



diagnostics



RVM diagnosztikai eredményeinek kiértékelése, esettanulmányok

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft.
Kispál István, Diagnostics Kft.
Németh Bálint, BME



Tartalomjegyzék

- 1. A trafó olaj-papír szigetelések romlása**
- 2. Röviden a polarizációs spektrum mérésekről:
RVM, FDS, PDC**
- 3. RVM spektrumok kiértékelése**
- 4. RVM kiértékelő Szakértői Rendszer: RVM-ES**
- 5. RVM diagnosztikai használhatósága,
esettanulmányok**
- 6. Konklúziók**



Trafó olaj-papír szigetelések romlása

- Nagyfeszültségű trafók szigetelése még mindig a rendkívül összetett olajjal impregnált papír.
- A trafó élettartama egyenlő a papírszigetelés élettartamával, ezért vizsgálnunk kell, hogy mi **okozza a papír romlását**.
- Az általánosan használt Kraft trafó **szigetelőpapír romlása** főleg az alábbi paraméterektől függ: **hőmérséklet, nedvesség, sav- és adaléktartalom, üledék (öregedési termékeke), oxigéntartalom**, stb.
- Cél** az 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.



Spektrum módszerek kidolgozás

- 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 szinte **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.
- Prof. Csernátorny-Hoffer András – BME kutatása.**



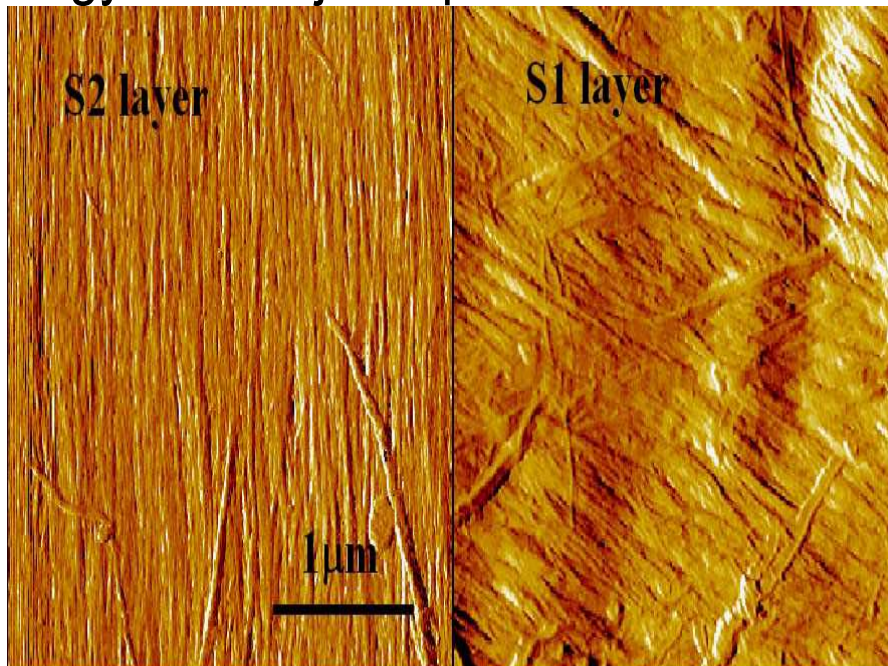
Olaj-papír szigetelés romlása

- Az olaj romlására hatással van: hőmérséklet, nedvességtartalom, öregedési termékek, stb.
- Az olaj magas öregedési termékei (sav, víz, stb.) drasztikusan csökkenti a papíros élettartamát, ezáltal a trafó élettartamát.
- Papír öregedés:** papír (cellulóza) élettartam=trafó élettartam.
- A cellulóza lényegében hosszú, glükóz gyűrűkből álló molekula,
- A cellulóza állapotát az un. Polimerizációs fokkal (**DP= Degree of Polymerisation**) jellemzünk.
- **DP=glükóz gyűrűk átlagos száma.**
- Új papírnál **DP=1200**, teljesen leromlott papírosnál **DP=200**.
- A **DP csökkenéssel** gyorsan **csökken a papír mechanikai szilárdsága.**
- Szerves szigetelés: legnagyobb probléma **az elnedvesedés és öregedés.**



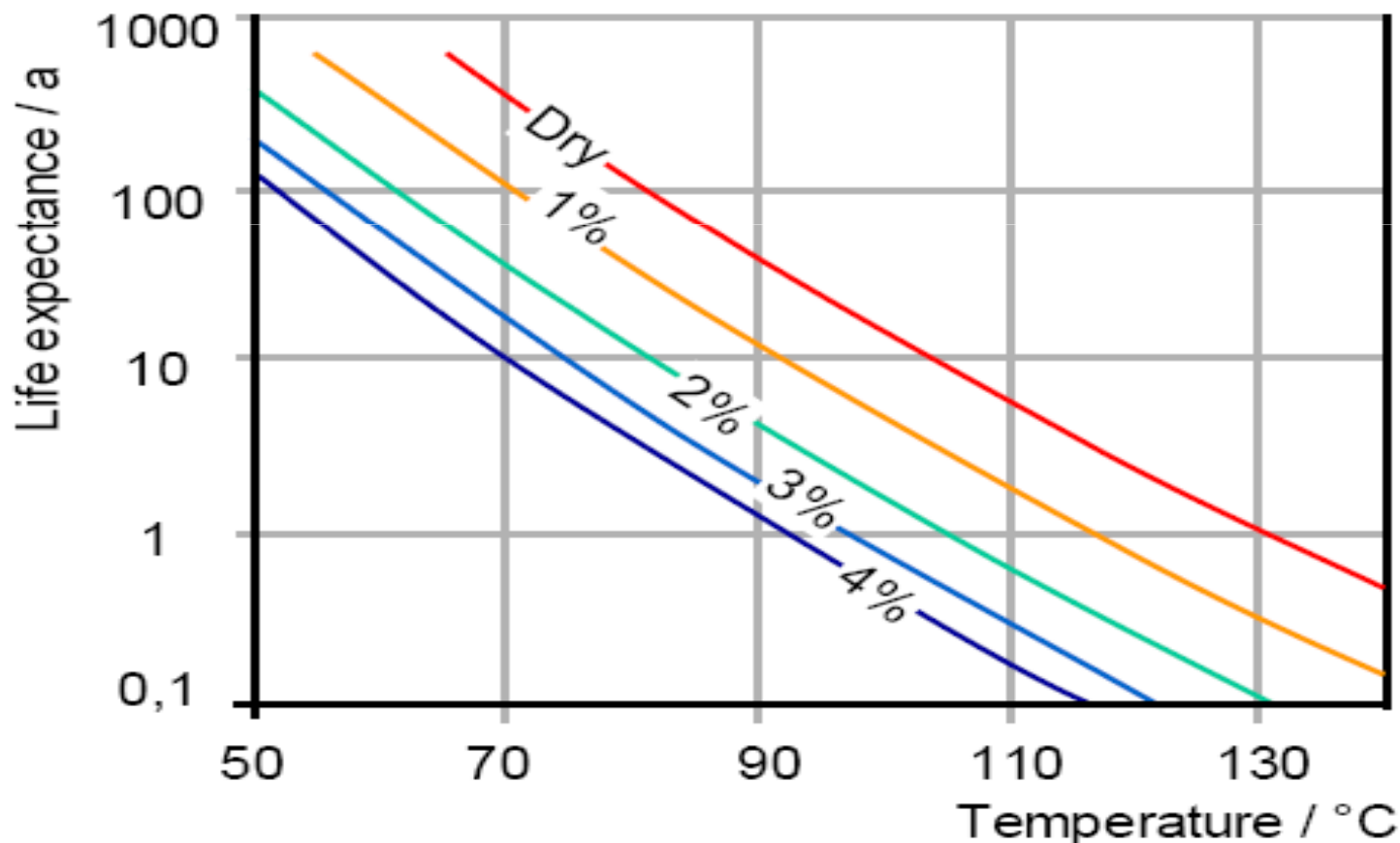
Olaj-papír szigetelés romlása

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.





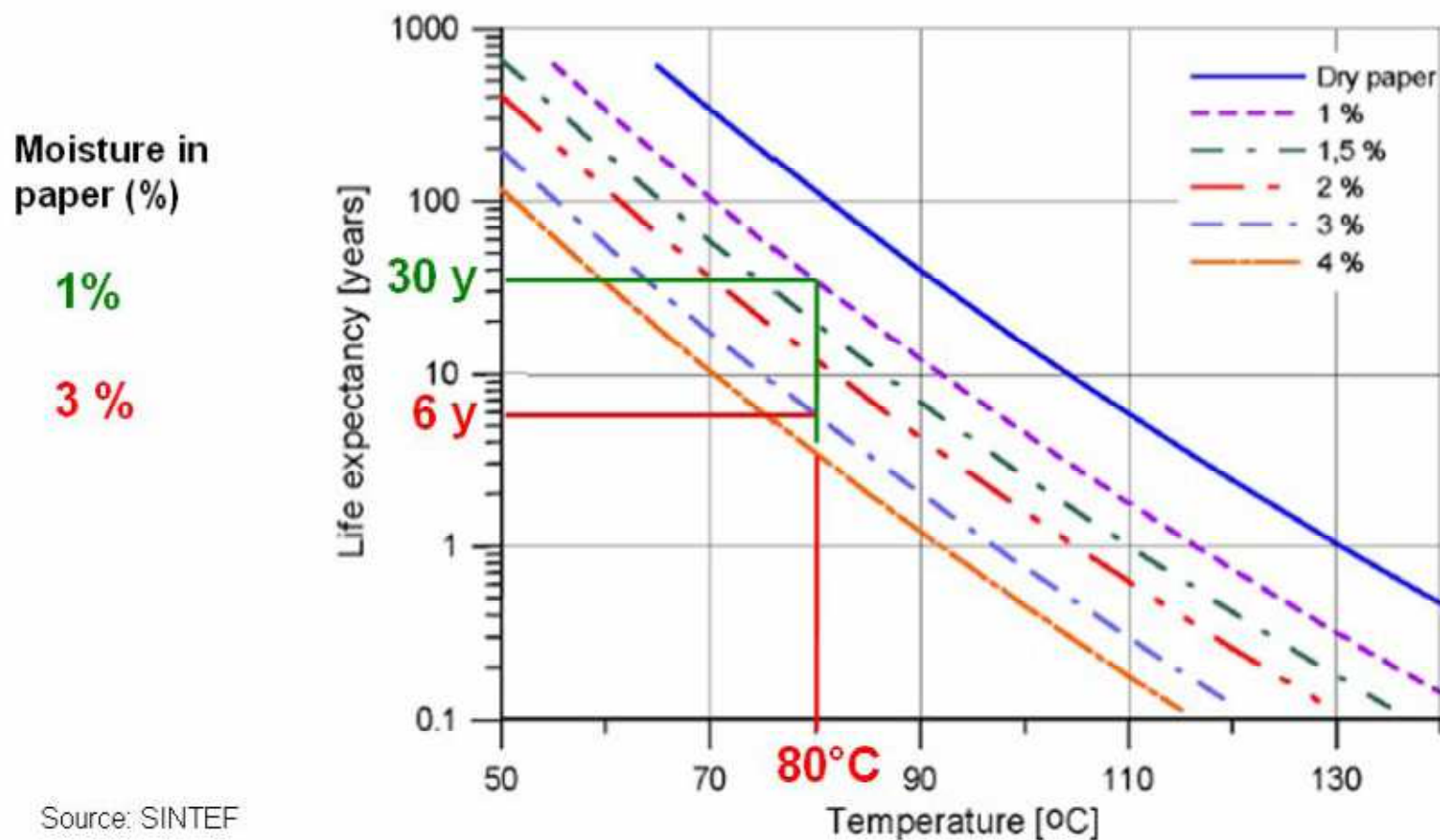
Olaj-papír szigetelés: Nedvesség hatása: nincs szabvány, szabvány hiányában jelenleg csak tanulmányok, útmutatók állnak rendelkezésre. A technikailag száraz transzformátor élettartama nedvesség növekedésre úgy változik, mintha növeltük volna a hőmérsékletet.





Olaj-papír szigetelés: Nedvesség hatása: nincs szabvány

80°C-on üzemeltetve a transzformátort **1% papír nedvességtartalom** esetén a várható élettartam kb. **30 év**, ha a nedvességtartalom **3%**, várható élettartam kb. **6 év**





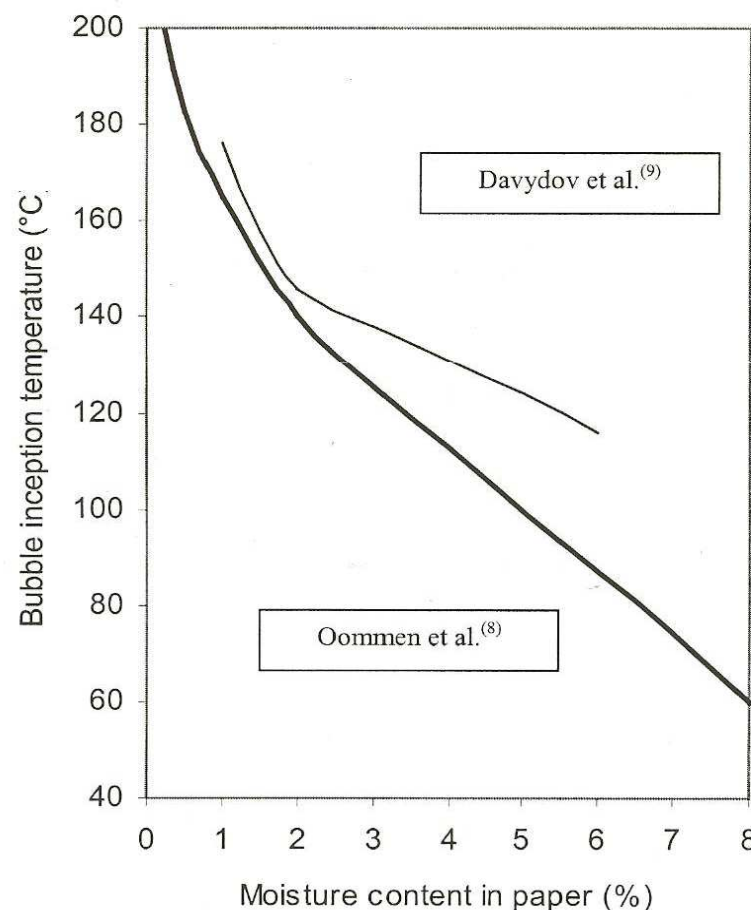
Nedvesség és öregedés hatása a buborékképződésre

A térerő, nedvesség és öregedési termékek hatására buborékok, majd részleges kisülések keletkeznek az olajban.

- Üzemi, vagy túlterhelési hőmérsékletek mellett, nagyobb **papír nedvesség tartalom** ill. magasabb olaj **öregedési termék felhalmozódás** esetén a buborékképződés már **10 kV/cm** térerősség mellett megindulhat.

- Ezek hatására pedig **részkisülések léphetnek fel**, olyan geometriájú helyeken is, ahol a buborékok nélkül ez nem volna várható.

-Az egyszer megindult **részkisülés viszont már önfenntartó**, kialakása rendszerint csak jóval kisebb térerőnél következik be.





Buborékképződés „küszöb hőmérséklete” az olajban

- Ha ismert a **papír nedvességtartalma**, abból pedig **becsülhető** az olaj buborék képződésének kezdeti hőmérsékletét.
- A papír **nedvességtartalma** vagy az olaj nedvességtartalmából számolható (egyensúlyi görbék), vagy pedig rendelkezésre állhat az **RVM** is.
- A buborékképződés kezdeti hőmérsékletének számítására **több görbesereg** áll rendelkezésre,
- Ha összehasonlítjuk a Hot-Spot hőmérsékletet és a buborékképződés mindenkor kezdeti hőmérsékletével, akkor meghatározhatjuk **mekkora „túlterhelési (hot-spot hőmérsékleti) tartalékunk”** van még a rendszerben az adott pillanatban.
- A buborékképződés bonyolult folyamat eredménye, legfontosabb befolyásoló tényezők a **nedvességtartalom** és a hőmérséklet, de függ még az olaj típusától, **öregedésétől** is.



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.

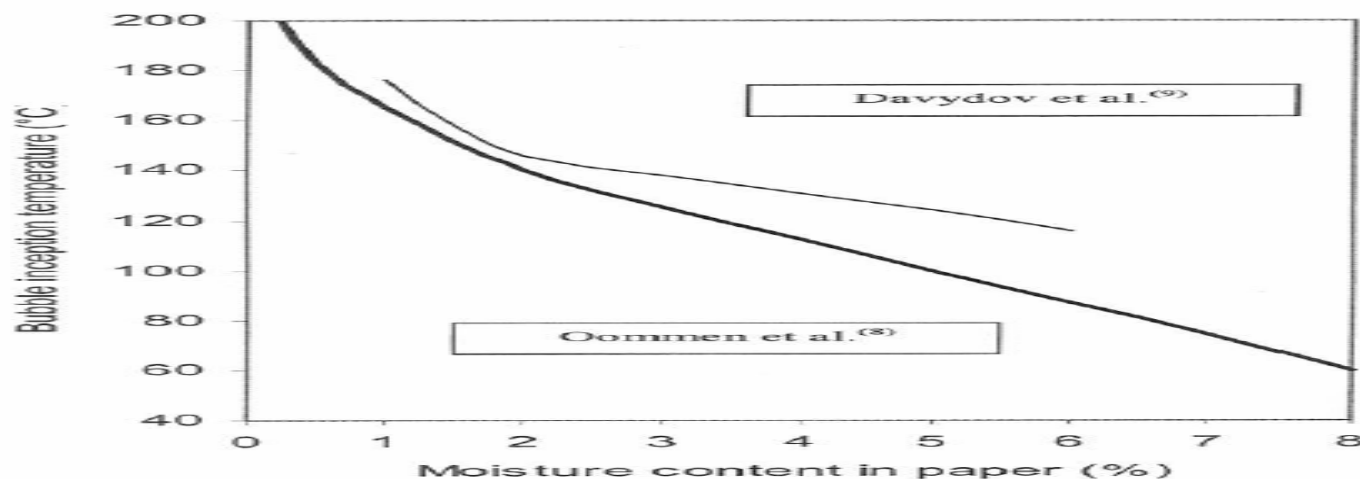
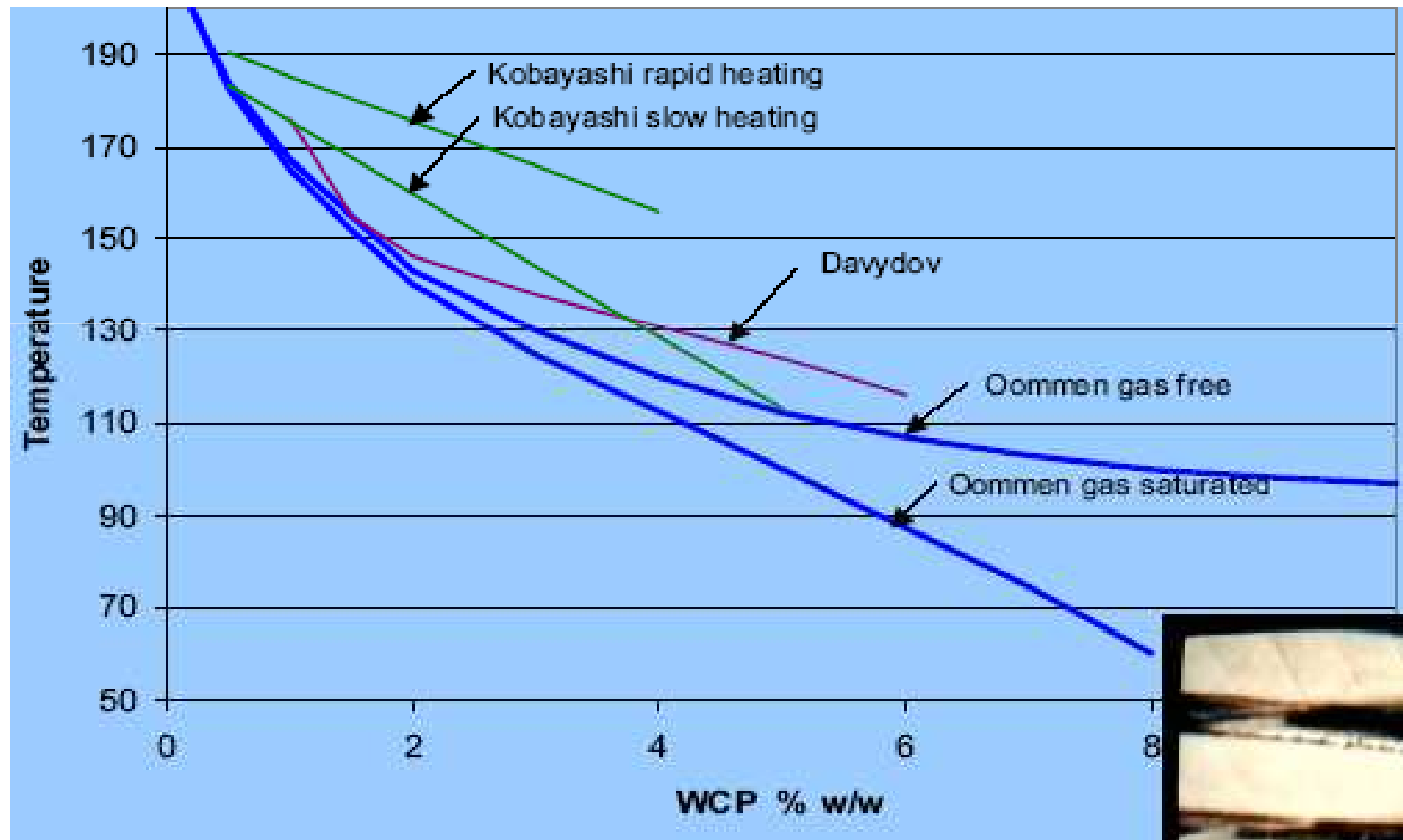


Figure 4 - Critical Temperature for Bubble Evolution



Buborékképződés kritikus hőmérsékletei: Oommen, Davydov és Kobayashi görbék





Buborékképződés

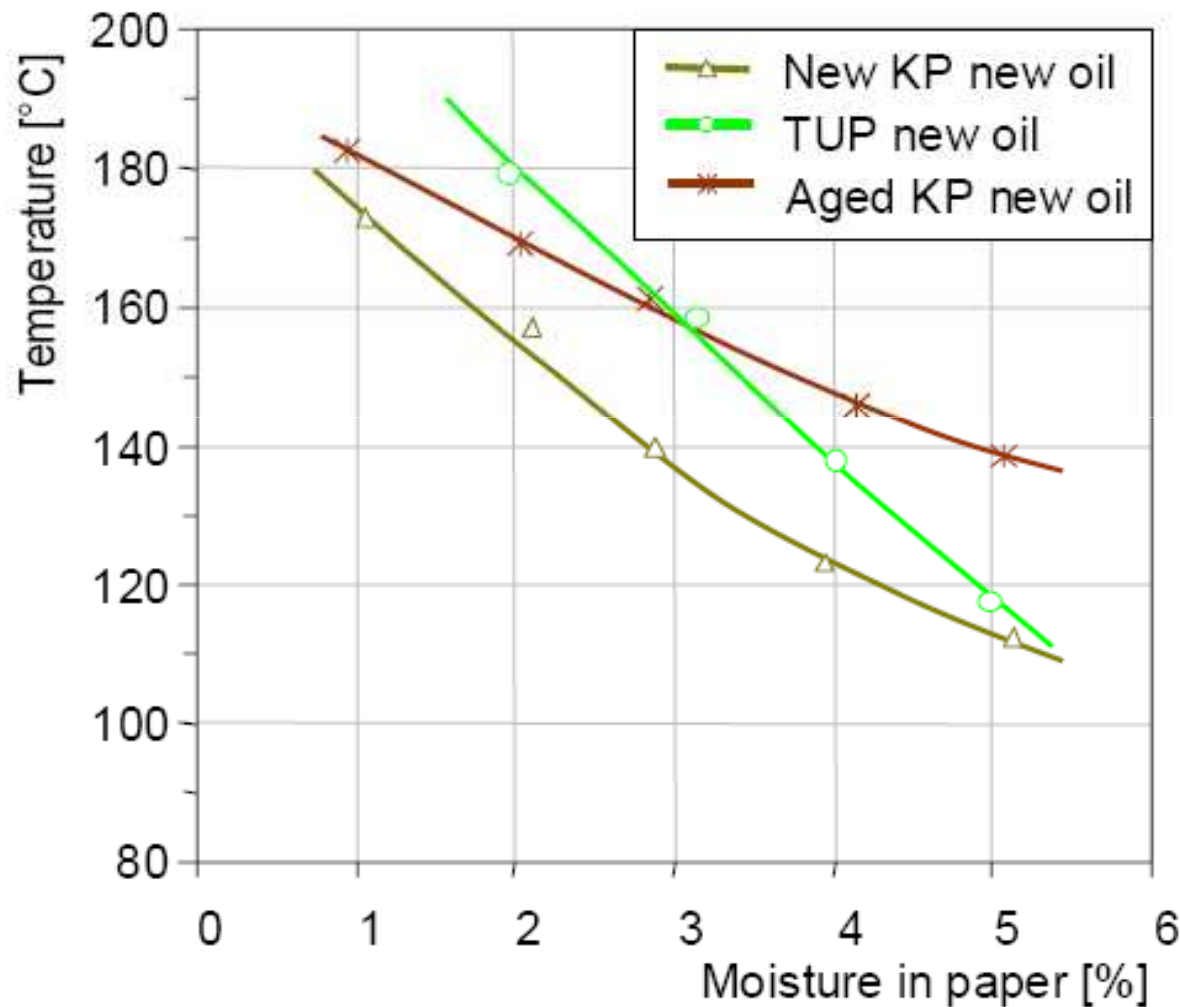
- **PD begyűjtési küszöbhőmérséklet különböző papír nedvességtartalmaknál** Az elnedvesedés, öregedés és a hőmérséklet növekedésére csökken a **buborékképződés küszöbhőmérséklete**, gázok **szabadulnak fel**, **csökken** az átütési szilárdság.
- IEC 354 (Loading Guide for Oil-immersed Transformers) a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

CIGRE tanulmány: buborékképződés küszöbhőmérséklet különböző papír nedvességtartalmaknál

Percent Water in Paper	Bubble Inception Temperature °C
0.5	200
1.4	147
3.1	119-126



Nedvesség és öregedés együttes hatása

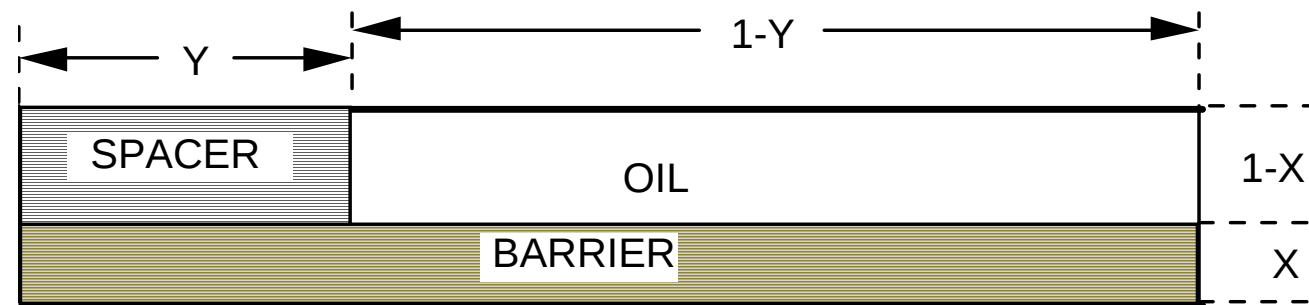
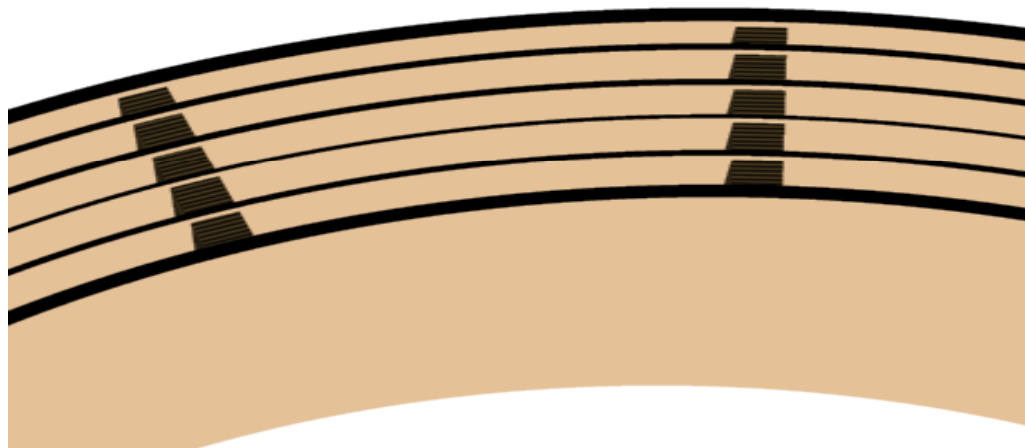


Víz és öregedési termék növekedésével csökken a buborékképződési küszöbhőmérséklet.

Következmény:
rövidebb élettartam,
alacsony hőmérsékleten
hő-megfutás, csökken a
PD begyújtási szint,
alacsonyabb villamos
szilárdság, rövidzárlat.

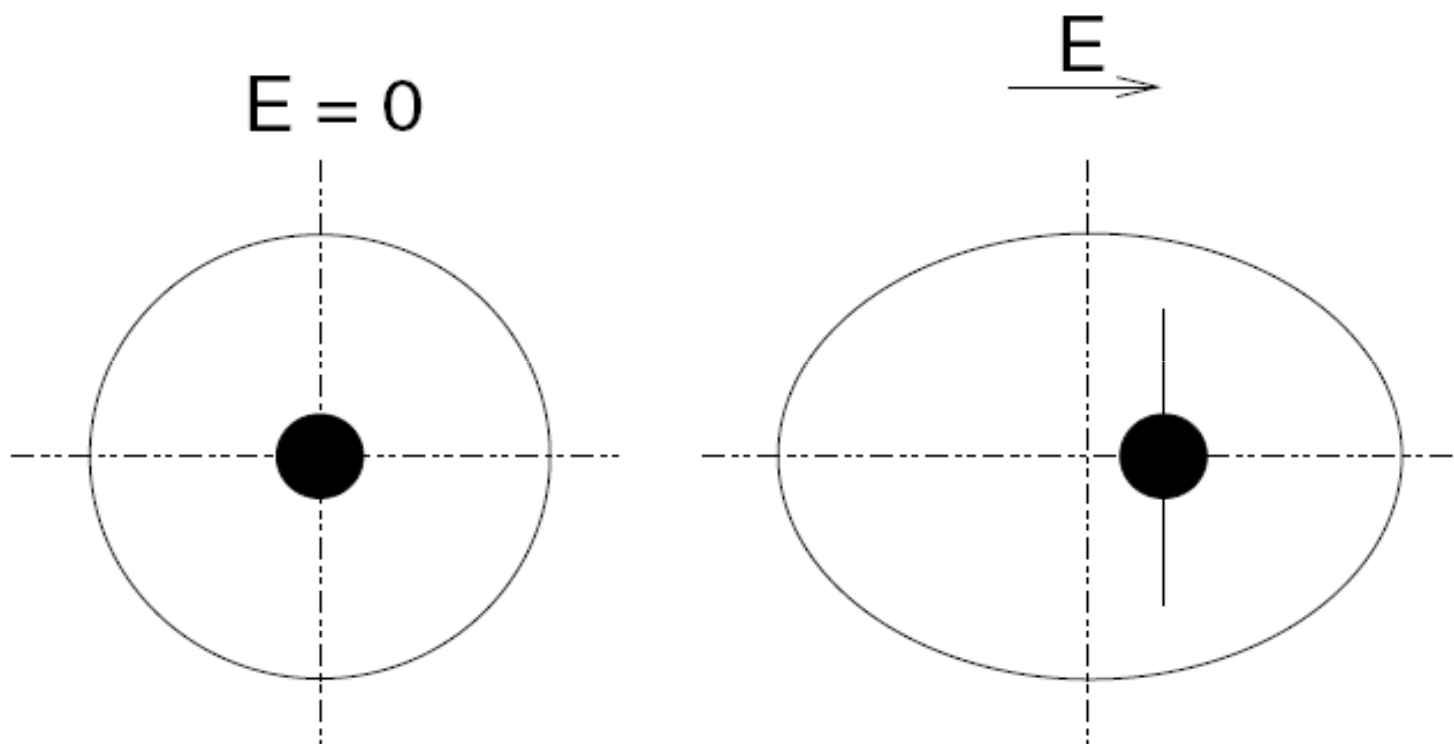


A magtípusú trafóban a főszigetelés számos hengeres héjból áll, amelyek távtartókkal kerülnek elválasztásra, a réz vezeték pedig lágy papíros szigetelésű.



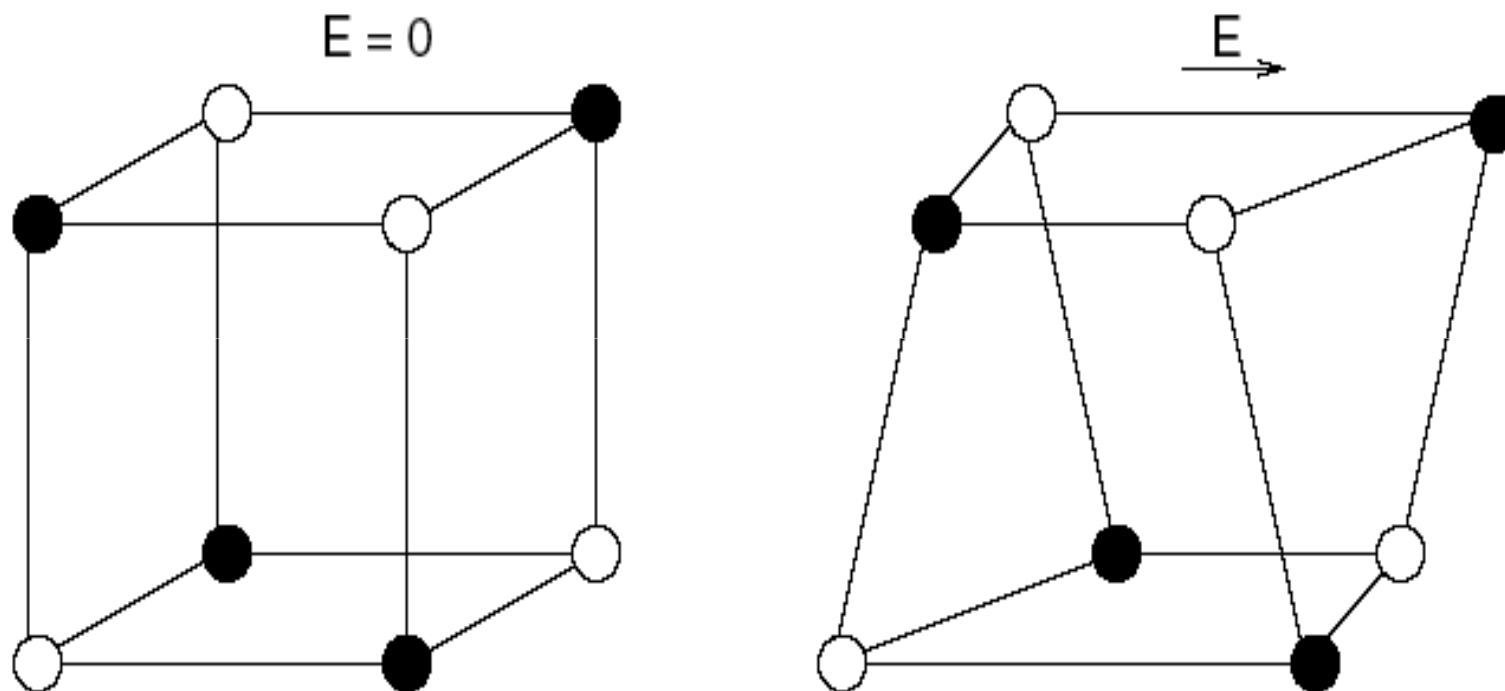


Elektron polarizáció, külső tér hatása



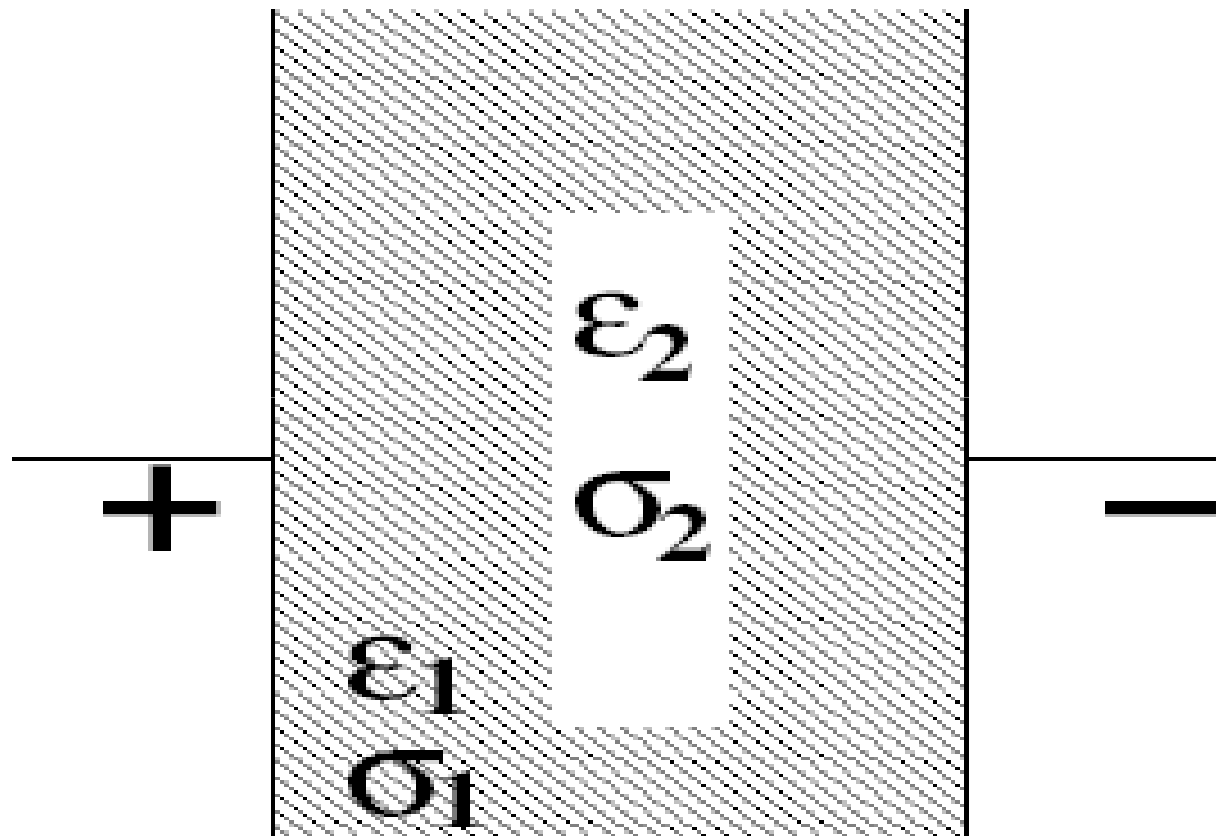


Deformációs polarizáció, külső tér hatása



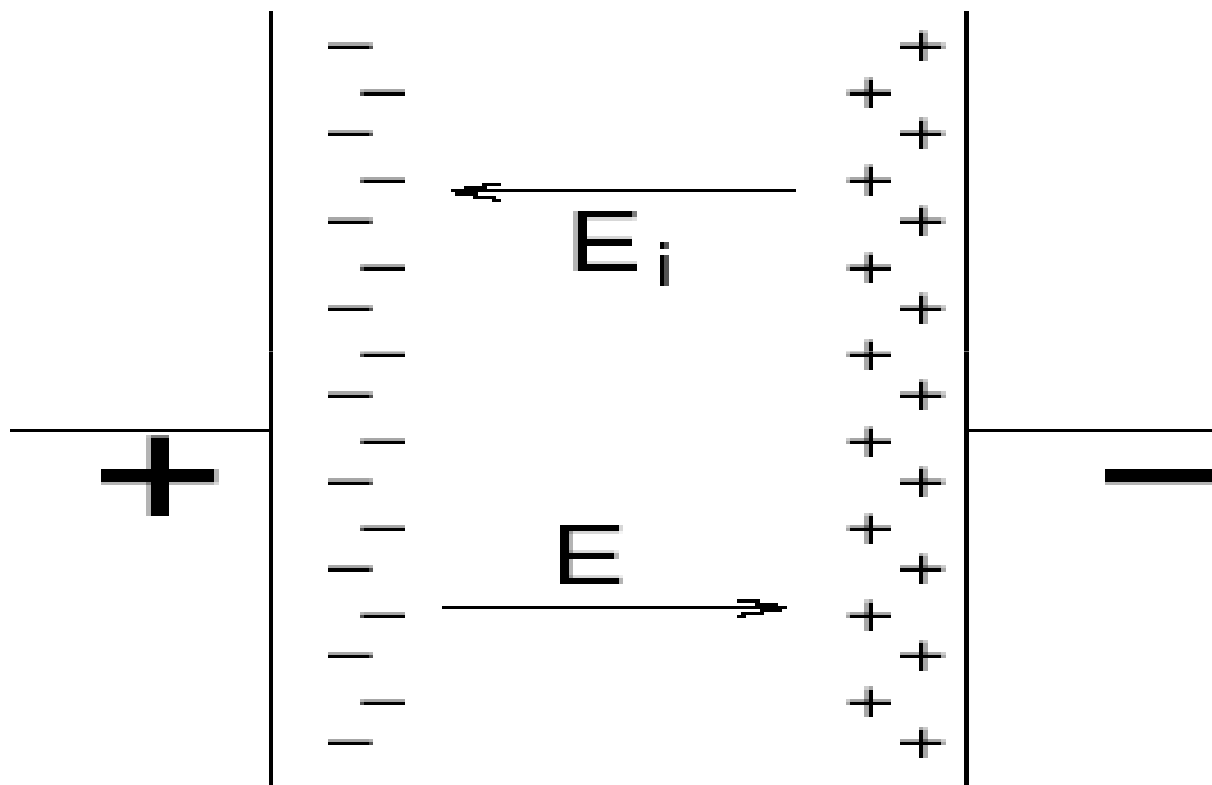


Határréteg polarizáció



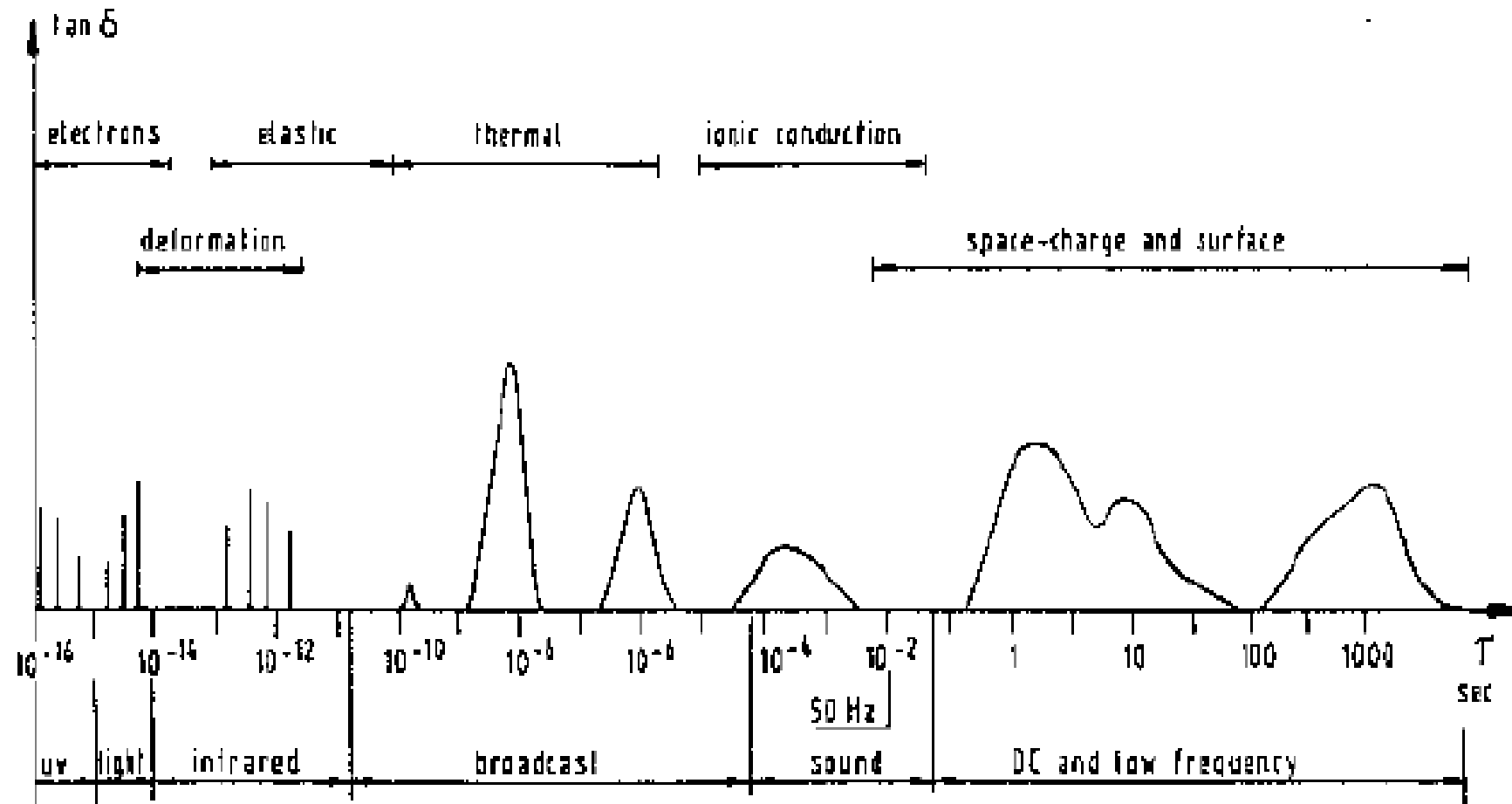


Ionvándorlásos polarizáció



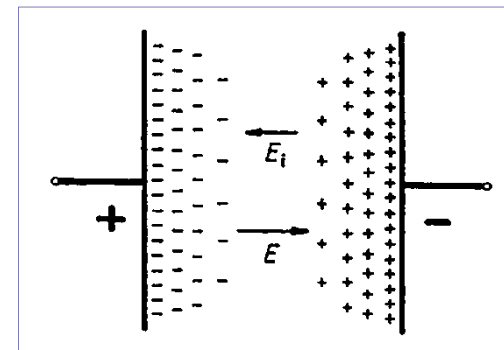
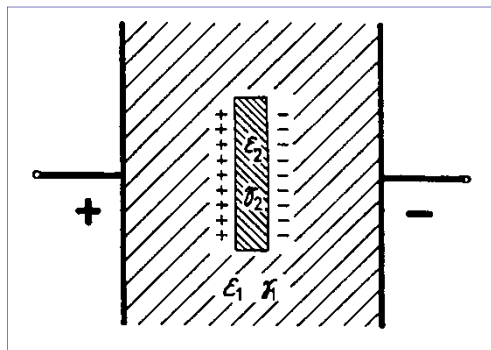


Polarizációs spektrum



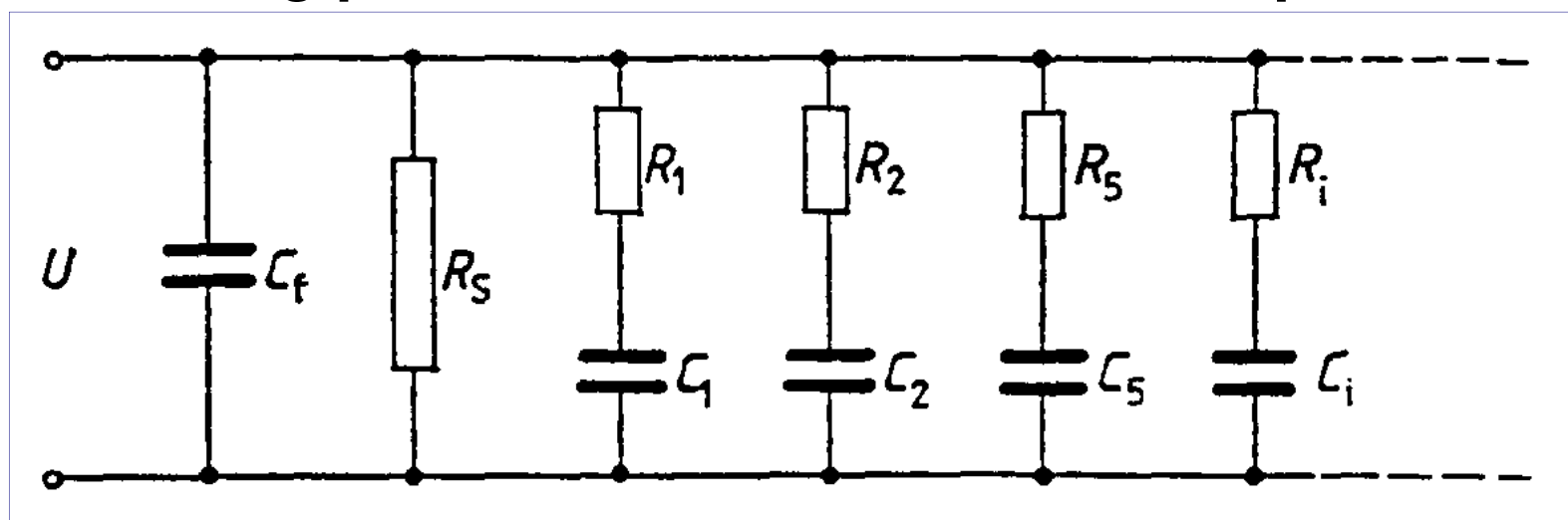


Polarizáció



Határréteg polarizáció

Tértöltéses polarizáció



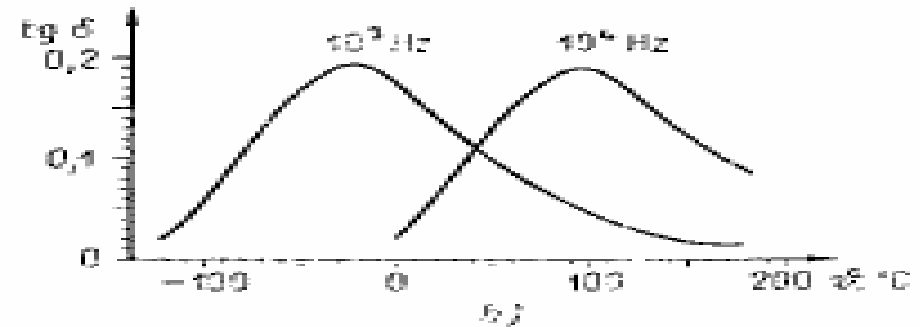
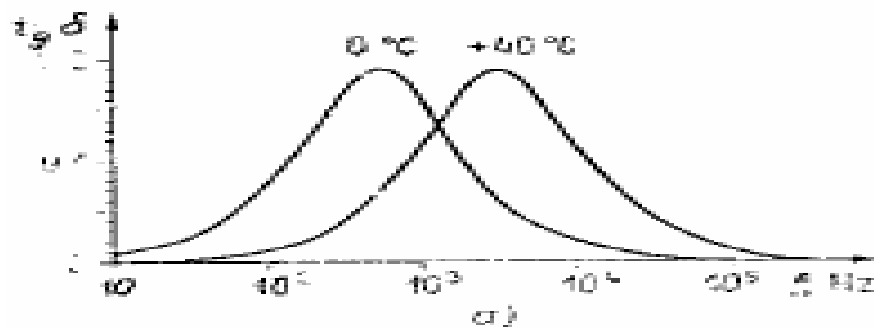
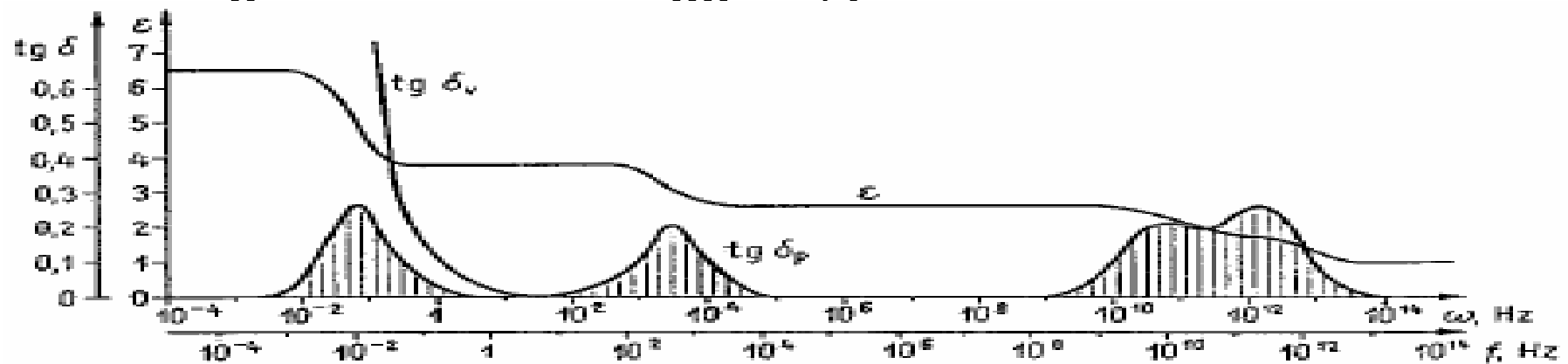
Szigetelési modell helyettesítő ábra több időállandóval



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

$\tan \delta$ frekvencia függése, paraméter hőmérséklet

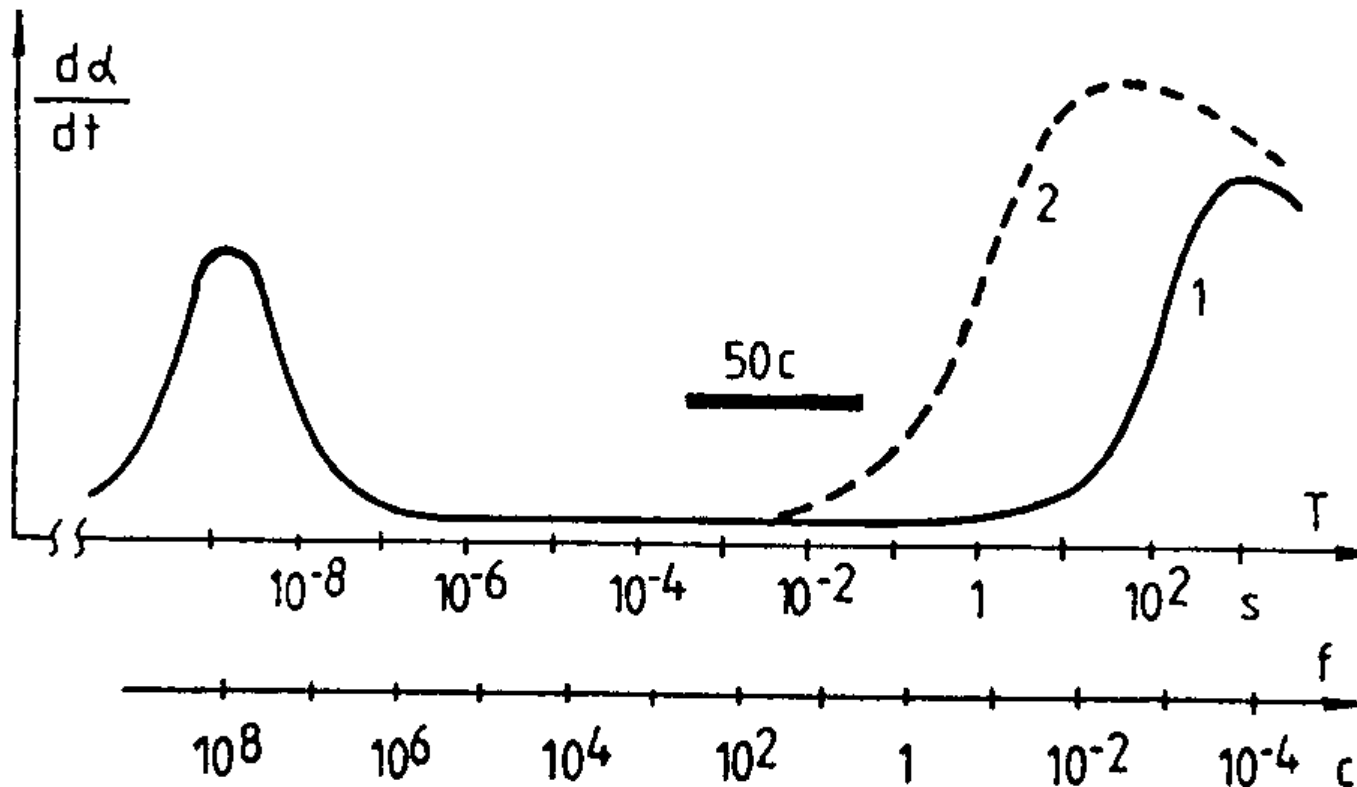
$\tan \delta$ hőmérséklet függése, paraméter frekvencia



A veszteségi tényező függése a frekvenciától és a hőmérséklettől



Olaj-papír szigetelés polarizációs spektruma

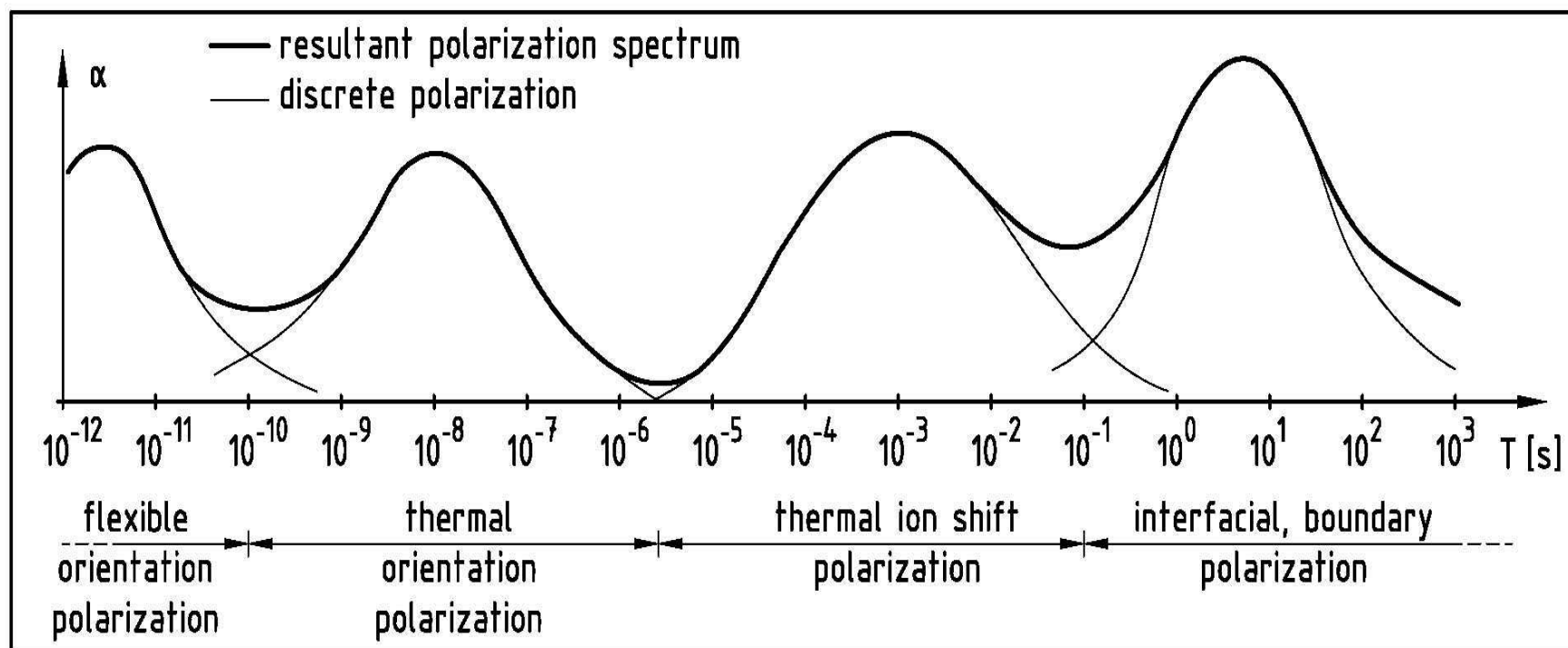


Olaj-papír szigetelés alacsony frekvenciás, vagy nagy időállandós polarizációs spektruma új (1) és öregedett (2) szigetelés esetén.



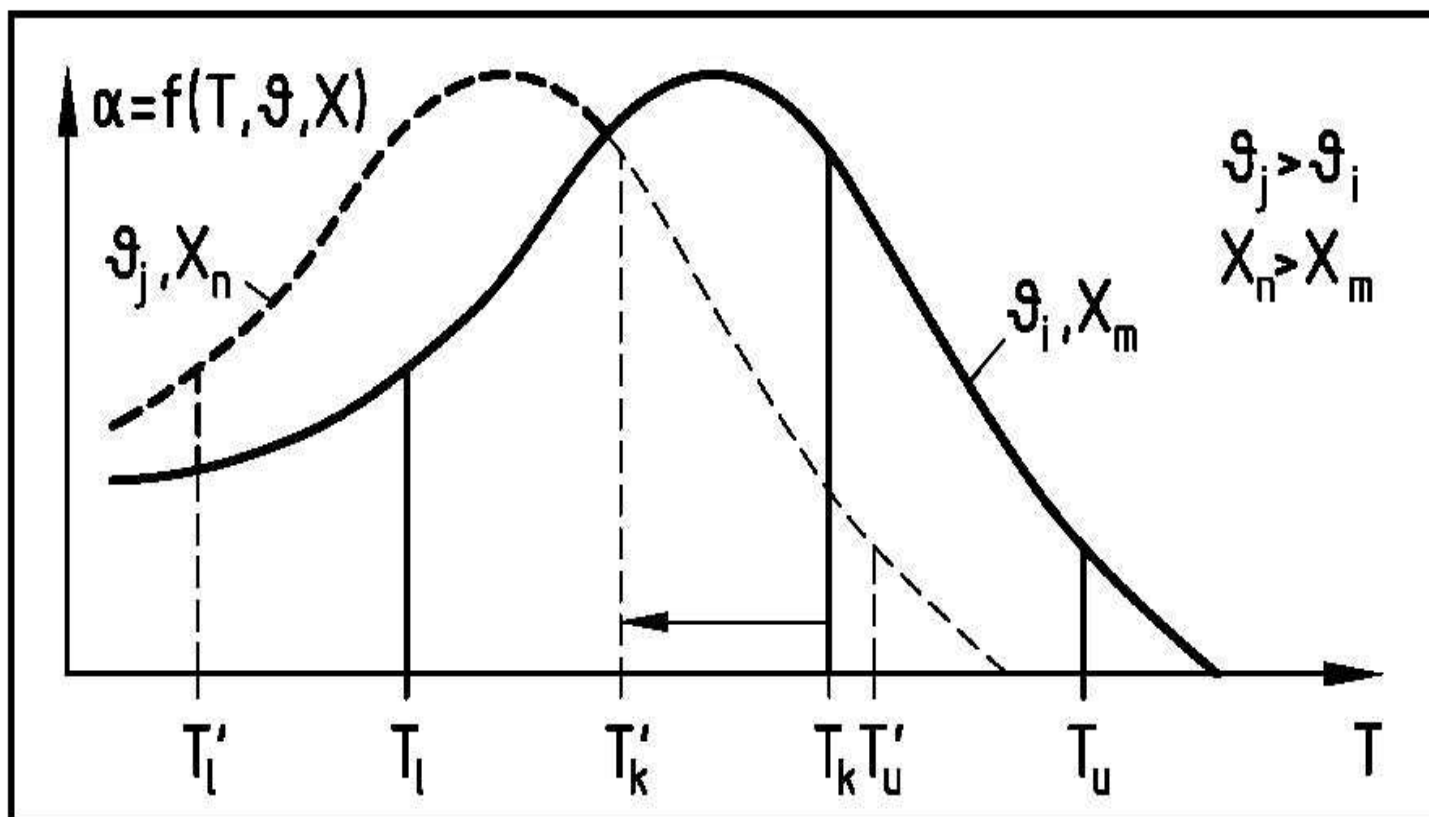
Polarizációs spektrum $\alpha(T)$ sűrűségfüggvénnyel jellemezve

A polarizációs spektrum (PS) egy sűrűségfüggvénnyel jellemezhető: $\alpha(T) = \int (d\alpha/dT)dT$, amely leírja a polarizáció intenzitását az időállandó függvényében.





A polarizáció közelítése az elemi folyamatok spektrumával





Polarizációs spektrum módszerek

**Return Voltage Measurements=RVM (in time domain),
időtartomány mérés**

**Dielectric frequency domain spectroscopy=FDS, $\text{tg}\delta/C$
frekvenciafüggése**

**Polarisation and depolarisation current=PDC, időtartomány
mérés, polarizációs és depolarizációs áram mérése**

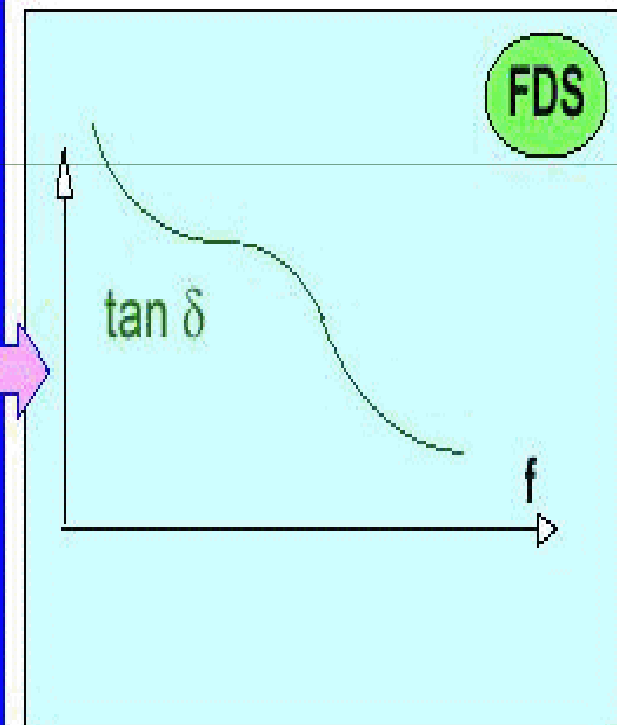
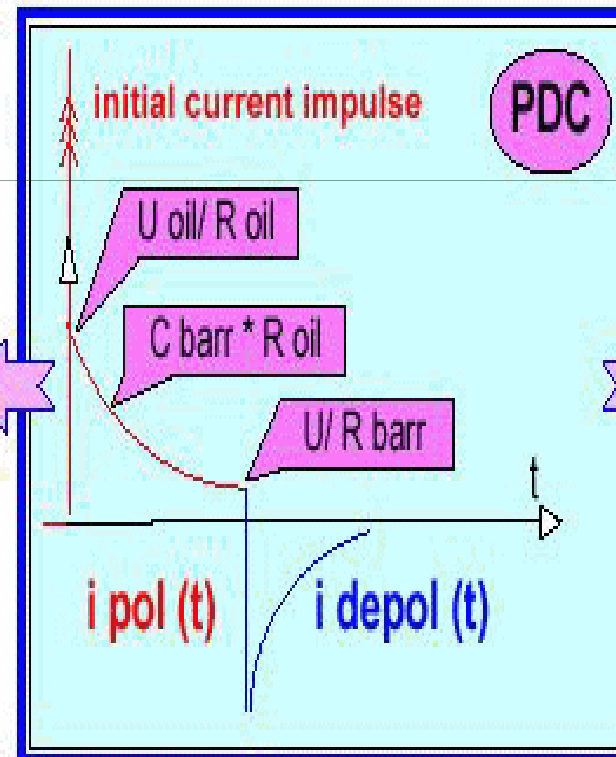
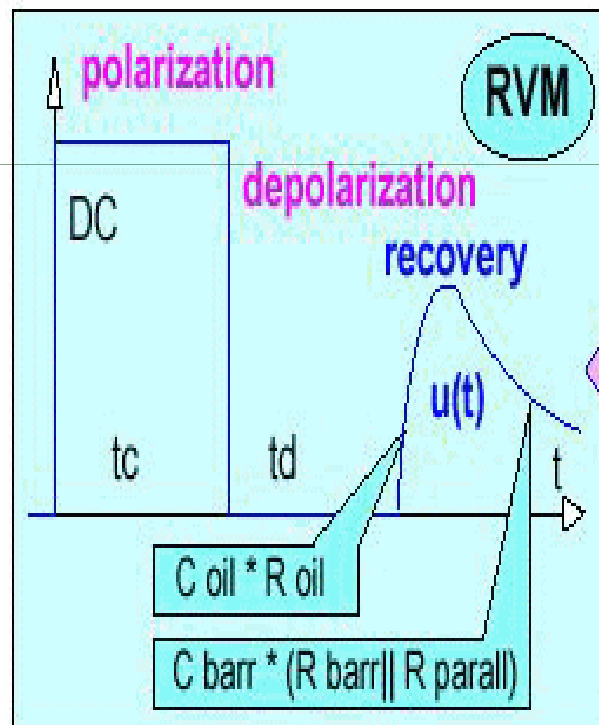
Mindhárom **polarizációs spektrum** módszer, a kiértékelés
polarizációs spektrumon alapszik.



Polarizációs spektrum módszerek

time domain analysis

frequency domain analysis

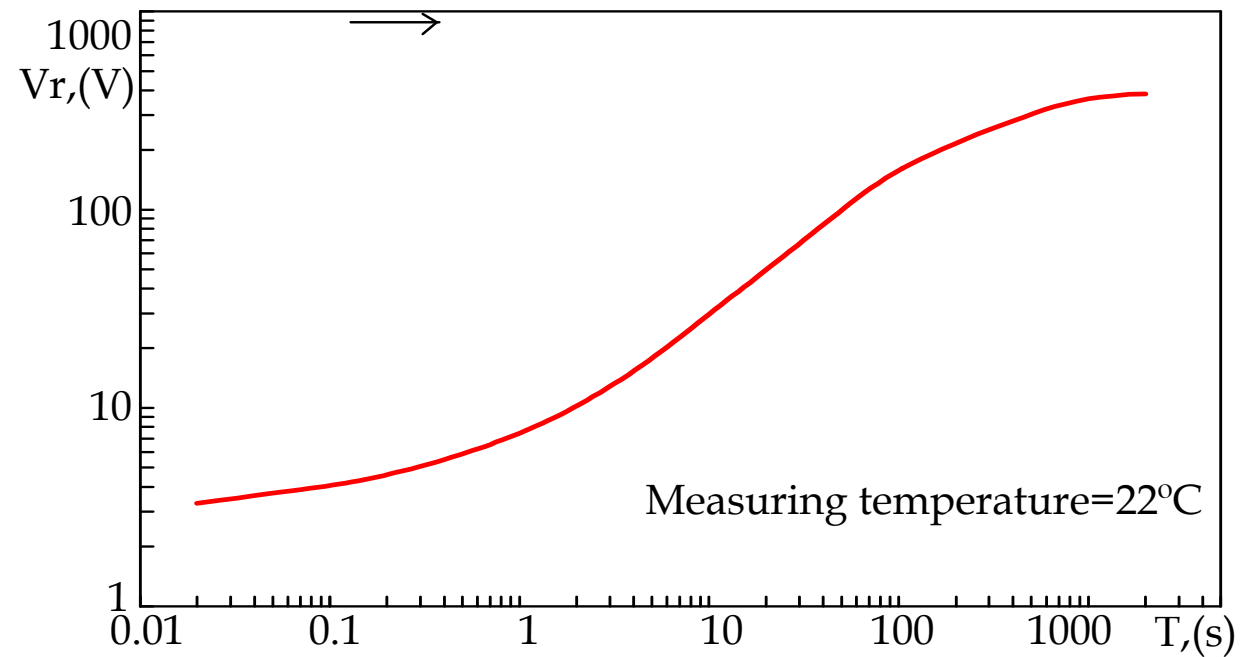
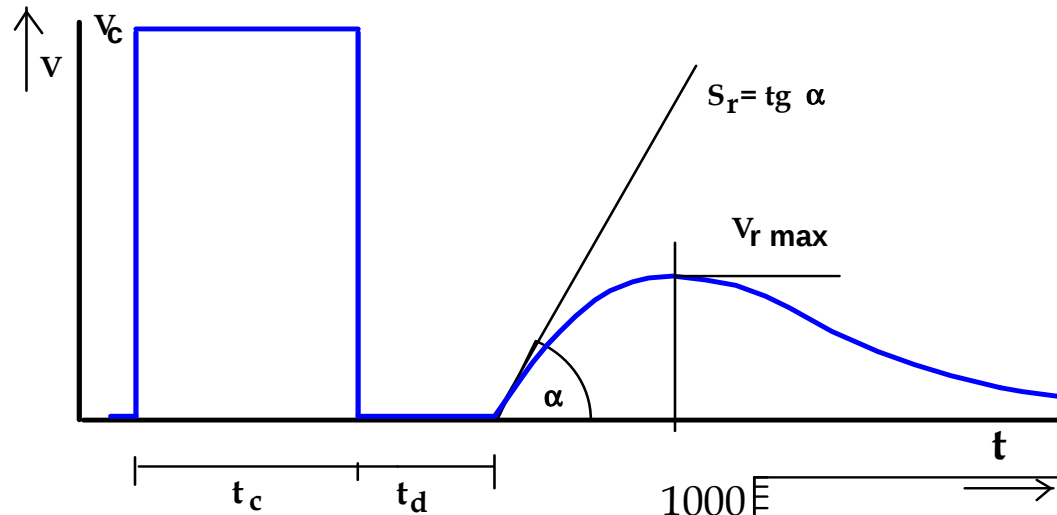




- Mindhárom módszer ugyanazt a **határréteg polarizációt** méri, de három különböző mérési eljárással: sorozatos visszatérő feszültséggel, töltő és kisütő árammal és tg δ frekvencia függésével.
- A három módszer **egyenértékű**, de mivel különböző mérésekről van szó, vannak előnyök/hátrányok.
- A polarizációs **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.
- A mérés egyszerű, a szigetelési állapota összetett, és azt bonyolultan lehet jellemezni, ez a valóság. Ha **leegyszerűsítjük a kiértékelést**, akkor újra anomáliák adódnak.



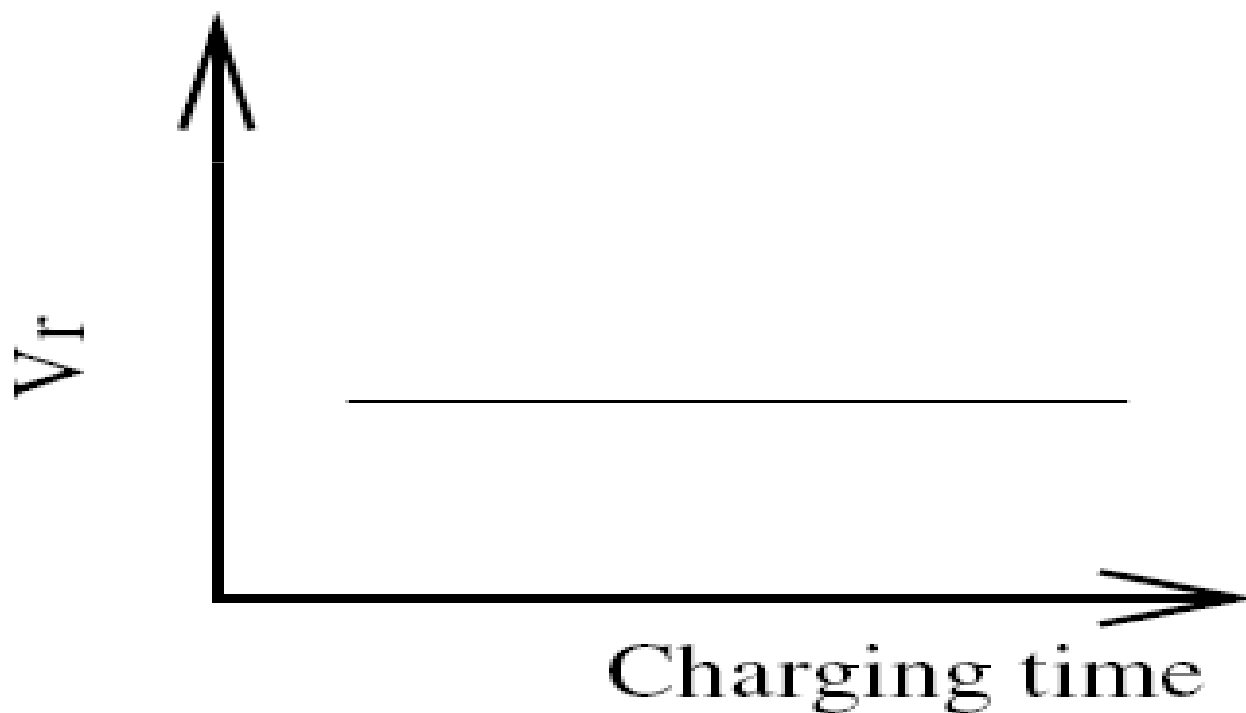
RVM – visszatérő feszültség mérés





**RVM spektrumok különböző anyagok esetén: V_r (csúcsérték)
nincs ebben a tartományban polarizáció**

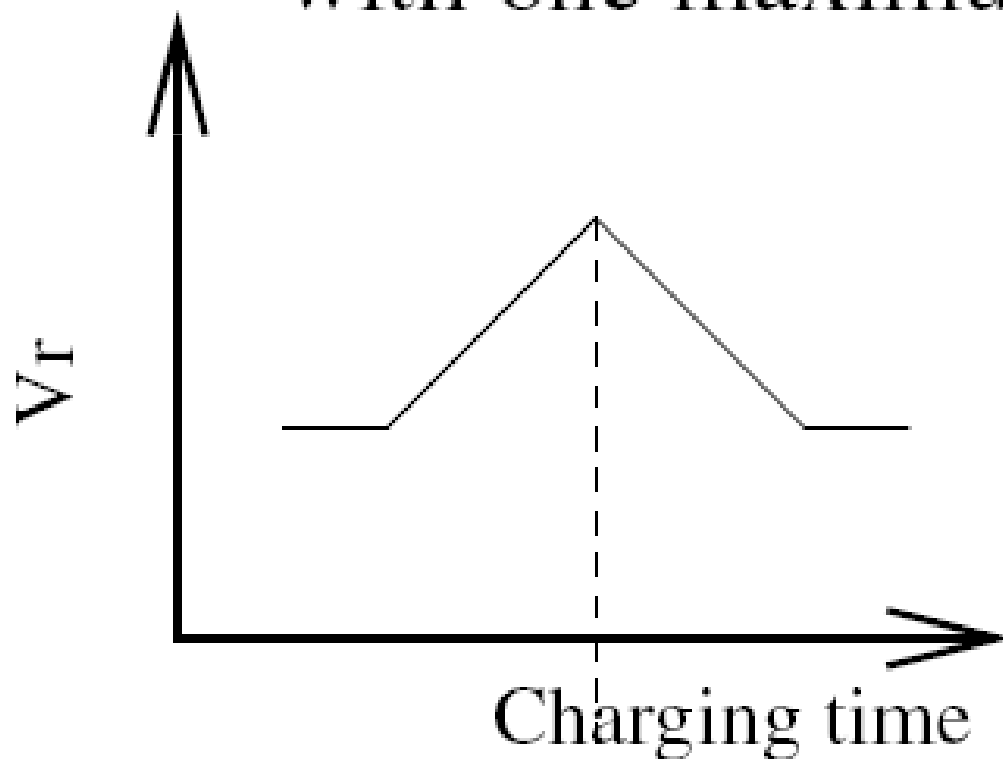
Theoretical Medium





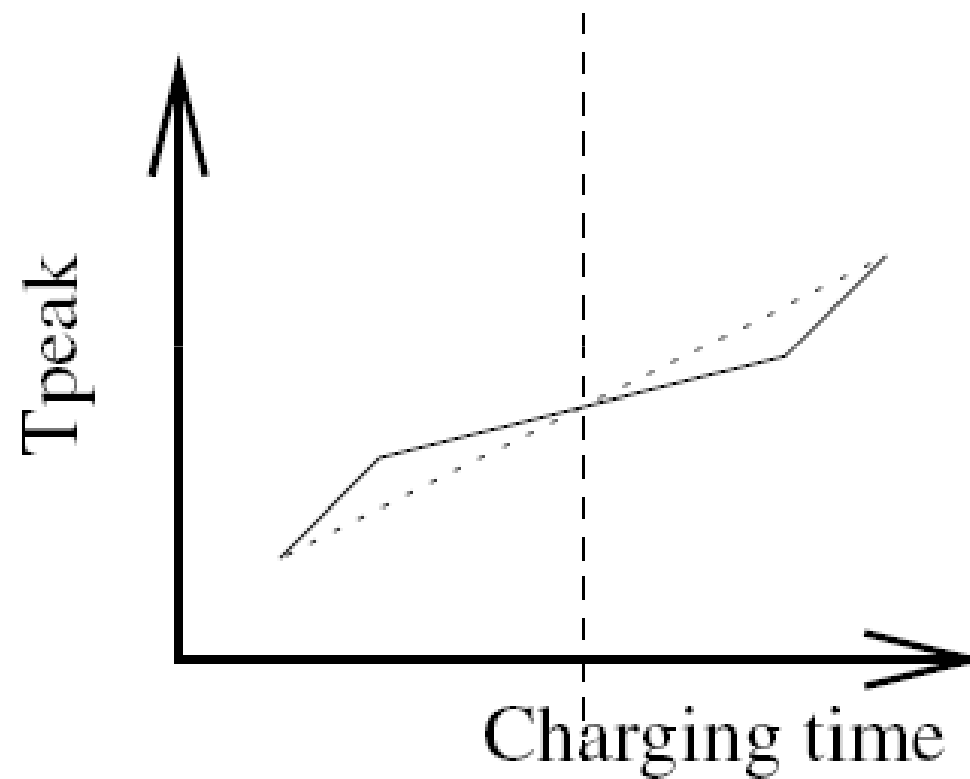
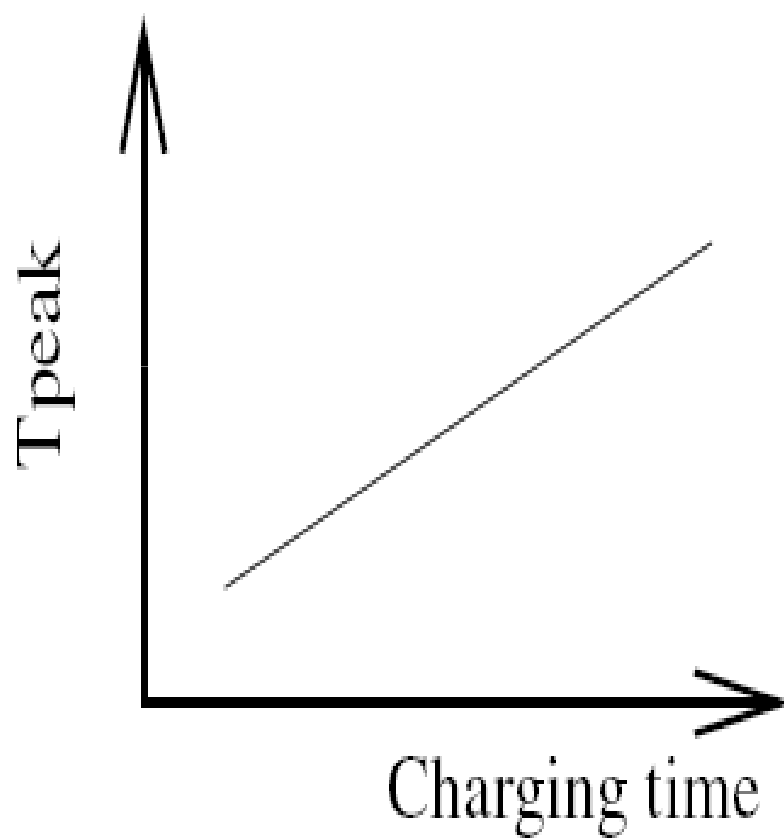
**RVM spektrumok különböző anyagok esetén: V_r (csúcsérték)
Egy időállandó ebben a tartományban**

Standard medium
with one maximum



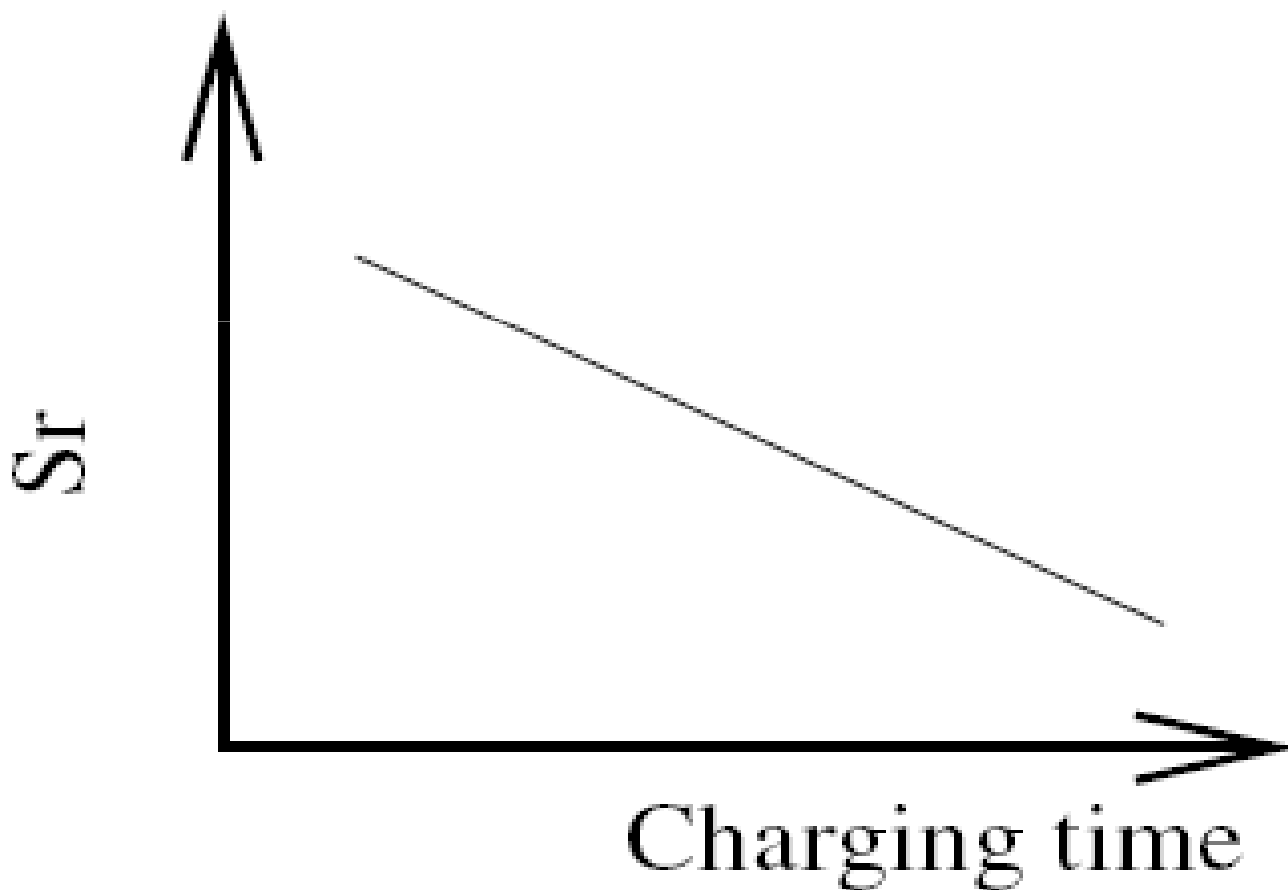


RVM spektrumok felvétel: Csúcsérték elérési ideje



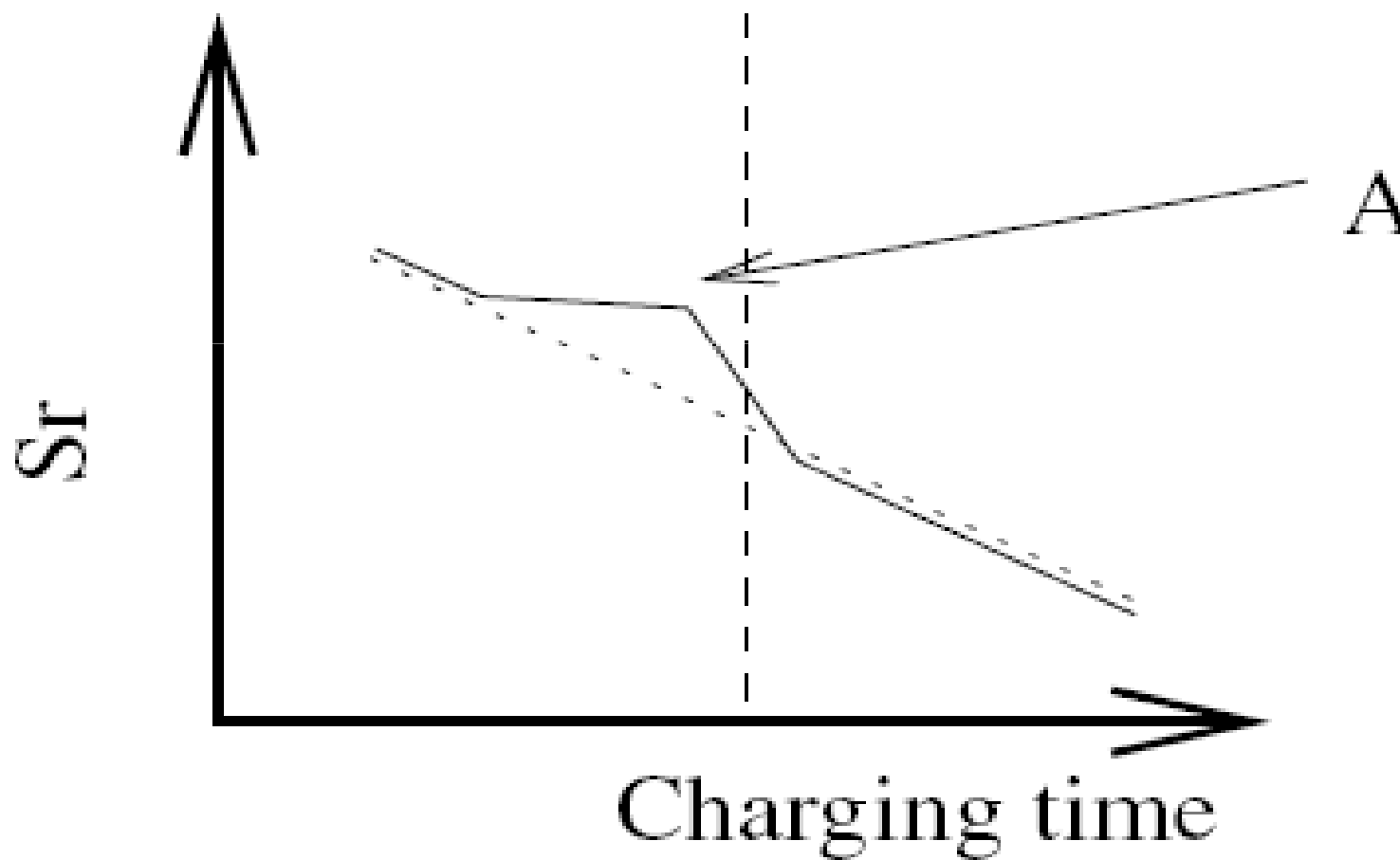


**RVM spektrum kezdeti meredekség: S_r (kezdeti meredekség)
nincs ebben a tartományban polarizáció**



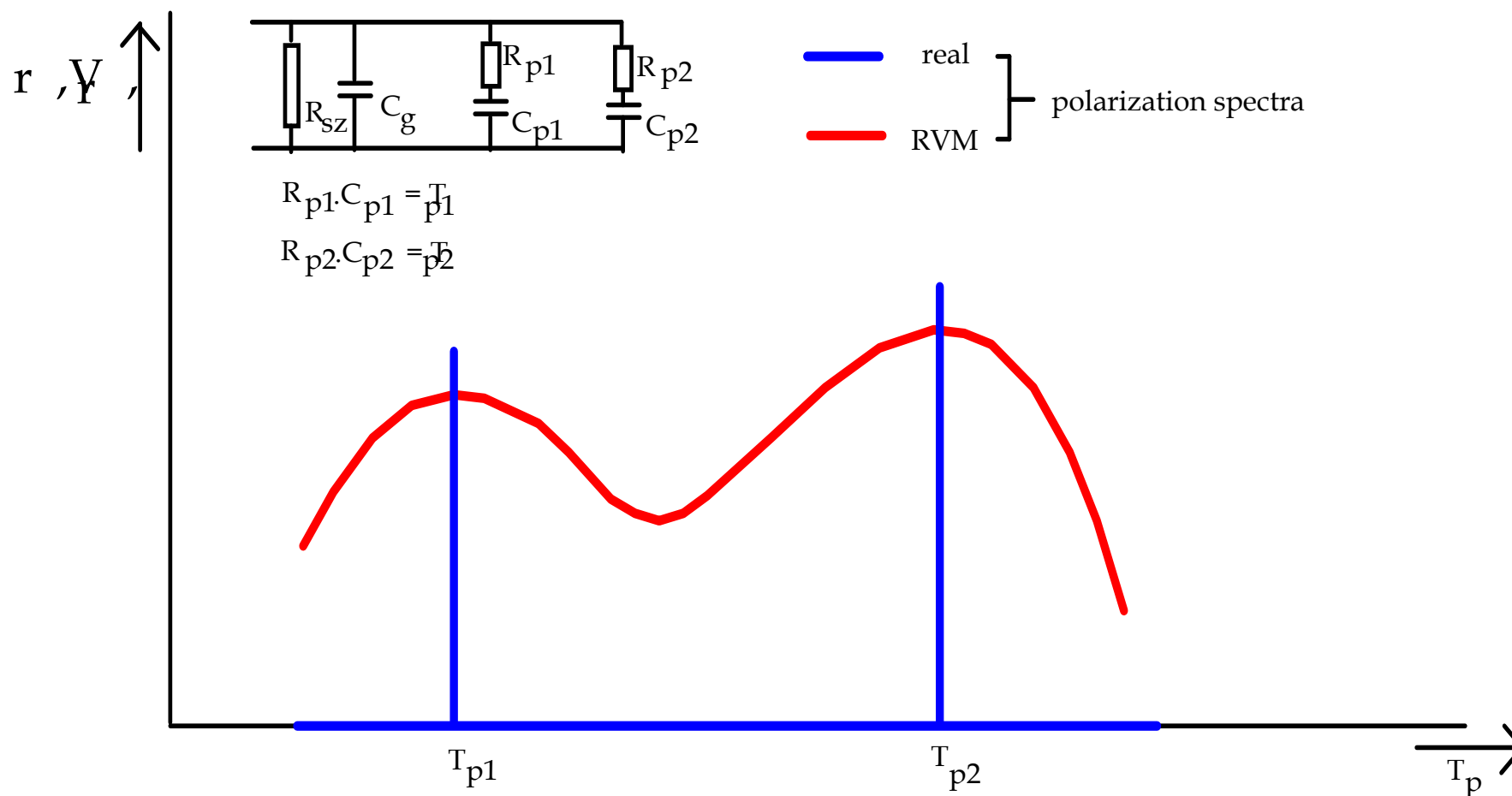


**RVM spektrum kezdeti meredekség: S_r (kezdeti meredekség)
Egy időállandó ebben a tartományban**

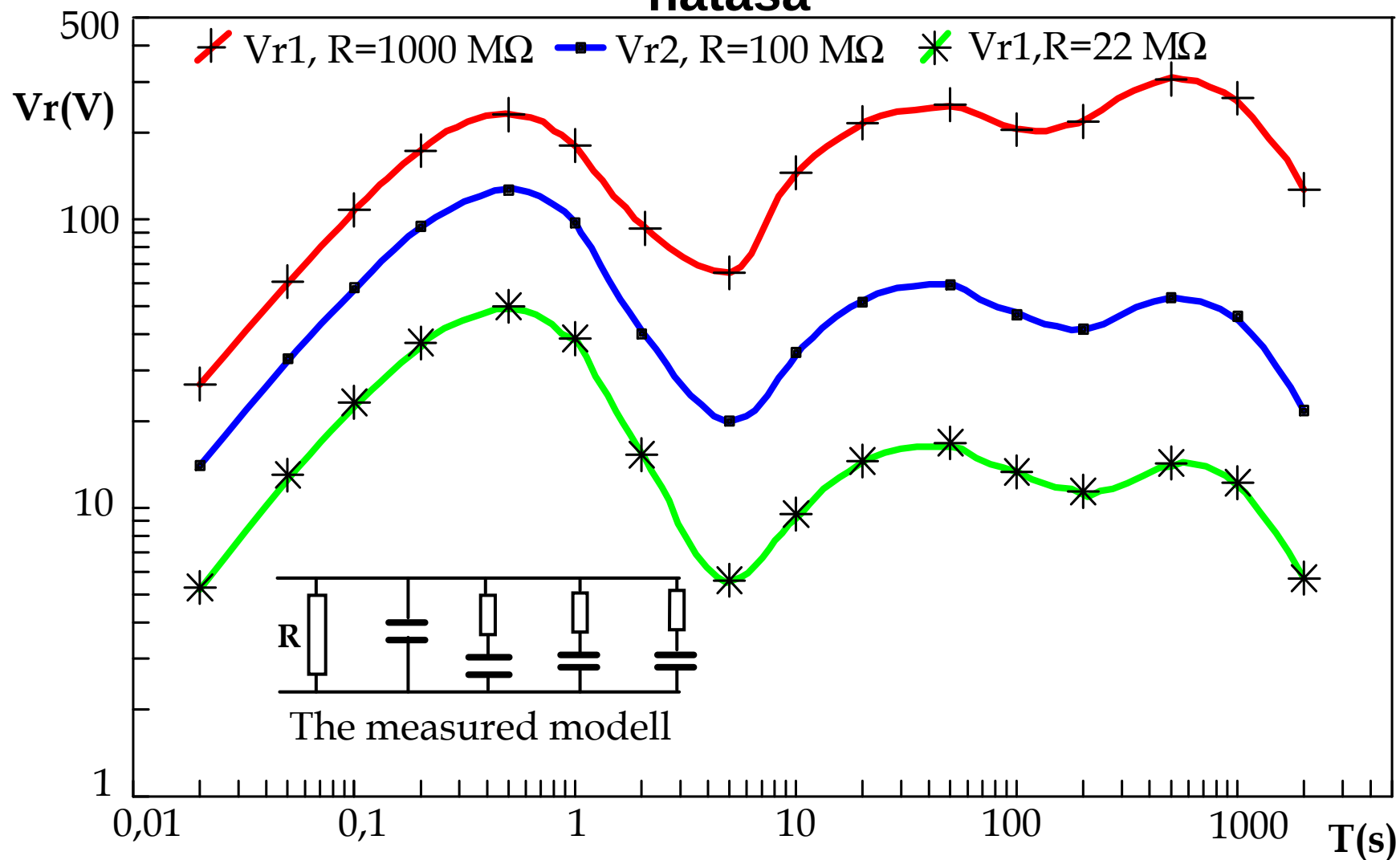




Valós spektrum (kék) és „Kvázi” spektrum (píros) RVM-el felvett két időállandós „kvázi” spektrum

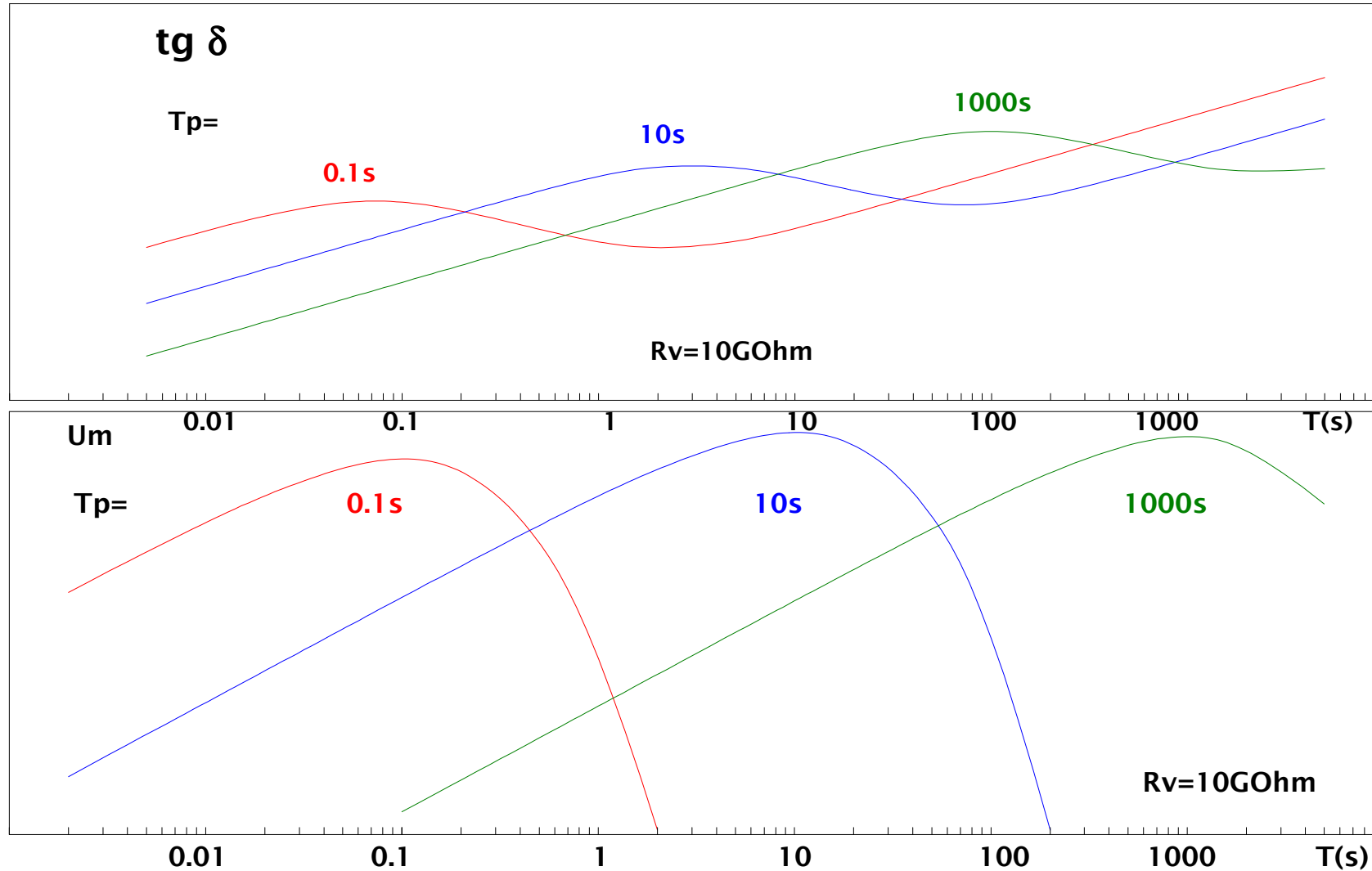


RVM spektrum három időállandóval, sőtellenállás hatása





FDS és RVM módszer összehasonlítása



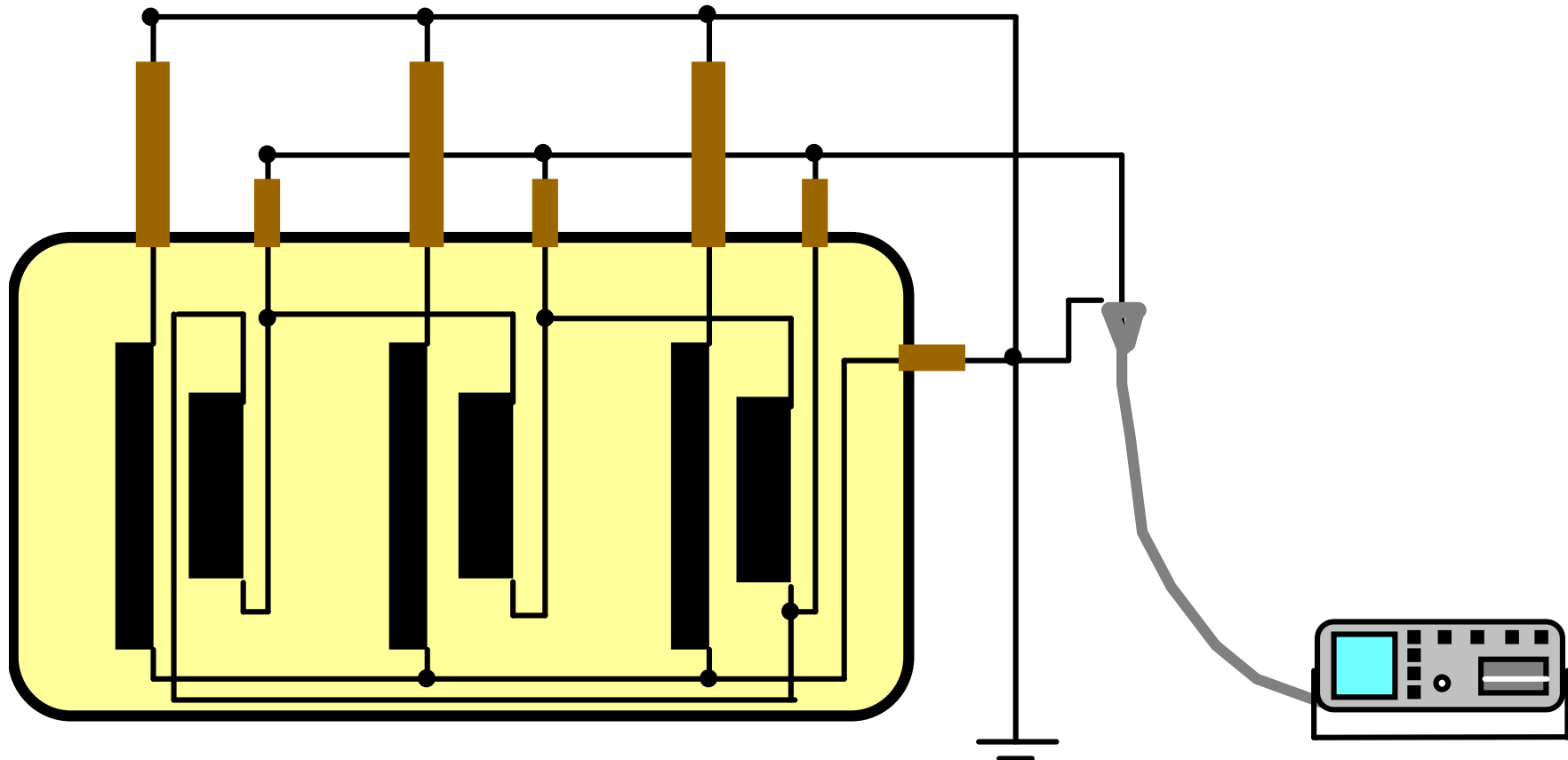


RVM mérők





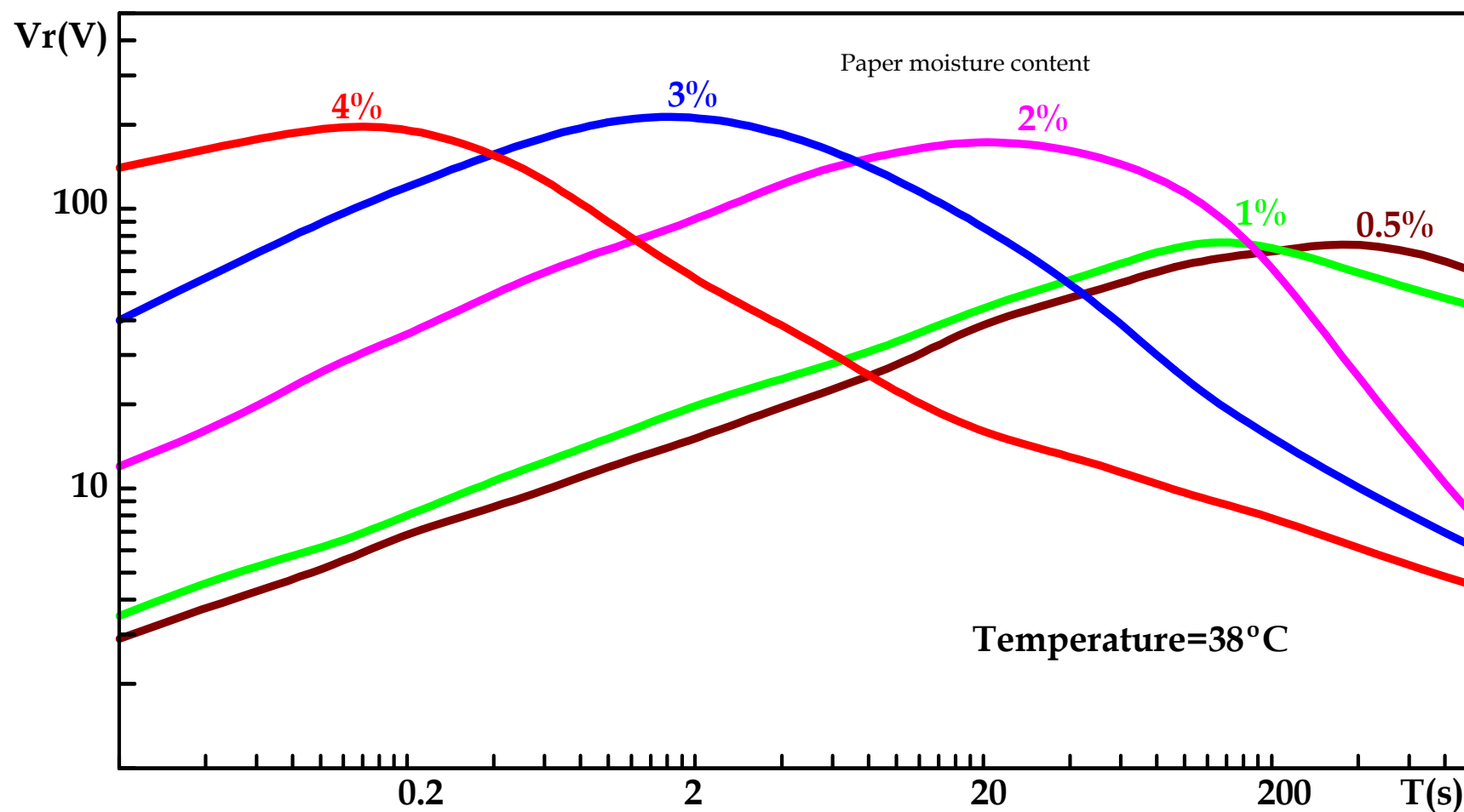
Trafó mérése RVM-el





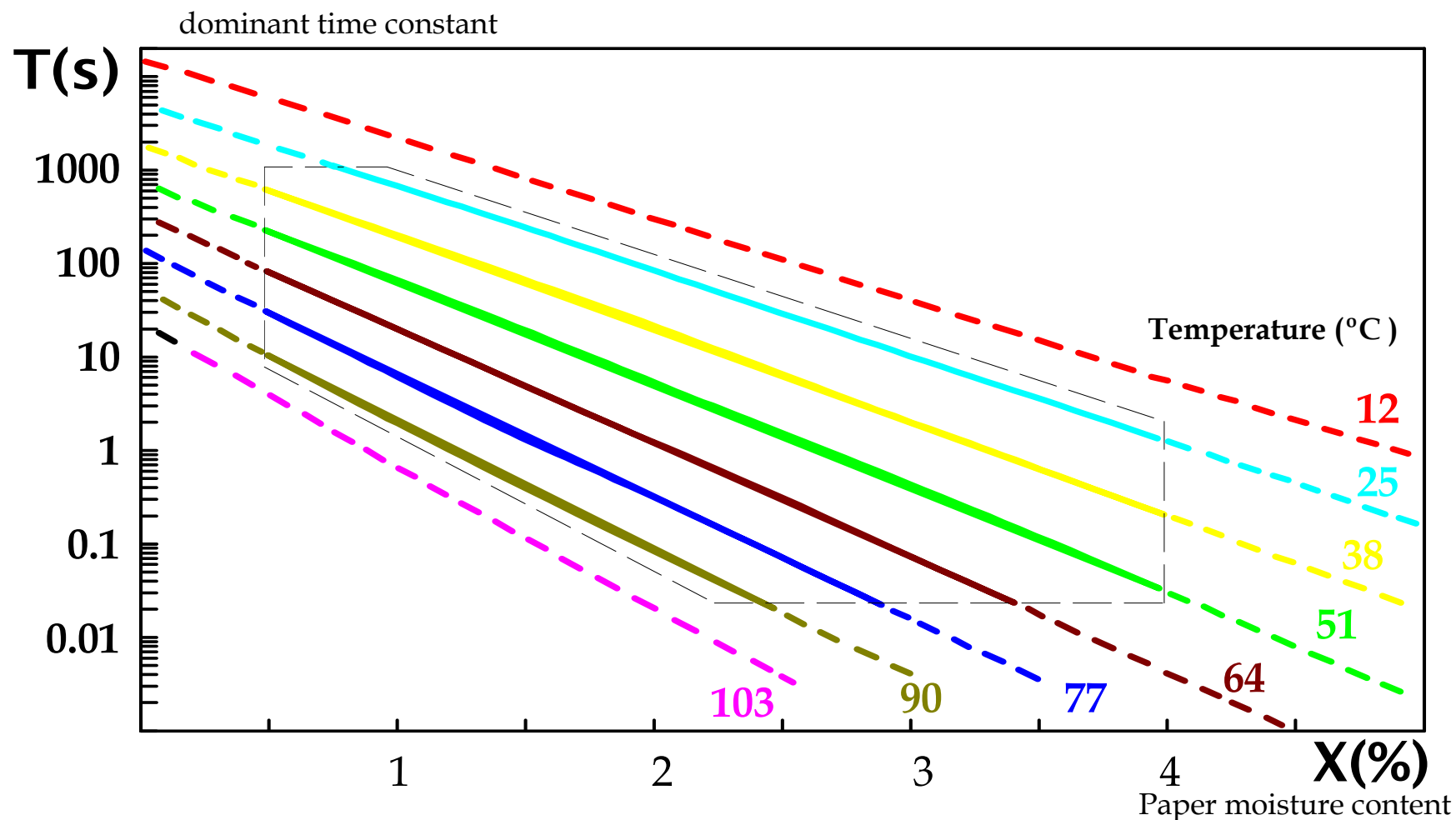
Új papír, új olaj, visszatérő feszültség görbék az időállandó függvényében, paraméter hőmérséklet (38°C)

Curves, derived from the maxima of the return voltages



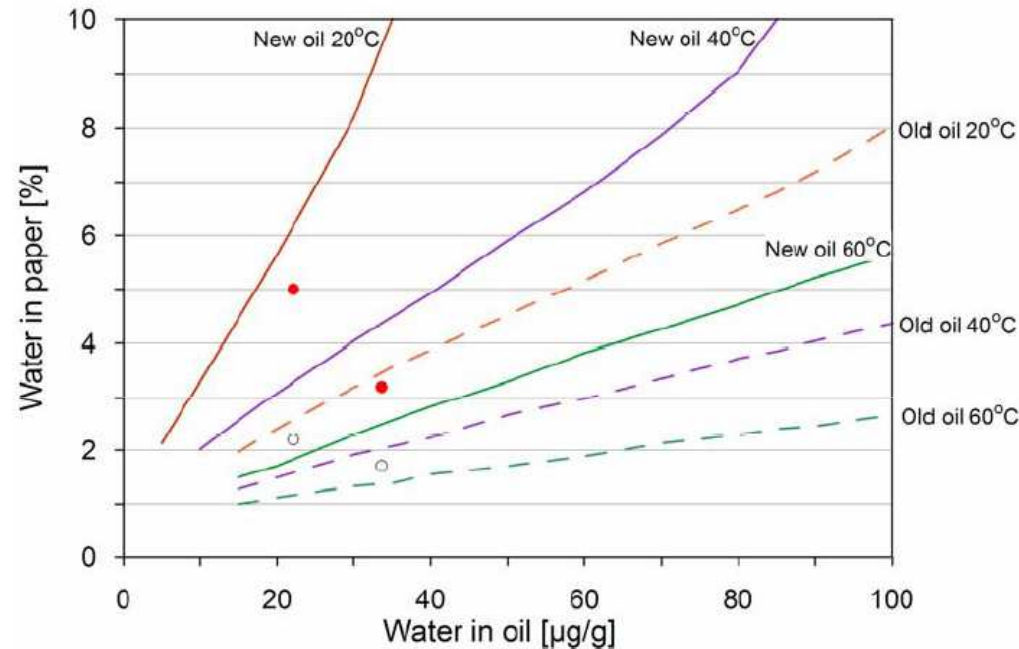


„Nomogram”: összefüggés a polarizációs időállandó, papír víztartalom, hőmérséklet között (új papír, új olaj és homogén szigetelési állapot)





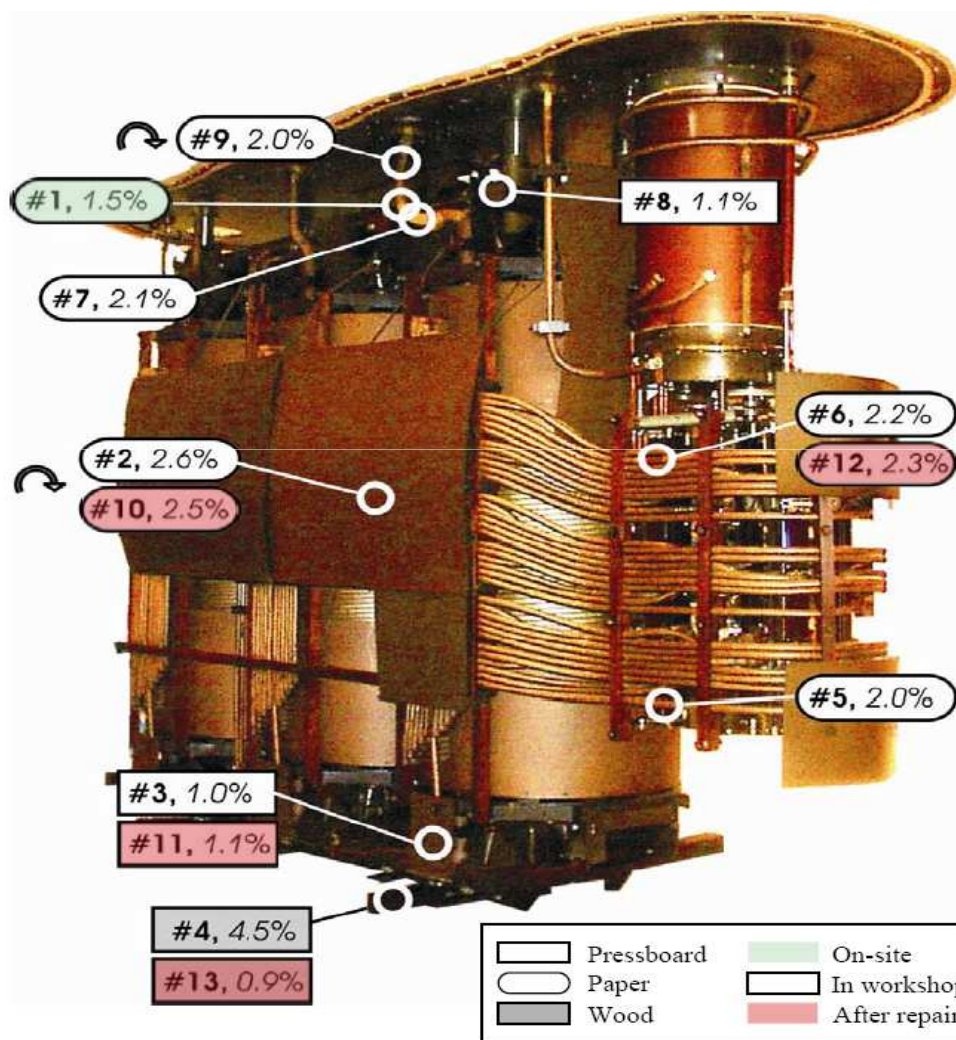
Olaj-papír (víz) egyensúlyi állapot különböző hőmérsékleten



- Öregedés közben az olaj nedvesség felvevő képesség változik (növekszik).
- Nem kellően kiszárított új transzformátorok esetén - gyors felmelegedéskor a papír nagy mennyiségű vizet ad le, amelyet az olaj a leadás ütemében nem tud "oldatba" vinni.
- Ennek következtében vízcsepp kiválásra kerülhet sor, ami közvetlen átütési veszélyt jelent.
- Ezt a folyamatot még az is erősíti, hogy a terhelés miatti gyors felmelegedés során az olaj hidegebb, mint a papír nagy része.



Nedvességtartalom a trafó szilárd szigetelésének különböző helyeiről vett mintákból



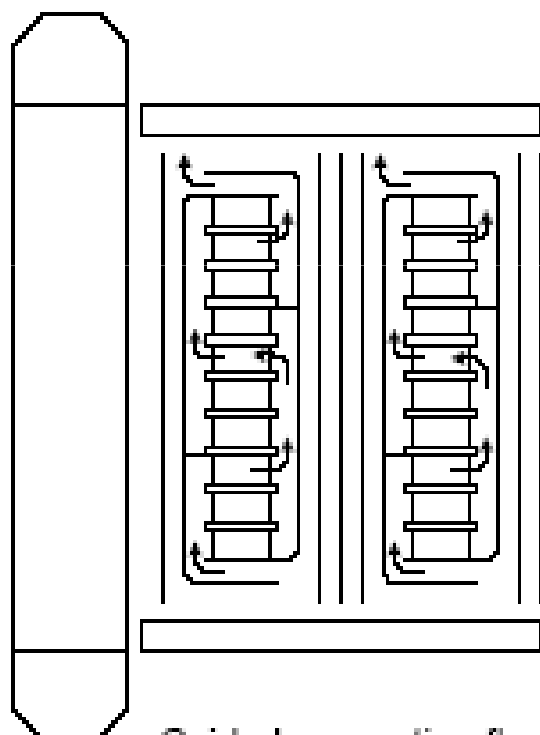
- Karl Fischer technikával (KFT) becsült nedvességtartalom
- A szilárd szigetelésének különböző helyeiről vett mintákból.
presspan, lágypapír
-keményfa

Inhomogén nedvességeloszlás a trafó szigetelésében

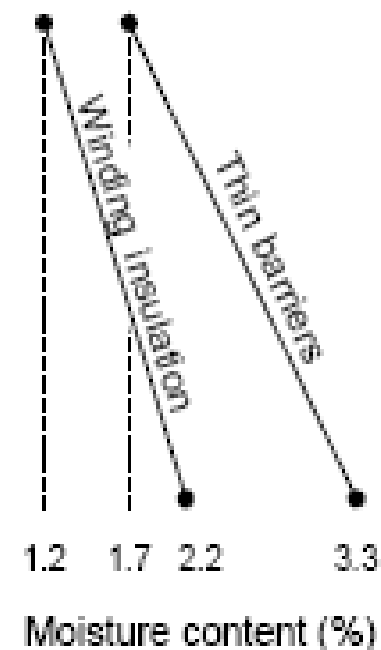
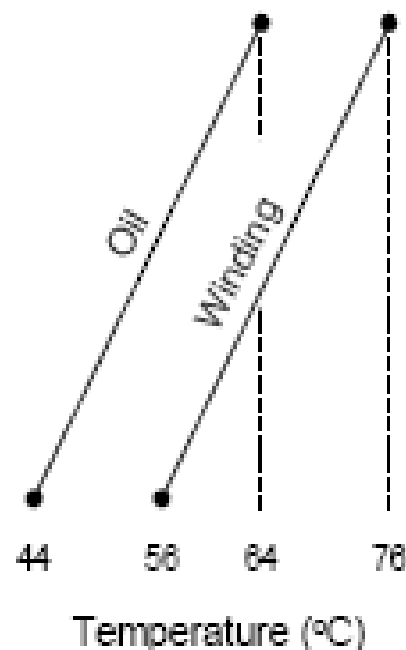
Kerek fehér keret: papír
Négyszögletes fehér keret: prespán
Négyszögletes szürke keret: fa



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

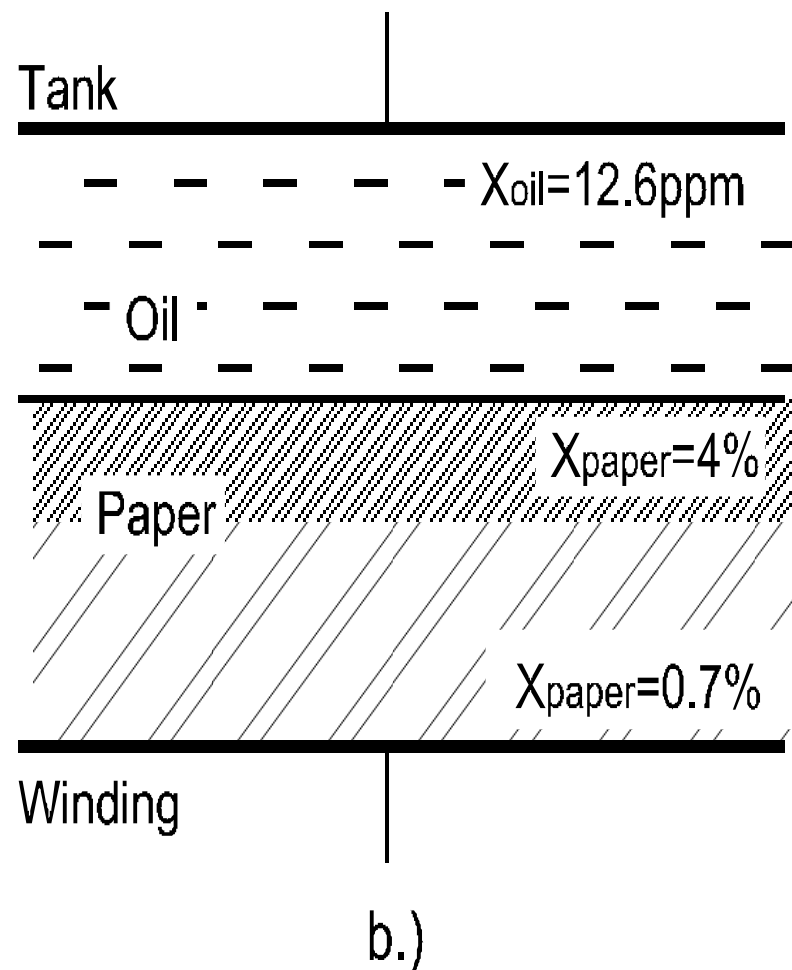
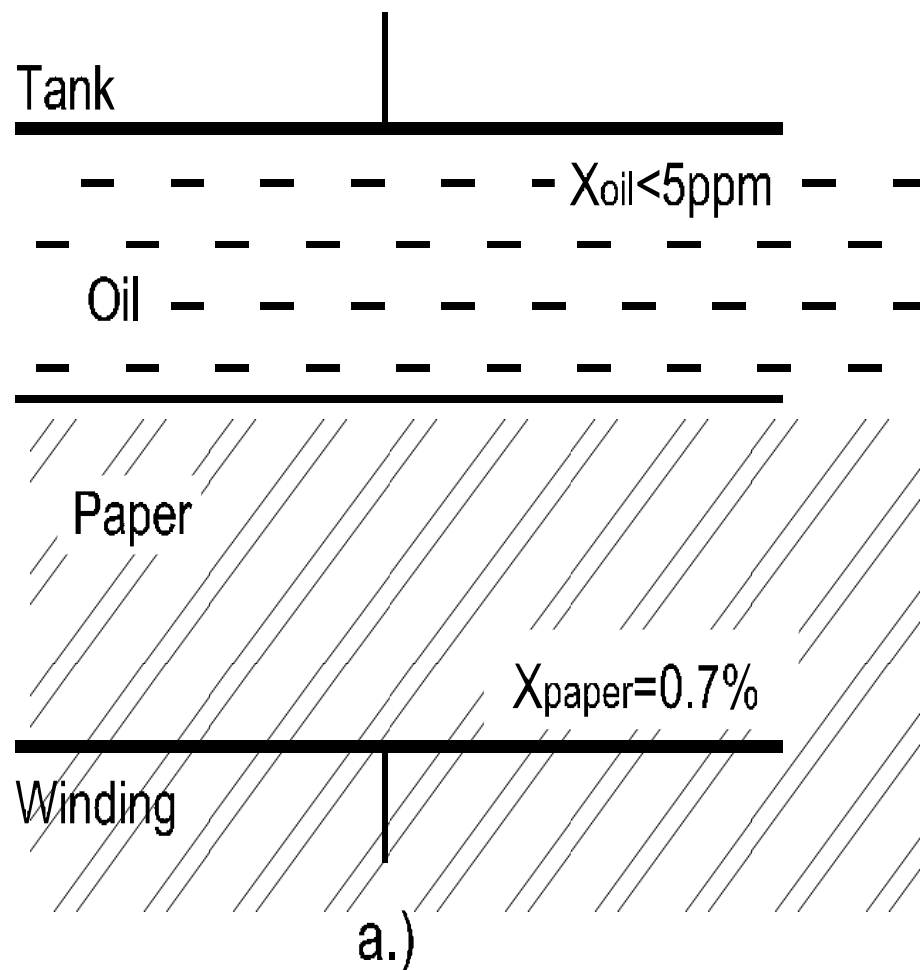


Guided convection flow
through disk windings



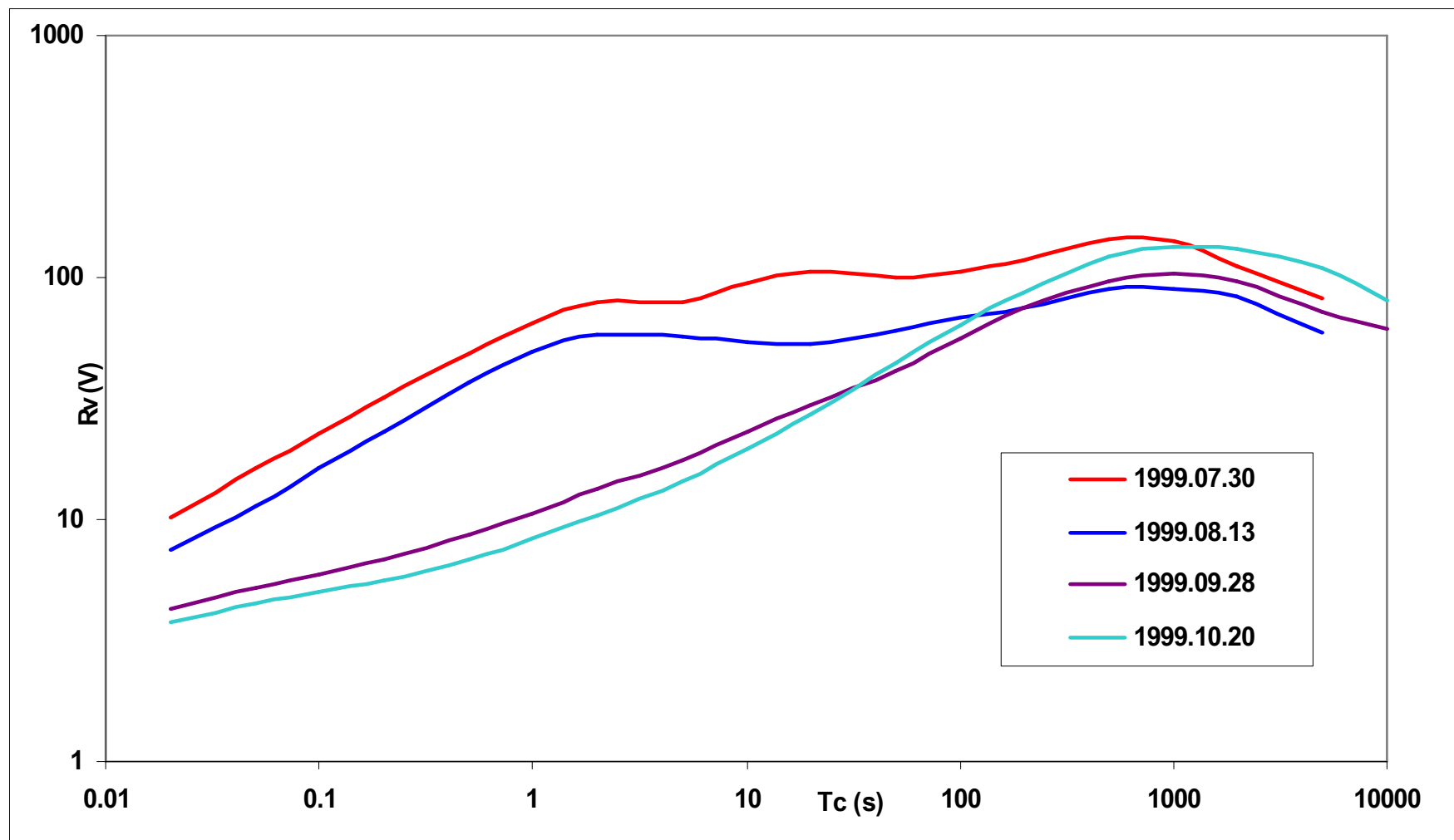


Inhomogén nedvességeloszlás kiszárított papír olajjal történő impregnálása után. Homogén állapot néhány napos 90°C-on tartás után.





Átmenet inhomogén állapotból homogén állapotba





Magyar adatbázis polarizációs spektrum módszerek kiértékeléséhez

- **tgδ**: 50 Hz-es veszteségi tényező állandó feszültségen mérve,
- **tgδ(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:

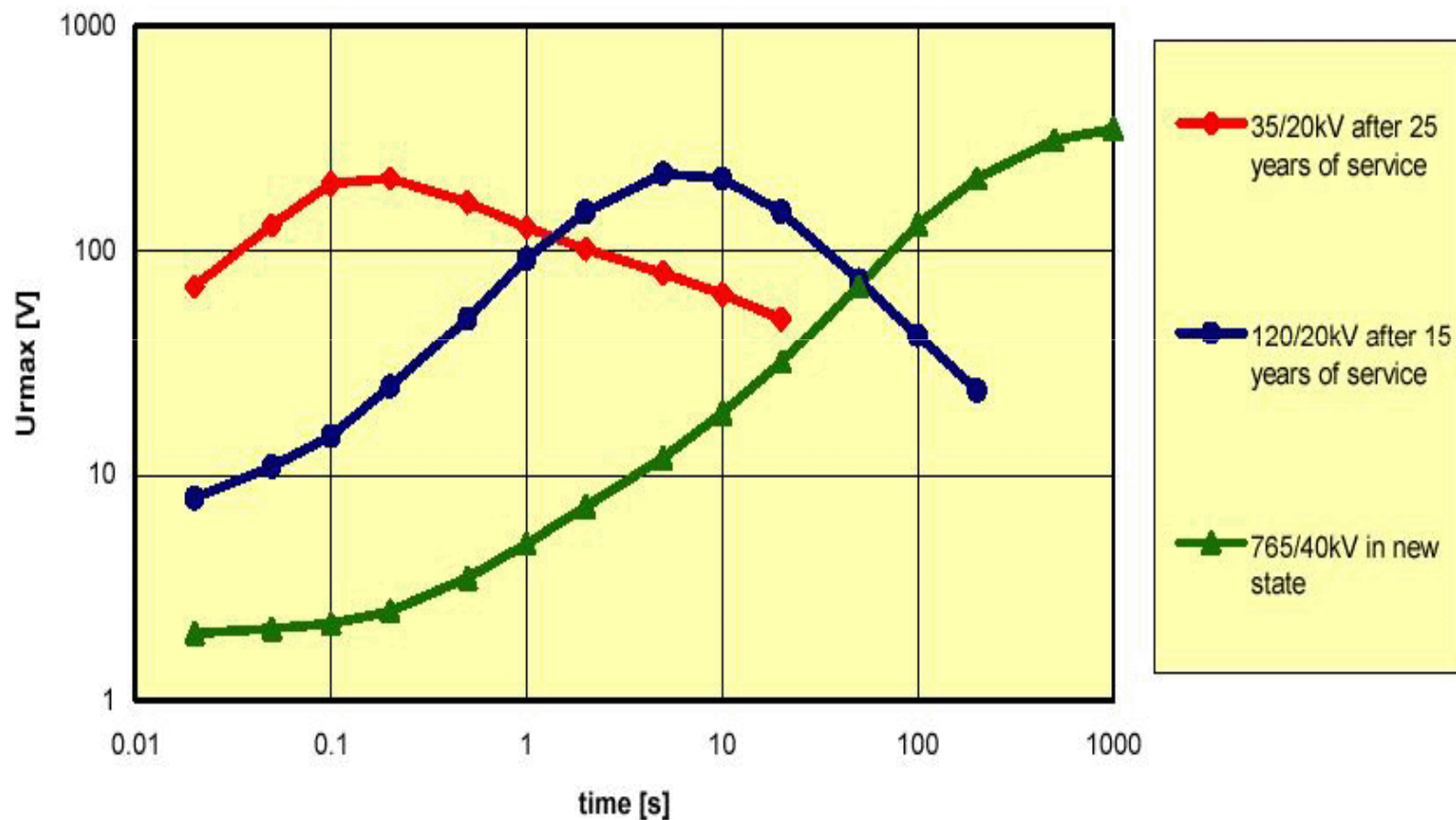
Új olaj: (Pt:lp/01: tgδ =0,01% or 104tgδ =100 at 90°C), Közepesen öregedett olaj:

(Pt:lp/02: tgδ=0,1% or 104tgδ =1000 at 90°C), és Erősen öregedett olaj: (Pt:lp/03: 0.5%≤tan(δ)≤0.7% or 104tgδ =5000-7000 at 90°C). Mérések végrehajtásra kerültek

olajcsatornával (Pt:lp+pp), ill. olajcsatorna nélkül (Pt:lp).



Új, középidős és öreg trafó RVM görbéi

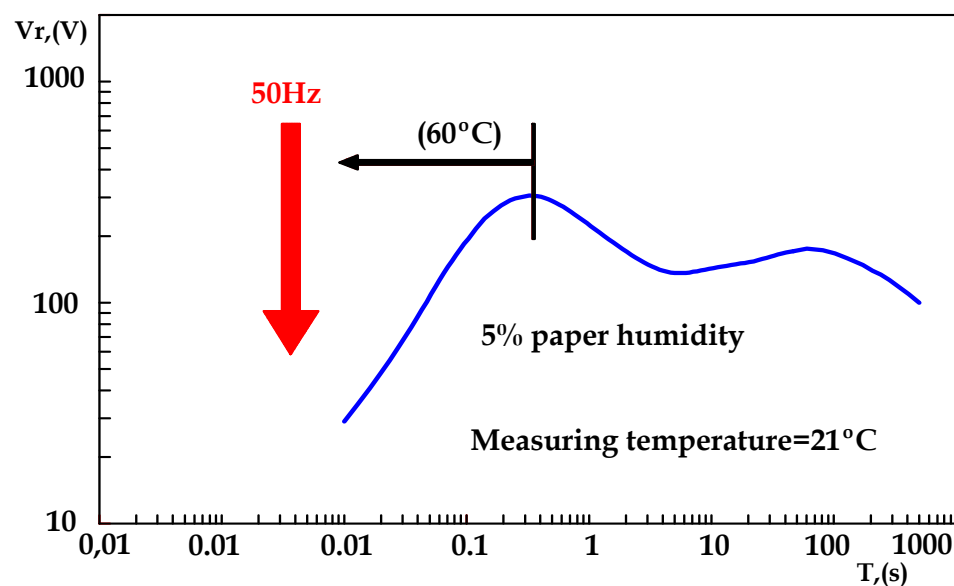


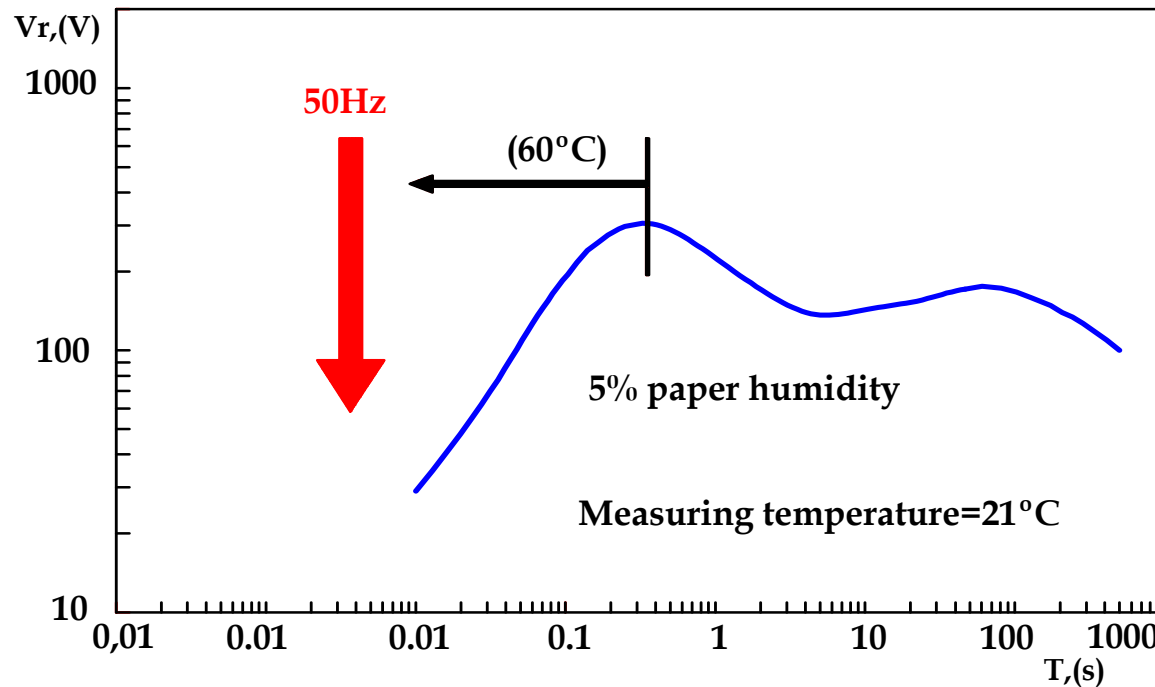


120/20 kV trafó 21°C-os RVM görbéje meghibásodás után mérve.
A **kisebbik időállandó kb. 0,3 sec**, a nagyobbik kb. 100 s volt 21 °C-on.

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





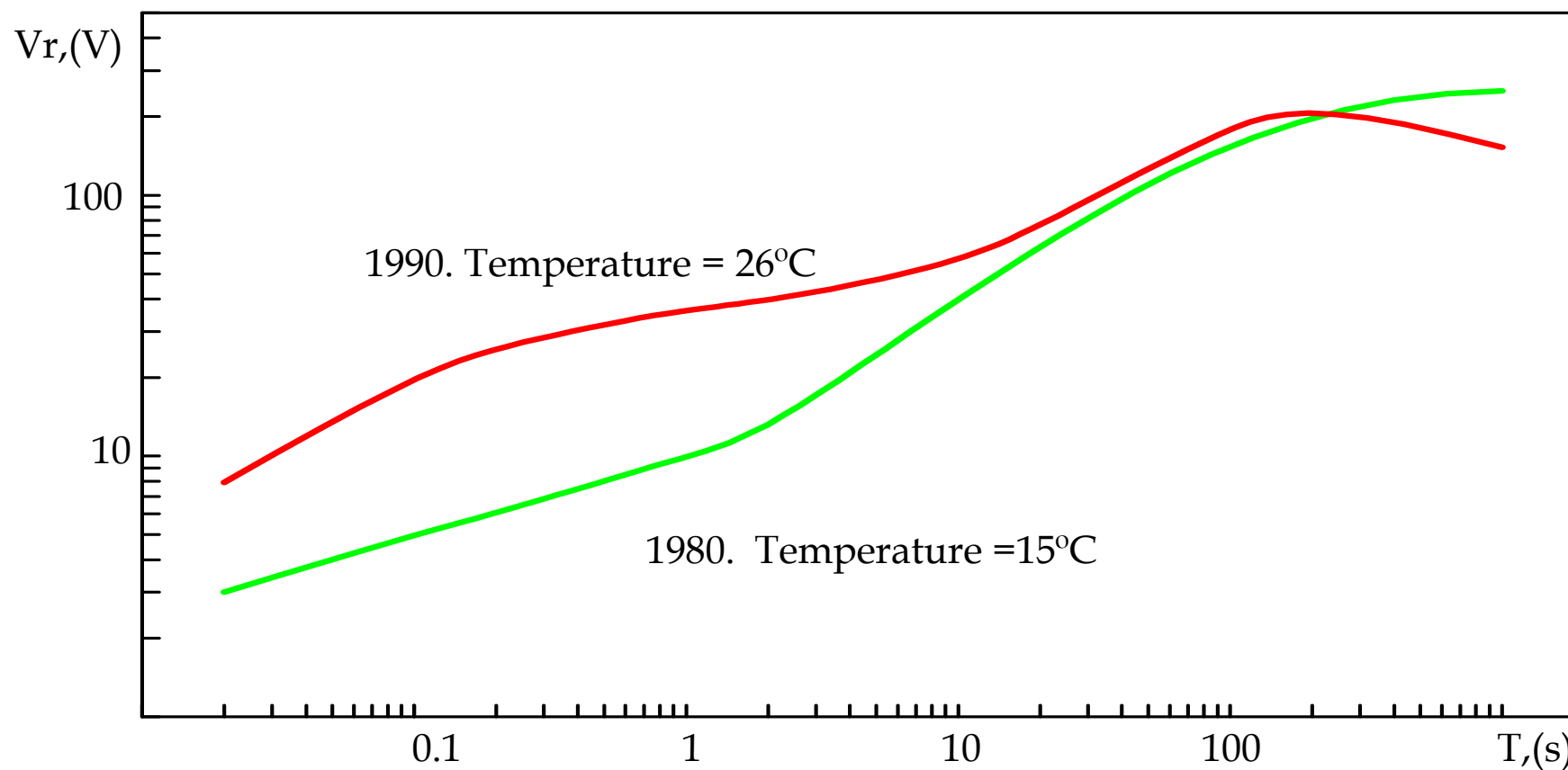
Trafó üzemben tarthatósági állapot meghatározás RVM diagnosztikával

- Nincsenek Szabványok a trafó papírszigetelés öregedésére és víztartalmára, mert az inhomogén eloszlás miatt nehezen lenne mérhető (lásd a következő ábrát).
- Mintát csak a trafó kinyitásával lehet venni (roncsolással)

Az RVM módszer most már lehetővé teszi a papír öregedés és nedvességtartalom eloszlás megbízható vizsgálatát, ezáltal meghatározható az az öregedési és elnedvesedési határérték, amelynek a fennállása esetén a trafó az adott hőmérsékleten, mint határértéken még biztonsággal üzemeltethető (nincs buborékkiválás).

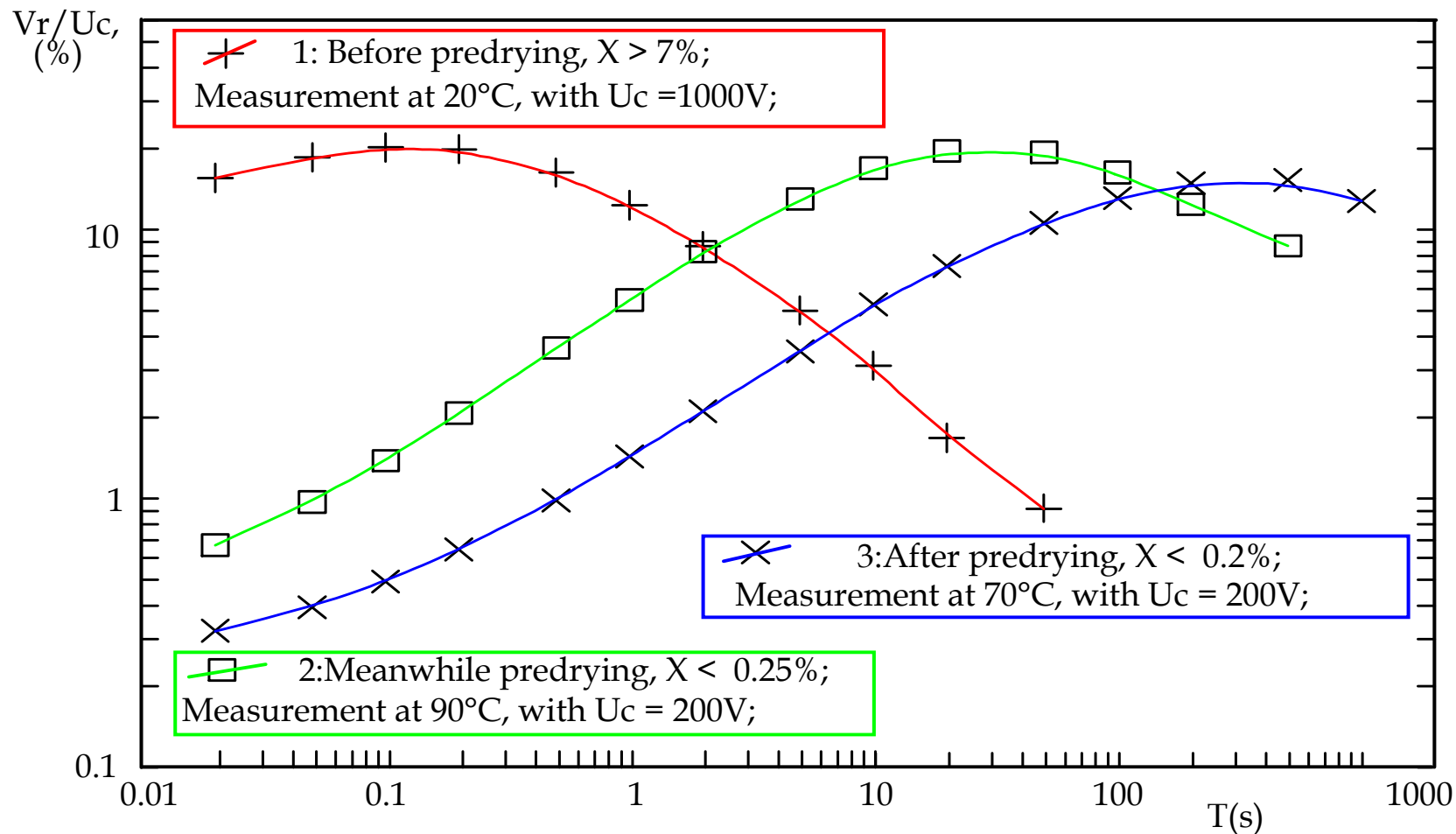


Ugyanaz a trafó 10 év múlva történő mérése



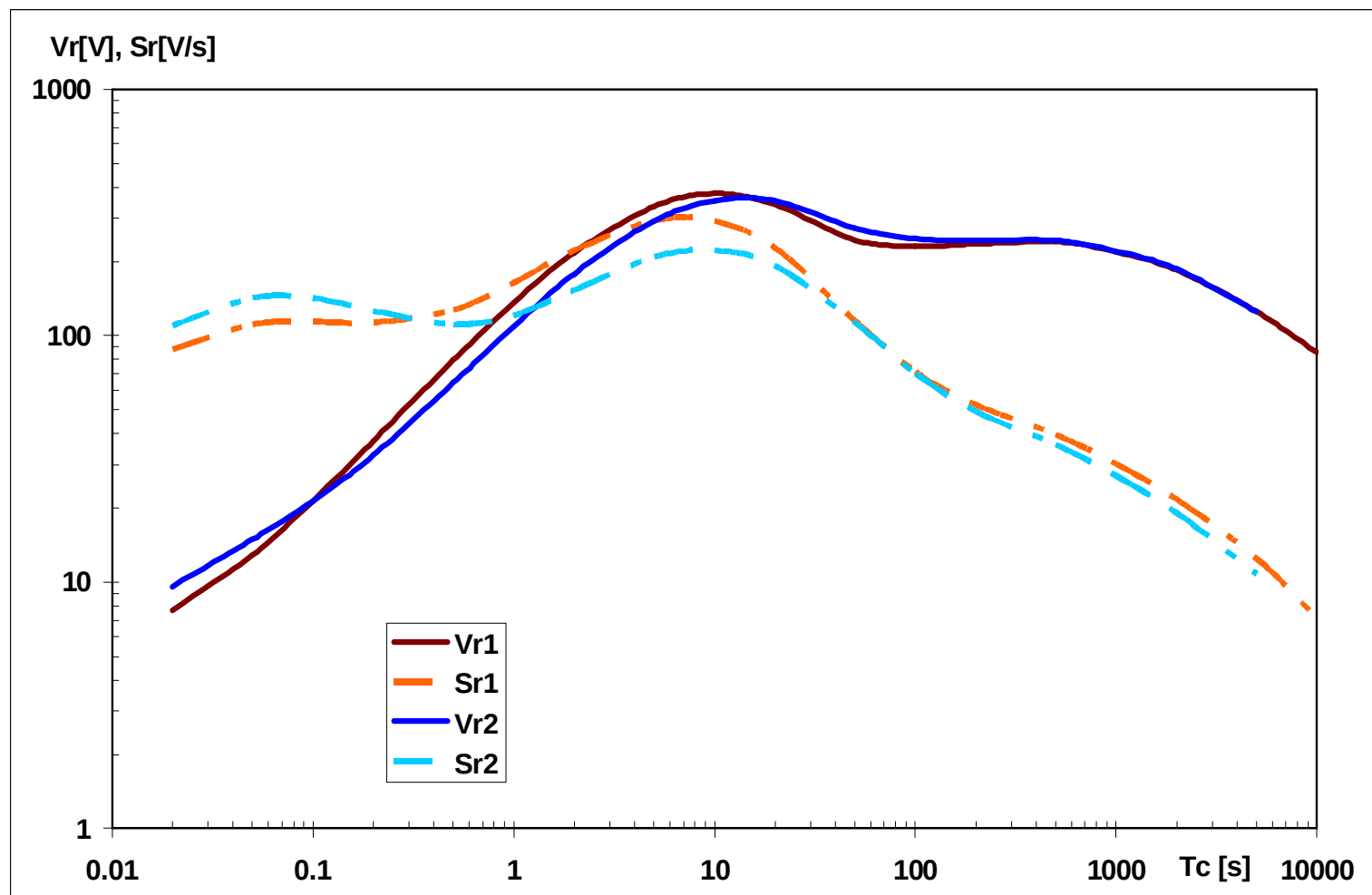


Trafó tekercs szárítás közben (impregnátlan papír)



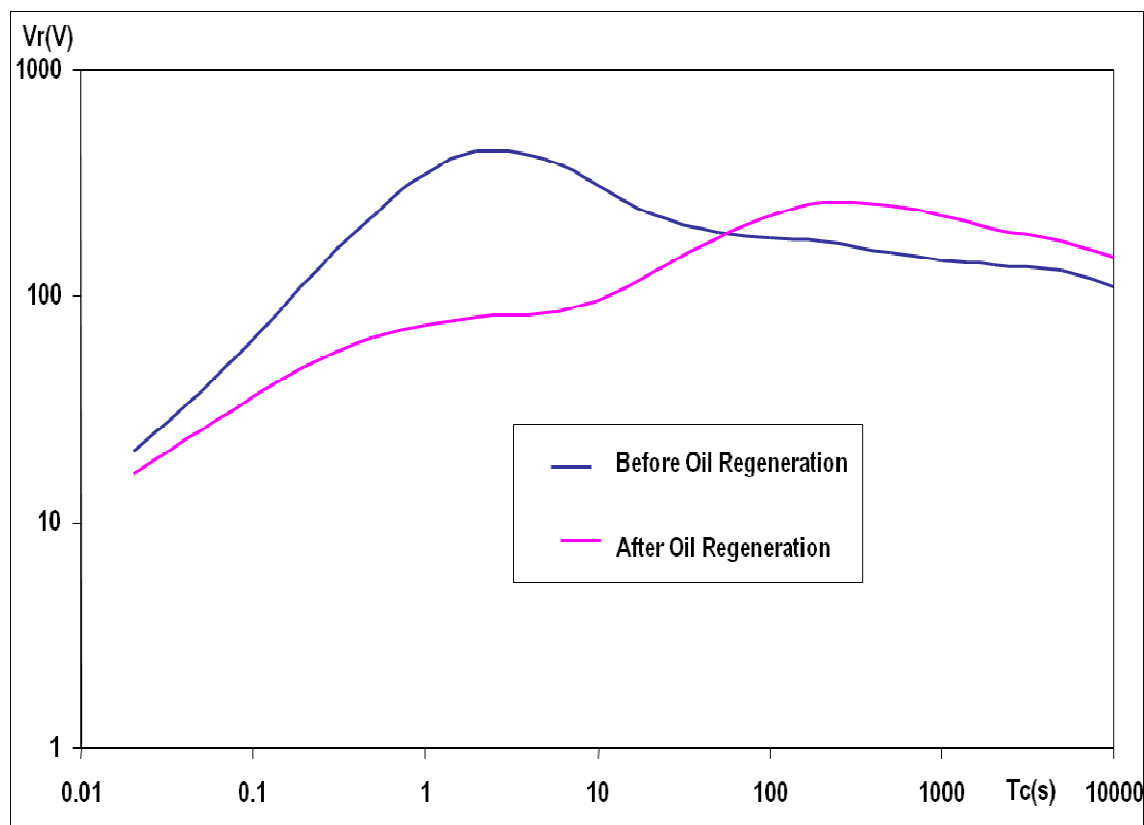


„Csak szárítással felújított (FU)” trafó mérése FU előtt és után





Olaj regenerálás hatása az RVM polarizációs spektrum görbékre



Kék görbe: RVM spektrum regenerálás előtt
Piros görbe: RVM spektrum regenerálás után



Konklúziók

- 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.



diagnostics



Köszönöm a figyelmet

XII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, Gárdony, 2012. október 10-12.