



Transzformátorok szigetelésállapot ellenőrzése polarizációs spektrum módszerekkel (RVM, PDC, FDS)

Csépes Gusztáv

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar,
Villamos Energetika Tanszék
Nagyszűtsűgű Technika és Berendezések Csoport
MAVIR Ltd.



Tartalomjegyzék

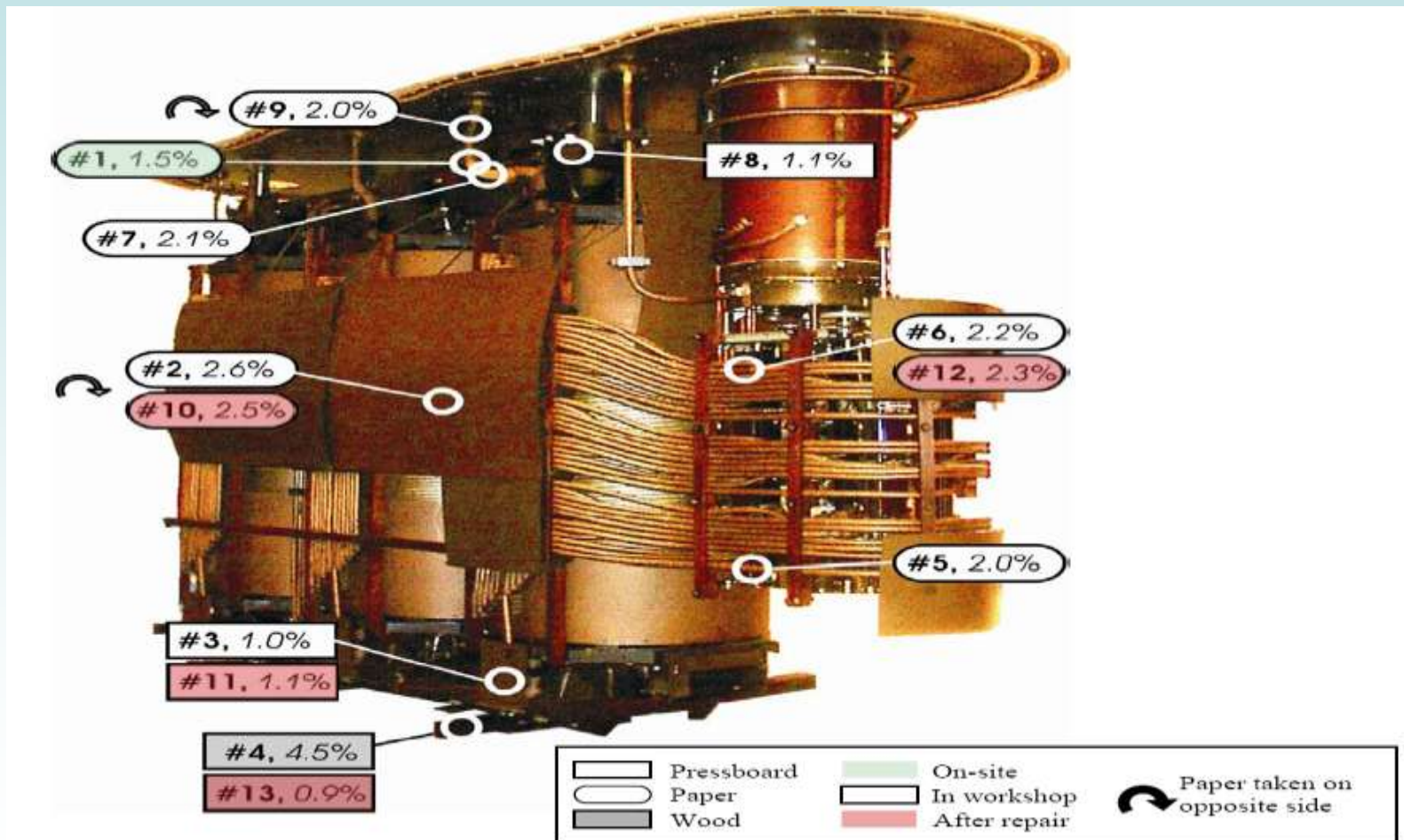
- Téma aktualitása, háttér információk
- Röviden a 3 polarizációs spektrum módszerről
- RVM módszer
- PDC módszer
- FDS módszer
- Kiértékelés a BME-MVMT adatbázis alapján
- Összefoglalás

Spektrum módszerek aktualitása

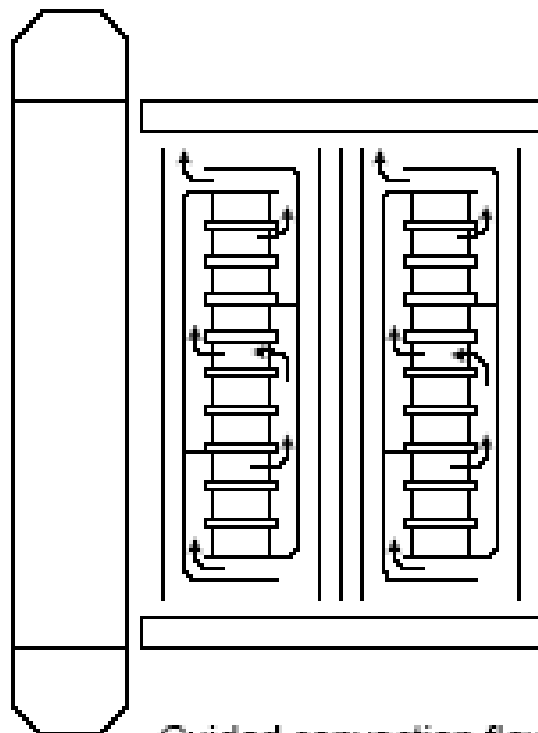
- **Cél** olaj-papír szigetelés állapotellenőrzése (nedvesség, öregedés).
- Probléma: sok volt az **anómália** a mérési eredményeknél.
- Hagyományos módszerek: **egy paraméterrel** jellemzik a szigetelést.
- Kérdés: **lehet egyetlen paraméterrel** jellemezni egy trafót?
- Nagy trafó: kb. 60 tonna olaj, kb. 6-10 tonna cellulóza, stb. miatt **szinte soha sincs homogén** állapot sem $T^{\circ}\text{C}$, sem $X(\%)$, sem öregedésben.
- **Max/min hőfok kb. 20 fok**, max/min $X(\%)$ -ban 2-3% eltérés.
- Az öregedés: 20 éves trafóban **új és 20 éves állapotú rész**.
- 1970-es években MVMT-NIM-OMFB megbízta a **BME-t anomáliák tisztázására, hatékonyabb módszer kidolgozására**.
- BME kutatás végterméke: **RVM, FDS és PDC** (fizikai jelenség ismert volt korábban is, de eddig spektrum módszerként senki sem használta).
- A BME kutatás után **minőségi változást jött** létre a hagyományos módszerekkel végzett diagnosztikához képest.

Polarizációs spektrum módszerek

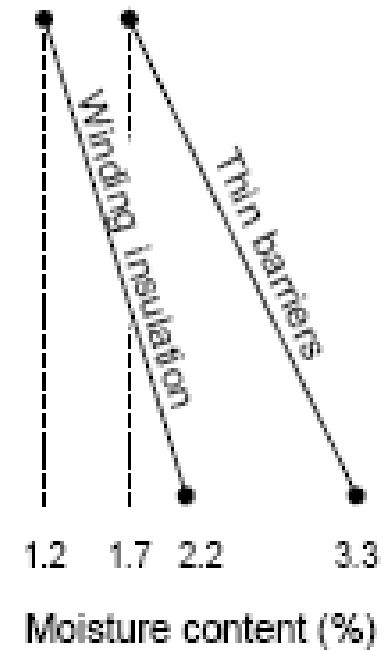
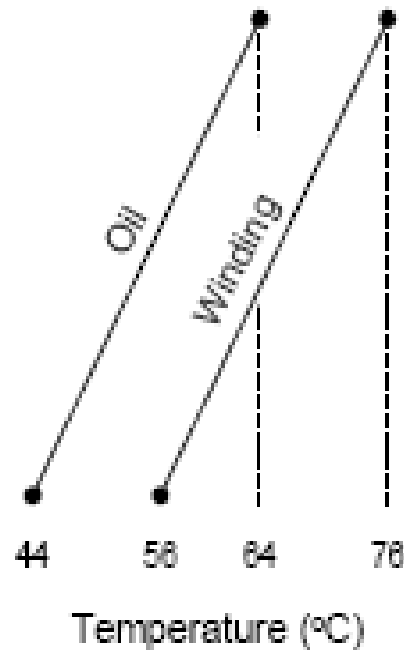
Inhomogén nedvességeloszlás, Karl Fischer titrálással (KFT) becsült nedvességtartalom a trafó szilárd szigetelésének különböző helyeiről vett mintákból papír: 0,9 – 2,6%, keményfa: 4,5%



Inhomogén hőmérséklet és víztartalom eloszlás a szigetelés kritikus pontjain. Mit mérünk? Milyen hőmérsékletet tartunk „mérési hőmérsékletnek”?



Guided convection flow
through disk windings



Három polarizációs spektrum módszer

- Visszatérő feszültség módszer (Recovery Voltage Measurements (RVM))
- Tg δ és kapacitás frekvencia függése (Dielectric Frequency Domain Spectroscopy (FDS))
- Polarizációs és depolarizációs áram mérése: Charge/Discharge Current measurements of polarisation and depolarisation currents (PDC).
- 1990-ben CIGRE bevezető előadás (magyar): RVM, új olaj, új papír, homogén eloszlás.
- Nagyon jó fogadtatás („magyar módszer”), munkabizottságok alakultak,
- Nálunk 70-es években adatbázis, 1980-as években magyar RVM szabvány, 1990-ben nemzetközi bemutatás, de különböző okok miatt nincs nemzetközi szabvány, „nem lett befejezve” teljes mértékben az adaptációs munka, még egy „Guide” sem jött létre.

254

Dielectric Response Methods for Diagnostics of Power Transformers

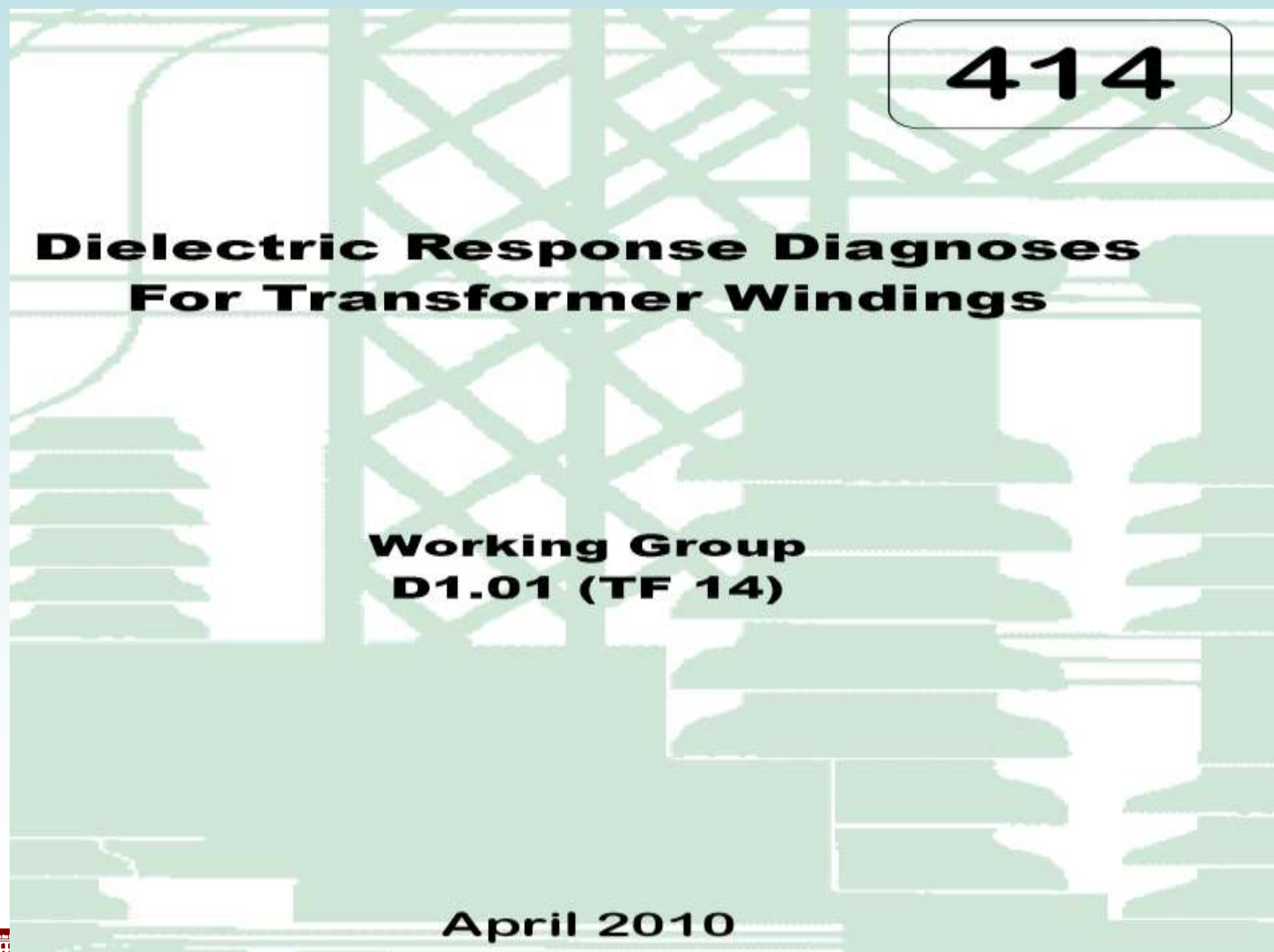
Report of the TF D1.01.09

Task Force members:

S.M. Gubanski (chair), P. Boss, G. Csépes, V.
Der Houhanessian, J. Filippini, P. Guuinic,
U. Gäfvert, V. Karius, J. Lapworth, G. Urbani,
P. Werelius, W. Zaengl.

Polarizációs spektrum módszerek

Záró tanulmány után kezdődik a szabvány írása, most nem. Oka: nem jutottak el olyan szintre, hogy ajánlásokat lehetne elfogadni.

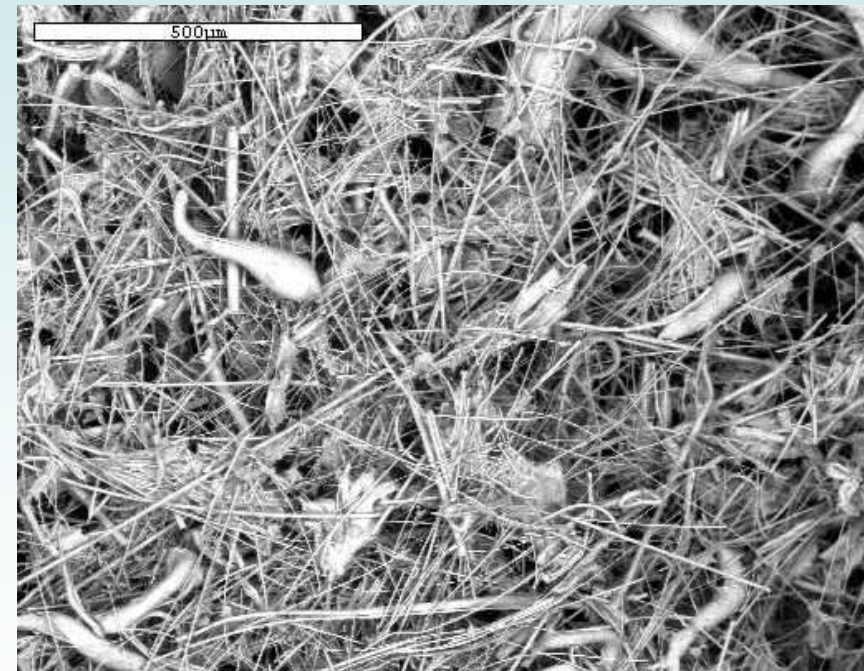
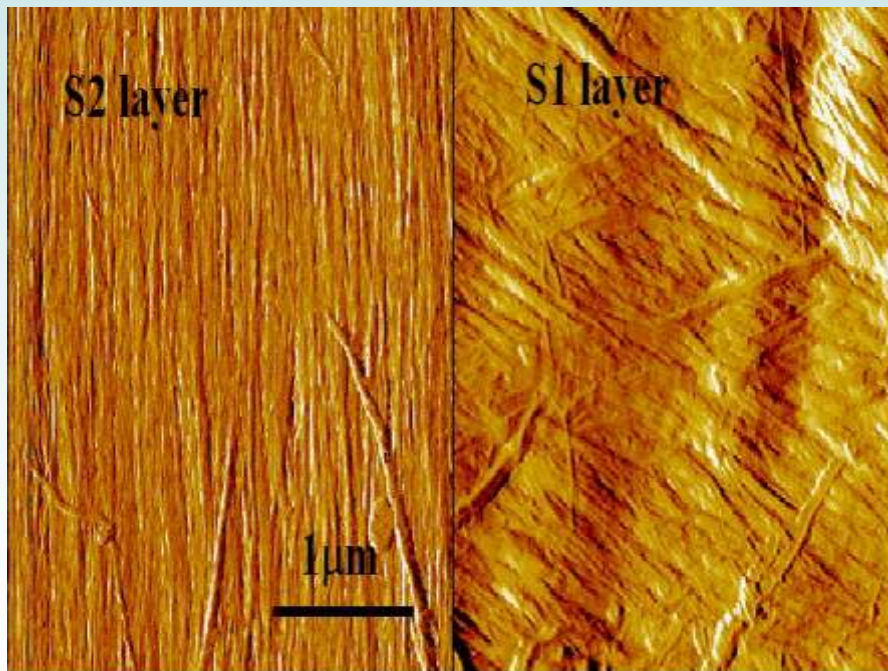


Polarizációs spektrum módszerek

Szerves szigetelés: legnagyobb probléma az **elnedvesedés és öregedés**.

A papír szigetelés rostos szerkezetű, **határréteg és tértöltéses polarizáció** lép fel.

Ez a nagy időállandójú **polarizáció szoros kapcsolatban van a nedvességgel, öregedéssel**, így a polarizációs spektrum vizsgálatával következtetni lehet a víztartalomra és az öregedésre. De mindig tudni kell, hogy hol mérjük a polarizációt.

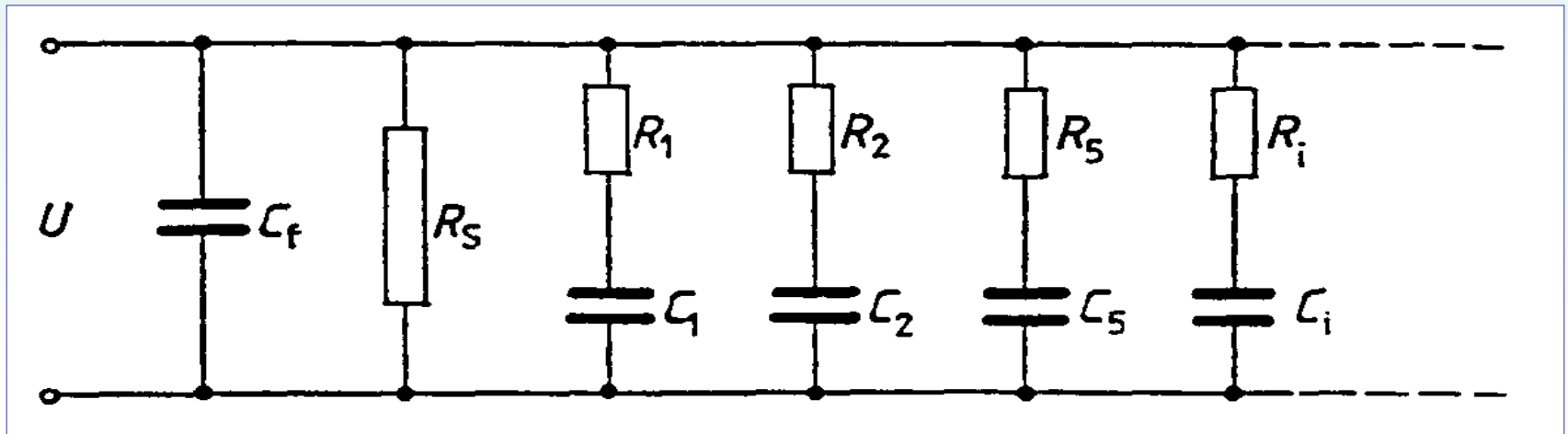
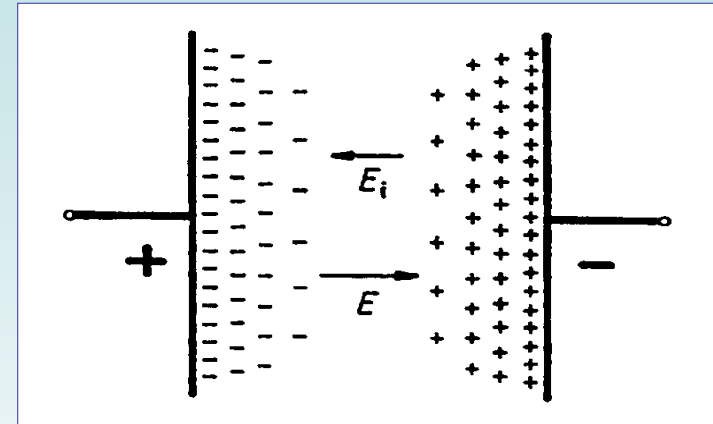
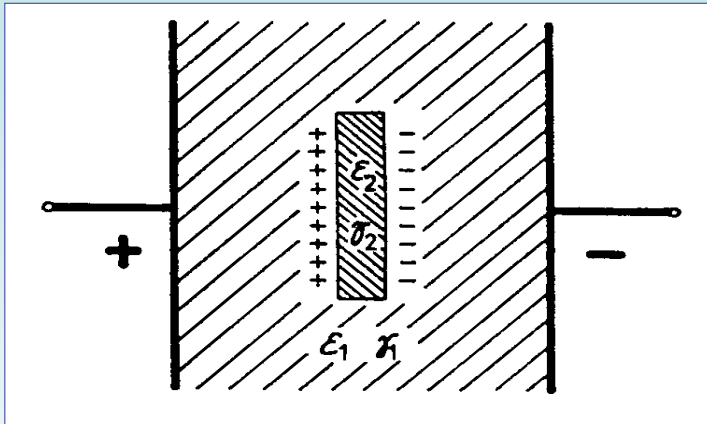


Polarizációs spektrum módszerek

határréteg
polarizáció

tértöltéses
polarizáció

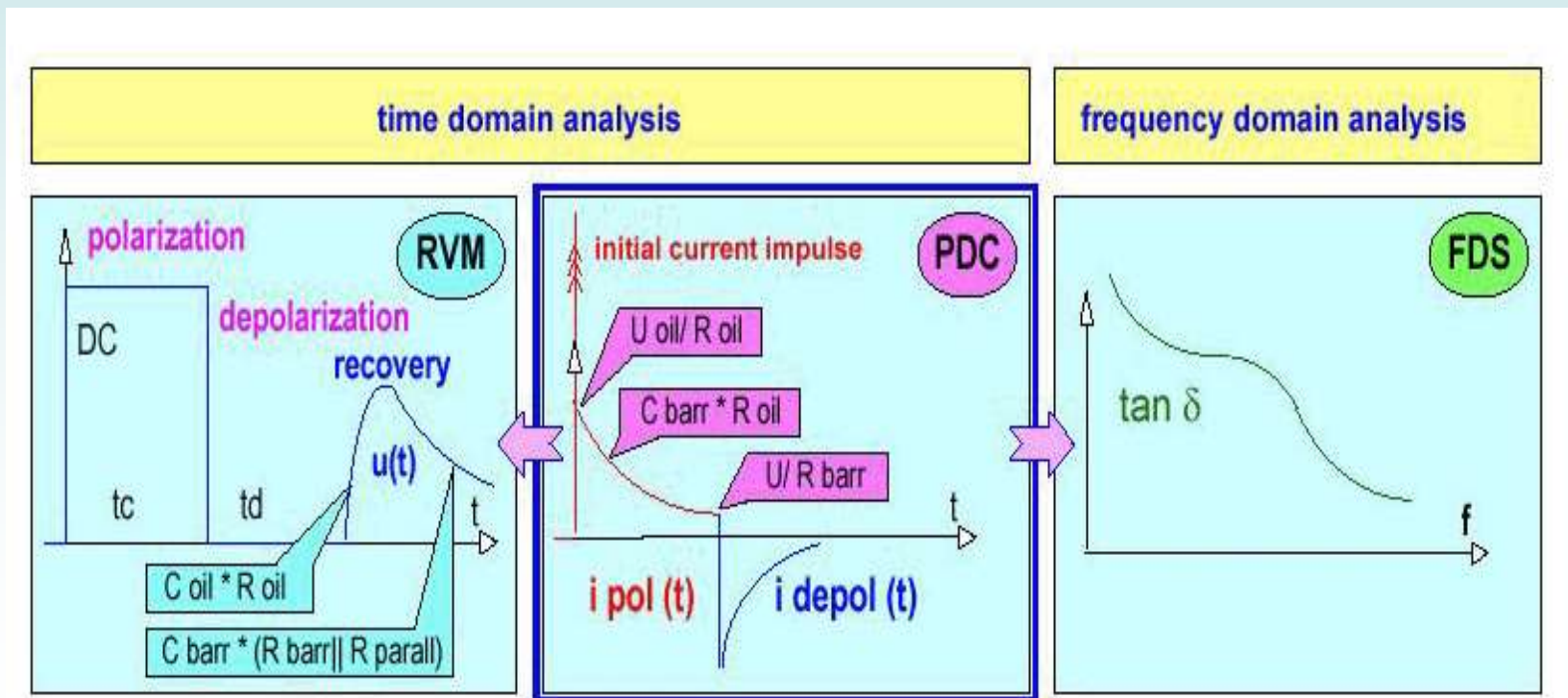
Helyettesítő ábra



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM, PDC: időtartomány mérések,
- FDS frekvencia tartomány mérés
- Mindhárom **polarizációs spektrum** módszer, a kiértékelés polarizációs spektrumon kellene alapulni, de ez nem mindig így történik.



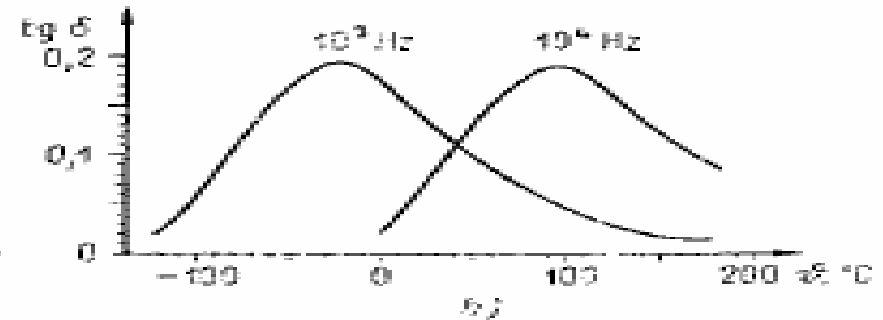
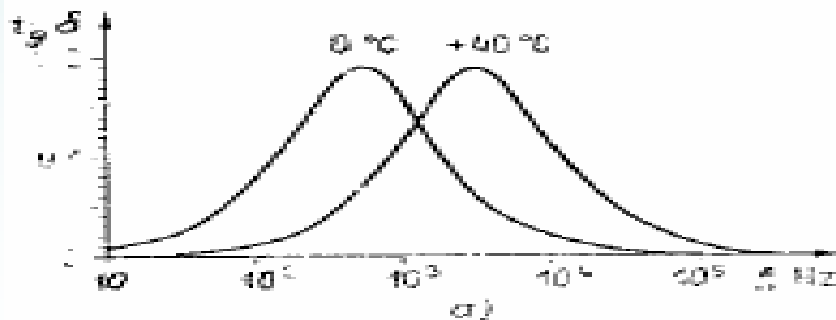
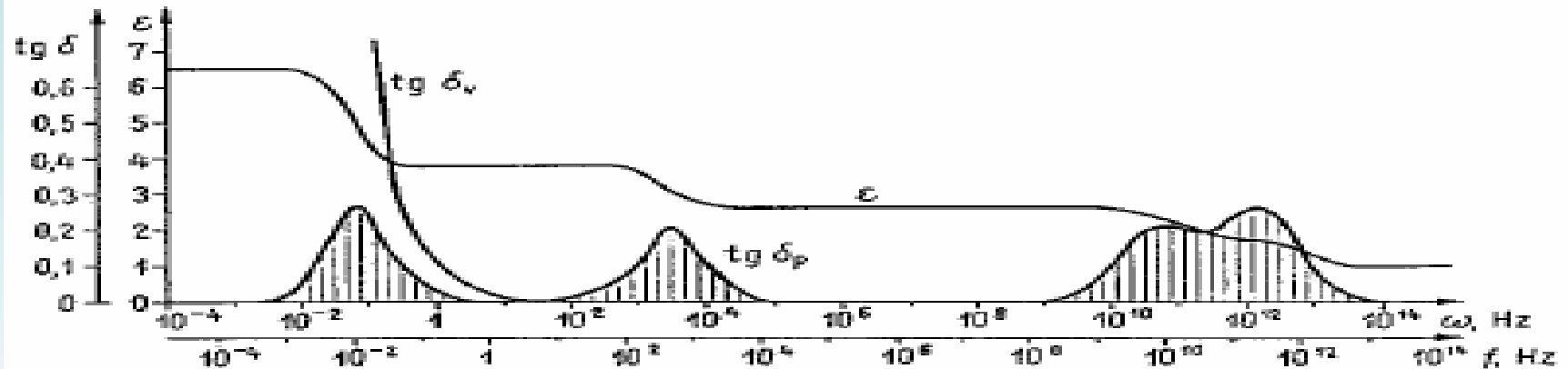
Polarizációs spektrum módszerek



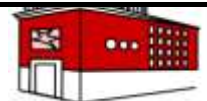
$\tan \delta$ és ϵ permittivitás (kapacitás) frekvencia függése

$\tan \delta$ frekvencia függése,
paraméter hőmérséklet

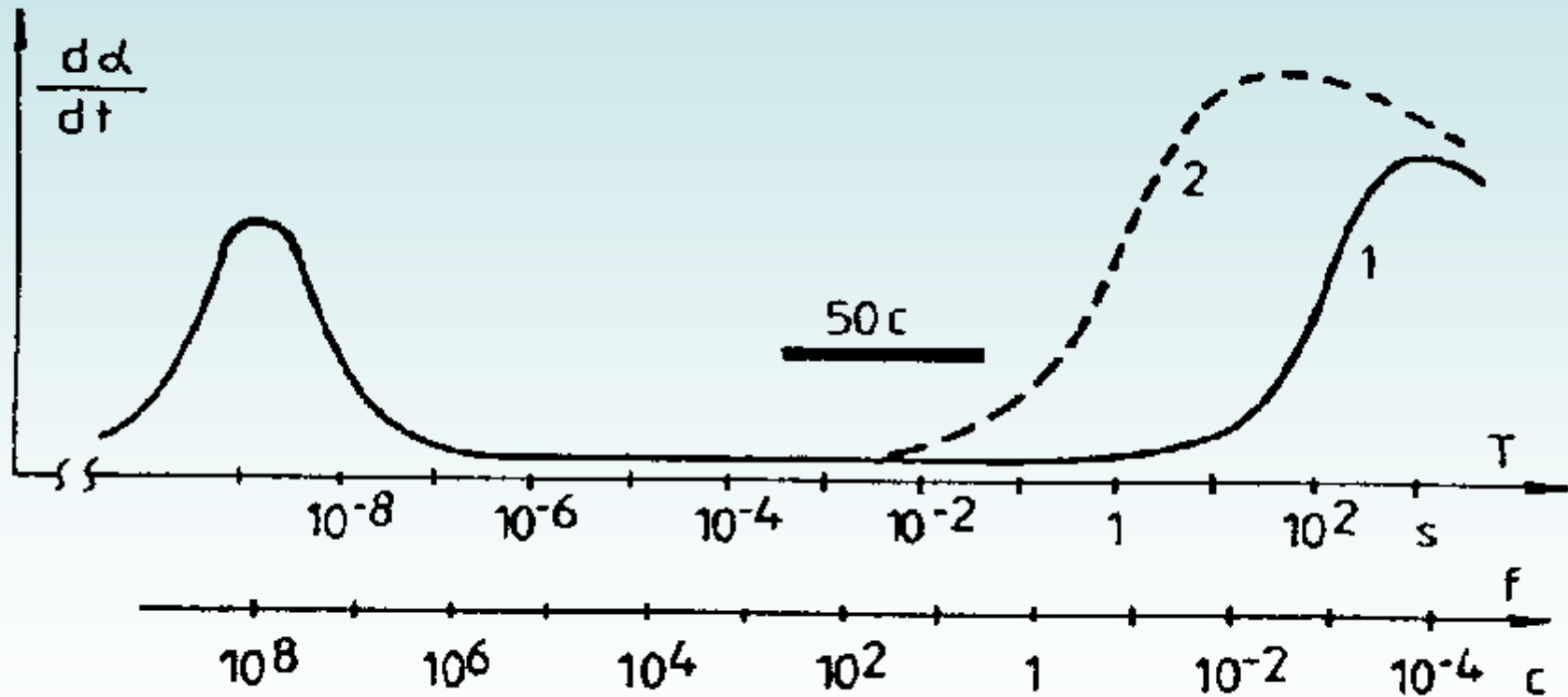
$\tan \delta$ hőmérséklet függése,
paraméter frekvencia



A veszteségi tényező függése a frekvenciától és a hőmérséklettől



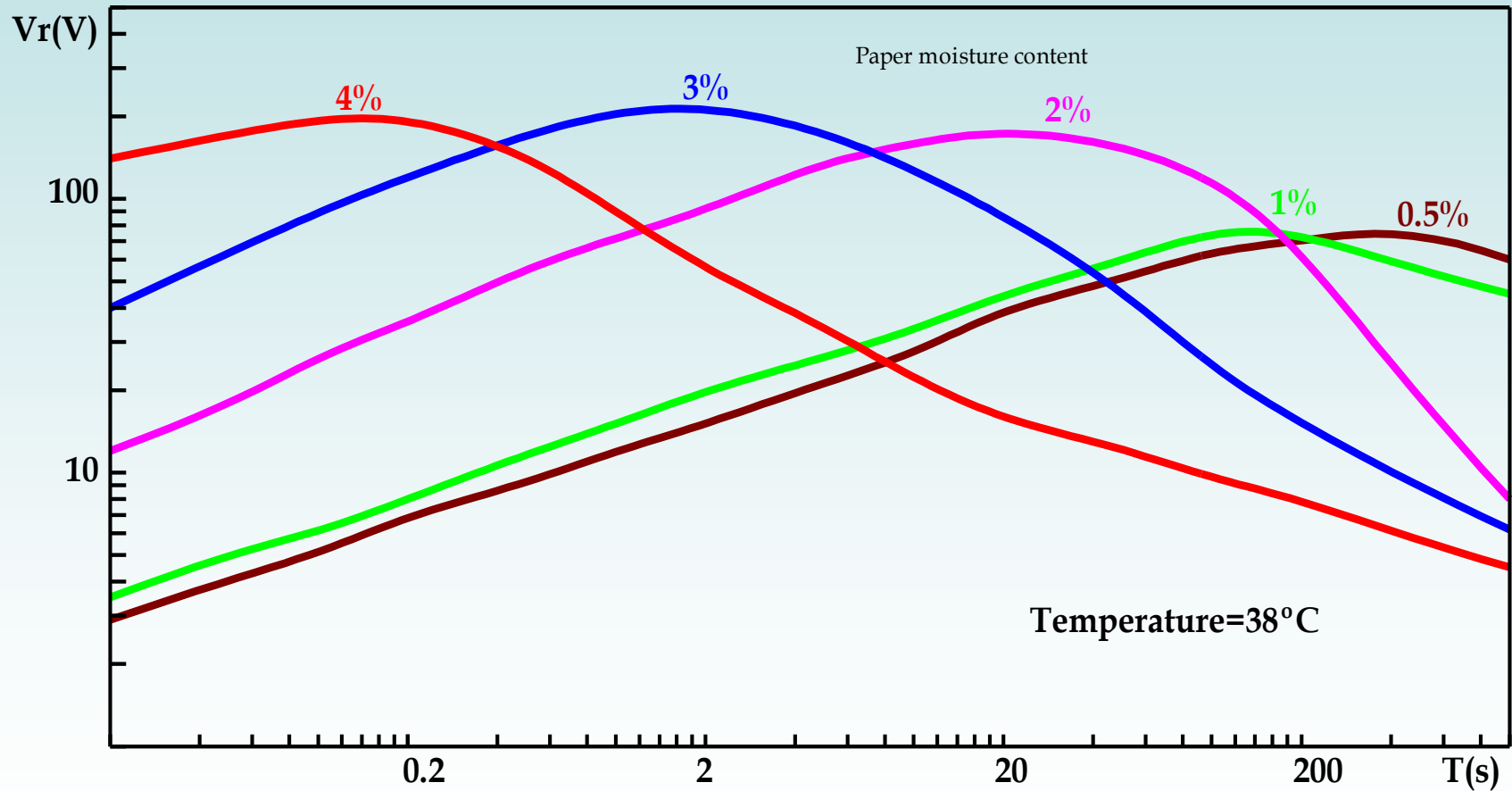
Olaj-papír szigetelés alacsony frekvenciás, vagy nagy időállandós polarizációs spektruma új (1) szigetelés, ill. vizes és/vagy öregedett (2) szigetelés esetén.



- Mindhárom módszer ugyanazt a **határréteg polarizációt** méri, de három különböző mérési eljárással: sorozatos visszatérő feszültséggel, töltő és kisütő árammal és $tg\delta$ frekvencia függésével.
- A három módszer **egyenértékű**, de mivel különböző mérésekről van szó, vannak előnyök/hátrányok.
- A polarizációs **spektrum módszerek előnye**, hogy nem egy jelzőszámmal jellemezi a szigetelést, hanem **egy spektrummal**,
- Inhomogén - hagyományos mérések kiértékelése ellentmondásos.
- Ha szigetelés öreg, nedves, inhomogén, és a hőmérséklet eloszlás is inhomogén, **bonyolult polarizációs spektrum** adódik.
- Ez nem probléma, a mérés egyszerű, a szigetelési állapota összetett, és azt bonyolultan lehet jellemezni, ez a valóság.
- Ha **leegyszerűsítjük a kiértékelést**, akkor újra anomáliák adódnak.

Új papír, új olaj, visszatérő feszültség görbék az időállandó függvényében, paraméter hőmérséklet (38°C)

Curves, derived from the maxima of the return voltages

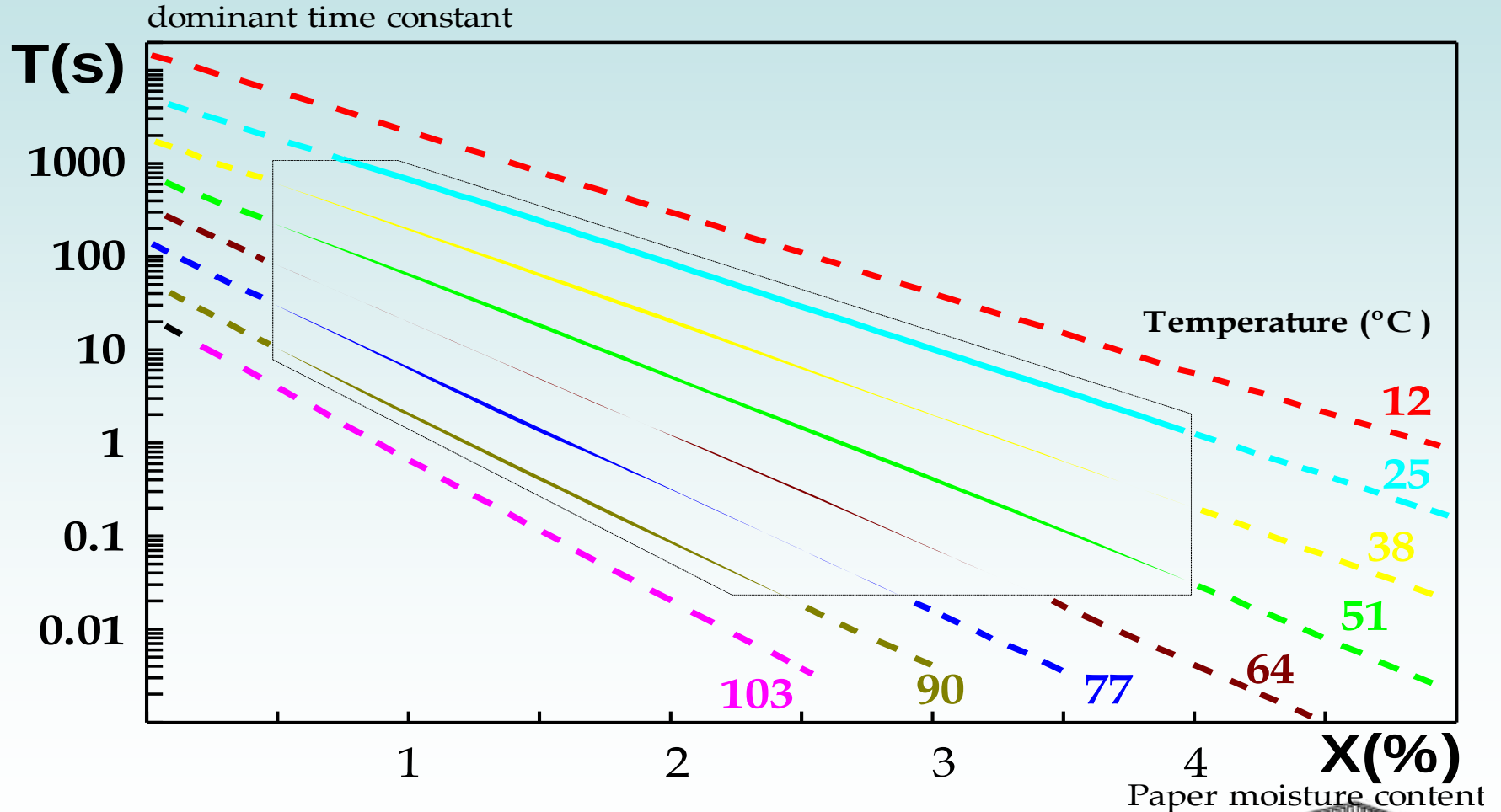


Time constants

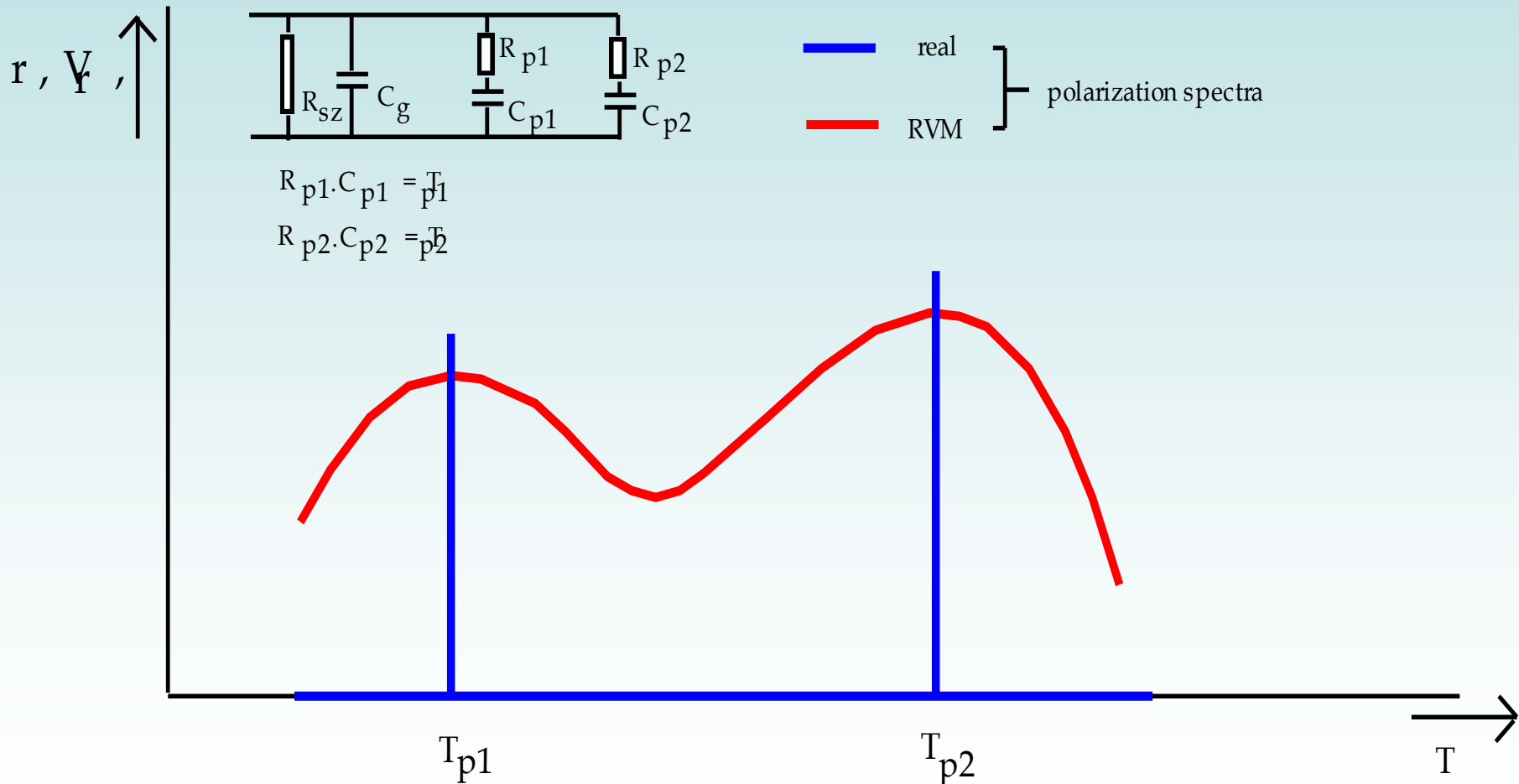
Polarizációs spektrum módszerek



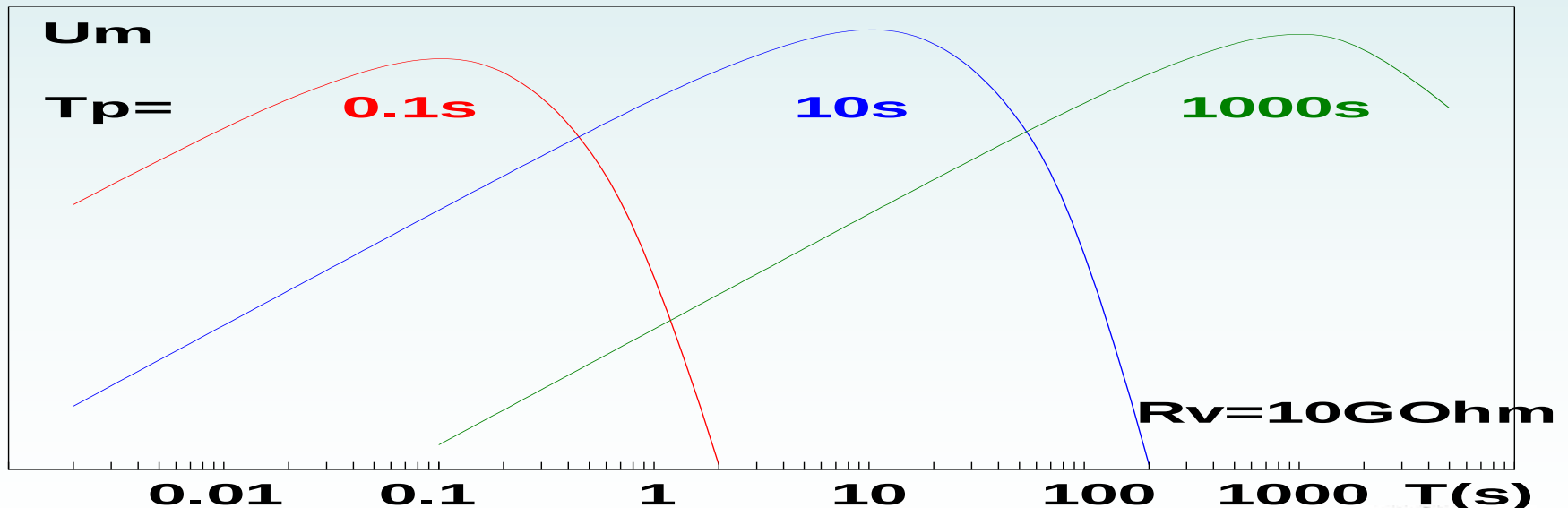
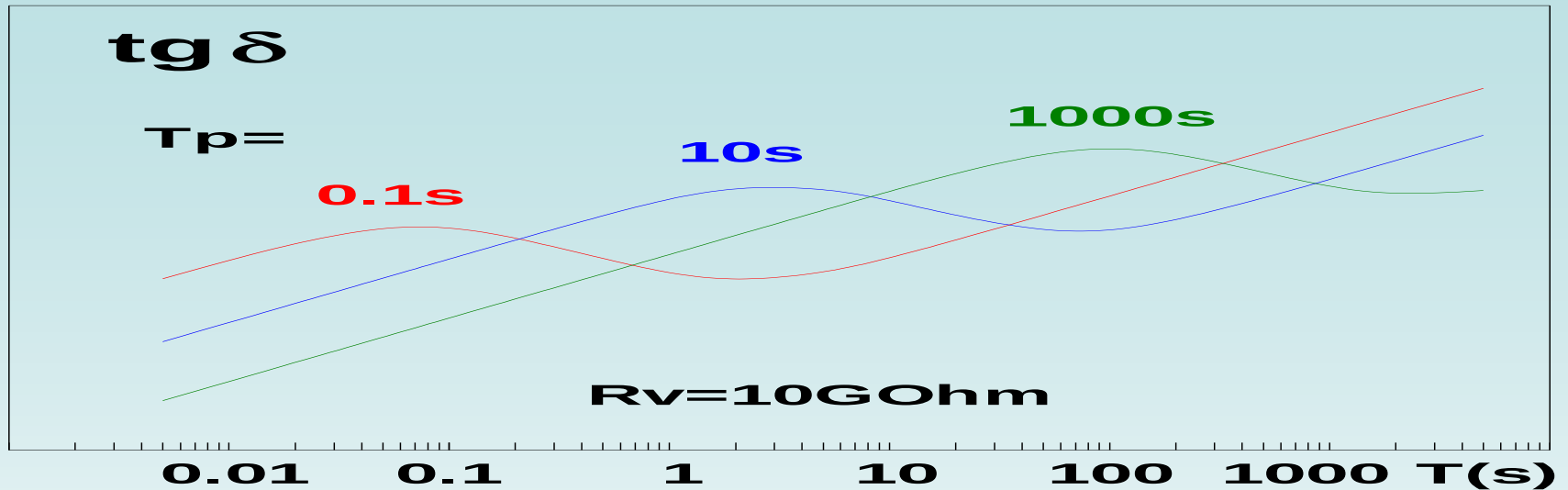
„Nomogram”: összefüggés a polarizációs időállandó, papír nedvességtartalom, hőmérséklet között új papír, új olaj és homogén szigetelési állapot esetén



Kiértékelés két ill. több időállandó esetén

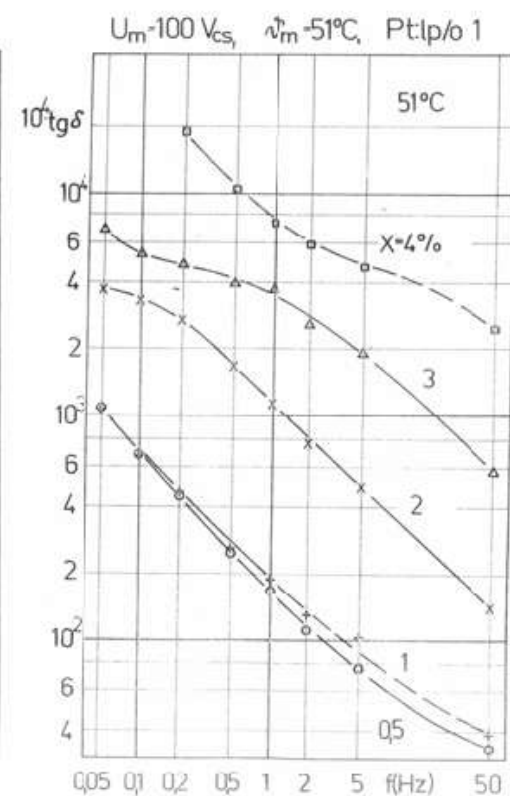
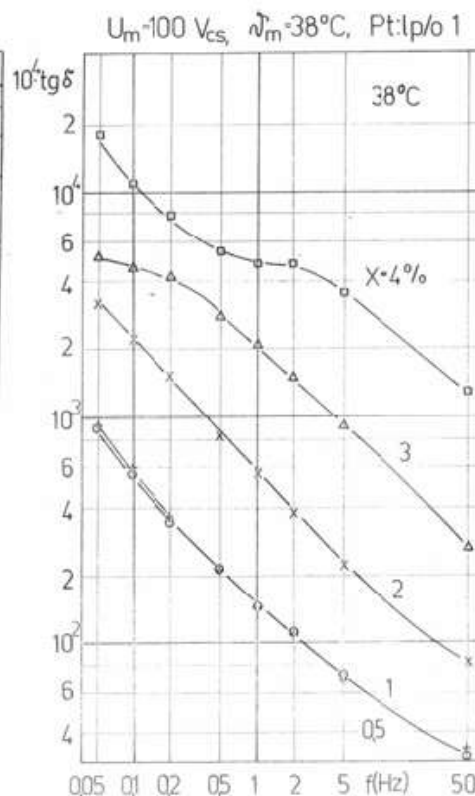
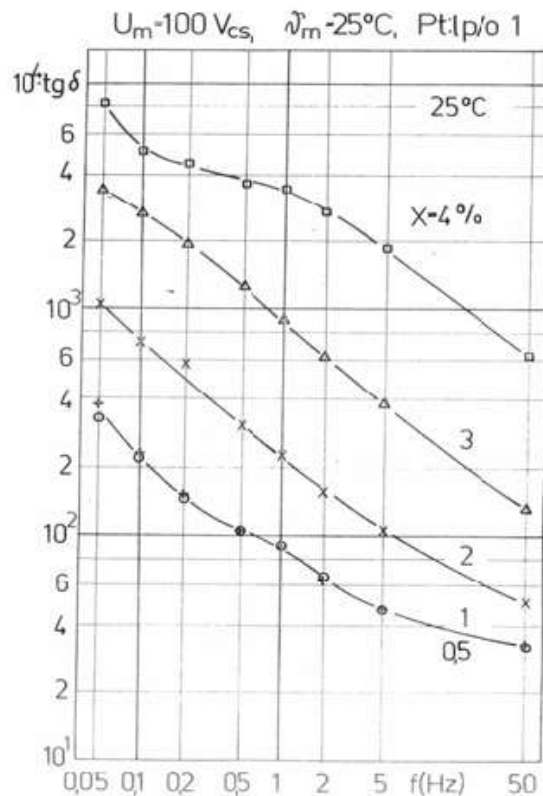


FDS és RVM módszer összehasonlítása



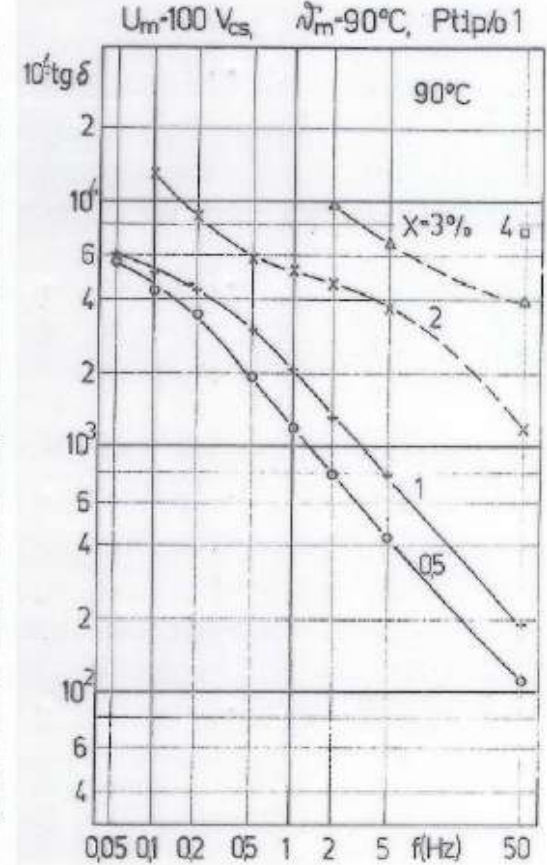
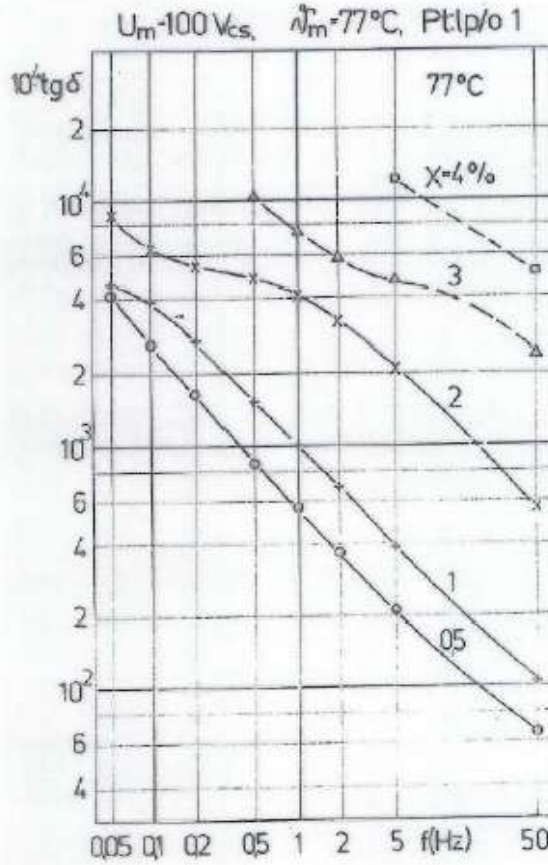
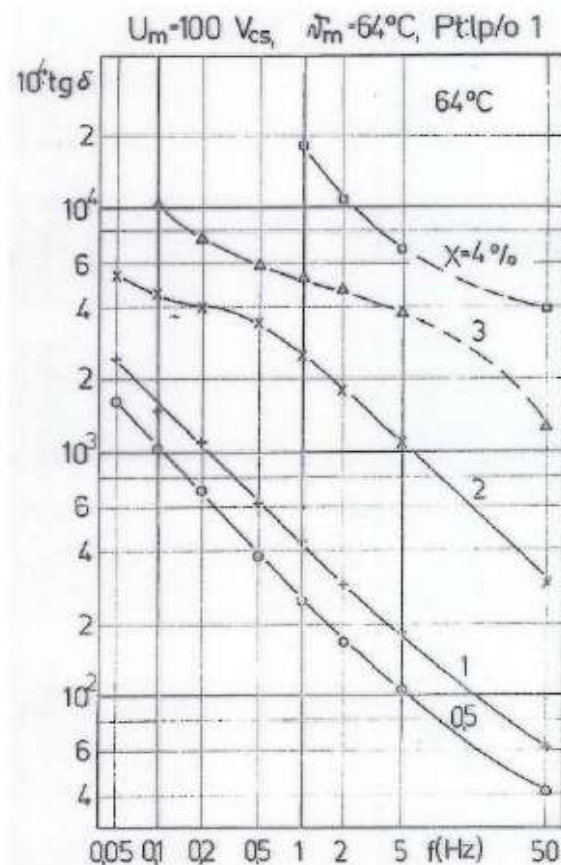
Tgδ frekvencia függése

új papír, új olaj, homogén eloszlás, paraméterek:
nedvességtartalom és hőmérséklet

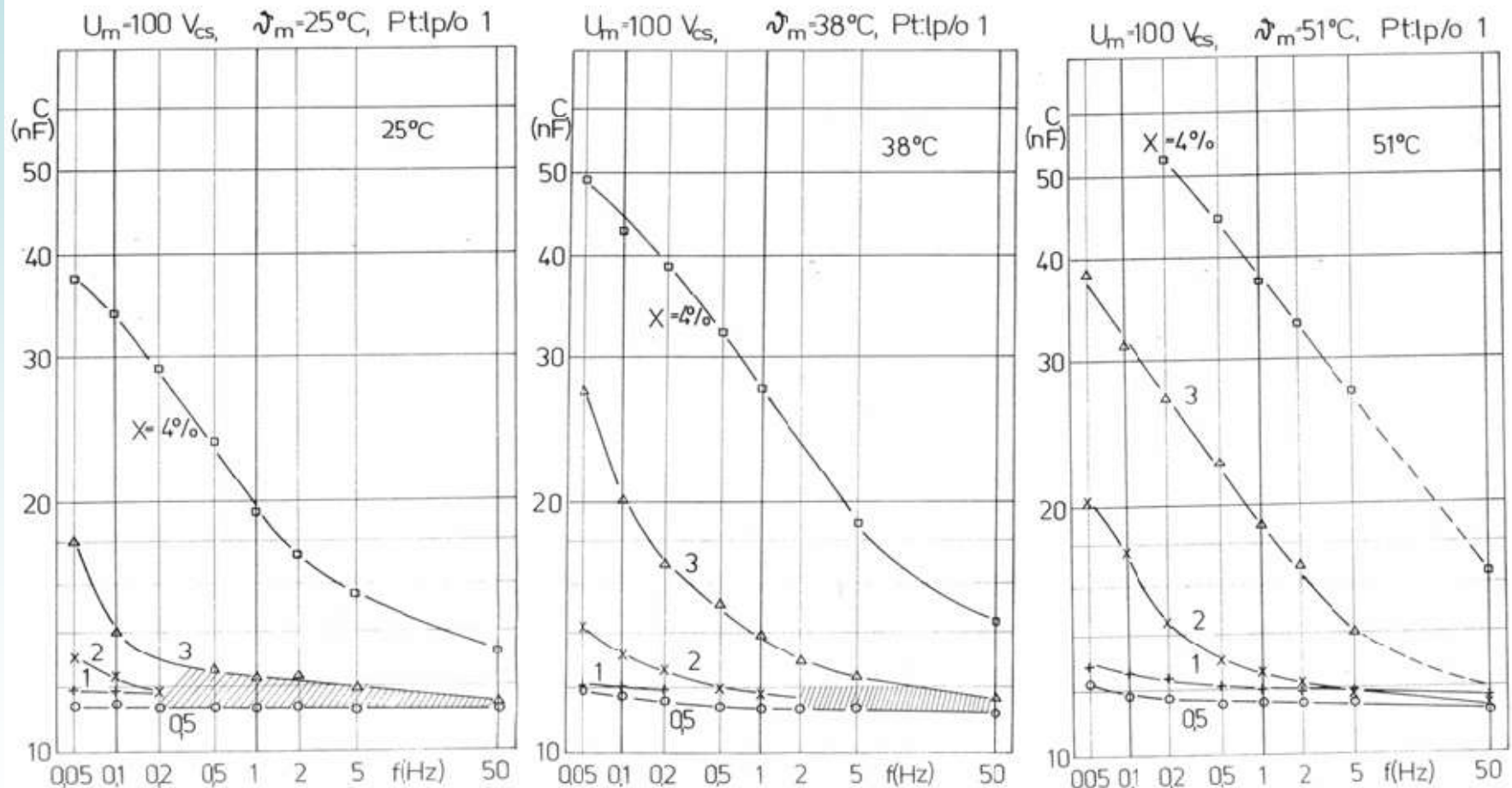


Tgδ frekvencia függése

új papír, új olaj, homogén eloszlás, paraméterek: nedvességtartalom és hőmérséklet



ϵ (C, kapacitás) frekvencia függése: új papír, új olaj,
paraméterek: nedvességtartalom és hőmérséklet



Magyar adatbázis polarizációs spektrum módszerek kiértékeléséhez

- **$\text{tg}\delta$** : 50 Hz-es veszteségi tényező állandó feszültségen mérve,
- **$\text{tg}\delta(f;T;X)$** veszteségi tényező állandó feszültségen a frekvencia (f), hőmérséklet (T) és a papír víztartalom (X) függvényében, frekvencia 8 értékkel 0,05 - 50 Hz között,
- **$C(f;T;X)$** kapacitás állandó feszültségen a frekvencia (f), hőmérséklet (T) és a papír nedvességtartalmának (X) függvényében
- **RVM** csúcsérték ($U_R \max(t_C/t_D;T;X;T;X)$) és kezdeti meredekség ($S_R(t_C/t_D;T;X)$) hőmérséklet (T) és a papír nedvességtartalmának (X) függvényében.

- **T hőmérséklet** 6 értéken mérve 25°C and 90°C között (25, 38, 51, 64, 77 and 90°C),
- **X papír nedvességtartalom** 5 értéken mérve 0.5% and 4% között (0,5, 1, 2, 3 and 4 %)
- **RVM töltés/rövidzárási idők** 0.02s/0.01s and 1000s/500s között (2; 5; 10 arányokkal).

Az öregedés hatását vizsgálva **3 különböző öregedési állapotú olaj** volt felhasználva:

Új olaj: (Pt:Ip/01: $\text{tg}\delta = 0,01\%$ or $104\text{tg}\delta = 100$ at 90°C),

Közepesen öregedett olaj: (Pt:Ip/02: $\text{tg}\delta = 0,1\%$ or $104\text{tg}\delta = 1000$ at 90°C), and

Erősen öregedett olaj: (Pt:Ip/03: $0.5\% \leq \tan(\delta) \leq 0.7\%$ or $104\text{tg}\delta = 5000-7000$ at 90°C).

Mérések végrehajtásra kerültek **olajcsatornával (Pt:Ip+pp)**, ill. **olajcsatorna nélkül (Pt:Ip)**.

Polarizációs spektrum, buborékképződés

- A teljes polarizációs spektrumot kell kiértékelni. Az elnedvesedés, öregedés és a hőmérséklet növekedésére csökken a **buborékképződés küszöbhőmérséklete**, gázok **szabadulnak** fel, **csökken** az átütési szilárdság.
- IEC 354 (Loading Guide for Oil-immersed Transformers) a hot-spot hőmérsékletet régebben **180, most 140°C-ban limitálta**, de látható nedves szigetelés esetén ezalatt is beindulhat a gázképződés.

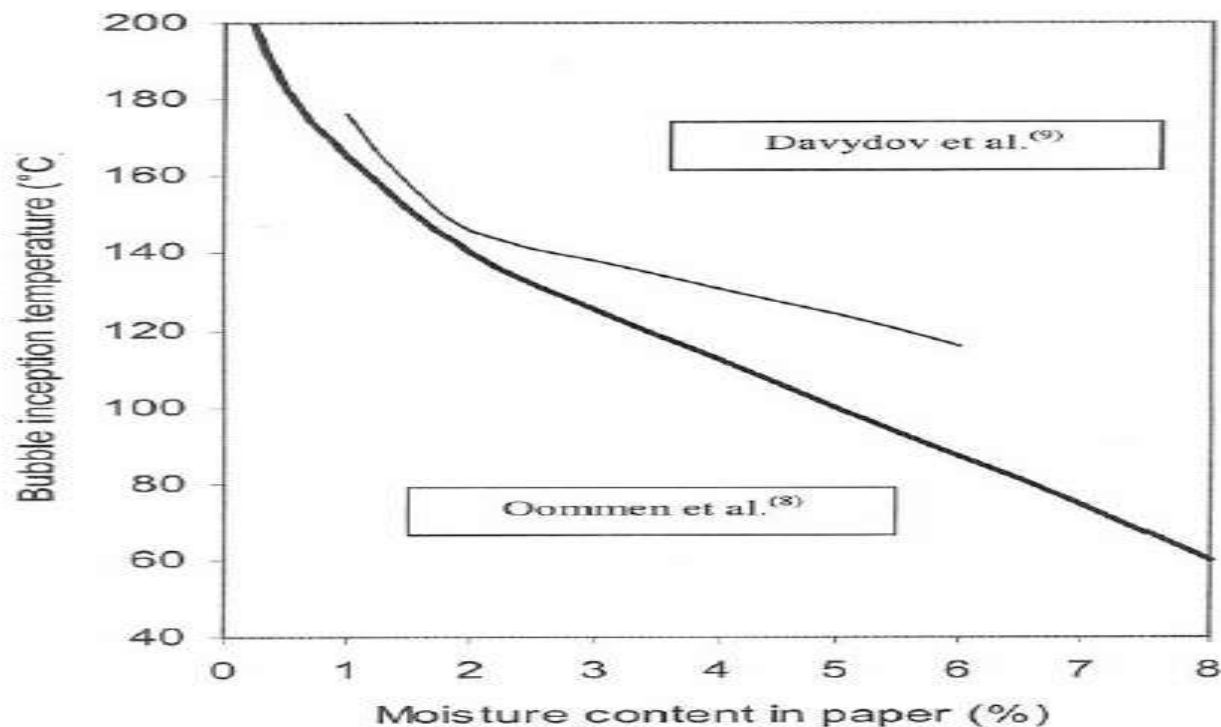
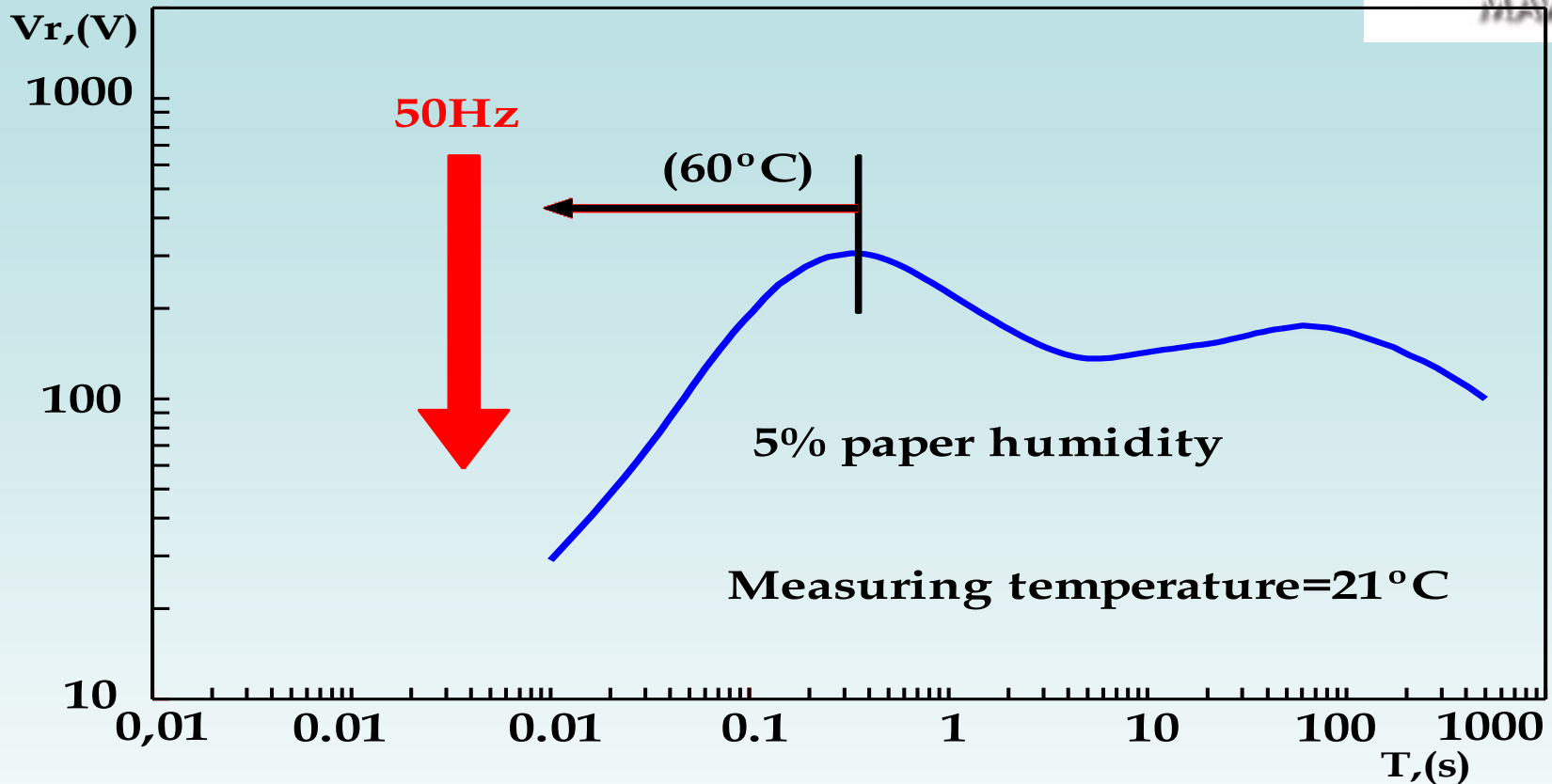


Figure 4 - Critical Temperature for Bubble Evolution

Elnedvesedés, öregedés buborékképződési határértékei



120/20 kV trafó 21°C-os RVM görbéje meghibásodás után mérve.

A **kisebbik időállandó kb. 0,3 sec**, a nagyobbik kb. 100 s volt 21 °C-on.

A meghibásodáskor a hőmérséklet 60°C volt.

Ezen a hőmérsékleten a kisebbik időállandó kb. az **50 Hz-es feszültség időállandójával esett egybe**, ez okozhatott olyan nagy helyi dielektromos veszteséget, erős buborékképződés, és/vagy a hő-villamos átütés következett be.



Összefoglalás

- Az olaj-papíros szigetelési rendszer igen **összetett** tulajdonságú,
- Sok **ellenmondás a hagyományos** mérések kiértékelésekor,
- Polarizációs spektrum módszerek **minőségi** változást hoztak ezen a területen,
- A kiértékeléshez szükség lenne egy adatbázisra, jelenleg csak a BME-MVMT (CsH) polarizációs spektrum eredmények adnak egy **egységes adatbázist**,
- Sokan csak **részleteket** ismernek az adatbázis „teljes mozaikjából”,
- Az összefüggéseket sokszor **leegyszerűsítik**, később elfeledve, hogy milyen korlátai voltak a leegyszerűsítéseknek,
- **Ajánlás:** az ellenmondások feloldhatók, ha polarizációs spektrum módszerek **kiértékelésnél a teljes polarizációs spektrumot** használjuk.

Köszönöm a figyelmet



BME
Budapest, 1111, Egrý J. u. 18.
Mob.tel.: 36-20-210-7676, fax.: 36-1-463-3231
e-mail: csepes.gusztav@vet.bme.hu

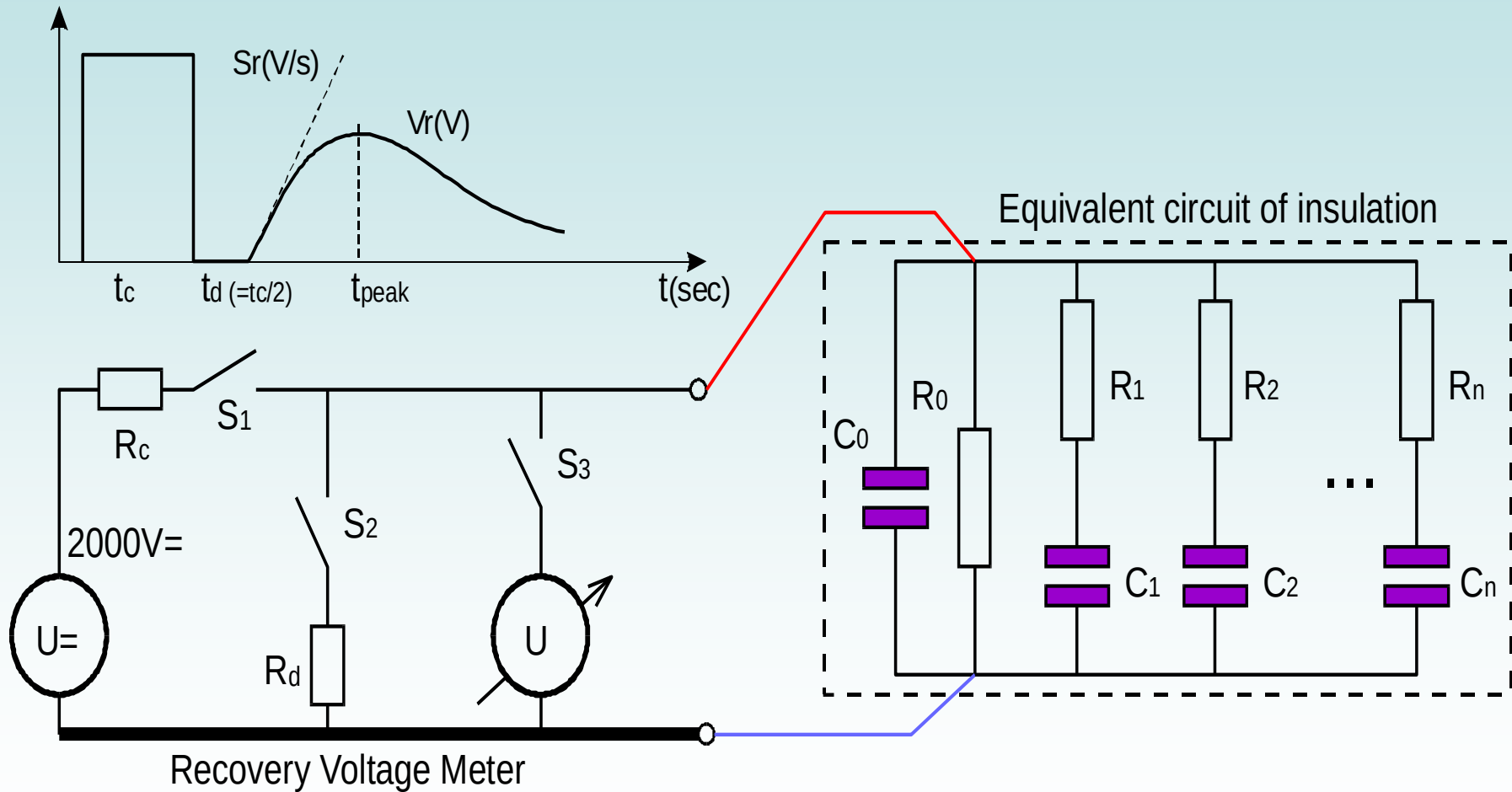
Polarizációs spektrum módszerek



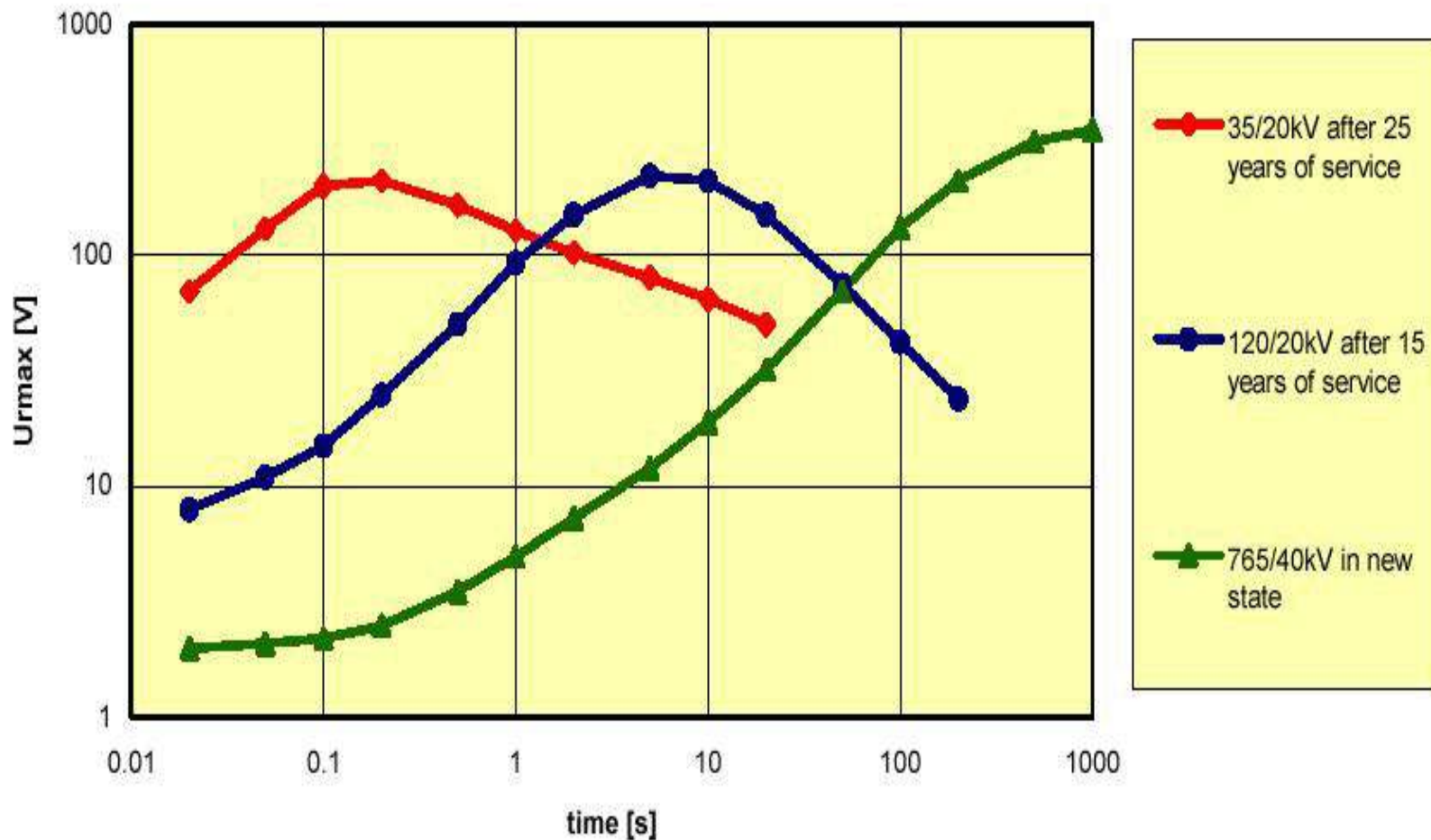
RVM



RVM vizsgálati módszer



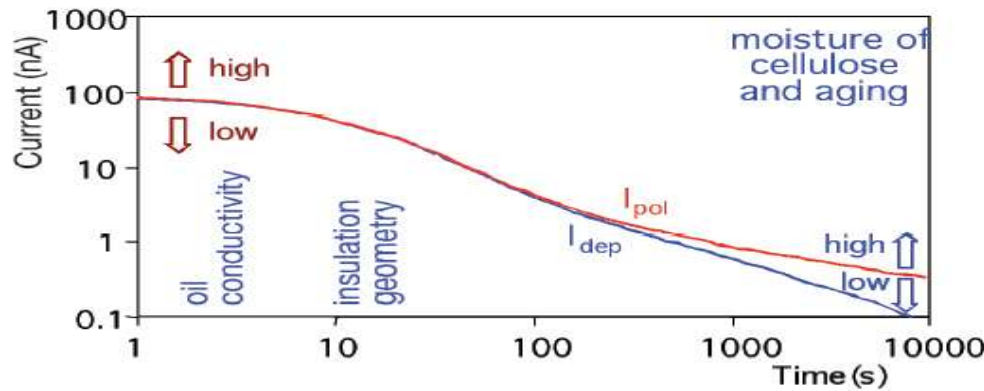
- RVM módszer



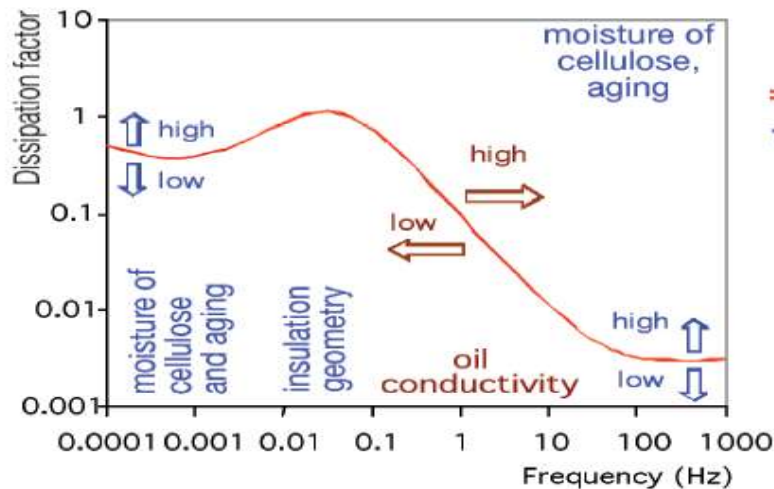
Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer



(a)



(b)



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer

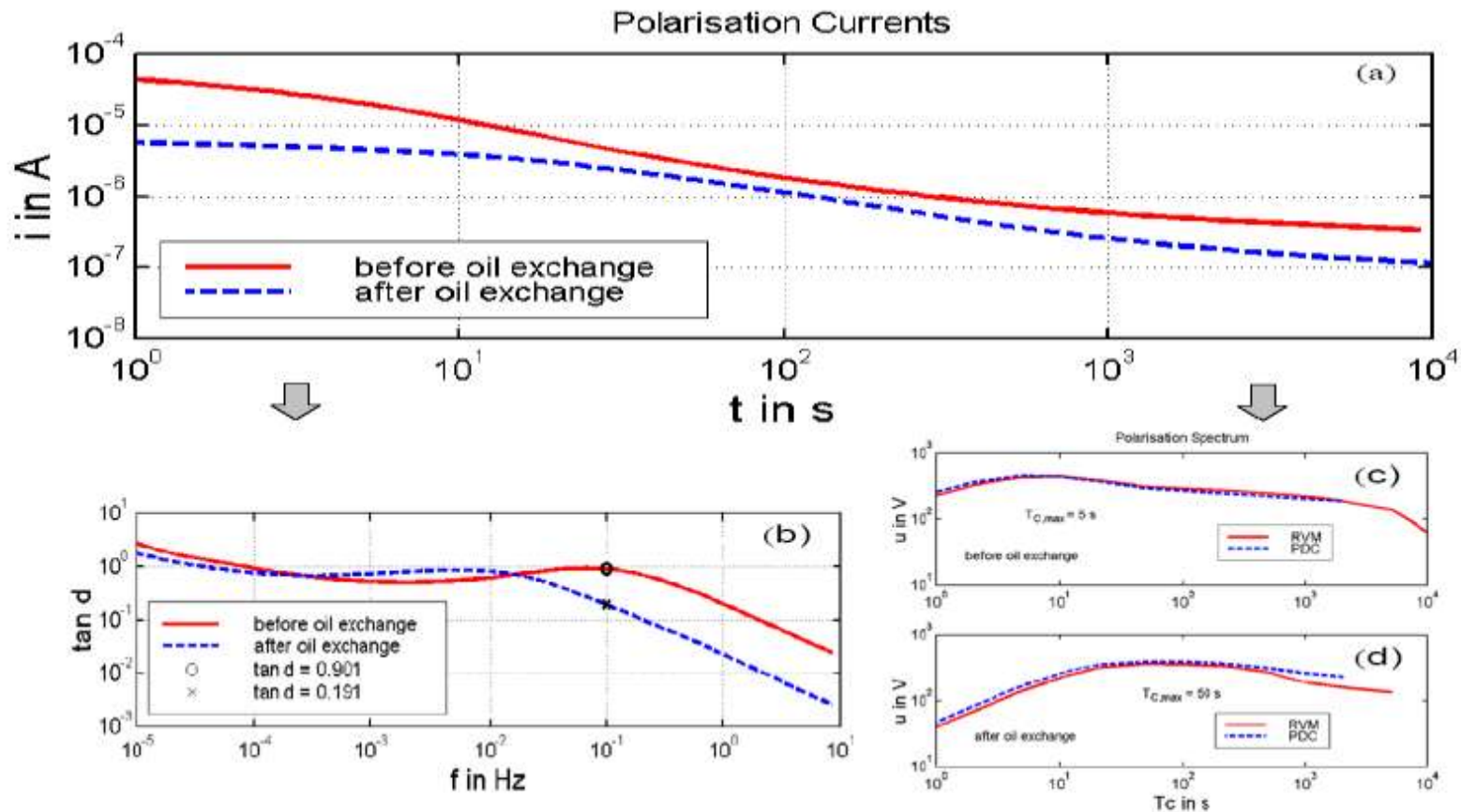
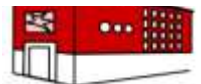


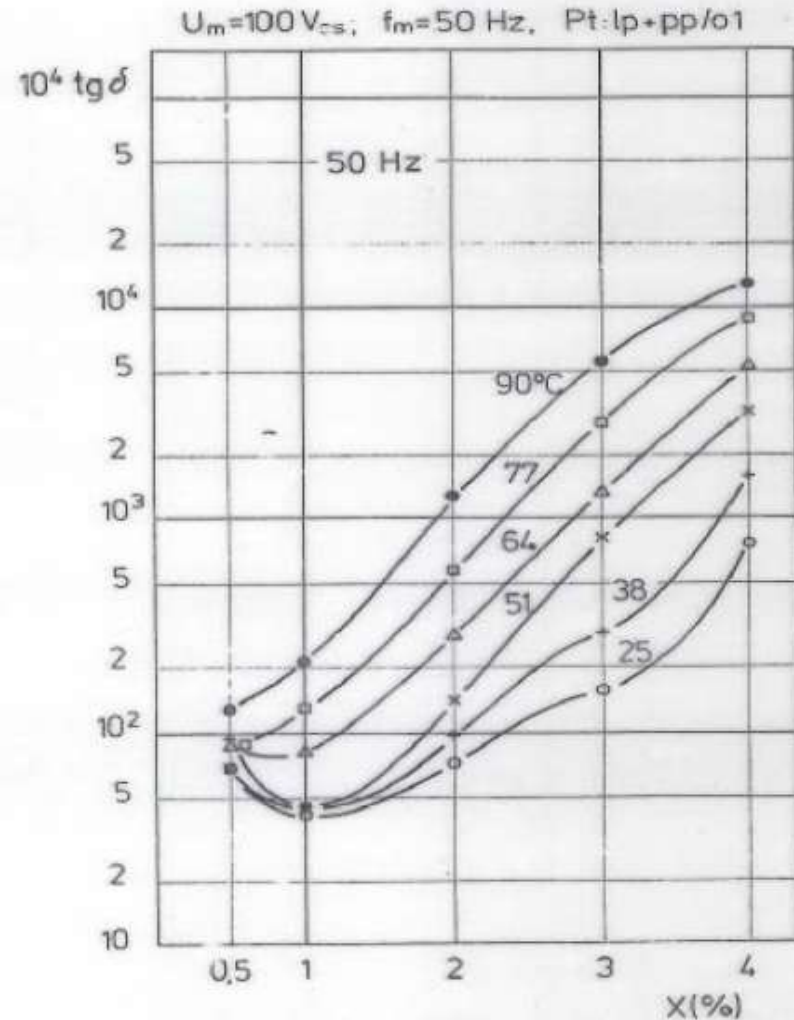
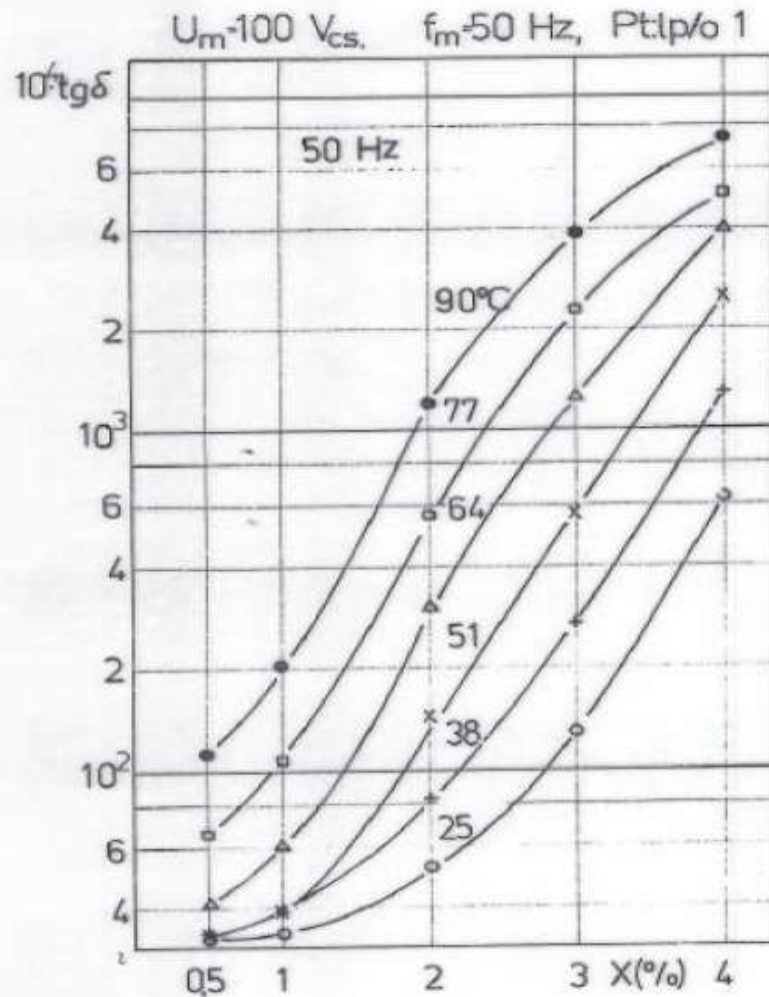
Figure 21: Polarisation currents measured between HV and LV windings in 300 MVA transformer before and after oil exchange (a) with calculated $\tan \delta$ spectrum in frequency domain (b); RVM polarisation spectra before (c) and after (d) oil exchange compared with spectra calculated from PDC results [27].



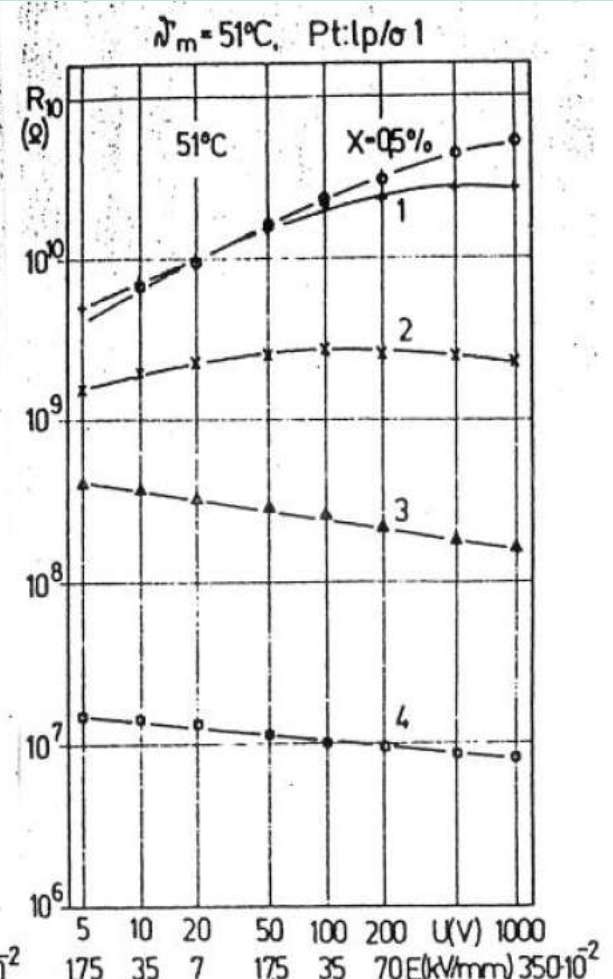
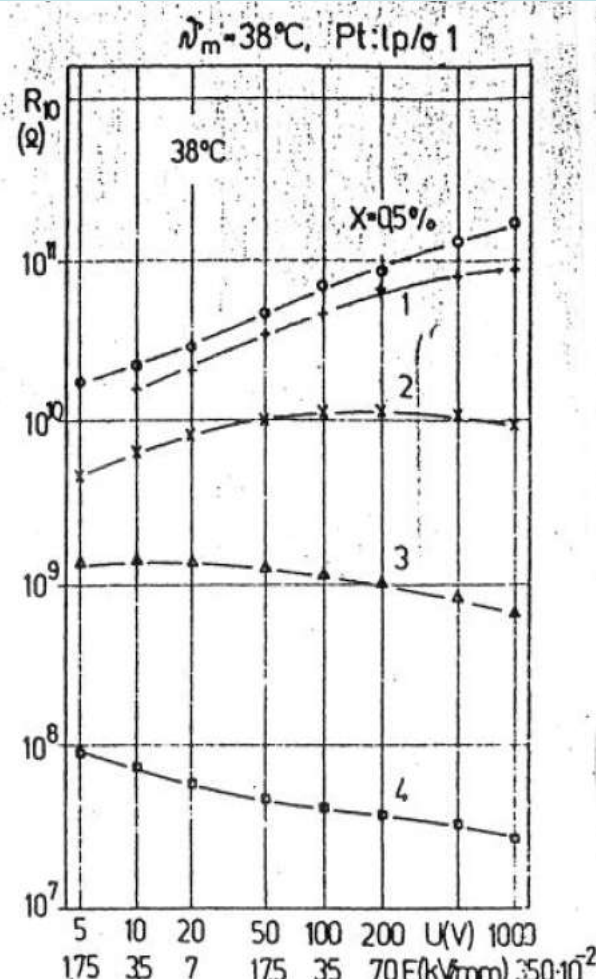
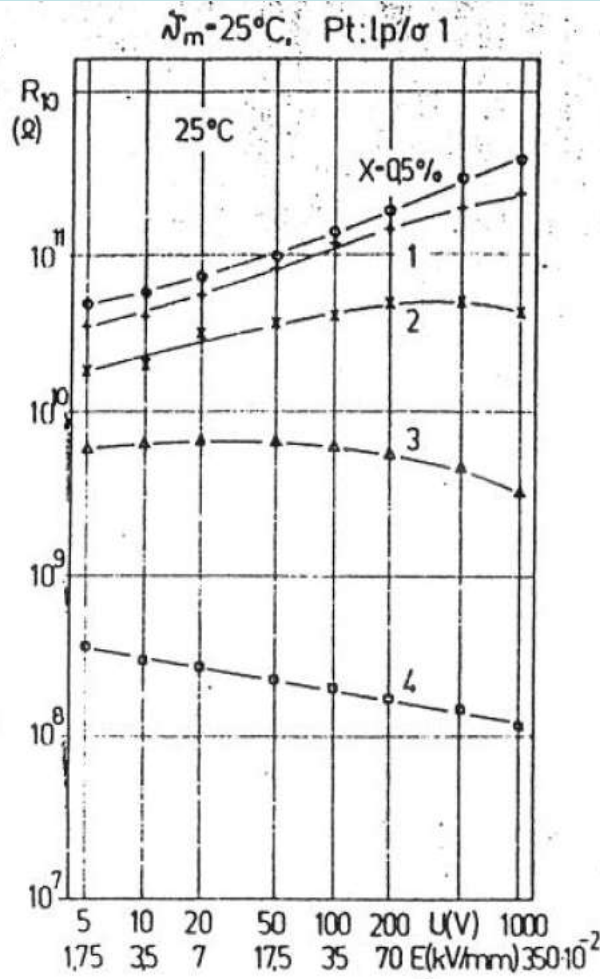
Polarizációs spektrum módszerek



50 Hz-es veszteségi tényező X (%) és $T(^{\circ}\text{C})$ függése



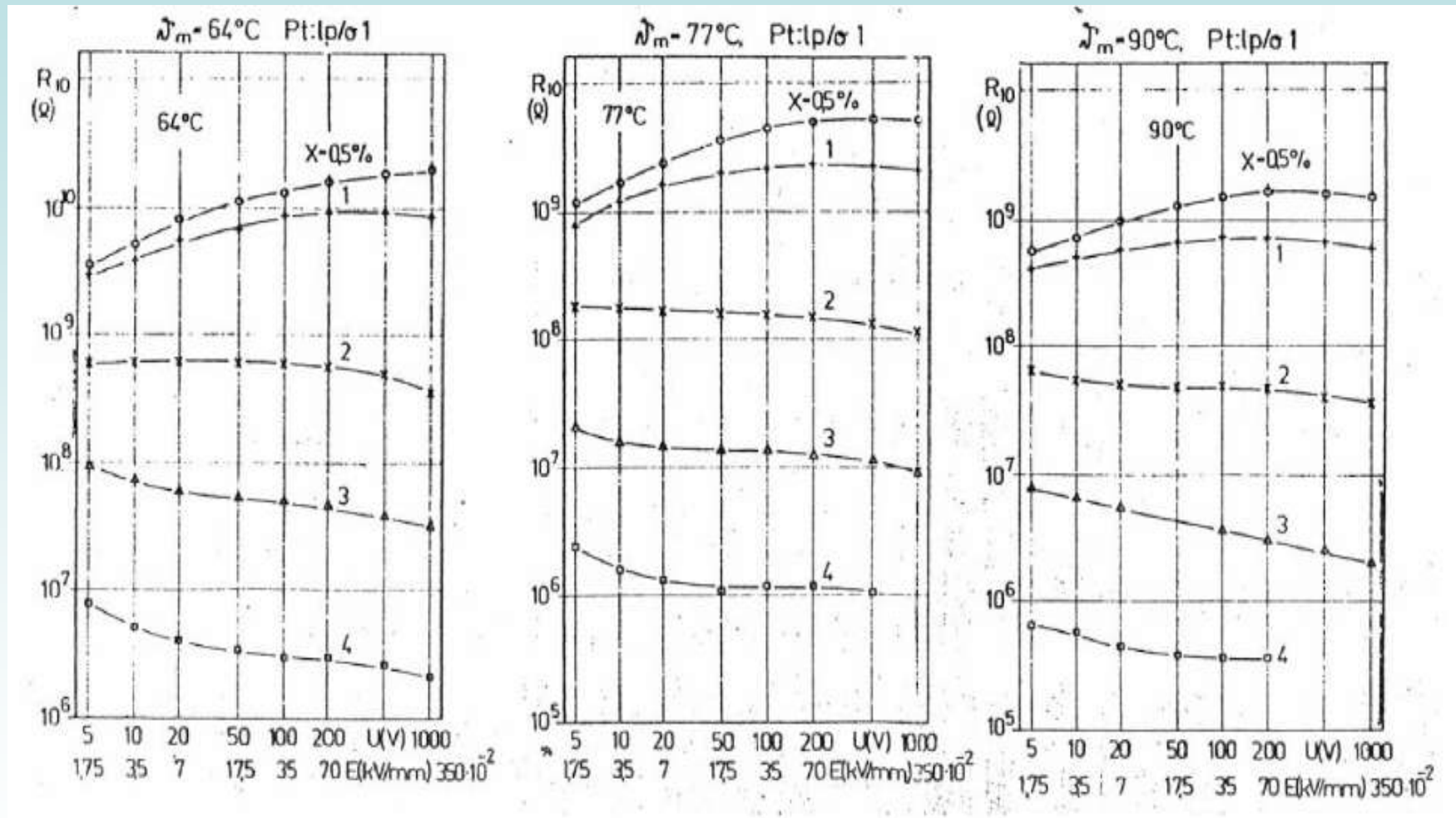
R10, 10 perces szigetelési ellenállás



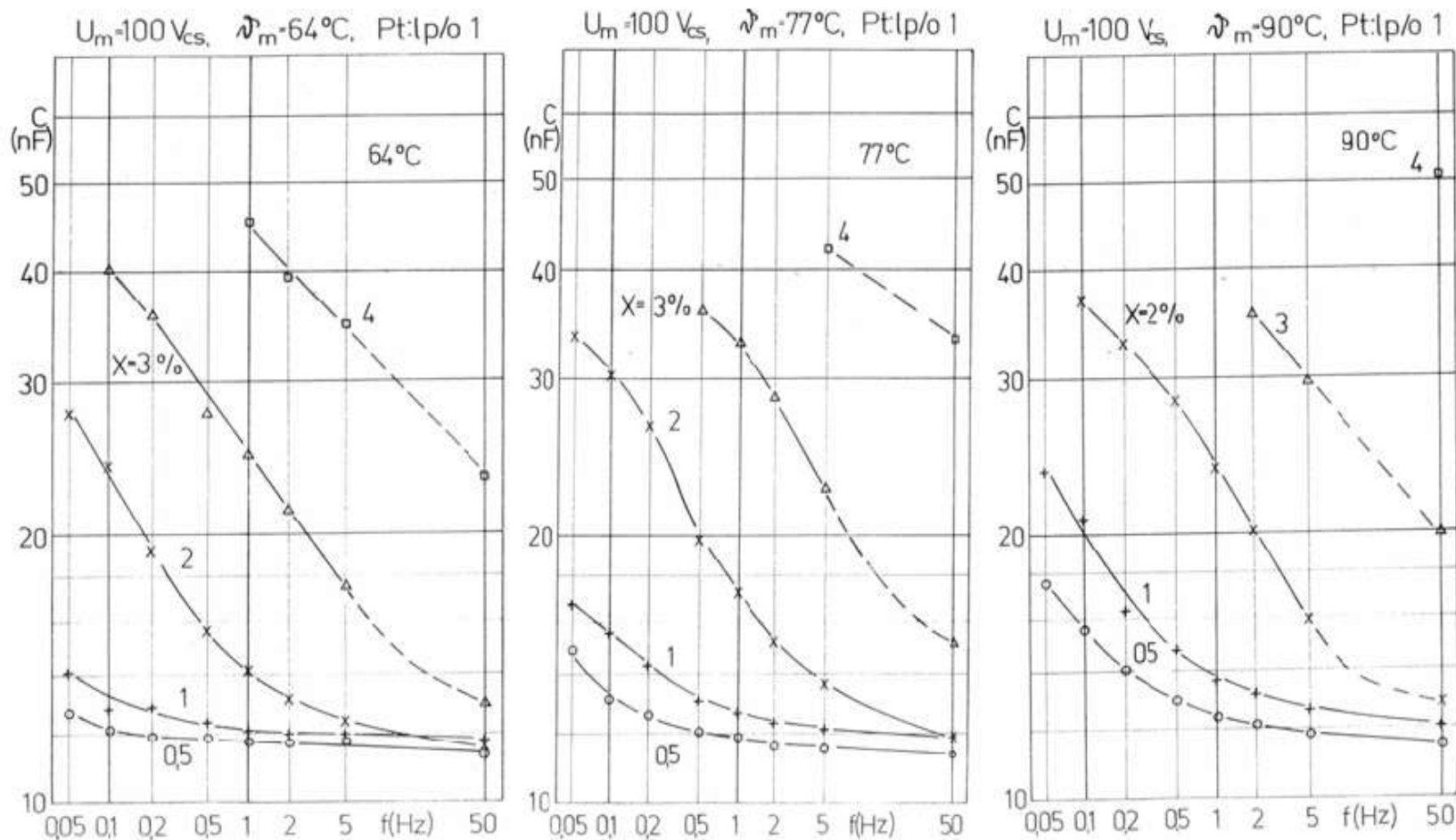
Polarizációs spektrum módszerek



R10, 10 perces szigetelési ellenállás



Veszteségi tényező frekvencia függése



- RVM módszer

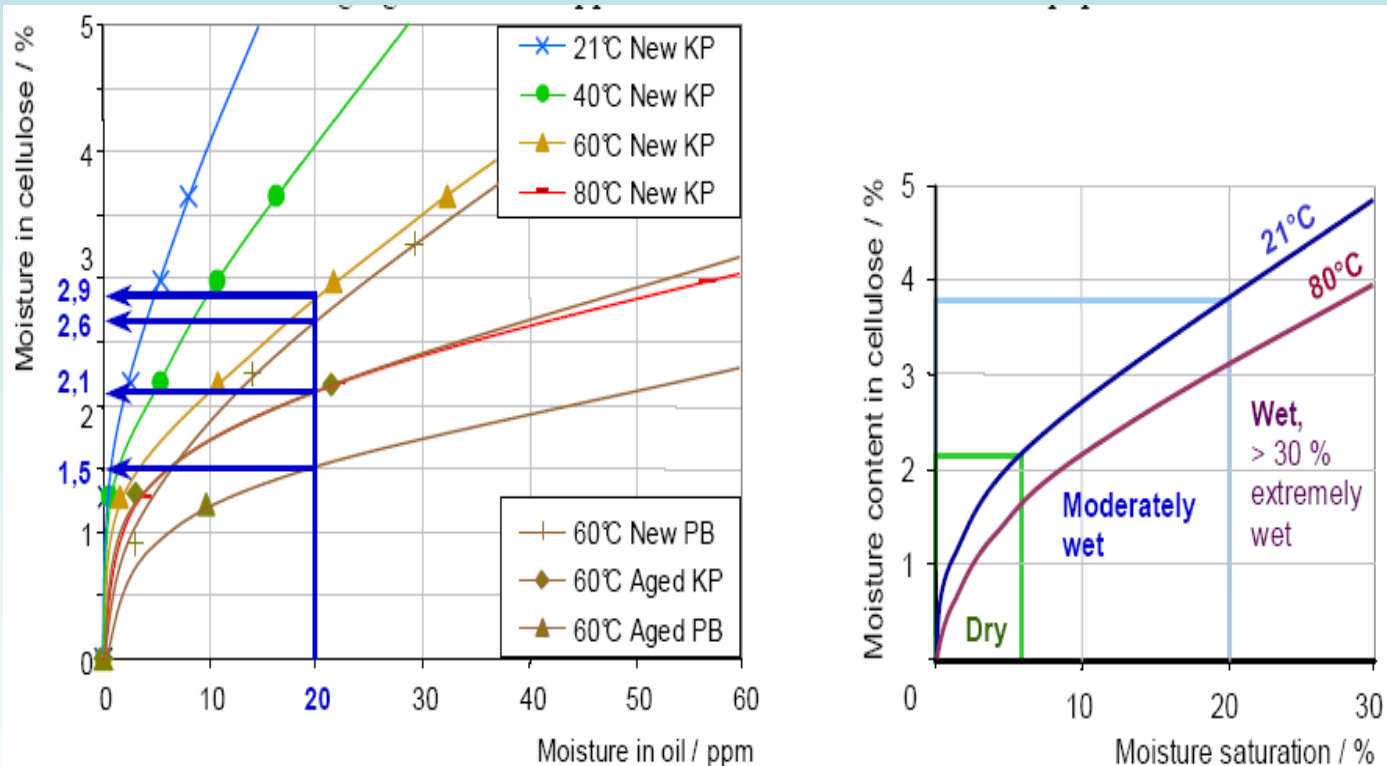


Fig. 2: Left: Equilibrium diagram for moisture in Kraft paper KP and oil with additional graphs for new pressboard PB and thermally degraded Kraft paper and aged pressboard
Right: Equilibrium diagram based on relative saturation in oil with limits of IEC60422

- RVM módszer

- Major issues identified by on-site HV testing:
 - **Damage during transportation to site**
 - **Faulty manufacture**
 - **Poor installation practices**
 - **Poor on-site repair**
 - **Poor storage practices**
 - **Plant ageing mechanisms**

- RVM módszer

SC A2 – Colloquium – 2009
Somerset West, Western Cape, South Africa
17th - 21st August 2009

Key themes

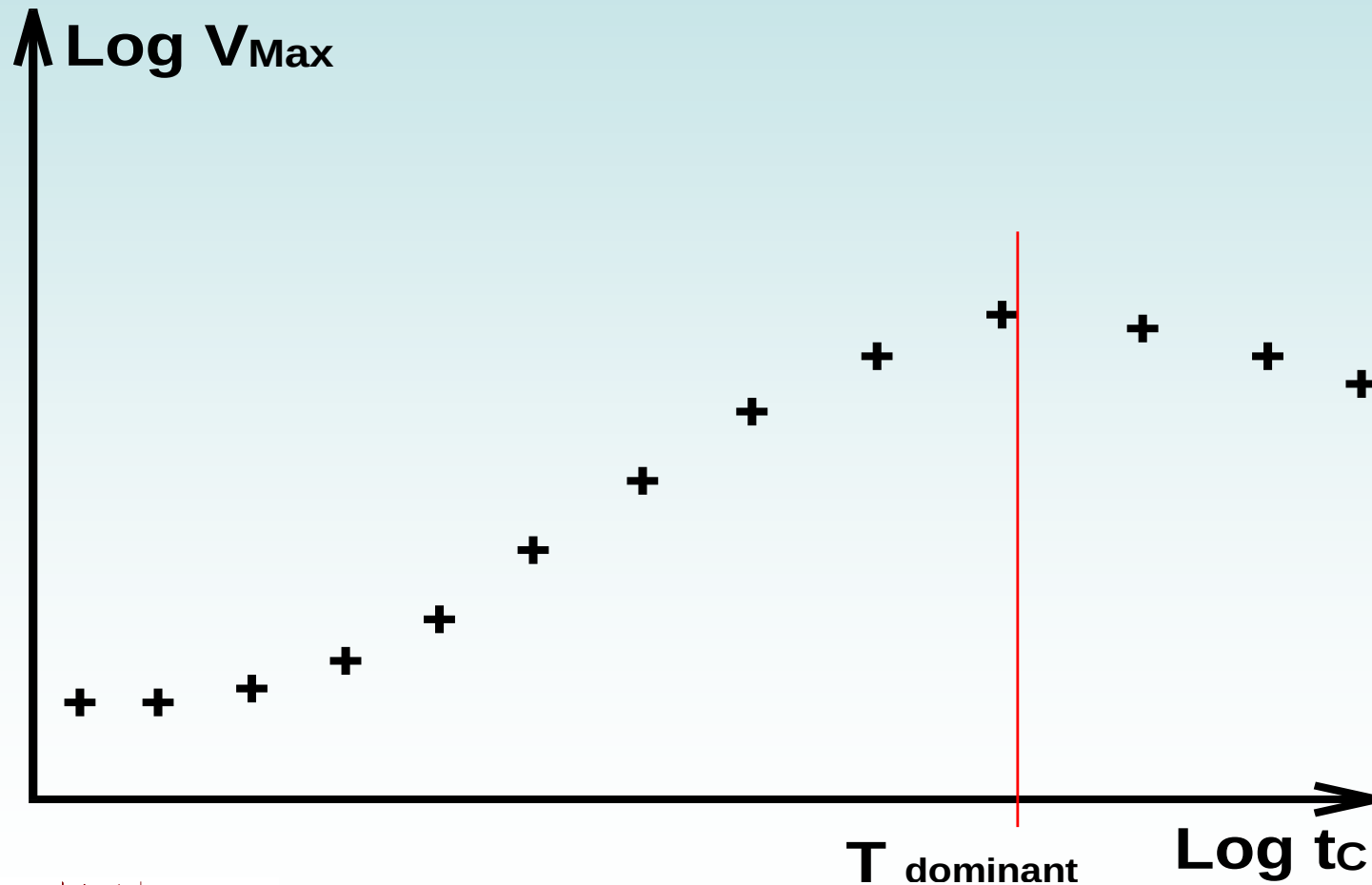
End of Life Asset Management

- *Strategies for reinvestment*
- *Residual life assessment*
- *Timely & efficient replacement/refurbishment*
- *Spare strategies & equipment re-use*
- *Transportation*

Maintenance of Equipment for Maximized Reliability

- *Different strategies and type of maintenance*
- *Maintenance activities: solutions and benefits*
- *Condition monitoring and maintenance regimes*
- *Low/easy maintenance equipment*

Sorozatos visszatérő feszültségmérés $t_c/t_d=2$
Vízszintes tengelyen $t_c \sim T_{\text{domináns időállandó}}$



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer



Polarizációs spektrum módszerek



- RVM módszer

