnin hinta (€): xxx
VUOSIKULUT (€):	0			(Muodostuu hybriditiheysvahtien hankintakustannuksista)
25 vuoden aikana tulee kuluja (5%:n korotukset vuosittain):				
1	0			
2	0			
3	0			
4	0			
5	0			
6	0			
7	0			
8	0			
9	0			
10	0			
11	0			
12	0			
13	0			
14	0			
15	0			
16	0			
17	0			
18	0			
19	0			
20	0			
21	0			
22	0			
23	0			
24	0			
25	0			
	tot	0	ave	0,0
Kokonaiskustannukset	25	vuoden ajalta:		
xxx €	X	25	=	xxx €
0,0 €	X	25	=	0 €
				xxx
				INVESTOINTIKULUT
				VUOSIKULUT
				YHTEENSÄ

Huomioita:

- Hybriditiheysvahtien laskennalliset investointikulut ovat saatuja säästöjä suuremmat.

Laskenta hybriditiheysvahtien tuomasta lisaarvosta ja hankintakustannuksista

Hybriditiheysvahtien arvioidut hankintakustannukset muodostuvat seuraavalla tavalla:

- 110 KV:n GIS kytkinlaitoksissa on ollut HSV:lla 7 kpl SF6-vuotoja 10 vuodessa (arvio)
- Hybriditiheysvahtien hankintakustannukset olivat xxx € [64].
- > Hankintakustannukset kaikille 110 GIS kytkinlaitoksille: 23*xxx € = xxx €.
- Hybriditiheysvahtien elinkaareksi on oletettu 25 vuotta ilman ylimääräisiä korjauskustannuksia.
- Laskennassa ei huomioida regulaation vaikutusta.

Hybriditiheysvahtien avulla arvioidaan syntyvän seuraavia säästöjä:

- Kaasuvedon sattuessa vuoden kehittymistä on mahdollista tarkkailla toimistolta. Tämän tuo kustannussäästöjä, koska paikanpäälle ei tarvitse mennä.
- Kaasuvedon sattuessa vuotonopeus on mahdollista määritellä historiatietojen perusteella. Tieto helpottaa korjausaikataulun suunnittelua.
- Hitaista kaasuvuodoista tulee ilmoitus suoraan sähkösemin kunnossapidolle, jolloin käyttökeskuksen ei tarvitse lähettää kohteeseen päivystäjää ja vika voidaan korjata virka-aikana.

Laskennalliset kustannussäästöt:

Kaasuvedon sattuessa vuoden kehittymistä on mahdollista tarkkailla toimistolta. Tämän tuo kustannussäästöjä, koska paikanpäälle ei tarvitse mennä.

- Korjausta odotetellaan arviolta 3 kk.
- Paikalla käytävä arviolta 2x viikko, kunnes korjaus tehty.
- Paikallakäynnistä laskutetaan 2 h / kerta, tuntiveloitus xxx € [59].
- > Yhteensä 48 h tuntiveloitusta/vuoto
- > Säästöä nykyarvossa xxx € /vuoto
- > Säästöä nykyarvossa xxx € / 10 vuotta

Kaasuvedon sattuessa vuotonopeus on mahdollista määritellä historiatietojen perusteella. Tieto helpottaa korjausaikataulun suunnittelua.

- Arvioitu säästö xxx € /vuoto.
- > Säästöä nykyarvossa xxx € /vuoto
- > Säästöä nykyarvossa xxx € / 10 vuotta

Kaasuvoito on mahdollista havaita nopeammin.

- Ei merkittäviä taloudellisia vaikutuksia.

Hitaista kaasuvuodoista tulee ilmoitus suoraan sähkösemin kunnossapidolle, jolloin käyttökeskuksen ei tarvitse lähettää kohteeseen päivystäjää ja vika voidaan korjata virka-aikana.

- Vuodoista laskennallisesti 2/3 tulee päivystysaikana -> 4,6 vuotoa päivystysaikana/10 vuotta.
- Paikalla käynti arviolta 4 h päivystyskäynti, päivystystunnin ylimääräinen hinta keskimääräisellä ylityntiveloituksella xxx € [59].
- > Säästöä nykyarvossa xxx € /vuoto
- > Säästöä nykyarvossa xxx € /10 vuotta

Yhteensä hybriditiheysvahtit tuovat säästöä nykyarvossa 10 vuodessa (xxx + xxx + xxx)€ = xxx €

Yhteensä hybriditiheysvahtit tuovat säästöä nykyarvossa vuodessa (xxx €/10)€ = xxx €

Liite 4. Hälytysrajojen muodostuminen kaasuanalysaattorille

Hälytysrajojen muodostuminen kaasuanalysaattorille

Hälytys	Arvonylityshälytyksen muodostaminen	Trendihälytyksen muodostuminen 24 h	Trendihälytyksen muodostuminen 30 d	Trendihälytys 10 päivää	Trendihälytys 3 kk
Kosketinhälytys HH	1,5 x Kosketinhälytys H	1,5 x (0,1 x Kosketinhälytys H)	1,5 x (0,2 x Kosketinhälytys H)		
Kosketinhälytys H	raja-arvo *	0,1 x Kosketinhälytys H	0,2 x Kosketinhälytys H		
Sähköpostihälytys H	1,5 x mitattu suurin normaali arvo	1,5 x mitattu suurin normaali vaihtelu	1,5 x mitattu suurin normaali vaihtelu	10 peräkkäisenä päivänä suurin arvo on kasvanut	3 peräkkäisenä kuukautena suurin arvo on kasvanut

* Raja-arvoksi on määriteltä Rambolin ilmoittamat yli 7 vuotta vanhan muuntajan kaasupitoisuuden suositusrajat sekä IEC 60422 standardin sekä omien mittaustuloksien avulla johdettu kosteuden raja-arvo 35 ppm.

Liite 5. Kuntoindeksin muodostuminen

