# CIGRE TF 15.01.09

## Dielectric Response Methods for Diagnostics of Power Transformers

# Dielektromos válasz módszerek transzformátorok diagnosztizálására

# Members

- S. Gubanski (chair), CTH, Sweden
- P. Boss, ABB, Switzerland
- G. Csepes, HPC, Hungary
- V. Der Houhanessian, Alff Eng., Switzerland
- J. Filippini, CNRS, France
- P. Guuinic, EDF, France
- U. Gäfvert, ABB, Sweden
- V. Karius, Trench, Switzerland
- J. Lapworth, NGC, UK
- G. Urbani, Tettex, Switzerland
- P. Werelius, Programma, Sweden
- W. Zaengl, Alff Eng., Switzerland

# CIGRE TF 15.01.09
# Munkabizottság feladata

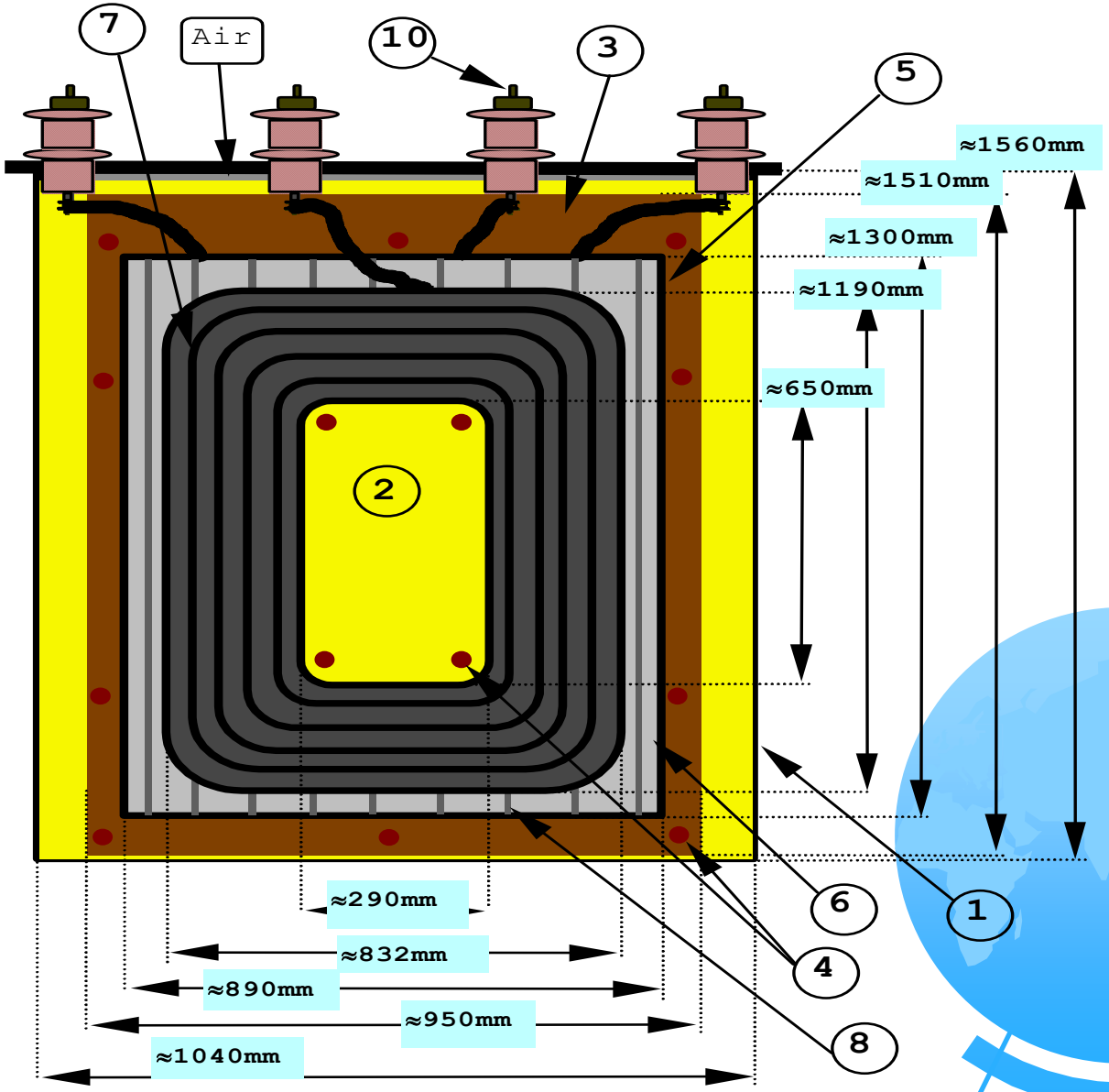
- Az olaj-papír szigetelésben fellépő polarizációs jelenségek eddigi ismereteinek összefoglalása
- Modell mérések és dielektromos válaszjelenségek értelmezése (RVM, PDC, and FDS).
- RVM: Recovery (or Return) Voltage Measurements
- PDC:Polarisation and Depolarisation Currents
- FDS: Frequency Domain Spectroscopy
- A mérések végrehajtása valós transzformátoron
- A dielektromos mérési eredményeket befolyásoló paraméterek vizsgálata
- Irányelvek Electra publikációhoz

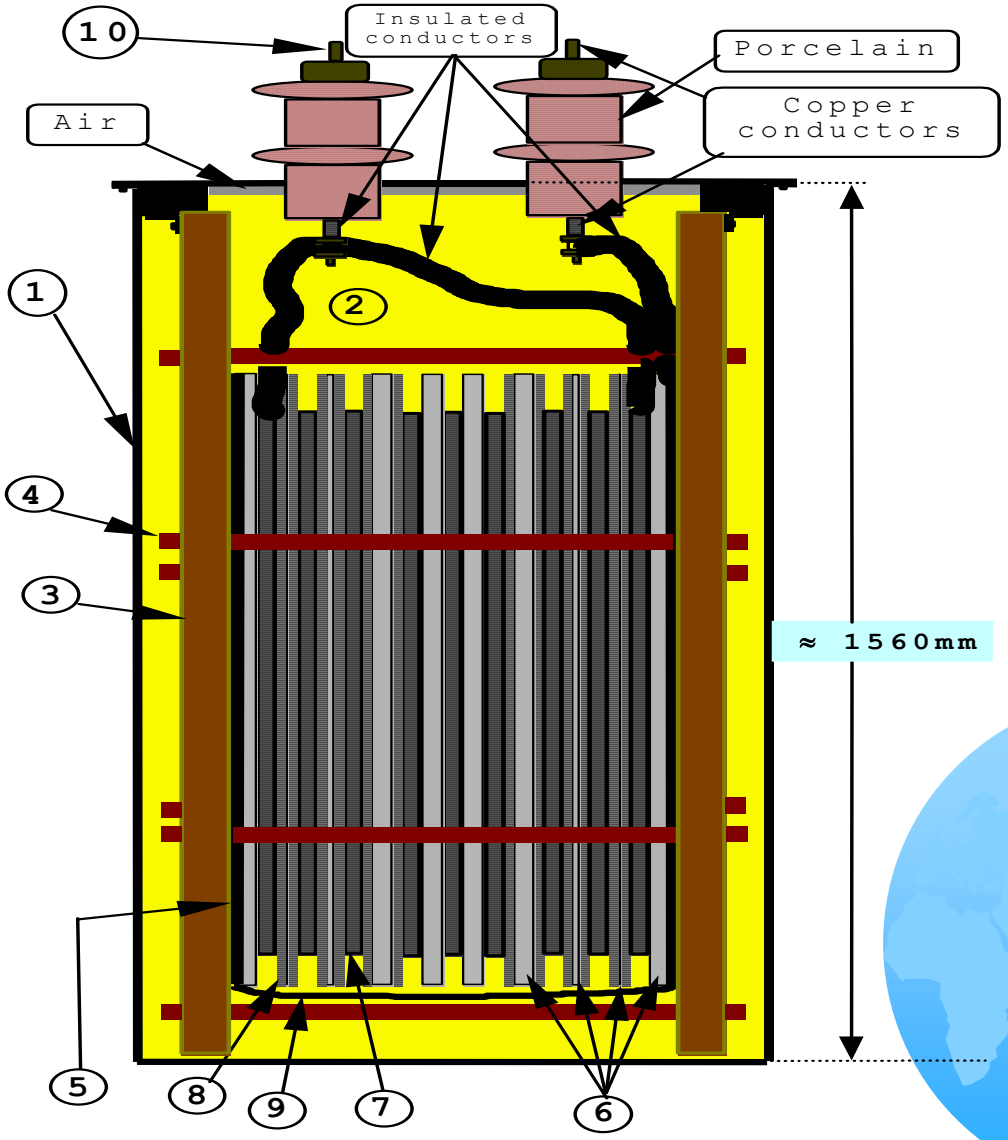
# Tevékenységek

- Olaj-papír szigetelés modellezése (EdF and Haefely Trench gyártmányú „Pancake” model)
  - Különböző szigetelési állapotok
- Alállomási mérések
  - NGC transzformátorok (UK)
  - Vattenfall transzformátorok (Sweden)
- Összegző találkozók
  - kapott eredmények megvitatása
  - meghívott előadók előadásai

# PANCAKE modell

- Olaj-papír szigetelés modellezése (EdF and Haefely Trench gyártmányú „Pancake” model)
- A „Pancake” modellt az ALSTOM-Vénissieux (France) gyárban készítették el, a szokásosan használt Kraft Thermo 70 papírból és Nynas Nytro 10GBN szigetelőolajból
- A modell 8 „pancake” alakú tekercsből áll (A-H) közöttük olajcsatorna különböző olaj/pressboard arányokkal (85/15 to 0/100 olaj/pressboard arány)

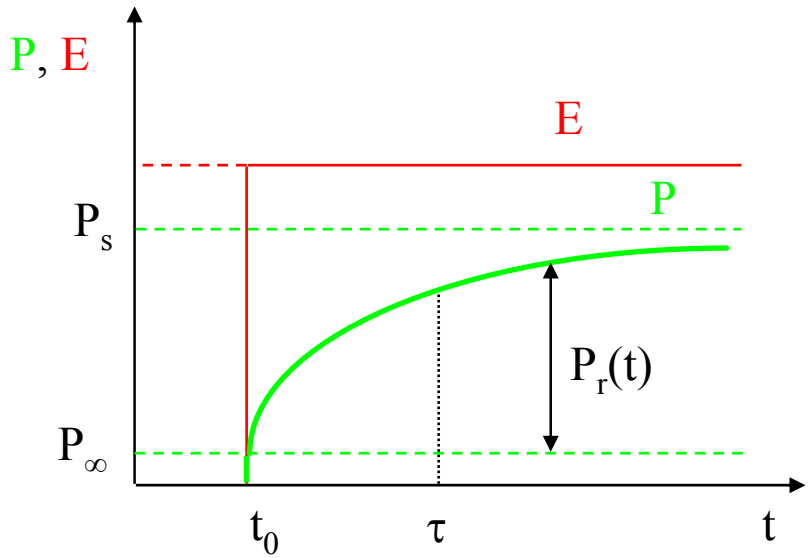

7
Air
10
3
5
≈1560mm
≈1510mm
≈1300mm
≈1190mm
≈650mm
2
6
1
4
8
≈290mm
≈832mm
≈890mm
≈950mm
≈1040mm


10
Insulated conductors
Porcelain
Copper conductors
Air
1
2
4
3
≈ 1560mm
5
8
9
7
6

# Dynamic properties of dielectrics

$$P(t) = P_\infty + P_r(t)$$

$$0 \le P_r(t) \le (P_s - P_\infty)$$




$$P(t) = \varepsilon_0(\varepsilon_\infty - 1)E(t) + \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{t} f(t - t_0)\, E(t_0)\, dt_0$$

# Measurements

## Time domain

polarisation &
depolarisation
currents

return voltage

Fourier transform

## Frequency domain

dielectric

permittivity &

losses

# Dispersive formula of polarisation

$$\bar{\varepsilon}(\omega) = \varepsilon_\infty + \int_0^\infty f(t)\, e^{-j\omega t} dt$$

relaxation polarisation $\Longrightarrow$ dielectric losses

$$\bar{\varepsilon}(\omega) = \varepsilon_\infty + \int_0^\infty f(t)\,(\cos \omega t - j \sin \omega t) dt =$$

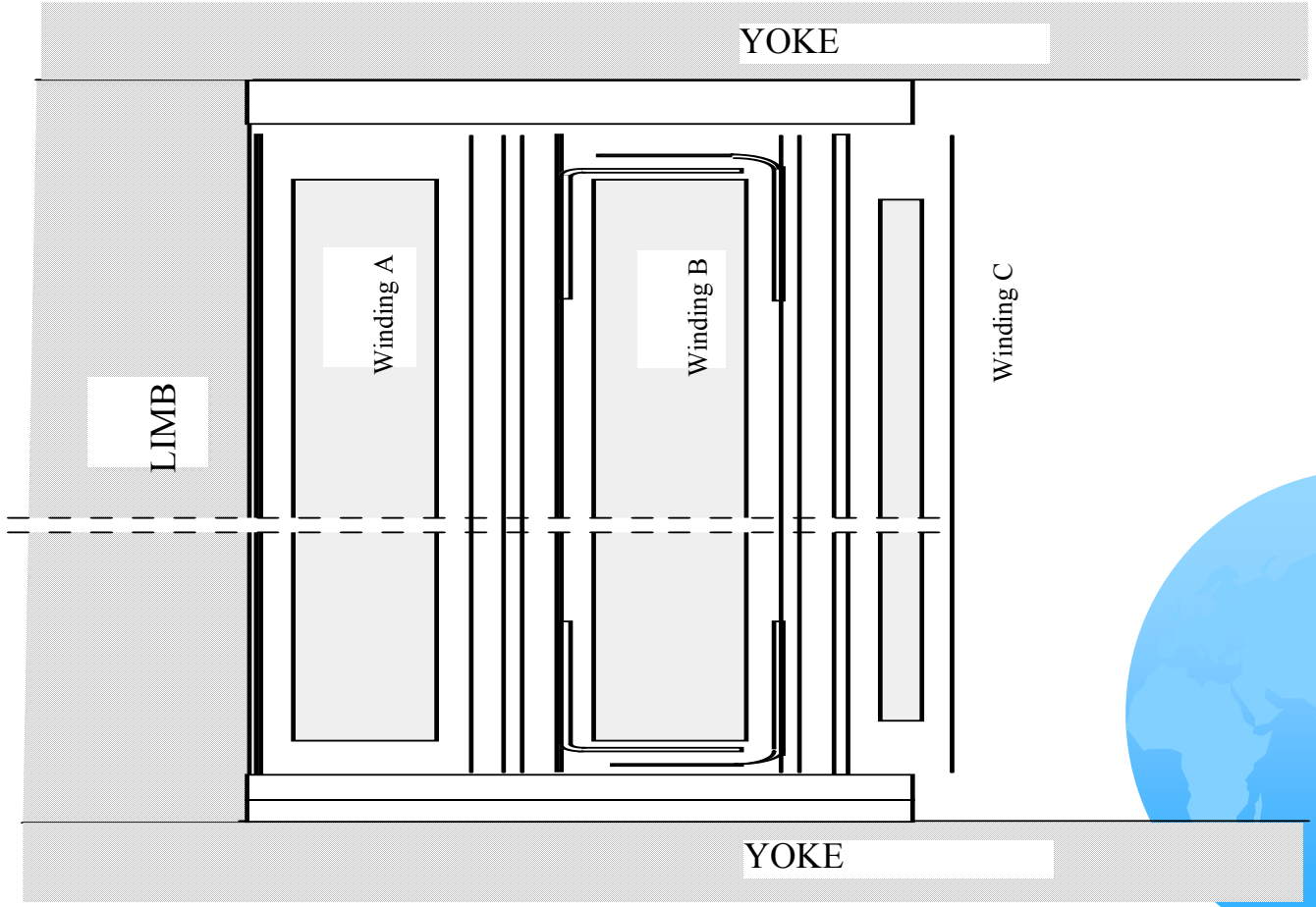
$$\underbrace{\varepsilon_\infty + \int_0^\infty f(t) \cos \omega t dt}_{\varepsilon'} - j \underbrace{\int_0^\infty f(t) \sin \omega t dt}_{\varepsilon''}$$

$$\bar{\varepsilon}(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega)$$

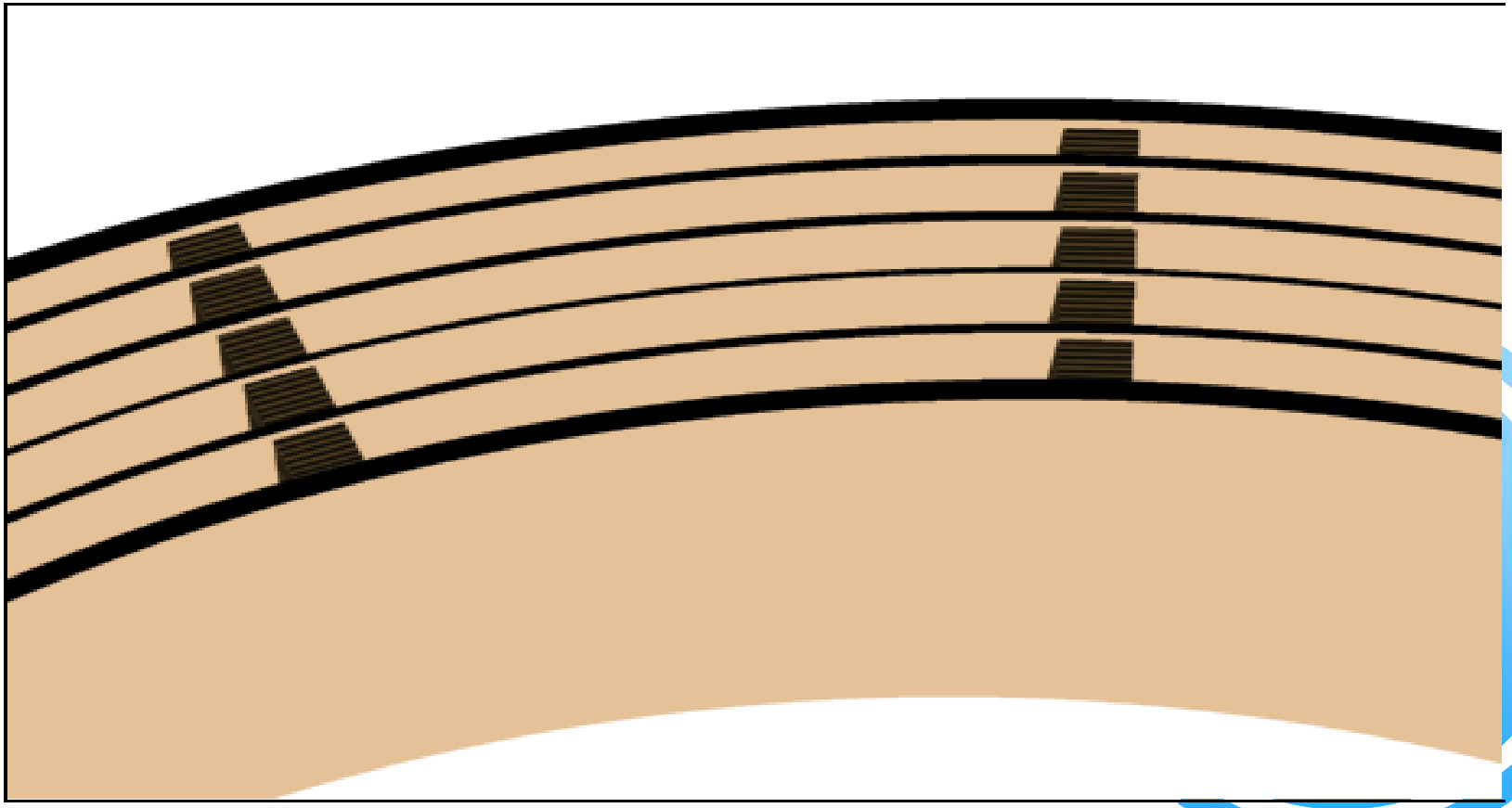
# Polarizáció mechanizmusa

- A gyakorlatban a legtöbb szigetelésrendszer számos különböző dielekromos anyag keveréke.
- Nagyon fontos, hogy megértsük, hogy minden egyes anyag saját dilelektromos válasszal rendelkezik, és ha „összerakjuk” azokat a teljes válaszfüggvény nemcsak az egyes összetevők tulajdonságait fogja visszaadni, hanem tükrözni fogja azokat a tulajdonságokat is, ahogy az összetevők egymásra hatnak.
- Ilyen eset az, amikor egy ionos vezetéssel rendelkező szigetelő folyadék kerül kapcsoltba egy kisebb vezetőképességű szilárd anyaggal, mint amilyen az olaj-papír szigetelési rendszer
- Amikor ez a két anyag érintkezésbe kerül (határfelülettel rendelkezik), töltés felhalmozódás fog kialakulni a határfelületen, mivel különbözőek a villamos tulajdonságaik.
- Ezt a fajta polarizációt hívják „Maxwell-Wagner” vagy határfelületi polarizációnak.

# Transzformátor tekercsek sematikus elhelyezkedése

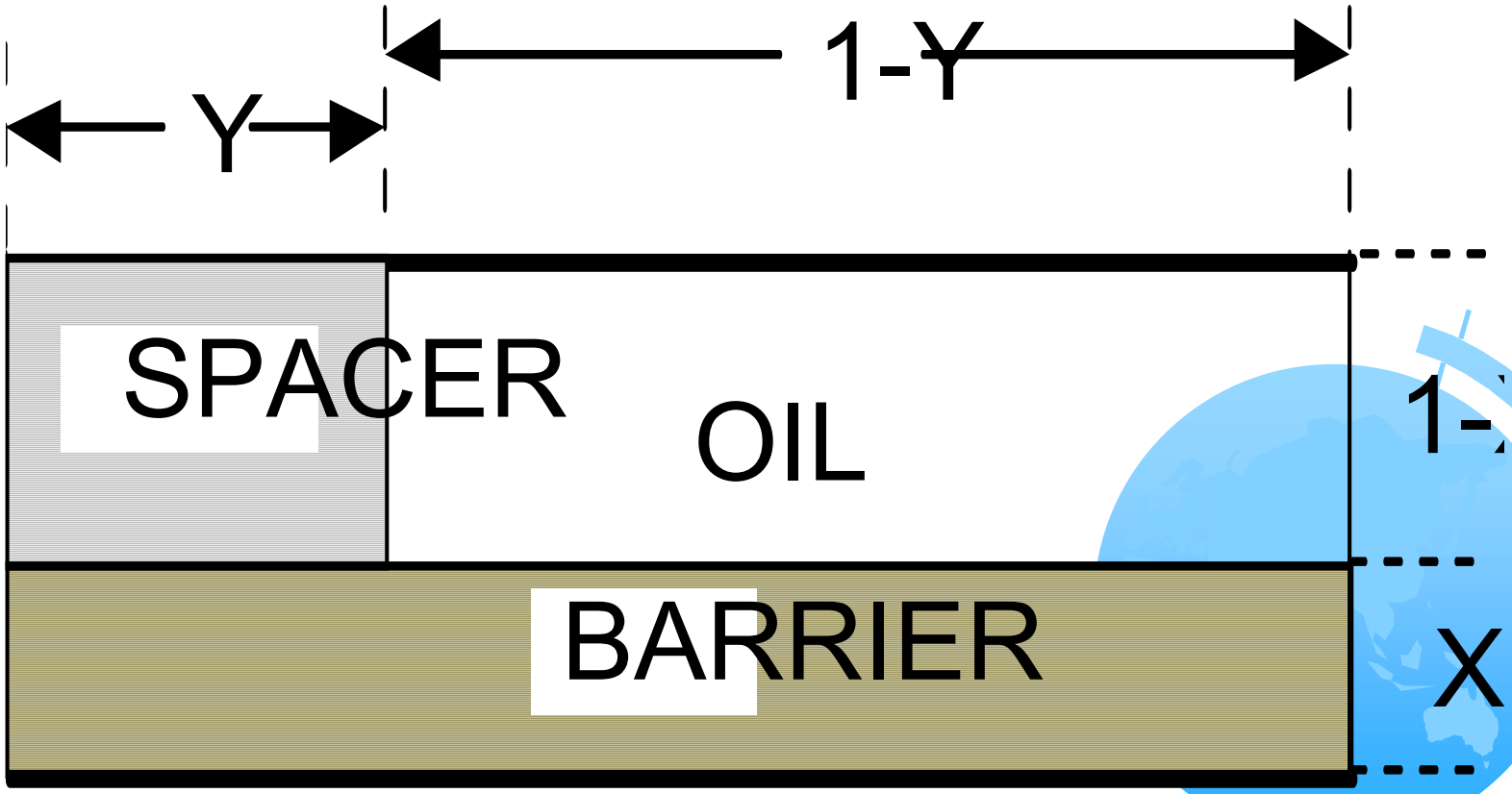


- Magtípusú transzformátorokban főszigetelés rendszerint  pressboard hengerekből, amely axiális távtartókkal kerül elválasztásra



The range for the relative barrier amount X is typically 0.15 to 0.5 (20 % to 50%).

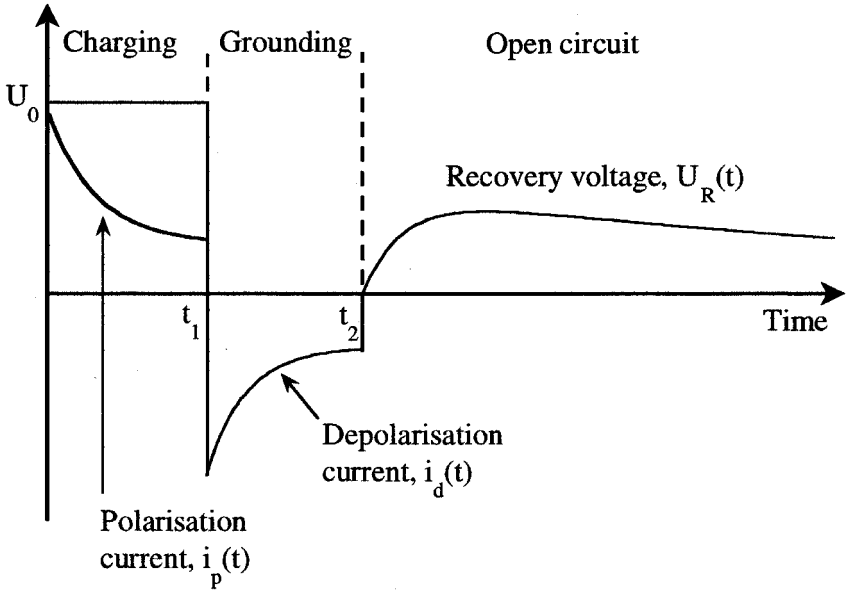
The relative spacer coverage Y is typically 0.15 to 0.25 (15 % to 25 %).



# PANCAKE modell mérések

- A 3 módszerrel 3 különböző esetben került sor mérésekre
- 1 – röviddel a modell elkészülte után (1999 nyarán)
- 2 – a modell 65 °C –ra történő felmelegítése után(1999 nov/dec)
- 3 – röviddel az eredeti olaj használt (Nynas Nytro 10GBN) kevésbé vezetőképes (új) olajjal (Shell Diala D) történő feltöltés után

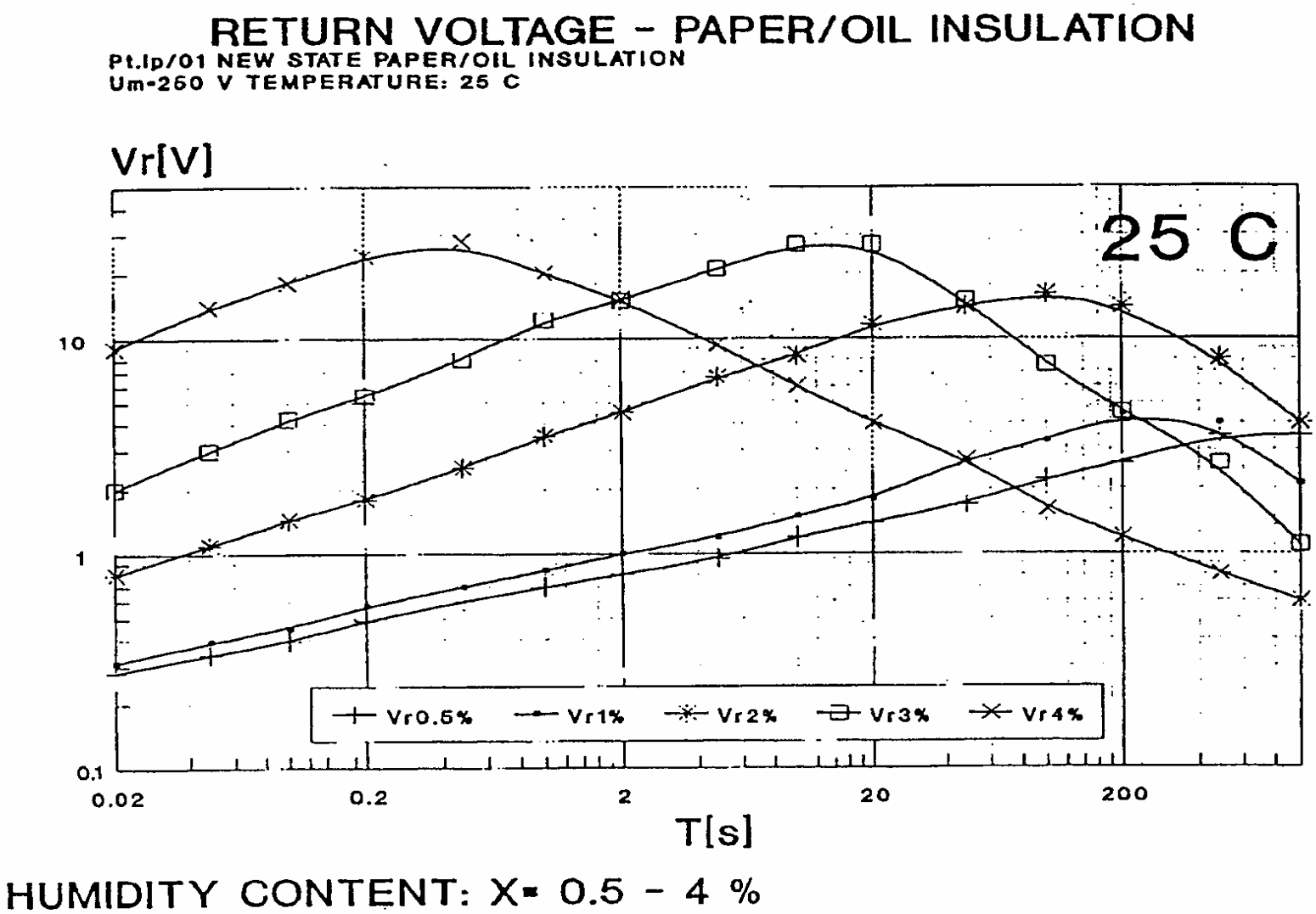
# RVM mérés



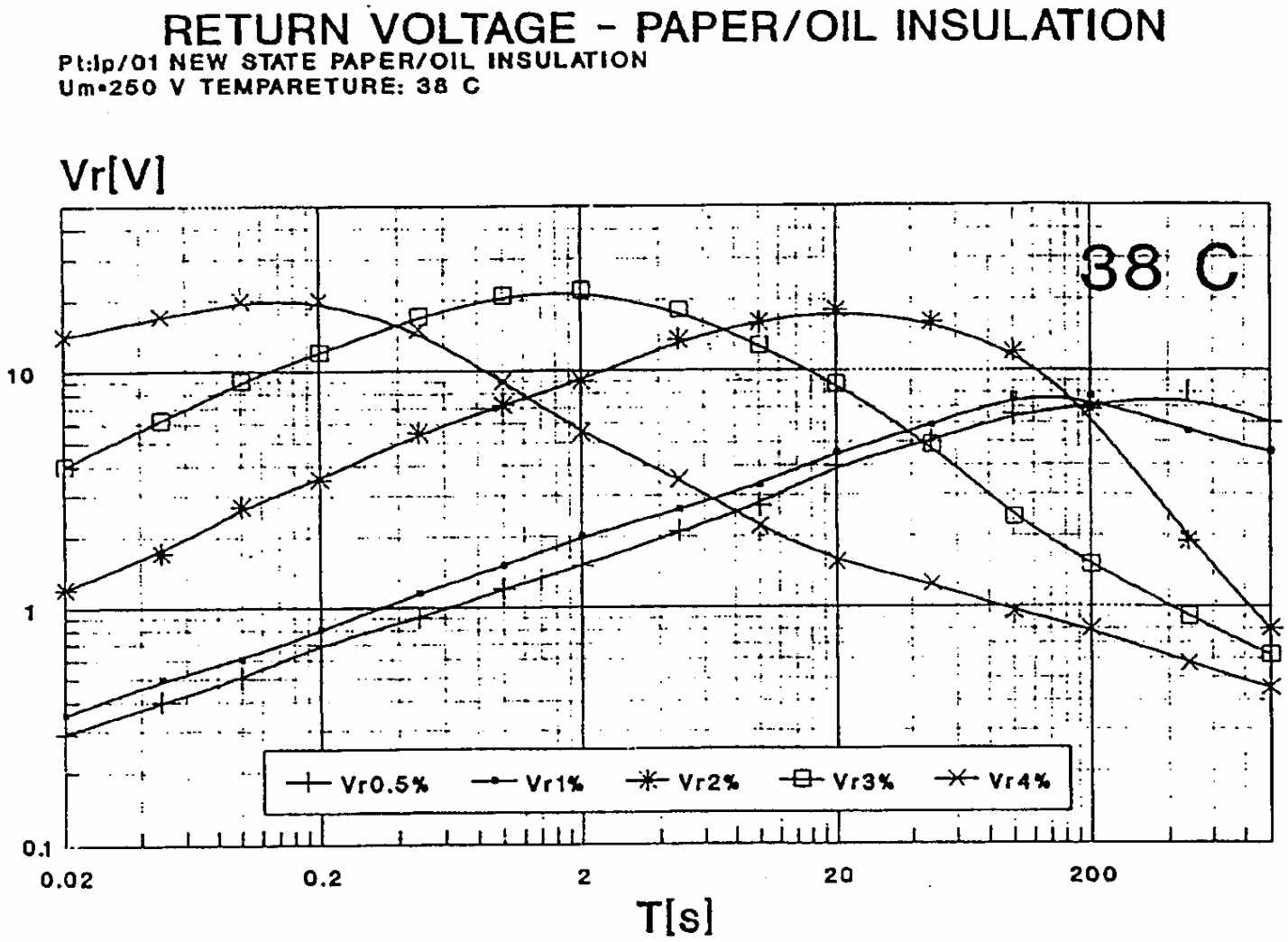

$$i_R(t) = \sigma_{dc} U_R(t) + \varepsilon_0 \varepsilon_\infty \frac{dU_{R(t)}}{dt} + \varepsilon_0 U_0 \left( f(t) - f(t - t_1) \right) + \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_{t_2}^{t} f(t-\tau) U_R(\tau) d\tau = 0$$

for $t_2 < t < \infty$ *and* $U_R(t = t_2) = 0$

- RVM: Recovery (or Return) Voltage Measurements

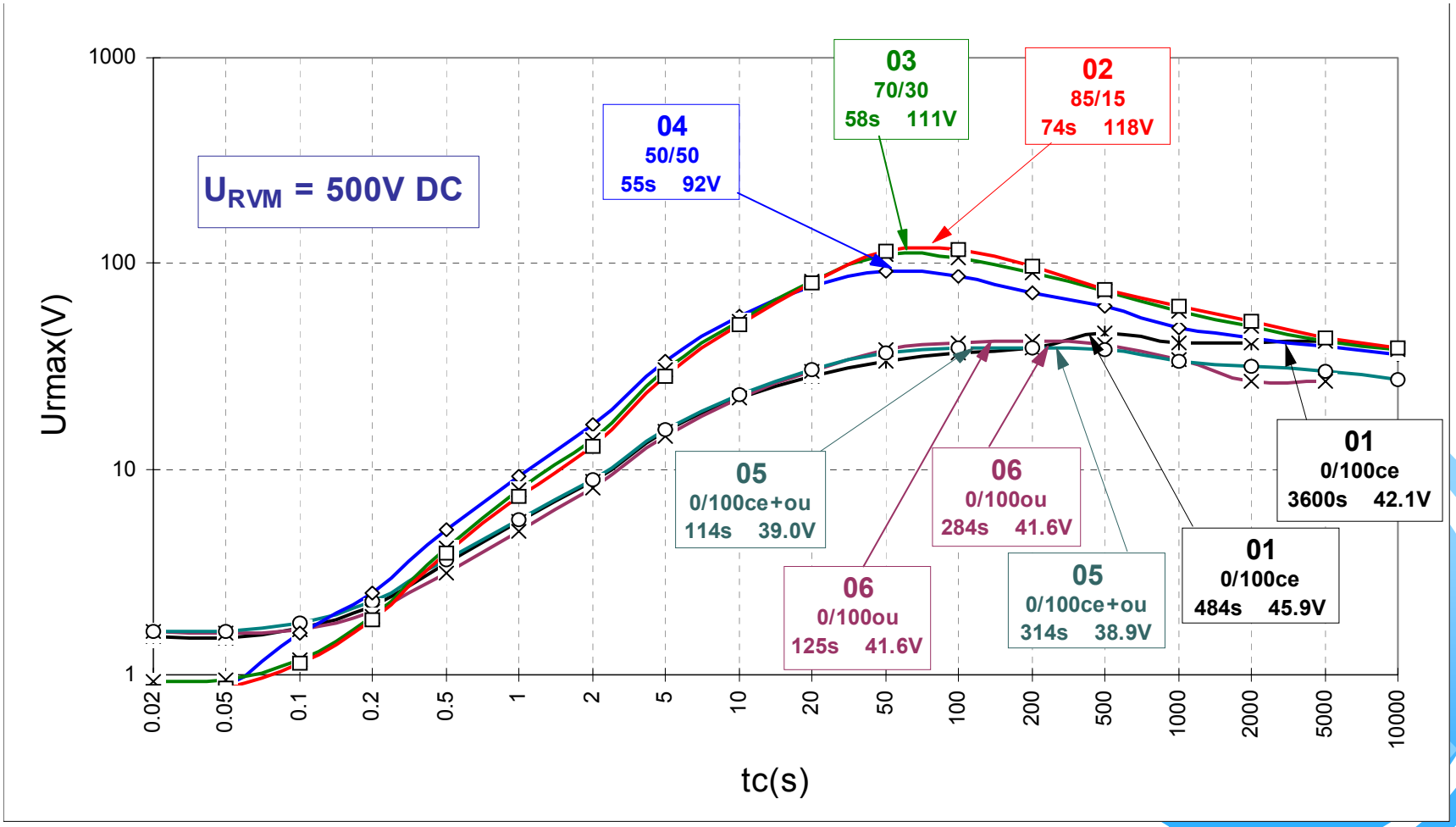


- RVM: Recovery (or Return) Voltage Measurements



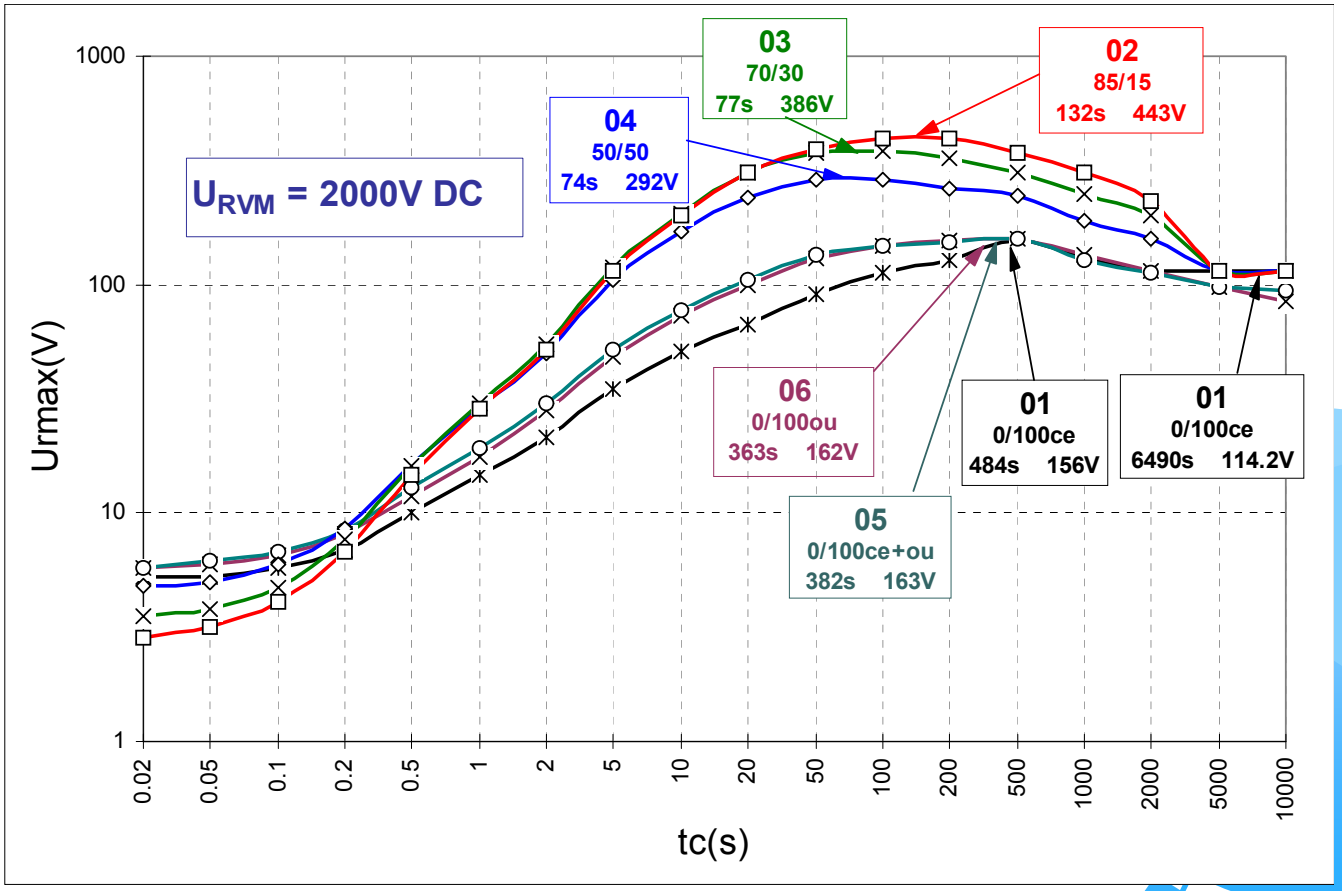

HUMIDITY CONTENT: X= 0.5 - 4 %

# RVM mérés

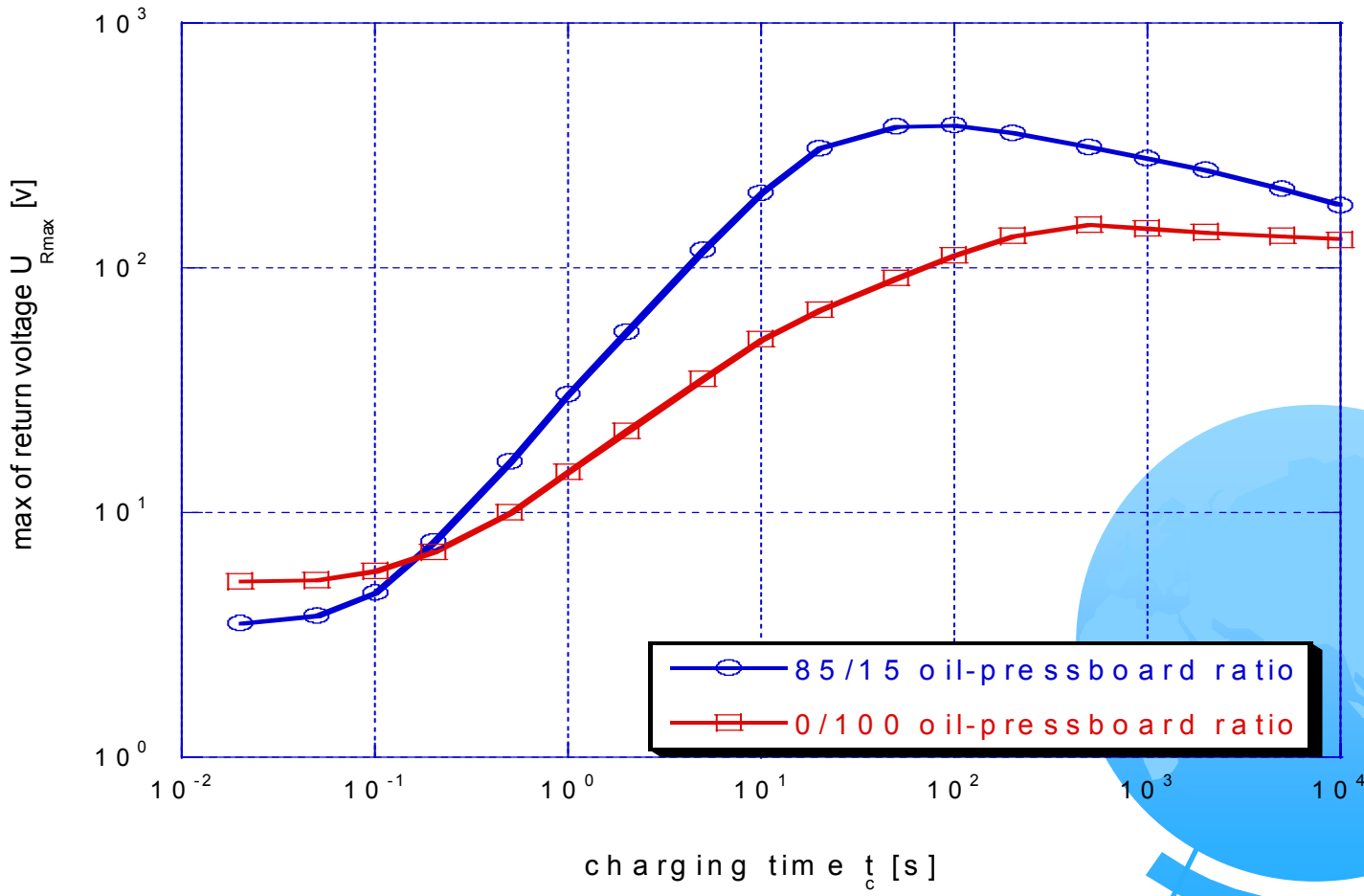

$U_{RVM}$ = 500V DC
03
70/30
58s 111V
02
85/15
74s 118V
04
50/50
55s 92V
05
0/100ce+ou
114s 39.0V
06
0/100ou
284s 41.6V
06
0/100ou
125s 41.6V
05
0/100ce+ou
314s 38.9V
01
0/100ce
484s 45.9V
01
0/100ce
3600s 42.1V
Urmax(V)
1000
100
10
1
0.02
0.05
0.1
0.2
0.5
1
2
5
10
20
50
100
200
500
1000
2000
5000
10000
tc(s)

# Pancake model

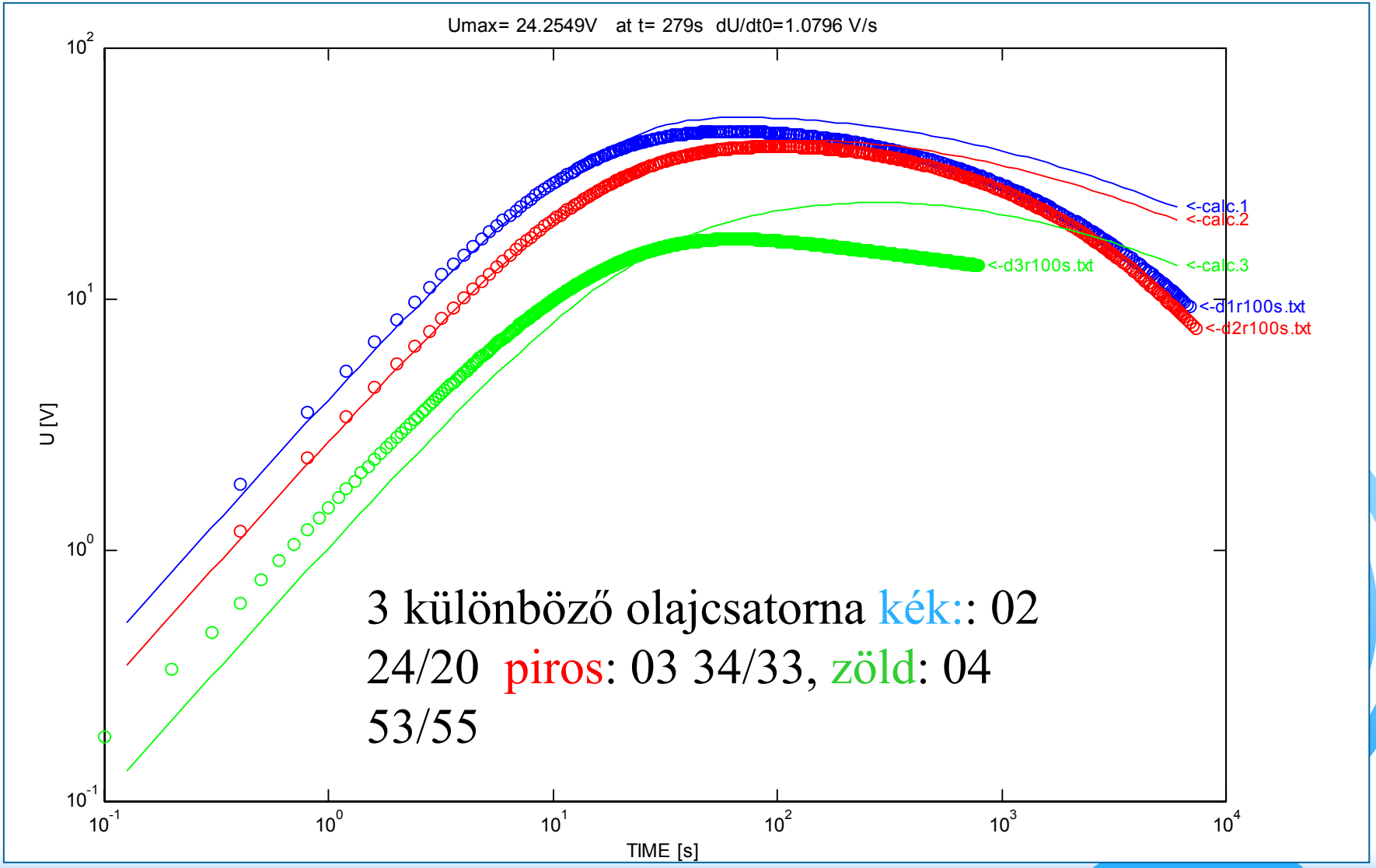
## RVM measurements



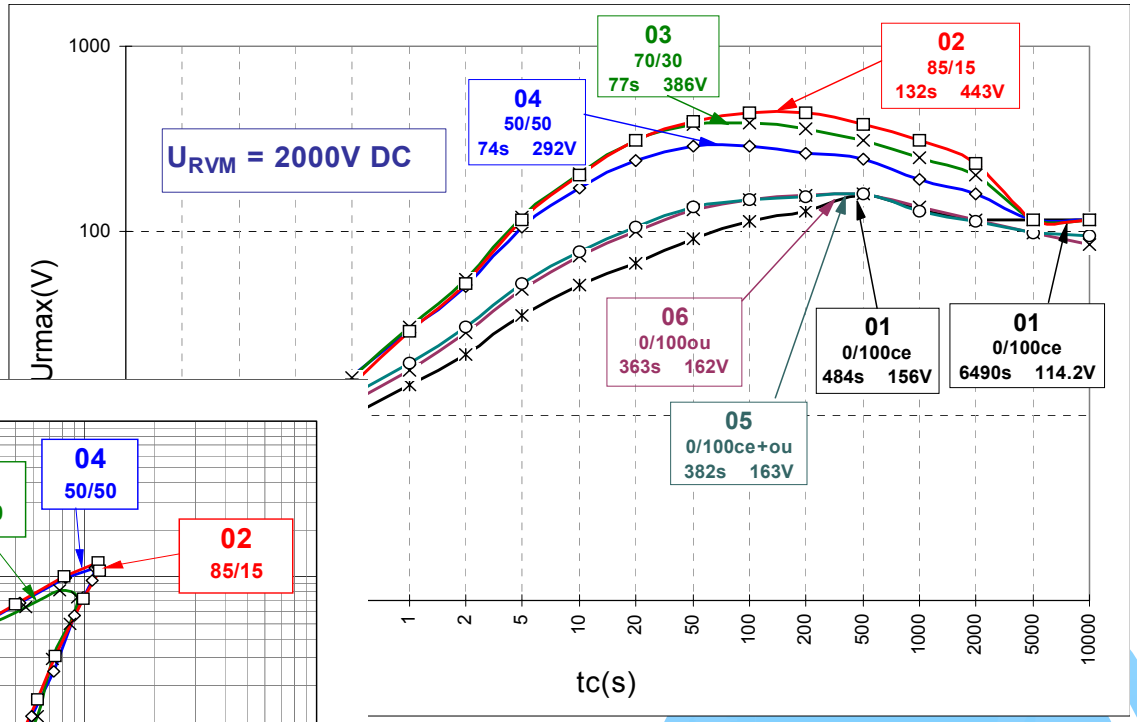
# ☞ RVM: Recovery (or Return) Voltage Measurements

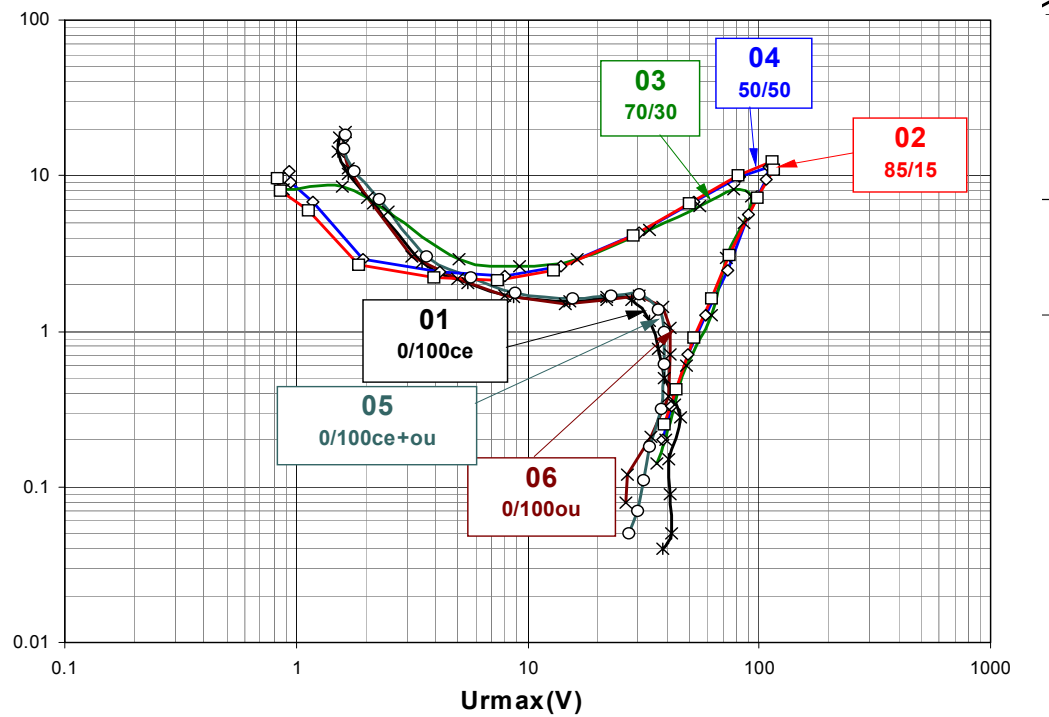


# Pancake RVM modelling

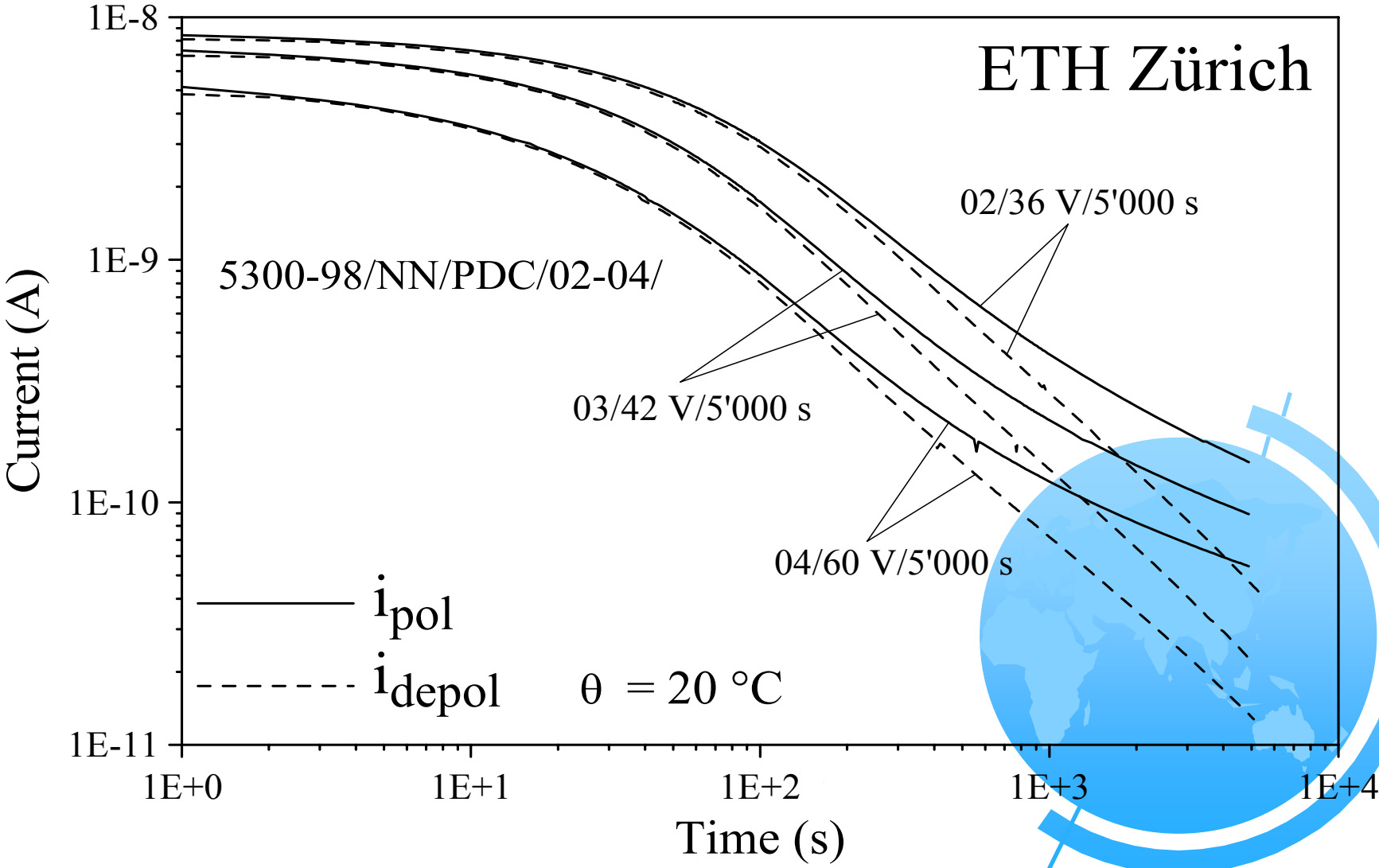


# RVM measurements

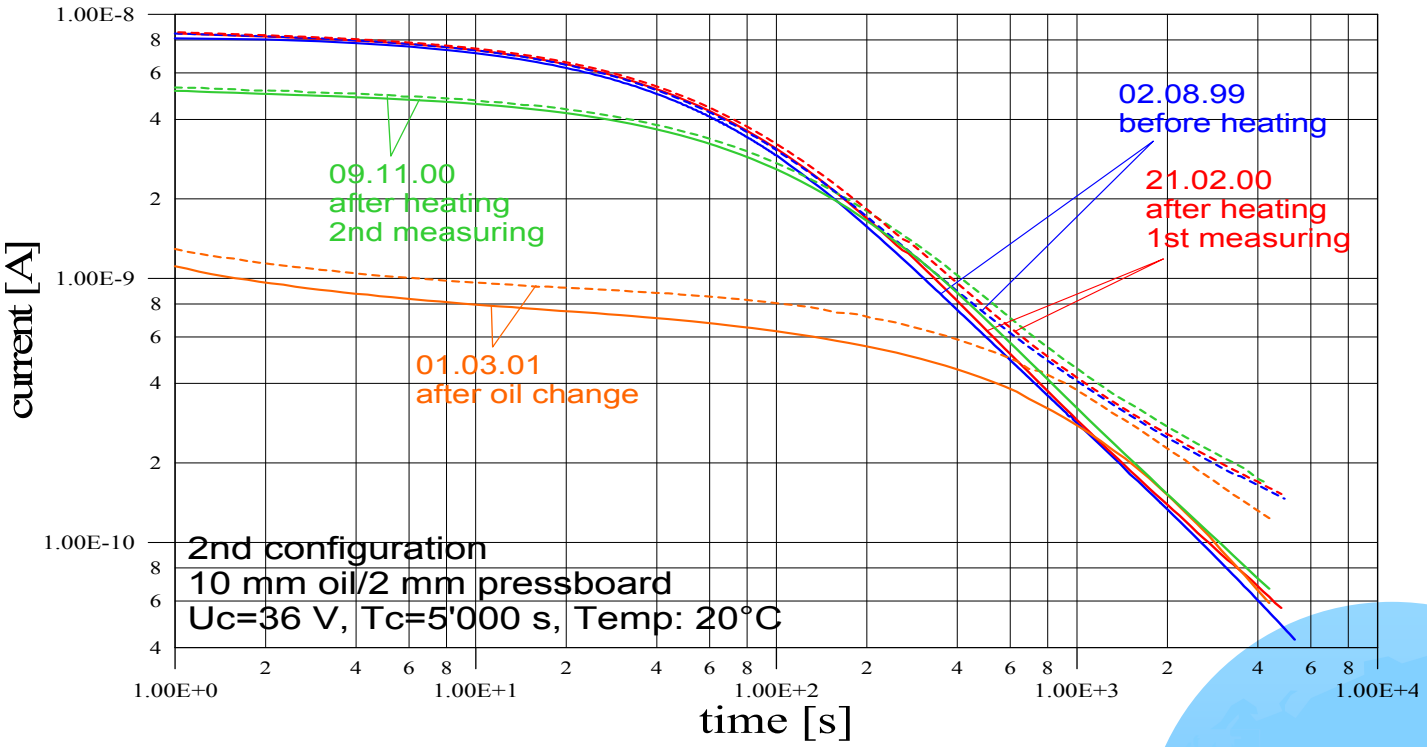


# Pancake model PDC measurements



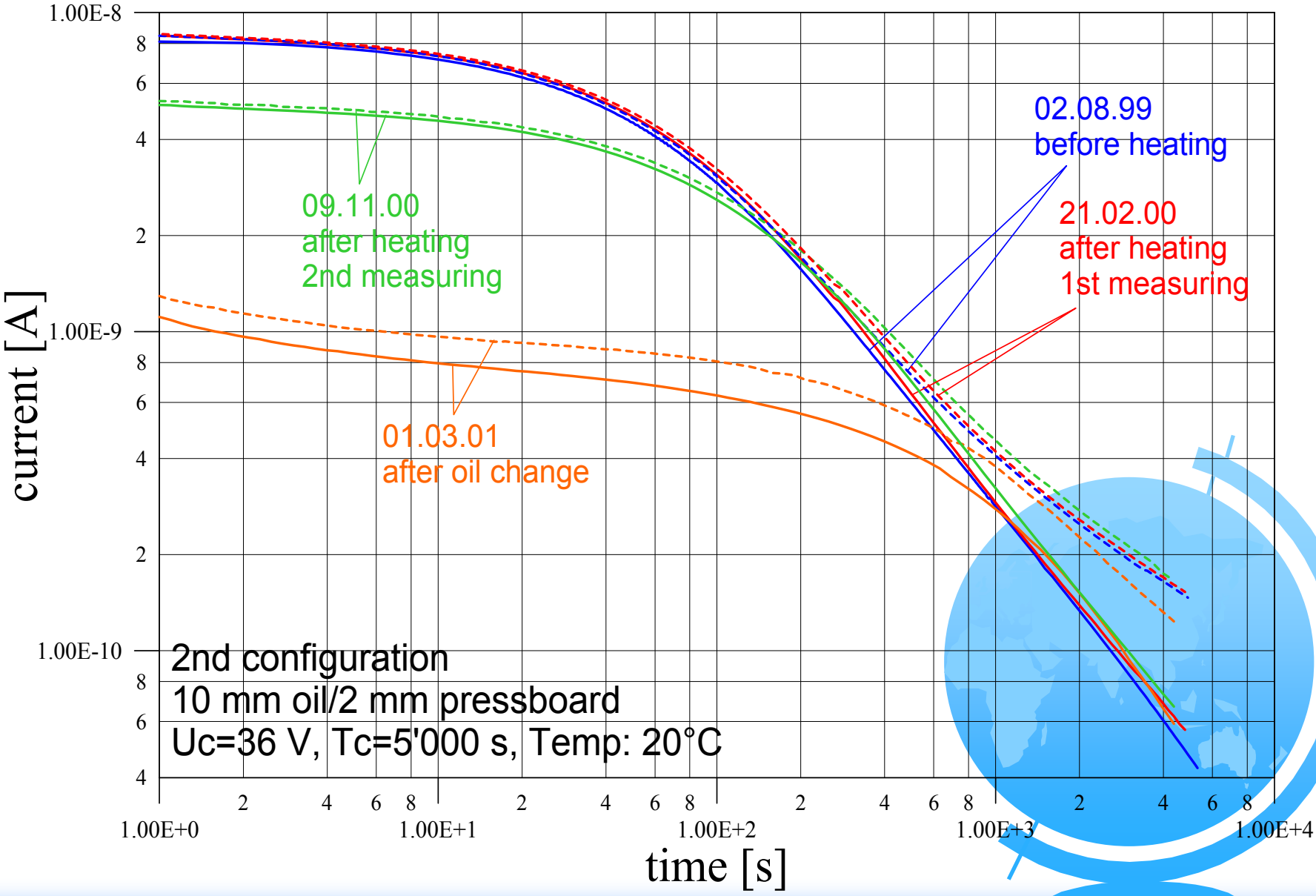
# PDC measurements



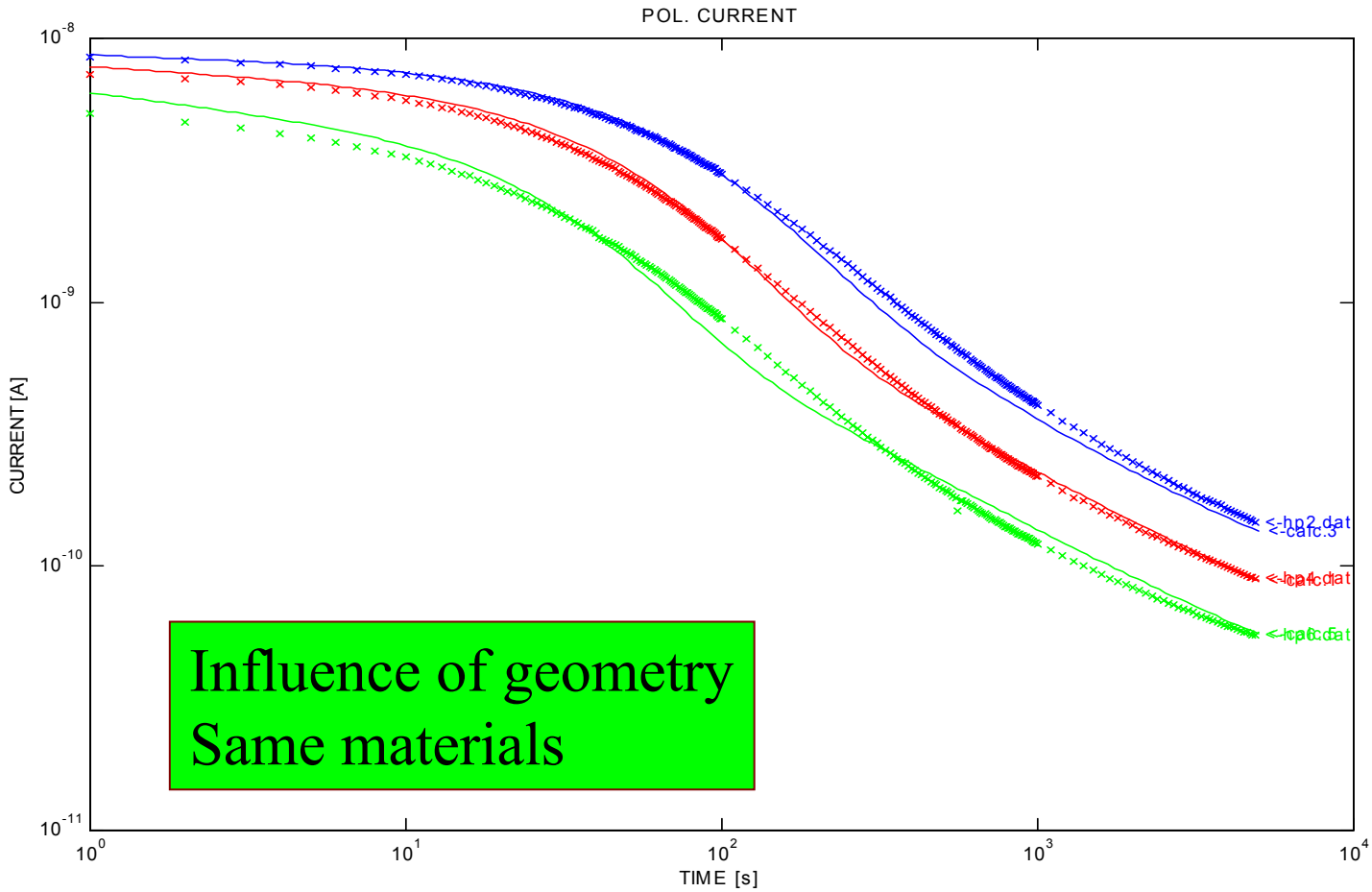

$$i_p(t) = C_0 U_0 \left( \frac{\sigma_{dc}}{\varepsilon_0} + \varepsilon_\infty \delta(t) + f(t) \right)$$

$$i_d(t) = -C_0 U_0 \left( \varepsilon_\infty \delta(t - t_1) + f(t - t_1) - f(t) \right)$$

# ☞ PDC:Polarisation and Depolarisation Currents

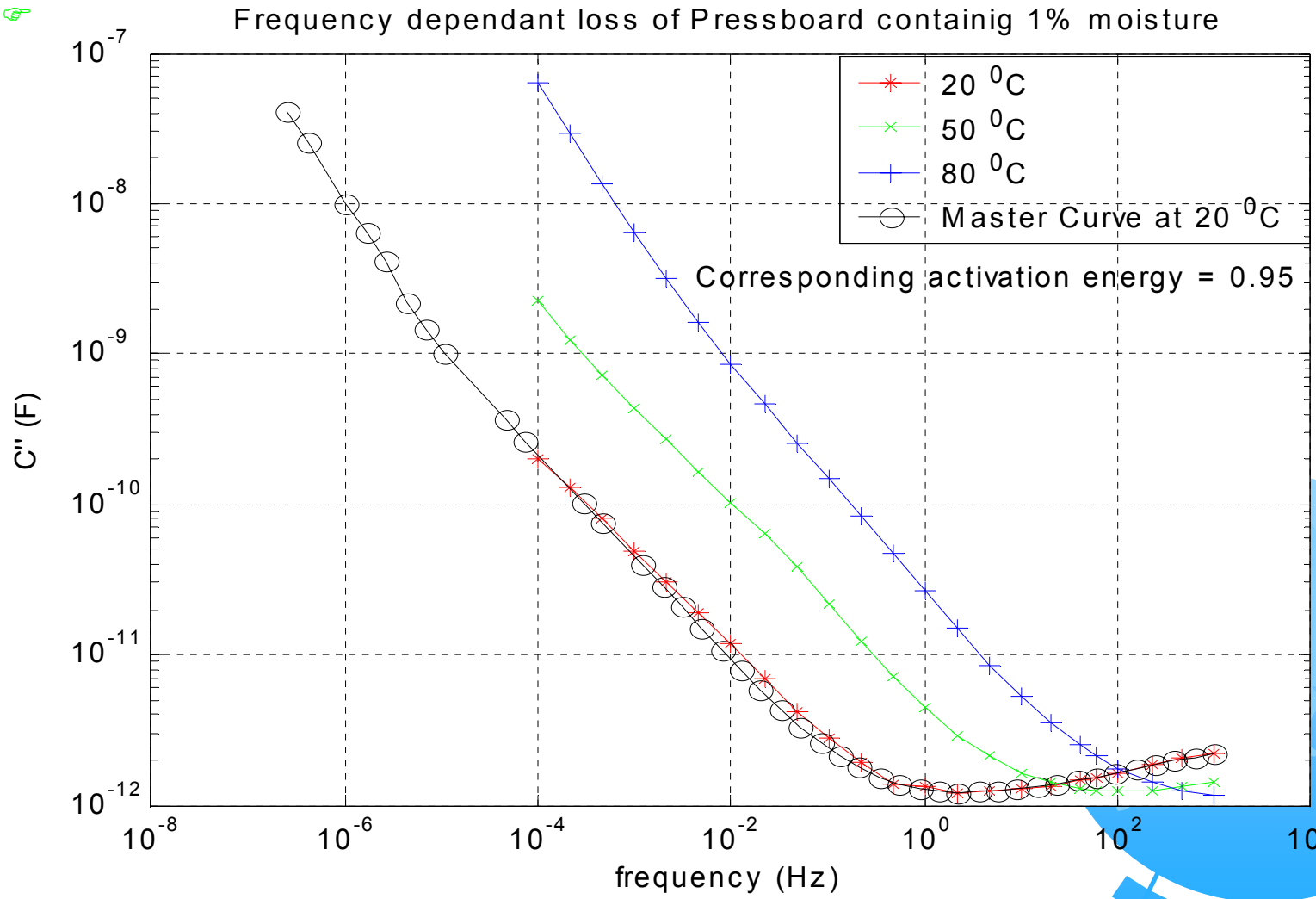


# Pancake model-PDC modelling

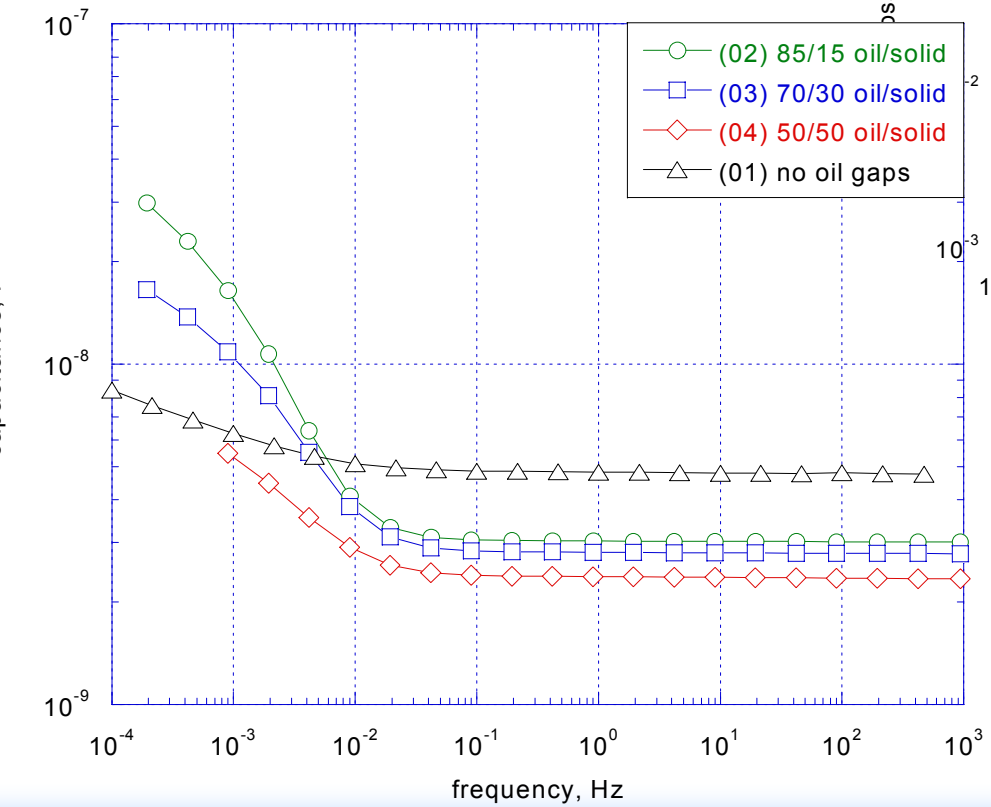


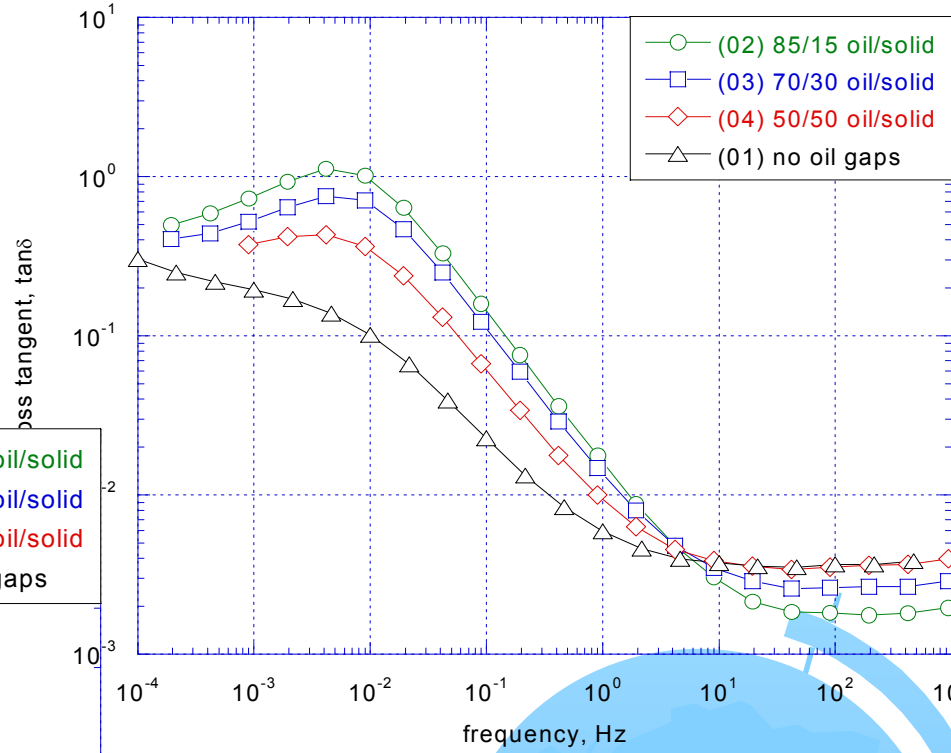

Influence of geometry
Same materials

# FDS: Frequency Domain Spectroscopy



# FDS measurements




$$tg\delta(\omega) = \frac{\varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)}$$

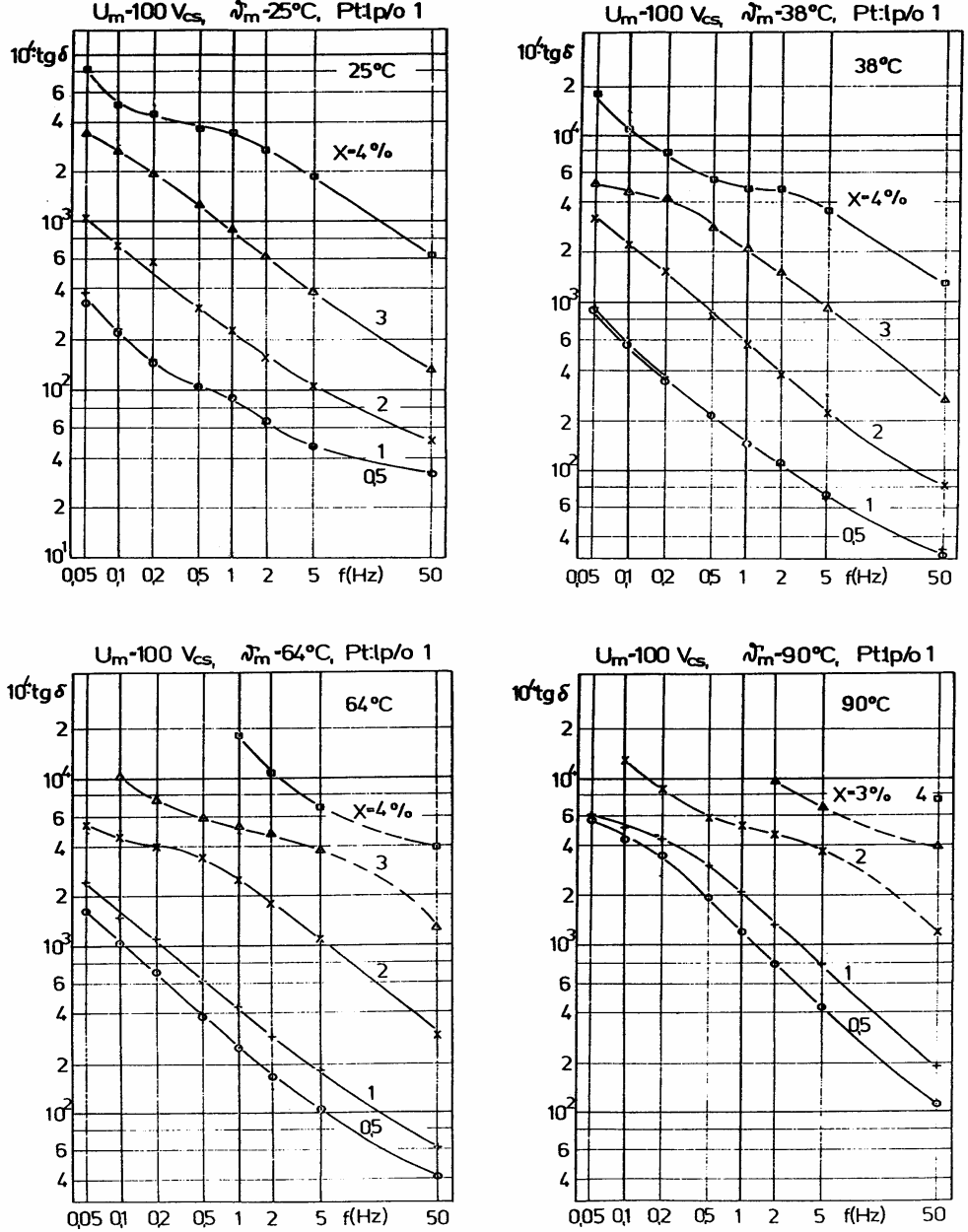
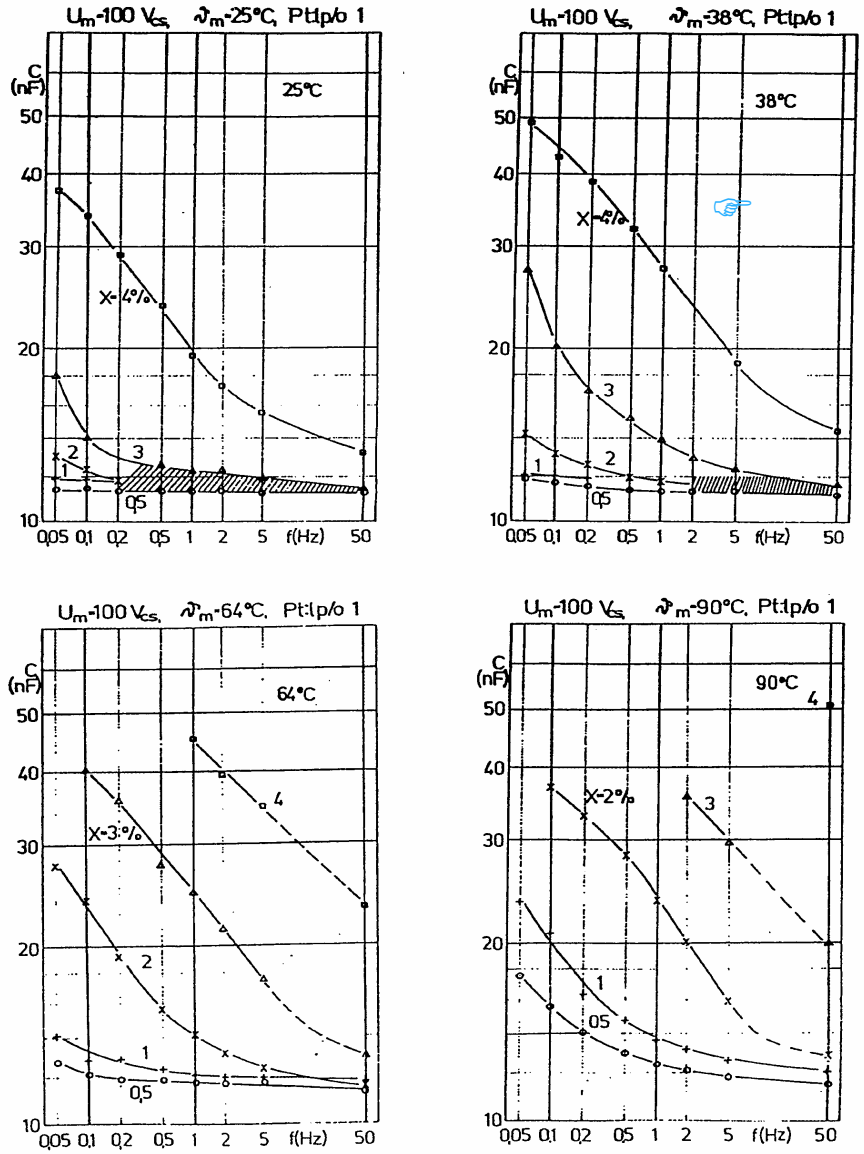
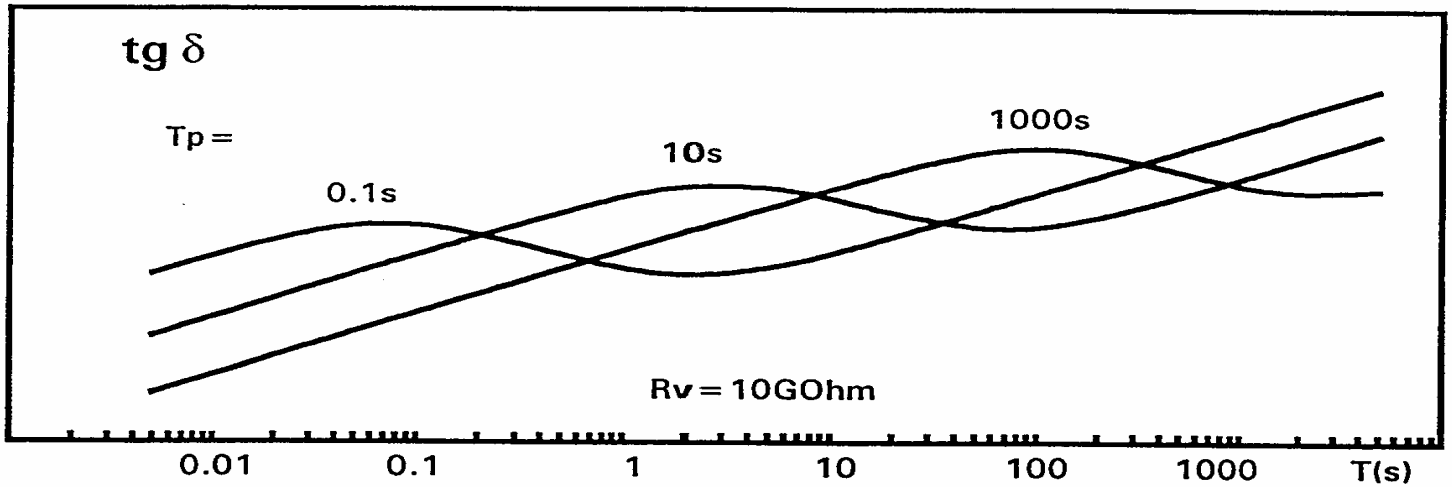

Um-100 Vcs, ϑm-25°C, Pt:1p/o 1
10⁴tgδ
25°C
X-4%
3
2
1
0,5
f(Hz)
Um-100 Vcs, ϑm-38°C, Pt:1p/o 1
38°C
X-4%
Um-100 Vcs, ϑm-64°C, Pt:1p/o 1
64°C
X-4%
Um-100 Vcs, ϑm-90°C, Pt:1p/o 1
90°C
X-3%
4

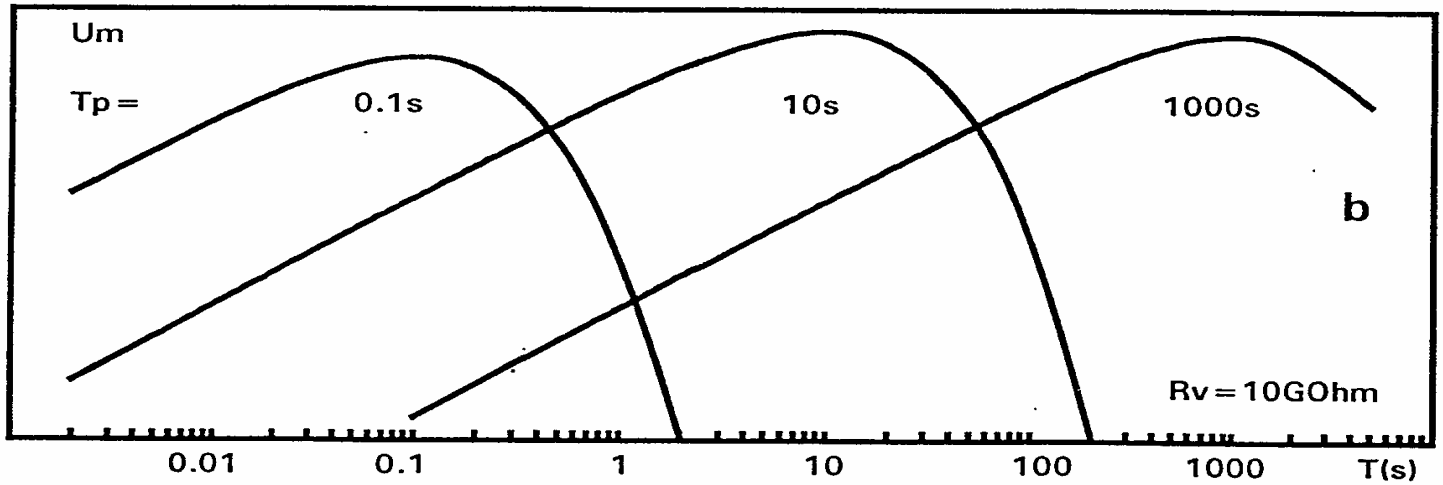
Figure 7.

# FDS: Frequency Domain Spectroscopy

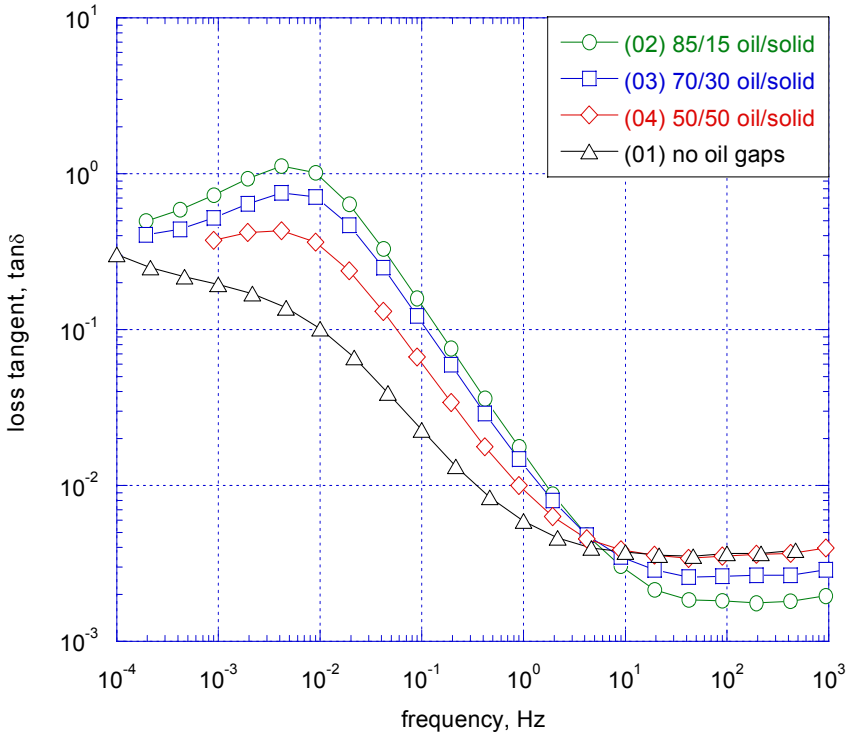


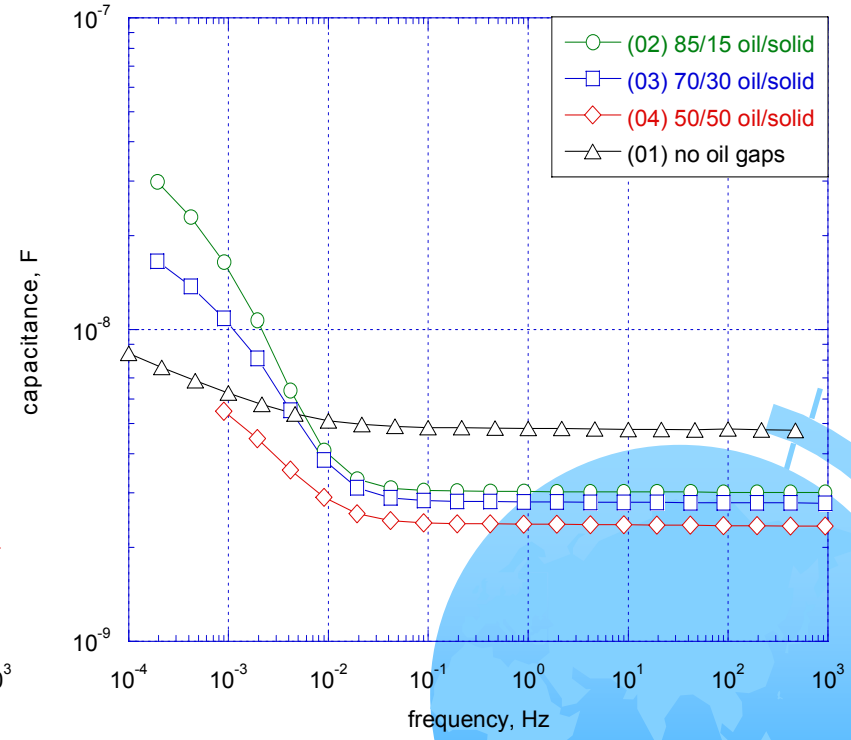
# Tg delta - RVM


tg δ
Tp =
0.1s
10s
1000s
Rv = 10GOhm
0.01
0.1
1
10
100
1000
T(s)

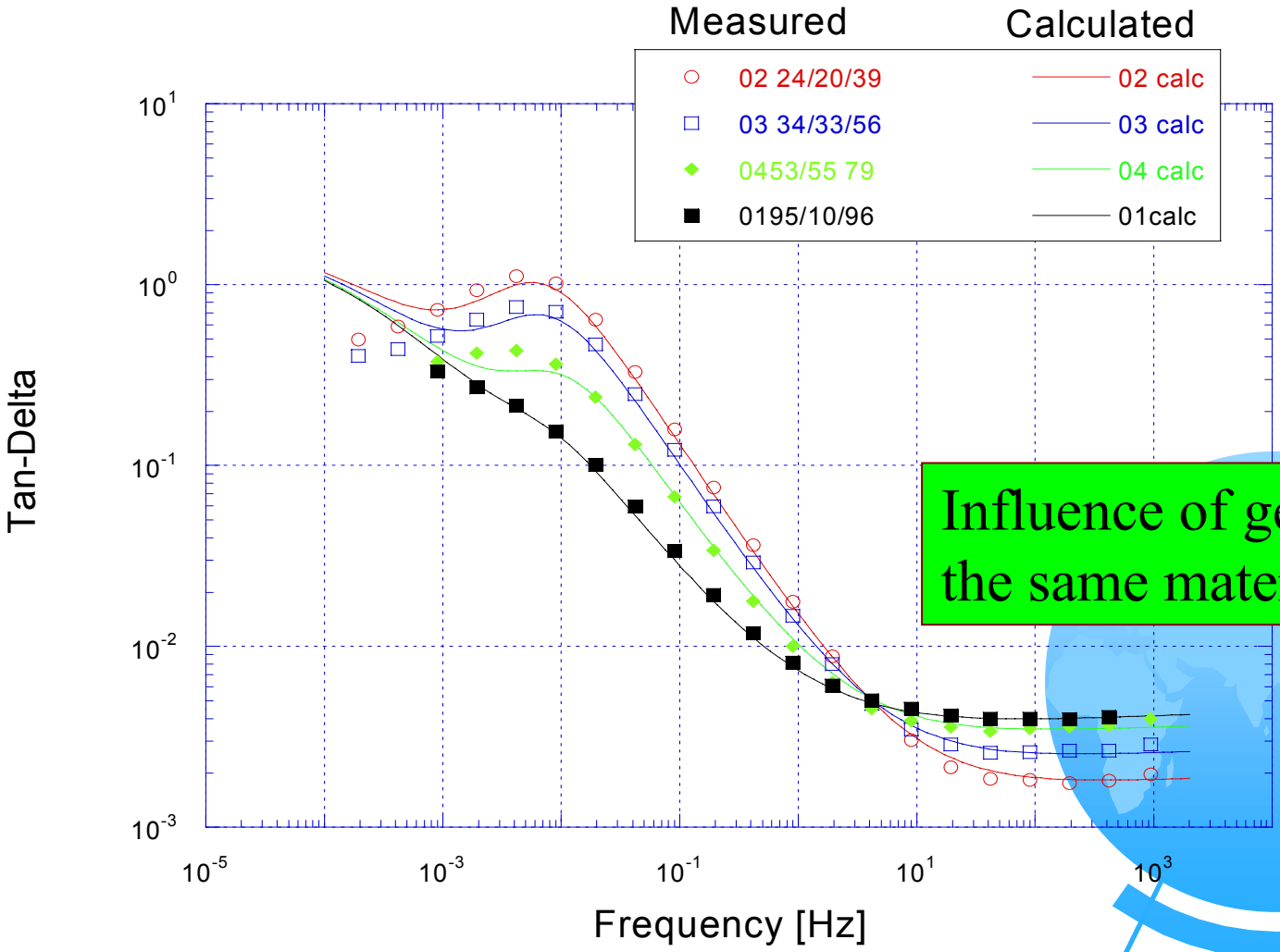

Um
Tp =
0.1s
10s
1000s
b
Rv = 10GOhm
0.01
0.1
1
10
100
1000
T(s)

# Pancake modell: FDS mérés



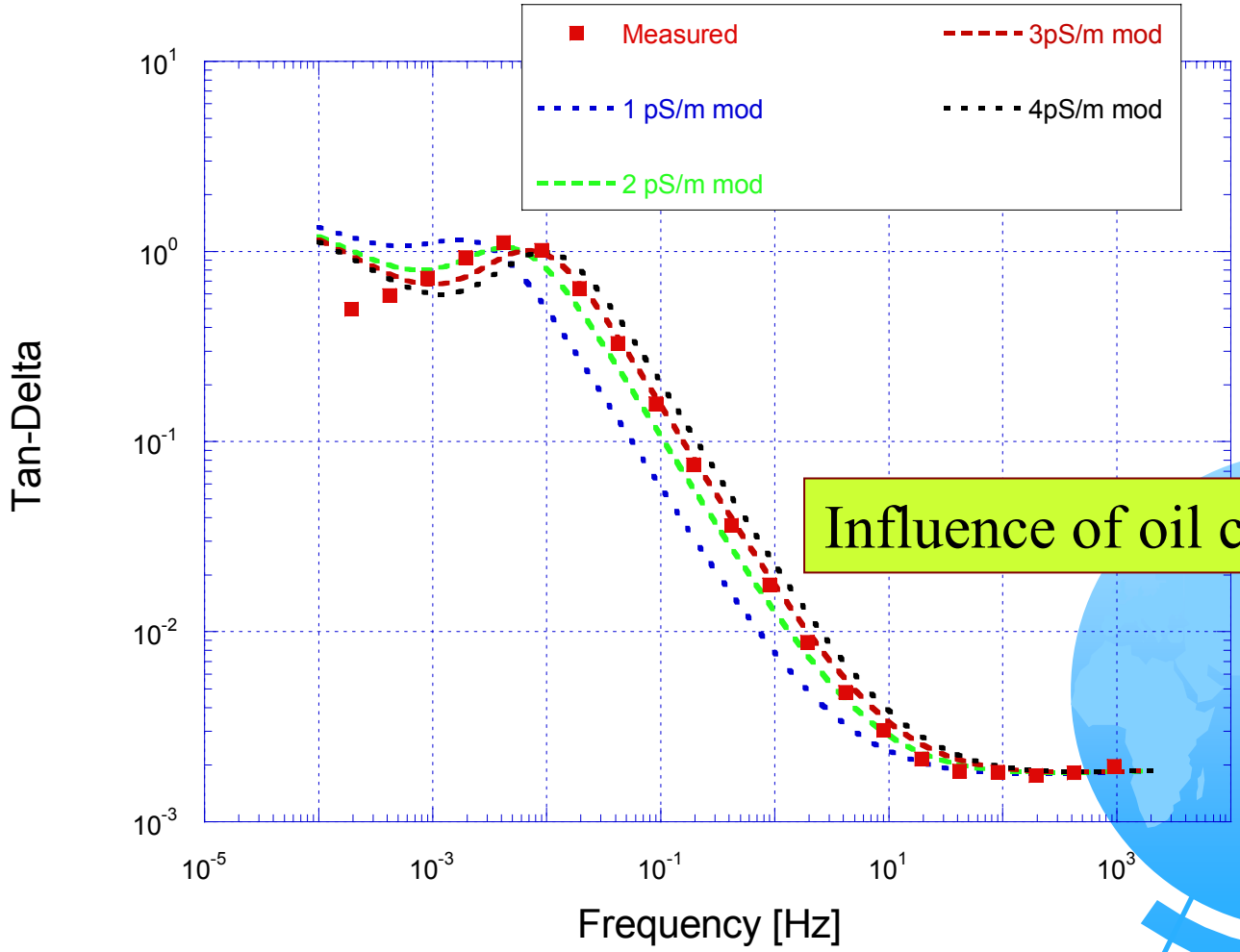
# Pancake modell: FDS modelling




Influence of geometry
the same materials

# Pancake model

## FDS modelling



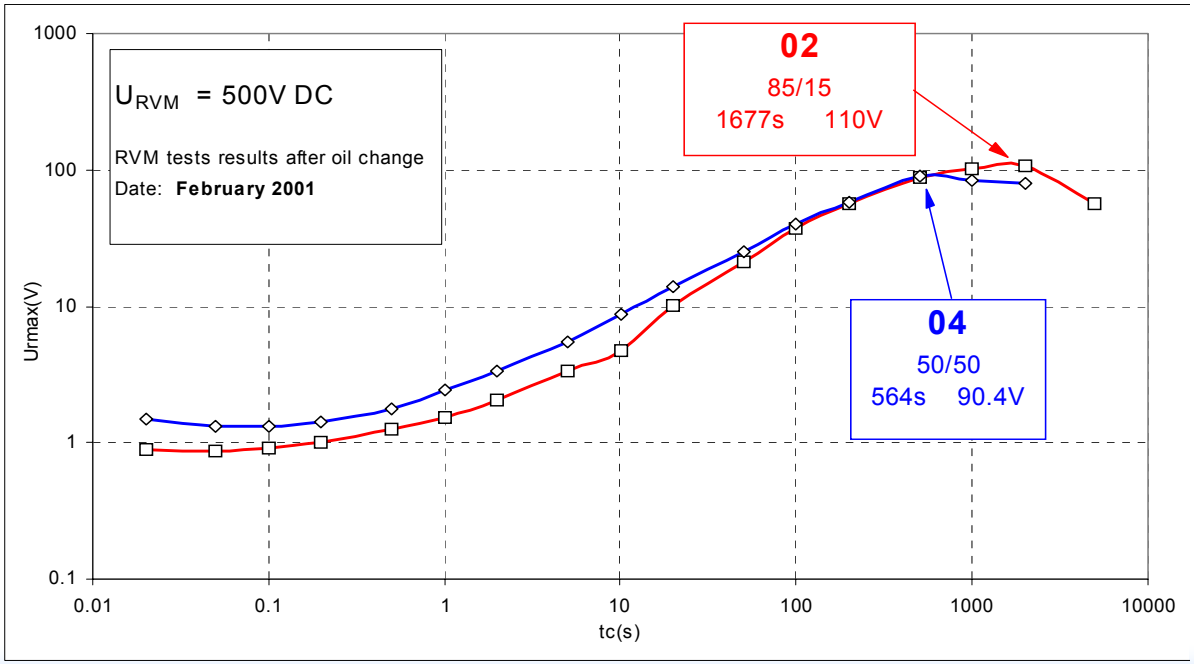

Influence of oil conductivity

# Pancake modell
# Első következtetések

- Mindegyik dielektromos mérésnél:
  - $\sigma_{oil} \approx$ 2-3 pS/m
  - Nedvesség a board-ban < 1%
- A mérések függnek:
  - Olaj tulajdonságától
  - Cellulóza tulajdonságától
  - Geometriától
- Még több tapasztalatot kell gyűjteni:
  - A modell termikus viselkedéséről
  - olajcseréről

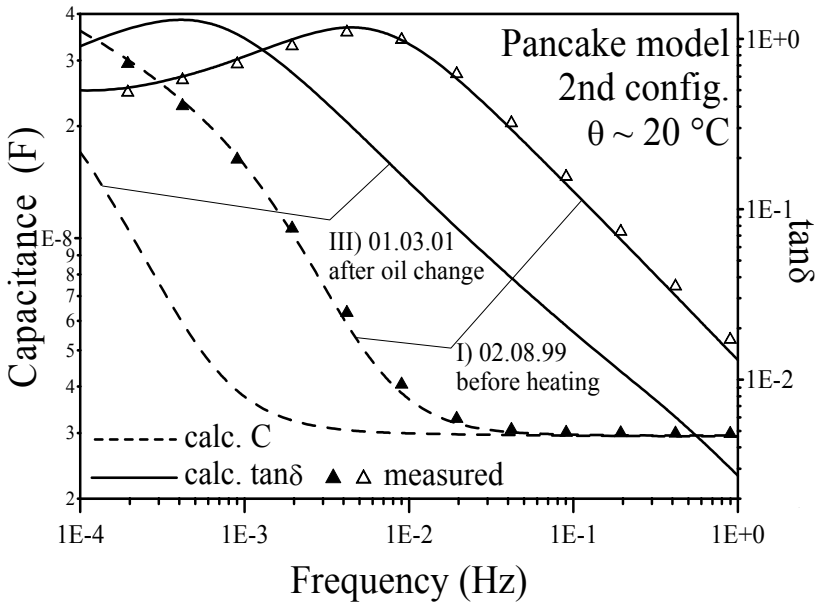
# Pancake model
# RVM az olajcsere után

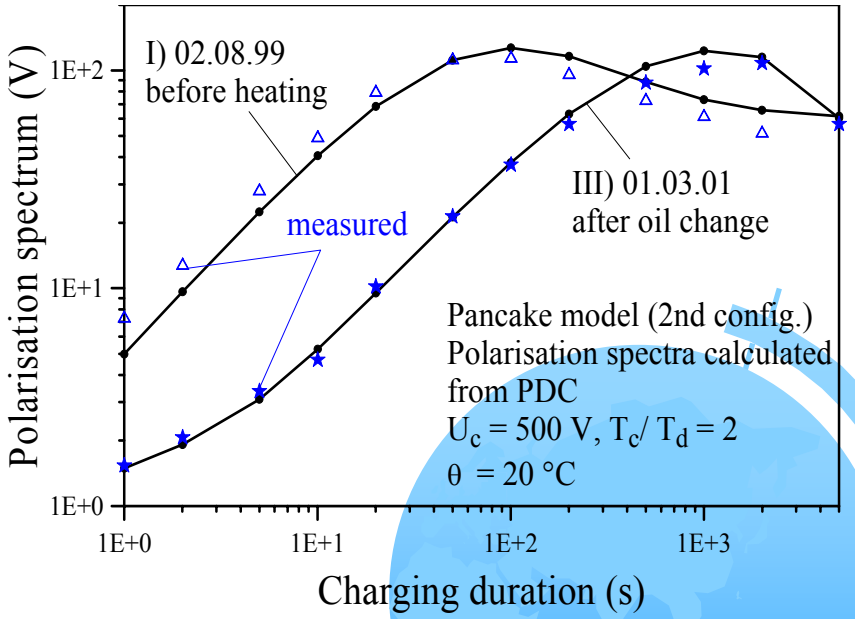
| | CNRS, Grenoble-France | | | | Trench, Basel-Switzerland | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | tanδ at 50Hz ($10^{-3}$) | | | | | | |
| | Corresponding RVM tests (date) | Temp. | tanδ at 50Hz ($10^{-3}$) | Conductivity (pS/m) | 30°C | 60°C | 80°C | 90°C | 100°C | Water content at 20°C to 24°C | Electric strength according to IEC 156 |
| Shell Diala D | 26/27.02.01 | 21°C | 0.039 | 0.24 | 0.1 | no meas. | no meas. | 2.0 | 3.1 | no meas. | 77 kV |



# Pancake model

## continuation




Modelling by Alf Engineering

# Következtetések

- A CIGRE TF 15.01.09 itt bemutatott munkája meggyőzően bizonyítja, hogy a „dielektromos válasz módszerek” értékes információval szolgálnak a transzformátorok olaj-papír szigeteléséről, főleg a nedvességtartalomról.
- Az itt szereplő három dielektromos mérés vizsgálata azt mutatja, hogy az olajcsatorna, az olaj állapota, főleg az olaj vezetőképessége hatással van a válaszfüggvényekre, ezért figyelembe kell venni hatásukat, amikor e három mérés eredményeiből a szilárd szigetelőanyag nedvességtartalmát becsüljük

# Következtetések (folyt.)

- Az RVM módszer esetén a „régi” elemzés, amely csak a domináns időállandó és a cellulóza nedvességtartalmán alapult, nem elégséges, egy „javított” adatelemzés szükséges, azaz elemezni kell a teljes mért görbét.
- Ez az minőségileg javított adat elemzés megoldja a korábban felmerült anomáliákat.

# Következtetések (folyt.)

- Megállapítható, hogy a geometriai elrendezésnek van hatása a mérési eredményekre, de hatásuk nem olyan jelentős, mint az olaj vezetőképességéé.
- A transzformátor szigetelés jellegzetes olajcsatornák méreteit elemezve megállapítható volt, hogy elsősorban az olajcsatorna léte a van hatással az eredményekre, az olajcsatorna mérete már kevésbé fontos.

# Következtetések (folyt.)

- A matematikai modell kapcsolatot teremt a három módszer mért eredményei között és megmutatják, hogy az olaj vezetőképesség (fajlagos ellenállás), nedvességtartalom, és a mért objektum geometriája hogyan befolyásolja a mérési eredményeket.
- A fentiek miatt szükséges a szigetelési rendszert alkotó összetevők tulajdonságainak ismerete.
- Ilyen jellegű modellezés ajánlott a három módszer eredményeinek elemzéséhez.

# Következtetések (folyt.)

- A transzformátorok élettartamára vonatkozó üzemeltetési döntések teljes biztonságú meghozatala előtt, a három módszernél további pontosítások szükségesek.
- Elsősorban a három módszer által meghatározott nedvességtartalom eredményeinek összevetése szükséges a kémiai alapmódszerek eredményeivel.
- A különböző típusú „pressboard” ill. papír, ill. öregedési termék hatása (az olaj vezetőképessége és nedvességtartalma mellett) a dielektromos válaszfüggvényekre még nem meggyőzően kimunkált.

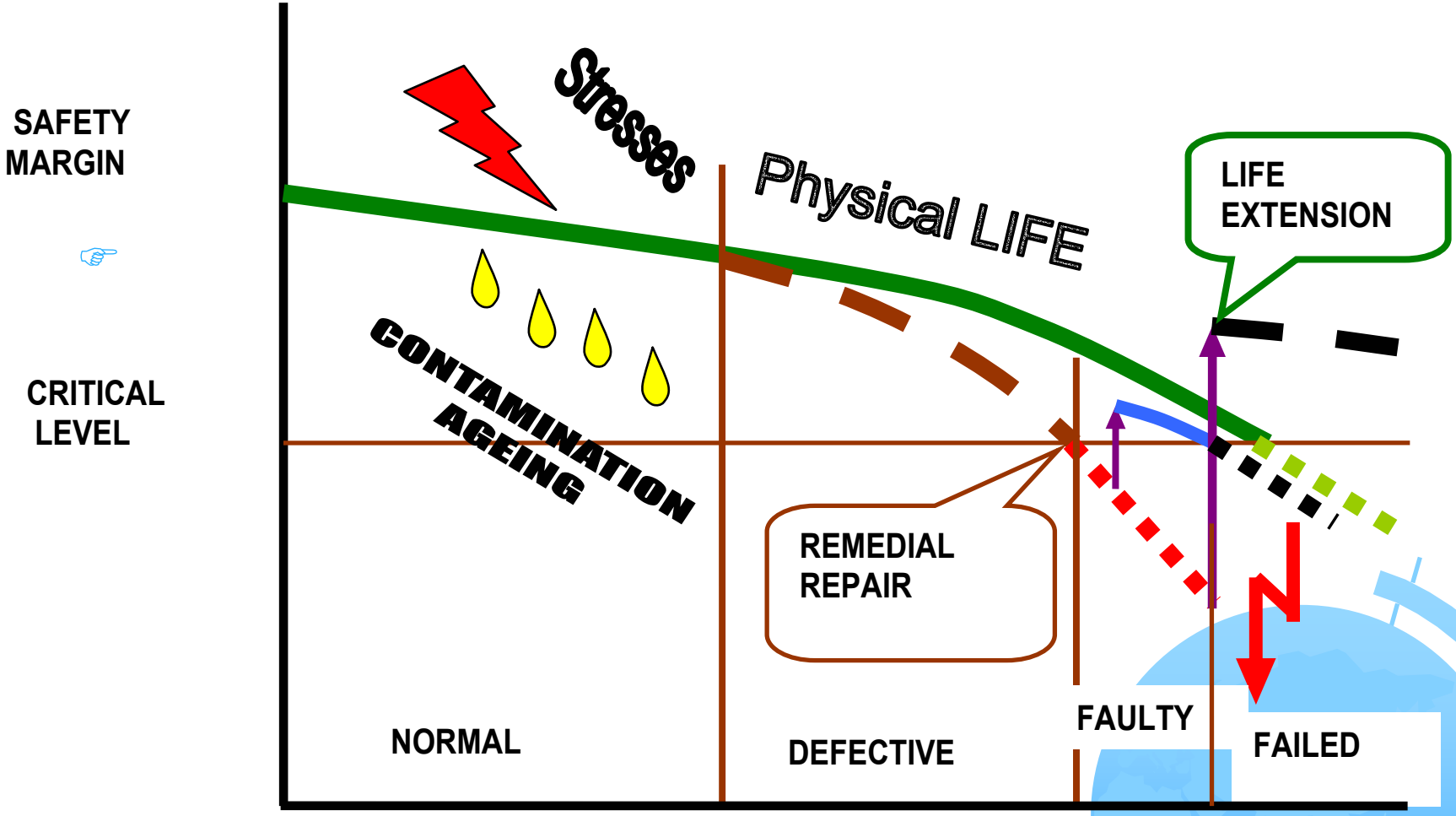
# Következtetések (folyt.)

- Mivel mindhárom módszer különböző elveken alapuló és gyakorlati kivitelű, mindegyiküknek meg van a saját előnyük ill. hátrányuk.

- A fentebb említetteket kell értékelni, mielőtt valaki az egyik vagy másikat módszert ajánlaná. .

- **GUIDE for Life Management Techniques For Power Transformers**
- **Prepared by CIGRE WG A2.18**
  - **20 January 2003**
- Members and former members contributing to the studies are:
- V. Sokolov (UKR) – Convenor
- J. Lapworth (GBR), J. Harley (USA), P. Guuinic (FRA) – Task Force Leaders
- G. Alcantara (ESP), B. Astrom (BRA), J. Aubin (CAN), P. Austin (AUS), R. Baehr (DEU), P. Balma (USA), C. Bengtsson (SWE), Z. Berler (USA), P. Boss (CHE), F. Cabezon (ESP), K. Carrander (SWE), P. Christensen (BEL), G. Csepes (HUN), T. Domzalski (POL), R. de Lhorbe (CAN), K. Eckholz (DEU), N. Fantana (DEU), H. Fujita

- Gibeault (CAN), P. Goosen (ZAF), P. Griffin (USA), S. Hall (GBR), G. Jiroveanu (ROM), J. Isecke (USA), A. Kachler (DEU), J. Kanters (NLD), M. Kazmierski (POL), J. Kelly (USA), M. Lachman (USA), J. Lackey (CAN), P-G Larsen (NOR), P. Leemans (BEL), S. Lindgren (USA), A. Lokhanin (RUS), L. Magallanes (MEX), A. McIntosh (GBR), O. Monzani (ITA), B. Noirhomme (CAN), T. Noonan (IRL), B Pahlavanpour (GBR), G. Polovick (CAN), L.J. Posada (MEX), V. Samoilis (GRC), L. Savio (USA), R. Sobocki (POL), C. Stefanski (USA), U. Sundermann (DEU), M. Svensson (SWE), M. Thaden (USA), T. Traub (USA), L. Valenta (CZE), B. Vanin (RUS), S. Van Wyk (ZAF), G. Zafferani (ITA).


SAFETY MARGIN
CRITICAL LEVEL
Stresses
Physical LIFE
LIFE EXTENSION
CONTAMINATION
AGEING
REMEDIAL REPAIR
NORMAL
DEFECTIVE
FAULTY
FAILED