

Kimmo Määttä

PÄÄMUUNTAJAN REAALIAIKAINEN KUNNONVALVONTA

PÄÄMUUNTAJAN REAALIAIKAINEN KUNNONVALVONTA

Kimmo Määttä
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Sähkö- ja automaatiotekniikan
tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun Ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkötekniikan suuntautumis-
vaihtoehto

Tekijä: Kimmo Määttä

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Päämuuntajan reaaliaikainen kunnonvalvonta

Opinnäytetyön nimi englanniksi:

Työn ohjaajat: Ensio Sieppi ja Tarja Tuomaala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 44 + 2 liitettä

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun Energia Siirto ja Jakelulle, joka oli myös työn tilaaja. Työn tavoitteena oli tutkia mitä mahdollisuuksia reaaliaikainen kunnonvalvontalaite antaa käytön ja kunnossapidon kokonaisuuden näkökulmasta.

Työssä vertaillaan markkinoilla olevia päämuuntajan online-kunnonvalvontalaitteita ja tehdään näiden vertailujen perusteella päätös laitteen hankinnasta sekä suunnitellaan laitteen asennus ja käyttöönotto. Ennakoivalla kunnossapidolla saadaan parannettua sähkönjakelun toimitusvarmuutta. Päämuuntajan reaaliaikainen kunnonvalvontalaite mahdollistaa nopean reagoimisen vian sattuessa.

Työn alussa kerrotaan, mitä muutoksia päämuuntajien avaaviin huoltoihin on tullut kirjanpidollisesta näkökulmasta, tarkastellaan kunnonvalvontaa yleisellä tasolla ja tutustutaan muuntajissa esiintyviin vikakaasuihin. Tämän jälkeen vertaillaan markkinoilla olevia kaasuanalysointilaitteita. Sopivaa kaasuanalysointilaitetta valitessa vertaillaan niiden ominaisuuksia, mitattavia suureita ja kokonaiskustannuksia. Lopussa valitaan laite, joka palvelee parhaiten kokonaiskustannuksien, luotettavuuden sekä turvallisuuden näkökulmasta.

Työn lopussa suunnitellaan kaasuanalysointilaitteen mekaaninen ja sähköinen asennus sekä esitetään asennuksen aikataulut ja asennukseen liittyvät turvallisuustekijät. Käyttöönoton yhteydessä varmistetaan mittauksen toimivuus ja määritellään hälytysrajat.

Asiasanat: päämuuntaja, kunnossapito, kunnonvalvontalaite, kaasuanalysointilaitte

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree program in Electrical Engineering

Author(s): Kimmo Määttä
Title of thesis: Power Transformer Online Monitoring
Supervisor(s): Ensio Sieppi and Tarja Tuomaala
Spring semester 2020
Pages: 44 + 2

This thesis was done for Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy, who is also the commissioner of the work. The aim of the thesis was to examine the benefits of a real-time condition monitor from the perspective of operation and maintenance.

This work compares the main transformer real-time monitors on the market and provides plans for purchase, installation and commissioning. Proactive maintenance will improve the security of the electricity distribution. A real-time condition monitoring device of a main transformer enables a rapid response in the event of a failure.

This thesis starts by describing how the accounting measures have changed in the opening maintenance of transformers, and by reviewing the general condition monitoring and examining different transformer defect gases. This is followed by a comparison of the gas analyzers available on the market.

When choosing a suitable gas analyzer, their properties, the measurable quantities and the total costs are compared. As a result of the comparison, a device which best serves the overall cost, reliability and security is chosen.

At the end a mechanical and electrical installation of the gas analyzer is planned and the installation schedules and safety factors related to the installation are reviewed.

Keywords: Transformer, Maintenance, Online monitoring, Gas analyzer

ALKUSANAT

Kiitän Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n käyttöpäällikkö Matti Lehtoa mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta, kiitokset myös työn valvoja Tarja Tuomallalle sekä työtä ohjanneelle opettajalle Ensio Siepille. Heiltä olen saanut ohjausta työn suorittamiseen. Suuret kiitokset myös perheelleni tuesta sekä opiskelukaveri Lassi Saariselle, jonka kanssa olemme tehneet yhteistyötä opiskeluissamme neljän vuoden ajan.

25.03.2020 Kimmo Määttä

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 OULUN ENERGIA SIIRTO JA JAKELU OY	10
3 TYÖN TAUSTA	12
4 KUNNOSSAPIDON TAVOITTEITA	13
5 MERIKOSKI PM5 HUOLLON JA KÄYTÖN HISTORIA	15
6 VIKAKAASUT	19
7 KAASUANALYSAATTOREIDEN VERTAILU	21
7.1 Vaisala MHT 410 -kosteus-, vety- ja lämpötilalähetin	21
7.2 GE Hydran M2-X -yhdistelmävikakaasu- ja kosteuslähetin	24
7.3 Vaisala Optimus OPT100 DGA -kaasuanalysaattori	26
7.3.1 Mittaustekniikka	28
7.3.2 Mittauksien tekniset tiedot	28
8 KAASUANALYSAATTORIN VALINTA JA TILAUS	30
9 ASENNUKSEN SUUNNITTELU	33
9.1 Mekaaninen suunnittelu	33
9.2 Sähkö- ja automaatio suunnittelu	35
9.3 Hälytysrajojen määrittäminen	37
10 TOTEUTUSSUUNNITELMA	39
10.1 Aikataulu	39
10.2 Turvallisuus laitetta asentaessa	39
11 POHDINTA	42
LÄHDELUETTELO	43
LIITTEET	
LIITE 1 VAISALA MHT410 Datasheet	
LIITE 2 VAISALA MHT410 Quick guide	

KÄYTETTY SANASTO JA LYHENTEET

Sanasto

CH ₄	metaani
C ₂ H ₆	etaani
C ₂ H ₄	etyleeni
C ₂ H ₂	asetyleeni
CO	häkä
CO ₂	hiilidioksidi
H ₂	vety
isoloitu	eristetty

Lyhenteet

EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EV	Energiavirasto
FG	Fingrid
KAH	keskeytyksestä aiheutunut haitta (€)
KJ	keskijännite
kV	kilovoltti
mA	milliampeeri
OLTC	On-load tap changer, käämikytkin

PM	päämuuntaja
ppm	parts per million, miljoonasosa
SJ	suurjännite
V	volti

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, mitä mahdollisuuksia muuntajan reaaliaikainen kunnonvalvontalaite antaa käytön ja kunnossapidon kokonaisuuden näkökulmasta. Työssä vertaillaan markkinoilla olevia päämuuntajan online-kunnonvalvontalaitteita ja tehdään näiden vertailujen perusteella päätös laitteen hankinnasta sekä asennus- ja käyttöönottosuunnitelma. Kunnonvalvontalaite analysoi muuntajaöljyssä olevia kaasuja reaaliajassa.

Tässä työssä huomioidaan kirjanpidolliset muutokset koskien päämuuntajan avaavaa huoltoa, tarkastellaan muuntajaa, johon analyysointilaite hankitaan, sekä yleisesti tutkitaan, mitä vikakaasuja muuntajissa syntyy mahdollisissa vikatilanteissa.

Tarkoitukseen sopivaa kaasuanalyysointilaitea valitessa vertaillaan markkinoilla olevia kaasuanalyysointilaitteita: niiden ominaisuuksia, mitattavia suureita ja kokonaiskustannuksia. Valitaan laite, joka palvelee parhaiten kokonaiskustannuksien, luotettavuuden sekä turvallisuuden näkökulmasta. Hyödynnetään myös muilla verkko-yhtiöillä kertyneitä kokemuksia laitetta hankittaessa.

Laitteen valinnan jälkeen tehdään laitteelle mekaaninen ja sähköinen suunnittelu asennusta varten. Laaditaan aikataulu asennustyölle ja tarkastellaan myös asennuksen aikaisia vaaroja, jotta pystyisimme mahdollisimman hyvin tiedostamaan etukäteen työssä esiintyvät vaarat laitteen asennuksen aikana.

Tämä opinnäytetyö on kohteena olevan Merikosken PM5 -muuntajan lisäksi ns. yleisluontoinen ohje, jota voidaan käyttää hyödyksi, kun kunnonvalvontalaitteita hankitaan muihin työn tilaajan, Oulun Energia Siirto ja Jakelun päämuuntajiin.

2 OULUN ENERGIA SIIRTO JA JAKELU OY

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy (OESJ) aloitti toimintansa 1.1.2007 ja se on yksi Oulun Energian tytäryhtiöistä. Muita tytäryhtiöitä ovat Oulun Sähkömyynti Oy, Oulun Energia Urakointi Oy, Turveruukki Oy ja Huoltovoima Oy. (1.)

OESJ:n keskeisempänä tehtävänä on siirtää sähköä asiakkaille, huolehtia sähköverkon suunnittelusta, kunnossapidosta sekä rakennuttamisesta Oulun kanta-kaupungissa, Kiimingin, Yli-lin ja lin Jakkukylän alueilla (kuva 1).



KUVA 1. OESJ:n jakeluverkkoalue (2)

OESJ:n tunnuslukuja v. 2018 olivat

- 110 kV:n suurjänniteverkkoa 53 km, maakaapelointiaste 8 %
- keskijänniteverkkoa 1058 km, maakaapelointiaste 72 %
- pienjänniteverkkoa 2979 km, maakaapelointiaste 89 %
- 9 sähköasemaa 110/20 kV
- 4 sähköasemaa 110/10 kV
- 1 kytkinlaitos 20/20 kV
- 1209 jakelumuuntamoaa
- 190 asiakasmuuntamoaa
- asiakkaita n. 107 000.

OESJ:n liikevaihto oli vuonna 2018 36,58 milj. euroa ja liikevoitto 13,30 milj. euroa (3). Yhtiön palveluksessa toimii tällä hetkellä 37 henkilöä.

3 TYÖN TAUSTA

Opinnäytetyön toimeksiantaja OESJ:n käyttöpäällikön Matti Lehdon pyynnöstä yhtiö hankkii ja asennuttaa Merikosken voimalaitoksen PM5 -muuntajaan reaaliaikaisen kunnonvalvontalaitteen.

Päämuuntajan perushuolto tehdään paikassa, jossa on tarkoituksenmukaiset työvälineet ja olosuhteet muuntajan huoltoon. Yleensä muuntaja viedään palveluntoimittajan tiloihin avattavaksi. Huollolle varattu aika on n. 6 viikkoa, jonka ajan se on pois tuotannosta.

Hankinnan perusteena on päämuuntajien avaavista huolloista eli perushuolloista aiheutuneiden kustannusten kirjanpidollisen käsittelyn muutos, josta johtuen verkkoyhtiöt ovat alkaneet kiinnostumaan enemmän muuntajien reaaliaikaisista kunnonvalvontalaitteista. Kunnonvalvontalaite mahdollistaa harkinnanvaraisen jatkoajan muuntajan käyttöiälle.

Vuoteen 2017 asti päämuuntajien avaavat huollot käsiteltiin kirjanpidossa investointeina, minkä vuoksi muuntajan avaava huolto nosti verkkoyhtiön verkon arvoa. Tämä tarkoitti sitä, että päämuuntajan avaava huolto pudotti muuntajan ikää kahdellakymmenellä vuodella, joka on puolet sen laskennallisesta pitoajasta. (4.)

Investointi on pitkävaikutteinen meno, josta odotetaan tuloja useamman vuoden ajalta. Sitä ei kirjata yhtiön tuloksessa kuluksi sille vuodelle, jolloin se hankitaan. Investointi poistetaan pitoaikana (se aika, jolloin sen odotetaan tuottavan tuloa). Investoinnin hankintahinta siis jakautuu usealle vuodelle kuluksi ja rasittaa siirtoverkkoyhtiön tulosta tasaisesti. Uusien laitteiden hankinnan lisäksi vanhojen laitteiden perusparannus on kirjanpidon näkökulmasta investointia. (4.)

Vuodesta 2017 eteenpäin Energiaviraston ohjauksen mukaisesti päämuuntajan avaavaa huoltoa ei katsota perusparannukseksi eikä se vaikuta verkon arvoon. Sähköverkkoliiketoiminnassa viranomaisen valvoo liiketoiminnan tuottoa, ja verkon arvo on perustana sallitun tuoton laskennassa. Päämuuntajien avaavat huollot menevät nykyään operatiivisiksi kuluiksi, jotka viedään kirjanpitoon suoraan menoksi. (4.)

4 KUNNOSSAPIDON TAVOITTEITA

Sähköverkon luotettavuus on nykyään entistäkin tärkeämmässä asemassa. Sähkökuluttajat ovat valveutuneempia ja vaativat verkkoyhtiöltä häiriötöntä sähkönjakelua. (5.)

Erityisesti verkkoyhtiön näkökulmasta kunnossapidon merkitys on suuri. Sähköasemalla olevan yksittäisen komponentin rikkoutuminen voi johtaa pahimmillaan jopa useiden satojen tuhansien eurojen keskeytyskustannuksiin. Kaikkia vikoja ei voida ennakoivan kunnossapidon menetelmillä havaita, mutta riskiä suuriin vankoihin pienennetään. (5.)

Simuloimalla Trimble DMS -käyttöjärjestelmässä Merikosken PM5 yhden tunnin keskeytyksen, KAH-arvoksi muodostuu n. 36 k€. KAH on keskeytyksen aiheuttama haitta asiakkaalle (kuva 2).

Kenttä	Arvo
▲	Tila
Keskeytysanalyysin tila	OK
Kesto	01:00:00
Keskeytyskriittisyys	
Keskeytyskriittisyys nyt	Ei määritelty
Palvelulupaus nyt	0
Keskeytyksessä olevat asiakkaat	0
Keskeytyksessä olevat muuntopiirit	0
▲	Keskeytyksestä aiheutunut haitta
KAH - Normalisoitu (e)	35935
KAH - Irtikytketyn tehon mukaan (e)	45321
KAH - Asiakasryhmittäinen (e)	45321
KAH - Arvioitu (e)	0
KAH/h (e)	0
▲	Yliaika
Yliaikataso	Ei määritelty
Korvaus (e)	0
Pelivara seuraavalle tasolle	
Yliaikaliputus	Ei määritelty
Pelivara seuraavaan liputukseen	
▲	Tunnusluvut
Kph - Käyttöpaikkatunnit (h)	8065.00
Mph - Muuntopiiritunnit (h)	0.00
Kpk - Käyttöpaikkakerrat (IEEE CI)	8065
Kpk - Käyttöpaikkakerrat (IEEE CN)	8065
Liittymien lukumäärä	554
Jakelumuuntajien lukumäärä	0
Mpk - Muuntopiirikerrat (kpl)	0
▲	Muut tulokset
Irtikytketty teho (kW)	6208.34
Toimittamatta jäänyt sähkö, oma verkko (kWh)	6208.34
Toimittamatta jäänyt sähkö, vieras verkko (kWh)	0.00

KUVA 2. Merikoski PM5 yhden tunnin keskeytysanalyysi

Tyypillisiä muuntajien kunnonvalvonnan tavoitteita on maksimoida sijoituksen tuotto sekä minimoida käytön aikaiset kustannukset. Päämuuntajan huollon optimoinnin tavoitteena on pidentää muuntajan elinikää turvallisesti ja hallitusti sekä estää vikatilanteita syntymästä. Jatkuvatoiminen ns. online-mittaus on hyvä apuväline riskien hallintaan ja mahdollistaa aikaperusteisesta huoltotoiminnasta kuntoperusteiseen huoltotoimintaan siirtymiseen. (6.)

5 MERIKOSKI PM5 HUOLLON JA KÄYTÖN HISTORIA

Muuntaja (kuva 3), johon kaasuanalysaattori hankitaan, on Strömbergin valmistama, nimellisteholtaan 25 MVA (kuva 4). Muuntajassa on 18-asentoinen käämikytkin, käämikytkimellä ei ole erillistä öljytilaa, vaan sama öljy kiertää sekä muuntajassa että käämikytkimessä. Muuntaja on valmistettu vuonna 1989, laskennallinen päämuuntajan käyttöikä on 40 vuotta.



KUVA 3. Merikoski PM5

STRÖMBERG
MADE IN FINLAND

3	~v. muuntaja	Leiji	KATI 123 X 25	Nro	5800625	Valmistusvuosi	1989	
Standardit	IEC 76	Kytkenä	YND11	Johdintyyppi	ONAN	50	Hz	
A - B - C	25000	kVA	110000 ± 9x1,67%	V	114 - 131 - 154	A		
a - b - c	25000	kVA	10500	V	1375	A		
		kVA		V		A		
Eristetöuse		Snn. eristysluokitus						
A - B - C	LI 550 AC 230	kV	as. 19	9,8	*I _H	2	*	
a - b - c	LI 75 AC 28	kV	as. 19	9,8	*I _H	2	*	
		kV			*I _H		*	
Suunta	ABCN/abc							
Tehoperusto	25000	kVA						
Säätöaste	1	10	19					
Diksu-impedanssi	11,1	10,4	10,3	%				
Diksu-resistanssi	0,34	0,35	0,47	%				
Nollaimpedanssi	9,3	9,1	9,4	%				
Työskäynti-häviö	15,6	kW	Käynnöspaino	47500	kg	Maattoruu- laattoruu paino	-	kg
Työskäyntiteho	35	kVA	Öljyn paino	11300	kg	Kuljetuspaino öljyineen	46500	kg
Jäähdyttimen teho		kW	Aktiivisen osien paino	25500	kg	Kuljetuspaino iljättä		kg
Leotikko	on	tyhjen- kestävä						

YKLP 1299

KUVA 4. Merikoski PM5 tyyppikilpi

Merikoski PM5 muuntajaöljyn kuntoa on seurattu öljynäytteillä. Öljynäytteet on otettu muuntajan näytteenottoventtiilistä sen hetkisen laboratorion antamien ohjeiden mukaisesti. Taulukkoon 1 on kerätty muuntajan historian kaikki öljynäytteet, kaasujen arvoissa ei ole ollut muuntajan olemassaoloaikana mitään hälyttävää. Suurin muutos kaasujen arvoissa on tapahtunut siinä vaiheessa, kun laboratorio, joka analysoi öljyt, on vaihtunut.

TAULUKKO 1. Merikoski PM5 öljynäytteiden kaasupitoisuudet

Laboratorio	Analyysi pvm	Kaasupitoisuudet Merikoski PM5										Lämpö- jännite kV	Öljyn- kosteus ppm
		H ₂ Vety µl/l	O ₂ Happi ml/l	N ₂ Typpi ml/l	CH ₄ Metaani µl/l	CO Hiilimon. µl/l	CO ₂ Hiilidio. µl/l	C ₂ H ₄ Etyleeni µl/l	C ₂ H ₆ Etaani µl/l	C ₂ H ₂ Asetyleeni µl/l	TCG Palavat k. µl/l		
Fortum	4.11.1991	26	28	68	2,8	205	408	1,5	0,0	7,3	242	71	-
Fortum	19.5.1997	30	32	70	4,2	197	766	17	7,0	17	271	76	-
Fortum	12.3.2004	20	29	63	3,5	191	937	4,4	0,4	14	233	77	-
Fortum	5.6.2006	15	33	72	3,5	192	1105	3,2	0,0	17	231	62	-
Infratek	13.7.2011	<5	-	-	7	74	1116	<1	1	8,5	94	73,2	11
Infratek	3.7.2016	6	-	-	3	120	1031	4	4	6,0	144	70,5	6
Infratek	8.8.2019	<5	-	-	3	160	1511	5	4	4,5	177	70,9	10
	Suositus	≤150	-	-	≤130	≤600	≤14000	≤280	≤90	≤20	-	>40	<15

On todettavissa, että laboratoriotulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Palveluntoimittaja Vaisalan Oyj:n mukaan näytteenoton epävarmuustekijöitä ovat öljynäytteen kerääjän toimintatavat, pitkät kuljetus-, varastointi- ja odotusajat, näytteen säilytys ja öljynäytepullon tyyppi. Muovikorkilla varustettu lasipullo imee vettä muovikorkkiin, kun taas alumiinikalvolla varustettu alumiinipullo säilyttää paremmin vedyt öljyn seassa. (6.)

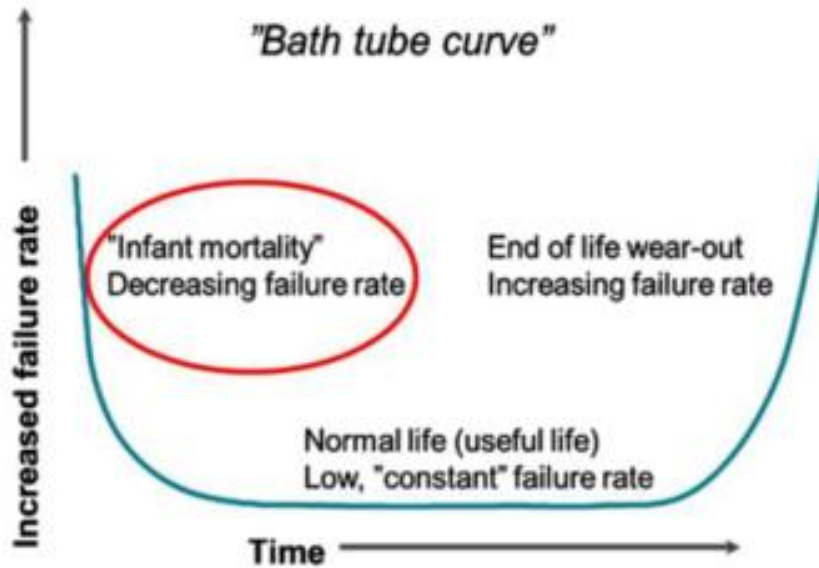
Muuntaja on tällä hetkellä ollut käytössä 31 vuotta, se toimii jakelumuuntajana ja kahden viime vuoden tehojen keskiarvoa katsomalla taulukosta 2, on todettavissa muuntajan käyvän normaalitilanteessa n. 20 %:n teholla nimellisestä.

TAULUKKO 2. Merikoski PM5 kuormitukset kuukausitasolla

Vuosi 2018		Vuosi 2019	
Kuukausi	PM5 MW	Kuukausi	PM5 MW
Tammikuu	5,3	Tammikuu	6,6
Helmikuu	5,4	Helmikuu	6,0
Maaliskuu	5,1	Maaliskuu	5,5
Huhtikuu	4,4	Huhtikuu	5,6
Toukokuu	3,6	Toukokuu	5,4
Kesäkuu	4,2	Kesäkuu	3,5
Heinäkuu	4,4	Heinäkuu	1,3
Elokuu	3,7	Elokuu	4,1
Syyskuu	3,5	Syyskuu	5,3
Lokakuu	3,8	Lokakuu	6,2
Marraskuu	4,5	Marraskuu	8,2
Joulukuu	5,9	Joulukuu	7,3

Muuntajassa ei ole tähän mennessä ollut mitään ongelmia, vikaantumisen todennäköisyys kasvaa sitä suuremmaksi mitä lähemmäs muuntajan elinkaaren lop-

pua mennään. Kuvassa 5 näkyy yleisesti kunnossapidossa käytössä oleva "Bath-tub curve" -käyrä. Yleisesti suurimmat viat laitteistossa ilmaantuvat heti käyttöönoton jälkeen ja elinkaaren lopussa. (6.)




KUVA 5. "Bathtub curve" (14, s.35)

6 VIKAKAASUT

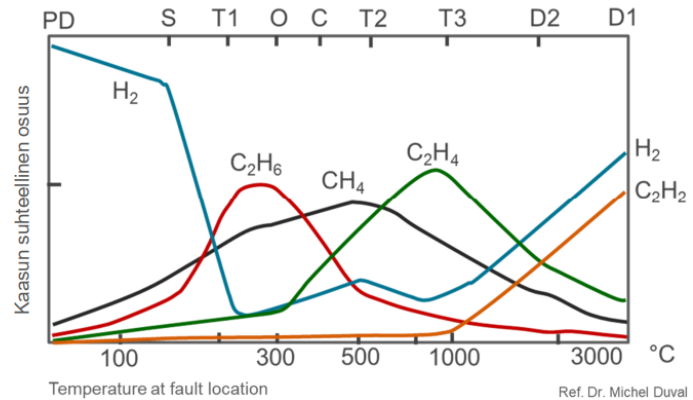
Kaasuanalysointoreilla sekä perinteisillä öljynäytteillä mitataan muuntajaöljyssä olevia kaasuja. Kemialliset reaktiot tapahtuvat, kun olosuhteet ovat niille sopivat. Läsnä ovat polttoaine, happi, energia sekä katalyytti. Vikatilanteessa lämpötila nousee paikallisesti voimakkaasti, mikä johtaa öljyn tai paperin termiseen hajoamiseen. Se, mitä kaasuja syntyy ja kuinka paljon, riippuu paljon vikatyypistä, sen pinta-alasta sekä energian intensiteetistä. (6.)

Tarkastelemalla kuvaa 6, huomaamme muuntajassa muodostuvia vikakaasuja olevan seitsemää erilaista, näiden lisäksi muuntajassa syntyy muitakin hiilivetyjä, mutta nämä seitsemän kaasua ovat ne, joita käytetään yleisesti muuntajadiagnostiikassa. Kuvaa 7 tarkastelemalla huomataan, että vetyä esiintyy kaikissa vi-oissa, eniten sitä muodostuu hajakaasuuntumisessa sekä low energy discharge-tilanteessa (kipinöinti). Lämpötiloiltaan suurimmissa 300 - >700 °C vioissa pääkaasuna esiintyy etyleeni, metaani tai etaani. Lopputuloksena on todettavissa, että yksittäisen kaasun mittaukseen paras on vety, jonka takia se on luontainen valinta yksikaasuanalysointoreiden kaasuksi (kuva 8).

- Vety H_2
 - Metaani CH_4
 - Etaani C_2H_6
 - Etyleeni C_2H_4
 - Asetyleeni C_2H_2
 - Häkä CO
 - Hiilidioksidi CO_2
 - Vesi H_2O
 - (Happi O_2)
 - (Typpi N_2)
- 
- Vikakaasut

KUVA 6. Muuntajassa esiintyvät kaasut (6)

- PD osittaispurkaukset
 - T1 terminen vika <300°C
 - T2 terminen vika 300-700°C
 - T3 terminen vika >700°C
 - D1 Low energy discharge (kipinöinti)
 - D2 High energy discharge (läpilyönti)
- Termisten vikojen alatyypit:
- S Hajakaasuuntuminen "Stray gassing" of oil < 200 °C
 - O ylikuumentuminen < 250 °C
 - C paperin hiiltymisen > 300 °C



KUVA 7. Vikakaasut eri vikatyypeissä (6)

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 ikääntymien	X	X					X	X
Öljyn "hajoaminen"			X	X	X	X	X	
Vuodot säiliössä, tiivisteissä jne.		X						X
Termiset viat, paperi	X	X	X				X	
Termiset viat, öljy @ 150-300°C			X	X	Jälki		X	
Termiset viat, öljy @ 300-700°C			X	X	X	Jälki	X	
Termiset viat, öljy >700°C			X		X	X	X	
Osittaispurkaukset (PD)			X			Jälki	X	
Kipinöinti			X		X	X	X	

KUVA 8. Vikakaasut eri vikatyypeissä (6)

7 KAASUANALYSAATTOREIDEN VERTAILU

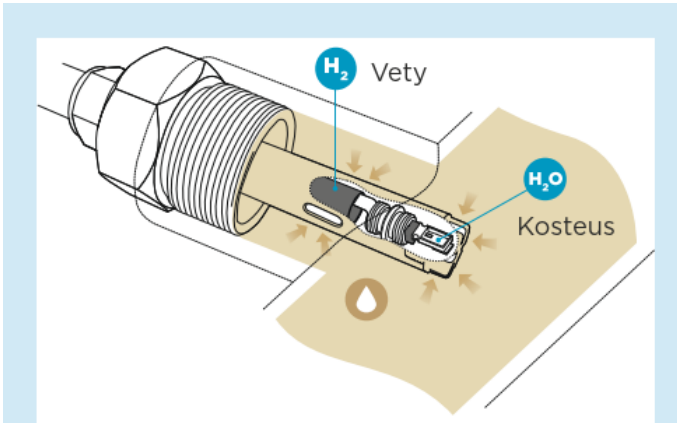
Kaasuanalyssaattorit voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri kategoriaan: vetymittaus, yhdistelmäkaasumittaus sekä monikaasumittaus. Mittalaitteiden hinnat kasvavat sen mukaan, kuinka montaa kaasua mitataan. Kaasujen lisäksi mitataan yleensä muuntajaöljyn kosteutta sekä lämpötilaa. Otettiin lähempään tarkasteluun kolme laitetta, jotka eivät ole keskenään suoraan verrannollisia. Tarkoituksena on löytää se laite, joka palvelee Oulun Energia Siirto ja Jakelua parhaiten.

7.1 Vaisala MHT 410 -kosteus-, vety- ja lämpötilalähetin

MHT410-lähetin (kuva 9) mittaa öljyn kosteutta, vetyä ja lämpötilaa suoraan muuntajaöljystä. MHT410-lähettimessä on integroitu kaikki kolme mittausta samaan mittapäähän (kuva 10), joten asennus on helppo suorittaa. (7.)



KUVA 9. Vaisala MHT410 (7)



Kosteus- ja vetyanturit ovat suorassa kontaktissa muuntajan eristeöljyyn.

- Kosteuspitoisuuden vaihtelut voidaan havaita nopeasti ja luotettavasti säädettävän mittapäärakenteen ansiosta.
- Vetymittauksessa ei käytetä erotinkalvoa, eikä huoltotoimenpiteille ole tarvetta. Tämä tekee laitteesta kestävä ja luotettava. Vetyanturi ei kulu mittauksessa, eikä sitä tarvitse vaihtaa.

KUVA 10. MHT410 mittapää (7)

Valmistaja lupaa laitteen olevan huoltovapaa sekä kestävä suuria lämpötilavaihteluja, tärinää ja rankkoja ulko-olosuhteita. Siinä on IP66 -luokiteltu metallinen laitekotelo sekä sääsuoja. EMC (elektromagneettinen yhteensopivuus) -sietokykyyn on kiinnitetty myös huomiota, esimerkiksi kaikki sähköiset liitännät ovat isoituja. (7.)

Valmistajan ilmoittamia teknisiä tietoja tarkastelemalla (kuva 11) on huomattavissa, että vetyanturin mittausalueeksi on ilmoitettu 0 - 5000 ppm (parts per million, miljoonasosa). Mittausalue vaikuttaa laajalta ja mittauksen tarkkuus kärsii, varsinkin jos tiedonsiirrossa käytetään 4 - 20 mA:n viestiä.

Vetyanturi havaitsee 63 % muutoksista 2,5 tunnin kuluttua ja 90 % muutoksista 17 tunnin kuluttua. Laitteen kosteusanturi HUMICAP 180L2 havaitsee muutokset +20°C -asteisesta virtaamattomasta öljystä 10 minuutin kuluttua.

Measurement Performance

HYDROGEN MEASUREMENT

Measurement range (in oil)	0 ... 5000 ppm
Accuracy (in oil temp. range -20 ... +60 °C) (-4 ... +140 °F)	±20% of reading or ±25 ppm (whichever is greater)
Repeatability	±10 % of reading or ±15 ppm (whichever is greater)
Min. detection limit	20 ppm
Typical long-term stability	3 % of reading / year
Cross sensitivity to other gases	< 2 % (CO ₂ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , CO)
Response time	63%: 2.5 hours (when sensor is not in reference cycle), 90%: 17 hours
Warm-up time	2 hours, 12 hours for full specification
Sensor	Catalytic palladium-nickel alloy film solid-state sensor

MOISTURE IN OIL MEASUREMENT

Measurement range (in oil)	0 ... 100 %RS / a _w 0 ... 1
Accuracy at 20 °C (+68 °F) (including non-linearity, hysteresis and repeatability)	
0 ... 90 %RS / a _w 0 ... 0.9	±2 %RS (a _w ±0.02)
90 ... 100 %RS (a _w 0.9 ... 1.0)	±3 %RS (a _w ±0.03)
Sensor response time (90%, at +20 °C (+68 °F) in still oil)	10 min
Sensor	HUMICAP® 180L2

TEMPERATURE MEASUREMENT

Measurement range	-40 ... +120 °C (-40 ... +248 °F)
Accuracy at +20 °C (+68 °F)	± 0.2 °C (0.36 °F)
Sensor	Pt1000 RTD Class F0.1 IEC 60751

KUVA 11. MHT410 mittauksien tekniset tiedot (7)

Kosteutta mittaava HUMICAP-anturi on kapasitiivinen ohutkalvopolymeerianturi, joka koostuu alustasta, johon laitetaan ohut polymeerikalvo kahden johtavan elektrodin väliin. Pintaelektrodi on huokoinen, jotta vesimolekyylit pääsevät liikkumaan polymeerikalvoon ja sieltä pois. Se on kondensaattorin toinen elektrodi, eikä sillä ole varsinaisesti suojaustarkoitusta. Alusta on yleensä lasinen tai keraaminen. Ohutkalvopolymeeri joko absorboi tai vapauttaa vesihöyryä, kun ilman suhteellinen kosteus nousee tai laskee. Polymeerikalvon eristeominaisuudet riippuvat absorboidun veden määrästä. Kun suhteellinen kosteus anturin ympärillä muuttuu, polymeerikalvon eristeominaisuudet sekä anturin kapasitanssi muuttuvat. Laitteen elektroniikka mittaa anturin kapasitanssin ja muuntaa sen kosteuslukemaksi. (8.)

7.2 GE Hydran M2-X -yhdistelmävikakaasu- ja kosteuslähetin

GE:n valmistama Hydran M2-X -lähetin voidaan valita vetymittauksella tai yhdistelmävikakaasumittauksella. Tarkastelen Hydran M2-X -analysointia (kuva 12), jossa on yhdistelmävikakaasumittaus.

Laitteessa on kaksi mittauspäättä, joista toinen mittaa vetyä, häkää, asetyleeniä ja etyleeniä ja toinen mittaa kosteutta. Laitteeseen on saatavana lisävarusteena anturi, joka mittaa öljyn lämpötilaa.



KUVA 12. GE Hydran M2-X analysointilaitteisto (9)

Valmistajan ilmoituksen mukaan laitteen huollontarve on vähäinen: Hydran M2-X analysointilaitteessa ei ole liikkuvia osia, ainoastaan varmistuspariston voi joutua vaihtamaan. Laite on saanut IP56 -luokituksen ja sen luvataan kestävän suuret sääolojen vaihtelut. (9.)

Valmistaja ilmoittaa laitteen teknisissä tiedoissa (kuva 13) mittapään skaalaksi 25-2000 ppm. Laite havaitsee 90% kaasutasonmuutoksista 10 minuutin kuluttua. Tarkasteltaessa yhdistelmävikakaasusensorilla (Composite Gas) varustettua analysointilaitteita on huomattavissa, että laitteesta saa ulos yhden kaasuarvon (ppm), vaikka laite mittaa useampaa eri vikakaasua. Kaavaa 1 käyttämällä lasketaan laitteen näyttämä mittausarvo (ppm), kun vety, happi, asetyleeni ja etyleeni ovat tiedossa.

$$100 \% [H_2] + 15 \% [CO] + 8 \% [C_2H_2] + 1.5 \% [C_2H_4]$$

KAAVA 1

Kaavasta 1 näkyy, että vety on merkittävin tekijä, vaikka kyseessä on yhdistelmävikakaasusensori. Esimerkkiarvoiksi otettiin taulukosta 1 Merikosken PM5 öljyanalyysin tulokset vuodelta 2019, nämä arvot sijoittamalla kaavaan 1 saadaan laskettua laitteen teoreettinen näyttämä.

$$1*5.0+0.15*160+0.08*4.5+0.015*5 = 29.4 \text{ ppm}$$

Seuraavaksi laskettiin taulukkoon 3, mitä arvoja Hydran M2-X -analysaattori teoreettisesti näyttää eri kaasunmuutoksilla. Anturin suuren vedyn painoituksen vuoksi laitteen näyttämä ppm -arvo on lähes sama tilanteessa, jossa vedyn arvo nousee yhdellä ppm:llä tai asetyleenin arvo nousee kahdellakymmenellä ppm:llä.

TAULUKKO 3. Hydran M2-X laitteen teoreettinen näyttämä ppm esimerkkiarvoilla

Hydran M2-X reading = $100 \% [H_2] + 15 \% [CO] + 8 \% [C_2H_2] + 1.5 \% [C_2H_4]$	ppm
MER PM5, 2019 mittaustulokset	29,4
MER PM5, 2019 mittaustulokset + asetyleeni 20	30,7
MER PM5, 2019 mittaustulokset + etyleeni 50	30,1
MER PM5, 2019 mittaustulokset + hiilimon. 320	53,4
MER PM5, 2019 mittaustulokset + vety 1	30,4
MER PM5, 2019 mittaustulokset + vety 30	54,4

Vikakaasuja vertailtaessa on muistettava, että asetyleenin nousu yli kahteenkymmeneen on merkittävä muutos, toisin kuin vedyn nousu yhdellä ppm:llä on normaalia ja se voi johtua pelkästään mittauksen epätarkkuudesta.

MEASUREMENTS

Fuel cell type sensor behind a gas permeable membrane in contact with transformer insulating oil

Range	25-2000 ppm (volume/volume H ₂ equivalent)
Accuracy**	±10% of reading ±25 ppm
Response time	10 minutes (90% of step change)

"Composite Gas" Sensor

Relative sensitivity	H ₂ : 100% of concentration CO: 15 ± 4 % of concentration C ₂ H ₂ : 8 ± 2 % of concentration C ₂ H ₄ : 1.5 ± 0.5 % of concentration
Repeatability	highest of ±5% of reading or ±5 ppm

"Discrete H₂" Gas Sensor (Mineral oil only)

Relative sensitivity	H ₂ : 100% of concentration Interference from CO, C ₂ H ₂ and C ₂ H ₄ less than 3% of concentration
Repeatability	highest of ±5% of reading or ±10 ppm

Moisture Sensor

Thin film capacitive type sensor immersed in insulating oil

Range	0-100% RH
Accuracy	± 2% RH
Repeatability	± 2% RH

KUVA 13. Hydran M2-X mittauksien tekniset tiedot (9)

7.3 Vaisala Optimus OPT100 DGA -kaasuanalysaattori

OPTIMUS OPT100 (kuva 14) on monikaasuanalysaattori. Laite mittaa seitsemää eri kaasua sekä kosteuden. Verrattaessa kuvaa 15 aiemmin esitettyyn kuvaan 6 nähdään, että tämän laitteen pitäisi huomata kaikki muuntajan sisäiset viat.



KUVA 14. Vaisala OPTIMUS OPT100 DGA kaasuanalysointilaitte (10, s. 4)

Mittausparametrit
■ Vety, H_2
■ Häkä, CO
■ Hiilidioksidi, CO_2
■ Metaani, CH_4
■ Etaani, C_2H_6
■ Etyleeni, C_2H_4
■ Asetyleeni, C_2H_2
■ Kosteus, H_2O

KUVA 15. Vaisala OPTIMUS OPT100 DGA -mittausparametrit (10, s. 5)

Valmistajan ilmoituksen mukaan laite on huoltovapaa sekä hermeettisesti suljettu, joten se kestää alipainetta ja painevaihteluja. Laite on valmistettu ruostumattomasta teräksestä sekä alumiinista. Laite on IP66 -luokiteltu, joten se kestää suuriakin sääolon vaihteluja. Valmistaja tarjoaa Optimus -kaasuanalysointilaitteille

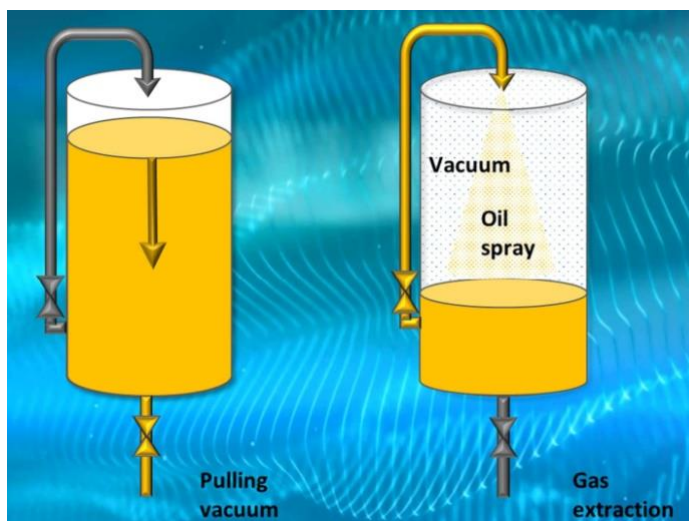
selainpohjaisen käyttöliittymän, jonka ansiosta erillistä ohjelmistoa ei tarvita mitaustuloksien analysoimiseen. (11, s. 1.)

7.3.1 Mittaustekniikka

Optimus DGA -analysointia käytettäessä kaasut erotetaan muuntajaöljystä alipaineessa (kuva 16), mikä tuottaa täydellisemmän kaasunerotuksen kuin perinteisemmät headspace- tai kalvomenetelmät (6).

Tyhjiön eli alipaineen käyttö kaasujen erotukseen öljyssä

- öljy toimii mäntänä sylinterissä eikä erillistä alipainepumppua tarvita
- magneettinen rataspumppu -> ei vuotavia akselitiivisteitä
- alipaine-erotuksella suurin osa kaasuista saadaan irti öljystä -> teknologia vähemmän riippuvainen kaasujen liukoisuusominaisuuksista (6).



KUVA 16. Havainnekuva tyhjiöllä toimivasta kaasujen erottamisesta (6)

7.3.2 Mittauksien tekniset tiedot

Valmistajan antamien teknisten tietojen (kuva 17) perusteella on huomattavissa, että mittausalueet yltyvät kaikilla kaasuilla erittäin laajalle. Laite ei mittaa kaasuja

suoraan kiertävästä öljystä, vaan ottaa pienen erän öljyä sisäänsä ja erottelee siellä kaasut alipaineessa. Mittausjakson kesto on tyypillisesti 1 - 1,5 h. (6.)

Öljystä mitatut parametrit

Parametri	Alue	Tarkkuus ^{1) 2)}	Toistettavuus ²⁾
Metaani (CH ₄)	0 ... 10 000 ppm _v	10 ppm tai 10 % lukemasta	10 ppm tai 5 % lukemasta
Etaani (C ₂ H ₆)	0 ... 10 000 ppm _v	10 ppm tai 10 % lukemasta	10 ppm tai 5 % lukemasta ³⁾
Etyyleeni (C ₂ H ₄)	0 ... 10 000 ppm _v	10 ppm tai 10 % lukemasta	10 ppm tai 5 % lukemasta
Asetyleeni (C ₂ H ₂)	0 ... 5000 ppm _v	2 ppm tai 10 % lukemasta	1 ppm tai 10 % lukemasta
Hiiimonoksidi (CO)	0 ... 10 000 ppm _v	10 ppm tai 10 % lukemasta	10 ppm tai 5 % lukemasta
Hiiidioksidi (CO ₂)	0 ... 10 000 ppm _v	10 ppm tai 10 % lukemasta	10 ppm tai 5 % lukemasta
Vety (H ₂)	0 ... 5000 ppm _v	25 ppm tai 20 % lukemasta	15 ppm tai 10 % lukemasta
Kosteus ⁴⁾ (H ₂ O)	0 ... 100 ppm _w ⁵⁾	±2 ppm ⁶⁾ tai ±10 % lukemasta	Sisältyy tarkkuuteen

1) Ilmoitettu tarkkuus on anturien tarkkuus kalibrointikaasumittausten aikana. Öljyn kaasupitoisuuden mittaamiseen vaikuttavat myös öljyn ominaisuudet ja öljyssä olevat kemialliset yhdisteet.

2) Arvoista suurempi.

3) Etaanimittauksen toistettavuus ilmoitetaan viiden mittauksen keskiarvona.

4) Mitataan suhteellisenä saturaattona (%RS).

5) Yläraja rajoittuu saturaatioon.

6) Laskettu ppm-arvo perustuu keskimääräiseen liukenevuuteen mineraaliöljyissä.

Mittauksen suorituskyky

Mittausjakson kesto	1 ... 1,5 h (tyypillinen)
Vasteaika (T63)	Yksi mittausjakso ¹⁾
Lämpenemisaika täyteen suorituskykyyn	Kaksi mittausjaksoa
Alustus aika täyteen tarkkuuteen	Kaksi päivää
Tietojen tallennus	Vähintään 10 vuotta
Odotettu käyttöikä	> 15 vuotta

1) Kolme jaksoa etaanille ja vedylle.

KUVA 17. OPTIMUS OPT100 mittauksien tekniset tiedot (11, s. 3)

8 KAASUANALYSAATTORIN VALINTA JA TILAUS

Toimeksiantajan määrittelemän investointibudjetin takia päädyimme rajaamaan Vaisala OPTIMUS OPT100 -monikaasuanalysointilaitteen pois korkeiden kokonaiskustannusten takia.

Päädyimme kokonaiskustannuksiltaan halvempiin vaihtoehtoihin myös siksi, että Merikoski PM5 vikaantuessa se on korvattavissa. Päämuuntaja ei ole korvaamaton, mutta esimerkiksi yhden tunnin keskeytys kyseisessä muuntajassa aiheuttaa verkkoyhtiölle n. 36 k€ verran KAH-arvoa (kuva 2).

Kartoitetuista vaihtoehtoista jäivät siten jäljelle Vaisala MHT410 ja GE Hydran M2-X, joita on vertailtu taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Vertailutaulukko MHT410 vs. Hydran M2-X

	Vaisala MHT410	GE Hydran M2-X
Huoltovapaa	x	
Automaattihälytykset		x
Kaikki mittaukset samassa anturissa	x	
Vetykaasun mittaus	x	x
Yhdistelmävikakaasun mittaus		x
Kosteuden mittaus	x	x
Öljyn lämmön mittaus	x	optio
mA ulostulo -kortti	x	optio
Paikallinäyttö	optio	x
Takuu	5 vuotta	7 vuotta
IP luokitus	IP66	IP56

Taulukon 4 vertailuilla arvoilla on huomattavissa, että vertailtavat laitteet eivät eroa toisistaan merkittävästi. Tarkemmassa linjauksessa tuli valituksi OESJ:n ensimmäiseksi vetyanalyysointilaitteeksi Vaisalan MHT410. Suurimpana tekijänä valinnassa oli Vaisalan lupaama täysi huoltovapaus sekä laitteen selkeä rakenne: kaikki mittaukset samassa pisteessä eikä ulkoisia johdotuksia tarvita. Myös muilta verkkoyhtiöiltä saadut myönteiset kokemukset Vaisalan MHT410 -kaasuanalysointilaitteesta vaikuttivat valintapäätökseen.

Laitteen tilausvaiheessa määritellään mittaustavat ja -alueet vedylle, kosteudelle sekä lämpötilalle. Normaalisti vedyn mittausalue on 0 - 5000 ppm, Merikoski PM5 tapauksessa kolmenkymmenen vuoden aikana mitatut arvot vedylle ovat 5 - 30 ppm, joten mittausalueeksi määriteltiin 0 - 250 ppm.

Öljyn kosteuden mittaustavaksi määriteltiin a_w , tällä mittaustavalla öljyn kosteus määritellään veden aktiivisuutena. Perinteisesti nesteiden kosteuspitoisuuksia ilmaiseva mittausyksikkö on ollut ppm, mutta a_w :n mittaaminen antaa täydellisemmän kuvan nesteen tilanteesta:

1. Riippumatta nesteen saturaatiopisteestä a_w -mittauksella saadaan aina tarkka indikaatio vapaan veden muodostumisriskistä.
2. Vaikka saturaatiopiste nousisi tai laskisi jostain syystä (esim. lämpötila, öljyn vanheneminen), niin a_w kertoo koko ajan marginaalin öljyn nesteen saturaatiopisteeseen.
3. A_w on riippumaton nesteestä, jota mitataan. Koska a_w soveltuu kaikille nesteille ja kiinteille aineille, sitä voidaan käyttää universaalisti kaikille aineille riippumatta niiden kemiallisesta koostumuksesta tai fyysisistä ominaisuuksista. (13.)

Muuntajan paikallisen öljynlämmön (kapilaarimittaus) skaala on 0 – 150 °C, öljyn lämpötilan hälytysraja on asetettu n. 90 °C:een ja laukaisuraja n. 105 °C:een. Näiden arvojen perusteella öljyn lämpötilan mittausalueeksi määriteltiin 0 - +120 °C

Laitte tilataan kuvan 18 tilauskaavakkeella, Merikoski PM5 muuntajassa on mineraaliöljyt (1), öljyn kosteuden alueeksi valitaan a_w (B), vedyn mittausalueeksi 0-250 ppm (X), sekä muuntajaöljyn lämpötilaksi 0 - +120 °C (H). Laitteen mukana ei tilata kaapeleita, joten tilauskoodiksi muodostuu 1BXH0.

Moisture, Hydrogen and Temperature Transmitter for Transformer Oil MHT410

Vaisala Multiparameter Transmitter		MHT410	1	2	3	4	5	PRICE	
1	Probe	MHT410 with 1.5" NPT male thread for Mineral oils	1						
		MHT410 with 1.5" NPT male thread for Natural Ester Oils	2						
		MHT410 with 1.5" NPT male thread for Synthetic Ester Oils	3						
2	Analog output parameters	None (only digital RS-485 / Modbus output)*		A	A	A			
3	and scalings for	Oil moisture; water activity (aw, 0... 1)		B	B	B			
4	CH1, CH2, CH3	Oil moisture; % relative saturation (% RS)		C	C	C			
		Oil moisture; water ppm (0.. 100 ppm, in oil ppm)		D	D	D			
	Sinking 4... 20 mA with all analog outputs	Hydrogen, H2 (0...5000 ppm, in oil ppm) <i>select to match with accessory display scale</i>		E	E	E			
		Hydrogen, H2 (0... 2 000 ppm, in oil ppm)		F	F	F			
		Temperature (-20...+80 °C / -4... +176 °F)		G	G	G			
		Temperature (0...+120 °C / +32... +248 °F)		H	H	H			
SPECIAL SCALE	Define parameter (unit) for CH1: _____ (____) CH2: _____ (____) CH3: _____ (____) Define scale for CH1: _____ CH2: _____ CH3: _____	Temperature (0... 200 °F / -17.8 °C... +93.3 °C)		J	J	J			
				X	X	X			
		Channel 1 (CH1), selection 2							
		Channel 2 (CH2), selection 3							
		Channel 3 (CH3), selection 4							
* Digital RS-485 output with Modbus always includes in all models									
5	Transmitter cable	No cable, only with M20 x 1.5 mm cable gland for cable 8...11 mm outer diameter						0	
		No cable, only with M20 x 1.5 mm conduit fitting for NPT ½" conduit						1	
		Factory installed 5 m Shielded PUR cable with M20 cable gland							2
		No cable, only with M20 x 1.5 mm cable gland for cable 11...14.5 mm outer diameter							3
Total									
Total value									

Selections in bold are included in the prices of the basic versions.
Selections in italic are available at an extra price.

Example of order code with typical settings:

MHT410	1	B	E	G	0
	1	2	3	4	5

KUVA 18. MHT410 tilauskaavake

9 ASENNUKSEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käsitellään kaasuanalysaattorin asennuksen suunnittelu, sisältäen mekaanisen sekä sähkö- ja automaatio suunnittelun. Tässä luvussa määritellään myös hälytysrajat vedylle. Suunnittelussa pitää ottaa huomioon kaikki tekijät laitteen ominaisuuksista turvallisuusmääräyksiin.

9.1 Mekaaninen suunnittelu

Vaisala suosittelee MHT410 -analysaattorille kolmea eri vaihtoehtoa asennuspaikaksi:

1. Radiaattoriputki

- kiertävä öljy: nopea vaste*
- lämpötila ei ole ongelma*
- optimaalinen asennuspaikka*
- pieni korkeajänniteriski*

2. Instrumentointiventtiili

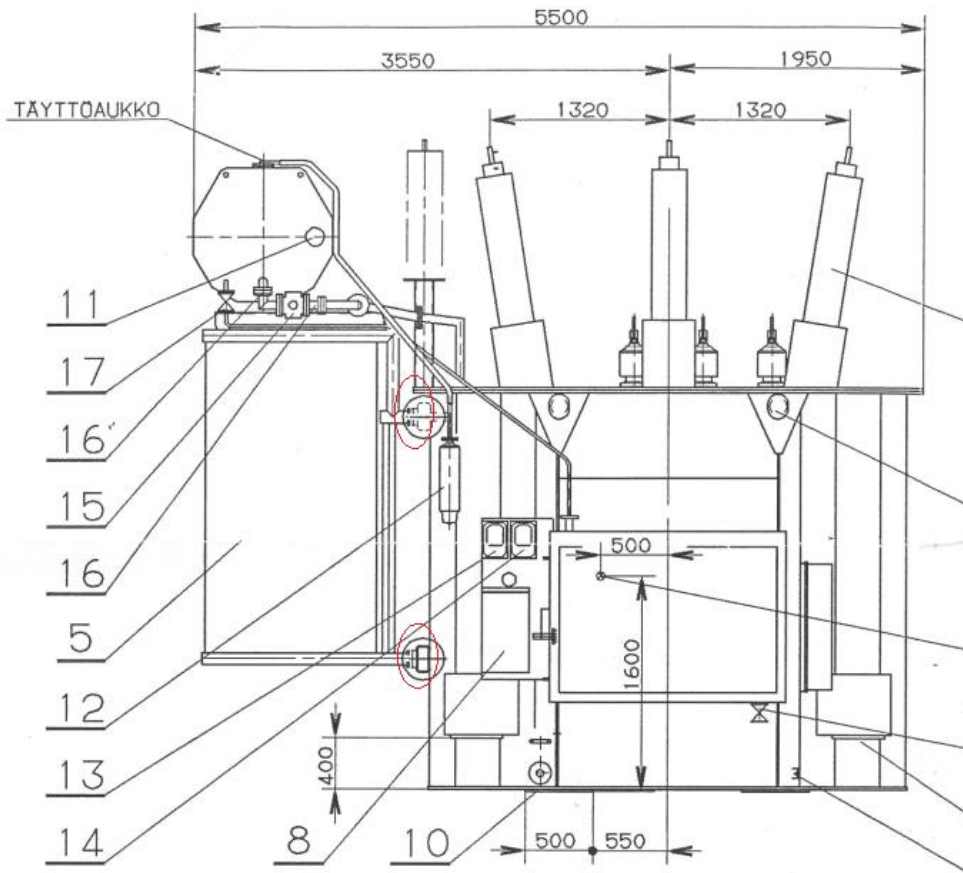
- yleisesti hyvä sijainti*
- varmistuttava, että korkeajännitteiset osat eivät ole liian lähellä MHT410:n mittapäätä*

3. Tyhjennysventtiili

- seisova öljy ei välttämättä vastaa todellista tilannetta*
- käytettävä vain, jos muuta sijaintia ei ole käytettävissä.*

Näistä asennuspaikaksi valikoitui radiaattoriputki, koska on hyödyllisintä kerätä data kiertävästä öljystä, jossa kaasun muutokset näkyvät herkimmin.

Merikoski PM5 on kuusi erillistä radiaattoria. Näistä yhtä radiaattoria siirretään kauemmas muuntajasta adapterien avulla, adapteriin asennetaan Vaisala MHT410 -kaasuanalysaattori. Kuvassa 19 on havainnollistettu punaisilla ympyröillä kohta, johon adapterit tulevat. Kuvassa 20 vasemmalla oleva adapteri sisältää venttiilin sekä 1,5 tuuman NPT-naarasliittimen analysaattoria varten. Tämä adapteri tulee radiaattorin alapäähän, joten analysaattoria pystytään huoltamaan mahdollisessa vikatilanteessa ilman 110 kV:n kytkentöjä.



KUVA 19. Merikoski PM5 rakenne-mitoituskuva



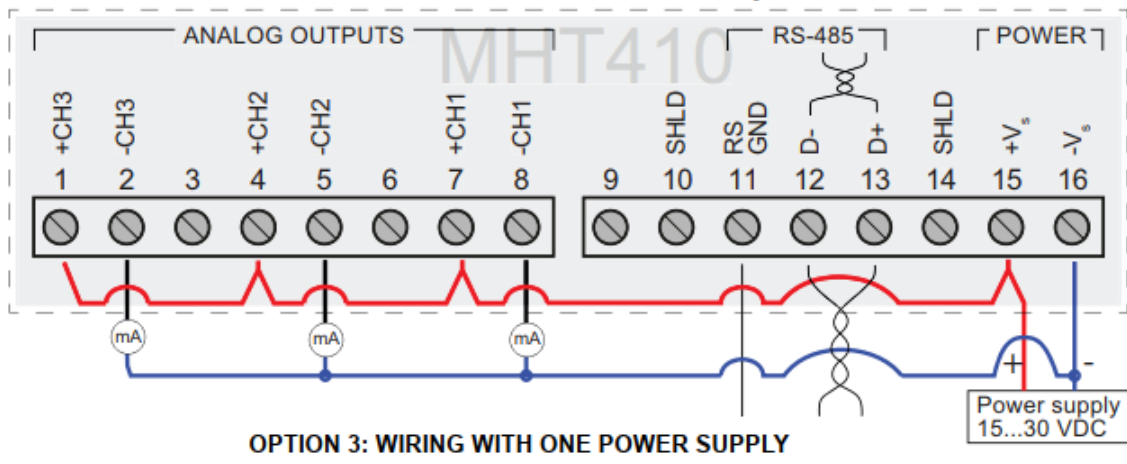
KUVA 20. Adapterit Vaisala MHT410 -kaasuanalysaattorille

9.2 Sähkö- ja automaatio suunnittelu

Vaisala MHT410 -kaasuanalysaattori vaatii oman käyttönsähkön 15 - 30 VDC. AE05 kentän jakokaappiin OT5 on tuotu 110 VDC tasasähkösyöttö 110 kV:n erottimien tilatietoja, lukituksia sekä katkaisijan ohjauksia varten. OT5 kaappiin asennetaan 110 VDC/24 VDC muunnin, josta kaapeloidaan käyttönsähkö Vaisala MHT410 kaasuanalysaattorille. MHT410 analysaattori ottaa maksimissaan tehoa 12 W, joten esimerkiksi 0,5 A:n muunnin on mitoitukseltaan sopiva tähän tarkoitukseen.

Analysaattorista mittaustiedot saadaan ulos RS-485 kanavaa pitkin tai perinteisellä mA-viestillä (kuva 21). Toteutustavaksi valikoitui mA-viesti, koska siihen on paremmat valmiudet olemassa.

OPTION 3 / Option 3 / Option 3 / Option 3 / Opción 3 / Opção 3 / オプション 3 / 选项 3



KUVA 21. Vaisala MHT410 kytkentäohje (15)

Laitteessa on kuvan 21 kytkentäohjeen mukaisesti kolme mA-output -kanavaa: kaasulle (vety), kosteudelle sekä muuntajaöljyn lämpötilalle. mA-viesti vietään Merikosken voimalaitoksen automaation ala-asemaan (Allen-Bradley) KK1 (kuva 22). Ala-asemassa ohjelmoidaan kanavakohtaiset mittausalueet sekä mittauskanaville hälytykset. Ala-asemasta mittaustieto menee ABB MicroScada -järjestelmään, jossa voidaan määrittellä mittauskanaville ala- ja ylärajahälytykset. ABB

MircoScada -järjestelmässä luodaan trendit mittaustiedoista, joiden avulla mittaustietojen analysointi voidaan suorittaa.

Vaisala MHT410 -kaasuanalyssaattorissa mA-kanavat ovat passiivisia, kuten myös Allen-Bradleyn ala-aseman analogiatulokortissa, joten mittauspiirin jännite 24VDC pitää johdottaa ulkoisesti.

Vaisala MHT410 laitteessa on ilmoitettu vedyn mittaustarkkuudeksi ± 20 % lue-
tusta arvosta tai ± 25 ppm, näistä suurempi arvo on voimassa. Jos muuntajan
vetypitoisuus on 25 ppm, laite näyttää lukemaksi 0 ppm tai 50 ppm. Vetypitoisuu-
den ollessa 250 ppm laite näyttää lukemaksi 200 ppm tai 250 ppm. Allen-Brad-
leyn ala-aseman KK1 (kuva 22) analogiatulokortin IFE-1771 tarkkuudeksi ilmoi-
tetaan 0,1 % täydestä alueesta.



KUVA 22. Merikosken voimalaitoksen Allen-Bradley ala-asema KK1

9.3 Hälytysrajojen määrittäminen

Vikakaasujen muutoksia seurataan ABB MicroScadassa trendeillä ja suhteilla. Hälytysrajoiksi voidaan määrittellä käyttöönotossa joko muuntajaperheen tyypillisiä arvoja tai, jos niitä ei ole saatavilla, verrataan kaasupitoisuuksia standardeihin.

Standardi IEC60599 (kuva 23) taulukossa OLTC (On-load tap changer) tarkoittaa käämikytkintä, "No OLTC" viittaa siihen, että käämikytkimellä on oma öljytilavuutensa. Communicating OLTC viittaa siihen, että öljytilavuudet ovat tavalla tai toi-

sella yhteydessä. Huomataan, että yhdistetty öljytila käämikytkimen kanssa nostaa tyypillisesti muuntajaöljyn asetyleenipitoisuuksia. Merikoski PM5 tapauksessa korkein todettu asetyleeni -arvo taulukon 1 mukaisesti on kuitenkin vain 17 ppm, vaikka käämikytkimellä ei ole omaa erillistä öljytilaa. Alhainen asetyleeni-arvo johtunee myös käämikytkimen suhteellisen vähäisestä kytkentämäärästä.

- Data kerätty maailmanlaajuisesti (25 verkkoyhtiötä) yli 20 000 muuntajasta (IEC60599 Ed.3 2015):

	C ₂ H ₂	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
All transformers		50 - 150	30 - 130	60 - 280	20 - 90	400 - 600	3 800 - 14 000
No OLTC	2 - 20						
Communicating OLTC	60 - 280						

ppm/vuosi

KUVA 23. IEC60599 Ed.3 2015 standardi (6)

Kuvan 24 IEEE Std C.57.104 -2019 standardissa otetaan kantaa käytännössä muuntajan rakenteeseen O₂/N₂-suhteen kautta. Suhteen ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin 0.2 viitataan lähinnä muuntajiin, jotka ovat rakenteeltaan suljettuja. Kun taas suhde on isompi kuin 0.2, viitataan lähinnä vapaasti hengittäviin muuntajiin. (6.)

90th percentile gas concentrations as a function of O₂/N₂ ratio and age in µl/l (ppm)

	O ₂ /N ₂ Ratio ≤ 0.2				O ₂ /N ₂ Ratio > 0.2			
	Transformer Age in Years				Transformer Age in Years			
	Unknown	1 - 9	10 - 30	>30	Unknown	1 - 9	10 - 30	>30
Gas	Hydrogen (H ₂)	80	75		100	40	40	
	Methane (CH ₄)	90	45	90	110	20	20	
	Ethane (C ₂ H ₆)	90	30	90	150	15	15	
	Ethylene (C ₂ H ₄)	50	20	50	90	50	25	60
	Acetylene (C ₂ H ₂)	1	1			2	2	
	Carbon monoxide (CO)	900	900			500	500	
	Carbon dioxide (CO ₂)	9000	5000	10000		5000	3500	5500

NOTE—During the data analysis, it was determined that voltage class, MVA, and volume of mineral oil in the unit did not contribute in significant way to the determination of values provided in Table 1.

KUVA 24. IEEE Std C.57.104 -2019 (6)

Merikoski PM5 tapauksessa verrataan näitä kahta edellä mainittua standardia muuntajan historiaan. Mielestäni sopiva hälytysraja vedylle näin alkuun olisi 50 - 100 ppm. Jos raja ylittyy, on muuntajassa jo tapahtunut huomattavia muutoksia historiaan ja standardeihin verraten.

10 TOTEUTUSSUUNNITELMA

Tässä luvussa käsitellään kaasuanalysointilaitteen tilauksen, asennuksen ja käyttöönoton aikataulua sekä niihin liittyviä vaaratekijöitä. Laadittu toteutussuunnitelma voi muuttua. Siihen voi johtaa mm. muuntajan radiaattoreiden sulkuventtiilien vuotaminen.

10.1 Aikataulu

Tässä työssä laitteen hankkiminen ja toimitus on nopea prosessi, asennus vaatii urakoitsijalta erityisresursseja. Tästä johtuen laitteen asennus ja käyttöönotto ajoittuu viikolle 33 vuonna 2020.

Vaisala MHT410 -analysointilaitteen toimitusajaksi on ilmoitettu n. kaksi viikkoa. Se tilataan kevään aikana.

Projektin aikataulu on seuraavanlainen:

- investoinnin hyväksyntä budjettiin joulukuussa 2019
- kaasuanalysointilaitteen valinta ja suunnitelmien tekeminen helmikuussa 2020
- kaasuanalysointilaitteen tilaus keväällä 2020
- valmistelevat asennukset kesällä 2020
- kaasuanalysointilaitteen asennus ja käyttöönotto viikolla 33 / 2020
- loppudokumentoinnin laatiminen syyskuussa 2020.

10.2 Turvallisuus laitetta asentaessa

Tehtäessä töitä 110 kV:n sähköasemalla, on erityisen tärkeää noudattaa laissa säädetyt turvallisuusmääräyksiä.

1 §. Työskentelyn yleiset vaatimukset

Työt on suoritettava huolellisesti ja ammattitaitoisesti vaarantamatta kenenkään henkeä tai terveyttä.

Työssä on noudatettava vakiintuneita, turvallisiksi todettuja työmenetelmiä. Jos työ kuitenkin suoritetaan poikkeuksellisella tai uudella menetelmällä, menetelmään liittyvät mahdolliset vaaratekijät on arvioitava erityisen huolellisesti ja otettava huomioon.

Työssä on otettava huomioon Suomessa noudatettavat menettelytavat, vallitsevat työolosuhteet sekä sähkölaitteistojen rakenteelliset ominaisuudet. (16.)

Työkohteeseen on myös nimettävä työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja. Riippuen työkohteesta työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja voi olla tilaajan tai urakoitsijan edustaja.

2 §. Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja

Sähkötöiden johtajan on huolehdittava siitä, että jokaiseen sähkötyön tekokohteeseen nimetään lain 73 § mukainen sähköalan ammattihenkilö työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojaksi, Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja voi osallistua sähkötyön tekemiseen tai tehdä sen kokonaan itse.

Jos sähkötyön tekemiseen ei tarvita sähkötöiden johtajaa, työn tekijän pitää valvoa työn aikaista sähköturvallisuutta. (16.)

Ennen työn aloitusta Merikoski PM5 kuormat siirretään joko Vanhatullin sähköaseman suuntaan tai Merikosken PM4 perään. Päätös päämuuntajan korvaamisesta tehdään verkon senhetkisen kytkentätilanteen mukaan. Tämän jälkeen Merikoski PM5 kenttä A5 kytketään jännitteettömäksi ja se maadoitetaan sekä ensiö- että toisiopuolelta.

Kaasuanalysaattorin asennus suoritetaan jännitteettömänä. SFS 6002 -standardi määrittelee ”Työskentely jännitteettömänä” seuraavasti:

- Työkohteen täydellinen erottaminen
- Jännitteen kytkemisen estäminen
- Laitteiston jännitteettömyyden toteaminen
- Työmaadoittaminen

- Suojaus lähellä olevilta jännitteisiltä osilta (17, s. 23).

Kaasuanalysaattorin asennuksen jälkeen muuntajalle palautetaan kuormat ja varmistetaan kaasuanalysaattorin mittaustietojen toimiminen ABB MicroScada -järjestelmässä. Mittaustuloksien oikeellisuus pystytään tarkastamaan öljyn lämpötilan osalta vertaamalla arvoa muuntajan kapilaariseen paikallismittaukseen. Vedyn ja kosteuden mittauksen oikeellisuus tarkistetaan myöhemmin perinteisellä öljynäytteellä.

11 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tutkia mitä mahdollisuuksia reaaliaikainen kunnonvalvontalaite antaa käytön ja kunnossapidon kokonaisuuden näkökulmasta, vertailla markkinoilla olevia päämuuntajan online-kunnonvalvontalaitteita ja hankkia laite näiden vertailujen perusteella sekä luoda asennus- ja käyttöönottosuunnitelma. Kunnonvalvontalaitteet ovat yleisempiä tuotannon puolella, missä vikaantunutta muuntajaa ei voi korvata. Uskon kaasuanalysaattoreiden yleistyvän myös siirtoverkkoyhtiöiden muuntajissa johtuen Energiaviraston avaavia huoltoja koskevasta ohjauksesta.

Vetyanalysaattorin tallentamasta datasta ei voi tehdä täydellistä diagnoosia muuntajan kunnosta. Täydelliseen analyysiin tarvitaan seitsemän eri vikakaasun mittaus, mittaus voidaan todeta esim. perinteisillä öljynäytteillä tai Kelman Transport X2 kannettavalla analysaattorilla. Tarkoitus onkin käyttää mahdollisissa vetykaasun muutoksissa tukena näitä kahta edellä mainittua kaasun analysointimenetelmää.

Tämä työ oli ns. pilot -hanke. Jos analysaattorista saadaan myönteisiä kokemuksia, ja se koetaan yleisesti hyödylliseksi, tullaan niitä hankkimaan myös muihin päämuuntajiimme.

Työn suunnittelun aikana tuli esille asioita, jotka nostivat keskustelua. Esille nousivat mm. online-mittauksen hyödyllisyys, jos muuntaja vikaantuu online-mittauksesta huolimatta ja aiheuttaa sähkönjakelun keskeytyksen. Lopullinen käyttäjäkokemus sekä mittauksien hyödyntäminen kunnossapidossa saadaan, kun laite on asennettu ja käyttöön otettu.

LÄHDELUETTELO

1. Oulun Energia Oy. Organisaatio. Saatavilla: <https://www.ouluenergia.fi/oulu-energia/tietoa-oulu-energiasta/organisaatio> Hakupäivä 02.03.2020
2. Oulun Energia Oy. Jakeluverkkoalue. Saatavilla: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoverkkopalvelut/jakeluverkkoalue> Hakupäivä 02.03.2020
3. Oulun Energia Oy. Saatavilla: https://www.ouluenergia.fi/sites/default/files/attachments/oulu_energia_vuoskari_2018_final_0.pdf Hakupäivä 01.03.2020
4. Tiittanen, Anu, Controller. Oulun Energia. Sähköposti 05.02.2020
5. Piironen, Mikko 2015. Sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen. Saatavilla: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master_Piironen_Mikko_2015.pdf?sequence=1 Hakupäivä 06.02.2020
6. Vaisala seminaari 29.01.2020. Vaisala Oyj. Oulu
7. Vaisala Oyj. MHT410 Brochure. Saatavilla: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-G-Power-MHT410-brochure-B211455FI.pdf> Hakupäivä 30.01.2020
8. Vaisala Oyj. Humicap technology. Saatavilla: <https://www.vaisala.com/fi/vaisala-humicapr-technology> Hakupäivä 25.02.2020
9. Spatialworld Oy. Hydran M2-X Saatavilla: <https://spatialworld.fi/fi/md/hydran-m2-x/> Hakupäivä 04.02.2020

10. Vaisala Oyj. Sähkökatkoja tapahtuu 24/7 – tarvitaan jatkuvaa valontaa. Saatavilla: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-G-Power-Brochure-B211715FI.pdf> Hakupäivä 24.02.2020
11. Vaisala Oyj. OPT100 DGA kaasuanalysaattori. Saatavilla <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/OPT100-Datasheet-B211583FI.pdf> Hakupäivä 25.02.2020
12. Launonen, Antti 2016. Sähköaseman ala-asetat ja niiden konfigurointi. Saatavilla https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112819/Launonen_Antti.pdf?sequence=1&isAllowed=y Hakupäivä 26.02.2020
13. Vaisala Oyj. Öljyn kosteus määritelty veden aktiivisuutena. Saatavilla https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/OilMoistureExpressedasWaterActivity_B210806FI-A.pdf Hakupäivä 10.03.2020
14. Tenbohlen, S. – Jagers, J. – Bastos, G. – Desai, B. – Diggin, B. – Fuhr, J. – Gebauer, J. – Kruger, M. – Lapworth, J. – Manski, P. – Mikulecky, A. – Muller, P. – Rajotte, C. – Sakai, T. – Shirasaka, Y. – Vahidi, F. 2015. Transformer reliability survey. Maksullinen lähde.
15. Vaisala Oyj. MHT410 Multilingual Quick Guide. Saatavilla https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/MHT410-Multilingual-Quick-Guide-M211736EN_0.pdf Hakupäivä 27.02.2020
16. 1435/2016. Valtioneuvoston asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161435> Hakupäivä 16.03.2020
17. SFS 6002:2015 + A1:2018. Sähkötyöturvallisuus. Suomen Standardisointiliitto SFS ry.