

Kuumien pisteiden tunnistaminen verkkokäyttöisellä OPT100-DGA-kaasuanalysaattorilla

Argentiinan ja Uruguayn rajalla sijaitsevaan CTM Salto Grandeen asennettiin Vaisalan OPT100-kaasuanalysaattori auttamaan 50/50/100 MVA:n muuntajan kaasuuntumisongelmien arvioinnissa. Tavoitteena oli tarkastella muuntajaa vaihtelevissa käyttöolosuhteissa vuoden ajan ja määrittää, oliko kaasutasojen ja käyttöolosuhteiden, kuten kuormituksen ja korkeimman öljyn lämpötilan, välillä yhteys.

Ongelman taustaa:

CTM Salto Grande asensi 100 MVA:n suljetun OFAF-yksivaihegeneraattorimuuntajan vuonna 2002. Muuntajassa oli jo käyttöönottohetkestä asti ollut ongelmia, joiden syyksi on epäilty ylikuumenemista.

Järjestelmässä oli muodostunut etaania ja pienemmässä määrin myös metaania, joiden määrä oli kasvussa. Ylikuumeneminen on iso ongelma tässä muuntajatyypissä, sillä siinä käytettävä öljy sisältää dibentsyyldisulfidia (DBDS), joka voi korkeissa lämpötiloissa muodostaa syövyttävää rikkiä. Vetyä löytyi tuskin lainkaan, paitsi silloin kun öljyyn lisättiin Irgamet 39 -metallinsitojaa. Näiden vetypiikkien oletettiin johtuvan Irgamet 39:n aiheuttamasta satunnaisesta kaasuuntumisesta. Muuntajan tyyppipitoisuus – ei kuitenkaan happipitoisuus – oli ympäröivän ilman tasolla.

Projektin yleiskuvaus:

Vaisala OPT100 -DGA-moni-kaasuanalysaattori asennettiin kesäkuussa 2017 mittaamaan tärkeimpiä vikakaasuja reaaliajassa (kuva 1). Kaasuanalysaattori liitettiin muuntajaan sen ollessa käytössä, sillä vesivoimalaitoksen käyttöolosuhteet eivät sallineet pysäytyksiä. OPT100-analysaattorin

ainutlaatuisen rakenteen ansiosta tämä ei aiheuttanut ongelmia, ja asennukseen meni vain puoli päivää. OPT100:sta kerättiin tietoja käyttämällä integroitua selainpohjaista ohjelmistoa ja modeemikorttia.

Muuntajan kunnossapitotiimi analysoi DGA-analysaattorin tietoja vuoden ajan ja vertasi niitä muuntajan käyttöolosuhteisiin nähdäkseen, oliko niiden välillä korrelaatiota. Parin kolmen viikon välein CTM Salto Grande otti öljynäytteitä, jotka se analysoi laboratoriossaan vertailutarkoituksia varten (kuva 2).

Muuntajasta poistettiin kaasuja lokakuussa 2017. OPT100 jatkoi mittauksia myös koko tämän prosessin ajan, ja samaan aikaan otettiin laboratorionäytteitä kahden tunnin välein. Kahden tulospöytäkuon vertailu esitetään kuvassa 3.

Havainnot: kuormitus vs. kaasut

Kuvassa 4 esitetään muuntajan kuormitus ja öljyn hiilidioksidipitoisuus mitattuina verkon kautta käytettävällä OPT100-kaasuanalysaattorilla sekä laboratorion viitearvot. Kaaviossa näkyy selkeä CO₂-tason nousu korkean kuormituksen jaksoilla. Kun kuormi-



Kuva 1. Asennettu verkkokäyttöinen OPT100-DGA-kaasuanalysaattori. Tulevat ja lähtevät öljyputket on liitetty alaosan tyhjennysventtiileihin



tus oli matalampi tai vaihteleva, CO₂-taso pysyi vakaana tai jopa laski. Tämä saattaa olla merkki siitä, että pitkänä korkean kuormituksen kausina muuntajan sisälle muodostuu kuuma alue, joka aiheuttaa hiilidioksidin muodostumisen joko paperista tai öljystä.

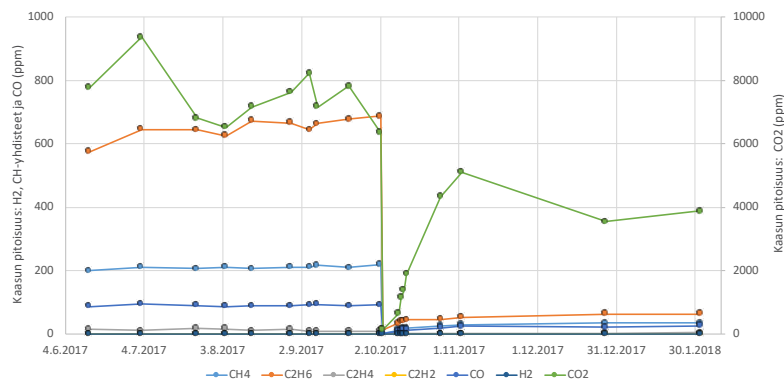
Hiilidioksiditason laskeminen matalalla kuormalla ja matalassa lämpötilassa voi johtua CO₂-vaihduunnasta paperin ja öljyn välillä lämpötilan vaihdelta. Tämä ei näy selvästi pelkistä kuormitustiedoista, mutta asia selkeytyy, kun lisäämme arvioitun kuuman pisteen:

$$T_{\text{kuuma piste}} \approx T_{\text{öljyn korkein}} + H \cdot gR \cdot \text{ipu}^2,$$
 missä gR on tehdasteissa mitattu keskimääräinen lämpötilaero käämin ja öljyn välillä ja H = 2 on arvioitu kuumapistetekijä (kuva 5).

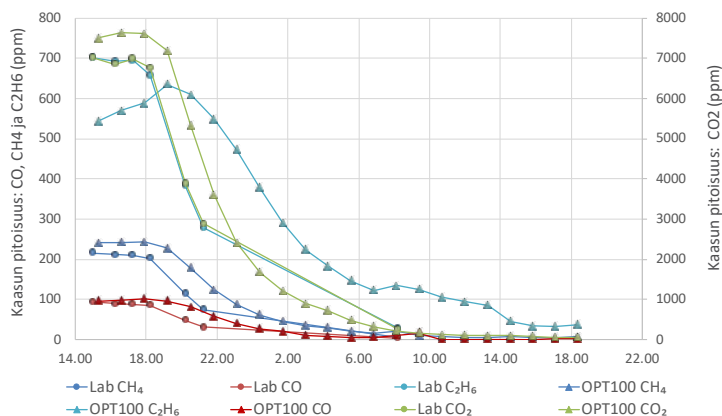
Testeissä kokeiltiin useita matemaattisia malleja käyttämällä arvioitua kuuman pisteen lämpötilaa. Valittuja malleja olivat esimerkiksi lineaarinen malli sekä malli, jossa arvioitiin, että kuuma piste vaikuttaa CO₂-pitoisuuden noin +70 °C:n lämpötilasta alkaen. Mallien tarkentamiseen tarvitaan lisätietoja. Kyseessä ei kuitenkaan ole yksinkertainen korrelaatio, sillä on mahdollista, että pitkän ajan kuluessa tapahtuu huomattavaa CO₂-vaihduunaa, joka ei näy vain muutaman päivän ajalta kerätyissä tiedoissa (kuva 6).

Hiilidioksiditason aleneminen voi johtua myös siitä, että kaasua pakenee säiliöistä ympäröivän ilman ja öljyn välisen korkean osapainegradientin vuoksi siitä huolimatta, että kyseessä on suljettu muuntaja. Se, että typpitaso kasvaa suhteellisen nopeasti kaasunpoiston jälkeen, viittaa kuitenkin siihen, että muuntaja ei ole täysin kaasutiivis.

Muut vikakaasut, ehkä etaania (C₂H₆) lukuun ottamatta, eivät osoittaneet selvää korrelaatiota kuormituksen kanssa kokeilujakson aikana (kuva 7). Kaasutasojen nousu



Kuva 2. DGA-näytteiden laboratoriotulokset



Kuva 3. OPT100:n vaste kaasunpoistovaiheessa laboratorioanalyysiin verrattuna

heti kaasunpoiston jälkeen johtuu todennäköisimmin sellaisista öljyn osista, joissa olevia kaasuja ei voitu poistaa, kuten paperin kyllästysöljystä ja ahtaisiin tiloihin jääneestä öljystä. Kun tämä öljy palautui käsiteltyyn öljyyn, kaasutasot nousivat.

Johtopäätökset:

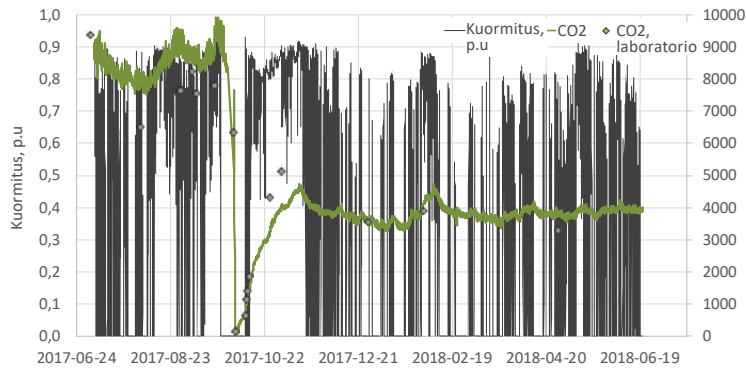
Tutkimus osoitti selvän korrelaation muuntajan kuormituksen ja hiilidioksiditason välillä.

Vielä ei ole selvää, johtuiko hiilidioksidin väheneminen matalan kuormituksen aikana öljyn ja paperin välisestä hiilidioksidin vaihdunnasta vai muuntajasta vuotaneesta hiilidioksidista. Kuumien pisteiden sijainnin tarkempi tunnistaminen edellyttää lisäanalyyssejä.

OPT100-analysaattorin ansiosta CTM Salto Grande pystyi tunnistamaan muuntajaongelman syyn ja määrittämään sen ratkaisemiseen tarvittavat korjaustoimet. Lisätestit on jo aloitettu, ja kun OPT100 on asennettu verkkoon, sekä kaasuja että riskiä kuuman pisteen kehittymisestä vakavammaksi viaksi voidaan nyt seurata ja valvoa aiempaa paremmin.

Alahuomautus:

Kun pyysimme palautetta OPT100-analysaattorista, CTM:n kunnossapitopäällikkö Eduardo Brioso kirjoitti, että "asennusta seuranneiden kahden vuoden aikana meillä ei ole ollut minkäänlaisia ongelmia mittalaitteen kanssa - käyttäjien toimia tai kulutusosia ei ole tarvittu".



OPT100-analysaattorin vertaaminen laboratoriotesteihin

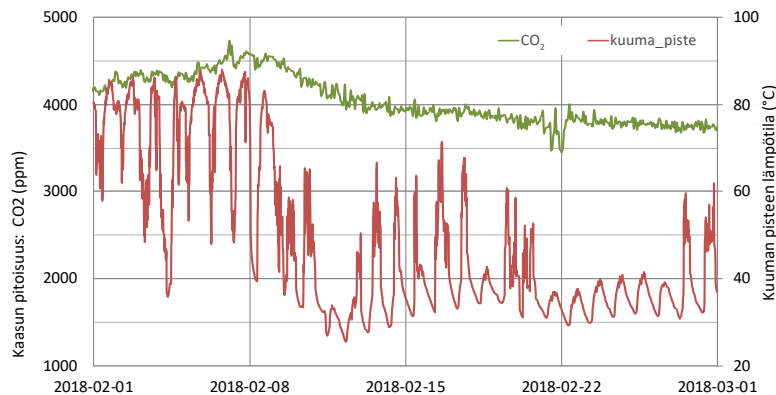
Vasteajan lisäksi kaasuanalysaattorin lukemia verrattiin laboratorion DGA-tuloksiin koko kaudelta. Yksinkertaisuuden vuoksi kuvassa 8 esitetään vain metaani. Sininen käyrä kuvaa kaasuanalysaattorin mittaustietoja ja harmaa alue analysaattorin tarkkuusmäärittystä. Laboratorion viitearvot esitetään sinisillä pisteillä.

Kun verkkokäyttöistä kaasuanalysaattoria arvioidaan vertaamalla sitä laboratorion viitearvoihin, täytyy ottaa huomioon näytteiden laatu ja laboratoriotointojen epävarmuus. On myös tärkeää muistaa, että kaikissa analysointitavoissa – sekä laboratoriossa että kaasuanalysaattorissa – on omat epävarmuustekijänsä. Ne täytyy ottaa huomioon tulosten vertailussa ja kaasuanalysaattorin suorituskyvyn arvioinnissa.

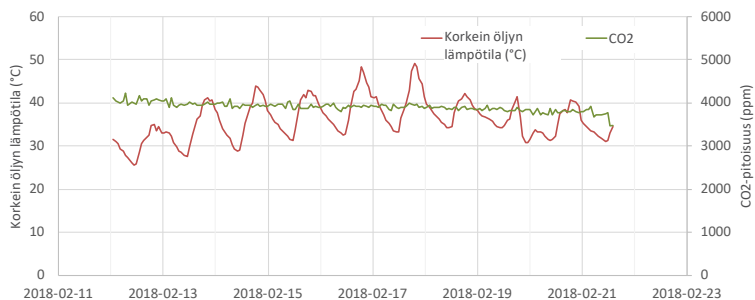
Koska tässä tapauksessa laboratorion epävarmuus ei ole tiedossa, käytettiin arvoa $\pm 15\%$ standardissa IEC 60567 [3] julkaistujen keskimääräisten laboratoriotarkkuuksien mukaisesti. Jotta laboratoriomittauksia voidaan verrata verkkokäyttöiseen DGA-analysaattoriin, onkin tärkeämpää verrata trendejä kuin varsinaisia mittauksia. Jos trendit ovat samanlaiset ja epävarmuusalueet ovat päällekkäin, voidaan päätellä, että nämä kaksi menetelmää antavat yleisesti ottaen samansuuntaiset tulokset.

CTM Salto Grande oli yleisesti ottaen erittäin tyytyväinen lukemien korrelaatioon ja aikoo liittää uusia verkkokäyttöisiä DGA-kaasuanalysaattoreita laitteisiinsa valvomaan muuntajatoimintoja. Näytteenottoa ja laboratoriotestejä jatketaan joillakin alueilla, kuten furaanien ja läpilyöntilujuuden suhteen. Sähköaseman kunnossapitopäällikkö toteaa, että "verkkokäyttöisen DGA-kaasuanalysaattorin ja kosteusmittauksen lisääminen on antanut meille tärkeän työkalun ennakoivan kunnossapidon toteuttamiseen CTM Salto Grandessa."

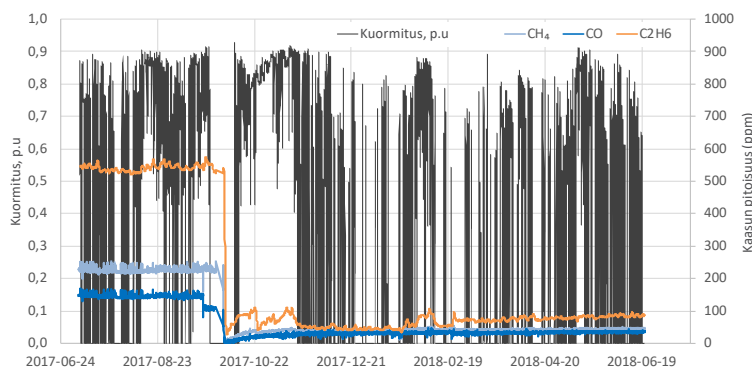
Kuva 4. CO₂ vs. kuormitus testijaksolla



Kuva 5. Laskettu kuuman pisteen lämpötila ja öljyn CO₂-pitoisuus kuukauden jaksolla



Kuva 6. Korkein öljyn lämpötila ja CO₂-pitoisuus noin viikon jaksolla



Kuva 7. Muut vikakaasut ja kuormitus testijaksolla

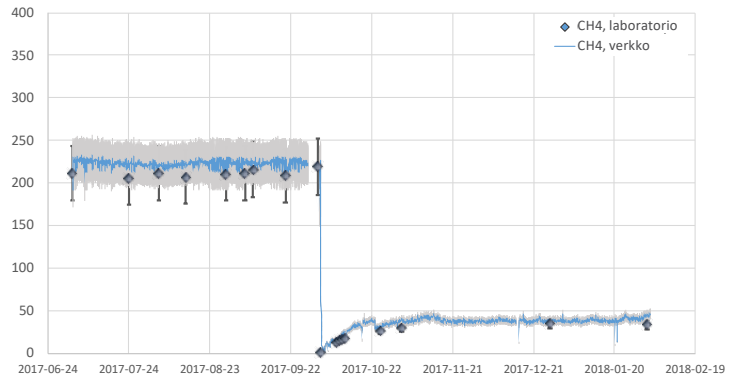
Öljyn kosteus

Muuntajaöljyn kosteus vaihtelee lämpötilan vaihdellessa joko kuormituksen, ympäristön lämpötilan tai näiden molempien vuoksi. Tämä vaikutus nähtiin tässä tutkimuksessa, kuten kuvasta 9 näkyy. Kuvassa esitetään korkein öljyn lämpötila ja öljyn kosteus (ppm) vuoden jaksolla. Se näyttää, miten eristävän paperipinnan kosteutta vapautuu öljyn lämpötilan noustessa ja imeytyy takaisin paperiin lämpötilan laskiessa.

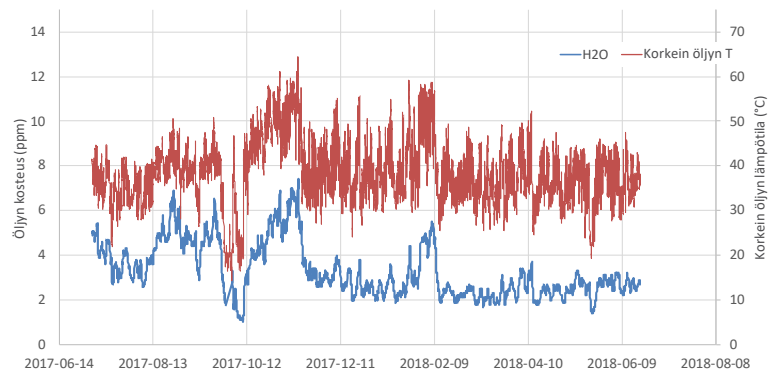
Veden desorptio on kuitenkin nopeampi prosessi kuin absorptio, joten kun kosteus (ppm) piirretään kaavioon öljyn korkeimman lämpötilan suhteen, kaaviossa näkyy selvä hystereesi (kuva 10). Tämä tarkoittaa, että kuormitukseltaan vaihteleva muuntaja ei ole koskaan tasapainossa.

Tämän ilmiön vuoksi on haastavaa määrittää tarkkaa ajankohtaa öljynäytteen ottamiselle laboratoriossa tehtävää vesianalyysia varten. Öljyn vesipitoisuus voi vaihdella samassakin lämpötilassa huomattavasti hystereesin vuoksi riippumatta siitä, onko muuntajan lämpötila nousemassa vai laskemassa näytteenottohetkellä.

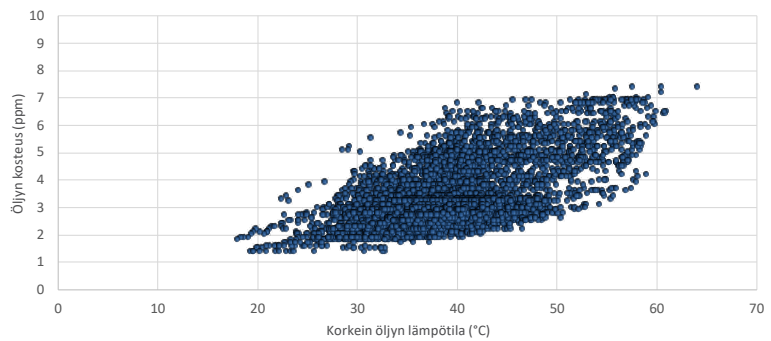
Tämä on erittäin tärkeä tekijä, joka on otettava huomioon öljynäytettä otettaessa, jotta voidaan määrittää kiinteän eristeen kosteus kuormitukseltaan ja lämpötilaltaan muuttuvassa muuntajassa. Tämä on myös tärkeä syy sille, miksi verkkopohjainen kosteusmittaus on paljon tehokkaampi öljyn ja paperin pitkäaikaisten kosteustrendien määrittämisessä. Toisaalta se ilmaisee myös, että öljynäytteitä otettaessa on aina tärkeää kirjata myös öljyn lämpötila, jotta voidaan tehdä minkäänlaisia johtopäätöksiä muuntajan kosteudesta.



Kuva 8. OPT100-DGA-kaasuanalysointilaitteen metaanilukemat ± 10 prosentin tarkkuudella (harmaa alue) ja laboratorion viitearvot, joissa on ± 15 prosentin virhepalkit



Kuva 9. Öljyn kosteus (ppm) ja korkein öljyn lämpötila ajan mittaan



Kuva 10. Öljyn kosteus vs. korkein öljyn lämpötila

VAISALA

www.vaisala.fi

Ota meihin yhteyttä osoitteessa
www.vaisala.fi/contactus



Skannaamalla
koodin saat
lisätietoja aiheesta

Viite: B211814FI-A ©Vaisala 2019

Tämä materiaali on tekijänoikeussuojan alainen, ja Vaisala sekä sen yksittäiset yhteistyökumppanit pitävät kaikki tekijänoikeudet siihen. Kaikki oikeudet pidätetään. Logot ja/tai tuotenimet ovat Vaisalan tai sen yksittäisten kumppanien tavaramerkkejä. Tässä esitteessä olevien tietojen kaiken muotoinen kopiointi, siirto, jakelu tai tallentaminen ilman Vaisalalta saatua kirjallista lupaa on ehdottomasti kielletty. Kaikkia tietoja — myös teknisiä — voidaan muuttaa ilman erillistä ilmoitusta.