



Olaj-papír szigetelésű transzformátorok helyszíni olajregenerálása

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft.



Tartalomjegyzék

- 1. Az előadás aktualitása**
- 2. Az olaj-papír szigetelés romlása: nedvesedés, öregedés**
- 3. Olajkezelés, olajregenerálás, olajcsere**
- 4. Olajkezelés és olajregenerálás hatékonyságának mérése**
- 5. Nedvességeltávolítási lehetőségek**
- 6. Konklúziók**



Az előadás aktualitása:

- **Előadások a témával kapcsolatosan, ezért fontos áttekinteni az alapvető folyamatokat.**
- **Sokat beszéltünk a regenerálásról, de nincs rá lehetőség, hogy minden fontosabb aspektusról egy időben beszéljünk**
- **Sok anomália tapasztalható, néhányat említsünk meg**

Elengedhetetlen az alapvető folyamatok pontos áttekintése, mint:

- Az elnedvesedés és öregedés folyamatának főbb ismérvei,
- Az elnedvesedés és öregedés következményei,
- Az elnedvesedés és öregedés fokának megállapítási lehetőségei,
- Ha már infók van, milyen megoldási lehetőségek állnak rendelkezésre az öregedés és elnedvesedés csökkentésére

Trafó szigetelőpapíros állapotjellemzői és romlása

Transzformátor élettartama = Szilárd szigetelés élettartama

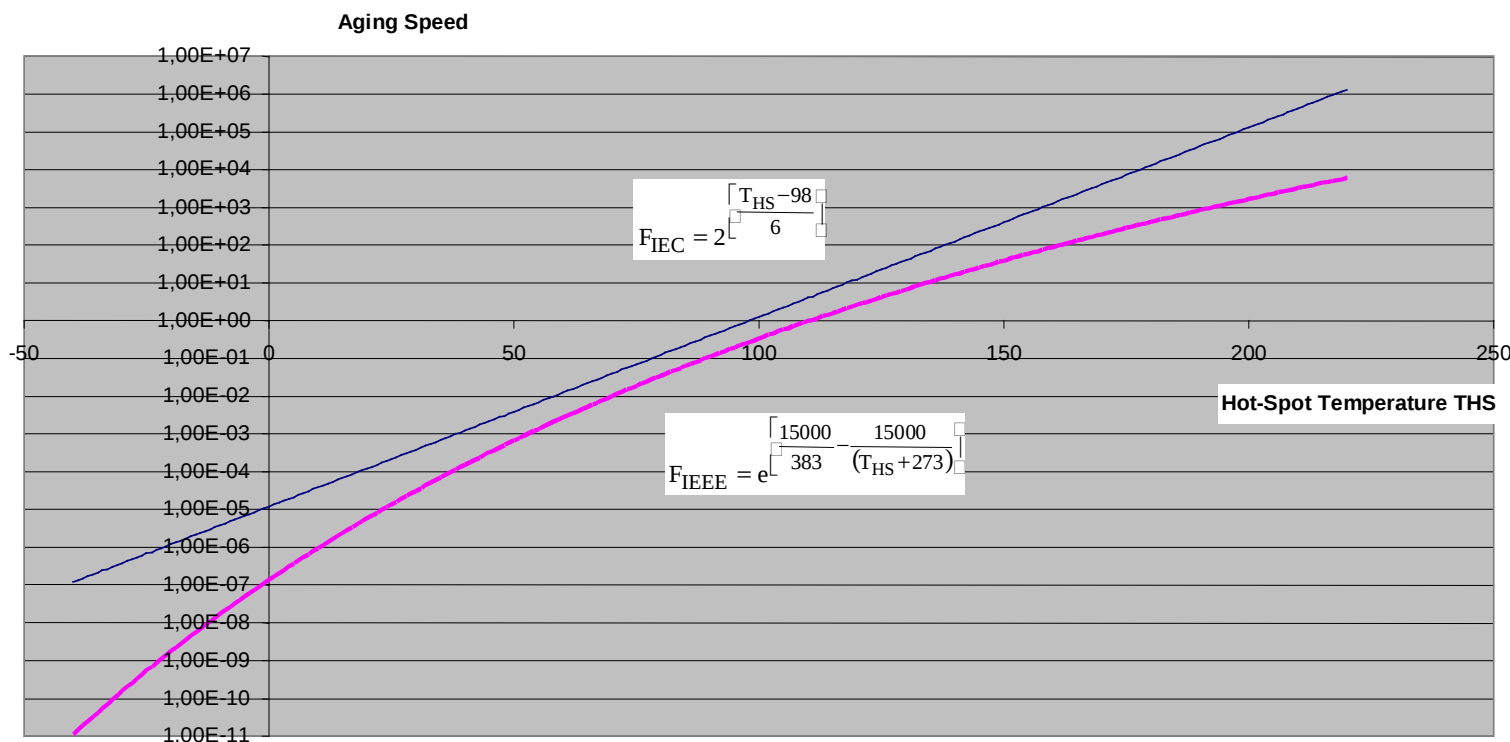
- Minél többet kellene tudni a romlási folyamatok fontosabb jellemzőiről
- **Cél:** olyan **vizsgálati rendszer** létrehozása, amely felvilágosítással szolgál a papíros anyagának **degradációjáról**, a **nedvességtartalomról** és a papíros aktív felületén **adszorbeált öregedési termékekről**.
- A transzformátor élettartamát tekintve a meghatározó tényező a **szilárd szigetelés**, azaz az **olajjal impregnált papír**.
- A papír élettartama határozza meg a trafó élettartamát, ezért mindent el kell követni a papír állapotának megőrzésért.
- Nedvesség hatása az olaj-papír szigetelésre::
- gyorsítja a papír öregedését, degradációját,
- növeli a szigetelési rendszer veszteségeit,
- megteremtheti a részleges kisülések megindulásának a feltételeit,
- gyors felmelegedés, hirtelen erős felterhelés esetén a nedvesség a papírból az olajba kerül, ahol átmenetileg vízcseppek formájában kicsapódhat, stb.

Olaj-papír szigetelés: a hőmérséklet hatásának elemzésére van szabvány

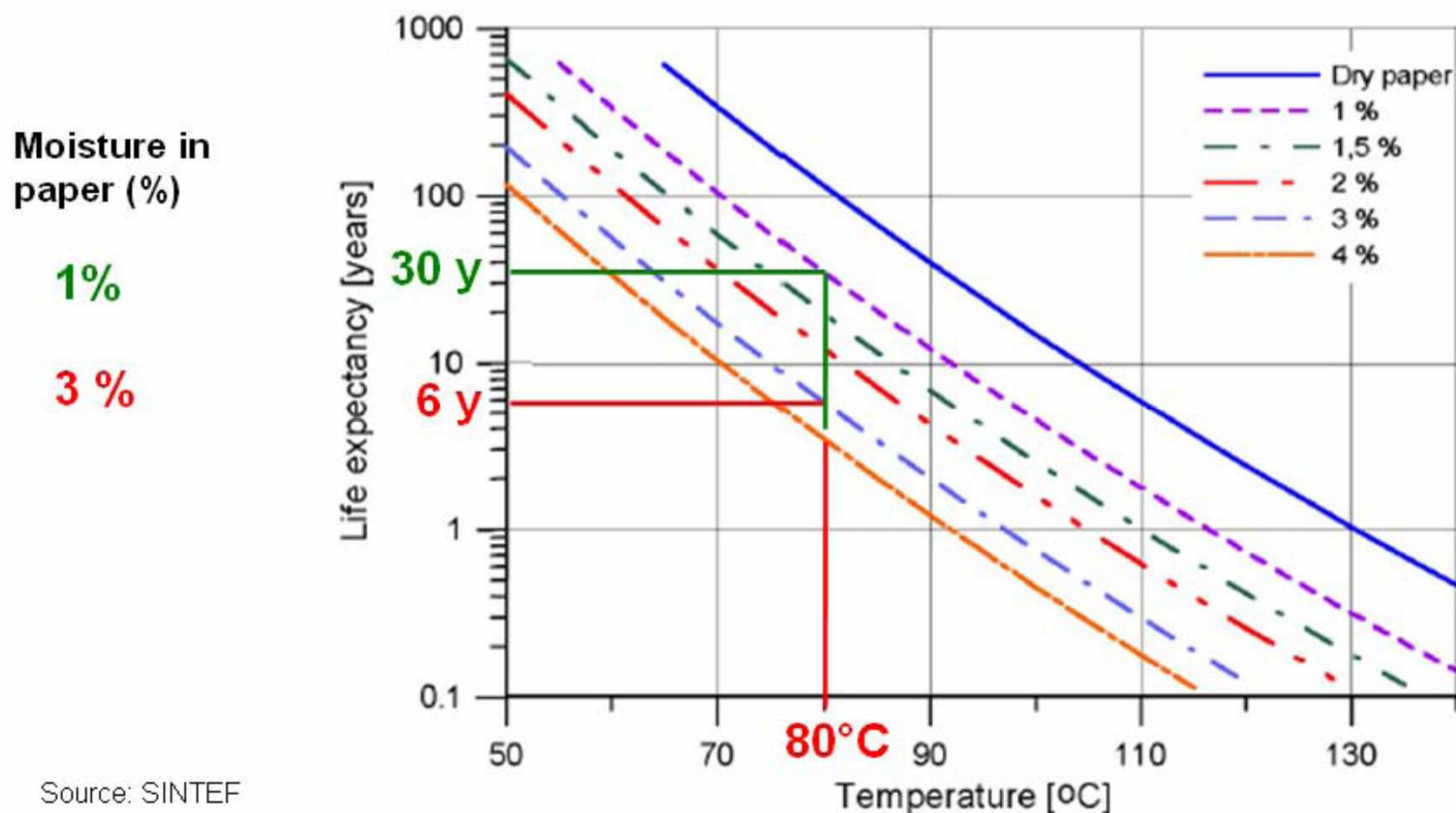
Olaj-papír szigetelés élettartama IEC szerint: 98°C hőfokon kb. 25 év

A szabványok **csak a hőmérséklet hatásával** foglalkoznak, de tudjuk, hogy a **nedvesség** és az **öregedési** termékek is gyorsítják a papír romlását.

IEC and IEEE Aging



Transzformátor élettartamának függése a hőmérséklettől és a nedvességtartalomtól: nincs IEC szabvány (IEEE igen), mint hőmérséklet hatására: kb. hasonló folyamat öregedésnél is: igazán csak spektrummérésekkel követhető így együtt a folyamat.

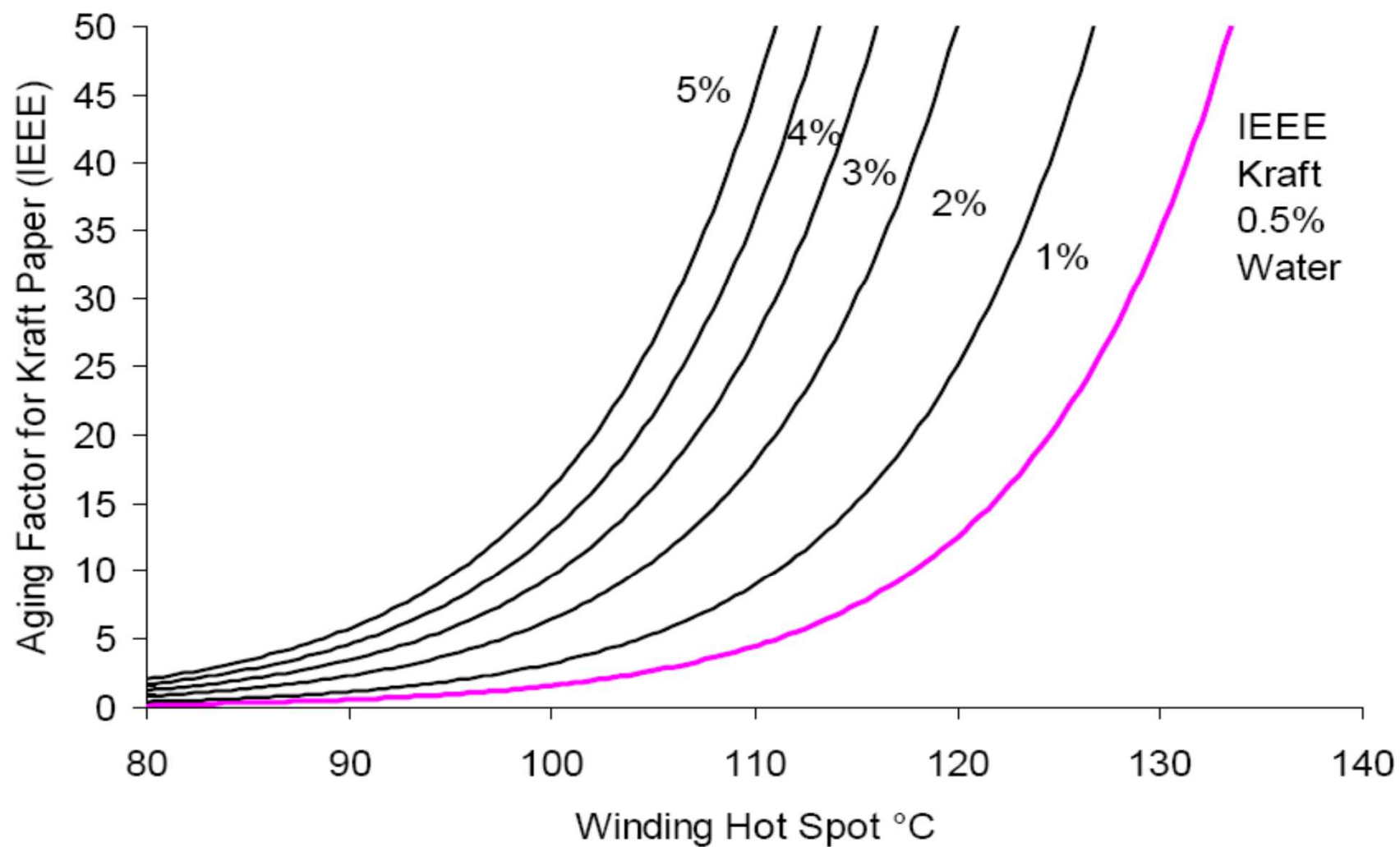


Source: SINTEF

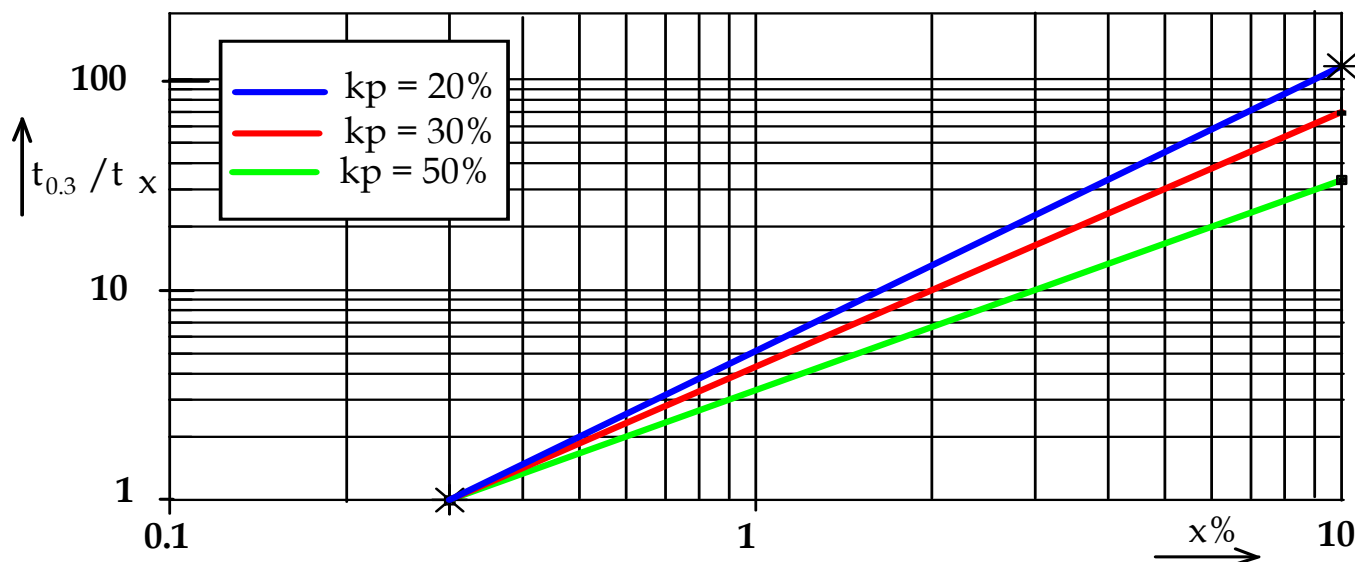
80°C-on üzemeltetve a trafót 1% papír víztartalomnál a várható élettartam kb. 30 év.
Ha a víztartalom 3%-ra nőne, akkor a várható élettartam kb. 6 évre csökkenne.



Kraft papír öregedési tényezője (IEEE)



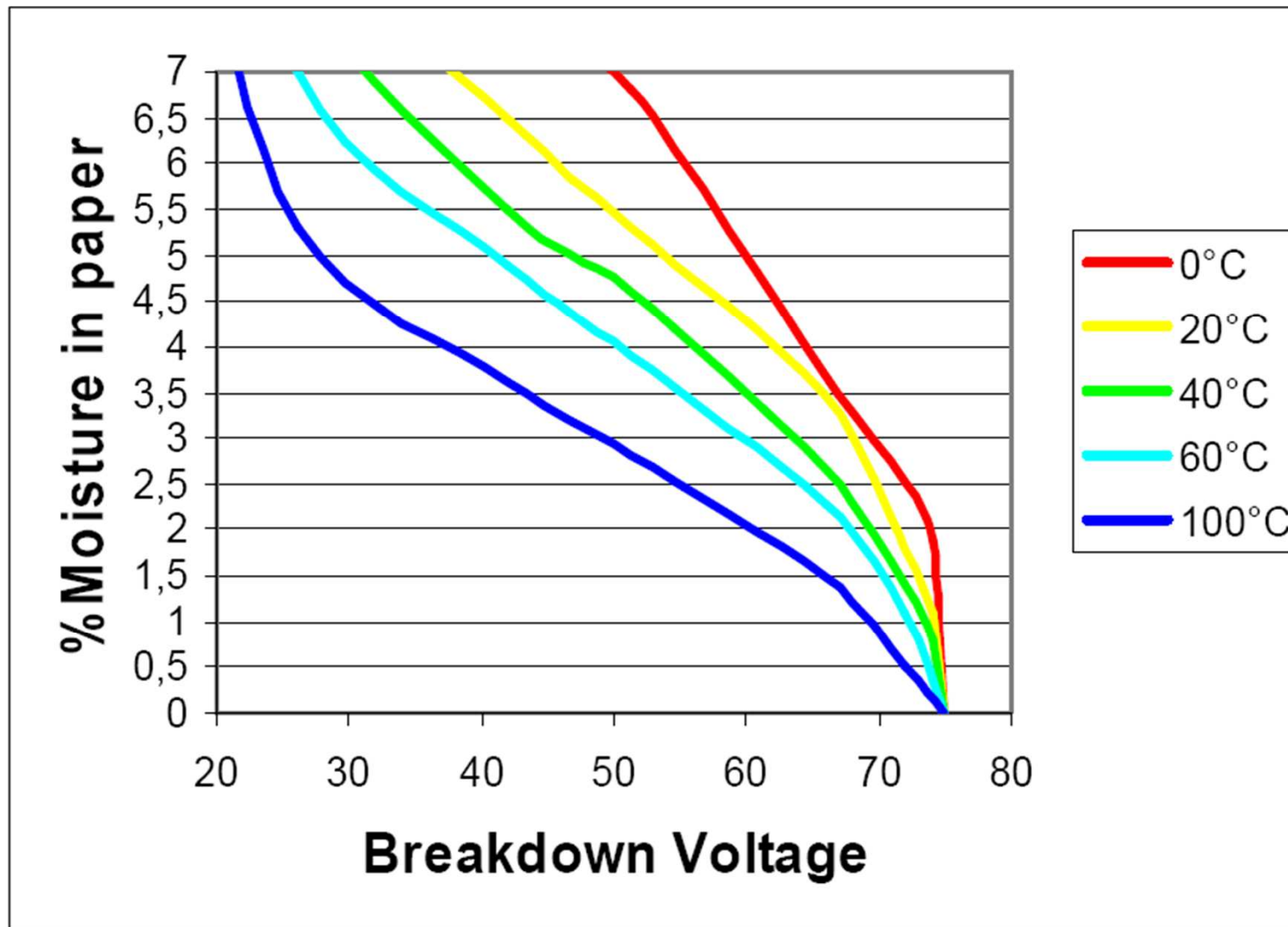
A nedvesség hatása a cellulóz de-polimerizációjának sebességére



- A nedvesség és az olaj öregedési termékek a de-polimerizációs folyamatokat gyorsítja (ábra)
- A vízszintes tengelyen a cellulóz nedvességtartalma súlyszázalékban ($x\%$), a függőleges tengelyen a **$t_{0.3}/t_x$ arány** szerepel.
- A $t_{0.3}$ a 0,3% nedvesség mellett, egy adott polimerizációs együttható k_p értékre való csökkenési ideje, t_x az $x\%$ nedvesség esetében - egyébként azonos körülmények között - ugyanazon k_p értékre való csökkenésnek az ideje. A k_p számszerű értéke az eredeti, kezdő érték %-ában van megadva (20, 30 és 50%).

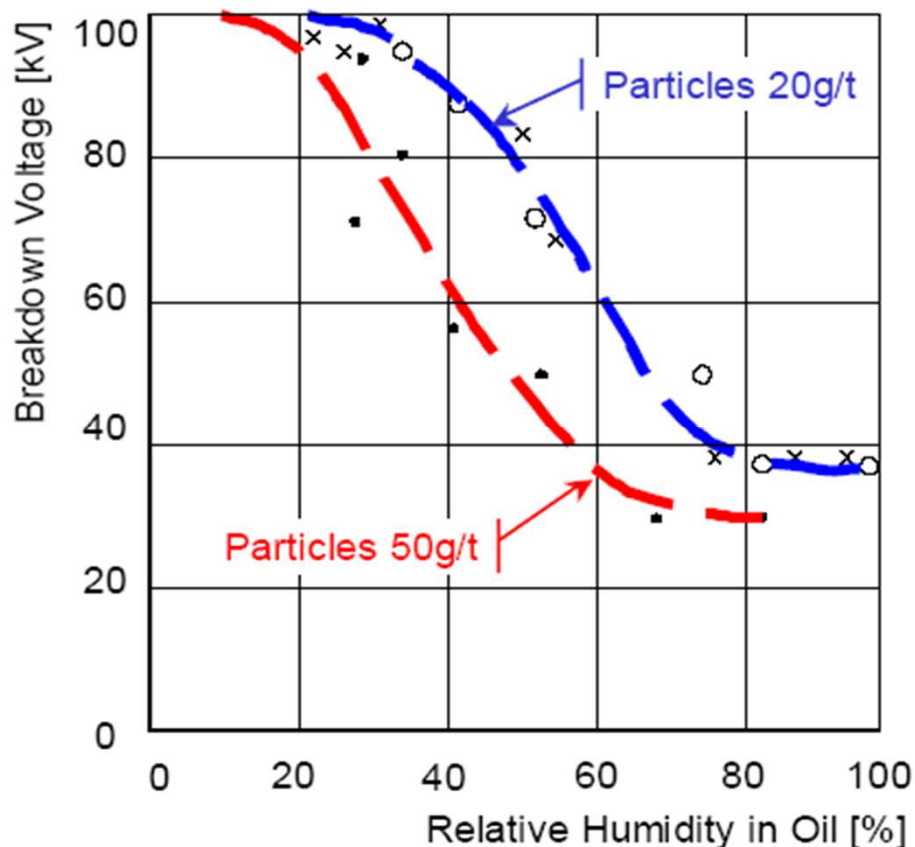


Átütési feszültség és a papír víztartalma közötti összefüggés





Olaj részecsketartalom vizsgálata



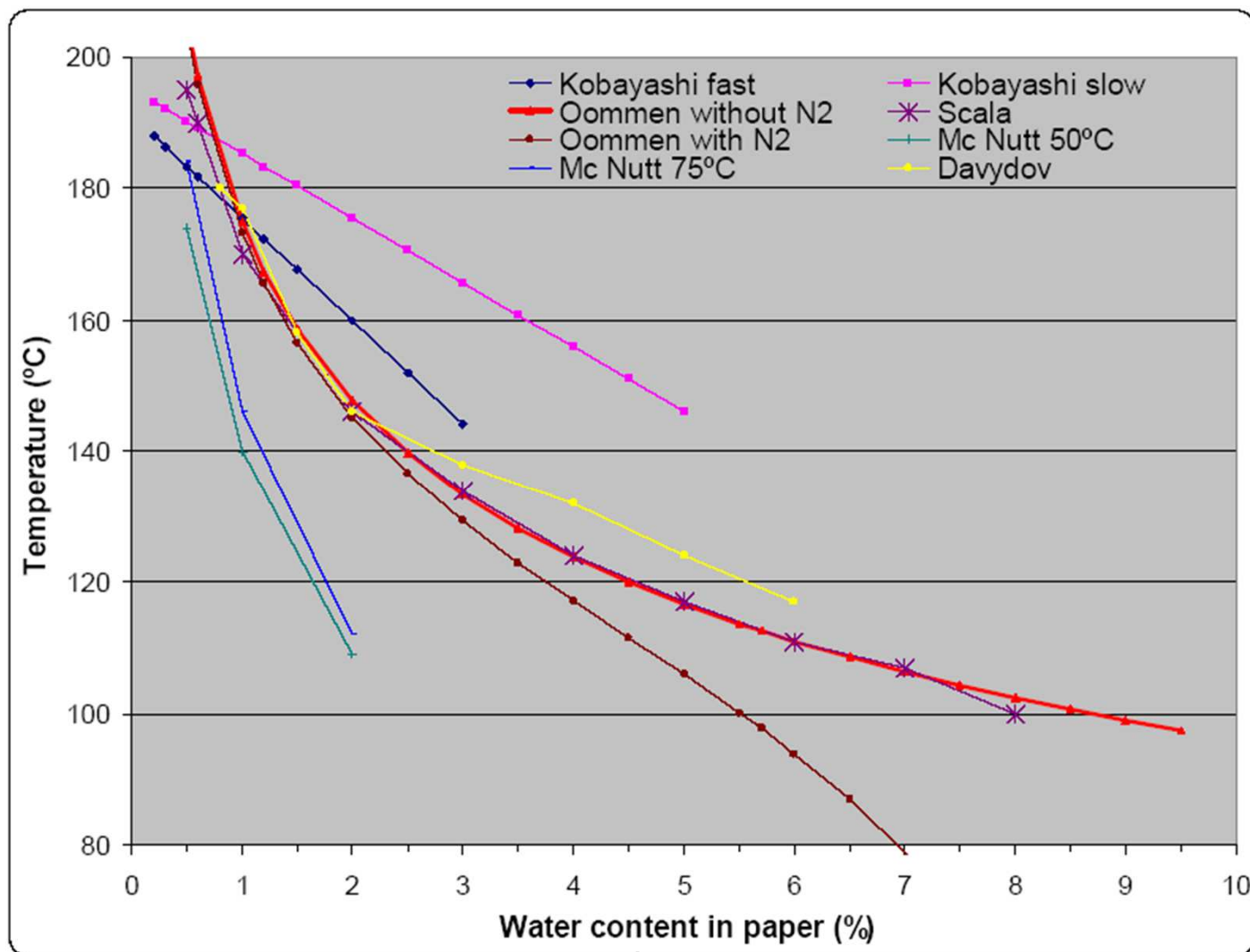
Olaj részecske tartalom mérés

- Az olajban található **vezető és szigetelő részecskék jelentősen** ronthatják az olaj villamos tulajdonságait (főleg az átütési szilárdságot), különösen a jelentősebb a nedvességtartalom, ezért vizsgálni kell az olajban található kisméretű részecskéket.
- Különböző fajtájú méretű részecskék lehetnek jelen. Az olaj oxidációs termékei, különösen az üledék sötétebbé teszi az olaj színét.
- A papír degradációjából is jelenhet meg elszenesedett részecske az olajban. Vizsgálat az IEC 60970 és IEC 60422 szerint. (g/t=10mg/kg=10ppm)

Az olaj relatív nedvességtartalmának és az átütési feszültségnek a kapcsolata: paraméter a részecsketartalom.



Buborékképződési küszöb hőmérséklet a papír víztartalma függvényében



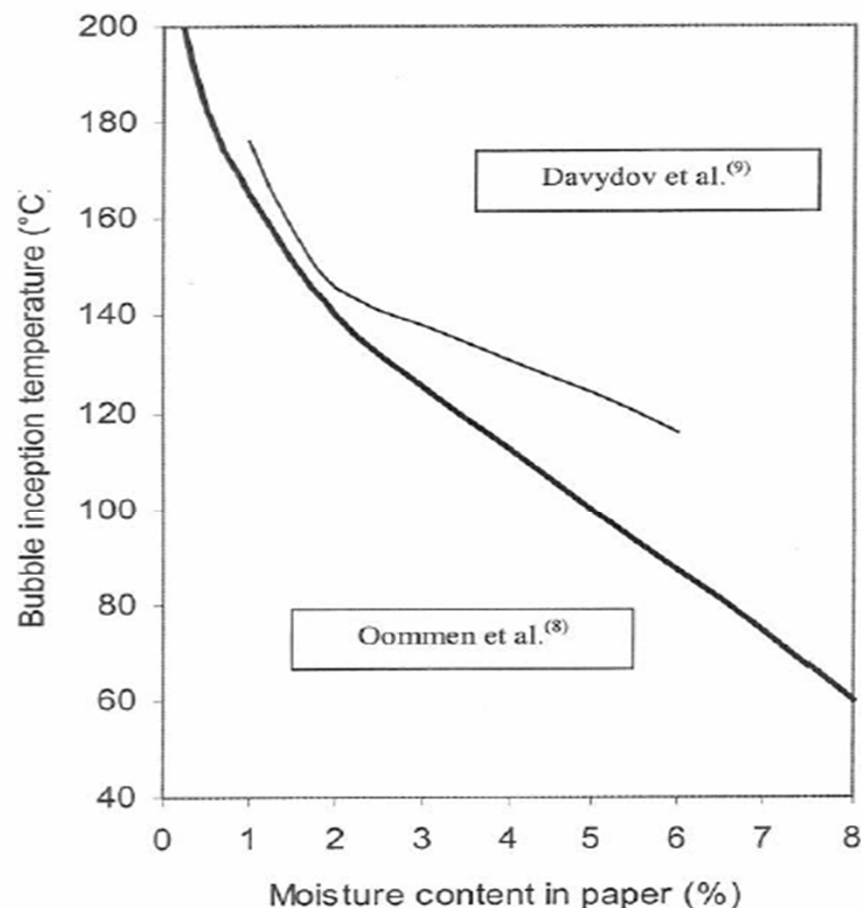


Figure 4 - Critical Temperature for Bubble Evolution

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.

Buborékképződés „küszöb hőmérséklete” az olajban

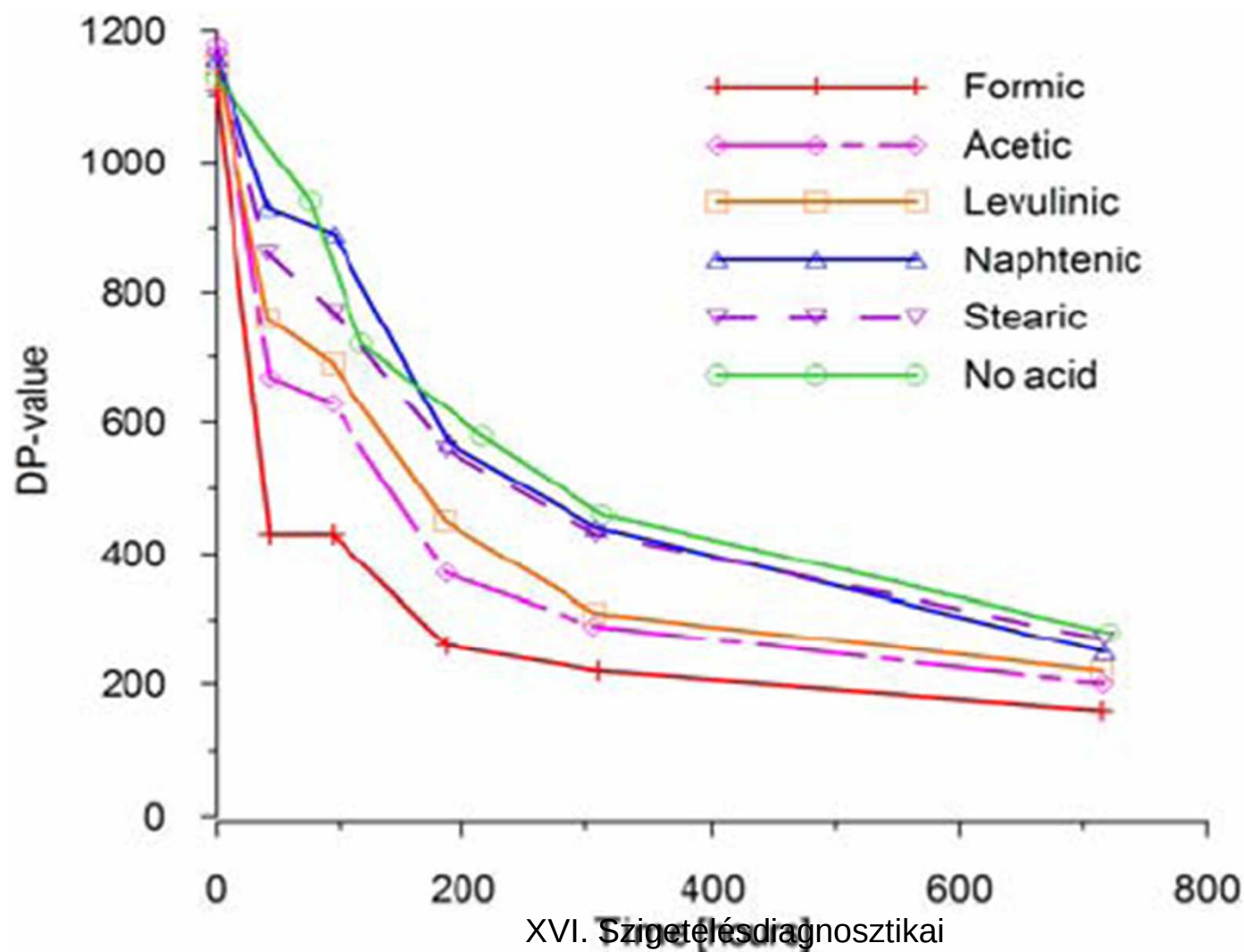
- Ha ismert a papír nedvességtartalma, abból pedig becsülhető az olaj buborék képződésének kezdeti hőmérsékletét.
- A papír nedvességtartalma vagy az olaj nedvességtartalmából számolható (egyensúlyi görbék), vagy pedig rendelkezésre állhat az RVM off-line mérés alapján is.
- A buborékképződés kezdeti 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.



A sav hatása látható a papír öregedésére.

- Az öregítést 130°C-on végezték öt különböző sav hozzáadásával.
- Látható, hogy a kis molekula (nedvesítő) súlyú, papír oxidációval keletkező savak (formic, acetic, levulinic) jobban öregítenek, a nagy molekula súlyú, amelyek az olaj öregítési termékei, víztaszító savak (stearic, naphtenic) kevésbé gyorsítják az öregedést.
- A kisebb molekula súlyúak könnyebben kötődnek a papírhoz, ugyanúgy, mint a víz. Ez a tulajdonság a karbantartáskor fontos. A kis molekula súlyúak jobban kötődnek a papírhoz, mint az olajhoz, ezeket kell eltávolítani. Tehát az olajban kevés van. Olaj regenerálás egy részét eltávolítja, de van más jobb módszer is az eltávolításra.
- Fontos most beszélni a semlegesítési szám mérésről (IEC 6062021-1, amely főleg az olaj öregedéséből származó savakat méri. A kis molekula súlyú savak detektálásához más módszer kell. Víz mosással az olaj mintából eltávolítható a kis molekula súlyú sav. Így le kell mérni mind a két olajminta savtartalmát és a különbség a kis molekula súlyú sav.

Kis és nagy molekula súlyú sav hatása a papír öregedésére





Tehát valamit tenni kell, de mit?

- Megoldások: olajkezelés, olajregenerálás és olajcsere
- Anomália: az olaj regenerálható, de a papír nem, megtévesztő!
- A **regeneráló** eljárást alapvetően megelőző jelleggel kell alkalmazni, mert a **szilárd szigetelés károsodása irreverzibilis**.
- Az eljárás ugyan nagymértékben **előregedett trafókra is alkalmazható**, azonban a szilárd szigetelés irreverzibilis károsodásának elkerülése érdekében **célszerű időben használni**.
- Ha pontos a folyamatok áttekintése, akkor egyértelmű, hogy mit kellene tenni, de a gyakorlat mást mutat.
- Humán diagnosztika, **humán preventív beavatkozások**: tudjuk, hogy mit nem kellene tenni.



Transzformátor olaj regenerálása

- Ha az **olaj annyira leromlik**, hogy veszélyezteti a trafó folyamatos üzemét, jelentősen csökkenti az élettartamot, az **olajregenerálás a megoldás**.
- Regenerálásra **több angol szó: Regeneration, Reclamation, Recycling**.
- Az a folyamatot jelöli, amikor visszaállítják **az új állapotot**..
- A folyamat alatt eltávolítják a trafóban lévő a vizet, az oldott gázokat, savakat, oxidációs termékeket, **részecskéket**, adalékanyagokat (amit pótolni kell).
- Ez a felújítási technika felmelegíti az olajat, szűri, vákuum technikával szárítja, gáztalanítja, **Fuller-földdel** megköti az öregedési termékeket.
- A regenerált olaj **lassabban öregszik**, ezért **kiterjeszti** az olaj, ezáltal a papír, végső soron a transzformátor **élettartamát**.
- A technika több mint **30 éve létezik**, de a régebbi módszernél a szennyezett Fuller-földet meg kellett semmisíteni, ezért nem volt környezetbarát és növelte a költségeket.
- Megjegyzendő: MVMT évente igen nagyszámú trafót regenerált.
- Két egység (ELMÜ, OVIT) tél kivételével egész évben működött.

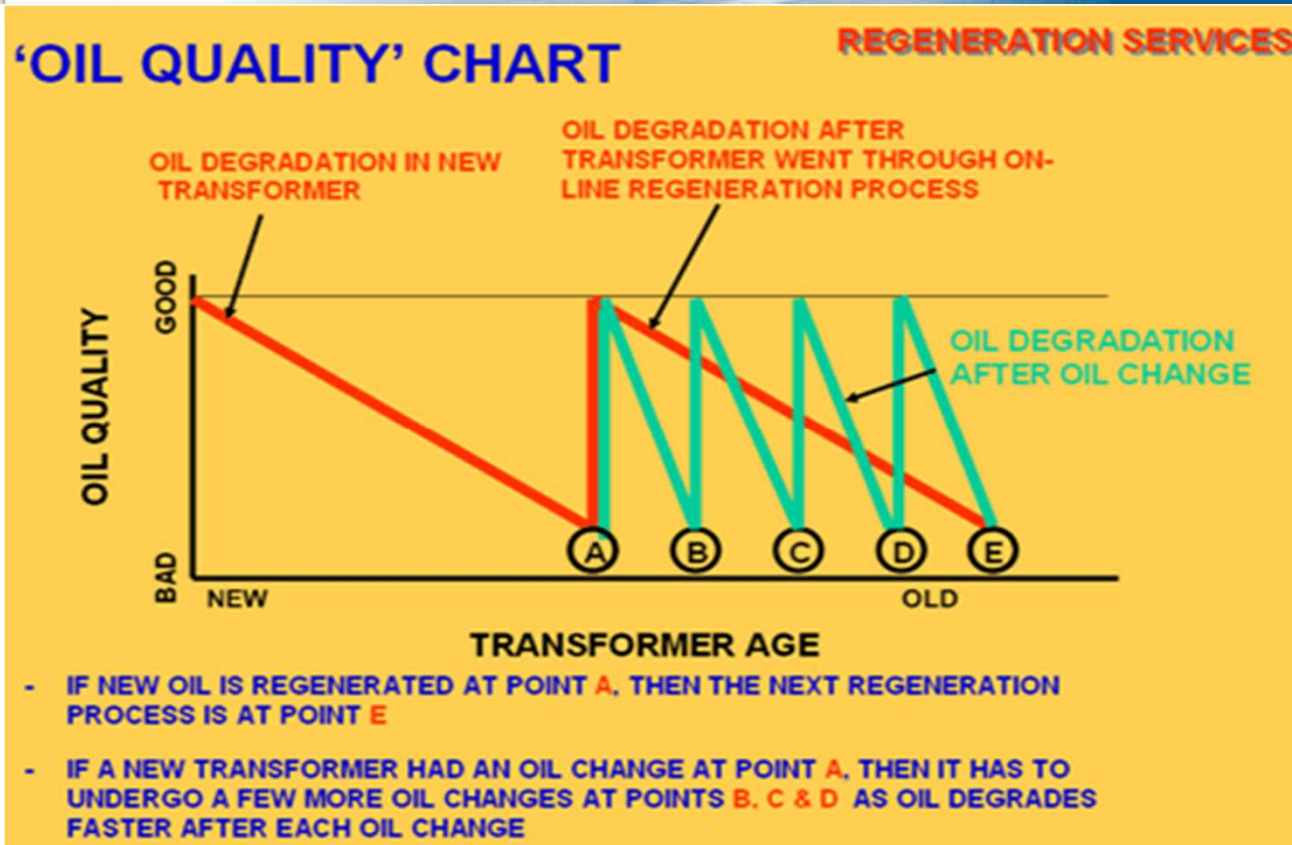


Transzformátor olaj Fuller-földes regenerálása

- Az itt bemutatandó szlovák **REOIL® eljárás** költséghatékony, mert a Fuller-földet is regenerálják (re-adszorpciós folyamat).
- A **Fuller-föld általános kifejezés** azokra az iparilag felhasznált „anyagokra”, amelyek nagy felülettel rendelkeznek és **erős abszorbens tulajdonságúak**.
- A **Fuller-föld** manapság számos anyag keveréke, lényegében **egy granulátum**. Ilyenkor a Fuller – föld kifejezést főleg az olaj regenerálással kapcsolatban használják, jelentése az, hogy finomszemcséjű anyag, megköti a vizet, az olaj öregedési termékeit.
- Az olaj regenerálás lényegében az **olaj új állapotát állítja** vissza de **hatékonyabb, mint az olajcsere**.
- A teljes olajmennyiség többször átcirkulál a trafón, a **papírrétegek között, átöblíti a szilárd szigetelést**.
- **Költséghatékonysági** tulajdonság, hogy **on-line végezhető**: módszer rendkívül gazdaságos, mert nem **kell le- és felszerelni, szállítani**, az üzemelő trafót nem kell kikapcsolni.

Olajcsere vagy Fuller földes kezelés

- Üzemelő trafónál hatékonyabb az eljárás, mert az állandó rezgés elősegíti, hogy a papír rétegei közül minél több öregedési termék kerüljön „kimosásra”.
- Az olajcsere és olajregenerálás: trafó élettartamának kiterjesztésére **regenerálással hatékonyabb, gazdaságosabb és környezetkímélőbb eljárás.**
- Ez azért van, mert az öregedési termékek nagy része (**kb. 9/10 része**) a **papírosban** vagy annak felületén halmozódik fel, és csak **1/10 öregedési termék van az olajban.**
- Az „egyszerű olajcserével” csak ez az **1/10 öregedési termék** kerül eltávolításra, az öregedési **termékek 9/10 része a papírrétegek között marad** és az újra bekapcsolás után az öregedési termékek egy része „kimosódik” a papírrétegek közül és az olaj paraméterei rövid időn **belül hasonló rossz értékekkel fognak rendelkezni, mint olajcsere előtt voltak.**
- Az öregedés során a papíros villamos paraméterei kevésbé romlanak a papír mechanikai szilárdságához képest, de ha **a papír mechanikai szilárdsága egy adott érték alá csökken,** az lényegében a transzformátor élettartamának a vége.



Regenerálás vagy olajcsere

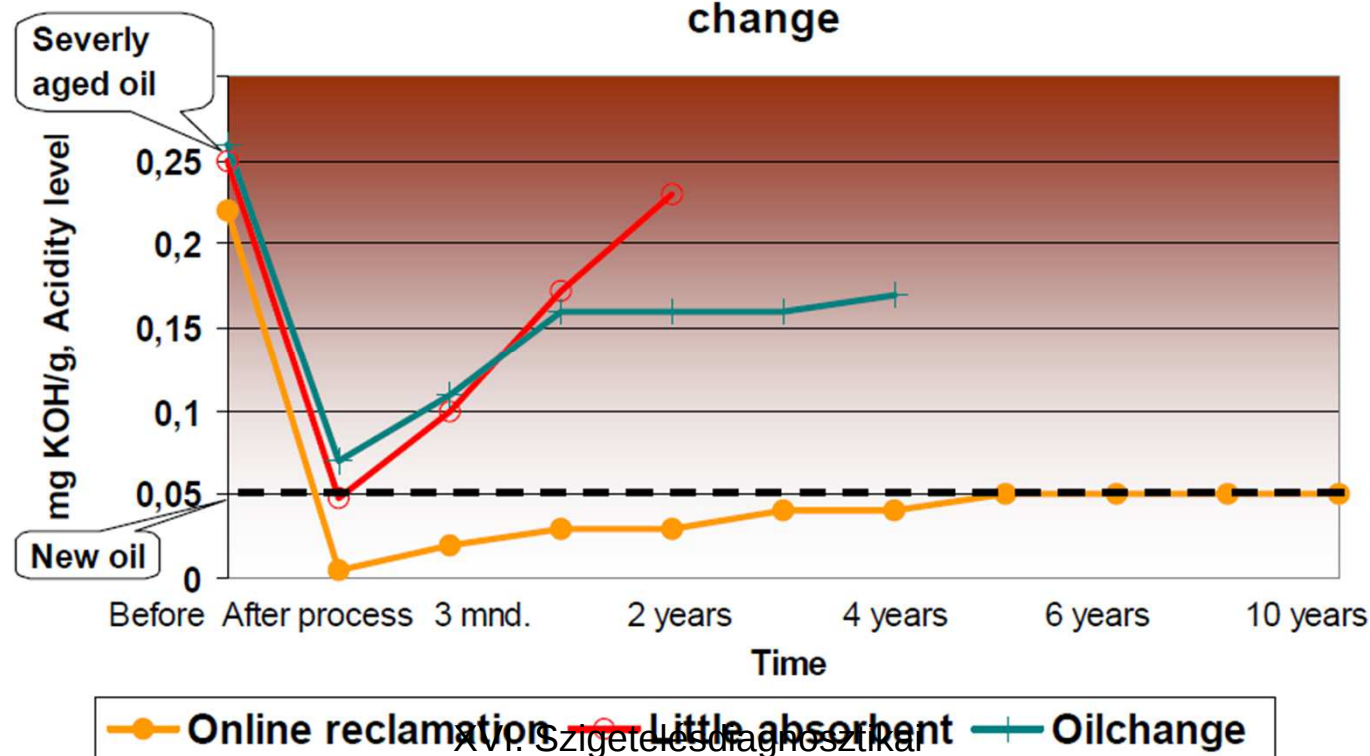
Piros vonal: az olaj romlása egy új állapotból és egyszer volt egy olajregenerálás, legközelebb E időpontban kell majd regenerálni.

Zöld vonal: az olaj romlása, amikor az A időpontban olajcsere volt, de azután mindig gyorsabban romlik az olaj, ezért kell még cserélni a B, C, D időpontokban is.

Az olaj savtartalmának változás az idő függvényében.

A olajok hosszú távú és oxidációs stabilitása: Normál regenerálás, kis mennyiségű abszorbens használata (régi rendszerek), olajcsere. Láthatjuk annak a hatását, hogy nem távolították el megfelelő mennyiségben a papírból a öregedési terméket és vizet, nagyon rövid időn belül erőteljesen öregedni kezd a papír

Aging of transformer oil after reclamation and oil change

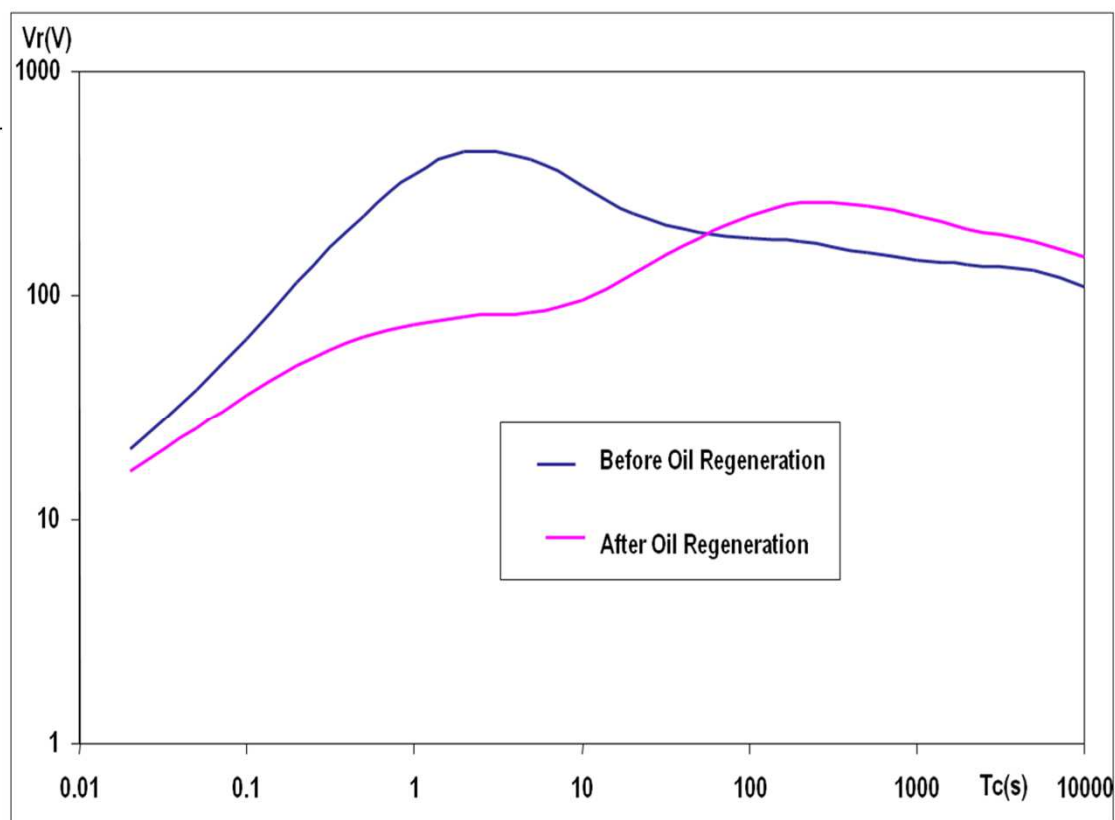


Olaj regenerálás hatékonyság ellenőrzése RVM diagnosztikával

- Tehát jelentős különbség van mind műszakilag, mint költségben **az olajcsere, olaj „kezelés” és az olaj regenerálás között**, hogy tudhatja megkülönböztetni a megrendelő, hogy mit kap?
- Hogyan tudja **biztonsággal eldönteni**, hogy az **olaj regenerálás megfelelő hatékonysággal folyt le?**
- A „**hagyományos**” **diagnosztikai módszerek** (veszteségi tényező, abszorpció tényező, stb.) csak **egy paramétert használnak** a szigetelés jellemzésére.
- Ezek a szigetelésjellemzők mind **erősen függnek a hőmérséklettől**, de azt pedig nagyon **nehéz meghatározni**.
- Egy **több tonna szigetelőanyagot** tartalmazó trafóban **hőmérséklet eloszlása, elnedvesedése ill. öregedése erősen inhomogén**, hogyan lehetne **egyetlen diagnosztikai értékkel jellemezni**, ezért rengeteg **anomália** van használatukkal.
- Tehát a „**hagyományos**” **diagnosztikai módszerek egyedül nem alkalmasok** egy ilyen bonyolult szigetelési rendszer **korrekt diagnosztizálására**.

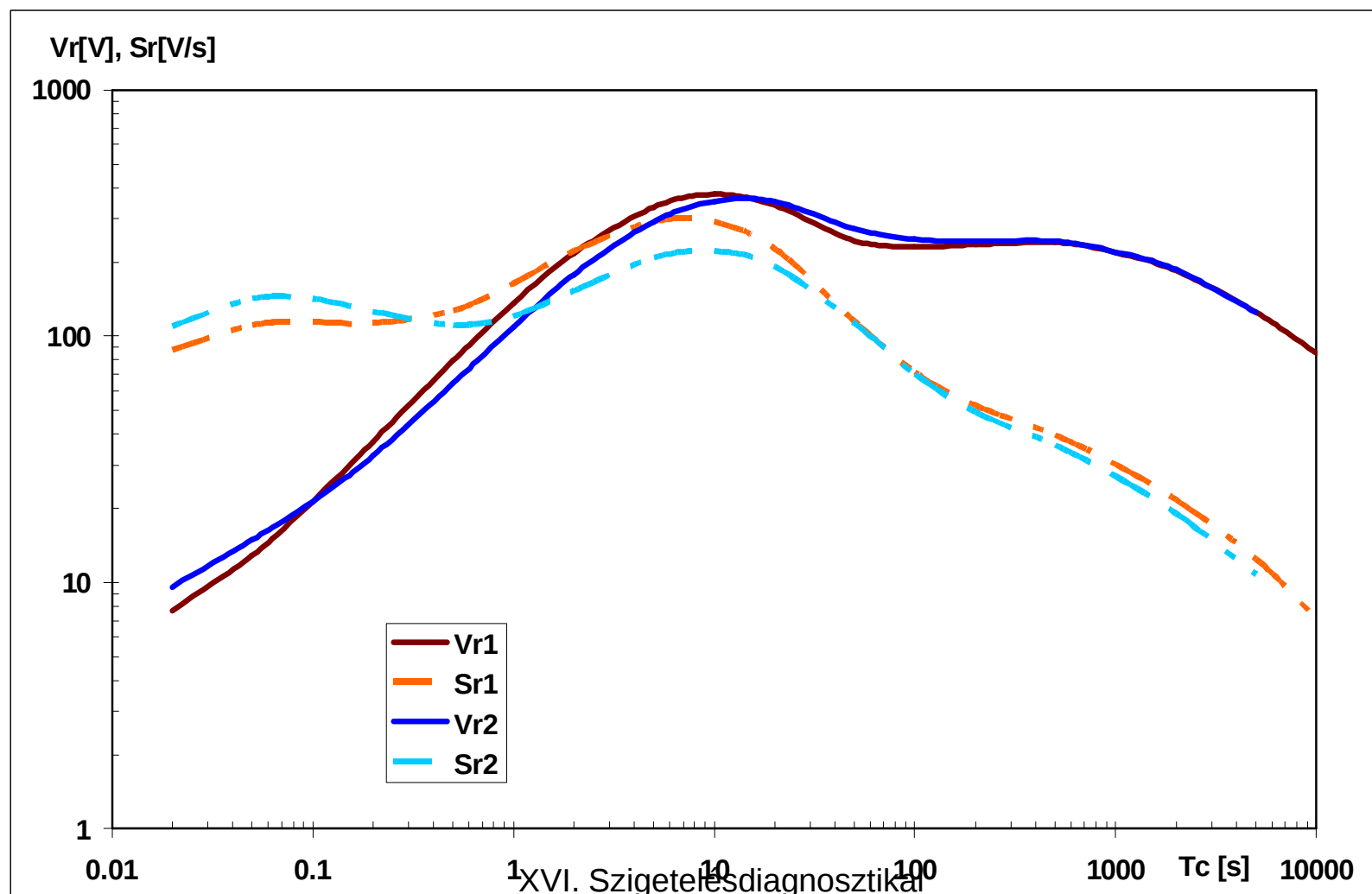
Olaj regenerálás hatékonyság ellenőrzése RVM diagnosztikával

Olaj regenerálás hatása az RVM polarizációs spektrum görbékre



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

Trafó felújítás előtt és után mért RVM görbék. Enyhén nedves de sok öregedési termék felhalmozódva. Nem volt olajcsere sem regenerálás



FONTOS KÉRDÉSEK

- A gyárból száraz trafó kerül ki, ott milyen szárítási folyamat kerül végrehajtásra, és mennyire száraz a trafó szigetelése?
- A **gyárban a teljes aktív rész vákuumkályhába kerül**, kerozin gőzzel vákuum alatt szárítják, majd még meleg állapotban kezelt olajjal feltöltik.
- Mennyire száraz a trafó? A **papír átlagos nedvességtartalma kb. 0,5%.**
- Hogyan ellenőrzik ezt az értéket?
- Igazán nincs ellenőrzés, nemzetközileg elfogadott „érték”, tapasztalat alapján azt mondják, **ha egy adott szárítási ciklus lefut, akkor 0,5% alatt lesz a papír nedvességtartalma?**

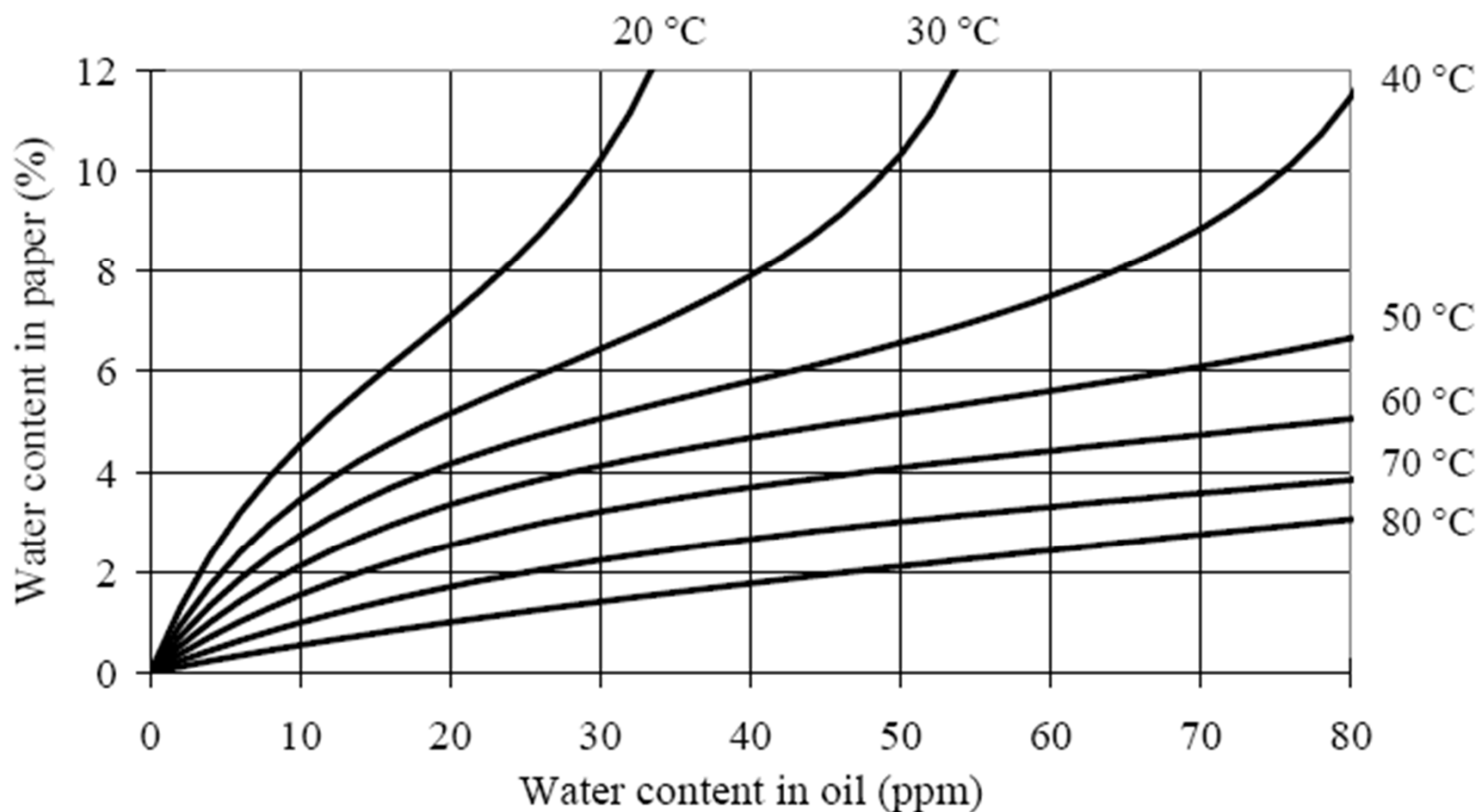
Hogyan ellenőrzik az üzemben?

- **Olaj víztartalma és egyensúlyi ábrákkal (sok probléma)**
- **Polarizációs spektrummérések (pl. RVM), de nincs szabvány**
- **Egyéb vizsgálatok (nincs szabvány)**



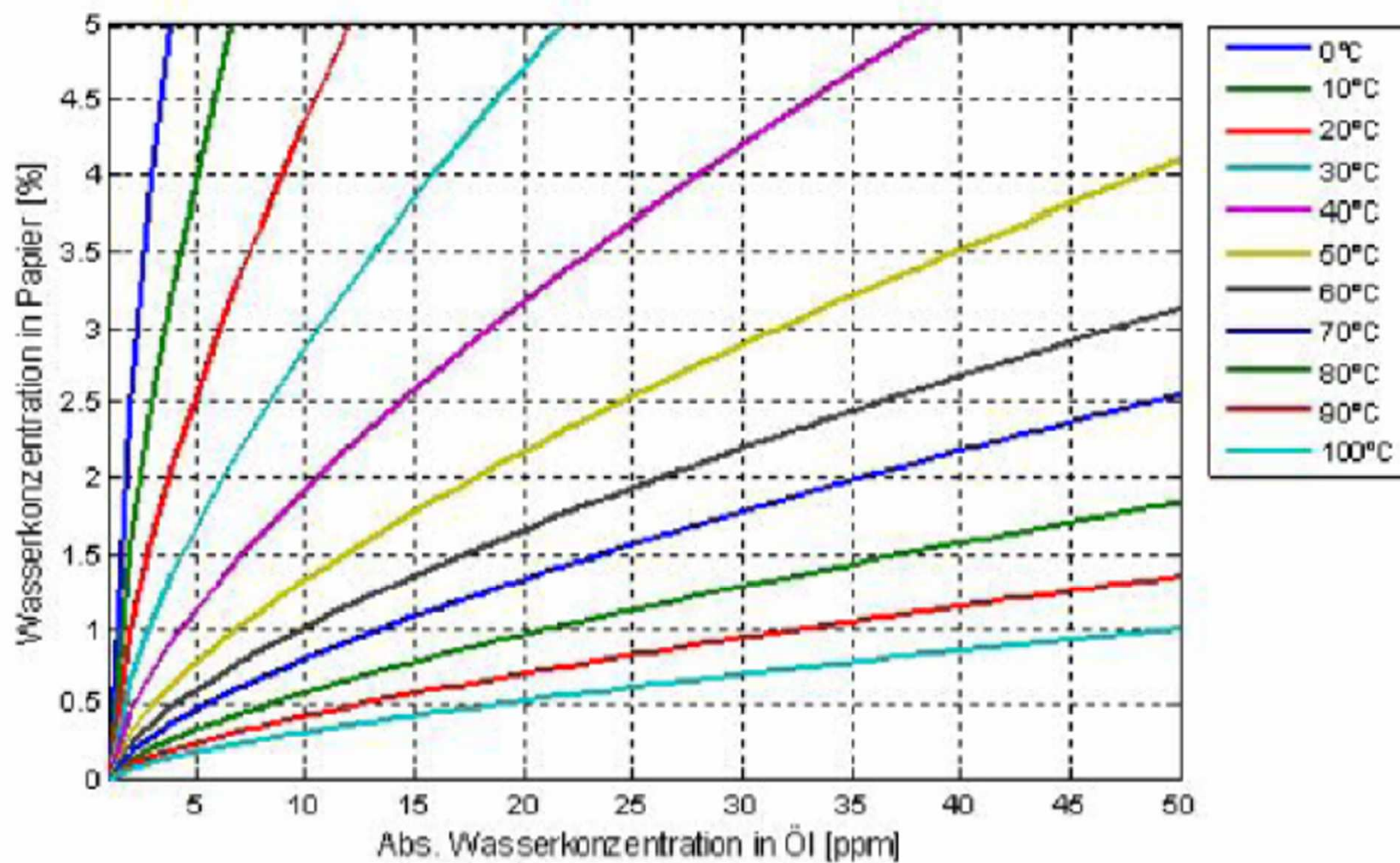
Víztartalom eloszlás olaj-papír szigetelésben

Az olaj-papír rendszerben a víz fő tároló helye a papír, mert a papír több százalék vizet tud felvenni, az olaj azonban csak legfeljebb néhány néhányszor tíz ppm- et.





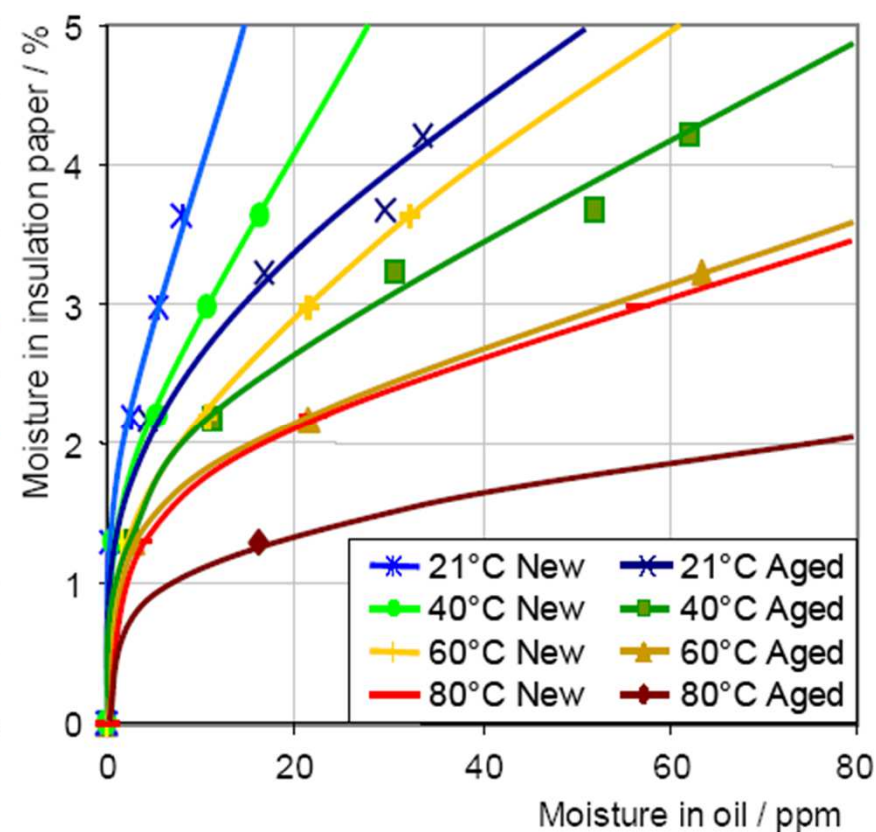
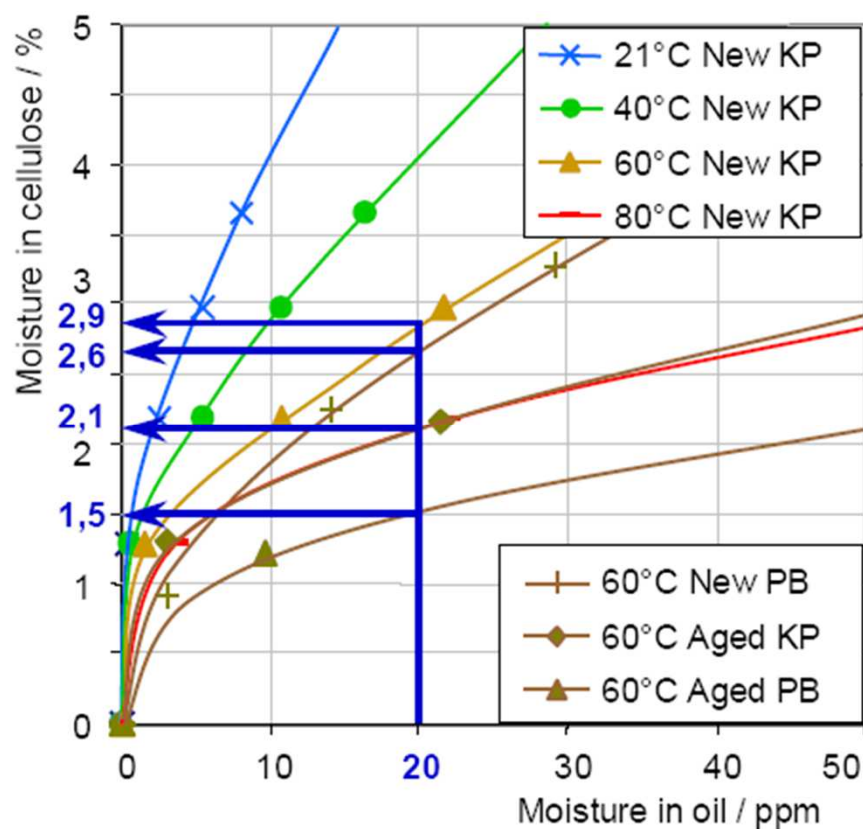
Olaj-papír szigetelés egyensúlyi görbéi



FONTOS MEGJEGYZÉSEK

- Az egyensúly függ a víz olajban oldhatóságától, a cellulóza adszorbeáló képességétől, tehát egy-egy egyensúlyi görbesereg **arra az anyagra érvényes, amire felvették.**
- Természetesen a **tendencia érvényes** marad a többi esetre is.
- Az **öregedés** is jelentősen megváltoztatja a **víz felvevőképességet.**
- Lásd az öreg és fiatal papír egyensúlyi ábráit.
- Új olaj, új Kraft (lágy trafó papír) (KP), 20, 40, 60, 80 fokon.
- 60 fokon látható egy másik görbeserek új papír új olaj, öreg KP öreg olajban.
- Ha feltételezzük, hogy 20ppm az olaj víztartalma, akkor az új papírban 2,9%, új presbord (kemény szigetelés) 2,6%, öreg papír és öreg olaj 2,1 és öreg presbord öreg olaj 1,5%.
- Nehéz egy konkrét esetre az egyensúlyi diagramokat használni.
- Kérdés: lehet **papír víztartalmat meghatározni a csapolt olajmintából?**

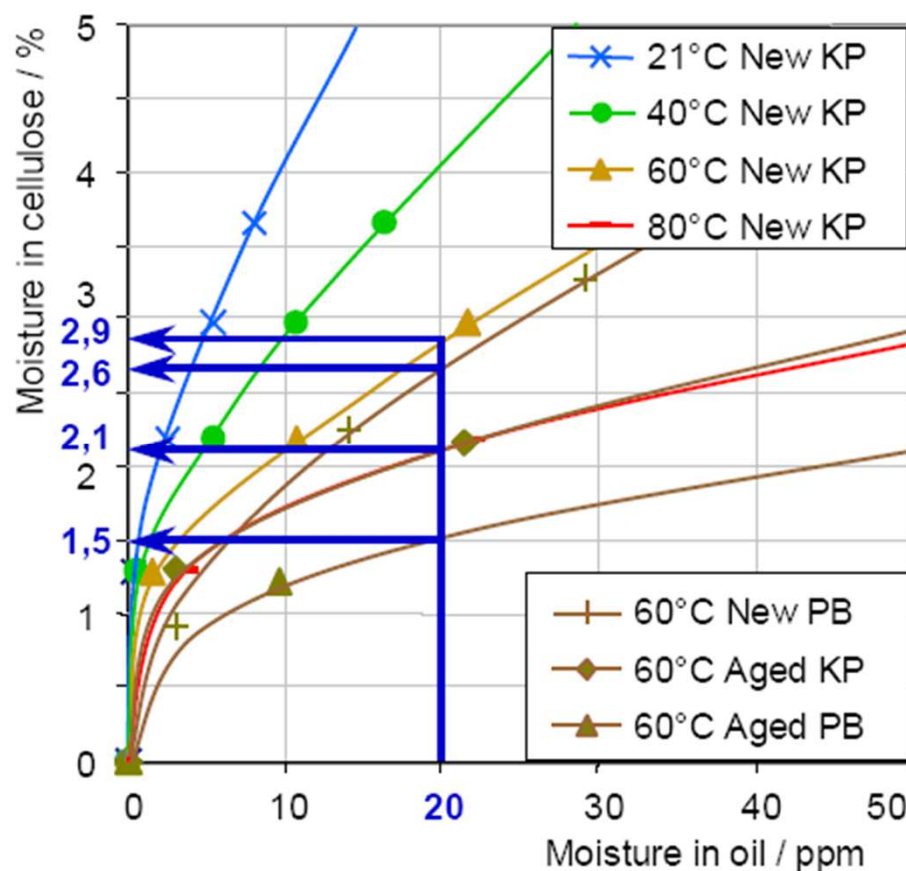
- A baloldali ábrán Kraft papír új és öregedett állapotban felvett egyensúlyi diagramjai láthatóak. Bal oldalon termikusan kezelt új és öregített papír új olajban ábrái láthatóak.





- A szigetelés állapota így mindenképpen javul. A trafóbeli nedvesség esetéhez hasonló a helyzet, amennyiben az olaj és a szilárd szigetelés közötti anyagkoncentrációk egyensúlyi állapota alakul ki.
- A szilárd halmazállapotú szigetelés az olaj bomlástermékeit is tárolja. Figyelembe véve azt, hogy olajcsere esetén a teljes olajmennyiség 10–15%-a a transzformátorban marad, nyilvánvaló, hogy az olajcsere tisztító hatása csak nagyon kicsi lehet.
- Ezzel szemben az olajtöltés regenerálása következtében az egyensúlyi viszonyok eltolódnak, és azonnal megindul valamennyi beépült bomlásterméknek a szilárd szigetelőanyagból a környező olaj felé irányuló diffúziója.

Adott 20 ppm olaj víztartalom mellett **különböző papírok esetén más és más papír víztartalmat kaphatunk, tehát az olaj víztartalma és az egyensúlyi görbék alapján csak az adott rendszerre felvett görbék alapján lehet számolni, akkor, ha tényleg egyensúlyi állapot áll fent.**





Hol van a víz a szigetelésben? Milyen a megoszlás a papír és az olaj között?

Where is the Water?

Most of the water is contained in the cellulose!
->>> More important to measure the water
content in paper than oil

Mass of the oil:
100000 kg



Water content at 60 °C:
40 ppm



Mass of the water, desolved in the
oil:

4 kg

Mass of the solid insulation:
13000 kg



Water content at 60 °C:
4 %



Mass of the water contained in the
paper:

520 kg

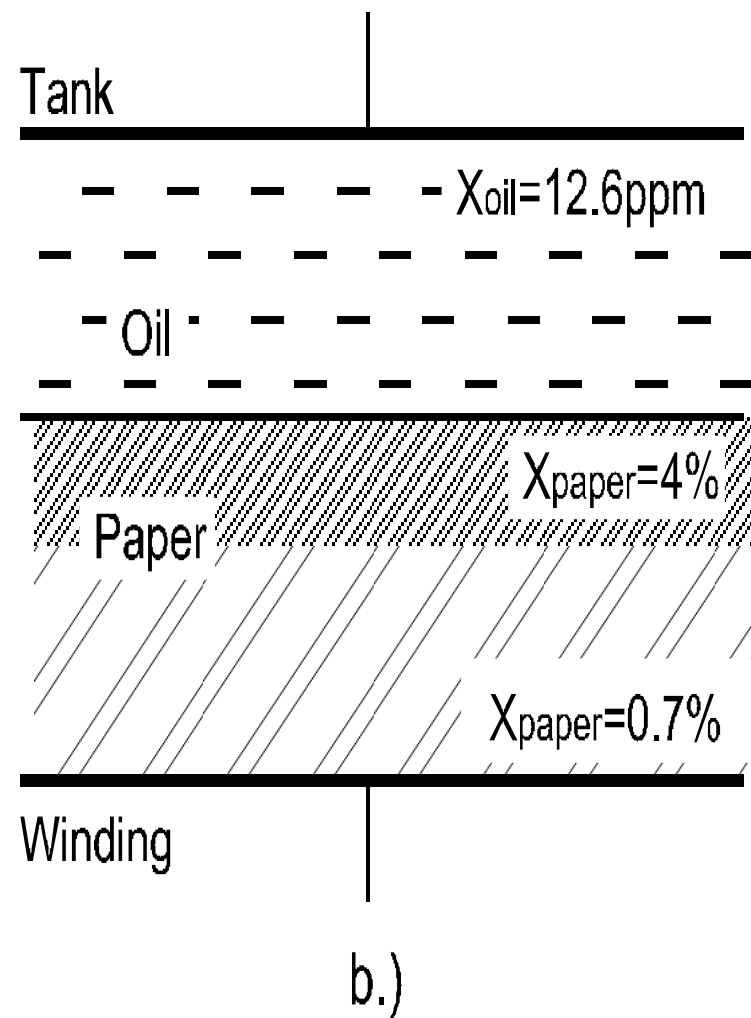
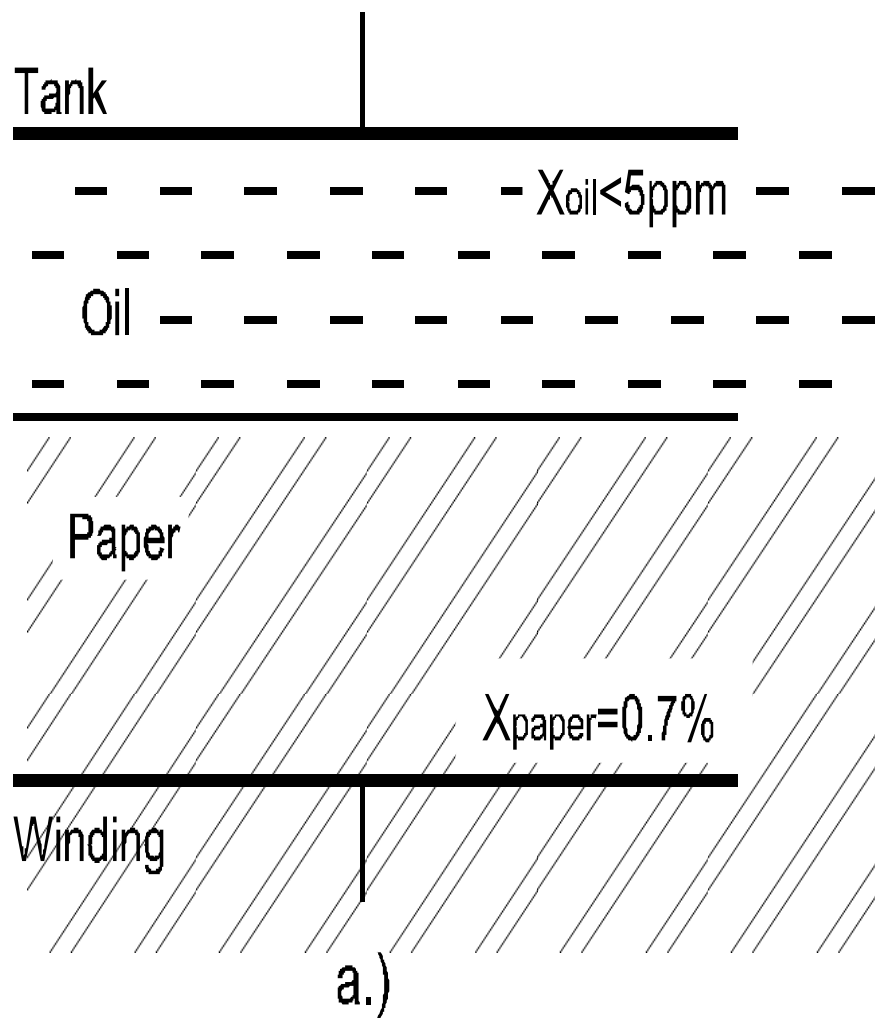


Papír nedvességtartalom meghatározás

- A papír nedvességtartalom meghatározása két különböző módszerrel történik.
- Az egyik esetben a papír nedvességtartalma az olaj nedvességtartalmából kerül meghatározásra „egyensúlyi görbék” alapján.
- A másik esetben pedig a papíros nedvességtartalma off-line módon bevitt, az RVM vizsgálat alapján meghatározott nedvességtartalom.
- Az utóbbi esetben, először az első gyári off-line RVM mérés során kapott nedvességtartalmat kerül bevitelre adatként.
- Ezt követően mindig a legfrissebb RVM mérési eredményeket kell rögzíteni és az összes bevitt RVM mérési eredményt le kell tárolni, archiválni.



- A gyakorlatban az olaj-papír rendszerben a termikus egyensúlyt nem lehet elérni.
- A hőmérséklettel az egyensúlyi görbék mentén változik állandó a papír és az olaj víztartalma, ezért lehetetlen pontosan becsülni a igazi víztartalmat.
- Egy adott pillanatban vett olajminta lapján végzett Karl-Fisher módszerrel mért víztartalom is közelítő értéket adhat.
- A hőmérséklet változás nedvesség elmozdulást hoz létre a papír és az olaj között.
- A diffúziós állandó függ az olaj-papír határfelület hőmérsékletétől, a papír vastagságától, nyomástól (táblázat).

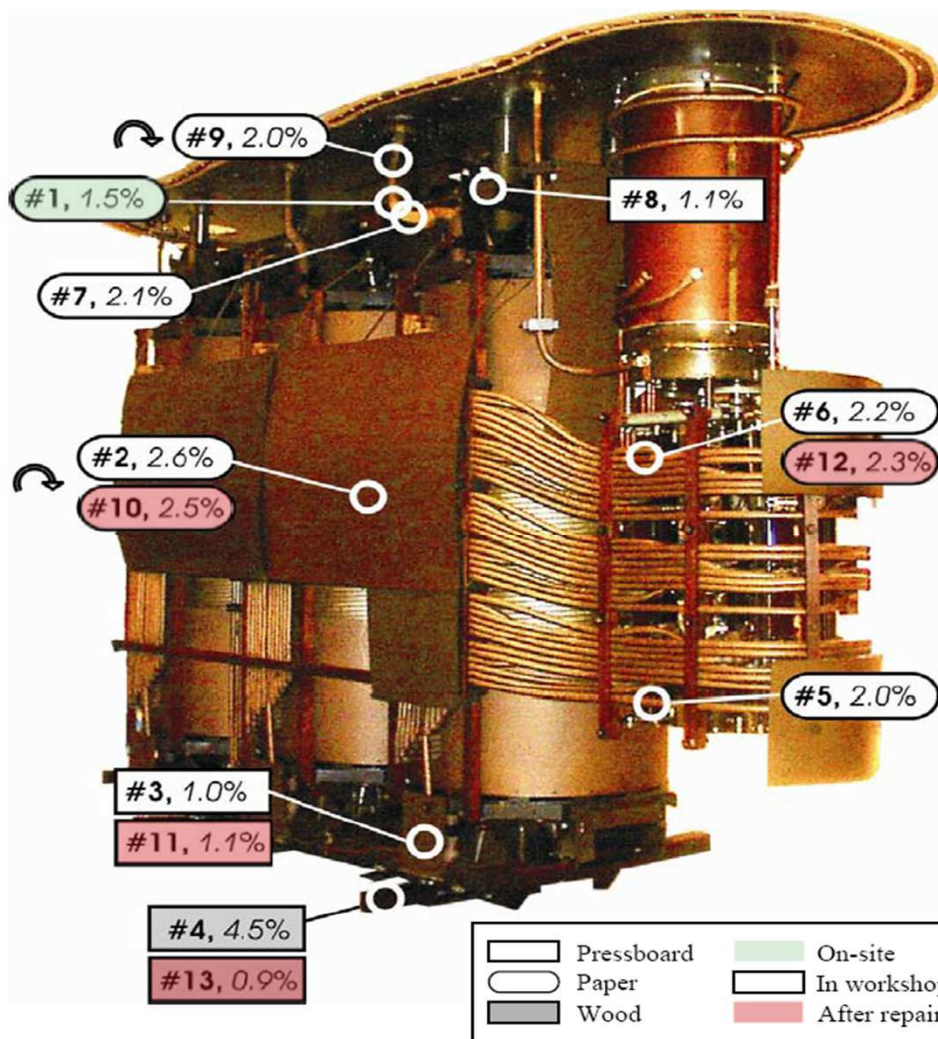


Szárítás utáni állapot ellenőrzés mérés technikai különlegessége

- Az olaj betöltése előtt **olajkezelést** (szárítást) kell végezni és magas hőmérsékleten **vákuum alatt kell betölteni** a kiszárított papírszigetelést tartalmazó trafóba.
- Általában a kezelt, betöltésre szánt olaj víztartalma **5ppm körül** szokott lenni.
- Az egyensúlyi görbék alapján a jól kiszárított, kb. **0,5%** nedvességtartalmú papíros esetén az egyensúlyi állapotban az olaj víztartalma **1-2 ppm**, tehát még a **kezelt olajban is több víz van, mint ami az egyensúlyi állapot** megkövetelne.
- Ekkor olyan folyamat indul, ami az **egyensúlyi állapotot kívánja elérni**.
- Amikor az **olaj érintkezik a papír felületével**, akkor a papír felülete annyi vizet vesz át az olajtól, amennyi az **egyensúlyi állapothoz** szükséges, de ekkor a papír felületén nagyobb lesz a nedvességkoncentráció, mint a belsejében.
- A papír belsejébe történő vízbevándorlás **diffúzió** útján történik, ami erősen hőmérsékletfüggő (és még függ magától a nedvességtartalom mindenkori szintjétől is).



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



Konklúziók

- A magas víztartalom gyorsítja az öregedést, csökkenti az átütési szilárdságot, rövidíti a trafó élettartamát, buborék képződést okoz, stb.,
- Tehát igen fontos a víztartalom és öregedési termékek alacsony szinten tartása.
- Regenerálás megoldás, de preventív megoldásnak kellene lenni.
- Sok téveszme létezik.
- Alacsony költség, nincs trafó elszállítás, leszerelés, helyszínen lehet végezni, viszonylag alacsony víztartalom érhető el, rövidebb kisesés, stb



Köszönöm a figyelmet



A