



Felhasználói lehetőségek az offline/online HGA diagnosztika hatékonyabb alkalmazásához - 2023

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

XXI. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, Sopron, Hotel Fagus, 2023. május 3-5.



Tartalomjegyzék

- 1. A téma 2023-as aktualitása, az előadás célja**
- 2. Röviden a HGA diagnosztikáról**
- 3. Fejlődés a HGA diagnosztikai kiértékelésekben**
- 4. Offline és online HGA**
- 5. Konklúziók**



A téma aktualitása – HGA fontossága

- Bár a trafó olajban oldott gázok **HGA** elemzése **már régi és hatékony alkalmazás** (akár a hibák 80%-a feltárható, akár 93%-os pontossággal), de a folyamatos fejlődés miatt az adatok pontos kiértékelése még nem mindig egyértelmű feladat.
- **Látható a jelentős fejlődés** mind az **offline**, mind az **online** technika terén.
- A HGA diagnosztika digitalizálása évek óta **fontos trend** és számos megoldás került kifejlesztésre, ill. **továbbra is törtlen a fejlesztés**.
- Az **online technika lényegében az offline technikára épül**, de az offline technikával kapcsolatosan is **folyamatosan jelennek meg szabványmódosítások**, így még alig kerülnek be az új fejlesztések az offline technikákba, máris **lehet kiegészíteni** az online kiértékelést is.
- **Nagy a fejlődés az online monitoring területén** is, újabb és újabb online monitoring rendszerek kerülnek forgalomba **különböző technológiával**, különböző gázkombinációk mérésével.
- Az online HGA monitoring rendszerek szinte mindegyike különbözik egymástól, **nem könnyű áttekinteni** a tulajdonságaikat, nem árt a segítség a felhasználóknak.



- Monitoring rendszer **felszerelése előtt** nagyon fontos lenne **minél többet tudni** ezekről a rendszerekről, megismerni a lényegüket, hogy például **legyen elég ismeret egy tender kiírására.**
- Ehhez minél több **alapismeretre** van szükségünk az **offline és online HGA** diagnosztika lényegére vonatkozóan, hogy össze tudjuk állítani – kis segédlettel – a számunkra legmegfelelőbb **online HGA monitoring rendszer specifikációját.**

Az előadás célja:

Rövid, közérthető és friss HGA áttekintés, figyelemfelhívás fontos útmutatókra, szabványokra, az újdonságokra, ill. azok követésére.

Segítség az offline/online monitoring kiválasztására, kísérlet a HGA technikával kapcsolatos misztifikálás csökkentésére.



Főbb szakirodalmi források

1. **CIGRE TB 771-2019: Advances in DGA interpretation (WG D1/A2)**
2. **CIGRE TB 783-2019: DGA monitoring systems** (WG D1/A2.47 (M. Duval convenor, I. Bocsi secretary, M. Szebeni, B. Németh))
3. **Transformers Magazine Special Edition: Digitalization – 2020 Demystifying online DGA monitor specification**
4. **IEEE C57.104-2019:** IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers.
5. **IEC 60599:2015:** Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.
6. **ISH 2019-BUDAPEST:** Advances in DGA interpretation & DGA monitoring systems, Jerzy Buchacz, Michel Duval CIGRE WG D1/A2.47



Röviden a HGA diagnosztikáról

- A trafó **helyi hiba diagnosztikájában** a HGA **legfontosabb** terület.
- A HGA **leghatékonyabb** trafó hibajelző eszközünk, mert számos **vegyi romlást, villamos és termikus hibát képes jelezni, ezért fontos a megbízhatóság.**
- A hibák nagy részét - még az offline technika is - **már korai állapotban jelzi**, így esély van a **katasztrofális hibák elkerülésére**, alkalmazáshoz nagy és **alapos ismeretanyagra van szükség.** Világszerte **1 millió offline HGA évente kb. 400 laborban.** **Tapasztalatátvétel, de hogyan????**
- Egyes HGA kiértékelések **egyedül „nem elég pontosak”** (önellenőrzés/több módszerrel). **Viszonylag gyors a fejlődés**, újabb és újabb kiértékelések jelennek meg, de „**protokollok**” **gépies használata** még nem elegendő a megbízható diagnosztikához, a fejlődés **állandó követés** szükséges.
- Új + régi értékelési rendszerek + online monitoring:** akár **93%** pontosság,
- Az **offline HGA** rendszerhez képest az **online változat hatékonysága jelentős.** Gyors fejlődés, új kiértékelések, ezért fontos az az újdonságok **állandó követése.** **Tapasztalatcsere!!!**



-A „követésre” elengedhetetlen a **folyamatos tanulás, folyamatos továbbképzés, legalább egy szakértőnek mélyebb ismeretekkel** kell rendelkezzen. **TUTORIAL**

Mindenkinek számos **egyéni kérdése** merülhet fel a HGA területén:

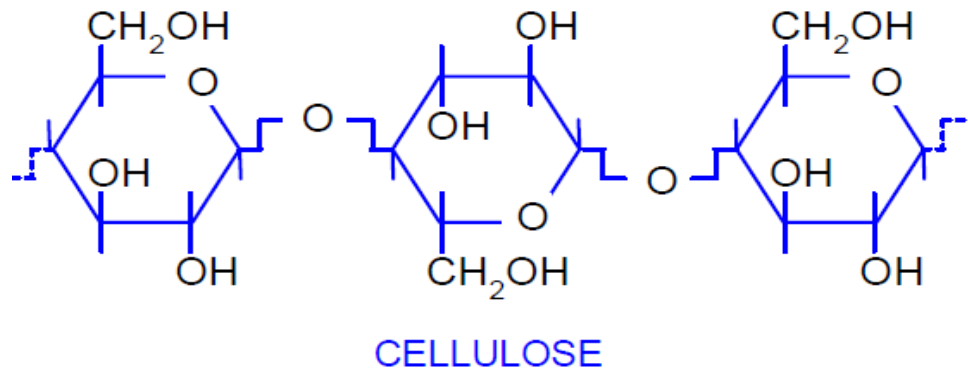
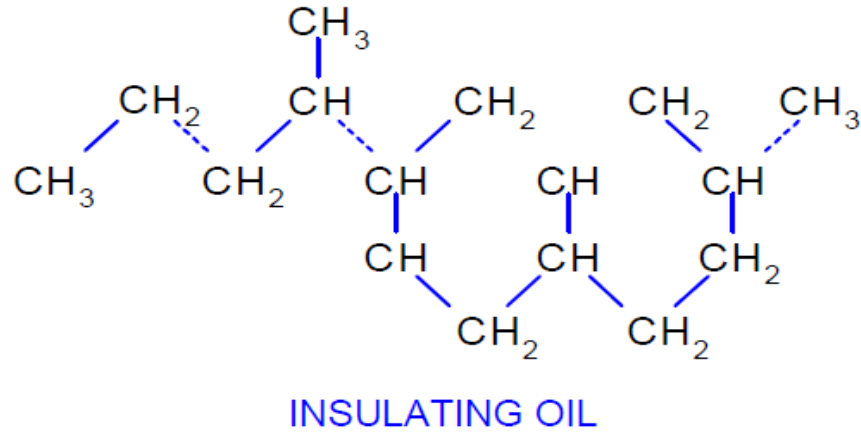
1. *Mennyi ismeretünk áll rendelkezésre, ebből mennyit tudunk hasznosítani?*
2. *Mire legyen igényünk?*
3. *Mennyire megbízható a diagnosztikánk?*
4. *Hol tudunk a korrekt ismereteknek utánanézni?*
5. *Milyen HGA kiértékelést alkalmazunk?*
6. *Stb.*



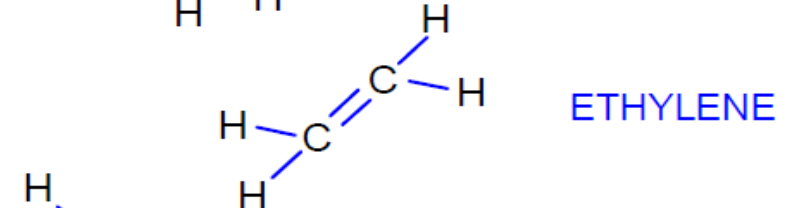
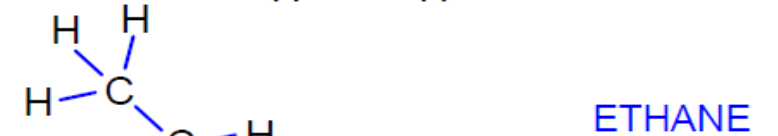
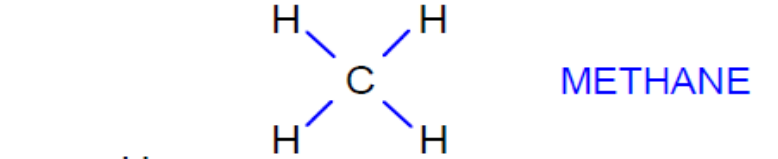
FONTOSABB HGA alapok



Nagyon fontos az olaj/papír külső behatásra történő bomlása: az olaj szénhidrogén molekulái H-t és C-t tartalmaznak, a cellulóz még O₂-t is (H, C, O). A bekövetkező változások rendkívül összetettek.



Arcing
Overheating
Surface discharge
Circulating current

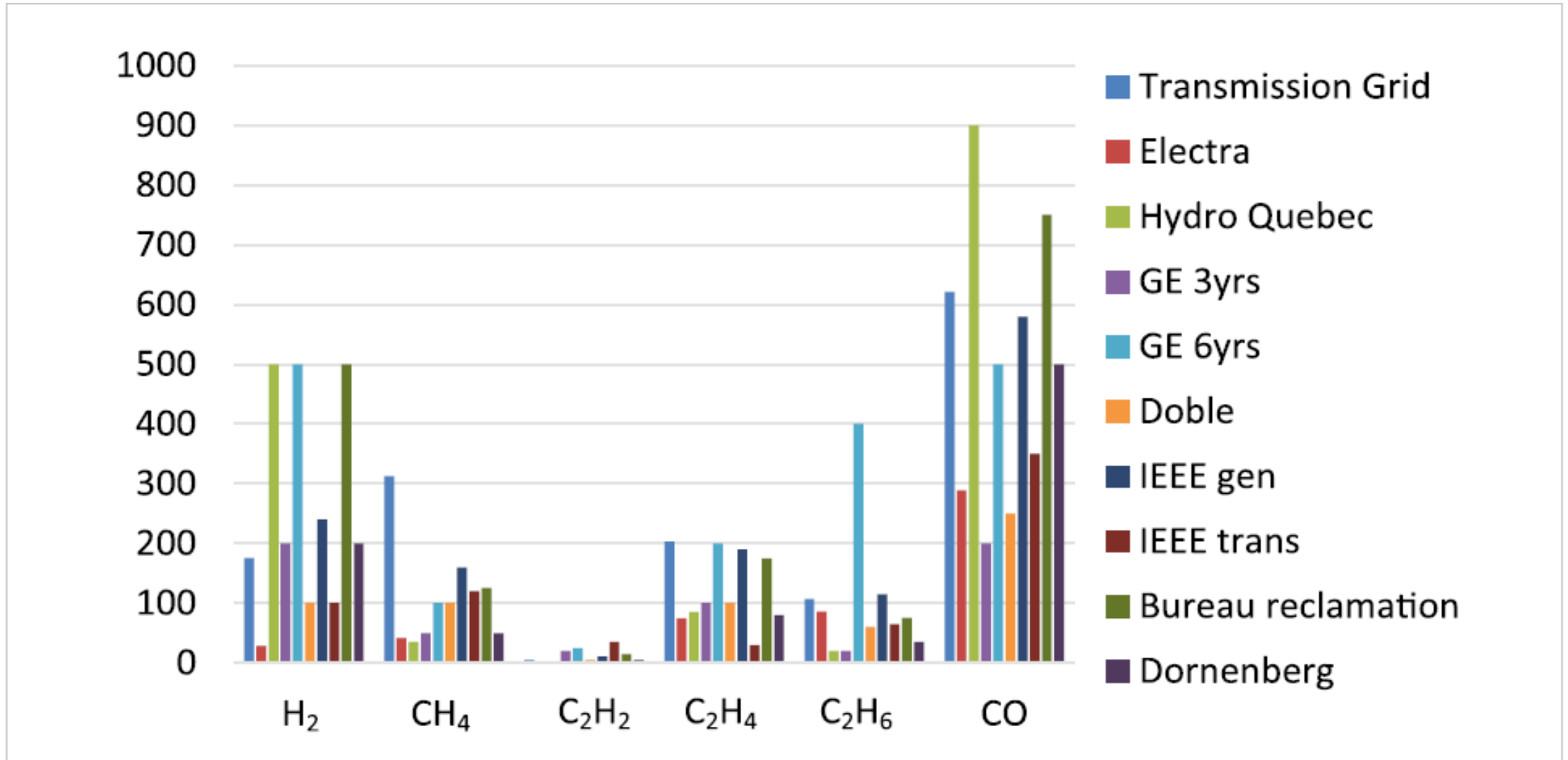




- **Évente számtalan új dokumentum** jelenik meg a szabványok állandóan korszerűsödnek.
- Tehát elengedhetetlen a **folyamatos tanulás**, hogy a **szakértők minél mélyebb ismeretekkel rendelkezzenek.**
- **A régi, nem hatályos szabványok még jó műszaki dokumentumok**, ajánlatos akár 5-10 diagnosztikát is alkalmazni és az eredményeket „kritikai szemmel” összevetni, értékelni. Újra és újra el kell mondani: **de ehhez ismerni kell az alapokat, kiértékeléseket.**
- Ugyanúgy **mint a humán diagnosztikában**, vannak a laborleletek, amelyet **szakorvosnak kell kiértékelni és sokszor konzílium is szükséges.**
- A hamis diagnózis meghibásodáshoz vezethet, **mert vagy rejtve marad a hiba, vagy jó berendezést javítunk**, azaz szükségtelen beruházást, költséget, trafócserét, stb. okozhat.
- **Figyeljünk**, nehéz az eligazodás: **különböző** dokumentumokban **eltérő és ellentmondó** határértékek találhatóak.
- **IEC, IEEE, CIGRE, Doble, HGA szakértői GUIDE-ok, stb.** vannak forgalomban az állapot meghatározására.



Különböző források különböző határértékeket adnak meg.





IEC 60599 hét alap hibatípust definiál:

- 1. PD (korona):** gáz buborékokban, ill. papír üregekben alakul ki rossz kiszáritás, vagy gyenge minőségű olajimpregnálás miatt.
- 2. Kis energiájú kisülés: D1.** Egyrészt lehet szikrakisülés részkisülése, beleértve a papírban lévő elszenesedett üregeket, másrészt lehet kisenergiájú ív, beleértve a papír felületi hibáit, ill. az olajban lévő szén részecskéket.
- 3. Nagyenergiájú kisülés: D2.** Tipikus példák: nagyenergiájú ív és ívelés, belső rövidzár, ami érinti a papírt, nagy mennyiségű szén részecske képződés, fém összehegedés, stb.
- 4. Termikus hiba $<300^{\circ}\text{C}$:T1.** A papír barna színű ($>200^{\circ}\text{C}$), fekete vagy elszenesedett ($<300^{\circ}\text{C}$).Túlterhelés, eltömődött olajcsatorna.
- 5. Termikus hiba $300^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$: T2.** Elszenesedett papír, szénszemcsék képződése az olajban: rossz érintkezés, rossz hegesztés, örvényáram.
- 6. Termikus hiba $>700^{\circ}\text{C}$:T3.** Erős szénrészecske képződés az olajban, fém elszíneződés (800°C), vagy fém hegedés ($>1000^{\circ}\text{C}$). Nagy örvényáram a köpenyben és a vasmagon, lemezzárlat.
- 7. DT:** D (kisülés) és T (melegedés) hibák keveréke.



IEC 60599 hét alap hibatípusa mellett további 4 hibát ad meg:

1. **S:** ásványolaj „stray gas” (szórt, szórvány gáz) $< 200^{\circ}\text{C}$
 2. **O:** $< 250^{\circ}\text{C}$ alatti túlmelegedés (hot spot)
 3. **C:** papír 300°C -nál magasabb lehetséges szenesedése
 4. **T3-H:** T3 hiba csak olajban ($T > 700^{\circ}\text{C}$, hiba nagyon magas hőmérsékleten)
- R: katalitikus behatás:** Van, ahol ezt a hiba típust is használják.

A kiértékelés során ezeket az alaptípusokat kapjuk, amelyek összefoglalva az alábbi táblázatban látható.



HGA-val azonosítható hibák: 7 IEC 60599 hiba + 4 újabb hiba ill. igénybevétel (részletes leírás TB 771)

R: „katalitikus hatás” még hiányzik

Type of Fault	Definition
T3	Thermal Fault $T > 700^{\circ}\text{C}$
T2	Thermal Fault $300 < T < 700^{\circ}\text{C}$
T1	Thermal Fault $< 300^{\circ}\text{C}$
PD	Corona partial Discharges
D1	Discharges of Low Energy
D2	Discharges of High Energy
DT	Mixtures of Faults D and T
S	Stray Gassing of Oil $< 200^{\circ}\text{C}$
O	Overheating $< 250^{\circ}\text{C}$
C	Possible Carbonization of Paper $> 300^{\circ}\text{C}$
T3-H	Fault T3 in Oil Only

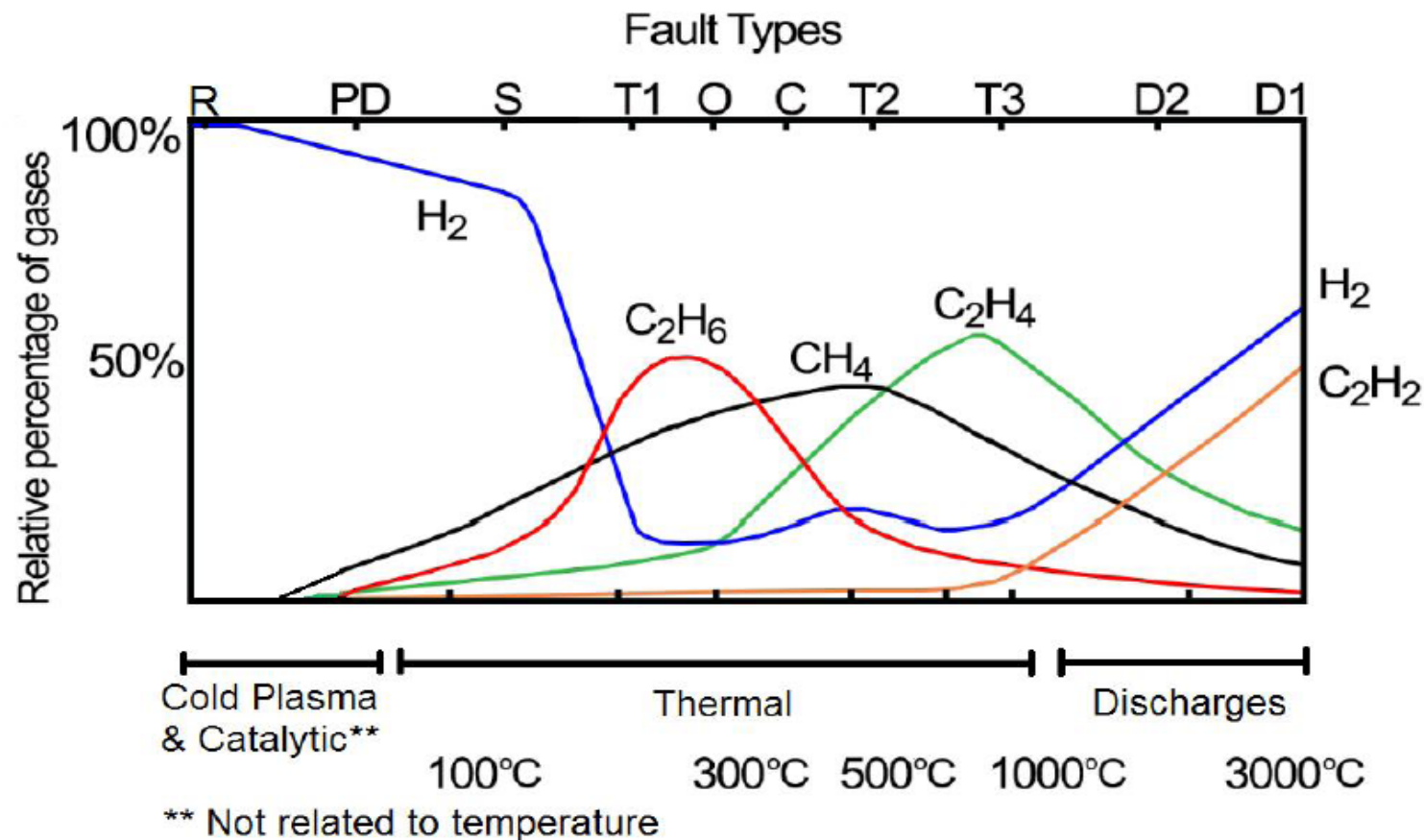


Hat hibagáz relatív képződése és a hőmérséklet függése IEEE és IEC szerint.

Alacsony hőmérsékleten a **H₂** dominál a **PD**-ben, azután jelenik meg a **C₂H₆**, **CH₄** a „**stray**” gázosodásban (**S**), (**T1**) és (**O**) melegedésben (**R**=katalitikus hatás).

300°C-os melegedésben az etán dominál, és szenesedés jelenhet meg a papírban (**C**), és megjelenhet a metánképződés is.

Magasabb hőmérsékleten T2 és T3 esetén etilén szint magasabb mint az etán szintje, és a **D2** és **D1** kisülések növelik a **H₂**-t és a **C₂H₂**-t.





Milyen kiértékelési rendszerek állnak rendelkezésre?

1. IEC 60599:2015, Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.
2. **MSZ-09-00.0352:1988:** Transzformátorok szigetelési állapotának üzemi ellenőrzése: 3.2 pont: A hibagázok vizsgálata
3. IEEE C57.104-2019: IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers
4. „KEY GAS” módszer
5. Dornenburg (Doernenburg, Dörnenburg) arány módszer
6. ROGER arány módszer
7. DUVAL háromszög módszerek
8. DUVAL ötszög módszerek
9. Stb.



Duval Δ ill. ötszögek nem az „értéküknek” megfelelően használják, pedig nagyon hatékony HGA diagnosztikát kaphatnánk, és ami nagyon fontos, hogy **jól algoritmizálható, ezért tapasztalható, hogy egyre jobban **beépülnek a monitoring rendszerekbe.****

-Michel Duval, Francia kanadai, CIGRE, IEC, IEEE, stb. tevékenységek

-Duval „ Δ ” és „ötszög” módszerekkel grafikusán és vizuálisan is követhetjük időben a „hiba fejlődését”. **Újak, hasznosak, tipikusan számítógépre valók:** javasolt az alapok jobb áttekintése.

-Online rendszereknél **gázszint megállapítás mellett diagnosztika is rendelkezésre áll.**

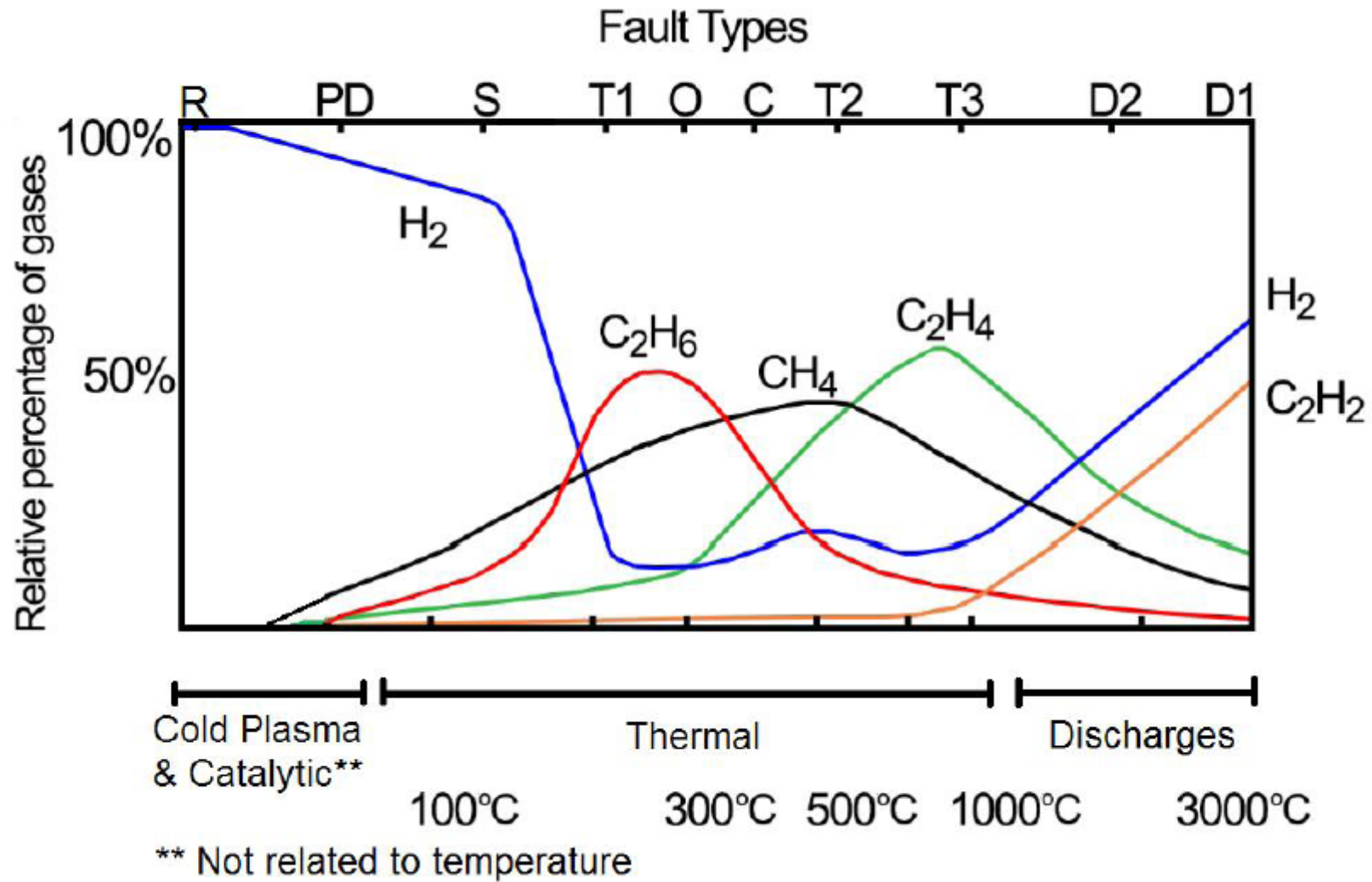
-Duval Δ eredetileg ásványolajra készült, de azóta fokozatkapcsolóra (LTC), „nem ásványolajokra (szilikon, MIDEI, természetes észter: FR3 és BioTemp) szigetelő folyadékokra is ki lett terjesztve.

-Duval 1 háromszög: Ausztrál felmérés szerint **88%-osan sikeres.**

-Algoritmus: duvalm@ireq.ca

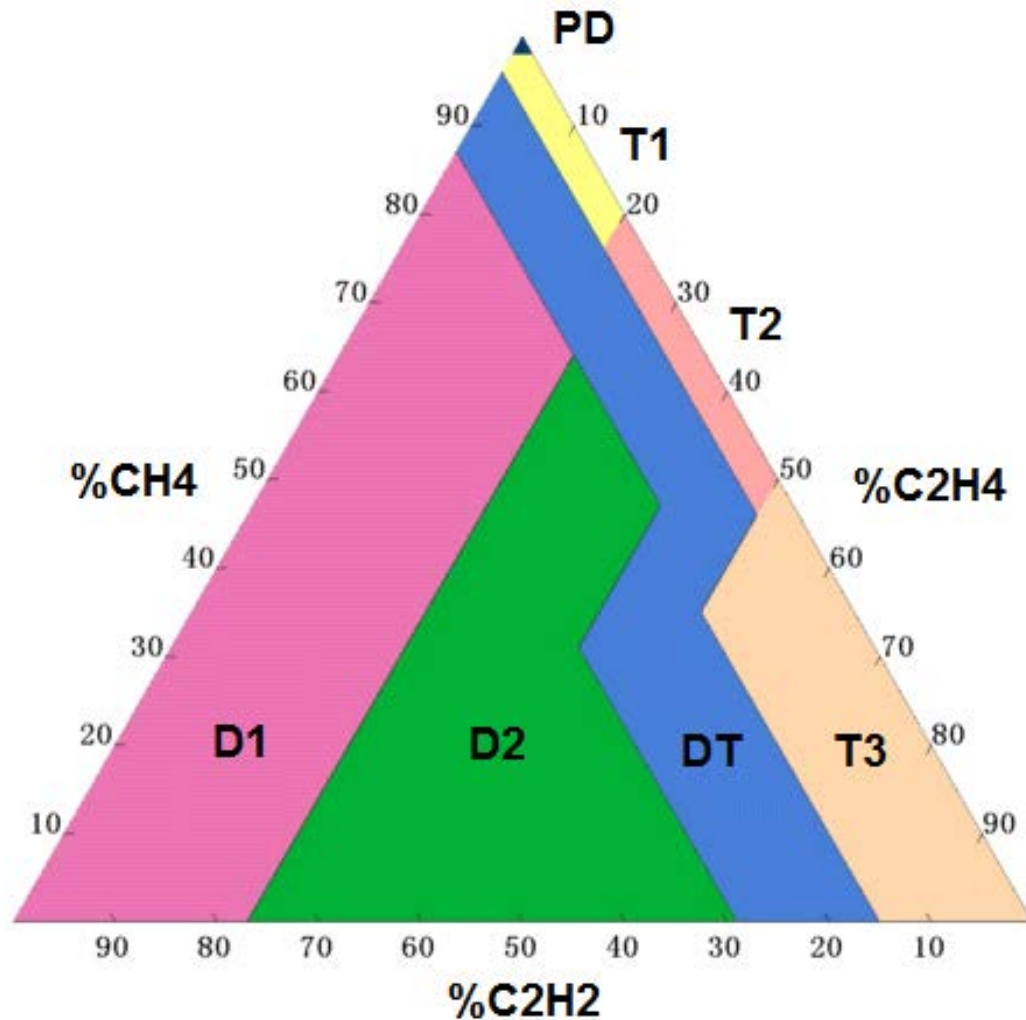


„Duval 1 háromszög”: C₂H₂, CH₄, C₂H₄ hibagázokat használja:
magasabb hőmérsékletű hibák kimutatása





„DUVAL 1 háromszög” diagnosztikai lehetőségei: offline és online



C₂H₂, CH₄, C₂H₄ hibagázokat használja és az alábbi diagnosztikákra alkalmas

PD: Partial Discharge

T1: Thermal < 300 C

T2: Thermal 300 C to 700 C

T3: Thermal > 700 C

D1: Low-energy discharge

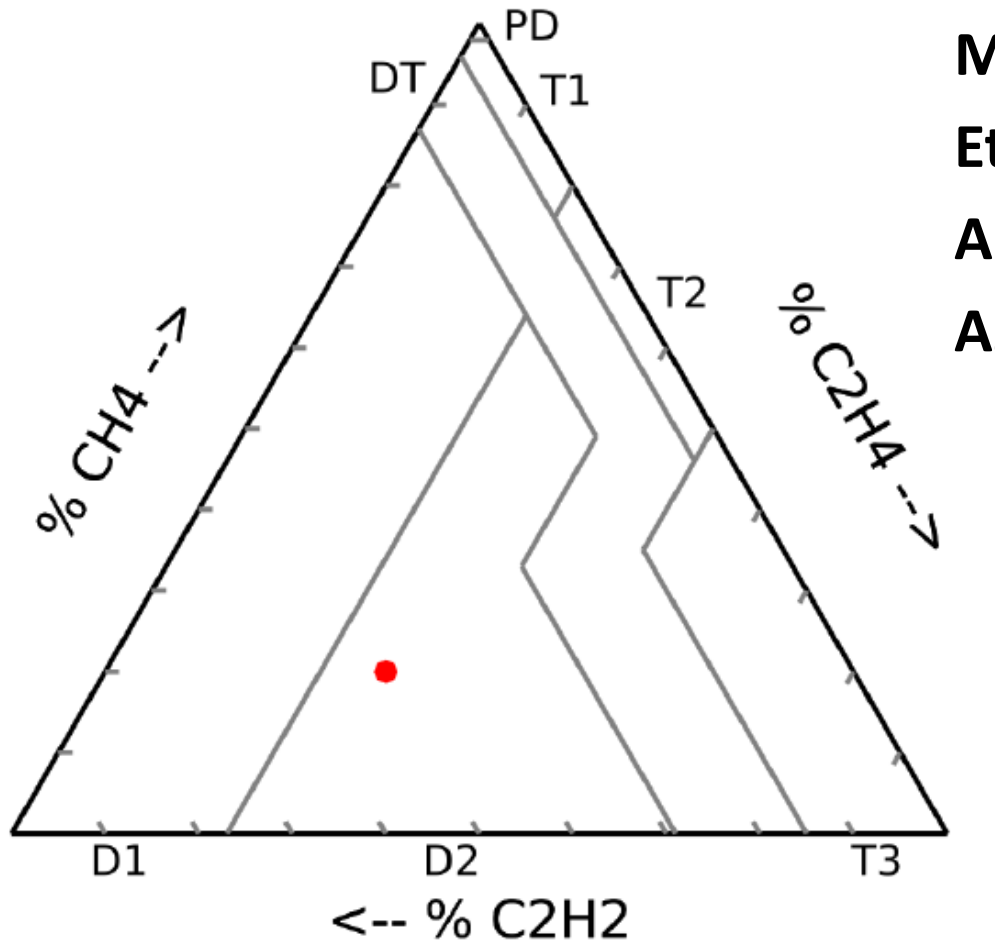
D2: High-energy discharge

DT: Discharge or Thermal



„DUVAL 1” háromszög a C₂H₂, CH₄, C₂H₄ hibagázokat használja

CH₄=40 C₂H₄=60 C₂H₂=100



40+60+100=200ppm a metán, etilén és acetilén értéke, összesen 200ppm.

Metán: $40/200=20\%$

Etilén: $60/200=30\%$

Acetilén: $100/200=50\%$

Az így kapott **píros pont** a D2 zónába esik.

PD: Partial Discharge

T1: Thermal < 300 C

T2: Thermal 300 C to 700 C

T3: Thermal > 700 C

D1: Low-energy discharge

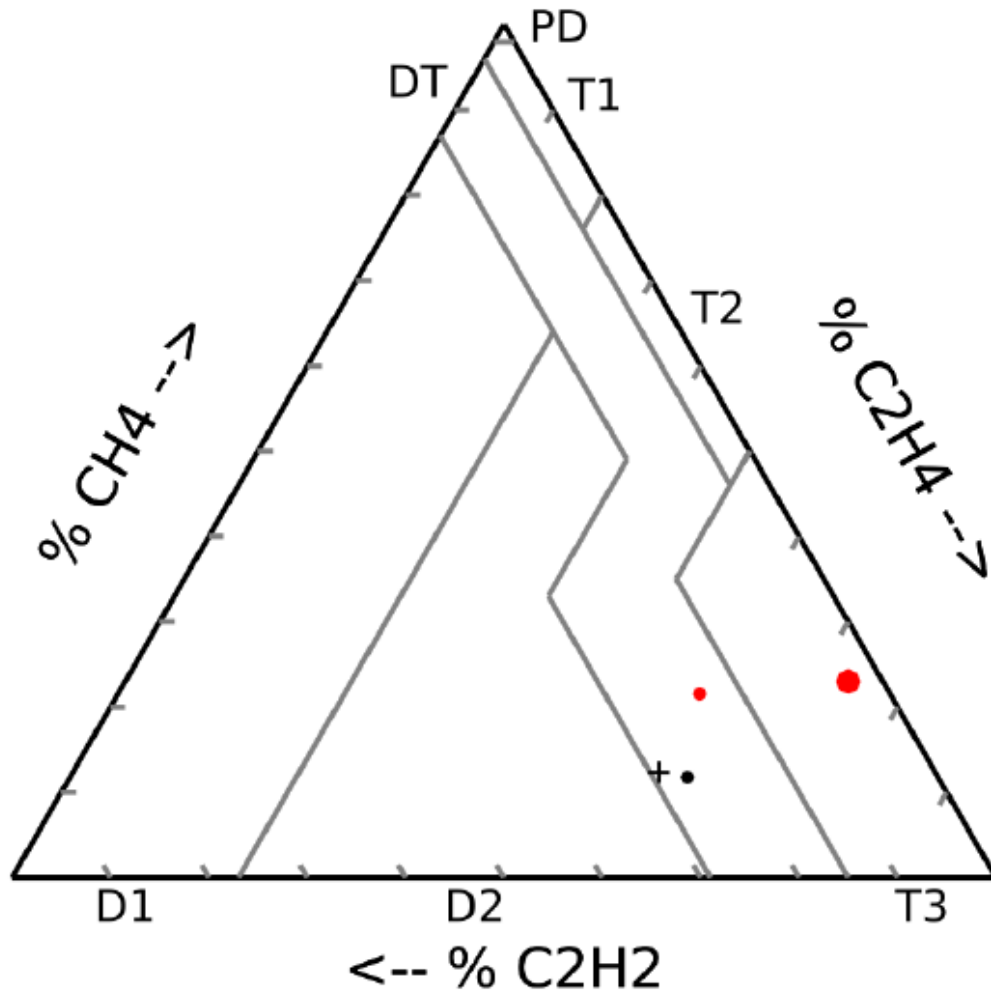
D2: High-energy discharge

DT: Discharge or Thermal



„DUVAL 1” háromszög: hibakifejlődés időbeli megjelenítése (4 minta)

Four Samples



Nagyon hasznos lehetőség a hiba kifejlődésének folyamatának vizsgálata:

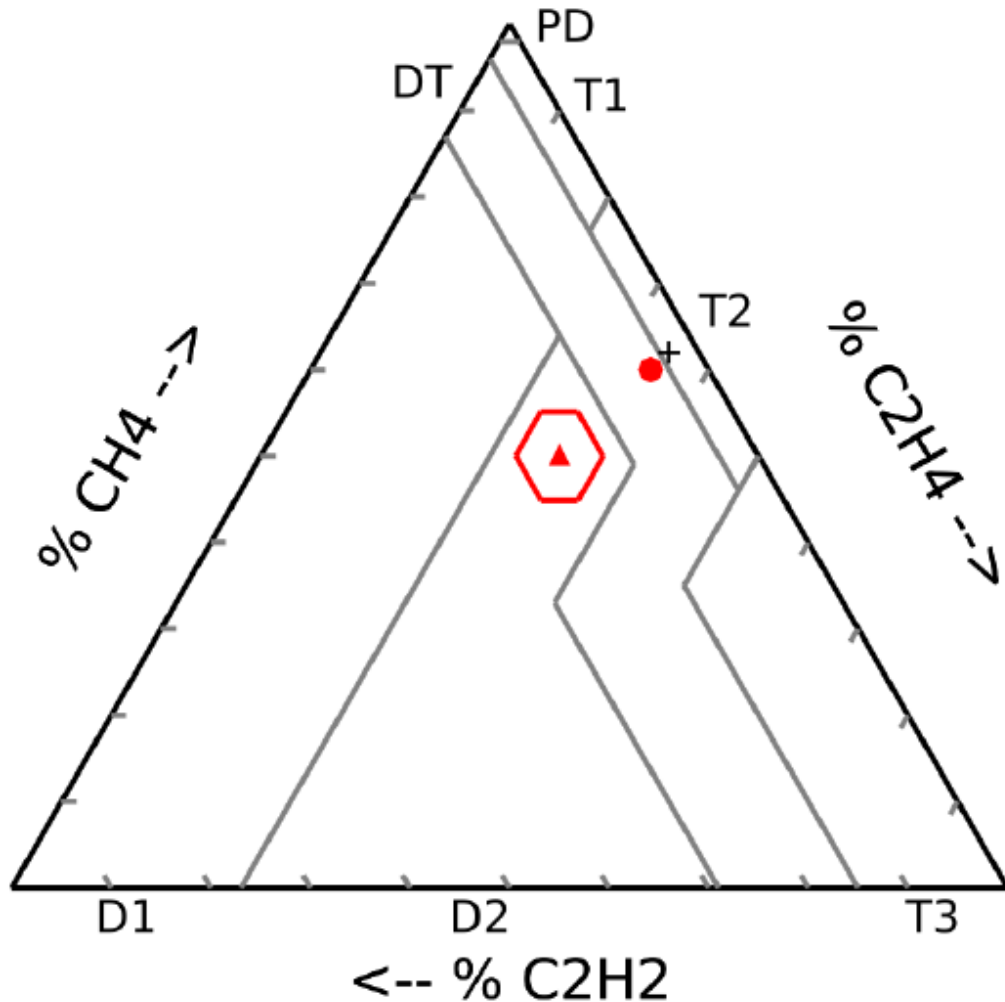
1. Alap: 2000-ben „+” jel (DT).
2. Következő minta 2001-ben „fekete pont”. 2000-es és 2001-es majdnem egyenlő
3. 2002: **kis piros pont** DT-ben kis gáznövekedést jelez.
4. 2004: **nagy piros pont** T3-ban nagy gáznövekedést jelez.

Tudhattuk volna már 2002-ben, hogy mi fog történni?



„DUVAL 1” háromszög: gáznövekedés

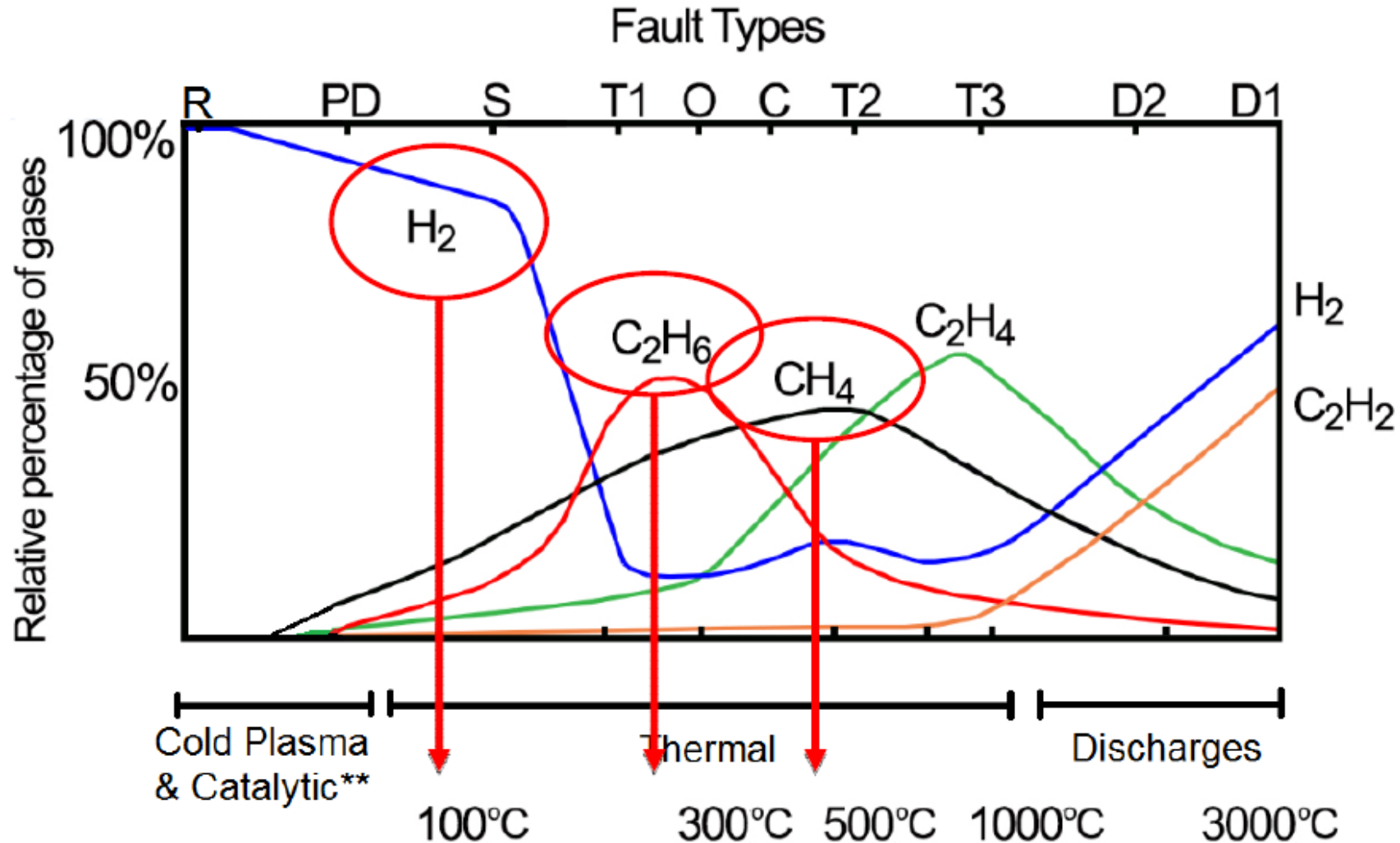
Increment = new gas



- Itt is a kiindulási állapot (fekete + jel, az „alpvonal, maradék gáz”: metán 62ppm, etilén 35ppm, acetilén 3ppm: „+” jele a T2 zónában.
- Következő (2) minta: metán 72ppm, etilén 41ppm, acetilén 7ppm: „**píros pont DT-ben**, T2-hez közel.
- Mit jelez a most keletkezett gáz?
- Kivonva az „alpvonalat” a (2)-es mintából kapjuk a **píros hatszöget a „D2” zónában**



„DUVAL 4 Δ”: Relatív gázképződés alacsony hőmérsékleten

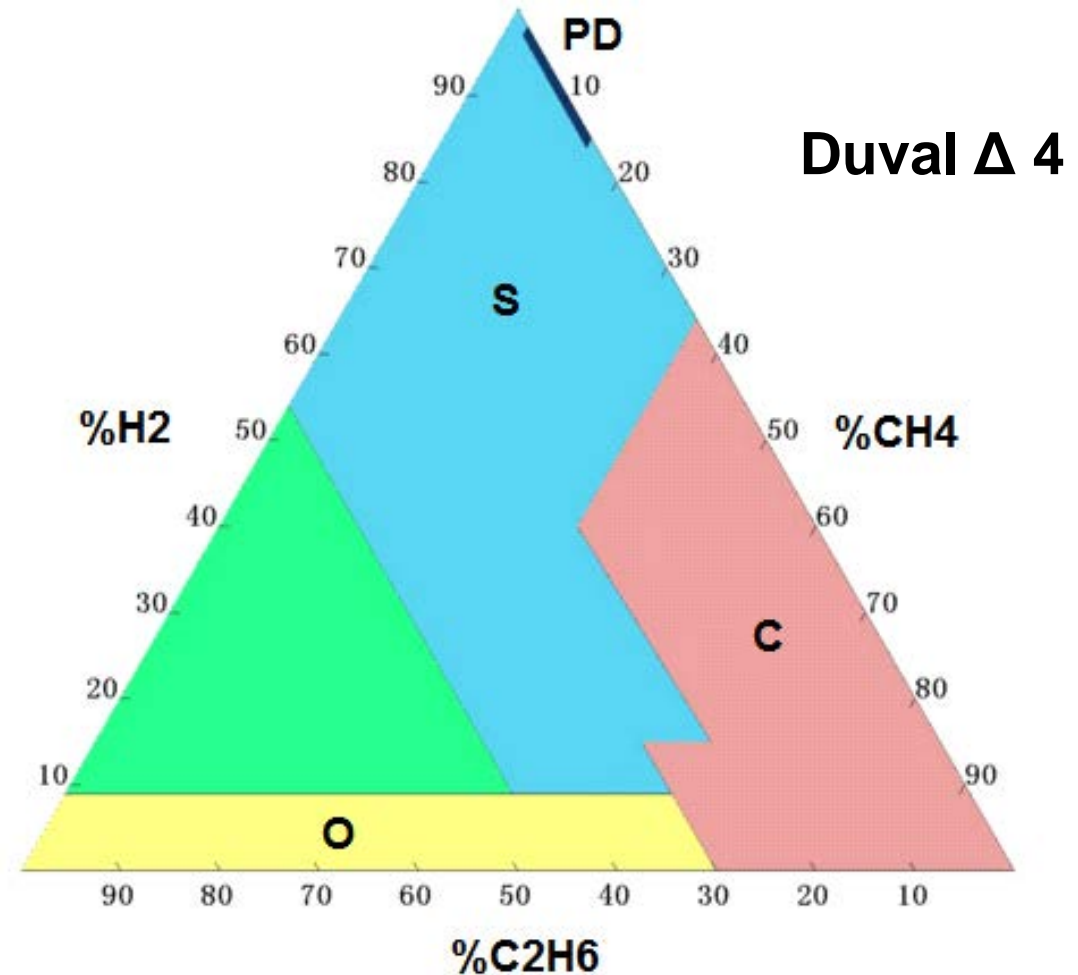
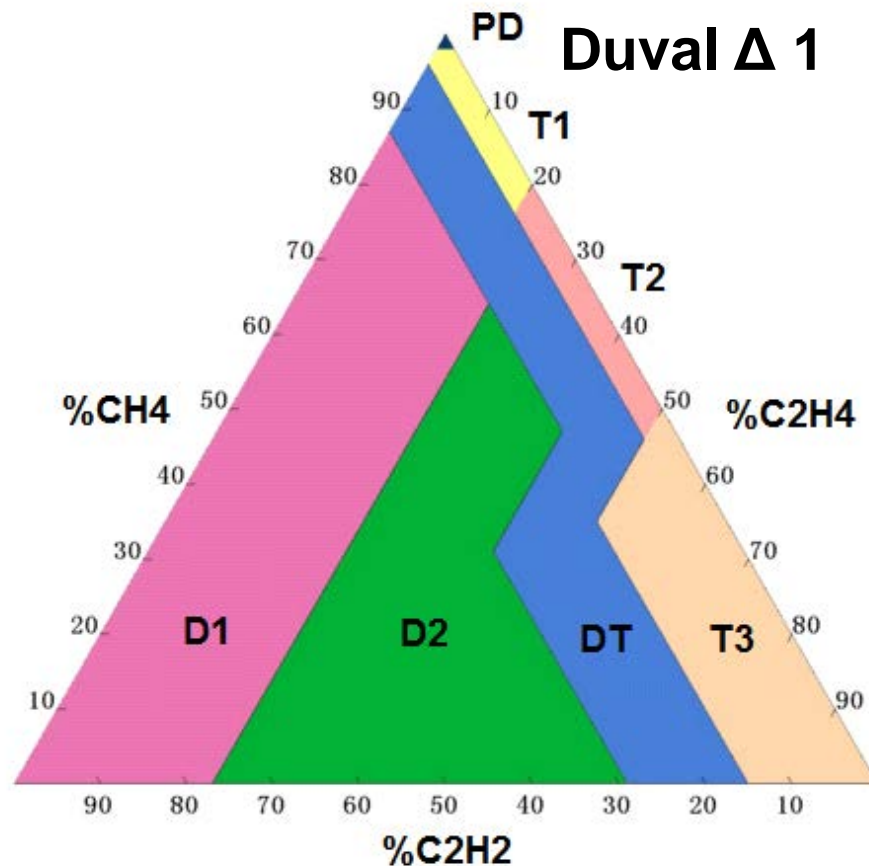


** Not related to temperature



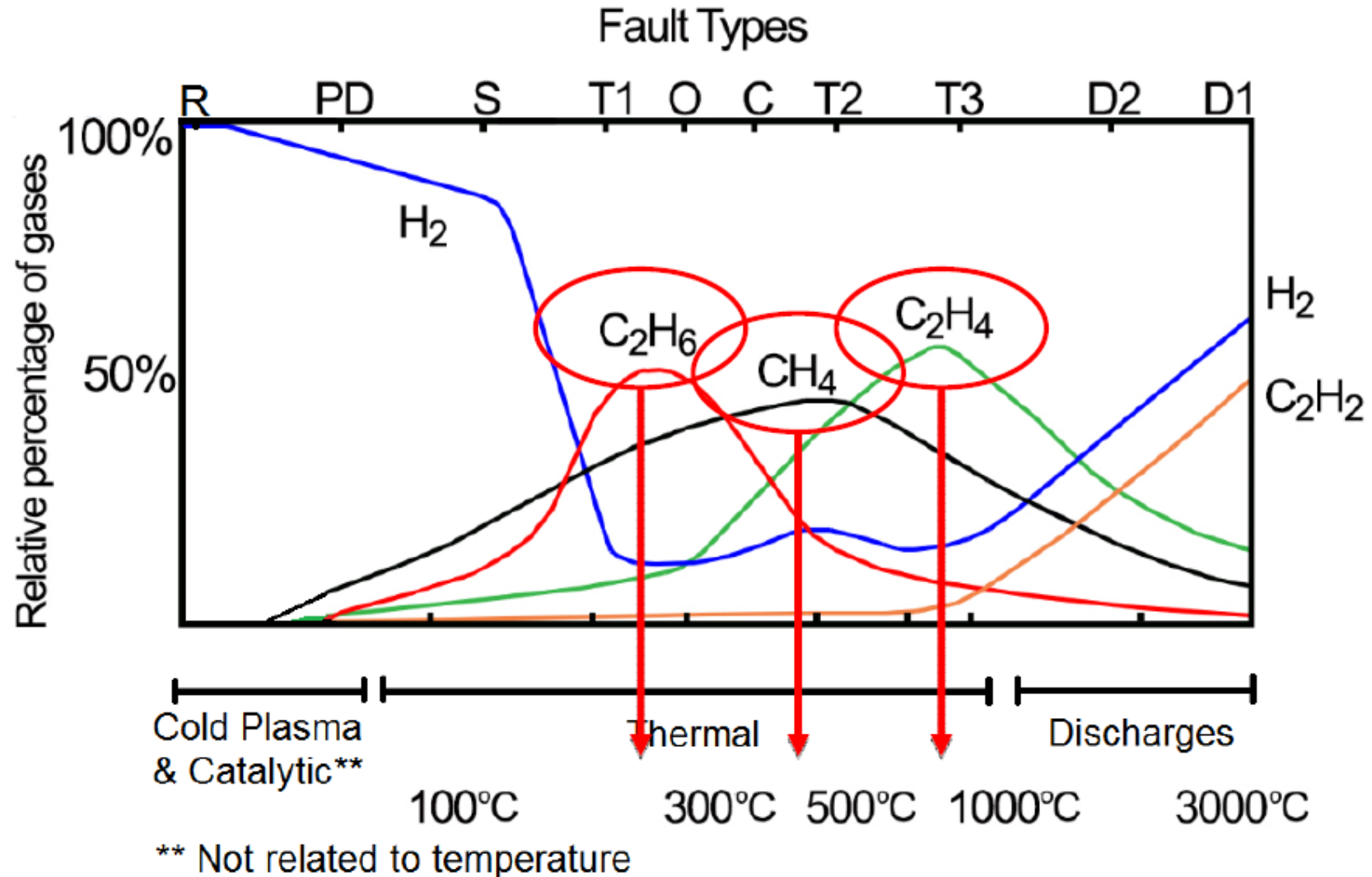
Duval 4 Δ: 1 Duval 1Δ: T1, T2, PD esetén

Duval Δ 4: alacsony hőmérsékletű hibára: **ha Duval Δ1 PD, T1 vagy T2-t jelez,** akkor jöhet a Δ4-es és pontosítani lehet: Duval 1 Δ + C2H6, H2, CH4: azonosítható a **stray (szórt, szórvány) gáz, melegedés, szenesedés, Zöld terület: 200-250°**



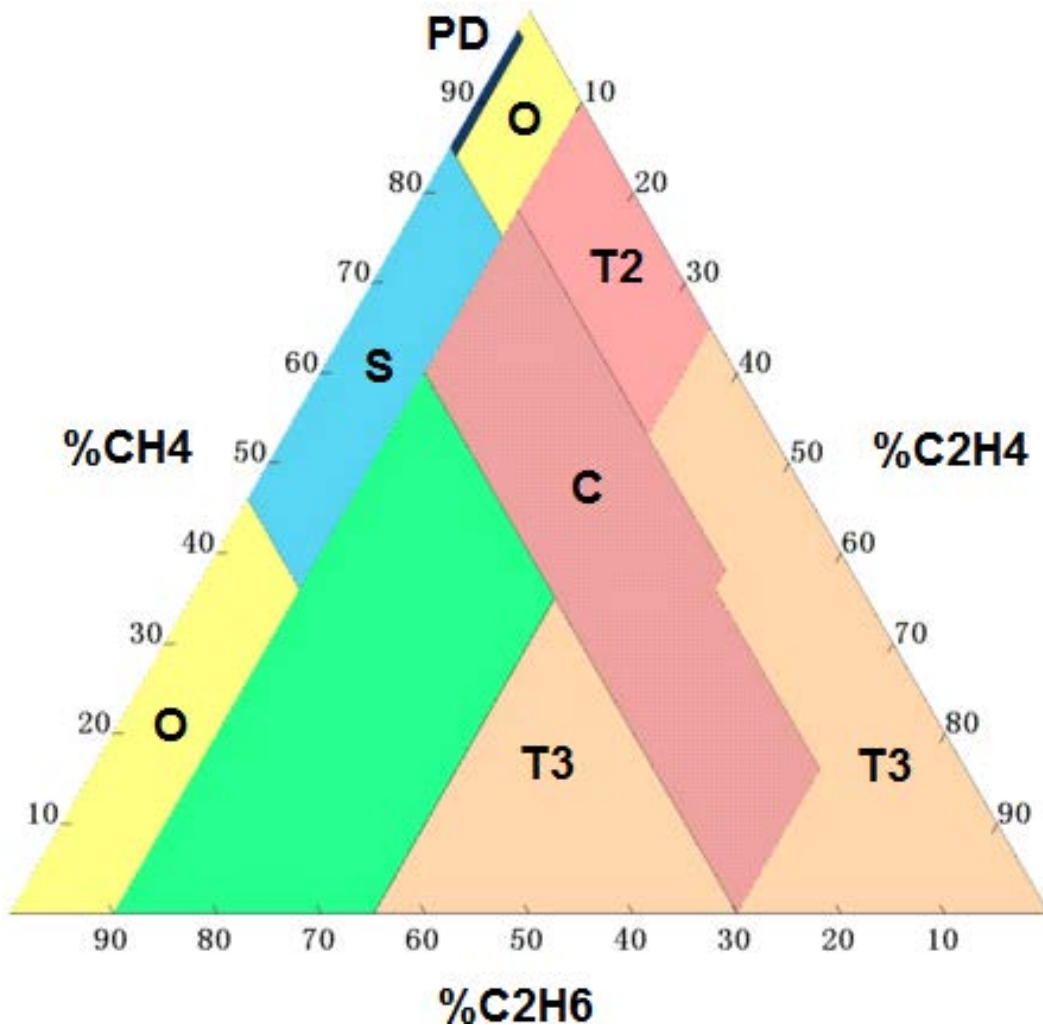


„DUVAL 5 Δ”: Relatív gázképződés közepes hőmérsékleten





Duval Δ 5



Ha Duval Δ 1-el **T1, T2** adódik (közép T), akkor jöhet a Duval 5 Δ

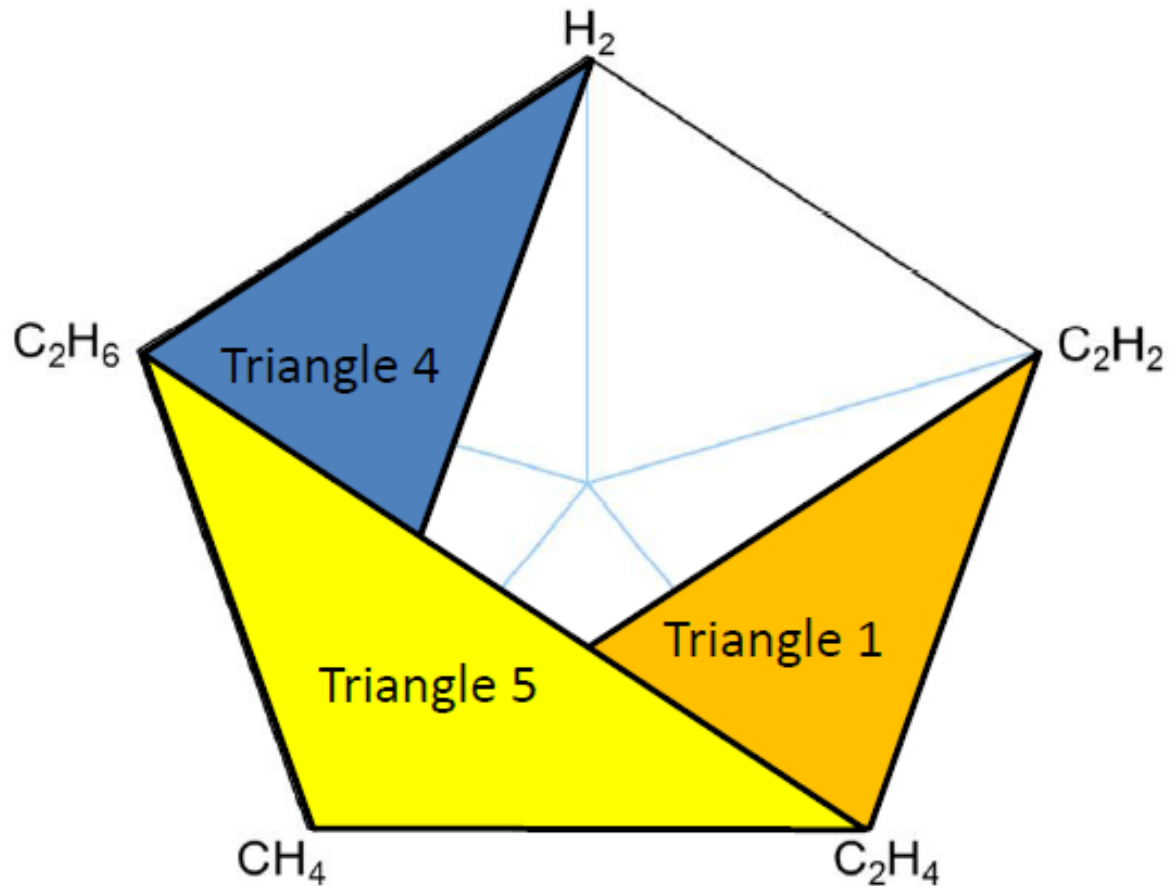
Duval Δ 5: ha Duval Δ 1 T1 vagy T2-t jelez, akkor jöhet a Duval Δ 5-es és pontosítani lehet: Duval 1 Δ + CH₄, C₂H₆, C₂H₄: azonosítható az „0=overheating <250 °)”, „S=stray gassing <200C°”, „C=szenesedés>300°C”, ill. megerősíthető T2 és T3. a stray (szórt, szórvány) gáz, melegedés, szenesedés.

Továbbá: a Duval 4 és 5 Δ eredmény ellenőrzésére használhatjuk a Duval 2 ötszöget.



„DUVAL Pentagonok”: Duval $\Delta 1$, Duval $\Delta 4$ és Duval $\Delta 5$ kombinációja

Duval Pentagon



Duval $\Delta 1$: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4

Duval $\Delta 4$: C_2H_6 , CH_4 , H_2

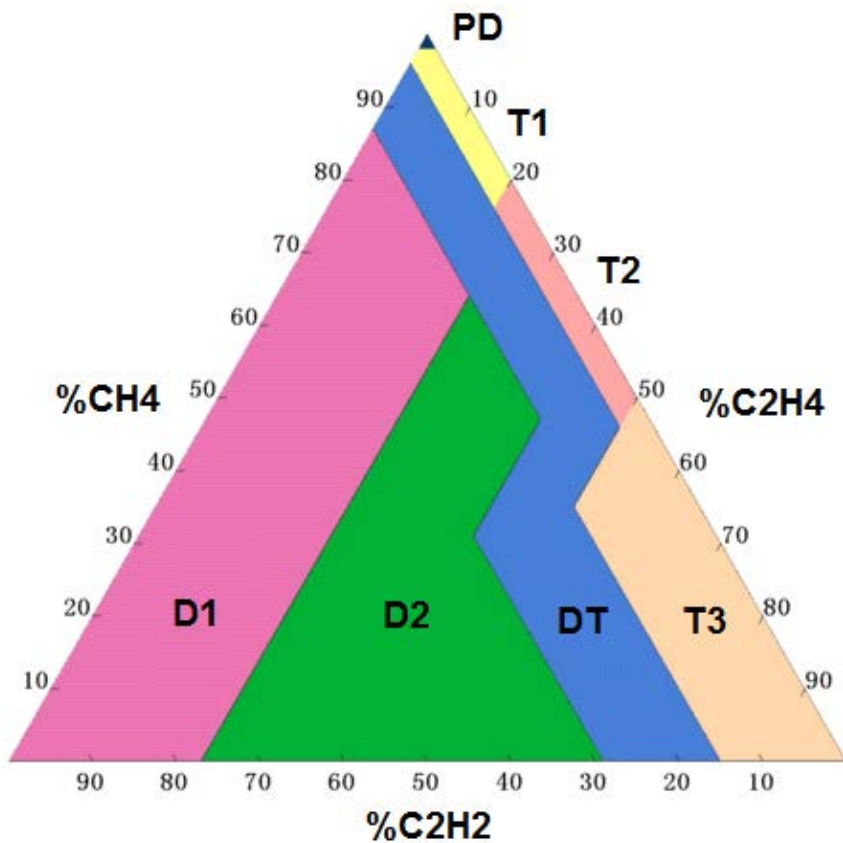
Duval $\Delta 5$: C_2H_6 , CH_4 , C_2H_4

$H_2, C_2H_6, CH_4, C_2H_4, C_2H_2$.

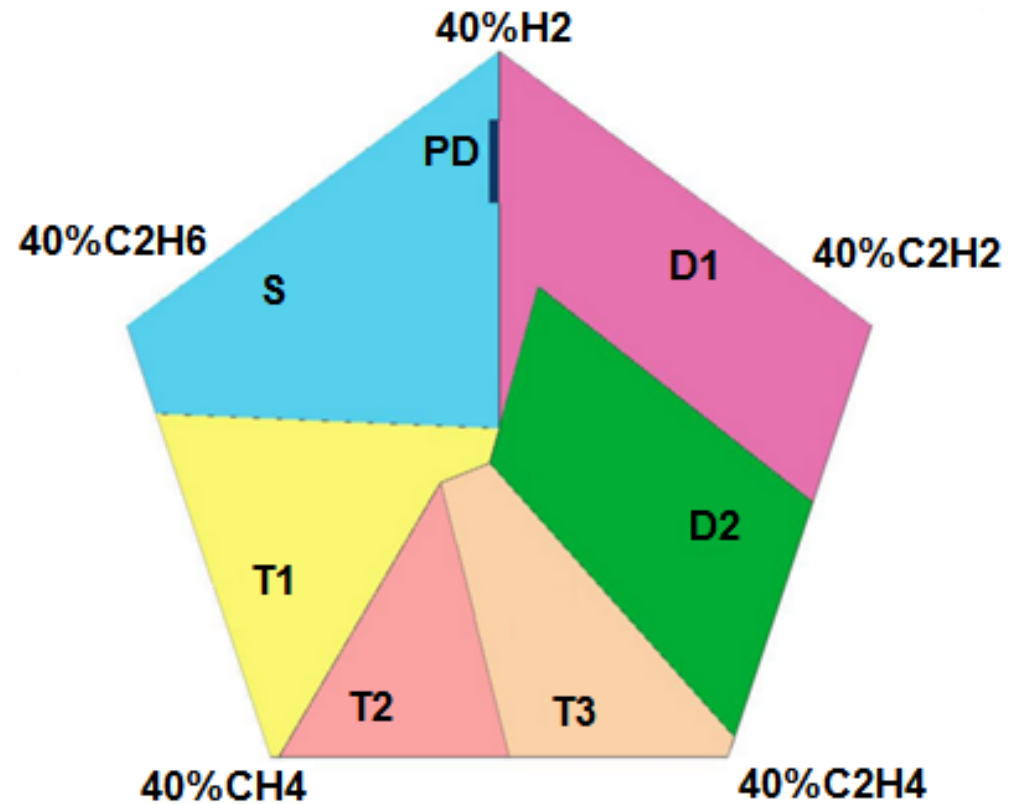


Duval Δ 1: metán, acetilén és etilén

Duval ötszög 1: metán, acetilén, etilén, + etán, hidrogén



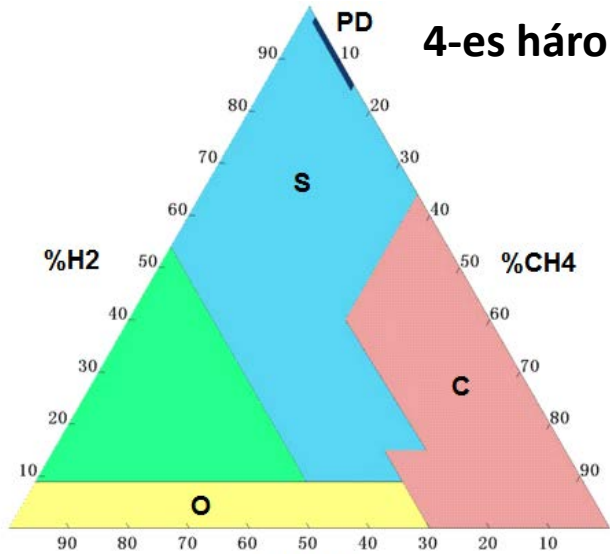
„DUVAL Duval Δ 1,



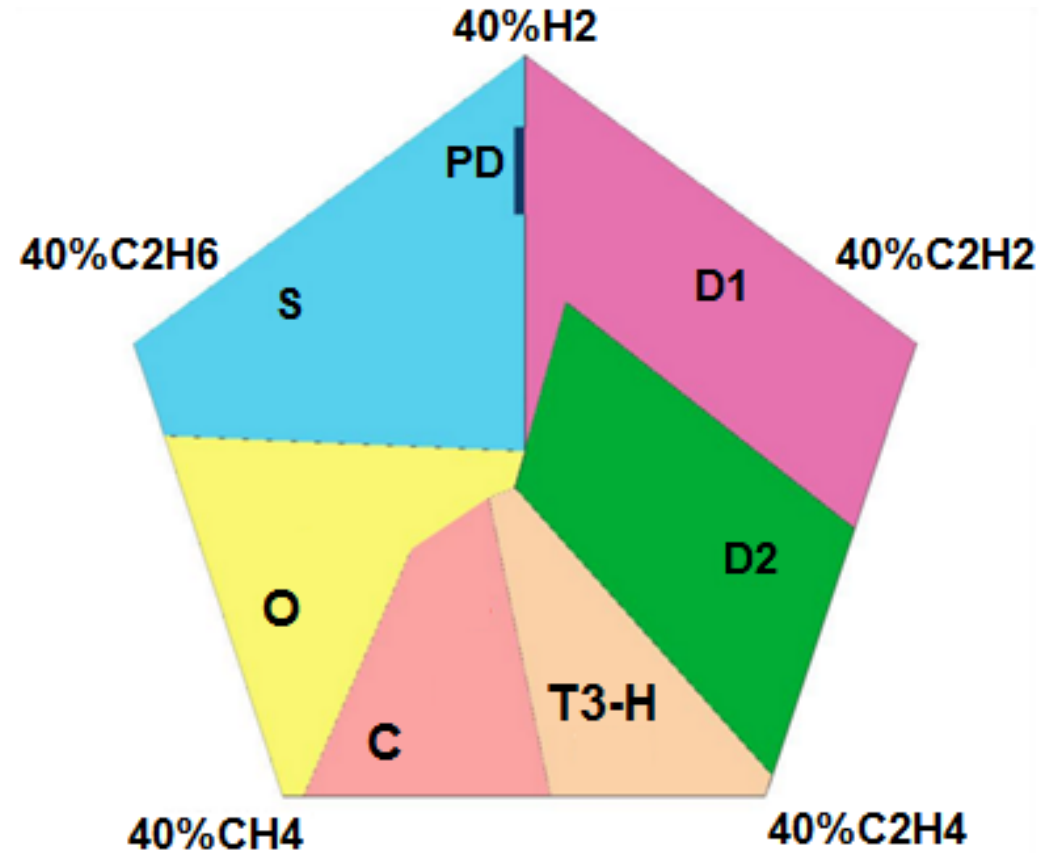
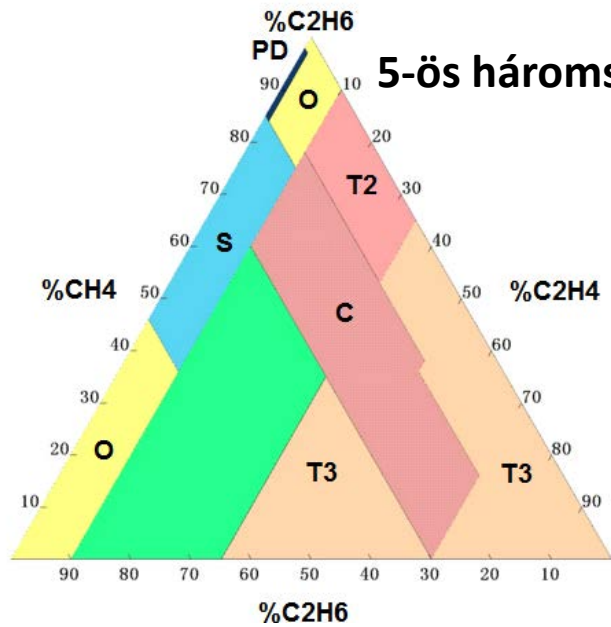
DUVAL ötszög 1



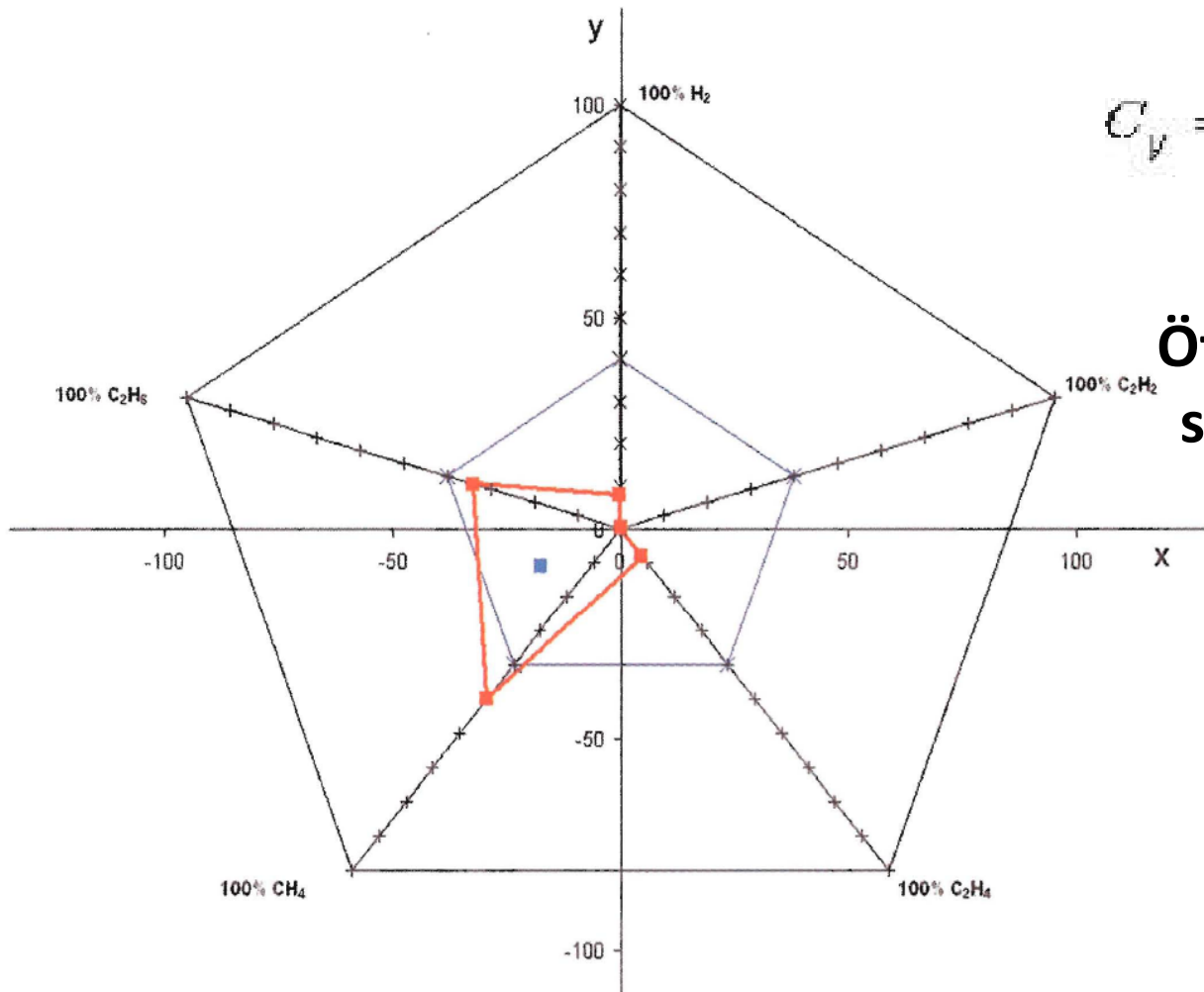
4-es háromszög (<-Háromszög 1: T1, T2, PD)



5-ös háromszög (<-Triangle 1: T2, T3)



Duval 2-es ötszög



$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

Öt pontból matematikai számítással koordináták számolása: C_x és C_y a centroid x, y koordinátái, majd egy hatodik pont számítása, ami a HGA végeredménye.

Algoritmus: duvalm@ireq.ca



Eddig 7 „Duval háromszög” fordult elő összesen 5 gázzal:

- Duval Δ 1: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, ásványolajra
- Duval Δ 2: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, LTC
- Duval Δ 3: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, más mint ásványolaj,
- Duval Δ 4: C₂H₆, CH₄, H₂, mint Δ 1 alacsony hőmérsékletű hibák,
- Duval Δ 5: C₂H₆, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, alacsony gáz értékeknél
- Duval Δ 6: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, F3-ra, alacsony hőmérséklet,
- Duval Δ 7: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, de F3-ra

2014-ben bevezetve a Duval Δ 1, Δ 4 Δ 5 kombinációja

- 5 gáz: H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂,
- Pentagon 1: „klasszikus” hibazóna kijelölés,
- Pentagon 2: „modern” hibazóna kijelölés,
- CO és CO₂ hiányzik a DUVAL három és ötszögekből, így azokat más módszerekkel értékelik.



HGA kiértékelések fejlődése: CIGRE WG D1/A2.47

CIGRE D1/A2 WG-k folyamatosan publikálnak HGA kiértékelés „javításokat”.

Legutolsó TB 2019-ben: 771 (Advances in DGA interpretation)

Többek között: tipikus és nem tipikus hibák, Duval 1, 4, 5 háromszögek, Duval 1 és 2 ötszögek, különböző kiértékelési eljárásokat, definíciók felelevenítése, pontosítása, egyre több online monitoring adat,

Több, mint 330.000 adatos HGA adatbázis:

CIGRE WG D1/A2.47: Németh Bálint, adatbázis elemzés: gázszint kalkuláció hibák egyediségére. 335.000 adatból D1, T1, T2 és T3 alapesetek kiválasztása és tipikus értékek számítása (90%).



90%-os tipikus gázzintek átszámítva minden egyes speciális típusra és hibahelyre, a WG D1/A2.47 adatbázisát használva (335,000 HGA adat), 10 al-adatbázisra osztva, ahol a hibákat Duval 1,4,5 háromszögekkel határozták meg. (Excel példák)

	Number of Cases	Percentille	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	O2	N2
Whole database	337800	90	118	85	111	56	5	700	6300	27500	81343
Fault Condition	Number of Cases	Percentille	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	O2	N2
D1	26483	90	160	22	13	30	136	504	3980	28267	79700
T1	47164	90	210	163	314	20	1	784	7820	11624	82838
T2	28388	90	180	151	246	75	1	909	9507	12965	86994
T3	72989	90	84	76	66	221	3	783	7668	29200	82514

Hibaelőtti állapot, 1 és 2-es közbenső állapot gázzintjei, amelye átszámításra kerültek minden egyes típusra és hibahelyre.

MSZ-09-00.0352: Transzformátorok szigetelési állapotának üzemi ellenőrzése.

Már nem hatályos, a HGA rész az első HGA IEC alapján készült, magyar nyelvű.

A transzformátor állapotának minősítése a hiba jellege szerint

2b. táblázat

Sorszám	A hiba fajta		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	A hiba jellege
			kódszám			
0.	hibátlan		0	0	0	normális öregedés
1.	kis energiájú	részleges kisülés	0	1	0	rossz impregnálás, nagy víztartalom
2.	nagy energiájú		1	1	0	szilárd szigetelés átütése, tracking
3.	kis energiájú	ívelés	1,2	0	1,2	szabad potenciálú helyek, olajcsatorna átütése
4.	nagy energiájú		1	0	2	villamos ív, tekercs, menetzárlat
5.	110...150 °C	hőmérsékletű hely	0	0	1	szigetelt vezető melegedése
6.	150...300 °C		0	2	0	Vas melegedése, vaszárlat. örvényáram okozta melegedés rossz érintkezés
7.	300...700 °C		0	2	1	
8.	700 °C felett		0	2	2	

MSZ-09-00.0352: Transzformátorok szigetelési állapotának üzemi ellenőrzése.

Már nem hatályos, a HGA rész az első HGA IEC alapján készült, magyar nyelvű.

Veszélyességi osztály	Hálózati Erőműi	Transzformátor üzemidő, év		
		< 8	8...15	> 15
V ₀ — megfelelő	H	< 350	< 450	< 800
	E	< 500	< 650	< 1000
V ₁ — hibagyanus	H	≥ 350... < 450	≥ 450... < 800	≥ 800... < 1600
	E	≥ 500... < 650	≥ 650... < 1000	≥ 1000... < 1600
V ₂ — hibás	H	≥ 450... < 800	≥ 800... < 1600	≥ 1600... < 3000
	E	≥ 650... < 1000	≥ 1000... < 1600	≥ 1600... < 3000
közvetlen V ₃ — üzemzavar veszély	H	≥ 800	≥ 1600	≥ 3000
	E	≥ 1000	≥ 1600	≥ 3000



Röviden a **TRANSFORMERS** magazin online monitoring tanulmányáról



CIGRE, IEC, IEEE alapú SEGÉDLET

a HGA online monitoring rendszerek kiválasztásának megkönnyítésére

- CIGRE TB 783 (D1/A2): 2019:DGA monitoring systems
- Transformers Magazine (2020):

Demystifying online DGA monitor specification

Rövid „kiemelések” a HGA monitoring rendszerekről

- **Online HGA monitoring** rendszer nem csak a határértékek átlépését jelzik,
- **Több gáz** esetén majdnem folyamatos (1-4 órás) állapot kijelzés.
- **Offline értékelési rendszerek + online monitoring:** akár **93%** pontosság.
- **Online HGA rendszer** olyan információt adhat, ami **hiányzik a laboratóriumi eredményekből.**
- **Hordozható HGA mérő rendszerek:** azonnal válasz a hibára.
- Az **online HGA** majdnem **valós idejű diagnózist** ad, ezáltal lehetőség van egy hiba korai felismerésére, így az üzemeltető időben be tud avatkozni, mielőtt katasztrofális meghibásodás lenne.
- De ehhez az üzemeltetőnek **megfelelő online HGA monitoring** rendszert kellene **kiválasztania**, amely alapján **korrekt diagnózis** végezhető, de általában „**költségvetési**” **korlátok** szoktak jelentkezni.
- A kereskedők általában **3/4/5 gázos online monitoringot** ajánlanak, a **9 gázos** vagy egyenértékű rendszerek drágábbak, de az elnevezés mindig „online monitoring”.



Online gázmonitoring rendszerrel beazonosítható lehetséges transzformátorhibák (Mx számok a detektálható gázokat jelzik + víz)

Alkalmazás	Monitor típusa	Gázok	Detektálható hibák	Nem beazonosítható hibák
Hiba diagnosztika	M8/(M9)	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ CO, CO ₂ , O ₂ , (N ₂)	IEC táblázat mind a 10 hibája korai stádiumban	nincs
	M6/(M7)	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , CO, (CO ₂)		A papírban lévő hibák nagyon gyakran nem azonosíthatók csak CO-val, M6, M5 és M2-vel.
	M5	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , CO	Hat (hét) alaphiba csak*	5 gáz al-típusok*
	M3	CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂		
Hiba detektálás	M2	H ₂ , CO	A felsorolt 10 hibából egy sem azonosítható	Nem detektálható D1, D2 korai stádiumban, csak később, a katasztrofális állapotban.
	M1	H ₂		
	M1*	H ₂ és más gázok kompozit kijelzés		

*A 7 alaphiba a **Δ1** és ötszög **P1** (PD, D1, D2, T3, T2 T1,DT), az öt (4) alaphiba **Δ4** és **Δ 5**, ötszög **P2** (T3 olajban, C, O, S), amelyek az IEC táblázatban is szereplenek.



Szemléltető példa arra, hogy miért fontos korrekt online HGA monitoring rendszer kiválasztása: 25MVA-es trafó, kézi mintavételezés utáni labor eredmények:

Date	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
July 2019 (ppm)	10	100	0	11	170	300	1,800

A labor eredményeket a felhasználó részére az alábbiak szerint értékelték:

- A mért **gázok beavatkozási igény** jeleznek, az összes éghető gáz alacsony, de a gázarányok **határesetet** jeleznek <300°C alatti termikus hibával. Javaslat: hat hónap múlva további mérés a trend megállapítására.
- A felhasználó nem volt biztos a diagnózisban, ezért vásárolt egy online HGA monitoring rendszert is. „Költség meggondolásokra” alapozva a kereskedő egy 5 gázos rendszert ajánlott és épített be: H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, CO (C₂H₆ hiányzik).
- **Esetünkben 5 gázos monitoring került beépítésre, a rögzített eredményekről röviden az alábbiak voltak megállapíthatók:**

C₂H₂ az érzékelési küszöb alatt volt, a CH₄ tartósan 130ppm felett volt: majdnem egy 10 napos időtartam alatt 170ppm volt tartósan.

- A hiba azonosítására „**Duval háromszög 1**” (T1) volt alkalmazva. A szabványok, akár DUVAL T1, akár P1 (három ill. ötszögek) használnak, az **offline HGA-ra alapozva végzi kiértékelést és nem online adatokkal.**
- A **trend vagy a gázsintek megállapítása az online HGA** esetén egy **bizonyos időszak** kiválasztását igényli. Öt gázos HGA online monitoring esetében ehhez táblázatos adatgyűjtés, vagy kinyomtatott ábrázolás szükséges, pl. legutolsó 30 nap eseményeinek összegyűjtése. **A Duval T1 háromszöghöz az alábbi átlagértékek adódtak: CH₄: 146ppm C₂H₄: 14 ppm C₂H₂: 0,2 ppm.**
- Ezeket az adatokat használva „**Duval 1 háromszöggel**” **T1 termikus hiba azonosítható: <300 fok.**
- Ilyenkor a „**Duval 4**” háromszög javasolt a pontosításhoz, de most ez nem lehet, mert **kellene a C₂H₆ gáz**, de az esetünkben használt **5 gázos monitoring** rendszer nem méri a C₂H₆-t.
- Ez a mi rendszerünkben (IEC) a **4 „al-hibába”** tartozik, ezek a hibák így nem azonosíthatók.
- Akkor ennek a trafónak a diagnosztizálása ezzel az 5 gázos online monitoringgal „**kockázatos**”, sem a Duval 1 háromszög, sem a Duval 1 ötszög nem használható, így **nem hozható megfelelő döntés.**



A felhasználó megállapította, hogy az 5 gázos HGA monitoring ebben az esetben nem elegendő. Ekkor még egy mintavétel történt és az alábbi értékek adódtak.

Az első és az ismétlő mérés eredményei

Date	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
July 2019 (ppm)	10	100	0	11	170	300	1,800
Sept. 2019 (ppm)	10	100	0	11	180	310	1,790

IEC 60599:2015 tipikus 90%-os határértékei.

Date	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
IEC limits	< 150	< 130	< 20	< 280	< 90	< 600	< 14,000

IEC limits are based on the IEC 60599 2015 standard [2], the higher end of 90th percentile values are used.

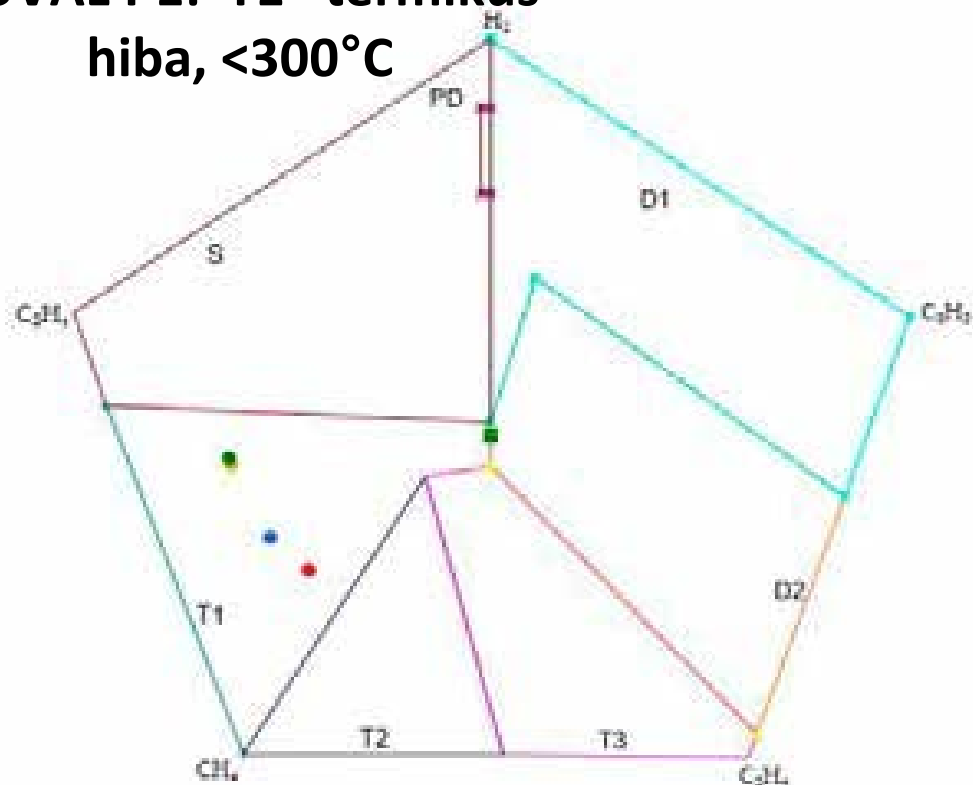


Kiértékelés Duval ötszögekkel

A kézi mintavételezés utáni kiértékelésnél a Duval háromszöggel, valamint a Duval P1 és P2 ötszögekkel is <math><250^{\circ}\text{C}</math>-os túlmelegedés adódott.

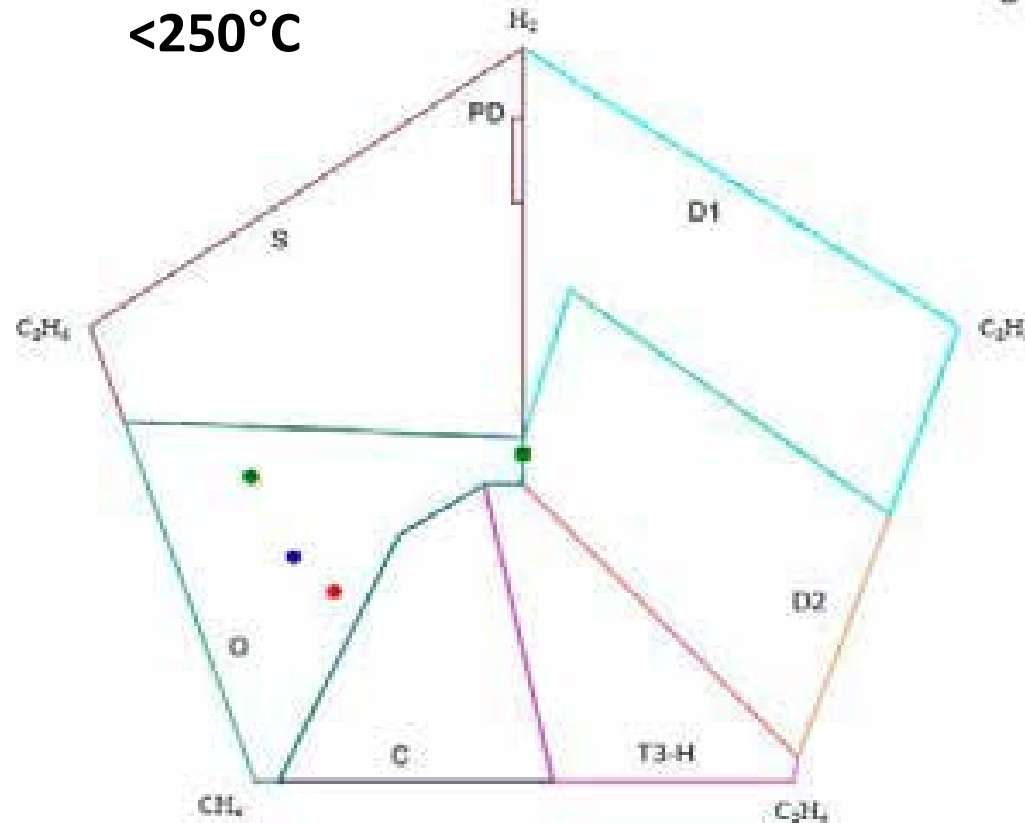
DUVAL P1: "T1" termikus hiba, <math><300^{\circ}\text{C}</math>

Pentagon 1



DUVAL P2: „O” melegedés: <math><250^{\circ}\text{C}</math>

Pentagon 2





A hiba súlyosságán alapuló kockázat

„O” hiba esetén (O: $<250^{\circ}\text{C}$ alatti túlmelegedés (hot spot)) lehetséges hibaeredetek:

- Papírban: közepes kockázat
- Olajban: alacsony kockázat

Ha az „O” hiba a papírban van, emelkedett C_2H_6 és CO tartalom figyelhető meg.

Ha az „O” hiba az olajban van, akkor C_2H_6 emelkedés látható.

A kockázati becslés erősen kapcsolódik ahhoz, hogy a felhasználónak mennyi a **bizalma az online HGA monitoring rendszerben** a hagyományos laboratóriumi kiértékeléshez képest.



Bizalom a HGA monitoring rendszerekben

- Ahhoz, hogy az online HGA monitoring rendszeren alapuló **hatékony** felújítás, csere program készüljön, a **felhasználónak bízni kell az online adatokban.**
- Meg kell nézni milyen különbségek vannak az offline és az online adatok között.
- Esetünkben az 5 gázos rendszer **nem méri a C₂H₆ gázt**, ezért itt már a 9 gázos rendszer látszik szükségesnek.
- **Az 5 és 9 gázos online HGA eredmények összehasonlítása** alapján azt lehet mondani, hogy a **több gázos esetben a felhasználó pontosabb diagnosztikát kapott**, így kisebb a bizonytalanság a további költségesebb beavatkozásokat illetően.



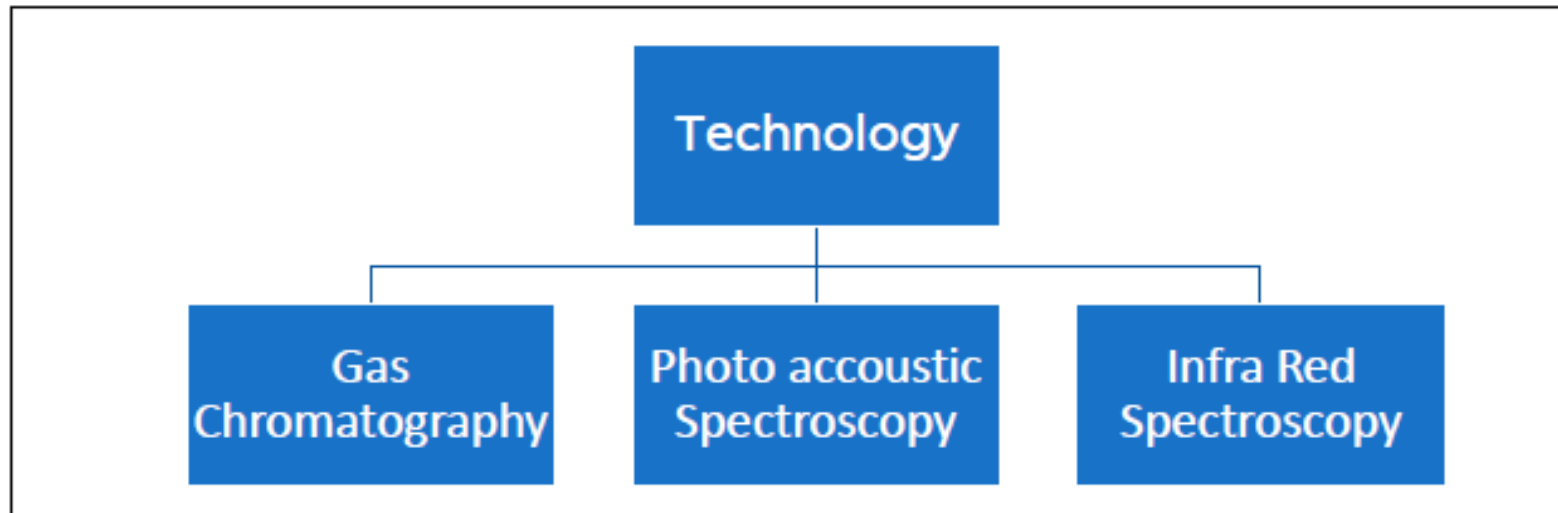
HGA monitoring rendszerek specifikációja (kiírás)

- Láthatjuk, hogy számos HGA online monitoring rendszer áll rendelkezésre a piacon, a korrekt választáshoz sok alapismeretre lenne szükség. **Honnan vehetjük ezeket az alapismereteket?**
- Említésre került már a **CIGRE Technical Brochure TB 783, „DGA Monitoring system, October 2019”**, amely M1 és M9 között kategorizálja az online HGA monitoring rendszereket.
- Ilyen **széleskörű változat esetén** ajánlott bizonyos szempontok alapján ismerni a helyzetet, tájékozódni, pl. az alábbiakról:
- Először is az alkalmazott **technológiáról**, másodsor a főbb **specifikációs paraméterekről**, harmadszor a **működési paraméterekről**, negyedszer **előírt tesztekéről**, végül a **mechanikai tulajdonságokról**.



Alkalmazott online **HGA** technológia típusai

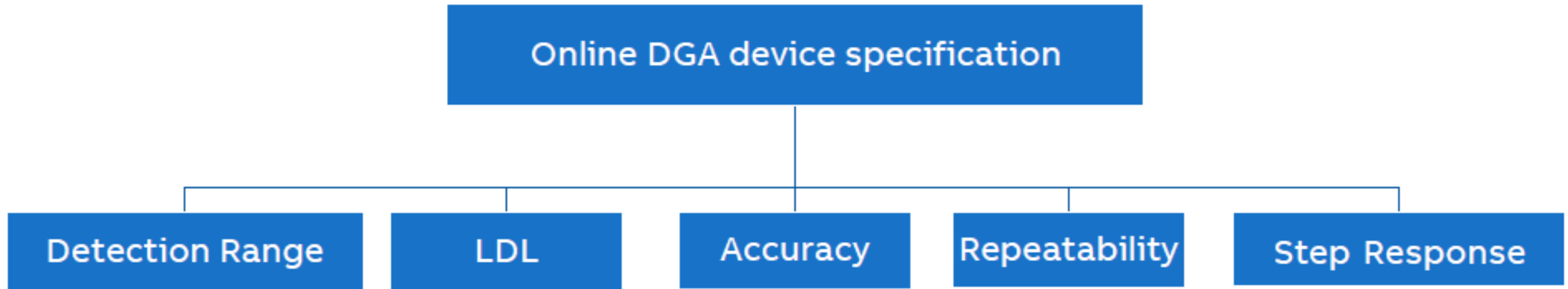
- Túlsúlyban vannak a gázkromatográf alapúak (GC)
- Fotó akusztikus spektroszkóp alapú (PAS)
- Infravörös (IR), nem-diszperziós infravörös (NDIR) spektroszkópia
- Közel infravörös (Near infrared, NIR)
- Fourier transzformációs infravörös (FTIR)





- Számos tanulmány tartalmaz különböző gázok detektálására technológiákat, végül is a felhasználó dolga, hogy pro és kontra érvek mellett döntsenek, mit akarnak használni.

Fontos paraméterek: érzékelési tartomány (1), legkisebb érzékelési határérték (2), pontosság (3), ismételhetőség (4), válasz lépés (5)





A fontosabb paraméterek: **Érzékelési tartomány (1):**

Mérési tartomány jelzi az alsó (lower detection limit: LDL) és a felső érzékelési határértéket (higher detection limit: HDL): lásd a táblázatban a **különböző technológiák** megszokott érzékelési tartományát.

Gases Detected	Technology A	Technology B	Technology C
Hydrogen (H ₂)	0 - 20,000	0 - 5,000	0 - 5,000
Methane (CH ₄)	0 - 100,000	0 - 50,000	0 - 10,000
Acetylene (C ₂ H ₂)	0 - 100,000	0 - 50,000	0 - 10,000
Ethylene (C ₂ H ₄)	0 - 200,000	0 - 50,000	0 - 10,000
Ethane (C ₂ H ₆)	0 - 200,000	0 - 50,000	0 - 10,000
Carbon Monoxide (CO)	0 - 30,000	0 - 50,000	0 - 5,000
Carbon Dioxide (CO ₂)	0 - 100,000	0 - 50,000	0 - 20,000

Számos esetben az volt megfigyelhető, hogy a felhasználók leginkább az „**A**” technológiát választják, nem pedig a „B” és „C” változatot.



A CIGRE TB 771 (Advances in DGA interpretation-2019) kiadványban **tipikus és hiba előtti értékek** kerültek publikálásra (10. táblázat).

Condition	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
Typical	118	85	56	111	5	700	6,300
Intermediate L1	200	135	120	210	19	970	11,600
Intermediate L2	280	180	200	300	40	1,180	16,700
Pre-failure	725	400	800	900	450	2,100	50,000

Ugyancsak a TB 771 listázza különböző beazonosított **hibák tipikus hiba előtti értékeit** (11. táblázat)

Fault	Major gas	Typical	Intermediate L1	Intermediate L2	Pre-failure
S	H ₂	460	800	1,100	2,480*
O	C ₂ H ₆	550	1,000	1,500	4,460
T3-H	C ₂ H ₄	126	270	450	1,800
D1 in oil	C ₂ H ₂	25	60	100	1,400
D1 in paper	C ₂ H ₂	1	3	6	45
C (leads)	C ₂ H ₄	200	440	700	2,900
C (windings)	C ₂ H ₄	68	150	240	970
C (between turns)	C ₂ H ₄	2	4	7	25



A fenti két táblázat az mutatja, hogy a **hibákat megelőző értékek** (magas értékek) a legtöbb esetben **alatta vannak a 10.000 ppm értéknek**.

Az alkalmazandó monitoring esetében figyelembe kell venni **az alkalmazási területet**. Például, egy **szélerőműves trafó közismerten magas, vagy nagyon magas értékű H₂-t** termel az olaj „**stray-gázosodási**” tulajdonsága, ill. a **PD** miatt: a 90%-os tipikus H₂ közel 5.000ppm. Ilyen esetekben az „A” technológia jobban megfelel, de a többi esetben mindhárom technológiánál felette van a megkövetelt HDL határérték.

Az alábbi táblázatban az IEEE C57.104-2019 gázkoncentráció tipikus értékei láthatók ppm-ben amikor a **O₂/N₂<0,2-nél** és a **kor ismeretlen**. Ezek az értékeket kell figyelembe venni, amikor HGA kiértékelést végzünk a **fenti 10 és 11. táblázatok alapján**. **A korrekt gáz limitek beállítása segít elkerülni hibás vészjelzés kiadását.**

Condition	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
90 th percentile	80	90	50	90	1	900	9,000
95 th percentile	200	150	100	175	2	1,100	12,500

Fontosabb paraméterek: **Kisebbik érzékelési határérték (2)** (lowest detection limit: LDL)

Az LDL a minimális gázkoncentráció, amelyet a monitoring mérni tud.

Nézzük a H₂ LDL értéket a 3 technológiánál, mint példát.

Kiértékeléseknél, ha a mért érték kisebb, mint LDL, akkor azt LDL értékkel helyettesíteni. **10ppm mért H₂ esetén, a „C” típus esetén 25ppm-et kell venni, de az „A” és „B” technológia esetén a mért 10ppm értékén számítható be.**

Ha H₂ esetén az IEEE 90% értéke 80ppm vagy 200ppm (95%-os érték), a 25ppm jóval a küszöb alatt van. Ezért mind három technológia megfelelő.

13. táblázat: különböző technológiák szokásos LDL értékei

Gases Detected	Technology A	Technology B	Technology C
Hydrogen (H ₂)	0.5	5	25
Methane (CH ₄)	0.2	2	1
Acetylene (C ₂ H ₂)	0.2	0.5	0.5
Ethylene (C ₂ H ₄)	0.2	1	2
Ethane (C ₂ H ₆)	0.2	1	2
Carbon monoxide (CO)	10	1	2
Carbon dioxide (CO ₂)	15	20	5



- Az LDL érték minden gáznál 90%, vagy 95% értékkel szemben kell tekinteni.
- Ami fontos, LDL+pontosságot kell figyelembe venni. CIGRE adatok szerint, laboratóriumi 5ppm-es H₂, majdnem mindig kívül van a 100%-on, miközben 10ppm 50%-al különbözhet.

További fontosabb paraméterek: Pontosság (3)

A HGA **pontosság nagyon kritikus specifikáció**. A kis érzékenység **kihathat** a karbantartás és javítást meghatározó trendanalízisre.

Pontatlan HGA értékek **rossz diagnózishoz vezethetnek**, növelve a karbantartási és javítási költségeket.



Az alábbi táblázatban (14) látható szokásos pontosságok +/-5%, de ez a kalibrálás alatt jelentkezik, ilyen módon nagyon fontos a **helyszíni pontosság ellenőrzése**.

14. táblázat: különböző technológiák szokásos pontosságai

Gases Detected	Technology A	Technology B	Technology C
Hydrogen (H ₂)	± 5 % + LDL	± 5 %+ LDL	± 20 % or LDL
Methane (CH ₄)	± 5 % + LDL	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL
Acetylene (C ₂ H ₂)	± 5 % + LDL	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL
Ethylene (C ₂ H ₄)	± 5 % + LDL	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL
Ethane (C ₂ H ₆)	± 6 %+ LDL	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL
Carbon monoxide (CO)	± 5 % + LDL	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL
Carbon dioxide (CO ₂)	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL	± 5 %+ LDL



- **„Válasz lépés” (5):** A gázkoncentráció változás pontos online trendjéhez nagyon fontos a "lépés válasz". Bár ezt a paramétert tárgyalják a legkevésbé: a felhasználók 90%-a nem specifikálja ezt az paramétert.
- T33/50/63/66/90/95 a monitoring számára szükséges idő, átlépni a mérendő gáz 90%-ra.
Mérési ciklus: az az idő, amely a mintából kivont online monitoring gáz analízishez szükséges.
- A „lépés válasz” az online HGA monitoring azon képessége, hogy bizonyos időn belül **válaszoljon a pillanatnyi gáz szint változására**. A válaszidőkre a fenti (15) táblázatban láthatók példák.



15. táblázat: különböző technológiák szokásos válaszeit

Gases Detected	Technology A	Technology B	Technology C
Hydrogen (H ₂)	<p>Typical measurement cycle: 1-1.5 hours</p> <p>95 % in 3 hours</p> <p>Frequency (fast): 1 reading per hour</p>	<p>Typical measurement cycle: 1-1.5 hours</p> <p>95 % in 1 hour</p> <p>Frequency (fast): 1 reading per hour</p>	<p>Typical measurement cycle: 10 min averaging</p> <p>90 % in 30 min</p> <p>Frequency: 1 reading per 10 min</p>

Példa a hidrogénre: az „A” technológia esetén 4-5 óra, „B” esetében 2-3 óra, „C” esetében 30 perc egy ugrás. Az emelkedés nagyon különböző lesz a három technológia esetében.

Látható, a válaszok nagyon különbözőek, sőt katasztrófához is vezethet, ha **túl lassú a hiba kifejlődésének** gyorsaságához képest.



További fontosabb paraméterek: **Ismételhetőség (4)**

Ismételhetőség: annak a mértéke, hogy az online monitoring milyen pontosan jelzi ki ugyanazon gáz szintet azonos értéknek.

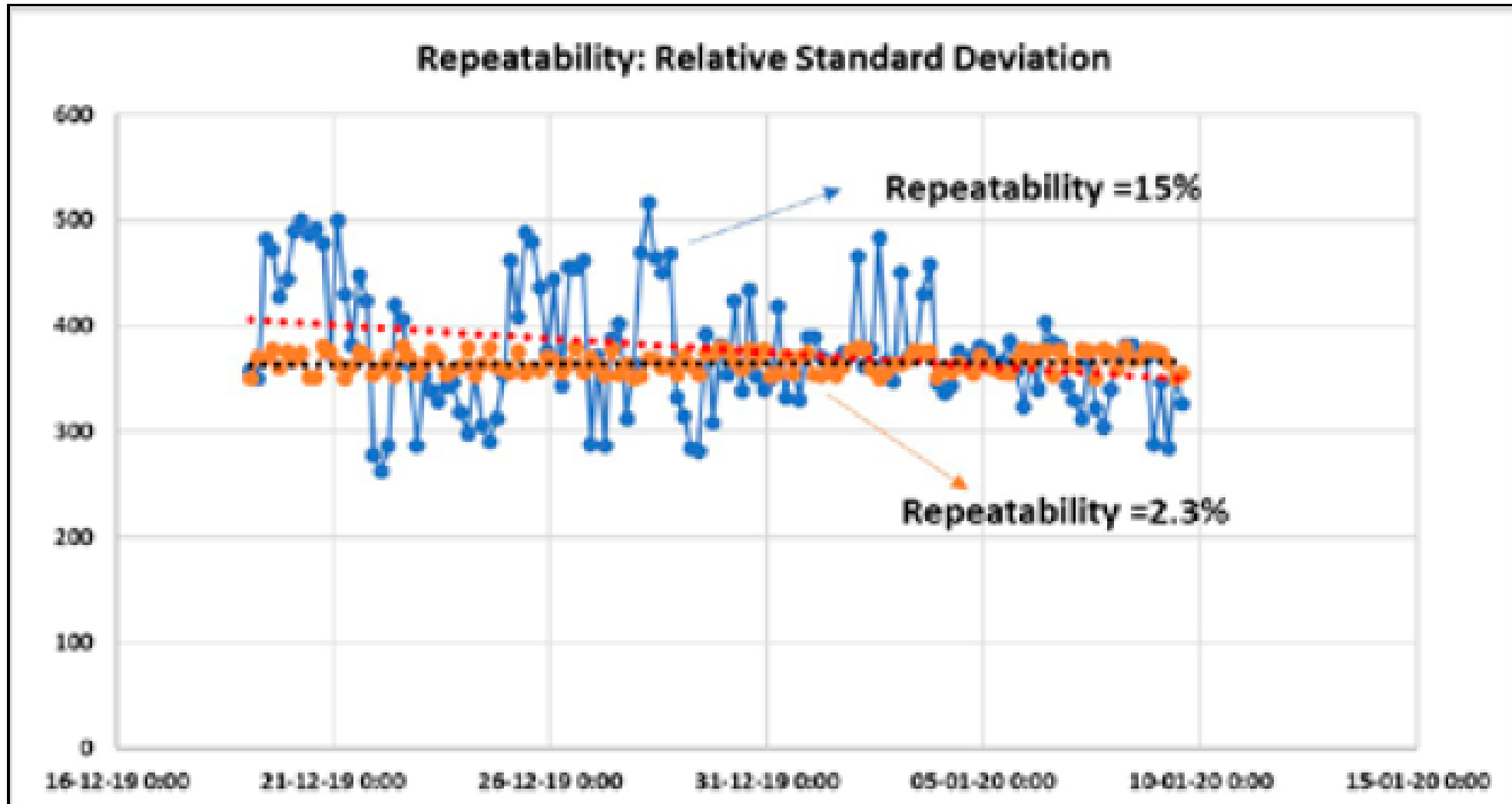
Ha az ismételhetőség nagyobb (pl. 15%-al térnek el a mért értékek, és nem 2,5%-al), az **online monitoring kevésbé stabil**. Ha kevésbé stabil, akkor **megfelelő statisztikai számítás szükséges**.

Ebben az esetben a pontos **növekményszámítás problémás lehet**.

A 11. ábra ugyanazon trafóra szerelt **két online HGA monitoring** eredményeit mutatja. Az **egyik ismételhetősége (relatív szórás) 15%, a másiké 2,3%**, az offline CO érték 347ppm+/-11%. Ettől eltekintve kulcs fontosságú specifikációnak tekintendő.



11. ábra: ugyanazon trafón két online monitoring által mért CO eredményei





Életciklus alatti költség

Egy életciklus alatti költséget a specifikációk között fontosnak kell tekinteni. Különböző online HGA monitoring rendszerek esetében, a korai felhasználói tapasztalatok azt mutatták, hogy **jelentős karbantartási és működési kihatásai vannak**, tehát a kiválasztás során számolni kell ezzel is.

Tipikus tényezők, amelyet figyelembe kell venni:

- **Folyamatos költségek:** vivőgáz, kalibrációs gáz
- **Tartalék alkatrészek és javítási költségek** – IR analizátor helyszíni javítása, elektronika javítása
- **Helyszíni szemlék és éves inspekciós költségek**
- **Olaj szivattyúzási csövek karbantartása**, olajfolyás, szivattyúhiba, olajszűrők.

Felszerelési és csövezési rendszer

Az online HGA monitoring felszerelése függ az alkalmazott technológia típusától és a trafó konstrukciótól. Általában egy vagy két különböző trafó csapot (szelepet) igényelnek. **Egy csapos** esetben, a monitoring közvetlenül a csapra szerelik fel. **Két csapos** rendszer esetén: egy a betápláló, egy a visszavezető csap. Ez egy zárt rendszert képez az olajra nézve. A betöltő csapon jön be az olajminta, a másikon tér vissza a minta.

Van még néhány megemlíthető kérdés:

- Áramlás csökkenés az üledék képződés és az online deformáció miatt, üledék szűrő csere az olaj vonalon, olajszivárgások különböző pontokon.
- Ha nem rozsdamentes acél szerelési anyagok kerülnek felhasználásra (pl.galvanizált acél, réz vagy műanyag anyagok) negatívan hatnak a gázmintavételezésre.
- Fűtési kábel beszerelése az alacsony környezeti hőmérséklet esetére.
- Eltekintve, hogy a flexibilisnek kell lenni a monitoring rendszernek az egyik trafóról a másakra történő áttelepítésnél, lehetnek nehézségek az átcsövezésnél.
- Ezek a főszempontok, amelyet a felhasználónak figyelni kell a mechanikai felszerelésnél.



Offline és online HGA eredmények közötti összehasonlítás

Legátfogóbb kiértékelés jelenleg a **CIGRE TB 873: DGA monitoring system-2019 (3 HU!)**

Az offline és online összehasonlításnál a laboratóriumi pontosságot kell figyelembe venni.

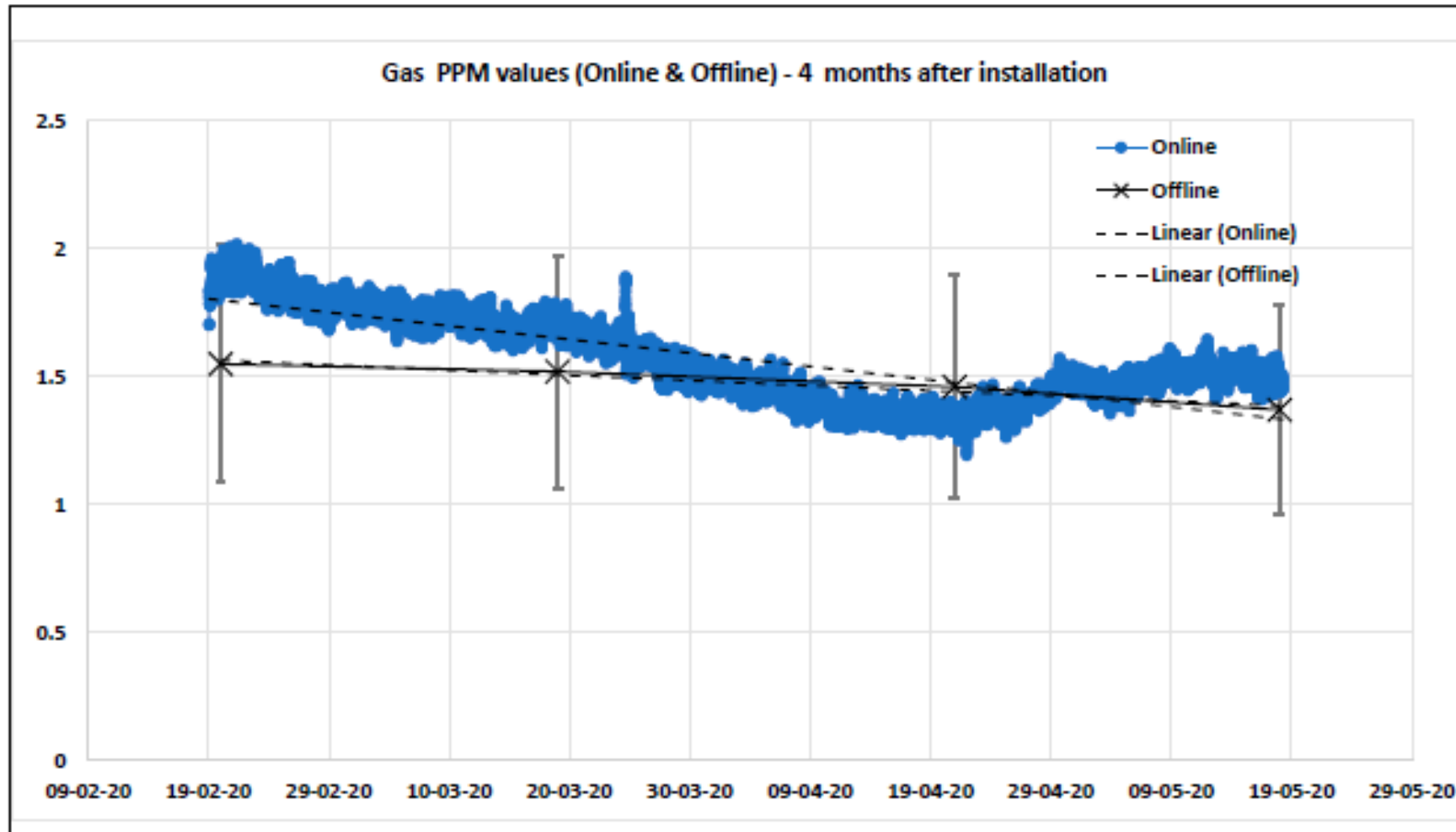
A következő (12.) ábrán látható egy példa, amikor **online monitoring volt felszerelve** és adott periódus alatt **4 mintavétel történt**.

Mindegyik labor saját pontossággal rendelkezik (+/-3% - +/-65%), és a felhasználónak ragaszkodni kell, hogy a labor megadja a pontosságot. Esetünkben a labor pontosság +/-30% volt.

Amint a 12. ábrán látható, nagyon **jó egyezés van az offline és online trend között**.



12. ábra: offline/online adatok összehasonlítása C₂H₂ gáz esetén: offline esetében 4 mintavétel volt, az online értékek benne vannak a +/-30%-os bizonytalansági zónában. A CIGRE TB 783 szerinti összehasonlítás elfogadható eredmények születtek.





CIGRE TB 783 (3 HU!) megállapításai:

- M1, M2 monitoring csak hibadetektálásra használhatók
- M3 és M5 monitorok használhatók hibadetektálásra, valamint diagnózisra is pl. Duval1 háromszöggel.
- M7, M8 és M9 monitorok képesek hibadetektálásra és diagnózisra is alkalmasak.
- „Mx”: M utáni „x” szám a detektált gázok száma (+H₂O).
- A piacon lévő online HGA online monitoringok többsége megfelel az IEC 60567:2011 (*Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases – Guidance*) előírásainak, kisebbsége azonban nem, a pontossága rossz, +/-50%.
- Néhány online HGA monitoring specifikációt **ideális gyári körülményekre adnak meg (helyszíni pontosság a fontos).**



Néhány specifikációs pont, amit a felhasználónak figyelembe kell venni:

- trafóban használt olajnak való megfelelés,
- helyszíni pontosság, helyszíni ismételhetőség,
- gáz változásra vonatkozó válaszidő,
- ismétlődő költségek, vivő/kalibráló gáz koncentráció,
- csatlakozó csapok száma, csövezési követelmények, amelyekkel nő az olajszivárgás a buborékképződés kockázata,
- a gyár által megadott élettartam, a nyújtott garancia,
- alkalmas-e a szoftver a gáz szint és a gáz trend analízisére?

Nagyon fontos, hogy a helyszíni pontosság az egész installációra megfelelő pontosságú legyen, hogy hatékony döntéseket lehessen hozni.

Online HGA monitoring által detektálható hibák

Aalkalmazás	Monitoring típus	Gázok	Beazonosítható hibák	Nem azonosítható hibák	
Hiba diagnosztika	M8/(M9)	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ CO, CO ₂ , O ₂ , (N ₂)	Mind a 10 hiba azonosítható	nincs	
	M6/(M7)	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , CO, (CO ₂)		Papírban a hiba gyakran beazonosítható csak CO-val, M6, M5 and M2 típusokkal	
	M5	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , CO		Csak az alap 6 hiba azonosítható*	Az 5 al hibatípus*.
	M3	CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂			
Hiba detektálás	M2	H ₂ , CO	A 10 hibából egy sem beazonosítható.	Nem detektálható a D1, D2 hiba korai stádiumban, csak későbbi állapotában, ami már katasztrófa állapot.	
	M1	H ₂			
	M1*	H ₂ és más gázok kompozit kijelzése			

*A 6 alaphiba a **Δ1** és ötszög 1 (PD, D1, D2, T3, T2 T1), az öt alaphiba **Δ4** és **5**, ötszög 2 (T3 olajban, C, O, S, PD)

Online gázmonitorig rendszerek

Gázkivonási módszer	Gáz mérési technológia	Előnyök	Korlátok
Membrán, vákuum	Gázkromatográf	Nagyon hasonló a szabványos technikákhoz (IEC, ASTM). Jelek elkülönítése az interferencia elkerülése céljából. Automatikus újra kalibrálás tárolt gázokkal.	-He vivógáz és kalibráló gázt pótolni kell, ~minden 2-4 évben, GC kolonnákat cserélni kell általában minden 3-5 évben. -Trafóba történő vivógáz szivárgási lehetőség ⁴ -Menedzselni kell a sűrített gáz cilindreket.
Membrán, vákuum, Közvetlen „headspace”	Infravörös sugárzás (közvetlen elnyelés vagy fotó akusztikus)	Nincs éghető gáz Nincs sűrített gáz cylinder	További érzékelők szükségesek a H ₂ , O ₂ , N ₂ mérésére. Néhány modell érzékeny az olajgőz szennyezésekre, amely idővel pontatlansághoz vezet, és újra kell kalibrálni. Néhány modellben, az olajban és/vagy a környező levegőben lévő vegyületek miatt a pontosság csökken.
Membrán, Közvetlen érintkezés az olajjal	Termikus vezetőképességi cella	Nincs éghető gáz	-csak H ₂ és CO
	Elektrokémiai cella		Kompozit gáz jel
	Fém-oxidos érzékelők		-csak H ₂ and CO, korlátozott pontosság
	Fém film érzékelők		-csak H ₂

**Fő cél a kockázat becslése, ehhez ismerni kell a hibák típusát, helyét, súlyosságát.
Legveszélyesebb a papírban lévő D2,D1, T3, T2, ill. az olajban lévő D2. A stray gáz és a PD kevésbé veszélyes.**

HIBA	PAPÍRBAN		OLAJBAN	
	Keletkező fő gázok	Hiba valószínűsége	Keletkező fő gázok	Meghibásodás valószínűsége
D2	C, C ₂ H ₂	Nagyon nagy	C ₂ H ₂ , C	Nagyon nagy
D1				közepes
T3			C, C ₂ H ₄	
T2	C, CH ₄	magas	CH ₄	kicsi
T1, O	C ₂ H ₆ , CO	közepes	C ₂ H ₆	Nagyon kicsi
Corona PD	H ₂	kicsi		
S, T<200°C öregedés	CO ₂ Furánok, alkoholok, papír alacsony DP	Nagyon kicsi	H ₂	

Melyik monitoring melyik trafóra?

Monitor típus	Gázok	Trafók
M7/M8/M9	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ CO, CO ₂ , (O ₂), (N ₂)	-minden trafó, beleértve a kritikusakat is (GSU, atom) és azok, amelye már nem normál módon gázosodnak, azonnali beavatkozást kívánnak.
M6	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ CO	-kritikus és gázosodó trafók, amelyek nem kívánnak azonnali beavatkozást, (olajminta szükséges, ha a papír is érintett).
M5	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , CO	
M3	CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂	
M2	H ₂ , CO	
M1	H ₂	-nem kritikus trafók és már nem gázosodók (olajminta szükséges),
M1*	H ₂ és más gázok kompozit kijelzése	



Detektálható hibák: a mért gázok számától függ.

M8/M9 teljes diagnosztikát ad, megkülönbözteti mind a 10 hibát.

M6 és M7 detektálhatja mind a 10 hibát, de 6 gáz esetén nem lehet a papírhibát detektálni.

Az M2, M1 és M* monitoring rendszerek csak figyelmeztetés adhatnak, a 10 hibát nem tudják felismerni, valamint a D1 és D2 hiba csak magas gáztartalom esetén detektálható.

M2, M1 és M* a hidrogén keletkezést detektálják, így a hiba típusát nem azonosíthatják be, így a „tipikus” H2 küszöbértéket kell beállítani (100ppm), ezért ez nem detektálja a D1 és D2 íveléseket korai állapotban (H2~6ppm), ugyanez mondható T3, T2, T1 (~10ppm) hibákra is.

Ennek ellenére az árak miatt ezek elég népszerűek



Melyik monitoring melyik trafóra?

- **A drága M7/M8/M9** monitoring rendszer használata lenne **kívánatos, főleg a kritikus trafókra** (generátor, atomerőműi), amikor a gázképződés nem normál módú és azonnali beavatkozásra lenne szükség.
- **Az olcsóbb M6/M1/M3** berendezéseket a **fontosabb a trafóknál** lenne kívánatos alkalmazni, ahol még nincs azonnali beavatkozásra szükség (a papír érintettség megállapítására olajminta labor vizsgálata szükséges).



Konklúziók

- HGA a legjobb **diagnosztika** a belső hibák feltárására, de ehhez **megbízhatónak kell lenni**.
- A hibák nagy részét **már korai állapotban jelzi**, esély a katasztrofális hibák elkerülésére, de a HGA alkalmazáshoz nagy és **alapos ismeretanyagra** lenne szükség.
- Az **offline HGA** rendszerhez képest az **online változat hatékonysága jelentős**.
- Világszerte **1 millió HGA évente mintegy 400 laborban**.
- Egyes HGA kiértékelések egyedül „nem elég pontosak”, új értékelési rendszerek+**online monitoring**: ekkor akár **93%** pontosság.
- **Gyors fejlődés**, új kiértékelések, de „**protokollok**” **gépies használata** még nem elegendő a megbízható diagnosztikához, **állandó követés** szükséges.
- A „követésre” elengedhetetlen a **folyamatos tanulás**, legalább **egy szakértőnek mélyebb ismeretekkel** kell rendelkezzen. **TUTORIAL**



**Online HGA monitoring rendszerek,
gázkinyerések, mérés technikák, stb.**

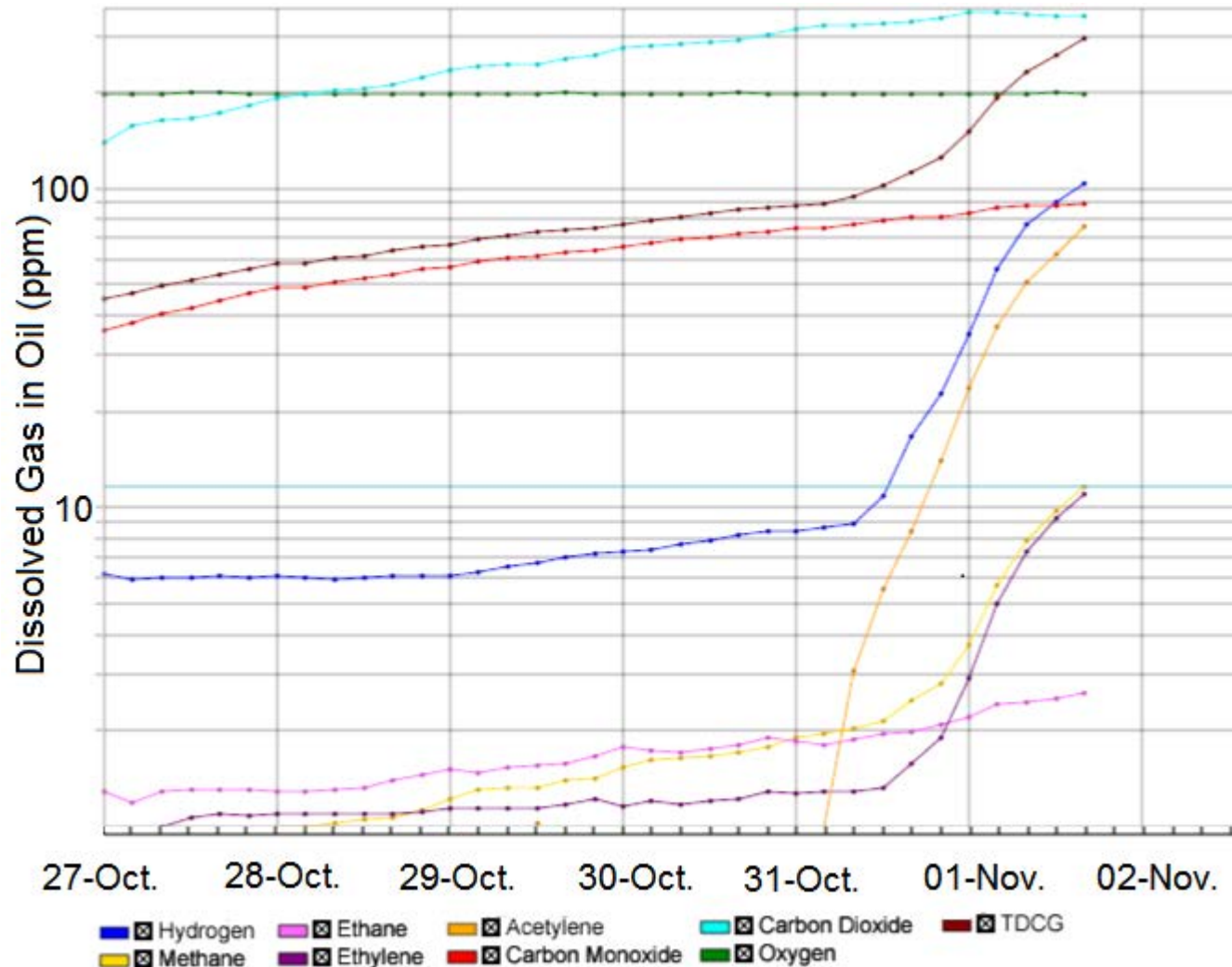


Online monitoring rendszerrel vajon detektálható a hirtelen megjelenő hiba?

- **Az online monitoring rendszerek különböző mintavételezéssel rendelkeznek: 20 perctől 8 óráig, rendszertől és beállítástól függően.**
- **A bemutatott példa egy gyors gáznövekedést mutat, amelyet a kivezetés papírszigetelésének elszenesedése okozott (C hiba).**
- **Mint látható, a mintavételezési idő 4 óra (6 mérés naponta) és ez megfelelő gyakoriság, hogy a gáznövekedés dinamikáját követhessük.**



Online monitoring: detektálható a hirtelen megjelenő hiba?



Legfontosabb keletkező gáz a C₂H₄, legalábbis a veszélyes „C” hibánál (szenesedés, >300C°)



- Ha csak labor HGA van, évente 2 hiba kerülhető el, 7M\$ takarítás.
- M1 és M2 esetén 4 hiba kerülhető el, megtakarítás 13M\$.
- A többet tudó M3 – M9-e monitoring készülékek 5-6 hiba/év elkerülést tesznek lehetővé, 18M\$ megtakarítás, sőt 24M\$, ha katasztrofális hibát kerültünk el.
- Így a monitoring használata hasznosnak és gazdaságosnak tűnik.

Alkalmazott HGA monitoring technika	Évente elkerült hibák száma	Évente „elkerült” költségek M\$
Nincs	Nincs	Nincs
Labor HGA	2	7
M1, M2 monitoring	4	13
M3 to M9 monitoring	5 (+0.8)	18 (+24)



HGA költségek, elérhető megtakarítások

- Az alábbiakban különböző HGA technikák költségei egy **2000-es trafó populációra** kerültek számításra, ahol a **meghibásodás évente 0,3%**, a **katasztrofális meghibásodás pedig 0,04%** évente.
- Ha **nincs HGA** technika, a **meghibásodások nem kerülhetők el.**



Konklúziók



Konklúziók

- HGA a legjobb **diagnosztika** a belső hibák feltárására, de ehhez **megbízhatónak kell lenni**.
- A hibák nagy részét **már korai állapotban jelzi**, esély a katasztrofális hibák elkerülésére, de a HGA alkalmazáshoz nagy és **alapos ismeretanyagra** lenne szükség.
- Az **offline HGA** rendszerhez képest az **online változat hatékonysága jelentős**.
- Világszerte **1 millió HGA évente mintegy 400 laborban**.
- Egyes HGA kiértékelések **egyedül „nem elég pontosak”, új értékelési rendszerek+online monitoring**: ekkor akár **93%** pontosság.
- **Gyors fejlődés**, új kiértékelések, de **„protokollok” gépies használata** még nem elegendő a megbízható diagnosztikához, **állandó követés** szükséges.
- A „követésre” elengedhetetlen a **folyamatos tanulás**, legalább **egy szakértőnek mélyebb ismeretekkel** kell rendelkezzen. **TUTORIAL**



**Köszönöm a
figyelmet!**

