



Transzformátor HGA adatok kiértékelési technikái DUVAL diagnosztikák

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

**XVII. Szigeteléstechikai Konferencia, Felsőtárkány,
Bambara Hotel, 2017. október 18-20.**

Tartalomjegyzék

1. A téma aktualitása, az előadás célja
2. Röviden a HGA (DGA) alapjairól
3. Röviden a HGA kiértékelésekről
4. DUVAL grafikus kiértékelések
3. Konklúziók

Téma aktualitásának legfontosabb okai:

- A **HGA** a trafó diagnosztika egyik **legfontosabb** területe,
- Valószínűleg a HGA **leghatékonyabb** trafó hibajelző eszközünk,
- **Gyorsan fejlődik**, új kiértékelések, **állandó követés** szükséges,
- Világszerte **1 millió HGA évente mintegy 400 laborban**,
- Új eredmények **szabványosítása viszonylag gyors** (M. Duval!!!),
- Egyes HGA kiértékelések **egyedül „nem elég pontosak”**,
- Új **értékelési rendszerek+online monitoring**: akár **93%** pontosság,
- Online monitoring + szakértői rendszer: mindig a **legújabb**,
szakértői tudás kerülne tárolásra: szakértő távozás? NO PROBLEM
- Viszonylag nagy és **alapos ismeretanyagra** lenne szükség,
- Az előadás kicsit **hiánypótló** ezen a területen.

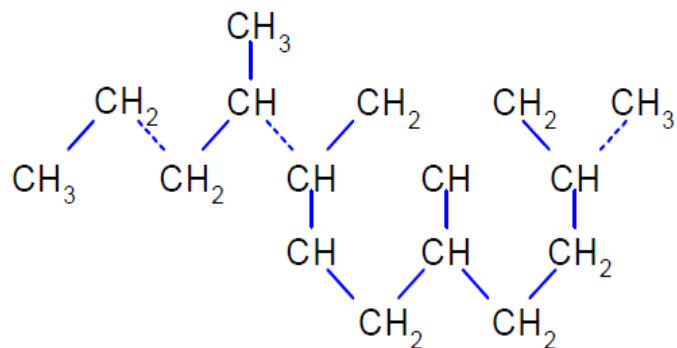
HGA (DGA) diagnosztikáról

- A HGA jó **diagnosztikai módszer**, belső hibának egy részét **már korai állapotban jelzi**, esély a katasztrofális hibák elkerülésére.
- Intelligens monitoring esetén az offline HGA rendszerhez képest az **online változat hatékonysága jelentősen nő**.
- **HGA: Hiba Gáz Analízis: DGA: Dissolved Gas (in oil) Analysis**
- Az olajban a gázok villamos szigetelés **(olaj, papír) bomlásából származnak** (meghibásodás vagy kémiai reakciók következtében).

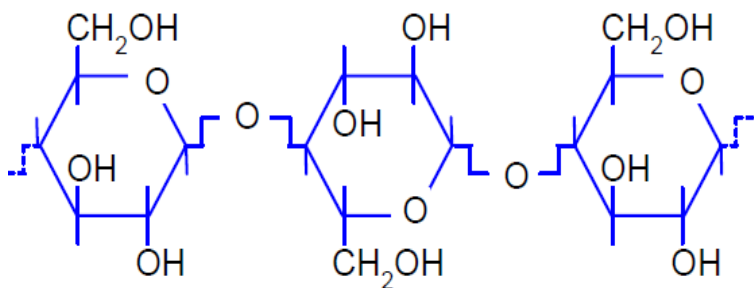
Olaj és cellulóz bomlása, vizsgálata

- Olaj **szénhidrogén molekulái** H-t és C-t tartalmaznak, a papír cellulóz molekulákat, amelyek kémiai kötással kapcsolódnak egymáshoz.

Olaj és papír bomlása külső behatásra



INSULATING OIL

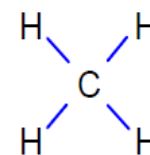


CELLULOSE

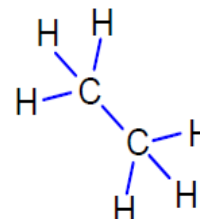
Arcing
Overheating
Surface discharge
Circulating current



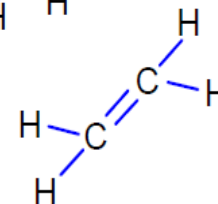
HYDROGEN



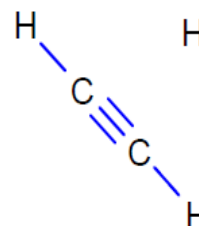
METHANE



ETHANE



ETHYLENE



ACETYLENE



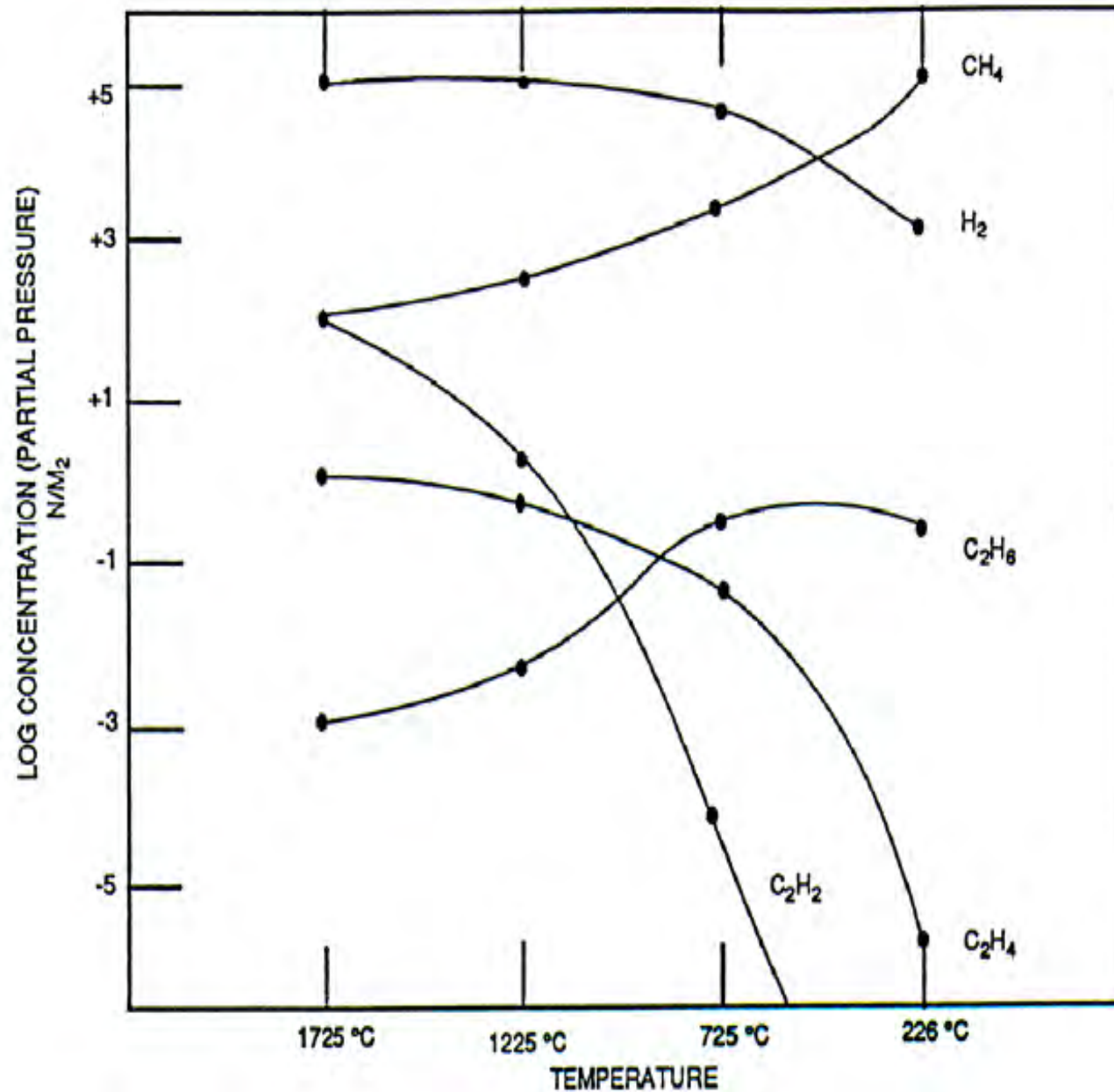
CARBON MONOXYDE

HGA technikák

- **Dörnenburg Ratios: 1967, 1970,**
- **Key Gas Method: David Pugh, 1974**
- **Duval háromszög: Michel Duval, 1974**
- **Rogers Ratios, R.R. Rogers, 1975**
- **Szakértői rendszerek, Richard Lowe, 1985**
- **Szakértői rendszerek, + monitoring, Karen Barrett, 1989**
- **IEEE C57.104, határértékek, trendek, összes éghető, 1978/91**
- **Artificial Neural Networks (ANN), Fuzzy Logic, 1996, 2004, 2006**
- **IEC 60599, 1999**
- **CIGRE kiadványok (TB 296 (2006)),**
- **IEC 60599:1999+A1:2007:**
- **MSZ 352 (1978-as IEC 60599 alapján)**
- **„Kétdimenziós”, „Háromdimenziós” grafikus HGA kiértékelés (IEC 60599):**

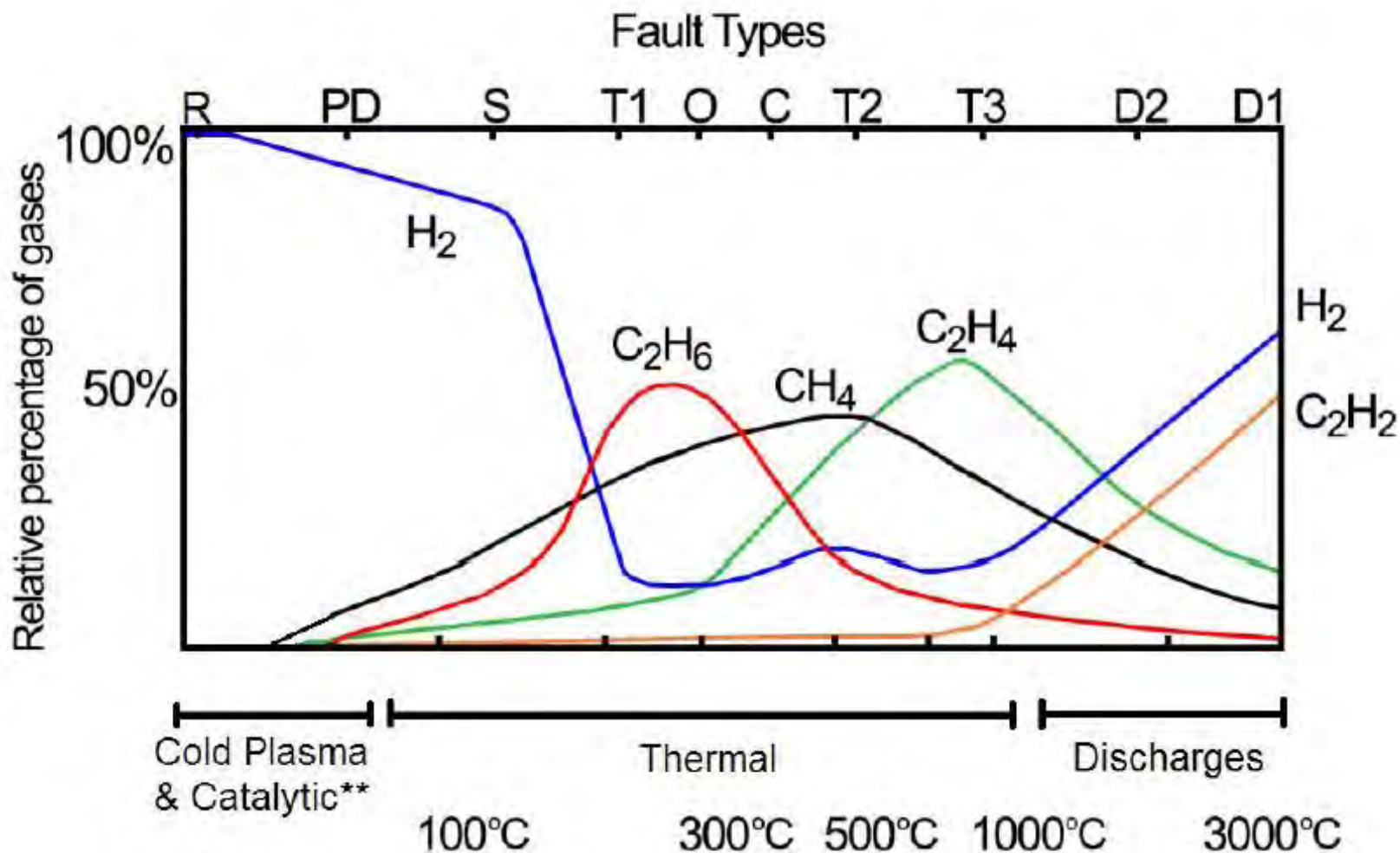
Duval technikák_2017

- „Duval 1 Δ ”, 3 villamos, 3 termikus hiba (C₂H₂,CH₄,C₂H₄), IEC 60599
- „Duval 2 Δ ” OLTC változat, olaj, C₂H₂,CH₄,C₂H₄
- „Duval 3 Δ ”, mint Δ 1, szilikon olaj, FR3, Midel, BioTemp,
- „Duval 4 Δ ” Low temperature faults (oil) (C₂H₆,H₂,CH₄)
- „Duval 5 Δ ” Low temperature faults (oil) (C₂H₆,CH₄,C₂H₄)
- „Duval 6 Δ ” Low temperature faults FR3 (C₂H₆,H₂,CH₄)
- „Duval 7 Δ ” Low temperature faults FR3 (C₂H₆,CH₄,C₂H₄)
- „Duval Pentagon 1”, klasszikus, 3 villamos, 3 termikus hiba
- „Duval Pentagon 2”, modern, 3 villamos, 4 „advanced” termikus hiba



Halstead's
Termikus
Egyensúly:
IEEE Std
C57.104_1991

Hat hibagáz relatív képződése hőmérséklet függése IEEE és CIGRE szerint



** Not related to temperature

HGA (DGA)

Régebbi vizsgálati módszerek:

- Három „arány módszer”: Dörnenburg, Rogers és IEC 60599 (IEEE):
 - 3, 4 vagy 5 gázarányból 3 vagy 4-et használnak.
 - A gázarányoktól függően kódok és vagy zónák kerülnek meghatározásra a hibák minél több típusára.
 - Hátrány: bizonyos esetekben nincs diagnózis.
-
- | | |
|---|---|
| • Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2 | – Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2 |
| • Ratio 2 (R2)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ | – Ratio 2 (R2)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ |
| • Ratio 3 (R3)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$ | – Ratio 5 (R5)= $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ |
| • Ratio 4 (R4)= $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$ | |

HGA kiértékelés: DÖRNENBURG módszer

DÖRNENBURG módszer

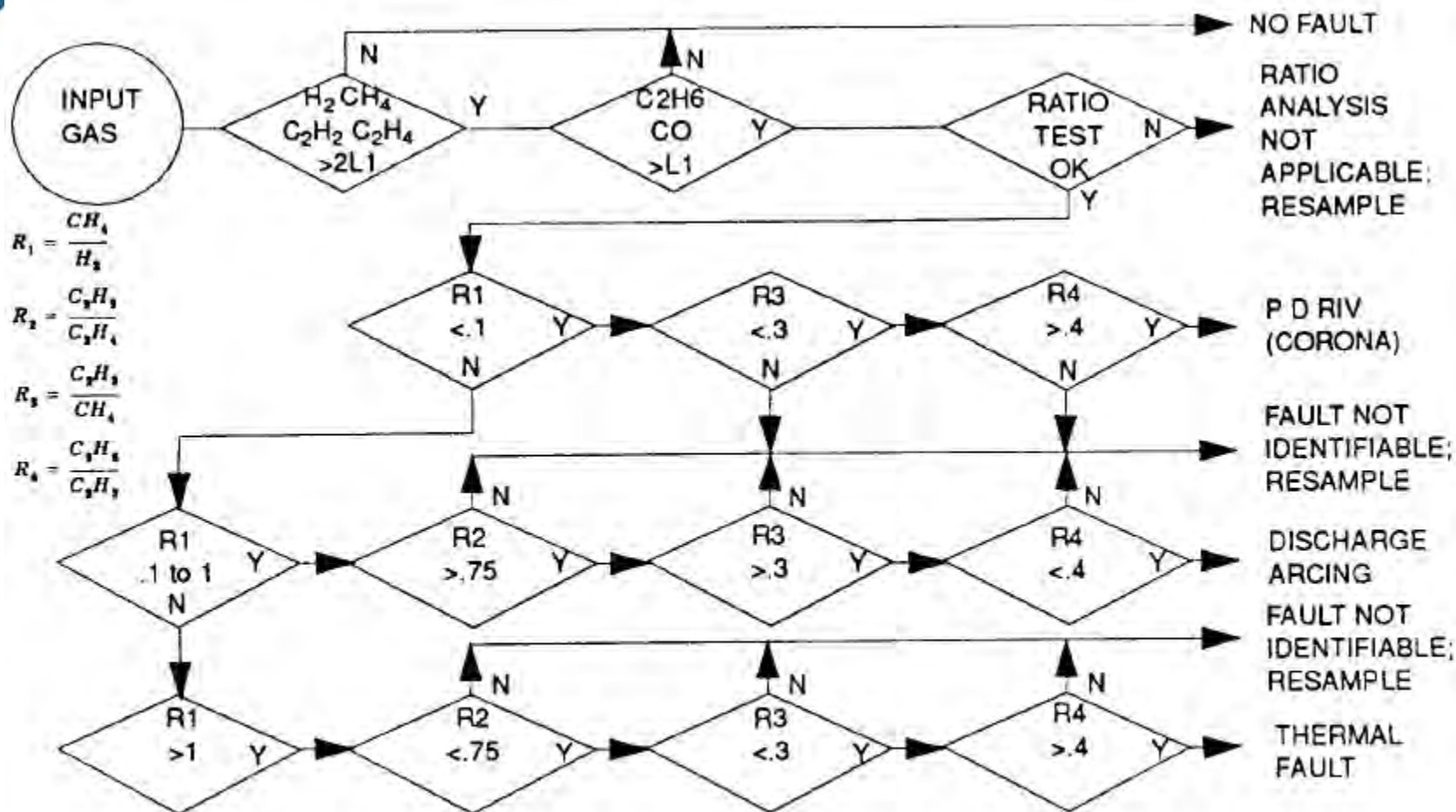
- 4 gázarányból 3 fő hiba meghatározása
 - 1. Termikus,
 - Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2
 - 2. Kis energiájú villamos hiba
 - Ratio 2 (R2)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
 - 3. Nagy energiájú villamos hiba
 - Ratio 5 (R5)= $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$
- Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2
- Ratio 2 (R2)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
- Ratio 3 (R3)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$
- Ratio 4 (R4)= $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$

Kulcs gázok arányai – Doernenburg kiértékelés

Table 5— Ratios for Key Gases—Doernenburg

Suggested Fault Diagnosis	Ratio 1 (R1) CH_4/H_2		Ratio 2 (R2) $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$		Ratio 3 (R3) $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$		Ratio 4 (R4) $\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$	
	Extracted From Oil Gas Space		Extracted From Oil Gas Space		Extracted From Oil Gas Space		Extracted From Oil Gas Space	
1–Thermal Decomposition	>1.0	>0.1	<0.75	<1.0	<0.3	<0.1	>0.4	>0.2
2–Corona (Low Intensity PD)	<0.1	<0.01	Not Significant		<0.3	<0.1	>0.4	>0.2
3–Arcing (High Intensity PD)	>0.1	>0.01	>0.75	>1.0	>0.3	>0.1	<0.4	<0.2

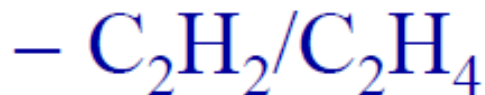
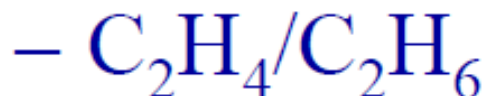
Dörnenburg IEEE folyamatábra



From IEEE C57.104 - 1991

Roger's arányok

- Információ forrása: az IEEE Halstead's termikus egyensúlyi görbéiből és hibás trafóból származó Dörnenburg arányokból
- Eredetileg 4 arány használt: (lásd még Dörnenburg, IEC). (IEC elhagyta a C_2H_6/CH_4 -t).



Dörnenburg

- Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2
- Ratio 2 (R2)= C_2H_2/C_2H_4
- Ratio 3 (R3)= C_2H_2/CH_4
- Ratio 4 (R4)= C_2H_6/C_2H_2

- Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2
- Ratio 2 (R2)= C_2H_2/C_2H_4
- Ratio 5 (R5)= C_2H_4/C_2H_6

IEC

Roger's arányok által jelzett hiba diagnosztikai táblázat

CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	Diagnosis
0	0	0	0	Normal
5	0	0	0	Partial Discharge
$\frac{1}{2}$	0	0	0	Slight Overheating – below 150°C
$\frac{1}{2}$	1	0	0	Slight Overheating –150°C to 200°C
0	1	0	0	Slight Overheating –200°C to 300°C
0	0	1	0	General conductor overheating
1	0	1	0	Winding circulating currents
1	0	2	0	Core and tank circulating currents, overheated joints
0	0	0	1	Flashover without power follow through
0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	Arc with power follow through
0	0	2	2	Continuous sparking to floating potential
5	0	0	$\frac{1}{2}$	Partial discharge with tracking

„Finomított” Roger’s arányok (később IEC arányok is)

- Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2
- Ratio 2 (R2)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
- Ratio 5 (R5)= $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$

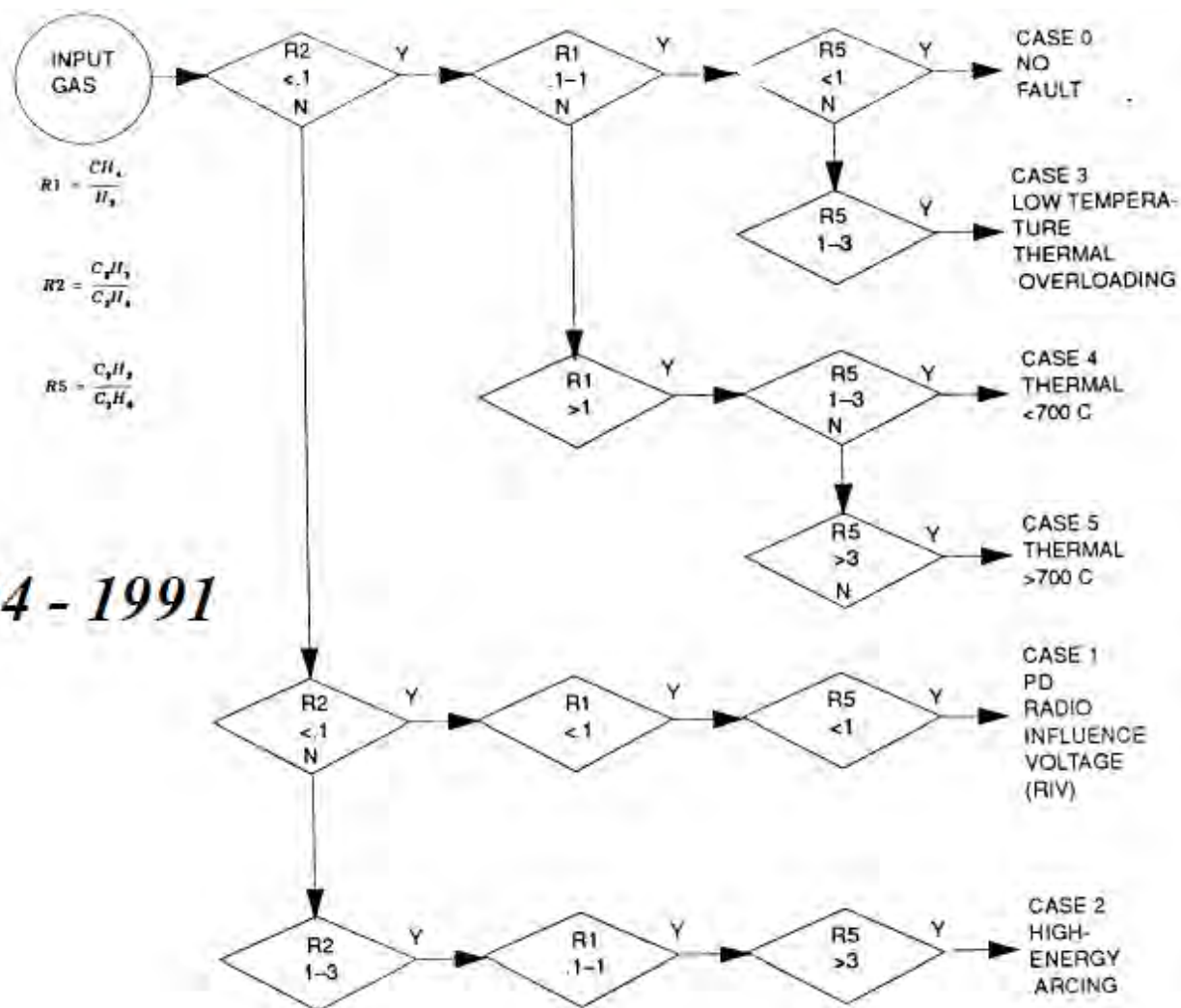
IEC arányok

- Ratio 1 (R1)= CH_4/H_2
- Ratio 2 (R2)= $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
- Ratio 5 (R5)= $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$

„Finomított” Roger’s arányok (IEC)

Case	R2 C_2H_2/C_2H_4	R1 CH_4/H_2	R5 C_2H_4/C_2H_6	Fault
0	<0.1	>0.1, <1.0	<1.0	Normal
1	<0.1	<0.1	<1.0	Low energy PD
2	0.1-3.0	0.1-1.0	>3.0	Arcing
3	<0.1	>0.1 <1.0	1.0-3.0	Low temp thermal
4	<0.1	>1.0	1.0-3.0	Thermal <700°C
5	<0.1	>1.0	>3.0	Thermal >700°C

Roger's arányok folyamatára





IEC 60599

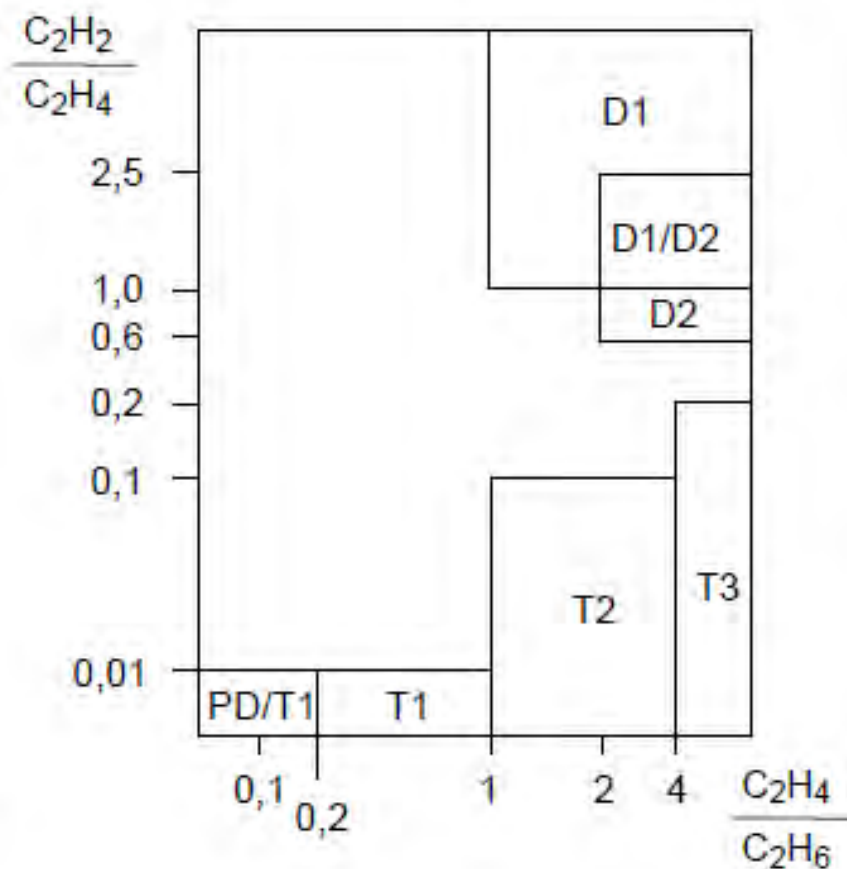
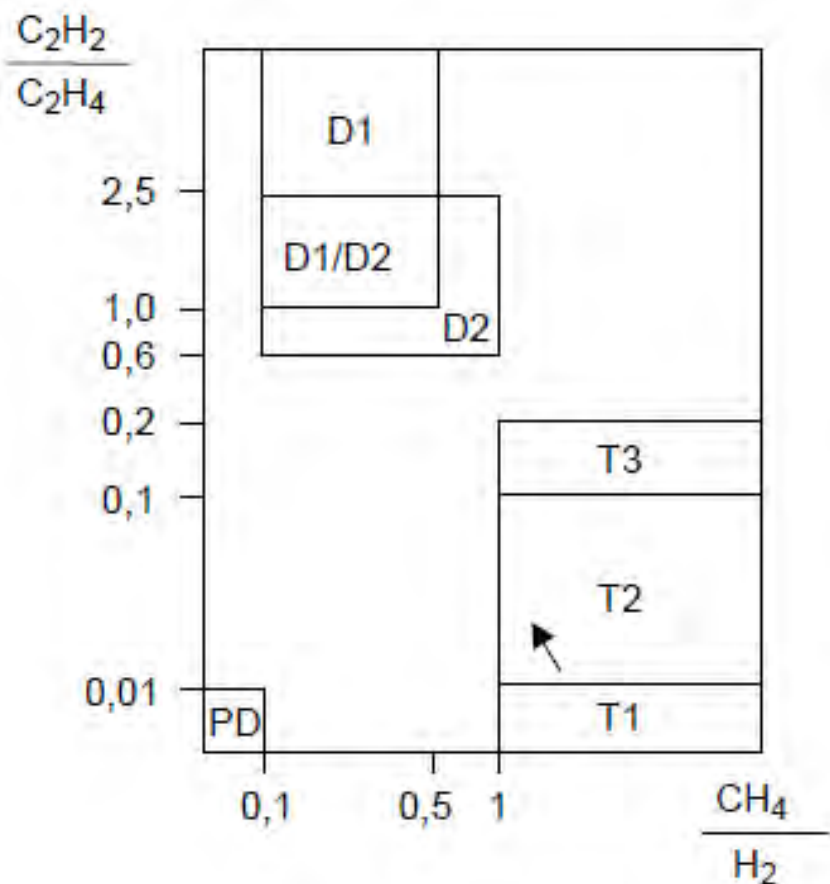
HGA (DGA) – IEC 60599

- **IEC 60599 hat alap hibatípust definiál:**
 - **1. PD (korona):** gáz buborékokban, ill. papír üregekben lakul ki rossz kiszárítás, vagy gyenge minőségű olajimpregnálás miatt.
 - **2. Kis energiájú kisülés: D1.** Egyrészt lehet szikrakisülés részakisülése, 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°C:T1.** A papír barna színű (>200°C), fekete vagy elszenesedett (<300°C).Túlterhelés, eltömődött olajcsatorna.

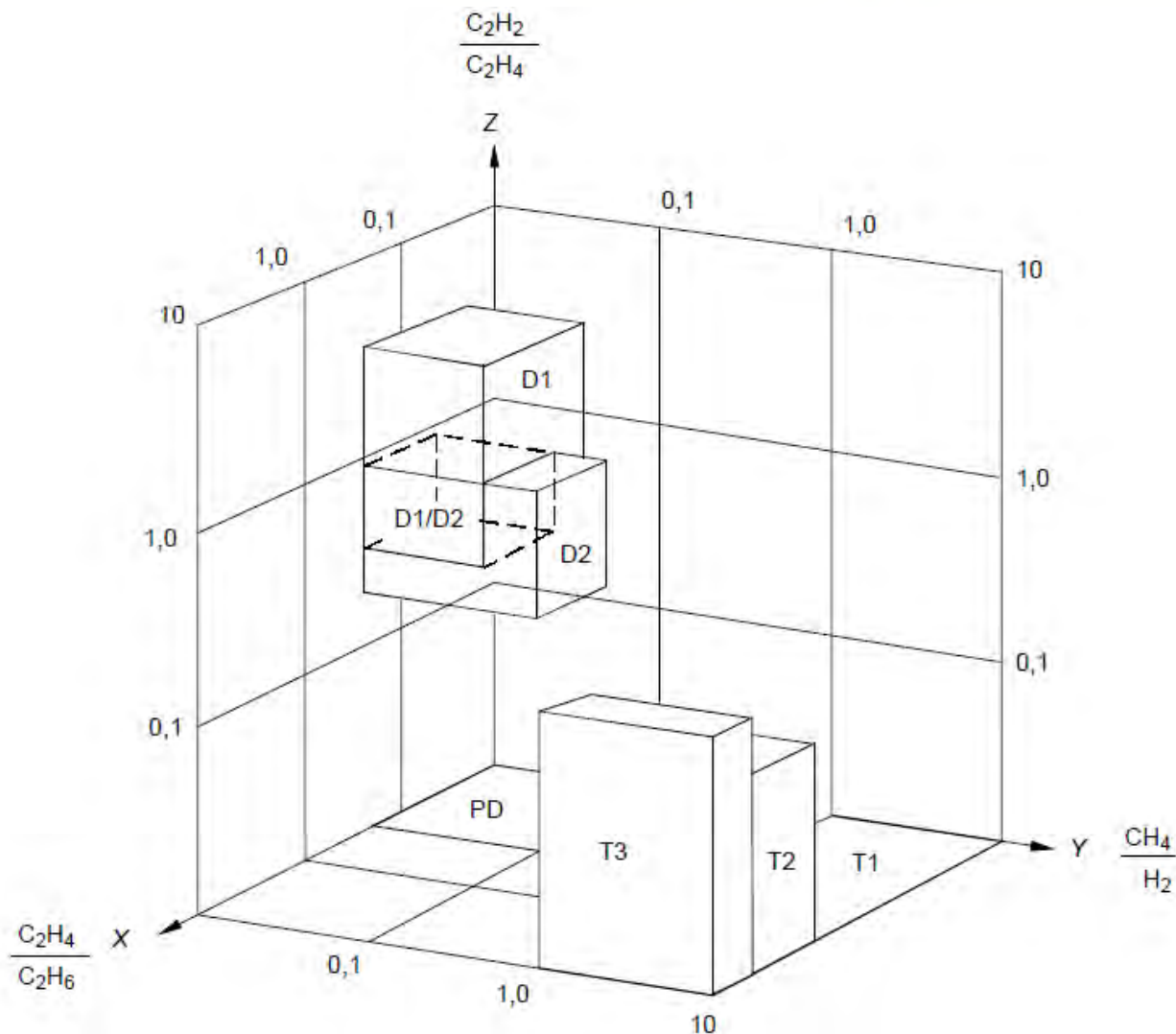
HGA (DGA) – IEC 60599

- **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.
 - PD: Partial Discharge
 - D1: Discharge of low energy
 - D2: Discharge of high energy
 - T1: Thermal fault, $t < 300^{\circ}\text{C}$
 - T2: Thermal fault, $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$
 - T3: Thermal fault, $t > 700^{\circ}\text{C}$

IEC 60599: „Kétdimenziós” grafikus HGA kiértékelés:



IEC 60599: „Háromdimenziós” grafikus HGA kiértékelés:



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 $t < 300 \text{ }^\circ\text{C}$ (T1)	Nem jellemző	> 1 , de nem jellemző	< 1
Melegpont $t < 300 < 700 \text{ }^\circ\text{C}$ T2	$< 0,1$	> 1	$1 \dots 4$
Melegpont $t > 700 \text{ }^\circ\text{C}$ (T3)	$< 0,2$	> 1	> 4

MSZ 352 -1988

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	

IEC 60599-Abszolút értékek táblázata

Table A.2 – Ranges of 90 % typical gas concentration values observed in power transformers, in $\mu\text{l/l}$

	C_2H_2	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
All transformers		50 - 150	30 - 130	60 - 280	20 - 90	400 - 600	3 800 - 14 000
No OLTC	2 - 20						
Communicating OLTC	60 - 280						

IEC 60599-Növekmények táblázata

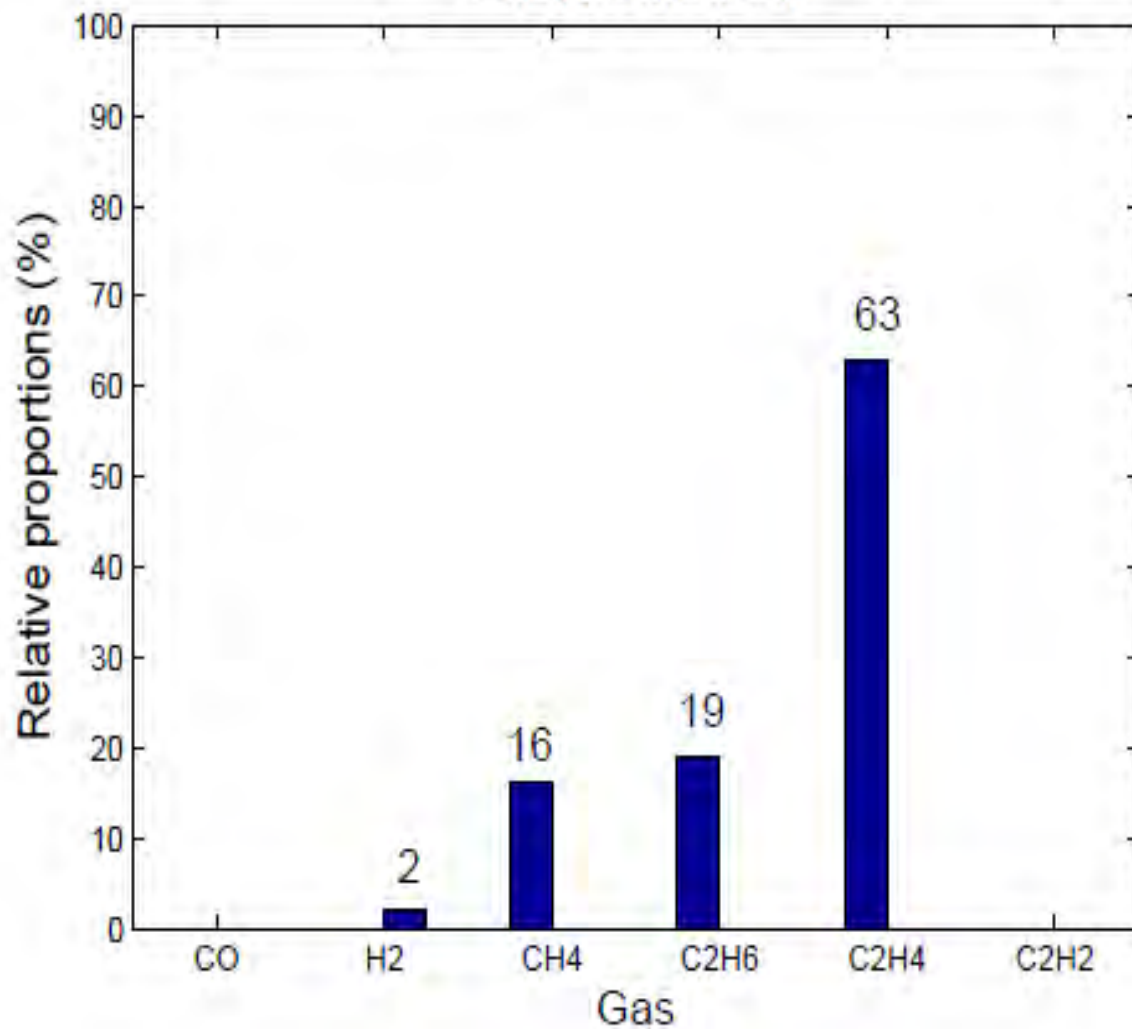
Table A.3 – Ranges of 90 % typical rates of gas increase observed in power transformers (all types), in $\mu\text{l/l/year}$

	C_2H_2	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
All transformers		35 - 132	10 - 120	32 - 146	5 - 90	260 - 1060	1 700 - 10 000
No OLTC	0 - 4						
Communicating OLTC	21 - 37						

KEY GAS

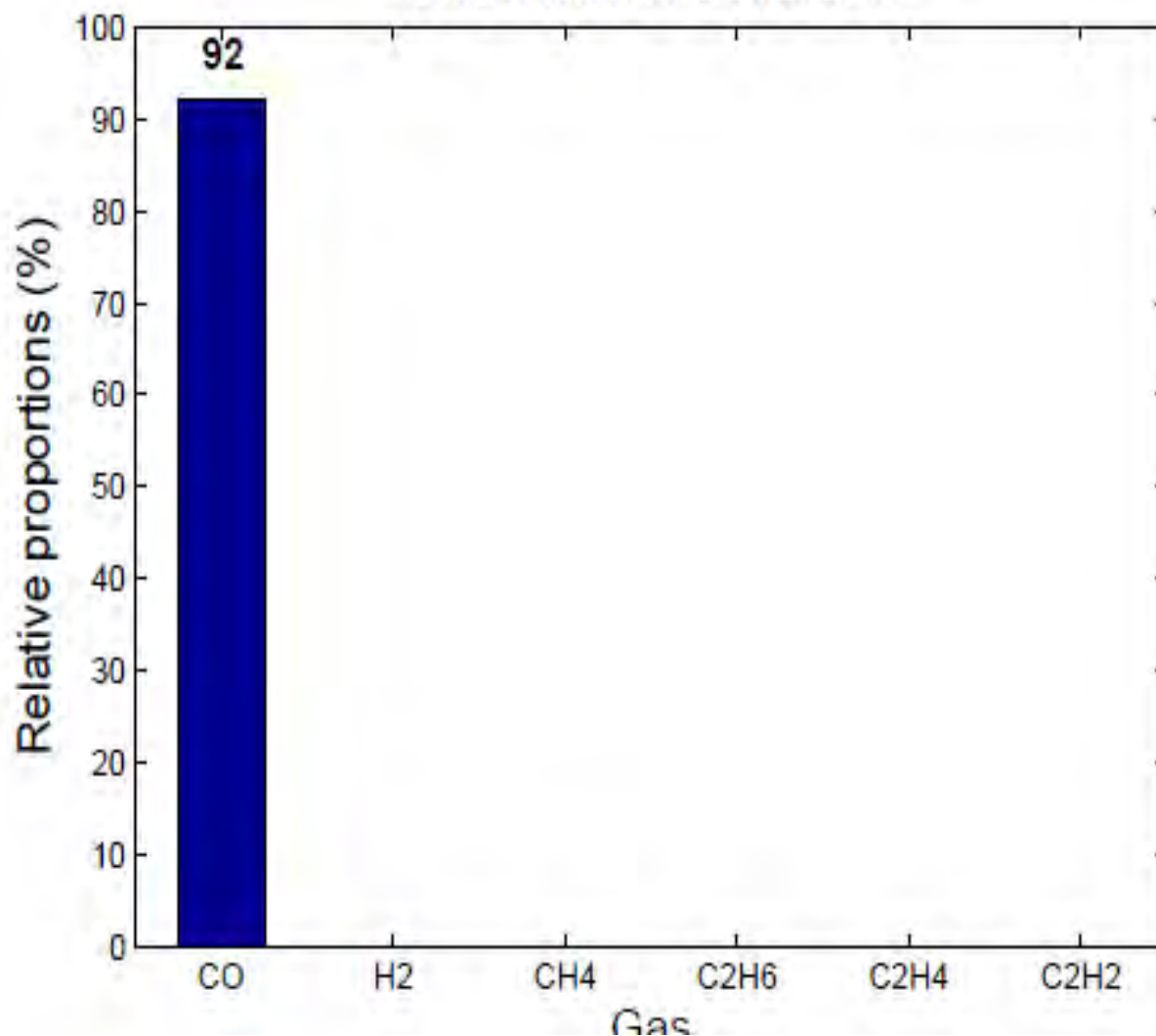
KEY GAS: túlmeleg olaj

Overheated Oil



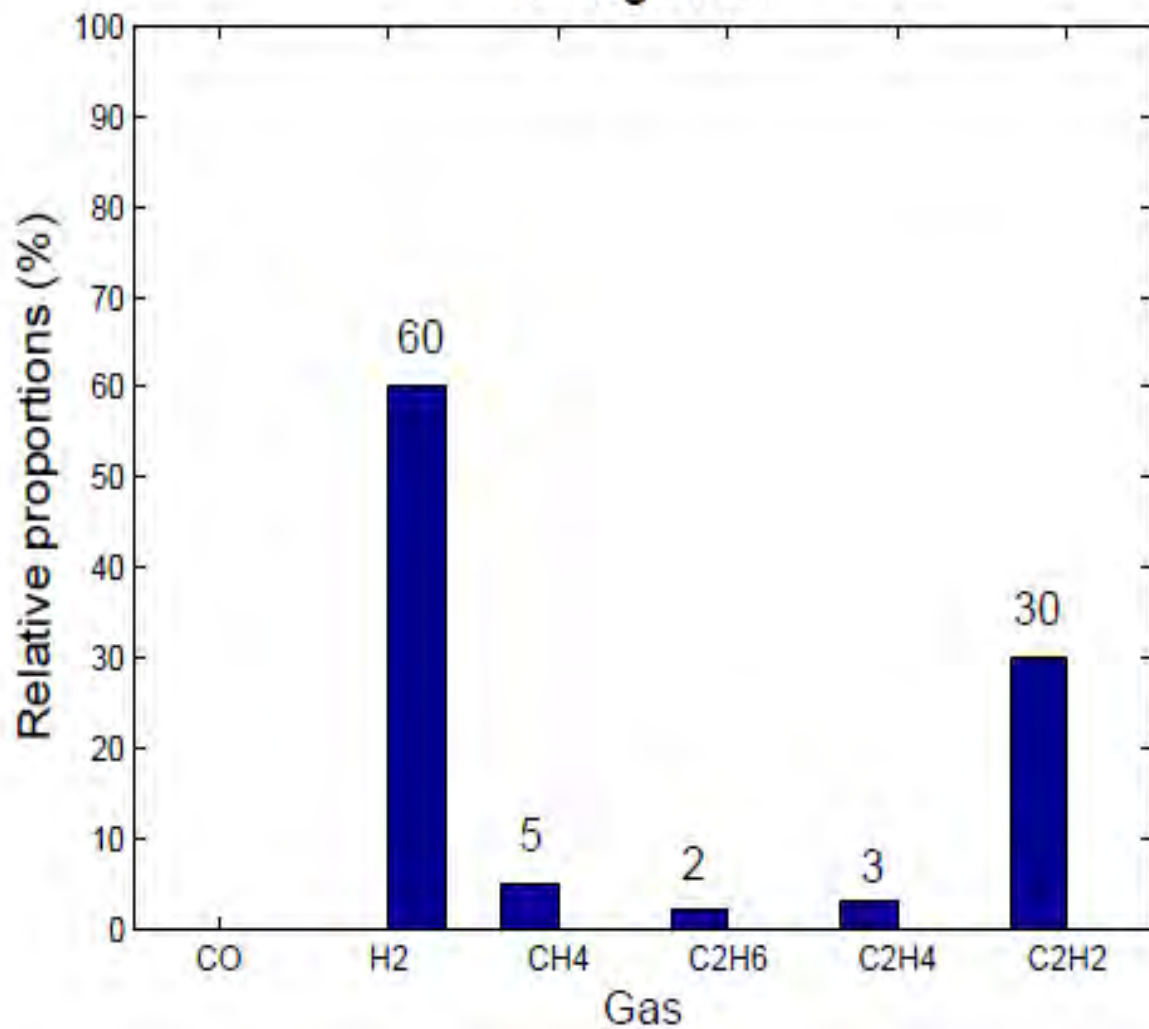
KEY GAS: túlmeleg cellulóz

Overheated Cellulose



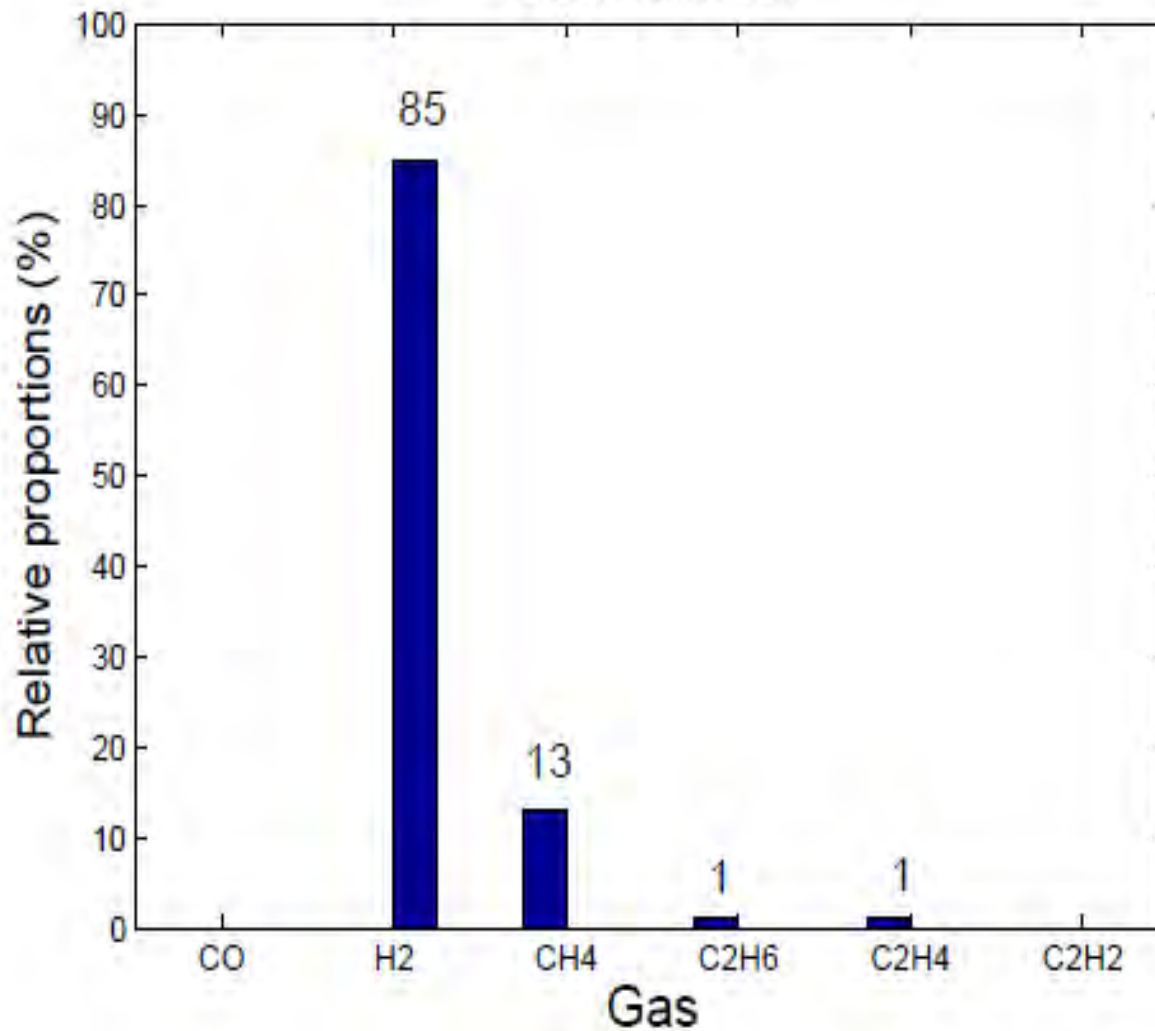
KEY GAS: ív az olajban

Arcing in Oil



KEY GAS: PD az olajban

Corona in Oil



O₂, N₂, CO, CO₂ gázok HGA kiértékelése

CO és CO₂ és O₂/N₂ gázok diagnosztikája

- Az általános olaj hibák (PD,D1,D2,T1,T2,T3) számos módszerrel értékelhető (IEC, IEEE, Rogers, Duval Δ , stb.).
- A papírhibák azonosítása nehezebb.
- Papír hiba esetén CO, CO₂ keletkezik, így e gázokat, ill. ezek arányát (CO₂/CO) használjuk, bár nem mindig jó hibajelzők.
- CIGRE szerint: kevés oxigén, akkor több CO keletkezik, mint CO₂.
- Kevés papír esetén behatárolt hiba esetén gyakran kevés CO, CO₂ keletkezik az olajban a szokásosan nagy háttérgázokhoz képest.
- Számos esetben, az elszenesedett papír megbízhatóbban detektálható más gázokból (H₂ és szénhidrogének), ha pl. Duval 4 Δ és 5 Δ használjuk.

CO és CO₂ és O₂/N₂ gázok diagnosztikája

- Sok a hamis riasztás, ezért a CO, CO₂ (750 és 7500ppm) jelenlegi megengedett értékei revízió alatt vannak.
- IEC is átdolgozás alatt van mert lélegző trafóban magas CO (>1000 ppm) és alacsony CO₂/CO (<3) sokszor előfordul, de most ez papírhibát jelez.
- Ez használják zárt trafóban is, de csak akkor, ha más gázok is termelődnek (Cn, H₂).
- Magas CO₂ (>10,000 ppm) nagy CO₂/CO arány (>15) gyorsított papír öregedést jelent.
- Kicsi CO₂/CO arány (<3) hot-spot-ot vagy ívelést jelent.
- O₂/N₂ normál aránya 0,5 (külső levegőnek megfelelő), de csökkenő aránya (<0,3) túlmelegedést jelent a lélegző trafóban.
- Csak H₂ képződés: fém felületen katalizátoros hatás fellépése.

DUVAL kiértékelések

„DUVAL háromszögek”



Δ-es kiértékelés már régi eljárás,

$A\% + B\% + C\% = 100\%$, amikor 3 változó össze van kapcsolva.

Más Δ-es:

**Oldhatósági tulajdonságok,
Gyúlékonysági tulajdonságok,**

**Zöld-Kék-Piros színek
keverhetősége**

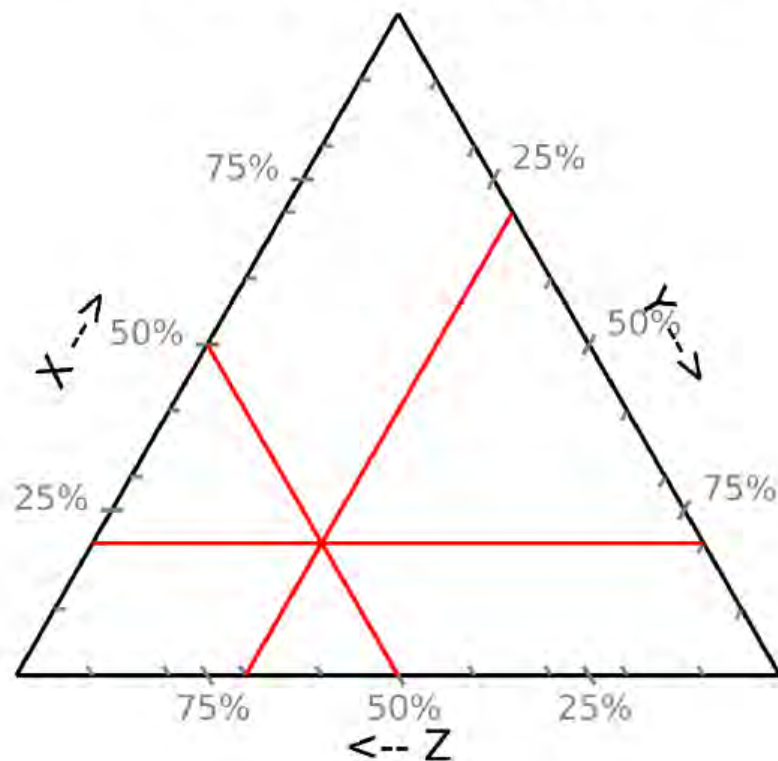
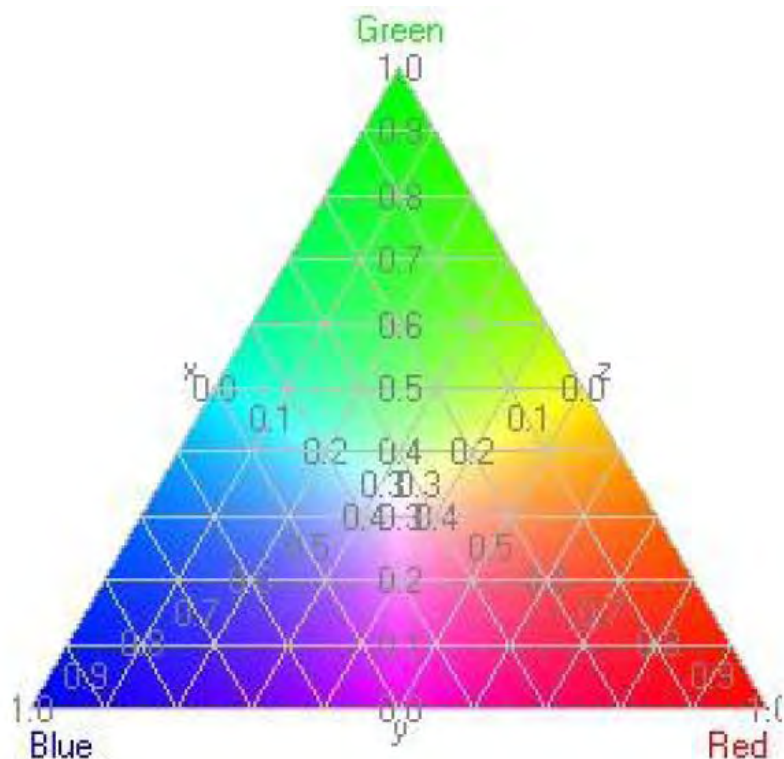
Michel Duval

- **Michel Duval**, kémikus, Hydro Quebec's IREQ kutatóintézet.
- **Duval Δ módszerekkel grafikusán és vizuálisan is követhetjük időben a „hiba fejlődését”.**
- **DUVAL Háromszög, Pentagon módszerek: újak, hasznosak, tipikusan számítógépre valók: javasolt az alapok áttekintése.**
- 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 LTC-re, ill. más (szilikon, MIDEL, FR3, BioTemp) szigetelő folyadékokra is ki lett terjesztve.
- **Duval 1 háromszög: Ausztrál felmérés szerint 88%-osan sikeres**

„DUVAL háromszög 1”

- A háromszög minden egyes oldala 0%-tól 100%-ig megy, (x,y,z) pontokra nézve $x+y+z=100\%$. Esetünkben: $X=20\%$ és párhuzamos egyenes „z” tengellyel; $Y=30\%$ és párhuzamos egyenes az „X” tengellyel; $Z=50\%$ és párhuzamos az „Y” tengellyel. Ahol az egyenesek metszik egymást, ott a keresett pont.

$X=20\%$, $Y=30\%$, $Z=50\%$



„DUVAL 1” háromszög rajzolása

$$\% \text{C}_2\text{H}_2 = \frac{100x}{x+y+z}$$

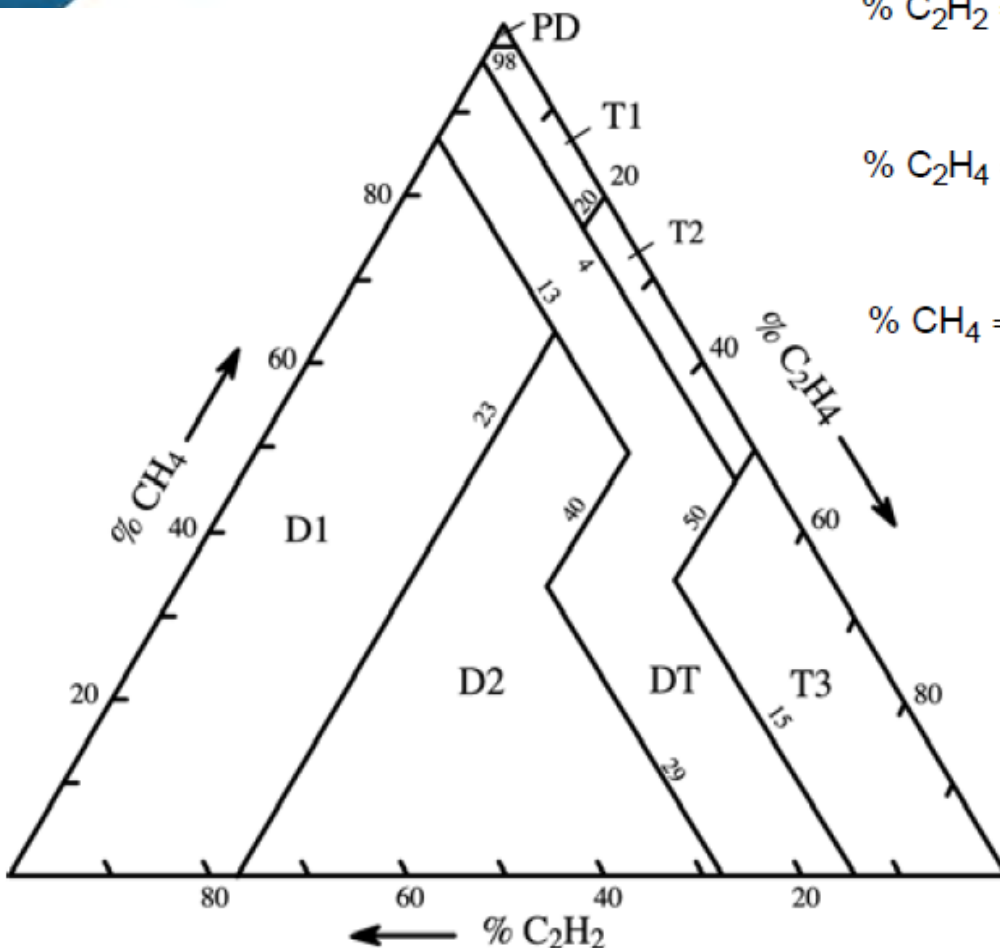
for $x = [\text{C}_2\text{H}_2]$ in microlitres per litre

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{100y}{x+y+z}$$

for $y = [\text{C}_2\text{H}_4]$ in microlitres per litre

$$\% \text{CH}_4 = \frac{100z}{x+y+z}$$

for $z = [\text{CH}_4]$ in microlitres per litre



PD: Partial Discharge

T1: Thermal < 300 C

T2: Thermal 300 C to 700 C

T3: Thermal > 700 C

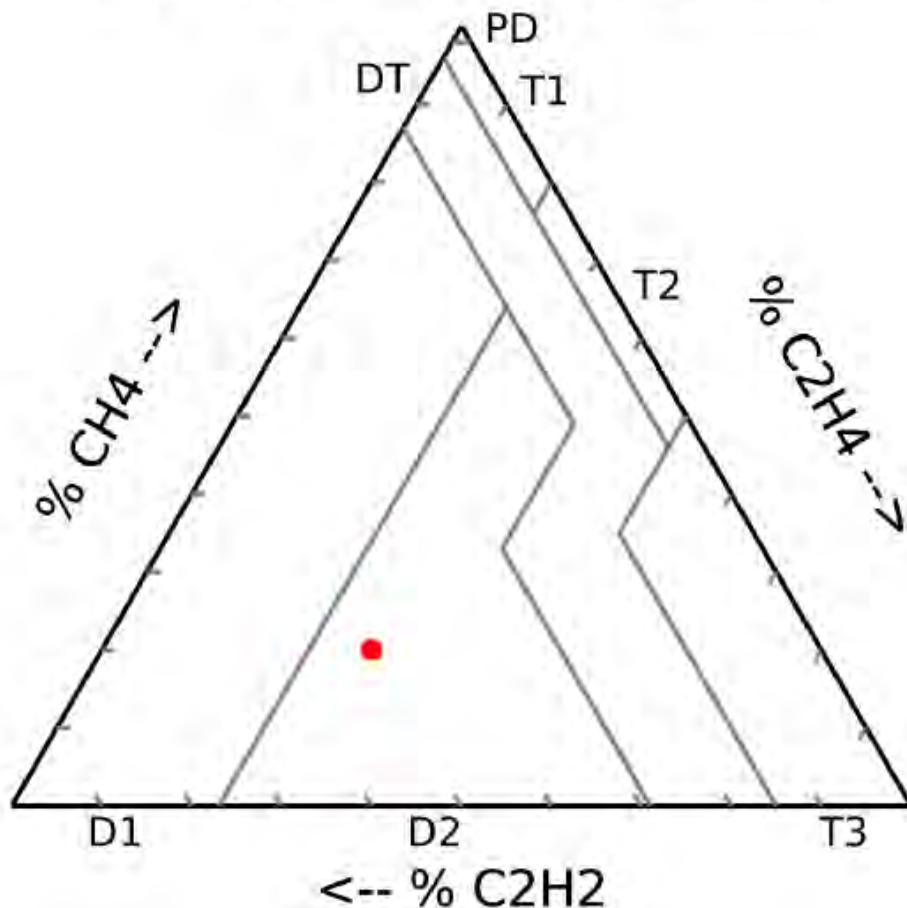
D1: Low-energy discharge

D2: High-energy discharge

DT: Discharge or Thermal

„DUVAL 1” háromszög

CH₄=40 C₂H₄=60 C₂H₂=100



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

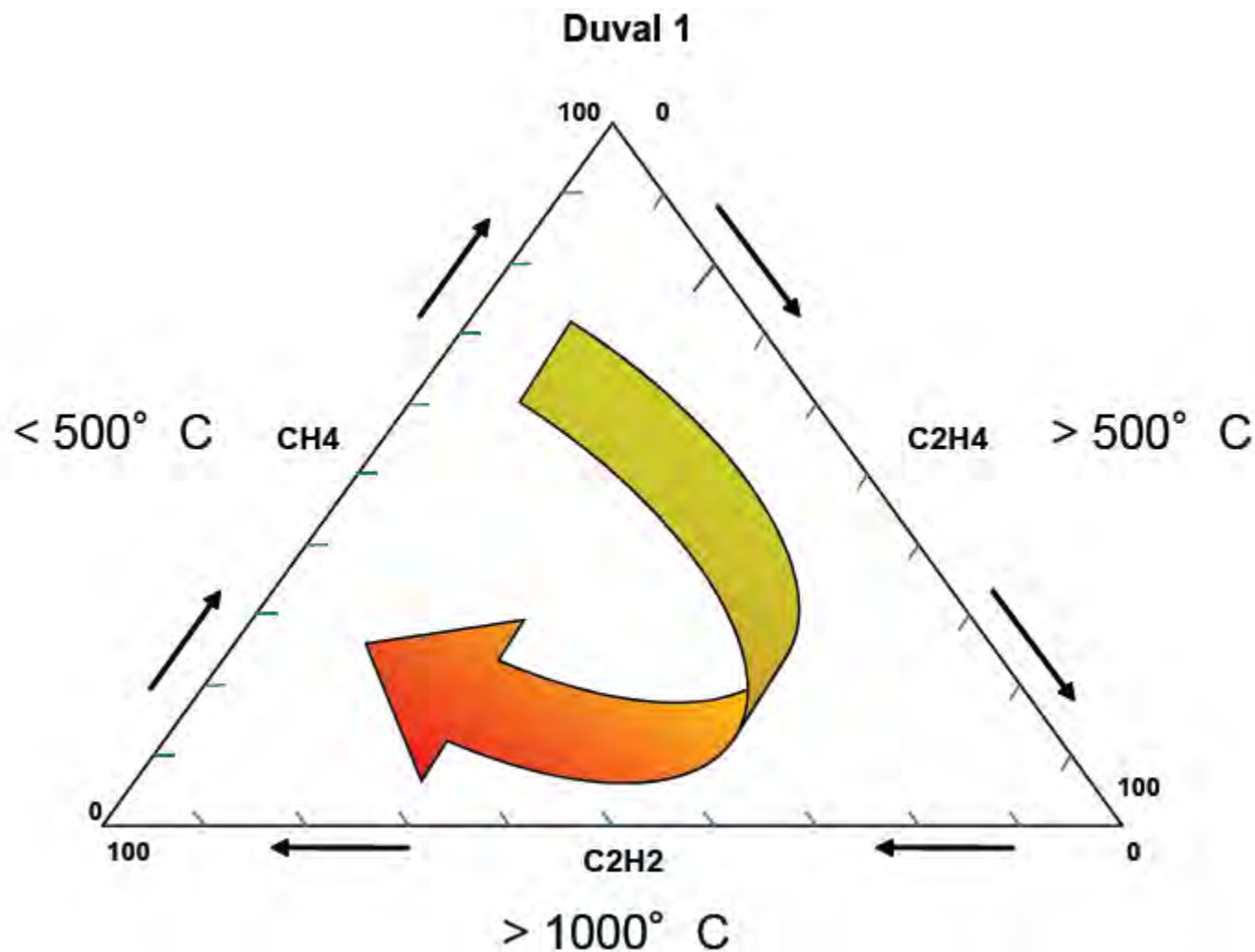
Metán: 40/200=20%

Etilén: 60/200=30%

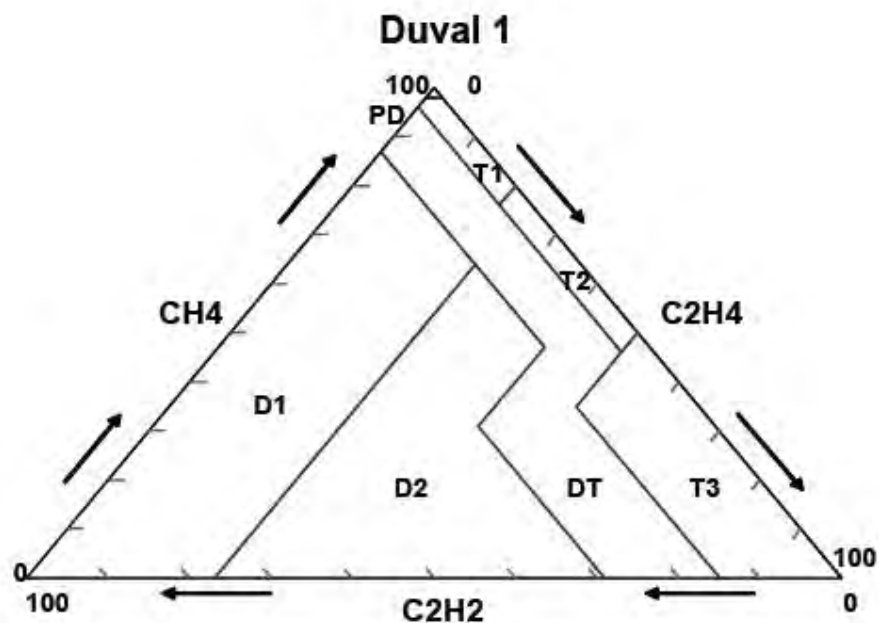
Acetilén: 100/200=50%

Az így kapott piros pont a D2 zónába esik.

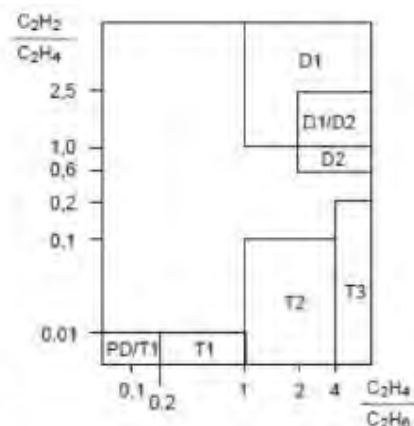
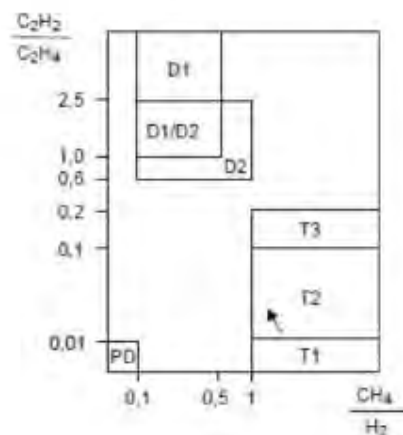
„DUVAL 1” háromszög: relatív gázképződés



„DUVAL 1” háromszög IEC 60599 összehasonlítása



Case	Characteristic fault	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
PD	Partial discharges (see notes 3 and 4)	NS ¹⁾	<0,1	<0,2
D1	Discharges of low energy	>1	0,1 – 0,5	>1
D2	Discharges of high energy	0,6 – 2,5	0,1 – 1	>2
T1	Thermal fault $t < 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	NS ¹⁾	>1 but NS ¹⁾	<1
T2	Thermal fault $300 \text{ }^{\circ}\text{C} < t < 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$	<0,1	>1	1 – 4
T3	Thermal fault $t > 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,2^{2)}$	>1	>4



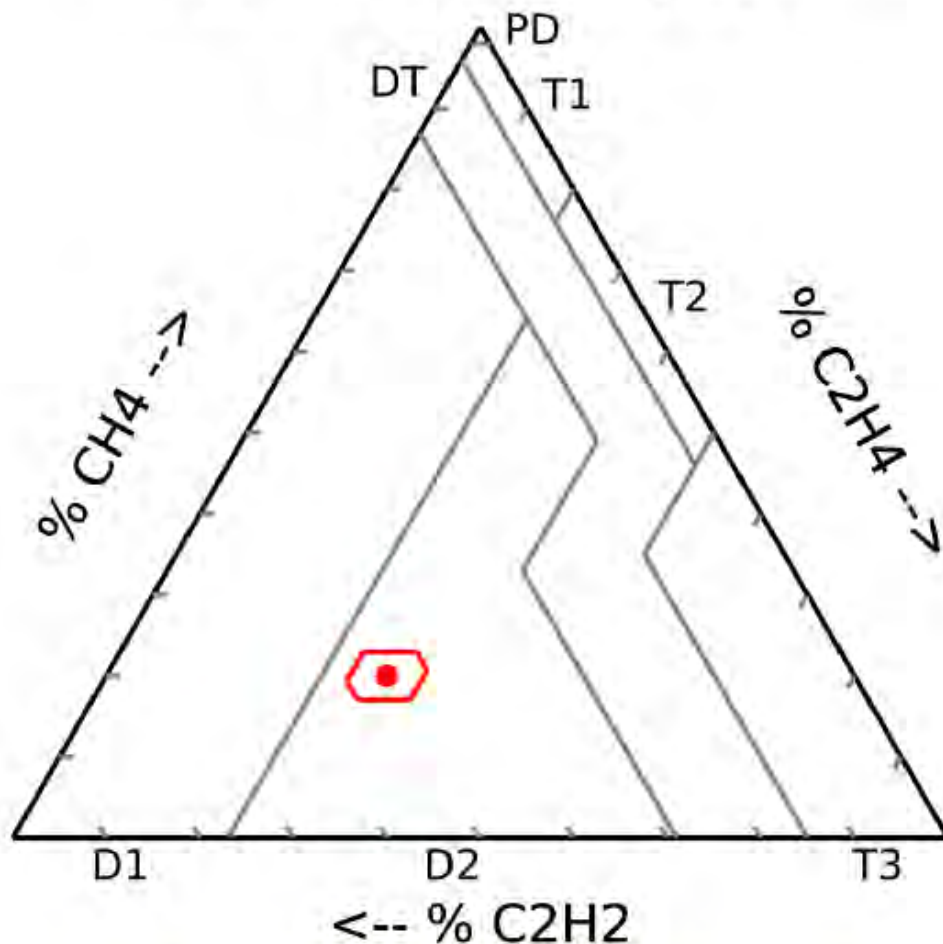
IEC 104298

Duval 1

IEC

„DUVAL 1” háromszög: bizonytalanság

Relative Uncertainty 15%



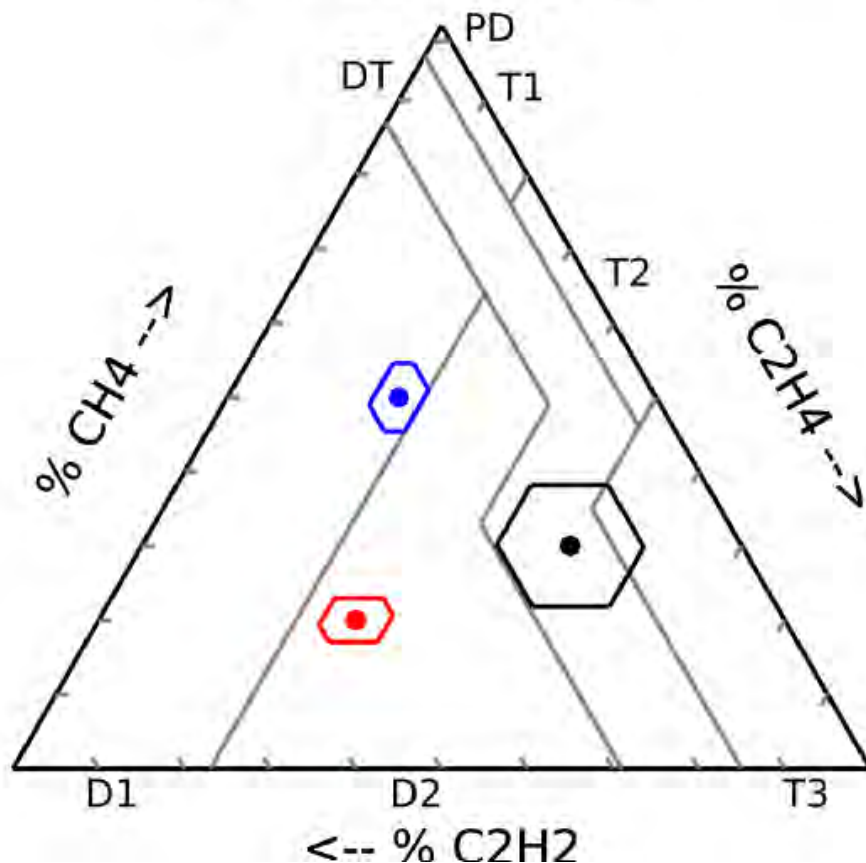
Adatpont helye bizonytalan lehet a mérési hibák miatt, Mérési hibák +/-15% vagy nagyobbak,

10ppm esetén a relatív hiba még nagyobb is lehet,

A pont körüli bizonytalansági poligon durva közelítéssel a pont helyének a bizonytalanságát adja

„DUVAL 1” háromszög: bizonytalanság

"15%" not always 15%



Ahol mind három gáz 10pp, vagy nagyobb, a bizonytalansági zóna hasonló méretű.

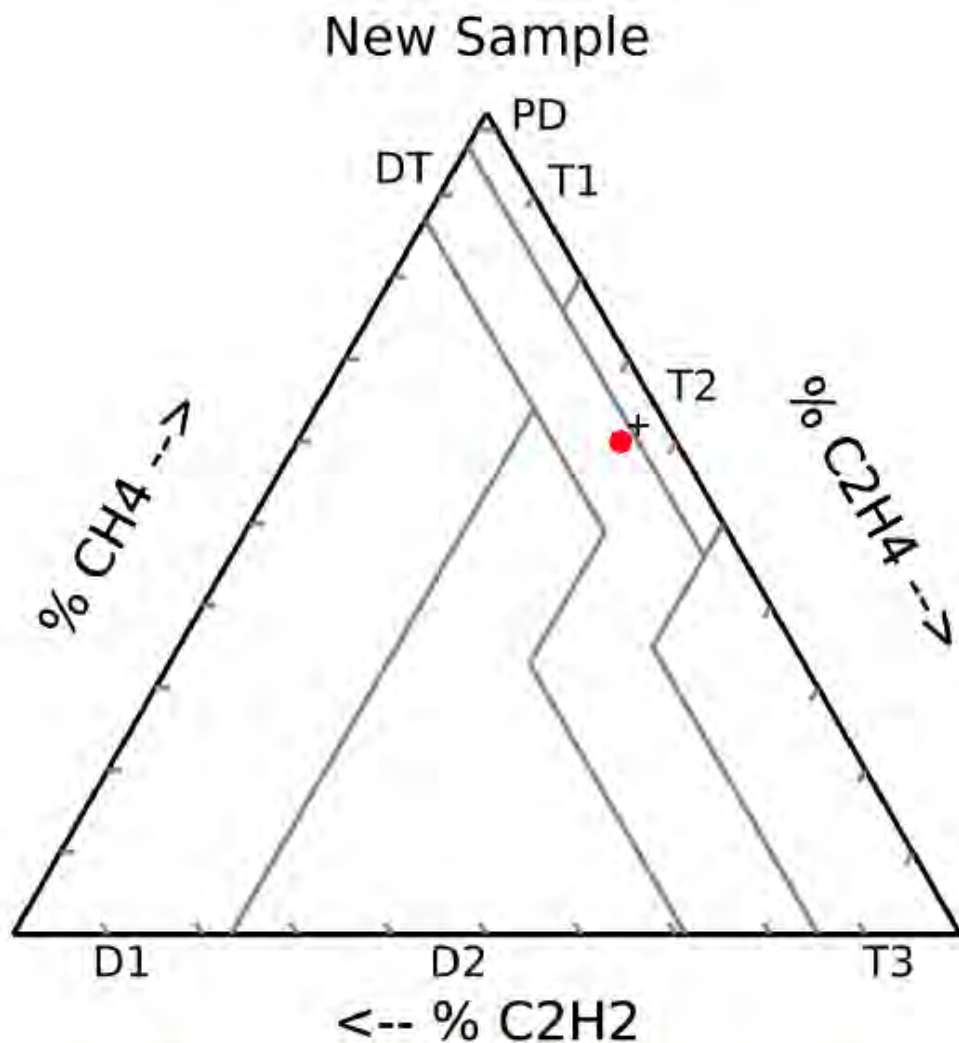
Píros pont: 40,60,100ppm.

Kék pont: 2000,800,1200ppm.

Ahol a gázok 10ppm alatt vannak, a bizonytalansági zóna nagyobb, a diagnózis bizonytalan.

A fekete pont: 3,5,2ppm

„DUVAL 1” háromszög: gáznövekedés



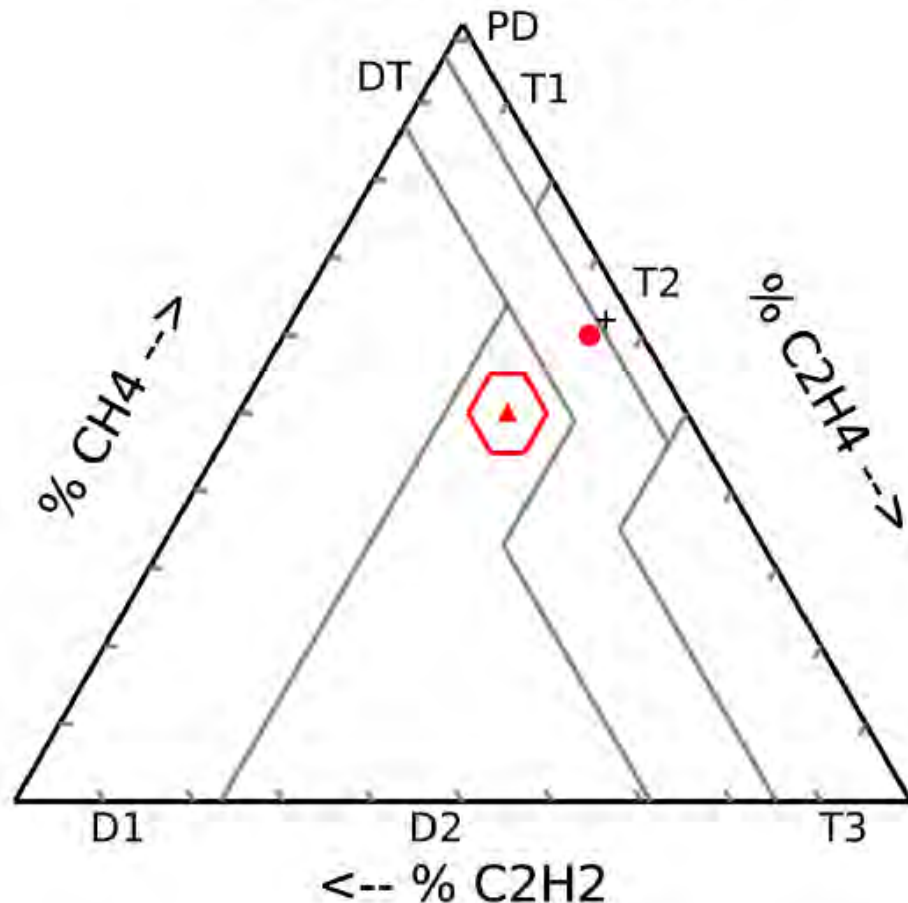
Itt a kiindulási állapot (fekete + jel, az „alapvonal, maradék gáz”: metán 62ppm, etilén 35ppm, acetilén 3ppm: „+” jele a T2 zónában.

Következő minta: metán 72ppm, etilén 41ppm, acetilén 7ppm: „piros pont DT-ben, T2-hez közel.

Mit jelez a most keletkezett gáz?

„DUVAL 1” háromszög: gáznövekedés

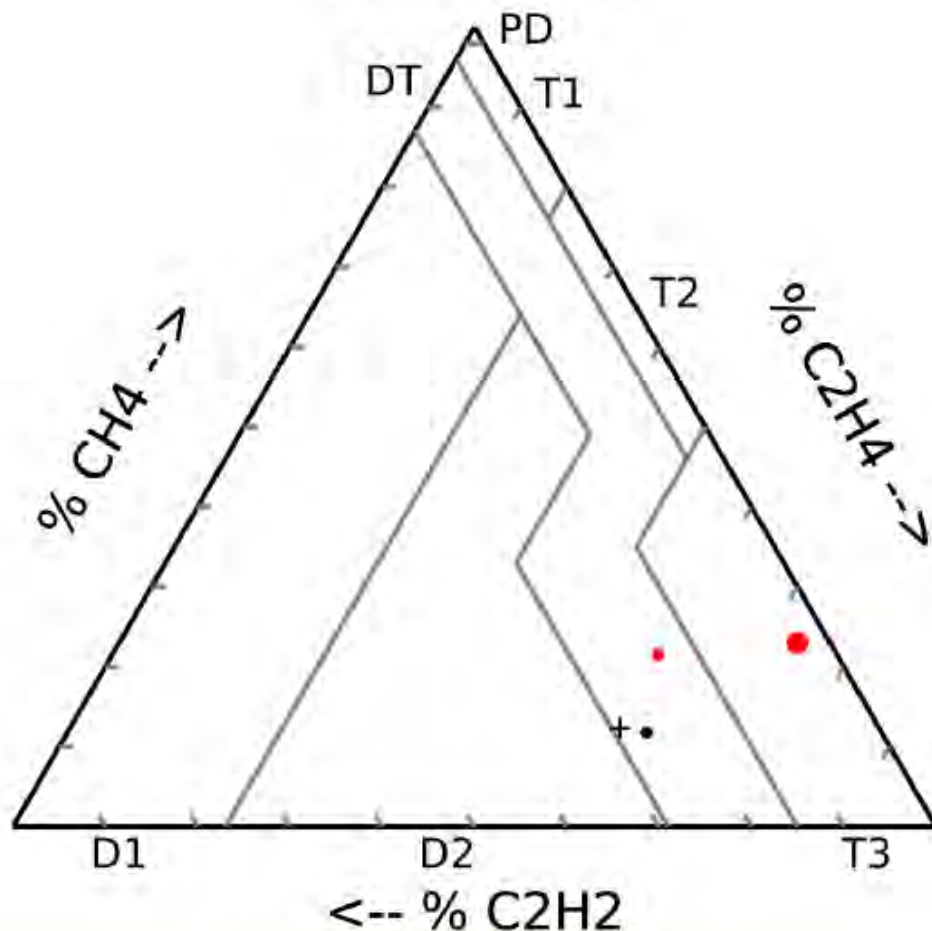
Increment = new gas



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

„DUVAL 1” háromszög: hibakifejlődés időbeli megjelenítése

Four Samples



Hasznos lehet a hiba
kifejlődésének folyamata.

Alap: 2000-ben „+” jel (DT).

Köv: 2001-ben „fekete pont”.

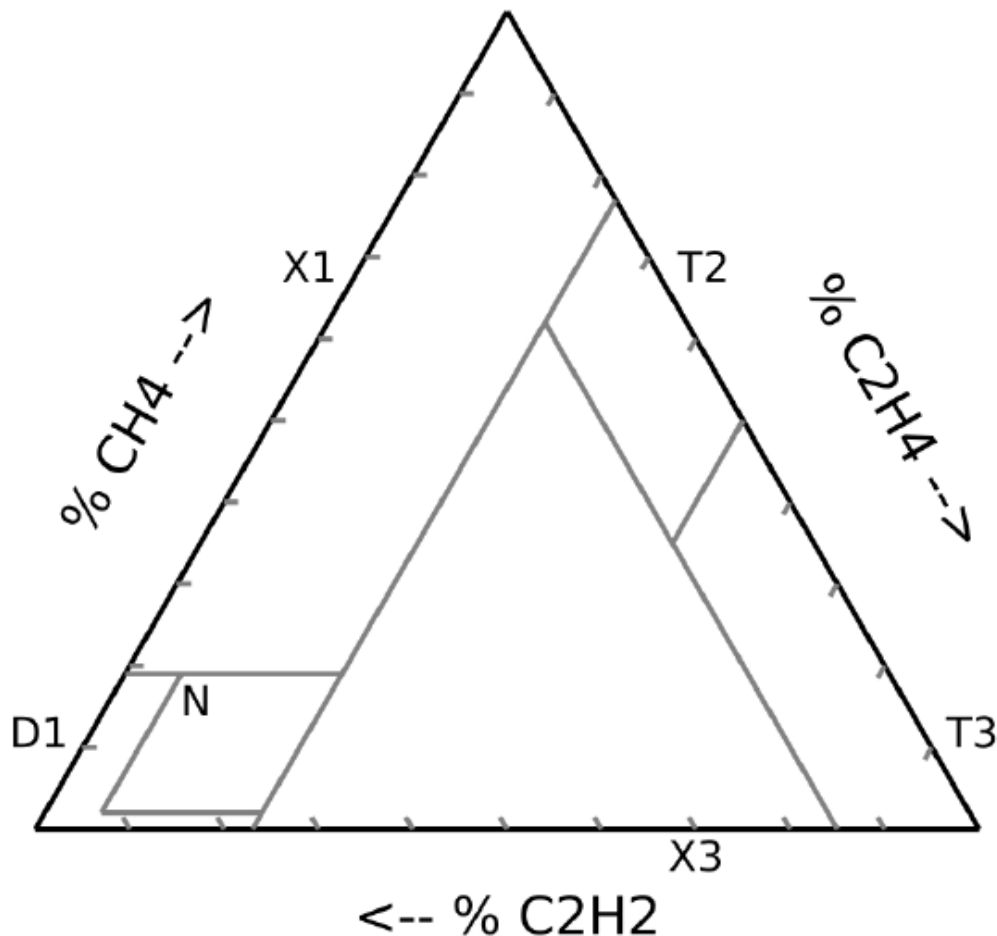
2000-es és 2001-es majdnem =

2002: **kis piros pont** DT-ben kis
gáznövekedést jelez.

2004: **nagy piros pont** T3-ban nagy
gáznövekedést jelez.

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

„DUVAL 2” háromszög: fokozatkapcsoló (olaj) diagnosztika Triangle 2 (LTC DGA)



Duval 2 gázok, mint Duval1-nél.

A „Duval 2” háromszög az LTC az LTC ívhúzó érintkezők HGA diagnosztikájára szolgál

Hibazónák:

N: normál működés

T3: >700°C, kokszosodás,

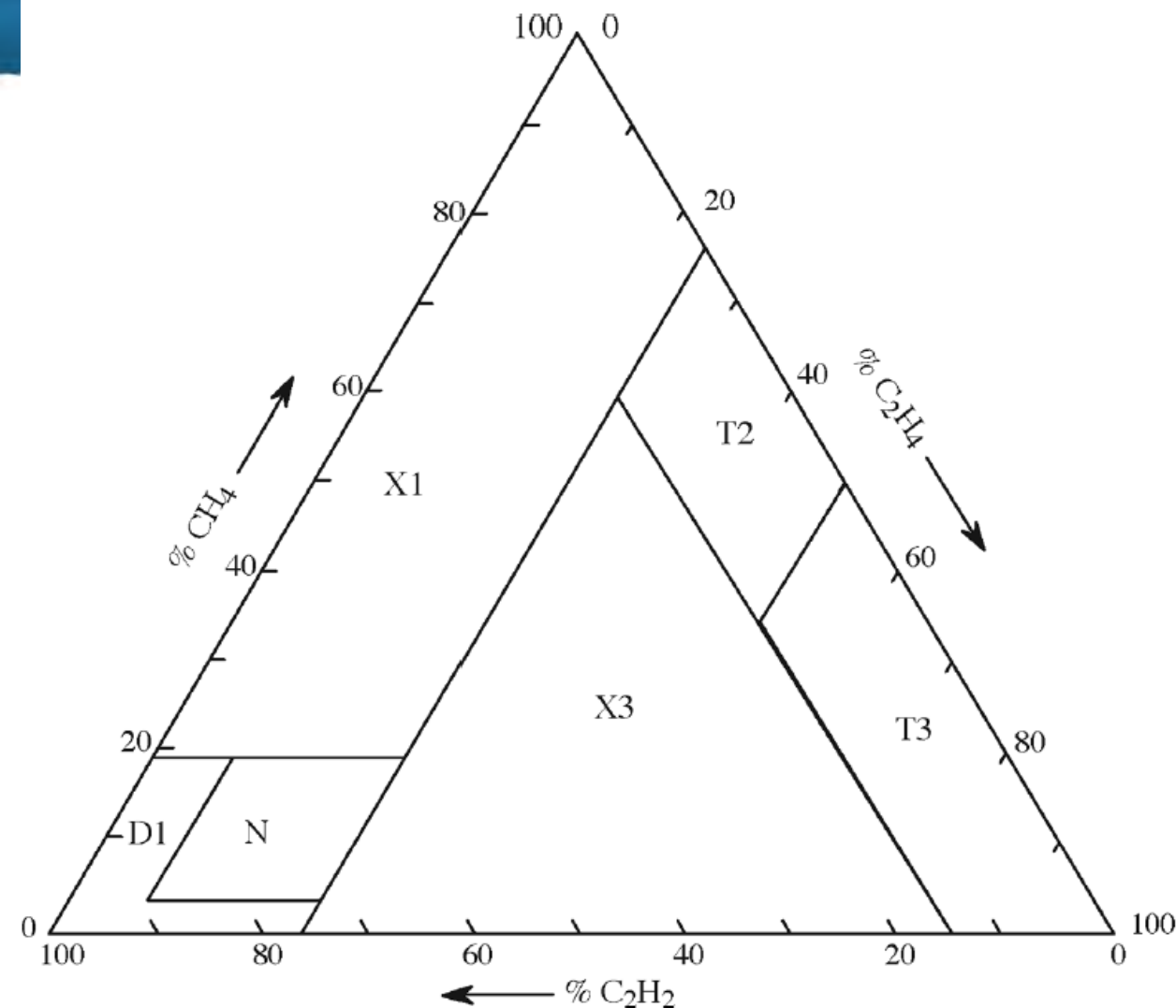
T2: 300-700°C, kokszosodás,

X3: D2 vagy átmenet T2,T3 felé,

D1: rendellenes ívelés,

X1: D1 vagy termikus

„DUVAL 2 Δ”:LTC (Load Tap Changer)



**DUVAL 2 Δ” olajos típusú
LTP-re alkalmazandó,
Kiindulás Duval 1-ből:
C2H2 és C2H4
koncentráció legyen
nagyobb 10pppm-nél.**

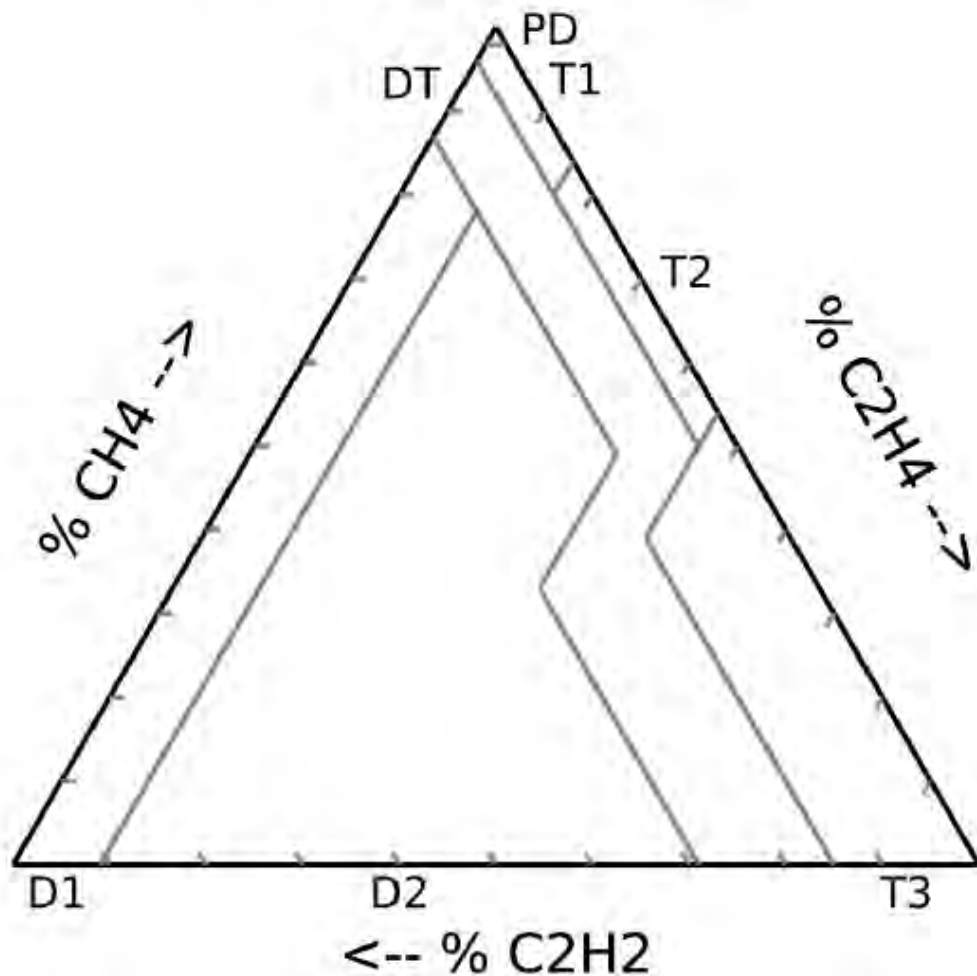
Vákuumos LTC-nél
**„DUVAL 1 Δ”-et kell
használni, szelektor
kapcsoló a hűtőolajban
van, normál működés.**

„DUVAL 3Δ”: nem-ásványolajokra kifejlesztve

- **A „DUVAL 3Δ” kiértékelések nem-ásványolajokra vonatkoznak**
- **Kevés trafóban vannak ilyen folyadékok, ezért nem új módszereket alkalmaznak, hanem a meglévőket „terjesztették” ki.**
- **Az alábbi négy esetben a „DUVAL 1Δ” lett „kiterjesztve”:
ugyanazokat a gázokat használják, csak a zónahatárok lettek módosítva.**
- **A módosítás oka: más és más a kémiai szerkezet.**
- **„DUVAL 3Δ” – szilikon olaj,**
- **„DUVAL 3Δ” – szintetikus észter: Midel,**
- **„DUVAL 3Δ” – természetes észter, növényi olaj (FR3)**
- **„DUVAL 3Δ” – természetes észter, növényi olaj (BioTemp)**

„DUVAL 3Δ szilikon olaj”

Triangle 3 (Silicone)

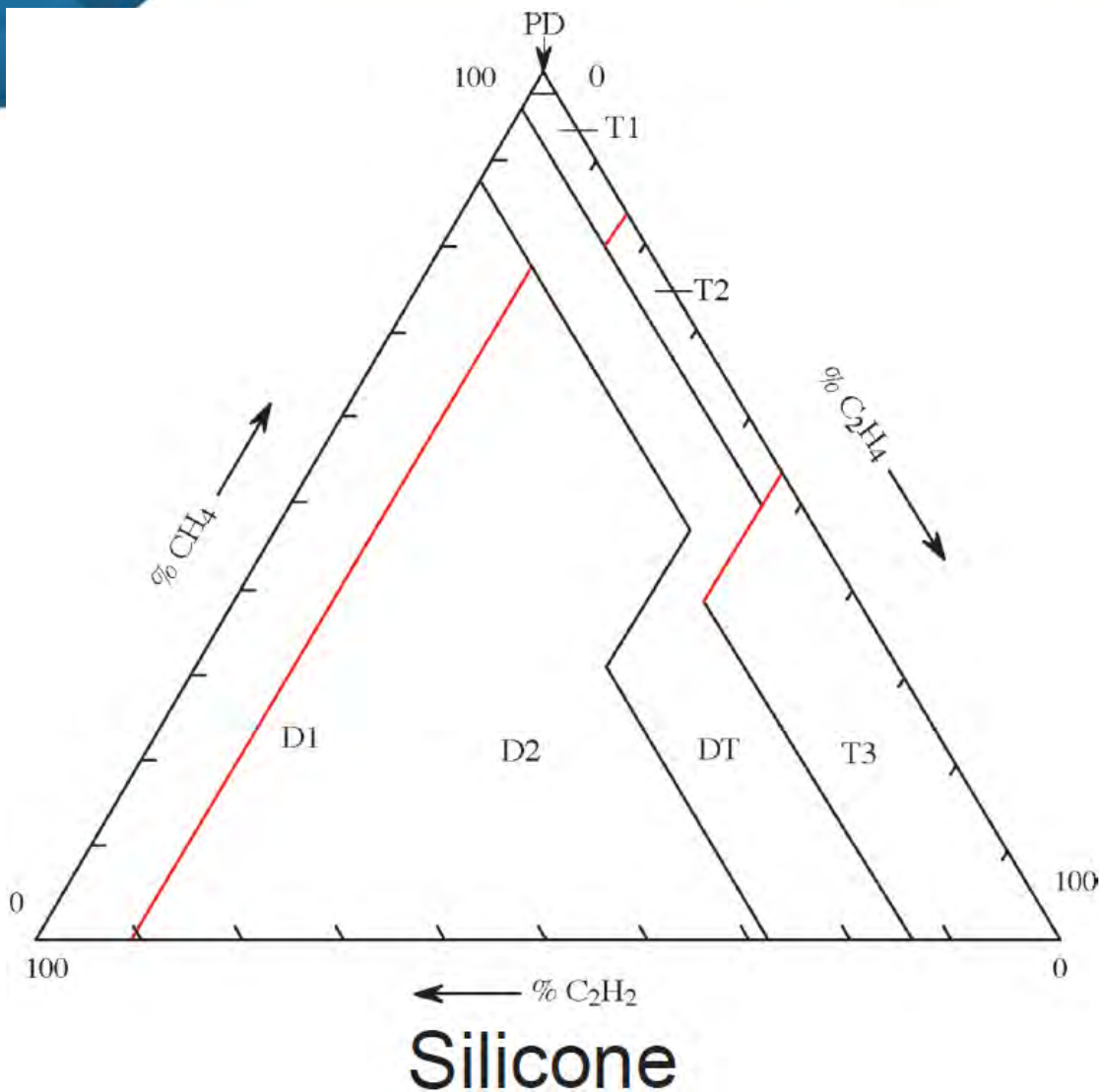


„Duval 3” háromszög az „1”-es átdolgozása más szigetelő folyadékokra.

A hibazóna típusok azonosak, de az arányok (határok) minden egyes olajra más és más.

Ez a háromszög a szilikon olajokra vonatkozik (polydimethylsiloxane).

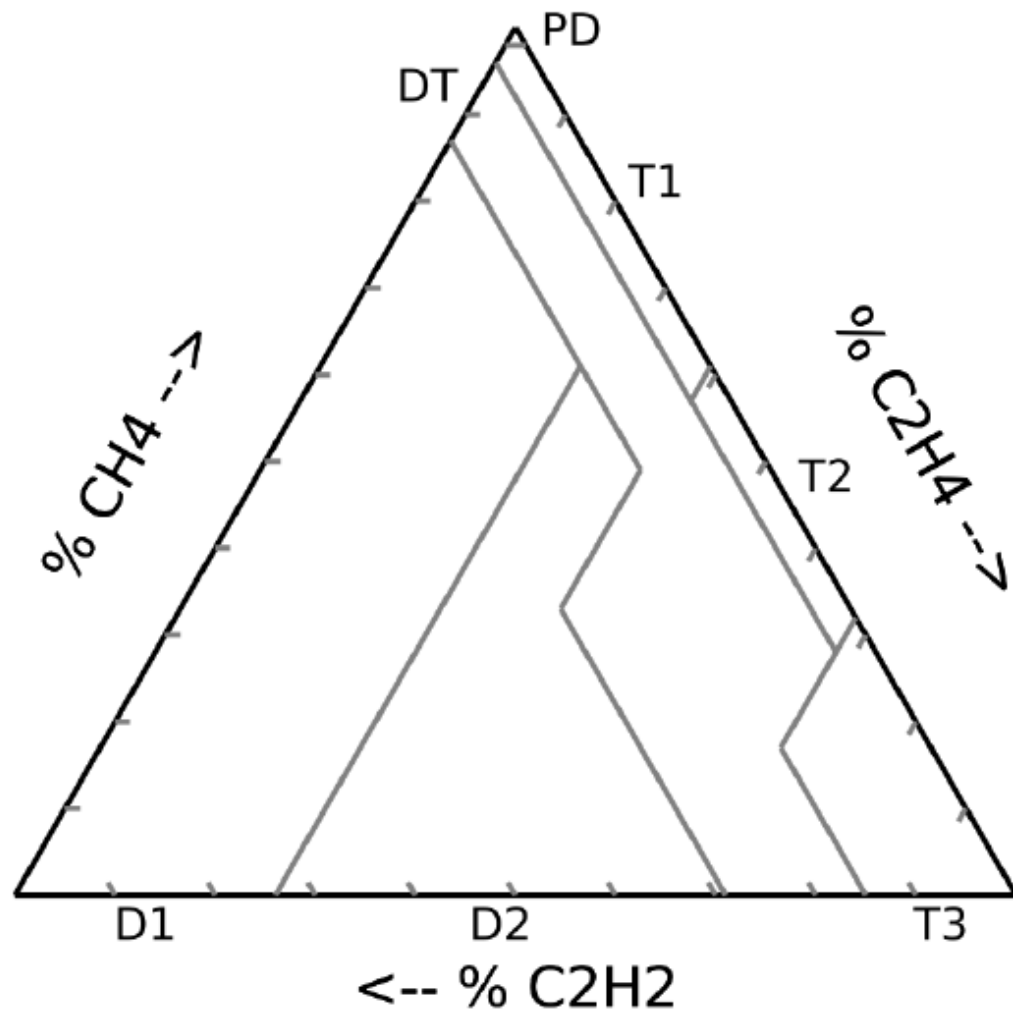
„DUVAL 3Δ szilikon olaj”



DUVAL 3Δ szilikon olaj esetén.
Szilikon olaj esetén a zónahatár **píros** színű, a fekete vonalak azonosak az ásványolajnál tapasztaltakkal.

„DUVAL 3Δ Midel folyadék”

Triangle 3 (Midel)

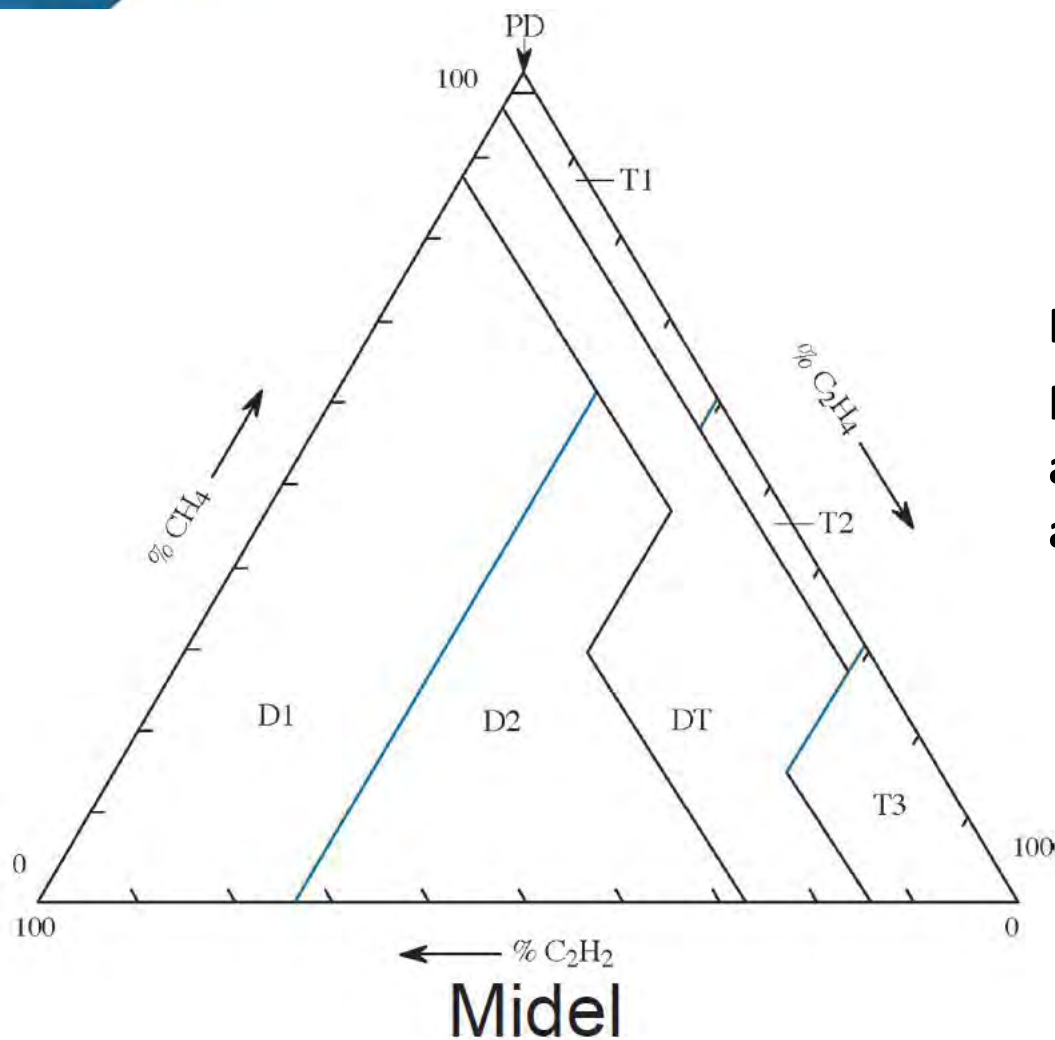


„Duval 3” háromszög az „1”-es átdolgozása más szigetelő folyadékokra.

A hibazónák azonosak, de zóna arányok minden egyes olajra más és más.

Ez a háromszög a Midel, a szintetikus észterre vonatkozik (M&I Materials).

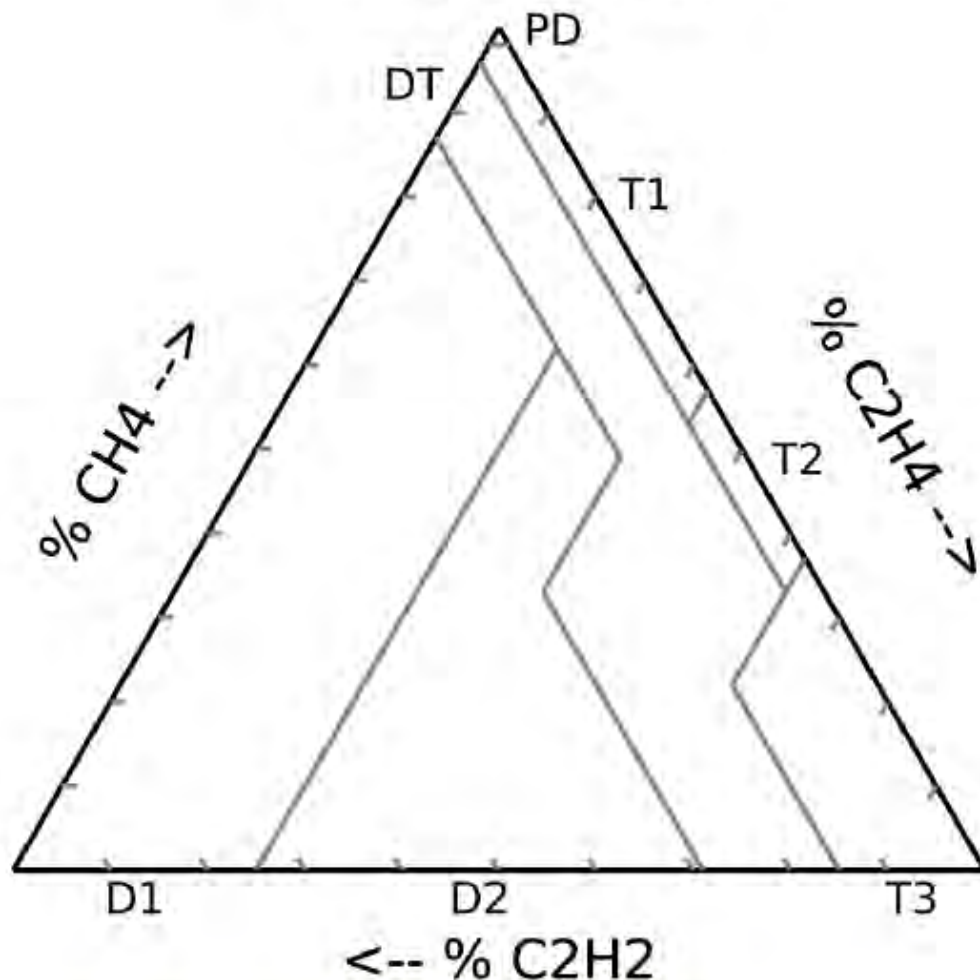
„DUVAL 3Δ Midel folyadék”



DUVAL 3Δ Midel folyadék esetén.
Midel esetén a zónahatár **kék** színű,
a fekete vonalak azonosak az
ásványolajnál tapasztaltakkal.

„DUVAL 3Δ FR3 olaj”

Triangle 3 (FR3)

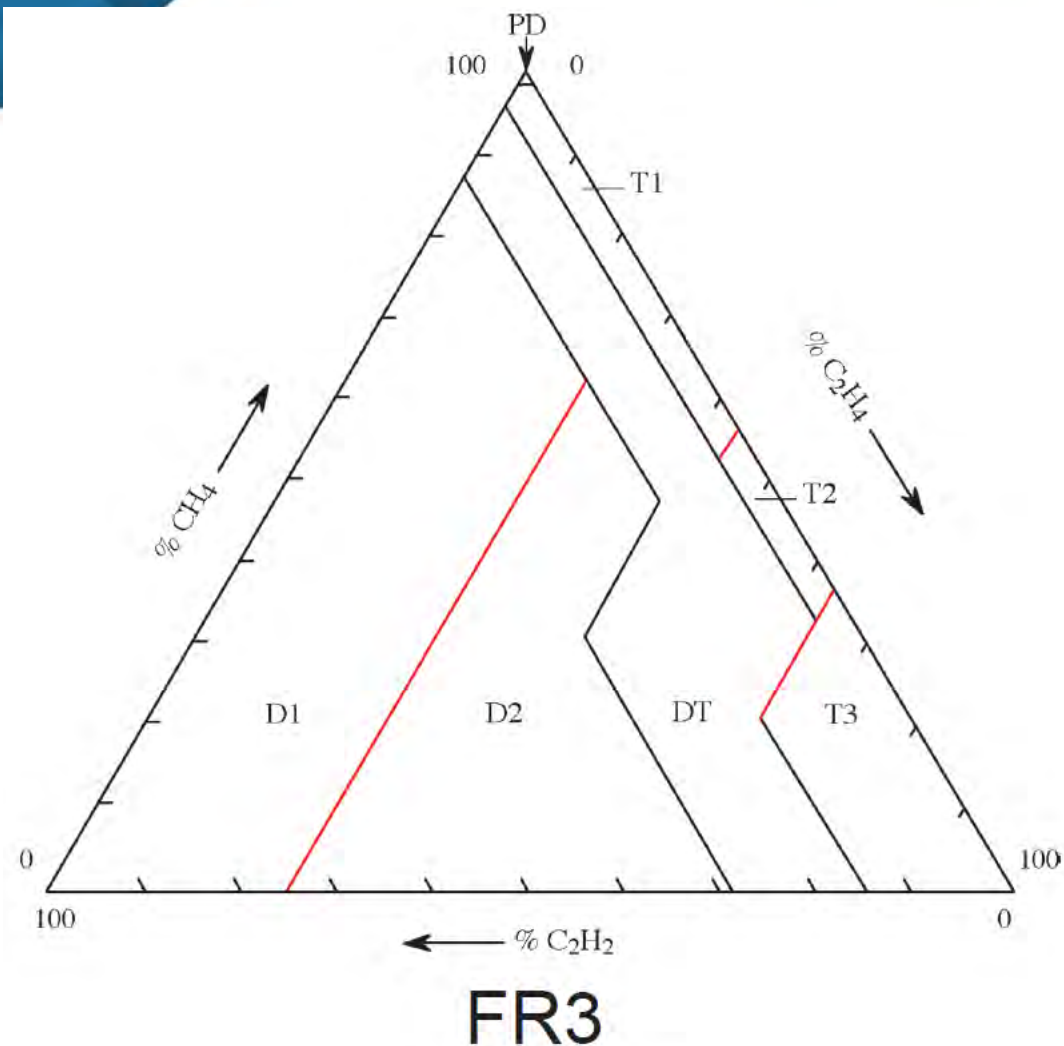


„Duval 3” háromszög az „1”-es átdolgozása más szigetelő folyadékokra.

A hibazónák azonosak, de az arányok minden egyes olajra más és más.

Ez a háromszög az Envirotemp FR3 természetes észter folyadékra vonatkozik a Cooper Power Systems-től.

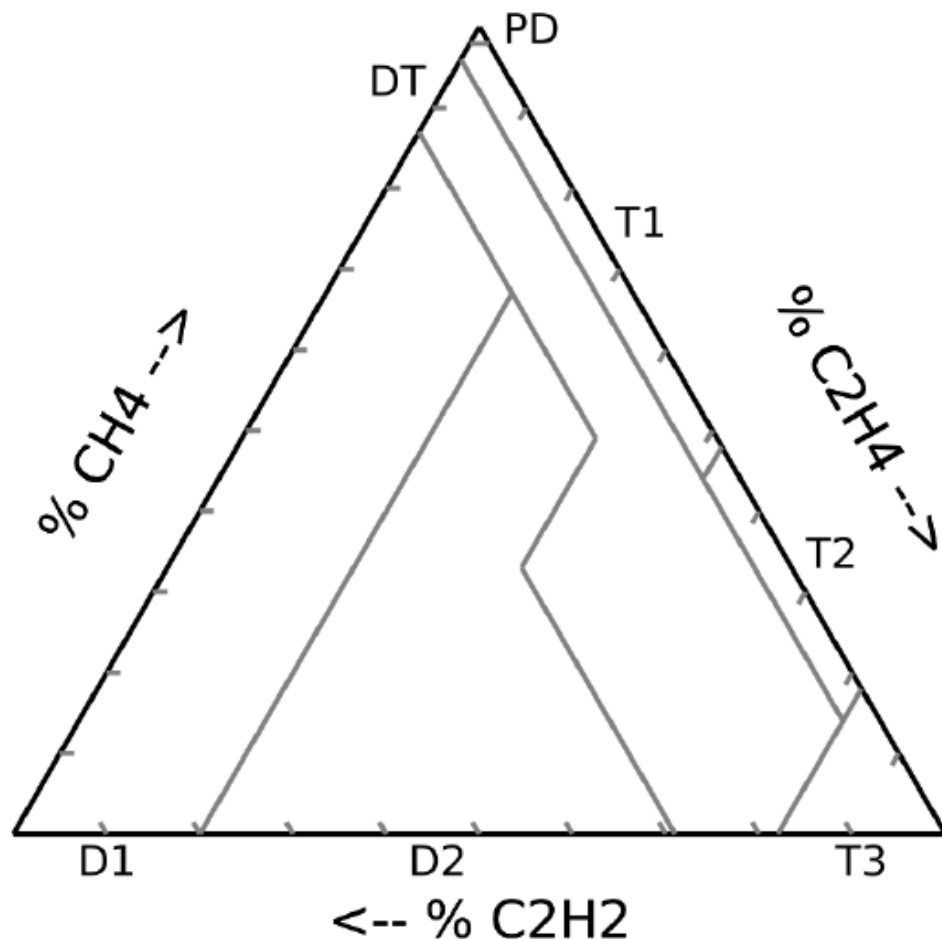
„DUVAL 3Δ FR3 olaj”



DUVAL 3Δ FR3 olaj esetén.
FR3 olaj esetén a zónahatár **píros** színű, a fekete vonalak azonosak az ásványolajnál tapasztaltakkal.

„DUVAL 3Δ Bio Temp olaj”

Triangle 3 (Biotemp)

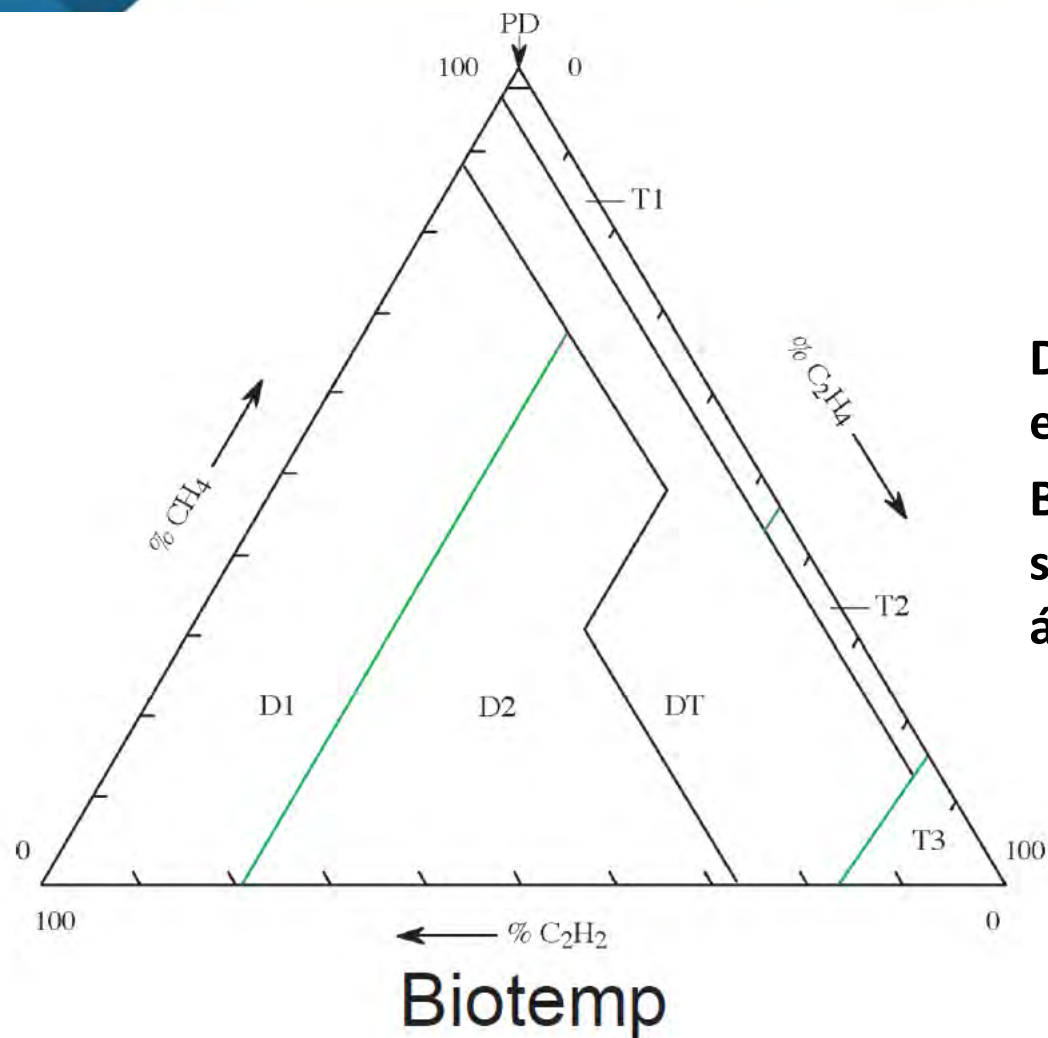


„Duval 3” háromszög az „1”-es átdolgozása más szigetelő folyadékokra.

A hibazónák azonosak, de az arányok minden egyes olajra más és más.

Ez a háromszög a BIOTEMP, természetes észter folyadékokra vonatkozik.

„DUVAL 3Δ Biotemp olaj”



DUVAL 3Δ BioTemp folyadék esetén.

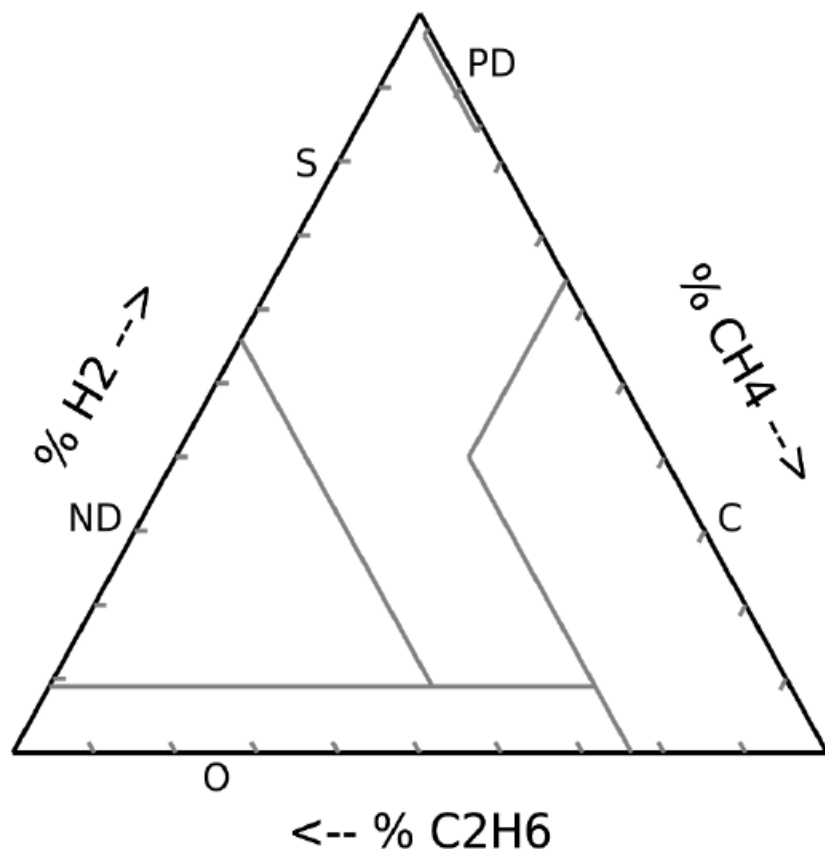
BioTemp esetén a zónahatár **zöld** színű, a fekete vonalak azonosak az ásványolajnál tapasztaltakkal.

„DUVAL 4 Δ és 5 Δ alacsony hőmérsékletű hibákra

- A „**DUVAL 1 Δ** ” diagnosztikával 3 gázzal (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4) **elég jól használható** a PD, D1, D2, T1, T2, T3, DT hibák általános eseteire.
- Amikor a gázok **közel vannak a PD és T1 határhoz**, e hibák nehezen választhatók szét, és néhány olajnál jelentős „stray gassing” 80 és 120°C között.
- „**Stray gas**” lehet PD, T1 vagy T2 zónákban és zavarhatja a HGA-t.
- A **DUVAL 4 Δ és 5 Δ alacsony hőmérsékletű hibákra** lett kifejlesztve, hogy csökkentsük e bizonytalanságokat.
- Akkor **használjuk 4 Δ -t** amikor 1 Δ „lehetséges” PD, T1 vagy T2 hibát jelez. Ha Duval 1 Δ „D1,D2,T3-t” jelez, **4 Δ -t és 5 Δ -t ne használjuk.**
- Jó Rogers és Dörnenburg egyezések: **$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$) !!!**, visszavonták, így nem szerepel már az IEC-ben sem, pedig hasznos.

„DUVAL 4” háromszög: alacsony hőmérsékletű hibák

Triangle 4 - Low energy (Oil)



A Duval 4 háromszög az olaj trafók alacsony hőfokú hibákra, amikor az ,1'-es háromszög PD, T1 vagy T2 hibát jelez. A 4-es háromszög **hidrogén, metán és etán** gázokat alkalmaz. Hibazónák:

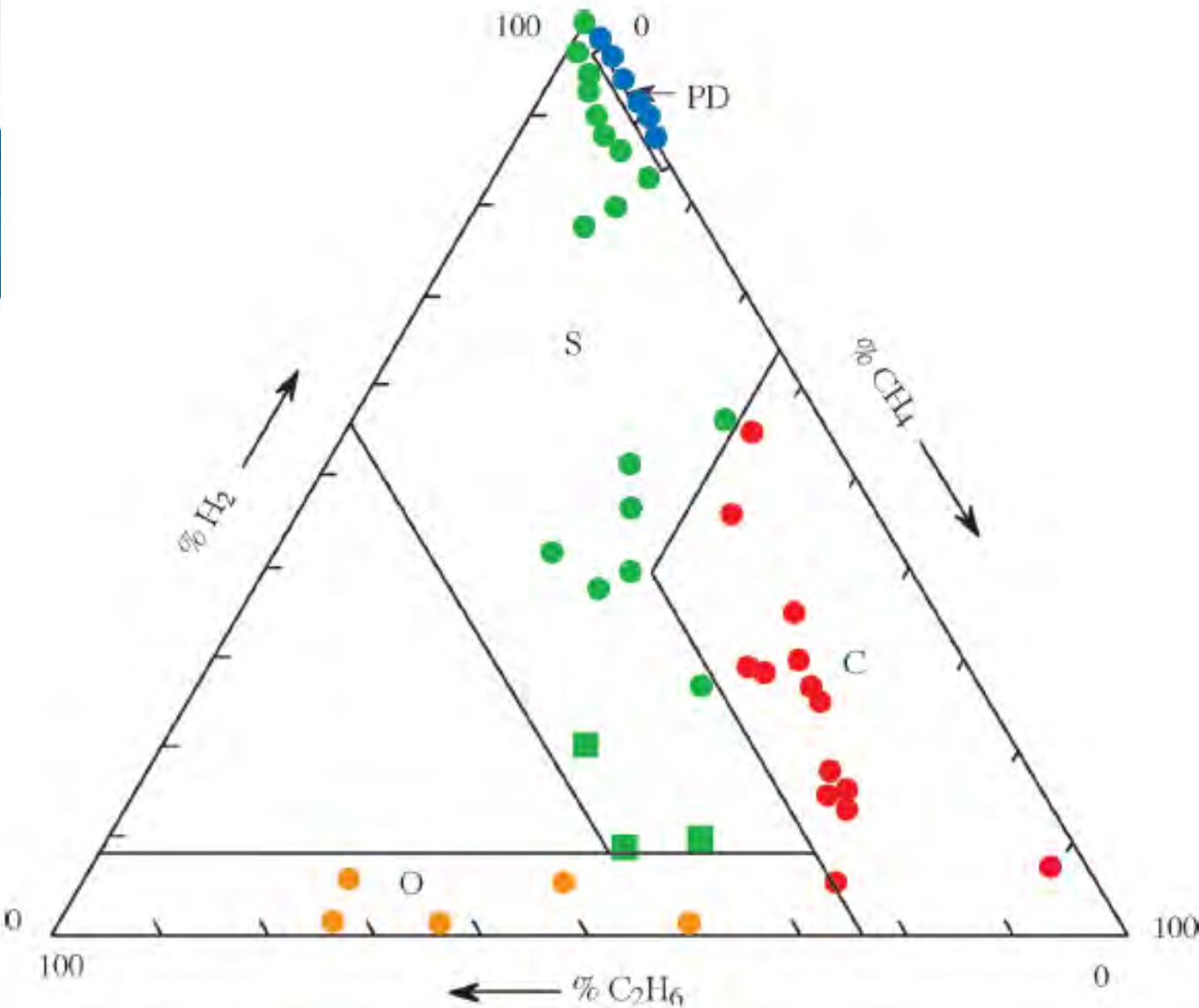
PD: részleges kisülés

S: „stray gas” (szórt, szórvány)

C: hot spots, szenesedés

O: <250°C,

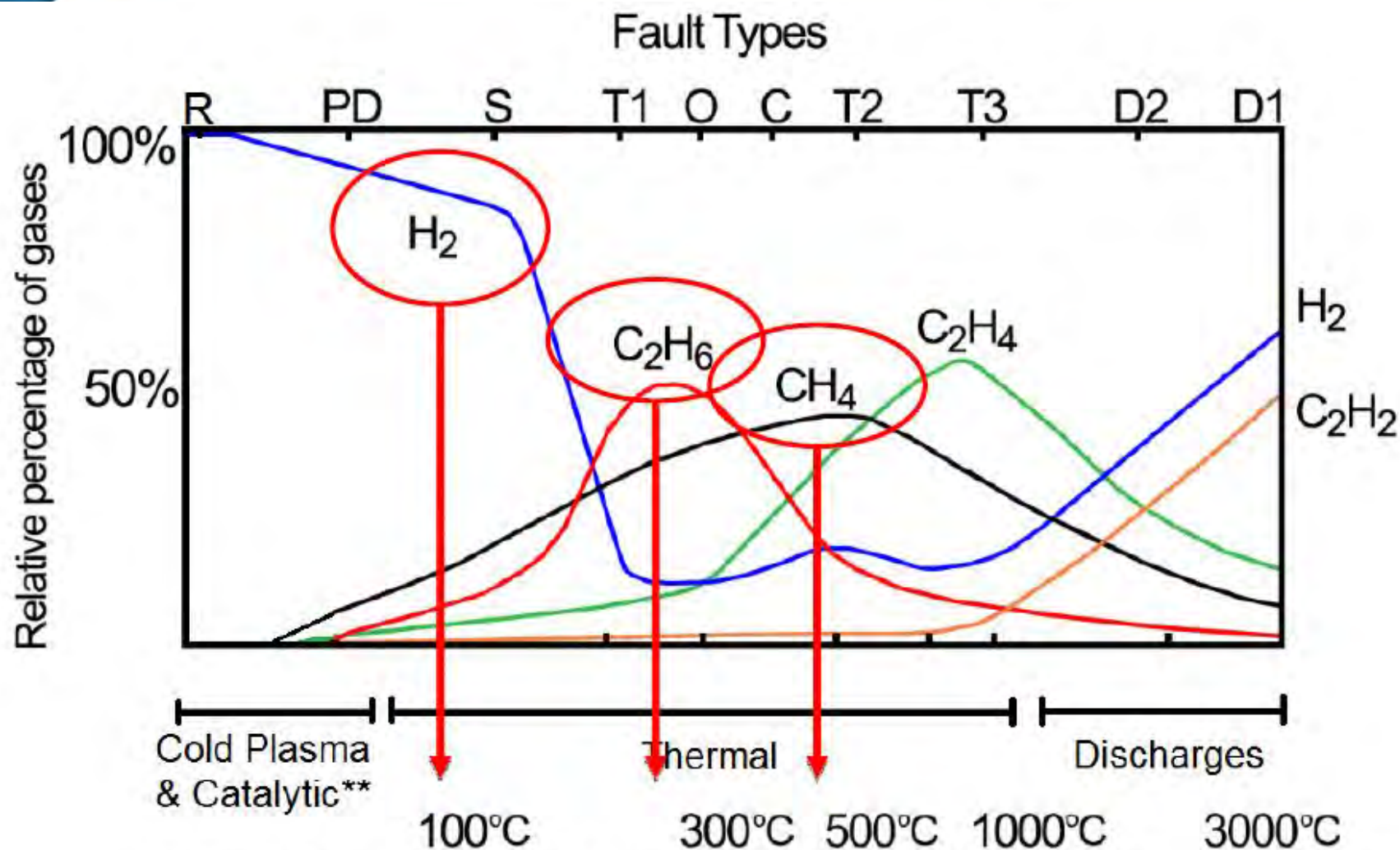
ND:nem meghatározott



**„DUVAL 4”
ásványolajra: kis
energiájú gázok, H_2 ,
 CH_4 , C_2H_6 ,
labormérések,
hibazónák,**

●: Corona partial discharges; ●: Stray gassing at 120°C ;
■: Stray gassing at 200°C ; ●: Hot spots with carbonization
of paper; ●: Overheating ($T < 250^\circ\text{C}$).

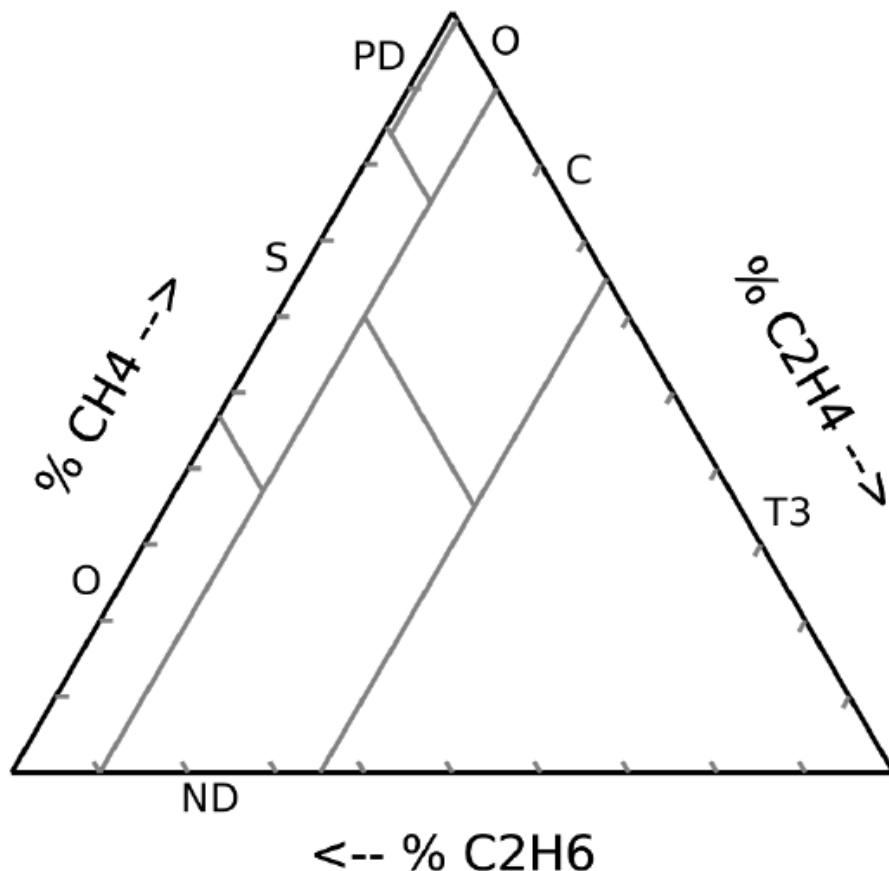
„DUVAL 4” háromszög, Relatív gázképződés alacsony hőmérsékleten



** Not related to temperature

„DUVAL 5” háromszög: közepes hőmérsékletű hiba (olaj)

Triangle 5 - Thermal (Oil)



A „Duval 5” háromszög az olaj trafók alacsony hőfokú hibákra, amikor az „1”-es háromszög PD, T1 vagy T2 hibát jelez **nem használható**. Az 5-ös háromszög metán, etilén és etán gázokat alkalmaz. Hibazónák:

PD: részleges kisülés

S: „stray gas” (szórt, szórvány)

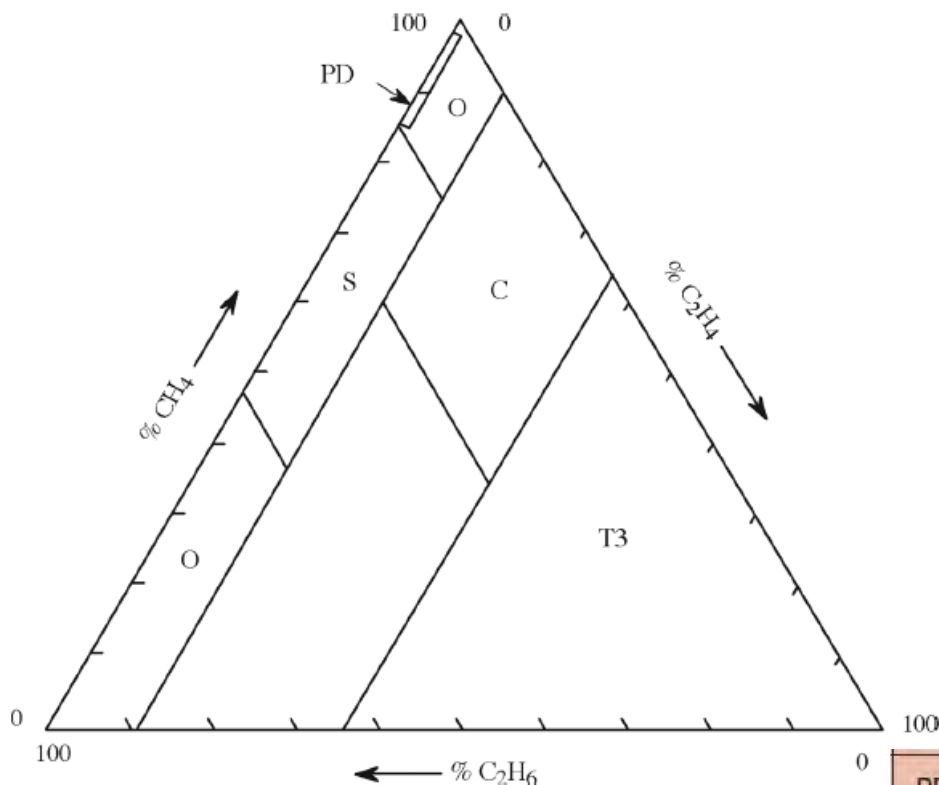
C: hot spots, szenesedés

O: <250°C,

T3: >700°C

ND:nem meghatározott

„DUVAL 5” háromszög, közepes hőmérsékletű hiba, ásvánvolaira: C₂H₄, CH₄, C₂H₆



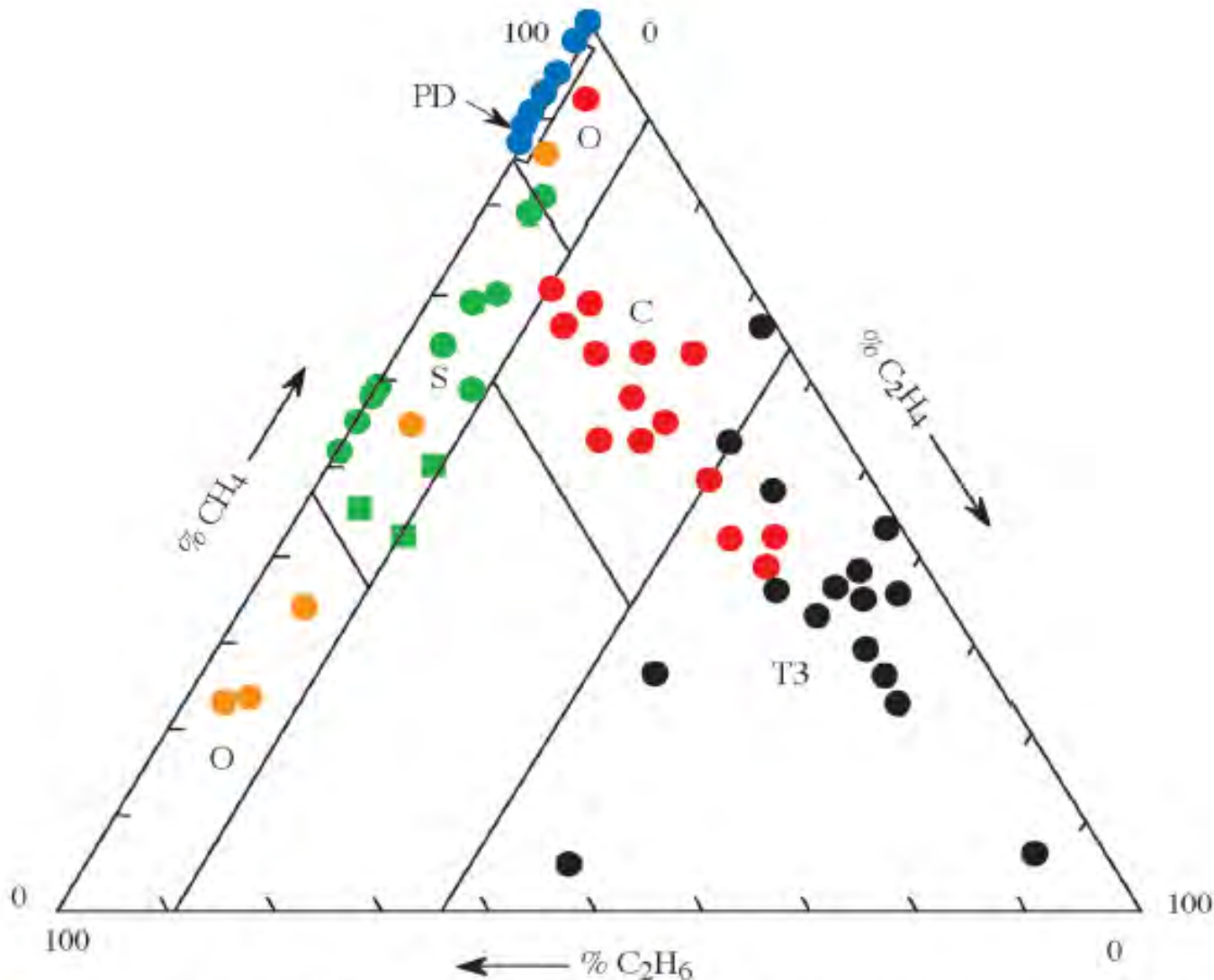
Duval 4: un. „kis energiájú” gázok (H₂, CH₄, C₂H₆).

Duval 5: un. „hőmérsékleti” gázok.
Használata: bizonytalanok vagyunk Duval 4-el és meg akarjuk erősíteni.

Duval 4: H₂, CH₄, C₂H₆

Duval 5: C₂H₆, CH₄, C₂H₄,

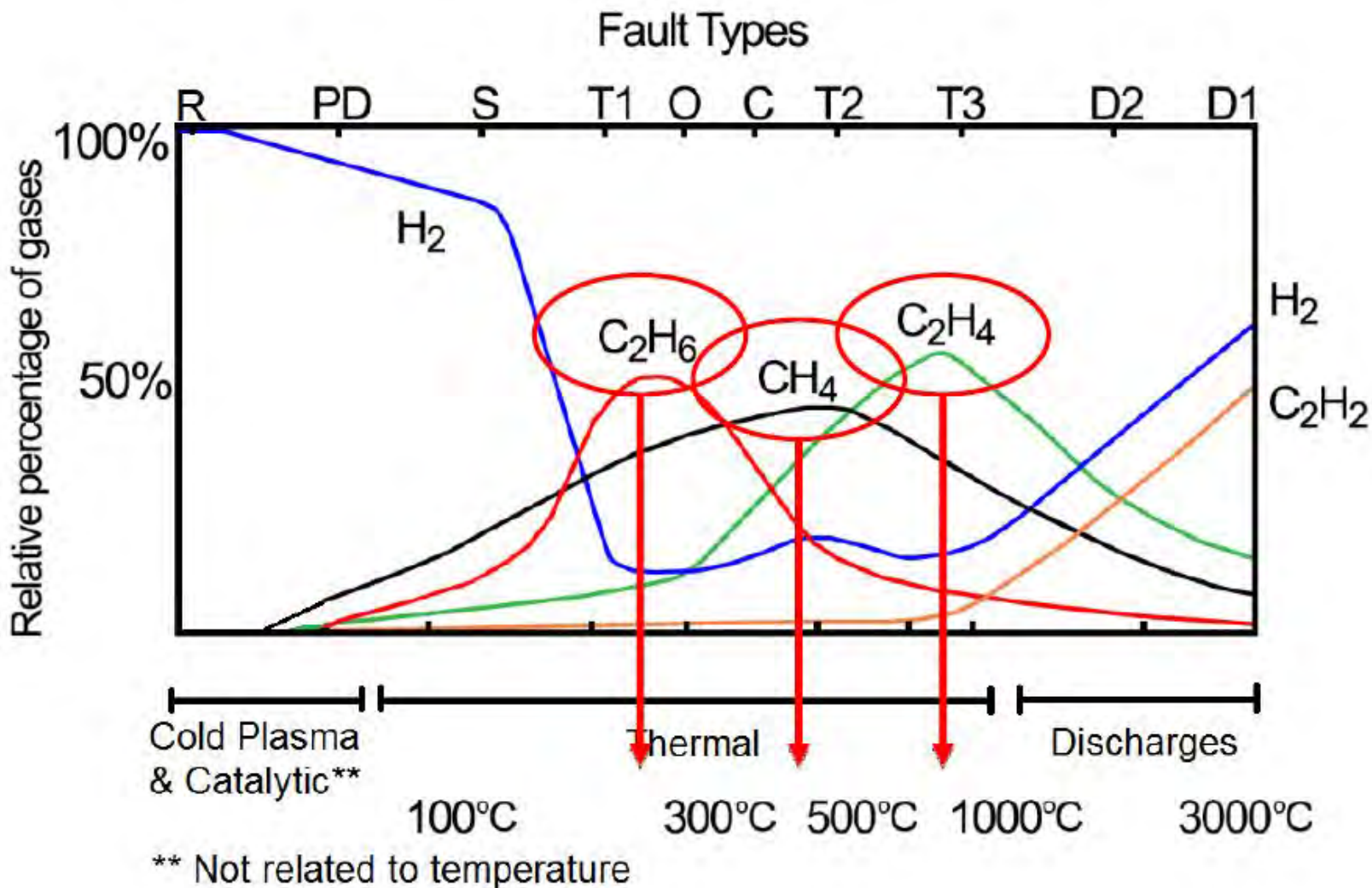
PD	Corona Partial Discharges
S	Stray gassing of mineral oil
C	Hot spots with carbonization of paper (T > 300°C)
O	Overheating (T < 250°C)
T3	Thermal faults of very high temperatures (T > 700°C)



**Duval 5: alacsony
és közepes
hőmérsékletű
hibák,**

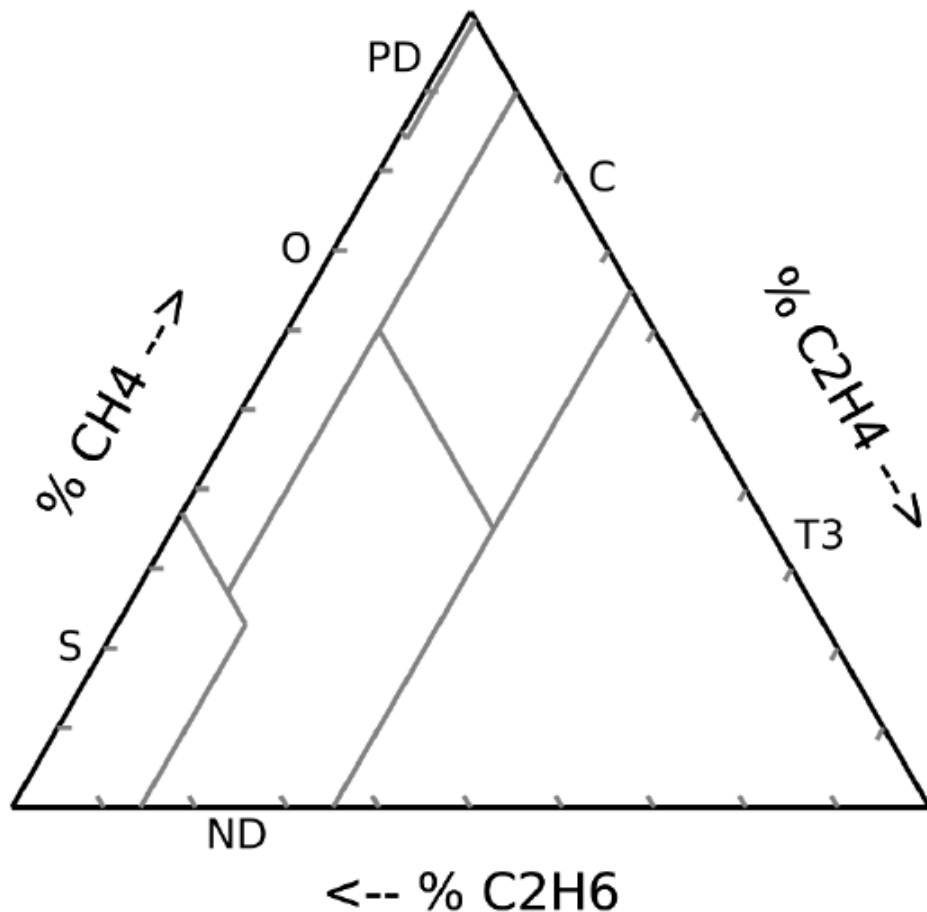
●: Corona partial discharges; ●: Stray gassing at 120°C;
■: Stray gassing at 200°C; ●: Hot spots with carbonization
of paper; ●: Overheating ($T < 250^\circ\text{C}$).

„DUVAL 5 ” háromszög: közepes hőmérsékletű hiba



„DUVAL 6” háromszög: alacsony hőmérsékletű hiba (FR3)

Triangle 7 - Thermal (FR3)



A „6”-os mint a „4”-es, de FR3-ra szabva, amikor az ,1'-es háromszög PD, T1 vagy T2 hibát jelez. A 6-os háromszög **metán, hidrogén és etán** gázokat alkalmaz. Hibazónák:

PD: részleges kisülés

S: „stray gas” (szórt, szórvány)

C: hot spots, szenesedés

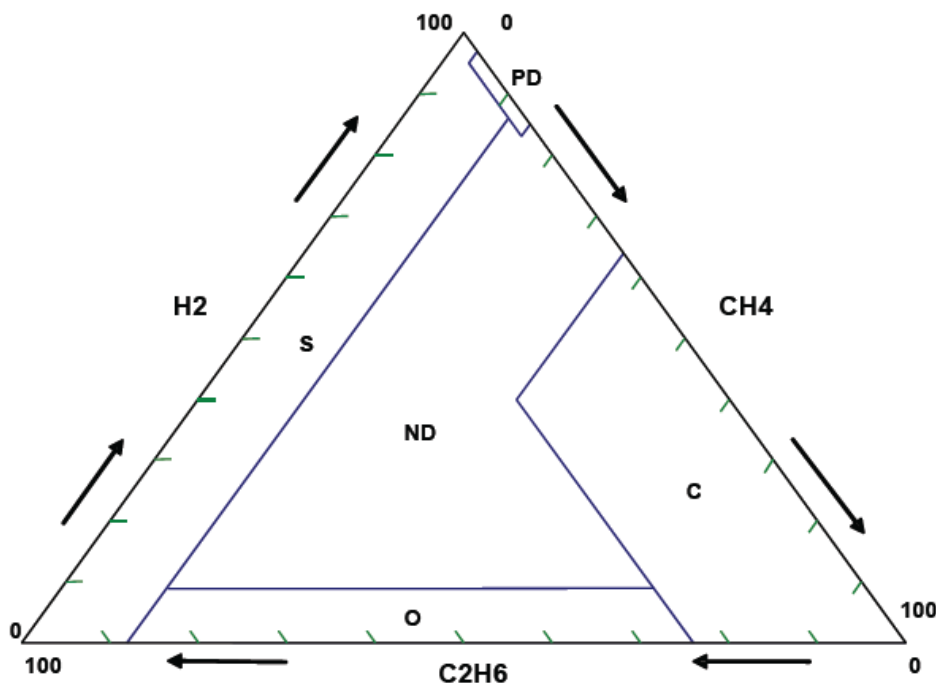
O: <250°C,

T3: >700°C

ND: nem meghatározott

„DUVAL 6” háromszög: alacsony hőmérsékletű hiba (FR3)

Duval 6 FR3 Low Temperature



A „6”-os mint a „4”-es, de FR3-ra szabva, amikor az „1”-es háromszög PD, T1 vagy T2 hibát jelez. A 6-os háromszög **metán, hidrogén és etán** gázokat alkalmaz. Hibazónák:

PD: részleges kisülés

S: „stray gas” (szórt, szórvány)

C: hot spots, szenesedés

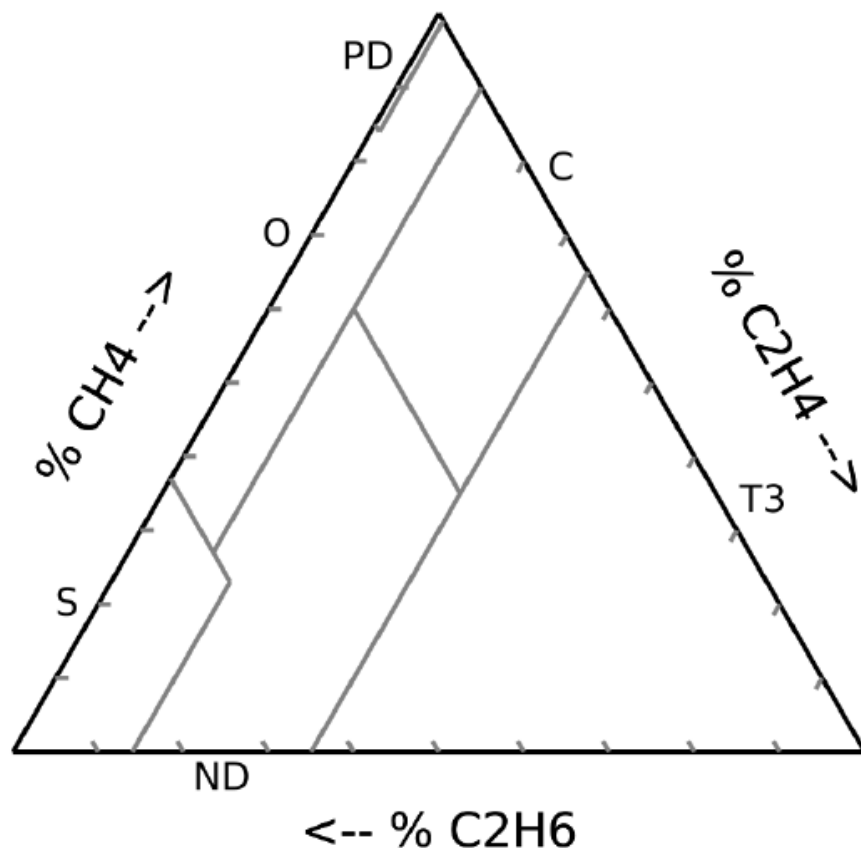
O: <250°C,

T3: >700°C

ND: nem meghatározott

„DUVAL 7” háromszög

Triangle 7 - Thermal (FR3)



A „7”-es mint „5”, de nem olajra, hanem FR3-ra. Amikor „3”-as háromszög PD, T1 vagy T2 hibát jelez nem használható. A „7”-es háromszög **metán, etilén és etán** gázokat alkalmaz.

Hibazónák:

PD: részleges kisülés

S: „stray gas” (szórt, szórvány)

C: hot spots, szenesedés

O: $<250^\circ\text{C}$,

T3: $>700^\circ\text{C}$

ND: nem meghatározott

„DUVAL 7” háromszög

A „7”-es mint „5”, de nem olajra, hanem FR3-ra. Amikor „3”-as háromszög PD, T1 vagy T2 hibát jelez nem használható. A „7”-es háromszög **metán, etilén és etán** gázokat alkalmaz.

Hibazónák:

PD: részleges kisülés

S: „stray gas” (szórt, szórvány)

C: hot spots, szenesedés

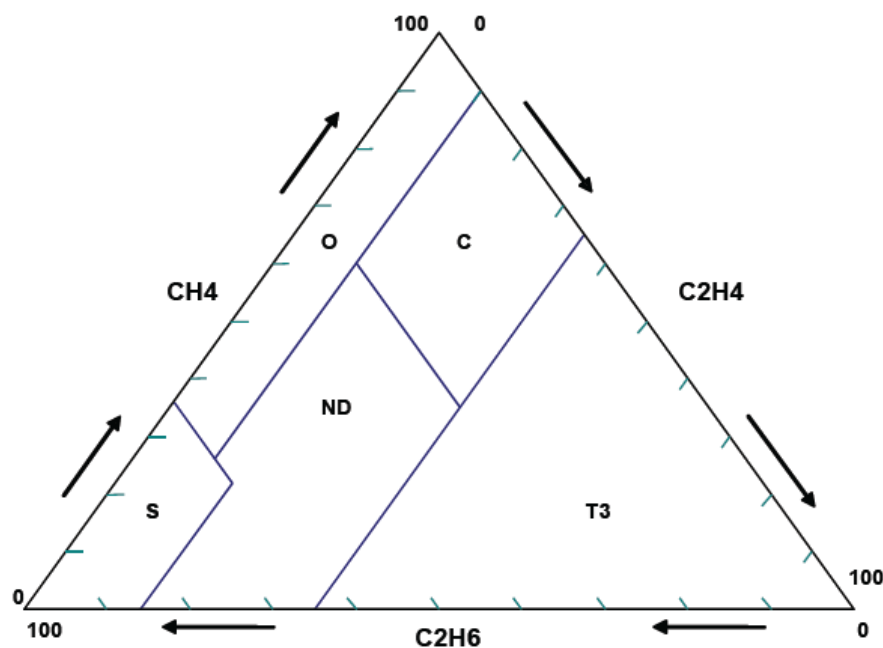
O: <250°C,

T3:

ND:nem meghatározott

.

Duval 7 FR3 Low Temperature



„DUVAL Pentagon”

DUVAL PENTAGON

„DUVAL Pentagon”

- Eddig 7 Duval háromszög fordult elő összesen 5 gázt használt:
- Duval Δ 1: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4 , ásványolajra
- Duval Δ 2: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4 , mint Δ 1, LTC
- Duval Δ 3: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4 , mint Δ 1, szilikon olaj
- Duval Δ 4: C_2H_6 , CH_4 , H_2 , mint Δ 1 Midel, FR3,
- Duval Δ 5: C_2H_6 , CH_4 , C_2H_4 , mint Δ 1, alacsony
- Duval Δ 6: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4 , mint Δ 1
- Duval Δ 7: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4 , mint Δ 1

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

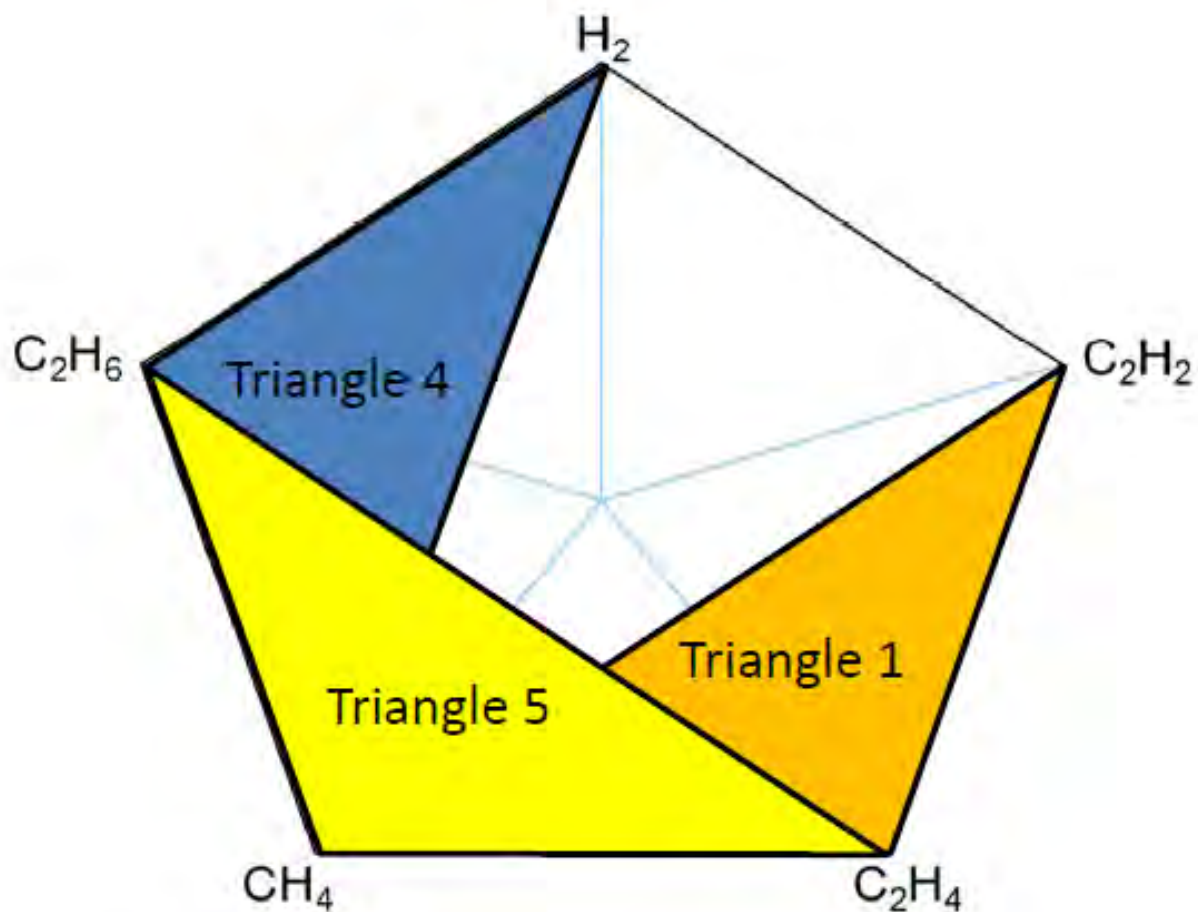
- 5 gáz: H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 ,
- Pentagon 1: „klasszikus” hibazóna kijelölés,
- Pentagon 2: „modern” hibazóna kijelölés,

„DUVAL Pentagon 1 és 2”

- 2014-ben lett bevezetve ásványolajra
- Duval Pentagon 5 gázt használ: $H_2, C_2H_6, CH_4, C_2H_4, C_2H_2$.
- IEC, IEEE két, Duval Δ -ek pedig három gázt használnak
- CO és CO₂ hiányzik: más módszerrel értékelik.
- H_2 relatív értéke: $ppmH_2/ppm(H_2+C_2H_6+CH_4+C_2H_4+C_2H_2)$.
- Ötszög minden csúcsa egy gáznak fel meg.
- A fentebb számolt $H_2\%$ az ötszög közepe és H_2 csúcs közzé kerül.
- Ezt mind az öt gázra el kell végezni, ötszög (pentagon) rajzolása.

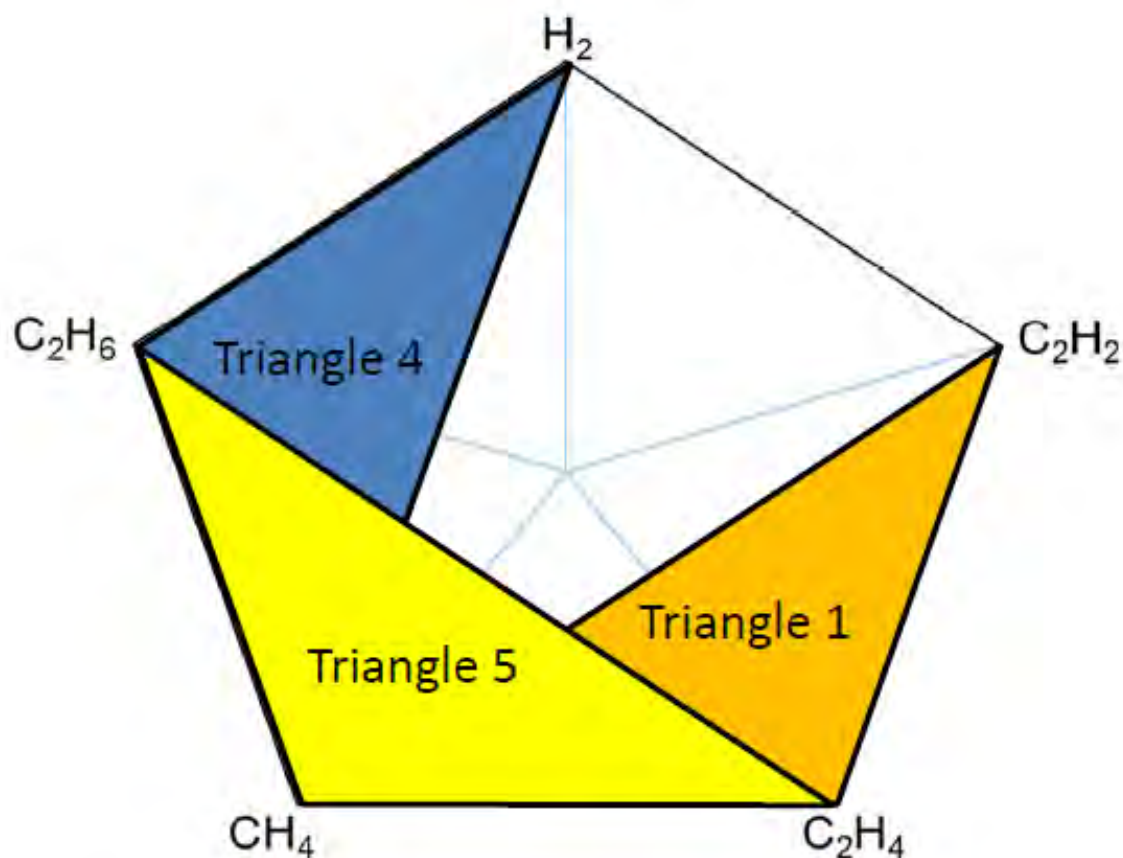
„DUVAL Pentagon: Duval $\Delta 1$, Duval $\Delta 4$, Duval $\Delta 5$ kombinációja

Duval Pentagon



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

Duval Pentagon



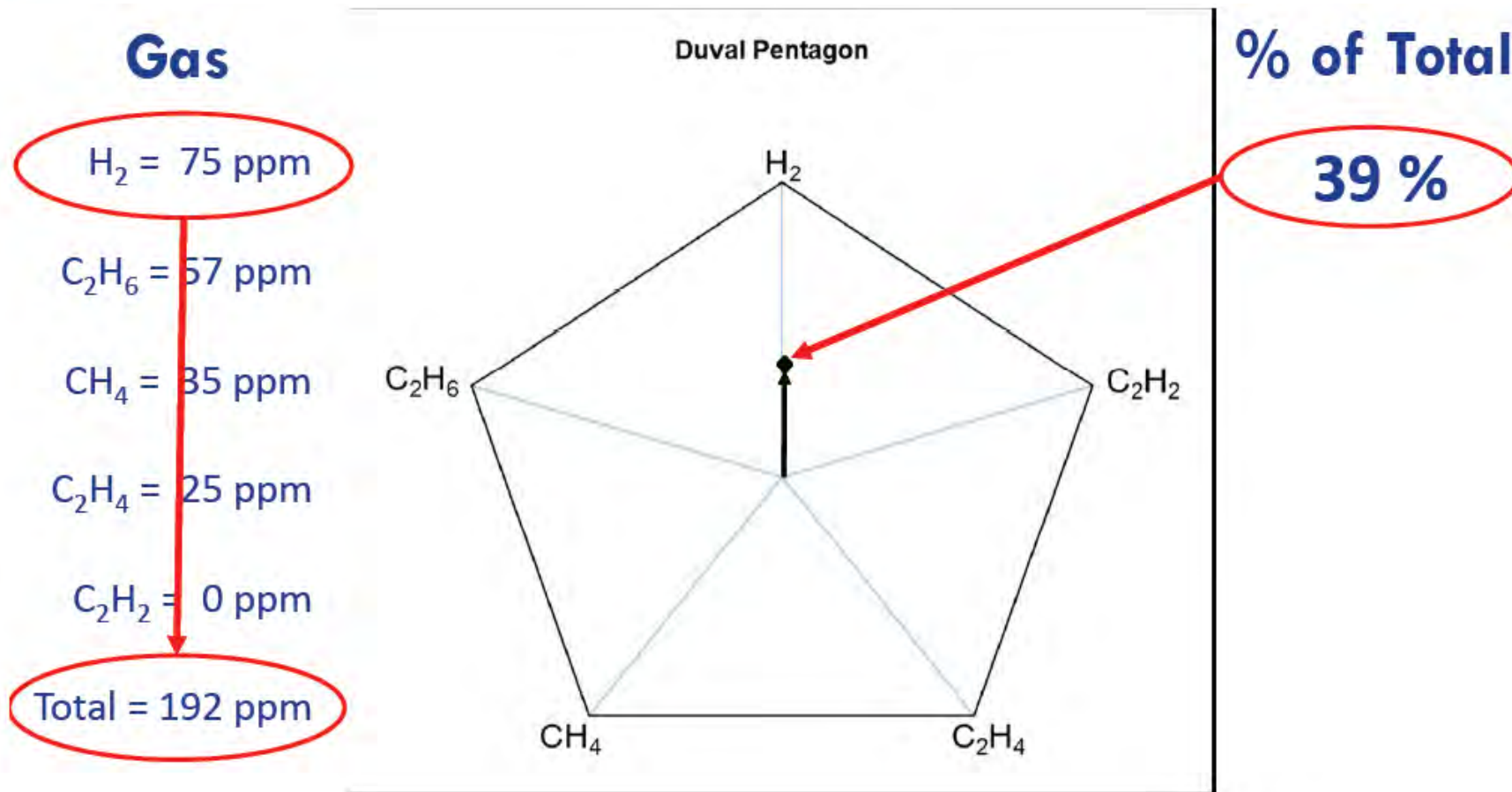
Duval $\Delta 1$: C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4

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 Pentagon” H₂ berajzolása



„DUVAL Pentagon” C₂H₆ berajzolósa

Gas

H₂ = 75 ppm

C₂H₆ = 57 ppm

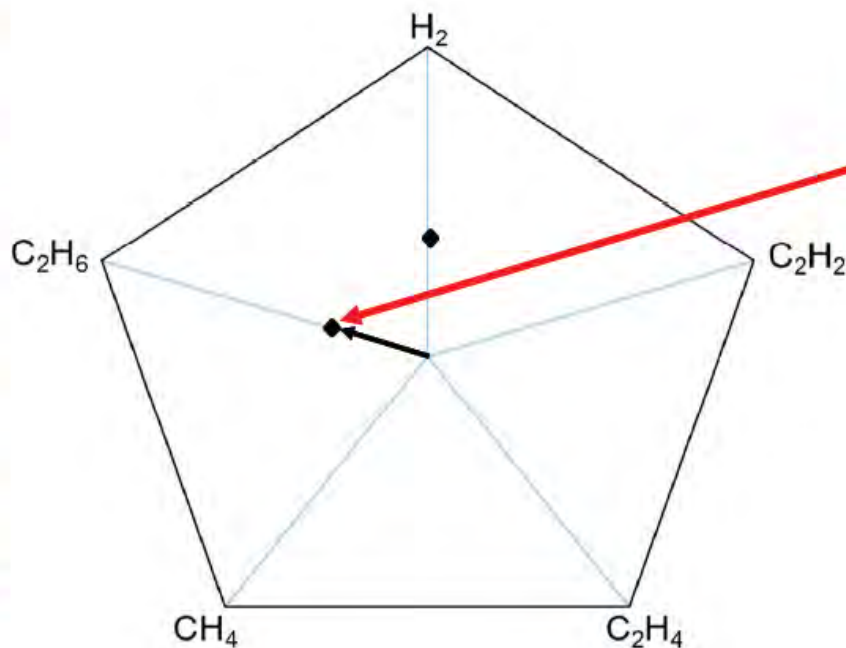
CH₄ = 35 ppm

C₂H₄ = 25 ppm

C₂H₂ = 0 ppm

Total = 192 ppm

Duval Pentagon



% of Total

39 %

30 %

„DUVAL Pentagon” CH₄ berajzolósa

Gas

H₂ = 75 ppm

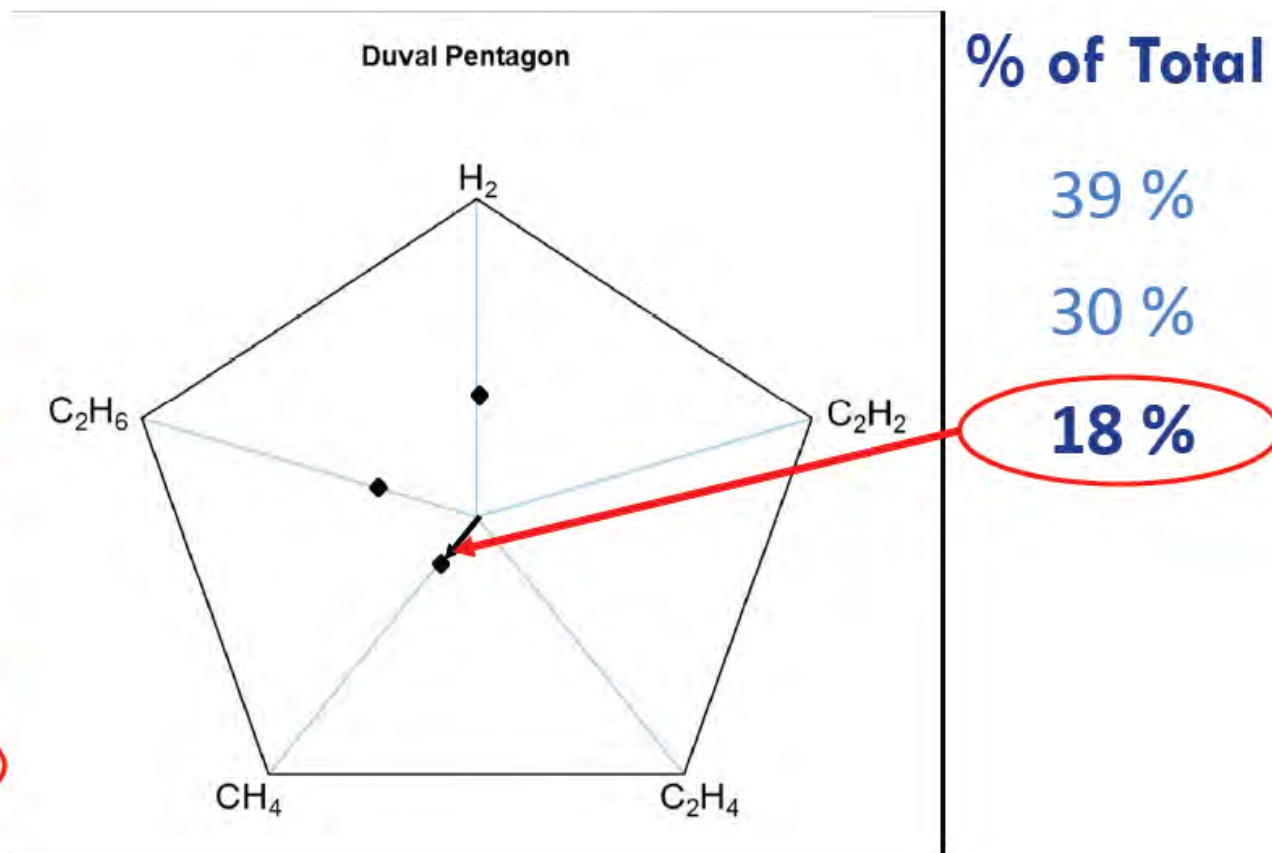
C₂H₆ = 57 ppm

CH₄ = 35 ppm

C₂H₄ = 25 ppm

C₂H₂ = 0 ppm

Total = 192 ppm



„DUVAL Pentagon” C₂H₄ berajzolósa

Gas

H₂ = 75 ppm

C₂H₆ = 57 ppm

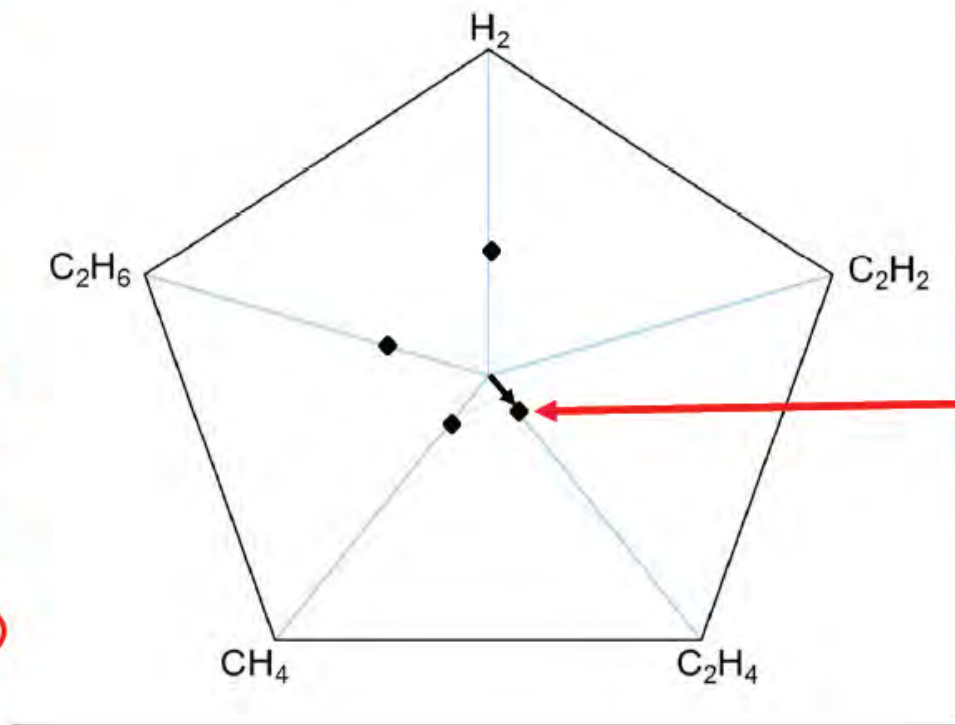
CH₄ = 35 ppm

C₂H₄ = 25 ppm

C₂H₂ = 0 ppm

Total = 192 ppm

Duval Pentagon



% of Total

39 %

30 %

18 %

13 %

„DUVAL Pentagon”: C₂H₂ berajzolása

Gas

H₂ = 75 ppm

C₂H₆ = 57 ppm

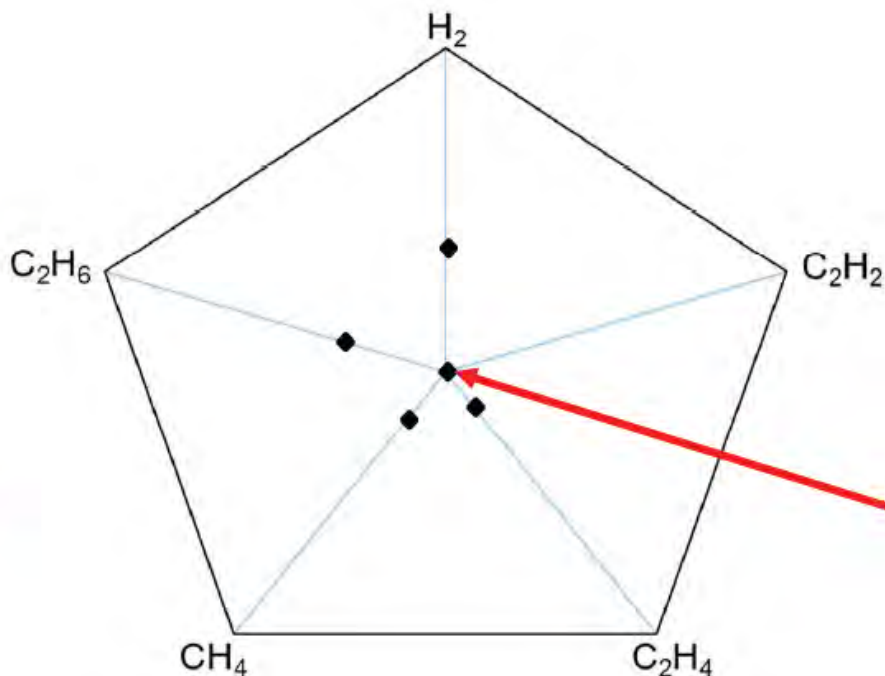
CH₄ = 35 ppm

C₂H₄ = 25 ppm

C₂H₂ = 0 ppm

Total = 192 ppm

Duval Pentagon



% of Total

39 %

30 %

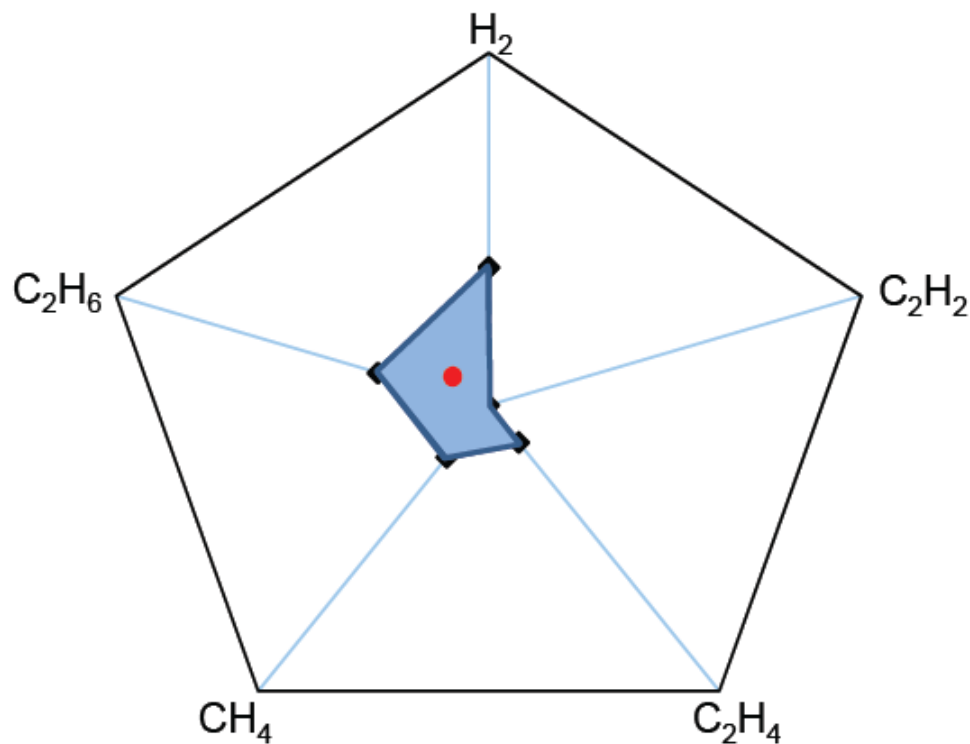
18 %

13 %

0 %

„DUVAL Pentagon”: CENTROID számítása

Duval Pentagon



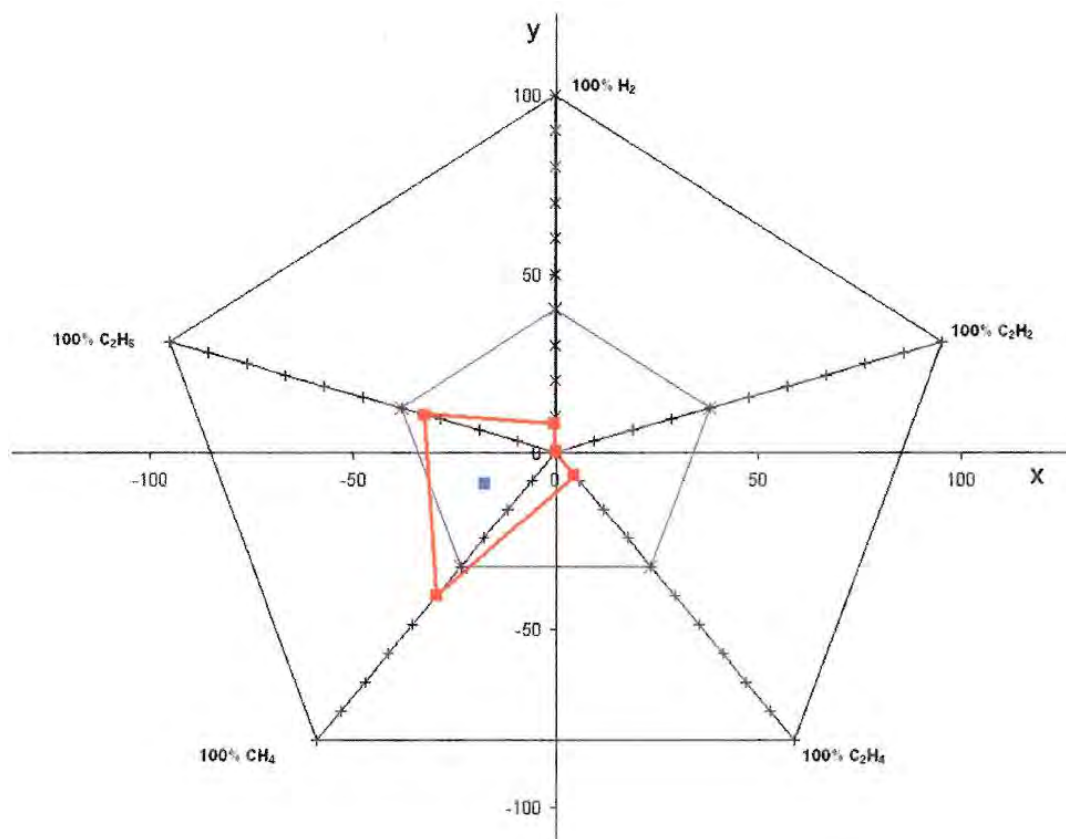
**Az öt relatív érték
berajzolása matematikai
számítás után egy
szabálytalan poligon és egy
hatodik pont adódik.**

DUVAL Pentagon” rajzolása:

H₂=31, C₂H₆=130, CH₄=192, C₂H₄=31, C₂H₂=0, Σ384ppm.

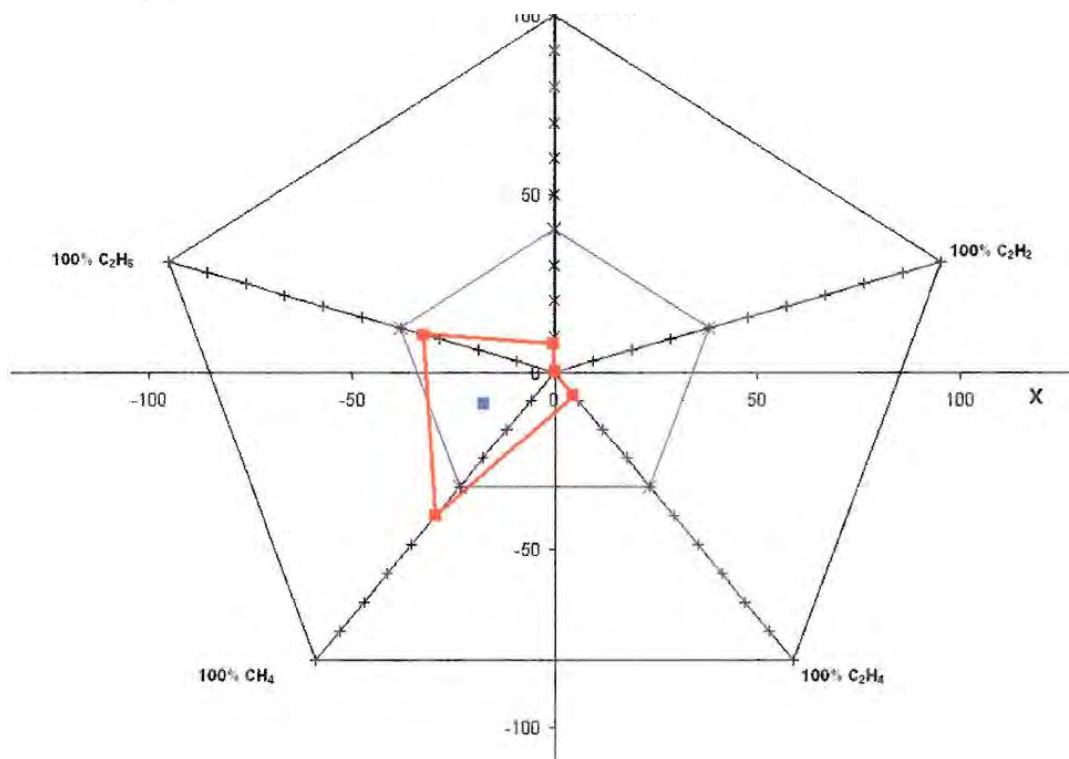
Relatív értékek: 8,34,50,8,0% (piros pontok)

Koordináták matematikai számítása, majd egy eredő érték (kék négyzög, ami e HGA végeredménye.



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

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

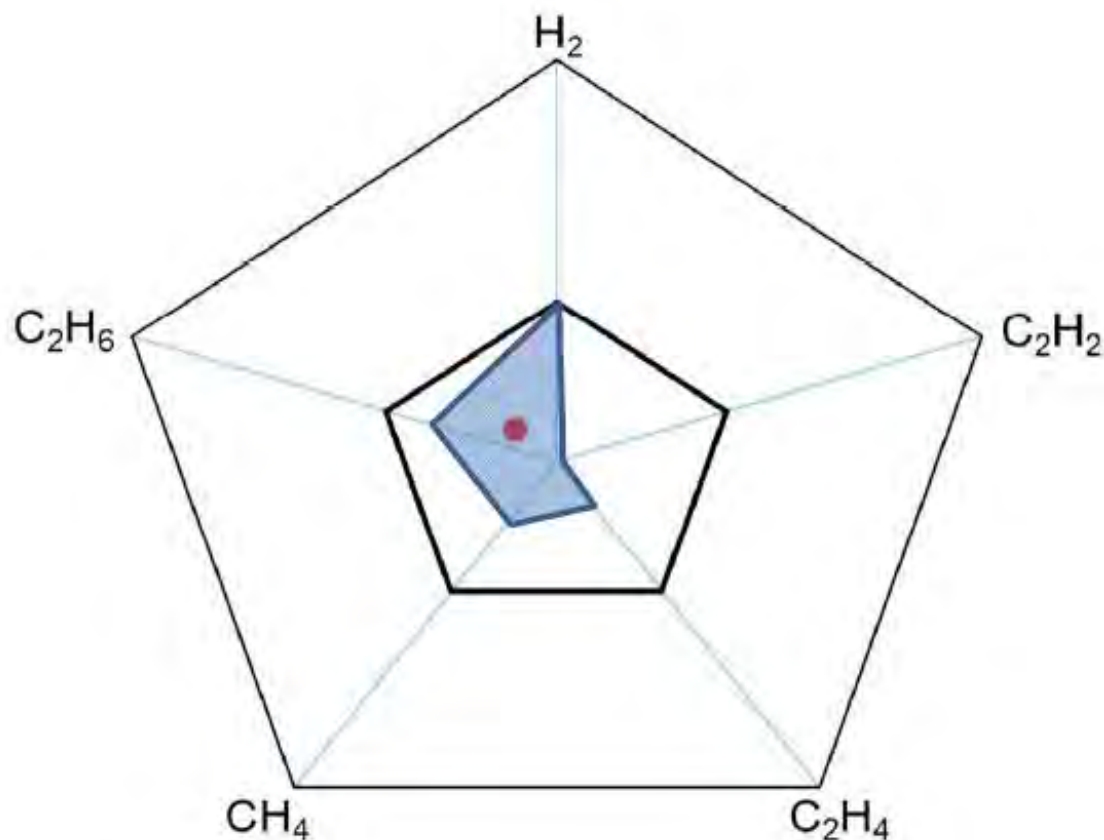


**Öt pontból matematikai
számítással koordináták
számolása: Cx és Cy a
centroid x,y koordinátái,
majd egy hatodik pont
számítása, ami a HGA
végeredménye (itt kék
négyszög)**

**Algoritmus:
duvalm@ireq.ca**

„DUVAL Pentagon”: belső 40% kiválasztása (centroid)

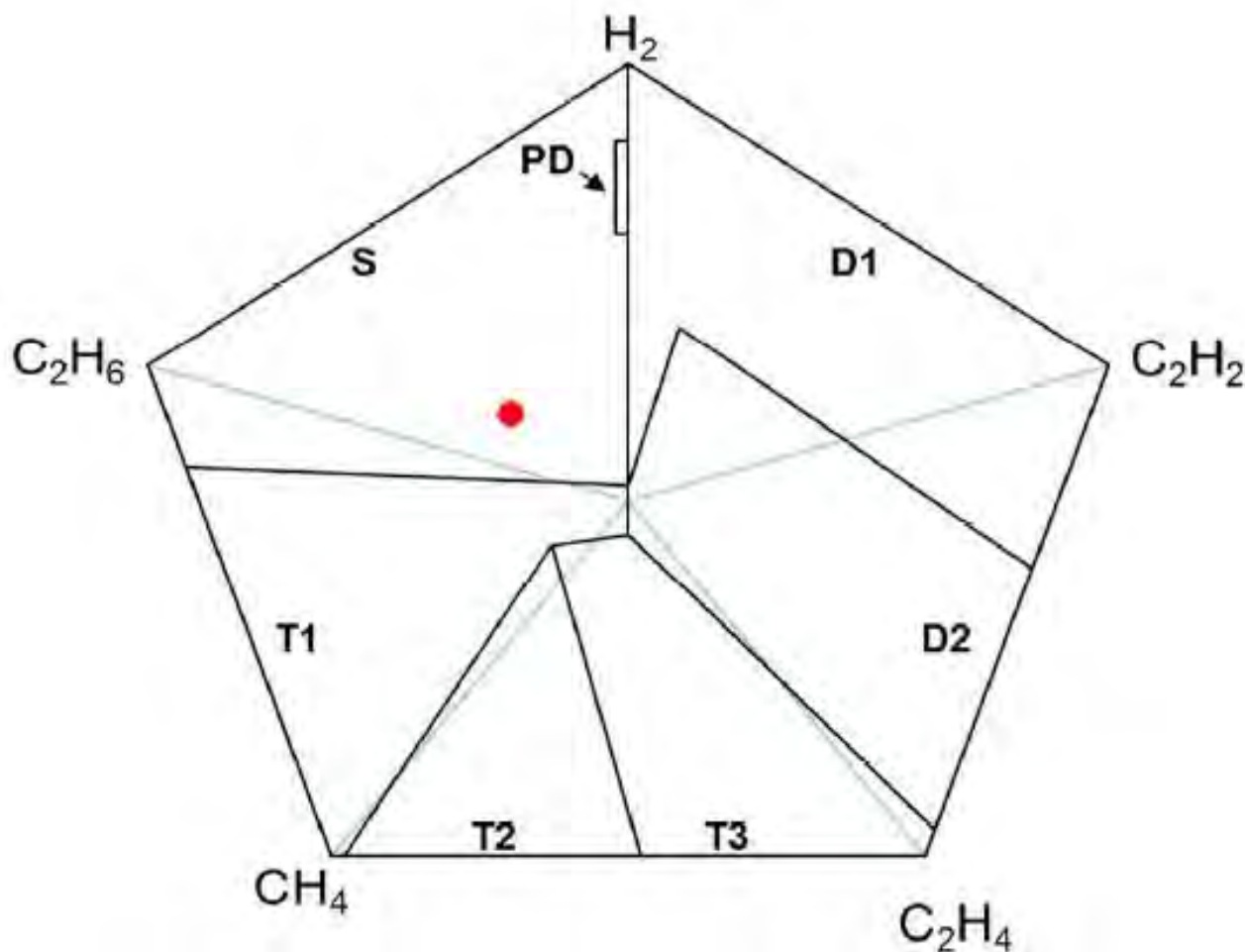
Duval Pentagon



Ha a relatív érték gázra 100%, és 0% a többiekre, a centroid H_2 -nél csak 40% lesz, így a gyakorlatban minden tengelyen max 40%-ra van korlátozva. célszerű egy másik 40%-os centroid alkalmazása.

„DUVAL Pentagon” hibazónák berajzolása: piros pont HGA eredmény

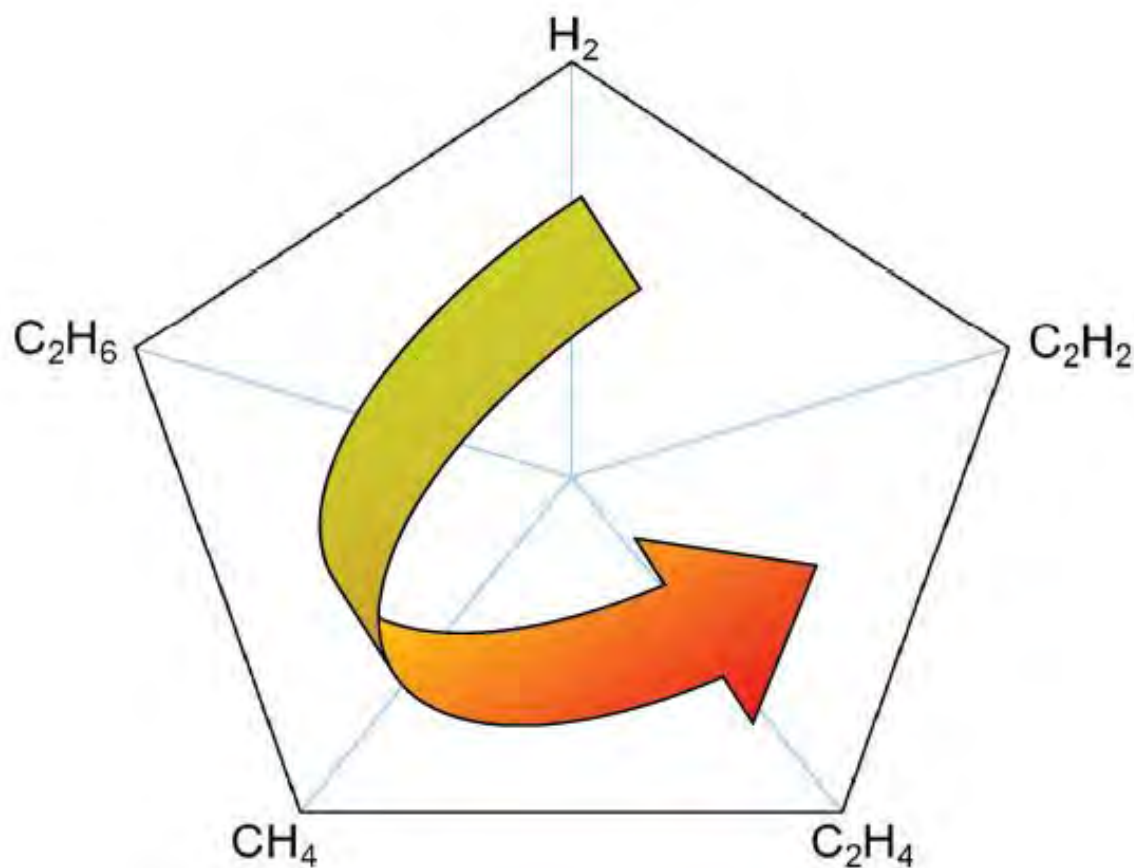
Duval Pentagon



„Duval Pentagon 1”
klasszikus hibazónák:
hat „alap” villamos
és termikus hibazóna
az IEC, IEEE és a
Duval Δ 1 szerint.

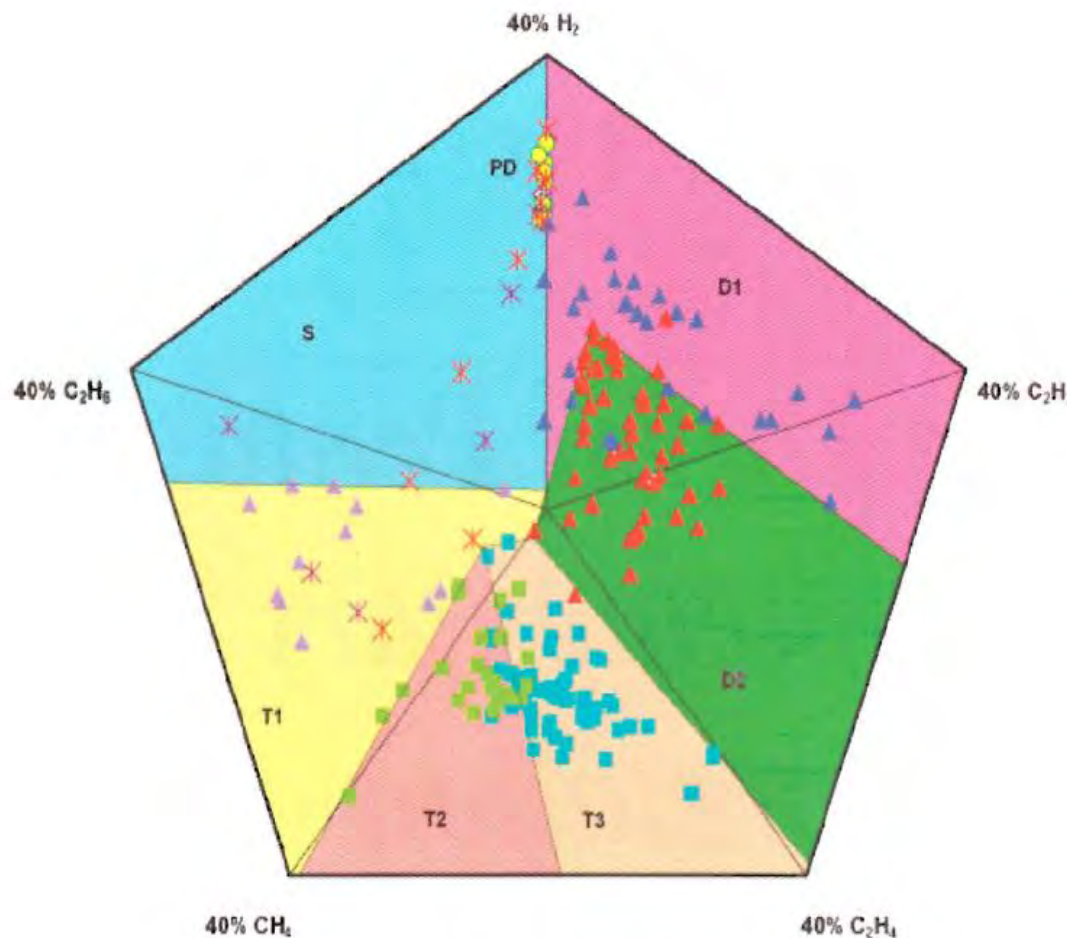
„DUVAL Pentagon energia szintek

Duval Pentagon



H₂-ből kiindulva az energiaszintek az óramutató járásával szemben növekednek.

„DUVAL Pentagon 1”



DGA results identified by visual inspection as due to faults:

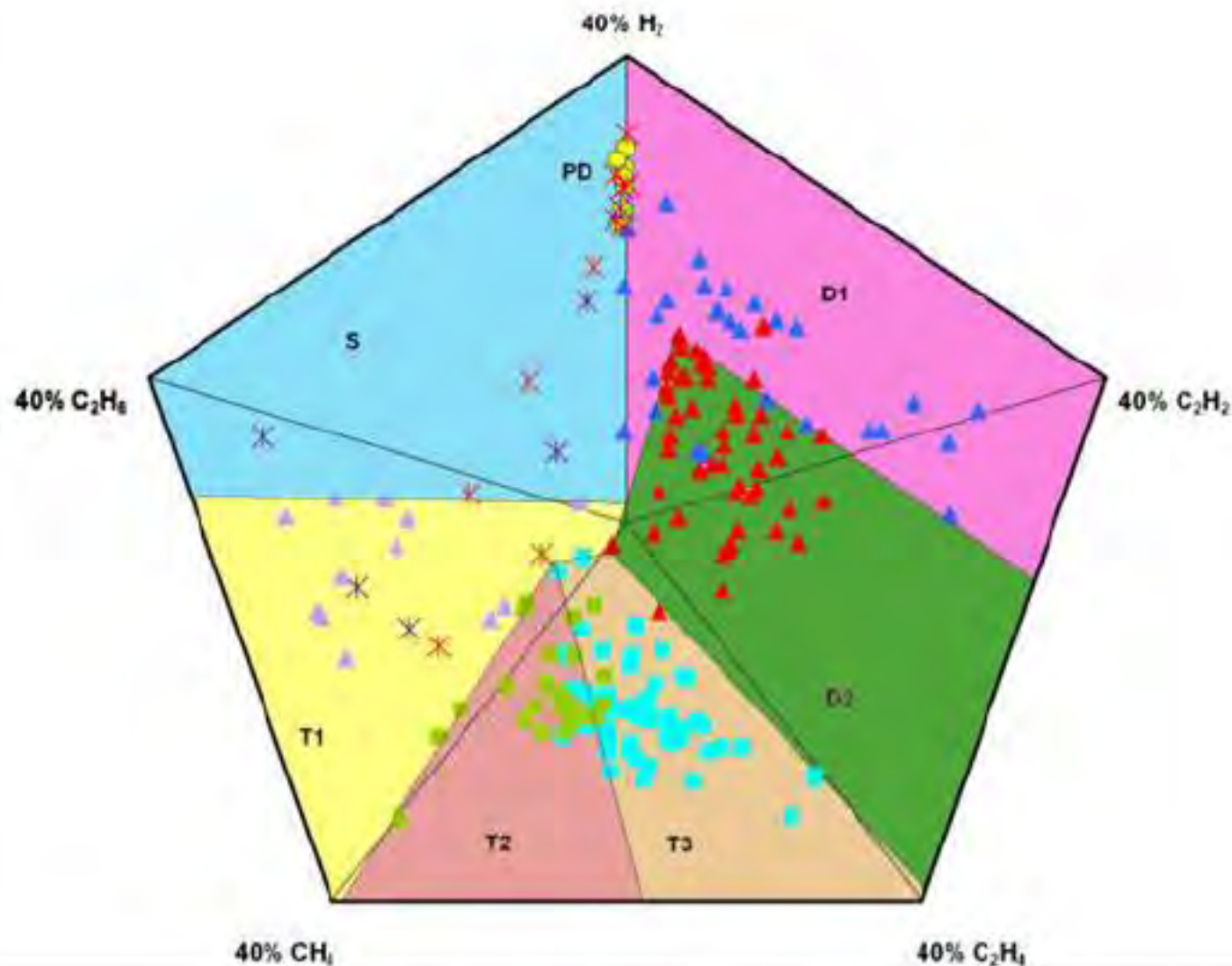
● PD ▲ D1 ▲ D2 ■ T3 ■ T2 ✕ S>200C ✕ S-120C

180 HGA eredményből került megállapításra 6 alap zónás centroid:

- Részkisülés (PD)
- Kisenergiájú kisülés (D1)
- Nagyenergiájú kisülés (D2)
- Melegpont < 300°C (T1)
- Melegpont 300-700°C (T2)
- Melegpont >700°C (T3)

További „S” zóna: „stray gas”.

A centroid pontjai mind HGA vizsgálat eredményei.

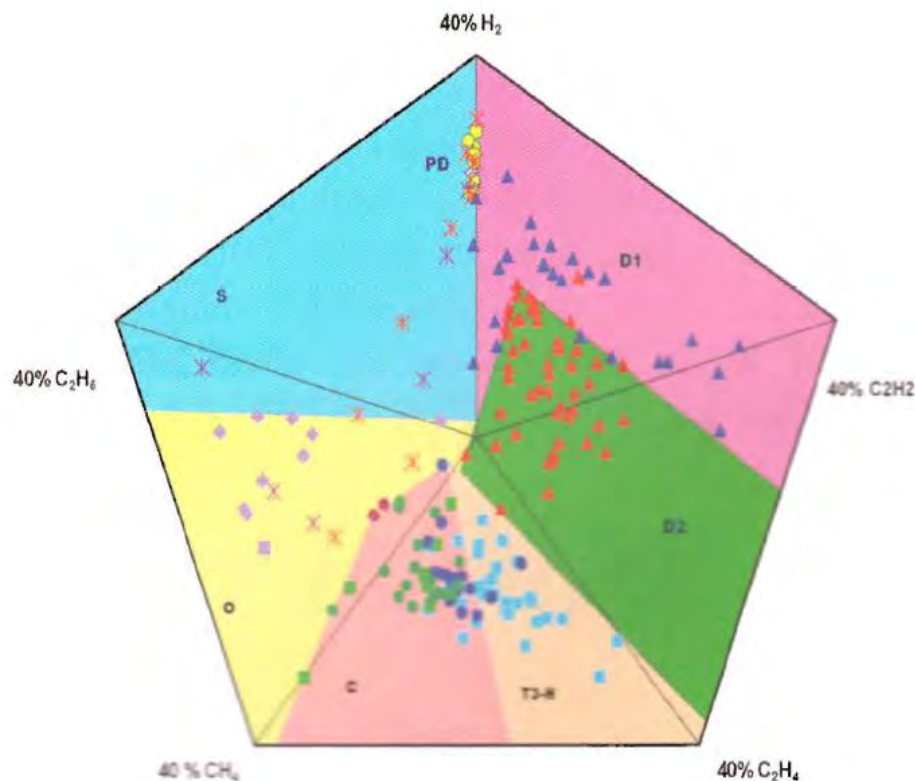


„DUVAL
Pentagon 1”
tipikus
hibák:

DGA results identified by visual inspection as due to faults:

● PD ▲ D1 ▲ D2 ■ T3 ■ T2 ✕ S>200C ✕ S<120C ▲ T1

„DUVAL Pentagon 2”

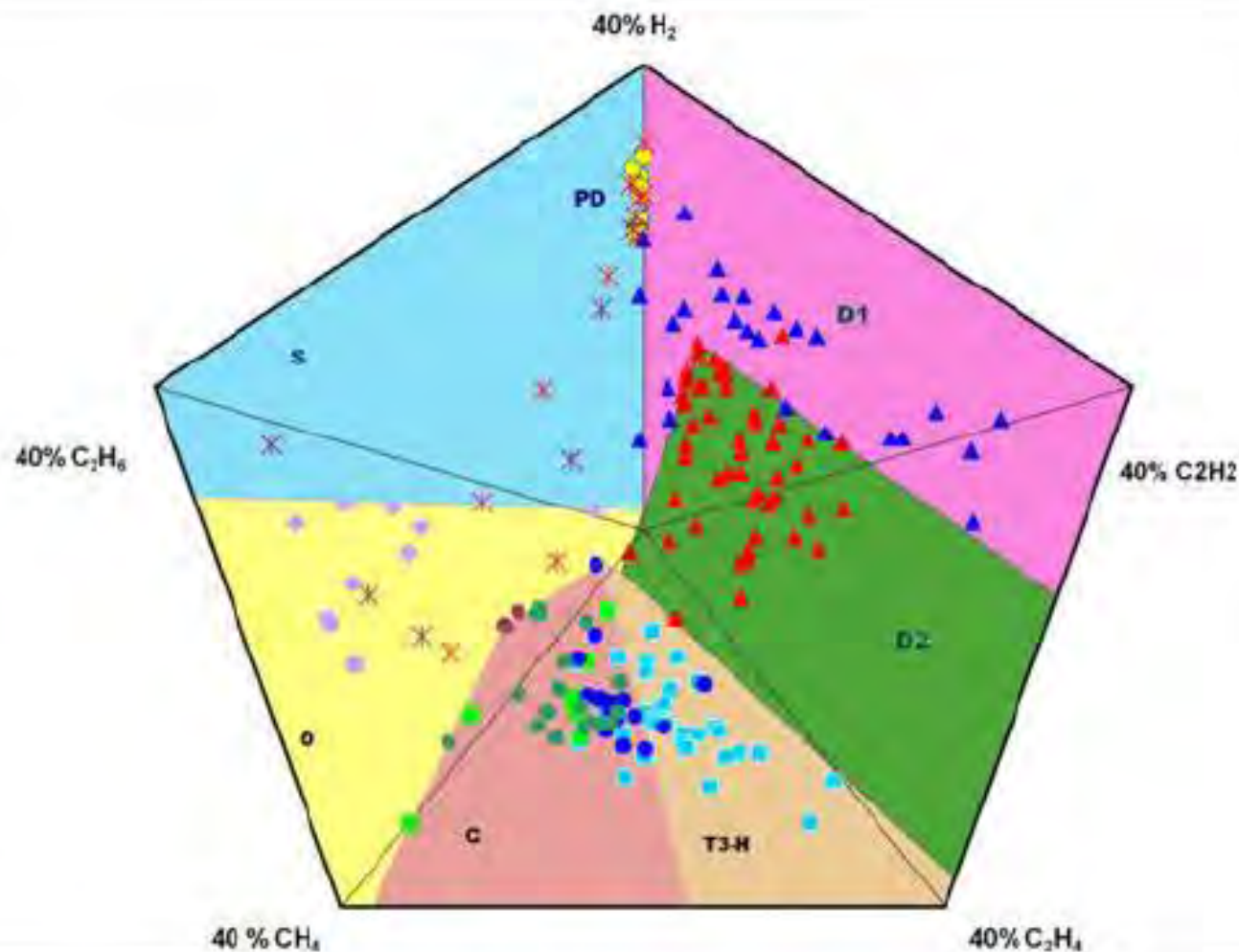


DGA results identified by visual inspection as due to faults:

- | | | | | | |
|--------|--------|--------|----------|----------|--------|
| ● PD | ▲ D1 | ▲ D2 | ✖ S>200C | ✖ S-120C | ■ T3-H |
| ■ T2-H | ■ T1-H | ● T3-C | ● T2-C | ● T1-C | ◆ T1-O |

„Duval Pentagon 2” tartalmazza a 3 villamos, és még négy pontosabban definiált (advanced, fejlett) termikus hibát, amit a Duval $\Delta 4$, $\Delta 5$ használ:

- Részkisülés (PD)
- Kisenergiájú kisülés (D1)
- Nagyenergiájú kisülés (D2)
- T3-H: Melegpont csak olajban
- C: melegpont T3-C, T2-C, T1-C papír elszenesedéssel
- O: túlmelegedés T1-O <250°C, és
- S: ásványolaj „stray gáz” 120 és 200°C-on laborban. (H=Huile)



„DUVAL
Pentagon2”:
tipikus hibák

DGA results identified by visual inspection as due to faults:

● PD	▲ D1	▲ D2	✱ S>200C	✱ S-120C	■ T3-H
■ T2-H	■ T1-H	● T3-C	● T2-C	● T1-C	■ T1-O

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.

A $\Delta 4$ és $\Delta 5$ inkább a papír **elszenesedéséről** ad infót,

Ha a Pentagon 1-2 és a Duval $\Delta 1$, $\Delta 4$ és $\Delta 5$ különböző hibát jeleznek, az **többszörös trafóhibát** jelenthet.

Ez azért lehetséges, mert az egyes Duval diagnosztikák **különböző súlyozással** szerepeltetik az egyes gázokat.

Összehasonlítás >>>> azonosíthatjuk a többszörös hibákat.

„S” és „T3” hibák esetén a $\Delta 4$ érzékenyebb „S”-re a H_2 miatt, $\Delta 5$ T3-ra a C_2H_4 miatt, amíg a Pentagon a kettő közötti érzékenységgű.

$\Delta 3$, $\Delta 6$ és $\Delta 7$ -nek (nem ásványolaj) megfelelő Pentagon hamarosan.

Ha el szeretnénk kerülni (Konklúziók)



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%

Konklúziók

- A HGA rendkívül hatékony diagnosztika
- A „hagyományos” HGA-val viszonylag kicsi hatékonyság
- Érdeemes online monitoring és HGA összekapcsolása, mert akkor a HGA nemcsak gázokból értékel (hőfok, PD, víztartalom, stb.)
- Duval, Expert System és online monitoring már közel 93%-os pontossággal becsüli a hiba típusát.
- Az új módszerek, új kiértékelések (Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, stb.), az offline és online monitoring szakértői rendszerrel megkönnyíti a HGA kiértékelés életét. Ez nem utópia, létező rendszerek,
- Szakértői Rendszer (Expert System) segít, „nem távozik” cégtől...

Köszönöm a figyelmet