



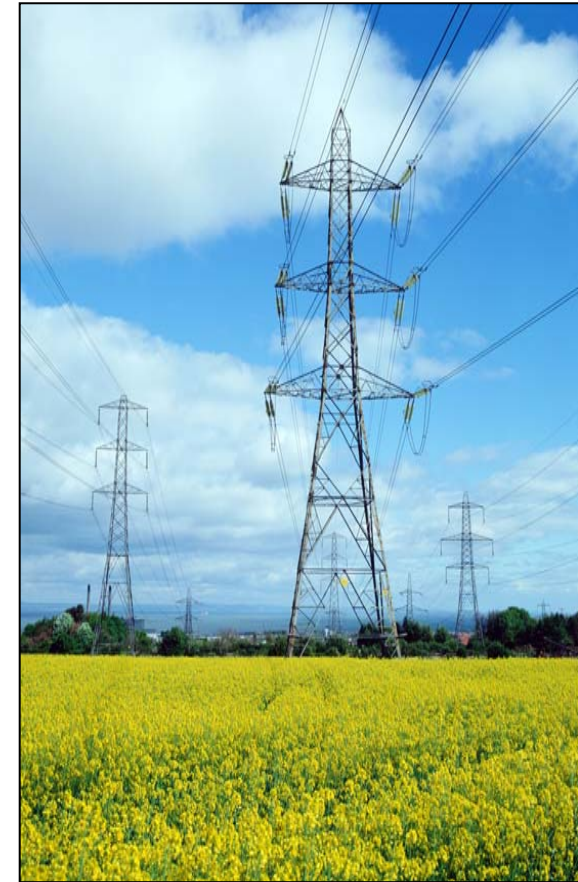
MAVIR ZRt.



Transzformátor diagnosztika hazai és nemzetközi helyzete

CSÉPES GUSZTÁV
(csepes@mavir.hu)

**“VIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia,
Egerszalók, 2008 április 23-25.**



Vizsgálatok	Vizsgálat célja felújítás előtt	Vizsgálat célja felújítás után	
HGA	Lokális hibák kimutatása	FU utáni feszpróba alatti gázfejlődés kimutatása	
Ált. olajvizsg.	Általános szigetelési állapot (öregedés, nedvességtartalom)	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
RVM	Általános szigetelési állapot (öregedés, nedvességtartalom)	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
Átvezető, trafó tg/C	Átvezetőszigetelő és trafó általános szigetelési állapot	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
DP mérés	Papír általános mechanikai állapotának ellenőrzése	∅	
Furán	Papír általános állapotának ellenőrzése	∅	

Vizsgálatok	Vizsgálat célja felújítás előtt	Vizsgálat célja felújítás után	
Szigetelési ellenállás	Általános szigetelési állapot	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
FRA	Referencia mérések tekercsek elmozdulásának vizsgálatára	Ref. mérések tekercs elmozdulás vizsgálatára	
Indukált AC teszt PD méréssel	Feszültségpróba, lokális hibák kimutatása	Beavatkozások jóságának ellenőrzése, feszpróba	
Fokozatkapcsoló diagnosztika	Fokozatkapcsoló állapotának kimutatása	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
Olajon keresztüli rezgésmérés	Vasmag/tekercs mech. Állapot	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
Falon keresztüli rezgésmérés	Vasmag/tekercs mech. Állapot	FU után ne legyen rosszabb az állapot	
Áttétel mérés	Referenciamérés	Javítás jóságának ellenőrzése	



Transzformátor diagnosztika hazai és nemzetközi helyzete

Off line diagnosztika

On line diagnosztika: hiányzó láncszem

Nedvességtartalom mérés

Hőmérsékletmérés

Gáztartalom” mérés

Olajban oldott nedvességtartalom

- Telítési víztartalomhoz közeledve meredeken csökken az olaj villamos szilárdsága
- Buborékképződés !!!
- Fokozottabb a veszély „vezető részecskék” esetén
- Oldott víz probléma „hideg” trafó esetén
- „Szabad” víz már névleges feszültségen átütést okozhat
- Egy vízcsepp az olajban mint részecske generátor működik
- On-line monitoring víz és gáztartalom mérések
- Labormérés Karl-Fischer titrálás

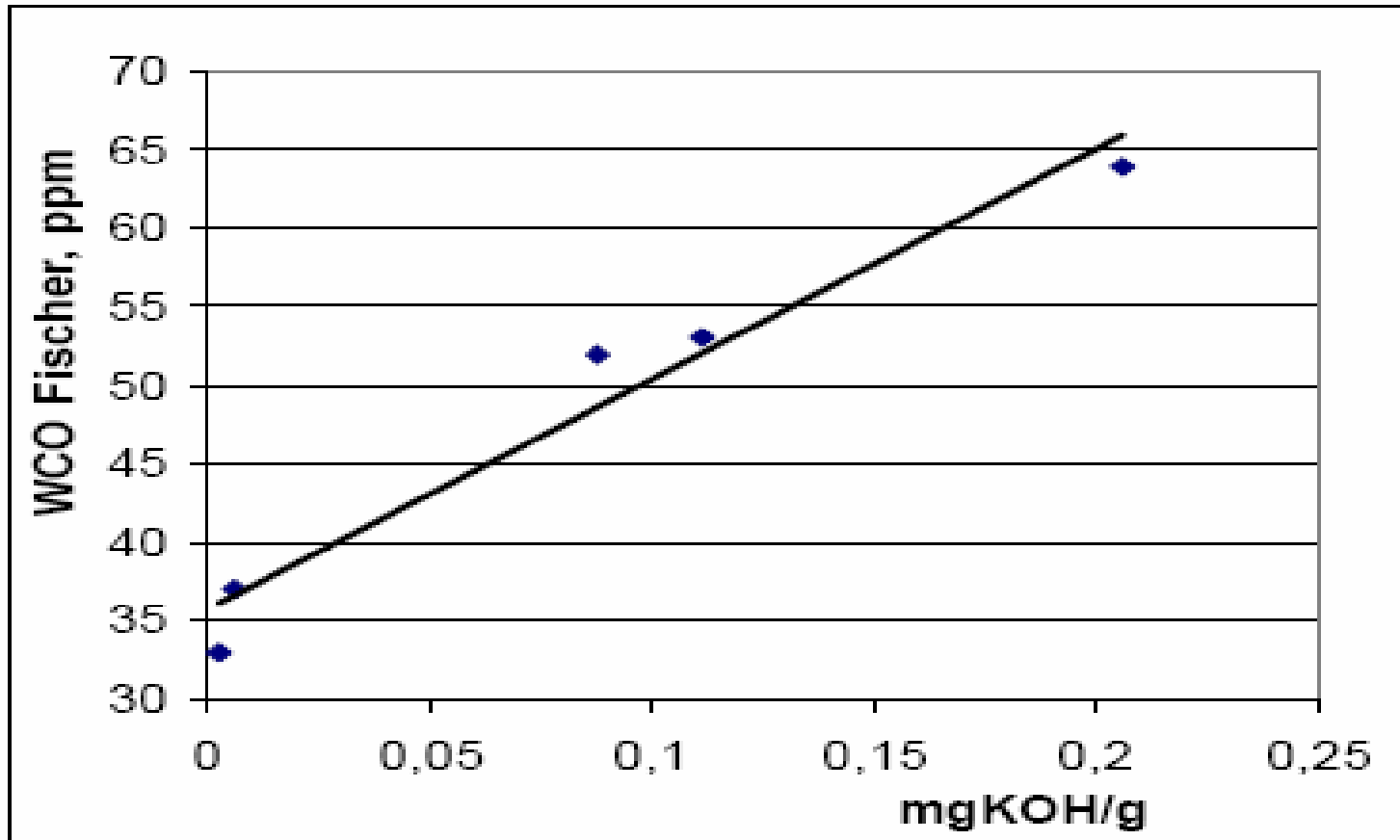


On-line és off line transzformátor diagnosztika

- Egy jellegzetes példa a folyamatos olaj víztartalom monitoring rendszer szerepére ill. hatékonyságára, azaz miért kell komolyan venni az olaj relatív víztartalmát.
- Télen, 0 °C alatti hőmérséklet esetén, ha terhelés nélkül marad a transzformátor, az olaj relatív nedvességtartalma eléri 100 %-os telítődést.
- Ilyenkor szabad víz, vagy jég keletkezik és az olaj dielektromos tulajdonságai leromlanak.
- A telítési szint jobb paraméter, mint a ppm-ben kifejezett víztartalom a megengedhető „víztartalom” kijelzésére.
- Egy on-line nedvességtartalom kijelző használatával megelőzhető a nagy víztartalom esetén fellépő meghibásodások.

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.



Korreláció a KFT (Karl-Fischer Titrálás) által mért nedvességtartalom és savtartalom között

On-line nedvességtartalom monitoring

- Az olaj leglényegesebb tulajdonságait nagymértékben befolyásolja a pillanatnyi relatív nedvességtartalom és a hőmérséklet.
- E két paraméter legfontosabb hatása az olajban végbemenő gázképződésre van, mert ha ez egy viszonylag magas érték és ez egy nagy térerősség igénybevételi helyen jelentkezik, akkor adott esetben átütés következhet be.
- Az olajban oldott víz, gáz értéke állandóan változik, a berendezés állapotának meghatározása céljából monitoring jelleggel kell rendelkezésre állnia.
- Ez az információ a laboratóriumi méréseknél nem áll, ill. nem állhat rendelkezésre, bár valójában mérni szokták.



On-line és off line transzformátor diagnosztika

- 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.



On-line és off line transzformátor diagnosztika

Olajban oldott nedvesség tartalom figyelése, papír nedvesség számítása egyensúlyi állapotgörbék felhasználásával

A Hydran M2 a hidrogén egyenérték mellett az olaj nedvességtartalmát is méri.

-Kijelzésre kerül egyrészt a pillanatnyi érték, valamint az órás növekmény.

-Az olaj és a papír nedvességtartalma, valamint a hőmérséklet szoros kapcsolatban van.

- Papír nedvességtartalom számítás az olajban oldott nedvességtartalom, tekercs átlaghőmérséklet és az egyensúlyi görbék alapján (a tekercs átlaghőmérséklet a „direkt hot-spot” átlaghőmérséklet egy állandóval történő korrekciójával határozandó meg).



On-line és off line transzformátor diagnosztika

-A szakértői rendszer a papír nedvességtartalom meghatározásakor az egyensúlyi görbéket csak az olajban oldott nedvességtartalom 4%-ig vizsgálja. A 0.5%-os vagy ennél kisebb olajban oldott nedvesség esetén a szigetelésrendszert „száraznak” tekinti a monitoring rendszer.

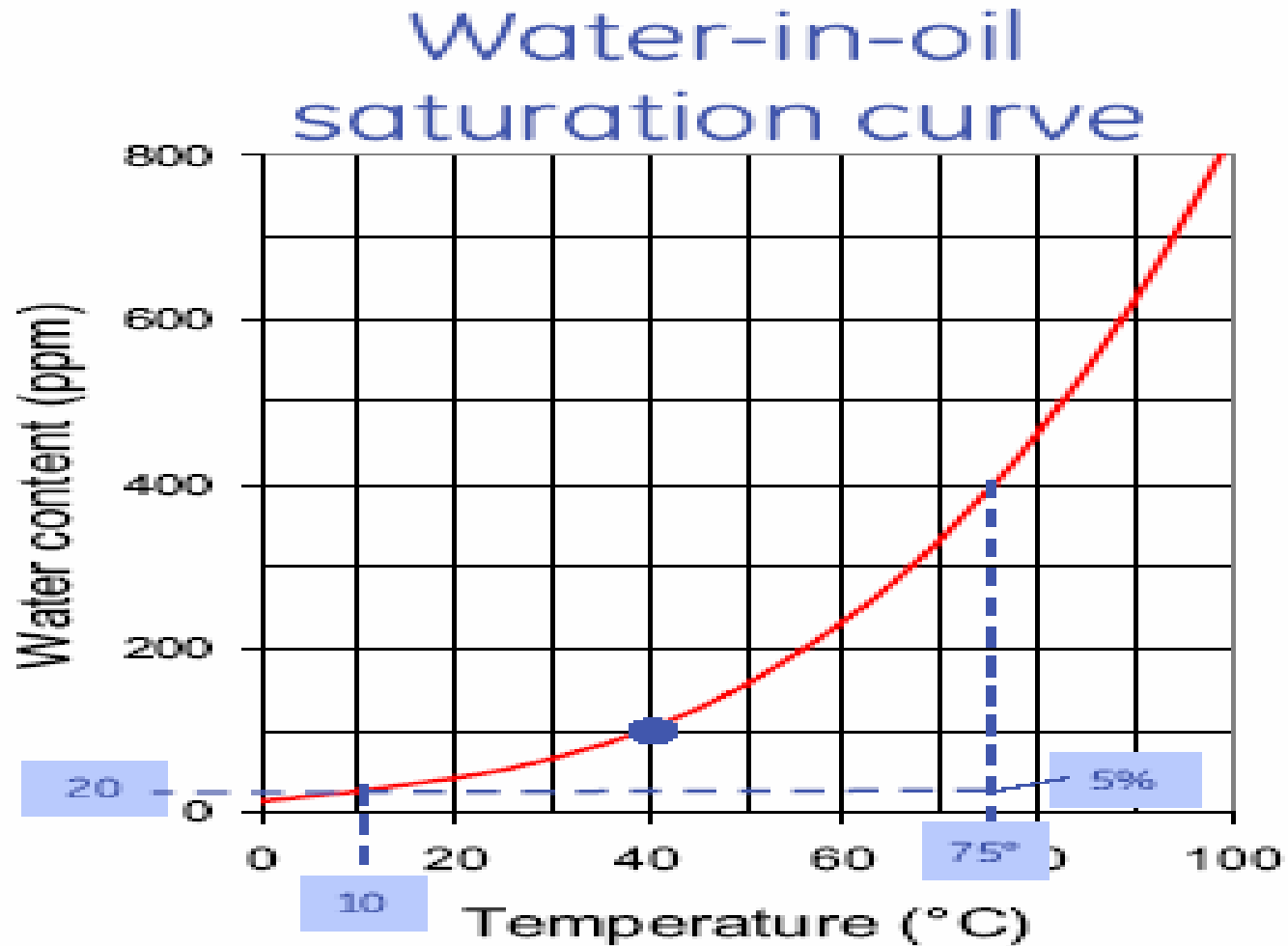
- A nedvességérzékelő szenzor a szigetelőolaj relatív nedvességtartalmát (RH= relative humidity) át méri %-ban.

- A relatív nedvesség, vagy más néven relatív telítődés (RS=relative saturation) az alábbiak szerint fejezhető ki:

$$RS=RH= \text{PPM}/\text{PPMs} \times 100,$$

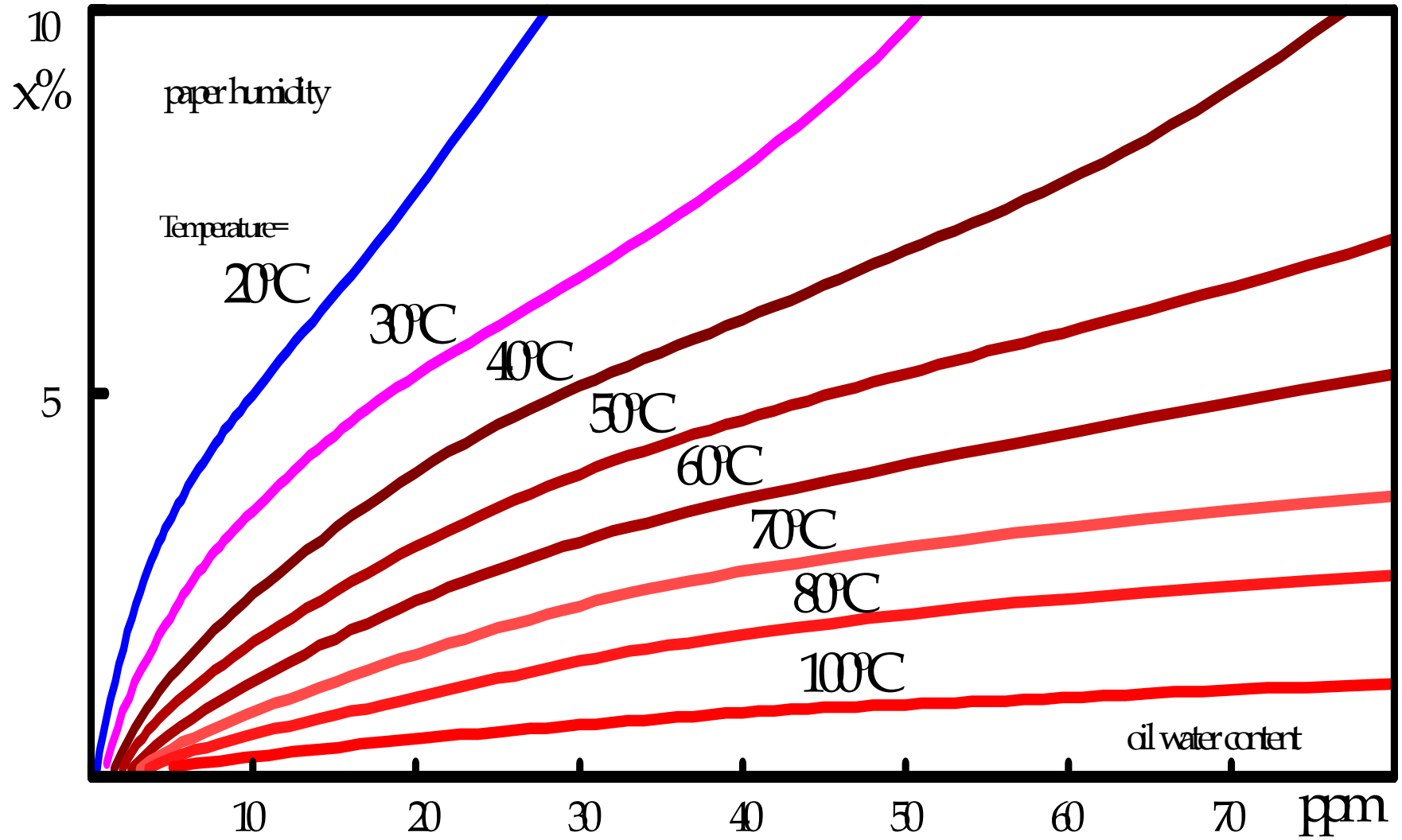
Ahol PPM=az olajban oldott víz koncentrációja viszonyítva a víz olajban oldhatóságához az adott mérési hőmérsékleten (PPMs). A Hydran M2-ből kiolvasható az RH értéke %-ban, de mivel ismert a hőmérsékletet, így rendelkezésre áll az olajban oldott nedvességtartalom ppm-ben is.

On-line és off line transzformátor diagnosztika

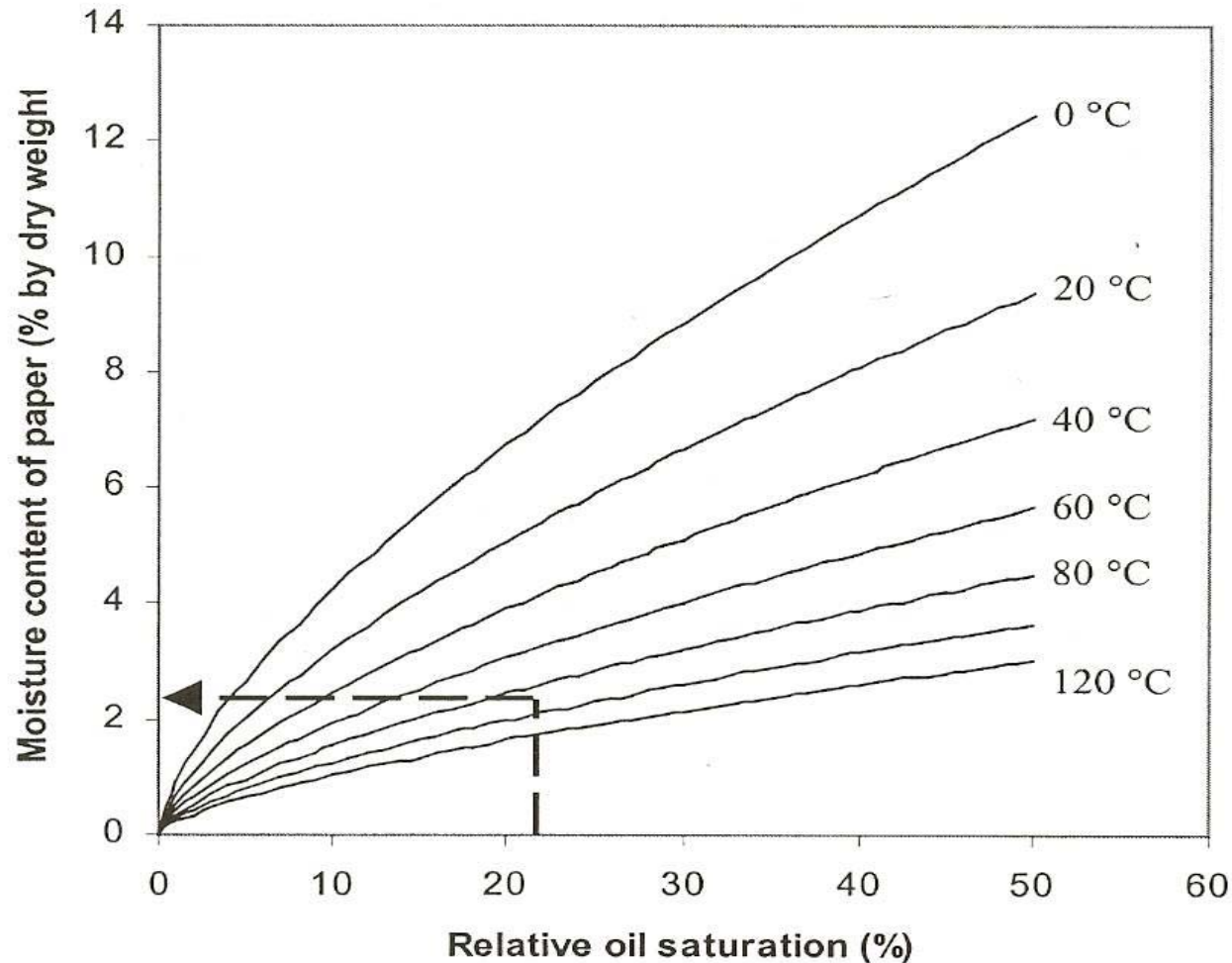


Olajban oldott víz telítési görbéje

Olaj-papír víztartalom egyensúlyi görbék

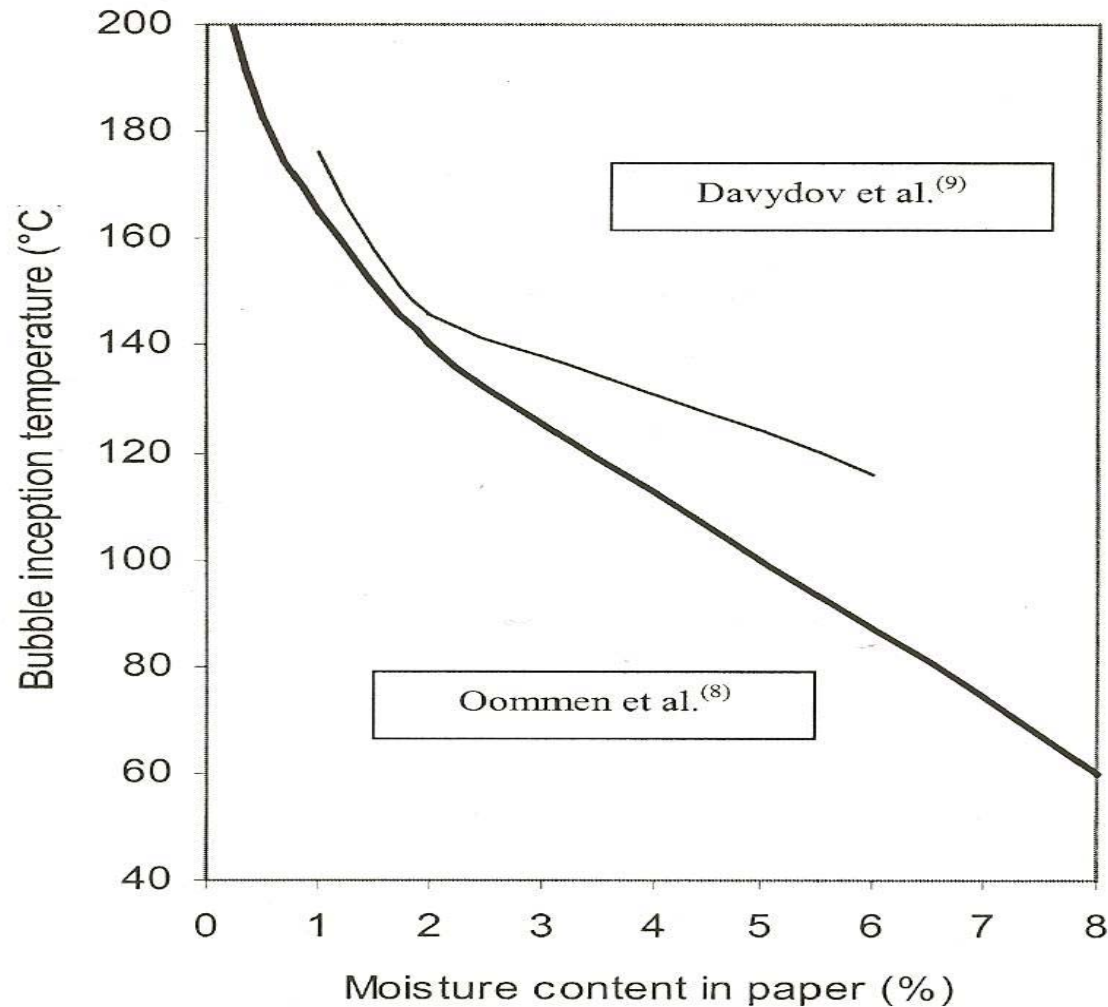


On-line és off line transzformátor diagnosztika



Olaj és a papír közötti víztartalom megoszlás egyensúlyi görbéi

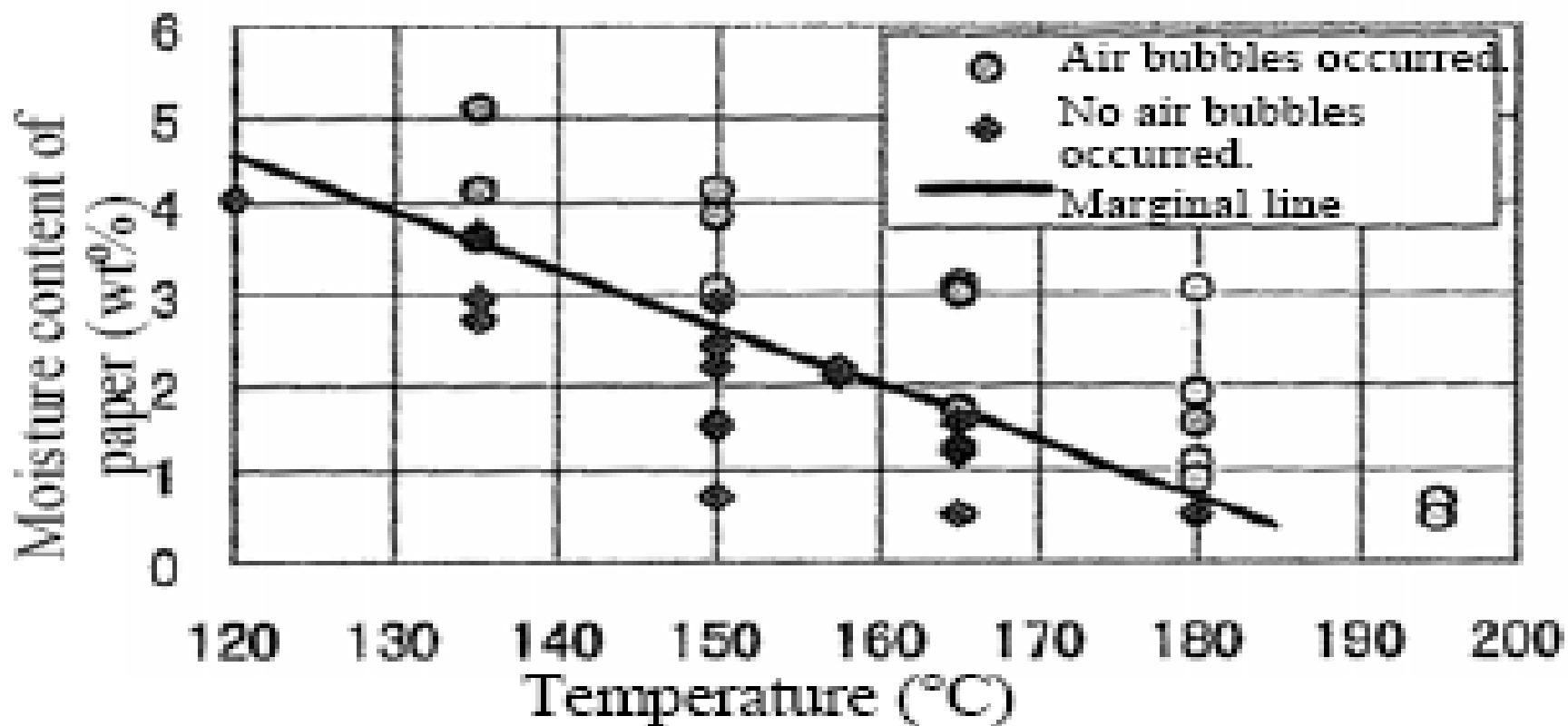
On-line és off line transzformátor diagnosztika



Olaj buborékképződési küszöb hőmérsékletek

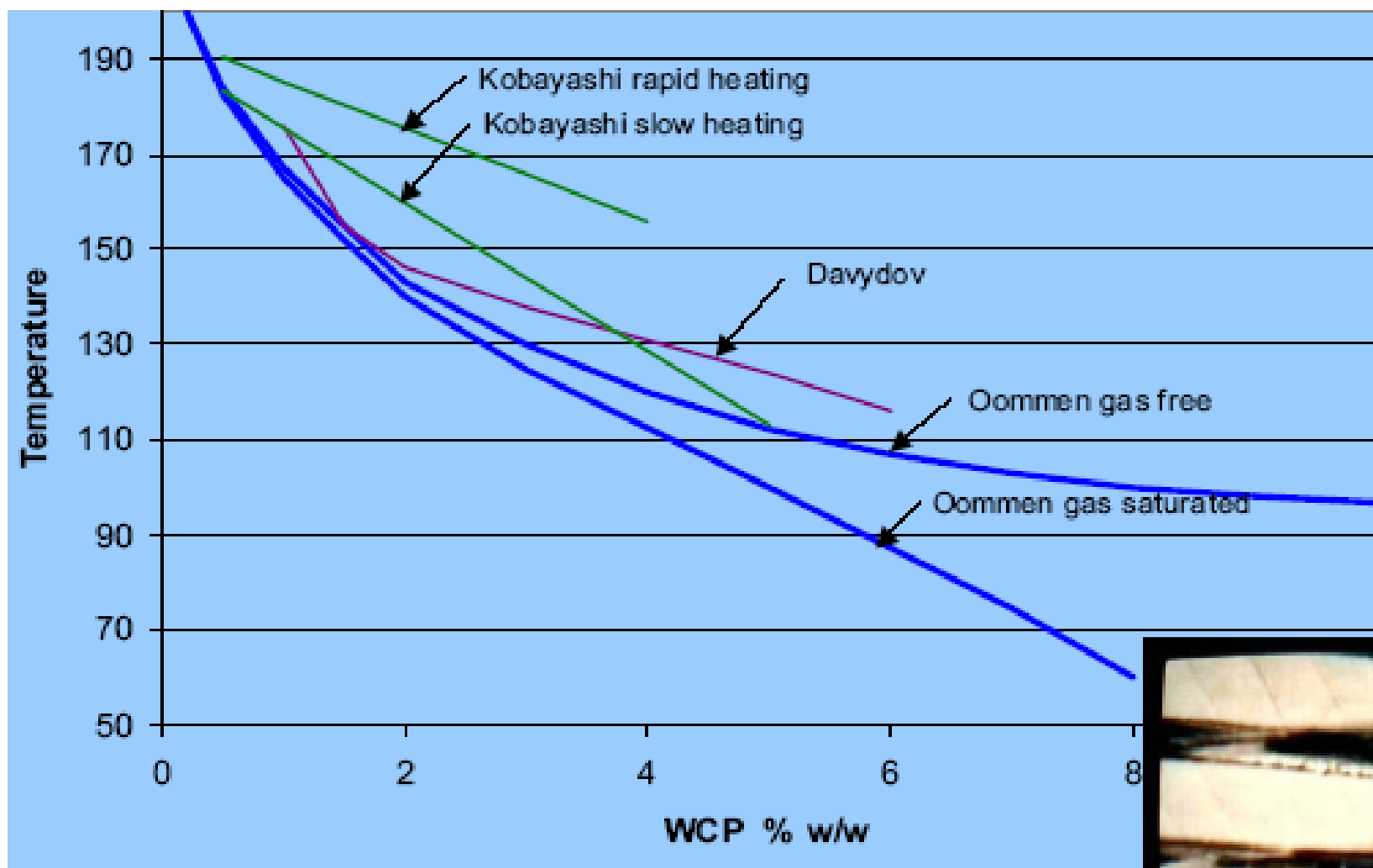
On-line és off line transzformátor diagnosztika

The rapid warming
test result ($\tau=2$ min.)



Hőmérséklet – Nedvességtartalom – buborékképződés összefüggése

On-line és off line transzformátor diagnosztika



Buborékképződés kritikus hőmérsékletei: Oommen, Davydov és Kobayashi görbék



On-line és off line transzformátor diagnosztika

-Hőmérsékletmérés

- A nagytranszformátorok szinte kivétel nélkül olaj-papír szigetelésűek, amely szigetelés rendkívül hőmérséklet érzékeny.
- A hőmérséklet növekedésével exponenciálisan nő az olaj-papír szigetelés öregedése, azaz exponenciálisan csökken az élettartama, ezért az üzem közbeni folyamatos hőmérséklet ellenőrzés a legfontosabb feladat.
- A tekercsek hőmérséklet profilja nem homogén eloszlású, de a határértékek betartása miatt szükséges a legnagyobb hőmérsékletű hely behatárolása,
- A klasszikus megoldás: egy ponton olaj hőmérsékletmérés és a mért érték terhelés függvényében történő korrekciója.
- A megfelelő üzembiztonság miatt az a megoldás sem elegendő, így kerültek alkalmazásra az un. száloptikai megoldások, amelyek lehetővé teszik, hogy a legnagyobb feszültségű helyen is közvetlenül mérni lehessen a hőmérsékletet.



On-line és off line transzformátor diagnosztika

Élettartam számítások

- Az on-line monitoring rendszer a tekercs legmagasabb melegponti hőmérsékletét egyrészt védelmi célra, másrészt termikus öregedési sebesség (élettartam csökkenés) számítására használja.
- A termikus öregedéssel kapcsolatos még a normál élettartamhoz megengedhető terhelés, ill. szükségállapotú terhelhetőségek számítása.
- A transzformátor olaj-papír szigetelési rendszerű, élettartamát döntő mértékben a hőmérséklet és a nedvességtartalom határozza meg.
- A hosszúidejű túlterhelés következménye a szilárd cellulóza szigetelés termikus romlása (öregedése).
- Az idő függvényében a cellulóza láncok átlagos hossza depolimerizáció miatt csökken, következésképpen csökken a papír mechanikai szilárdsága.

On-line és off line transzformátor diagnosztika

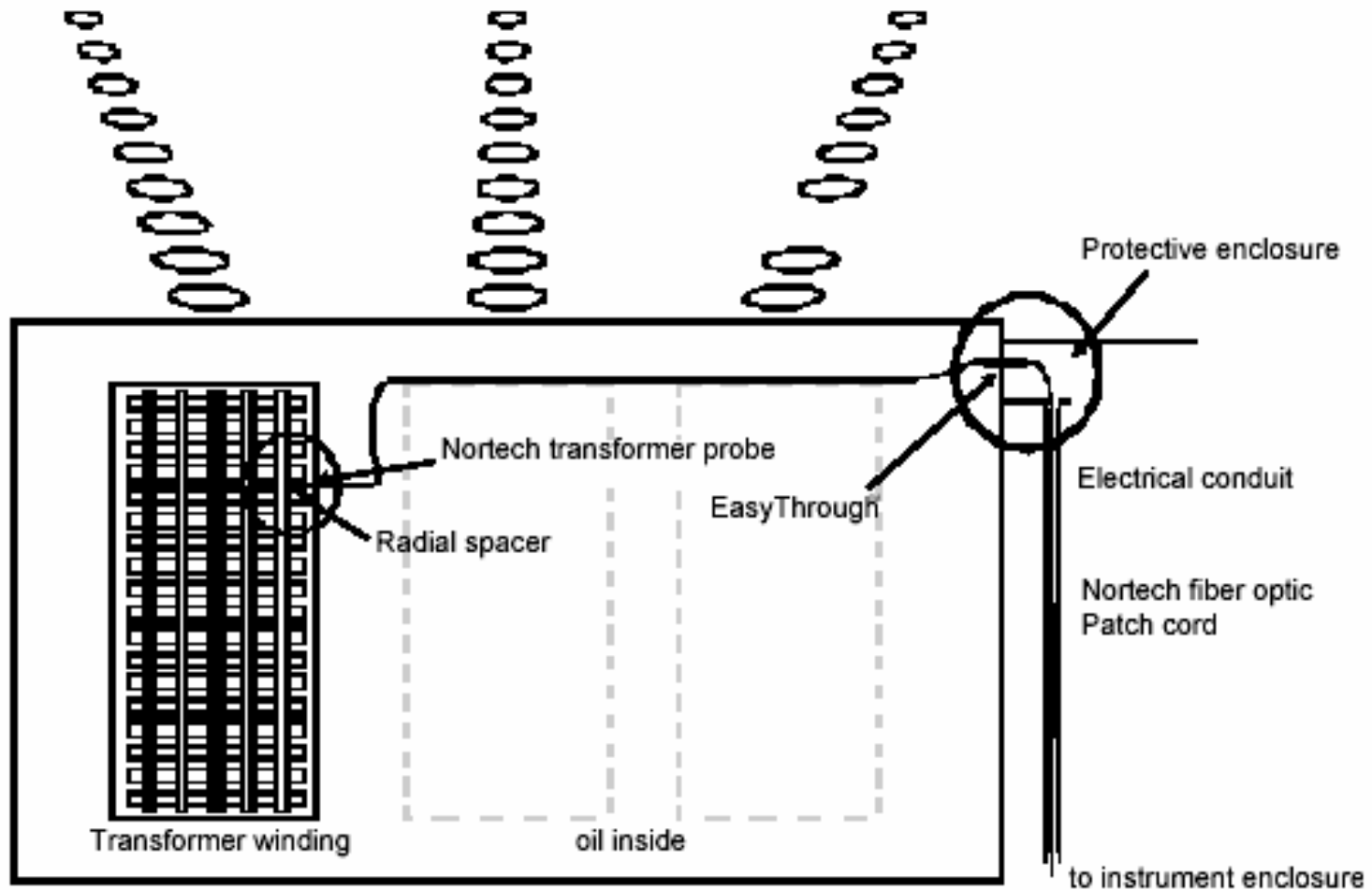


Figure 1: Transformer Installation

On-line és off line transzformátor diagnosztika

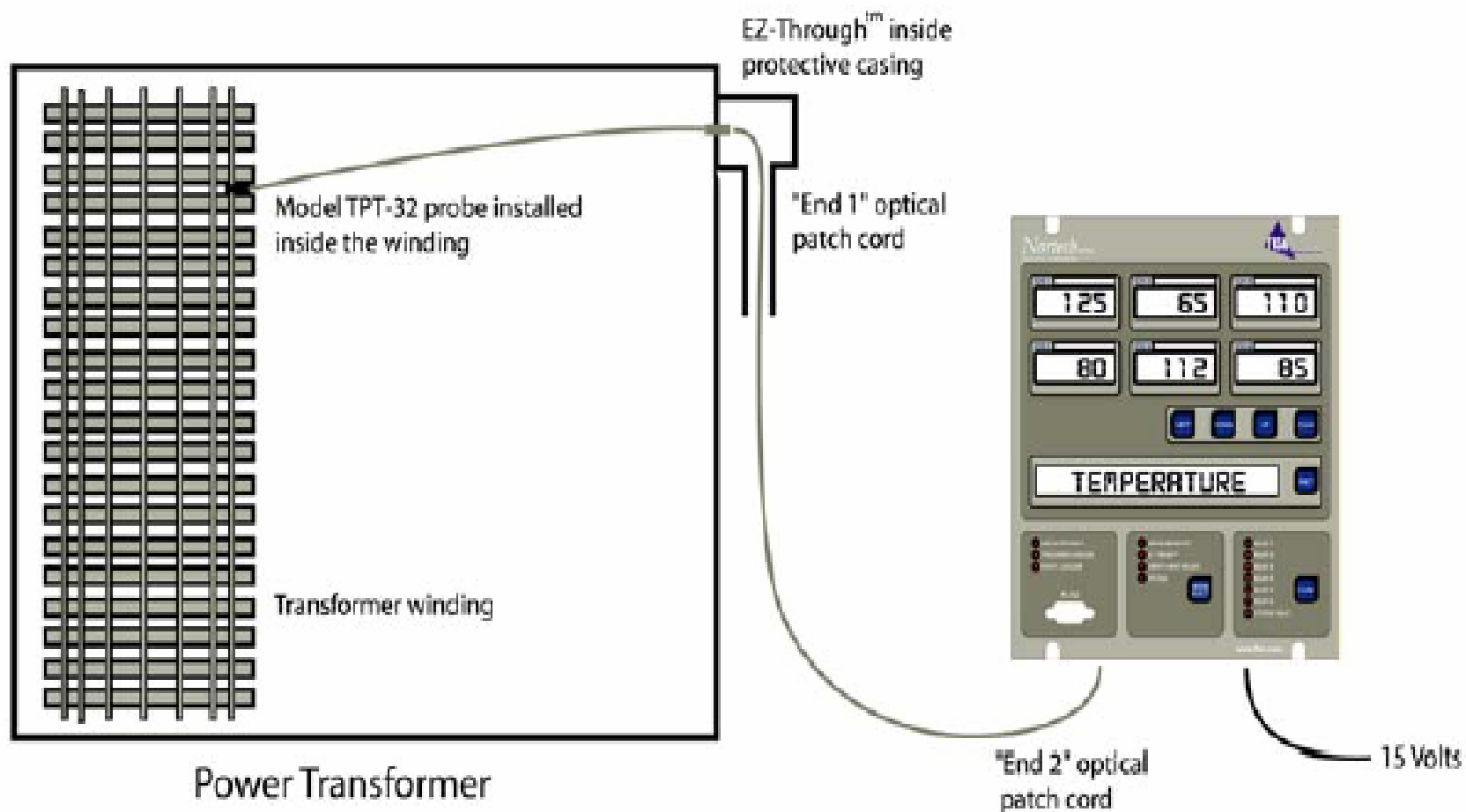


Figure 2: Typical installation



On-line és off line transzformátor diagnosztika

-Ha a Hot-Spot hőmérséklet a fent említett 98°C -nál 6°C -al nagyobb, a transzformátor a relatív élettartam csökkenését megduplázza (feleződik az élettartam), amíg 6°C -al kisebb Hot-Spot hőmérséklet a transzformátor a relatív élettartam csökkenését felezi, azaz az élettartamát megduplázza.

Az öregedési vagy romlási sebességi egy másik számítási módja az IEEE módszer. Az IEEE a transzformátorok viszonylagos öregedési sebességét 110°C (283°K) melegponti hőmérséklet esetén tekinti egységnyinek, ami 20°C környezeti hőmérsékletnek és 78°K melegponti melegedésnek felel meg.

-Tehát 110°C -on még egységnyi, 120°C -on már kb. 2,7 a romlás sebessége. Ez azt jelenti, hogy pl. 2000 órás üzemeltetés 120°C hot-spot hőmérsékleten egyenértékű 5400 órás 110°C -on történő üzemeltetéssel.

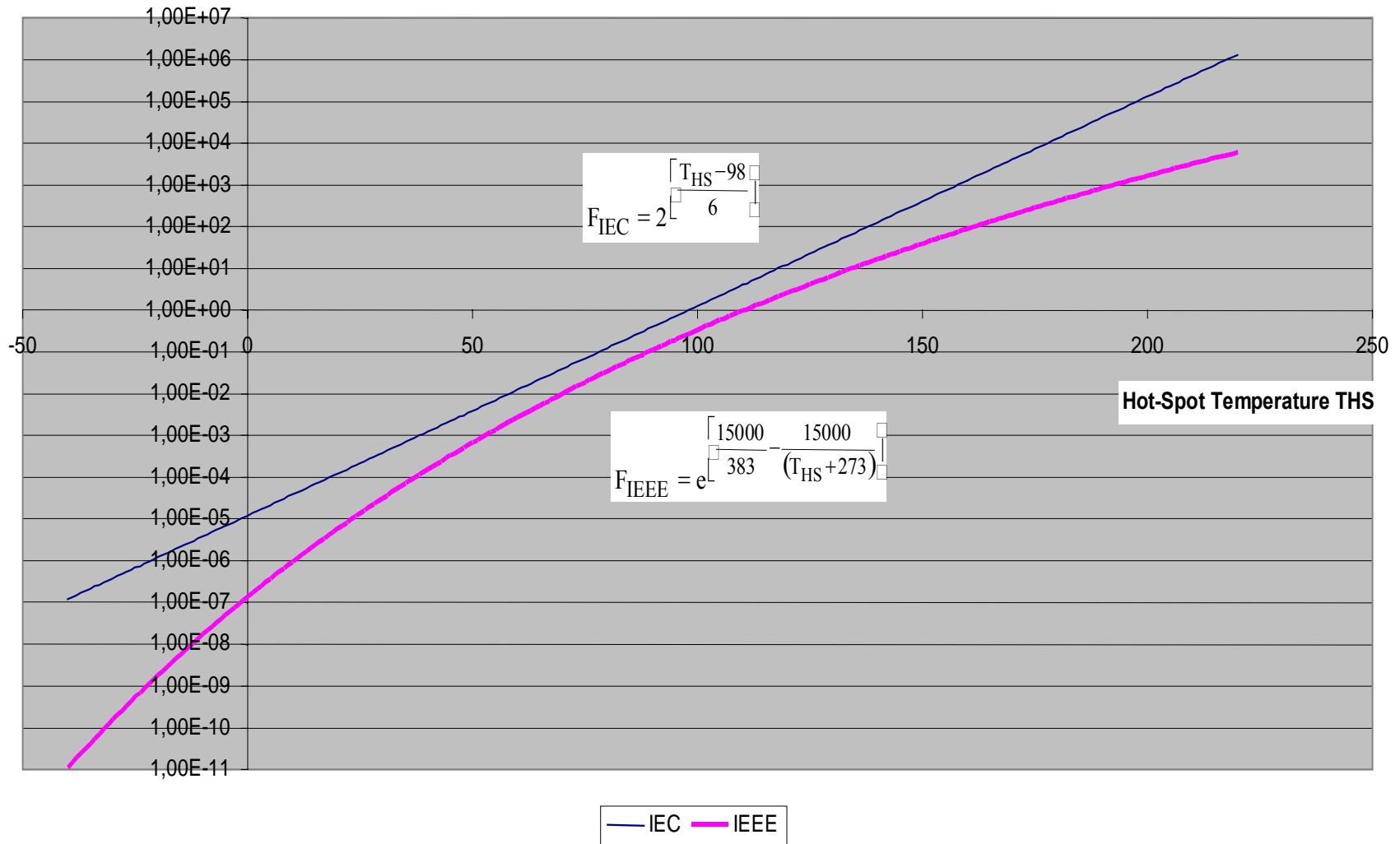
$$\text{Expected Life} = \frac{\frac{1}{DP_{End}} - \frac{1}{DP_{Start}}}{A * 24 * 365} \cdot e^{\frac{13350}{T+273}} \text{ [year]}$$

DP Start= 1000, DP End= 200



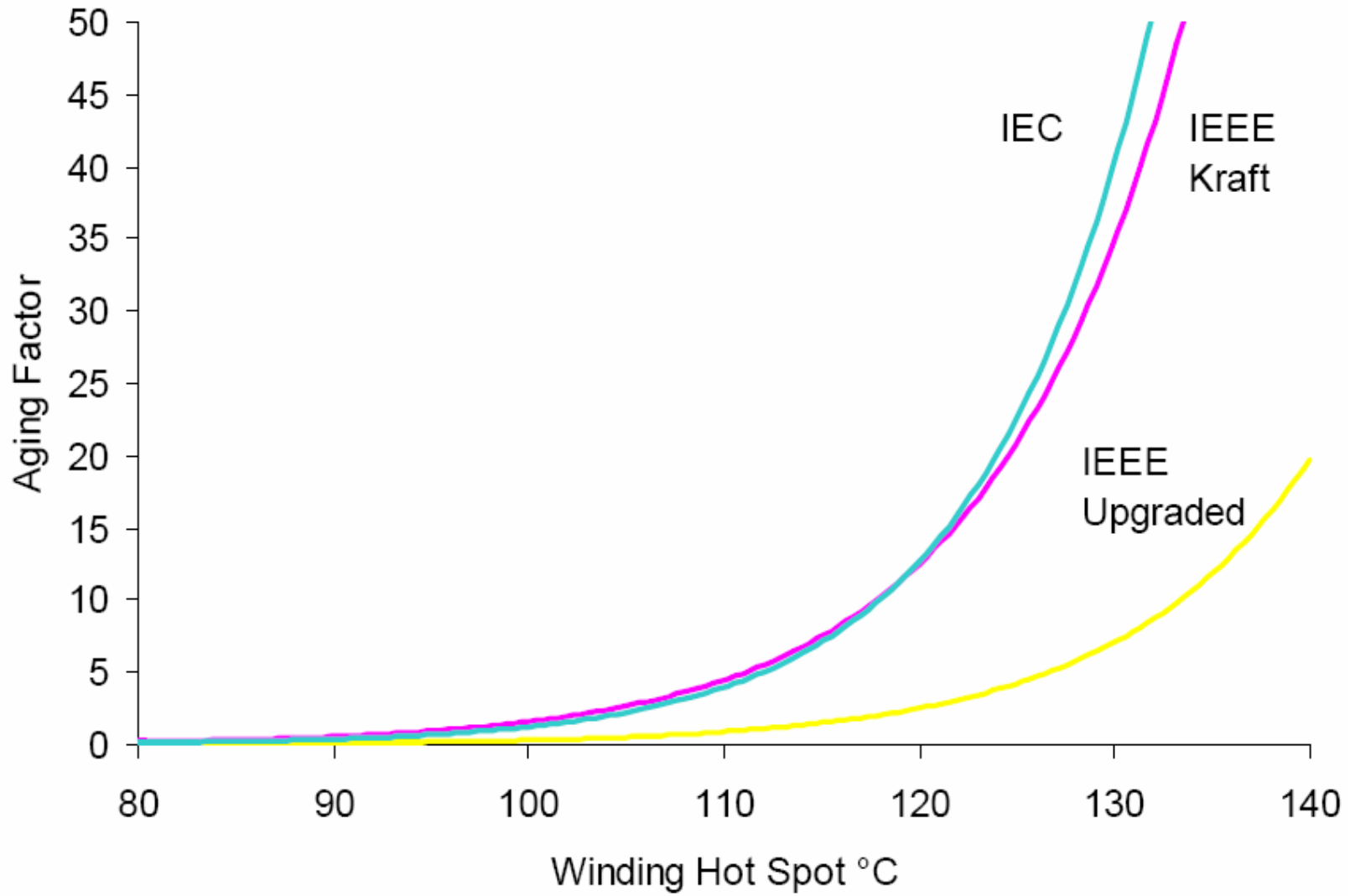
IEC and IEEE Aging

Aging Speed



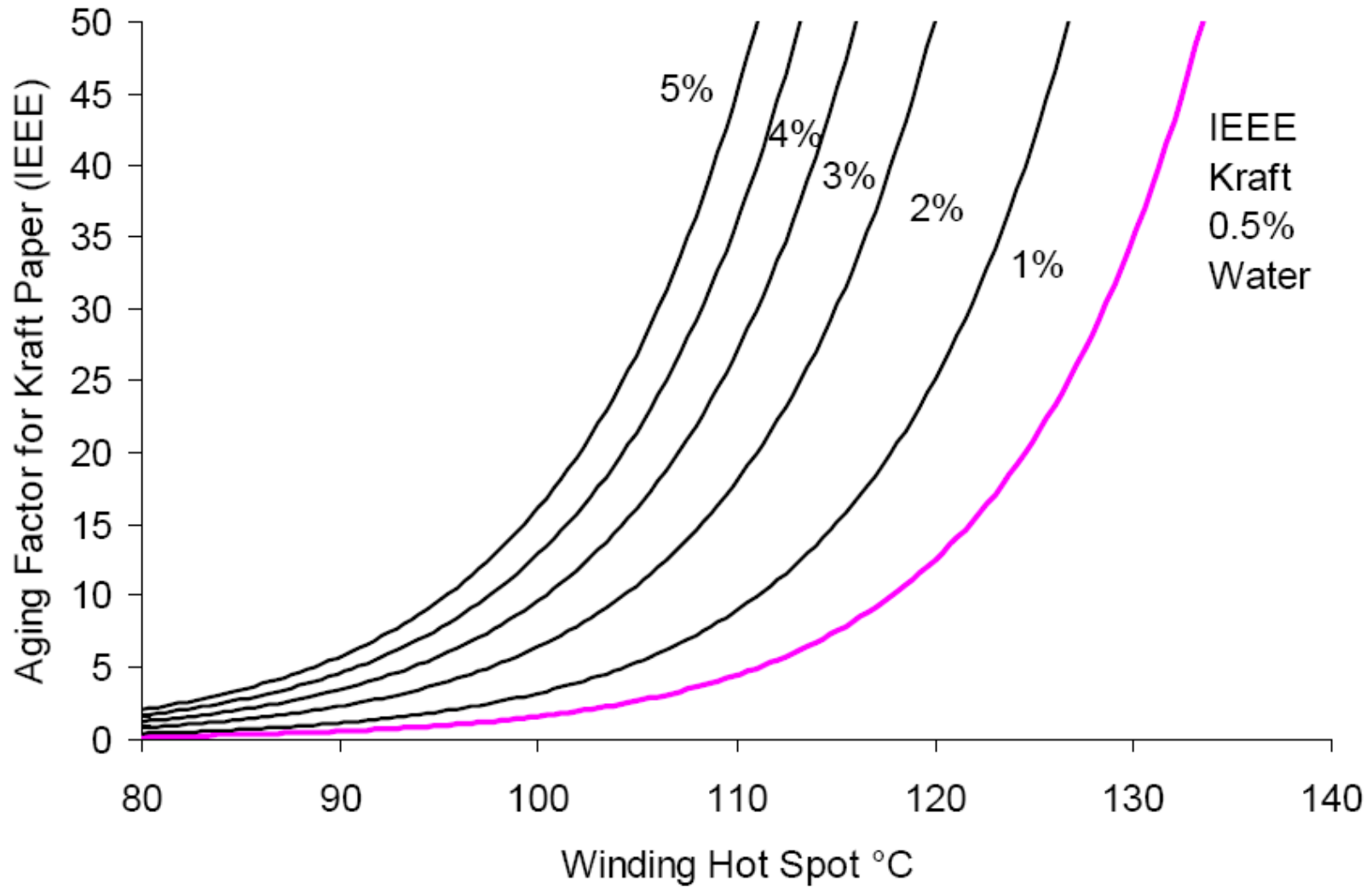


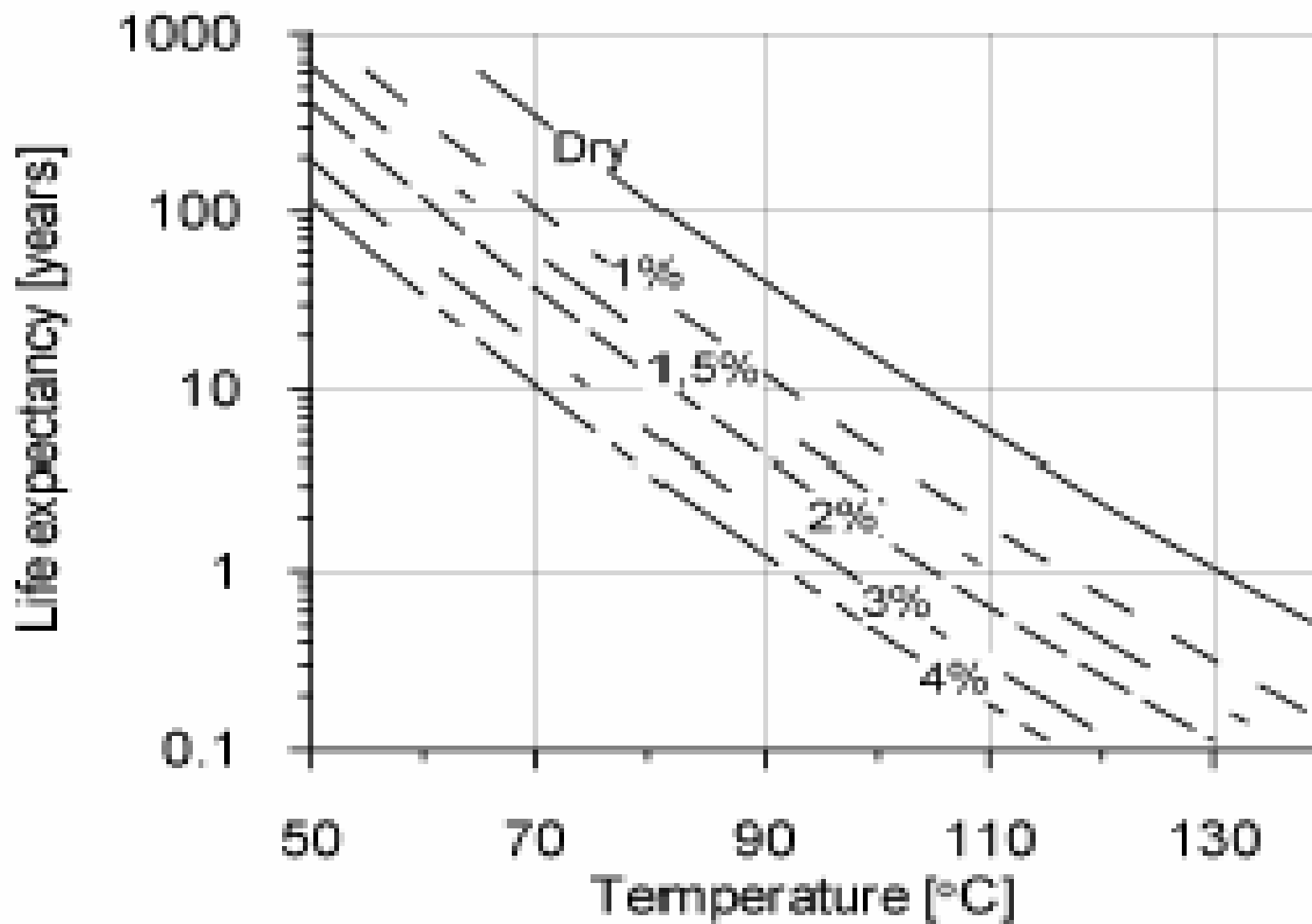
On-line és off line transzformátor diagnosztika

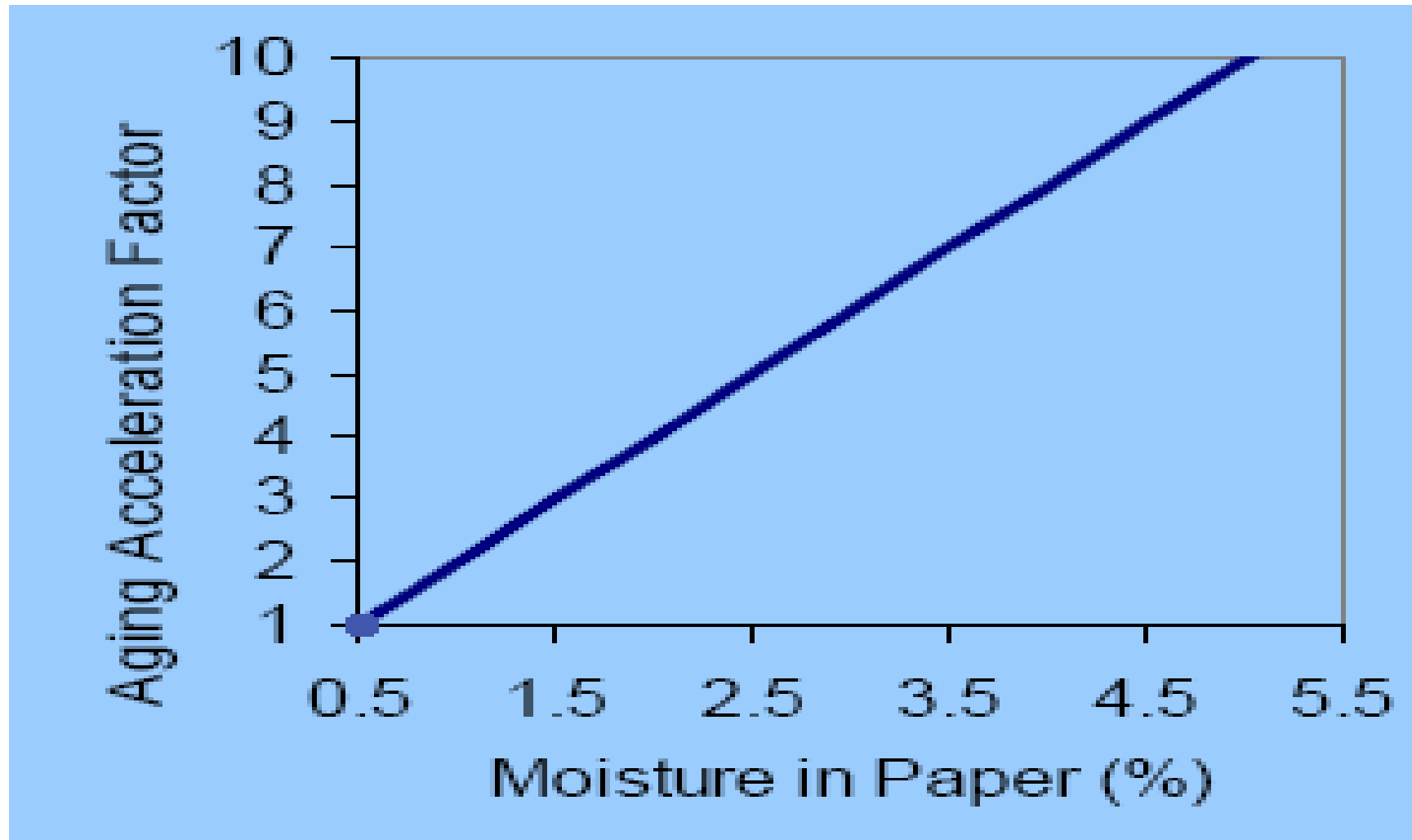




On-line és off line transzformátor diagnosztika







Papír nedvességtartalom gyorsító hatása az öregedésre



On-line és off line transzformátor diagnosztika

A felhasználói igényeknek megfelelően különböző, az „élettartammal kapcsolatos paraméterek” definiálhatók, mint ahogy az alábbiakban is láthatók:

„Még hátralévő élettartam”:

Az aktuális Hot-Spot hőmérsékleten, a feltételezett teljes élettartamból, az adott pillanatban érvényes elhasznált élettartamból és az aktuális terhelésből meghatározza, hogy ha az aktuális terhelés nem változna, akkor hány év lenne hátra az élettartamból.

„Aktuális élettartam fogyási sebesség”:

A fent említett IEC 60354 szabvány szerinti „elhasznált élettartam számításánál” leírtak alapján megadja, hogy az aktuális Hot-Spot hőmérséklet (és természetesen ehhez a hőmérséklethez tartozó aktuális terhelés) mellett mekkora az élettartam-fogyási sebesség.

„Meddig állhat fenn az aktuális terhelés, hogy az öregedés egységnyi legyen?”

-Ha egy transzformátor hot-spot hőmérséklete tartósan alacsonyabb a kisebb terhelése miatt, mint a 25 éves feltételezett élettartamra megadott $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, akkor az eredeti 25 éves élettartamot figyelembe véve a transzformátor rövid időre jobban is terhelhető.

-Pl. ha a trafó 4 éve üzemelne mindig $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt, akkor a várható élettartamából csak „2 évet” fogyasztana el, és ha továbbra is ilyen ($92\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os) hot-spot hőmérsékleten (azaz, ennek megfelelő terheléssel) üzemeltetnénk, akkor a várható élettartama kb.

kétszerese lenne a fentebb megadott 25 évnek.

-a program meghatározza, hogy aktuális Hot-Spot hőmérsékletet (az aktuális terhelést) feltételezve, mennyi ideig üzemelhet még a transzformátor anélkül, hogy az elhasznált élettartam nagyobb lenne, mint az aktuális üzemi évek száma.



On-line és off line transzformátor diagnosztika

- A „hatályos” IEC 60076 és az IEC 60354 szabványok az elhasznált élettartam számításánál csak a hőmérsékletet veszik figyelembe, de az olaj-papíros szigetelésnél az élettartam egyaránt erősen függ a hőmérséklettől és a nedvességtartalomtól.
- A hőmérséklet és a nedvességtartalom függés közös figyelembevétele bonyolultabb összefüggéssel jellemezhető, mint az egyszerű hőmérsékletfüggés, ezért az élettartam meghatározása a „kettős függés” (hőmérséklet és nedvességtartalom) követésére megadott görbesereg iterációjával történhet.
- A szóban forgó görbesereg alapján pl. száraz (0,5 % víz a papírban) és 95°C melegponti hőmérséklet esetén kb. 25 év az élettartam, de kb. 1 % nedvességtartalom és ugyancsak 95°C melegponti hőmérséklet esetén már csak kb. 8 év a várható élettartam.

Lekapcsolási parancs teljes hűtés kiesése esetén

A PLC-és hűtésautomatika számolja, ill. meghatározza, hogy a **teljes hűtés kiesése esetén** az előzetesen megadott adatok, a környezeti hőmérséklet, valamint az aktuális terhelés esetén a **transzformátor kikapcsolása mennyi ideig késleltethető az aktív rész károsodása nélkül.**

-A fenti funkciót tekintve jelenleg a PLC alapú hűtésautomatika az alábbiak szerint dolgozik:

-az előrejelzés kiadásával a PLC egyidejűleg egy üzenetet küld, hogy hamarosan lekapcsolási parancs kerül kiadásra a teljes hűtés kiesés miatt.

- Amennyiben a kezelőszemélyzet a lekapcsolás késleltetést nem engedélyezi, akkor a hűtésautomatika azonnal kiadhatja a lekapcsolási parancsot.

On-line és off line transzformátor diagnosztika

- Ha a kezelő a lekapcsolás késleltetést engedélyezi, és ha megtörtént a lekapcsolási parancs előrejelzése, a PLC-és hűtésautomatika kiszámolja, hogy a lekapcsolás parancs mikor kerüljön kiadásra, azaz teljes hűtés kiesésétől mennyi ideig késleltethető a lekapcsolási parancs kiadása.
- Ha a PLC meghatározta, hogy a teljes hűtés kiesett, a lekapcsolásig hátralévő időt minden egyes mintavételezésnél újra és újra számolja ill. meghatározza (tehát nem egy „fix idejű időzítőt” indít el, amely az elsöre kiszámolt idővel lekapcsolná a transzformátort).
- A lekapcsolásig hátralévő időt a PLC folyamatosan számolja, figyeli a környezeti hőmérséklet, a terhelést, ami változtathatja a késleltetési időt.
- A környezeti hőmérséklet vagy a terhelés csökkenése ill. csökkentése a lekapcsolási késleltetési időt növeli, míg ezen paraméterek növekedése a lekapcsolási késleltetési időt csökkenti.

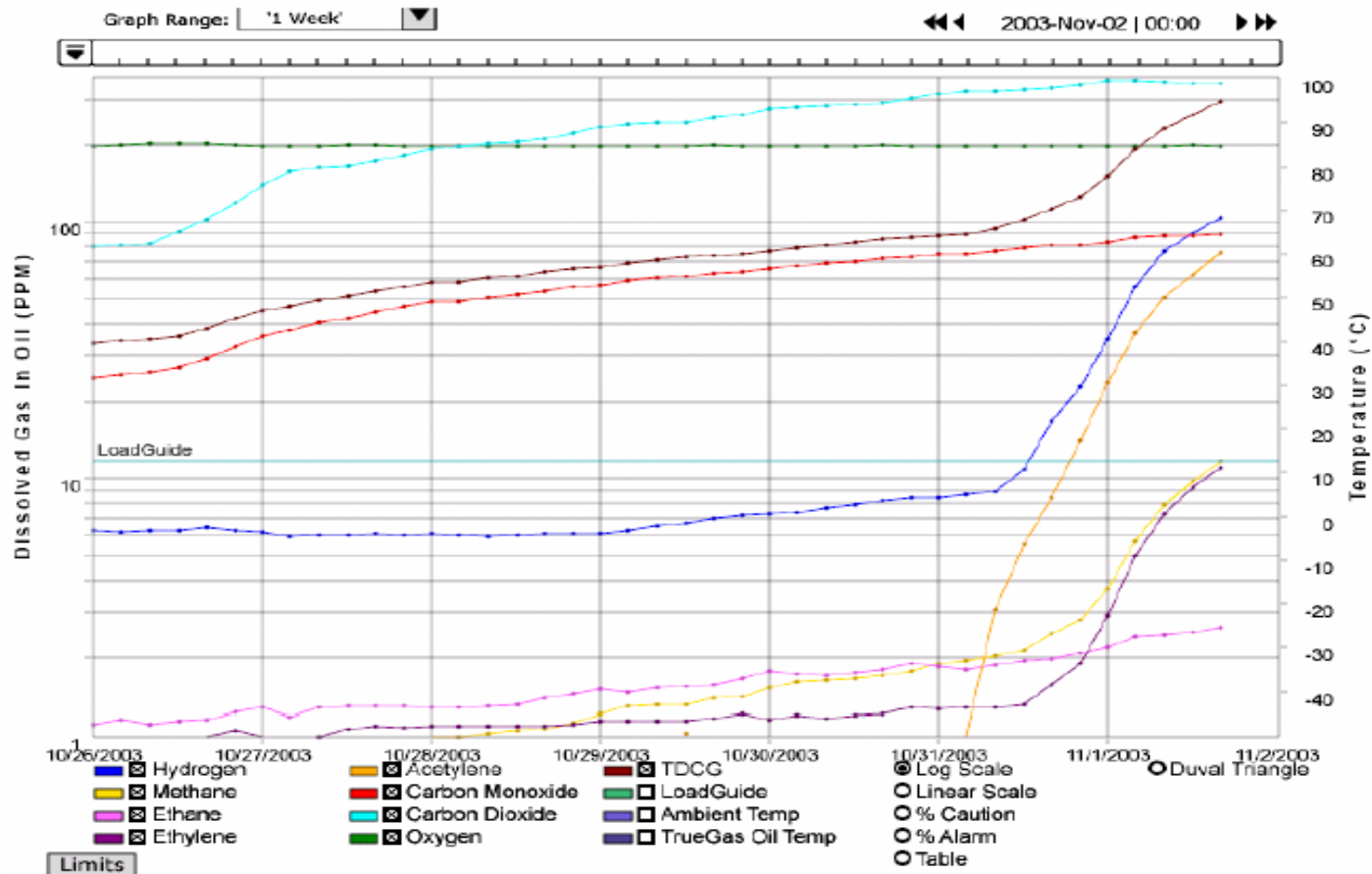


On-line és off line transzformátor diagnosztika

On-line HGA monitoring

- A nagytranszformátorok állapot ellenőrzésben különös fontossággal bír a HGA, azaz az egyes meghibásodások esetén keletkező, olajba beoldódó hibagázok analízise.
- Lokális túligénybevételek (helyi hőmérsékletnövekedés, részleges kisülés, stb.) hatására un. hibagázok termelődnek az olaj-papíros összetett szigetelőanyagból.
- A HGA fontos információt ad az előforduló hibák jelentős részéről, de időszakos jellegénél fogva a két mindvételezési időpont között keletkező meghibásodás ill. kezdődő hiba transzformátor meghibásodást ill. üzemzavart okozhat mielőtt intézkedni lehetne a hiba elhárításról ill. a lekapcsolásról.
- A kezdődő hibák korai időpontban történő detektálását teszi lehetővé a hibagázok monitoring rendszerű folyamatos érzékelése.
- Egységekre fontossági sorrendben történő felszerelése.
- Olajban oldott gázok on-line monitoring rendszere.
- Hidrogén és acetilén tartalom (Hydran)
- 7 gáz on-line monitoring: H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, CO₂, CO

Transzformátor diagnosztika hazai és nemzetközi helyzete



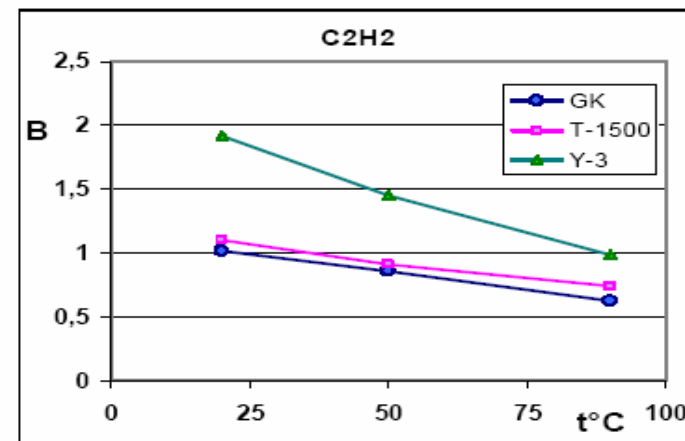
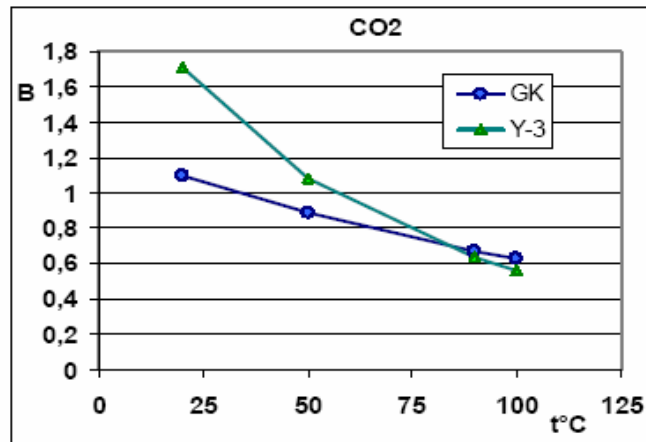
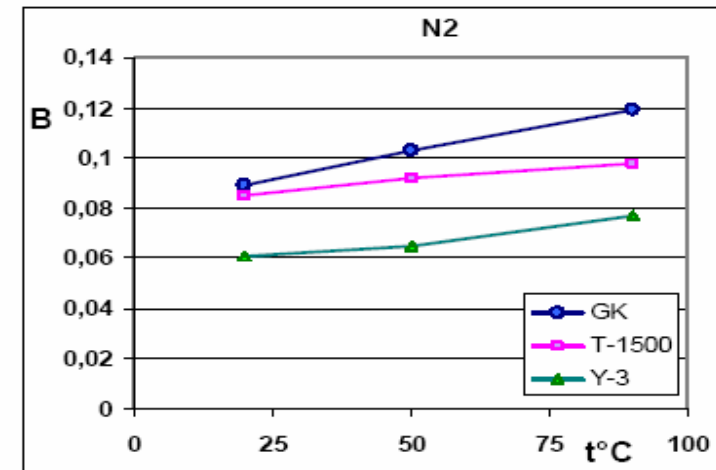
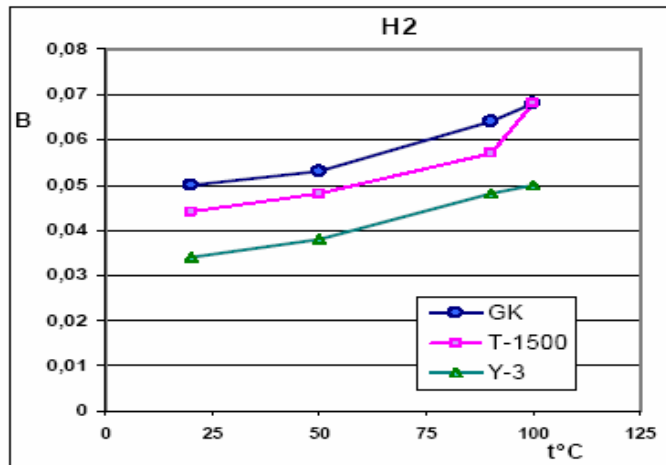
700 MVA, 22/400 kV, gyári felújítás után, 1 hét üzem on-line gáz monitoring Alarm acetilén termelődés miatt, kibontás, javítás, gyors visszakapcsolás



Olajleeresztés, szemrevételezés, megszakadt árnyékoló földelés, szikrázás, magas helyi hőmérséklet, acetilén termelés, korrodált csavar, rossz összeszerelés..

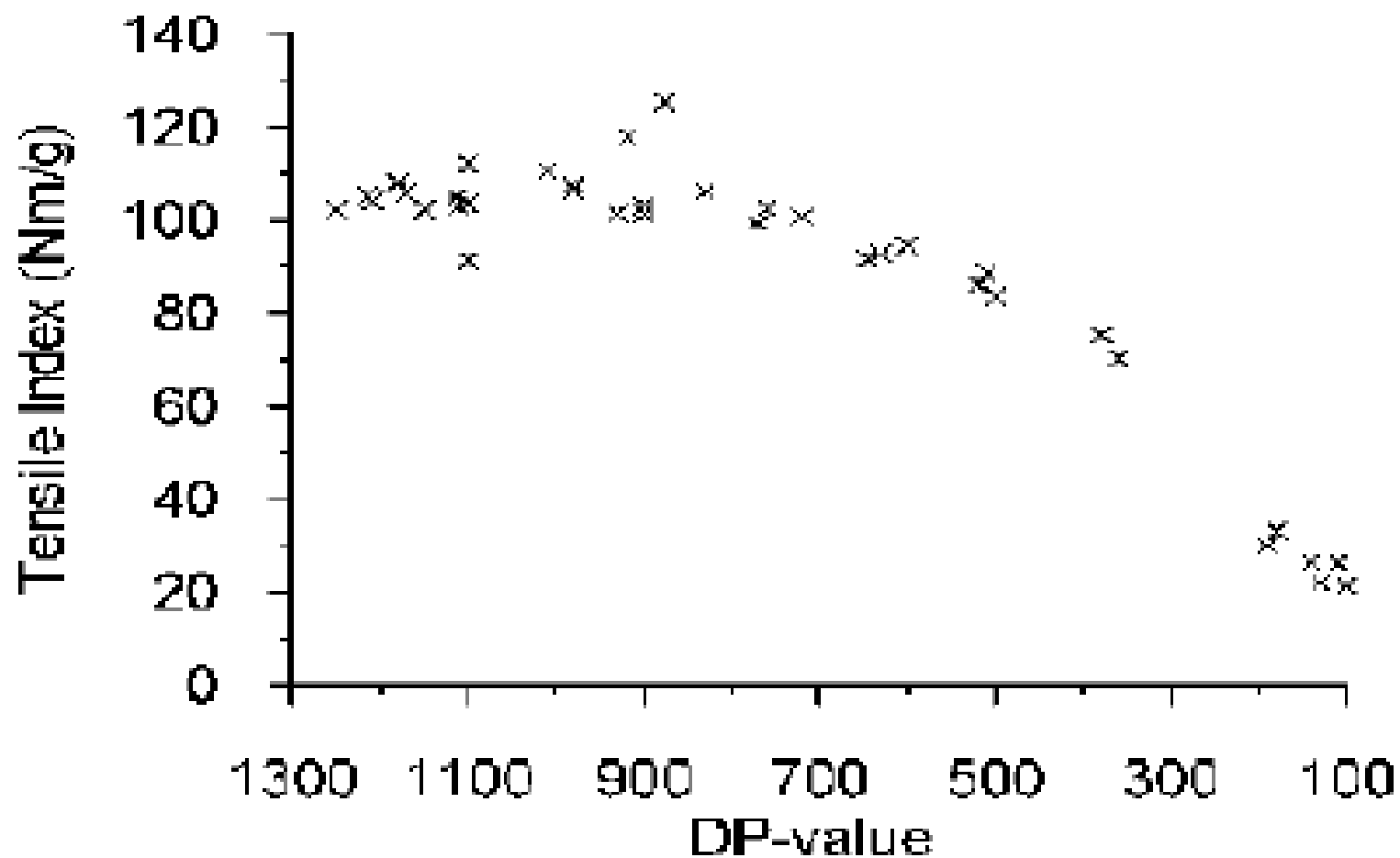
VIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, SHIRAZ HOTEL Egerszalók, 2008. április 23-25.

Transzformátor diagnosztika hazai és nemzetközi helyzete



Hidrogén, nitrogén, széndioxid és acetilén oldékonysága a hőmérséklet függvényében

VIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, SHIRAZ HOTEL Egerszalók, 2008. április 23-25.





On-line és off line transzformátor diagnosztika

Üzemi- és túlfeszültségek figyelése

- túlfeszültség figyelés a NF és KF oldali átvezető szigetelőkön (3 szigetelő), funkciója a transzformátor túlfeszültségeinek
- regisztrálása és ezáltal az élettartam fogyás számítások támogatása
- az élettartam fogyás számítások támogatása kapacitásváltozás figyelés a pillanatnyi érték és a hosszú átlagok összehasonlításával kritikus kapacitásváltozás esetén figyelmeztetés, majd riasztás megjelenítés diagramon
- segédüzemi szekrény hőmérséklet

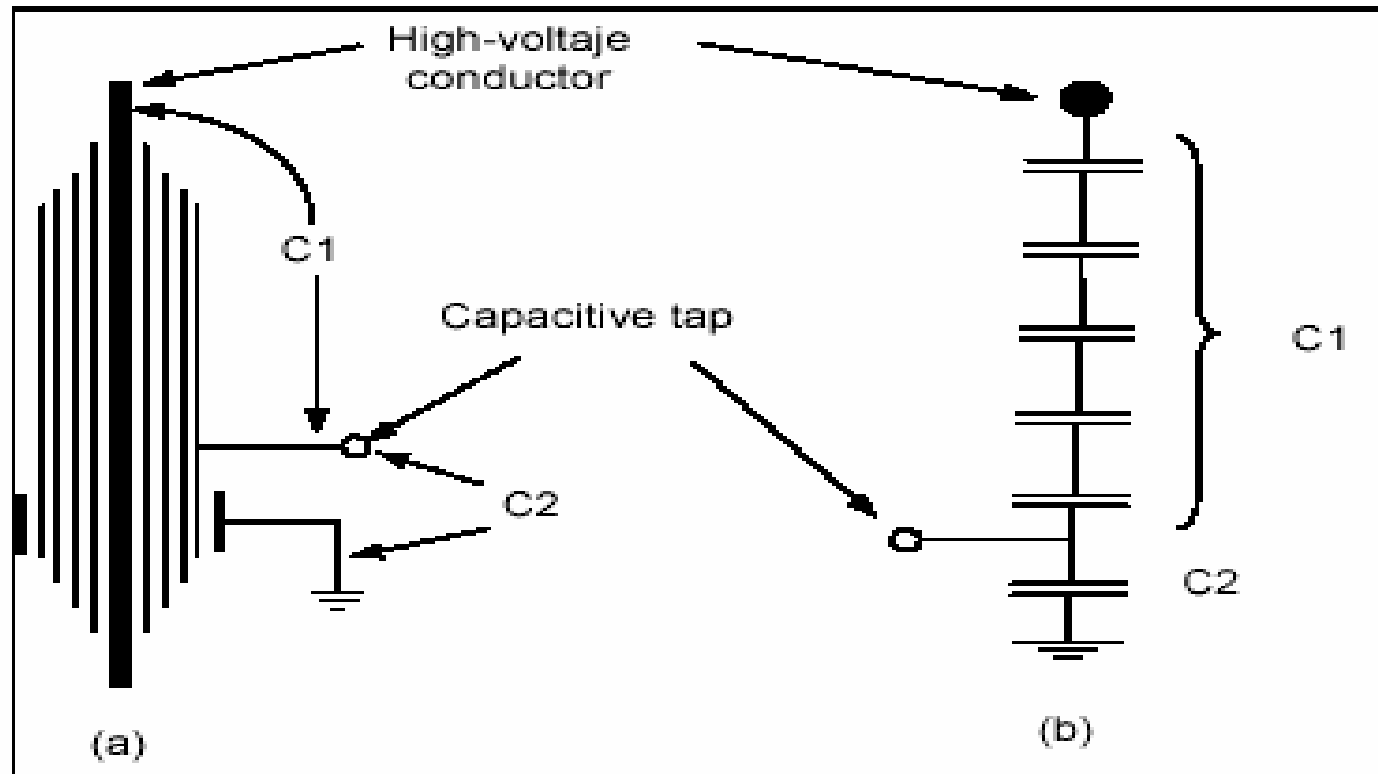


Figure 1 Diagram of a condenser type bushing (a) longitudinal cross and (b) equivalent circuit.

Átvezető off-line és on-line mérése



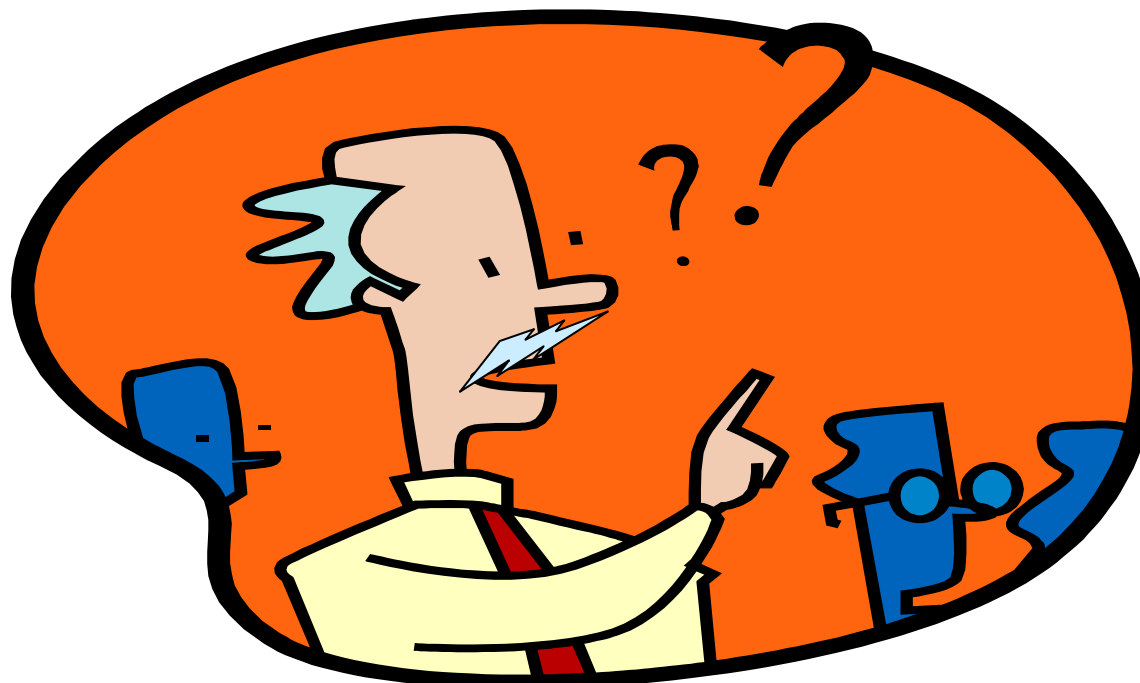
Transzformátor diagnosztika hazai és nemzetközi helyzete

Kö

VIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia, SHIRAZ HOTEL Egerszalók, 2008. április 23-25.

Köszönöm a figyelmet,

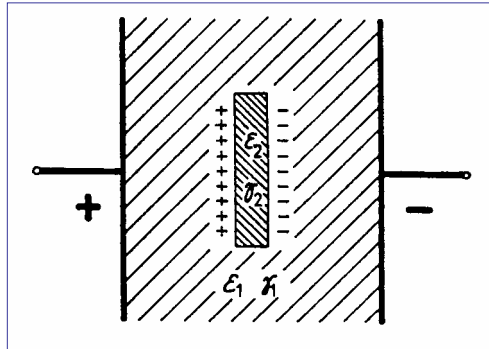
Kérdések ?



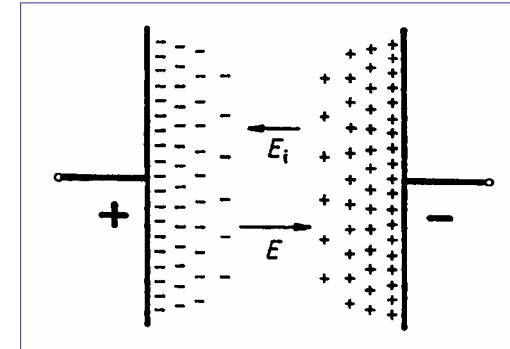
On-line gáz monitoring előnyei:

- **A hiba korai detektálása,**
- **Tervezhető beavatkozás,**
- **Elkerülhető egy katasztrofális hiba,**
- **Nagyobb esély a helyszíni javítási lehetőségre**
- **Helyszíni javítás esetén jelentős javítási költség csökkentés,**
- **Több gáz vizsgálata – finomabb diagnosztika**
- **Ellenőrzött biztonságos üzemeltetés,**
- **Tervezhető karbantartás,**
- **Kicsi a meglepetés kockázata**

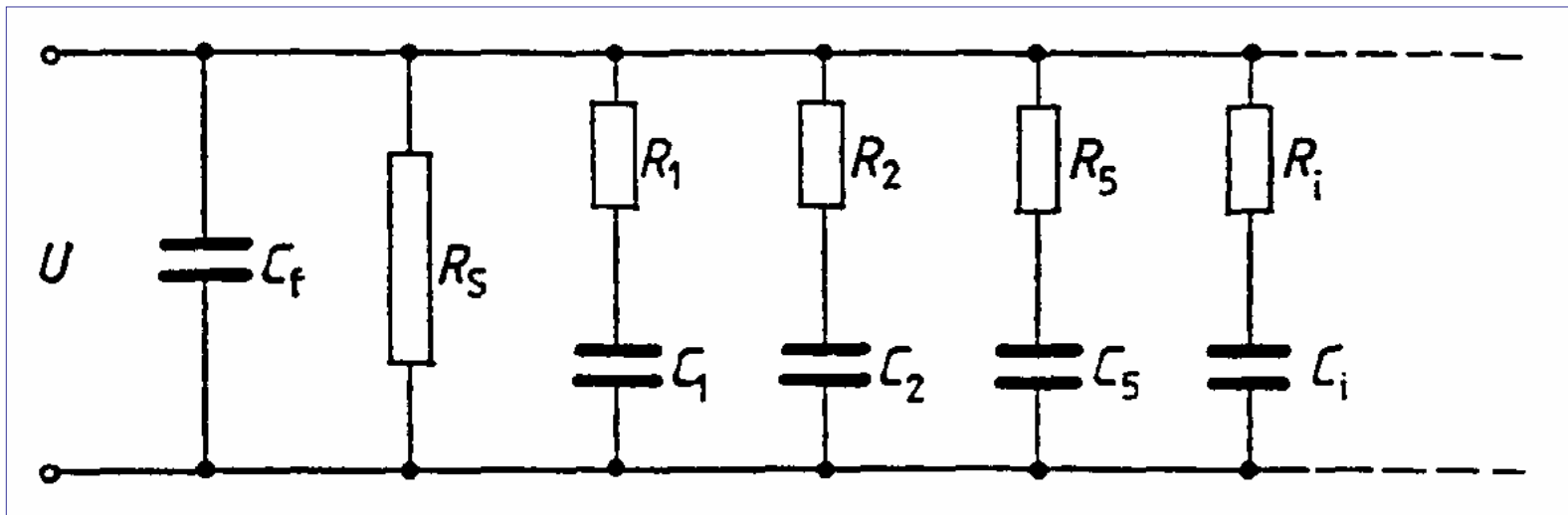
Határréteg és tértöltéses polarizáció



Határréteg polarizáció

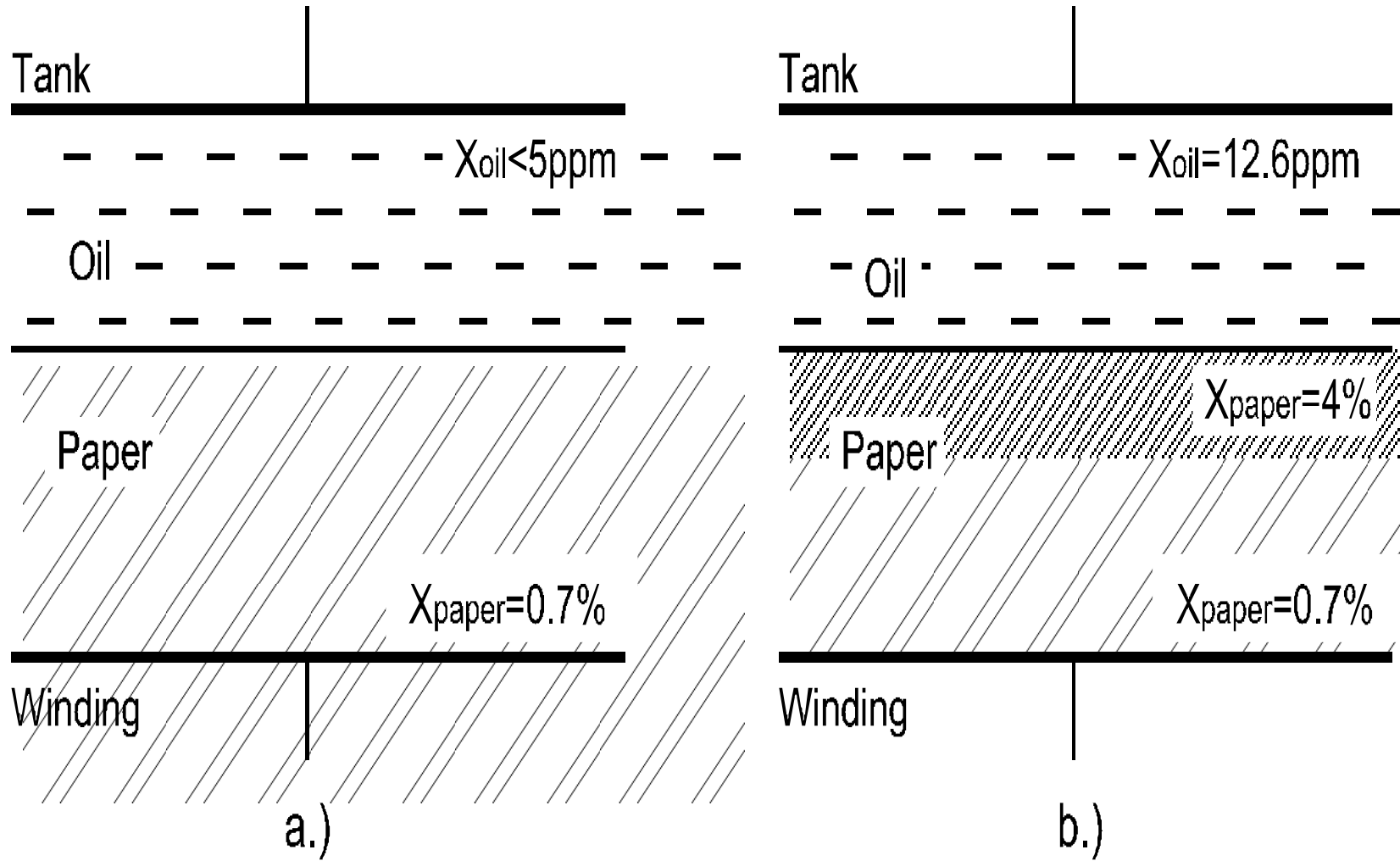


Tértöltéses polarizáció



Szigetelési modell különböző időállandókkal

Inhomogeneous humidity distribution in the model after oil fill. (16.6 ppm water)
Reaching homogeneous state after several heating cycles (90°C)



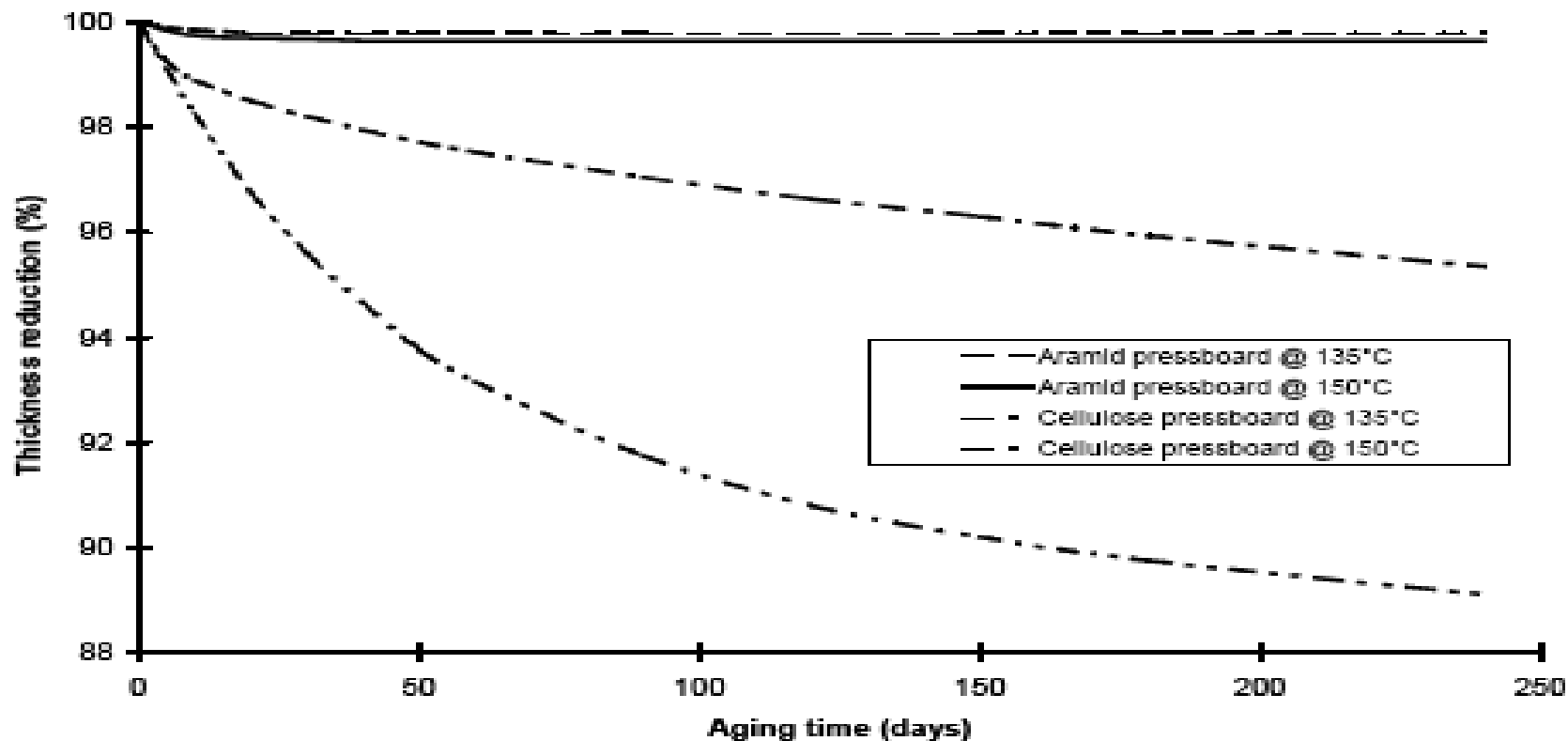


Fig. 5 : Static compression of cellulose board and aramid board under 10 MPa

Állandó nyomás hatására a szigetelő roskadása és mechanikai szilárdságának csökkenése