



Offline/online HGA diagnosztika lehetőségeinek áttekintése, különös tekintettel a „zavaró körülmények eredmény befolyásolására” - 2025

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

XXIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, Thermal Hotel Visegrád, 2025. április 2-4.



Tartalomjegyzék

- 1. Az előadás célja, a HGA technika 2025-ös aktualitása**
- 2. Stray Gas jelenség 2025-ös áttekintése**
- 3. Stray Gas jelenség ellenőrzése Duval diagnosztikával – 2025**
- 4. Kiemelések a „szokásos” HGA alapismeretekből - 2025**
- 5. Konklúziók**



A HGA fontossága, a téma 2025-ös „általános” aktualitása

- A **HGA** (hibagáz analízis) a trafó diagnosztika egyik **legfontosabb** területe.
- Valószínűleg a HGA **leghatékonyabb** trafó hibajelző eszközünk, **értékén kell kezelnünk!**
- Világszerte **évente 1 millió HGA eredmény születik mintegy 400 laborban.**
- Rengeteg adat és tapasztalat keletkezik, **tanulmányok tömege jelenik meg évente.**
- **Gyors fejlődés**, újabb és újabb kiértékelések → **állandó követés** szükséges.
- Nemzetközi **tapasztalatok** szerint az egyes HGA kiértékelések **egyedül „nem elég pontosak”, de több módszer együttes alkalmazásával a hatékonyság növelhető.**
- **Offline diagnosztikák + online monitoring:** → **akár 93%-os !!! pontosság** is elérhető.
- Ha létrehozunk egy saját **offline+online monitoring+szakértői** rendszer: mindig a **legújabb szakértői tudás** kerülhet tárolásra, benne alapos **ismeretanyag tárolva** (szakértői adatbázis).



Kiemelés a 2025-ben HGA témakörből: **STRAY GAS 2025-ös aktualitása**

- A HGA termikus és villamos hibákra termelődő gázok vizsgálatán alapszik: a hiba energiájától függően különböző „hibagázok” keletkeznek.
- De látható a szakirodalomból, hogy normál üzemben is keletkeznek hibagázok (**stray gas, szórt, kóbor gázok**), anélkül, hogy termikus vagy villamos hiba állna fent.
- Stray gázok CIGRE definíció szerint: 200°C alatt keletkezett **H₂, CH₄, C₂H₆, CO, CO₂ gázok.**
- Ezek a „gázok” azonosak a „hibagázokkal”, így HGA során helytelen diagnózis keletkezhet.
- Tehát nagyon fontos, hogy megkülönböztessük a „**stray gas**” és a „**szokásos**” hibagázokat, hogy a diagnosztikával elkerüljük az idővesztést és költséget.
- Tehát ez a 2025-ös előadás az „kismértékű általános HGA tréning” mellett a „SRAY GAS” tématerületre helyez egy kicsit nagyobb hangsúlyt.



Stray Gas jelenség 2025-ös aktualitása

Még egy kis „stray gas” alapozás

2025-ös „HGA konferencia tréning”



A jelenlegi **előadási „tréníngen”**, az un. **„STRAY GAS” (SG)** jelenség kerül kiemelt áttekintésre: **Miért kell ezzel a témával foglalkozni?**

- Mert a **„klasszikus” IEC-HGA diagnosztikából eredetileg hiányzott a „Stray Gas” diagnosztikai figyelembe vétele.**
- Ezért szükséges egy **kicsit nagyobb figyelmet fordítani az SG jelenségekre,** és az eredményt **be kell tudni építeni a HGA diagnosztikába,** hogy **pontosabb állapotképet** kaphassunk a szigetelési rendszerről.



Eredeti IEC 60599

Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.



IEC 60599 eredetileg hat alap hibatípust definiált, majd bekerült egy 7., a DT is.

- 1. PD (korona):** gáz buborékokban, ill. papír üregekben alakul ki rossz kiszárítás, 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

Hibakód	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
Részkisülés (PD)	Nem jellemző	$< 0,1$	$< 0,2$
Kisenergiájú kisülés (D1)	> 1	$0,1 \dots 0,5$	> 1
Nagyenergiájú kisülés (D2)	$0,6 \dots 2,5$	$0,1 \dots 1$	> 2
Melegpont $t < 300\text{ °C}$ (T1)	Nem jellemző	> 1 , de nem jellemző	< 1
Melegpont $t < 300 < 700\text{ °C}$ T2	$< 0,1$	> 1	$1 \dots 4$
Melegpont $t > 700\text{ °C}$ (T3)	$< 0,2$	> 1	> 4



MSZ-09-00.352–1988 Transzformátorok szigetelési állapotának üzemi ellenőrzése. **Már nem hatályos**, a HGA rész az első HGA IEC alapján készült, magyar nyelvű: **8 hibafajta**.

A transzformátor állapotának minősítése a hiba jellege szerint

2b. táblázat

Sorszám	A hiba fajta		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{C_2H_6}$	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	



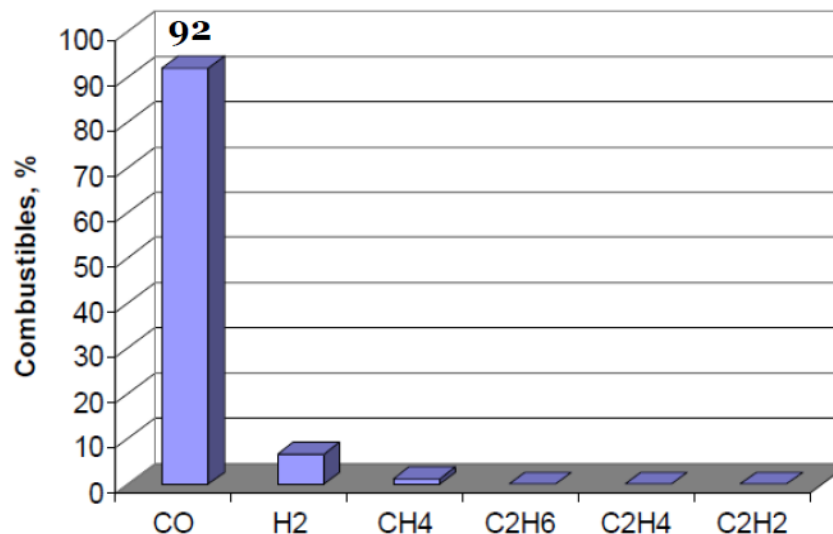
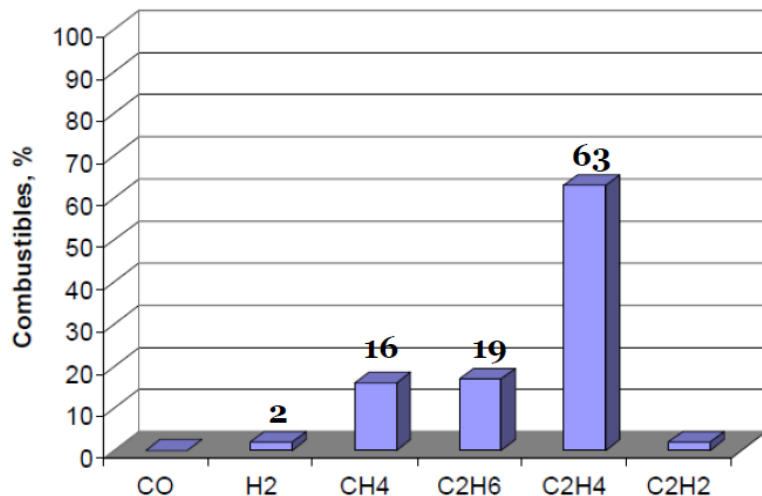
Cigre SC 15 (1999): „New guidelines for interpretation of DGA in oil-filled transformers”
(Electra-1999 okt): **Itt sincs Stray Gas.**

Name	Ratio	Value Significant	Indication
Key Ratio 1	C_2H_2 / C_2H_6	>1	Discharge
Key Ratio 2	H_2 / CH_4	>10	Partial Discharge
Key Ratio 3	C_2H_4 / C_2H_6	>1	Thermal Fault in Oil
Key Ratio 4	CO_2 / CO	>10 indicate overheating of cellulose, <3 indicates degradation of cellulose by electrical fault	Cellulosic Degradation
Key Ratio 5	C_2H_2 / H_2	>2 (>30ppm) indicates diffusion from OLTC or through a common conservator	In Tank Load Tap Changer



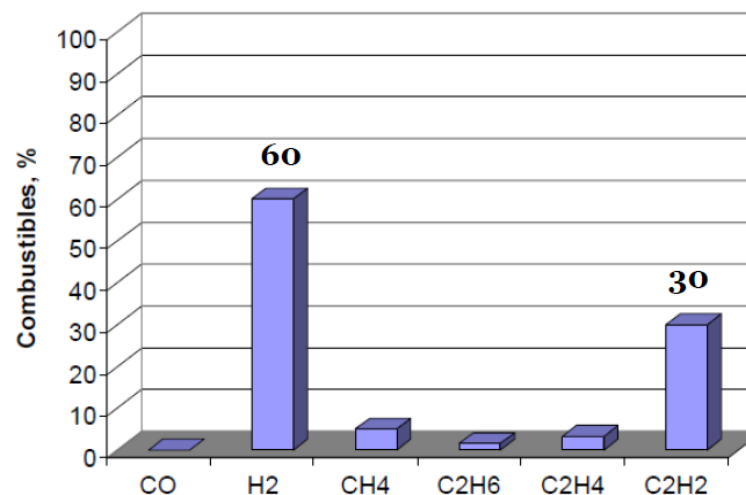
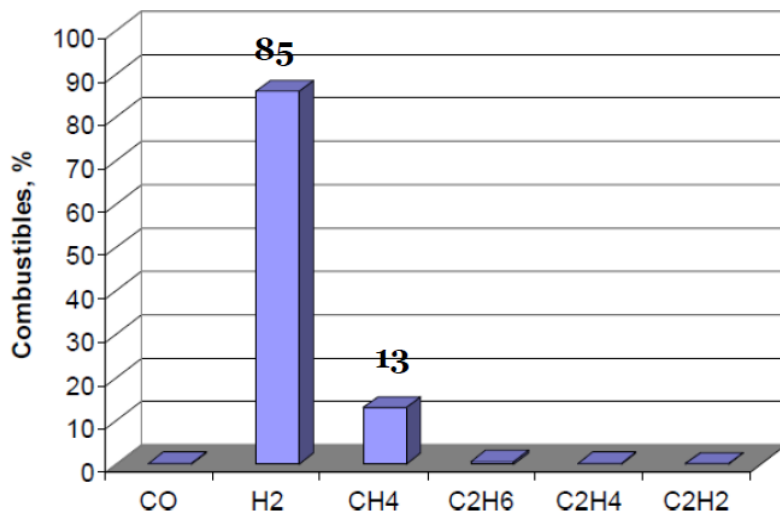
Key Gas Method: Kulcs Gáz Módszer (KGM módszer)

**Túlmeleg
olaj:
kulcsgáz:
etilén**



**Túlmeleg papír:
kulcsgáz
szénmonoxid**

**PD az
olajban:
kulcsgáz:
hidrogén**



**Ív az olajban:
kulcsgáz:
acetilén**



Később, az IEC 60599 *hét alap hibatípusa mellett további 4 hibát ad meg, amelyben már szerepel a "stray gas" is:*

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)

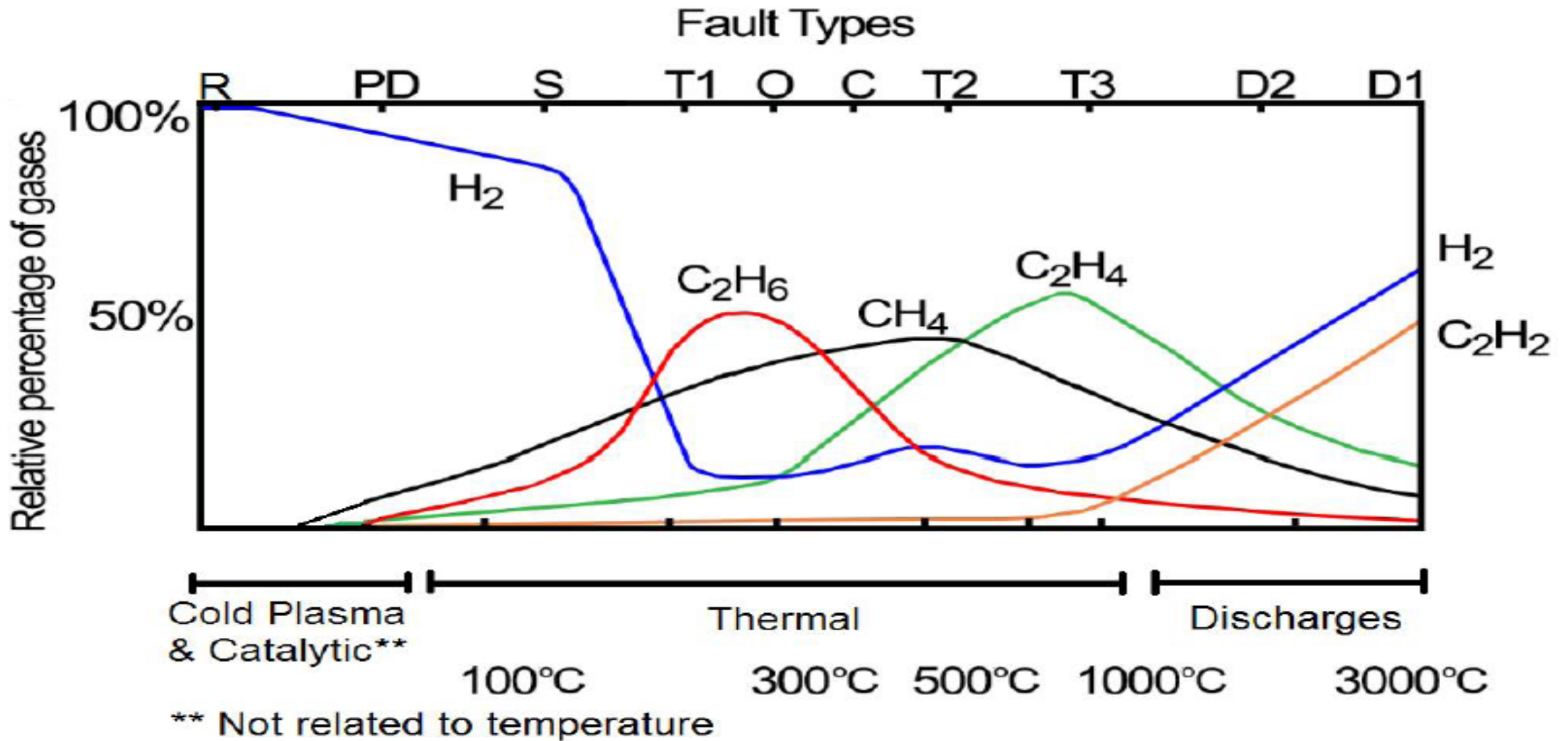
R: katalitikus behatás: Van, ahol ezt a hiba típust is használják.

S (Stray gas): azok a gázok, amelyek kémiai vagy oxidációs reakciókban keletkeznek, normál hőmérséklet (kb. 200°C) alatt. Főleg hidrogén, metán, etán, CO_2 , CO alkotja.

- Mivel ezek a *gázok azonosak azokkal, amelyek a hibák során keletkeznek, ezért a HGA diagnosztikában téves kiértékelést okozhat*, megnehezíti a helyes kiértékelést, többlet idő és költségfordítást igényel.
- **Következtetés: Érdeemes egy kicsit** több figyelmet fordítani a **STRAY GAS** jelenségre.



Hibagázképződés alapösszefüggései: **S=Stray gas**



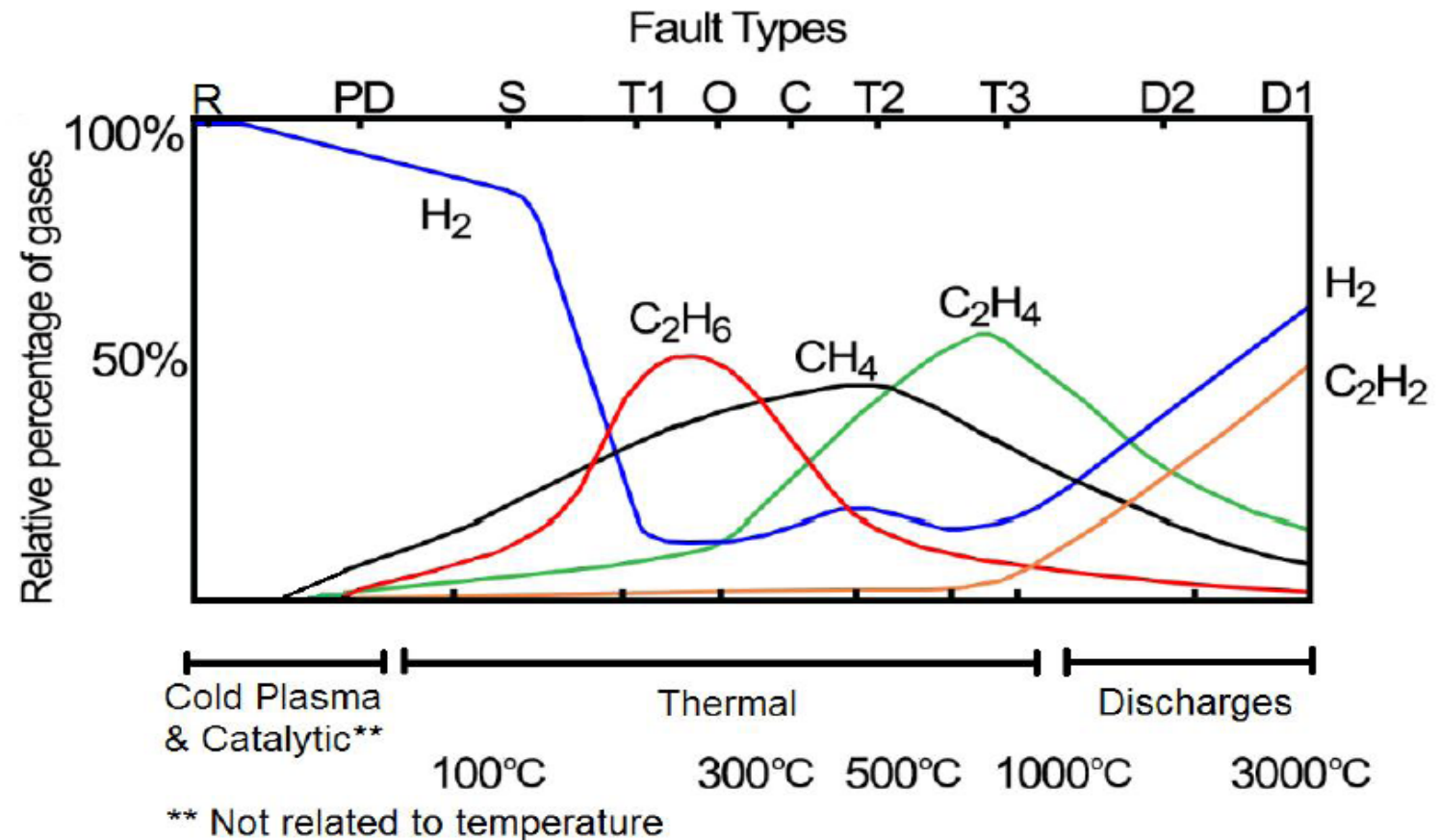


Hat hibagáz relatív képződése és a hőmérséklet függése IEEE és IEC szerint.

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.





Még egy kis „stray gas” alapozás



STRAY GAS - alapok főbb áttekintése

- A **HGA termikus és villamos hibákra** termelődő gázokon alapszik: a hiba energiájától függően különböző gázok keletkeznek.
- Az ásványolaj **szén-szén és szén-hidrogén kötésű molekulákból áll.** Hiba esetén, ha elég nagy energiát közlünk ezeknek a molekuláknak, **akkor ezek a szénhidrogén kapcsolatok felbomlanak és újra kapcsolódnak.**
- **A szén-hidrogén, és a szén-szén kötésekből H₂ és szénhidrogén részek** szakadnak le, szabadgyökök jönnek létre, ezek **egyesülnek újra és formálódnak etilén, acetilén, stb. vegyületté.**
- A CIGRE „ásványolaj termikus „stray gas” (SG) definíciója az alábbi: „Gázképződés melegedés hatására ásványolajból relatíve alacsony hőmérsékleten (90-200°C)”.
- **Az SG-k nem olyan nagyok, hogy veszélyeztessék a trafó üzemét, de tanulmányozásuk fontos a trafó tényleges állapotának meghatározásában**



- Tehát alacsony hőmérsékleten (pl. 120-200°C alatt), olyan hibagáz keletkezik, mint **H₂, CH₄, C₂H₆, CO, CO₂**, anélkül, hogy termikus vagy villamos hiba lenne a trafóban, sőt néha még **nem működő trafóknál is előfordul**.
- A használatban lévő transzformátorolajok kémiai összetételükben meglepően összetettek, sőt az öregedés után egyre összetettebbek: parafinos, nafténes, aromás jellegűek, inhibitorral vagy anélkül, azaz más-más „gázlenyomatokat” adnak.
- Logikus, ha a „bázisolajok” különböző összetételűek, így a hibák hatására belőlük keletkező gázok is eltérhetnek.
- Ezért is lehet hasznos egy „rég” HGA módszer, mert nem rossz, csak más olajra lett kifejlesztve. Pl. régen „aromásabbak” voltak a bázisolajok.
- A HGA pontosabb kiértékelése céljából legelőször laborban vizsgálják az SG-t, majd az itt kapott eredményekkel „javítják” a HGA-t.

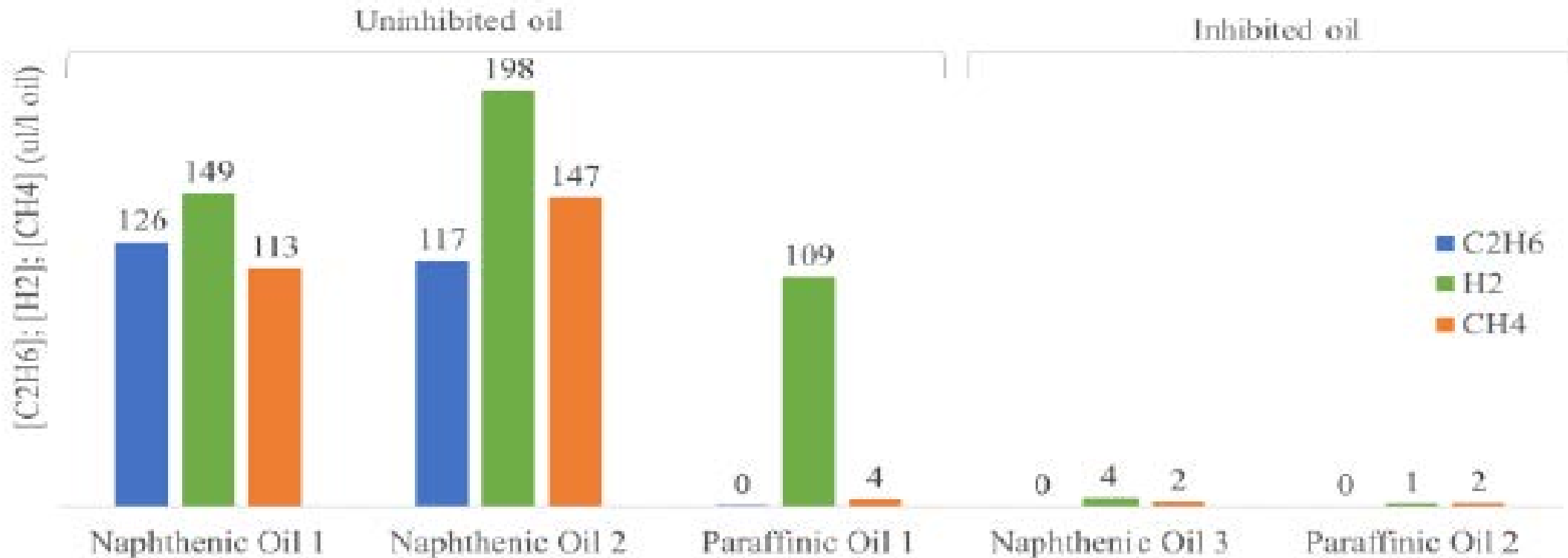


- Számos kutatás indult, hogy tisztázza ezen gázok HGA eredményeket hamisító hatását
- A romlás során új vegyületek alakulnak ki, új HGA lenyomatok, ez pedig hibákhoz vezet ha a tradicionális HGA diagnosztikát alkalmazzuk „mereven”.
- Szükséges lenne az olaj összetételének elemzése, valamint a zavaróhatás megállapítása.
- Az előadás főleg általános jellegű (némi konkrétumokkal) részekre a fókuszál, főleg a melegedés, szennyeződés miatt termelődő stray gas jelenségekre figyel.
- A kérdés: SG (ami nem okozna problémát) vagy trafóhiba áll fent?
- Tehát az SG se nem termikus, se nem villamos igénybevétel, hanem az olaj kémiai igénybevételétől jelenik meg. Csökkenteni kell a SG-t, vannak módszerek erre.
- Soka az SG-re ható tényező: új vagy régi olaj, mennyi az oxigéntartalom, ezért fontos paraméter, hogy lélegző vagy zárt rendszerű.
- További befolyásoló tényezők:
- Fém passzivátor (korrozív kén miatt használják) gázokat termel (főleg H₂, CO₂).



Antioxidáns: hatására nincs SG termelődés! Miért? Ez is alátámasztja, **hogy a SG jelenség oxidációs folyamat**, amit az antioxidáns lassít, ill. megszünteti az SG-t, amíg el nem fogy az antioxidáns). Persze függ az olaj típusától is: nafténes, parafinos, aromás.

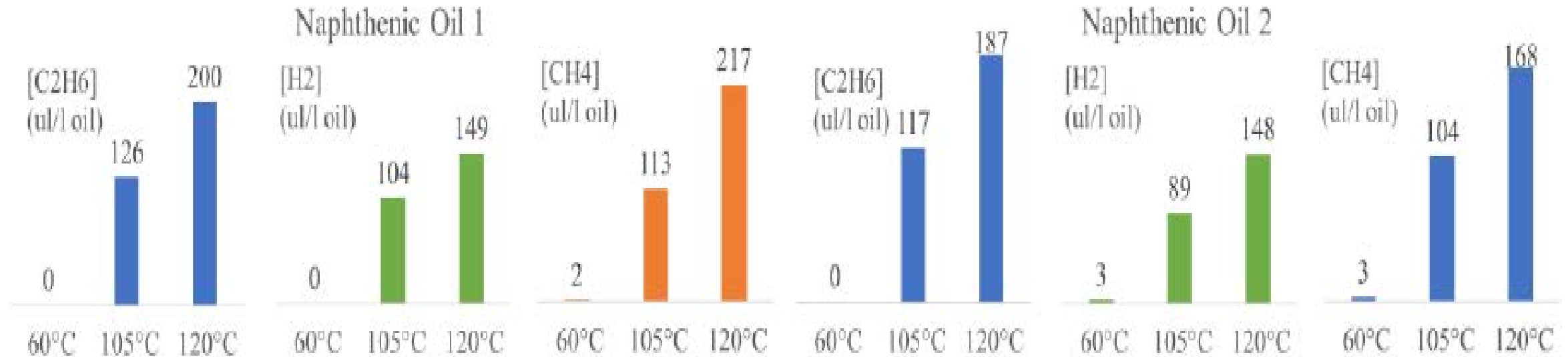
Ábra: Antioxidáns (inhibitor) befolyása az SG képződésre:





SG hőmérsékletfüggés: nő a hőmérséklet, nő a gázképződés.

-Három gáz képződése két nafténes olajnál három különböző hőfokon: 60, 105 és 120°C



- **A réz jelenléte katalizálja** a SG képződést, tehát fontos információ a SG képződés miatt ha a réz zománcozott felületű.
- **De katalizátor szerepűek lehetnek más anyagok is: ragasztó, gyanta, festék, stb.**



Portugál STRAY GAS esettanulmány



Portugál STRAY GAS esettanulmány

- Magas C₂H₆ volt megfigyelhető egy tucat HV trafóban.
- A megjelent tanulmány segít megkülönböztetni az SG-t az igazi trafó hibától, valamint tanácsot ad, hogyan csökkentsük a SG befolyásoló hatását a trafó normál üzemében.
- Ismert, hogy a **gázok termelődését az alábbiak is befolyásolják**: teljesítmény, méret, kor, terhelési állapot, földelési rendszer, konstrukció típus, időjárás, stb.
- Amikor **HGA-t** használunk, a **határértékeket figyeljük**, arányokat számolunk.

Például:

- ha magas a H₂, akkor PD-re gondolunk,
- ha magas C₂H₆, akkor alacsony hőmérsékletű termikus hibára gondolunk,
- ha magas az C₂H₄, akkor közepes/magas hőmérsékletű termikus hiba lehetséges,
- Ha magas a C₂H₂ pedig villamos hibát jelez.



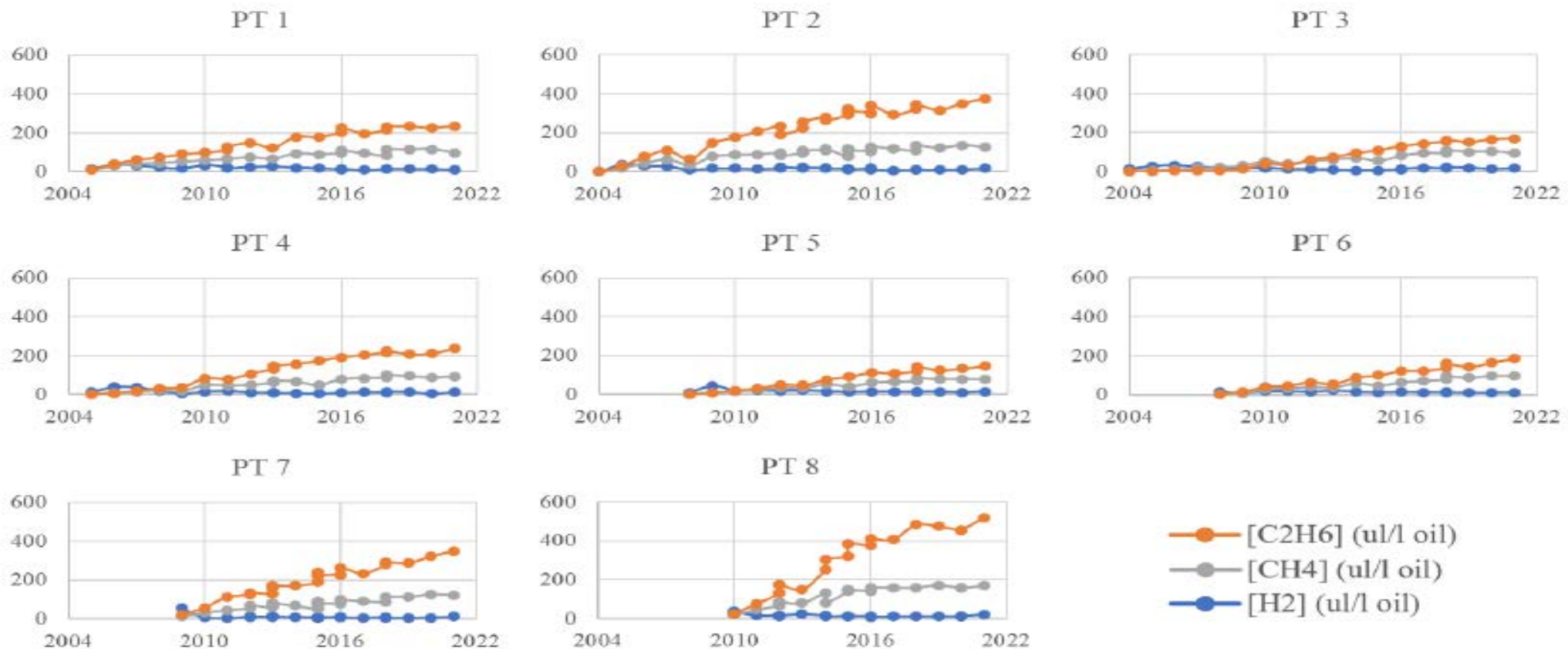
Portugál trafók vizsgálata:

- Portugáliában bizonyos trafócsaládban **nem normális mennyiségű etán és kis mennyiségű hidrogén és metán képződés volt.**
- Jelenleg 100 ilyen trafó van üzemben, amelyeknek néhány **közös jellemzőjük az alábbi:**

Population Characterization	
Breathing	Free breathing
Power	20 to 31,5 MVA
Voltage	60 kV
Year of manufacture	2003 to 2014
Type of oil	Standard grade
Manufacturer	Same
Load	No overload, similar regime
Operating temperature	Records not available
Electrical trials	Some transformers, good results
Insulating paper	2 FAL < 0,05 mg/kg _{oil}
Faulty transformers	No



8 darab trafónál az SG képződés az alábbi volt: mindegyik hasonló képet mutat: **magas C₂H₆, alacsony H₂ és CH₄, annak ellenére, hogy különböző évjáratúak.** Különböző tényezők befolyásolják az SG-t (lásd korábban): hőmérséklet, (terheléstől függ), a réz zománc bevonata, oxigén koncentrációjától, stb. Bár az ábrán 8 üzemi trafó adatai szerepelnek, százon felüli trafón ugyanezt tapasztalták.





Hogyan lehet csökkenteni a SG-t?

- Az **oxigén fontos tényező**, ezért ha *gáztalanítunk*, és eltávolítjuk **az oxigént**, csökken a SG.
- ***Inhibitor és passzivátor adalékolással*** SG termelődés csökken: DBPC, Irgamet,.
- **DBPC adalékolás** csökkenti a H_2 , CH_4 és C_2H_6 értékét.
- Irgamet 39, vagy Irgamet/DBPC csökkenti a C_2H_6 és CH_4 értékét, de **drasztikusan megnöveli a H_2 -t**.
- ***Olajregenerálás csökkenti SG-t***, DBPC adalékolás és a degradációs termékek eltávolítása miatt.
- Tehát az **oxidációs stabilitás növelésével csökkent az SG** (mivel SG oxidatív folyamat: stabilitás növelésével SG csökken,
- ***Tehát a gáztalanítás és az olajregenerálás csökkenti az SG-t.***



STRAY GAS DIAGNOSZTIKA



IEC 60599 eredetileg hat alap hibatípust definiált, majd bekerült egy 7., a DT is.

- 1. PD (korona):** gáz buborékokban, ill. papír üregekben alakul ki rossz kiszárítás, 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.



Láthattuk, az eredeti IEC 60599 hét alap hibatípussal foglalkozott, majd további 4 hibát vezetett be, amelyben már szerepel a S (stray gas) is:

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.

S (Stray gas): azok a gázok, amelyek kémiai vagy oxidációs reakciókban keletkeznek, normál hőmérséklet (kb. 104°C) alatt. Főleg hidrogén, metán, etán, CO_2 , CO alkotja. Mivel ezek a gázok azonosak azokkal, amelyek a hibák során keletkeznek, ezért a HGA diagnosztikában téves kiértékelést okozhat.

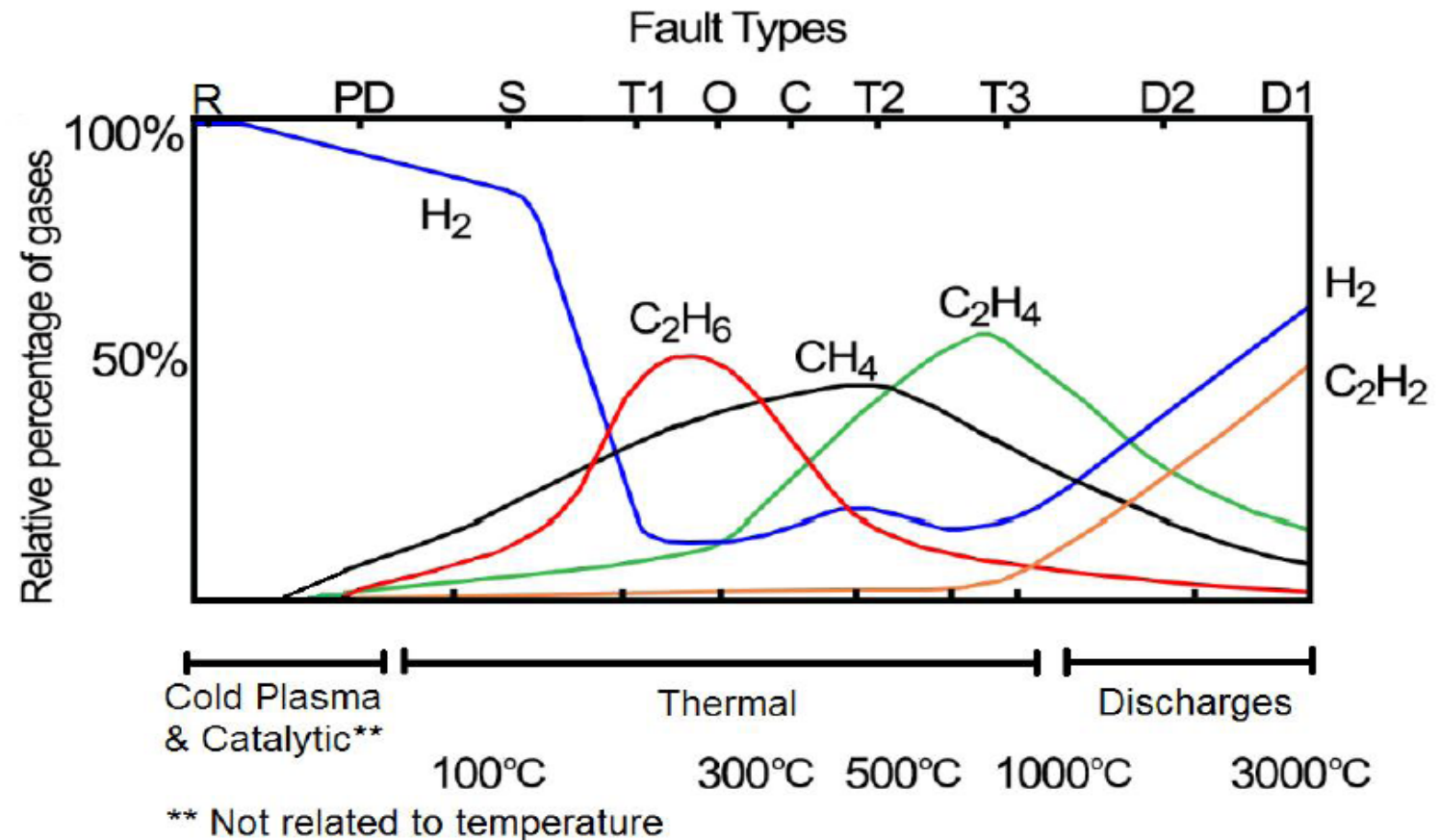


Hat hibagáz relatív képződése és a hőmérséklet függése IEEE és IEC szerint.

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.





Stray Gas és a DUVAl diagnosztikai aktualitások - 2025



- **Michel Duval**, kémikus, Hydro Quebec's IREQ kutatóintézet.
- Duval három- és ötszög módszerekkel grafikusán és vizuálisan is követhetjük időben a „hiba fejlődését”.
- ***DUVAL háromszög és ötszög (pentagon) módszerek***: újak, hasznosak, tipikusan számítógépre valók, mindenkinek javasolt az alaposabb tanulmányozása.
- Szerencse, hogy az összes HGA módszer jól algoritmizálható.
- Módszereknél előnyök-hátrányok: egy „gáz inputtal” minél több futtatás számítógéppel, megtalálni a legvalószínűbb diagnózist.
- Eredetileg ásványolajra készült, de azóta OLTC-re, ill. más (szilikon, MIDEI, FR3, BioTemp) szigetelő folyadékokra is ki lett terjesztve.
- ***Duval 1 háromszög: Ausztrál felmérés szerint 88%-osan sikeres.***
- **CO és CO2** hiányzik a DUVAL három és ötszögekből, így azokat más módszerekkel értékelik.

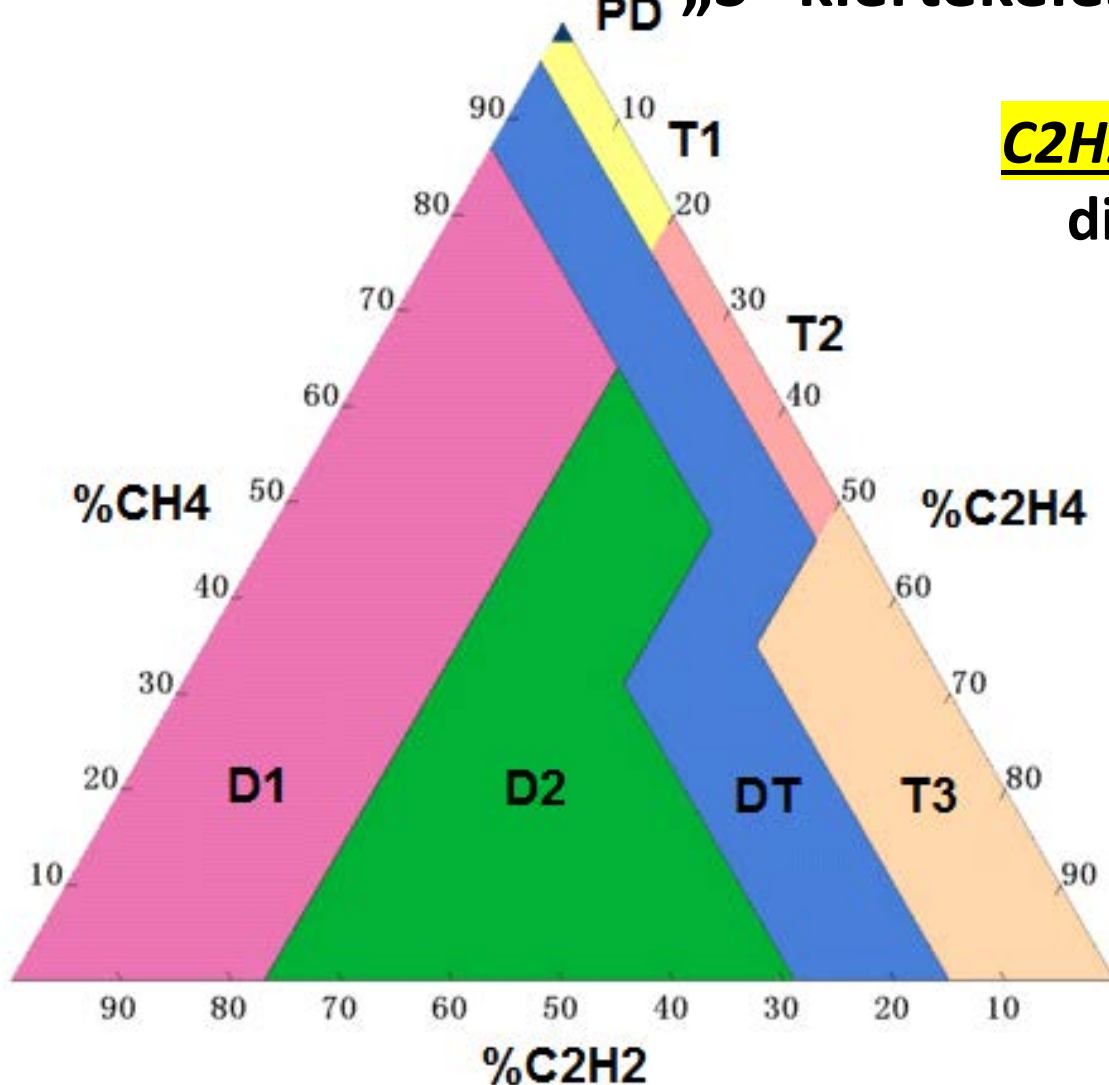


- Jó tudni, hogy Duval „szögek” **nem tartalmazzák a hibamentes állapotot**, így a **kezdeti hibákat sem lehet detektálni**, ezért érdemes áttekinteni a további Duval háromszögeket is.
- Duval 1 Δ : C₂H₂, CH₄, C₂H₄, **általános használatú ásványolajra**
- Duval 2 Δ : C₂H₂, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, de LTC-OLTC-re
- Duval 3 Δ : C₂H₂, CH₄, C₂H₄, mint Δ 1, de nem ásványolajra: Silikon, FR3, Midel,
- Duval 4 Δ : C₂H₆, CH₄, H₂, alacsony hőmérsékletű hiba, amikor Duval 1 Δ PD-t, T1-t vagy T2-t jelez: PD, **stray-gáz**, papír szenesedés (T<300°), túlmeleg T<250°, ND=not determined
- Duval 5 Δ : C₂H₆, CH₄, C₂H₄, alacsony hőmérséklet, Duval Δ 1 T1-t vagy T2-t jelez: **S=stray-gáz**, C=papír szenesedés (T<300°), **túlmeleg T<250°**, megerősíthető T2, T3, ND=not determined
- **Duval 6 Δ : FR3**: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, alacsony hőmérsékletű hiba, Duval 3 Δ PD-t, T1-t vagy T2-t jelez: PD, stray-gáz, papír szenesedés (T<300°), túlmeleg T<250°, ND=not determined
- **Duval 7 Δ : FR3**: C₂H₂, CH₄, C₂H₄, FR3: alacsony hőmérsékletű hiba, amikor Duval 3 PD-t, T1-t vagy T2-t jelez: PD, stray-gáz, papír szenesedés (T<300°), túlmeleg T<250°, T3, ND=not determined



PD „S” kiértékelés DUVAL 1 háromszöggel? **Nem lehetséges!**

C₂H₂, CH₄, C₂H₄ hibagázokat használja és az alábbi diagnosztikákra alkalmas, **tehát „S” gázra nem érzékeny, nem is szerepel Duval1-nél!**



PD: Partial Discharge

T1: Thermal < 300 C

T2: Thermal 300 C to 700 C

T3: Thermal > 700 C

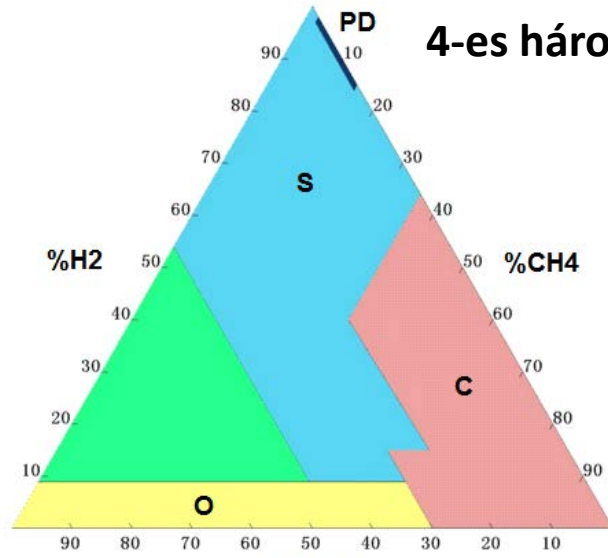
D1: Low-energy discharge

D2: High-energy discharge

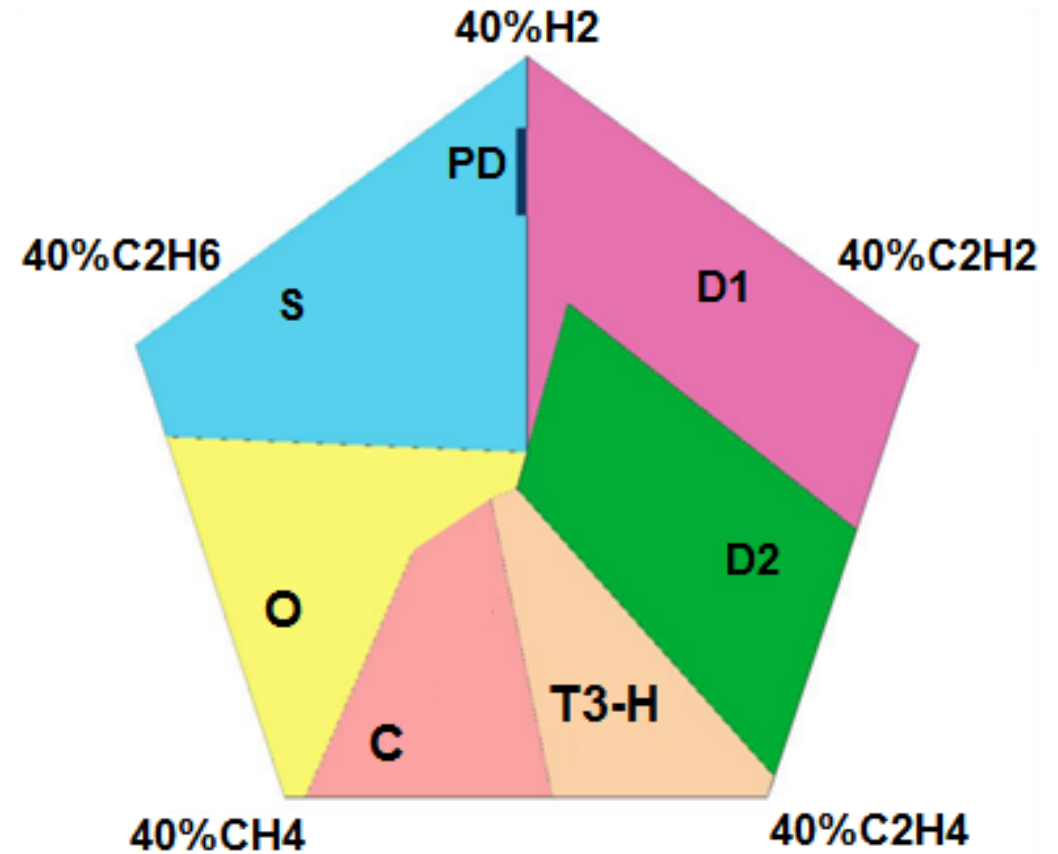
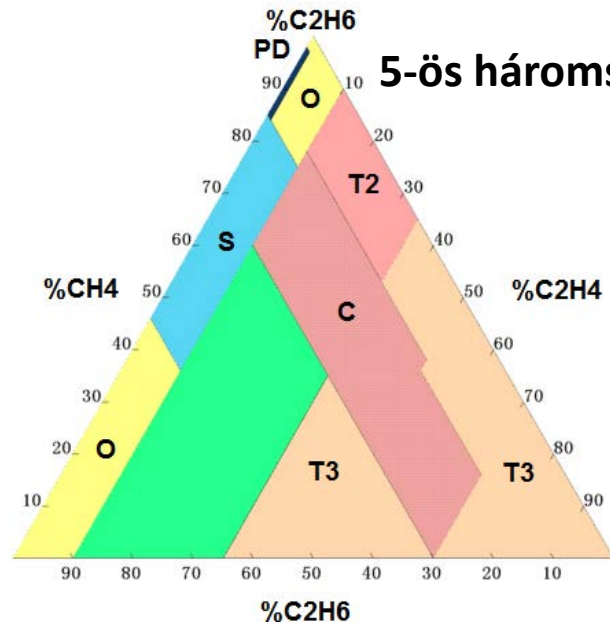
DT: Discharge or Thermal



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



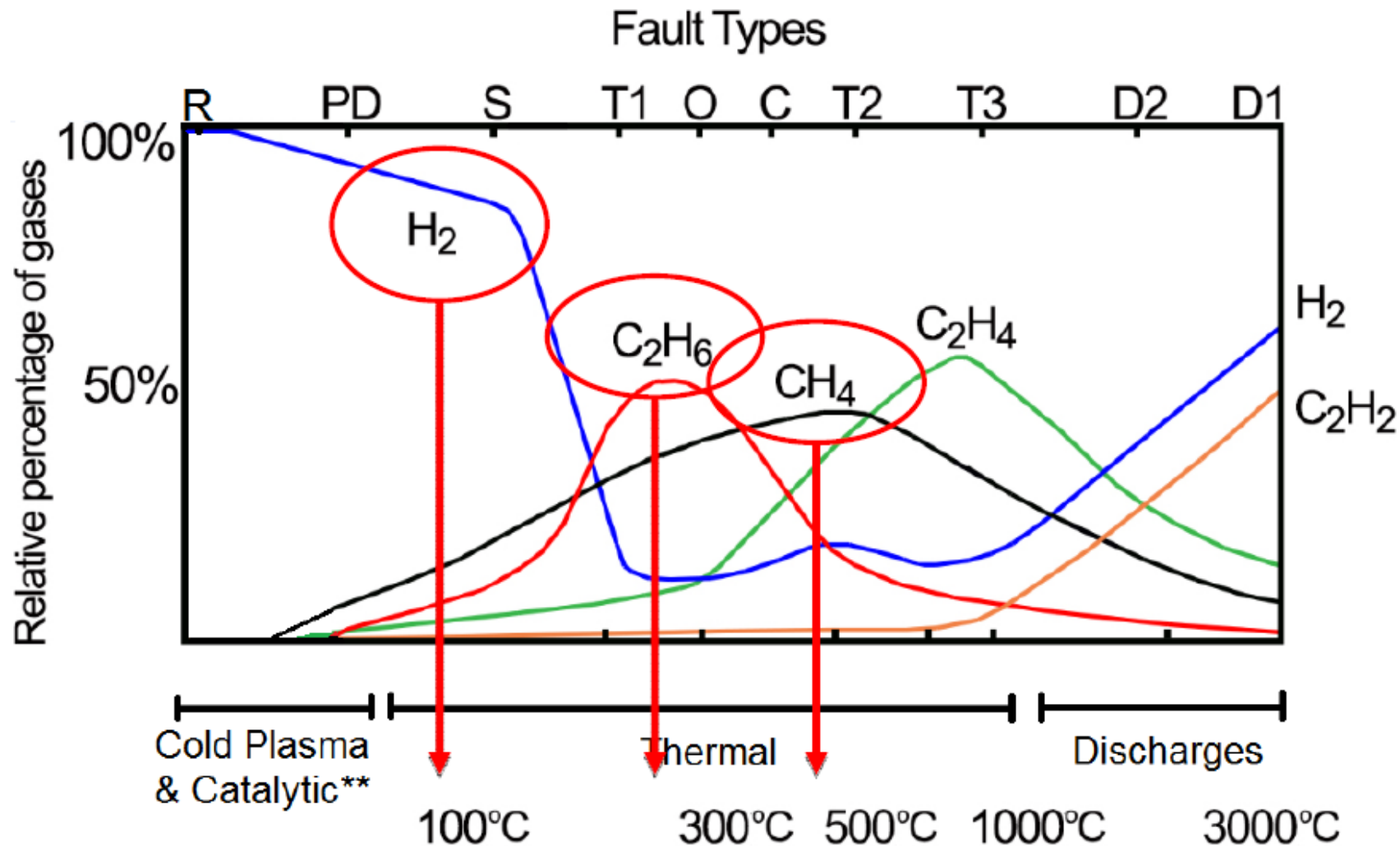
5-ös háromszög (<-Triangle 1: T2, T3)



Duval 2-es ötszög



„DUVAL 4 Δ”: Relatív gázképződés alacsony hőmérsékleten



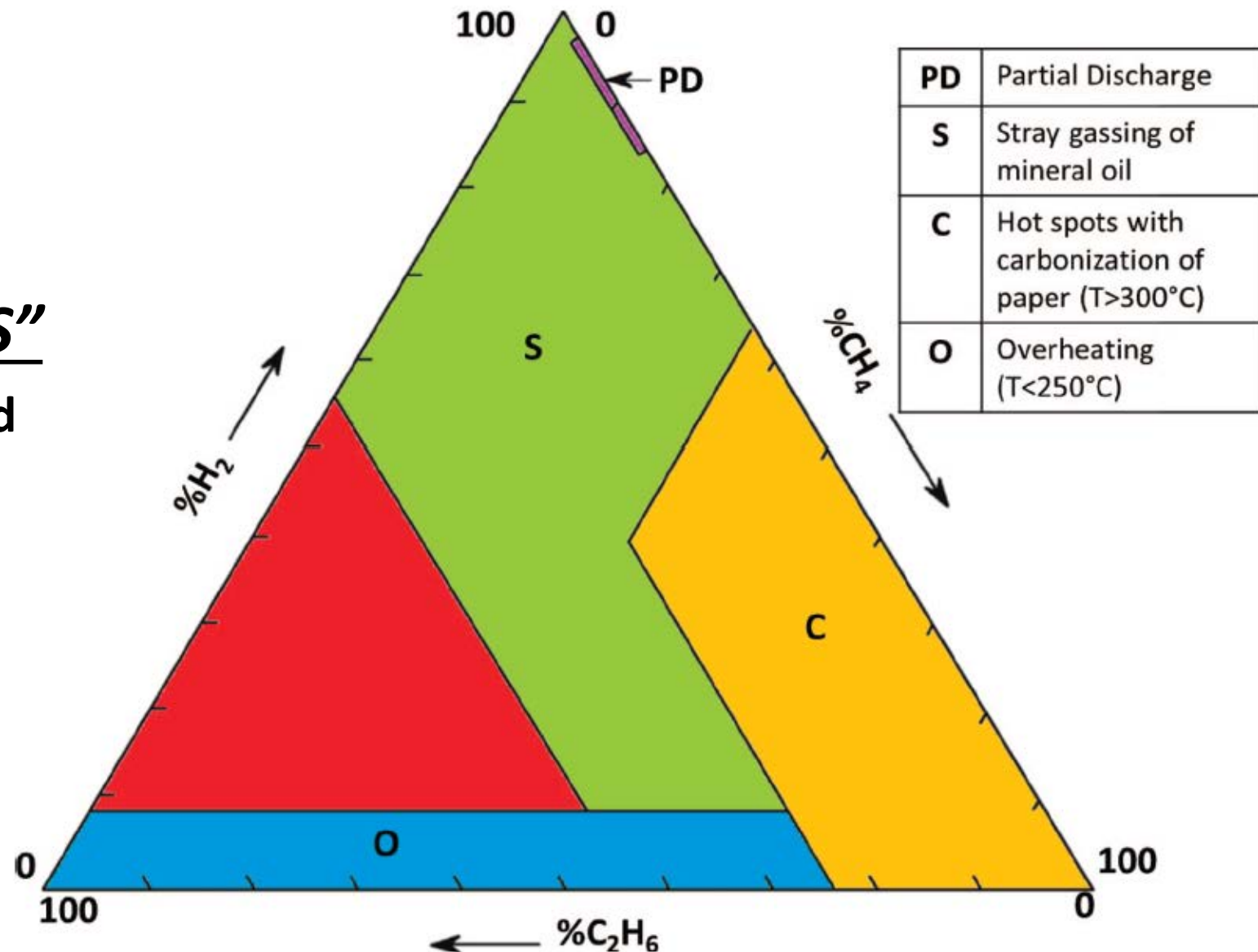
** Not related to temperature



Duval 4 háromszög

Jelentős terület az „S”

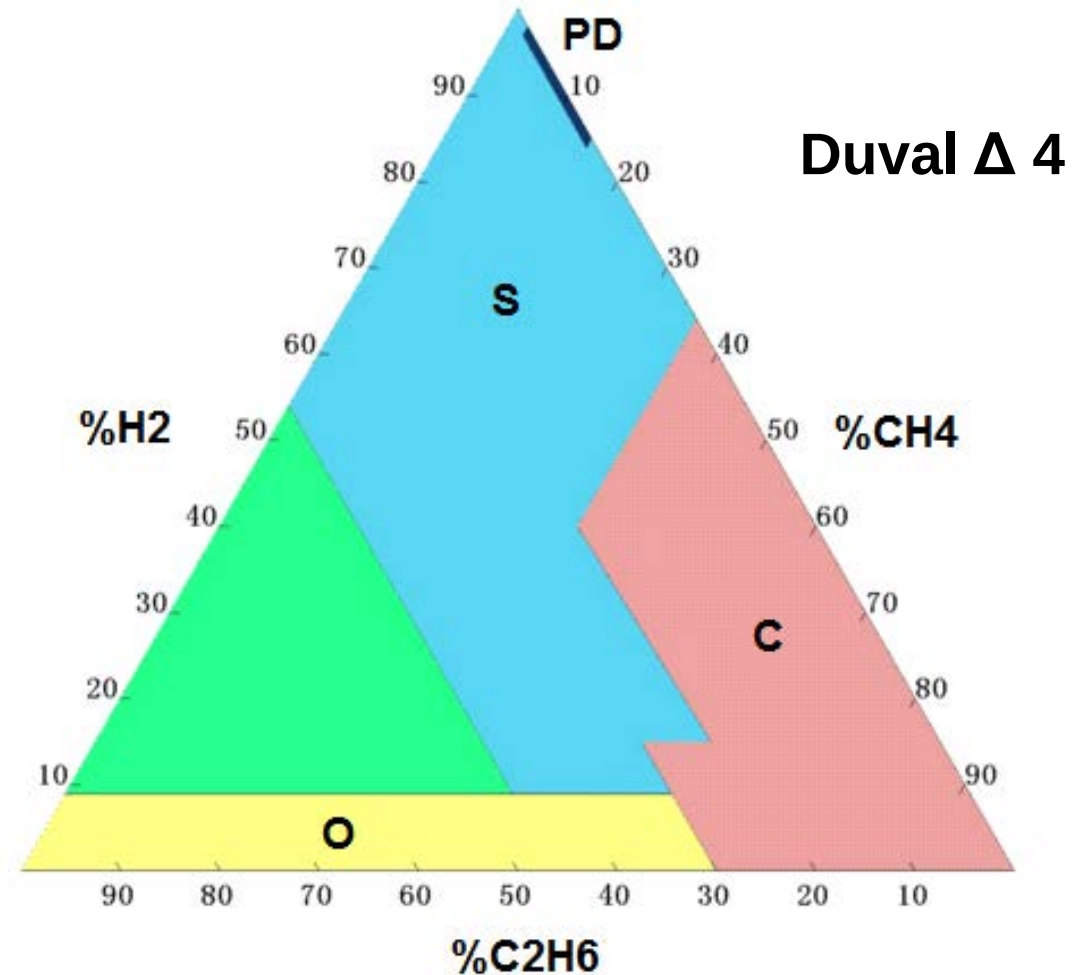
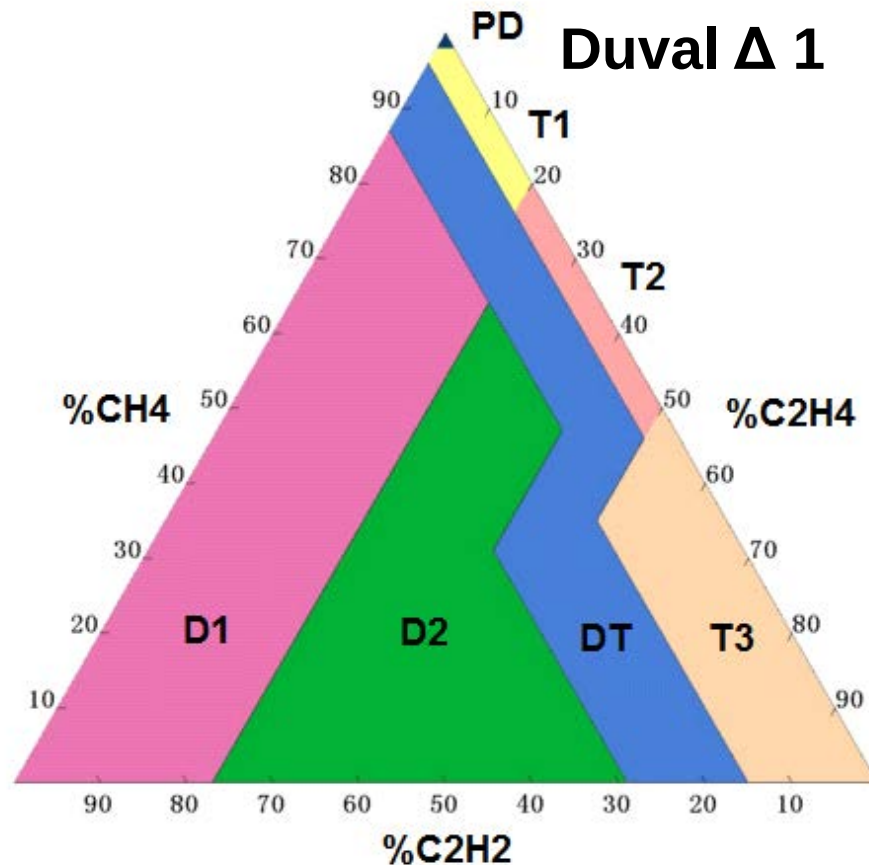
Píros: ND= not determined





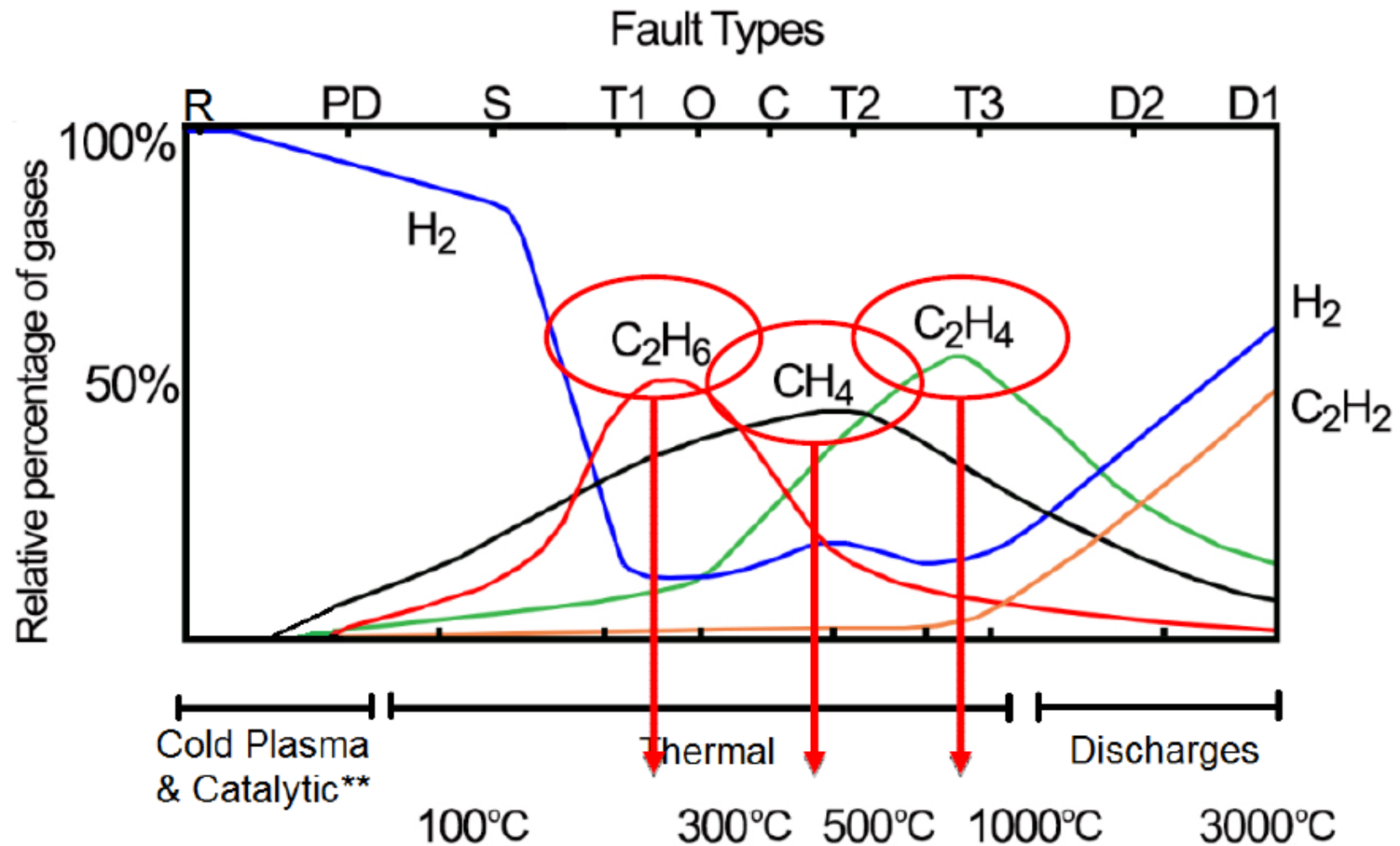
Duval 4 Δ : 1 Duval 1 Δ : T1, T2, PD esetén

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





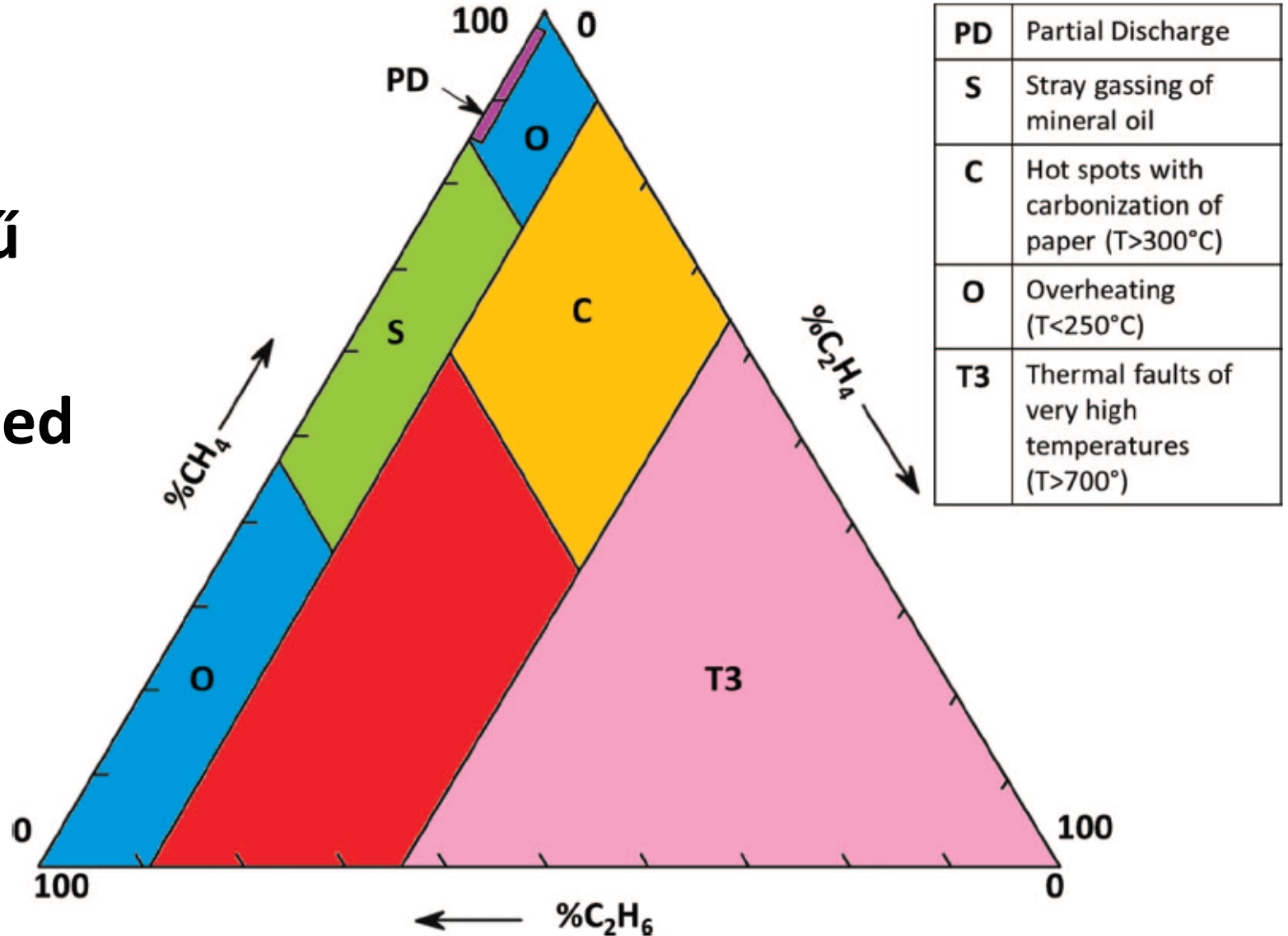
„DUVAL 5 Δ”: Relatív gázképződés közepes hőmérsékleten



** Not related to temperature

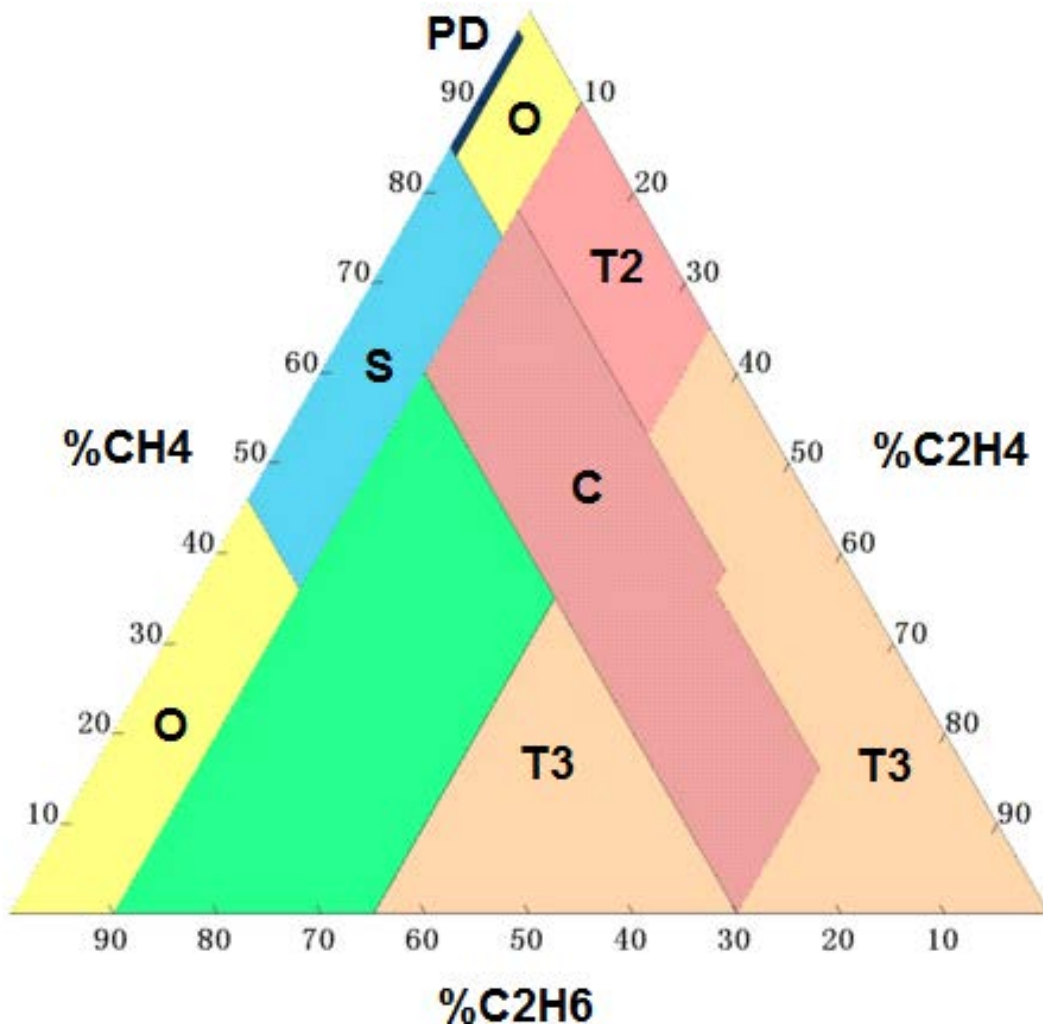


Duval 5 háromszög:
alacsony hőmérsékletű
hiba: „S” kis terület!
Píros: ND= not determined





Duval Δ 5



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

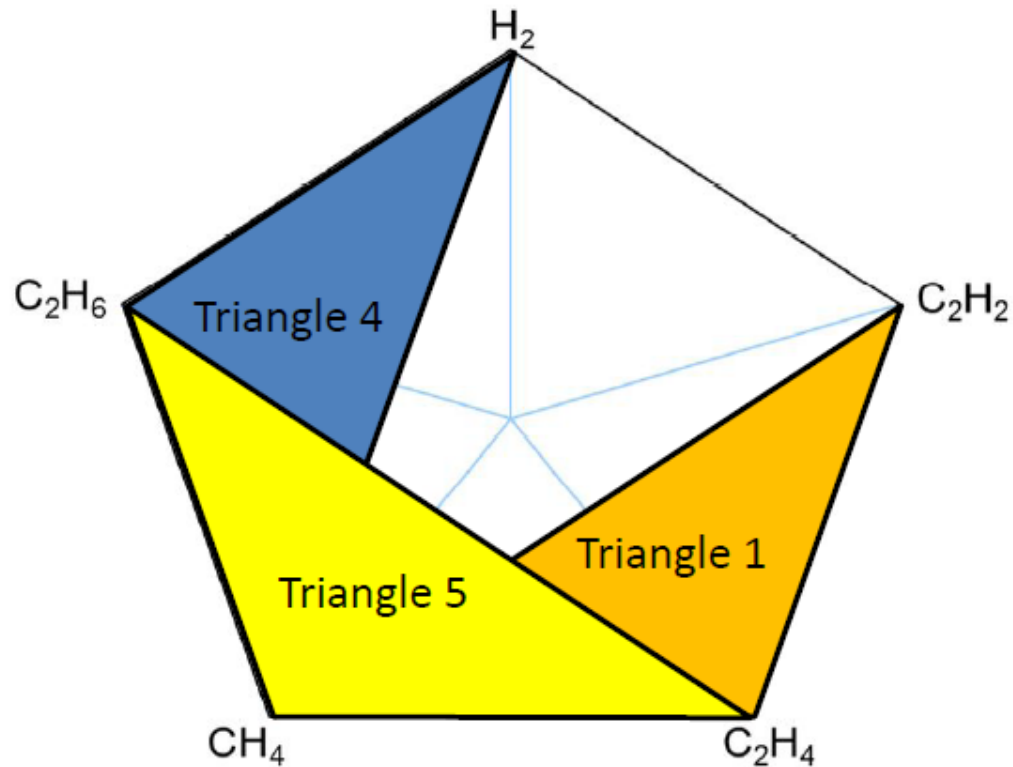
Duval Δ 5: ha Duval Δ 1 T1 vagy T2-t jelez, akkor jöhet a Duval Δ 5-es és pontosítani lehet: Duval 1 Δ + CH₄, C₂H₆, C₂H₄: azonosítható az „0=overheating <250 °)”, „S=stray gassing <200C°”, „C=szenesedés>300°C”, ill. megerősíthető T2 és T3, a stray (szórt, szórvány) gáz, melegedés, szenesedés.

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



Duval Pentagon 1: klasszikus, 3 villamos, 3 termikus hiba: Duval $\Delta 1$, Duval $\Delta 4$ és Duval $\Delta 5$ kombinációja.

Duval Pentagon



Duval Pentagon 1: $H_2, C_2H_6, CH_4, C_2H_4, C_2H_2$.

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

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

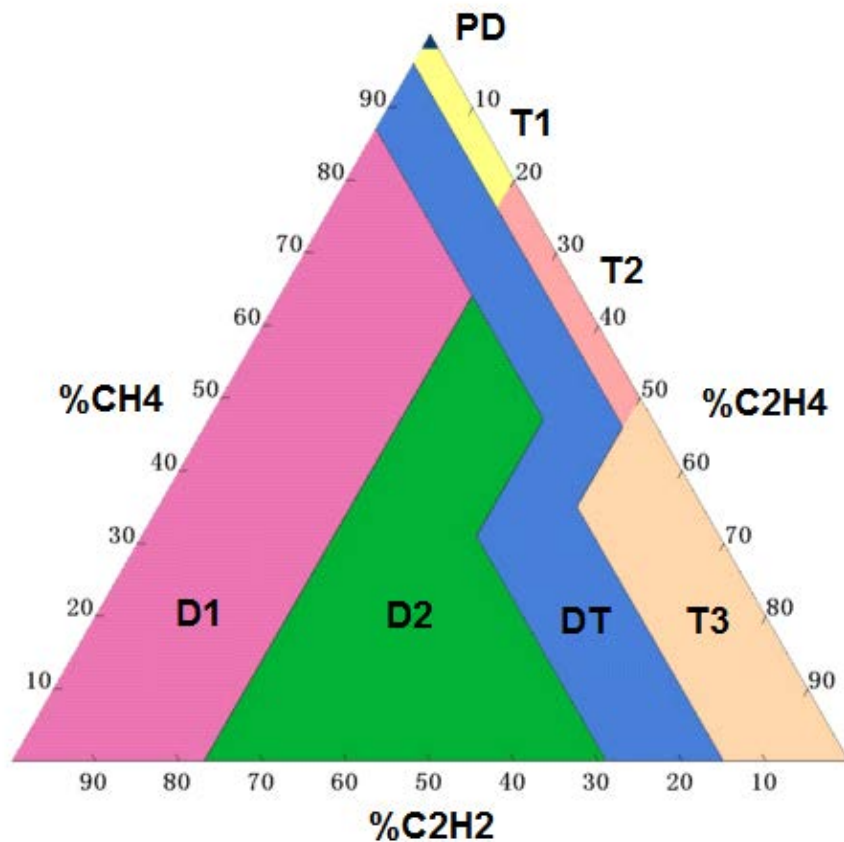
Duval $\Delta 4$: C_2H_6, CH_4, H_2

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

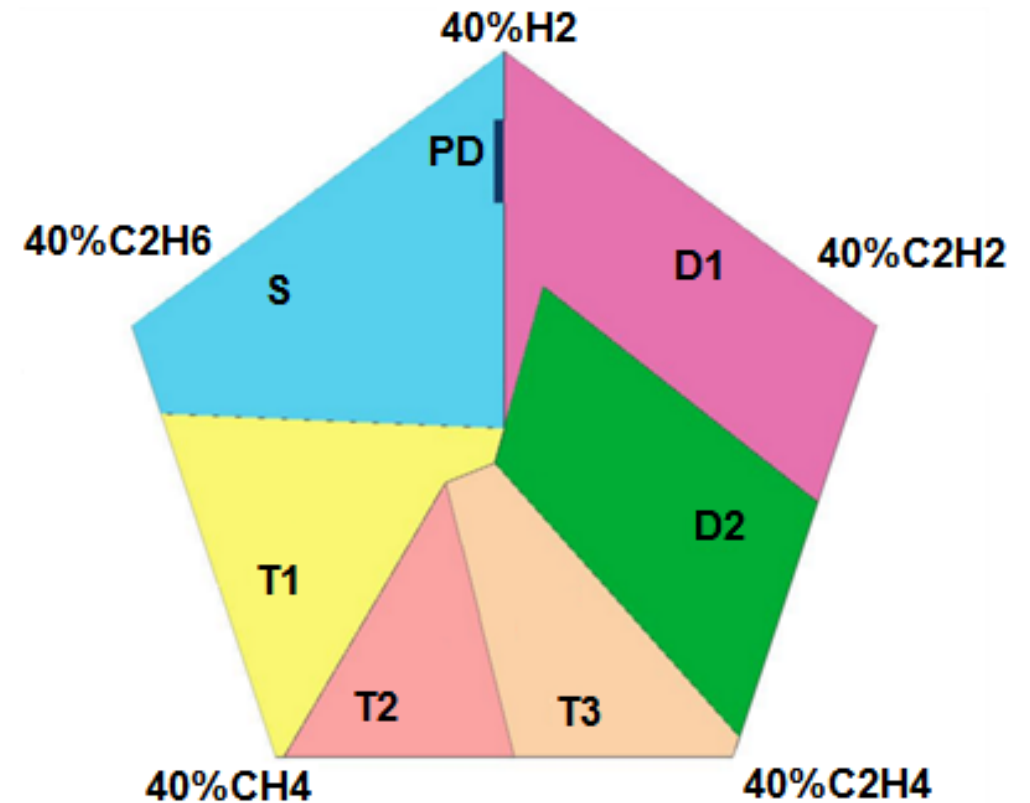


Duval Δ 1: metán, acetilén és etilén

Duval ötszög 1: metán, acetilén, etilén, + etán, hidrogén: van „S” terület



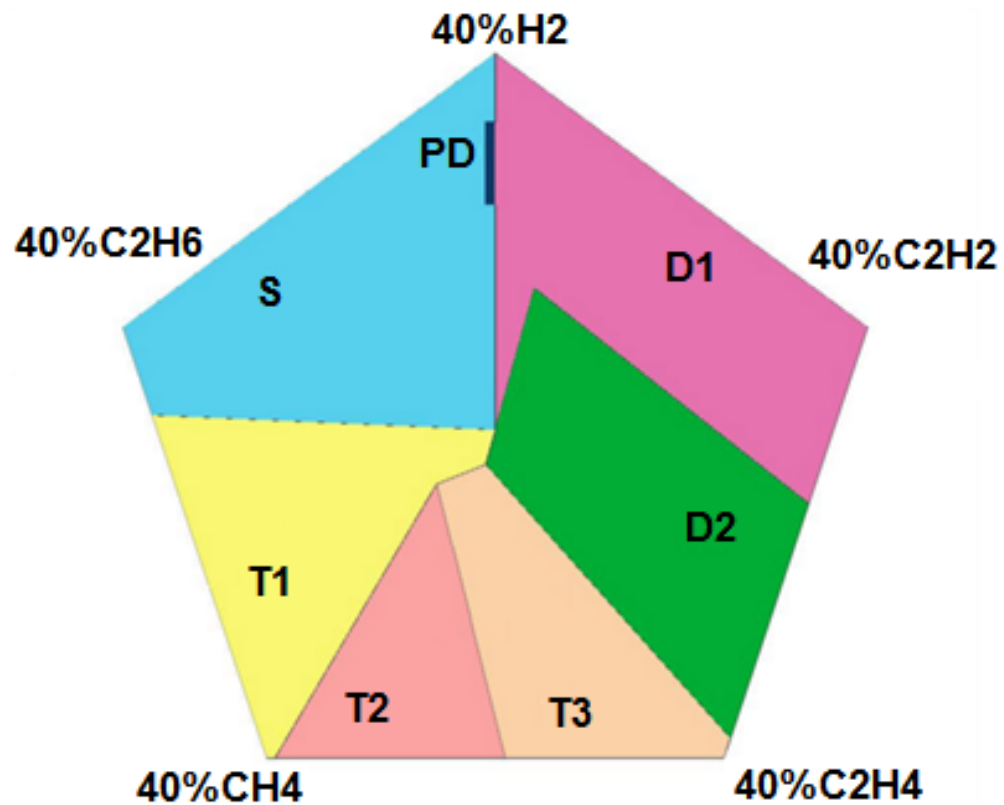
„DUVAL Duval Δ 1,



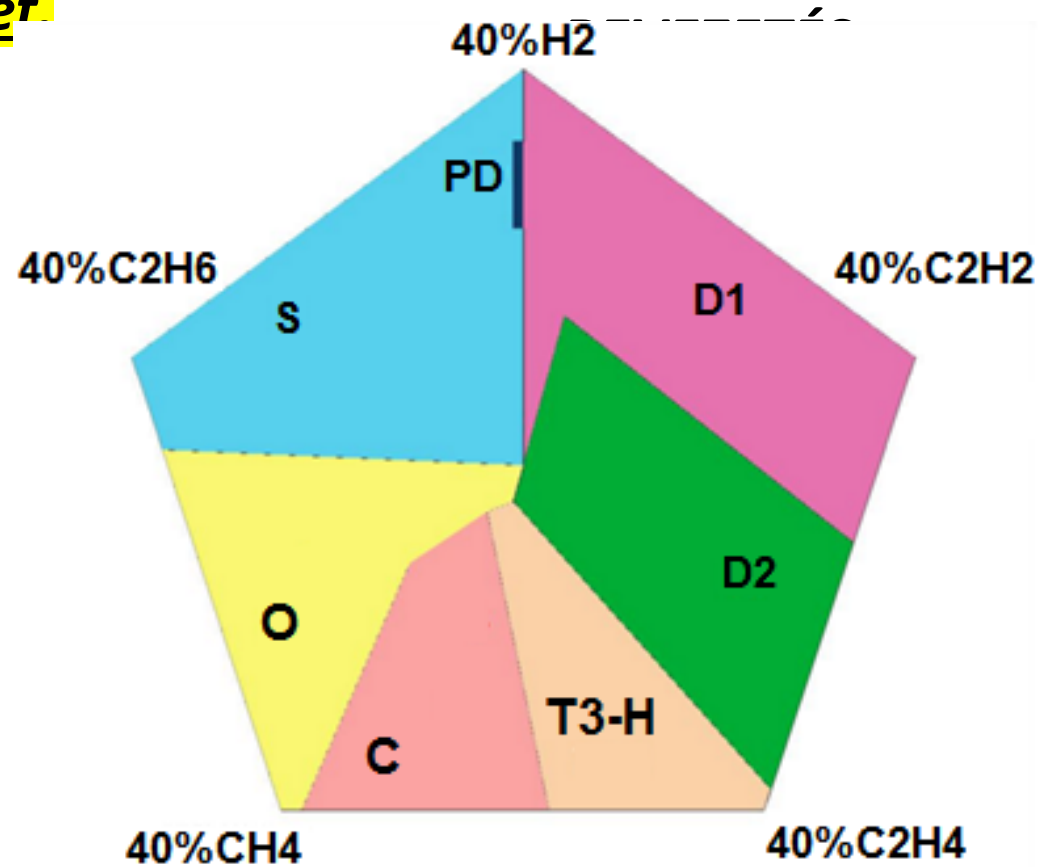
DUVAL ötszög 1



Duval Pentagon 1 és 2", modern és klasszikus hibazóna kijelölés: mindkét ötszögben van „S” terület



DUVAL ötszög 1



Duval ötszög 2



Duval 1, 4 és 5 háromszögek használata: nő a diagnosztika megbízhatósága

VAISALA 07:19 DGA Diagnostics

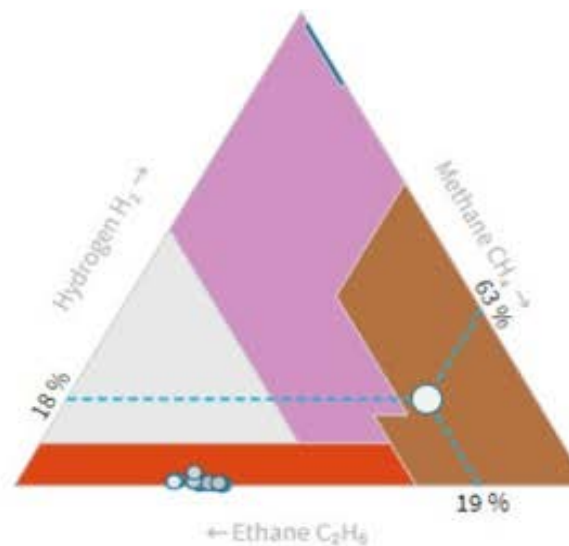
Measuring Alerts Help User

Duval Triangle 1



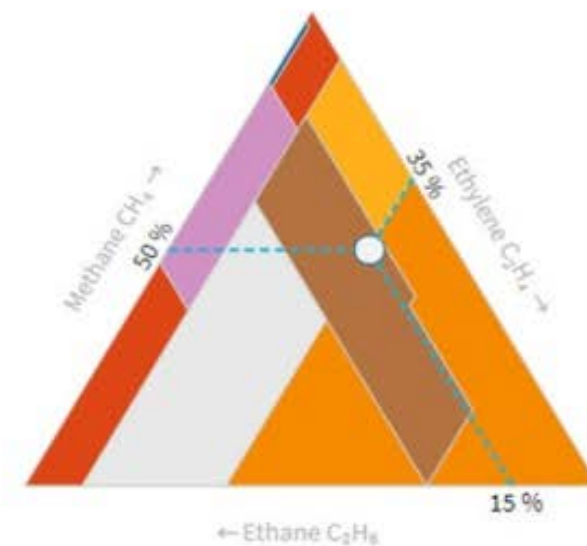
- T1: Thermal fault < 300 °C
- T2: Thermal fault 300..700 °C
- T3: Thermal fault > 700 °C
- DT: Thermal and electrical fault
- D1: Discharges of low energy
- D2: Discharges of high energy
- PD: Partial discharges (corona)

Duval Triangle 4

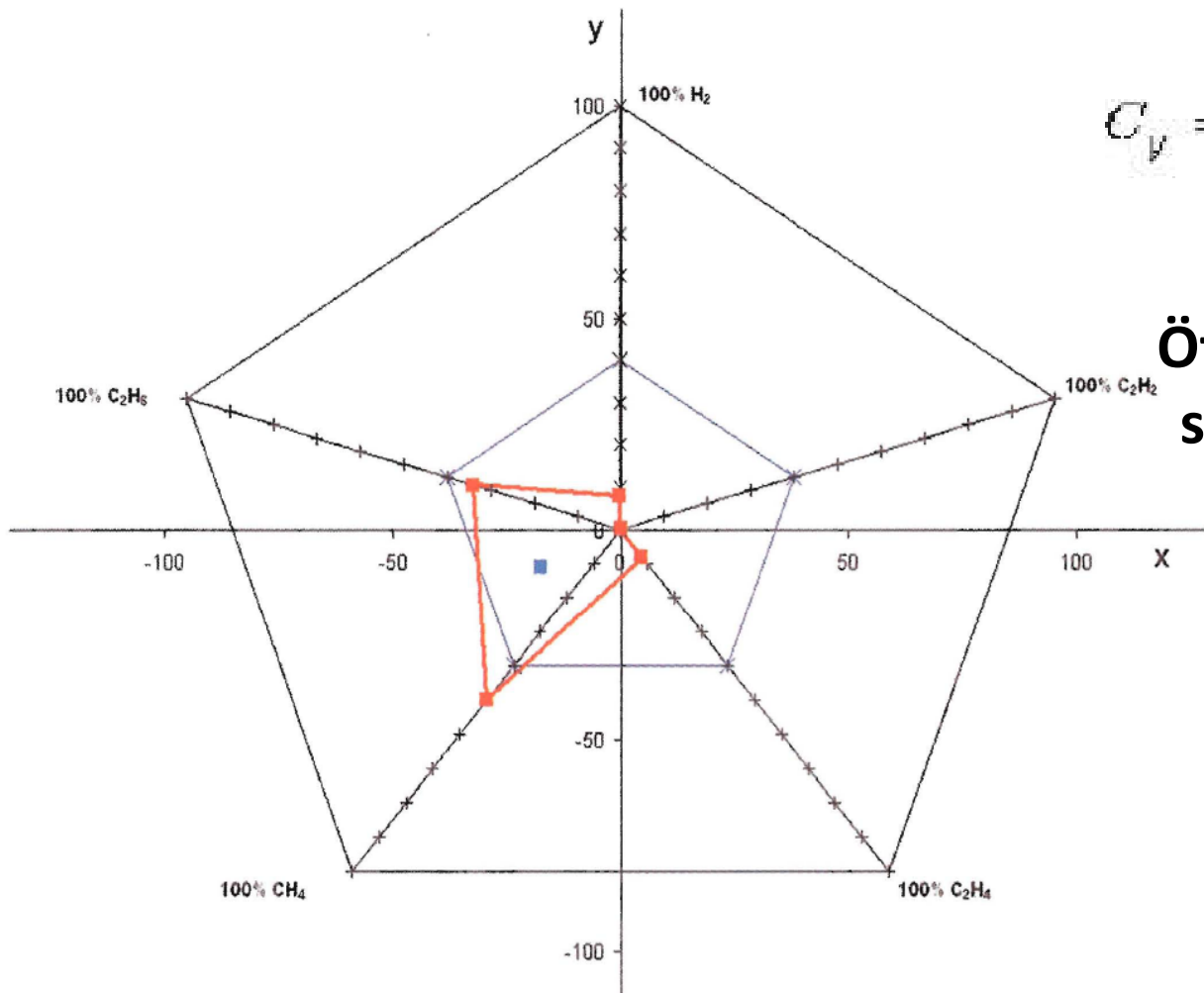


- O: Overheating
- C: Carbonization of paper
- S: Stray gassing of oil
- PD: Partial discharges (corona)
- Not determined

Duval Triangle 5



- T2: Thermal fault 300..700 °C
- T3: Thermal fault > 700 °C
- O: Overheating
- C: Carbonization of paper
- S: Stray gassing of oil
- PD: Partial discharges (corona)
- Not determined



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

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

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



Összefoglalás: DUVAL Duval Δ -ek és Pentagon 1-2 használata

- Mindkét Pentagon használható egyedül és együtt is a Duval $\Delta 1$, $\Delta 4$ és $\Delta 5$ -el együtt, hogy még pontosabb információt szerezzünk a hibákról.
- Duval $\Delta 4$ és $\Delta 5$ a papír elszenesedéséről ad inkább információt, amely elég veszélyes hiba.
- Ha a Pentagon 1-2 és a Duval $\Delta 1$, $\Delta 4$ és $\Delta 5$ különböző hibát jelez, **az többszörös trafóhibát jelenthet.**
- Ez azért lehetséges, mert az egyes Duval diagnosztikák **különböző súlyozással vonatkoznak az egyes gázokra. Összehasonlítva azokat azonosíthatjuk a többszörös hibákat.**
- „S” és „T3” hibák esetén a Duval $\Delta 4$ érzékenyebb „S”-re a H₂ miatt, $\Delta 5$ T3-ra a C₂H₄ miatt, amíg a Pentagon a kettő közötti érzékenyséű.



Összefoglalás: DUVAL Duval Δ -ek és Pentagon 1-2 használata

- Ezekből a különböző HGA kiértékelésekből, kisenergiájú, alacsony hőmérsékletű hibára, a Duval 4 és Duval ötszög 2 módszer alkalmazható, azok már tartalmazzák a Stray Gas (S)-t is, mint egy hibazónát.
- Így megkülönböztethetők az S, O, PD hibák, amelyek bár kisebb jelentőséggel bírnak a trafóban, de fontosak lehetnek adott esetben.
- Ásványolajnál a kisenergiájú termikus hibára Duval háromszög 4, és Duval pentagon 2 módszer szolgál, és az S megkülönböztethető az O, PD-től.
- Duval 4 három gáza: H_2 , CH_4 , C_2H_6 , tehát ezekkel lehet jobb infót szerezni kisenergiájú, alacsony hőmérsékletű hibákra.
- Pentagon2 öt gázt használ: : H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , C_2H_6



A Duval 1, 4 és 5 háromszöggel, valamint Pentagon 1 és 2-vel beazonosított hibák és igénybevételek definíciói (10 hiba)

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



CIGRE Session 2022, Paris: Paper ID-10609: Irina **DAVIDENKO**, Kosntantin **OVCHINNIKO**, Marina **VLADIMIROVA** Russia): **Universal method for assessing oil-filled equipment based on the results of DGA**

Az „SG” témakörben azért kerül rövid megemlítésre, mert a szerzők szerint SG esetén jobb, mint a Duval diagnosztika: Röviden a főbb megállapításokról:

- A szerzők **2022-ben** bemutatott tanulmánya **2016-ban** bevezetett új HGA módszerről szól.
- **Nemcsak trafókra**, hanem mérőváltókra, sönfojtókra, nagyfeszültségű átvezetőkre használható.
- Nagyszámú valós trafón lett kipróbálva, nem volt **„nem diagnosztizálható” eset.**
- **A módszer figyelembe veszi:** a trafók konstrukcióját, öregedés előrehaladottságát, üzemi életét.
- **PD és kis intenzitású melegedésnél jobb, mint a Duval háromszög.**
- **Két új hibafajtát vezet be:**
 - villamos és termikus hiba amikor a **villamos hiba dominál**
 - Villamos és termikus hiba, amikor a **termikus hiba dominál.**



Hagyományos HGA áttekintések: 2025-ös „aktualitások”



Miért szükséges a HGA diagnosztika folyamatos napirenden tartása?

- Új eredmények **szabványosítása viszonylag gyors**, de olyan mértékű a szabványokon kívüli HGA információ, **hogy csak szabványok alapján nehéz hatékony HGA diagnosztikát csinálni.**
- Óriási szakirodalmi megjelenés, gyártók is folyamatosan publikálnak, **nehéz a HGA diagnosztika területén a „tudás követés és az eligazodás”, érdemes az állandó „tréning”.**
- **Számos HGA kiértékelésről tudunk**, amelyek „hatályos, ill. nem hatályos szabványokban (IEC, IEEE, MSZ, stb.) található”, de még **mint műszaki infók mind „hatályosak, hasznosak”.**
- De rengeteg olyan HGA infó van, amelyek **csak szakirodalomban tettek közzé**, vagy csak gyártók által került saját „szakértői rendszerük” kiadásra, ilyenkor általában „előnyökről” van szó. A CIGRE tanulmányok elég objektívek ezen a területen!
- HGA-ra **számos becslési algoritmus került kifejlesztésre, egy-egy** módszernél azonban van amikor csak a **lehetőségekről (előnyökről)** esik szó, de a hátrányokról, a végeredményt befolyásoló **tényezőket kevésbé „tudatosítják” a felhasználókkal.**
- Általánosan elmondható, hogy mindegyik HGA módszernek van **előnye és hátránya (CIGRE).**



- Van olyan eset, amikor az egyik HGA diagnosztika kis pontossággal, amíg egy másik nagyobb pontossággal **jelzi a hibát.**
- Jó tudni, hogy egy **új szabvány nem írja felül a régit**, a már „nem hatályost”. Tehát az új szabványok megjelenésével a régi **„nem hatályos” szabványok nem „kidobandók”**, még **jelentős műszaki értékkel bírnak (MSZ 352!!!), párhuzamosan használhatók.**
- Az egyes HGA technikákban **sok a közös, de sokszor jelentős eltérés**, de mindegyik különbözik egy kicsit a másiktól, **nem könnyű áttekinteni a tulajdonságaikat, nem árt a segítség a felhasználóknak.**
- Általánosan megállapítható, hogy a hatékony HGA diagnosztikához, minél több alapismeretre van szükségünk, nem elég „egy” szabvány merev követése.
- Az előadásaink célja: évente egy-egy terület részletesebb áttekintése, amelyek ismeretével hatékonyabbá tehetjük HGA diagnosztikánkat.
- Átlag felhasználónak „**10-100 saját trafós**” tapasztalata van, de egy nagy, nemzetközi adatbázis rendelkezésre állásából levonható ismeret megkönnyítheti a kiértékeléseket.



- A trafó egy **drága** berendezés, **nagyon komplex** egység, az olaj-papíros szigetelés egy nagyon összetett szerves anyagokból álló rendszer, a *hálózat többi berendezéséhez képest jóval kifinomultabb diagnosztikát igényel.*
- A megfelelő diagnosztikához **kompetens és gyakorlott szakemberek** szükségesek.
- A specialistának nemcsak HGA ismeretekkel kell rendelkeznie, *ismerni kell a rendszer teljes felépítését, belső tulajdonságokat, üzemi viszonyokat, az egység üzemi múltját, gyári átvételi mérések eredményeit, stb.*
- Bár HGA kiértékelést végzünk, azért ismerni kell a többi diagnosztika eredményt, *ismerni kell az egymásra hatásokat, stb.*
- A specialista különböző *HGA kiértékelések párhuzamba állításával, összevetésével, a konfliktusok feloldásával tud felülkerekedni a nehézségeken.*
- Korlátozott alapismeretek birtokában, ill. inkorrekt adat esetén, *hibás kiértékelés születhet.*
- A „hosszabb bevezetés” után a mai „rövid előadás” hosszabb változata a „DIAGNOSTICS” honlapján lesz elérhető.



Kiemelések a fontosabb „általános” HGA alapismeretekből

2025-ös „HGA konferencia tréning”



Az előadás főbb szakirodalmi forrásai

1. **CIGRE TB 296-2006:** Recent developments in DGA interpretation
2. **CIGRE TB 409-2010:** Report on Gas Monitors for Oil-Filled Electrical Equipment
3. **CIGRE TB 771-2019:** Advances in DGA interpretation (WG D1/A2)
4. **CIGRE TB 783-2019:** DGA monitoring systems
5. **IEEE C57.104-2019:** IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers.
6. **IEC 60599:2015:** Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.
7. **ISH 2019-BUDAPEST:** Advances in DGA interpretation & DGA monitoring systems, Jerzy Buchacz, Michel Duval CIGRE WG D1/A2.47
8. **CIGRE Session-Paris 2020-D1-210: 2024-D1-10513: CIGRE Symposium Muscat-2023: A2-1756**
9. **CIGRE Session Paris 2022-D1-10609 (I. Davidenko, K. Ovchinnikov (új HGA adat kiértékelés)**

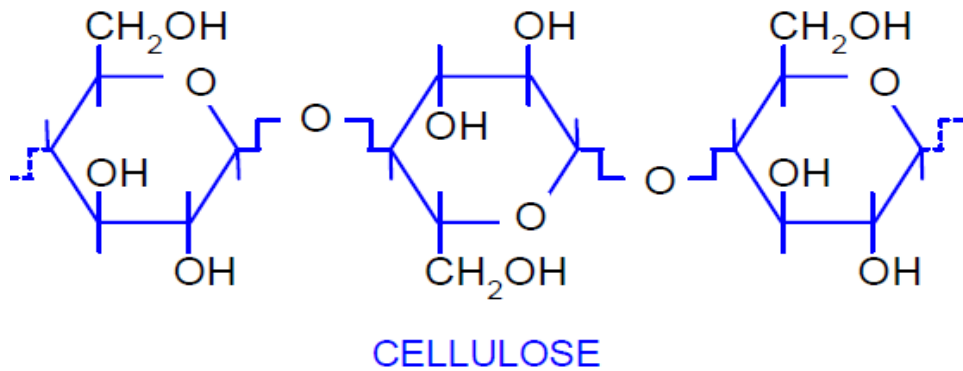
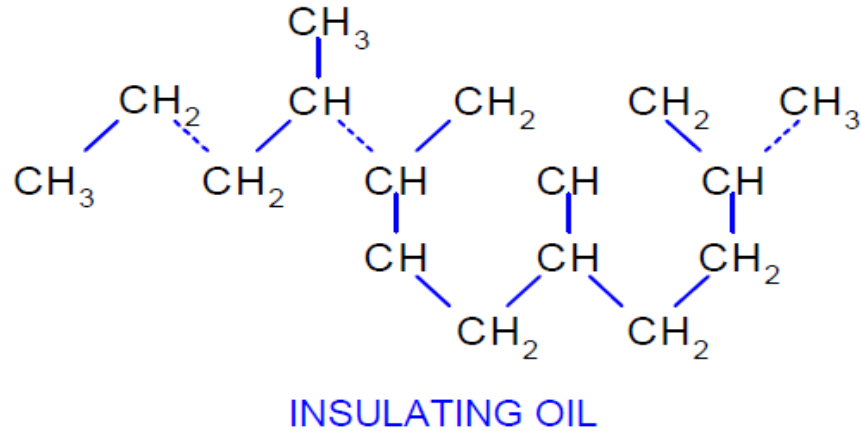


Kiemelések a fontosabb HGA alapismeretekből – 2025

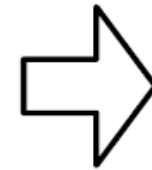
- **Mi is a HGA? Hiba Gáz Analízis:** az angol kifejezés „találóbbs: DGA: Dissolved Gas (in oil) Analysis
- **Honnan vannak gázok az olajban:** a villamos szigetelés (olaj, papír) bomlásából származnak meghibásodás okozta kémiai reakciók következtében.
- **Olaj** szénhidrogén molekulái **H-t és C-t** tartalmaznak, a **papír cellulóz** molekulákat, amelyek H és C mellett „**O-t**” is tartalmazó kémiai kötéssel kapcsolódnak egymáshoz.
- **Termikus, villamos és oxidációs igénybevételektől gázok keletkeznek**, új struktúrák jönnek létre, számos bomlásterméssel.
- A keletkező gázokat a „termikus, villamos és oxidációs” „túligénybevételeken” kívül **számos paraméter befolyásolja: ha gyakorlatlanok vagyunk, romlik a HGA diagnosztika pontossága.**
- Ha ismerjük jól az alapvető folyamatokat, akkor tudhatjuk azt is, hogy az adat megbízható-e vagy nem (hihetőség?), vagy hogyan lehet „javítani” az adatot?



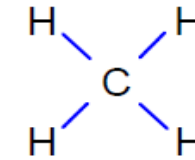
Nagyon fontos az olaj/papír külső behatásra történő bomlása: az olaj szénhidrogén molekulái H-t és C-t tartalmaznak, a cellulóz még O₂-t is (H, C, O). A bekövetkező változások rendkívül összetettek.



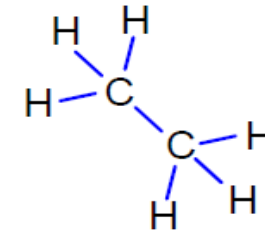
Arcing
Overheating
Surface discharge
Circulating current



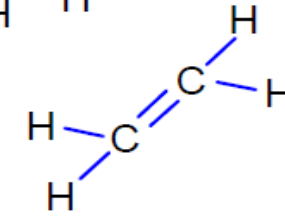
HYDROGEN



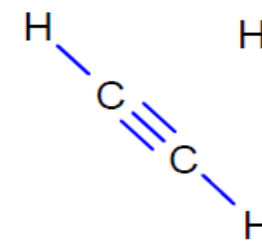
METHANE



ETHANE



ETHYLENE



ACETYLENE



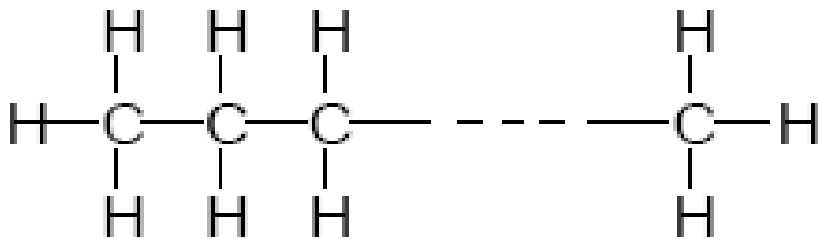
CARBON MONOXYDE



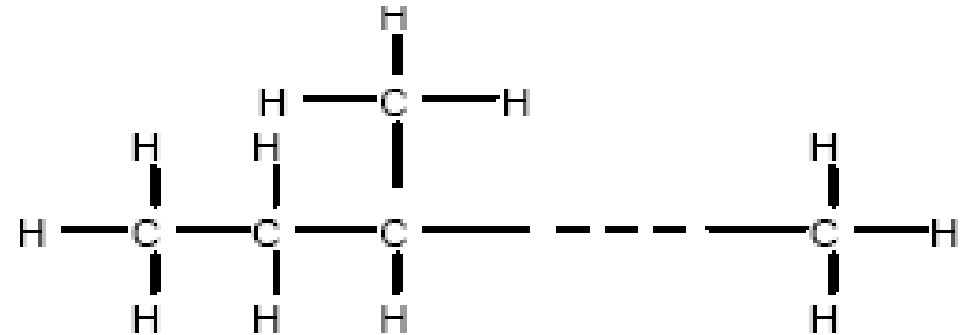
Kérdés: figyelembe kell-e venni a „bázisolajok” tulajdonságait a HGA diagnosztikánál?

A trafóolajok tulajdonságát (fizikai, kémia, villamos, stb.) főleg az őket alkotó szénhidrogéncsoportok mennyisége, egymáshoz viszonyított aránya határozza meg.

Paraffinos származékok, $C_p\%$ (egyenes, vagy elágazó), vegyileg stabilisak, öregedés szempontjából ez jó tulajdonság, ezért gyakran használják.



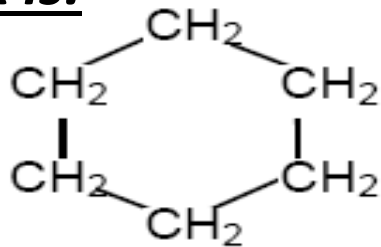
normal-paraffins



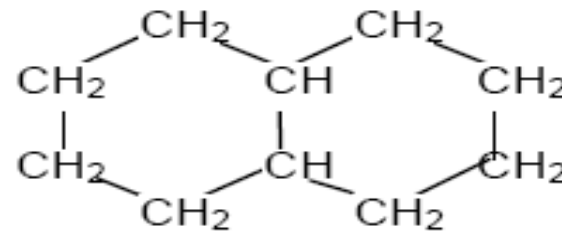
iso-paraffins



Nafténes származékok, $C_N\%$: telített (nincs kettőskötés) szénhidrogén, de nem egyenes, hanem gyűrűs szénláncú. **A telítetlen szénhidrogének jobban öregednek de vannak jó tulajdonságaik is.**

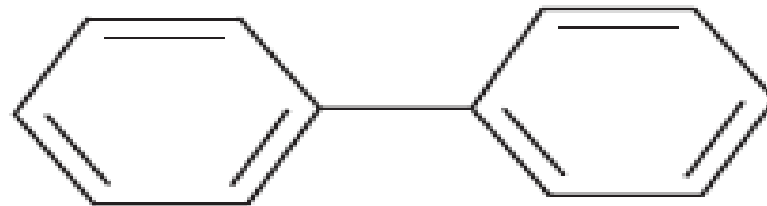
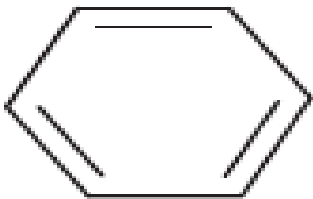


cyclohexane



decalin

Aromás származékok, ($C_A\%$): egy vagy több benzolgyűrűs szénhidrogén oldalláncokkal: gyűrűben szénatomok között három egyszeres, három kettős kötés.





„Parafinos, vegyes és nafténes” jellegű trafóolajok tipikus parafin, naftén és aromás tartalma olajokként változik.

Table 1: Crude compositions

<i>Hydrocarbon type</i>	Crude type		
	Paraffinic	Mixed	Naphthenic
Paraffinic	60	40	20
Naphthenic	25	40	65
Aromatic	15	20	15



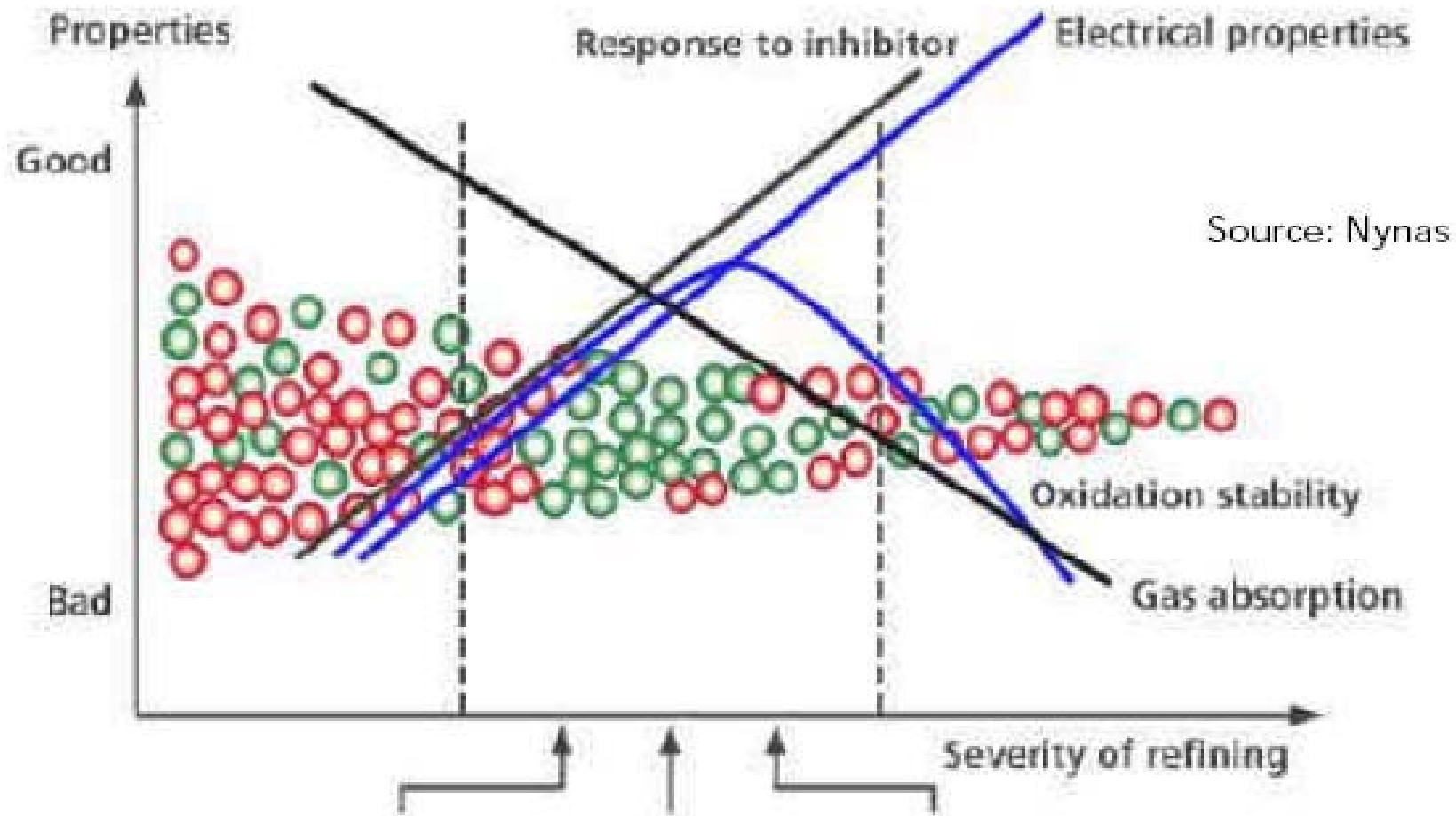
Néhány tipikus transzformátorolaj aromás, paraffinos és nafténes összetevője

Származékok/Olajtípusok	Technol US4000	TO40A	TO-35K
Aromás $C_A\%$,	7	8	14
Paraffinos ($C_P\%$)	56	55	50
Nafténes ($C_N\%$)	37	37	36

- Az **oxidációs stabilitására**, öregedési hajlamára bizonyos mértékig jellemző az **aromás kötésben résztvevő széntartalom ($C_A\%$)**. Ha $C_A\%$ 3-4%, akkor az olaj erősen finomított, ha **15-18%**, akkor kevésbé finomított az olaj, de ez utóbbinál nagyobb aromás tartamú trafóolaj nincs a kereskedelemben.
- **A transzformátorolajok szénhidrogén összetétele** (különböző típusú szénhidrogének egymáshoz viszonyított aránya) az alap kőolaj típusától, a kiindulási párlat forrásponttartományától, **a finomítás módjától és mélységétől, stb. függően változik.**



Trafóolaj finomításának különböző fokozatai: finomítás fokától függően változik az olaj összetétele, így változnak az olaj bomlástermékei is.





- **Az aromások egy vagy több benzolgyűrűből** álló szénhidrogének, amelyek a különböző oldalláncokkal kombinálva fordulnak elő. A benzol gyűrűkben a szénatomok között **három egyszeres és három kettős kötést van.** **A telítetlenek jobban öregednek, mint a telítettek.**
- **A parafinos olajokban termikus stressz hatására kisebb a telített gázok keletkezése.** A parafinos alapú olaj gázosodása más jellegű **termikus igénybevételnél (pl. 160 foknál), mint a nafténes olaj**
- **Inhibitorok hiányában főleg aromás olajokkal** voltak HGA eredmények, jöttek az inhibitorok, elkezdték használni a más jellegűeket, **akkor újabb diagnosztikai eredmények születtek.**
- Tehát, az ásványolaj különböző **szénhidrogén** molekulákból áll, amelyek **CH₃, CH₂ és CH** kémiai csoportokra oszthatók amelyek szén-szén, szén-hidrogén molekulakötésekkel csatlakoznak egymáshoz.



- A termikus és villamos igénybevételek miatt **számos C-H és C-C közbenső (nem végleges, nem stabil, nem egyensúlyban lévő, ionos és gyök) termékek keletkeznek.**
- **Ilyen nem stabil töredékrészek lehetnek:** C, H, CH₃, CH₂, vagy CH amelyek gyorsan reakcióba lépnek és az alábbi gázmolekulák keletkezhetnek:
- **Hidrogén:** H-H, **Metán:** CH₃-H, **Etán:** CH₃-CH₃, **Etilén:** CH₂=CH₂, **Acetilén:** CH=CH.
- Persze **van más rekombinációs termék**, mint pl. C₃ és C₄ gázok, és még szilárd szén és szénhidrogén (X-wax) részecskék. **Olaj oxidációjából is képződik kis mennyiségű CO és CO₂.**
- **A szilárd cellulóz szigetelés tartalmaz gyenge C-O kötést, amely gyengébb, nem olyan stabil, mint az olajkötések, ezért alacsonyabb hőmérsékleten bomlanak.**
- **Papírnál tipikusan CO, CO₂ és H₂O a bomlástermékek jóval nagyobb mennyiségben, mint az olaj oxidációból ugyanazon hőmérsékleten,** és még kismennyiségben furán származékok és szénhidrogéngázok.



- **Tehát a „bázisolajok” különböző összetételűek**, így a hibák hatására belőlük keletkező gázok is eltérhetnek. Ezért nem „elvetendő” egy régi HGA módszer, nem rossz, csak más olajra lett kifejlesztve (lásd, régen „aromásabbak” voltak a bázisolajok).
- Inhibitor esetén nagyobb CO, CO₂ és H₂ képződik (lásd „stray gas” alfejezeteket is).
- **Jelen előadásban nem beszélünk az egyéb szigetelő folyadékokról (pl. az észterekről), de jó tudni, hogy jelentősebb az eltérés észter-ásványolaj között, mint az ásványolajok egymás között.**
- **Röviden összefoglalva az előzőket:** a pl. a „bázisolajok” rövid áttekintése is jelzi, hogy milyen szükséges a hatékony HGA diagnosztikához az alapismeretek mélyebb elsajátítása.
- **Számos becslési algoritmus került kifejlesztésre, amelyek vagy szabványban, vagy szakirodalmi tanulmányokban jelent meg.**
- **Az egyes HGA kiértékelések általában különböző évjáratúak, de nem feltétlen egyik a másik továbbfejlesztése, nem feltétlenül azonos adatbázison alapulnak.**



Láttuk, hogy a „bázisolaj” különbözőségét is figyelembe kell venni egy jó HGA kiértékeléseknél, ezenkívül az alábbi „eltérésekre” is figyelni kell:

- Ásványolaj vagy észter
- Olajlezárási rendszer (lélegző vagy zárt...)
- Üzemben eltöltött idő, a múlt történései (olajkezelés, felújítás, stb.)
- Feszültségszint,
- Teljesítmény,
- Hűtési rendszer,
- Fokozatkapcsoló alkalmazása, típusa, stb.
- Szigetelés típusa (trafó, áramváltó, feszváltó, fojtó, stb.).
- De lehetséges gázforrások még a rozsdásodás, védőfestések, stb.



HGA kiértékeléseket „párhuzamos” alkalmazása

Rövid áttekintés - 2025



Milyen kiértékelési rendszerek állnak rendelkezésre? Főbb HGA technikák

- Dörnenburg Ratios: 1967, 1970,
- Rogers Ratios, R.R. Rogers, 1975
- Key Gas Method: David Pugh, 1974
- Duval háromszög: Michel Duval, Duval ötszögek
- Trafó „újlennyomatok”
- IEEE C57.104, határértékek, trendek, összes éghető,
- IEC 60599
- CIGRE Session kiadványok
- CIGRE TB kiadványok: TB 296, 409, 771, 783
- MSZ 352 (1978-as IEC 60599 alapján)
- „Kétdimenziós” grafikus HGA kiértékelés (IEC 60599):
- „Háromdimenziós” grafikus HGA kiértékelés (IEC 60599):



- Évente **számtalan új dokumentum** jelenik meg a szabványok állandóan korszerűsödnek, tehát elengedhetetlen a **folyamatos tudásbővítés**.
- A régi, nem hatályos szabványok még jó műszaki dokumentumok, ajánlatos akár **5-10 diagnosztikát is alkalmazni** és az eredményeket „kritikai szemmel” összevetni, értékelni.
- Ismételten megjegyzendő: ehhez **ismerni kell az alapokat, részletesen a 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, nem könnyű az eligazodás: különböző dokumentumokban eltérő és ellentmondó határértékek találhatók.
- IEC, IEEE, CIGRE, stb. HGA szakértői **GUIDE-ok vannak forgalomban az állapot meghatározására**.

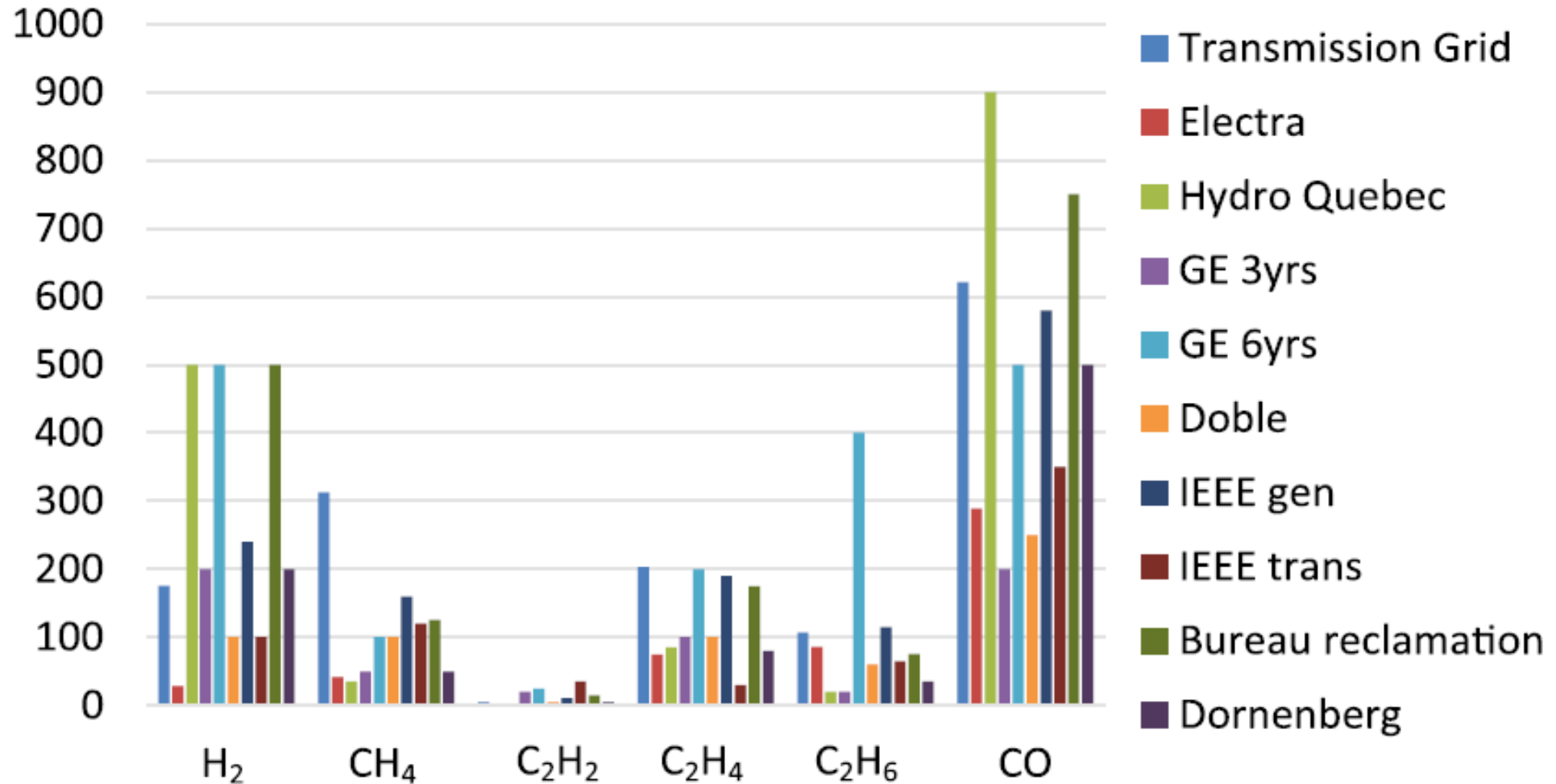


„Fejlődés” HGA rendszerekben

- 1960-as években R.R. Rogers és E. Doernenburg voltak az úttörők, **ők fektették le a HGA alapelveit**: adatot gyűjtöttek, megállapították a problémát, becsülték a súlyosságot, azonosították a probléma általános természetét.
- **50 év HGA gyakorlat alatt nagyot fejlődtek a számítógépek**, újra vizsgálták a trafók HGA viselkedéseit, amely lehetővé teszi, hogy egyre hatékonyabb HGA technika álljon rendelkezésre.
- A HGA diagnosztika **digitalizálása évek óta fontos trend** és számos megoldás került kifejlesztésre, ill. továbbra is töretlen a fejlesztés.
- Néhány szó a különböző kiértékelési rendszerekről:
- A **következő ábrán** a különböző „kiértékelési rendszerek” által megadott határértékek láthatók: **elég nagy különbségek figyelhetők meg.**



Különböző források különböző határértékeket adnak meg.

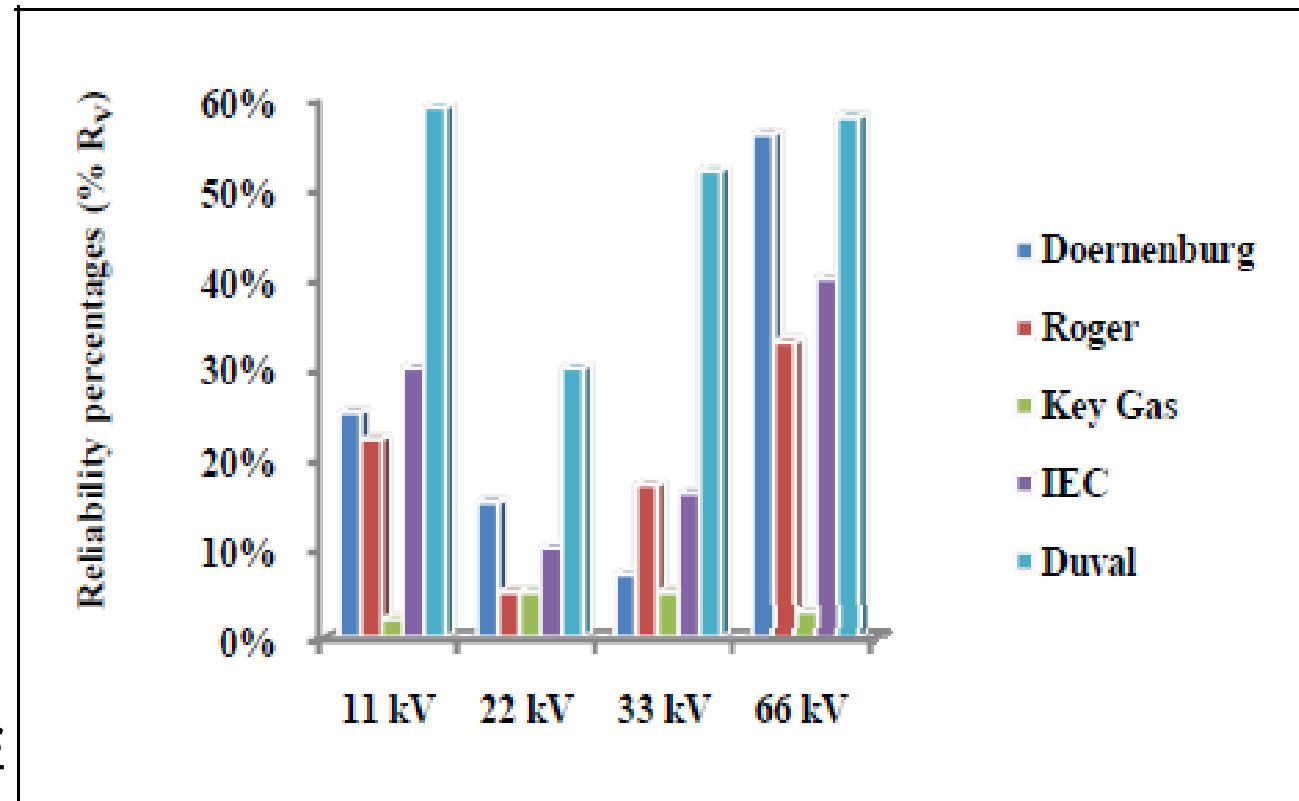




Ezen az ábrán egy másik kutatási munka eredményei látszanak. Itt különböző feszültség szintű trafókat vizsgáltak 5 fajta HGA technikával. Ezen az ábrán a HGA módszerek megbízhatóságának százalécai láthatók 4 feszültség szinten.

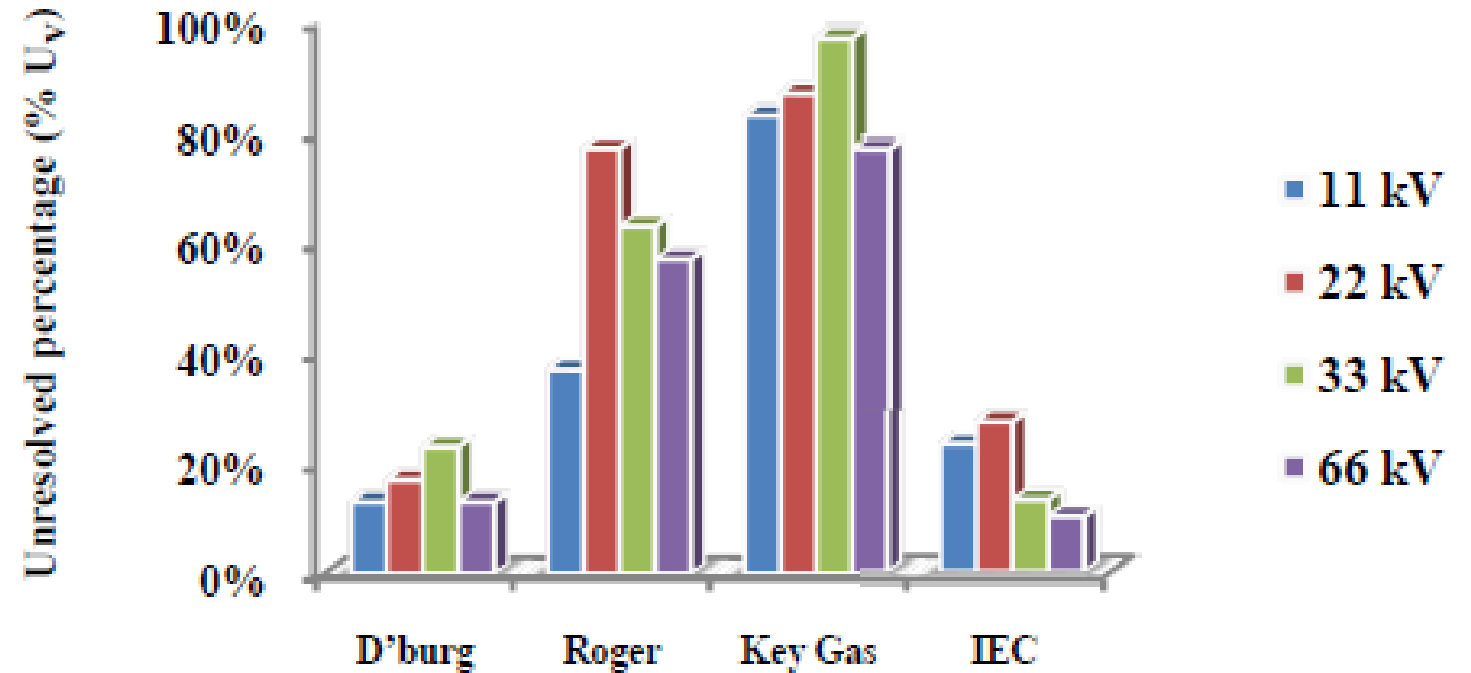
A módszerek más hatékonyságúak az egyes feszültségeken. A legkisebb megbízhatóság 22kV-on volt, a maximális 66kV-on.

Összesítve a Duval háromszög módszer volt a legjobb, amelyet a Doernenburg, Rogers és a kulcsgáz módszer követett.





- Ezen az ábrán az előző kutatási munka eredményeiből a HGA módszer „megoldatlansági” százalécai láthatók.
- Látható, hogy a „key gas” módszer 85%-ban képtelen volt a hibát becsülni.
- A Rogers módszer is elég nagy %-ban nem tudta jelezni a hibát.
- Az IEC és a Doernenburg módszer egészen jól teljesített.
- A feszültség szint értéke nem volt jelentős hatású egy adott módszeren belül.





Néhány rendszeresen használt HGA kiértékelés pontossága

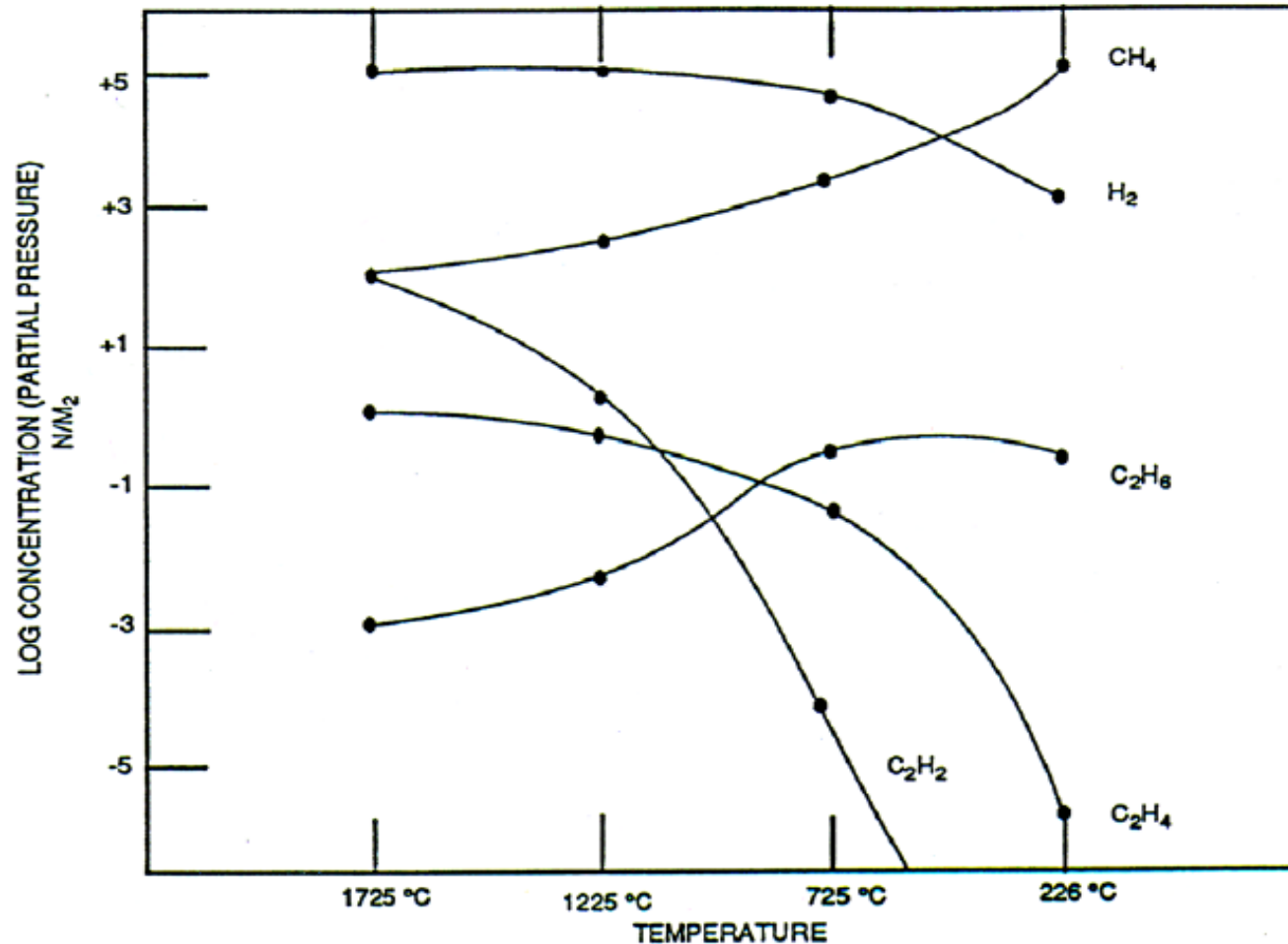
Diagnosis Methods	Success	Error	Not Identifiable
Dornenberg Ratio	22.9%	65.2%	11.9%
Rogers Ratio	24.8%	12.4%	62.9%
IEC 599	42.9%	24.8%	32.4%



Hibagázképződés alapösszefüggései

IEEE
Std C57.104-1991

IEEE GUIDE FOR THE INTERPRETATION OF GASES



Az alapösszefüggések nagyon fontosak, ezeket rendszeresen érdemes emlékezetben tartani.

Például ilyenek a következő ábrák is, amelyeken nagyon jól követhetők a lényeges folyamatok.

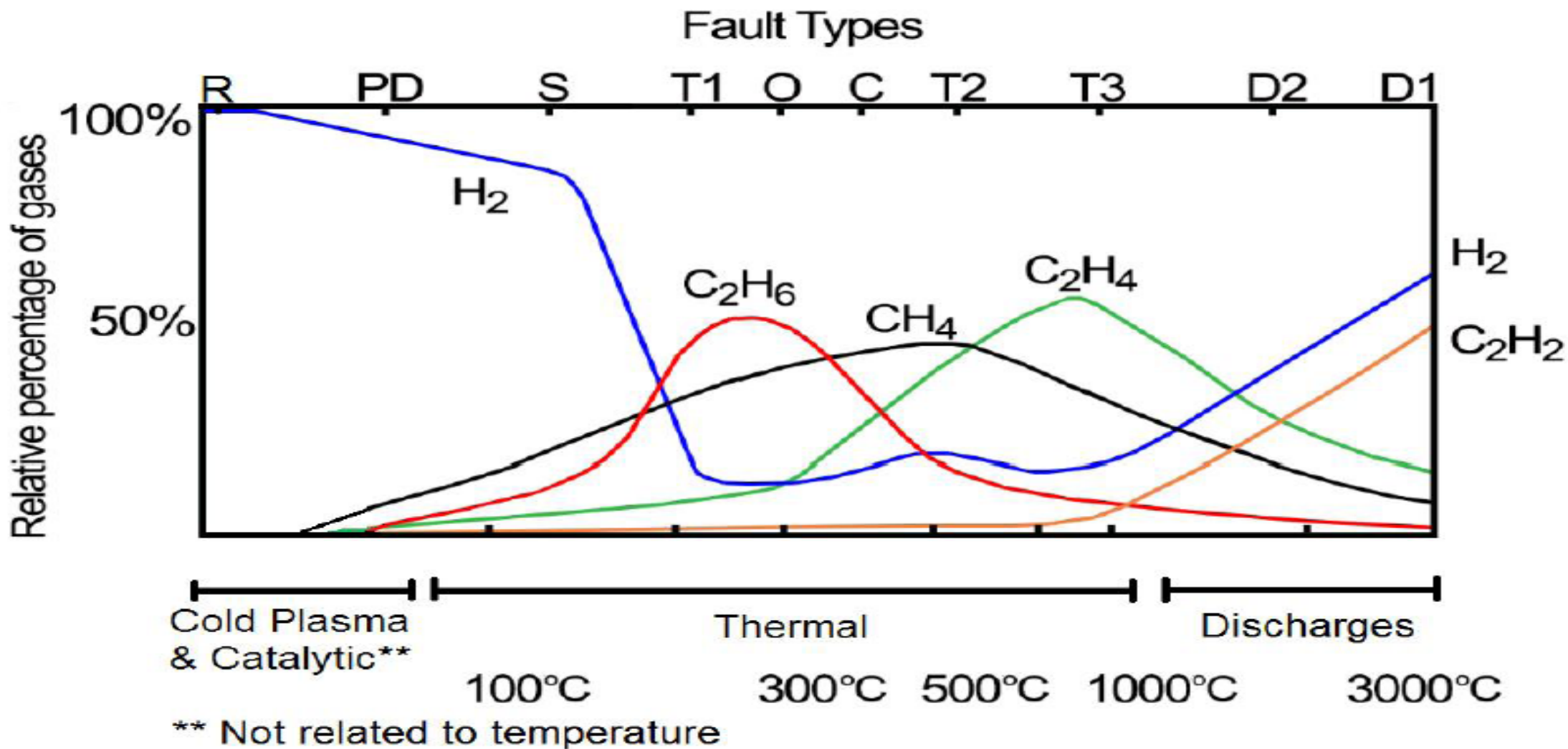
Halstead's Termikus Egyensúly:

IEEE Std C57.104-1991

(hőmérséklet jobbról balra növekszik)



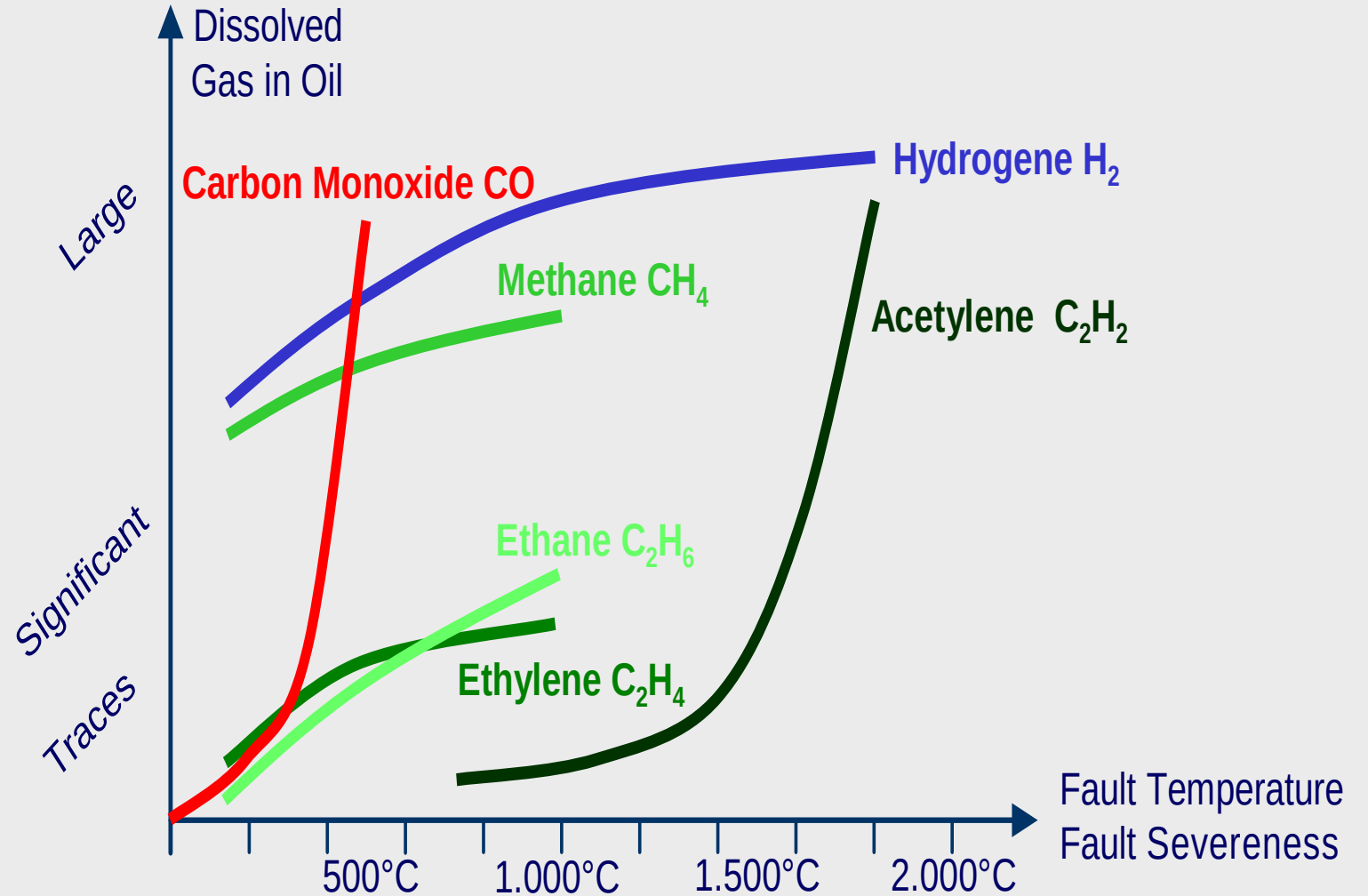
Hibagázképződés alapösszefüggései





IEEE C57.104-1991 szabványban
található ábra: hibagázok
keletkezése a hőmérséklet
függvényében
(hőmérséklet balról jobbra növekszik)

IEEE C57.104-1991 3.1-3.3





Kiegészítő gázarányok a „fő HGA arányokhoz”: CO_2/CO , O_2/N_2 , és a $\text{C}_2\text{H}_2/\text{H}_2$ arány

- „Más gázarány” módszert az IEC vezette be, amelyek kiegészítők a „fő HGA diagnosztikához”.
- Ezek az arányok: CO_2/CO , O_2/N_2 , és a $\text{C}_2\text{H}_2/\text{H}_2$ arány.
- **CO_2/CO** arány a papírszigetelésre jellemző, 5000/500ppm felett jellemző.
- Ha $\text{CO}_2/\text{CO}=3-11$ között, jó a papír.
- Ha $\text{CO}_2/\text{CO}<3$, erős jelzés, hogy a papír érintett a meghibásodásban,
- Ha $\text{CO}_2/\text{CO}>11$, papír öregedés melegedés miatt, ez irreverzibilis.
- **Az O_2/N_2** arány az olajban oldott levegő összetételére jellemző.
- Kiindulási egyensúlyi állapotban az olajban oldhatóságnak megfelelően 0,5. Ha csökken ez az érték, az erős melegedést jelent, ezért a többi jelzőszámokkal együtt kell értékelni.
- **$\text{C}_2\text{H}_2/\text{H}_2$ arány** ($>2-30$) jelezheti, hogy a OLTC gázai beszivárogtak a tankba.



Konklúziók



- A HGA hibagáz analízis, **termikus és villamos hibákra termelődő gázokon alapszik**: a hiba energiájától függően különböző gázok keletkeznek.
- **De látható a szakirodalomból, hogy normál üzemben is keletkeznek hibagázok (STRAY Gázok)**, anélkül, hogy termikus vagy villamos **hiba állna fent**. így ez a **HGA diagnosztika során helytelen értelmezésekhez vezethet**.
- Ez a **téves diagnózis** nagy idővesztést okozhat és költséget jelent a felhasználó részére.
- Ezeket a gázok általában „stray gas” elnevezésűek: **az olaj kémiai és oxidációs reakcióiból keletkeznek 140-200°C alatt**.
- A „stray gas” összetétele: főleg hidrogén (H_2), metán (CH_4), etán (C_2H_6), széndioxid (CO_2).
- A **trafó drága berendezés**, a diagnosztika és a javítás ugyancsak költséges, **ezért igen fontos a Stray Gázok eredetének vizsgálata**.



- Ezek a gázok azonosak, azokkal, amelyek hibák során keletkeznek, **számos kutatás indult, hogy tisztázza ezen gázok HGA eredményeket hamisító hatását.**
- **A Duval kiértékelések azért is kiválóak,** mert a nemcsak egy-egy gáz növekményét láthatjuk, hanem a szigetelésben **lejátszó folyamatokról láthatunk egy „háromdimenziós képet (gáz növekedés az egy kétdimenziós kép).**
- **Az előadás célja főleg** a figyelemfelhívás az újdonságokra, ill. azok követésére, a HGA technika alkalmazásának segítése **(tréning).**
- **A hamis diagnózis meghibásodáshoz** vezethet, mert rejtve marad a hiba, ill. szükségtelen beruházást, költséget, trafócserét, stb. okozhat.



**Köszönöm a
figyelmet!**

