



Az RVM diagnosztika lehetőségeinek áttekintése a CIGRE „trafó élettartam kiterjesztés” tanulmányában (TB 887) rögzített igények figyelembevételével - 2025

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

XXIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, Thermal Hotel Visegrád, 2025. április 2-4.



Tartalomjegyzék

1. A téma 2025-ös aktualitása, az előadás célja.

**2. CIGRE TB 887 (Life extension of oil filled transformers and shunt reactors – 2022)
vonatkozó részeinek áttekintése**

3. A TB 887 célokból RVM technikával megvalósítható diagnosztikák

4. Konklúziók



Az RVM téma aktualitása - 2025

- Amikor a trafó élettartamáról, ill. élettartam kiterjesztéséről beszélünk, tudnunk kell, hogy a **trafó élettartama végső soron egyenlő a papírszigetelés élettartamával.**
- Ha romlik az olaj, akkor regenerálható, ha tönkre ment egy átvezető, akkor kicserélhető, ha elromlik egy OLTC, akkor javítható, stb. **de ha a trafó olajjal impregnált papír szigetelés állapota egy bizonyos szint alá romlik,** akkor új tekercseket kell készíteni, és több tekercs esetén **lehet, hogy az a trafó élettartamának a vége,** egy új trafó vétele gazdaságosabb.
- Tehát a **figyelmet papír romlására kell fordítani.**
- **Miért fontos itt az RVM technika?**
- **Az általános romlásra vonatkozó diagnosztikák közül az RVM adja a legfontosabb információkat** az olajjal impregnált szilárd papírszigetelésnél.
- Erre a területre **nincs „igazi” szabvány,** tehát a **szakirodalomból kell információt szerezni.** **De milyen szakirodalomból? Például a Cigre TB 887.**



A Cigre TB 887 kiadványnak miért van aktualitása az RVM esetén – 2025-ben?

Mert a TB 887 (2022) egyik fejezete olyan igényeket „gyűjt” össze, amelyekre az RVM által adott diagnosztika hatékony megoldás lehet, ezért is aktuális még 2025-ben az RVM.

De mit is tud megoldani az RVM diagnosztika és milyenek a TB 877 igények?

A 2025-ös aktualításban egy rövid áttekintés következik a TB 887 kiadványról és azután „ismeret frissítés”, hogy az RVM a TB által felvetett igényekre ad választ.

- Tehát, a trafó élettartamát a papíros állapota határozza meg, amely leginkább a papíros víztartalomtól és az öregedési termékek felhalmozódástól függ, így a legfontosabb az elnedvesedés és az öregedési termék felhalmozódás következményeinek az áttekintése.
- Elnedvesedéssel, megváltoznak a szilárd szigetelés tulajdonságai, nő a buborékképződés, nő a PD (átütés!), csökken a DP, csökken a szakítószilárdság, megváltozik a szilárd szigetelés mérete, csökken a mechanikai szilárdság, gyorsul a papír öregedése, romlanak az olaj tulajdonságai, stb.



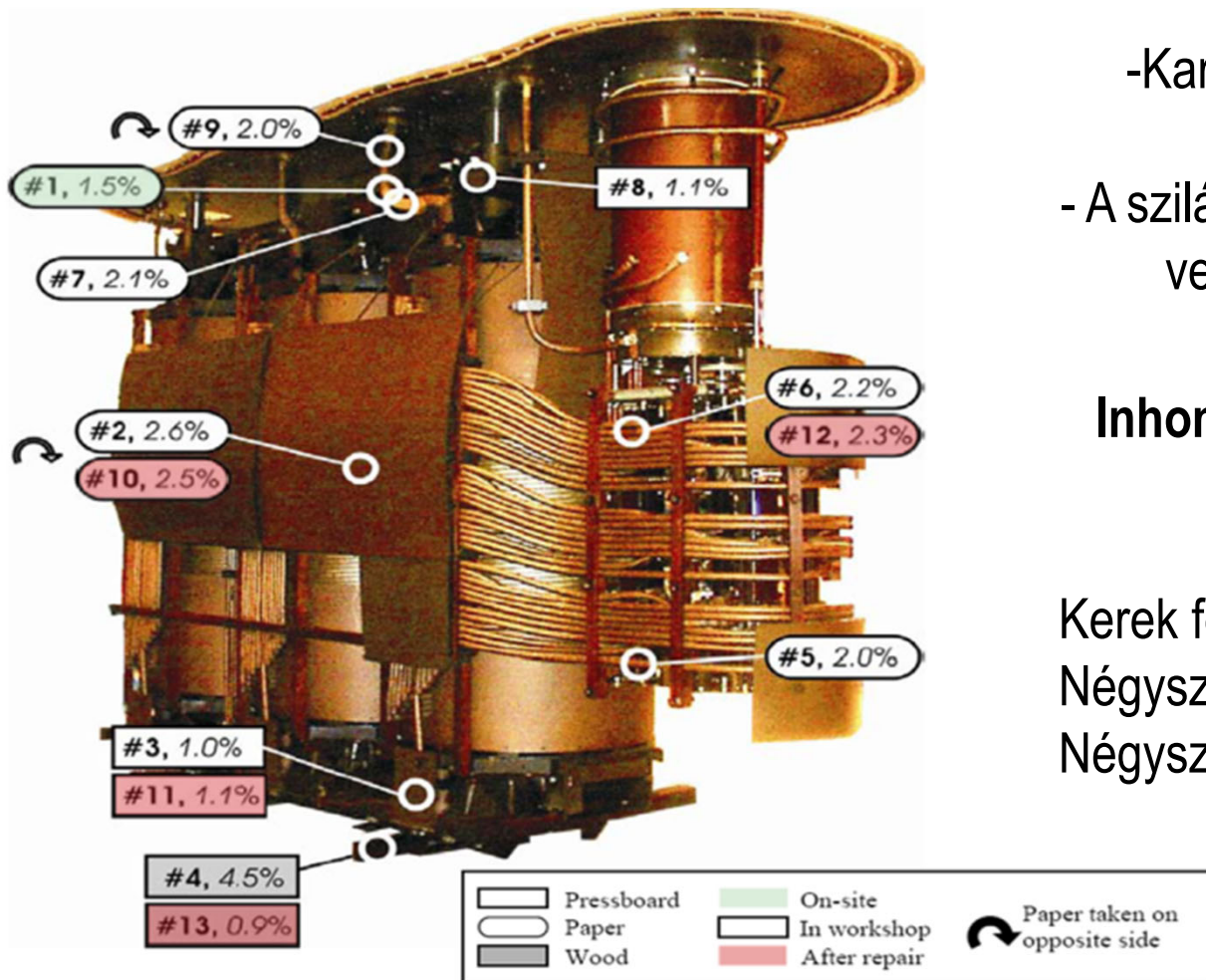
Az RVM téma további aktualitás még 2025-ben is:

- Az RVM diagnosztikára a közelmúltban több tanulmány jelent meg a nemzetközi és hazai szakirodalomban, sőt, számos diplomaterv is foglalkozott a témával.
- A „hagyományos módszerekre” (nem spektrumos) vannak szabványok, utasítások, azaz, a „klasszikus” diagnosztika „hatékony” használatát szabványok segítik.
- RVM esetében van magyar szabvány (MSZ 352-1988, MSZ 19323-2002), de az MSZ lényegében csak a mérés leírását rögzíti, kiértékelésben lényegében az egyidőálló állapotot tartalmazza, így a részletes kiértékelés csak a szakirodalom alapján lehetséges.
- Megemlítendő, hogy az Elektrotechnika 2021/5-6 számában magyarul is hozzáférhető egy, az RVM diagnosztika hatékonyabb felhasználását tárgyaló tanulmány.
- A felhasználónak nem „mindennapos olvasmánya a szakirodalom”, hiába jelennek meg jobbnál jobb módszerek, szabvány hiányában ezeket a „jó, de új” módszereket nehéz alkalmazni.



- **A papír víztartalmára a szakirodalom is csak tájékoztató értékeket adnak meg, azt is eléggé megoszló jelleggel. Az alábbi értékek nem szabványban, hanem szakirodalmakban vannak.**
- Leginkább az **új trafókra megadott értékben van megegyezés: legnagyobb teljesítményű és feszültségű trafóknál a szigetelő papíros új állapotú víztartalma 0,25-0,5 súly% legyen.**
- Máshol azt írják: **legyen 1%-nál kisebb a víztartalom**, mert akkor lassabb a papíros öregedése.
- **Van ahol 5% határértékről beszélnek**, de nagytrafóknál ez már a „**tökéletes**” átütés területe.
- Máshol üzemi nagytrafókra „magas víztartalomra” **1,8-2,0%** adnak meg, afelett szárítani kell. **Tipikusan jó állapotnak a 0,5-0,8%-ot nevezik.**
- **Szakirodalmi adat az is**, hogy ha elér egy trafó 1,4-1,6%-ot, akkor egy helyszíni szárításnál 1,4-1,6%-ról 1,0-0,9%-ra víztartalomcsökkenés érhető el.
- **Miért nem adnak meg a szakirodalmak sem egyértelmű konkrét értékeket a papír víztartalmáról?** Ha lennének egyértelmű értékek, akkor írnának szabványt is!
- **Miért nincsenek még „ilyen fix adatok”? Mert nincs fix adat! Fizikai háttér válaszolhat:**
- **Érthető, hogy nincsenek fix értékek**, mert ha nem homogén a rendszer, nem is lehetne fix érték megadása, **szinte egyik paraméter sem, így a papír víztartalma sem homogén.**

Példa a nedvességtartalom eloszlásra 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



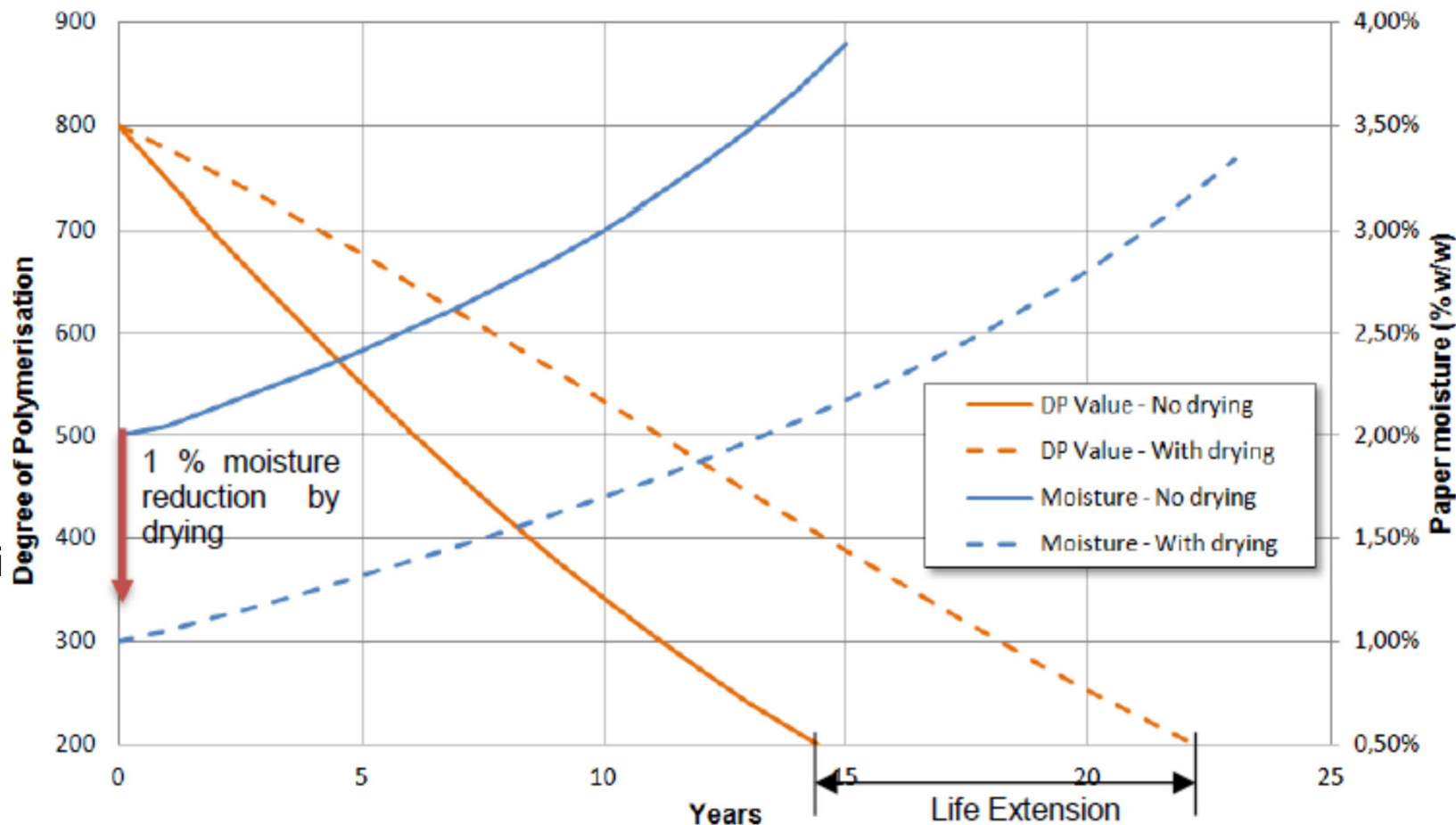
- **Jól tudott, hogy a szigetelési rendszer még újkorában is elég inhomogén (kb. fél év üzemelés után kezd kissé homogén lenni, de csak kissé: a hőmérséklet, öregedési termék, víztartalom, stb. eloszlás inhomogén. A szigetelés öregedésével az amúgy kisebb inhomogenitás csak fokozódik, már minden paraméter egyre messzebb kerül a homogén eloszlástól.**
- **Például, a méréshez, ahány helyről vennénk mintát, annyi víztartalmat kapnánk, így nincs is fix papír nedvességtartalom. Mit lehetne szabványban megadni?**
- **Tehát alapvető cél az lenne, hogy tudjuk, mennyi a papír víztartalma, de az alapok jobb megismerése után láthatjuk, hogy nincs igazi papír víztartalom, más fogalmat kell használni.**
- **Lássuk a tényeket, így adódik egy jobb megoldás is.**
- **A trafó egy nagyon dinamikus rendszer, a hőmérséklet a terhelés függvényében folyamatosan változik, ennek megfelelően az **egyensúlyi állapothoz tartozó paraméterek (vízmegoszlás, stb.) is folyamatosan változnak. Mit lehet ezek után tenni, hogy korrekt diagnosztikát hozzunk létre?****
- **Összetett és bonyolult rendszerhez bonyolult diagnosztikát kell választani, mint a spektrum jellegű méréseket.**



TB887:
Élettartamkiterjesztés
szimulációs példája a
papír víztartalmán
keresztül bemutatva

Termikusan javított Kraft papír (TUK) két különböző víztartalomnál (2% és 1%) 70°C-on: mennyivel terjeszthető ki az élettartam 1%-os papírkiszáritással?

Tehát **a víztartalom** vizsgálata nagyon fontos





Hogy adott aktualitást 2025-ben az RVM-nek a TB 887?

- **Megjelent a CIGRE A2 Technical Brochure (TB) 887: Life extension of oil filled transformers and shunt reactors – 2022 (WG A2.55) (Olajtöltetű trafók és söntfojtók élettartam hosszabbítása).**
- **Miért ad aktualitást az RVM technikának a trafók élettartam meghosszabbítására kiadott fenti CIGRE tanulmány? Íme egy rövid „bevezető” a TB 887-ről:**

A TB 887-es tanulmányból a témánkkal kapcsolatban röviden az alábbiak rögzíthetők.

- **Az utóbbi 10 év alatt az időalapú stratégiáról az állapot alapú, ill. kockázatalapú stratégiára változott a trafók karbantartása, így az eszközezők állandóan a berendezések optimális kihasználását célozzák meg.**
- **Mivel a diagnosztikai technikák egyre javultak az utóbbi években, az üzemeltetők keresik az olyan technikákat, a méréseket, módszereket, hogy kiterjeszthessék az üzemelő trafók és söntfojtók élettartamát.**



TB 887: Life extension of oil filled transformers and shunt reactors

- **A TB 887 tanulmány úgy tekinthető, mint egy útmutató (GUIDE) az élettartam kiterjesztéshez: nem „szájbarágós, merev”, mint a szabvány, lehet és kell „kreatívnak lenni”.**
- A tanulmányban **áttekintés található a több, már létező CIGRE TB-ről, amelyekben definiálásra kerültek a maradék élettartam, az élettartam vége, és az élettartam kiterjesztések.**
- **Felsorolásra kerültek azok a tipikus kérdések, amelyek az eszközezőben felmerülhetnek az élettartam kiterjesztés során.**
- **A TB foglalkozik a döntéshozókészítő eljárásokkal, a vonatkozó stratégiákkal, amelyek szükségesek az élettartam kiterjesztéshez.**
- **Ebbe beletartoznak a szabályozások, pénzügyi előírások, a gazdaságossági elemzések, amelyek az élettartam ciklusra és a bekerülési értékre vonatkoznak.**
- **Tárgyalásra kerülnek a veszteségek költségei, a meghibásodások és a véletlen kiesések, ill. a nem könnyen pénziesíthető környezetvédelmi, biztonsági, rendelkezésre állósági kérdések.**



TB 887: Life extension of oil filled transformers and shunt reactors

- **Áttekintésre kerültek a trafók és fojtók főbb részei**, mint az aktív rész (beleértve a szilárd és folyékony szigetelők), átvezetők, a tartály, a hűtők, fokozatkapcsoló, stb.
- **Bemutatásra kerültek az öregedési folyamatok és azok vonatkozásai az élettartamra.**
- Áttekintésre került a **szigetelőanyag öregedése**, a mechanikai igénybevétel, az **elnedvesedés**, a szigetelőanyag méretének változása.
- **Fontos**, ezért áttekintésre kerültek a **megfelelő diagnosztikai mérések, módszerek kiválasztása, amellyel a hibák ill. a romlás mértéke detektálható.**
- Tekintettel az állapotra, **becsülhető a lehetséges élettartam kiterjesztés alkalmazhatósága és hatékonysága.**
- **Kiemelten foglalkoznak még a fő beavatkozásokkal**, olajkezelésekkel, regenerálással, átvezetőkkel, fokozatkapcsolókkal, stb. egy teljes trafófelújításon keresztül.



TB 887: Life extension of oil filled transformers and shunt reactors

- **Az élettartamkiterjesztés** gazdaságosságára **üzleti számítások** kerültek bemutatásra. Bemutatásra került például egy **cellulóza szigetelés szárítása** (lásd a már bemutatott ábrát), olajfolyása, leromlott elemek kicserélése ill. felújítása.
- **2022-es kiadásban a fő konklúzió** az, hogy harmonizálni kell a technikai és pénzügyi vonatkozásokat, hogy a társaság jó döntést hozzon **az élettartamkiterjesztésre**, de természetesen további kutatások szükségesek még.
- „A” függelékben a legjobb élettartamkiterjesztési technikák kerültek összegyűjtésre.
- „B” függelékben jelentős információt szolgáltat a szóban forgó diagnosztikai módszerekről.
- A „C” függelékben kilenc élettartamkiterjesztéses esettanulmány található.

És ami fontos RVM viszonylatban: 3.3.3 Moisture Risk/Elnedvesedési kockázatok

- Tudjuk, hogy az élettartamnál a papír állapota a vizsgálandó, ezért az **elnedvesedés** (a hőmérséklet és az oxigén mellett) **a fő oka** a cellulóza szigetelés gyorsított öregedésének.



TB 887: Life extension of oil filled transformers and shunt reactors

- Az elnedvedéssel számos kutatás foglalkozott, köztük **számos CIGRE tanulmány és most ez TB is, így új aktualitás van 2025-ben.**
- Egy általános, **jól ismert szabály, hogy a papírszigetelés 1%-os nedvességtartalom növekedésének 2-es faktossal változtatja az élettartamot: felére **csökkenti** az élettartamot.**
- Ugyancsak **nagy kockázatot jelent a magas nedvességtartalom a buborékképződés miatti átütésben.** Valószínűsíthető, **hogy 3% nedvességtartalomnál a „hotspot” hőmérséklet** meghaladhatja a túlterhelésnél megengedett határértéket.
- **4% nedvességtartalom mellett, és felette, a trafó terhelést csökkenteni kell jelentősen a névleges értéke alá,** hogy elkerülhessük a buborékképződést és az átívelést ill. átütést.
- **További kockázat a nedvességtartalommal,** hogy változik a **szilárd szigetelés mérete,** változik a tekercsleszorító erő, így **csökken a mechanika szilárdság.**



- Látható a TB 887-es tanulmány **3.3.3 Moisture Risk/Elnedvesedési kockázatok alpontjában felsoroltak ugyanazok**, mint a **mi RVM előadásainkban elmondunk**, vagyis milyen jelenségek jelennek meg a trafó üzemében.
- **A TB 887-hez képest a mi tanulmányaink, előadásink pluszban azt is tartalmazzák, hogyan lehet az RVM technika alkalmazásával hatékony választ ad a felmerülő kérdésekre.**
- **RVM tanulmányokban bemutatásra kerülnek: elnedvesedési és öregedési alapok, buborékképződés, nedvességtartalom inhomogén eloszlása, stb.**
- **Azaz, az RVM tanulmányokkal és előadásokkal, ugyanazokat jelenségeket mutatjuk be, mint amit a TB 887 igényel, (szabványok hiánya miatt ez igen fontos) de ezek a tanulmányok választ is adtak, hogyan lehet az RVM technikával a felmerülő kérdéseket nagy részét megoldani.**
- **Ez a TB 887 nagyon jó alap, hogy összhangba hozzuk a felmerülő kérdéseket és arra adandó válaszokat, amelyeket a BME kutatásokból ismerünk.**



TB 887: Life extension of oil filled transformers and shunt reactors

- A hagyományos diagnosztikákra (tg, szigetelési ellenállás, abszorpciós tényező, stb.) van szabvány, **de akkor mi az alapvető probléma ezekkel a „klasszikus” módszerekkel?**
- A trafó egy nagyon dinamikus rendszer, több tíz tonna szigetelőanyaggal, **amely semmiben és sohasem „homogén”**: hőmérséklete a terhelés függvényében folyamatosan változik, ennek megfelelően az egyensúlyi állapothoz tartozó paraméterek (vízmegoszlás, stb.) is folyamatosan változnak, az **öregedés sem homogén, mert pl. függ a nedvességtől és a hőmérséklettől, amik szintén inhomogén eloszlásúak.**
- **Hagyományos, „egyetlen” mérési paramétert használó mérések** korlátozottan alkalmasak a szigetelésben lejátszódó bonyolult folyamatok mérésére, szemben a spektrummérésekkel.
- **Miért? Mert a spektrumjellegű mérések nem egy paraméterrel jellemzik a szigetelést, hanem egy egész spektrummal.**



- **Felbontásuknak** megfelelően „átvilágítva” követhetjük az inhomogén állapotot.
- A spektrummérések bevezetésével nagy lendülettel tanulmányok százai születtek, de **szabvány csak nálunk készült**, és csak lényegében az RVM fizikai lefolytatását tartalmazza.
- **De a lényeg, az eredmények kiértékelése: sajnos, ez csak a tanulmányokból követhető, ezért fontos,** hogy legalább ilyen konferenciákon tájékozást kaphassanak az érdeklődők.
- A 2022-as TB 887 3.3.3-as elnedvesedéssel foglalkozó alfejezetében - szabvány hiányában - most sorra vehetjük, hogy **a munkabizottság tagjai mit láttak fontosnak vizsgálatra ajánlani.**
- Számunkra pedig az nagyon aktuális, hogy mi is sorra vehetjük, hogy a TB 887 3.3.3 alpontban felvetett kérdések nagy részére az **RVM diagnosztika mennyire hatékony megoldást ad.**
- **Más szavakkal, egyenként követhetjük,** hogy ezen követelményeket miként elégíthetjük ki az RVM diagnosztika alkalmazásával.
- **Most látható igazán, mennyire jó lenne egy olyan szabvány,** amely definiálja az alapokat, a problémákat és a rá adható megoldásokat. **Ez a TB ezt a hiányt pótolja.**



- **Mit lehet ezek után tenni, hogy korrekt diagnosztikát hozzunk létre?**
- **A válasz ismert: a spektrum jellegű mérések** pont ezt az inhomogenitást tudják visszaadni.
- Tehát nagyon fontosak a spektrumos mérések használata, de ezek nem értékelhetők a klasszikus módszerek alapján. **Szabvány hiányában hogyan tudunk korrekt kiértékelést végezni, pl. az RVM technika esetében?**
- Ismert, hogy az **MVMT részére az 1970-es években a BME olyan kutatási anyagot készített, amelyben a spektrumos mérésekről szinte minden fontosabb információ megtalálható.** A kutatási anyagban a teljes spektrumos „referencia” rendelkezésre áll, **publikálásra került, mindenki szabadon hozzáférhet. Ez alapján értékeljük ki az RVM módszert is.**
- A konferenciáink **RVM előadásainak**, így a 2025-ösnek is **a célja**, hogy a hatékonyabb diagnosztika céljából legfontosabb információkat folyamatosan közreadjuk (tréning).



- Az RVM diagnosztikához elengedhetetlen a „**buborékképződés**” alapjainak áttekintése, amely most is röviden áttekintésre fog kerülni.
- Említésre került, hogy a **nagy nedvesség és öregedési termék tartalom gyorsítja az öregedést**, csökkenti az élettartamot, de a legnagyobb probléma, hogy a **buborékképződést okoz**, ez a **nagyfeszültségű** helyeken részkisüléshez (PD) vezet, ami átütésbe mehet át.
- Alapvetően **a buborékképződés a papír víztartalmától függ**: minél szárazabb a papír, annál nagyobb az a **küszöbhőmérséklet**, amikor a **buborékképződés beindulhat (lásd TB 887-t is.)**
- Itt is ki kell emelni, mert az öregedés el szokott maradni: a víztartalmat és az öregedési termék felhalmozódást **hasonlóan kell megítélni, mert mindkettő hasonló hatást fejt ki.**
- Az RVM-nél van „**víztartalom**” a tényleges víztartalom jellemzésére, és van „**egyenértékű víztartalom**” a papírban felhalmozódó öregedési termékekre, amely ugyanazt **a hatást fejt ki a szigetelésre, mintha víz okozta volna.**
- **TB 887 tanulmány úgy tekinthető**, mint egy útmutató (**GUIDE**) az élettartam kiterjesztéshez nincs szabvány, **de ez legalább irányt mutat**



Kiemelve a TB 887 3.3.3 alpont RVM szempontú főbb vizsgálandó felvetéseit:

- **Az elnedvesedés (a hőmérséklet és az oxigén mellett) a fő oka a cellulóza szigetelés gyorsított öregedésének: ezt mondjuk mi is, ezért hasznos az RVM diagnosztika.**
- **Tárgyalásra kerül az öregedési folyamat és annak vonatkozásai az élettartamra: nemcsak az elnedvesedés, hanem az öregedési termékek felhalmozódása is olyan hatású, mint a víz, ezért együtt vizsgálandó, ahogy az RVM technika is teszi.**
- Tekintettel az állapotra, **becsülhető a lehetséges élettartam** kiterjesztés alkalmazhatósága és hatékonysága: **az RVM olyan „mértékben világítja át” a szigetelést, hogy alkalmas lehet a pillanatnyi állapot mellett a várható élettartam becslésére is.**
- **A TB 887 kiemelten foglalkozik még a fő beavatkozásokkal: olajkezelés, olajfolyás, cserélendő átvezetők, fokozatkapcsolók, stb. egy teljes trafófelújításon keresztül.**
- Áttekintésre került a **szigetelőanyag öregedése és elnedvesedése mellett** (mint következmény) **a szigetelőanyag méretének változása**, ennek következtében **a leszorítóerő változása**, végsősoron a tekercs **mechanikai szilárdsága**.



- **Tudott, hogy az RVM technika alkalmazásánál ugyancsak megemlítjük ezt a témát, sőt javasoljuk a helyszíni olajregenerálást (hatékonyság ellenőrzése RVM által), azután a tekercsleszorítás újra szabályozását, főleg helyszíni kivitelezésben.**
- **Fontos, ezért áttekintésre került ugyancsak a megfelelő diagnosztikai mérések, módszerek kiválasztása, amelyekkel a hibák ill. a romlás mértéke detektálható:**
- **A TB 887-ben felsorolásra kerülnek szinte az összes mérések, főleg a klasszikus vizsgálatok, amelyekre van szabvány.**
- **Felsorolásra kerültek a spektrumos módszerek is, de hát továbbra azzal hátránnyal, hogy a kiértékelést, a diagnosztikát szabványok hiányában főleg a műszergyártók ajánlásai alapján lehet leginkább elvégezni.**
- **Tekintettel, hogy az RVM alkalmas alapos állapotbecslésre, így az RVM-el a TB 887-es, élettartam becslési igény is teljesíthető.**



- A TB 887 kiemelten foglalkozik még: olajregenerálással, olajfolyással, átvezetőkel, fokozatkapcsolókkal, stb. egy teljes trafófelújításon keresztül.
- Ez a téma is érintett az RVM lehetőségek között, azzal a külön megjegyzéssel, hogy **az RVM technikával lehet a legbiztosabban megbecsülni az olajregenerálás hatásosságát.**
- **TB 887 szerint: egy általános, jól ismert szabály, hogy a papírszigetelés 1%-os nedvességtartalom növekedésének 2-es faktorral változtatja az élettartamot: felére csökkenti az élettartamot: nézzük meg az RVM „monogram görbeseregeit”, tökéletesen egybeesik a TB 887 megállapításával, tehát az RVM-el lehet élettartamot is meghatározni.**
- TB 887 szerint: ugyancsak **nagy kockázatot jelent a magas nedvességtartalom a buborékképződés miatti átütésben.** Valószínűsíthető, **hogy 3% nedvességtartalomnál a „hotspot” hőmérséklet meghaladhatja a túlterhelésnél megengedett határértéket.**
- **4% nedvességtartalom mellett, és felette, a trafó terhelést csökkenteni kell jelentősen a névleges értéke alá,** hogy elkerülhessük a buborékképződést és az átívelést ill. átütést. A TB 887 megállapításai, mint a mi RVM előadásaink megállapításai!



**Innen már a „hagyományos” RVM előadások
témakörei jönnek 2025-ös változatban!**

Buborékképződési alapok az olaj-papír szigetelésekben

(RVM diagnosztika szempontjából fontos alapvető ismeretek rövid áttekintése)

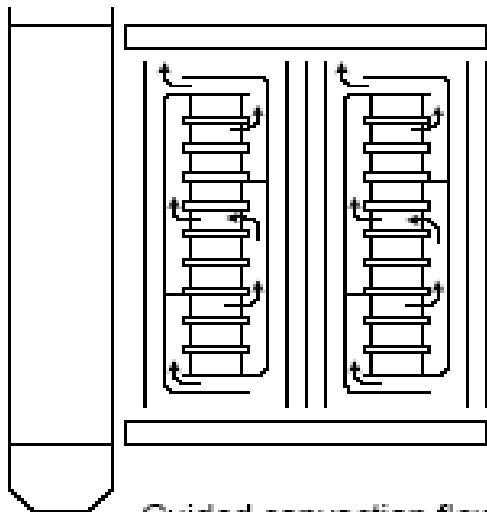


- **Tehát alapvető célunk a papír víztartalmának a „becslése”, mert ha ennyire inhomogén a rendszer, akkor irreális igény egy fix értékkel jellemezni a víztartalmat.**
- De ha inhomogén az eloszlás, akkor ezt az inhomogenitást kell meghatározni, a „klasszikus mérések egyetlen paramétere” nem alkalmas az inhomogenitás jellemezésére.
- Az olaj-papír szigetelésnél **végző fokon főleg arra vagyunk** kíváncsiak, mennyi az átlagérték (öregedés miatt), hogy az üzem közbeni változások következtében **az átütési szilárdság lecsökkent-e egy bizonyos szint alá, milyen a trafó pillanatnyi üzembiztonsága, valamint mi a várható élettartam.**
- Láthatjuk, hogy erre jók a spektrum módszerek, mint pl. az RVM is, mert az „átvilágítással” alkalmas az inhomogenitás „visszaadására”.
- **Az RVM diagnosztika nemcsak az átlagos papír víztartalomra, az öregedési termék felhalmozódásra, azaz, a pillanatnyi állapotra szolgáltat információt, de információt kaphatunk az üzemeltetés biztonságára, a karbantartási beavatkozási lehetőségekre, várható élettartamra, stb.**

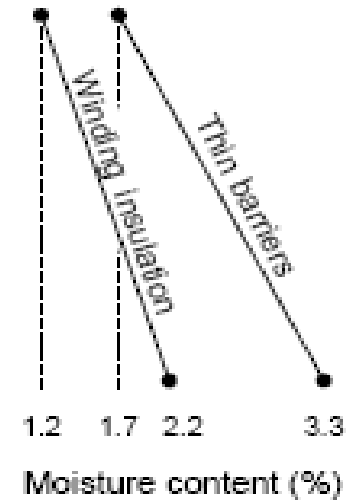
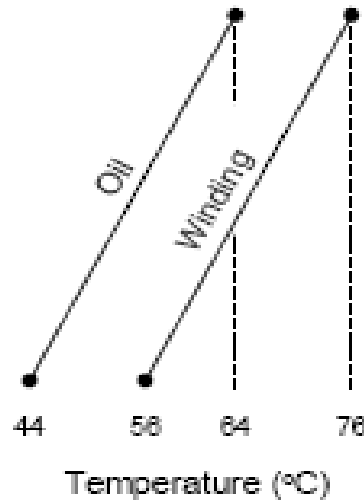


Inhomogén hőmérséklet és nedvességtartalom eloszlás a trafó szigetelésben

Transformer rated voltage	Maximum water content in oil (ppm)			Equivalent water content in paper
	50°C	60°C	70°C	
Up to 69kV	27	35	55	3%
69 to 230kV	12	20	30	2%
230kV and above	10	12	15	1.25%



Guided convection flow through disk windings





Röviden az olaj-papír szigetelés buborékképződéséről

- A terhelés következtében veszteség keletkezik a trafóban, megemelkedik a hőmérséklet.
- Az 50Hz-es térerő hatására **lokális dielektromos veszteség** is keletkezik a szigetelőanyagban.
- Nedvesség és öregedési termékek hatására **növekszik a lokális veszteség**, nagyobb veszteség miatt **nő a lokális hőmérséklet**, ami miatt újra növekszik a veszteség, azaz egyre magasabb lesz a lokális hőmérséklet (lavina effekt!!), a nedvességtartalom által meghatározott **hőmérsékleten átütés következik be** (lásd a következő ábrákat).

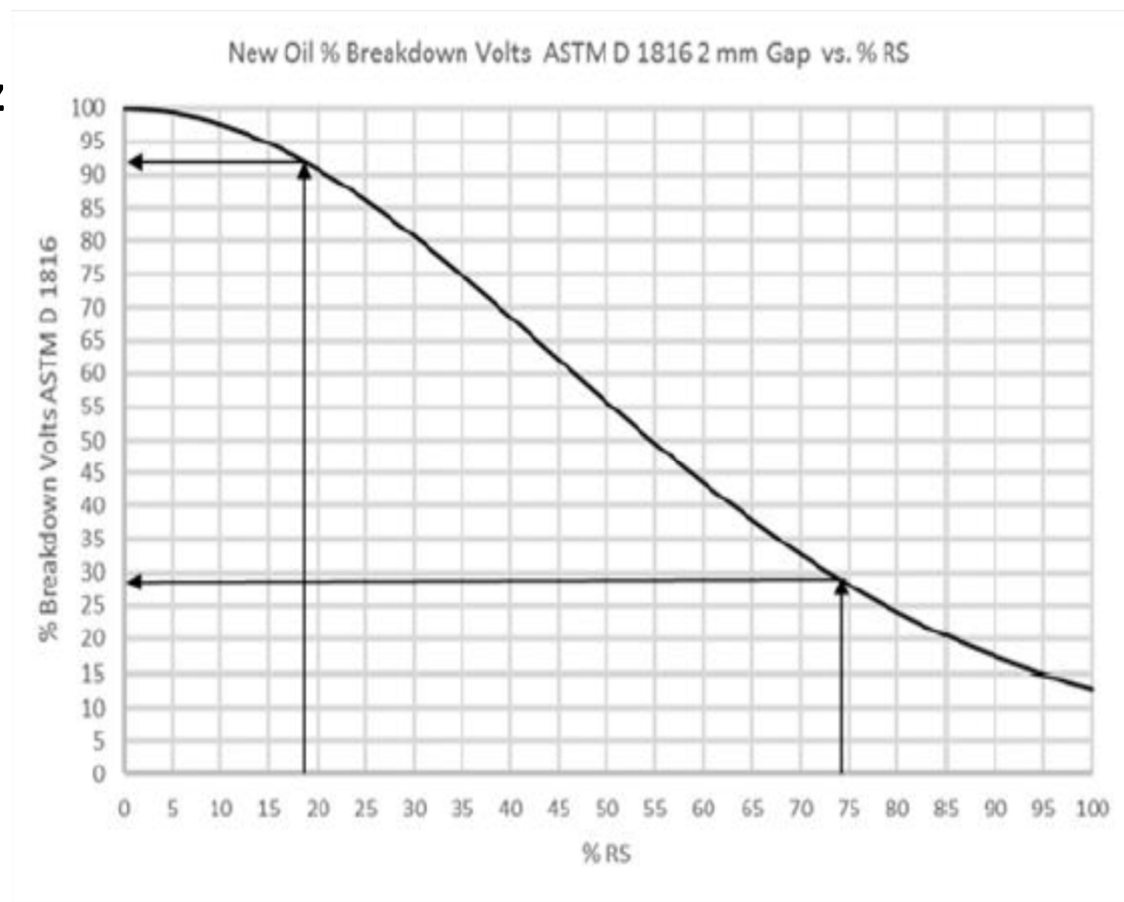
A nedvességtartalom és öregedés mértékétől függő hőmérsékleten beindul lokálisan a buborékképződés, és ha nagy a lokális feszültség, PD keletkezik, végül átütés következhet be.

- Magasabb hőmérséklet, nagy papír víztartalom, nagy olaj öregedési termék felhalmozódás: **már 10 kV/cm lokális térerősség** mellett megindulhat a buborékképződés.
- Ezek után **részkisülések léphetnek fel**, olyan geometriájú helyeken is, ahol az adott feszültségen **buborékok nélkül** ez nem volna várható. **Az egyszer megindult részkisülés viszont már önfenntartó, kialakása rendszerint csak jóval kisebb térerőnél következik be.**



Átütési feszültség és az olaj (és a papír) RS víztartalma közötti összefüggés

- Ismert, hogy **közvetlen összefüggés van az átütési szilárdság és a relatív telítődés (RS) a szigetelő olajban között, lásd az alábbi ábrát.**
- **Ez csak olajátütés, papír nélkül. Két kiemelt pont látható az ábrán: az olaj RS=20%-nál az átütési szilárdság csak 10%-ot csökken, de RS=75%-nál az átütési szilárdság csökkénés már 70%.**
- **Ez már jelentős átütési szilárdság csökkenés, átütéshez, átíveléshez vezethet.**

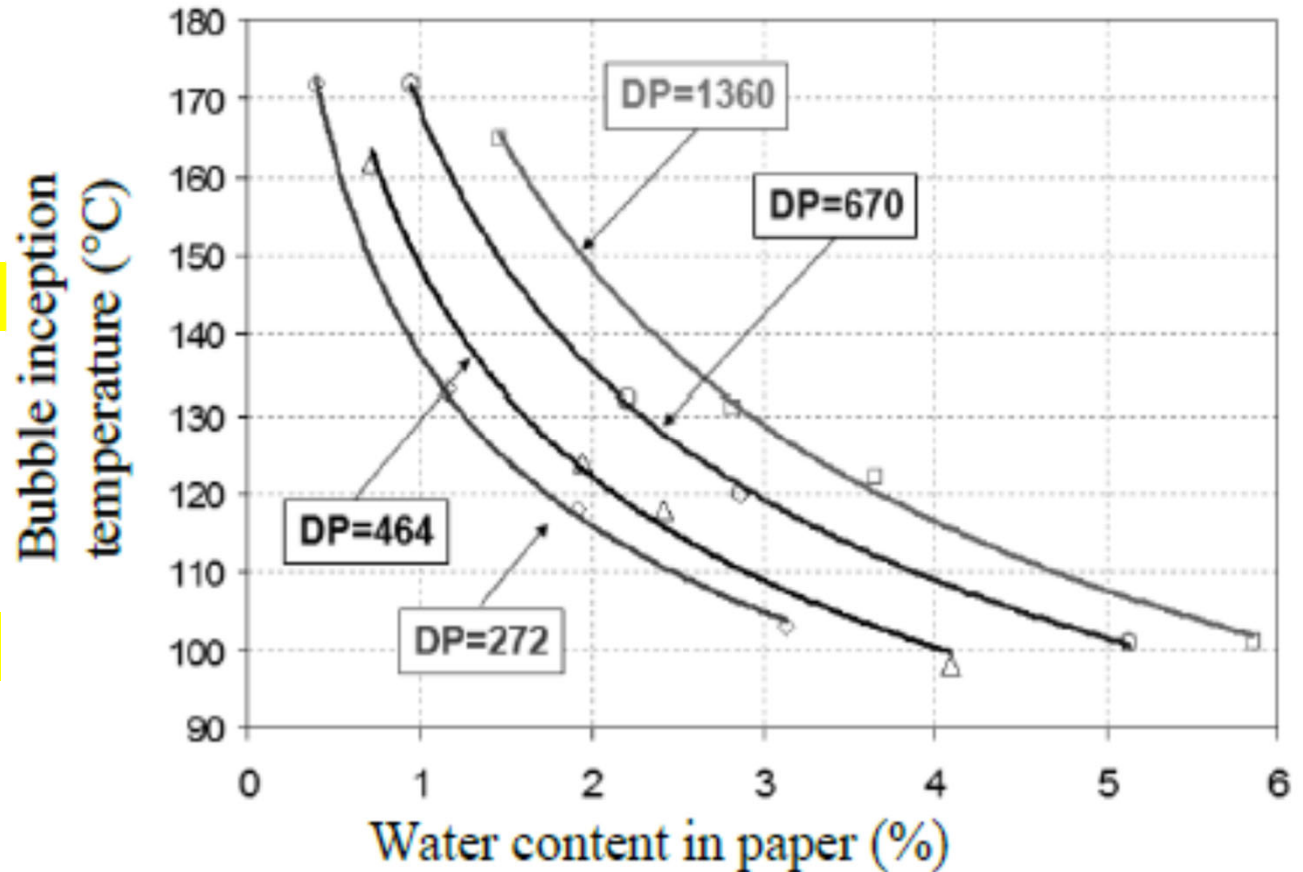




Az alábbi ábrán a **buborékképződés küszöbfeszültség függése látható a víztartalomtól és a papír DP-től:**

minél nagyobb a DP (új papír), annál nagyobb a küszöbhőmérséklet (2% víznél 140-155°C), öreg papírnál 2% víztartalomnál már 120 °C a küszöbhőmérséklet.

0,5%-nál a buborékképződés küszöb hőmérséklete 200°C felett, 2%-nál kb. 140°C, 4%-nál alig 110 °C.





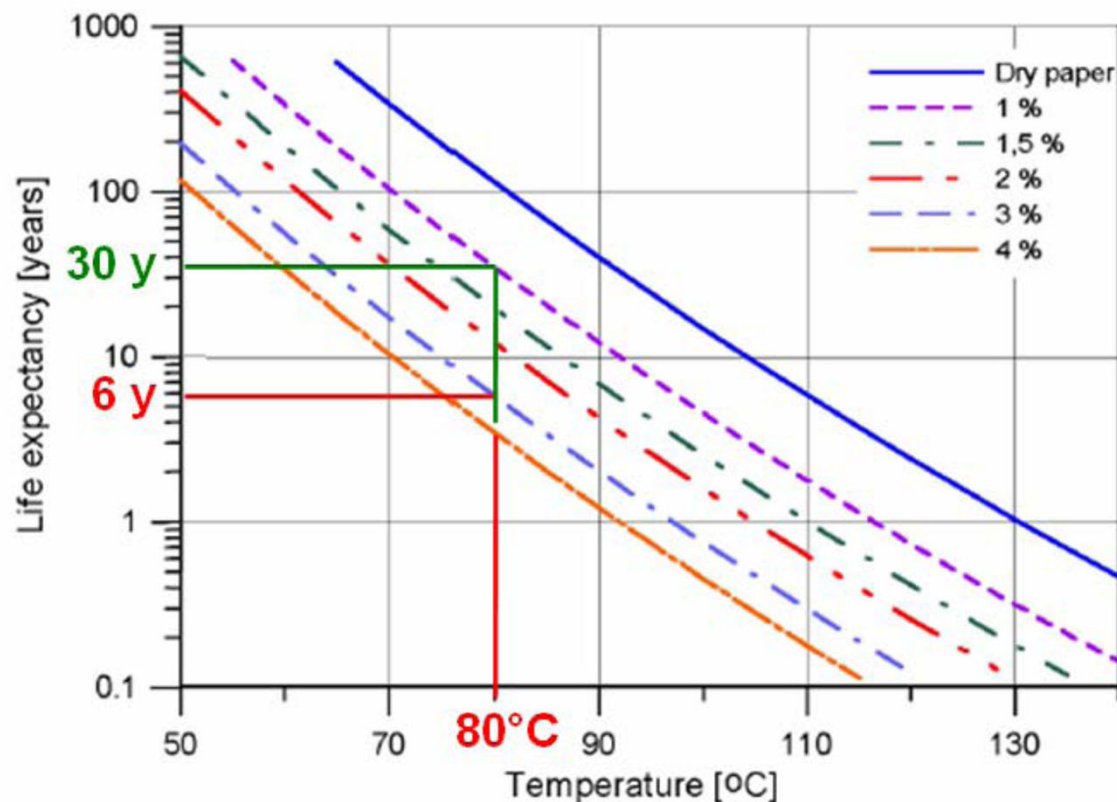
Trafó élettartam függés a hőmérséklettől és a nedvességtartalomtól (öregedéstől)

Látható, hogy mekkora a hasonlóság az itteni görbék és az RVM monogram között!!!

Moisture in paper (%)

1%

3%



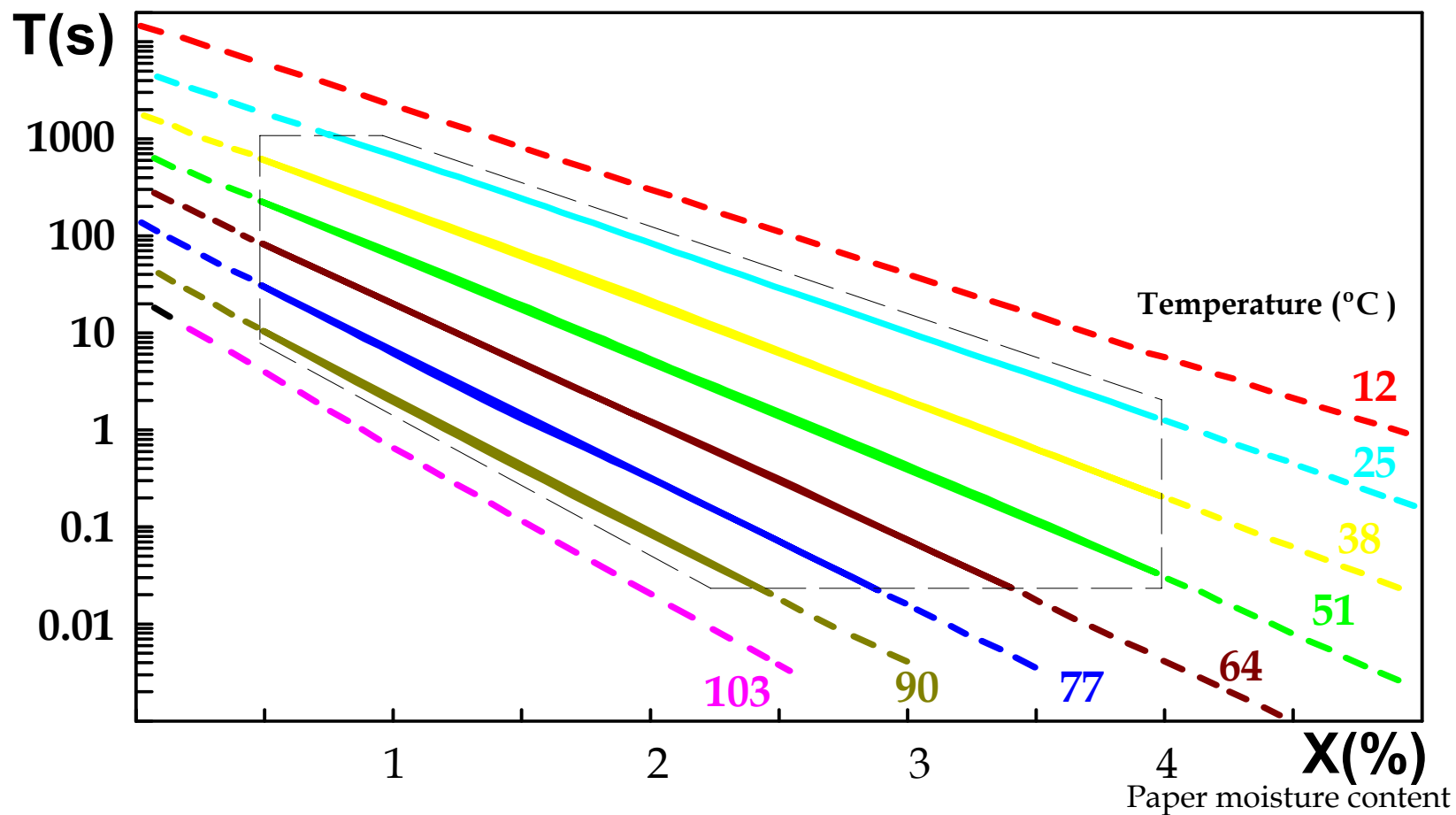
Source: SINTEF

**80°C-on üzemeltetve a trafót 1% papír víztartalomnál a várható élettartam kb. 30 év.
Ha a víztartalom 3%-ra nőne, akkor a várható élettartam kb. 6 évre csökkenne.**



Nomogram: RVM mérések 25-90°C közötti hőmérsékleten

dominant time constant

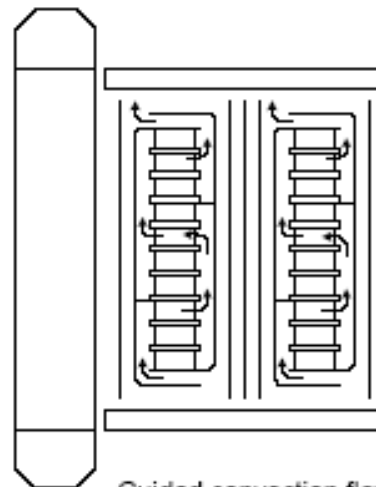




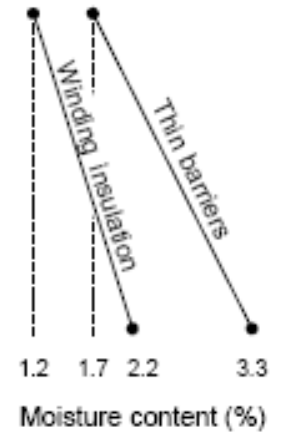
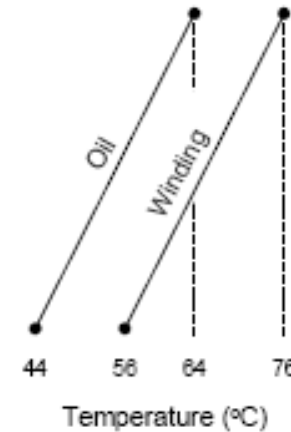
A romlás még inkább inhomogénné teszi az amúgy is inhomogén állapotú szigetelőanyag szerkezetét, azt hűten képezi le a **polarizáció**, az is **inhomogén** lesz.

Ezért nem lehet a hagyományos módszerekkel pontosan diagnosztizálni, de a polarizáció spektrális eloszlásával már jól diagnosztizálható a szigetelés.

Transformer rated voltage	Maximum water content in oil (ppm)			Equivalent water content in paper
	50°C	60°C	70°C	
Up to 69kV	27	35	55	3%
69 to 230kV	12	20	30	2%
230kV and above	10	12	15	1.25%



Guided convection flow through disk windings



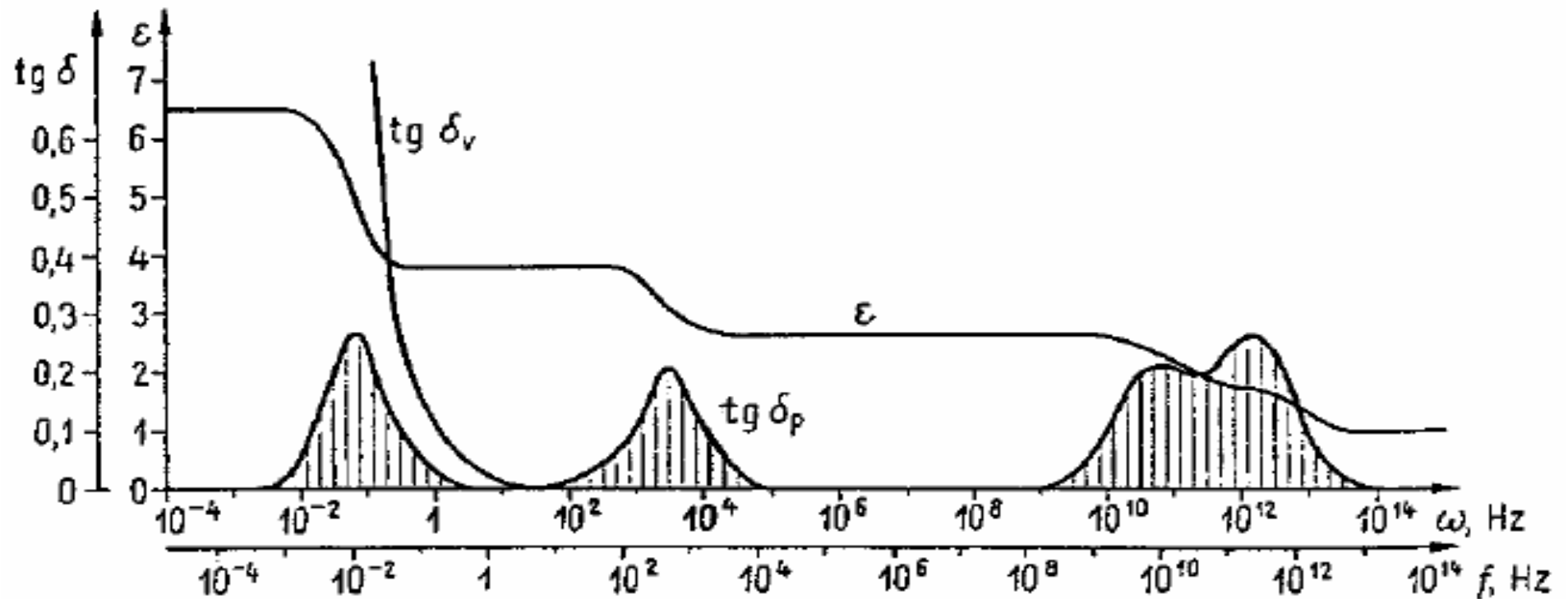


- Tehát az inhomogén állapotú szigetelőanyagban a polarizáció is inhomogén.
- **Ha tudjuk mérni az inhomogén eloszlású polarizációs spektrumot, akkor már jól diagnosztizálható a szigetelés.**
- Jellemzésre a polarizációs spektrum *időállandója és az intenzitása* használható.
- Fontos megemlíteni az alábbi ismert fizikai törvényszerűséget, mert felhasználható a kiértékelésnél: : **adott időállandójú (kritikus frekvenciájú) polarizáció csak saját időállandójával történő gerjesztés esetén termel veszteséget (lásd alább a vonatkozó ábrát).**
- A polarizációs veszteségek hatására helyi túlmelegedés, majd az elégtelen hővezetés miatt buborék képződik, PD, akár közvetlen hő-villamos átütés jön létre (analógia: „50Hz-es mikrohullámú sütő”!!).
- Esetünkben az 50Hz-es értékhez tartozó $tg\delta$ érték a fontos, hogy üzemben mekkora hő termelődik a szigetelésben. Ha beindul a buborék képződés, akkor átütés lehet a vége.
- **Cél: megakadályozni, hogy buborékok képződjenek.**



Három különböző időállandójú polarizációval rendelkező spektrum

Egyes polarizáció fajták intenzitásának + vezetési veszteség ($\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_v + \text{tg}\delta_p$) eredőjeként áll elő az eredő tg delta.





- Ismerjük, hogy a hogy a határréteg polarizáció milyen sok információt tartalmaznak. Feladatunk a határréteg polarizáció spektrumának megfelelő kiértékelése.
- Adatbázis a kiértékeléshez: az MVMT/NIM/OMBF által finanszírozott BME kutatás szinte az üzemben szóba jövő összes lehetséges állapotot megvizsgált, és így rendelkezésre áll a határréteg polarizáció időállandójának hőmérséklet, nedvességtartalom, öregedési termék felhalmozódás függése.
- A BME és saját mérésünkből is ismert, hogy a határréteg polarizáció időállandója 20°C hőmérsékleten 5000 s körüli, ha új állapotú és száraz a szigetelés (víztartalom 0,5% alatt).
- Ha a szigetelés **elkezd nedvesedni és öregedni**, a polarizáció **időállandója folyamatosan csökken**, és a fentebbi tgδ frekvenciafüggés görbéből látható, ha polarizációs időállandó az 50Hz-es feszültséghez tartozó 3ms frekvencia közelébe kerül, akkor a 3ms-al jellemezhető szigetelésben a veszteségi teljesítmény drasztikusan megnő, megnő ezen a térfogatban a hőmérséklet, **lokálisan beindul a buborékképződés**, és ha itt még a térerősség is nagy, az olaj-papír szigetelés törvényszerűen átüt. Ezt el kell kerülni.
- Ezzel röviden meg is fogalmazódott a spektrummérések kiértékelésnek az alapja.



- Ha áttekintjük, **hogy mi került a TB 887-es tanulmányban rögzítésre**, megállapíthatjuk, lényegében **ugyanazek, mint az RVM esetében felsorolásra került.**
- **Tehát, bár hiányzik a kiértékeléshez a szabvány, a CIGRE TB 887 „GUIDE” alapján ismerjük a célt, az eszközöket, ki kell választani a célnak megfelelő hatékony diagnosztikákat.**
- **A kiértékelés legpontosabban a BME adatbázis referencia spektrumaival történő összehasonlításával végezhető el bármely spektrummérés esetén: RVM, PDC, FDS.**
- Egyszerűbb és gyakorlatban elegendő pontosságú a **„buborék képződés kezdeti hőmérsékletének” alapuló kiértékelés, amelyhez a szigetelésben uralkodó határréteg időálló polarizációs veszteség legkisebb „rezonancia vagy kritikus frekvenciáját”, vagy a hozzá tartozó „kritikus időállandót” kell kiszámítani.**
- **Ha ismerjük adott mérési hőmérsékleten a legkisebb „kritikus frekvenciát”, akkor viszonyítani kell az 50Hz-hez tartozó kb. 3ms-hoz: a kritikus frekvencia legyen nagyobb a legnagyobb üzemi hőmérsékleten 3ms-nál, mert átütés következhet be.**



RVM diagnosztika alkalmazása olaj-papír trafóknál

RVM diagnosztikai kiértékelés rövid áttekintése különös tekintettel a
buborékképződésre



SPEKTRUM MÓDSZEREK – HAGYOMÁNYOS ELJÁRÁSOK

-Az olaj-papír szigetelés eléggé „összetett” rendszer, így romlása is „bonyolult” változást jelent. **Ez okozza a legnagyobb problémát:** mert hagyományos módszerek le akarnak egyszerűsíteni, de a bonyolult változásra bonyolult válasz szükséges.

-A „spektrum” méréseknél egy spektrumot kapunk, amely jellegénél fogva képes a „**bonyolult változást követő inhomogén rendszert jellemezni. Hogyan? „Átvilágítás!!!”**

-A spektrum módszerekre (RVM, FDS, PDC) **nincsenek szabványok**, mérések végzése **tanulmányok, gépkönyvek, stb.** alapján történik.

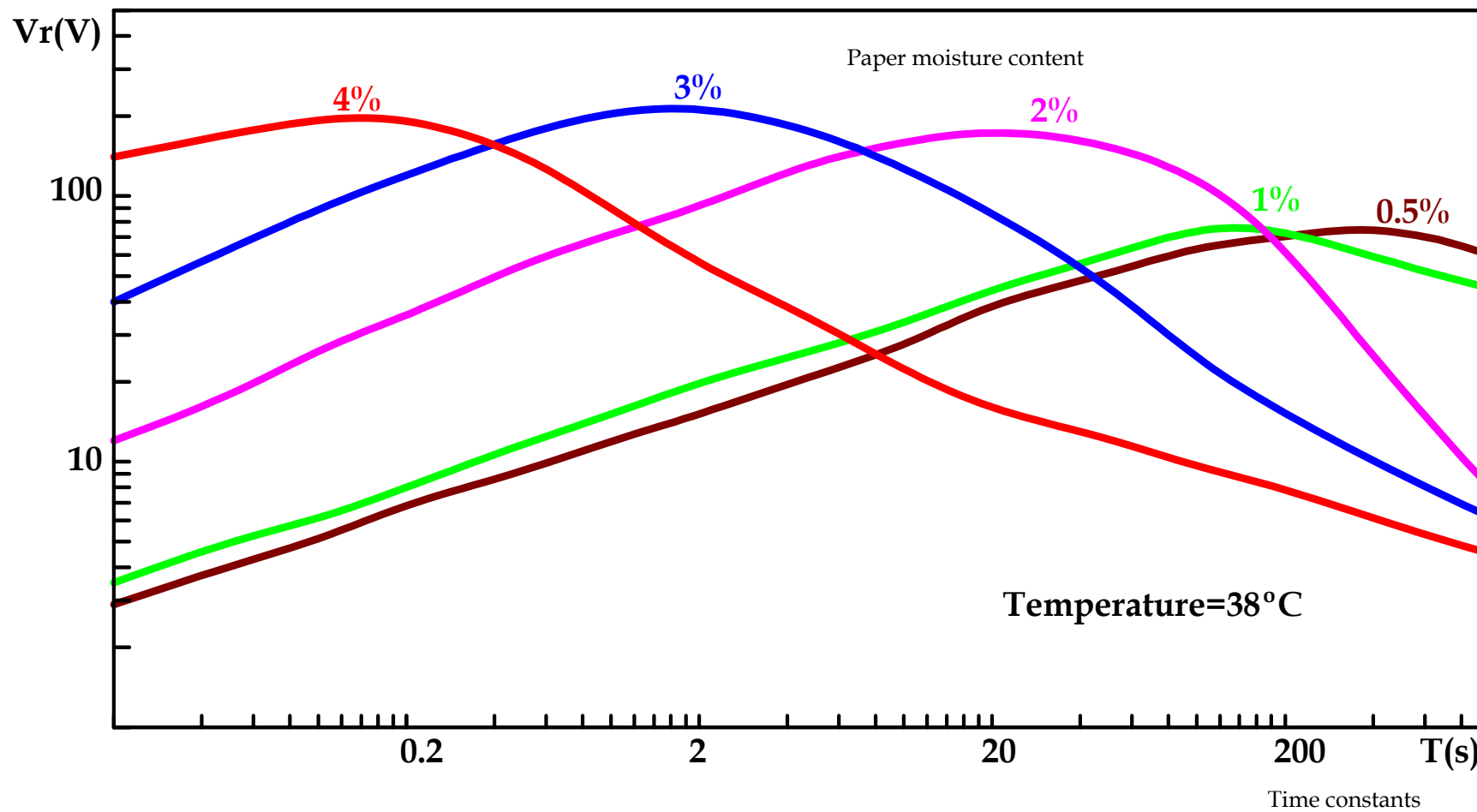
-FONTOS: felhívni a figyelmet, melyek a szem előtt tévesztett alapokra. Erre a legjobb az 1970-es évek **BME kutatása Ki használja?? Kutatási munka többszáz oldala nem használható a gyakorlatban, ezért kell a szabvány!**

-**Kutatás eredménye:** az olaj-papír szigetelés romlásának jobb áttekintése, romlás pontosabb megértése, **anomáliák tisztázása, új mérési módszerek kidolgozása.** Ez alapján kerültek bevezetésre a **spektrum módszerek is (RVM, FDS, PDC).**



38°C mérési hőmérsékleten mért RVM görbék

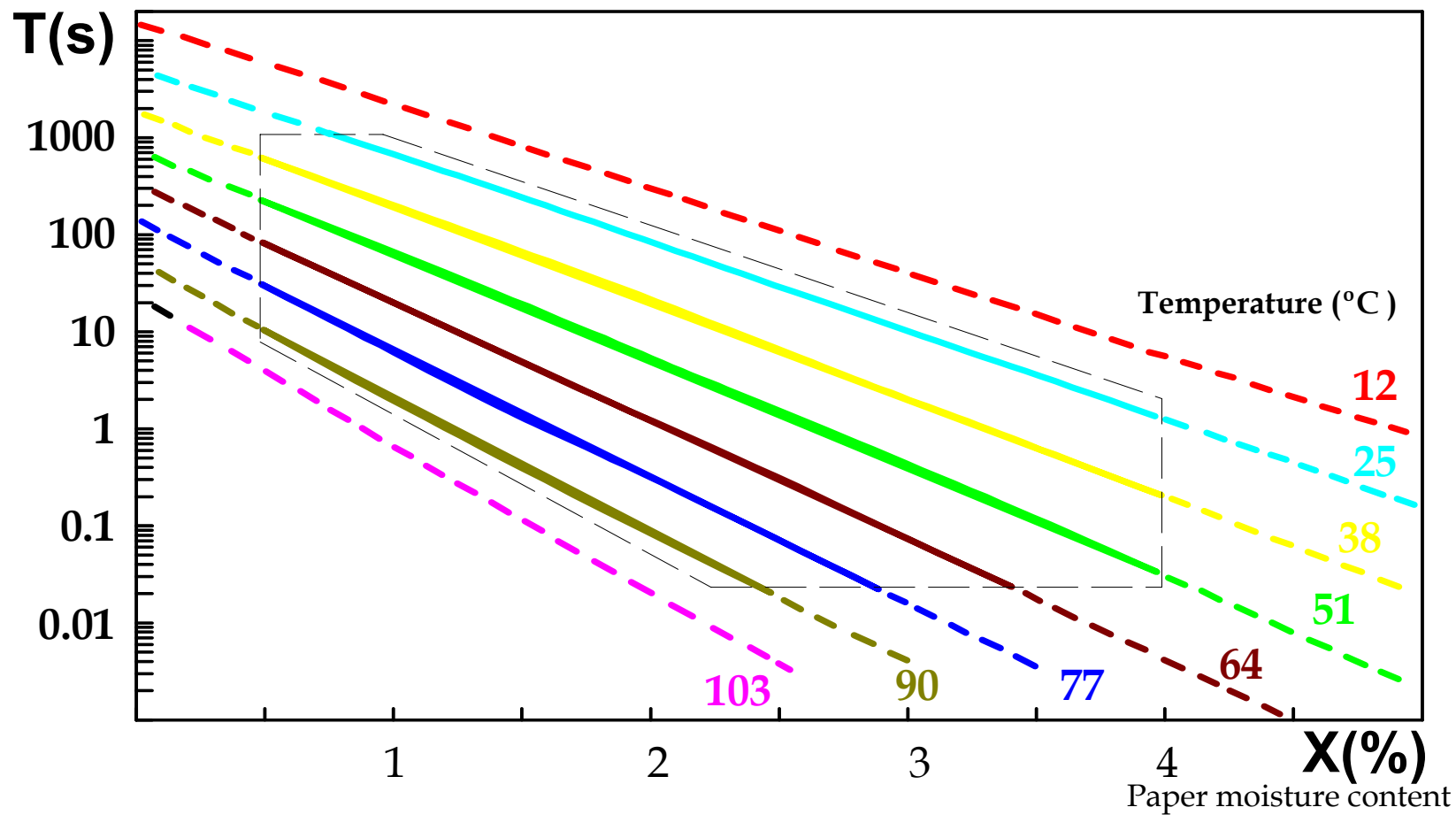
Curves, derived from the maxima of the return voltages





Nomogram: RVM mérések 25-90°C közötti hőmérsékleten

dominant time constant





- A BME kutatás eredményei alapján megismerhetőek az alapvető rohlási folyamatokat, magyarázhatóak a klasszikus vizsgálatok anomáliái,

mégsem használjuk értékének **megfelelően ezt a magyar kutatási eredményt.**

De miért? Szabvány hiánya?! Megfigyelhető: ha nincs szabvány valamire, azt jóval kevesebben használják.

De most van egy CIGRE „GUIDE”

- A kifejlesztett három új spektrummérési módszerrel (RVM/PDC/FDS) diagnosztizálható a **rohlás, költséghatékonyan be lehet avatkozni az élettartam kiterjesztésébe.**
- A szakemberek legfontosabb célja kellene, hogy legyen folyamatos ismeretbővítés (Tutorial, DIAG konferenciák, stb. pl. Doble!).

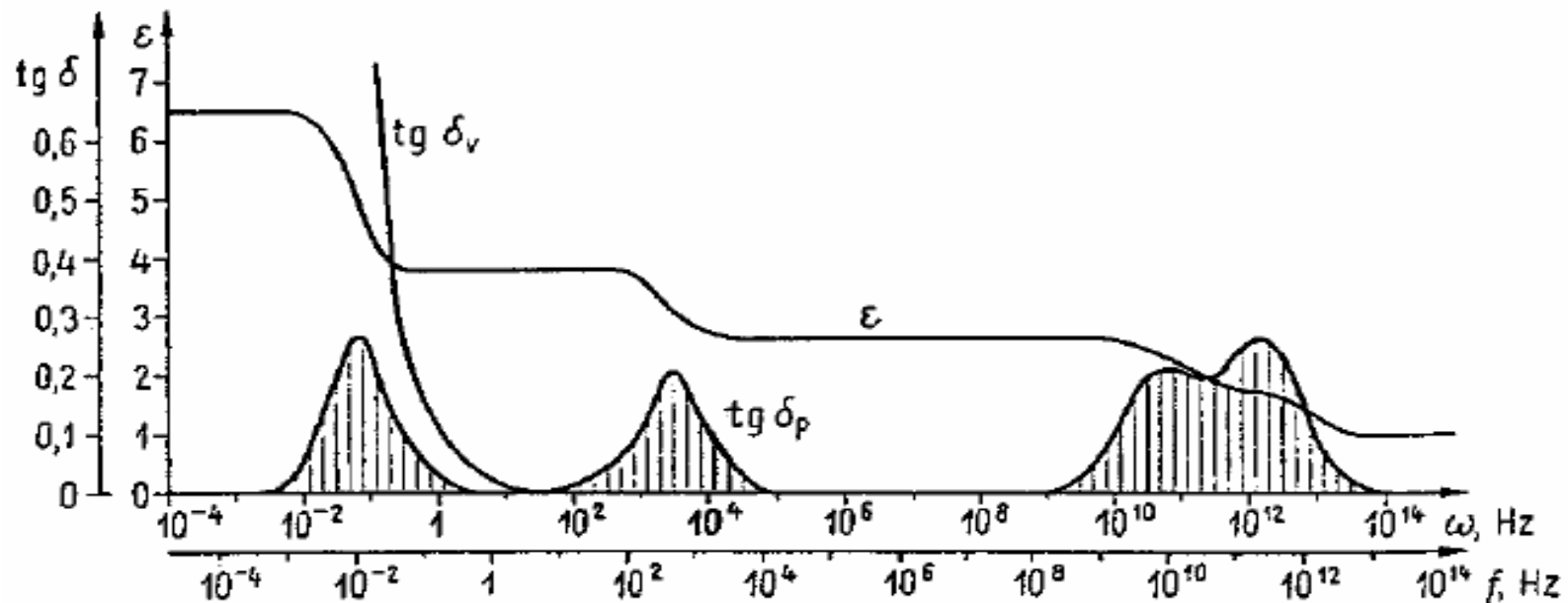
PI: Három különböző időállandójú polarizációval rendelkező spektrum

- Egyes polarizáció fajták intenzitásának + vezetési veszteség ($\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_v + \text{tg}\delta_p$) eredőjeként áll elő az eredő $\text{tg}\delta$.

- **Csak az 50Hz-es veszteségi tényező mérése önmagában nem elegendő, ismerni kell a spektrum további részeit**, hogy hőmérséklet változás esetén tudjuk, hogy mekkora veszteségi teljesítmény változás várható. **Laboratóriumi alpmérések szükségesek (referenciák)!**

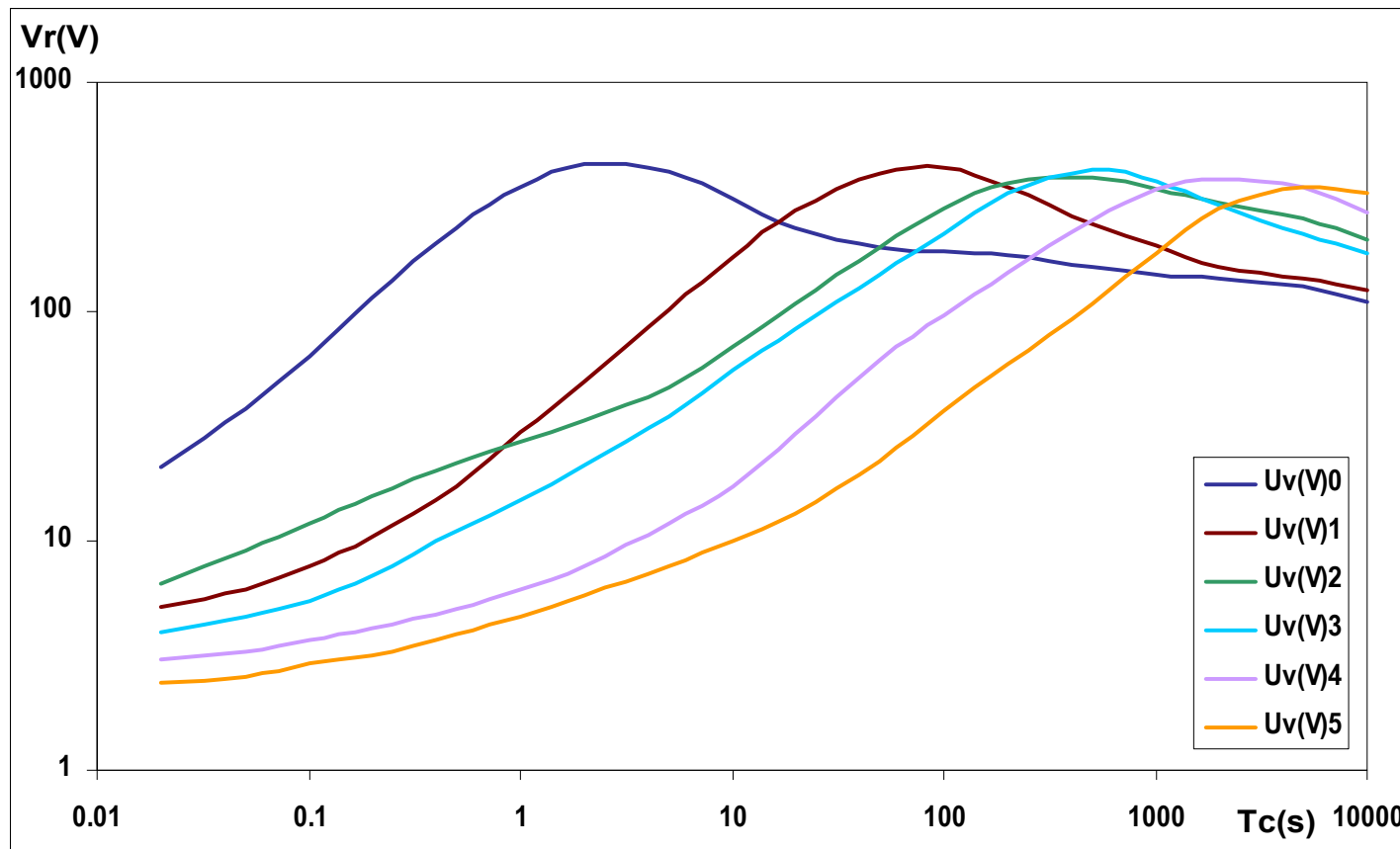
Kritikus frekinél „jellegzetesen” változik a $\text{tg}\delta$ és ϵ : $\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_v + \text{tg}\delta_p (= \epsilon'')$ és $C = \epsilon$, ill. ϵ' .

$$\text{tg}\delta = 1 / (\rho \epsilon_0 \epsilon \omega) = 1 / (\rho \epsilon_0 \epsilon 2 \pi f) \text{ (fordítva arányos a frekvenciával)}$$



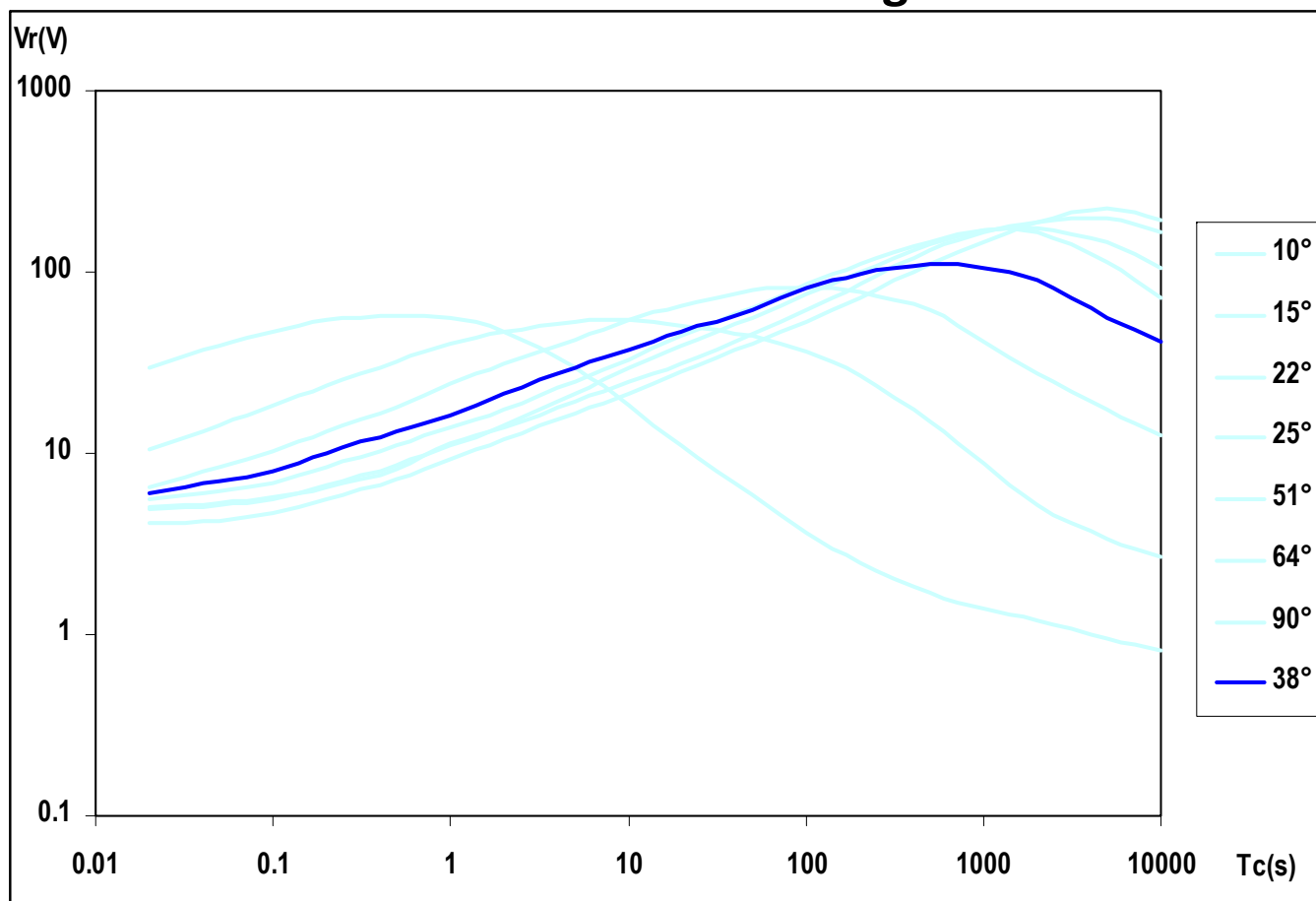


RVM spektrumok mozgása a papír víztartalmának függvényében: a polarizáció időállandója folyamatosan közelít az 50Hz hálózati feszültség 3ms időállandóhoz.



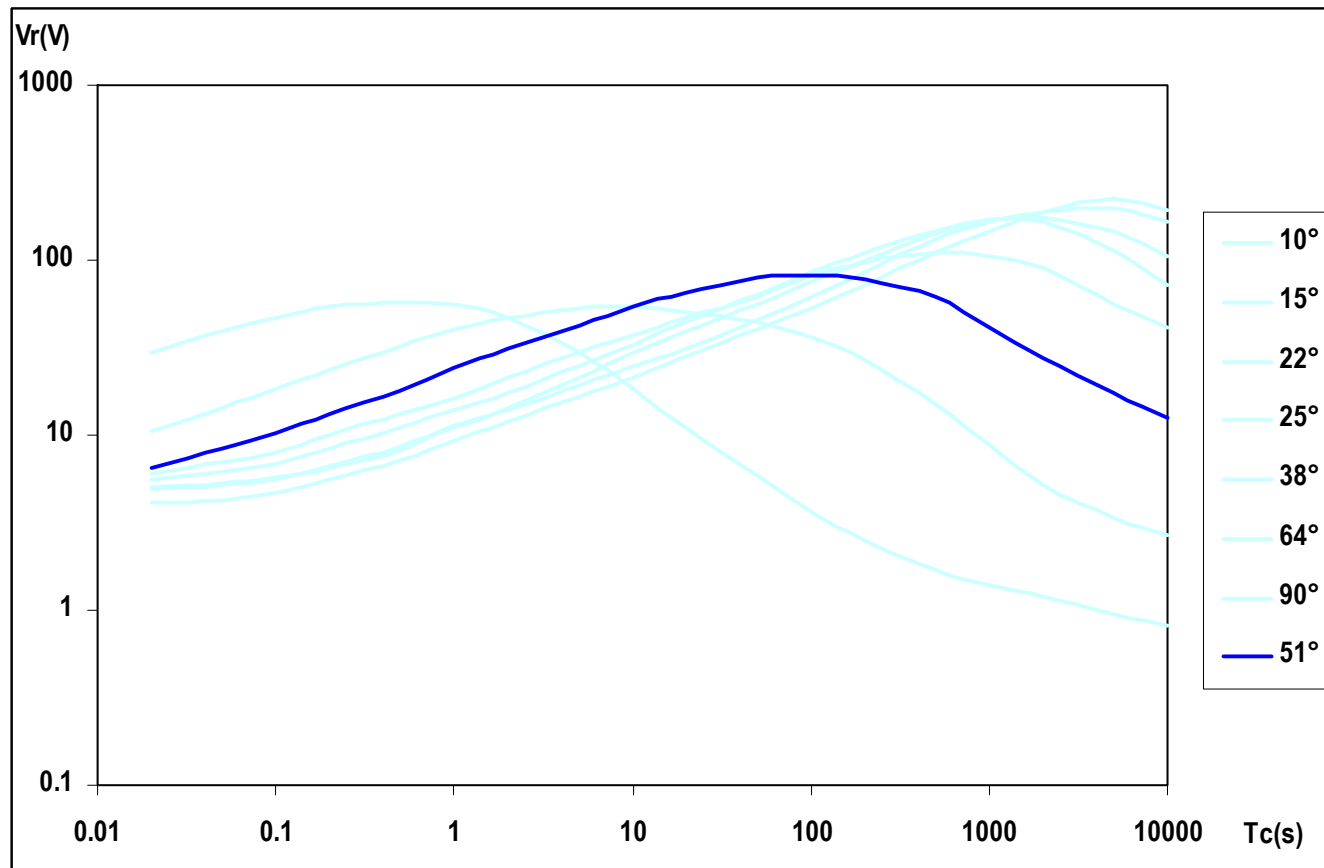


Az RVM „spektrum” görbéje a papír víztartalmának függvényében folyamatosan közelít az 50Hz-es feszültség 3ms-hoz.



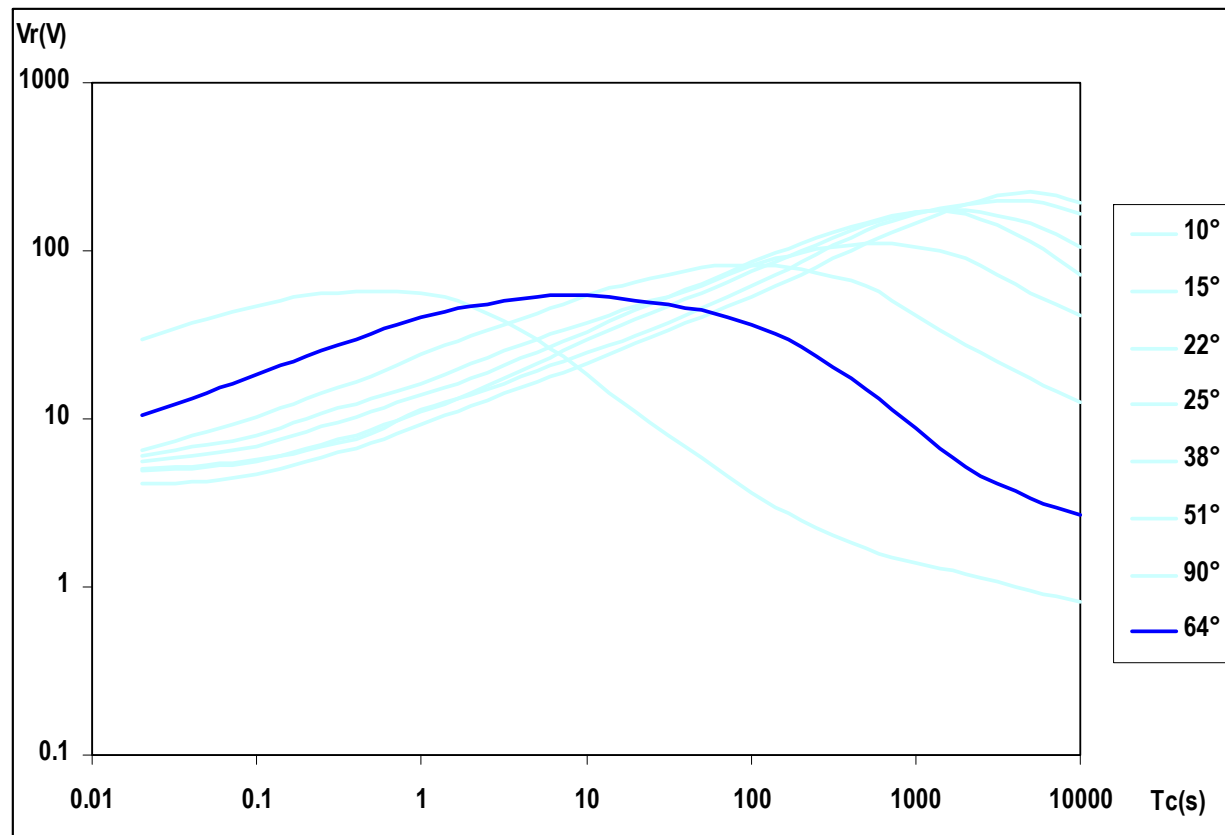


Az RVM „spektrum” görbéje a papír víztartalmának függvényében folyamatosan közelít az 50Hz-es feszültség 3ms-hoz.



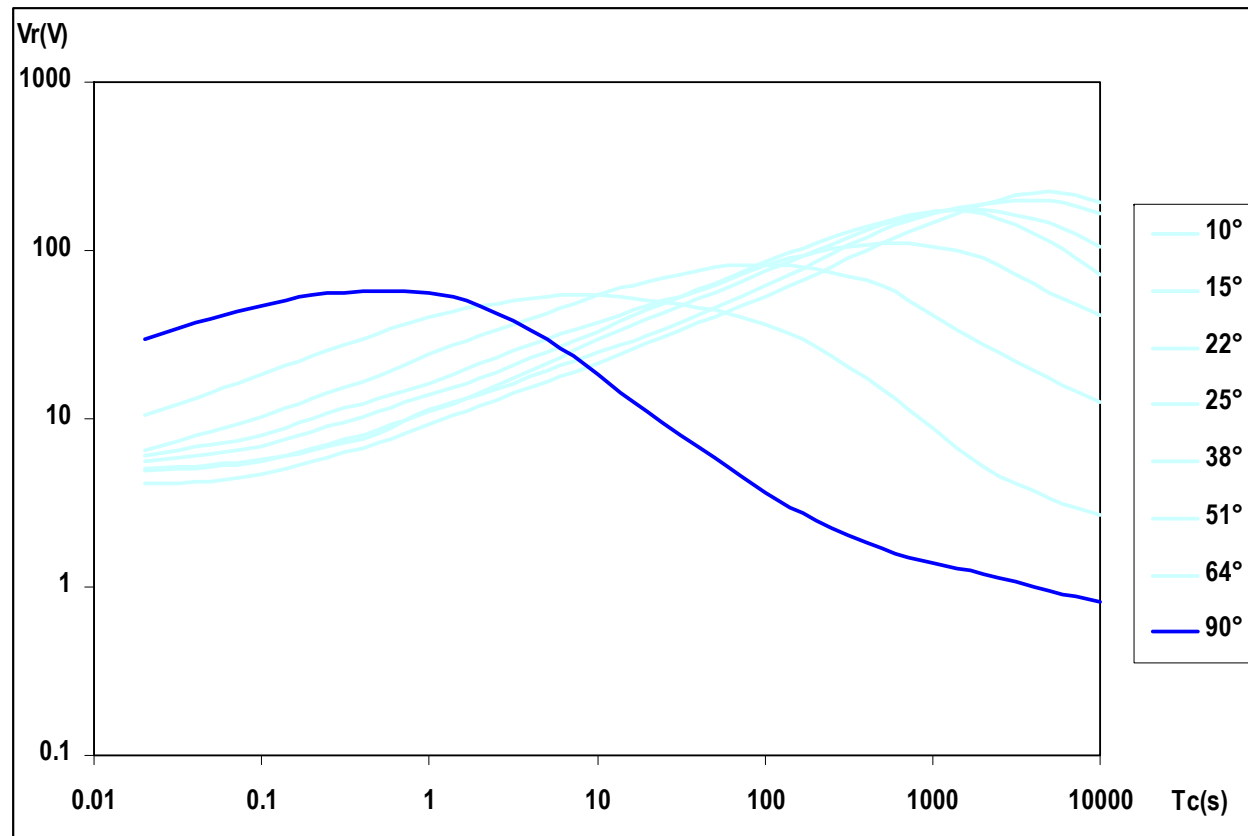


Az RVM „spektrum” görbéje a papír víztartalmának függvényében folyamatosan közelít az 50Hz-es feszültség 3ms-hoz.



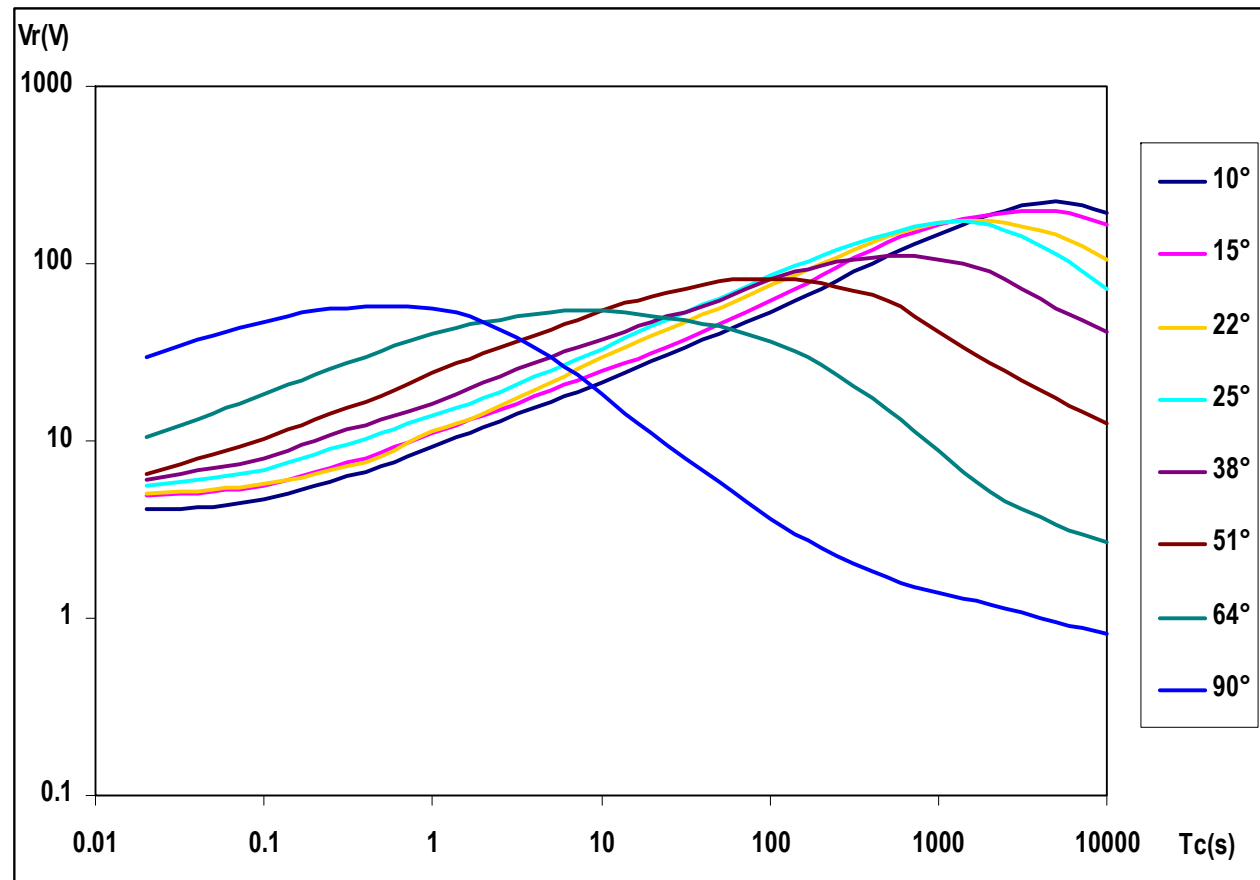


Az RVM „spektrum” görbéje a papír víztartalmának függvényében folyamatosan közelít az 50Hz-es feszültség 3ms-hoz.



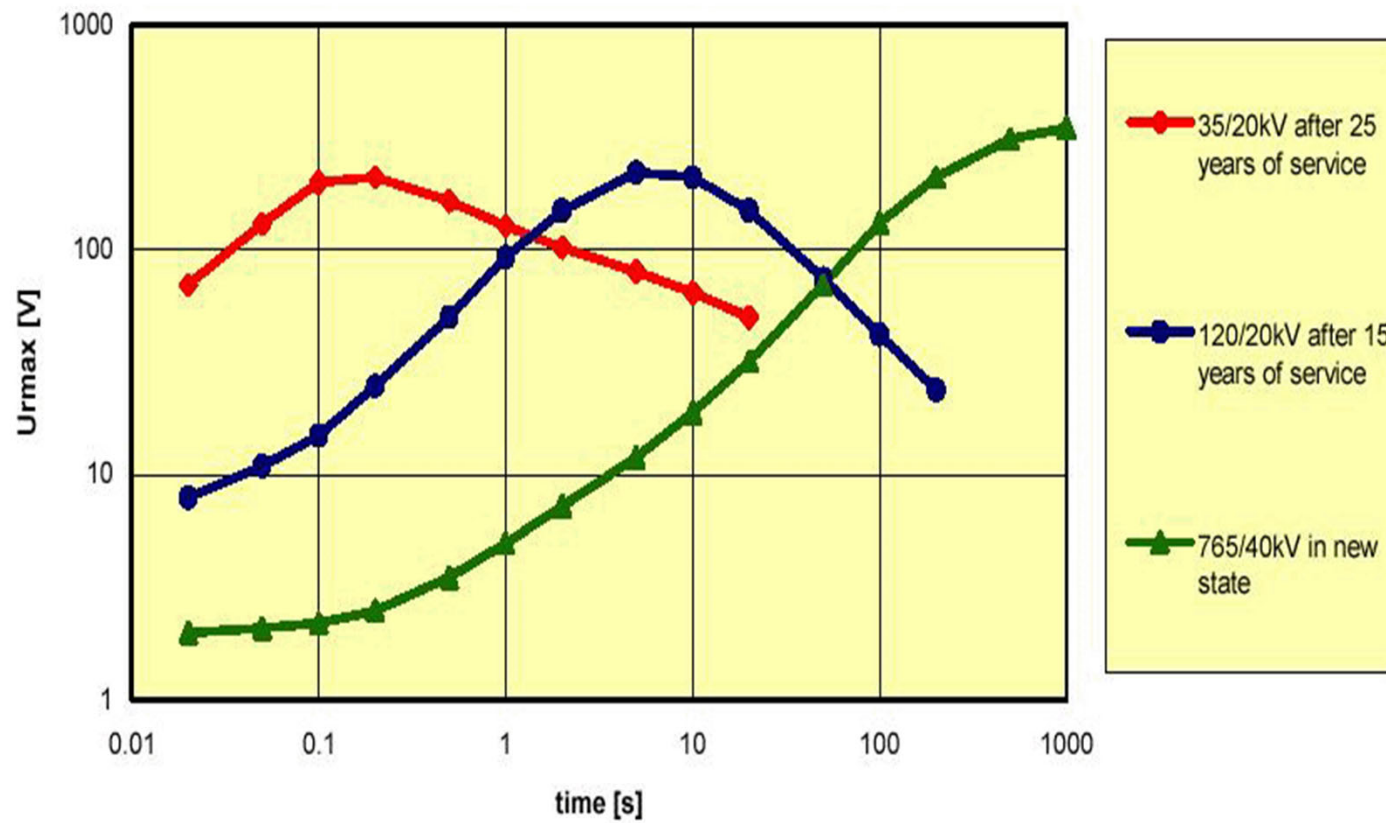


Az RVM „spektrum” görbéje a papír víztartalmának függvényében folyamatosan közelít az 50Hz-es feszültség 3ms-hoz.





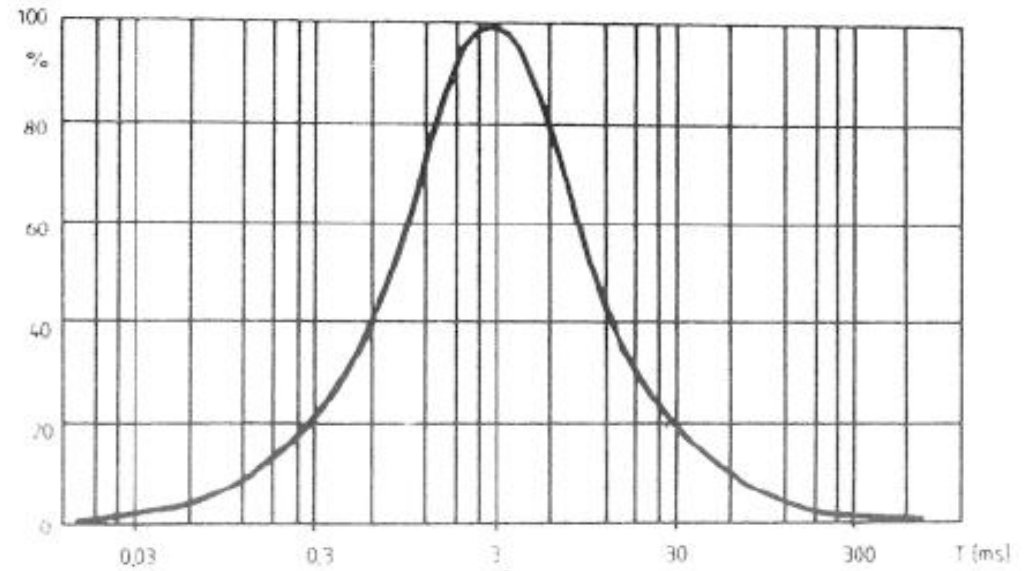
Tipikus RVM görbék új, közép idős és nagyon öreg trafók esetén



A hő-villamos átütés úgy jön létre, hogy a térerősség következtében jelentkező polarizációs és vezetési veszteségi tényező **felmelegíti az anyagot és a meleg és buborékos anyagnak annyira lecsökken a villamos szilárdsága, hogy az adott feszültségen átütést okoz.**

Ha az időállandó függvényében konstans eloszlású polarizációt feltételezünk, akkor adott frekvencián az alábbi ábrán látható módon alakul a polarizáció okozta veszteség az elemi folyamatokra vonatkoztatva (50Hz esetén „r” a viszonylagos veszteség).

$$T = \frac{1}{2\pi f} \approx 3 \text{ ms} \quad (f=50\text{Hz}, T=3\text{ms})$$



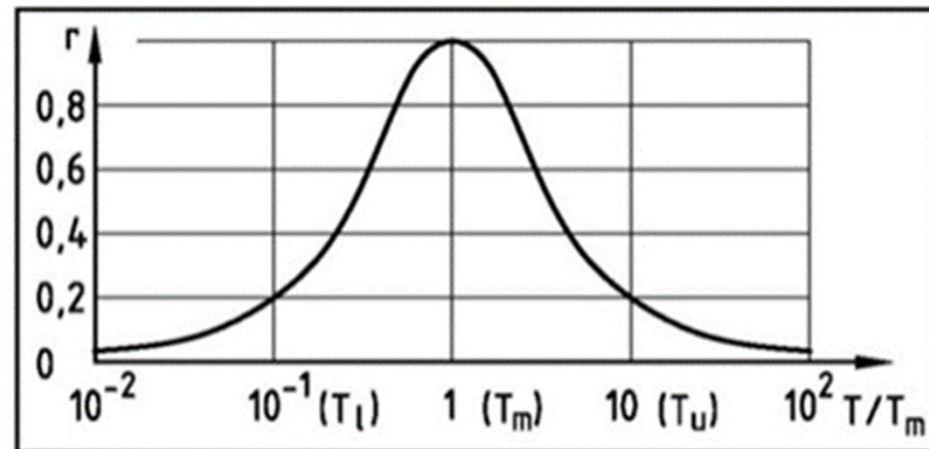
Az elemi folyamatokra vonatkoztatott **viszonylagos veszteség ($\text{tg}\delta$)** 50Hz-es mérőfrekvencián: r (%). 50 Hz-nek megfelelő időállandó ms mértékegységben



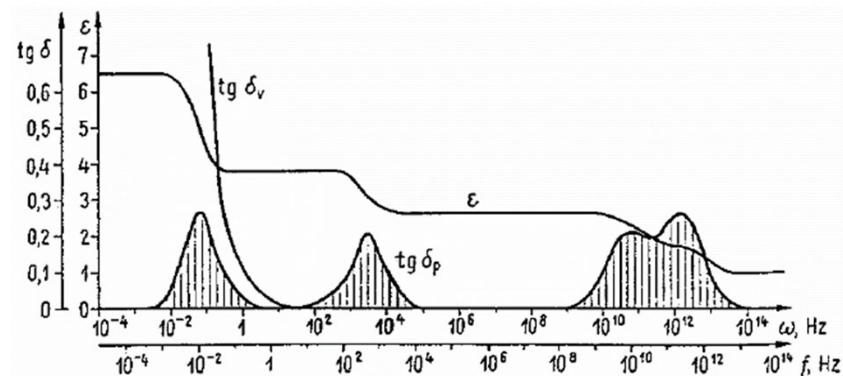
Az 50 Hz környezetében (mint rezonancia frekvencián) keletkező dielektromos veszteség a jobboldali felső ábrán látható.

Estünkben az üzemi feszültség 50 Hz, a hozzátartozó polarizáció időállandója $T_m = 1/\omega \sim 3\text{ms}$.

A jobboldali felső és alsó ábrán jól látható, hogy polarizációs veszteség csak a „rezonancia” frekvencián, ill. két nagyságrendű közelében van (0,3 s-nál legyen nagyobbak az időállandók. Tehát veszteség csak akkor keletkezik, ha a polarizáció időállandójú frekvenciás feszültséggel gerjesztjük (3ms).



50 Hz körüli időállandó tartomány



tgδ εr időállandó / frekvencia függése

- Ha akkora a **veszteség hő, hogy beindul a buborékképződés**, akkor **átütés lehet** a folyamat vége.
- Tehát a **diagnosztika alapja** az, hogy a **polarizációs veszteségek** hatására ne jöjjön létre olyan helyi túlmelegedés, ami akár **közvetlen hő-villamos átütést okozna**.
- Az **RVM görbékről közvetlenül leolvasható**, hogy milyen **domináns időállandók** fordulnak elő a **mérési hőmérsékleten**.
- Ezeket az **időállandókat át kell számítani a maximálisan megengedett üzemi hőmérsékletekre** és akkor megkapjuk, hogy a legnagyobb hőmérsékleten az adott állapotú szigetelésben milyen veszteség termelődik.
- Legnagyobb a **veszteség a 3 ms értékében, két nagyságrenddel eltérő értéken viszont már elhanyagolható**. Tehát azt a célt kell kitűzni, hogy **ne legyen olyan időállandó a spektrumban, amely két nagyságrenddel megközelíti a 3 ms-os értéket**.
- Azaz, a legnagyobb **üzemi hőmérsékleten 0,3 s-nál ne legyen kisebb időállandó**.
- **Ha ez mégis bekövetkezik**, akkor a megfelelő karbantartásig vagy javításig **nem engedünk meg olyan nagy üzemi hőmérsékletet**, csökkentjük a terhelést és fokozzuk a hűtést, lehetővé téve a **biztonságos üzemelést (CIGRE GUIDE!!!)**.

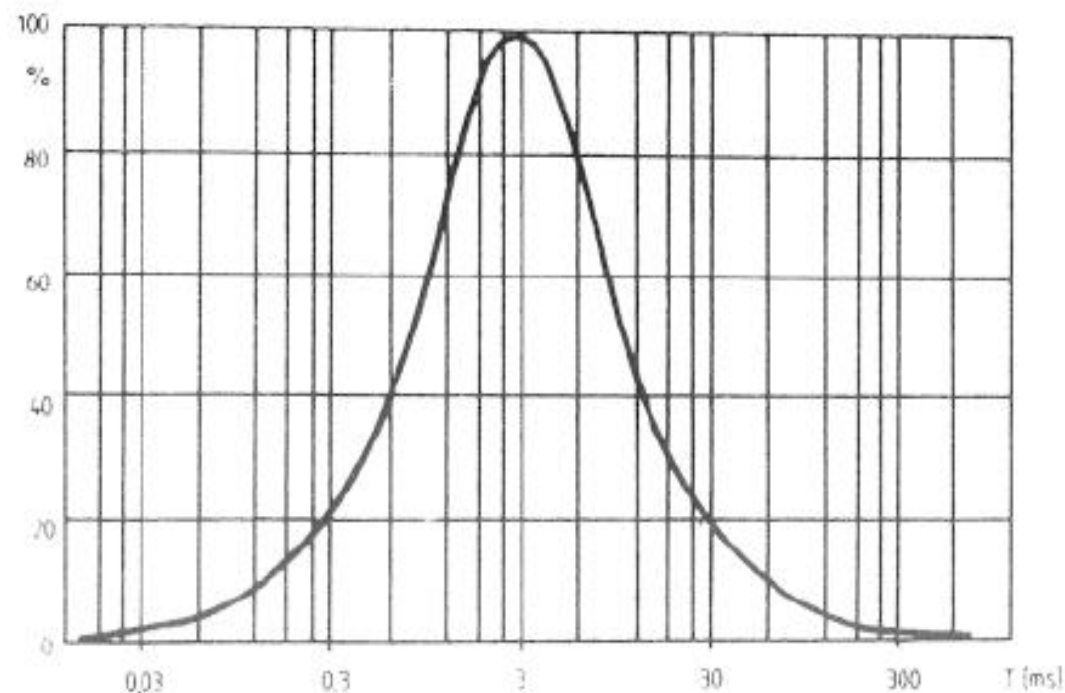


Az elemi folyamatokra vonatkoztatott viszonylagos veszteség ($tg\delta$) 50Hz-es mérőfrekvencián: r (%). 50 Hz-nek megfelelő időállandó „ms” mértékegységben

Látható, hogy maximális veszteség a $T=1/\omega$ időállandónál (kb. 3ms) lép fel, ettől kisebb vagy nagyobb frekvenciánál a veszteség erősen csökken.

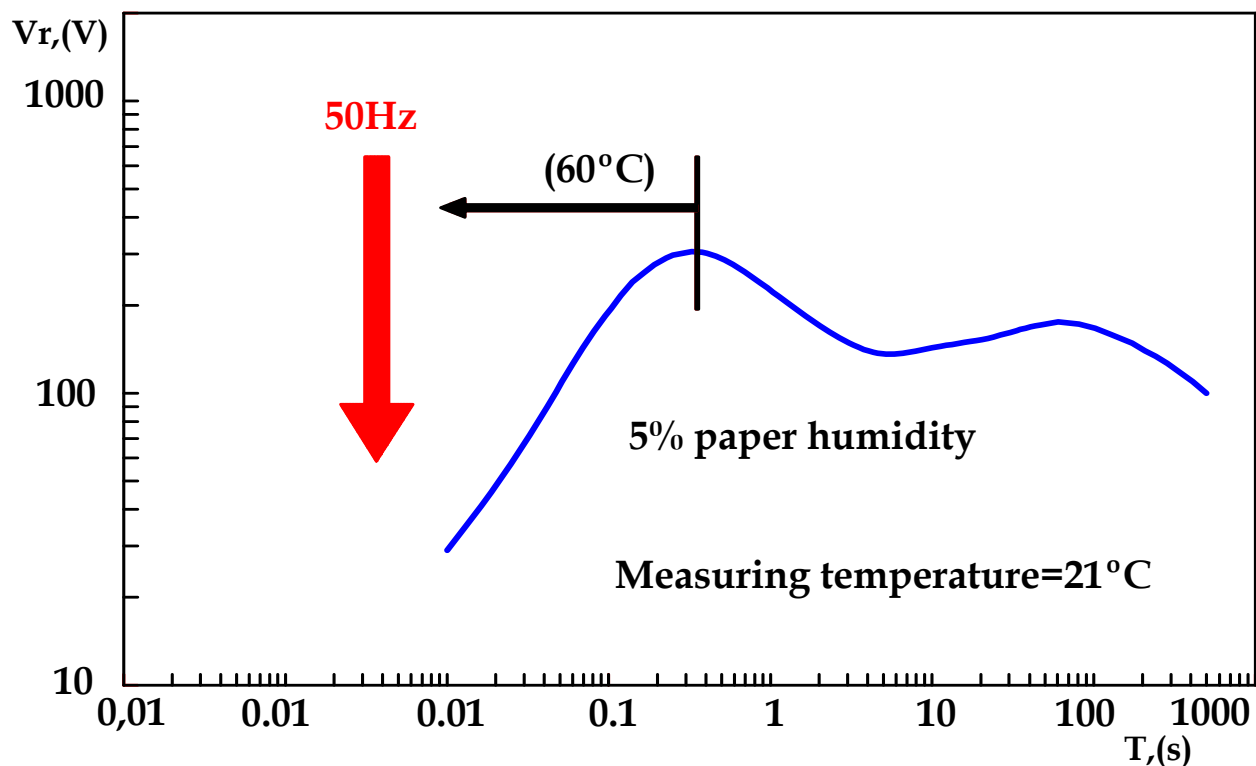
Egy nagyságrenddel kisebb vagy nagyobb frekvenciák esetén a polarizáció által okozott veszteség a maximális veszteségnek már csak

kb. 20%-a, két nagyságrenddel (3ms) eltérésnél pedig a maximális veszteség csak 3%-a.





Cél, hogy a 3 ms környezetében még a legnagyobb üzemi hőfokon sem legyen jelentős polarizáció. Ez a trafó üzemben ütött át kb. 60 fokon. RVM mérés és a BME adatbázis alapján az „egyenértékű” nedvességtartalom kb. 5%, de ami fontos, hogy üzemi hőfokon a legkisebb domináns időállandó kb. 3ms volt, tehát megindulhatott a buborékképződés.



Ez a trafó az adott üzemi hőfokon már nem volt biztonságosan üzemeltethető, sőt szükségeszerű volt az átütés, mert beindult a buborékkiválás.



Röviden az RVM gyakorlatában az alábbi kiértékelés javasolható:

- Fel kell venni 20ms-2000s (5000s) közötti RVM spektrumot.
- Ismert a **domináns centrális időállandók hőfokfüggése (BME)**.
- **Számítsuk át a domináns időállandókat 20°C, ill. legnagyobb üzemi hőfokra.**
- Megfelelő az a szigetelés, amelyeknek a domináns időállandói **legnagyobb üzemi hőfokon nem kisebbek, mint 300 ms (átütés 3ms-nál, kétnagyságrend biztonság!)**
- Ez a kritérium a **hő-villamos átütés (buborékképződés)** megfelelő biztonságú elkerüléséből állítható fel.
- **Az állapotok összehasonlítása céljából vehetjük a 20°C-ra történő átszámítást is: megfelelő az a szigetelés, amelyeknek a domináns időállandói nagyobbak, mint 1s, valamint a 20ms-1s-os tartományban sem jelentős a polarizáció intenzitása.**
- Belátható, hogy **ugyanazt az eredményt** kapjuk polarizációs **veszteség, valamint buborékképződés** szempontjából az **alacsony hőmérsékleten üzemeltetett nedvesebb egységekre, mint kisebb víztartalmú trafó nagyobb hőmérsékletű üzemeltetésére.**
- A buborék képződés és a hő-villamos átütés kockázata mindkét esetben lényegében azonos.



- Az alábbi javaslat a TB 887-ben is szerepel: Ha az **üzemviteli körülmények úgy alakulnak**, hogy a trafó a fenti követelményeket nem teljesíti, de bizonyos ideig az egységnek **üzemben kell maradnia**, akkor az alábbi javasolható: ha a **domináns időállandók kicsik**, ezért **csak olyan üzemi hőfokot engedünk meg**, amelynél a legkisebb domináns **időállandó is nagyobb, mint 300ms**.
- Ez a hőmérséklet kisebb lesz, mint az olaj-papír rendszerre megengedett hőfok, de üzemben tartható egy beavatkozásig, pl. egy olajregenerálásig.
- **De figyelni kell arra a tényre**, hogy az alacsonyabb időállandó azért adódott, mert **nedves vagy öreg öregedési termékekkel telített a rendszer**, és mint azt korábban láthattuk, a **papír degradációja ebben az esetben rohamosabb**, tehát tartósan ez az állapot sem tartható fenn, de megoldódik a pillanatnyi üzemi probléma (nem kell azonnal kikapcsolni a trafót, elég csökkenteni a hőmérsékletet (terhelést)).
- Megállapítjuk a romlás okát és beavatkozunk: ha **nedves a papír akkor szárítunk, ha öregedés is van, akkor regenerálunk**.
- **Üzemvitel szempontjából ez a tudás és abból fakadó megoldás könnyebbséget jelent**, mert bár üzemzavar veszélyes az egység, de nem kell azonnali leállni, vagy cserét végrehajtani, a hálózaton lévő egységek szigetelési állapotát ismerve **optimális megoldás választható**.



Konklúziók

- A **spektrummérések információ tartalma messzemenően nagyobb, mint a „klasszikus” eljárásoké,** de azokra van szabvány, a spektrummérésekre pedig nincs.
- **Ezen segíthet a CIGRE TB 887 2022-ben megjelent kiadványa.**
- Az 2022-ben megjelent **TB 887 3.3.3-as elnedvesedéssel** foglalkozó alfejezetében leírt témák alapján megállapítható, hogy a **3.3.3 alponban felvetett kérdések** nagy részére az **RVM diagnosztika hatékony megoldást ad.**
- Más szavakkal, a CIGRE **TB 887 tanulmánya egy kicsit úgy tekinthető, mint egy útmutató (GUIDE), amely pótolja egy kicsit a szabvány hiányát,** esetünkben segít a spektrum módszerek gyakorlati alkalmazásában.
- A hagyományos állapotellenőrzési módszerek ellentmondó tulajdonságai miatt új mérési eljárásokra volt szükség.
- A BME az 1970-es években többéves **kutatómunkájának legnagyobb eredménye a polarizációs spektrum módszerek (RVM, FDS, PDC) kidolgozása volt.**



Konklúziók (folytatás)

- **Sajnos szabványok hiányában a spektrum módszerek nem tudtak „tudásuknak megfelelő karriert befutni”.**
- **Az RVM technikának jelentős aktualitást ad a CIGRE TB 887 3.3.3 alpontjában leírtak.**
- **Ez egy GUIDE, de hasznosan használhatók szabványok hiányában.**
- Polarizációs spektrum módszerek **minőségi változást** hoztak ezen a területen: nem **egyetlen jelzőszámmal** jellemzik a szigetelést, hanem egy teljes spektrummal.
- Az olaj-papír szigetelésű **nagytrafók élettartama egyenlő a papíros szigetelő élettartamával,** ezért alapvető fontosságú a papír szigetelés diagnosztikája.
- Az RVM módszer **kiválóan alkalmas a romlási folyamat követésére, a pillanatnyi állapot megállapítására, a trafó élettartamának becslésére, az optimális üzemeltetési paraméterek beállítására, a szükségessé váló karbantartási beavatkozások felmérésére, költséghatékony élettartam kiterjesztésre.**
- **A TB 887 megjelenésével ezért van az RVM technikának – az eddigieken kívül – még további aktualitása 2025-ben!**



**Köszönöm a
figyelmet!**





- X