

Sari Puranen
JAKELUMUUNTAJIEN DIAGNOSTIIKKA

Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2012

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika Marraskuu 2012	Tekijä/tekijät Sari Puranen
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi JAKELUMUUNTAJIEN DIAGNOSTIIKKA		
Työn ohjaaja Jari Halme		Sivumäärä 31+1
Työelämäohjaaja -		
<p>Opinnäytetyön aiheena oli jakelumuuntajien diagnostiikka. Tavoitteena oli tutkia uusia jakelumuuntajien kunnan selvittäviä diagnostisia menetelmiä ja miten verkkoyhtiöt hyödyntävät niitä. Tutkimusta varten haastateltiin diagnostiikkapalveluita tarjoavia yrityksiä ja verkkoyhtiöitä. Uusia diagnostisia palveluita oli tullut markkinoille, mutta niiden käyttö oli vielä pientä. Verkkoyhtiöillä diagnostisten palveluiden hyödyntäminen oli vielä aika vähäistä. Diagnostiikkaa käytettiin vain tärkeimmille muuntajille.</p>		

Asiasanat

Analyysi, Diagnostiikka, Jakelumuuntaja, Kunnonvalvonta

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date November 2012	Author Sari Puranen
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis DISTRIBUTION TRANSFORMERS DIAGNOSTICS		
Instructor Jari Halme	Pages 31+1	
Supervisor -		
<p>The subject of this thesis was distribution transformers diagnostics. The aim was to explore new diagnostic methods which can study the condition of distribution transformers and how the electricity grid companies make use of those. For the study was interviewed companies who provide diagnostic services and electricity grid companies. New diagnostic services had come to the market but use was still small. Electricity grid companies utilization of services was quite low. Diagnostics were used only in the main transformers.</p>		

<p>Key words</p> <p>Analysis, Diagnostics, Distribution transformer, Condition monitoring</p>
--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	1
2 JAKELUMUUNTAJA	2
2.1 Kolmivaihemuuntaja	2
2.2 Jakelumuuntajan rakenne	3
2.2.1 Paisuntasäiliöinen öljyeristeinen jakelumuuntaja	3
2.2.2 Hermeettinen jakelumuuntaja	4
2.2.3 Pylväsmuuntaja	5
2.2.4 Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja	6
2.3 Eristysnesteet	7
3 KUNNONVALVONTA JA HUOLTOTOIMENPITEET	9
3.1 Diagnostiikka	9
3.1.1 Muuntajaöljyanalyysi	9
3.1.2 Öljynäyte määrittää muuntajan kunnon	9
3.1.3 Erityisdiagnostiikka-analyysit	13
3.1.4 Öljypaperieristyksen heikkeneminen	13
3.2 Muuntajavalvontatuotteet	14
3.3 Yhden kaasun DGA-tuotteet	14
3.3.1 Yhden kaasun hälytin	15
3.3.2 Kaasu- ja kosteushälytin	16
3.4 Usean kaasun DGA-tuotteet	16
3.4.1 Kannettava kenttäanalysaattori	17
3.4.2 Usean kaasun valvonta	18
3.5 Kunnonvalvontamittaukset	19
3.5.1 Eristysresistanssi	19
3.5.2 Polarisaatioindeksi	20
3.5.3 Polarisaatio- ja käänteispolarisaatiovirta	20
3.5.4 Siirtofunktio ja taajuusvaste	21

3.6 Muuntajien kunnonvalvonta verkkoyhtiöissä	21
3.7 Muuntajien kunnonvalvonta teollisuudessa	22
3.8 Muuntajan perushuolto ABB Oy:llä	25
3.9 Diagnostiikan yleistyminen	26
4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	28
LÄHTEET	29
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Muuntajien ikääntyessä niiden toimintavarmuus laskee. Muuntajan odottamaton rikkoutuminen aiheuttaa käyttökatkoksen, lisäkustannuksia tai pahimmassa tapauksessa tapaturmavaaran ihmisille, koska osa muuntajista sijaitsee lähellä ihmisiä. Enää muuntajia ei vain huolleta, kun jokin komponentti on mennyt rikki, vaan yhä enenevässä määrin on siirrytty ennakoivaan kunnossapitoon.

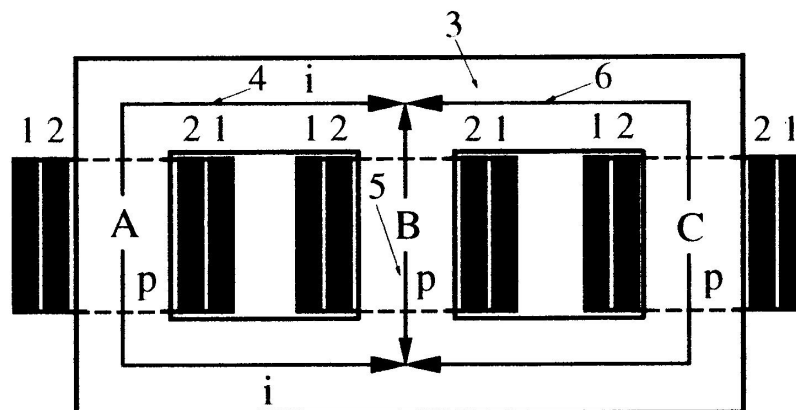
Nykyään muuntajien käyttöikä ja kuntoa voidaan määrittää myös erilaisilla diagnostisilla menetelmillä. Diagnostiset menetelmät ovat kehittyneet viime vuosina niin, että muuntajassa piilevät viat saadaan selville huomattavasti aiempaa varhaisemmassa vaiheessa, jolloin ehkäistään suurempien vikojen kehittyminen. Diagnostiikan avulla pystytään siis paremmin ennakoimaan tulevat huoltotoimenpiteet. Lisäksi diagnostiikka on edullisempi ja parempi vaihtoehto hintaville käyttökatkoksille tai muuntajan rikkoutumiselle.

2 JAKELUMUUNTAJA

Muuntajaa käytetään muuttamaan vaihtosähkön jännitettä. Muuntaja tarvitsee toimiakseen vaihtosähköä, joten 1900-luvun alussa muuntajien yleistyttyessä tasasähkö joutui suurelta osin väistymään vaihtosähkön tieltä. (Aura & Tonteri 2005, 267.)

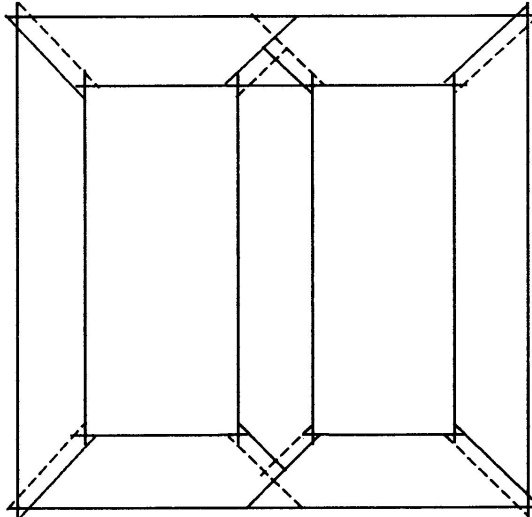
2.1 Kolmivaihemuuntaja

Sähköenergiaa siirretään voimalaitoksilta kuluttajille käyttäen kolmivaihejärjestelmää. Tärkeä osa siirtojärjestelmää ovat kolmivaiheiset tehomuuntajat. Kuviossa 1 kolmivaihemuuntajan aktiivisia osia ovat numerojärjestyksessä ylä- ja alajännitekäämit, rautasydämet kolme kappaletta, sekä eri vaiheiden magneettiipiirit. Muuntajalevystä tehty rautasydän muodostaa magneettiipiirin, jonka osia ovat ylä- ja alaiet (i) ja pylväät (p). Muuntajalevyn pinnalla on eristekerros, jotta estetään pyörrevirtojen kulku. (Aura & Tonteri 2005, 280.)



KUVIO 1. Kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat (Aura & Tonteri 2005.)

Kuviossa 2 pylvään ja ikeen välinen sauma on 45 astetta, jotta magneettivuo kulkisi mahdollisimman paljon valssaussuunnassa. Näin magnetoimisvirta ja tehohäviöt saadaan minimoitua. Muuntajien käämit tehdään alumiinista tai kuparista. Alajännitekäämit ovat yleisesti paperieristeistä muotolankaa. Yläjännitekäämit ovat yleisesti muoto- tai pyörölankaa. Lanka on paperi- tai lakkaeristeinen ja kerroseristys paperia. (Aura & Tonteri 2005, 280-281.)



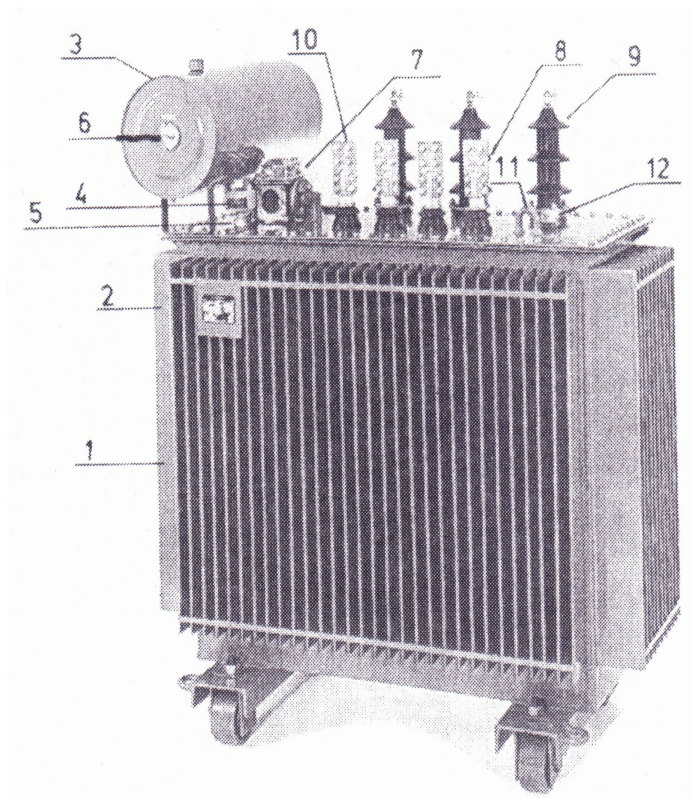
KUVIO 2. Kolmivaihemuuntajan rautasydän (Aura & Tonteri 2005.)

2.2 Jakelumuuntajan rakenne

Jakelumuuntajat voidaan rakenteensa puolesta jakaa neljään kategoriaan: paisuntasäiliöiset jakelumuuntajat, hermeettisesti eli kaasutiiviisti suljetut jakelumuuntajat, pylväsmuuntajat ja valuhartsieristeiset jakelumuuntajat eli kuivamuuntajat. Muissa kuin kuivamuuntajassa käytetään muuntajaöljyä eristys- ja jäähdytysaineena. Muuntajaöljyyn on lisätty inhibiittia, joka hidastaa öljyn vanhenemista. (Aura & Tonteri 2005, 284.)

2.2.1 Paisuntasäiliöinen öljyeristeinen jakelumuuntaja

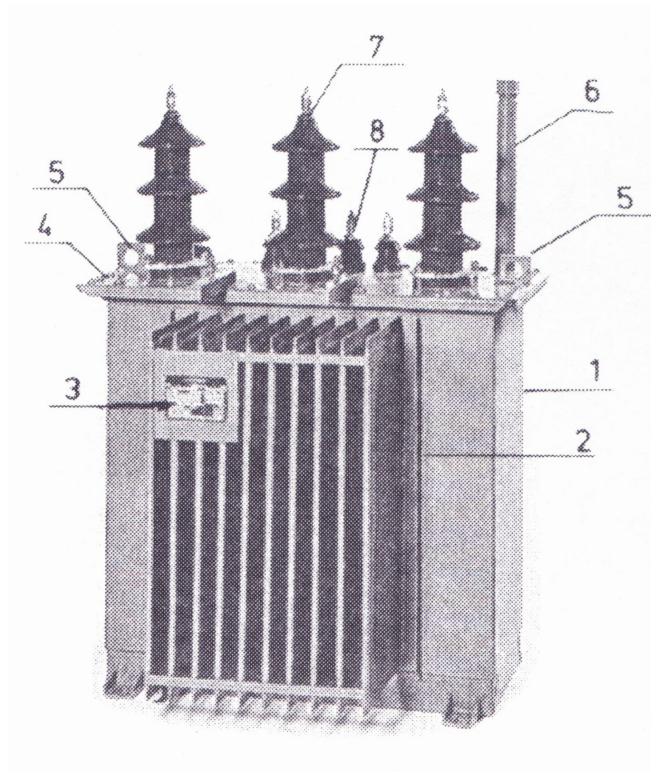
Paisuntasäiliöinen muuntaja on yleisimmin käytetty öljyeristeinen muuntaja. Paisuntasäiliössä ilman ja öljyn välinen kosketuspinta on pieni. Lisäksi öljyn lämpötila on matalampi kuin öljysäiliössä, joten öljyyn imeytyy vain vähän kosteutta. Öljyyn imeytynyt vesi painuu raskaampana aineena kuin öljy paisuntasäiliön pohjalle, josta se voidaan poistaa tarvittaessa. (Aura & Tonteri 2005, 285.)



KUVIO 3. Paisuntasäiliöinen öljyeristeinen jakelumuuntaja, jossa 1.öljysäiliö, 2.arvokilpi, 3.paisuntasäiliö, 4.lämpömittari, 5.lämpömittaritasku, 6.öljynkorkeuden osoitin, 7.kaasurele, 8.alajänniteläpivienti, 9.yläjänniteläpivienti, 10.tähtipisteläpivienti, 11.kannessa nostosilmukat kahdesta neljään kappaletta ja 12.väliottokytkimen asennonvalitsin (Aura & Tonteri 2005.)

2.2.2 Hermeettinen jakelumuuntaja

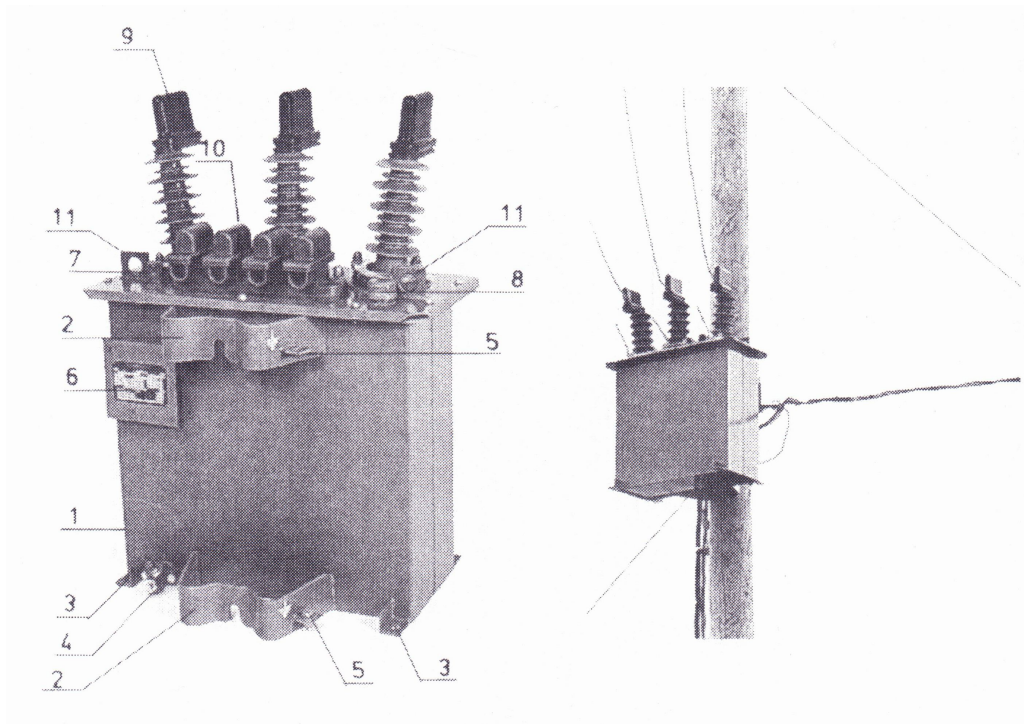
Hermeettinen jakelumuuntaja soveltuu asennettavaksi sisä- ja ulkotiloihin. Siinä on itsessään jäähdytys ja se on öljyeristeinen. Kuitenkaan hermeettisessä jakelumuuntajassa ei ole paisuntasäiliötä, vaan muuntaja on täynnä öljyä ja se on suljettu kaasutiivisti eli hermeettisesti. Öljysäiliössä on elastisia jäähdytysaaltoja, jotka mukautuvat tilavuuden muutokseen käytön aikana. Mahdolliset ylikuormitukset on otettu huomioon säiliötä mitoittaessa, joten sen pitäisi kestää ylipainetta. Ahtaisiin tiloihin hermeettiset muuntajat soveltuvat kokonsa puolesta paisuntasäiliöisiä muuntajia paremmin, sillä ne ovat matalampia ja näin tilaa vähemmän vieviä. Hermeettisellä muuntajalla on myös sellainen etu verrattuna paisuntasäiliöiseen muuntajaan, että sen öljy vanhenee hitaammin. (Aura & Tonteri 2005, 285.)



KUVIO 4. Hermeettinen jakelumuuntaja, jossa 1.öljysäiliö eli muuntaja-astia, 2.elastiset jäähdytysaallot, 3.arvokilpi, 4.muuntajan kansi, 5.nostosilmukat, 6.täyttöputki, 7.yläjänniteläpivienti ja 8.alajänniteläpivienti (Aura & Tonteri 2005.)

2.2.3 Pylväsmuuntaja

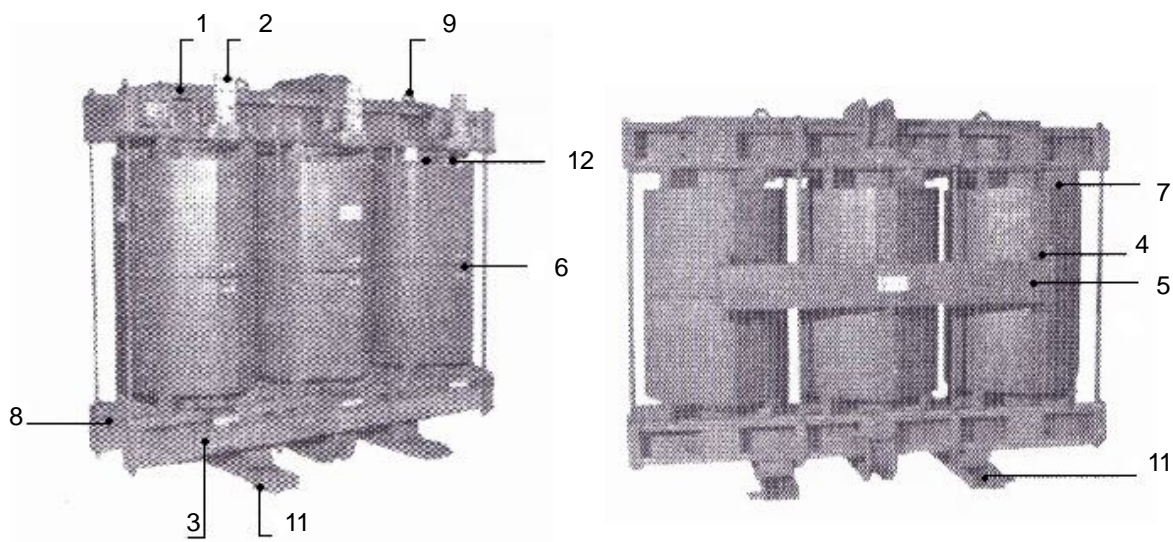
Pylväsmuuntajissa ei ole ulkopuolista paisuntasäiliötä, vaan paisuntatila on sijoitettu pylväsmuuntajan sisälle. Pylväsmuuntajassa ei ole ollenkaan väliottokytkeitä. Kuten paisuntasäiliöisen ja hermeettisen jakelumuuntajan, myös pylväsmuuntajan jäähdytys tapahtuu muuntajassa itsenäisesti. Öljyn jäähdytyskierto tapahtuu itsestään, kun kuormitushäviöt lämmittävät käämitystä muuntajassa ja rautahäviöt rautasydäntä. Jatkuva öljyvirtaus syntyy, kun lämmennyt öljy nousee säiliön keskellä ylös ja taasen jäähtyy laskeutuessaan säiliön reunoilla alas. (Aura & Tonteri 2005, 286.)



KUVIO 5. Pylväsmuuntajat, joissa 1.öljysäiliö, 2.kiinnittimet, 3.tassut, 4.pohjaventtiili, 5.maadoitusruuvit, 6.arvokilpi, 7.hengityspotki, 8.täyttöputki, 9.yläjänniteläpivienti, 10.alajänniteläpivienti ja 11.nostosilmukat (Aura & Tonteri 2005.)

2.2.4 Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja

Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja eli kuivamuuntaja soveltuu nimensä mukaisesti käytettäväksi paikkoihin, joissa nestetäytteisiä muuntajia ei voida käyttää saastumisvaaran tai palovaaran takia. Valuhartsieristeistä muuntajaa käytetään esimerkiksi sairaaloissa, kerrostaloissa, tavarataloissa tai suuremmissa kokoontumistiloissa. Käyttökohteita ovat myös kaivokset ja maanalaiset rautatiet. (Aura & Tonteri 2005, 287.)



KUVIO 6. Valuhartsieristeiset jakelumuuntajat, joissa 1.sydän, 2.alajännitekäämin alumiininen ulosotto, 3.alumiininen nollakisko, 4.yläjännitekäämin ulosotto, 5.yläjännitekäämityksen kytkentäsilta, 6.säädön kytkentäliuskat, 7.silikonikuminen päätyeristys, 8.puristusalkki, 9.nostosilmukka, 10.pyörien kiinnityspalkit, 11.vetosilmukka ja 12.hälytys- ja laukaisuelementit (Aura & Tonteri 2005.)

2.3 Eristysnesteet

Eristysnesteiden tehtävä muuntajassa on toimia jäähdytysväliaineena tai eristeenä. Eristysneste suojaa kiinteätä eristettä valokaarilta, sähköpurkauksilta ja lämpenemiseltä. Viskositeetin tulisi olla alhainen eristysnesteellä eli tarpeeksi juokseva, jotta se täyttäisi kiinteän eristeen raot ja huokokset ja toimisi jäähdytyksessä hyvin. Suomen ilmastossa viskositeetti on olennainen esimerkiksi talvella, jolloin pakkanen voi jähmettää nestettä. Eristysnesteiden pitää kestää myös erilaiset olosuhteet, jotta se olisi mahdollisimman pitkäikäinen. Muuntajanesteessä tärkeintä on suuri jännitelujuus ja lämmönsiirtokyky, joka on olennainen nesteen toimiessa jäähdytysaineena. Muuntajanesteeltä vaaditaan myös osittaispurkausten hyvää sietokykyä, alhaista häviökerrointa ja suurta resistiiviteettiä. (Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen & Palva 2011, 113-114.)

Yleisin muuntajissa käytetty muuntajaöljy on mineraaliöljy. Mineraaliöljyt koostuvat hiilivetyrakenteista. Mineraaliöljyn saatavuus on hyvä ja se on edullista. Mineraaliöljyllä

on alhainen viskositeetti ja muuntajaöljyn vaatimat sähköiset ominaisuudet, joten se sopii hyvin jäähdytys- ja eristeaineeksi. Muuntajaöljy saadaan tislamalla maaöljyä. Muuntajaöljyn kiehumislämpötila vaihtelee 250 ja 300 asteen välillä. Muuntajaöljyn haittana on sen arkuus hapettumiselle ja tulenarkuus. (Aro ym. 2011, 113-114.)

3 KUNNONVALVONTA JA HUOLTOTOIMENPITEET

Kunnonvalvonnan yhteydessä muuntajista usein ilmenee piileviä vikoja, jotka aikaisessa havainnointivaiheessa pystytään helposti korjaamaan. Kunnonvalvonta voi paljastaa muuntajasta myös suurempia vikoja, jolloin muuntaja joudutaan lähettämään huoltoon.

3.1 Diagnostiikka

Eristysrakenteen sähkölujuuden ja mekaanisen lujuuden tulee olla riittäviä, jotta se täyttää tehtävänsä. Eristysrakenteen kestävyuden ja kunnon voisi selvittää mittaamalla sähkölujuutta ja mekaanista lujuutta, mutta laitteen ollessa käytössä tämä on mahdotonta. Tämän takia mitataan epäsuoria suureita, jotka ilmaisevat saman asian luotettavasti ja mahdollisimman yksinkertaisesti. (Aro ym. 2011, 183.)

3.1.1 Muuntajaöljyanalyysi

Muuntajaöljystä voidaan analysoida siihen liuenneet kaasut ja läpilyöntijännite. Vikakaasut ovat merkki muuntajan vioittumisesta, joten säännöllinen öljyanalysointi paljastaa piilevät viat ennen suurempia vaurioita. Läpilyöntijännitteen selvittäminen kertoo öljyn sähköisen eristyskyvyn. (Heinonen 2008.)

3.1.2 Öljynäyte määrittää muuntajan kunnon

Kari Heinonen kirjoittaa Promaint -verkkolehden numerossa 6/2008 otsikolla ”Öljynäyte kertoo muuntajan kunnon”. Artikkelissaan Heinonen nostaa muuntajien käytönaikaisista kunnonvalvontamenetelmistä tärkeimmäksi, herkimmäksi ja kustannustehokkaimmaksi öljyyn liuenneiden kaasujen analyysin. Analysointi tapahtuu useimmiten laboratoriossa, jonne öljynäyte on toimitettu. Lisäksi markkinoilla on jatkuvatoimisia analysointilaitteita, jotka kiinnitetään muuntajaan kiinteästi. Saatavilla on myös kannettavia kaasuanalysointilaitteita, jotka ovat edullisia käyttökustannuksiltaan ja riittävän tarkkoja. Öljyn läpilyöntijännitteen eli sähkölujuuden mittausta varten löytyy kenttäkäyttöinen laite. Öljynäyteanalyysillä lisätään käyttövarmuutta tehomuuntajille, jotka ovat voimansiirto- ja

jakeluverkon kalleimpia yksiköitä. Niiden häiriöttömällä toiminnalla on iso rooli sähkönjakelussa. Artikkelissa suositellaan öljynäyteanalyysijä myös tärkeimmille jakelumuuntajille. (Heinonen 2008.)

Muuntajaöljy kiertää aktiiviosan lähes kokonaan eristys- ja jäähdytysaineena. Näin öljyeristeisissä laitteissa muuntajaöljyn muuttuminen ilmaisee nopeasti eri vikatyyppejä. Öljystä voidaan määrittää viat jo varhaisessa vaiheessa, ennen kuin muuntajan suojalaitteet ehtivät reagoida. Aikaisella havainnoinnilla viat voidaan korjata sopivassa ajankohdassa ja vältetään suuremmilta vaurioilta. Edullinen öljyanalyysi sopii tehomuuntajien, mittamuuntajien ja öljyeristeisten muuntajaläpivientien kunnonvalvontaan. Öljynäytteiden otto vaatii aina erityisosaamista ja tarkkaa puhtautta, jotta näytteet olisivat mahdollisimman todenmukaisia. Muuten analyysitulokset eivät ole luotettavat ja vikoja saattaa jäädä huomioimatta. (Heinonen 2008.)

Yleisimmät öljynäytteelle tehtävät määritykset ovat öljyyn liuenneiden kaasujen analyysi ja öljyn läpilyöntijännitteen eli sähkölujuuden selvittäminen. Poikkeava lämpeneminen, sekä osittaispurkauksista syntyvä ionisoiva säteily hajottaa öljyä, jonka seurauksena muodostuu vikakaasuja. Nopeasti kehittyvässä viassa ylimääräinen kaasu, joka ei ehdi kokonaan liueta kaasuun nousee kuplina muuntajassa ylöspäin. Kaasurele toimii kaasun saavuttaessa sen. Syntyvien kaasujen diagnosoinnilla voidaan päätellä vikatyyppi. (Heinonen 2008.)

Öljynäytteen läpilyöntijännitteen mittaaminen kertoo öljyn sähköisestä eristekyvystä. Öljyyn muodostunut kosteus ja roskapitoisuus voivat yhdessä vaikuttaa läpilyöntijännitteen alenemiseen. Puhtaaseen öljyyn liuennut vesi ei yksinään alenna läpilyöntijännitettä merkittävästi, mutta jos vesi on öljyssä vapaina pisaroina alentaa se huomattavasti läpilyöntijännitettä. (Heinonen 2008.)

Eristysöljylle voidaan tehdä myös muita analyysijä, kuten häviökulman $\tan \delta$, rajapintajännityksen, roskapitoisuuden, neutraloimisluvun ja inhibiittipitoisuuden mittaaminen. Uusimpana on furfuraalianalyysi, jolla voidaan selvittää paperieristeen haurastuminen. Polykloorattujen bifenyylipitoisuus (PCB) määritetään esimerkiksi jäteöljystä ennen sen hävittämistä. Näin saadaan varmuus, ettei öljy sisällä myrkyllistä PCB:ä. (Heinonen 2008.)

Taulukosta 1 löytyy suositusvälit kunnonvalvonnan analyysiväleiksi. Näytteenottoväli määräytyy muuntajan kriittisyydestä, kunnosta ja koosta. Hyväkuntoisille 110 kV:n ja tärkeille pienemmän jännitteen muuntajille suositellaan vuosittaista analyysiä. Muuntajan takuuajana näytteitä tutkitaan tiheämmin. Artikkelin mukaan kenttäanalyysoijista on saatu hyviä kokemuksia. Paikan päällä tehtyjen analyysien perusteella osa näytteistä voidaan lähettää tarkempaan jatkotutkimukseen laboratorioihin. Jakelumuuntajille näytteenottoväleiksi suositellaan viittä vuotta tai jos muilla menetelmillä on havaittu muuntajassa poikkeavuuksia. (Heinonen 2008.)

Analyysitulokset tulkitaan International Electrotechnical Commission (IEC) -standardin mukaisesti. Taulukossa 2 esitetään öljyyn liuenneita kaasuja vastaavat vikatyypit. Furfuraalia ilmenee eristyspaperin hajotessa, mutta hiilimonoksidia ja hiilidioksidia syntyy paperin hajoamistuotteena, sekä öljyn ominaisuuksien heikentyessä. (Heinonen 2008.)

TAULUKKO 1. Suositus öljyeristeisten muuntajien kunnonvalvonnan öljyanalyysiväleiksi (mukailen Heinonen 2008)

JÄNNITE JA TEHO	KAASU- ANALYYSI	LÄPILYÖNTI- JÄNNITE	HÄVIÖ- KERROIN TAN δ	NEUTRA- LOINTI- LUKU	INHIBIITTI- PITOISUUS	KIINTO- AINE- PITOISUUS	FURFU- RAALI- ANALYYSI	RAJA- PINTA- JÄNNITYS						
420 kV ≥ 20MVA	2 x vuodessa		Näytteenotto 5 vuoden välein											
245 kV > 100MVA			Näytteenotto 10 vuoden välein											
245 kV 20...100MVA	1 x vuodessa								Näytteenotto tarvittaessa muuntajan kunto ja tärkeys huomioon ottaen					
123 kV ≥ 20MVA														
245 kV < 20MVA														
123 kV < 20MVA	2 vuoden välein													
< 52 kV ≥ 20MVA														
< 52 kV < 20MVA	5 vuoden välein													

TAULUKKO 2. Tyypillisimmät öljyyn liuenneet kaasut eri vikatapauksissa (mukaillen Heinonen 2008)

VIKATYYPPI	TYYPILLINEN KAASU	KEMIALLINEN MERKINTÄ
Osittaispurkaukset	Vety	H ₂
Valokaari	Asetyleeni	C ₂ H ₂
Lämpövika (lämp.liitos tmv.)	Hiilivedyt	CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆
Paperieristeen hajoaminen	Hiilimonoksidi, hiilidioksidi, furfuraali	CO ja CO ₂

Muuntajaöljynäytteen analysoinnissa käytetään hyväksi kaasupitoisuussuhteita. Tavallisesti muuntajaöljyssä on hieman enemmän vetyä kuin metaania. Mikäli havaitaan, että vetyä on selvästi enemmän kuin metaania, kertoo se osittaispurkauksista. Taulukossa 3 on esitetty asetyleenin C₂H₂ ja etyleenin C₂H₄, metaanin CH₄ ja vedyn H₂, sekä etyleenin ja etaanin C₂H₆ kaasusuhteita. (Aro ym. 2011, 198.)

TAULUKKO 3. Kaasuanalyysin tulkinta kaasupitoisuussuhteiden avulla (Aro ym. 2011.)

Tapaus	Vikatyyppi	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
PD	osittaispurkauksia ¹	ei merkitystä	<0,1	<0,2
D1	pienienergiaisia purkauksia	>1	0,1 – 0,5	>1
D2	suurienergiaisia purkauksia	0,6 – 2,5	0,1 – 1	>2
T1	kuuma vikapaikka $T < 300$ °C	ei merkitystä	ei merkitystä	<1
T2	kuuma vikapaikka 300 °C $< T < 700$ °C	<0,1	>1	1 – 4
T3	kuuma vikapaikka $T > 700$ °C	<0,2 ²	>1	>4

¹ Osittaispurkauksia mittamuuntajassa: C₂H₂ / H₂ < 0,2 ; läpivientieristimessä: C₂H₂ / H₂ < 0,07.
² Suureneva kaasun C₂H₂ määrä voi ilmaista, että kuumen kohdan lämpötila on yli 1000 °C.

3.1.3 Erityisdiagnostiikka-analyysit

Erityisdiagnostiikka-analyysit ovat harvemmin käytettyjä, mutta niitä on saatavilla. Esimerkiksi SGS Inspection Services Oy:n kautta erityisanalyysien teettäminen on mahdollista. Taulukossa 3 on esitetty erilaisia erityisdiagnostiikan analyyssejä.

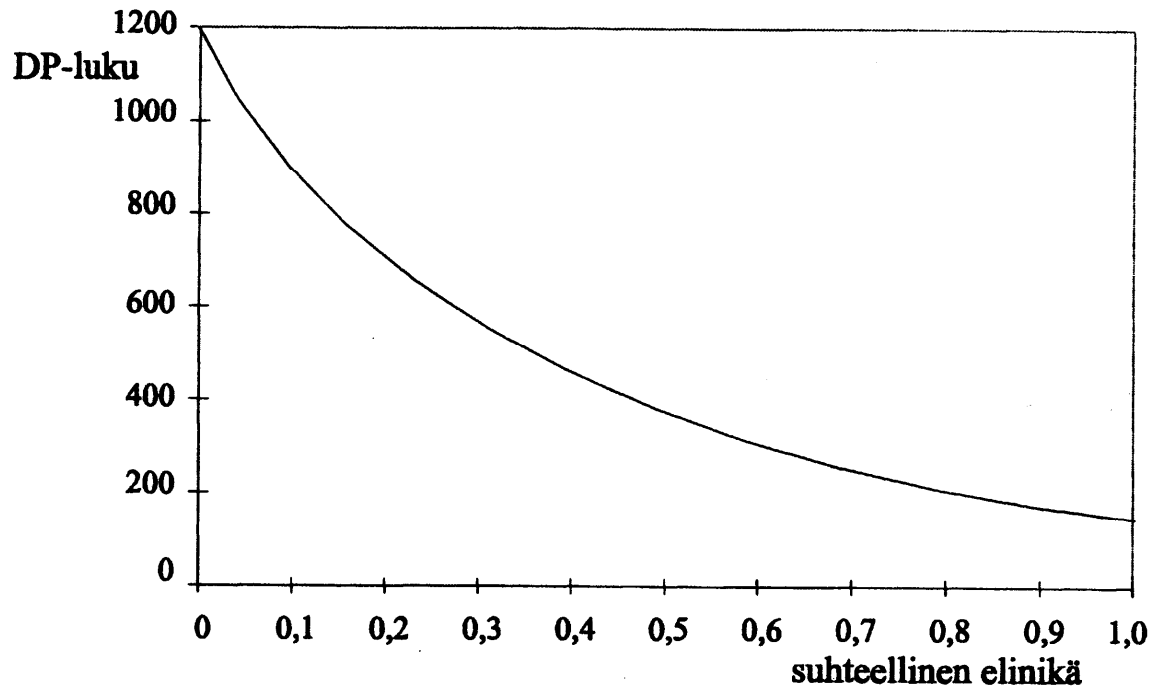
TAULUKKO 4. Erityisdiagnostiikka-analyysit (mukaillen SGS 2012)

ANALYYSI	TUTKIMUSKOHDE
kosteusanalyysi	Tutkitaan öljyn kosteuspitoisuus, joka vaikuttaa sähköominaisuuksiin ja aiheuttaa eristyspaperin heikentymistä.
dielektrinen jakauma	Mittaa öljyn kestokykyä sähköiselle rasitukselle.
happamuus	Määrittää eristysöljyn jatkokäyttömahdollisuudet.
IFT (Interfacial Surface Tension)	Mittaa öljyn hapettumisasteen ja eristysöljyn heikentymisen, jotka vaikuttavat öljyn jäähtytys- ja eristyskykyyn.
DDF (Dissipation Factor and Resistivity)	Mittaa öljyn läpi menevää vuotovirtaa, jolla voidaan määrittää eristyksen heikentyminen.
DGA ja Furan-analyysi	Öljyyn liuenneiden kaasujen tutkimisella selvitetään selluloosaeristeen heikentyminen ja muita muuntajavikoja.
PCB-testit	PCB:n löytämiseksi.
DBPC-analyysi	Mittaa eristysöljyn hapettumisenestoaineen pitoisuudet.

3.1.4 Öljypaperieristyksen heikkeneminen

Öljypaperieristyksen öljyssä saattaa syntyä happamia yhdisteitä kemiallisten reaktioiden ja kosteuden synnyttäminä, jolloin paperi heikkenee. Paperin sähköiset ominaisuudet eivät välttämättä heikkene, mutta mekaaniset ominaisuudet kärsivät ja paperi haurastuu. Paperieristyksen kunnon seuraaminen käytön aikana on paljon vaikeampaa kuin muuntajaöljyn, koska kunnon selvittämiseen tarvitaan paperinäyte. Paperinpaloja voi valmistusvaiheessa sijoittaa muuntajaöljyyn jatkotutkimuksia varten, mutta näytepala ei välttämättä kerro koko totuutta. Paperinäytettä ei kuitenkaan voi ottaa paperieristeestä käytön aikana. (Aro ym. 2011, 178-179.)

Paperin ikää kuvataan DP-luvulla. Kuviosta 7 havaitaan, että uuden paperin DP-luku on noin 1200, mutta vanhassa muuntajaeristyksessä enää vain viidennes uuden arvosta. Paperieristeen käyttöikä on loppuillaan, kun DP-arvo on noin 150-200. (Aro ym. 2011, 178-179.)



KUVIO 7. Eristyspaperin DP-luku muuntajan iän mukaan (Aro ym. 2011.)

3.2 Muuntajavalvontatuotteet

Spatialworld Oy on valtuutettu GE Energy:n puolesta edustamaan Hydran-, Intellix- ja Kelman-muuntajavalvontatuotteita Suomessa, Ruotsissa, sekä Baltian maissa. Tuotteissa yhdistyvät kunnonvalvonta ja diagnosointi. Diagnosoinnissa käytetään öljyyn liuenneen kaasun analyysia eli Dissolved Gas Analysis (DGA). Menetelmä on yksi tehokkaimmista muuntajien hallinnassa ja muuntajavikojen havaitsemisessa. (Spatialworld 2012.)

3.3 Yhden kaasun DGA-tuotteet

Yhden kaasun DGA-tuotteet antavat hälytyksen kaasutasosta tai mittaavat eri vikakaasujen yhdistelmäarvon ppm-yksiköissä muuntajaöljystä ja ennakoivat varoittaen mahdollisesta

ongelmasta. Tuotteen kiinteästi asentaminen on helppoa, sillä se asennetaan yhteen venttiiliin. (Spatialworld 2012.)

3.3.1 Yhden kaasun hälytin

Muuntajan eristinjärjestelmän rasittuessa liikaa alkaa muuntajaöljyyn kehittyä kaasuja. Intellix GLA 100 on pienikokoinen hälytin, joka reagoi muuntajan kaasutasoon. Tuotteessa on portti, joka mahdollistaa manuaalisen näytteenoton. Intellix GLA 100 on tarkoitettu valvomaan muuntajia, jotka eivät ole kriittisiä, jolloin reaaliaikaista diagnostiikkaa ei tarvita. Intellix GLA 100 on räätälöity edullisille muuntajille, joiden suojaamista tärkeämpää on suunnittelemattoman käyttökeskeytyksen välttäminen. Käyttökohteita ovat esimerkiksi pienet tehomuuntajat ja suuremmat alustalle rakennetut jakelumuuntajat. (Spatialworld 2012.)

Kuviossa 8 hälyttimen punaiseen merkkiin syttyy valo, kun kaasusensori reagoi vetyyn, joka yleisesti on vikakaasu. Sensori reagoi myös hiilidioksidiin, jota syntyy eristyspaperin vanhentuessa esimerkiksi liiallisen kuumuuden takia. Keltainen merkkivalo syttyy, kun laite havaitsee vähäistä kaasutason nousua, joka kuitenkin vaatii lisäselvitystä. Vihreän merkin palaessa laite on toiminnassa. Siniseen merkkiin syttyy valo, kun laite vaatii huoltoa. Intellix GLA 100 ei tarvitse tietokonetta tai sovellusta valvomaan kaasun arvoja tai kaasutason vaihteluja. (Spatialworld 2010.)



KUVIO 8. Intellix GLA 100 (Spatialworld 2010.)

3.3.2 Kaasu- ja kosteushälytin

Hydran M2 on kiinteästi asennettava laite muuntajaan, joka hälyttää olosuhteiden ollessa otolliset vian kehittymiseen. Kuten Intellix GLA 100, myös Hydran M2 antaa yhdistelmäarvon ppm vikakaasuista. Lisäksi Hydran M2 tarjoaa öljyn kosteuslukeman %RH ja ppm. Käyttökohteita ovat muun muassa pienet ja keskisuuret muuntajat, sekä jakelumuuntajat. (Spatialworld 2012.)

Hydran M2 tarjoaa laajempaa tietoa muuntajasta matemaattisten mallien avulla, jotka perustuvat Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE)- ja IEC-standardeihin. Hydran M2 mittaa reaaliaikaisesti vikakaasuja ja kosteutta. Tuotteeseen voidaan asettaa rajat, joiden täytyessä tieto viasta lähtee eteenpäin. Hydran M2 sisältää neljä ohjelmoitavaa relettä hälytyksiä varten. Neljä lisäliitäntää mahdollistaa lisätietojen saamisen muuntajasta. (Spatialworld 2010.)



KUVIO 9. Hydran M2 (Spatialworld 2010.)

3.4 Usean kaasun DGA-tuotteet

Usean kaasun DGA-tuotteet käyttävät hyväkseen fotoakustista tunnistustekniikkaa, joka on hyvin edistyneellinen. Tunnistustekniikka mahdollistaa kunkin vikakaasun mittaamisen

erikseen. Tekniikka ei edellytä järjestelmän kalibrointia eikä apukaasujen käyttöä, joka tuo säästöjä ja etuja laitteiden ylläpidossa ja käytössä. (Spatialworld 2012.)

3.4.1 Kannettava kenttäanalyysointilaitteisto

Kelman TRANSPORT X on vaihtoehto laboratoriossa tehtäville analysoinneille, sillä se on kannettava analyysointilaitteisto. Laitteella voidaan analysoida liuennut kaasu ja kosteus öljynäytteistä. Epänormaalien tasojen tullessa vastaan laite käyttää IEEE- ja IEC-standardeihin pohjautuvia tulkintasääntöjä antaessaan diagnoosin. TRANSPORT X on erinomainen, mikäli ikääntyvälle muuntajalle tehdään tiheään öljytestejä tai tarvitaan pikaisesti analyysi yhden kaasun valvontalaitteen hälyttäessä. Laite soveltuu kaikenkokoisille muuntajasäiliöille, käämikytkimille ja muuntajille tuotannosta jakeluun. (Spatialworld 2012.)

TRANSPORT X antaa luotettavan tuloksen, sillä jo näytteen siirtomatka on hyvin lyhyt. Kaikentyyppiset öljytäytteiset osat voidaan luotettavasti analysoida öljyn osalta, vaikka käämikytkimien näytteet ovat kaasupitoisuuksiltaan korkeita ja taas vastaavasti pääsäiliöiden näytteet sisältävät pienempiä kaasupitoisuuksia. Sisäinen diagnostinen ohjelma mahdollistaa ppm-muotoisen datan muuntamisen, että se lähettää esimerkiksi vain merkitykselliset tulokset. (Spatialworld 2010.)

TRANSPORT X mittaa manuaalisesti otetusta näytteestä öljyn sisältämän veden ja mittaa erikseen kaikkia seitsemää vikakaasua. Analyysin tulokset saadaan alle puolessa tunnissa. Laitteeseen saatavan tietokoneohjelman avulla tuloksia voidaan tallentaa 20 000 tietueen verran. TRANSPORT X sisältää lämpökirjoittimen tulostusta varten. Laite salkkuineen painaa 11 kilogrammaa ja se löytyy yli 200 yrityksestä. Maailmanlaajuisesti tuotetta on myyty yli 1000 kappaletta. (Spatialworld 2010.)



KUVIO 10. Kelman TRANSPORT X (Spatialworld 2010.)

3.4.2 Usean kaasun valvonta

Kelman MINITRANS valvoo kolmea kaasua: vetyä, hiilimonoksidia ja asetyleeniä, sekä öljyyn muodostuvaa kosteutta. Kolmen edellä mainitun kaasun mittauksella havaitaan useita kehittyviä vikoja, kuten kipinäinti. (Spatialworld 2012.)

MINITRANS vähentää kalliita ennalta suunnittelemattomia käyttökatkoksia, muuntajan viat huomataan niiden ollessa alkutekijöissään, muuntajan kuormitusta voidaan optimoida turvallisesti, muuntajan käyttöikä on laskettavissa ja diagnostiikan tuloksista voidaan määrittää vian laatu. Näytteenottoväli voidaan asettaa tunnin ja vuorokauden välille. Varoitus- tai hälytystasojen ylittyessä näytteenottoväli lyhenee automaattisesti. Lisäksi PERCEPTION-tietokoneohjelma tarjoaa edistykselliset mahdollisuudet tutkimustulosten tarkastelulle. (Spatialworld 2010.)



KUVIO 11. Kelman MINTRANS (Spatialworld 2010.)

3.5 Kunnonvalvontamittaukset

Luotettavan sähkönjakelun varmistamiseksi voidaan suorittaa kunnonvalvontamittauksia. Näin eristyskyvyn heikkeneminen voidaan ennakoida ja suorittaa tarvittavat korjaustoimenpiteet. (Aro ym. 2011, 184.)

3.5.1 Eristysresistanssi

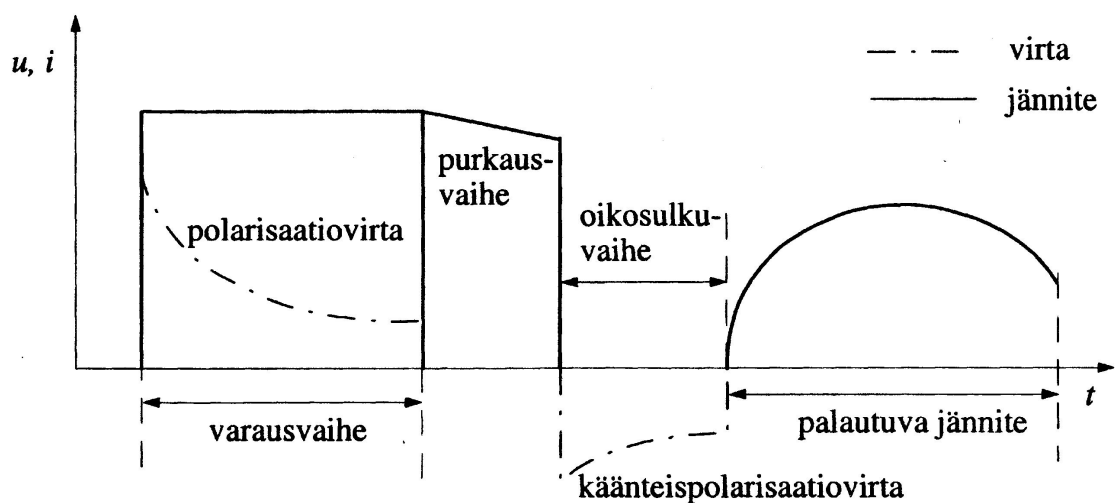
Eristysresistanssia mittaamalla havaitaan kosteus ja vakavat eristysvauriot. Eristysresistanssia mitataan tasajännitteellä ja mittaus onnistuu nopeasti. Eristysresistanssilla ei havaita osittaispurkauksia, mutta sillä saadaan suuntaa antavia tuloksia eristyksen kunnosta. (Aro ym. 2011, 184.)

3.5.2 Polarisaatioindeksi

Eristysresistanssia mitatessa eristyksen lämpötila voi mittaushetkellä vaikuttaa merkittävästi saatavaan tulokseen. Polarisaatioindeksin mittauksella saadaan suhdeluku, kun eristysresistanssin mittauksessa kymmenen minuutin kuluttua jännitteen kytkemisestä saatava arvo jaetaan minuutin kuluttua saadulla arvolla. Näin lämpötilalla on vähäisempi vaikutus mittaustulokseen. (Aro ym. 2011, 184.)

3.5.3 Polarisaatio- ja käänteispolarisaatiovirta

Staattinen sähkökenttä aiheuttaa voimia, jotka pyrkivät siirtämään varauksia. Eriste polarisoituu, kun eristeessä varaukset liikkuvat vain pieniä matkoja, jolloin atomit muodostavat sähködipoleja. Tasajännite kytketään eristykseen, jolloin polarisoituminen alkaa. Eristeeseen tuotu varaus alkaa purkautua eli tapahtuu itsepurkaus, kun koejännite katkaistaan. Tällöin jännite alkaa pienentyä. Eristys oikosuljetaan, jolloin polarisaatio alkaa hävitä ja tulee käänteispolarisaatiovirtaa. Oikosulun poistamisen jälkeen eristykseen palautuu jäljelle jäänyt polarisaatio ja jännite. Eristeen varautumista ja eristeen purkautumista tapahtuu terveessä ja kuivassa eristyksessä. Eristyksen kuntodiagnosointi perustuu polarisaation muutoksiin ja epälinearisuuksiin. Itsepurkauksen alkuvaiheen jyrkkyys kuvaa eristyksen kuntoa. Polarisaatioilmiöillä voidaan lähinnä tutkia onko eristyksessä kosteutta. (Aro ym. 2011, 184-185.)



KUVIO 12. Polarisaatiomenetelmän vaiheet ja ilmiöt (Aro ym. 2011.)

3.5.4 Siirtofunktio ja taajuusvaste

Muuntajien vikojen etsimisessä ja diagnosoinnissa voidaan käyttää apuna siirtofunktiota ja taajuusvastetta. Taajuusanalyysi joka tehdään pienellä jännitteellä muutaman megahertsin taajuuteen, pystyy ilmaisemaan käämien muodonmuutoksia, jotka ovat aiheutuneet oikosulkuvoimista. Taajuusanalyysi onnistuu vain, jos ennen muuntajan käyttöön ottamista on suoritettu käyttöönottomittaukset ja niistä saadut tulokset ovat saatavilla. (Aro ym. 2011, 197.)

3.6 Muuntajien kunnonvalvonta verkkoyhtiöissä

Oulun läänin alueen verkkoyhtiöistä pääsin haastattelemaan Elenia Verkkoa hoitavaa Pohjolan Werkonrakennusta, Herrforsia, Kokkolan Energiaa ja Raahen Energiaa. Yhteinen tekijä näillä verkkoyhtiöillä on, että muuntajahuolto ja kunnonvalvonta tapahtuvat alihankintana. Jakelumuuntajiin kohdistuvaa diagnostiikkaa yhtiöissä ei juurikaan käytetä. Eikä tavallisia jakelumuuntajia kovin huolleta, koska rikkoutuneet jakelumuuntajat vaihdetaan vain suoraan uusiin.

Pohjolan Werkonrakennus hoitaa Elenia Verkon kunnossapidon. Pohjolan Werkonrakennus suorittaa itse muuntajatarkastukset päällisin puolin, mutta muuntajaöljyjä he eivät vaihda eivätkä koske muuntajakotelon sisäisiin komponentteihin. Tärkeimmät muuntajat huoltaa alihankintana muuntajapalveluita tarjoava Infratek. (Hakalahti 2012.)

Herrfors suorittaa muuntajien tarkastuksia vain silmämääräisesti. Muuntajahuolto suoritetaan tärkeille päämuuntajille noin viiden vuoden välein ja tarvittaessa lyhyemmälläkin välillä. Muuntajien huollot toteutetaan alihankintana. Viimeksi muuntajahuollosta on vastannut Empower Oy, mutta aiemmin myös ABB Oy. Huollossa huolletaan käämikytkimet ja päämuuntajista otetaan samalla öljynäytteet diagnosointia varten. (Mehtälä 2012.)

Kokkolan Energialla muuntajien kuntoa tarkkaillaan lähinnä silmämääräisesti. Muuntajien huolto järjestetään alihankintana ja siitä ovat viime vuosina vastanneet kunnossapitopalveluita tarjoavat SLT-Consults Oy ja ABB Oy. Muuntajien kuntotarkastuksiakin on ostettu alihankintana esimerkiksi Empowerilta. Isoimmat ja

tärkeimmät muuntajat huolletaan noin kuuden vuoden välein. Päämuuntajista otetaan öljyanalyysinäytteitä ja yritys joka tutkii näytteet käy myös ottamassa ne. Kriittisille jakelumuuntajillekin suoritetaan öljyanalyysyjä, mutta tavallisille jakelumuuntajille ei. Päämuuntajien toimitus voi kestää jopa vuodesta kahteen, joten niiden säännöllinen huoltaminen ja diagnostiikka on erityisen tärkeää. (Kinnunen 2012.)

Raahen Energia Oy:n itse suorittama kunnonvalvonta on myös lähinnä silmämääräistä. Tärkeimpien muuntajien huoltoväli on noin viisi vuotta ja niistä otetaan huollon yhteydessä öljynäytteet. Muuntajien huolto on järjestetty alihankintana ja huoltoyritys on Empower.

3.7 Muuntajien kunnonvalvonta teollisuudessa

Kemiran Vaasan tehtaan kunnossapidosta on vastannut vuodesta 2009 Maintpartner. Maintpartner tarjoaa teollisuuden kunnossapitoon ja käyttöön liittyviä palveluita. Maintpartnerin oma teollisuuslaboratorio on toiminnassa viikon jokaisena päivänä. (Maintpartner 2012.)

Efora Oy on Stora Enso Oy:n ja ABB Oy:n omistama kunnossapitoyritys. Efora Oy hoitaa esimerkiksi Stora Enson Oulun tehtaan kunnossapidon. Stora Enson kunnossapito pohjautuu Eforan liiketoimintamallin mukaisesti ABB Full Service -konseptiin. (Efora 2012.)

Sain tietoa Oulussa toimivan Stora Enson sellutehtaan muuntajien kunnossapidosta ja valvonnasta Efora Oy:ssä työskentelevältä Janne Myllyaholta. Myllyahon mukaan diagnostisista menetelmistä käytetään hyväksi öljyanalyysiä muuntajien kunnan selvittämisessä. Öljyanalyysien tekeminen riippuu muuntajatyypistä, muuntajan paikasta ja tärkeydestä. Päämuuntajille öljyanalyysi tehdään vuosittain ja jakelumuuntajille viiden vuoden välein. Myllyahon mukaan jakelumuuntajien näyteväli tulisi lyhentää kolmeen vuoteen. Myllyahon suunnitelmissa onkin lyhentää näyteväliä, joka tulisi kriittisillä jakelumuuntajilla olemaan vain vuosi. Öljynäytteen ottaminen riittäisi ehkä kolmen vuoden välein, mutta kaasunäyteväli tulisi lyhentää vuoteen. Öljy- ja kaasunäytteet otetaan öljystä, mutta hieman eri menetelmillä. Muuntajien kunnonvalvonnassa käytetään hyväksi myös

lämpökuvausta, jonka avulla muuntajista löydetään vikoja ja kuormituksia, joita paljaalla silmällä ei välttämättä havaitaisi. (Myllyaho 2012.)

Stora Enson tehtaan päämuuntajien ja jakelumuuntajien huoltotoimet ovat pääpiirteittäin samanlaiset. Ainoastaan tarkastus- ja huoltovälit vaihtelevat. Päämuuntajille käynninaikainen tarkastus suoritetaan kahdeksan viikon välein ja jakelumuuntajille kaksi kertaa vuodessa. Käynninaikaisessa tarkastuksessa käydään läpi puhtaus, vuodot, lämpötila, ääni, puhaltimien toiminta, kaasureleen näyttämä, valuma-allas, tilan tarkastus, suojat ja lukitukset, sekä silikageeli, joka toimii kuivatusaineena muuntajan ilmankuivaimessa. Lämpökuvaukset tehdään muuntajille vuosittain. (Myllyaho 2012.)

Seisokkiaikaisessa huollossa jakelumuuntajat ja päämuuntajat puhdistetaan, myös eristimet puhdistetaan. Muuntajille tehdään käämikytkinhuolto, maadoitusten tarkastukset, korroosiotarkastukset, öljymäärän tarkastus ja tarkastetaan puhaltimien toiminta. Hälytysten ja laukaisujen testaus on myös osa huoltoa, sekä ilmankuivaimen tarkastus, jolloin tarvittaessa vaihdetaan silikageeli. Muuntajat otetaan huoltoon lähinnä öljynäytteen perusteella. Tai mikäli on havaittu jokin vika, kuten öljyvuoto, kaasuttaminen tai liika lämpeneminen. Avaavaa huoltoa ei ole määritelty tehtäväksi tietyllä aikavälillä. (Myllyaho 2012.)

TAULUKKO 5. Sellu- ja paperitehtaiden muuntajat (mukaihen Myllyaho 2012)

	Päämuuntajat (P)	Jakelumuuntajat (P)
sellutehdas	91MVA, 45MVA, 40MVA yhteensä 6 kappaletta	3,15MVA ja 2MVA yhteensä 39 kappaletta
paperitehdas	50MVA ja 40MVA yhteensä 4 kappaletta	3,15MVA ja 2MVA yhteensä n.50 kappaletta

Rautaruukin Raahen tehtaalla yli 1000 V:n sähkönjakelu on voimalaitoksen vastuulla. Tehtaan osastoilla sijaitsevien jakelumuuntajien kunnossapito kuuluu voimalaitokselle. Muuntajat ovat öljy- ja kuivamuuntajia. Kuivamuuntajia lähinnä vain puhdistetaan ja kiristetään käämit. Öljytäyteisten jakelumuuntajien suositeltu huoltoväli

prosessiteollisuudessa on puolesta vuodesta vuoteen. Parasta olisi tehdä tarkastukset kaksi kertaa vuodessa, jotta kesän ja talven vaikutukset muuntamotilaan ja kuormitukseen voidaan paremmin ottaa huomioon. (Ylikulju 2009.)

Määräaikaistarkastuksessa on hyvä käydä läpi muuntajien öljymäärät ja mahdolliset vuodot, eristimien kunto ja mahdolliset vauriot, sekä puhdistustarve. Ilmakuivaimen kunto tulisi tarkistaa, sekä kaapelipäätteet, alajännitekiskosto ja erottimet. Muuntajahuoneen ovet ja lukot on hyvä tarkistaa, sekä suojapuomit ja varoituskilvet. Jäähdytyspuhaltimien ja tuuletusaukkojen tulee olla puhtaat. Muuntajahuone kannattaa pitää siistinä ja tarkistaa muuntajan alajännitteen arvo. (Ylikulju 2009.)

Tarvittaessa olisi hyvä tarkistaa myös öljyn lämpötilasuojan asettelu, väliottokytkimen ohjain, kaasureleen hälytys ja laukaisu, säiliön maalaus, öljyn pinnankorkeuden ylä- ja alarajat, suojamaadoitus ja muuntajien kilvet. Hyvä olisi testata myös muuntajaöljyn läpilyöntilujuus ja huolehtia sähkölaitteiden puhdistuksesta. (Ylikulju 2009.)

Suurempaa muuntajille tehtävää huoltoa kutsutaan perushuolloksi. Raahan tehtaan huoltokierroksilla löytyy vuosittain alle viisi jakelumuuntajaa, jotka kaipaavat perushuoltoa. Jakelumuuntajien elinkaaren aikana perushuolto tehdään vain kerran. Perushuolto tulee muuntajille vastaan noin 25 vuoden iässä, mikäli paperieriste ei ole vaurioitunut liikaa. Perushuollon tekee kilpailutettu ulkopuolinen yritys ja sopimus tehdään aina vuodeksi kerrallaan. Raahan tehtaan terässulatolla olevien muuntajien käyttöikä on noin 40 vuotta. Oikein kuormitettuna muuntajan elinkaari voi kestää jopa 50 vuotta. (Holappa 2011.)

Rautaruukin terässulatolla on eri tehoisia ja kokoisia öljy- ja kuivamuuntajia. Nimellisjännitteen perusteella muuntajia on käytössä seuraavanlaisesti:

- 10 000 / 6000 V
- 10 500 / 6300 V
- 10 000 / 690 V
- 10 500 / 400 V
- 10 000 / 400 V
- 10 500 / 375 - 219 V (Holappa 2011.)

3.8 Muuntajan perushuolto ABB Oy:llä

ABB Oy:n asiakaslehden numeron 3/2009 artikkelissa ”Uusi elämä muuntajalle” Jaana Nikkari kirjoittaa mitä tapahtuu, kun päämuuntaja tuodaan ABB Oy:lle huoltoon. Savon Voiman verkkoalueella on 49 päämuuntajaa 39 sähköasemalla, joten muuntajakannan vanhetessa laadittiin huolto-ohjelma. Huolto-ohjelmaa on toteutettu vuodesta 2002 ja vuosittain huollatetaan kaksi muuntajaa. Juuri tuotu päämuuntaja on vuodelta 1974 ja alun perin Strömbergin valmistama. Muuntajan huollon tärkeimmät toimenpiteet ovat eristysosien kuivaus, käämien kiristys ja öljyn suodatus. Käämikytkimet tarkastetaan ja huolletaan, sekä puristusliitokset tarkistetaan ja kiristetään. Alajännitepuolen käämistä otetaan paperinäyte, jolla DP-arvo saadaan mitattua. Alle 400 DP:n käämipaperi ei välttämättä enää kestä mahdollista verkon oikosulkua. Mikäli DP-arvo on alhainen, tarvitaan uudelleenkäämitys. (Nikkari 2009.)

Käämipaperin DP-arvo on 770, joten uudelleenkäämitä ei tarvita. Tämän jälkeen valitsinosasta tarkistetaan jokainen kosketin, irrotetaan ja tarkastetaan läpiviennit ja huolletaan tehokytkin. Seuraavana vuorossa on 40 tuntia kestävä kerosiiniuunikuivaus. Uunin kerosiinihöyry puhdistaa muuntajan öljystä ja muista epäpuhtauksista. Tyhjiökuumennus poistaa liian kosteuden. Kuivatuksen aikana uunissa on 130 astetta lämmintä ja alipaine laskee lähes tyhjiöön. Alipaineessa vesi höyrystyy jo pienemmällä lämpötilalla, joten alipaine yhdistettynä korkeaan lämpötilaan takaa eristysten alhaisen kosteuden uunikäsittelyn jälkeen. (Nikkari 2009.)

Ihanteellinen perushuoltoikä muuntajille on 25-30 vuotta, mutta 50 prosentin kuormassa toimivat sähkölaitosmuuntajat voidaan huoltaa vielä 30-35-vuotiaina, sillä DP-luku on edelleen riittävä. Korkeammilla kuormilla toimivat muuntajat joutuvat huoltoon jo 15 vuoden iässä, joten kuormitus kuluttaa huomattavasti muuntajaa. (Nikkari 2009.)

Tyhjiökuumennuksen jälkeen käämit kiristetään oikosulkulujuuden palauttamiseksi. Muuntaja viedään vielä koekentälle standardien mukaan koestettavaksi. Muuntajasäiliön tiiviyyden tarkistamisen ja uuden pinnan jälkeen muuntaja on läpäissyt muuntajahuollon. (Nikkari 2009.)

3.9 Diagnostiikan yleistyminen

Lähetin sähköpostitse lisäkysymyksiä Spatialworld Oy:öön. Halusin tietää kuinka yleistä kiinteiden muuntajavalvontalaitteiden käyttö on Suomessa. Tiedustelin myös miten tuotteet ovat viime vuosina kehittyneet ja miten heillä yrityksessä nähdään diagnostiikan ja siihen liittyvien tuotteiden tulevaisuus. Spatialworld Oy:stä sähköpostiviestiini vastasi Timo Kontola.

Kontolan ja Spatialworld Oy:n kokemusten perusteella systemaattinen jakelumuuntajien valvonta on vielä vähäistä. Sähköverkon jakelumuuntajiin ei juurikaan ole asennettu kiinteitä valvontalaitteita, myös öljyjen analysointi laboratoriossa on vähäistä. Ainoastaan jakeluverkon kriittisissä jakelumuuntajissa saatetaan käyttää jatkuvan valvonnan laitteita. Kriittisiä jakelumuuntajia voi olla esimerkiksi sairaaloissa, kauppakeskuksissa tai keskellä kaupunkia. Tällöin jakelumuuntajat saattavat aiheuttaa riskejä esimerkiksi ympäristölle, palveluille ja rakenteille, sekä tapaturmariskin ihmisille. Kontolan mukaan eniten jakelumuuntajien öljyille tehtäviä laboratorioanalyyssejä käytetään hyväksi teollisuuslaitoksissa. Teollisuuslaitoksien sisätiloissa jakelumuuntajia voi olla useampia pienellä alueella, joten turvallisuuden, tuotannon ja ympäristön kannalta muuntajatuhon vaikutus on merkittävämpi. Analyysituloksilla on myös välittömiä jatkotoimenpiteitä, sillä mikäli kaasua on kehittynyt muuntajaan, se korvataan nopeasti uuteen. (Kontola 2012.)

Kontolan kertoo analysaattorien tekniikan kehittyneen viime vuosina ja valikoiman kasvaneen. Alun perin päämuuntajien valvontaa varten räätälöidyt tarkat ja erittäin monipuoliset laitteet ovat saaneet rinnalleen edullisempia hälytinalyysaattoreita. Analysaattorit hälyttävät tiettyjen rajojen ylittyessä ja tieto välittyy sähköyhtiön valvomoon. Mittaustietojen seurantaan ja tulkintaan tarkoitettut laitteet ovat kehittyneet niin, että kehitystrendien eli mittaustulosten suuntausten lisäksi ohjelmisto voi määrittää kaasupitoisuuksien perusteella todennäköisimmän vian laadun muuntajasta. (Kontola 2012.)

Suomessa ja muualla maailmassa kiinnostus muuntajien jatkuvaa valvontaa kohtaan Kontolan mukaan lisääntyy. Kunnossapidossa ollaan siirtymässä enenevässä määrin ennakoivaan huoltoon, muuntajat pyritään käyttämään mahdollisimman loppuun ilman turhia riskiä, muuntajakanta lisääntyy, vakuutusyhtiöiden kiinnostus riskienhallintaan on

kasvanut, älykkäät sähköverkot kuten SmartGrid asettaa lisävaatimuksia, meneillään oleva sukupolvenvaihdos ammattikunnassa ja ihmistyön kustannusten kasvu aiheuttaa henkilöresurssien pienenemisen. Nämä edellä mainitut asiat kasvattavat kiinnostusta muuntajavalvontaa kohtaan. (Kontola 2012.)

Päämuuntajatasolla jatkuva valvonta on yleistynyt aika nopeasti. Spatialworld Oy:ssä uskotaan, että kriittisiin jakelumuuntajiin jatkuva valvonta tulee yleistymään lähivuosina. Asiakkaiden hankintojen uskotaan tulevaisuudessakin perustuvan muuntajien kriittisyyteen ja riskienhallintaan, joten haja-asutusseudun pylväsmuuntajiin ei jatkuvaa valvontaa investoida ainakaan kymmeneen vuoteen tai ehkä ei koskaan. Investointikustannusten takia osa muuntajista jää valvonnan ulkopuolelle ja tarve valvonnalle kohdennetaan sinne mistä saadaan suurimmat hyödyt. Spatialworld Oy:ssä valvonnan uskotaan kaikilta osin lisääntyvän. Öljynäyteanalyysien uskotaan yleistyvän ensin, jonka jälkeen huomio kiinnittyy myös jatkuvatoimisiin valvontalaitteisiin. (Kontola 2012.)

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli selvittää uusia diagnostisia menetelmiä ja kuinka paljon verkkoyhtiöt hyödyntävät niitä. Diagnostisien menetelmien kysyntä on kasvanut sitä mukaan kuin muuntajien kunnossapito on muuttunut ennakoivaksi. Diagnostiikalla saadaan nykyään riittävän tarkka raportti muuntajan kunnosta ilman, että muuntajan kotelointia tarvitsee avata. Muuntajaöljynäytteen avulla löydetään pienetkin viat, jolloin niistä ei pääse kasvamaan suuria. Mikäli vain muuntajaöljynäyte on otettu asianmukaisesti, voi sen tulokseen luottaa.

Kiinteästi asennettavien analysaattoreiden avulla kriittisten muuntajien valvonta on helpompaa ja turvallisempaa. Analysaattori maksaa itsensä pian takaisin, jos sen ansiosta merkittävä vika havaitaan ajoissa ja säästytään esimerkiksi muuntajatuholta. Analysaattorin ansiosta iäkkäämpien muuntajien elinkaarta voidaan pidentää turvallisesti, kun valvonta onnistuu reaaliaikaisesti. Sen sijaan, että muuntaja vaihdettaisiin uuteen kaiken varalta.

Olikin yllätys, että verkkoyhtiöt käyttävät loppujen lopuksi aika vähän diagnostisia menetelmiä muuntajien kunnonvalvonnassa. Ainoastaan päämuuntajille tehdään öljyanalyysejä huollon yhteydessä ja yhdessä verkkoyhtiössä myös kriittisille jakelumuuntajille. Esimerkiksi kiinteästi asennettavia analysaattoreita ei käytetty ollenkaan haastattelemissani verkkoyhtiöissä ja kuitenkin suuri osa muuntajakannasta alkoi olla elinkaarensa loppupäässä.

Päämuuntajatasolla seuraava vaihe varmaan on kiinteästi asennettavien analysaattorien yleistyminen, jos päämuuntajille tehdään jo yleisesti muuntajaöljyanalyysejä. Uskon kuitenkin diagnostiikan yleistymiseen myös jakelumuuntajatasolla. Maaseudun jakelumuuntajissa ei diagnostiikkaa luultavasti tulla käyttämään lainkaan, mutta kriittisissä jakelumuuntajissa kiinteästi asennettavien analysaattoreiden käyttö tulee varmasti kasvamaan.

LÄHTEET

- ABB. 2009. Uusi elämä muuntajalle. Power-asiakaslehti. Www-julkaisu. Saatavissa: <http://abb.smartpage.fi/fi/power309/> Uusi elämä muuntajalle/Jaana Nikkari 3/2009. Luettu 12.11.2012
- Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., & Palva, V. 2011. Suurjännitetekniikka 3.painos. Jyväskylä: Bookwell Oy.
- Aura, L. & Tonteri, A.J. 2005. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 3.-5.painos. Helsinki: WSOY.
- Efora. Full service -sopimukset. 2012. Www-julkaisu. Saatavissa: <http://www.efora.fi/palvelut/full-service-sopimukset.html>. Luettu 8.11.2012
- Hakalahti, Henri 2012. Puhelinkeskustelu 14.11.2012. Pohjolan Werkonrakennus Oy.
- Heinonen, K. 2008. Öljynäyte kertoo muuntajan kunnan. Promaint 6. Www-julkaisu. Saatavissa: www.promaint.net/downloader.asp?id=3060&type=1. Luettu 20.10.2012
- Holappa, T. 2011. Terässulaton sähkönjakelu ja kunnossapito. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma.
- Kinnunen, Pekka 2012. Puhelinkeskustelu 14.11.2012. Kokkolan Energia.
- Kiviaho, Pertti 2012. Puhelinkeskustelu 14.11.2012. Raahen Energia Oy.
- Kontola, Timo 2012. Sähköpostikeskustelu 30.10.2012. Spatialworld Oy. Espoo.
- Maintpartner. Kunnossapitosopimus. Www-julkaisu. Saatavissa: <http://www.maintpartner.fi/fi/uutisia/uutiset-ja-tiedotteet.html>. Luettu 8.11.2012
- Mehtälä, Jukka 2012. Puhelinkeskustelu 14.11.2012. Herrfors Oy.

Myllyaho, Janne 2012. Sähköpostikeskustelu 21.11.2012. Efora Oy. Oulu.

Ruppa, E. & Lilja, T. 2003. Sähkötekniikkaa sivuaineopiskelijoille. 3.painos. Tampere: Tammertekniikka.

SGS. Muuntajaöljyn testaus. Www-julkaisu. Saatavissa:

<http://www.sgs.fi/fi-FI/Trade/Commodity-Trading/Oil-Gas-and-Chemicals/Laboratory-Services/Transformer-Oil-Testing.aspx>. Luettu 21.10.2012

Spatialworld. Muuntajavalvonta. 2012. Www-julkaisu. Saatavissa:

http://www.spatialworld.fi/public/md/fi/transformer_md_overview.shtml. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Intellix GLA 100. 2012. Www-julkaisu. Saatavissa:

http://www.spatialworld.fi/public/md/fi/intellix_gla_100.shtml. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Intellix GLA 100. 2010. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

<http://www.spatialworld.fi/public/documents/md/GLA100.pdf>. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Hydran M2. 2012. Www-julkaisu. Saatavissa:

http://www.spatialworld.fi/public/md/fi/hydran_m2.shtml. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Hydran M2. 2010. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

http://www.spatialworld.fi/public/documents/md/Hydran_M2.pdf. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Minitrans. 2012. Www-julkaisu. Saatavissa:

<http://www.spatialworld.fi/public/md/fi/minitrans.shtml>. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Minitrans. 2010. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

<http://www.spatialworld.fi/public/documents/md/Minitrans.pdf>. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Transport X. 2012. Www-julkaisu. Saatavissa:

http://www.spatialworld.fi/public/md/fi/transport_x.shtml. Luettu 19.9.2012

Spatialworld. Transport X. 2010. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

http://www.spatialworld.fi/public/documents/md/Transport_X.pdf. Luettu 19.9.2012

Ylikulju, J. 2009. Varamuuntajaselvitys. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma.

Vastasi 30.10.2012 16:09.

Hei Sari,

Kiitos mielenkiinnosta muuntajien kunnonhallintaan.

Suurin osa muuntajavalvontatuotteistamme sopii käytettäväksi myös jakelumuuntajien valvontaan. Parhaiten niistä jakelumuuntajiin sopii kiinteäsi asennettavat Intellix GLA 100, Hydran M2 ja Kelman MINITRANS. Kannettava analyysointilaitteisto Kelman TRANSPORT X soveltuu muuntajaöljyjen analysointiin öljynäytteestä. Esitteen ja kuvaukset näistä löytyvät kotisivuiltamme. Olet varmaan niihin jo perehtynytkin.

Kokemustemme perusteella jakelumuuntajien valvonta ei ole vielä kovin systemaattista. Kiinteästi muuntajaan asennetulla laitteella tapahtuvaa jatkuvaa valvontaa ei juuri jakelumuuntajissa vielä käytetä. Myöskään öljyjen analysointi laboratorioissa on aika vähäistä puhuttaessa sähköverkon jakelumuuntajista. Laboratorioanalyysijä jakelumuuntajien öljyille tehdään tällä hetkellä eniten teollisuuslaitoksissa joissa niitä on sisätiloissa pienellä alueella runsaasti ja mahdollinen muuntajatuho voi aiheuttaa merkittäviä häiriöitä turvallisuudelle, tuotannolle tai ympäristölle. Siellä analyysitulokset myös vaikuttaa toimenpiteisiin; mikäli kaasua kehittävä muuntaja seuloissa löytyy se korvataan hyvin nopeasti uudella.

Jakeluverkon jakelumuuntajissa poikkeuksia lienevät syystä tai toisesta kriittiseksi luokitellut jakelumuuntajat. Tällaisia voivat olla esim. kauppakeskuksissa, sairaaloissa tai keskellä kaupunkia olevat jakelumuuntajat jotka aiheuttavat riskejä.

- ympäristölle,
- ihmisille (tapaturmariskit)
- palveluille ja rakenteille
- jne.

Analyysointitekniikka on kehittynyt viime vuosien aikana. Myös valikoima on laajentunut. Tämä tarkoittaa, että alun perin päämuuntajien valvontaan tarkoitettujen erittäin monipuolisten ja tarkkojen laitteiden rinnalle on kehitetty edullisempia ns. palovaroitintyyppisiä analyysointilaitteita jotka hälyttävät esim. sähköyhtiön valvomoa asetettujen rajojen ylityttyä. Myös laitteiden tuottaman mittatiedon seurantaan ja tulkintaan tarkoitettuja ohjelmia ovat kehittyneet; ohjelmisto voi kertoa käyttäjälle normaalien kehitystrendien lisäksi eri kaasujen pitoisuuksien perusteella mm. mikä vika muuntajassa todennäköisimmin on.

Kiinnostus muuntajien jatkuvaan valvontaan lisääntyy niin maailmalla kun meilläkin. Syitä on useita;

- muuntajakanta ikääntyy,
- muuntajat halutaan käyttää mahdollisimman loppuun ennen uusintaa turhia riskejä ottamatta,
- kunnossapito siirtyy enenevässä määrin ennakoivaan suuntaan,
- vakuutusyhtiöiden kasvava kiinnostus riskienhallintaan,
- älykkäiden sähköverkkojen (SmartGrid) asettamat vaatimukset,

- ammattikunnassa menossa oleva sukupolvenvaihdos,
- henkilöressurssien pieneneminen ja ihmistyön kustannusten kasvu,
- jne.

Jatkuva valvonta on yleistynyt melko nopeasti ns. päämuuntajatasolla. Jakelumuuntajissa vastaavat investoinnit eivät vielä ole olleet merkittäviä mutta kriittisimpiin kohteisiin mielestämme ne tulevat lähivuosina. Toisaalta emme usko, että jatkuva valvonta tulisi ihan jokaiseen maaseudun pylväsmuuntajaan edes kymmenen vuoden kuluessa. Asiakkaiden hankinnat perustuvat kustannus-/hyötylaskelmiin jossa muuntajakantaa katsotaan mm. kriittisyyden ja riskienhallinnan kannalta. Tällöin osa muuntajista tietenkin jätetään valvonnan ulkopuolelle ja investoinnit sijoitetaan sinne missä suurimmat hyödyt on saatavissa.

Mutta kaiken kaikkiaan valvonta tulee lisääntymään. Ensin öljynäytteiden kautta ja myöhemmin jatkuvatoimisten laitteiden avulla. Jatkuvatoimisten etuna on nimensä mukaan jatkuvatoimisuus, kyky hälyttää vaurion sattuessa ja mahdollisuus seurata muutoksia eri tekijöiden summana.

Toivottavasti edellä mainitusta oli apua.

Terveisin,

Timo Kontola
Spatialworld Oy
Tekniikantie 12 (Innopoly 1)
FI-02150 Espoo, Finland
Mob +358 45 670 2942
Fax +358 9 412 7163
www.spatialworld.fi