



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PÄÄMUUNTAJIEN KAASUANALYSAATTORIT KUNNONVALVONNASSA

TEKIJÄ

Jarno Strengell

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Jarno Strengell	
Työn nimi Päämuuntajien kaasuanalysointit kunnonvalvonnassa	
Päiväys 10.4.2019	Sivumäärä/Liitteet 33/1
Ohjaajat lehtori Jari Ijäs, yliopettaja Juhani Rouvali	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Yara Suomi Oy, Siilinjärvi	
Tiivistelmä Opinnäytetyössä tehtiin esiselvitys Yaran Siilinjärven tehtaille, päämuuntajien kunnonvalvontaan hankittavista kaasuanalysointilaitteista. Kaasuanalysointilaitteilla pystytään valvomaan muuntajan kuntoa ja välttämään mahdollisten vikatilanteiden syntyminen. Työssä vertaillaan eri kaasuanalysointilaitteiden ominaisuuksia ja käydään läpi asennuksessa huomioonotettavia asioita. Eri valmistajien kaasuanalysointilaitteiden vertailulla pyritään selvittämään käyttäjälle parhaiten soveltuva laite. Kaasuanalysointilaitteissa on paljon valmistajakohtaisia eroja, joita käsitellään tässä opinnäytetyössä. Työssä vertailtiin muun muassa kaasuanalysointilaitteilla mitattavia kaasuja sekä laitteiden rakennetta. Tietoa kerättiin laitteiden valmistajilta ja tuotteiden esitteistä. Yaran aikaisempi kokemus kaasuanalysointilaitteista oli vähäinen, mikä teki opinnäytetyöstä tarpeellisen. Tuloksena sain valittua mielestäni parhaiten Yaran kunnonvalvontaan sopivan analysointilaitteen. Tämän raportin myötä päämuuntajien kaasuanalysointilaitteiden hankinta voidaan budjetoida ja hanke aloittaa.	
Avainsanat Kaasuanalysointilaitteet, tehomuuntaja	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Jarno Strengell			
Title of Thesis Main Transformers Gas Analyzer for Condition Monitoring			
Date	10 April 2019	Pages/Appendices	33/1
Supervisors Mr. Jari Ijäs, Senior Lecturer, Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Yara Suomi Oy, Siilinjärvi			
Abstract The purpose of this thesis was to carry out a preliminary study on gas analyzers for the condition monitoring of main transformers. The thesis was commissioned by Yara Siilinjärvi. The gas analyzer is capable of monitoring the condition of the transformer and avoiding the development of failure situations. The thesis compared the properties of different gas analyzers and went through the things to consider in the installation. The comparison of gas analyzers from different manufacturers aimed to identify the most suitable device for the commissioner. There are a lot of manufacturer specific differences in gas analyzers that are discussed in this thesis. The work compared the gases to be measured with gas analyzers and the structure of the device. Information was collected from equipment manufacturers and product brochures. Yara's previous experience with gas analyzers has been small, which made the thesis necessary. As a result of this thesis, based on the research the best gas analyzer for Yara's condition monitoring was selected. With this report, the purchase of gas analyzers for the main transformers can be started.			
Keywords Gas analyzer, power transformer			

ESIPUHE

Haluan kiittää mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta työn ohjaajaani sähkökoordinaattori Antti Lappia, sekä sähköpäälikkö Pasi Raatikaista. Kiitän myös ohjaavia opettajia Jari Ijästä ja Juhani Rouvalia hyvästä ohjauksesta ja neuvoista työn aikana.

Lisäksi haluan kiittää Yaran työntekijöitä, jotka ovat auttaneet minua tarvittavien materiaalien ja dokumenttien etsinnässä oman työaikansa ohella. Kiitos Yara Siilinjärven tehtaille, missä on ollut erinomaiset mahdollisuudet opinnäytetyön tekemiseen.

Kuopiossa 10.4.2019

Jarno Strengell

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
2	YARA SUOMI OY	8
2.1	Yara Siilinjärven tehtaot	8
3	TEHOMUUNTAJA	9
3.1	Jännitteen säätö	10
3.2	Rakenne.....	10
3.3	Öljymuuntaja.....	11
3.4	Suojaus ja valvonta.....	12
4	MUUNTAJAN VIKATYYPIT	13
4.1	Paperieristeen vanheneminen	13
4.2	Riittämätön jäähdytys	15
4.3	Sisäinen oikosulku.....	15
4.4	Läpilyönnit.....	15
4.5	Ulkoisten syiden aiheuttamat häiriöt ja viat.....	16
5	KAASUANALYSAATTORI	16
5.1	Rakenne ja toiminta	17
5.2	Vikakaasut.....	19
5.3	Ennakoitavat viat	20
6	KAASUANALYSAATTOREIDEN VERTAILU	21
6.1	Vertailtavat laitteet.....	22
6.1.1	Ominaisuuksien vertailu.....	24
6.2	Asennusmahdollisuudet.....	26
6.2.1	Liittäminen automaatiojärjestelmään	27
6.3	Kustannukset.....	28
7	VALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	29
7.1	Valinta	29
8	YHTEENVETO.....	31
8.1	Lopputulokset.....	31
9	LÄHDELUETTELO.....	32
	LIITE 1: KELMAN DGA 900 TEKNISET TIEDOT	34

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on tehdä esiselvitys neljään päämuuntajaan tulevasta kaasuanalysaattorista. Opinnäytetyön aiheen sain Yara:n Siilinjärven toimipaikalta, työskenneltyäni siellä kesät 2017 ja 2018, jonka jälkeen keskustelimme mahdollisesta opinnäytetyön aiheesta. Teollisuusproses-
sissa päämuuntajat ovat kriittisiä laitteita sähkönjakelun kannalta. Sähkönjakelun turvaamiseksi voi-
daan käyttää muuntajiin sijoitettavia kaasuanalysaattoreita, joilla muuntajien kuntoa voidaan seu-
rata. Kaasuanalysaattori analysoi muuntajan mahdollisia alkavia vikoja muuntajan sisälle muodostu-
neen kaasun, ja siitä otetun näytteen perusteella.

Opinnäytetyön tilaajalle kaasuanalysaattoreiden käyttö auttaa ennakoimaan mahdollisia muuntajan
vikaantumisia ja siitä johtuvia sähkökatkoja. Mikäli mahdolliset vikaantumiset pystytään ennakoii-
maan, voidaan rinnalla oleva muuntaja ottaa käyttöön ja kytkeä vikaantunut muuntaja irti. Kun
muuntajassa on havaittu mahdollista vikaa, pystytään vika selvittämään ja muuntaja mahdollisesti
korjaamaan takasin käyttökuntoon. Ennakoimattomat sähkökatkokset aiheuttavat tulonmenetyksiä
ja kustannuksia, jotka voidaan välttää käyttämällä kaasuanalysaattoria muuntajan kunnonvalvon-
taan.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

Ensiökäämi	Yläjännitepuoli
Toisiokäämi	Alajännitepuoli
Impregnointi	Kyllästäminen
Absorptio	Imeytyminen toiseen aineeseen
GC	Gas chromatography, kaasukromatografia
PAS	Photo acoustic spectroscopy, fotoakustinen spektroskopia
IR	Infrared technology, infrapuna-tekniikka
I/O	Input/output

2 YARA SUOMI OY

Yara Suomi Oy on kansainvälisen Yara International ASA:n tytäryhtiö. Ennen Yara on ollut osa Kemira ja valtion myytyä osuutensa Kemira GrowHow:sta Yaralle vuonna 2007, GrowHow:sta tuli norjalaisen Yara International ASA:n tytäryhtiö. Yara on kemian alan yritys, jonka päätuotteita ovat lannoitteet, teollisuuskemikaalit sekä ympäristönsuojelutuotteet. Yara Suomi Oy:llä on tuotantolaitokset Uudessakaupungissa, Kokkolassa ja Siilinjärvellä, sekä tutkimusasema Vihdissä ja myyntikonttori Espoossa. (Yara, 2019)

”Yara tuottaa Suomessa noin 1,5 miljoona tonnia lannoitetta vuodessa, josta 75 % menee vientiin, sekä 160 000 tonnia teollisuustuotteita, joista vientiin menee noin 25 %.” (Yara, 2019).

2.1 Yara Siilinjärven tehtaat

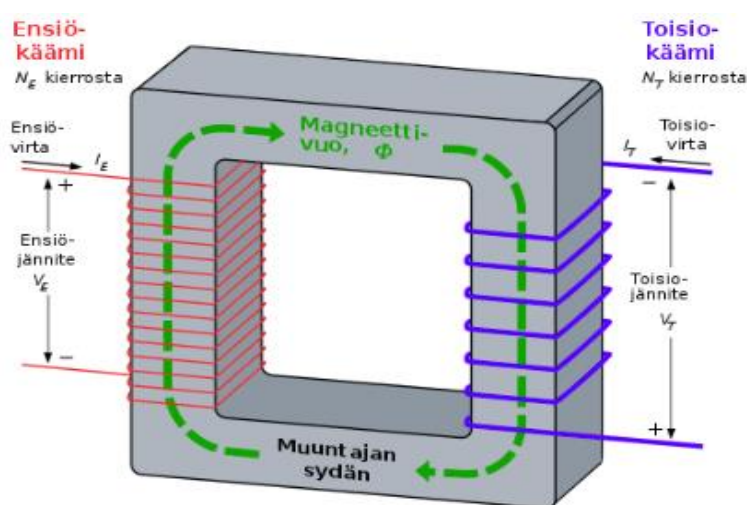
Siilinjärvellä sijaitsevilla Yaran tehtailla päätuotteita ovat lannoitteet ja fosforihappo. Lannoitteiden tuotantokapasiteetti on 500 000 tonnia vuodessa, ja fosforihapon 300 000 tonnia vuodessa. Siilinjärven tehdasalueella on neljä eri tuotantolaitosta lannoitetehtas, fosforihappotehtas, typpihappotehtas ja rikkihappotehtas. Tehdasalueella on myös oma voimalaitos missä tuotetaan sähköä tehtaan tarpeisiin. Kaivosalueella toimii Länsi-Euroopan ainoa fosfaattikaivos sekä Suomen suurin avolouhos. Kaivosalueella on myös rikastamo ja pastalaitos. Siilinjärven tehtaiden toiminta on alkanut vuonna 1969 ja kaivostoiminta kymmenen vuotta myöhemmin. Yara on Siilinjärven suurin teollinen työnantaja ja se työllistää välittömästi noin 400 henkilöä. (Yara, 2019)



KUVA 1. Yara Siilinjärven tehtaat (Pohjois-Savon liitto, 2016)

3 TEHOMUUNTAJA

Muuntaja on sähkökone, joka muuntaa vaihtosähkön jännitteen tai virran toiseksi saman taajuiseksi jännitteeksi tai virraksi. Muuntajan sisällä on yksi yhteinen rautasydän minkä ympärille on kiedottu johtimia eli käämejä. Rautasydän koostuu ohuista kidesuunnatuista rautalevyistä, jotka päällystetään ohuella eristekerroksella. Näin vältetään suuret pyörrevirrat, jotka lisäävät häviöitä. (Ristimäki, 2012, s. 5) Yksinkertaisessa muuntajassa on kaksi toisistaan erotettua käämiä rautasydämen ympärillä. Käämien päät on tuotu muuntajan ulkopuolelle sähkökaapeleiden kytkemistä varten. Kun muuntajan ensiökäämiin tuodaan jännite, ensiökäämissä kulkeva vaihtovirta synnyttää rautasydämeen muuttuvan magneettivuon, jolloin toisiokäämiin indusoituu keskinäisinduktanssin vaikutuksesta, sen käämin kierroslukua vastaava jännite.



KUVA 2. Yksivaihemuuntajan toimintaperiaate (Peda, 2018)

Muuntajan muuntosuhde saadaan kaavalla:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

(1)

jossa

U_1	on	ensiökäämin jännite
U_2	on	toisiokäämin jännite
N_1	on	ensiökäämin kierrosten lukumäärä
N_2	on	toisiokäämin kierrosten lukumäärä.

Muuntaja ei voi toimia tasavirralla, koska tasavirran magneettikenttä ei muutu. Jännitteen indusoituminen tarvitsee magneettikentän muutoksen, jolloin magneettivuon muutosnopeus on tarpeeksi suuri, jotta jännite indusoituu. Vuo syntyy virran avulla ja siten vaihtovirta synnyttää muuttuvan vuon. Rautasydämen avulla ensiökäämissä syntynyt magneettivuo kulkeutuu toisiokäämiin.

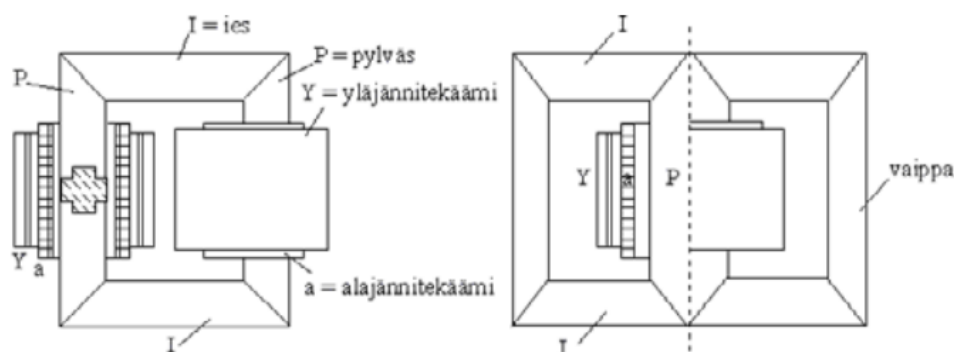
3.1 Jännitteen säätö

Sähköverkossa tapahtuvan jännitevaihtelun vuoksi muuntajan jännitettä pitää pystyä säätämään. Tehomuuntajassa, jossa jännitteen katkaiseminen ei ole mahdollista käytetään käämikytkintä jännitteen säätöön. Käämikytkimellä voidaan muuttaa muuntajan muuntosuhdetta muuntajan ollessa kuormitettuna. Yleensä käämikytkimellä muutetaan muuntajan yläjännitepuolen johdinkierroslukua, koska virta on pienempi ylä- kuin alajännitepuolella. (Setälä, 2005, s. 18)

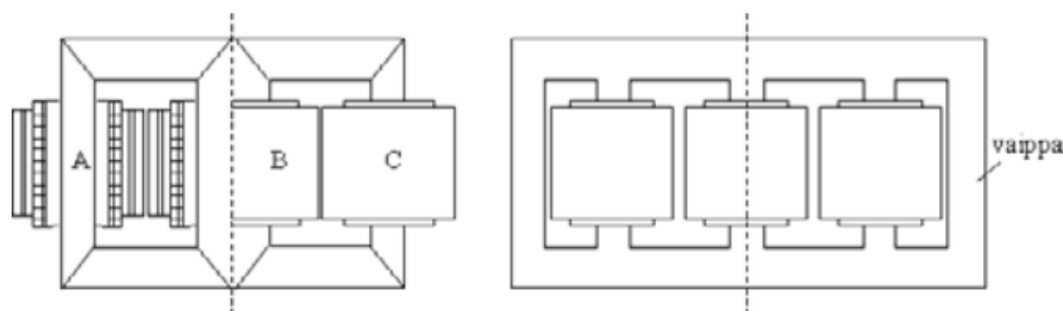
Myös väliottokytkimellä voidaan säätää muuntajan muuntosuhdetta ja sitä kautta jännitettä. Väliottokytkintä voidaan käyttää vain silloin kun muuntaja on jännitteetön ja irti sähköverkosta. Ennen väliottokytkimen käyttöä täytyy huomioida, että muuntajan käyttö on keskeytettävä muuntosuhteen säädön ajaksi. Väliottokytkintä ohjataan muuntajan kannelta, eikä säätöä saa jättää virheelliseen asentoon, muuntajan mahdollisen vioittumisen vuoksi. (Setälä, 2005, s. 17)

3.2 Rakenne

Sähkönjakelussa käytettävän kolmivaiheverkon takia sähköverkkoon liitetyt tehomuuntajat sisältävät jokaiselle kolmelle vaiheelle tarvittavat ensiö- ja toisiokäämit. Näin jokaisen vaiheen jännite pystytään muuntamaan haluttuun arvoon. Sisäiseltä rakenteeltaan muuntaja voi olla joko sydän- tai vaippamuuntaja. Sydänmuuntajassa pylväät ja ikeet muodostavat rautasydänmuuntajan magneettipiirin. Käämitykset ovat pylväiden ympärillä ja pylväät on kiinnitetty toisiinsa ikeillä. Muuntajan hajavuota ja hajareaktanssia saadaan pienennettyä sijoittamalla ensiö- ja toisiokäämit samalle pylväälle, tämä onnistuu sijoittamalla käämit sisäkkäin. Yksivaiheisessa vaippamuuntajassa käämit on sijoitettu keskimmaiselle pylväälle ja käämejä kiertää kahdesta pylvästä koostuva vaippa, mitkä yhdistetään ikeillä. (Korpinen, 2008)



KUVA 3. a) Yksivaiheinen sydänmuuntaja b) Yksivaiheinen vaippamuuntaja (Korpinen, 2008)



KUVA 4. a) Kolmivaiheinen sydänmuuntaja b) Kolmivaiheinen vaippamuuntaja (Korpinen, 2008)

3.3 Öljymuuntaja

Tehomuuntajat nimetään kuiva- tai öljymuuntajiksi niiden jäähdytystavan mukaan. Yleisimmin käytössä olevassa öljymuuntajassa öljyn tehtävänä on jäähdyttää muuntajaa sekä toimia eristeenä. Öljymuuntajan käämit ja rautasydän on upotettu muuntajaöljyyn. Öljy kuljettaa käämeissä ja rautasydämissä aiheutuvaa lämpöä muuntajan seinämiin, ja sitä kautta ilmaan. Muuntajan jäähdytystä voidaan lisätä suurentamalla muuntajan jäähdytyspintaa aaltolevyllä tai jäähdytysriivoilla. Muuntajassa voi olla myös radiaattori missä kierrättämällä öljyä voidaan jäähdyttää muuntajaa. Radiaattorin toimintaa voidaan tehostaa lisäämällä tuulettimet puhaltamaan ilmaa radiaattoriin, jolloin lämpö haihtuu tehokkaammin. (Korpinen, 2008)

Öljyn tehtävä eristeenä on suojata muuntajaa valokaarilta ja sähköpurkauksilta. Muuntajaöljynä käytetään usein mineraaliöljyä, joka on alhaisen viskositeetin ansiosta hyvin sopiva Suomen ilmastoon. Öljyn täytyy olla juoksevaa myös talvella, jotta se täyttää muuntajan raot huolellisesti ja näin eristää sekä jäähdyttää muuntajaa. (Puranen, 2012, s. 8)

Öljymuuntajassa olennaisena osana oleva paisuntasäiliö sallii muuntajaöljyn supistumisen ja laajentumisen öljyn lämpötilan mukaan. Kun paisuntasäiliön öljytilavuus kasvaa se hengittää ulospäin, ja kun öljytilavuus pienenee se hengittää sisäänpäin. Tämän vuoksi muuntajassa täytyy olla ilman-kuivain, joka sitoo sen läpi kulkevaa kosteutta itseensä. Paisuntasäiliö hengittää muuntajassa olevan ilman-kuivaimen läpi, kun ilmaa vedetään sisäänpäin paisuntasäiliöön. Näin muuntajan sisälle ei mene kosteutta, mikä edesauttaa muuntajan elinkaaren pidentymistä.

Muuntajaöljy on todella tärkeä tiedonlähde. Muuntajasta otetusta öljynäytteestä saadaan paljon tietoa muuntajan kunnosta ja mahdollisista alkavista vioista. Erilaiset hitaasti etenevät muuntajan viat synnyttävät erilaisia vikakaasuja muuntajan sisällä. Vikakaasut liukenevat muuntajaöljyyn ja näin öljystä otetusta näytteestä pystytään analysoimaan öljyyn liuenneita kaasuja, eli mahdollisia alkavia vikoja. Öljy näytteenotto täytyy tehdä määrääjain, jotta muuntajan kuntoa pystytään seuraamaan ja reagoimaan mahdolliseen vikatilanteeseen. Näytteenottoväli riippuu muuntajasta ja sen tärkeydestä.



KUVA 5. ABB:n 40 MVA päämuuntaja Yara Siilinjärvi, kaivos (Strengell, 2019)

3.4 Suojaus ja valvonta

Päämuuntajat täytyy suojata, jotta minimoidaan mahdollisten vikojen aiheuttamat kustannukset ja prosessin keskeytykset. Päämuuntaja on todella arvokas, huonosti korvattava ja erittäin kriittinen sähkökone, joten se on suojattava hyvin.

Tehomuuntajan suojaukseen ja valvontaan käytettäviä laitteita:

- Ylivirtarele
- Kaasurele
- Virtausrele
- Ylipaineventtiili
- Lämpömittari
- Käämin lämpötilan kuvaaja
- Öljymäärän osoitin
- Ilmankuivain
- Öljyanalysaattori
- Kaasuanalysaattori

Mikäli muuntajassa ei ole kaasuanalysaattoria, on muuntajan vikatilanteiden suojaukseen tarkoitettu kaasurele ainut muuntajan kaasuihin reagoiva suojalaite. Kaasurele toimii muuntajan suojana, kun muuntajassa esiintyy vika, mikä saa aikaan öljyn nopean hajoamisen kaasuksi. Releessä on kaksi hälytyspiiriä (hälytys- ja laukaisukosketin), joista laukaisupiiri kytketään muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. Kaasureleen ja kaasuanalysaattorin erot ovat huomattavat, kaasurele suojaa muuntajaa vikatilanteesta, mutta vikatilanteiden ennakointi onnistuu parhaiten kaasuanalysaattorilla.

4 MUUNTAJAN VIKATYYPIT

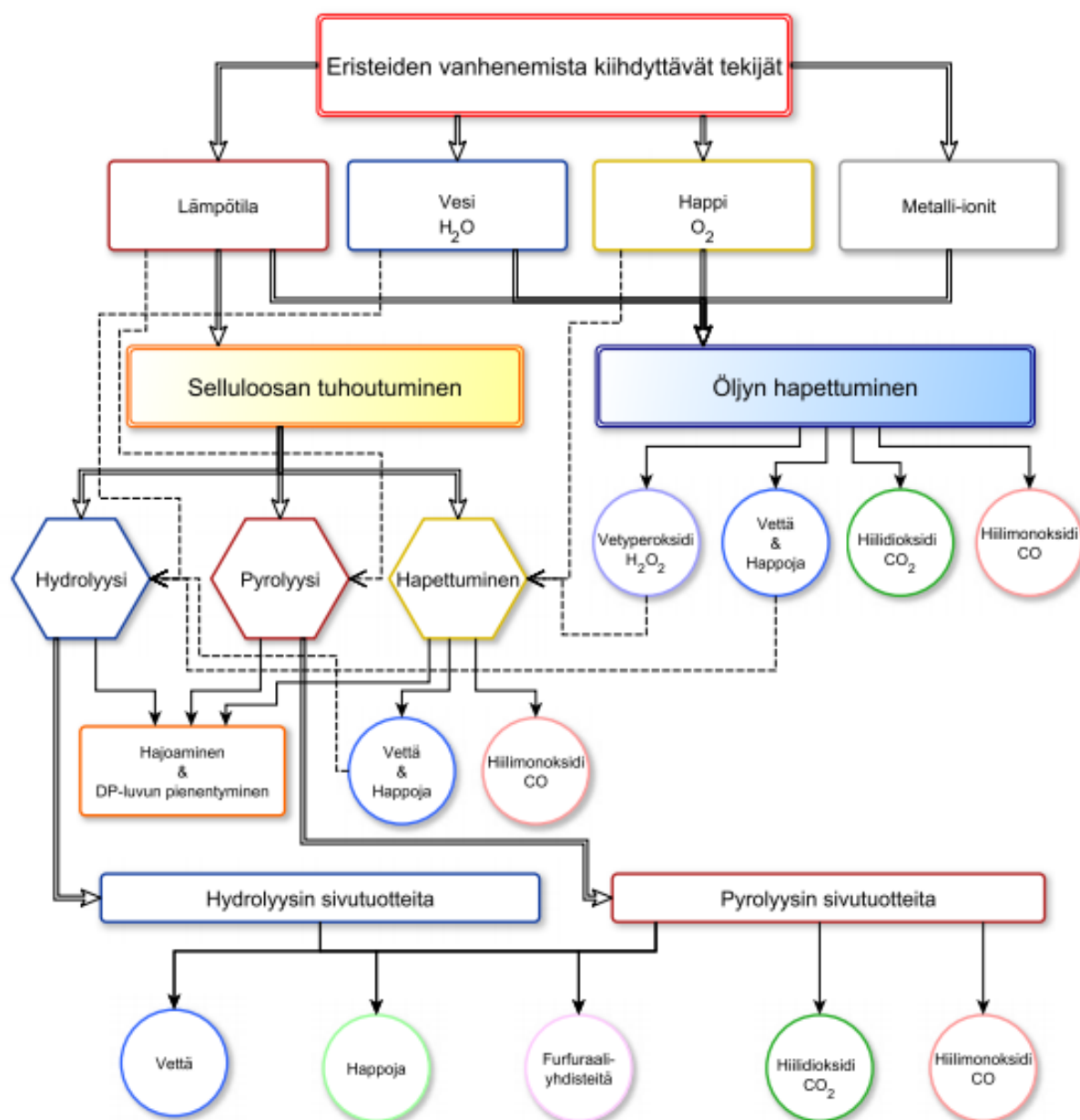
Tehomuuntajan vika voi syntyä monesta eri syystä ja yleensä muuntajavian sattuessa muuntaja vaurioituu pahoin.

Teollisuudessa muuntajavian syntyä voi ehkäistä huolehtimalla muuntajan ulkoisesta puhdistuksesta, varsinkin sisällä pölyisissä paikoissa olevien muuntajien osalta. Muuntajien kuntoa tulisi valvoa myös öljyanalyysillä ja mahdollisella kaasuanalyssaattorilla. Muuntajien vikoja voidaan myös ehkäistä huoltamalla muuntaja määräajoin. Muuntajan ihanteellinen huoltoikä on 25–30 vuotta. Korkealla kuormituksella olevien teollisuuden prosessimuuntajien huoltoikä on 15 vuotta. Näin voidaan varmistaa muuntajan toiminta ja pidentää sen elinkaarta. (ABB, 2009)

4.1 Paperieristeen vanheneminen

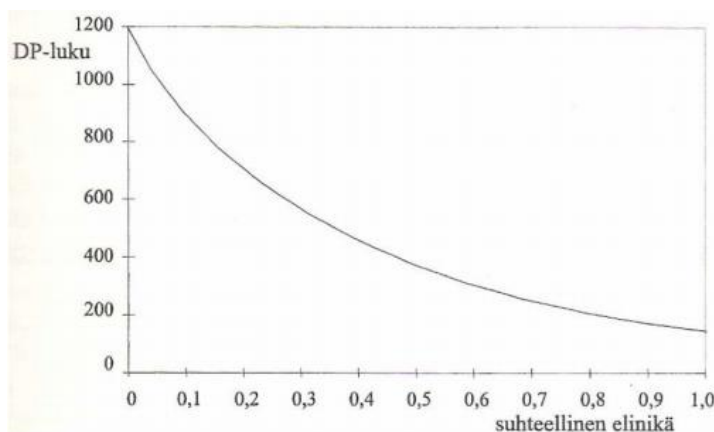
Paperieristettä käytetään muuntajan käämitysten, läpivientien ja johtimien eristeenä. Kun paperi impregnoidaan muuntajan öljyllä, saadaan eristeeseen riittävä jännitelujuus. (Huurinainen, 2006, s. 32) Muuntajan käytön kannalta oleellisin asia on paperieristeen vanheneminen, joka johtuu pääsääntöisesti korkeista lämpötiloista, kosteudesta ja hapesta.

Kuvassa 6 on esitetty eristeiden vanhenemista kiihdyttävät tekijät, mistä nähdään korkean lämpötilan, veden, hapen ja metalli-ionien vaikutukset kemiallisten yhdisteiden syntymiseen. Nämä kemialliset yhdisteet nopeuttavat selluloosan tuhoutumista eli muuntajan paperieristeen vanhenemista.



KUVA 6. Eristeiden vanhenemista kiihdyttävät tekijät lisäävät muuntajan vikaherkkyyttä ja pienentävät elinkaarta (Vaisala, 2019, s. 7)

Paperieristeen vanhenemista voidaan seurata öljyanalysointorilla tai ottamalla öljynäyte muuntajan huollon yhteydessä. Öljynäytteestä mitataan paperin polymerisoitumisaste eli DP-luku, joka kertoo paperin keskimääräisen glukoosirenkaiden lukumäärän molekyyliä kohti. Kun DP-luku laskee, glukoosirenkaista muodostuneet ketjut katkeavat ja paperi haurastuu. (Penttilä, 2017, s. 20)



KUVA 7. Muuntajan ikä suhteessa DP-lukuun (Huurinainen, 2006, s. 34)

4.2 Riittämätön jäähdytys

Muuntajan ylikuumeneminen voi johtua muuntajan ulkopintaan tarttuneesta liasta, mikä muodostaa hyvin eristävän kerroksen muuntajan pintaan ja heikentää jäähdytystä. Myös muuntajien sijoituspaikat täytyy ottaa huomioon, jotta muuntaja pääsee jäähtymään vapaasti. Käyttöympäristön lämpötila saattaa nousta todella nopeasti, mikäli samassa tilassa on muita lämpöä tuottavia laitteita ja ilmanvaihto on huono. Ylikuumeneminen voi aiheutua myös liiallisesta kuormituksesta, sekä huonoista liitoksista muuntajassa.

4.3 Sisäinen oikosulku

Oikosulussa kaksi eri potentiaalin johdinta ovat suoraan kosketuksissa toisiinsa, jolloin virta kasvaa todella suureksi. Muuntajan sisäinen oikosulku voi aiheutua paperieristeen tai öljyn vanhenemisen seurauksena. Paperieristeen tai öljyn huonokuntoisuus alentaa muuntajan eristyskykyä ja kasvattaa muuntajan sisäisen oikosulun riskiä.

4.4 Lämpilyönnit

”Sähkölämpilyönti tapahtuu suhteellisen puhtaassa nesteessä ja on samantapainen kuin lämpilyönti kaasuissa. Sähkökenttä kohdistaa katodilta eri syiden, kuten emission ja sähkökemiallisten prosessien johdosta irtautuviin ja nesteessä oleviin elektrodeihin voiman, joka aiheuttaa elektroniviryön eli elektronien liikkeen sähkökentän suunnassa. (Huurinainen, 2006, s. 30)”

Kuplälämpilyönti tapahtuu öljyn sekaan muodostuneissa pienissä kaasukuplissa, mitkä ovat syntyneet aikaisemmissa sähköpurkauksissa tai ovat peräisin öljyn epäpuhtauksista, kuten kaasuista tai vesihöyrystä. (Huurinainen, 2006, s. 30)

Epäpuhtausläpilyönti tapahtuu muuntajaöljyssä olevien epäpuhtauksien seurauksena. Muuntajaöljyssä olevia epäpuhtauksia voivat olla metallihiukkaset tai eristeestä irronneet kuidut. Paperieristeestä voi myös irrota vanhenemisen seurauksena selluloosakuituja, jotka edesauttavat läpilyöntejä. (Huurinainen, 2006, s. 31)

4.5 Ulkoisten syiden aiheuttamat häiriöt ja viat

Muuntajien ulkoisia häiriöitä voivat aiheuttaa sääolosuhteet sekä muuntajan sijainnista tai eläimistä aiheutuneet ilmiöt. Muuntajan kannen päälle päässeet eläimet tai puut voivat aiheuttaa hetkellisiä oikosulkuja muuntajaan ja näin keskeytyksiä sähkönjakeluun. Verkosta voi aiheutua ulkoisia vikoja kuten maa- ja oikosulut, ylikuormitus, epäsymmetrinen kuormitus, sekä muut siirtoverkon häiriöt. (Rissanen, 2015, s. 13) Sähköverkon ulkoiset viat voivat rasittaa muuntajaa ja siten aiheuttaa muuntajaan vian tai nopeuttaa muuntajan vanhenemista.

5 KAASUANALYSAATTORI

Kaasuanalysaattori on laite, jolla pystytään seuraamaan muuntajan tilaa lähes reaaliaikaisesti ja näin ennakoimaan nopeammin mahdollisen huollon tarve. Mikäli muuntajassa ei ole kaasuanalysaattoria, täytyy kaasuanalyysi tehdä öljystä otetun näytteen avulla, mistä nähdään mahdolliset öljyyn liuenneet vikakaasut. Markkinoilla on saatavilla yksikaasuanalysaattoreita ja monikaasuanalysaattoreita valmistajasta ja tyypistä riippuen. Laitteella voidaan seurata muuntajaöljyyn liuenneiden vikakaasujen määrää ja näin analysoida alkavia vikoja. Kaasuanalysaattorilla vikakaasujen seuraukset onnistuu lähes reaaliajassa, joten laitetta voidaan hyödyntää tehokkaasti muuntajan kunnonvalvonnassa. Kuvassa 8 esimerkki ABB:n yksikaasuanalysaattorista.



KUVA 8. ABB CoreSense vety ja kosteus, yksikaasuanalysaattori (ABB, 2018, s. 1)

5.1 Rakenne ja toiminta

Kaasuanalyysaattoreiden valmistajia on useita ja laitteiden teknisissä rakenteissa on eroavaisuuksia. Yksikaasuanalyysaattorin rakenne on yksinkertaisempi kuin monikaasuanalyysaattorin, mikä on suoraan verrattavissa laitteen hintaan.

Yksikaasuanalyysaattorin mitta-anturi on yleensä suoraan muuntajan öljytilassa. Asennustapa on nopea ja kustannustehokas, kun laite voidaan kytkeä suoraan muuntajan venttiiliin. Yleisin yksikaasuanalyysaattorilla mitattava kaasu on Vety (H_2), jonka lisäksi mitataan yleensä myös kosteutta.

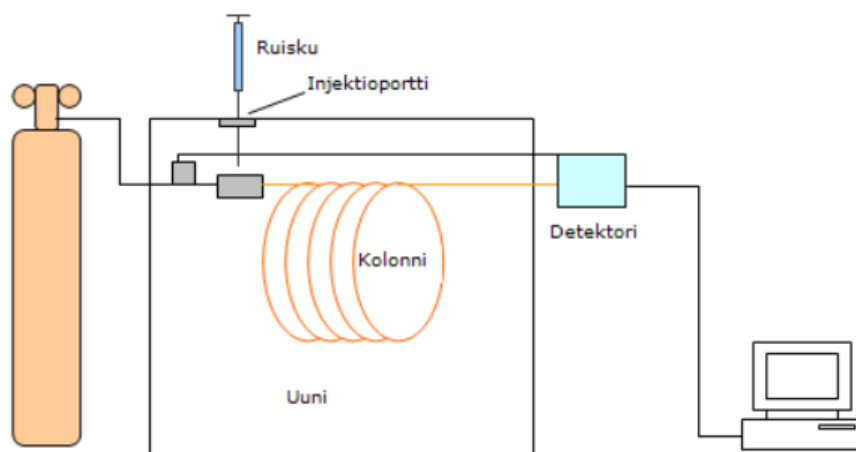
Monikaasuanalyysaattori sisältää erillisen kaasuanalyysaattorin, minne muuntajaöljy tai öljystä eroteltu kaasu kuljetetaan analysoitavaksi. Analyysaattoreissa voi olla erillinen mitta-anturi muuntajan öljytilassa, jolloin osa mittauksista suoritetaan erillisellä mitta-anturilla ja osa kaasuanalyysaattorilla tai kaikki mitattavat arvot mitataan kaasuanalyysaattorilla. Laitteissa on valmistajakohtaisia eroja mitaustavoissa ja mitattavissa kaasuissa. Kaasun erotteluun muuntajaöljystä käytetään puoliläpäisevää kalvotekniikkaa, kaasun erotusta öljystä alipaineella tai Henryn lakia käyttäen, eli kaasujen tasapainolakia hyödyntäen.

Monikaasuanalyysaattorin toimintaperiaate:

- Otetaan öljynäyte muuntajasta kaasuanalyysaattoriin
- Erotellaan liuenneet kaasut öljystä
- Analysoidaan kaasut
- Liuotetaan kaasut takaisin öljyyn tai tuuletetaan mittauskammio
- Palautetaan öljynäyte muuntajaan

Monikaasuanalyysaattorit käyttävät kolmea eri mittaustapaa kaasujen analysointiin: kaasukromatografia (GC), fotoakustinen spektroskopia (PAS) ja infrapunatekniikka (IR).

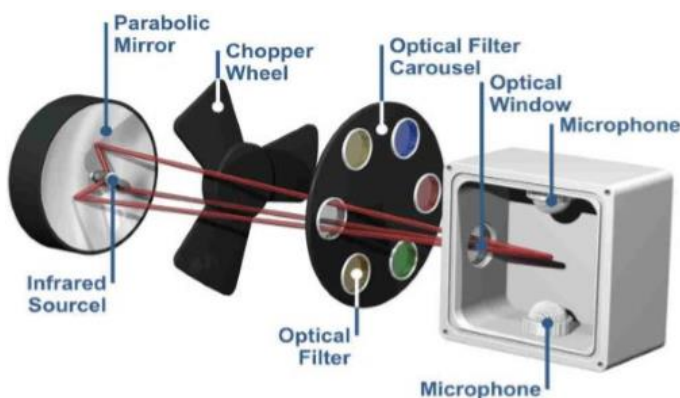
GC eli kaasukromatografian mittaustapa edellyttää kantajakaasua ja mahdollisesti myös referenssi-kaasua. Mittauksen ylläpito on kallista, kun kantajakaasua täytyy olla mittauksen suorittamista varten. (Multirel, 2019)



KUVA 9. Kaasukromatografia (Opetushallitus, 2019)

Kantajakaasu johdetaan injektoriin. Näyte syötetään liuottimeen liotettuna injektioammioon, jossa se höyrystyy korkeassa lämpötilassa. Höyrystynyt näyte kulkeutuu kantajakaasun mukana kolonniin. Kolonnista näyte kulkeutuu detektorille, joka tuottaa signaalin näytteestä. Eri kaasut tulevat eri aikaan kolonnin läpi detektorille, johon kaasujen tunnistus perustuu. (Opetushallitus, 2019)

PAS eli fotoakustinen spektroskopia mittausta on tarkka, mutta mittaustavassa on paljon liikkuvia osia, joten laitteen huollontarve voi kasvaa.

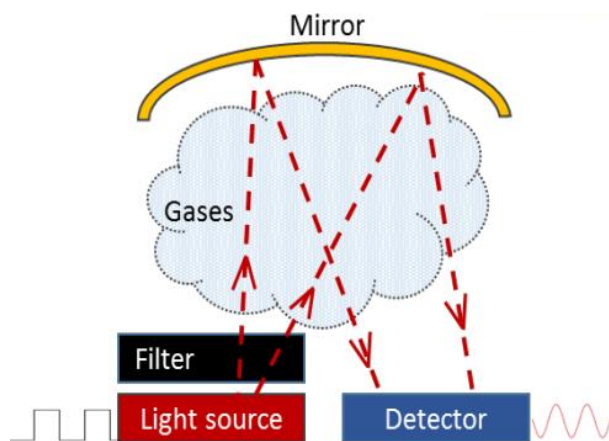


KUVA 10. Fotoakustinen spektroskopia (Multirel, 2019)

Infrapunavalo ohjataan peilin kautta kohti näytekammiota. Ennen näytekammiota valon edessä on pulssittaja eli "chopper wheel" mitä pyörittämällä valon säteestä saadaan haluttu pulssi. Valon pulssit kohdistetaan aallonpituuden suodattimen läpi näytekammioon. Kun valon pulssitettu säteilyenergia muuttuu näytekammiossa lämmöksi, aiheuttaa kaasun laajeneminen ja supistuminen akustista värähtelyä. Näytekammiossa olevat mikrofonit havaitsevat äänet joita analysoidaan.

Optista filteriä säätämällä saadaan muutettua valon aallonpituutta. Aallonpituuden muutoksen ansiosta saadaan laitteella mitattua useita kaasuja, koska eri kaasut reagoivat eri taajuuksilla.

IR eli Infrapunamittaus on yksinkertainen ja huollon tarve vähäinen. Usein mittaussensorin kyky mitata kaasuja on rajallinen, joten useaa kaasua mittaavassa laitteessa mittauskammioita voi olla useita. On myös laitteita, jossa yhdellä mittaussensorilla pystytään mittaamaan useita kaasuja, joten valmistajakohtaisia eroja laitteista löytyy. Myös IR mittaustapojen rakenteissa on valmistajakohtaisia eroja.



KUVA 11. Infrapuna mittaustekniikka (Vaisala, 2018)

Infrapunavalo ohjataan kaasunäytteeseen, joka heijastetaan ilmaisimelle. Jokainen kaasu reagoi omalla aallonpituudellaan valoon, mitkä ilmaisimien havaitsee. Sensorilla mitattava kaasun pitoisuus tiedetään kaasun absorptiovoimakkuudesta, mitä sensorilla mitataan. (Vaisala, 2018, s. 8)

5.2 Vikakaasut

Vian alkaessa nouseva lämpötila tai osittaispurkauksien aiheuttama ionisoiva säteily saavat aikaan öljyn hajoamisen kaasuksi, jonka seurauksena muuntajan sisälle muodostuu kaasua, joka liukenee muuntajaöljyyn. Näitä kaasuja kutsutaan vikakaasuiksi, joita seuraamalla voidaan arvioida muuntajan kuntoa. Mitattavissa kaasuissa on valmistajakohtaisia eroja, mutta yleisimmin kaasuanalysaattoreilla mitataan seuraavia kaasuja:

- Metaani (CH_4)
- Etaani (C_2H_6)
- Eteeni (C_2H_4)
- Asetyleeni (C_2H_2)
- Häkä (CO)
- Hiilidioksidi (CO_2)
- Vety (H_2)
- Happi (O_2)
- Kosteus (H_2O)

Kaasuista happi ja kosteus eivät ole varsinaisia vikakaasuja. Kosteus mitataan suoraan anturilla muuntajaöljystä ja mikäli muuntajassa on kosteutta, se vähentää muuntajan eristyskykyä ja lyhentää elinkaarta. Lisääntynyt happi kiihdyttää hapettumista, josta seuraa eristeiden nopeampi vanheneminen. Happi voi kertoa myös mahdollisista vuodoista tai ilmankuivaimen toimimattomuudesta.

Vikatilanteissa öljyn hajoamisreaktion seurauksena syntyviä kaasuja ovat hiilivedyt ja vetykaasu. Paperin hajoamisreaktion seurauksena ovat hiilen oksidit (taulukko 1). Hiilivedyt ja vetykaasu voidaan luokitella niin sanottuihin vikakaasuihin, joiden muodostuminen viittaa usein vikaan muuntajassa. Hiilidioksidi kertoo selluloosan ja öljyn ikääntymisen, mutta niiden nopea muodostumisnopeus voi viitata jonkinlaiseen termiseen vikaan muuntajan käämityksissä tai ylikuumenemiseen. (Mellin, 2016)

TAULUKKO 1. Öljyn, sekä paperin hajoamisreaktion seurauksena muodostuvat kaasut (Vaisala, 2019, ss. 9,10)

Hiilivedyt ja vetykaasu		Hiilen oksidit	
Kaasu	Kaava	Kaasu	Kaava
Vety	H ₂	Hiilimonoksidi	CO
Metaani	CH ₄	Hiilidioksidi	CO ₂
Asetyleeni	C ₂ H ₂		
Eteeni	C ₂ H ₄		
Etaani	C ₂ H ₆		

5.3 Ennakoitavat viat

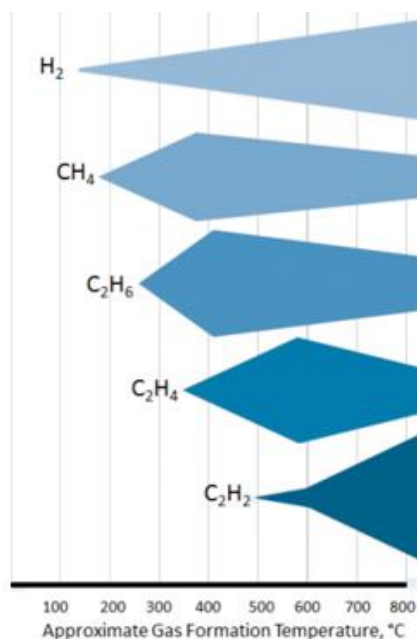
Kaasuanalysaattorilla voidaan ennakoida useita eri vikoja, kuten taulukosta 2 nähdään.

Osa vikatilanteista muodostaa useampia vikakaasuja, joista voidaan analysoida mahdollinen vika.

TAULUKKO 2. Eri kaasujen indikaatio (Multirel, 2019, s. 11)

Indikaatio/vikakaasu	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	H ₂	H ₂ O
Paperin ikääntyminen	x	x						x
Öljyn hajoaminen			x	x	x	x	x	
Vuodot		x						x
Termiset viat, paperi	x	x	x				x	
Öljyn termiset viat 150-300°C			x	x	jälki		x	
Öljyn termiset viat 300-700°C			x	x	x	jälki	x	
Öljyn termiset viat >700°C			x		x	x	x	
Osittaispurkaukset			x			jälki	x	
Kipinäinti			x		x	x	x	

Vikojen analysointiin voidaan käyttää myös kaasujen muodostumislämpötilojen arviota. Kaasujen määrästä voidaan päätellä öljyn termisten vikojen muodostumislämpötila, jota voidaan verrata tau-lukkoon 2. Kuvassa 12 on esitetty arvio vikakaasujen muodostumislämpötiloista. Maalattu alue viit-taa kaasun määrään tietyssä lämpötilassa.



KUVA 12. Kaasujen muodostumislämpötilojen arvio (Kotanen, 2017, s. 24)

6 KAASUANALYSAATTOREIDEN VERTAILU

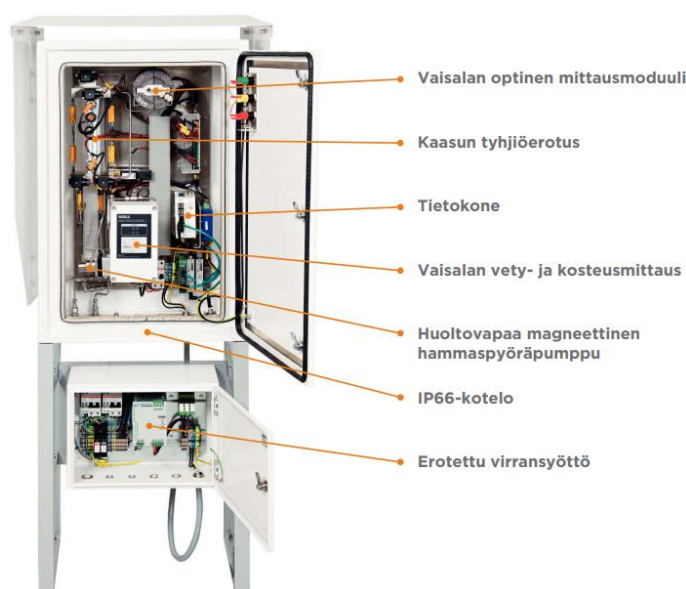
Yleensä kaasuanalyssaattoreiden myyjät pitävät yksikaasu- tai monikaasuanalyssaattorin hankinnan kannattavuuden rajana muuntajan näennäistehoa. Muuntajan näennäistehon mukaan mitoitettua kaasuanalyssaattoria ajatellaan suhteutettuna muuntajan hintaan, jolloin kaasuanalyssaattorin hinta ei olisi suhteettoman paljon, verraten muuntajan hintaan. Tämä arvio on melko karkea eikä se päde teollisuuteen, missä pitää huomioida päämuuntajien takana oleva prosessi ja sen perusteella muuntajan kriittisyys. Yrällä halutaan päämuuntajien kunnonvalvonnasta mahdollisimman laaja, joten vertailuun valittiin ainoastaan monikaasuanalyssaattoreita.

Vertailussa täytyy ottaa huomioon kaasuanalyssaattorin mittaustapa, sen tuomat hyödyt ja haitat. Mittaukseen vaikuttavat häiriötekijät sekä analyssaattorin huolto ja ylläpitomahdollisuudet. Vertaillaan tuloksien analysoinnin kannalta oleellista tiedonsiirtotapaa sekä asennusmahdollisuuksia muuntajiin. Mahdolliset asiakasreferenssit ovat myös tärkeitä, koska ne kertovat paljon laitteiden toiminnasta todellisessa käyttöympäristössä.

6.1 Vertailtavat laitteet

Vertailuun valitut monikaasuanalysaattorit ovat Vaisala OPT100 DGA, Kelman DGA 900, ABB Core-Sense M10 ja MTE Hydrocal 1009.

Vaisalan valmistama OPT100 DGA on IR-mittaustavan monikaasuanalysaattori, jossa on Vaisalan oma optinen mittausmoduuli, jolloin useita mittauskammioita ei tarvita, niin kuin yleensä IR mittauksessa. Laitteessa on erotettu virransyöttö, IP66-kotelointi ja se on suunniteltu kestäämään pohjoisia olosuhteita. Öljynäytteenotto tapahtuu muuntajaan kiinnitettävällä yhdellä öljyputkella, jolla näyte myös palautetaan muuntajaan. Analysaattori imee muuntajaöljyä tarvitsemansa määrän, jonka jälkeen öljystä erotellaan kaasut tyhjiöerotuksella. Tyhjiöerotus ei ole riippuvainen kaasun liukenevuudesta öljyyn, joten tarvetta tiettyyn lämpötilaan tai öljyn kompensointiin ei ole. (Vaisala, 2016)



KUVA 13. Vaisala OPT100 DGA (Vaisala, 2018, s. 1)

GE:n valmistama Kelman DGA 900 monikaasuanalysaattori käyttää PAS mittaustapaa. Laitteessa on erotettu virransyöttö ja IP56-kotelointi. Öljynäytteenotto on toteutettu öljyputkilla, eli muuntajaan kytketään öljyn tulo- ja paluuputki, jolloin näytteenottotilanteessa öljy kiertää analysaattorin kautta. Kaasut erotellaan öljystä pääkammiomenetelmällä, eli näytettä sekoitetaan ja lämmitellään kammiassa kaasutasapainon saavuttamiseksi, jonka jälkeen kaasunäyte imaistaan mittauskammioon. Mittauksen jälkeen mittauskammio tuuletetaan tyhjäksi kaasuista.



KUVA 14. Kelman DGA 900 (GE, 2017, s. 1)

ABB:n valmistama CoreSense M10 monikaasuanalysaattori käyttää IR mittaustapaa. Laitteella on IP67-kotelointi sekä erillinen mittauspää. Erona muihin laitteisiin ABB:n analysaattori ei tarvitse ulkoista öljynkiertoa koska kaasu erotellaan öljystä muuntajaan kiinnitettävässä mittapäässä. Kun kaasu on erotettu öljystä, se pumpataan kuljetusputkessa analysaattorille, jossa kaasupitoisuudet analysoidaan.



KUVA 15. ABB CoreSense M10 (ABB, 2019)

MTE:n valmistama Hydrocal 1009 monikaasuanalysaattori käyttää IR mittaustapaa ja laitteella on IP55-kotelointi. Laite ei vaadi erillistä öljynkiertoa eikä ulkoisia mittapäitä vaan kaikki toiminnot on saatu samaan yksikköön. Analysaattori kiinnitetään muuntajaan venttiiliin, eikä se tarvitse erillistä asennus-alustaa. Kaasun erottelu tapahtuu pääkammioimenetelmällä.



KUVA 16. Hydrocal 1009 (MTE, 2019)

6.1.1 Ominaisuuksien vertailu

Taulukossa 3 mittaustekniikan vertailussa, jokaisella mittauksella on hyviä ja huonoja puolia. Vertailussa keskitytään IR sekä PAS mittaustapaan, sillä GC mittaustapa on kallis ylläpitää kantajakaasun tarpeen vuoksi. Lisäksi vertailussa mukana olevilla valmistajilla on käytössä ainoastaan IR ja PAS mittaustavan laitteita.

TAULUKKO 3. Mittaustekniikan vertailua IR, PAS ja GC tekniikalla (Vaisala, 2018, s. 10)

Vertaus/mittaustekniikka	IR	PAS	GC
Mittaustavan vahvuudet	Stabiilisuus, automaattinen kalibrointi mittauksen aikana.	Alhainen havaintoraja, ei tarvetta kalibrointiin.	Alhainen havaintoraja, hyvä kyky erottaa kaasut toisistaan.
Mittaukseen vaikuttavat häiriötekijät	Ei ole altis ulkoisille häiriötekijöille, valonlähteen heikkeneminen.	Häiritsevien kaasujen ristikkäisvuorovaikutukset, lämpötilan vaihtelu.	Kolonnin likaantuminen ja vanheneminen.
Huolto ja ylläpito	Valonlähde voi vaatia vaihtamista.	Spektrometrin liikkuvat osat ja valonlähde voivat vaatia vaihtamista.	Tarvitsee kalibrointi-kaasua ja kantokaasua, kolonni vaatii vaihtamista määräajoin, monimutkainen huollettava.

Mittaustavoissa suurimmat erot PAS ja IR mittauksessa kohdistuvat PAS mittaustavan liikkuviin osiin ja mahdollisiin huoltokustannuksiin. Valmistajien mukaan kaikki laitteet ovat ns. huoltovapaita, mutta mahdollisiin huoltoihin on silti syytä varautua. Kaasuanalysaattorin valinnassa mittaustapa ei ole ainoa vaikuttava tekijä, joten laitetta ei voi valita pelkkää mittaustapaa katsoen.

Kaasuanalysaattoreilla mitattavissa kaasuissa, on myös valmistajakohtaisia eroja. Taulukosta 4 nähdään että vertailun kaasuanalysaattoreilla mitataan lähes samoja kaasuja, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Hapen (O_2) mittaus on hyvä lisä muuntajan kunnonvalvonnan kannalta, jotta esimerkiksi mahdolliset vuodot muuntajassa voidaan havaita. Koska ilmakehässä on korkeat pitoisuudet happea ja typpeä, myös typen (N_2) pitoisuuden korkea määrä voi viitata vuotoon muuntajassa. (Mellin, 2016, s. 16)

TAULUKKO 4. Vertailun kaasuanalysaattoreilla mitattavat kaasut

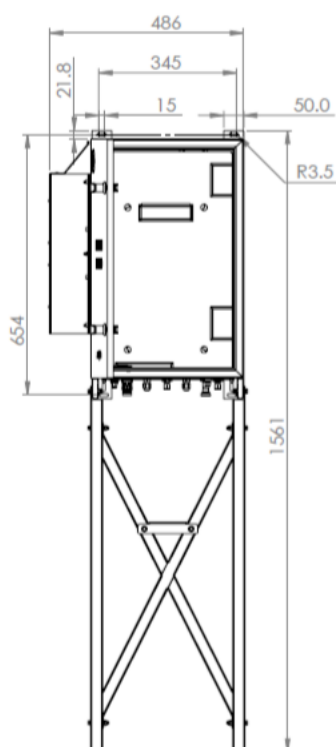
Kaasu/valmistaja	Vaisala OPT100 DGA	Kelman DGA 900	ABB Core- Sense	Hydrocal 1009
Vety H_2	x	x	x	x
Häkä CO	x	x	x	x
Metaani CH_4	x	x	x	x
Etaani C_2H_6	x	x	x	x
Eteeni C_2H_4	x	x	x	x
Asetyleeni C_2H_2	x	x	x	x
Hiilidioksidi CO_2	x	x	x	x
Propaani C_3H_8			x	
Propeeni C_3H_6			x	
Happi O_2		x		x
Typpi N_2		x		
Kosteus H_2O	x	x	x	x

Taulukon 4 kaasuanalysaattoreista suurin mittauksien määrä on GE:n Kelman DGA 900 ja ABB:n CoreSense laitteilla. ABB:n mittaama propaani (C_3H_8) ja propeeni (C_3H_6) on lisätty mittaukseen etaani (C_2H_6) ja eteenin (C_2H_4) lisäksi. Ne säilyvät muuntajaöljyssä pidempään, joten niistä voidaan saada selville mahdollisia aikaisemmin olleita kuumen pisteen vikoja muuntajassa. Kuuma piste muuntajassa voi hävitä vaikka käämikytkimen asentoa muuttaessa, jonka jälkeen etaani (C_2H_6) ja eteeni (C_2H_4) ovat haihtuneet. (Kivimäki, 2019)

Valmistajien kokemus kaasuanalysaattoreiden valmistuksesta eroavat melko paljon toisistaan. Koke muksen eroina eri valmistajilla on kymmeniä vuosia, mikä näkyy myös myytyjen laitteiden määrissä. Huoltoverkostot jokaisella valmistajan toimittajalla on Suomessa, joten laitteen mahdollinen vikaantuminen ja huollon tarve pystytään järjestämään toimittajasta riippumatta. Toki eri toimittajien huoltoverkostolla on eroa mikä näkyy esimerkiksi siinä, että osalla toimittajista on suositus ns. avaimet käteen asennuksen tilaukseen. Näin analysaattori tulee asennettua varmasti oikein, ilman ylimääräistä pohdintaa asennuksen yhteydessä. Myös analysaattoreiden takuu-aika eroaa valmistajakohtaisesti. Pienimmillään takuu on 2 vuotta ja suurimmillaan 5 vuotta, ilman erikseen maksettavaa takuuaajan pidennystä, joka olisi mahdollista osalla valmistajista.

6.2 Asennusmahdollisuudet

Kaasuanalyssaattorin asennuspaikkaa valitessa täytyy ottaa huomioon öljyputkien maksimipituus sekä sähkönsyötön ja väyläkaapeloinnin mahdollisuus. Yaralla olevien päämuuntajien läheisyyteen kaasuanalyssaattoreiden kiinnitykset onnistuvat seinään, muuntajabunkkeriin tai erilliselle asennusalueelle mikäli laite tai paikka sellaisen vaatii. Näin asennus onnistuu mahdollisten öljyputkien maksimipituuksien rajoissa jokaiselle muuntajalle. Kuvassa 16 esimerkkinä mittapiirustus, Kelman DGA 900 monikaasuanalyssaattorin asennustelineestä.



KUVA 17. Mittapiirustus edestäpäin Kelman DGA 900 moduulista, joita tulee kaksi vierekkäin (GE, 2017, s. 65)

Sähkönsyötöt kaasuanalyssaattoreille toteutetaan muuntajien apulaitekoteloista, jotka sijaitsevat jokaisen muuntajan kyljessä. Muuntajan KAT02 apulaitekotelossa on valmis sähkönsyötön paikka uudelle monikaasuanalyssaattorille vanhan yksikaasuanalyssaattorin nykyisellä paikalla. Muihin apulaitekoteloihin täytyy lisätä johdonsuoja-automaatit analyssaattoreiden sähkönsyötöille. Syöttökaapeleiden pituus on melko lyhyt apulaitekotelolta analyssaattorille, mutta syöttöjohdon maksimipituuden varmistamiseksi voidaan käyttää alla olevaa laskentakaavaa (2).

$$S_{max} = \frac{\frac{c * U}{\sqrt{3} * I_k} - Z_v}{Z_{kaapeli}}$$

(2)

jossa

c	on	kerroin 0,95
U	on	nimellisjännite
Z _v	on	syöttävän verkon impedanssi
I _k	on	sulakkeen pienin toimintavirta
Z _{kaapeli}	on	käytettävän johdon impedanssi

Maksimipituus laskemalla voidaan tarkastaa kaapeloinnin mahdollisuus keskukselta kaasuanalysaattorille. Mikäli laskettu pituus ei ole riittävä, täytyy johtimen poikkipinta-alaa suurentaa, jotta kaapelin impedanssi pienenee.

Kaasuanalysaattorit, jotka käyttävät öljynkiertomenetelmää tarvitsevat saattolämmityksen öljyputkille. Putkessa olevan öljyn täytyy olla juoksevaa, joten putket täytyy eristää ja eristeen alle lisätään saattolämmityskaapeli. Saattolämmityskeskuksia ei ole muuntajien läheisyydessä, joten analysaattorin öljyputkille tarvittavat saattolämmityksien sähkönsyötöt voidaan ottaa apulaitekotelosta tai lähimältä ryhmäkeskukselta. Saattolämmityksille lisätään vikavirtasuojat ja johdonsuoja-automaatit apukoskettimilla, jotta mahdollinen johdonsuojan laukeaminen huomataan, sekä tarvittavat lämmityksen säätölaitteet. Mikäli saattolämmitykset haluttaisiin saattolämmityskeskuksiin, olisi kaapelointi kallista ja työlästä pitkien etäisyyksien takia. Saattolämmityskaapelissa voidaan käyttää noin 10 W/m kaapelia, kun kaasuanalysaattori sijoitetaan mahdollisimman lähelle muuntajaa öljyputkien ja saattolämmityskaapelin pituus on vähäinen, joten saattolämmityksen virrankulutus olisi pieni.

6.2.1 Liittäminen automaatiojärjestelmään

Kaasuanalysaattoreiden liittäminen Valmet DNA automaatiojärjestelmään toteutetaan Ethernet liitännällä IEC 61850 standardin mukaan. IEC 61850 on sähköasemien tiedonsiirrossa käytetty standardi, joka perustuu Ethernet teknologiaan ja käytännössä varmistaa eri valmistajien laitteiden yhteensopivuuden.

Jokaisen muuntajan kaasuanalysaattorille kaapeloidaan Super Cat 7 S/FTP tietoverkkokaapeli, joka tuodaan Ethernet kytkimeen. Näin analysaattorilta saadaan tuotua mittaustiedot digitaalisesti järjestelmään, jolloin signaalia ei tarvitse muuntaa. Myös muuntajassa KAT02 olevan yksikaasuanalysaattorin I/O liitäntä puretaan ja tilalle kaapeloidaan uusi tietoverkkokaapeli.



KUVA 18. ABB:n Ethernet kytkin (Strengell, 2019)

Kaasuanalysaattoreiden tietoliikennekaapelit kaapeloidaan lähimpään kojeistotilaan olemassa olevalle tai lisättävälle Ethernet kytkimelle. Kaapelointi tehdään Super Cat 7 S/FTP häiriösuojatulla kaapelilla, koska teollisuuden olosuhteet ovat todella vaativat jolloin sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamat häiriöt voivat vaikuttaa tiedonsiirtoon. Kaapeloinnissa käytetään olemassa olevia kaapelireittejä niin paljon kuin mahdollista. Kaapeli pyritään erottamaan sähkökaapeleista, jotta mahdollisia häiriöitä ei pääsisi syntymään, erityistä huomiota täytyy kiinnittää kojeistoissa sijaitsevien 10 kV kaapeleiden läheisyydessä. Kaapelointimatkat ovat 30–70 metriä riippuen analysaattorin sijoituspaikasta ja kytkimen sijainnista. Cat tietoverkkokaapeleiden suurin suositeltu vetojen pituus on 90–100 metriä, jolloin kaapelin pituudesta ei aiheudu häviöitä siirrettävään signaaliin.

6.3 Kustannukset

Suurin osa hankkeen kustannuksista tulee kaasuanalysaattoreiden hinnasta. Kaasuanalysaattori tilataan toimittajalta ns. avaimet käteen periaatteella, jolloin analysaattorin asennus, putkiliitokset ja käyttöönotto kuuluvat laitteen myyntihintaan. Suunnittelun hinta-arvio perustuu kaasuanalysaattoreiden lopulliseen sähkösuunnitteluun käytetyn ajan arvioon. Asennuksien hinta on laskettu arvioiden analysaattoreiden asennukseen menevä aika.

Suunnittelun ja asennuksien hinta-arvio:

	Tunnit	Hinta (€)	Yht. (€)
Suunnittelu	96	70	6 720
Sähköasennukset	128	50	6 400

Analysaattorin hankintahintaan vaikuttaa muun muassa tilauksen laitteiden lukumäärä, asennus ja käyttöönotto, toimitus sykli ja senhetkinen listahinta, joiden mukaan hinta määräytyy. Yhden asennettuna kaasuanalysaattorin hinta-arvio on karkeasti noin 55 000–65 000 € joten koko hankkeen hinta-arvio on 220 000–260 000 € riippuen valittavasta laitteesta. Suunnitteluun ja sähköasennuksiin käytetty hinta-arvio on karkeasti noin 5–6 % kokonaishinnasta.

7 VALINTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kaasuanalysaattorin valinnassa katsotaan kokonaisuutta, minkä perusteella valinta tehdään. Valintaan vaikuttavat useat ominaisuudet, mutta erityisesti eduksi katsottavia ominaisuuksia ovat pitkäaikaisen toiminnan ja mahdollisimman laajan kunnonvalvonnan kannalta tärkeimmät tekijät.

Kaasuanalysaattorin valintaan vaikuttavat tärkeimmät tekijät:

- Valmistajan kokemus kaasuanalysaattoreista
- Mitattavat kaasut
- Tuotteen takuu

Kaikkissa vertailun analysaattoreissa on hyviä ja huonoja puolia, mutta yksi vertailun analysaattoreista on mielestäni sopivin Yaran päämuuntajien kunnonvalvontaan. Valitsemani laite on GE:n valmistama Kelman DGA 900 -kaasuanalysaattori, jonka valitsin usean valintaan vaikuttavan kriteerin perusteella.

7.1 Valinta

GE:n Kelman DGA 900 Kaasuanalysaattorin valintaan vaikutti vahvasti GE:n kokemus kaasuanalysaattoreista. Laitteessa hyödynnetään yli 40 vuoden kokemusta globaalina DGA toimittajana ja PAS mittaus teknologiasta GE:llä on noin 15-vuoden kokemus. Mitattavien kaasujen määrä Kelman DGA 900 analysaattorissa on 9 + kustaus, joka on vertailun analysaattoreiden laajin määrä. Samaan kaasujen mittausmäärään vertailun laitteista ylty vain ABB:n CoreSense M10. Takuu GE:n laitteessa on omaa luokkaansa ja vertailun kaasuanalysaattoreista ehdottomasti pisin, ilman erikseen ostettavaa takuuajan pidennystä. Pitkä takuu kertoo GE:n luoton omaan tuotteeseen, mikä on syntynyt Kelman DGA 900 analysaattorin pitkän kokemuksen ja suunnittelun lopputuloksena. (Liitteestä 1 on nähtävissä Kelman DGA 900 kaasuanalysaattorin tekniset tiedot).

Muuta valintaan vaikuttavaa on GE:n mahdollisuus avaimet käteen ratkaisuun. Yaralla halutaan käyttää tätä ratkaisua, jotta laitteen asennus sujuu mutkattomasti ja turvallisesti, sekä pyritään estämään mahdolliset turhat riskit asennuksessa. GE:n analysaattorin erotettu sähkönsyöttö lisää sähköturvallisuutta ja helpottaa mahdollista vianetsintää. Asiakasreferenssinä olin yhteydessä valtakunnallisesti toimivaan sähköverkkoyritykseen, missä kerrottiin heidän käyttävän suurimmalta osin GE:n valmistamia kaasuanalysaattoreita joihin he ovat olleet erittäin tyytyväisiä. Alla olevassa taulukossa 5 on kaasuanalysaattoreiden vertailupisteytys.

TAULUKKO 5. Kaasuanalysaattoreiden vertailupisteytys 1-5 pisteytyksellä

Vertaus/valmistaja	Vaisala OPT 100 DGA	GE Kelman DGA 900	ABB CoreSense M10	MTE Hydrocal 1009
Rakenne/sähköturvalli- suus	5	5	3	3
Öljynkierto	3	3	4	4
Mittauksen laajuus	4	5	5	4
Kokemus	4	5	2	3
Liittäminen Valmet DNA	5	5	5	5
Takuu	2	5	3	2
Asennusmahdollisuus	4	5	5	5
Pisteitä yhteensä	27	33	27	26

Vertailupisteytyksessä GE:n Kelman DGA 900 kaasuanalysaattori sai suurimmat pisteet, mikä puoltaa laitteen valintaa. Muut vertailun laitteet ovat keskenään lähes yhdenvertaisia vertailupisteytyksessä, missä GE:n laite erottuu selvästi. Valinnassa ei annettu suurta painoarvoa laitteiden erilaisille mit-
taustavoille, koska jokainen mittaustapa on osoitettu toimivaksi valmistajien toimesta ja erot vertai-
lun laitteiden mittaustapojen välillä ovat marginaalisen pieniä.

8 YHTEENVETO

Tavoitteena oli tehdä hankkeen esiselvitys, sekä kaasuanalysaattorin valintaa helpottava raportti Yaralle, Siilinjärven tehtaille. Esiselvityksessä keskityttiin valitsemaan Yaran käyttöön parhaiten soveltuva laite, minkä ohessa selvitettiin laitteen asennus- ja liitännämahdollisuudet.

Opinnäytetyö aloitettiin etsimällä internetistä kaasuanalysaattoreiden valmistajia ja valitsemalla vertailtavat laitteet. Kun vertailun laitteet oli valittu, otettiin yhteyttä laitetoimittajiin, mistä saatiin lisätietoja niiden toiminnallisuuksista ja yleistä lisämateriaalia kaasuanalysaattoreista. Laittevertailun ohessa selvitettiin kaasuanalysaattoreiden asennus- ja toteutusmahdollisuuksia. Yaran päämuuntajista etsittiin myös tarvittavia dokumentteja asennustarjouksien saamiseksi.

Raporttiin selvitettiin tietoa kaasuanalysaattoreista sekä niiden rakenteesta, toiminnasta ja millaisia vikoja niillä voidaan estää. Vertailussa laitteiden eroja tuli selkeästi esille, eikä yksikään vertailun laite ollut samanlainen. Lopulta vertailun laitteista GE:n valmistama Kelman DGA 900 monikaasuanalysaattori osoittautui parhaimmaksi valinnaksi Yaran päämuuntajien kunnonvalvontaan. Valintaan vaikutti vahvasti GE:n kokemus kaasuanalysaattoreista, sekä mittauksen laajuus.

8.1 Lopputulokset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin valittua parhaiten sopiva monikaasuanalysaattori Yaran päämuuntajien kunnonvalvontaan. Kaasuanalysaattorin asennuksessa huomioonotettavat seikat selvitettiin raporttiin, mikä helpottaa hanketta suunnitteluvaiheessa. Näin saatiin edistettyä Yaran hanketta päämuuntajien kunnonvalvontaa ajatellen ja mahdollinen hanke voidaan aloittaa. Työn aikana myös oma tietoni muuntajien kaasuanalysaattorilla tehtävästä kunnonvalvonnasta kasvoi ja sitä kautta opinnäytetyö edisti omaa oppimistani.

Opinnäytetyön tavoitteet onnistuivat mielestäni hyvin. Aihe oli todella hyvä ja työn rajaaminen oli selkeä, joten turhilta aikatauluun sopimattomilta selvityksiltä vältyttiin. Työ eteni jouhevasti ja aikataulun mukaisesti aina aloituspalaverista, työn lopetukseen.

9 LÄHDELUETTELO

- ABB. (3 2009). abb.fi. *Uusi elämä muuntajalle*. Haettu 30. 1 2019 osoitteesta
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/7fa9718a0acd575bc12576ef004982ec.aspx>
- ABB. (2018). abb.com. *CoreSense Hydrogen and moisture sensor*. Haettu 30. 1 2019 osoitteesta
https://library.e.abb.com/public/32e39356baed4c7aaa773c3956369b40/AA010577-01_Rev%20F_CoreSense%20User%20Guide.pdf
- ABB. (2019). abb.com. *CoreSense™ M10 multi-gas DGA analyzer*. Haettu 30. 1 2019 osoitteesta
<https://new.abb.com/products/transformers/service/advanced-services/coresense-m10>
- GE. (1. 12 2017). Kelman DGA 900 asennusohje. *Kelman™ DGA 900 Installation Manual*. Haettu 5. 3 2019
- GE. (17. 12 2017). Käyttö-ohje. *Kelman™ DGA 900 Operator Guide*. Haettu 27. 2 2019
- Huurinainen, V. (8 2006). theseus.fi. *Jakelumuuntajan elinkaaritutkimus*. Haettu 10. 1 2019 osoitteesta
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9883/TMP.objres.853.pdf?sequence=2>
- Kivimäki, M. (5. 3 2019). Sähköposti keskustelu. Haettu 5. 3 2019
- Korpinen, L. (3. 1 2008). leenakorpinen. *9 Muuntajat ja sähkölaitteet*. Haettu 16. 1 2019 osoitteesta
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf
- Kotanen, h. (5 2017). theseus.fi. *Muuntajien apulaitteet ja kunnossapito*. Haettu 5. 12 2018 osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/131205/Kotanen_Henrik.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mellin, T. (10. 10 2016). aaltodoc.aalto.fi. *Öljyeristeisten tehomuuntajien liuenneiden kaasujen analyysi*. Haettu 25. 11 2018 osoitteesta
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23299/master_Mellin_Toni_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MTE. (2019). mte.ch. *Intensive care*. Haettu 15. 2 2019 osoitteesta <https://www.mte.ch/products/transformer-monitoring/intensive-care-10023>
- Multirel. (2019). Esite. *Muuntajan kaasuanalysointit*. Haettu 30. 1 2019
- Opetushallitus. (1 2019). edu.fi. *2.5. Kaasukromatografia*. Haettu 4. 2 2019 osoitteesta
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_2-5_kaasukromatografia.html
- Peda. (2018). Peda.net. *Muuntajan rakenne*. Haettu 8. 1 2019 osoitteesta
<https://peda.net/kouvola/perusopetus/koulut/myllykoskenyhteiskoulu/oppiaineet/fysiikka/fysiikka9/muuntaja/muuntajan-rakenne>
- Penttilä, L. (2017). theseus.fi. *Tehomuuntajien kunnonvalvontamittaukset*. Haettu 30. 1 2019 osoitteesta
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124157/Penttila_Lauri.pdf;jsessionid=F77A76EA25B169794198579FC0775E5C?sequence=1
- Pohjois-Savon liitto. (9. 2 2016). *Yara toimii Siilinjärvellä täydellä teholla*. Haettu 19. 3 2019 osoitteesta
<https://www.pohjois-savo.fi/tietopalvelut/uutispoyta/artikkeli/yara-toimii-siilinjarevella-taydella-teholla.html>
- Puranen, S. (11 2012). theseus.fi. *Jakelumuuntajien diagnostiikka*. Haettu 16. 1 2019 osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52466/puranen_sari.pdf?sequence=1
- Rissanen, T. (9. 10 2015). theseus.fi. *Tehomuuntajan kuntoarviointi*. Haettu 12. 2 2019 osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/98380/Rissanen_Teemu.pdf?sequence=1
- Ristimäki, H. (15. 8 2012). dspace.cc.tut.fi. *Muuntajien haviölämmön hyödyntäminen lämpöpumpputekniikalla*. Haettu 11. 1 2019 osoitteesta <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21147>

- Setälä, J. (30. 12 2005). theseus.fi. *Paperitehtaan 20 KV verkko-osuuden syötön muuttaminen*. Haettu 8. 1 2019 osoitteesta Paperitehtaan 20 KV verkko-osuuden syötön muuttaminen:
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9876/TMP.objres.344.pdf?sequence=4>
- Strengell, J. (14. 1 2019). *Valokuva*. Haettu 16. 1 2019
- Vaisala. (2016). Esite. *Katsaus Vaisala Optimus™ DGA kaasuanalysaattoritekniikkaan*. Haettu 27. 2 2019 osoitteesta <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-G-Optimus-DGA-Technology-in-nutshell-B211588FI.pdf>
- Vaisala. (21. 3 2018). Esite. *Online DGA mittausteknologia*. Haettu 4. 2 2019 osoitteesta
<file:///C:/Users/Jarno/Downloads/DGA%20online%20mittausteknologiat.pdf>
- Vaisala. (2018). Esite. *Millä tavalla Vaisalan Optimus™ OPT100 DGA kaasuanalysaattori eroaa muista?* Haettu 27. 2 2019 osoitteesta <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/OPT100-Datasheet-B211583FI.pdf>
- Vaisala. (2019). Esite. *Miksi ja mitä muuntajan vikakaasuja tulee mitata?* Haettu 25. 2 2019 osoitteesta
<https://www.vaisala.com/fi/file/38071/download?token=C291HcaR>
- Yara. (2019). *Tietoa Yarasta*. Haettu 4. 1 2019 osoitteesta <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/>

LIITE 1: KELMAN DGA 900 TEKNISET TIEDOT

Technical Specifications

MEASUREMENTS					
Technology	Frequency				
Automated headspace gas extraction	Configurable from once per hour to once every 4 weeks				
Photo-acoustic spectroscopy (PAS) gas measurement	Faster sampling automatically triggered upon alert level reached				
Thin film capacitive moisture sensor	"Rapid Mode" provides a rapid indication of the evolution of the gasses indicated below in ~30 minutes				
Immersed Fiber Optic Oxygen sensor					
Range	LDL	UDL	Accuracy*	Repeatability	Available in Rapid Mode
Hydrogen (H ₂)	5 -	5,000 ppm	± LDL or ±5%	< 3%	●
Carb. Monox. (CO)	1 -	50,000 ppm	± LDL or ±3%	< 2%	●
Methane (CH ₄)	2 -	50,000 ppm	± LDL or ±3%	< 2%	●
Acetylene (C ₂ H ₂)	0.5 -	50,000 ppm	± LDL or ±3%	< 2%	●
Ethylene (C ₂ H ₄)	1 -	50,000 ppm	± LDL or ±3%	< 2%	●
Carb. Diox. (CO ₂)	20 -	50,000 ppm	± LDL or ±3%	< 3%	●
Ethane (C ₂ H ₆)	1 -	50,000 ppm	± LDL or ±3%	< 2%	●
Oxygen (O ₂)	100 -	50,000 ppm	± LDL or ±5%	< 2%	●
Nitrogen (N ₂) **	10,000 -	100,000 ppm	± LDL or ±15%	< 3%	●
Moisture (H ₂ O)	0 -	100% RS (in ppm)	± 3% RH	< 3%	●

*whichever is greater. Accuracy quoted is the accuracy of the detectors during calibration. Gas-in-oil measurement may be affected by oil type and condition. Repeatability as measured from final production test data.

** N₂ value is calculated and available on free-breathing transformers only.

FEATURES	
Display	4x sunlight visible LED arrays
	Backlit 7" inch color resistive touch LCD screen (800 x 480)
	Integrated embedded secure webserver (https)
Analogue Inputs	Up to 15x optional analogue inputs for load CTs, PT100 inputs or 4-20mA sensors
Digital Output	USB port (type B connector) for local connection to laptop computer for configuring the system
	Wi-Fi (802.11b/g/n)
	Serial output (RS-485)
	1Gb Ethernet (RJ45) standard with fiber-optic options
	GSM/GPRS or CDMA/LTE modem options
Digital Protocols	Modbus® as standard
	DNP3 or IEC 61850 (Ed 1 or 2) options

Alarms	Alarm setting screens/scenarios, based on gas level, gas rate of change and moisture level, assignable to relays
	6x standard and up to 18x dry contact relays (type C, SPDT), NO/NC, 10A at 250Vac resistive load, 10A at 30Vdc resistive load

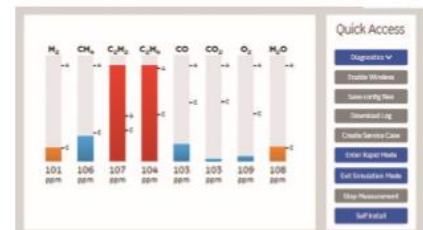
Separate Service Alarm with own relay

ENVIRONMENT	
Conditions	
Operating ambient temperature	-40°C to +55°C (-40°F to +131°F)
Operating ambient humidity	0-95% RH, non-condensing
Oil temperature at valve***	-20°C to +120°C (-4°F to +248°F)
Oil pressure at valve	0-700KPa (0-100psi)

***Based on testing carried out using VOLTESSO™ 35 mineral oil, over a ¾" pipe run of 10 metres or less from oil supply or return valve to monitor connection point and on transformer oil supply valve volumes of 200ml or less. For oil temperatures colder than -20°C GE recommends the use of heat trace cabling on piping



DGA 900 being tested in the factory



DGA 900 gas levels displayed on the local LCD screen

Enclosure		
IP56 certified		
Powder coated aluminium (RAL9002)		
Unpainted 316 Stainless Steel option		
Power Requirements		
AC	Nominal 100-240 Vac, Range 85-264 Vac, 4A	
DC	Nominal 100-250 Vdc, Range 90-300 Vdc	
Mechanical		
	Analysis Unit	Hub Unit
Dimensions	600 × 484 × 330 mm 23.6 × 19.1 × 13.0 in	600 × 380 × 330 mm 23.6 × 15.0 × 13.0 in
Weight	33.4Kg 73.6 lb	18.5Kg 40.8 lb
OPTIONS		
Mounting stand		
Sun canopy		
Umbilical cable between units		
Analogue output of gas values		

† Terms and conditions apply

Kelman DGA900	E0	P0	M0	U0	S0	C0	CO	X0	X0	X0	X0	X0	Base Unit	9 Gas DGA, Powder coated enclosure, 2m umbilical, Modbus TCP over Ethernet, Load CT, Install kit, and Perception desktop.
Protocol Options	P1	P2	P3	P4									COMM90022	DNP3 over RS485
													COMM90012	DNP3 over Ethernet
													COMM90013	IEC 61850 Edition 1 over Ethernet
													COMM90014	IEC 61850 Edition 2 over Ethernet
Mounting Stand			M1										24-0822-01	Mounting Stand
Umbilical Cable				U1									CABL01054	5 Meter
				U2									CABL01055	10 Meter
Sun Canopy					S1								24-0973-01	Sun Canopy
Communication Options						C1							COMM90016	Ethernet Converter - RJ45 to 10/100Mbps Multimode Fibre ST Connector
						C2							COMM90017	Ethernet Converter - RJ45 to 10/100Mbps Multimode Fibre SC Connector
						C3							COMM90018	Ethernet Converter - RJ45 to 10/100Mbps Multimode Fibre LC Connector
						CA							COMM90019	Ethernet switch, 2 x 100BaseF - ST Multimode Fiber (2 Km max) + 4 x RJ45 10/100Mbps copper
						C5							COMM90020	Ethernet switch, 2 x 100BaseF - SC Multimode Fiber (2 Km max) + 4 x RJ45 10/100Mbps copper
						C6							COMM90021	Ethernet switch, 2 x 100BaseF - SC Singlemode Fiber (20 km max) + 4 x RJ45 10/100Mbps copper
						C7							COMM90005	GSM / GPRS Modem
						C10							COMM90015	Wireless Cell Modem for USA - internal
Analogue I/O Card (5 slots available)							X1	X1	X1	X1	X1		13-0263-01	Analogue Input Card, 4-20mA
							X2	X2	X2	X2	X2		13-0256-02	Analogue Input Card, for PT100 Temp Sensor (4 wire)
							X3	X3	X3	X3	X3		13-0256-02-OPT1	Analogue Input Card, for PT100 Temp Sensor (3 wire)

Additional modules and configurations available. Please contact your sales representative or visit our online store