



HGA transzformátor diagnosztika „részeredményeinek” „együtt értékelése” - 2026

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

XXIV. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, Kenese Bay Garden Resort & Conference, 2026. március 25-27.



Tartalomjegyzék

- 1. Az előadás célja, a HGA technika 2026-os aktualitása**
- 2. Mit jelent a „részeredmények együtt értékelése”**
- 3. „BASIC” (alap) és ADVANCED (haladó) HGA diagnosztika**
- 4. Konklúziók**



Röviden a HGA diagnosztikákról, 2026-os aktualitások

- Általánosan elmondható: az „elérhető” diagnosztikai ismeretek **évről évre növekednek...**
- Akkor hatékony a diagnosztika, ha egyre alaposabb az ismeretünk a vizsgálandó szigetelésben zajló folyamatokról, egyre **fejlettebb diagnosztikai műszerekkel rendelkezünk, és állandóan** használjuk a régi és új kiértékelési technikákat.
- **Adódik a kérdés:** követjük-e a fejlődést, **optimális terjedelmű diagnosztikát használunk?**
- Ha nem követjük az állandó a fejlődést, hiába a fejlett technika, nem tudjuk a HGA technikát hatékonyan használni.
- A hatékony HGA diagnosztikához szükséges a fejlődés követése, **„mindenkori technikai színvonalnak megfelelő”** diagnosztika használata.
- Ezért tekinti feladatának a „konferenciánk” az alapvető diagnosztikai ismeretek követését.



- A „jobb megértésért” **érdemes példának felhozni az „emberi diagnosztikát”,** mert ahhoz mindenki „ért”, így a **párhuzamba állítás kézenfekvő:**
- Mi történik a **„humán diagnosztika” területén?** Egyre jobban **megismerjük az emberi test tulajdonságait,** az **ott zajló folyamatokat,** a **romlást,** öregedést, egyre jobb **diagnosztikai eszközök** (CT, MRI, stb.) állnak rendelkezésre, így a végső diagnosztika is egyre finomodik.
- **Esetünkben nagy a hasonlóság: minél több információ** a szigetelőanyagról, a minél több romlási információ a végbemenő folyamatokról, minél jobb műszerek, minél több ismeret a kiértékelésekről..., **annál hatékonyabb és pontosabb lesz a diagnosztika.**
- **Ezért tekintjük küldetésnek a főbb diagnosztikák fejlődésének évről évre történő folyamatos követését és azok bemutatását. Fontosak, így kiemelve: RVM, HGA, FRA...**
- Egy átlagos szakember igencsak **szerteágazó tevékenységet** végez saját cégénél, **így csak korlátozott időt tud biztosítani ezekre a diagnosztikákra.**



- **Nagy adatbázis áll rendelkezésre**, de **a gyakorlat** az, hogy általában egy „hatályos” szabványt használunk, más módszereket ezzel párhuzamosan már nemigen...
- A rendelkezésre álló, hatalmas **adatbázis látván**, így csak **egyszerűsített jellegű**, BASIC kiértékelésünk lesz, ahelyett „**ADVANCED**” fokon használnánk a HGA-t.
- Tehát „**alapos**”, és nem „**egyszerűsített**” áttekintés lenne **optimális**.
- **Áttekintve** a rendelkezésre álló **információ halmaza láthatjuk**, ha megfelelő mennyiségű időt „**áldozunk**” a **diagnosztikára**, akkor **egészen jó eredményeket kaphatunk**.
- 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.**
- **Itt is szóba lehetne hozni az AI, MI=Mesterséges Intelligencia kérdését!**
- Általában **akkor van szükség MI-re**, ha igen nagy adathalmazt kell feldolgozni, áttekinteni, **minden oldalról körbe kell járni** a lehetséges megoldásokat, stb.



- Hagyományos technikával és egy módszert alkalmazva nehéz a hatékony diagnosztika, kell a gyakorlat, jelentős munkaráfordítás, és bizonyos fokú számítástechnika is.
- Szükséges az alapok, majd a részletek megfelelő ismerete, azok folyamatos frissen tartása.
- Ha MI-t használunk majd, a kérdések feltevéséhez is alapismeretekre van szükség.
- **Szakirodalomból olvasható, és azt hiszem elfogadható:** „Aki azt mondja, hogy egyszer valamit megtanult, és nem akar fejlődni, tovább tanulni, az tudásügyileg halálra van ítélve,,.
- Saját magunk is tapasztalhatjuk, hogy **mennyit változott mérnöki szakma az utóbbi 50 évben, jelenleg még gyorsabb a változás:** az alapokon kívül szinte minden változott, tehát az **állandó tanulás** elengedhetetlen.
- Ezek után mi lehet a **HGA előadás aktualitása 2026-ban?**



2026-ban az alábbi lehet a HGA aktualitása:

- HGA a trafó diagnosztika **egyik legfontosabb területe**. Valószínűleg a HGA **leghatékonyabb trafó hibajelző** eszközünk. Világszerte **évente 1 millió HGA eredmény** születik mintegy 400 laborban.
- **Rengeteg adat és tapasztalat keletkezik**, tanulmányok tömege jelenik meg **évente**.
- Ha kicsi a trafóállományunk, akkor **kevés a „saját” tapasztalatunk**, ajánlott a nemzetközi tudásbázis igénybevétele (ezért is „létezik” a CIGRE, és a „konferenciák”).
- 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.**
- **Lehetséges célkitűzés: folyamatos infófrissítés**, „minél több kiértékelés használata, így egyre pontosabb diagnosztikát kaphatunk.



- A rendelkezésre álló adatbázis alapján jóval kifinomultabb diagnosztikára van lehetőség.
- Időigényes és nehéz a teljes áttekintés, hogy mi a teljesebb diagnosztika.
- Ezért a fontosabb alapokra épülő „BASIC” diagnosztikát kellene indulásként használni, szükség esetén egy HALADÓ változatot a kiértékelés pontosítására.
- A BASIC biztonságos alkalmazásával egy „tájékoztató előkiértékelést” kaphatunk, majd „a nagy adathalmaz és számítógépes támogatással” pontosíthatunk.
- A konferenciánkon mi is **ELŐSZÖR** mindig a minimumokat tekintjük át (**ALAPOK bemutatása**), amellyel már el lehet végezni egy „korlátozott BASIC diagnosztikát”.
- **MÁSODSZOR**, a részletesebb diagnosztika céljából meg kell próbálni minél több kiértékelést használni, lehetőleg számítógépes támogatással, így egy jóval nagyobb terjedelmű, **finomra hangolt, ADVANCED diagnosztikát kaphatunk.**
- **Ma is ebben a szellemben járunk el: az ALAPOK áttekintése a bonyolultabb összefüggések is tárgyalásra kerülnek, felhívva a figyelmet az ADVANCED változatra.**



- Egy kb. 25-30 perces előadás csak „figyelfelhívást tesz lehetővé”, mert a hazai és nemzetközi kutatási anyag „tömör” előadására is minimálisan egy nap kellene.
- De az „interaktivitás” igény miatt, lehetne még egy hosszabb „kérdés-felelet” előadás is.
- **De mit jelenet a cím:** HGA diagnosztika „részeredményeinek” „együtt értékelése”
- Említésre került, hogy a HGA diagnosztikában évente rengeteg adat és tapasztalat keletkezik, tanulmányok tömege jelenik. Viszonylag gyors fejlődés, újabb és újabb kiértékelések jelennek meg, de az új szabvány, egy új GUIDE, stb. nem „hatálytalanítják” a múlt műszaki eredményeit, kiértékeléseit, megfelelő tapasztalattal ezek is jók még.
- Még egyszer: 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.
- Tehát kiértékelhetünk egy „hatályos szabvány” „alap” (BASIC) módon, de tovább pontosíthatjuk kiértékelésünket több módszer „együttes” felhasználásával.



Rövid HGA alapok

Az alábbi **néhány diát** azért kellene kiemelten kezelni, mert **így érthetővé válik**, hogy **mennyire fontos az alapok ismerete.**

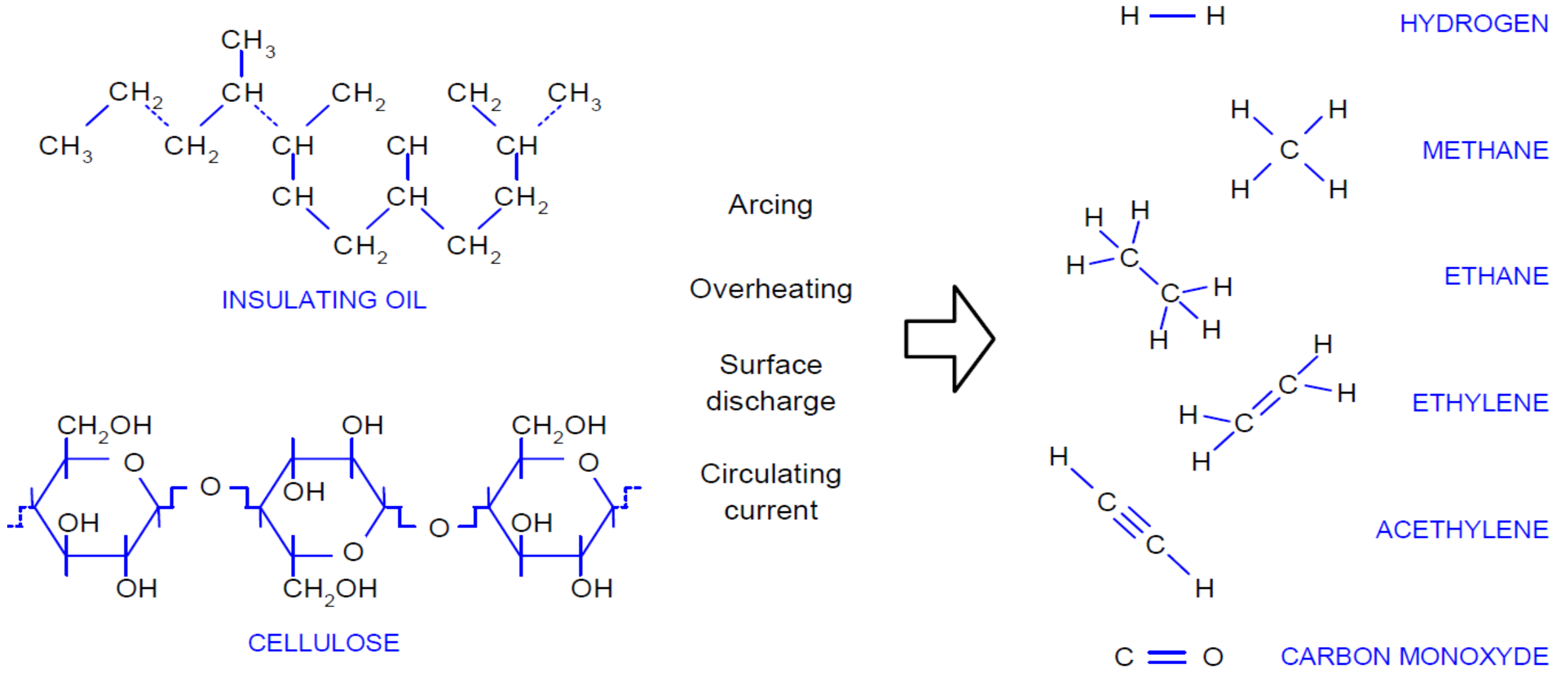


„ALAP TRÉNING”: Röviden: **HGA** (DGA= Dissolved Gas (in oil) Analysis) alapokról

- Jelenlegi előadáson is lesz egy **rövid HGA**, egy **BASIC áttekintés**, már csak a memóriafrissítés céljából is..... **Lássuk miért fontos az alapok megfelelő ismerete!**
- **A HGA termikus és villamos hibákra** termelődő gázok vizsgálatán alapszik: a **hiba energiájától** függően az olaj-papír bomlásából különböző gázok keletkeznek.
- **Olaj szénhidrogén molekulái H-t és C-t** tartalmaznak, a **papír cellulóz** molekulákat, ahol H és C mellett **„O-t” is jelen van**, kémiai kötéssel kapcsolódnak egymáshoz.
- **Termikus, villamos és oxidációs igénybevételektől gázok keletkeznek**, új struktúrák jönnek létre, számos bomlástermékkel.
- A keletkező gázokat a „termikus, villamos és oxidációs túligénybevételeken” kívül számos paraméter befolyásolja, pl. olajtípus, adalék, stb.
- A trafóolajok összetételükben meglepően összetettek, **öregedés** után még inkább: **parafinos, nafténes, aromás** jellegűek, inhibitorral vagy anélkül, így ugyanarra a hibára más és **más „gázlenyomatokat”** adnak, **ezért is van helye a különböző diagnosztikáknak!**



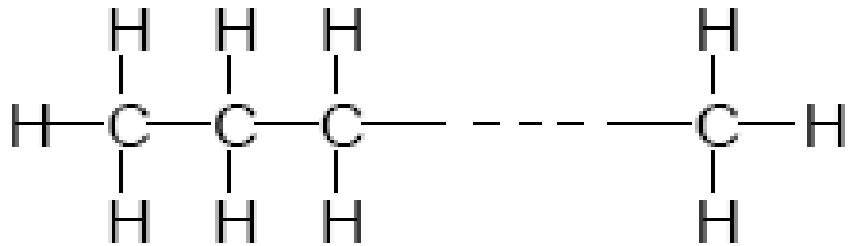
Fontos alapok: olaj/papír szigetelés külső behatásra történő bomlása: olaj molekulái H-t és C-t tartalmaznak, a cellulóz még O-t is. **A bekövetkező változások rendkívül összetettek.**



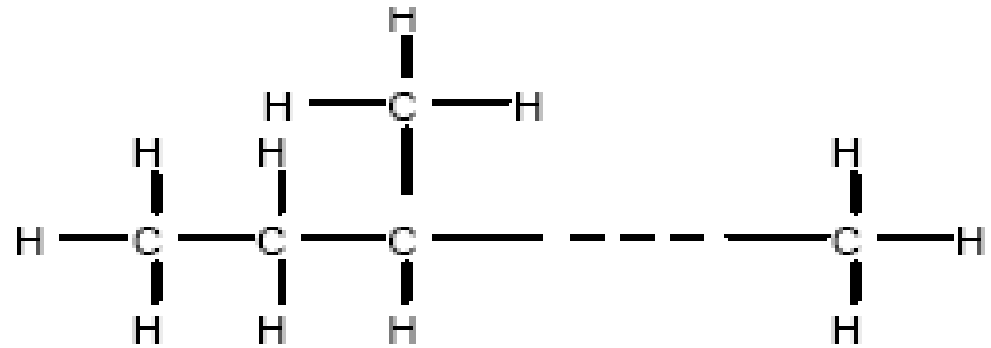


A **bázisolajok különböző tulajdonságainak figyelembe vétele** HGA diagnosztikánál

- A trafóolajok tulajdonságát (fizikai, kémia, villamos, stb.) főleg az **őket alkotó szénhidrogéncsoportok mennyisége**, egymáshoz viszonyított **aránya** határozza meg.
- **Paraffinos származékok, $C_p\%$ telített (nincs kettőskötés, egyenes, vagy elágazó), vegyileg stabilisak, öregedés szempontjából ez jó tulajdonság.**



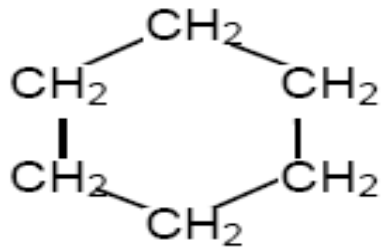
normal-paraffins



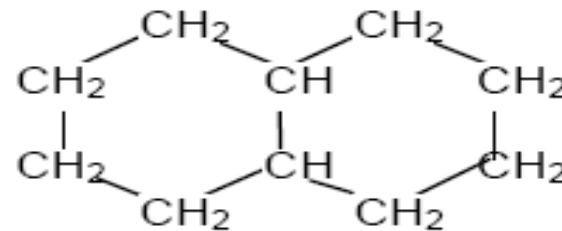
iso-paraffins



Nafténes származékok, $C_N\%$: **telített** (nincs kettőskötés) szénhidrogén, **de nem egyenes**, hanem gyűrűs szénláncú. Bár telítettlenek, de jobban öregednek, mint az ugyancsak **telítettlen parafinos** szénhidrogének.

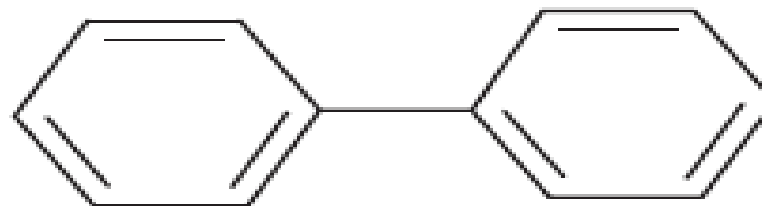
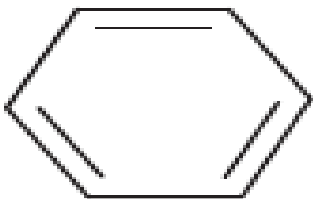


cyclohexane



decalin

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





- Az oxidációs stabilitására, öregedési hajlamára bizonyos mértékig jellemző az aromás kötésben résztvevő széntartalom (CA%).
- Ha CA% 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.
- Az olajok szénhidrogén összetétele (különböző típusú szénhidrogének egymáshoz viszonyított aránya) az alap kőolaj típusától, a kiindulási párlat forrásponttartományától, a finomítás módjától és fokától, stb. függően változik.
- Ismerni kell az alapolaj mellett az alapvető folyamatokat, akkor még pontosabban tudjuk kiértékelni az adott hibagázt is.
- Ásványolaj különböző szénhidrogén molekulákból áll, amelyek CH₃, CH₂ és CH kémiai csoportokra oszthatók és szén-szén, szén-hidrogén kötésekkel csatlakoznak egymáshoz.
- A termikus és villamos igénybevételek miatt számos C-H és C-C közbenső termékek keletkeznek (nem véglegesek, nem stabilok, nem egyensúlyban lévőek, ionok és gyökök).



- Ilyen nem stabil töredék részek lehetnek: C, H, CH₃, CH₂, vagy CH amelyek gyorsan reakcióba lépnek és az alábbi gázmolekulák keletkezhetnek:
- **Olajnál:** Hidrogén: H-H, Metán: CH₃-H, Etán: CH₃-CH₃, Etilén: CH₂=CH₂, Acetilén: CH≡CH (hármass kötés).
- **Papírnál tipikusan** CO, CO₂ és H₂O bomlástermékek jóval nagyobb mennyiségben keletkeznek, mint az olaj oxidációból ugyanazon hőmérsékleten. Papírból, kis mértékben, még **furán származékok** és szénhidrogéngázok is keletkeznek.
- Tehát a „bázisolajok” különböző összetételűek, így az „azonos” hibák hatására belőlük keletkező gázok is eltérhetnek. Ezért **sem „elvetendő” egy régi HGA módszer**, nem rossz az, **csak más olajtípusra lett kifejlesztve**.
- Például régen „aromásabbak” voltak a bázisolajok. Tudni kell, hogy inhibitor tartalom is változtatja a végeredményt: inhibitor esetén nagyobb CO, CO₂ és H₂ képződik....
- Röviden összefoglalva az előzőket: **csak a „bázisolajok” rövid áttekintése** is jelzi, hogy mennyire szükséges a **hatékony HGA-hoz az alapismeretek mélyebb elsajátítása**.



Röviden összefoglalva az előző rövid „alapozást” érthető:
csak egy kis „alfejezet”, a „bázisolajok típusának hatása a HGA kiértékelésre”, rövid áttekintés is jelzi, hogy mennyire szükséges a **hatékony HGA diagnosztikához az alapismeretek mélyebb elsajátítása.**



És miért szükséges a HGA **diagnosztika fejlődésének folyamatos figyelése?**

- Új eredmények szabványosítása viszonylag gyors, de olyan **mértékű a szabványokon kívüli HGA információ**, hogy **csak szabványok alapján nehéz hatékony HGA diagnosztikát csinálni.**
- IEC 60599-ről egy **„SZAKIRODALMI MEGJEGYZÉS”**: „a megszerzett jelzéseket **csak iránymutatásként érdemes venni**, és a későbbi intézkedéseket csak **„megfelelő mérnöki megítéléssel”** hajtandók végre..... **Szükség van a „GUIDE”-okra, mint „összekötő szövegekre...”**
- **Óriási szakirodalom, a gyártók is folyamatosan publikálnak**, nehéz a HGA diagnosztika területén a „tudás követés és az eligazodás”, szükséges az állandó **„tréning”, tapasztalatcsere.**
- **Számos HGA kiértékelésről tudunk**, amelyek **„hatályos, ill. nem hatályos szabványokban (IEC, IEEE, MSZ, stb.) található**k, de **még mint műszaki infók, mind „hasznosak”**.
- Rengeteg olyan HGA infó van, amelyek **csak szakirodalomban tettek közzé**, vagy **csak gyártók által került publikálásra**, amikor a saját **„szakértői rendszerük”** bemutatják.
- Szakirodalom a CIGRE-GUIDE is, és a **CIGRE tanulmányok elég objektívek...**



- HGA-ra számos „becslési algoritmus” került kifejlesztésre, sok a kiértékelési lehetőség.
- Elmondható, hogy **mindegyik HGA** módszernek lehet **előnye és/vagy hátránya**.
- A régi, nem hatályos szabványok **még jó műszaki dokumentumok**, ajánlatos akár 5-10 kiértékelést is alkalmazni és az eredményeket „kritikai szemmel” összevetni, értékelni.
- Újra és újra el kell mondani: de ehhez ismerni kell az alapokat, kiértékeléseket.
- Még egyszer: nem az a fontos, hogy hatályos vagy nem-hatályos; eljárások között azért is lehet különbség, mert általában **mindegyik egy-egy kutatás végterméke, azaz „saját” adatbázison alapul, és arra az olajra akkor az igaz volt...**
- A HGA GUIDE-ok különböző évjáratúak, az újak felhasználják a régi eredményeket, de **igazán egyik sem a másik továbbfejlesztése**.
- A **hamis diagnózis „meghibásodáshoz”** vezethet, mert **vagy rejtve marad a hiba, vagy jó berendezést javítunk, azaz szükségtelen beruházást, költséget, trafócserét, stb. okozhat.**
- Nagyon figyelni kell: nem könnyű az eligazodás: **egyes kiértékeléseknél vannak átfedések, de különbözőségek is, eltérő határértékek találhatóak, stb..**



HGA „párhuzamos” kiértékeléshez felhasználható főbb HGA technikák



Milyen kiértékelési rendszerek állnak rendelkezésre? **Főbb HGA technikák**

- HGA technika már 1933, ill. 1962-től létezik: Frank M. Clark
- Dörnenburg Ratios: 1967, 1970,
- Key Gas Method: David Pugh, 1974
- Duval háromszögek, Duval ötszögek (Michel Duval)
- Rogers Ratios, R.R. Rogers, 1975
- Trend analízisek
- Szakértői rendszerek, Richard Lowe, 1985
- Szakértői rendszerek, monitoring, Karen Barrett, 1989
- Trafó „újlennyomatok”
- IEEE C57.104, határértékek, trendek, összes éghető: IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers
- Artificial Neural Networks (ANN), Fuzzy Logic, 1996, 2004, 2006
- IEC 60599, különböző évjáratok: Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.**
- CIGRE kiadványok (TB 296 (2006)),
- MSZ 352 (1978-as IEC 60599 alapján)**
- „Kétdimenziós” és „háromdimenziós” grafikus HGA kiértékelés (IEC 60599):
- Monitoring rendszerek (sok....)grafikus HGA kiértékelés (IEC 60599):
- Egyedi gáz aránymódszer: CO₂/CO, O₂/N₂, C₂H₂/H₂



A FŐBB HGA kiértékelési rendszerek

1. **IEC 60599:2022**, Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis.
2. **MSZ-09-00.0352:1988**: Transzformátorok szigetelési állapotának üzemi ellenőrzése: 3.2 pont: A hibagázok vizsgálata az 1978-as IEC 60599 alapján (Csernátorny_Hoffer András!!!)
3. **IEEE C57.104-2019**: IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers: C57.104-2019 - IEEE útmutatója az ásványolajba merült transzformátorokban keletkező gázok értelmezésére
4. „KEY GAS” módszerek
5. Doernenburg (Dörnenburg?), Rogers, CIGRE arány módszerek
6. DUVAL háromszög és ötszög módszerek
7. Egyedi gáz aránymódszer: CO₂/CO, O₂/N₂, C₂H₂/H₂



HGA kiértékelések:

hazánkban leggyakrabban használt „alap” HGA
 kiértékelés **IEC 60599** szerint történik



HGA kiértékelések:

Hazánkban az „alap” HGA: IEC 60599

Legújabb az IEC 60599:2022

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

Üzemelő ásványolajjal töltött elektromos berendezések – Útmutató az oldott és szabad gázok elemzésének értelmezésére

Volt, de jelenleg nincs magyar nyelvű kiadás!



BASIC: IEC 60599 eredetileg hat alap hibatípust definiált, majd DT-vel kiegészült 7-re

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



Majd az **IEC 60599 a hét alaptípushoz** még **4 hibát vezetett be** (már szerepel a S (stray gas) is

1. **S:** ásványolaj „stray gas” (szórt, szórvány gáz) < 200°C
2. **O:** <250°C alatti túlmelegedés (hot spot)
3. **C:** papír 300°C-nál magasabb lehetséges szenesedése
4. **T3-H:** T3 hiba csak olajban (T>700°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, „még” normál hőmérséklet (kb. 104°C) alatt. Főleg hidrogén, metán, etán, CO₂, CO alkotja.

Mivel ezek a „még normál hőfokon” keletkező gázok azonosak azokkal, amelyek a hibák során keletkeznek, ezért a HGA diagnosztikában **téves kiértékelést okozhat.**



Kiegészítő gázarányok a „fő HGA arányokhoz”: **CO₂/CO, O₂/N₂, és a C₂H₂/H₂ arány**

- „Más gázarány” módszert az **IEC vezette be**, amelyek kiegészítők a „fő HGA diagnosztikához”.
- Ezek az arányok: CO₂/CO, O₂/N₂, és a C₂H₂/H₂ arány.
- **CO₂/CO** arány a papírszigetelésre jellemző, 5000/500ppm felett jellemző.
- Ha CO₂/CO=3-11 között, jó a papír.
- Ha CO₂/CO<3, erős jelzés, hogy a papír érintett a meghibásodásban,
- Ha CO₂/CO>11, papír öregedés melegedés miatt, ez irreverzibilis.
- **Az O₂/N₂ 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.
- **C₂H₂/H₂ arány** (>2-30) jelezheti, hogy a **OLTC gázai beszivárogtak a tankba.**



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 ... 0,5	> 1
Nagyenergiájú kisülés (D2)	0,6 ... 2,5	0,1 ... 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 ... 4
Melegpont $t > 700\text{ °C}$ (T3)	< 0,2	> 1	> 4



MSZ-09-00.352–1988 Trafók szigetelési állapotának üzemi ellenőrzése. **Már nem hatályos**, de magyar nyelvű, a HGA rész az **első „HGA IEC”** alapján készült, **8 hibafajtát tárgyal...**

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	



IEEE C57.104-2019, amerikai HGA szabvány:

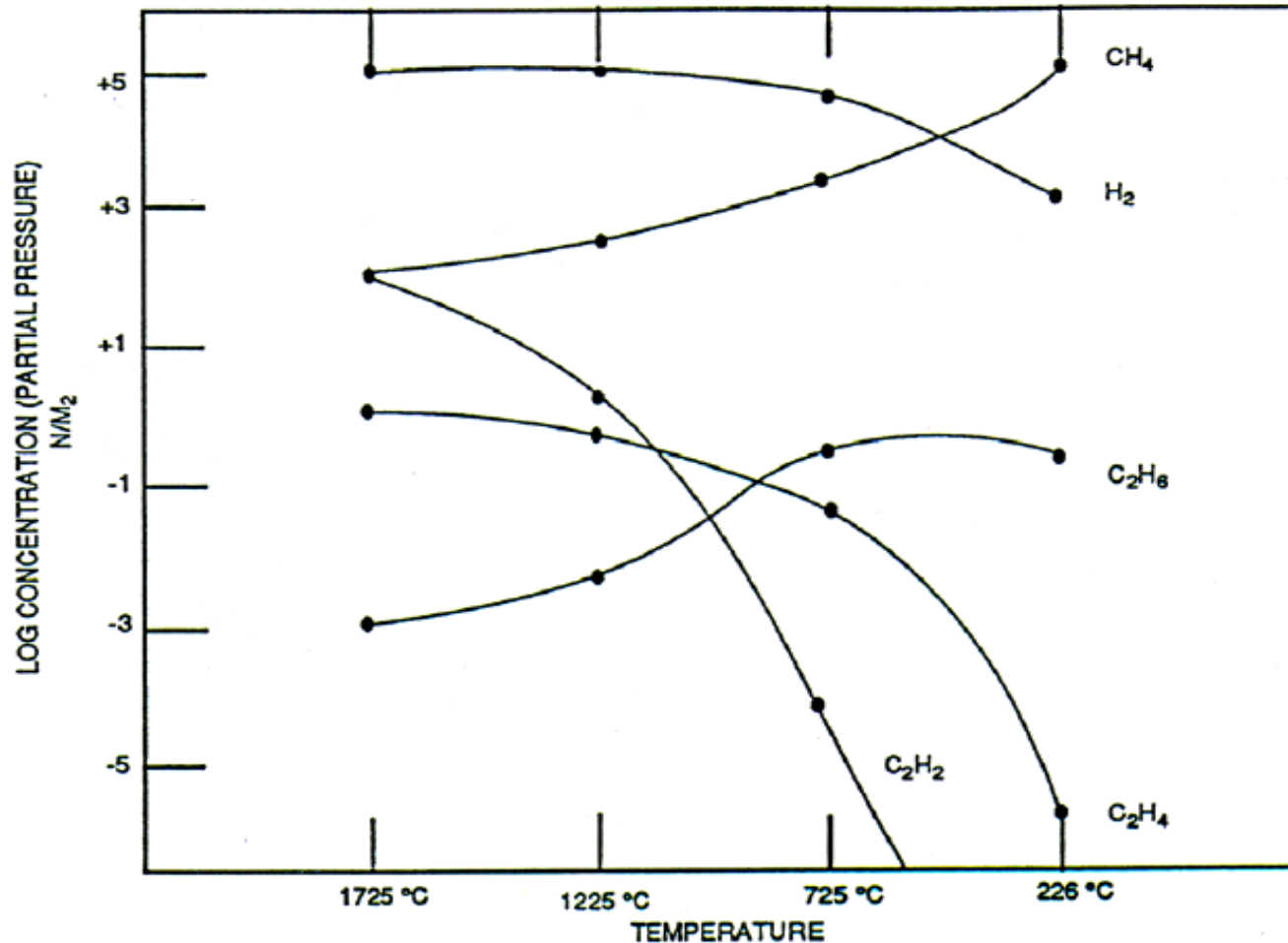
Mint az IEC, teljes HGA szabvány, **de az alapok „pontosítása”** céljából fontos lehet az **alábbi néhány ábra.**



Hibagázképződés alapösszefüggései: hibagázok keletkezése a hőmérséklet függvényében

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.

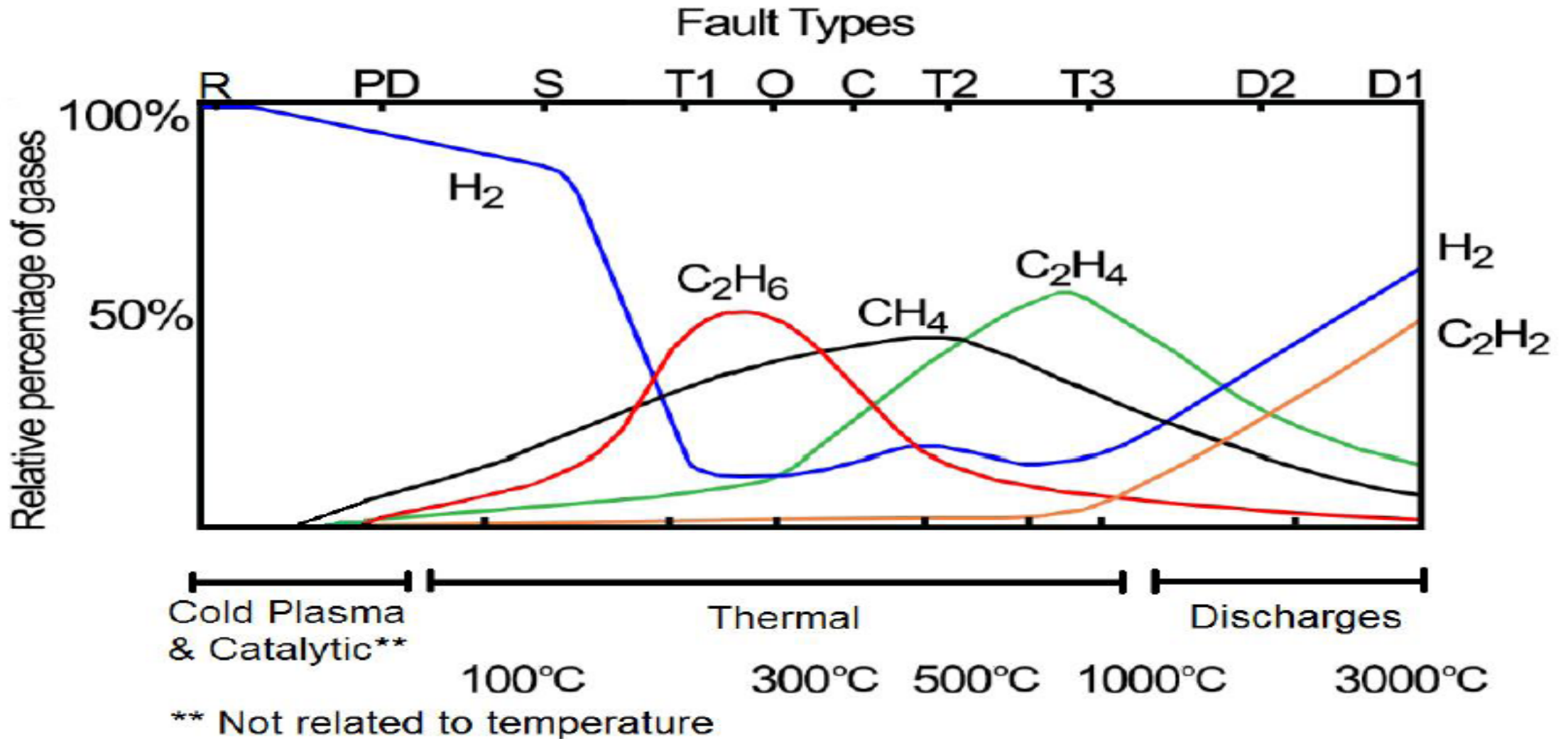
Halstead's Termikus Egyensúly:

IEEE Std C57.104-1991

(hőmérséklet jobbról balra növekszik)



Hibagázképződés alapösszefüggései: **hibagázok keletkezése a hőmérséklet függvényében**

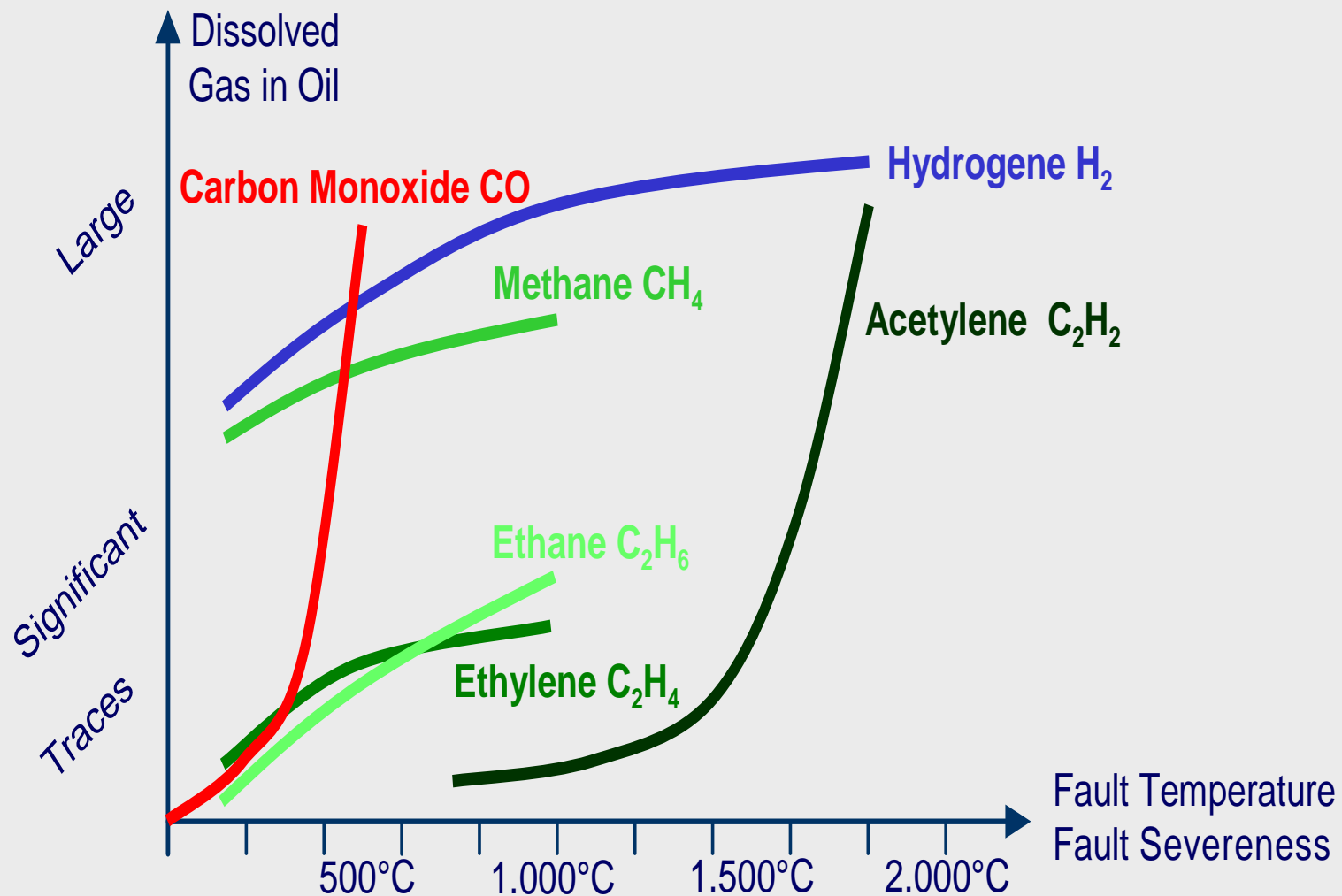




IEEE C57.104-1991 szabványban
található ábra: **hibagázok**
keletkezése a hőmérséklet
függvényében

(hőmérséklet balról jobbra növekszik)

IEEE C57.104-1991 3.1-3.3





IEEE C57.104-2019 - IEEE útmutatója az ásványolajba merült trafókban keletkező gázok értelmezésére, „ajánlja az együtt kiértékelést”

- Az **IEEE C57.104-2019** amerikai szabvány az olajba **beoldódó gázok elemzését tartalmazza.**
- **Részletesebben:** gáztermelés áttekintése trafókban, HGA célja és alkalmazása; **HGA korlátjai;** Hibatípusok, hiba azonosítása; **Esettanulmányok és értelmezési példák.**
- **Cél:** hasznos információkat nyújtása a felhasználóknak a berendezés **üzemképességéről;** gáztermelés fizikája, éghető gázok; **javasolt eljárások és különféle diagnosztikai technikák, mint például** kulcsgázok, Rogers-arányok, Duval háromszög, stb.
- **Esettanulmányok és példák;** Értékelési kritériumok és irányelvek; **Kapcsolódó irodalom.**
- A szabvány célja, hogy útmutatót nyújtson az oldott gázok elemzésének eredményeinek **értékeléséhez, statisztikai alapú elemzés, hibaértelmezési módszerek.**
- **Mindenképpen ajánlható szabvány, illetve GUIDE.**



„CIGRE GUIDE” alapján végezhető HGA kiértékelés



**Cigre SC 15 (1999): „New guidelines for interpretation of DGA in oil-filled transformers”
(Electra-1999 okt): Itt sincs Stray Gas. Kiegészítés az IEC 60599-hez**

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

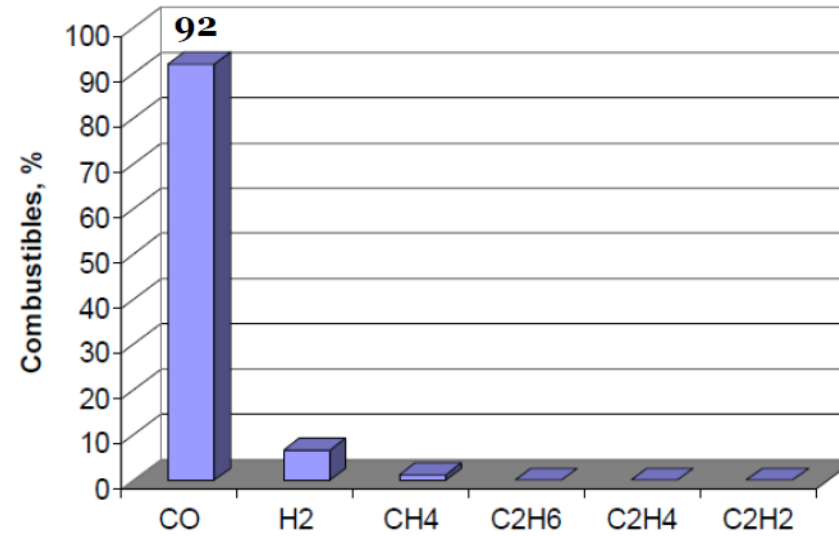
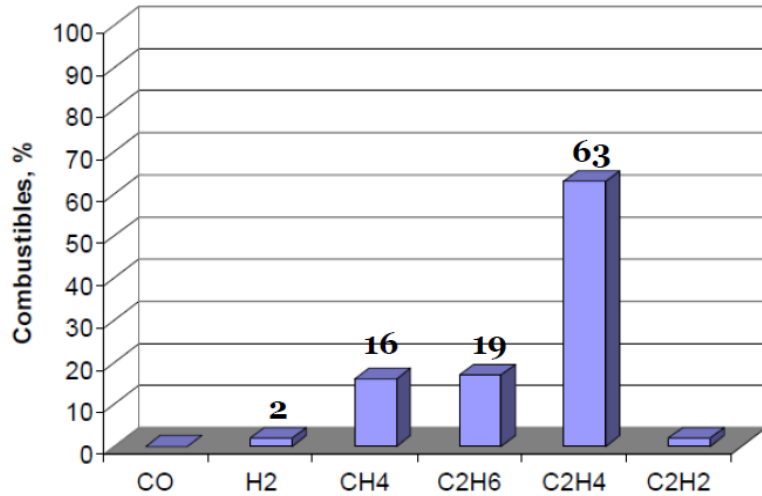


**„Key Gas Method (Kulcs Gáz Módszer)
alapján végezhető HGA kiértékelés:
„első közelítés”**



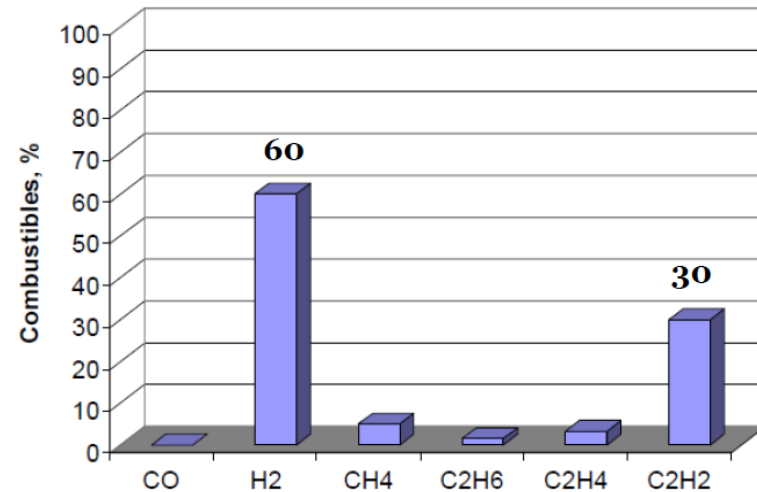
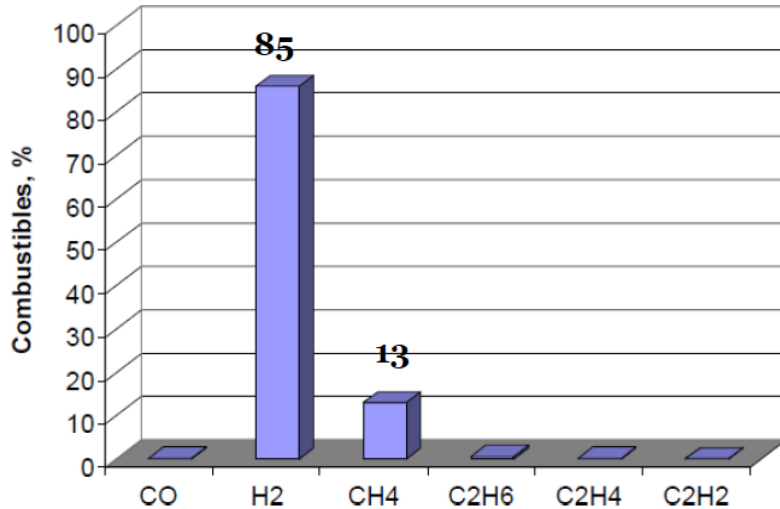
Key Gas Method: Kulcs Gáz Módszer (KGM módszer)

**Túlmeleg
olaj:
kulcsgáz:
etilén**



**Túlmeleg papír:
kulcsgáz
szénmonoxid**

**PD az
olajban:
kulcsgáz:
hidrogén**



**Ív az olajban:
kulcsgáz:
acetilén**



HGA kiértékelések:

Különböző HGA kiértékelések összehasonlítása

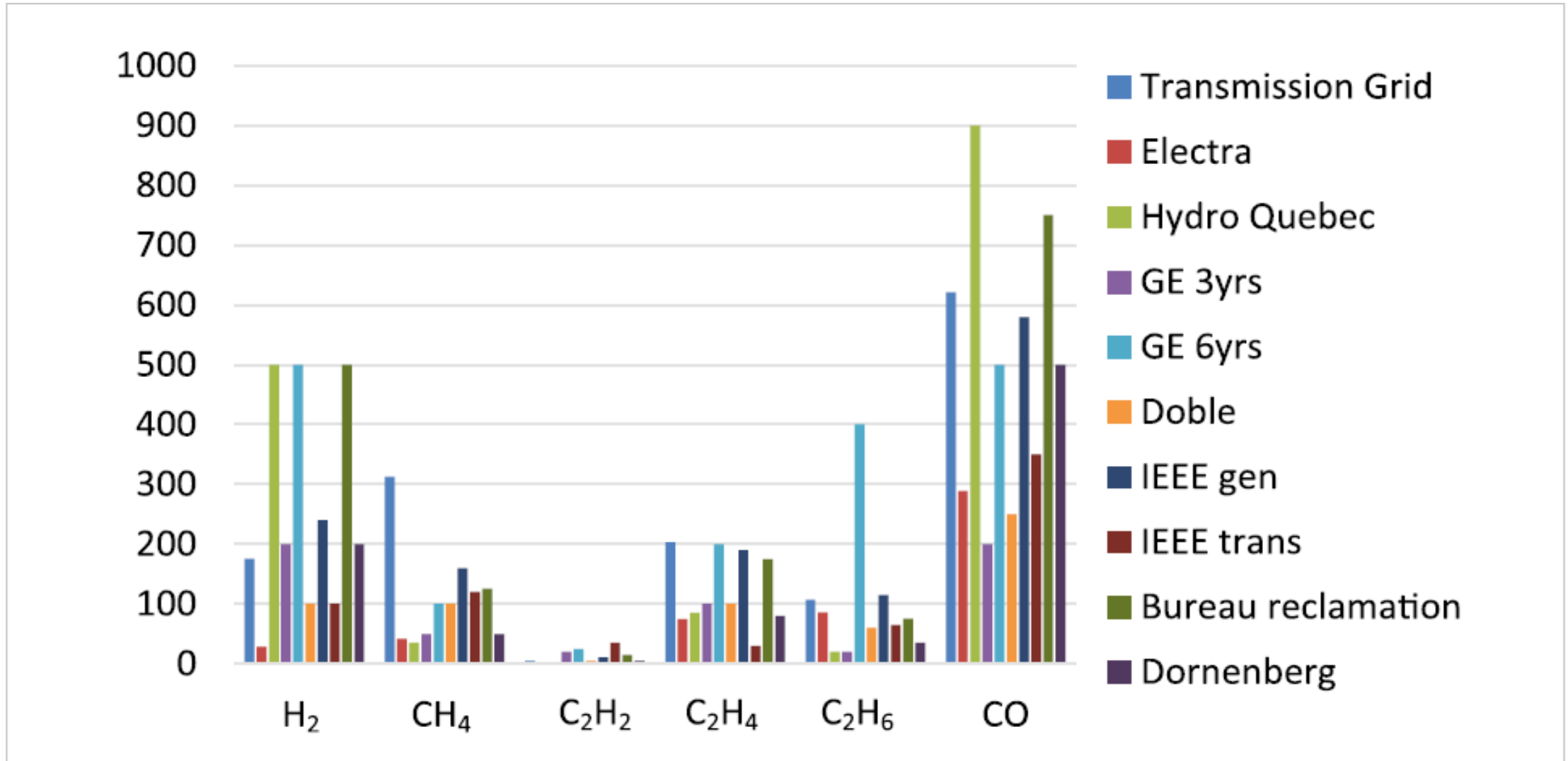


Fejlődés és „különböző HGA rendszerek” összehasonlítás

- 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 évtized HGA gyakorlat alatt nagyot fejlődtek a számítógépek, folyamatosan újra és újra vizsgálták a trafók „HGA viselkedéseit”: összesítve az adatbázisokat, a HGA technika egyre hatékonyabb lett.
- A HGA diagnosztika digitalizálása évek óta fontos trend és számos megoldás került kifejlesztésre, ill. továbbra is töretlen a fejlesztés.
- Tájékoztatással, néhány szó a különböző kiértékelési rendszerekről:
- A következő ábrán a különböző „kiértékelési rendszerek” által megadott még jó állapotú trafó” határértékek láthatók: elég nagy különbségek figyelhetők meg.



Különböző HGA kiértékelési rendszerek eltérő határértékeket adnak meg.





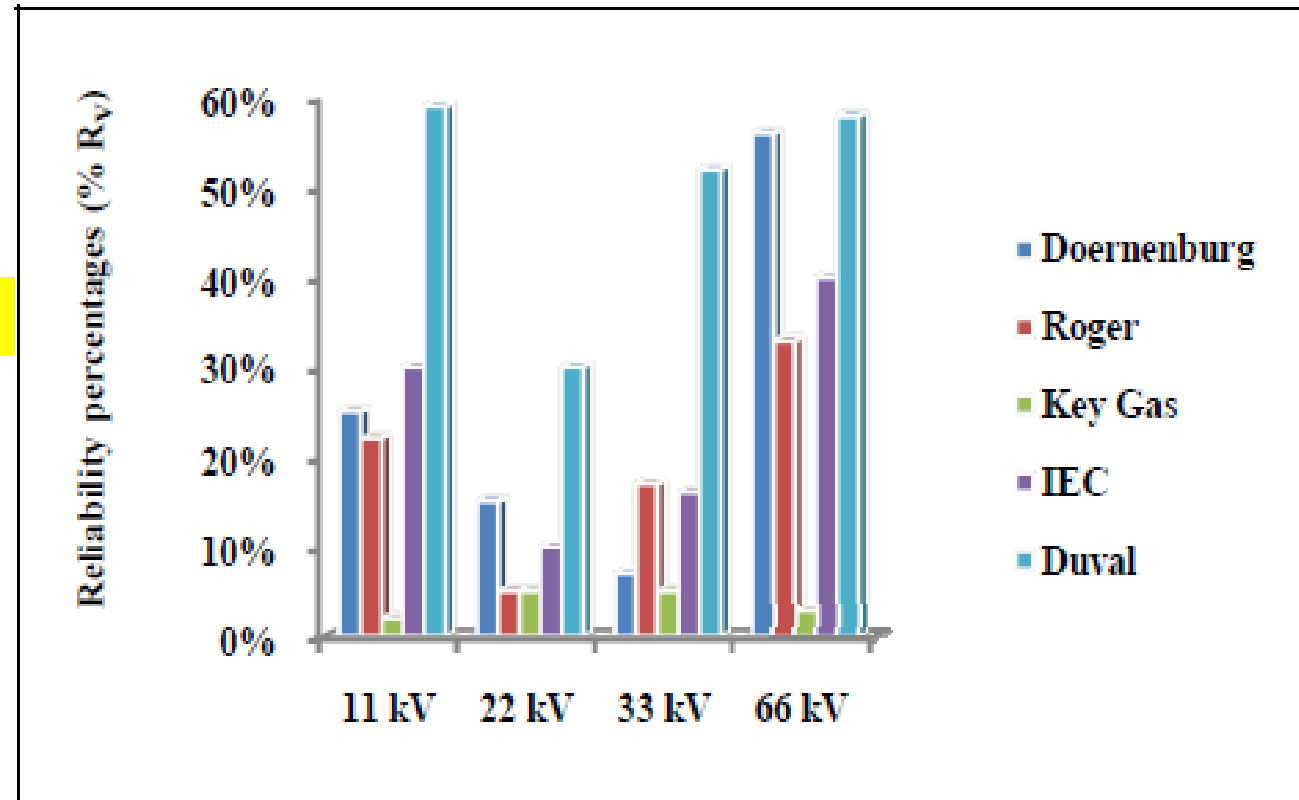
Ezen az ábrán a **kutatási munka további eredményei** látszanak.

Itt **különböző feszültségű trafókat vizsgáltak 5 fajta HGA** technikával.

Ezen az ábrán a HGA módszerek **megbízhatósági számai láthatók 4 feszültség szinten.**

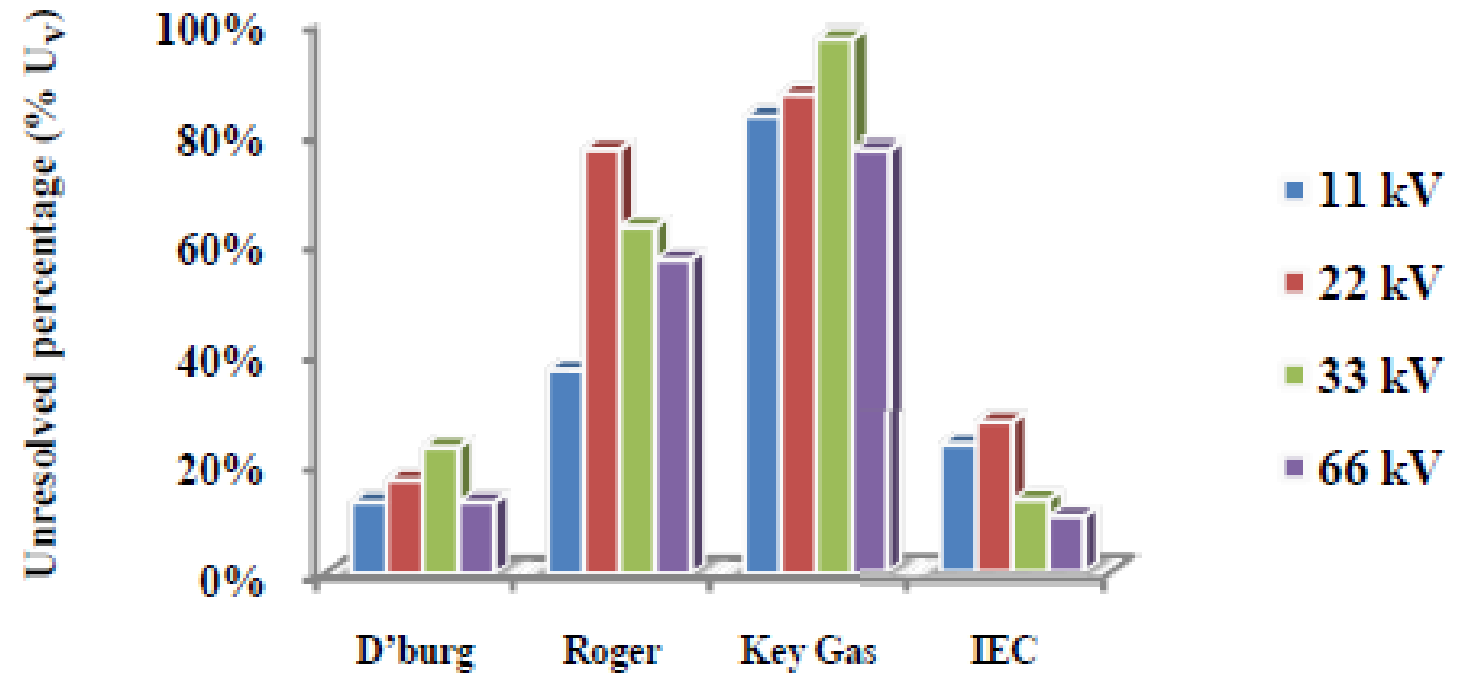
A módszerek **más hatékonyságúak az egyes feszültségeken.** A legkisebb megbízhatóság **22kV-on volt**, a maximális 66kV-on.

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” számai láthatók.**
- Látható, hogy a „KEY GAS” módszer 85%-ban **képtelen volt a hibát becsülni.**
- A Rogers módszer is elég nagy %-ban **nem jelezte a hibát.**
- **Az IEC és a Doernenburg módszer egészen jól teljesített.**
- Itt a feszültség szint értéke nem volt jelentős hatású.





Mivel magyarázhatók ezek az eltérések?

- Megfigyelhető volt, hogy ha a **„bázisolajok” különböző összetételűek**, így az azonos hibák hatására belőlük **keletkező gázok is eltérhetnek**.
- Fontos az **adaléktartalom mértéke**, ill. a trafók **teljesítménye és feszültség szintje is**.
- Már ez a **három ok is befolyásolhatja** a HGA eredményeket, ezért tapasztalható az, hogy a különböző **„évjáratú” HGA kiértékelések eltérő diagnosztikát adhatnak**.
- Logikus, hogy **ezért is lehet hasznos egy „rég” HGA módszer**, mert van **amikor jó**, van **amikor kevésbé jó eredményt ad**, mert egy **adott összetételű olajra jó volt, de másik összetétel esetén kevésbé**.
- A romlás során új vegyületek alakulnak ki, új HGA lenyomatok adódnak, stb. fontos az alapok minél pontosabb ismerete... a zavaróhatás megállapítása....és több módszer összehasonlítása.
- **Kiértékelési probléma lehet a „stray gáz=SG, szórt gázok” is: a tradicionális HGA nem figyelt az SG jelenségre (lásd korábbi előadásokat), így adódhattak hibás kiértékelések.**



- Egyik vagy másik HGA kiértékelés nem „teljesen” rossz, csak van olyan olajeset, amikor az egyik HGA kis pontossággal, amíg egy másik nagyobb pontossággal jelzi a hibát.
- Jó tudni, hogy egy új, „hatályos szabvány” műszaki megállapításokban nem feltétlenül írja felül a régit, a már „nem hatályos szabványt”.
- Tehát az új szabványok megjelenésével a régi „nem hatályos” szabványok nem „kidobandók”, még jelentős műszaki értékkel bírnak (lásd MSZ 352!), lehet, hogy adott esetben pont az adja a legpontosabb eredményt, tehát párhuzamosan használандók...
- Az egyes HGA technikákban sok a közös, de sokszor jelentős eltérés, mindegyik különbözik egy kicsit a másiktól, mert más „alapesetekre” lettek kidolgozva.
- Nem könnyű az áttekintés! Kell az alapok „jobb” ismerete és segítség a felhasználóknak.
- Általánosan megállapítható, hogy a hatékony HGA diagnosztikához, minél több ismeretre van szükségünk, nem mindig elég „egy” szabvány merev követése.... Együtt értékelés....
- Az előadásaink célja: évente egy-egy terület rövid áttekintése, amellyel 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.** 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.**
- Végeredményt tekintve fontos megjegyzés: **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.**



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:** IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers.
6. **IEC 60599:** 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))**



STRAY GAS DIAGNOSZTIKA

Röviden „stray gas” alapokról

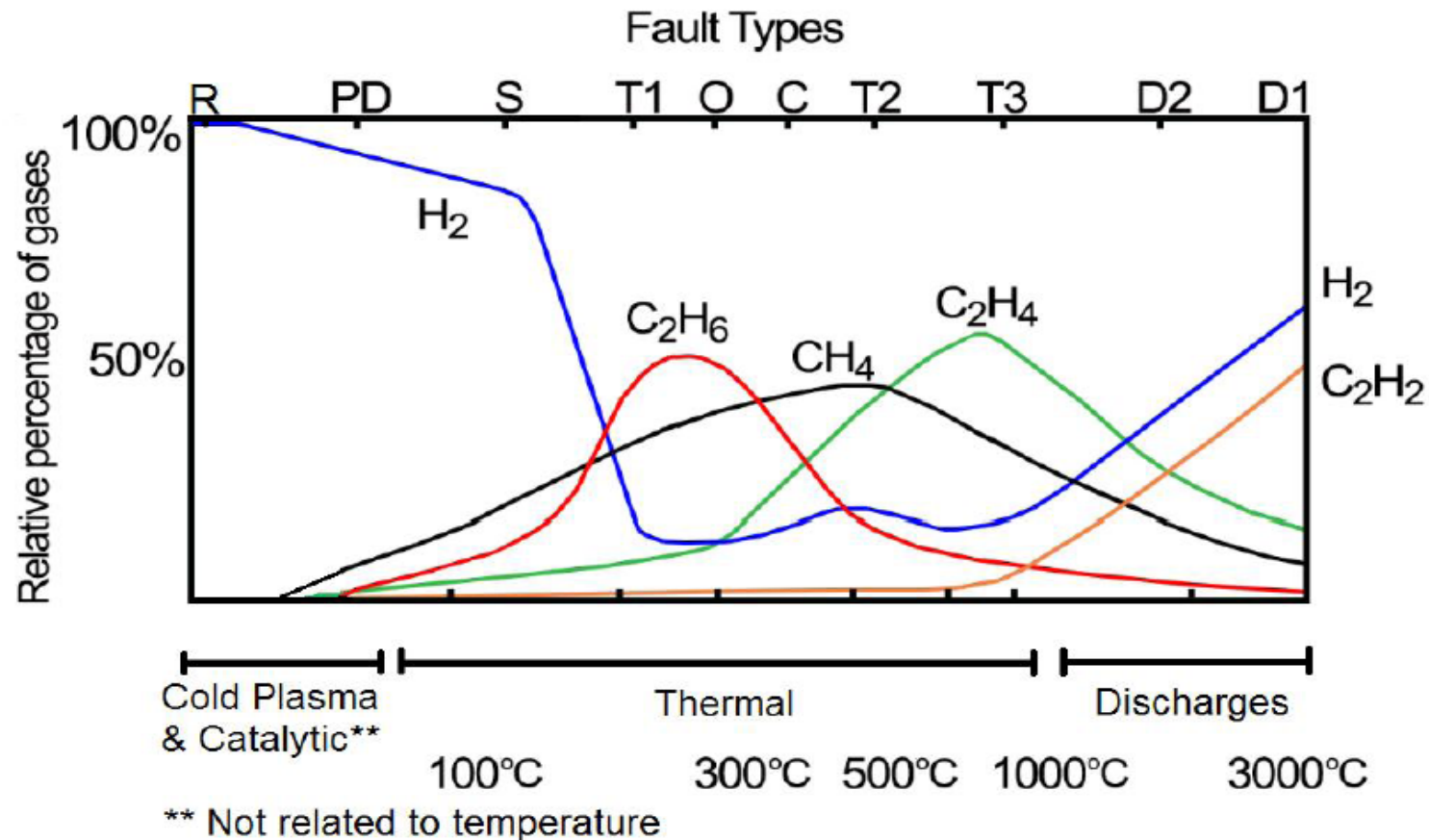


Hat hibagáz relatív képződése és a hőmérséklet függése IEEE és IEC szerint.

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.





HGA diagnosztika: „Együtt kiértékelés”

„Stray Gas” és a „DUVAL” együttes használata

(Részleteket lásd a 2025-ös „HGA konferenciás előadásból”)



Újabb 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°C
2. **O:** <250°C alatti túlmelegedés (hot spot)
3. **C:** papír 300°C-nál magasabb lehetséges szenesedése
4. **T3-H:** T3 hiba csak olajban (T>700°C, hiba nagyon magas hőmérsékleten)

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

- A **CIGRE** „ásványolaj termikus „stray gas” (SG) definíciója az alábbi: „Ásványolajból gáz képződése melegedés hatására relatíve alacsony hőmérsékleten (90-200°C)”.
- Főleg hidrogén, metán, etán, CO₂, 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 költségráfordítást igényel.
- Következtetés: Érdeemes egy kicsit több figyelmet fordítani a STRAY GAS jelenségre.



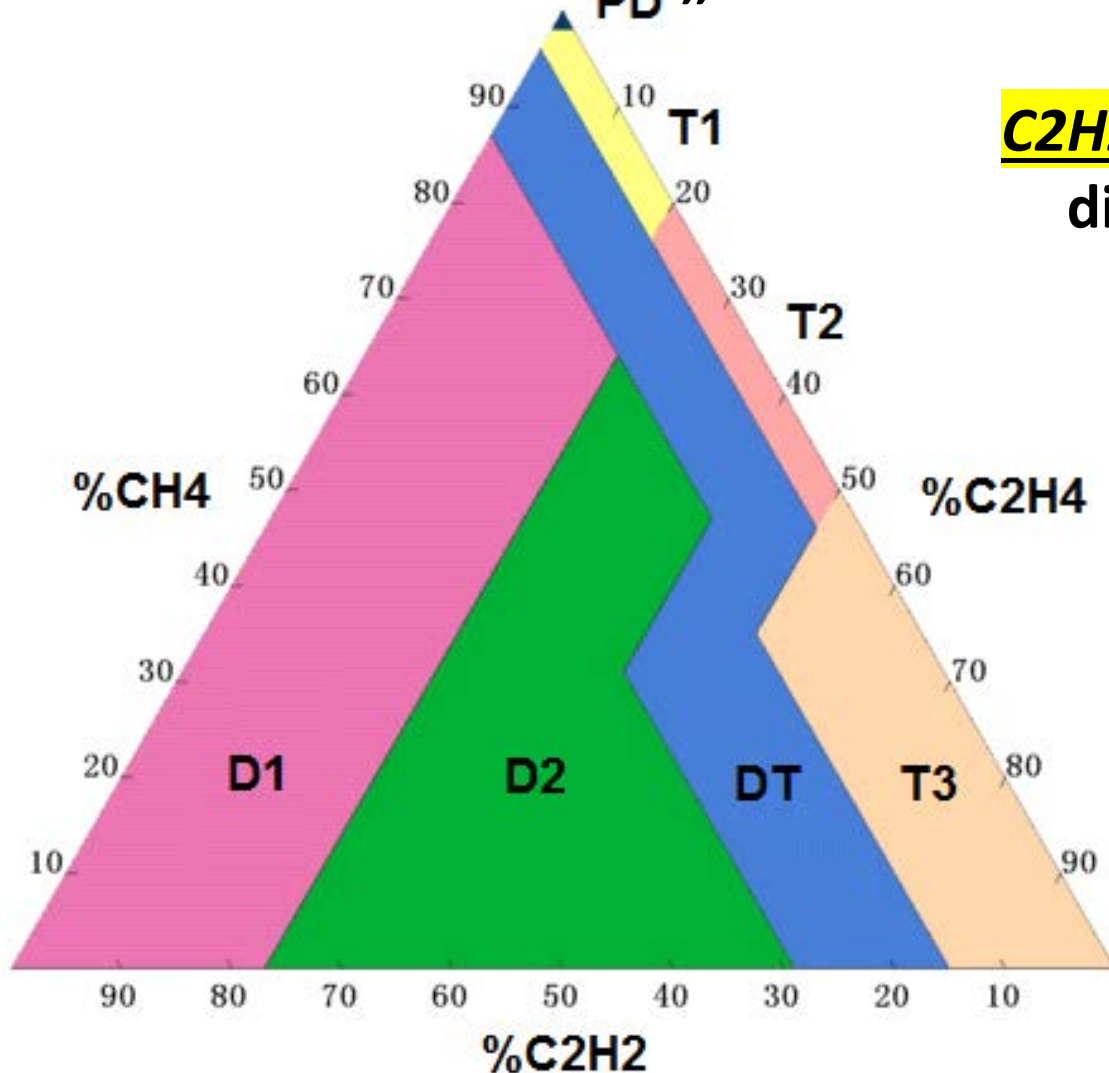
- **Michel Duval**, kémikus, Hydro Quebec's IREQ kutatóintézet.
- Duval három- és ötszög módszerekkel grafikusán és vizuálisan is követhetjük időben a „hiba fejlődését”.
- ***DUVAL háromszög és ötszög (pentagon) módszerek***: újak, hasznosak, tipikusan számítógépre valók, mindenkinek *javasolt az alaposabb 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, MIDELE, 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

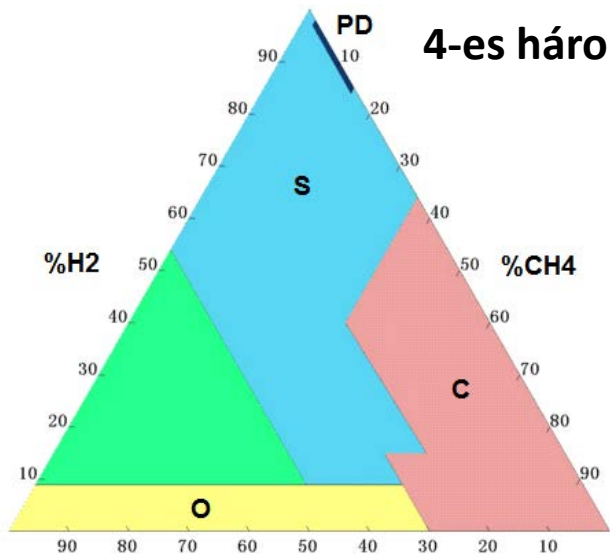
D1: Low-energy discharge

D2: High-energy discharge

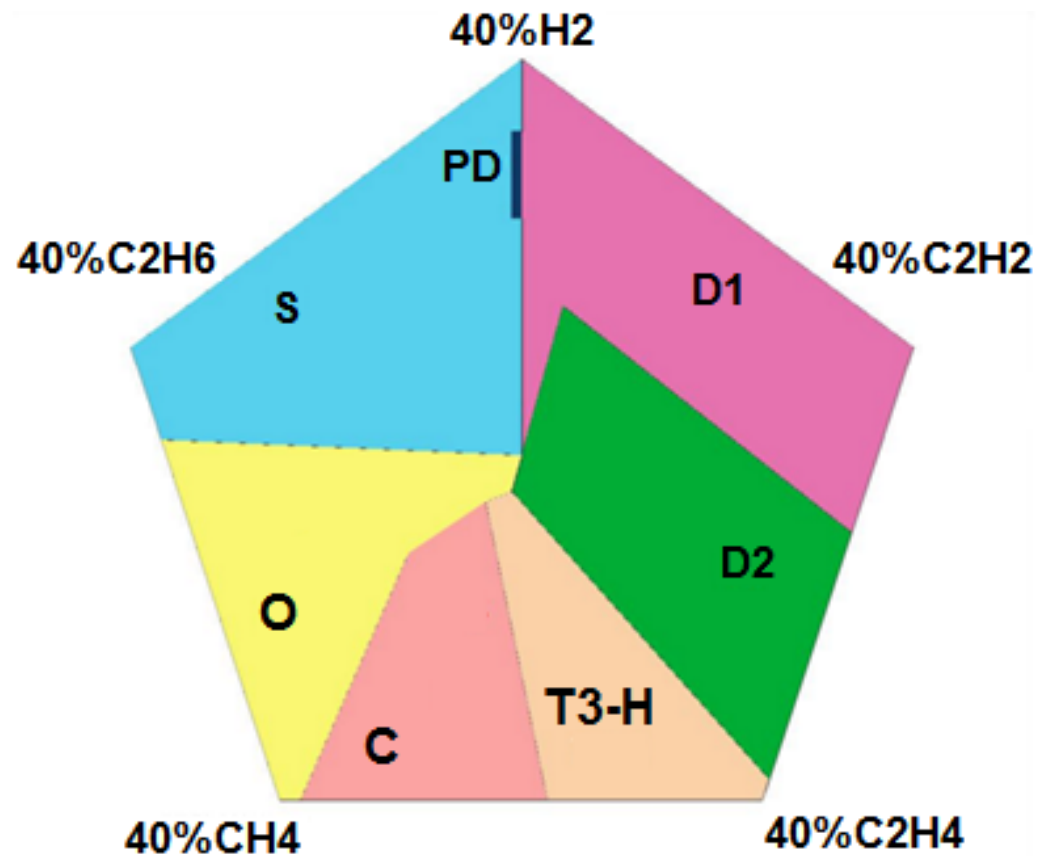
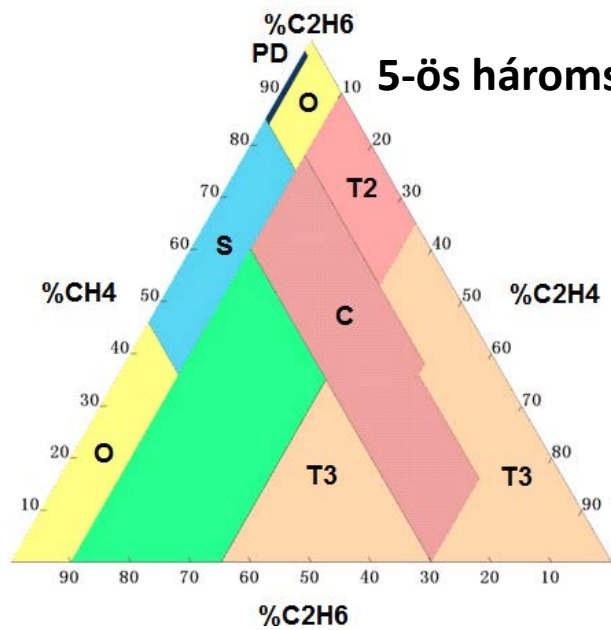
DT: Discharge or Thermal



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



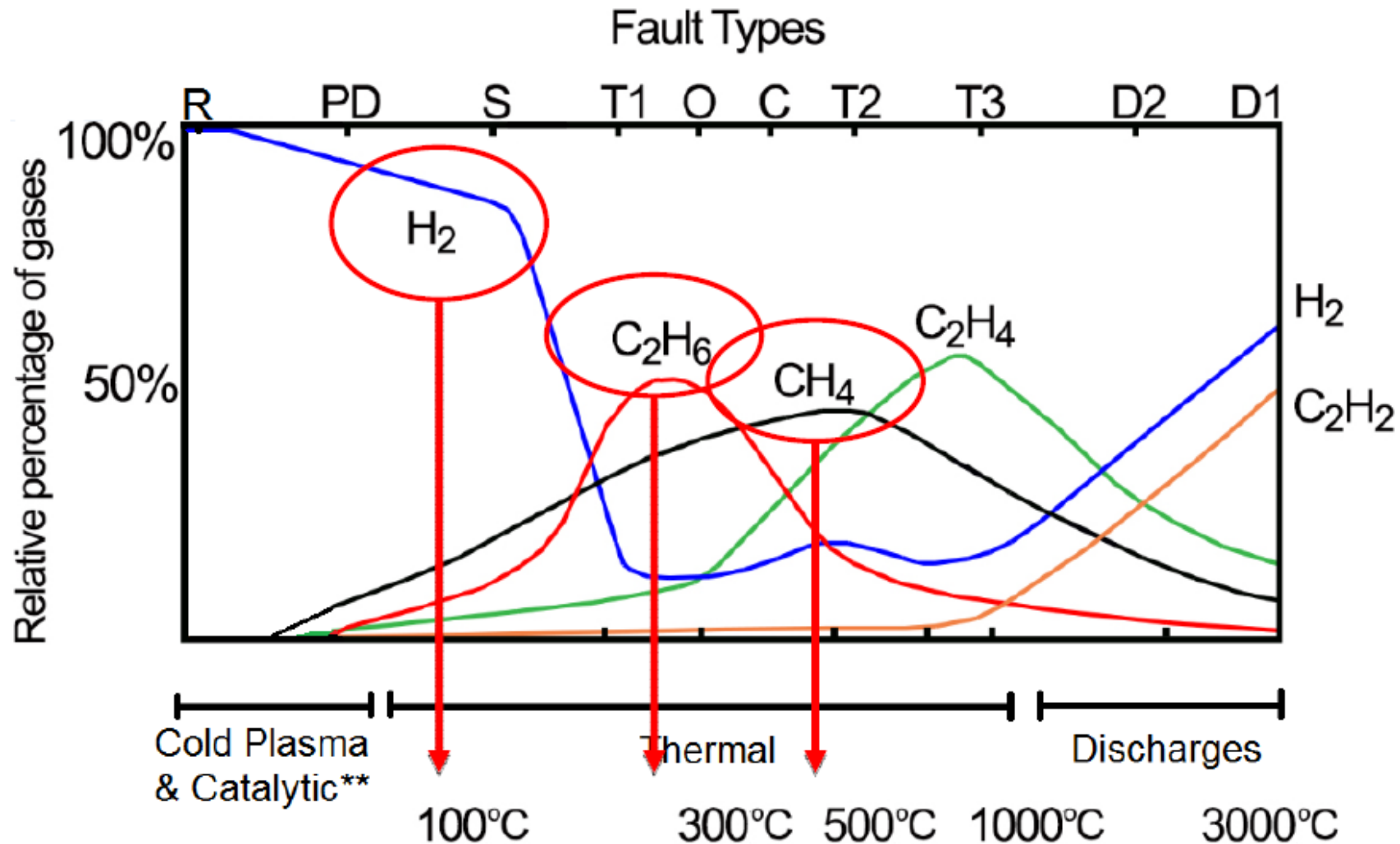
5-ös háromszög (<-Triangle 1: T2, T3)



Duval 2-es ötszög



„DUVAL 4 Δ”: Relatív gázképződés alacsony hőmérsékleten



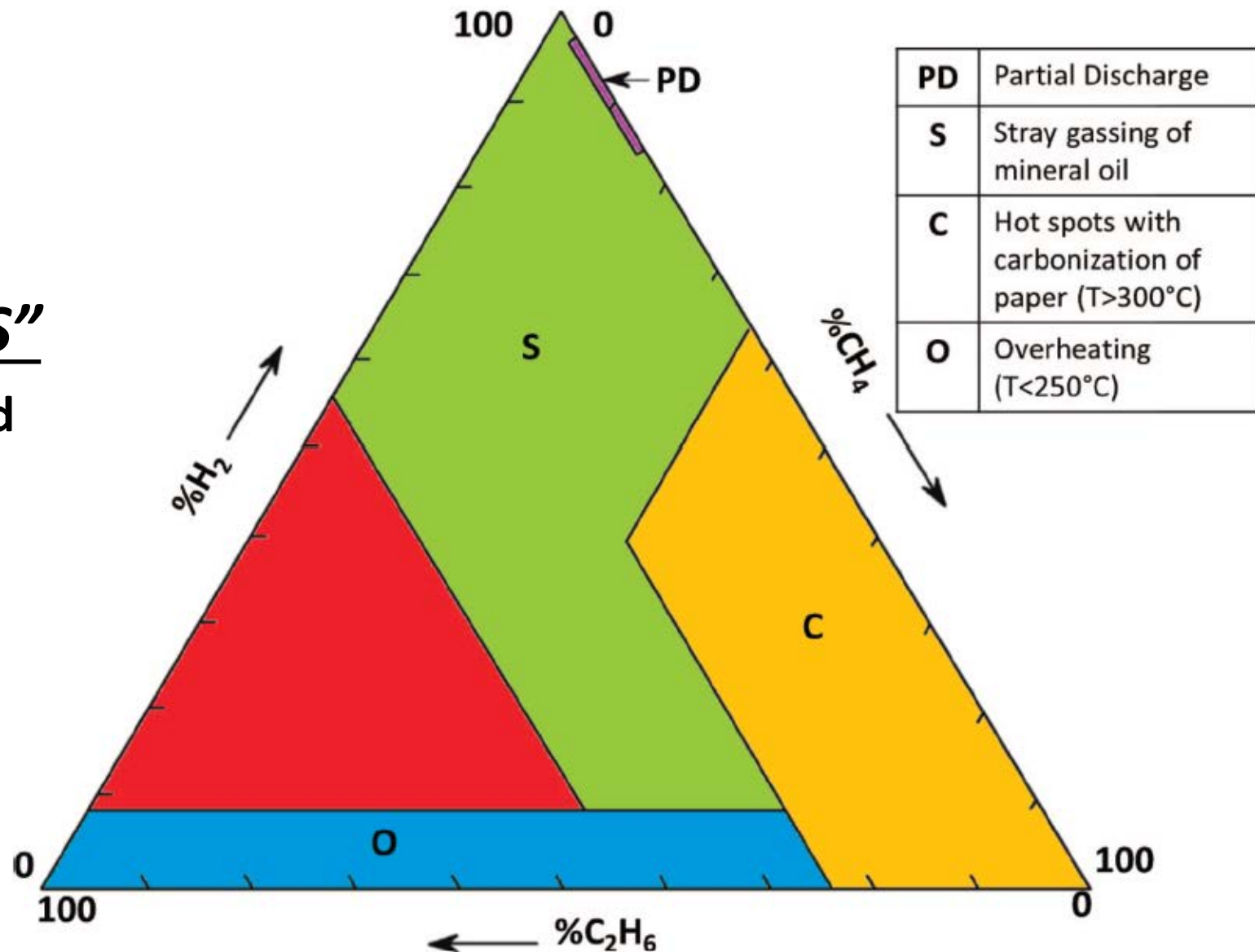
** Not related to temperature



Duval 4 háromszög

Jelentős terület az „S”

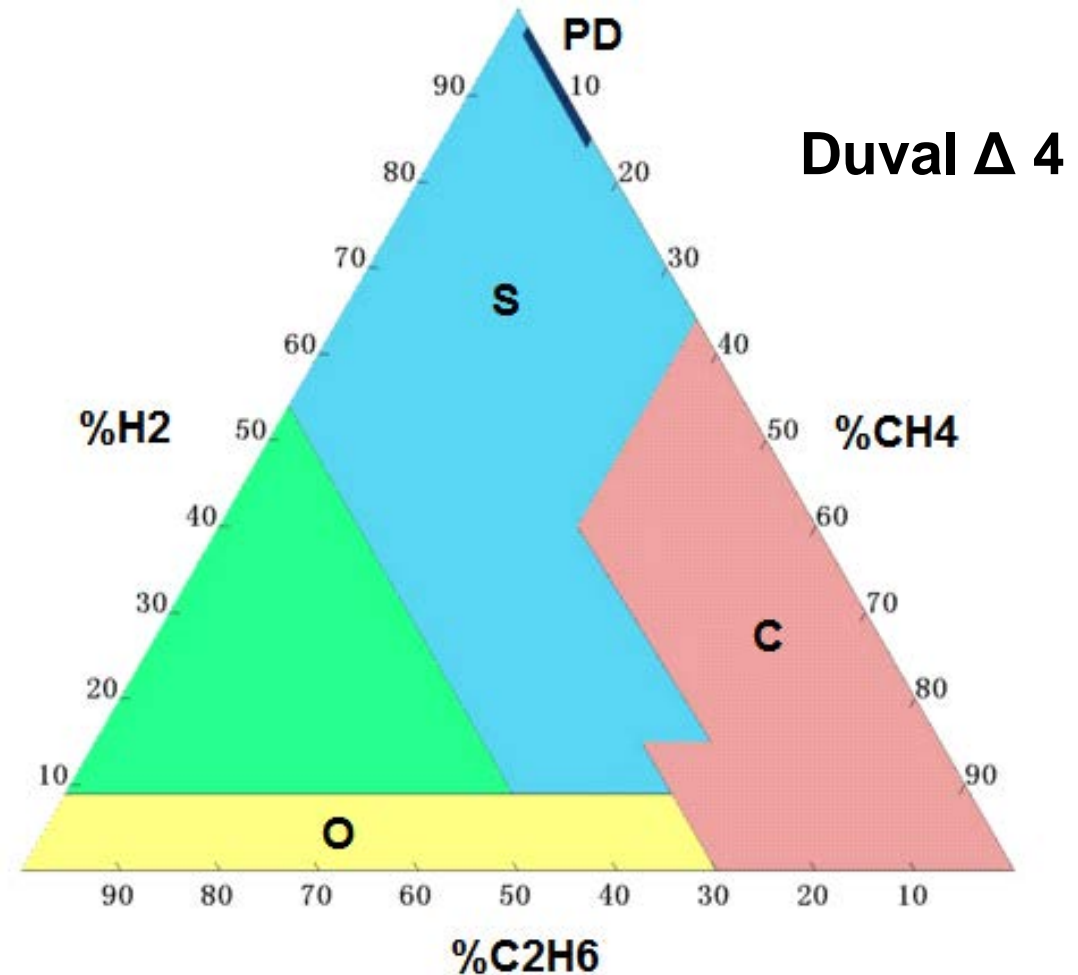
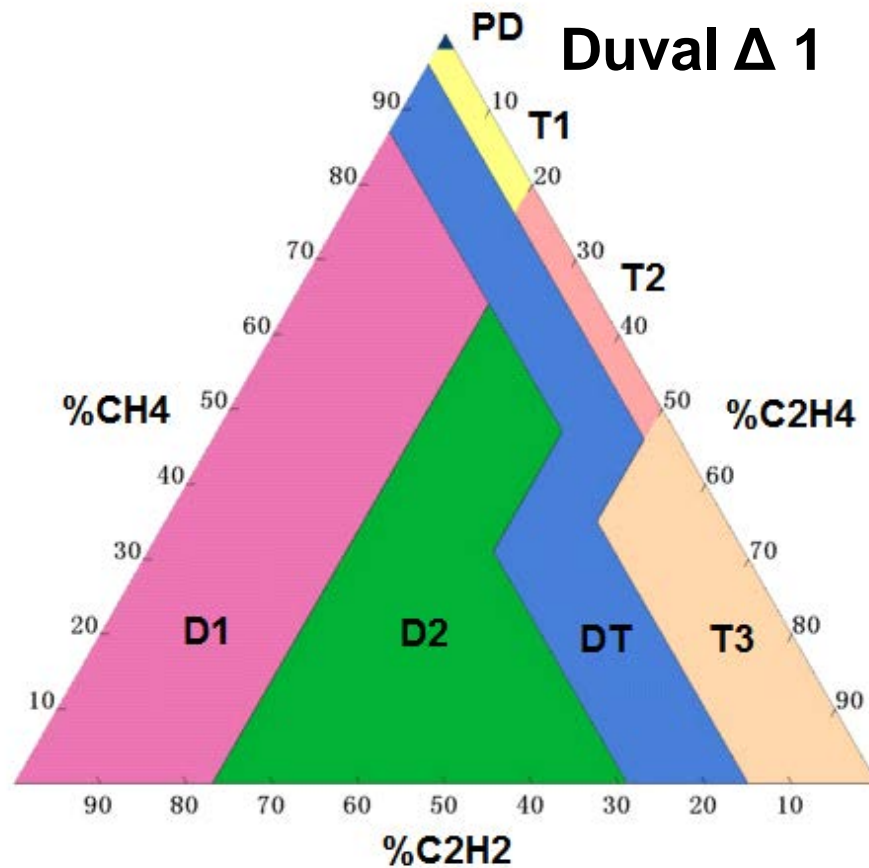
Piros: ND= not determined





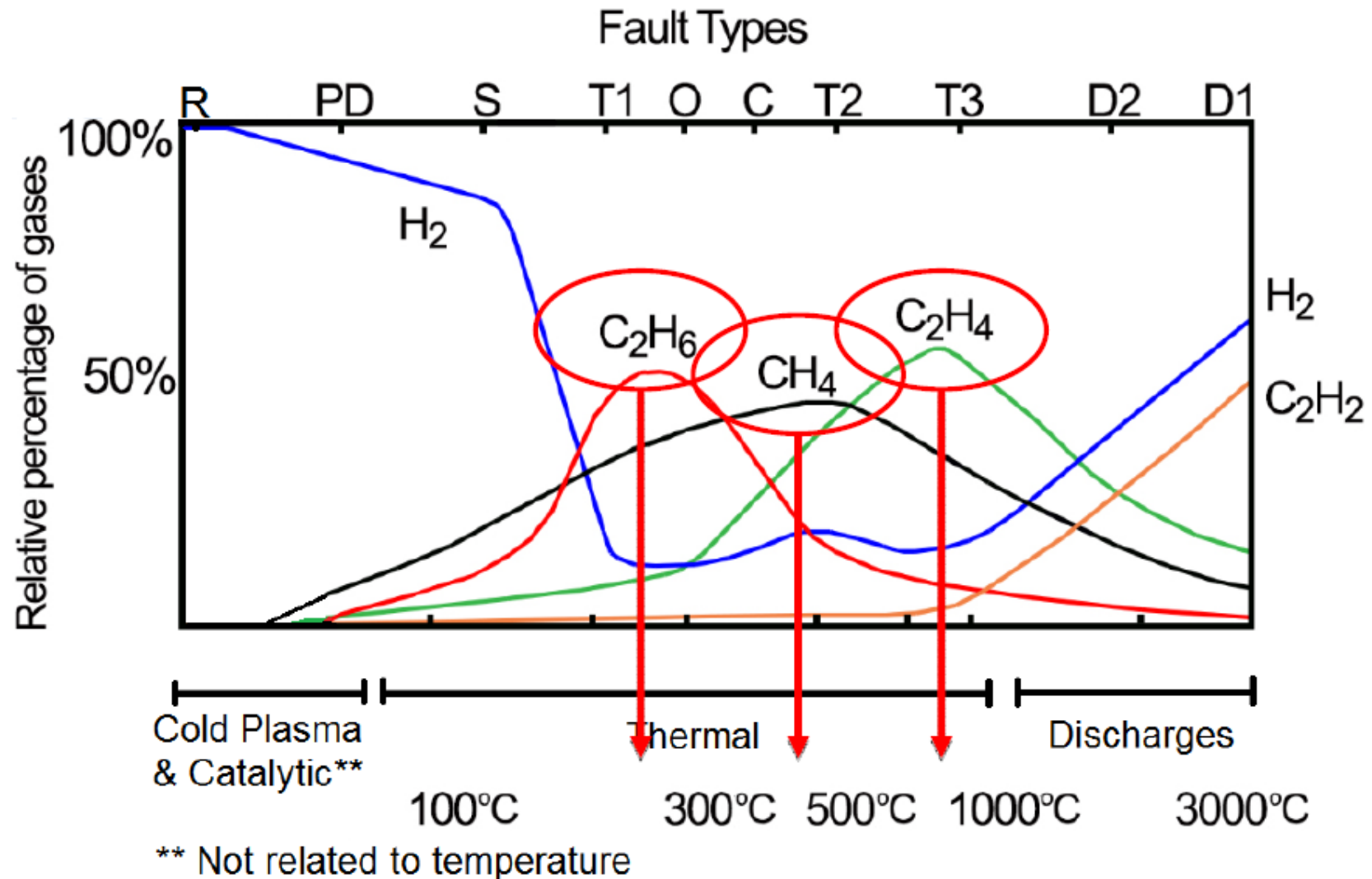
Duval 4 Δ: 1 Duval 1Δ: T1, T2, PD esetén

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



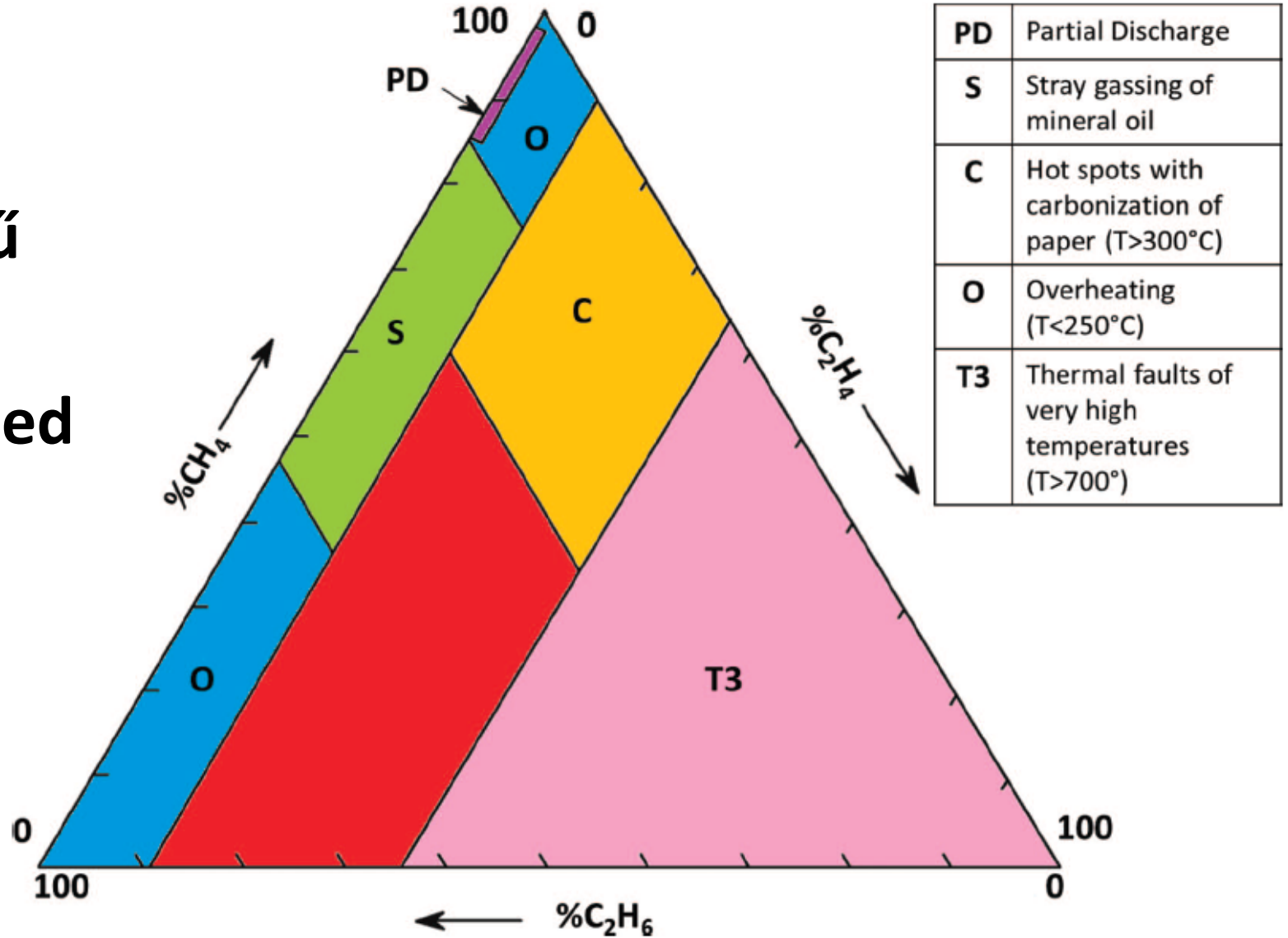


„DUVAL 5 Δ”: Relatív gázképződés közepes hőmérsékleten



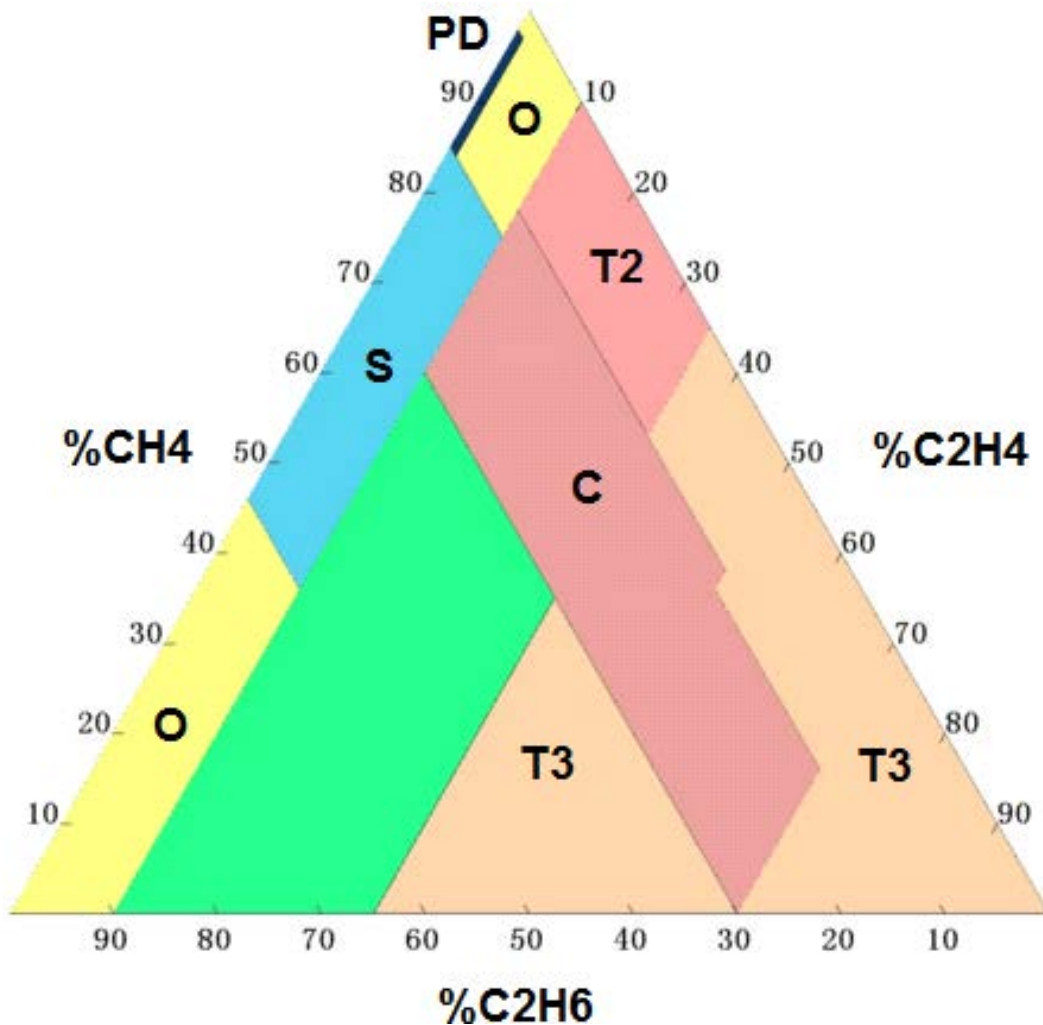


Duval 5 háromszög:
alacsony hőmérsékletű
hiba: „S” kis terület!
Píros: ND= not determined





Duval $\Delta 5$



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

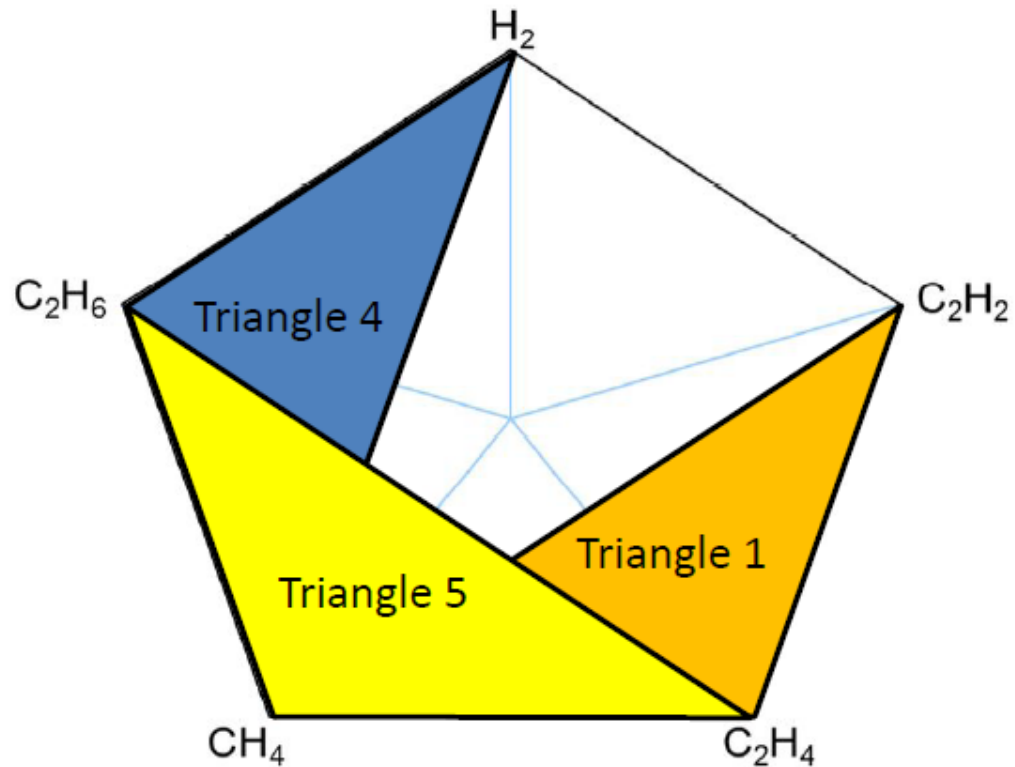
Duval $\Delta 5$: ha Duval $\Delta 1$ T1 vagy T2-t jelez, akkor jöhet a Duval $\Delta 5$ -es és pontosítani lehet: Duval 1 Δ + CH₄, C₂H₆, C₂H₄: azonosítható az „0=overheating <250 °)”, „S=stray gassing <200C°”, „C=szenesedés>300°C”, ill. megerősíthető T2 és T3, a stray (szórt, szórvány) gáz, melegedés,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

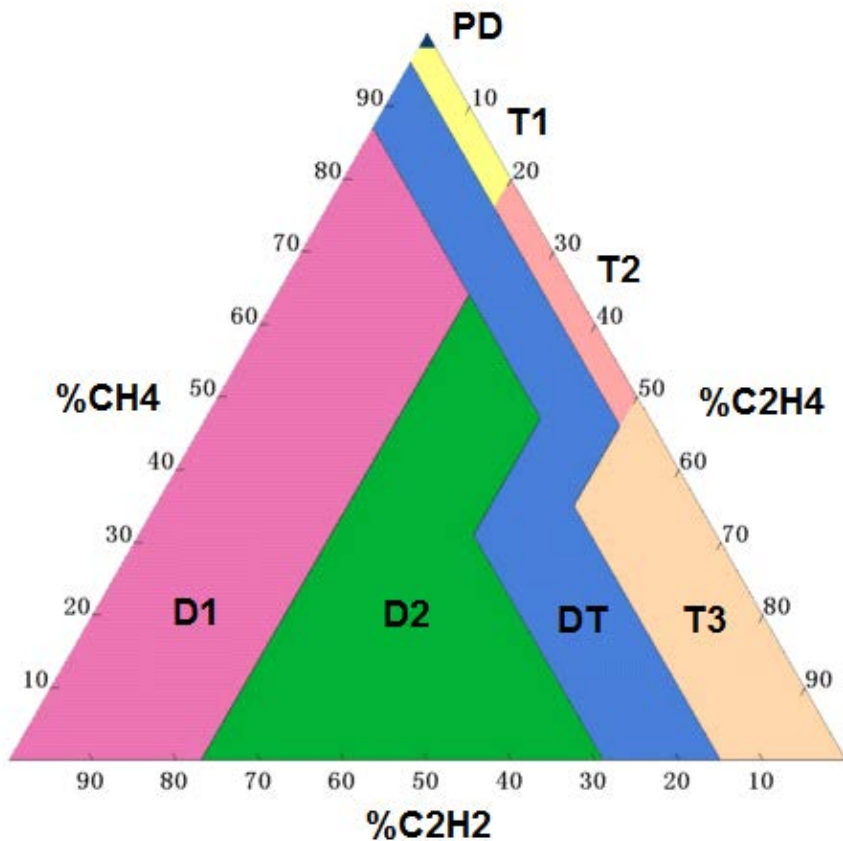
Duval $\Delta 4$: C_2H_6, CH_4, H_2

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

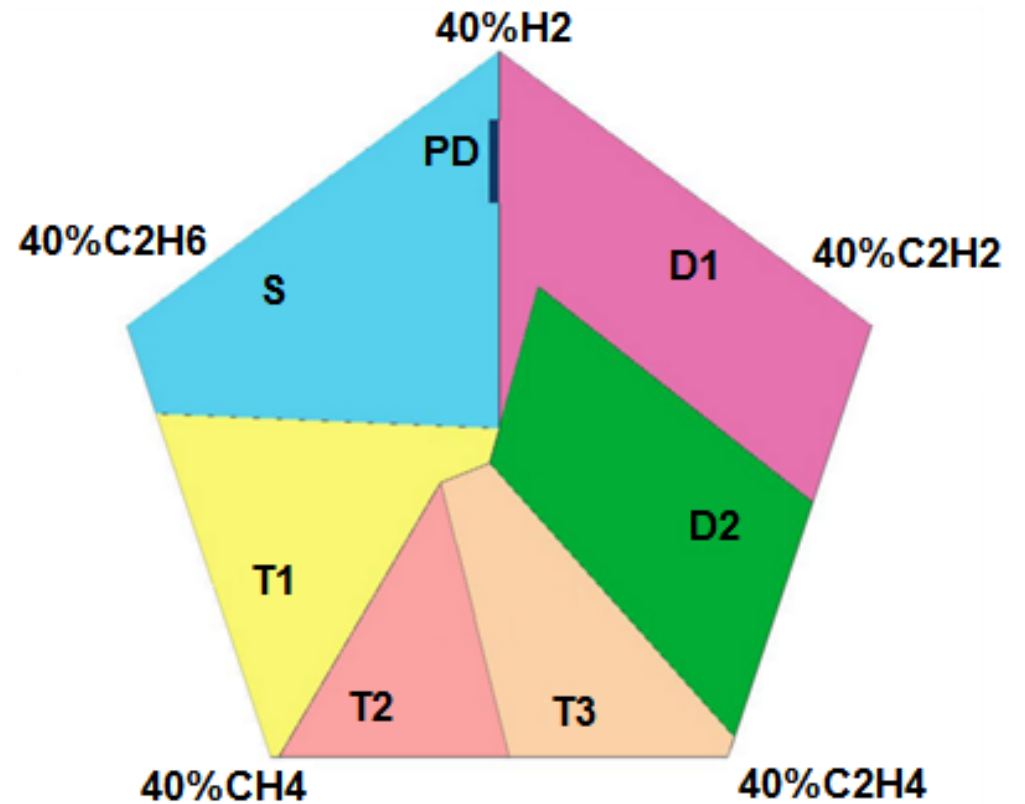


Duval Δ 1: metán, acetilén és etilén

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



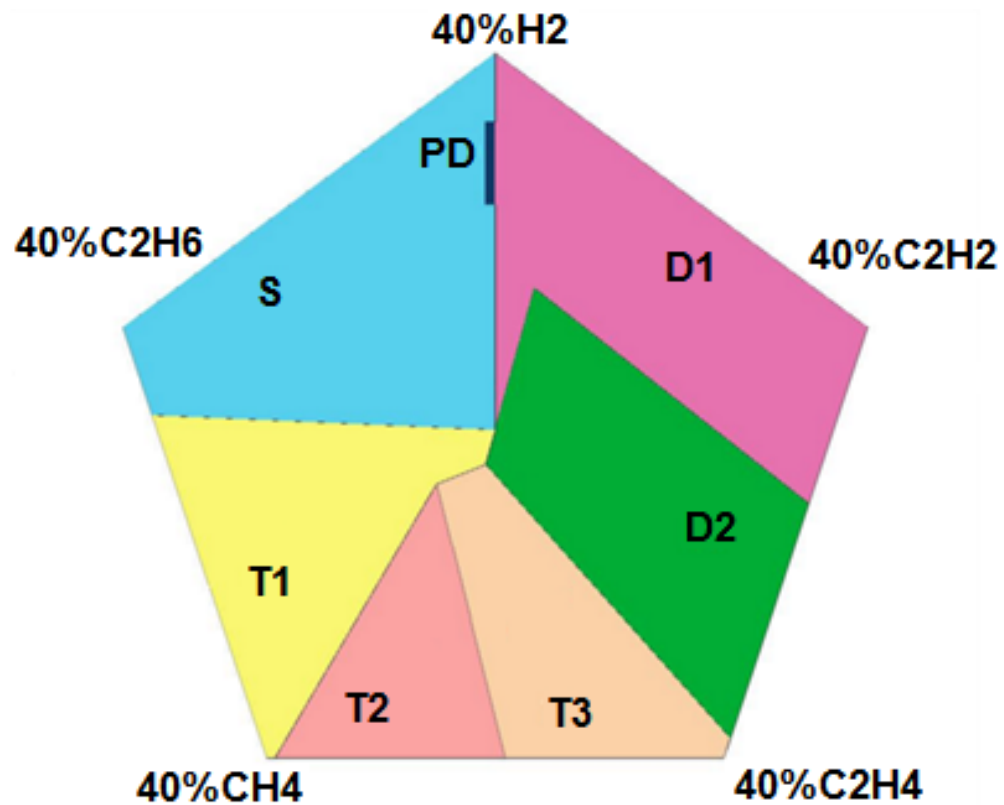
„DUVAL Duval Δ 1,



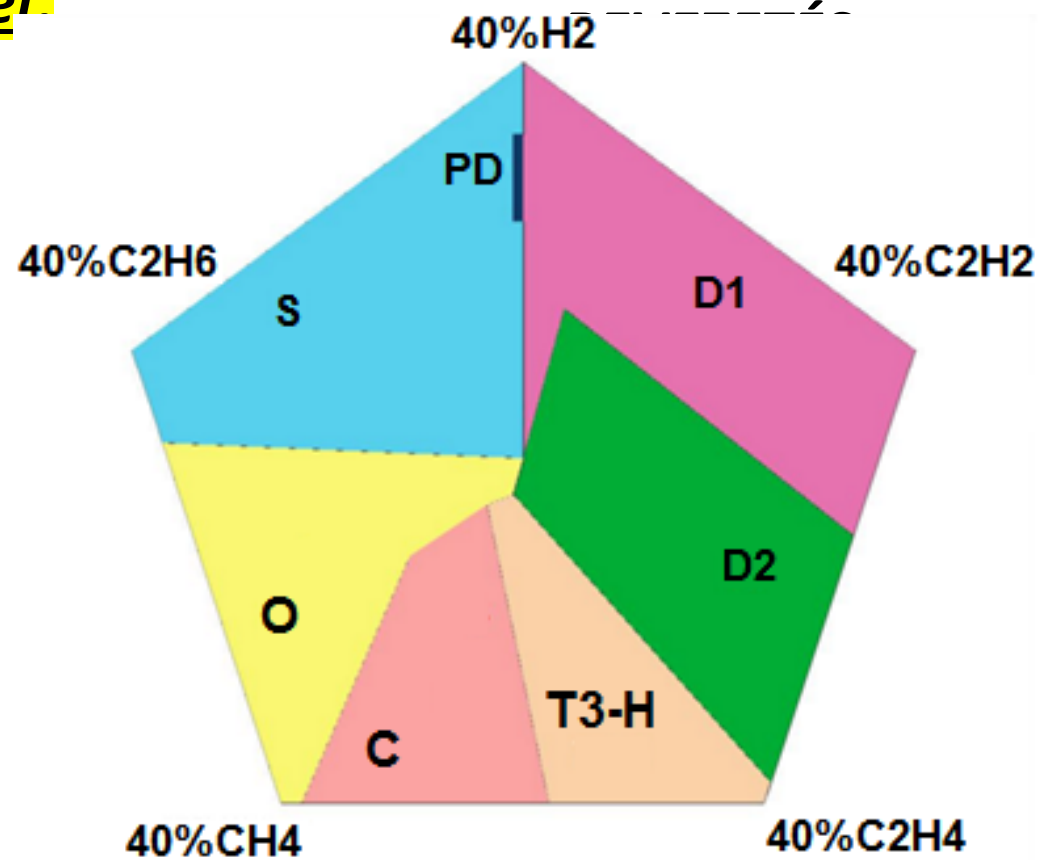
DUVAL ötszög 1



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



DUVAL ötszög 1

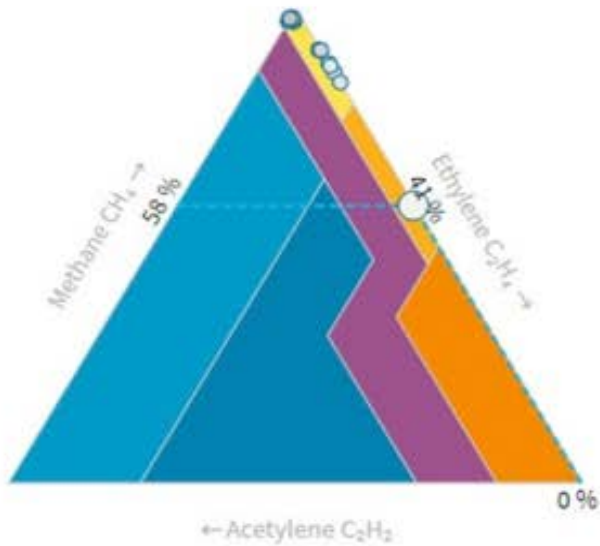


Duval ötszög 2



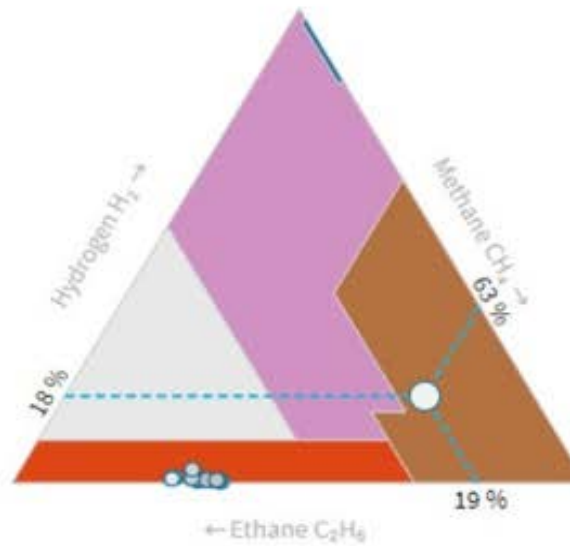
Duval 1, 4 és 5 háromszögek használata: nő a diagnosztika megbízhatósága

Duval Triangle 1



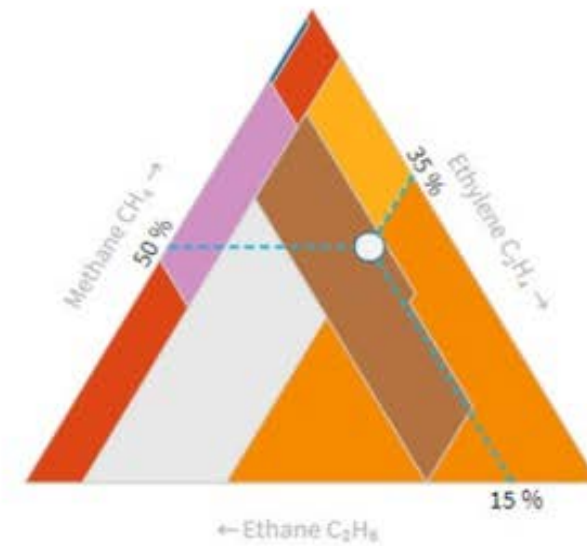
- T1: Thermal fault < 300 °C
- T2: Thermal fault 300..700 °C
- T3: Thermal fault > 700 °C
- DT: Thermal and electrical fault
- D1: Discharges of low energy
- D2: Discharges of high energy
- PD: Partial discharges (corona)

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



Konklúziók



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.**
- Szükséges **több HGA módszer „együtt alkalmazása”.**
- Egy **téves diagnózis** nagy idővesztést okozhat és költséget jelent a felhasználó részére.
- A **trafó drága berendezés**, a diagnosztika és a javítás ugyancsak költséges, **ezért igen fontos a pontos diagnózis.**
- **A hamis diagnózis meghibásodáshoz** vezethet, mert rejtve marad a hiba, ill. szükségtelen beruházást, költséget, trafócserét, stb. okozhat



Konklúziók (folytatás)

- A szakirodalom áttekintése és feldolgozása alapján látható, a **HGA rendkívül hasznos diagnosztika**, de nemcsak egy **„BASIC”, hanem egy „ADVANCED”** változat kellene.
- Tehát **„alapos”, és nem „egyszerűsített”** áttekintés szükséges.
- Áttekintve a rendelkezésre álló információ halmaza láthatjuk, ha megfelelő mennyiségű időt **„áldozunk”** a diagnosztikára, akkor egészen jó eredményeket kaphatunk.
- **Hagyományos technikával ezt csak igen gyakorlottak** képesek követni, jelentős munkaráfordítással és számítástechnika felhasználással.
- **Offline diagnosztikák + online monitoring: → akár 93%-os !!!** pontosság is elérhető.
- Tehát alkalmazzunk egy saját **offline+online monitoring+szakértői rendszert!**
- **Folyamatosan frissítsünk, a sok rendelkezésre állók közül „minél több kiértékelést használjunk”,** hogy minél pontosabb diagnosztikát kaphassunk.



**Köszönöm a
figyelmet!**

