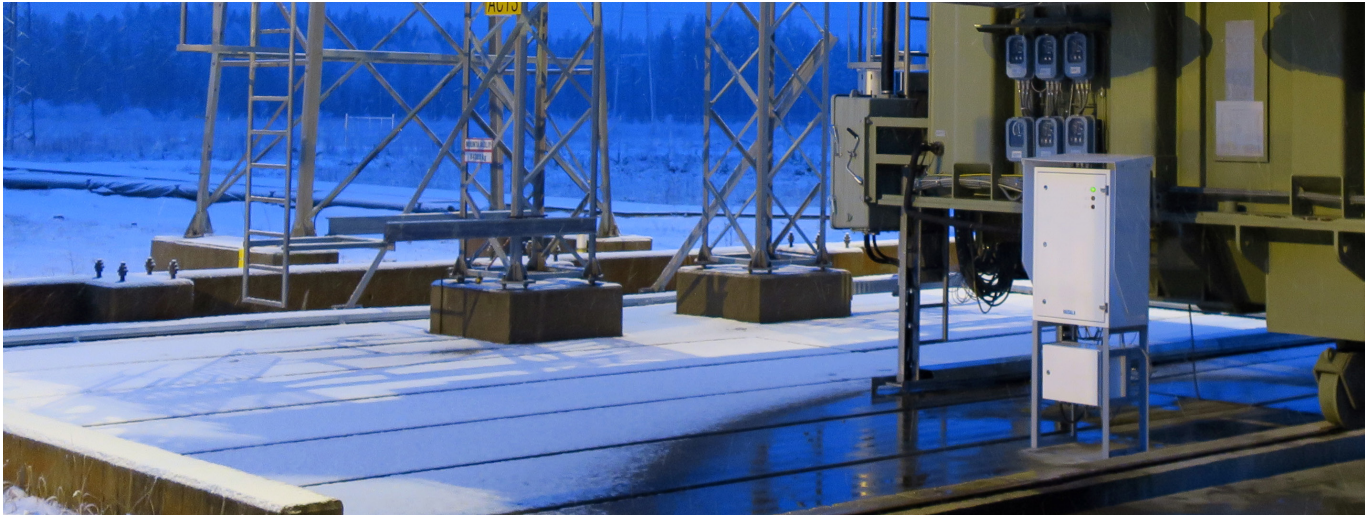


## Vaisala Optimus™ OPT100 DGA-kaasuanalysaattori



Suurjännitemuuntajat ovat muuntoasemien kalleimpia laitteita – niiden hinta muodostaa 60 % kokonaisinvestoinnista. Ne ovat myös välttämättömiä luotettavan sähkön tarjonnan kannalta koko sähköverkossa tuotannosta jakeluun.

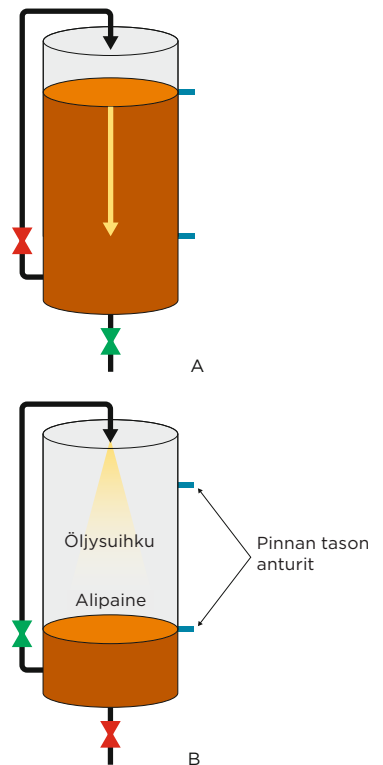
Online-valvonta ja automaattinen kunnan arviointi ovat yhä useammin tärkeässä osassa energiayhtiöiden moderneissa kuntoon perustuvissa huoltostrategioissa näiden laitteiden pitkäaikaisen toiminnan varmistamiseksi. Jotta muuntajan kunnosta saadaan tarkat tiedot, tarvitaan luotettavia DGA-kaasuanalysaattoreita. DGA-analysaattoreita on kuitenkin saatavilla monenlaisia, ja käyttäjien voi olla vaikea tehdä eroa eri valmistajien laitteiden välille.

Tässä teknisessä kuvauksessa tarkastellaan DGA-analysaattorien uusimpia kehitysaskelia sekä sitä, miten ne voivat vähentää vanhempien analysaattorien mittaustekniikoissa esiintyneiden epävarmuustekijöiden vaikutusta. Näitä tekijöitä ovat

erityisesti kaasun erotus öljystä ja ristikkäisherkyys infrapunapohjaisessa kaasunmittauksessa.

### Kaasun erotus öljystä

Vaisala Optimus DGA-analysaattoria käytettäessä kaasut erotetaan muuntajaöljystä osittaisessa tyhjiössä, mikä tarkoittaa hyvin alhaista absoluuttista painetta kontrolloidussa lämpötilassa. Tyhjiöerotus tuottaa täydellisemmän kaasun erotuksen kuin perinteiset headspace- tai kalvomenetelmät. Siksi se on huomattavasti vähemmän riippuvainen kaasun öljyyn liukenevuuden arvoista (Ostwaldin vakiot) ja luotettavampi erilaisilla öljyillä.



Kuva 1. Tyhjiön aiheuttaminen öljyn yläpuolelle pumppaamalla öljyä ulos sylinterin yläosassa olevan venttiilin ollessa suljettuna (A). Kaasu erotetaan suihkuttamalla öljyä tyhjiön läpi (B).

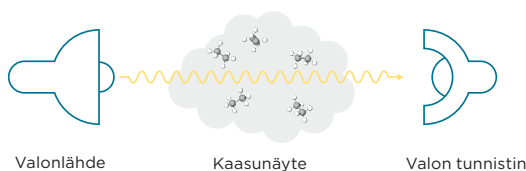
Ostwaldin vakioita tarvitaan puolestaan perinteistä headspace-erotusmenetelmää käytettäessä öljyn kaasupitoisuuksien laskemiseen vain osittain erotetuista kaasuista. Vakiot ovat erilaiset eri kaasuilla, ja ne ovat riippuvaisia lämpötilasta, öljyn laadusta ja öljyn perustyyppistä, kuten nafteeninen tai parafiininen öljy. Vaisala Optimus DGA-analysaattorin osittaistyhjiöerotuksen avulla kertoimien eroihin liittyvä mittauksen epävarmuus voidaan vähentää kolmasosaan headspace-menetelmän epävarmuudesta.

Optimus™ DGA-analysaattorissa ei käytetä tyhjiöpumppua tyhjiön luomiseen. Sen sijaan siinä käytetään patentoitua menetelmää, jossa öljytilavuutta hyödynnetään mäntänä sylinterissä. Öljyn pinnan yläpuolelle luodaan tyhjiö siirtämällä öljyä magneettisella hammaspyöräpumpulla. Öljynäyte suihkutetaan sitten tyhjiön läpi kaasujen erottamiseksi (kuva 1).

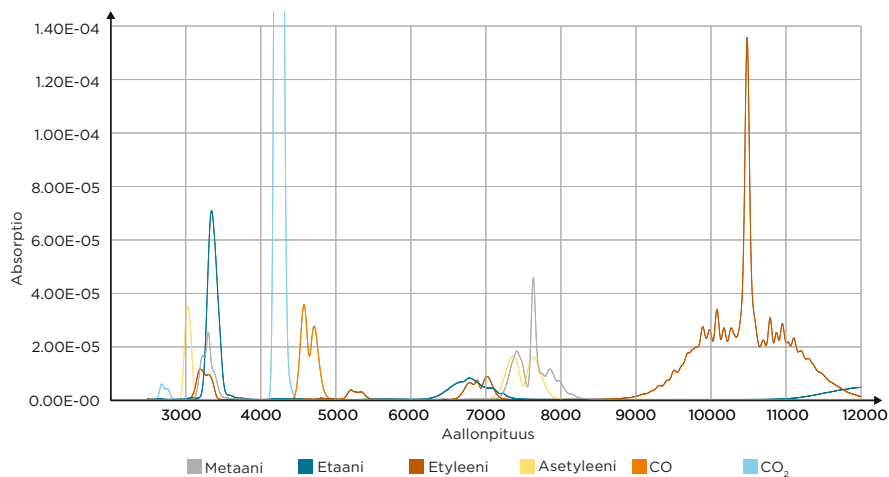
Tyhjiöerotuksen käyttäminen tuottaa täydellisemmän kaasujen erotuksen, mikä lisää mittauksen luotettavuutta silloinkin, kun muuntajaöljyyn liuenneiden kaasujen paine on hyvin alhainen. Näin voi käydä esimerkiksi suljetuissa muuntajissa tai muuntajan kaasunpoistoprosessin jälkeen. Tällöin kaasun kokonaispaine voi hyvinkin olla alle 100 mbar.

## Infrapunapohjainen kaasunmittaus

Kun erotetut kaasumolekyylit altistetaan ei-dispersiiviselle infrapunavalolle (NDIR), ne absorboivat energiaa siirtyessään viritystilaan (kuva 2). Absorboidut aallonpituudet ovat kullekin kaasulle ominaisia. Tämän ansiosta saadaan kaasukohtainen ”sormenjälki”, jonka avulla erotetusta kaasuseoksesta voidaan tunnistaa eri kaasukomponentit (kuva 3). Absorption intensiteetti määräytyy kaasupitoisuuksien mukaan, joten kunkin seoksessa olevan kaasun



Kuva 2. Kaaviokuva, joka esittää molekyylien viritystilaan siirtymisestä aiheutuvaa infrapunavalon absorptiota.



Kuva 3. CO<sub>2</sub>-, CO-, asetyleeni-, etyleeni-, etaani- ja metaanikaasujen infrapunavalon absorptiokaistat.

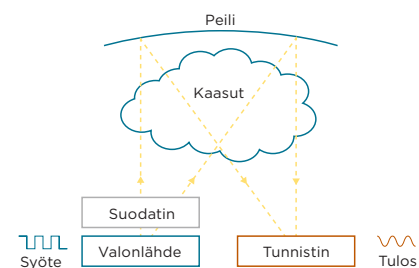
määrän voi selvittää erikseen mittaamalla valon intensiteettiä.

Yksi infrapunamittauksen tärkeimpiä etuja keskeisenä kaasuanalysimenetelmänä on, että siinä kaasukohtaiset absorptioaallonpituudet ja vikakaasujen absorboinnit eivät muutu ajan myötä. Tämä mahdollistaa pitkäaikaisen käytön ilman kalibrointia sillä edellytyksellä, että muut mahdolliset ryömintämekanismit tunnetaan ja kompensoidaan DGA-analysaattorilla.

Optimus™ DGA-analysaattorin lämpötilaohjattu infrapunamoduuli koostuu valonlähteistä, kaistanpäästösuodattimista, kaasuastiasta, peilistä ja tunnistimista (kuva 4). Mitatut aallonpituudet valitaan kaistanpäästösuodattimilla, jotka päästävät läpi vain tietyn aallonpituuskaistan. Tärkeä osa tätä moduulia ovat säädettävät suodattimet, jotka sallivat laajan infrapunaskannauksen aallonpituusalueen, joka

paljastaa huippuarvojen lisäksi absorptioalueiden muodon. Koska optinen moduuli analysoi infrapunabsorptiota sekä absorptiohuippujen muotoa, sen selektiivisyys erilaisille havaituille kaasuille ja niiden pitoisuuksille on erinomainen. Lopullinen kaasuanalyysi perustuu signaaleihin, jotka kerätään käyttäen laajaa aallonpituusalueutta.

Kaikki infrapuna-anturin elementit, mukaan lukien mikrohehkuvalonlähteet, suodattimet ja tunnistimet, ovat sähkömekaanisia mikrojärjestelmiä



Kuva 4. Kaaviokuva Optimus™ DGA-analysaattorin infrapunamoduulista.

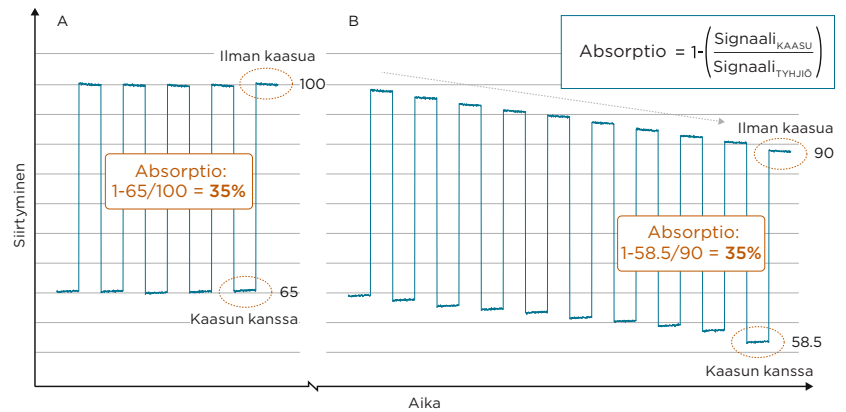
(MEMS), jotka valmistetaan yksikiteisille piikiekoille. Nämä elementit on suunniteltu ja optimoitu Optimus™ DGA-kaasuanalysaattoria varten, ja ne valmistetaan Vaisalan omista puhdistiloissa. Luotettavuuden maksimoimiseksi optisessa mittausmoduulissa ei ole liikkuvia osia.

## Ryöminnän ehkäiseminen

Vaikka vikakaasujen absorptio-ominaisuudet eivät muutu ajan myötä infrapunapohjaista analyysiä käytettäessä, mittaussignaaleihin voi vaikuttaa muita tekijöitä. Siksi DGA-analysaattorin tulisi kompensoida tai ehkäistä tällaiset ryömintävaikutukset.

Tyypillisiä ryömintämekanismia infrapunatekniikoissa ovat kontaminaatio sekä anturin komponenttien, kuten valonlähteiden ja tunnistimien, vanhentuminen. DGA-järjestelmissä tulisi olla tapoja kompensoida näitä mekanismeja, jotta saadaan stabiileja mittauksia pitkällä aikavälillä. Tämä on ensiarvoisen tärkeää, koska kaasutrendit ovat yksi tärkeimmistä tietolähteistä muuntajan kunnan selvittämisessä.

Vaisala on kehittänyt ja patentoinut useita ainutlaatuisia menetelmiä ryöminnän ehkäisemiseksi ja vakaiden mittausten varmistamiseksi ilman uudelleenkalibrointia. Optimus™ DGA-analysaattorissa sisäinen kaasunerotus ja öljynkäsittelymekaniikka on toteutettu siten, että öljyssä olevat kontaminaatiota aiheuttavat yhdisteet eivät voi kertyä optisille pinnoille ja aiheuttaa näin ryömintää pitkällä aikavälillä. Lisäksi vältetään ulkoinen kontaminaatio, sillä täysin ilmatiiviin rakenteen ansiosta ulkoilmassa olevat yhdisteet eivät pääse kosketuksiin optiikan kanssa ja vaikuttamaan mittaukseen.



Kuva 5. Infrapunareferenssisignaalin toimintaperiaate tyhjiövaiheessa optiikassa. A) Vakaa mittaus, B) 10 %:n ryömintä valonlähteen intensiteetissä.

## Referenssimittauksen toteuttaminen

Optimus™ DGA-kaasuanalysaattori luo referenssimittauksen sisäistä kalibrointia varten käyttämällä patentoitua järjestelmää jokaisen öljynäytesyklin aikana. Ennalta määritettyjen aallonpituusalueiden skannaus ja mittaus tehdään sekä erotettujen kaasujen kanssa että tyhjiössä, kun kaasut on poistettu optisesta moduulista. Jälkimmäinen mittaus toimii referenssinä. Näiden kahden skannaussignaalin suhde määrittää todelliset absorptiot ja sitä myötä kaasupitoisuudet.

Tämän ansiosta järjestelmä pystyy kompensoimaan mahdollisen optisten komponenttien ikääntymisestä tai kontaminaatiosta aiheutuvan ryöminnän. Kuvassa 5 on esitetty infrapunasiinaalit kaasun kanssa ja tyhjiössä (ilman kaasua) sekä vakaan mittauksen aikana että tilanteessa, jossa valonlähteen intensiteetissä on 10 %:n ryömintä.

## Automaattinen kalibrointi öljyllä – pitkäaikainen suorituskyky ja ryöminnän ehkäiseminen

Muuntajaöljyjen kemiallinen koostumus on hyvin monimutkainen, mukaan lukien tärkeimmät muuntajan diagnostiikassa käytetyt vikakaasut sekä raskaammat hiilivetykaasut ja

muut haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Hiilivetykaasujen ja VOC-yhdisteiden - häiritsevien kaasujen - infrapuna-absorptiokaista voi olla osittain päällekkäinen vikakaasujen kanssa. Tämä häiritsee absorptiosignaalia ja sitä kautta myös kaasuanalyysiä, ellei asiaa tunnusteta ja kompensoida.

Näiden yhdisteiden fyysiset ominaisuudet poikkeavat kuitenkin tärkeimmistä vikakaasuista. Optimus™ DGA-kaasuanalysaattori käyttää tätä fyysistä eroa VOC-yhdisteiden ja tärkeimpien vikakaasujen välillä VOC-yhdisteiden vaikutuksen kompensointiin. Kun kaasuja erotetaan eri olosuhteissa, saadaan erotettua merkittävästi pienempi määrä raskaita hiilivetykaasuja. Häiritsevien kaasujen vähennys mitataan kussakin erotusvaiheessa infrapuna-absorptiomittauksilla (kuva 6). Tällä menetelmällä häiritsevien kaasujen suhteellisen osuuden voi laskea ja vähentää varsinaisista mittaussignaaleista.

Tätä kutsutaan automaattiseksi kalibroinniksi öljyllä. Optimus™ DGA-analysaattori suorittaa sen ensimmäisillä mittaussarjoilla asennuksen jälkeen, jotta analysaattori voi selvittää ja ”oppia” öljyssä olevien hiilivetykaasujen ja VOC-yhdisteiden yhdistelmän. Normaalisissa toiminnassa automaattinen kalibrointi öljyllä suoritetaan säännöllisesti, noin kerran kuukaudessa. Se suorittaa

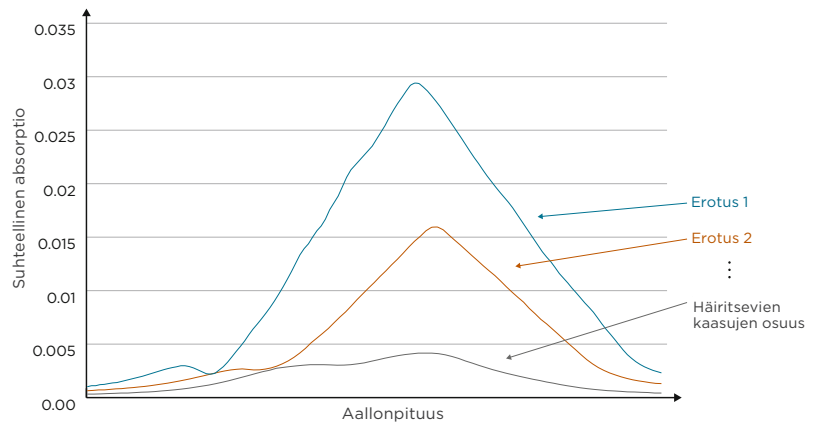
laskelmat uudelleen, jotta muutokset öljyn koostumukseen voidaan kompensoida tehokkaasti ja varmistaa näin pitkän aikavälin suorituskyky.

## Kaasun kokonaispaine

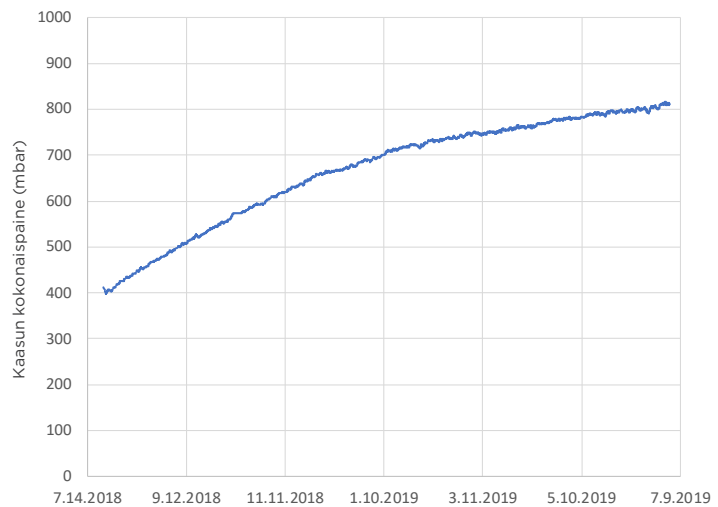
Koska verkkokäyttöinen OPT100 DGA-kaasuanalysaattori käyttää erottaa kaasut muuntajaöljystä osittaisen tyhjiön avulla, se kykenee mittaamaan kaikkien liuenneiden kaasujen kokonaispaineen integroidulla paineanturillaan. Kaasun kokonaispaine on öljyyn liuenneiden kaikkien kaasujen osapaineiden summa.

Paineen kasvaminen on aikainen merkki ilmavuodosta tiivistettyyn muuntajan säiliöön. Jos ilmaa vuotaa muuntajan säiliöön, suurin osa mitatuista kaasuista on tyypeä ja happea. Molemmat voidaan erottaa kokonaan öljystä, koska ne liukenevat huonosti. Lisäksi vikakaasujen osuus kokonaispaineesta on lähes olematon.

Vaikka kaikki happi olisi kulutettu, painearvo antaa luotettavan tiedon vuodosta. Vuoto voidaan tunnistaa, koska typpiä on hallitseva ja kasvaa ajan kuluessa, koska muuntajassa tyyppiä ei muodostu eikä kulu.



Kuva 6. Kaasun erotus eri olosuhteissa vähentää häiritsevien kaasujen osuutta absorptioskannauksessa.



Kuva 7. Liuenneiden kaasujen kokonaispaine tehomuuntajan eristysöljyssä mitattuna Vaisalan verkkokäyttöisellä OPT100 DGA-kaasuanalysaattorilla

Vaisala™ Optimus DGA-analysaattori on ainutlaatuinen siinä, että pystyy luomaan tyhjiön hyvin yksinkertaisesti käyttämällä vain öljypumppua ja magneettisia venttiileitä. Tämä tuo kaksi tärkeää etua mittauksen tarkkuuden ja vakauden kannalta:

- Kaasun erotuksen tehokkuus on paljon parempi kuin tavallisissa headspace- tai kalvonäytteenottoon perustuvissa analysaattoreissa, ja tehokkaan tyhjiöreferenssin mittausten avulla voidaan kompensoida kaikki yleisimmät infrapunamittaustekniikoissa esiintyvät ryömintämekanismit.
- Öljyn ja kaasun käsittelymekanismit ovat täysin suljettuja, joten öljyvuodon riski on hyvin vähäinen, ja öljyn kontaminaatio ympäröivän ilman kosteuden ja hapen vaikutuksesta voidaan estää.

Nämä edut yhdessä Optimus™ DGA-analysaattorin automaattisen öljyllä kalibroinnin kanssa auttavat varmistamaan, että analysaattori toimii monia vuosia tarkasti, luotettavasti ja ilman tarvetta huollolle.

# VAISALA

Ota meihin yhteyttä osoitteessa  
[www.vaisala.fi/contactus](http://www.vaisala.fi/contactus)



Skannaamalla koodin saat lisätietoja aiheesta

Viite B211813FI-B ©Vaisala 2022

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.

[www.vaisala.fi](http://www.vaisala.fi)