



Csépes Gusztáv MAVIR ZRt.

Transzformátor on-line és off- line mérési adatok összehasonlítása

MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli
Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság
MAVIR Hungarian Transmission System Operator
Company Ltd.



 **Legjobb Munkahely**
Világgazdaság - Hewitt Felmérés 2009

 **Best Employer**
Világgazdaság - Hewitt Study 2009

Tartalomjegyzék

- Röviden a trafó off-line és on-line diagnosztikáról
- Nedvességtartalom off-line és on-line mérése
- Olaj hidrogén tartalom off-line és on-line mérése
- On-line és off-line mérési eredmények közti látszólagos ellentmondás feloldása
- Összefoglalás

Röviden az off – line (időszakos) és on-line (monitoring) diagnosztikáról

Szigetelőolaj vizsgálat

HGA kromatográf

Nedvességtartalom Karl-Fischer

Átütési feszültség

Veszteségi tényező $tg\delta$

Szigetelési ellenállás és abszorpció

RVM Visszatérő feszültség

FRA Tekercsgeometria

Átvezető szigetelők veszteségi tényezője

On-line (folyamatos) állapotfigyelés

HGA on-line, Hydran 201, Hydran M2, Hydran S2

Olaj víztartalom on-line

Hőmérséklet on –line száloptika

Papír víztartalom

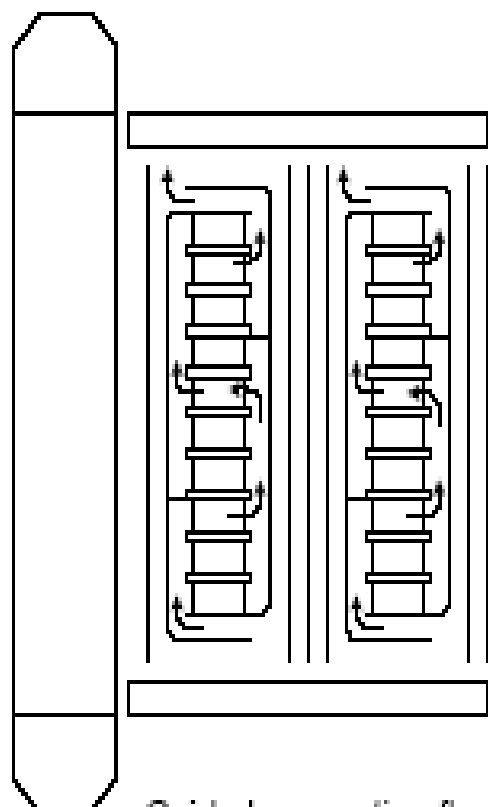
Egyensúlyi görbék

Rezgésmérés on-line

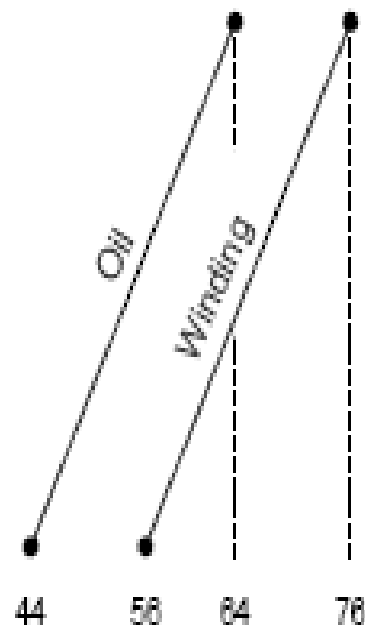
- Az off-line és az on-line állapotfigyelés során érzékelt azonos jellemzők – pl. olajban oldott gázok, olajban oldott víztartalom – a kétféle vizsgálati módszer során sokszor eltérő értékeket adnak.
- Ennek okai főleg a vizsgálati módszerek alapvető különbözőségeiben keresendők.
- Az off-line olaj gáztartalom meghatározás során már rögtön a „nem megfelelő” mintavétel, majd szállítás, tárolás is súlyos hibaforrás lehet. Így a már meglehetősen pontosságot adó (GC) gázkromatográfiás vizsgálat eleve hamis alapadatokból indulhat.
- A szigetelőolaj nedvességtartalmának (KFT Karl-Fischer titrálás) off-line megállapításához használt meglehetősen bonyolult kémiai módszer sok hibalehetőséget ad mind a kiértékeléskor, mind pedig azáltal, hogy a vizsgálat kémia folyamatai is hoznak létre vizet – bár jelentéktelen mértékben – ezt azonban nem veszik figyelembe.
- Együttes használat előnyös lehet, mert csökkenti a pontatlan kiértékelést, a kezdődő hibák korábban felismerhetők, segíti az állapotfüggő karbantartást, optimalizálhatja a terhelést, csökkentheti a meghibásodási kockázatot.

Transzformátor off-line olaj víztartalom mérés sajátosságai

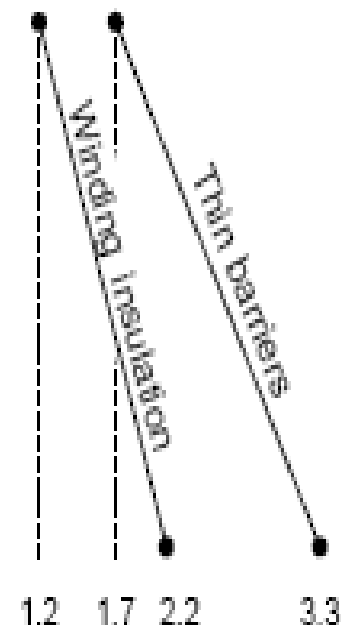
- A transzformátorolaj víztartalmának meghatározása hagyományos módszerrel az időszakos mintavételezés során végrehajtott Karl Fischer titrálási technika.
- Ha az olaj-papír szigetelési rendszer nedvességtartalom szempontjából adott hőmérsékleten egyensúlyban van, akkor az olajban lényegében csak oldott víz van jelen.
- A hőmérséklet növekedésével a papírból az olaj felé, ha csökken, akkor az olajból a papírszigetelés felé víz vándorol és az új hőmérsékletre jellemző egyensúlyi állapot áll be.
- Bizonyos mennyiségű víz azonban kémiai anyagokhoz, mint például oxidációs öregedési termékekhez kötődik.



Guided convection flow
through disk windings



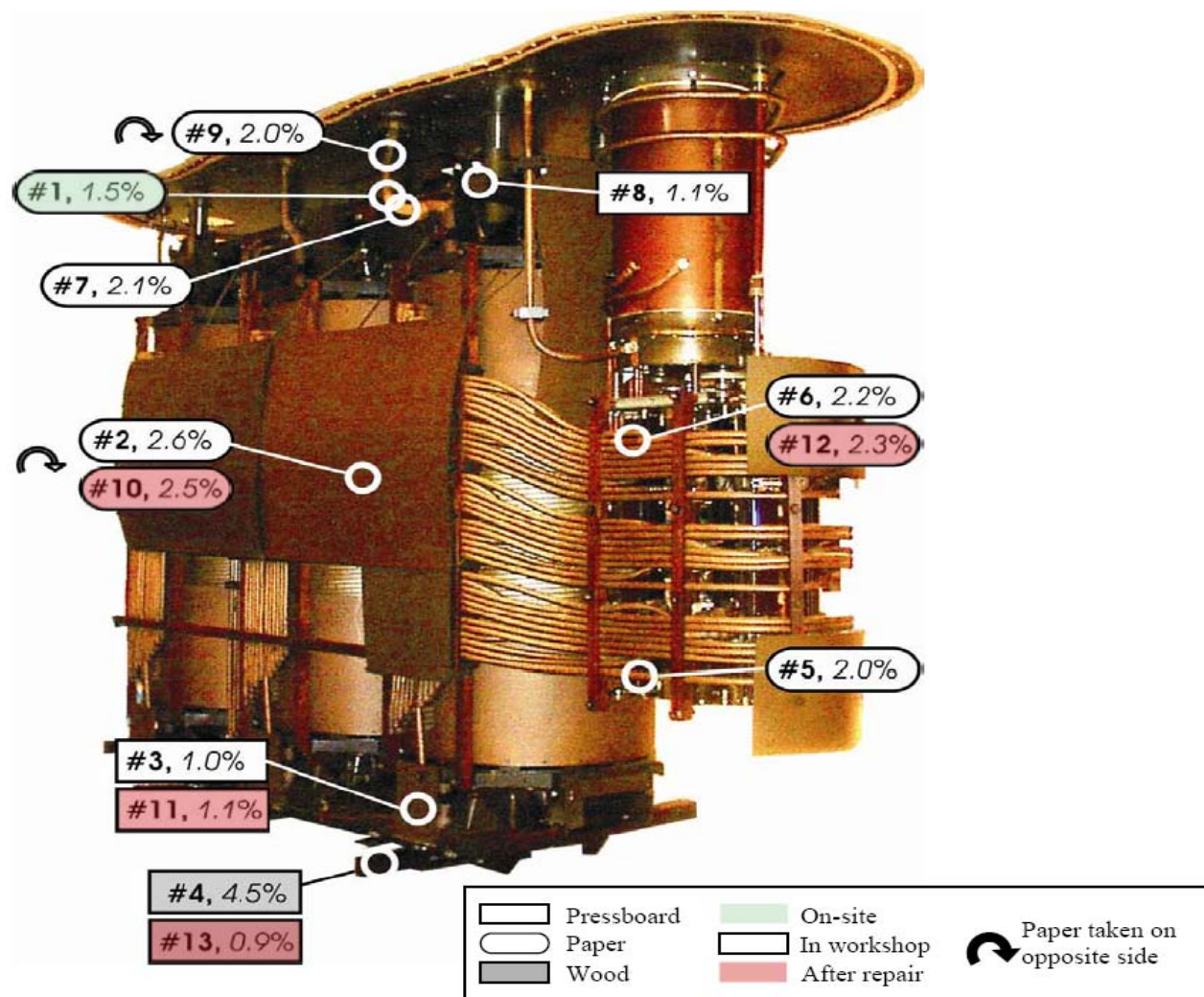
Temperature (°C)



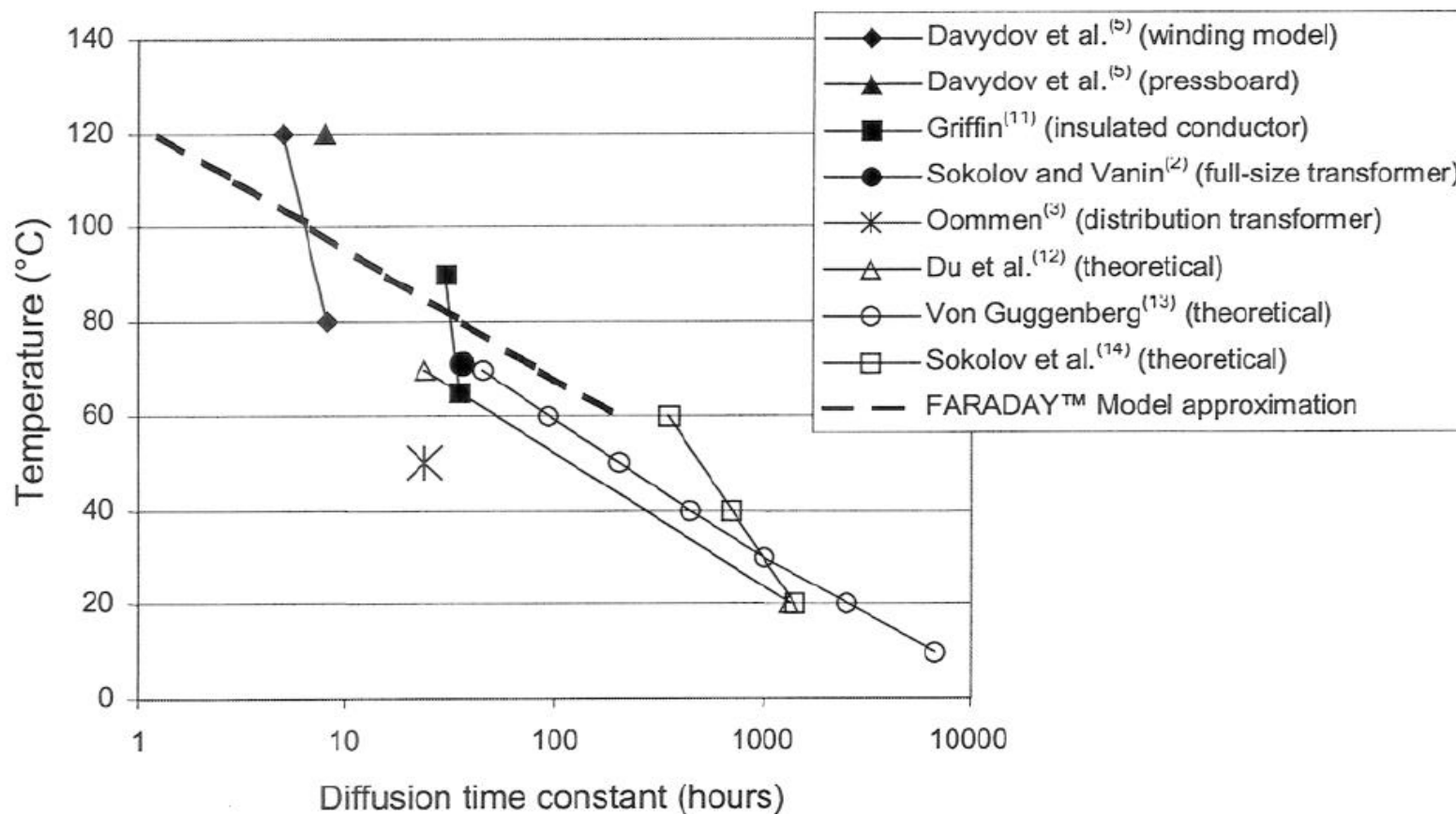
Moisture content (%)

Hőmérséklet és víztartalom eloszlás a szigetelés kritikus pontjain.

On-line és off-line mérési adatok összehasonlítása



KFT-vel becsült nedvességtartalom a trafó szilárd szigetelésének különböző helyeiről vett mintákból.



Elméleti és tapasztalati diffúziós időállandó vékony szigetelő anyagokban.

Olajban oldott víztartalom elemzés off-line módszere

- A mintavételezéses Karl Fischer titrálási (továbbiakban KFT) módszerrel történő vízmeghatározás több hibaforrással rendelkezik.
- A KFT eljárás a világ minden részén rutin eljárásként alkalmazott módszer (IEC 60814), de sokszor nem számolnak az eljárás jellegzetességeivel.
- Jelenleg ezt a módszert használják üzembe helyezés előtt, ez alapján végzik el az olajkezeléseket, cserélik az olajat.
- A megfelelő hatékonyságú diagnosztikához elengedhetetlen annak ismerete, hogy milyen hibával és milyen korlátok között lehet a KFT módszert használni.
- Az első hibaforrás maga a mintavételezési eljárás : hibát okozó különbségek lehetnek az egyes mintavételezések között, de a minták kezelésnek körülményei között is.

- A mintavételezés hibái, az olajminta szállítási, tárolási körülményei a minta elnedvesedéséhez és elszennyeződéséhez vezet.
- Ezek kiküszöbölése viszonylag könnyebbnek tűnik, mert csak be kell tartani a szabványok nagyon jól leírt követelményeit.
- A KFT módszernél egy ismert koncentrációjú reagenst adnak a trafóolajhoz, mindaddig, amíg a koncentráció egyensúlyba kerül.
- Ez a reagens mennyiségileg és szelektíven is reakcióba lép a vízzel, ezáltal lehetőség van a víztartalom meghatározására.
- Nem ismert az egyes olajminták összetétele (milyen típusú az olaj (naftén, parafin és aromás tartalom), milyen öreg, stb.)
- Sokszor nem ismert, hogy ezek a különbözőségek milyen hibát okozhatnak a KFT eljárás alkalmazásakor.
- A következmény a hamis (nagyobb) nedvességtartalom kijelzés.

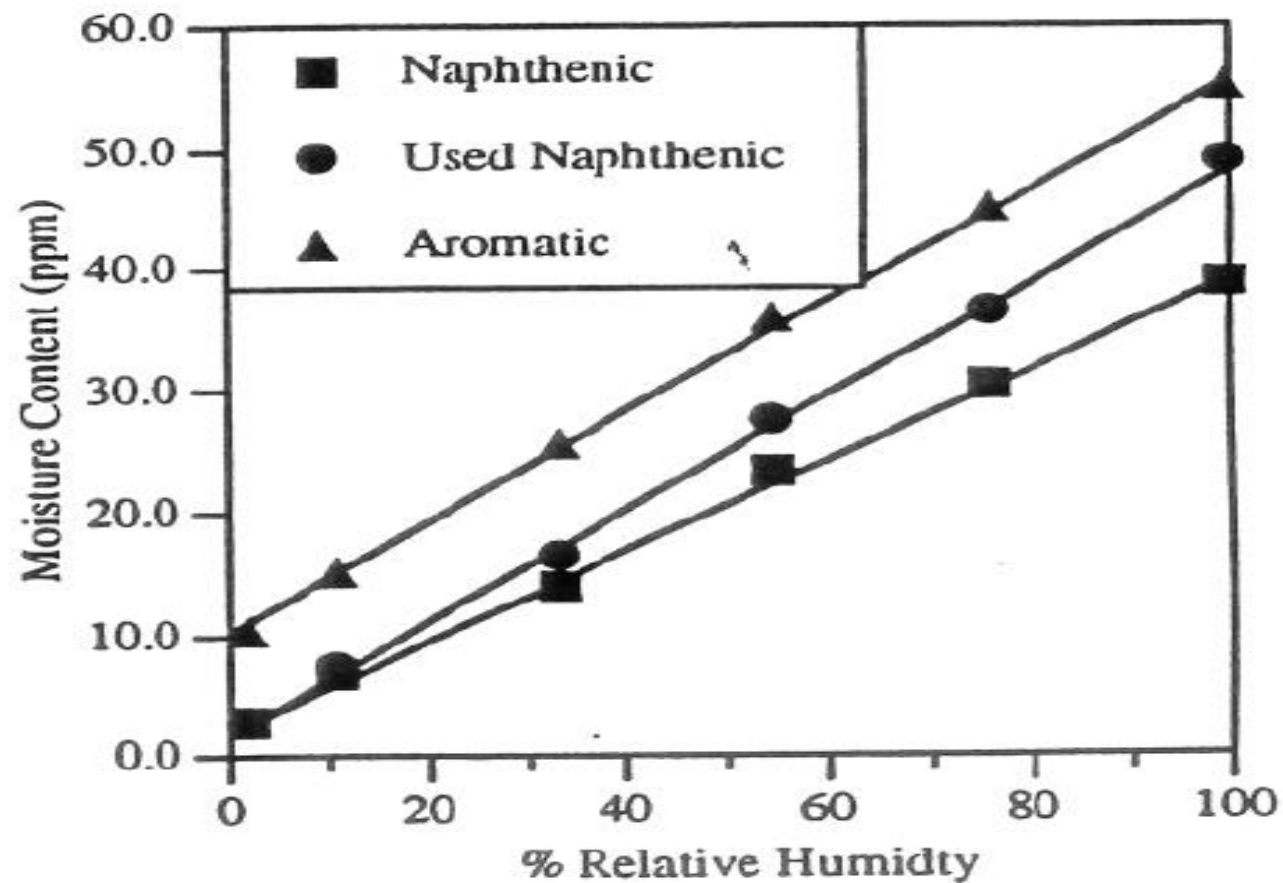


Figure 1: Plots of Apparent Equilibrium Concentration v's Relative Humidity for mineral oils at 20°C

Transzformátor on-line olaj víztartalom mérés sajátosságai

- Az on-line nedvességtartalom monitoring egy lehetséges megvalósítása az olajba mártott dielektrikum változásainak folyamatos követése.
- Régebben alumínium-oxid dielektrikumot használtak erre a célra, de az nem bírta a magas hőmérsékletet (max. 50°C-os), fokozott hitelesítést igényelt, lassú válaszjeleket adott.
- Ennél jobb megoldásnak bizonyult egy magas hőmérsékletű vékony (μm) polimer filmmel készített kondenzátor.
- A vékony film dielektromos jellemzői megváltoznak a víztartalom változásával.
- A fent említett szenzort sikerrel próbálták 0-125 °C-os tartományban és vákuum alatt, tehát használható olajkezeléseknél is.
- A mozgásban lévő olaj esetén a válaszidő néhány perc, az „álló” olaj esetén néhány óra azaz, ennyi idő kell, amíg a szenzor egyensúlyi állapot kialakul.
- Ez az jelenti, hogy a szenzor ideális beépítési helye ott van, ahol állandó olajáramlás jön létre.

- A Hydran on-line víztartalom mérés elve egy vékony polimer film (PTFE) kapacitív szenzor, amely a relatív telítődésre (RH%) érzékeny, tehát RH% értékkel arányos a szenzor kimenete.
- A relatív nedvességtartalom a teljes telítődés százalékában kerül megadásra és a víztartalom legjellemzőbb számadata.
- A kereskedelembe kapható on-line monitoring érzékelők rendszerint a relatív telítődést és a hőmérsékletet mérik azon a helyen, ahol az érzékelőt elhelyezték.
- Az abszolút víztartalom meghatározása is lehetséges (ppm-ben). Ehhez szükség van relatív nedvességtartalomra (amelyet a szenzor szolgáltat), az olaj hőmérsékletére, valamint az adott olajra jellemző telítési görbére. Ezekből az adatokból és az olaj öregedési állapotából átkonvertálható az olajban oldott abszolút nedvességtartalom.

Typical HYDRAN M2 Installation



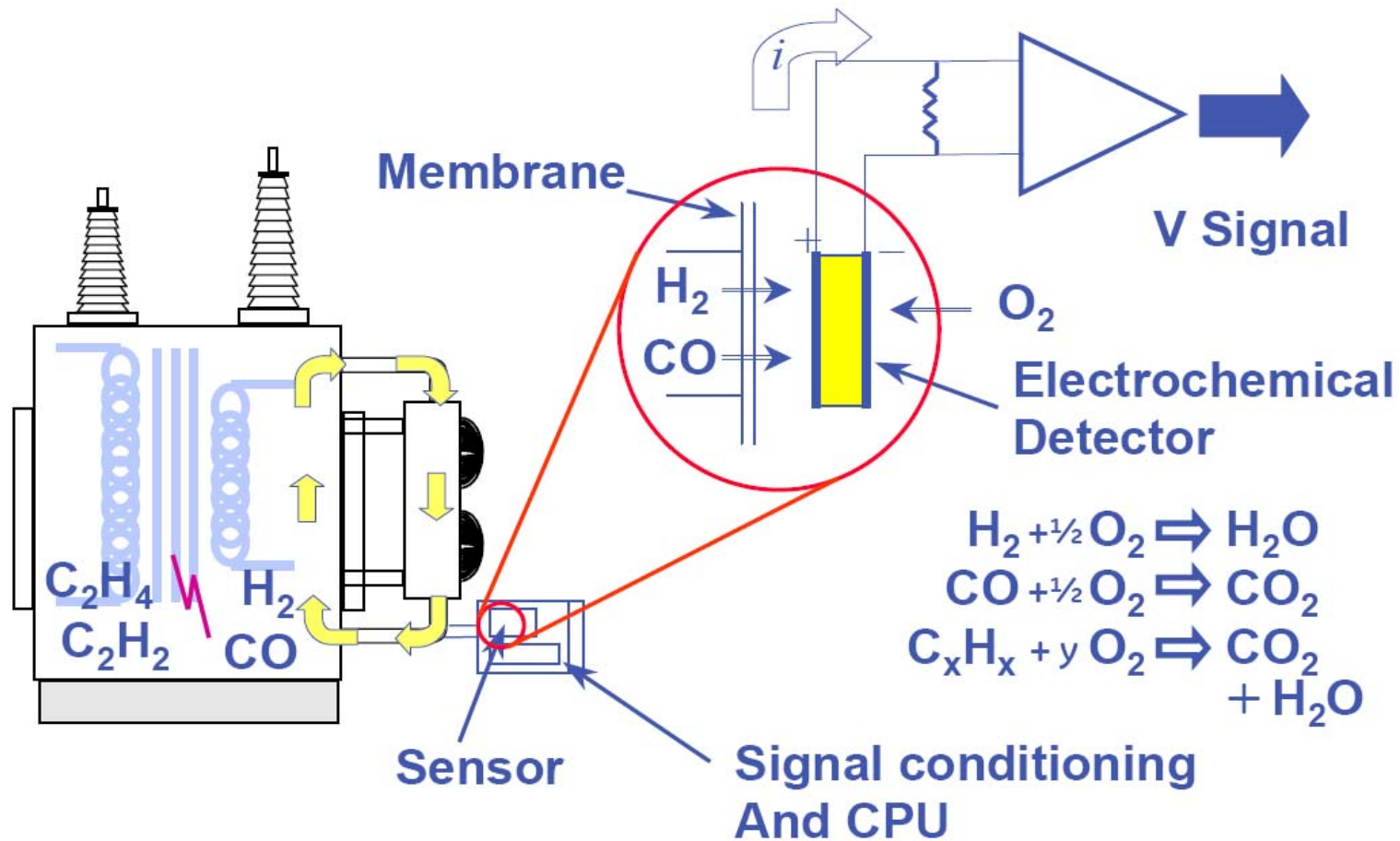
Hydran M2

Advanced Gas and Moisture monitor

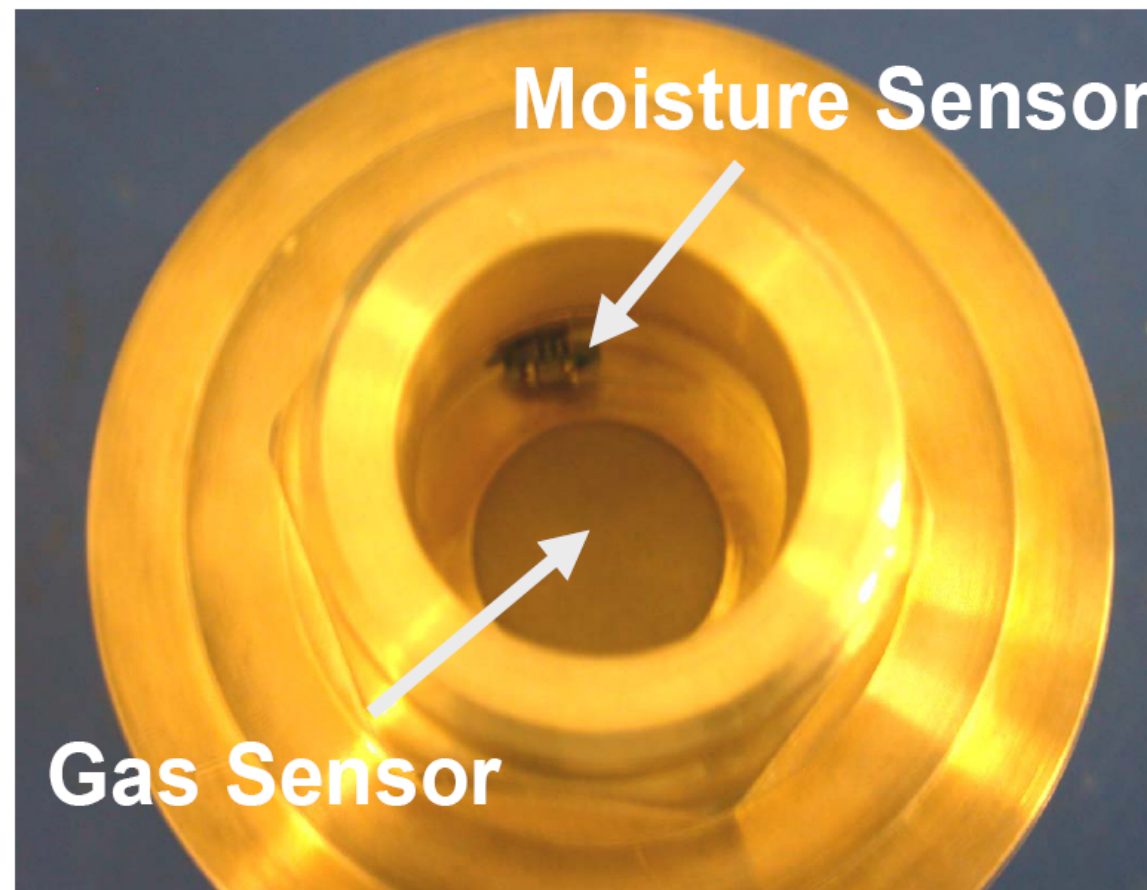
- H₂ and CO
- Moisture in oil
- Trending
- 4 analog inputs
- Data Logging
- Networking
- Integrated Modem/TCP-IP



The Hydran[®] Technology: Gas Sensor



HYDRAN[®] S2/M2 Dual Sensor



- A nedvességmérő szenzorokat a gyárban általában két lépésben állítják be illetve kalibrálják.
- Az első lépésben a szabvány szerinti un. két-pontos módszerrel a relatív nedvességtartalom (RH%) kalibrálása történik.
- Az RH% kalibrálás után végzik el az abszolút nedvességtartalomra való konvertálást.
- Ehhez ismerni kell az adott transzformátorolaj, un. víztelítődési görbét.
- Mint ismert az olaj víztelítési (vízoldódási, oldhatósági) karakterisztikája függ az olaj típusától, az öregedési állapottól, az aromástartalomtól, a savtartalomtól, a poláros öregedési termékektől és természetesen a hőmérséklettől.
- Az egyes felhasználók különböző típusú olajokat használnak, így egy adott típusú olajra kalibrált mérőrendszert esetenként át kellene állítani az adott olajra.
- Általában a felhasználónak nem áll rendelkezésre az adott olajra vonatkozó telítési görbe, így bizonyos pontatlansággal lehet átkonvertálni az RH% adatokat abszolút nedvességtartalommá.

- A HYDRAN készülékek az érzékelt víztartalom aktuális mennyiségét négy 4-20mA-es kimeneten keresztül továbbítja az irányítástechnika felé.
- Az állomási kezelő felületen ezek a mennyiségek víz esetében ppm-ben vagy RH%-ban jelenhetnek meg.
- A Hydran M2 és S2 monitoring készülék érzékelője „RH%” méri az olaj nedvességtartalmát, a laboratóriumok pedig „ppm” értéket adnak meg.
- A Hydran készüléktől meg lehet kapni az olaj nedvességtartalmát „ppm”-ben is, de a megadott „ppm” az ESSO cég „Voltesso 35 típusú olajára vonatkozik.
- Az olaj adott nedvességtartalmánál a relatív nedvességtartalmat több paraméter befolyásolja, de adott típusú és „öregedettségi fokú” olaj esetén megfelelő eredményt kapunk, ha csak a hőmérsékletfüggést vesszük figyelembe.
- A Hydrant gyártó cég készülékbe beépített programja az alábbi „átszámító képletet” használja az RH% -ból „ppm”-be történő átszámításra, amely az ESSO cég „Voltesso 35” típusú új transzformátorolajára érvényes.

- Ha nem az ESSO cég „Voltesso 35” típusú új transzformátorolaját használjuk, a pontosabb átszámítás céljából nekünk kell az „RH%” és a „ppm” közötti átszámítás elvégezni.
- A legjobb megoldás, ha az adott típusú és öregedettségu olajra elvégezzük az oldhatósági vizsgálatot (telítési víztartalom a hőmérséklet függvényében), mint azt az alábbi ábrákon is láthatjuk (mint ismert, minél öregebb az olaj, annál nagyobb az oldhatóság, azaz a „telítési víztartalom”).
- A HOASM transzformátoroknál eddig kizárólag TO40A típusú olaj került felhasználásra, de nem ismert az oldhatósági görbéje. Mint az alábbi táblázatokból is látható, a víz olajban történő oldhatósága függ az olaj aromástartalmától.
- Nincs megfelelő információ arról, mennyire változott a TO40A olaj minősége az utóbbi 10-20 évben, de a régi MOL olaj aromástartalma kb. 9 % volt (US4000 olaj aromástartalma kb. 6,5 %).
- Az aromástartalom alapján a MOL TO40A típusú olajához az alábbi táblázat 2. sorában lévő olaj áll legközelebb kb. 8 % aromástartalommal. Erre az olajra 3 ponttal jellemezve rendelkezésre áll az oldhatóság, így lehetőség van a Hydran által mért, a „Voltesso 35” olajra vonatkozó „RH%” értéke pontosabb „ppm” értékre történő átszámítására.

As an example, Table G-1 on page G-2¹ and Figure G-1 on page G-3² show the water solubility (or often called saturation) curves of various oils as a function of the oil composition and temperature.

Table G-1 - Water Solubility as a Function of the Oil Composition and Temperature

Oil No.	Aromatic Content (%)	Solubility (ppm)		
		20 °C	40 °C	70 °C
1	5	42.8	97.5	279
2	8	46.8	108	316
3	16	56.2	128.3	369.2
4	21	75	162	436

The User should keep in mind that in practice, the independent measurements of relative saturation and PPM are necessary in order to obtain complete information on the water content in the oil, and both measurements are complementary.

■ A Mavir a hálózaton *Hydran M2*, *Hydran S2* berendezés került felszerelésre az olajban oldott víztartalom on-line meghatározására.

■ A relatív nedvességtartalom átszámítása abszolút nedvességtartalommá az alábbi egyenlet alapján lehetséges:

ahol:

■ r.v.(%) : relatív nedvességtartalom az olajban %-ban

■ T: olaj hőmérséklete °C-ban

■ A: új ásványolajokra olajokra vonatkozó konstans ($-1,66 \times 10^3$)

■ B: öreg ásványolajra vonatkozó konstans

$$ppm = \left[r.v.(\%) \right] \times 10^{\frac{A}{(T+273)+B}}$$

Impact of moisture in oil

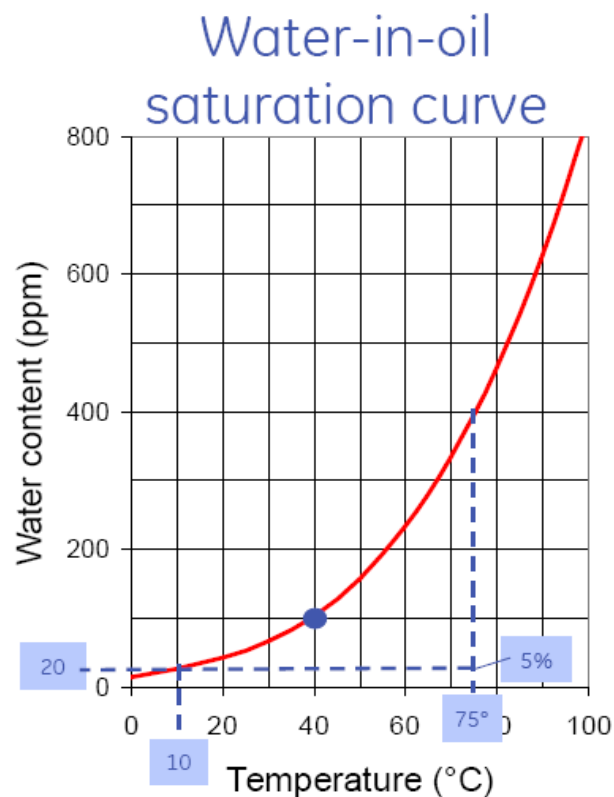
Sensors

Sensor Relative Humidity (RH%)

5%

Sensor Temperature(°C)

75°C



Output

Absolute water content in oil (ppm)

20ppm

Condensation temperature (°C)

10°C

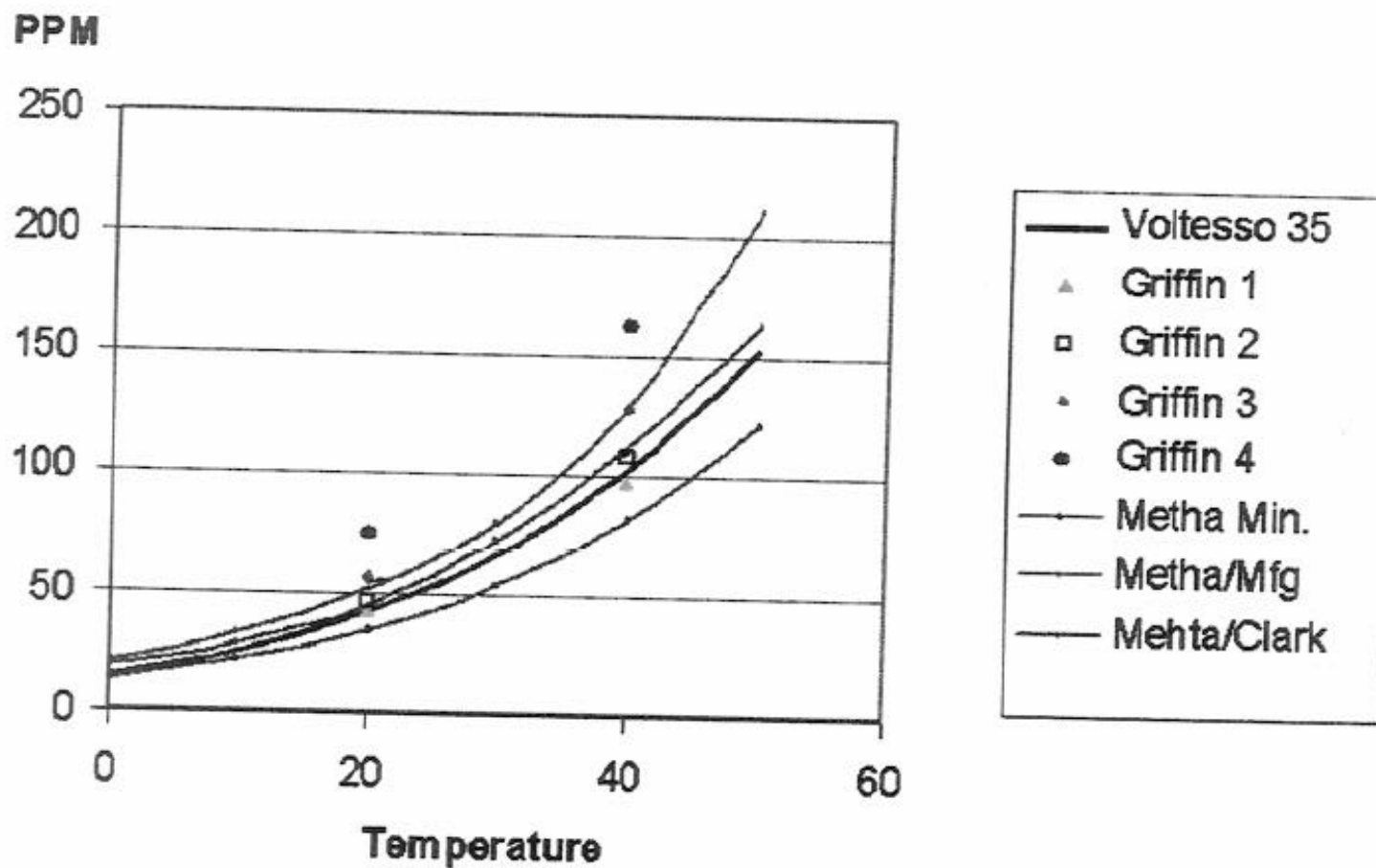
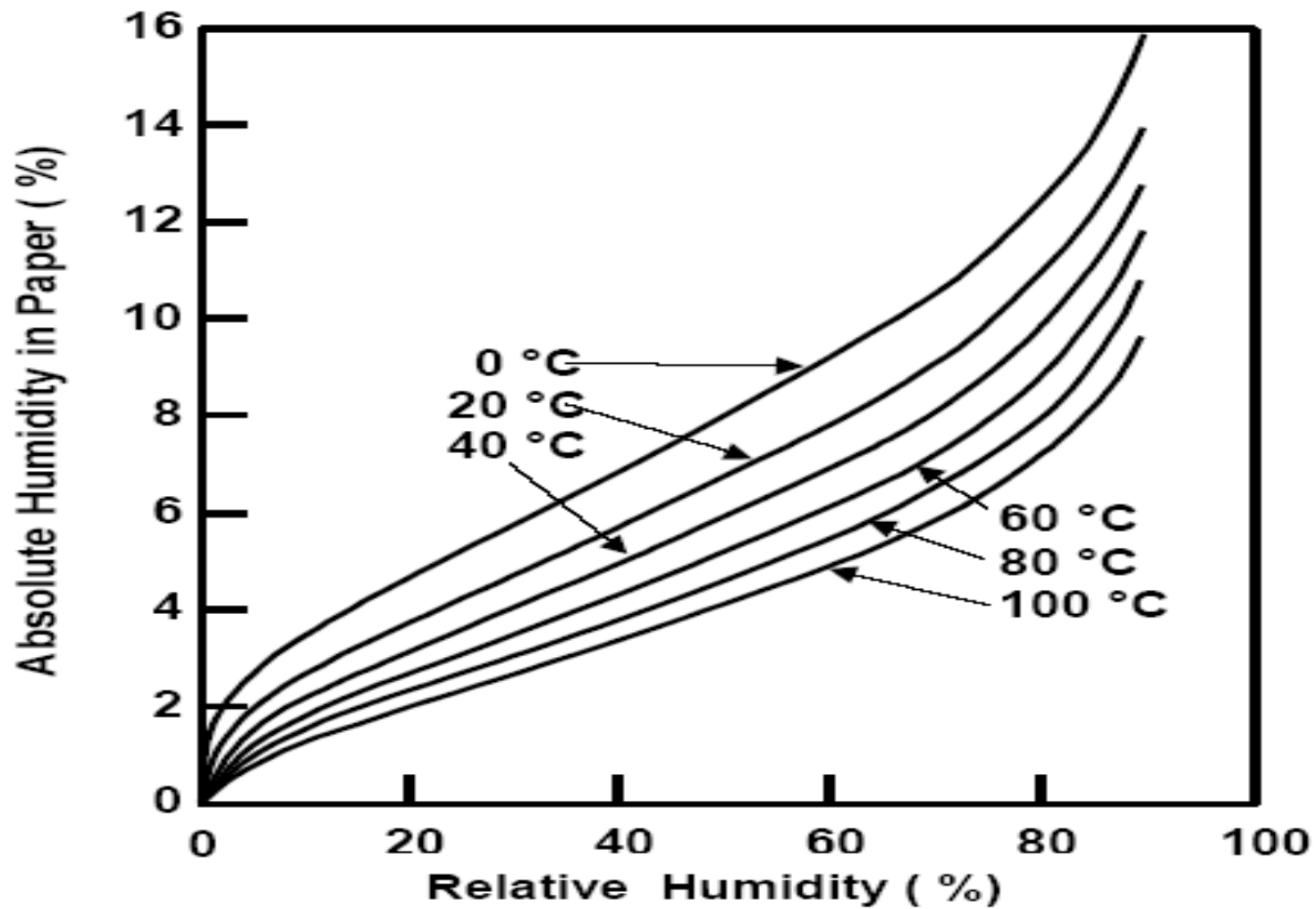


Figure G-1 - Water Solubility Curves According to Different Sources



Egyensúlyi görbék az olaj és papír között víz megoszlásra.

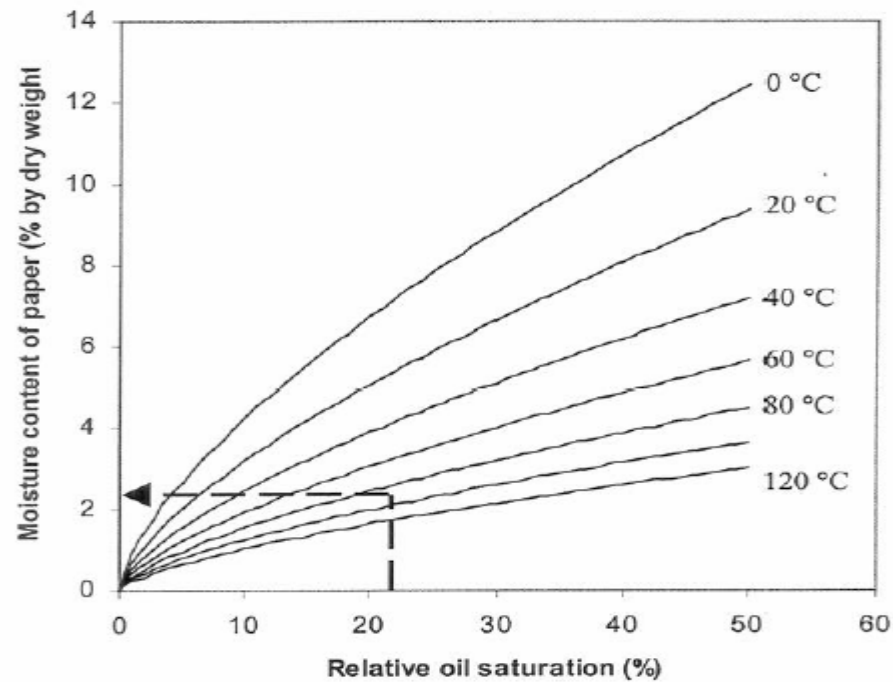


Figure 3 - Equilibrium Curve for Moisture Partition Between Oil and Paper

Example of water distribution in a 25 MVA transformer with 3% moisture in paper

	40°C		80°C	
Oil (25 000litre)	10 ppm	0.25 kg	80 ppm	2.0kg
Paper (2500 kg)	3 %	75 kg	2.93%	73.25 kg
Total		75.25 kg		75.25 kg

- Most of the water is in the solid insulation
- Change in water content of oil does not entail a similar change in the water content of paper

	Oil	Thick Insulation	Thin Barrier	Winding Insulation	Total Water Content
Total Mass	45,000 kg	2,250 kg	900 kg	1,350 kg	
Full Load	26 ppm	2.4 %	2.4 %	1.6 %	
Conditions	1.2 kg	54.0 kg	21.6 kg	22.0 kg	98.8 kg
Off Service	1.3 ppm	2.2 %	2.2 %	2.2 %	
Conditions	0.1 kg	49.4 kg	19.8 kg	29.5 kg	98.8 kg

Nedvesség eloszlás állandósult hőmérsékleti eloszlás mellett.

Olajban lévő víz „kondenzációs hőmérséklet” számítási segédlet

Számítandó mennyiség: olaj „kondenzációs hőmérséklet”

Felhasználandó adatok:

Hydran átlagos olaj víztartalom RH%,

Hydran „olaj” hőmérséklet,

A relatív nedvességtartalom – hőmérséklet jelleggörbe ismeretében számítható a 100%-os relatív nedvességtartalomhoz (telítéshez) tartozó hőmérséklet. Ez azért fontos paraméter, mert a telítési hőmérsékleten az olajban vízkiválás lép fel, lecsökken az átütési szilárdság, nő az üzem közbeni átütés valószínűsége (az alábbi ábrán, ha valami ok miatt a trafó visszahűl 41 °C-ra, akkor vízkiválás léphet fel).

A fenti két mennyiségből, ill. a „Votesso 35” olaj jelleggörbéje alapján meghatározható az olajra jellemző telítési víztartalom – hőmérsékletfüggés jelleggörbéből számítandó a RH=100%-hoz tartozó un. kondenzációs hőmérséklet °C-ban (lásd az alábbi ábrát). Az alábbi ábra alapján az is megállapítható, hogy mennyi a tekercs hot-spot hőmérsékleten az RH% értéke (az ábra szerint 85°C hot-spot esetén RH=22%).

On-line és off-line mérési adatok összehasonlítása

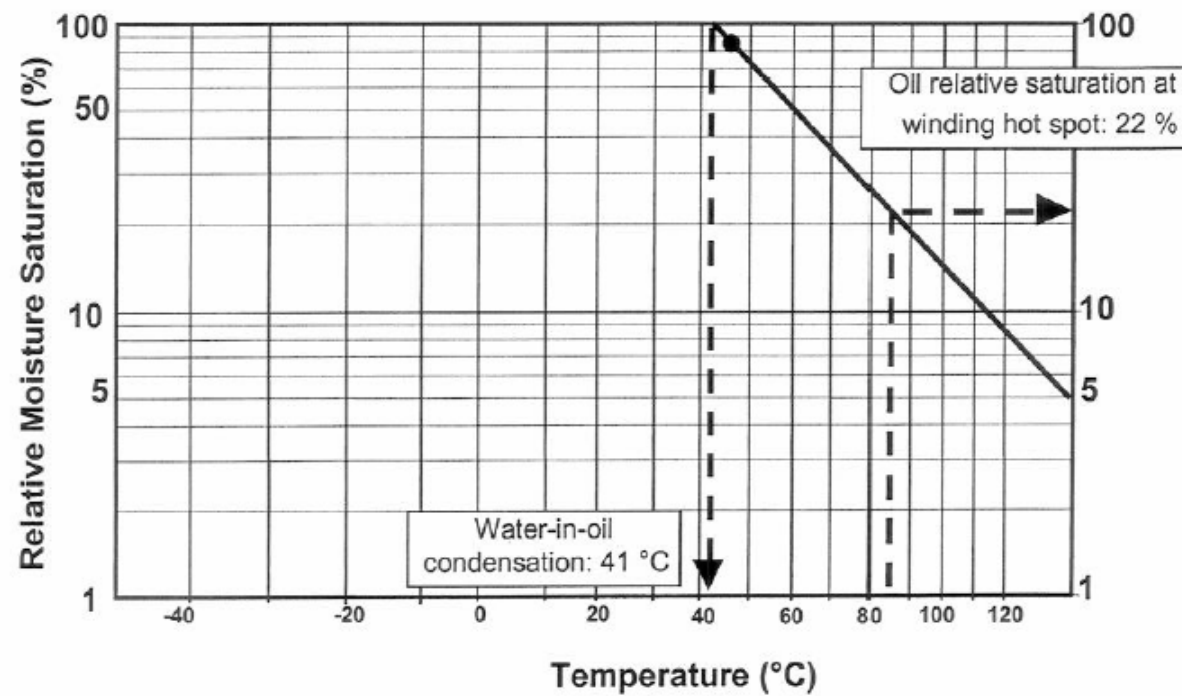


Figure 2 - Oil Relative Humidity Versus Temperature

- Papír víztartalom meghatározás olaj „ppm” víztartalomból
- Számítandó mennyiség: papír víztartalom (%)

átlagos papír hőmérséklet
átlagos olaj „ppm” víztartalom

- A fenti két mennyiségből és az alábbi jelleggörbékéből meghatározható a papír átlagos víztartalma „%” - ban.
- Az átszámítás feltételezi, hogy egyensúlyi állapot alakul ki, egy üzemelő transzformátorban un. „dinamikus egyensúlyról” lehet beszélni, így több „egyensúlyi görbe” van forgalomban.

Papír nedvességtartalom meghatározás egyensúlyi görbék alapján

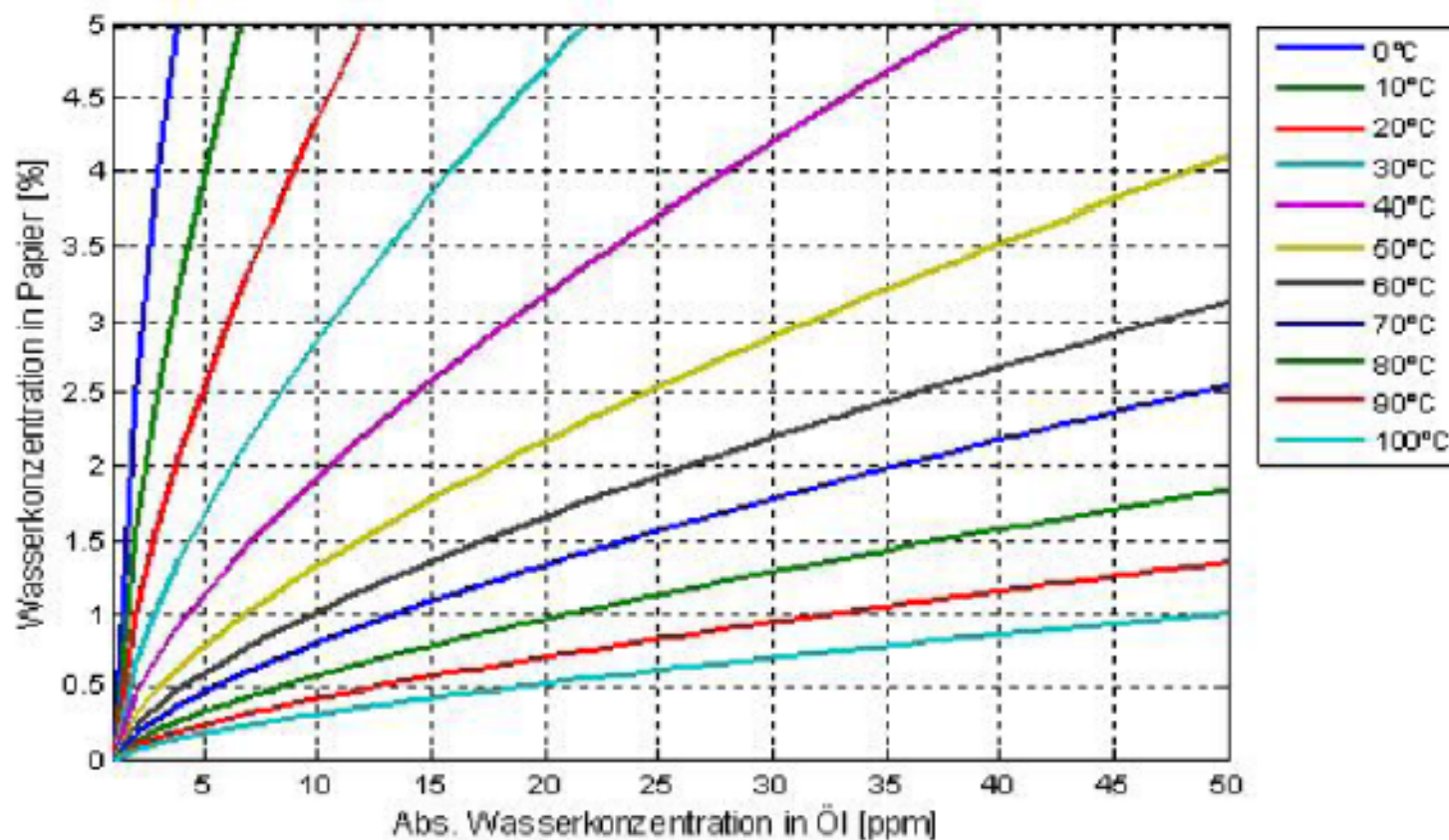


Figure 2: Equilibrium curves of moisture in oil and paper, calculated by the Ommen formula [1, 3, 4]

- **Buborék képződési küszöbhőmérséklet meghatározása**
- Hőmérsékletnövekedés hatására – többek között – gyorsul az öregedés és az olaj-papír szigetelésben gázok szabadulnak fel, ami miatt csökken az átütési szilárdság.
- Főleg a fentiek miatt az IEC 354 (Loading Guide for Oil-immersed Transformers) a hot-spot hőmérsékletet 140°C -ban limitálta (a régebbi IEEE loading guide ezt a hőmérsékletet 180°C -ban adta meg).
- A pontosabb mérések kimutatták, hogy a gázképződés „határhőmérséklete” függ a nedvességtartalomtól is.
- Az eredmények azt mutatják, hogy nagyobb nedvességtartalom esetén az IEC által megadott 140°C határhőmérséklet alatt is megindulhat a gázképződés.

- **Számítandó mennyiség:** buborékképződési küszöbhőmérséklet
- Felhasználandó adatok:
- átlagos papír víztartalom
- „buborékképződési küszöb hőmérséklet - papír víztartalom jelleggörbe”
- A fenti adatokból és az alábbi jelleggöréből számítandó a buborékképződési küszöb hőmérséklet és összehasonlítandó a számított átlagos papír hőmérséklettel.

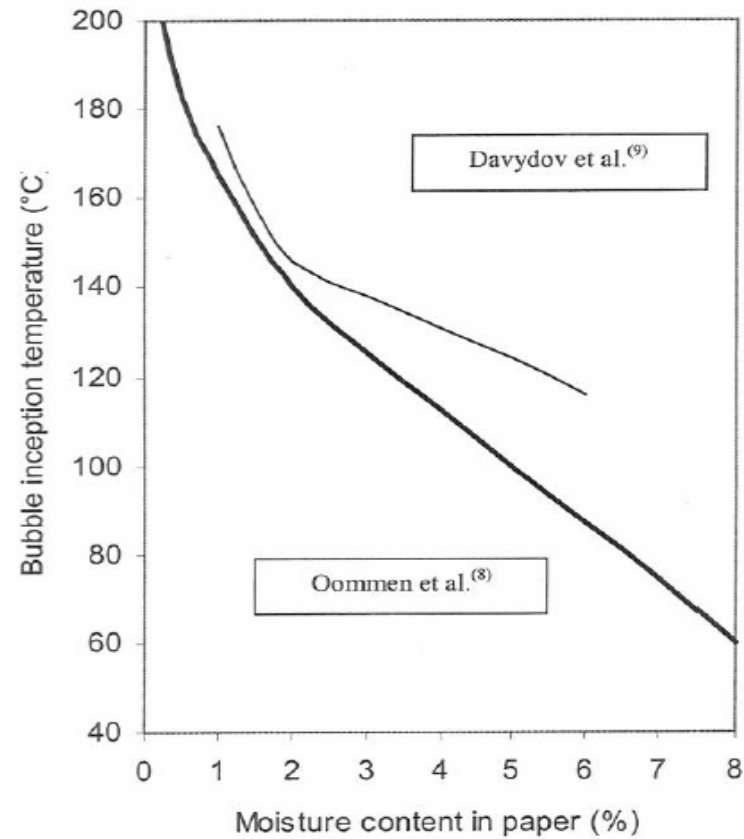


Figure 4 - Critical Temperature for Bubble Evolution

Transzformátor off-line olaj H₂ tartalom mérés sajátosságai

- ***Általános a kromatográf használata a HGA diagnosztikában***
- **Mintavétel hibái**
- **Kiértékelés hibái**
- **HGA egyenérték (kompozit jel) számítás hibái**

■ Transzformátor on-line olaj H₂ tartalom mérés sajátosságai

- A Mavir a hálózaton *Hydran M2*, *Hydran S2* berendezés került felszerelésre az olajban oldott víztartalom on-line meghatározására.
- Ezek folyamatos hibagáz megjelenítő berendezések, amelyek a transzformátorban fellépő hibák kiváltotta „hibagázok” egy összegzett mennyiségét „RH” (relatív nedvességtartalom) ppm-ben jelzi ki.
- A kiadott „kompozit jel” az alábbiakkal arányos:

$$100 \%H_2 + 18\%CO + 8\%C_2H_2 + 1,6\% C_2H_4).$$

Transzformátor on-line diagnosztika főbb sajátossága, hogy az olaj nedvességtartalomból számolható a papír %-os víztartalom is. Ehhez ismerni az átlagos papír hőmérsékletet, átlagos olaj nedvességtartalmat.

Az olajban oldott víztartalom és hidrogéngáz on-line és off-line meghatározásának összehasonlítása

- Az olaj-papíros szigetelések sajátosságai miatt a transzformátorok off-line és on-line diagnosztikájában a hőmérséklet mellett a másik két legfontosabb szigeteléstechikai jellemző a szigetelés nedvességtartalma és az olajban oldott gáztartalom.
- A szigetelési állapot megfelelő szinten tartása céljából elengedhetetlen a két jellemző legalább periodikus, de inkább folyamatos figyelése, az esetleges belső hibák időben történő előjelzése céljából.
- A hibagáz analízis (HGA) és az olaj víztartalmának meghatározása az üzemeltetők két legfontosabb diagnosztikai módszere.
- A transzformátor-diagnosztika hagyományos eljárásai (off-line technika) mintegy 50 éve került bevezetésre.
- Ennél jóval fiatalabb a folyamatos állapotfigyelés.
- Az off-line és az on-line technika által szolgáltatott eredmények összehasonlításakor azonban időnként jelentős különbséget tapasztalhatunk.

- Ez a különbség nehézséget okozhat a kiértékelésben. Ezért elengedhetetlen mindkét módszer mérési elvének, sajátosságainak, pontosságának, a pontosságot befolyásoló tényezőknek, stb. az áttekintése, hogy tisztázhassuk a meglévő anomáliákat, majd levonjuk a következtetéseket a jövőre vonatkozóan.
- Ezáltal még hatékonyabb diagnosztikai lehetőséget lehet biztosítani a transzformátor üzemeltetők részére.
- A szigetelőolaj nedvességtartalmának (KFT, Karl-Fischer titrálás) megállapításához használt meglehetősen bonyolult kémiai módszer, valamint itt a mintavétel sok hibalehetőséget adhat.
- Az off-line méréseknél a nedvességtartalom szinte mindig magasabb, mint az on-line mérési eredmény, amelynek elsődleges oka a mintavételezéstől a mérésig eltelt idő alatt jelentős a nedvességfelvétel, valamint az a jelenség, hogy öreg olajoknál a Karl Fischer titrálásnál nemcsak a víz fogyasztja a reagenst, hanem az öregedési termékek is.

- A zárt rendszerű on-line vízmérésnél a mérési hiba eredendően abból fakad, hogy a szenzor relatív nedvességtartalmat mér és ez függ – többek között - az olaj típusától.
- A gyártó nem tudhatja, milyen olajjal lesz használva, ezért igen fontos még a off-line és on-line diagnosztika „szinkronozása”, vagy „bekalibrálása”.
- Ez azt jelenti, hogy néhány üzemállapotban „közös” méréseket kell végezni, és a mérési eredmények alapján korrigálni mind az off-line, mind az on-line mérési eredményeket, hogy a fentebb említett hibák minél kisebb mértékben torzítsák a valódi eredményeket.
- Ezáltal a folyamatos állapotfigyelés (on-line technika) és a hagyományos eljárások által biztosított off-line diagnosztika is megfelelően töltheti be szerepét, az eredmények összehasonlítása csak kevés problémát okozna a kiértékelésben, ezáltal még hatékonyabb diagnosztikai lehetőséget lehet biztosítani a transzformátor üzemeltetők részére.

On-line és off-line mérési adatok összehasonlítása

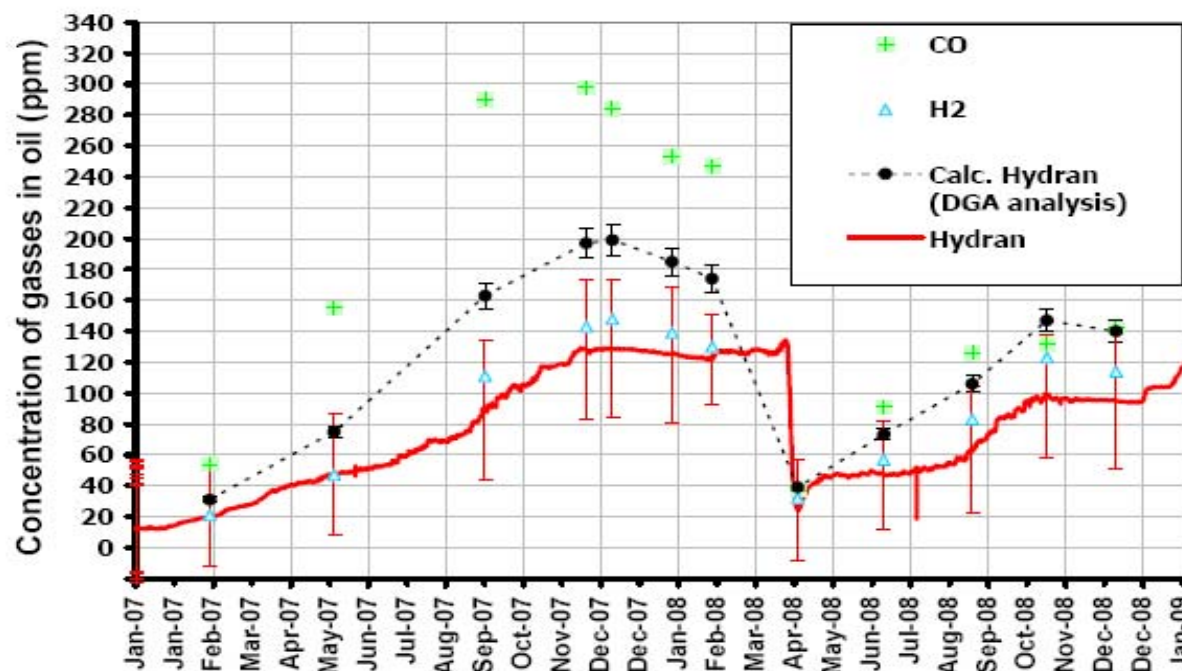


Figure 1 - Comparison of Hydran signals with calculated Hydran (values of H₂ and CO determined by the DGA) and relevant uncertainty limits.

Statisztikai adatok azt mutatják, hogy a Hydran által mutatott hidrogén egyenérték és a HGA-ból számolt kompozit jel között 1,56 az arány.

On-line és off-line mérési adatok összehasonlítása

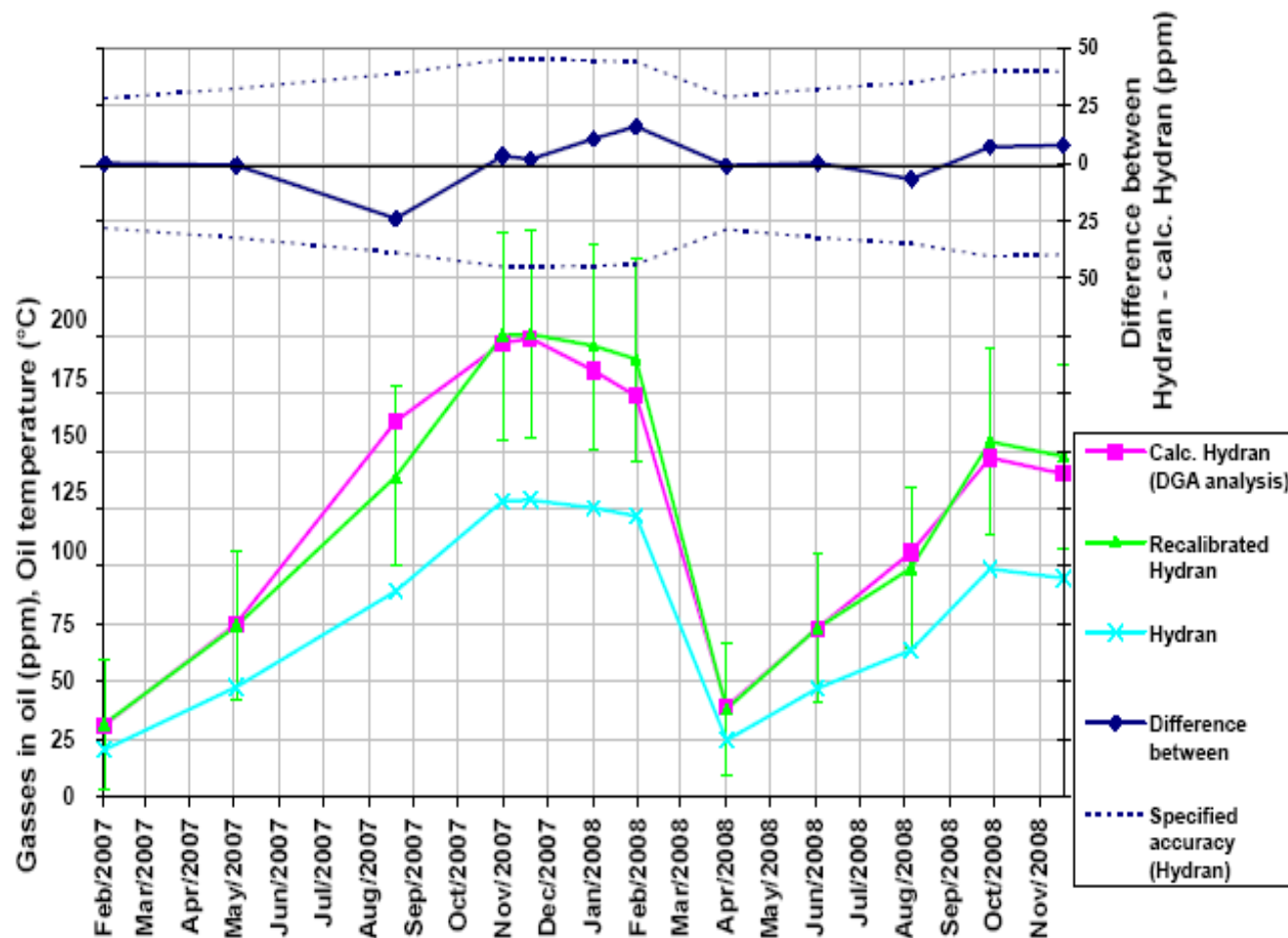


Figure 2 - Comparison of recalibrated Hydran signals with DGA results

— Összefoglalás

- A jövőt illetően várható, hogy az on-line állapotfigyelő rendszerek egyre elterjedtebbek lesznek, főleg a kezeletlen alállomásokon.
- Az olaj-papíros szigetelések sajátosságai miatt a trafók off-line és on-line diagnosztikájában sok ellenmondás tapasztalható.
- Ez az állapot különösen jellemző a két legfontosabb szigeteléstechnikai jellemzőre: az olajban oldott víz és gáz gáztartalomra.
- Az olaj-papíros szigetelési rendszer igen összetett, igen sajátos tulajdonságokkal rendelkezik, ezért az egyszerűbb érthetőség kedvéért az összefüggéseket sokszor leegyszerűsítik, később elfeledve, hogy milyen korlátai voltak a leegyszerűsítéseknek.
- Ez az ellenmondás feloldható, ha alapos vizsgálat után korrigáljuk mind az off-line, mind az on-line mérési adatok, hogy a fentebb említett hibák minél kisebb mértékben torzítsák a valódi eredményeket.
- Ezáltal a folyamatos állapotfigyelés (on-line technika) és az off-line diagnosztika is megfelelően töltheti be szerepét.
- Ezután az eredmények összehasonlítása csak kevés problémát okozna a kiértékelésben, így még hatékonyabb diagnosztikai lehetőséget lehet biztosítani a transzformátor üzemeltetők részére.

Köszönöm a figyelmet,

Kérdések ?