



dr. Gaál-Szabó Zsuzsanna

Furán

2013

Az értékek véleményezése

zsuzsagsz@freemail.hu

Transzformátor meghibásodási okok

Windings causing 50 % of all failures !!

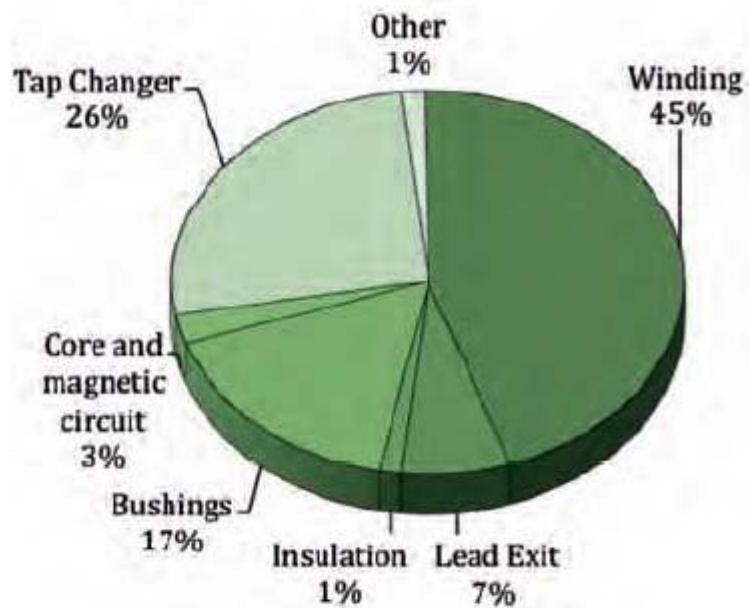


Figure 1: Failure locations of Substation Transformers (>100kV) (based on 364 failures)

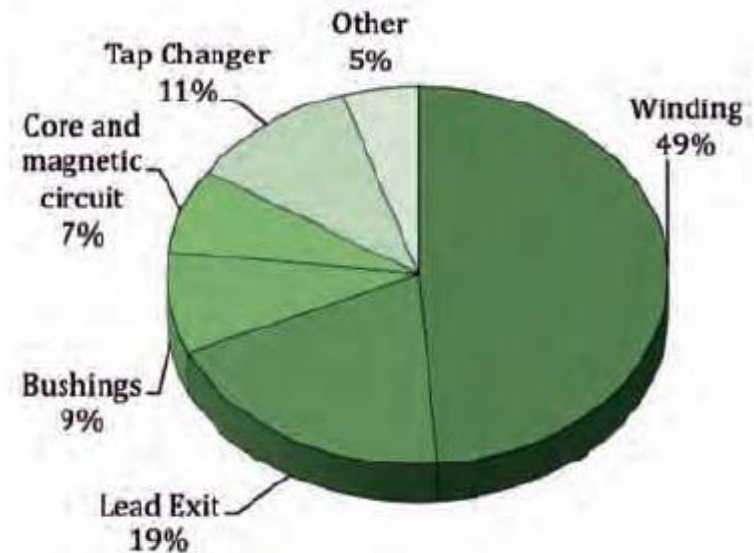


Figure 2: Failure Locations in Generator Step-Up Transformers (>100 kV) (based on 82 failures)

Table 1: Main components of power transformer insulation.

Solid insulation	Mass (%)	Temp. (°C)	Composition	Material Description (IEC Standard)
Paper (conductor wrapping, soft paper bushing)	20 - 25	80 - 110	Sulphate wood pulp ¹	60554-3-1: 1.1-1.4
Radial spacers (in the winding)	10 - 15	80 - 100	Sulphate wood pulp	60641-3-1: B.3.1
Cylinders and strips (between windings)	15 - 20	60 - 80	Sulphate wood pulp Laminated pressboard ²	60641-3-1: B.3.1 60763-3-1: LB.3.1.1/2
Corrugated board and cylinder wraps	10 - 15	60 - 80	Sulphate wood pulp	61628 60641-3-1: B.2.1/3.1
Angle rings, caps, snouts, lead exit insulation	5 - 10	60 - 80	Sulphate wood pulp	60641-3-1: B.4.1/5.1
Washer ring plates and spacing blocks	5 - 10	60 - 80	Sulphate wood pulp Laminated pressboard	60641-3-1: B.3.1 60763-3-1: LB.3.1.1/2
Clamping rings and plates	25 - 30	60 - 80	Laminated sulphate wood pulp Laminated wood low density ³ Laminated wood high density	60763-3-1: LB.3.1.1/2 61061-3-1: C1R / C2R 61061-3-1: C3R / C4R
Crepe paper (lead insulation, screen rings, RIP-bushings)	< 5	80 - 110	Sulphate wood pulp	60554-3-3: 3.1 - 3.2
Presspaper ⁴			Sulphate wood pulp	60641-3-2: P.2.1/4.1/6.1/7.1
Varnish			Shellac (natural resin) ⁵	Shellac

Mass Fraction of cellulosic material in solid insulation system of oil cooled power transformers.

Temp. Refers to typical operational temperature under full load.

1. Alternatively materials made from cotton fibres or a mixture of cotton fibres and sulphate wood pulp are being used.

2. Commonly used adhesives: Casein (water based), synthetic resins (e.g. polyester).

3. Commonly used adhesives: phenolic resins, the reaction product of formaldehyde and phenols.

4. Mainly distribution transformers.

5. Mainly used in the form of a solution in organic solvents.

In Figure 7 and Figure 8, insulation components of a core-type transformer are depicted.

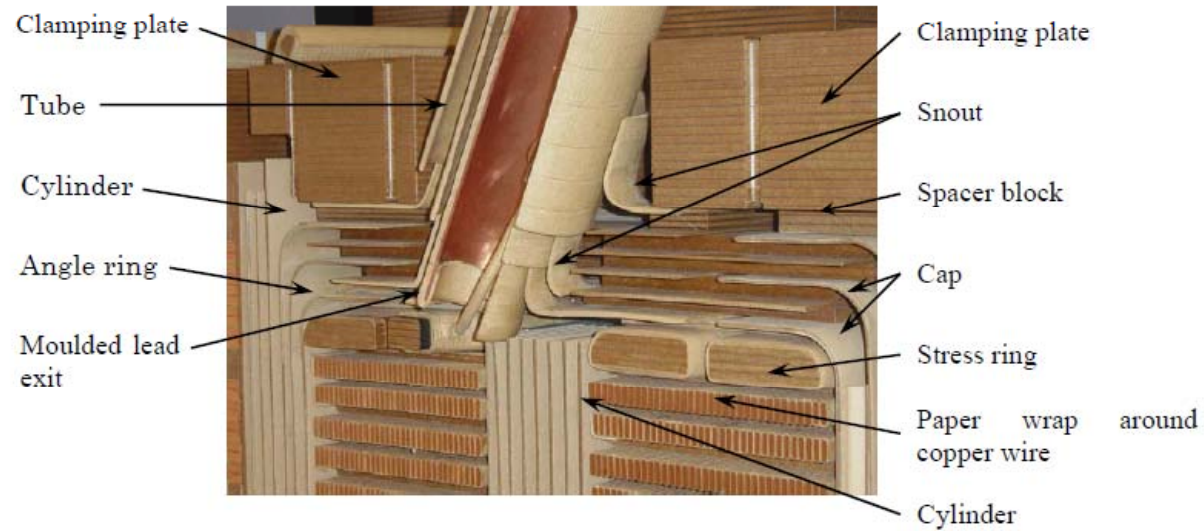
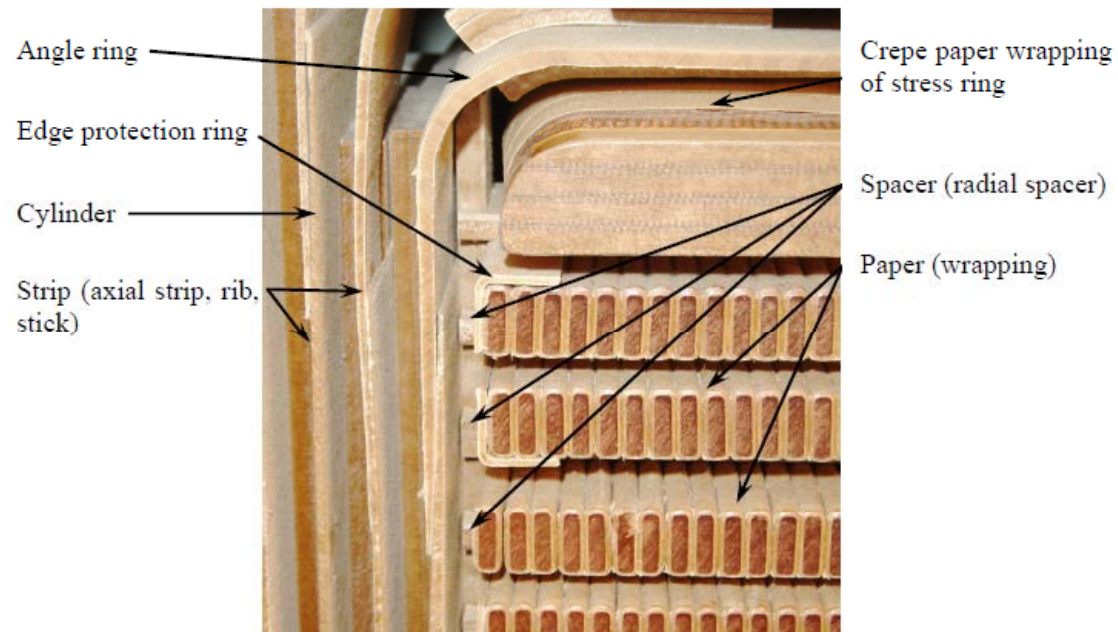
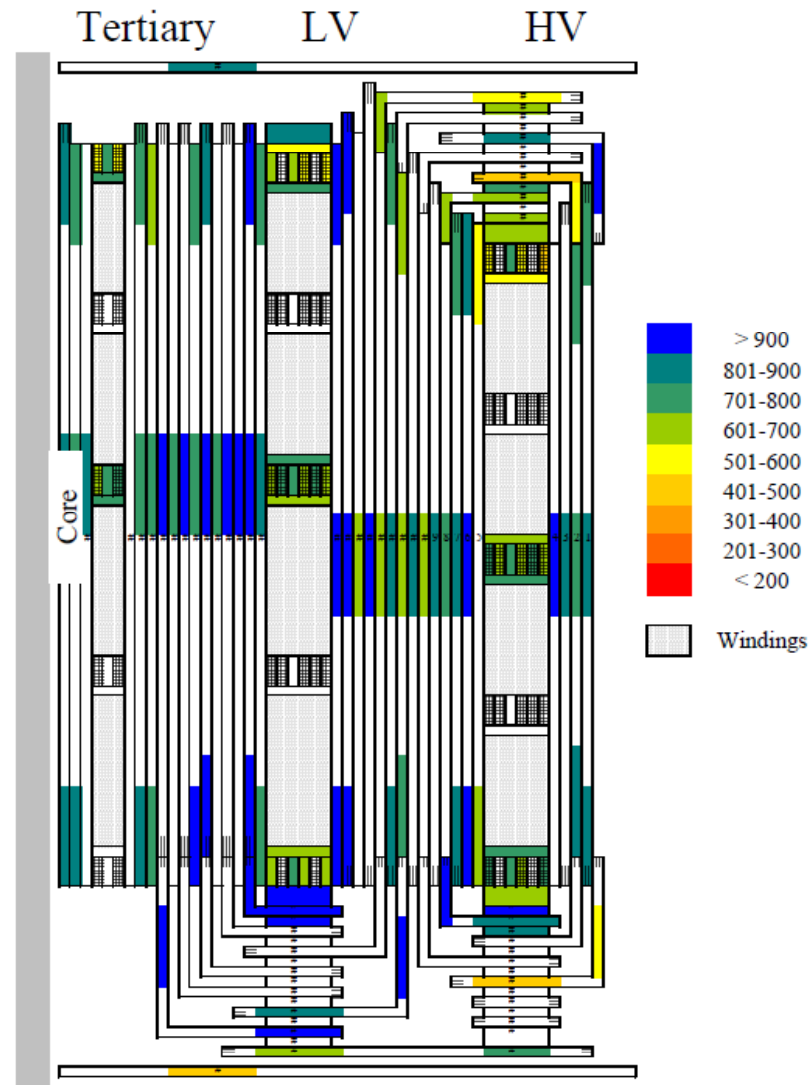
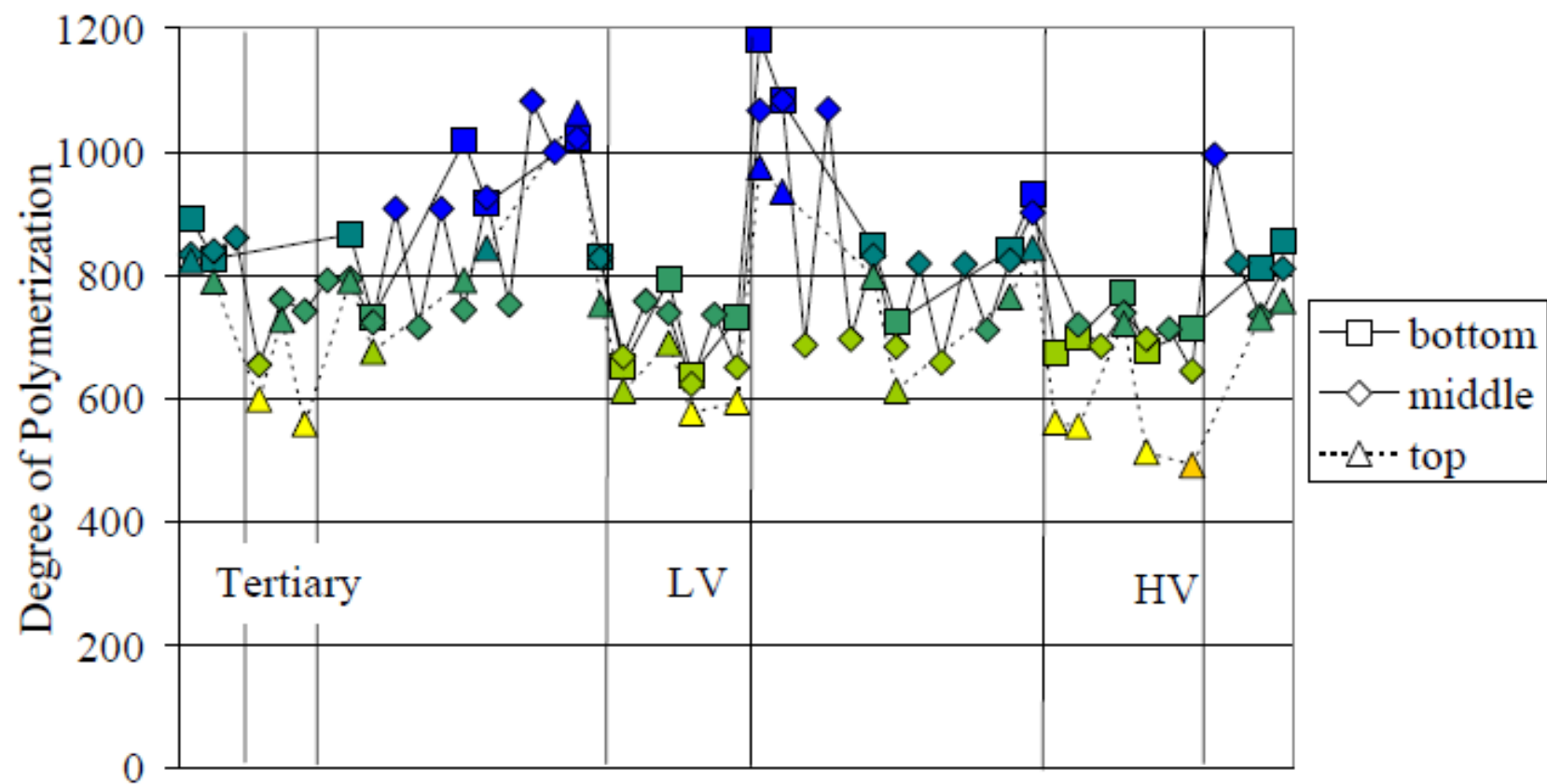


Figure 7: Cross-sectional view of a 400 kV transformer end insulation (220 kV-side).





DP distribution, schematic, sectional view of transformer, between limbs.
Cigré Brochure 323 – Ageing of cellulose in mineral-oil insulated transformers



Radial DP profiles of transformer, between limbs.

Cigré Brochure 323 – Ageing of cellulose in mineral-oil insulated transformers

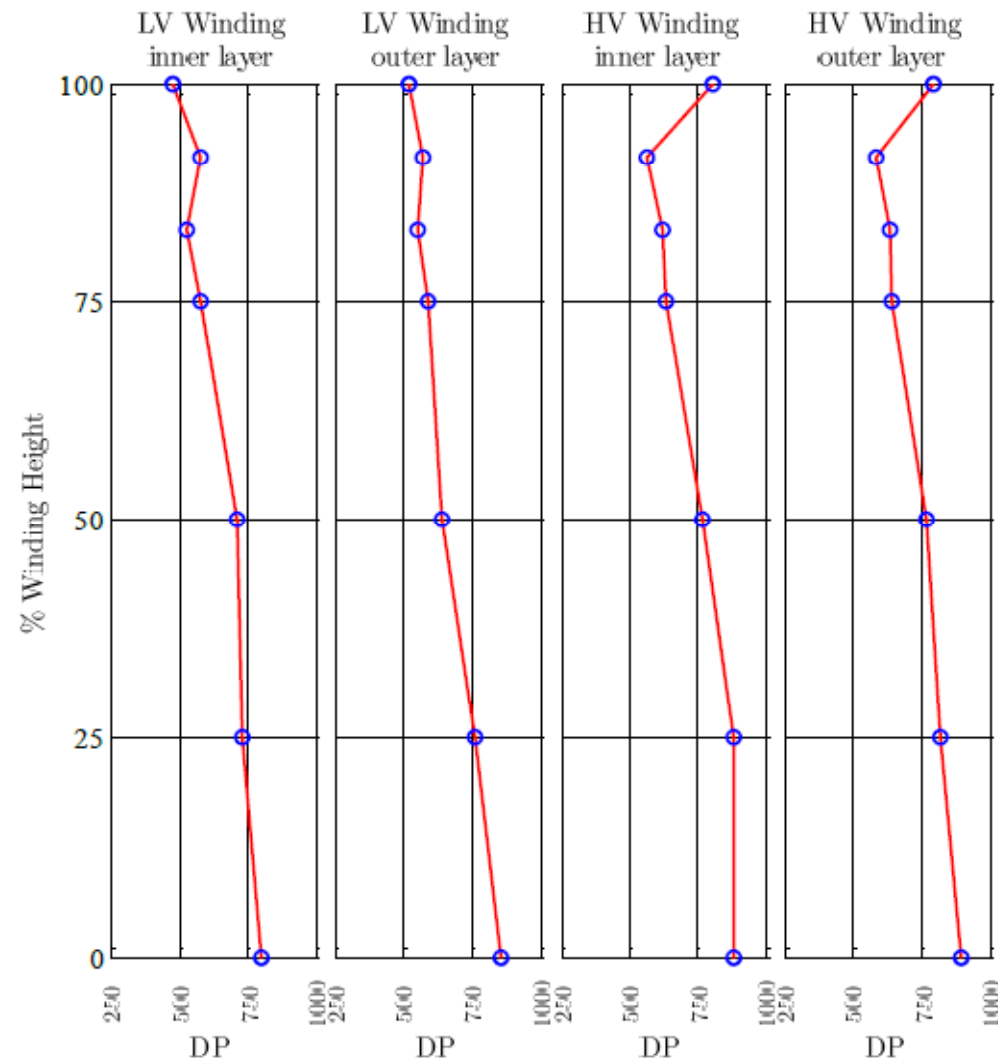
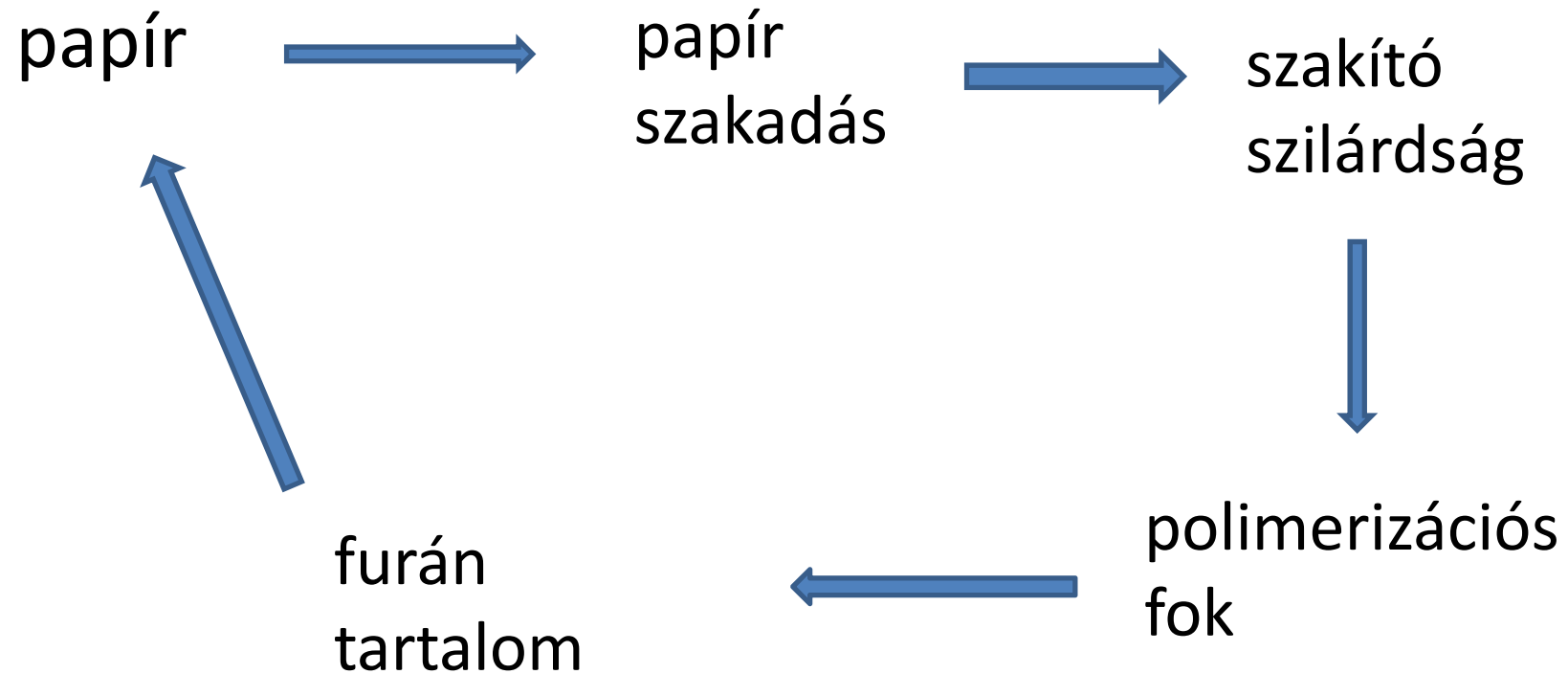


Fig. 3: Distribution of DP over winding height, HV and LV winding

Investigation on Degradation of Power Transformer Solid Insulation Material

C. Homagk, K. Mössner, T. Leibfried Institute of Electric Energy Systems and High Voltage Technology (IEH) University of Karlsruhe, 76128 Karlsruhe, Germany homagk@ieh.uni-karlsruhe.de

Papír állapot mérése olajból



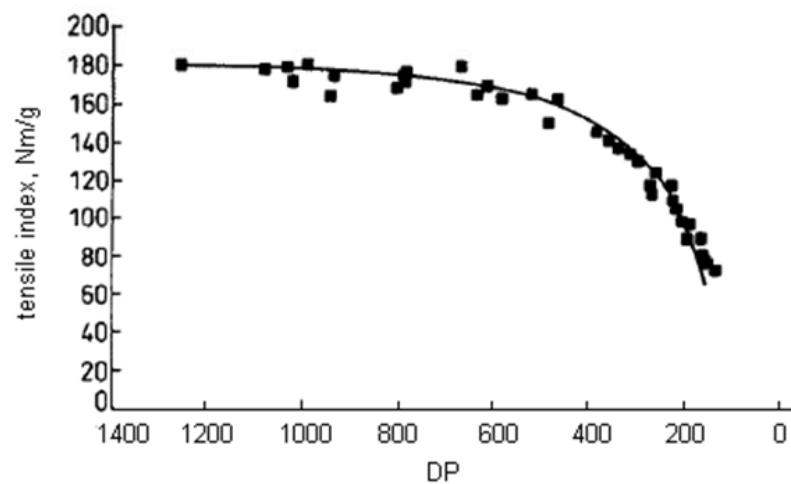


Figure 20: Correlation between tensile strength and DP [27].

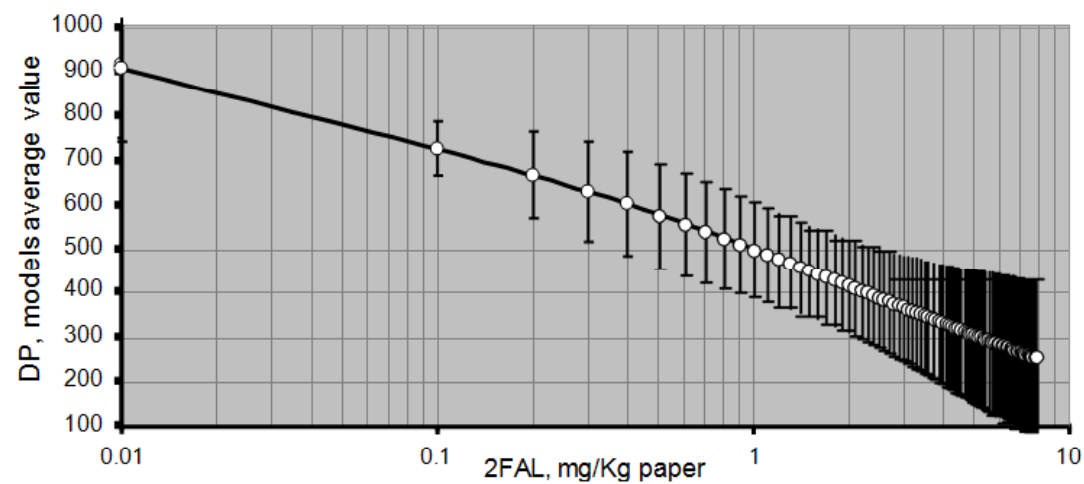
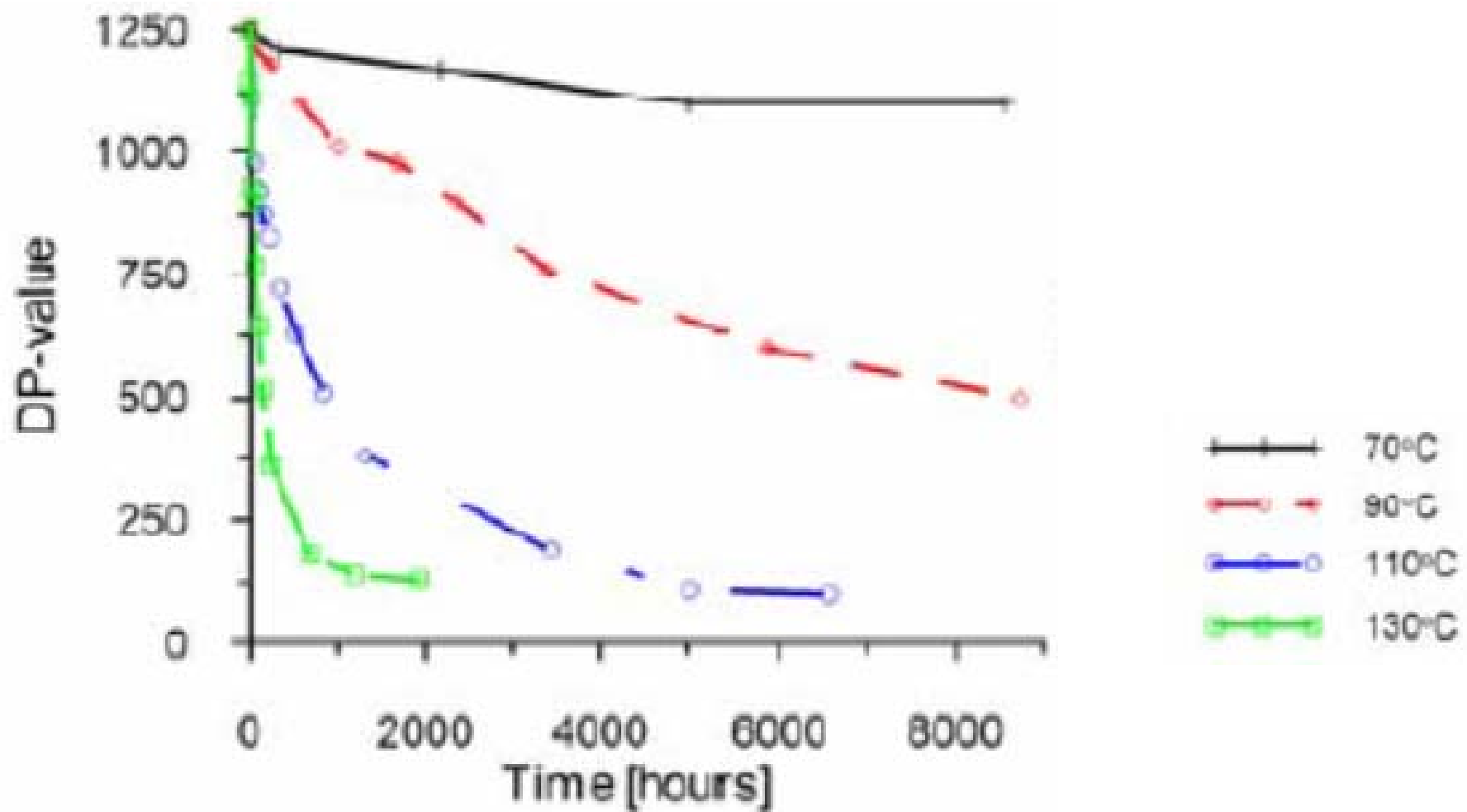


Figure 24: Estimate of Models 90% Confidence Interval for DP (see Fig. 23).



A polimerizációs fok (DP) csökkenés az időben különböző hőhatások esetén

Forrás: Cigre Brochure 323, 2007 **AGEING OF CELLULOSE IN MINERAL-OIL INSULATED TRANSFORMERS**

1000-1500 az új, használatlan szigetelőpapír kezdeti polimerizációs foka

1300 tapasztalataink szerint az új papír leggyakoribb értéke.

1100-1200 a transzformátor szárítása után mért jellemző értéke.

Kb **500-700** polimerizációs fokig a szakítószilárdság csak minimálisan csökken a kezdeti értékhez képest.

200-250 polimerizációs foknál lehet számítani a papír elszakadására (a papír szétmállik).

Ezek az értékek a menetszigetelésre használt, termikusan nem javított minőségű, nem impregnált papírra vonatkoznak, de tapasztalataink szerint a prespánra is alkalmazhatóak.

A papír degradációja többféle mechanizmussal okozhatja a transzformátor meghibásodását.

- A törékeny papír leszakad a tekercsről és elzárja az olajcsatornákat.
- A degradáció során keletkező víz beépül a papírba és csökkenti a szigetelési ellenállását.
- A papír helyi szenesedése növeli a vezetőképeséget és átütéshez vezethet.

A szigetelés sérülésével végső soron menetzárlat jöhet létre.

**Furan derivatives in oil: assessment of the deterioration of winding insulation of a hermetically sealed power transformer. New results.
CIGRE D1_211_2010**

400 kV-os Cseh zárt hálózati transzformátorok

400 kV-os Cseh zárt hálózati transzformátorok

Average degree of polymerization <i>DP</i>	Overall deterioration of the cellulosic insulation	Recommendation for the operator	Interval of check sampling of oil
> 700	Negligible	Operation of the transformer is possible	2 to 3 years
700 ... 500	Moderate – lower	Operation of the transformer is still possible	6 to 12 months
500 ... 450	Moderate – higher	Putting the transformer out of operation	1 to 3 months
< 450	Extensive	Not to keep the transformer in operation!	

400 kV-os Cseh zárt hálózati transzformátorok

$$DP = a_0 - a_1 * c^1 + a_2 * c^2 - a_3 * c^3$$

ahol:

a_0, a_1, a_2, a_3 konstansok

c : 2-furfural (2-FAL) koncentrációja a transzformátor olajban

DP: A cellulóz szigetelés átlagos polimerizációs foka

400 kV-os Cseh zárt hálózati transzformátorok

	250 MVA 98 T 280	330 MVA 105 T 255	250 MVA 1 ARZd 250000	350 MVA 1 ARZd 350000	167 MVA 1 FRZ 167000
Olaj (súly)	57.000	75.000	65.000	75.000	33.000
papír (súly)	4.300	6.400	2.300	2.900	1.100
prespán (súly)	6.200	9.200	7.720	10.585	5.385
inhib. olaj típusa	Y3000	Y3000	Y3000	Y3000	Y3000
kezdeti DP	900	900	950	950	950

400 kV-os Cseh zárt hálózati transzformátorok

átlagos pol fok	2-FAL				
	250 MVA 98 T 280	330 MVA 105 T 255	250 MVA 1 ARZd 250000	350 MVA 1 ARZd 350000	167 MVA 1 FRZ 167000
>700	<1480	<1670	<1470	<1710	<1870
700...500	1480...4150	1670...4690	1470...3700	1710...4320	1870...4720
500...450	4150...5190	4690...5860	3700...4570	4320...5330	4720...5830
<450	>5190	>5860	>4570	>5330	>5830

400 kV-os Cseh zárt hálózati transzformátorok

- ***2FAL < 1480 ppb***

The overall deterioration of the cellulosic insulation is negligible (“transformer is healthy”). The operation of the transformer is possible. Check sampling of oil for the assessment of 2FAL is 1× in the interval of 2 to 3 years.

- ***2FAL = 1480 ... 4150 ppb***

The overall deterioration of the cellulosic insulation is moderate – lower. The operation of the transformer is still possible. Check sampling of oil for the assessment of 2FAL is 1× in the interval of 6 to 12 months.

- ***2FAL > 4150 ppb (but not more than 5190 ppb)***

The overall deterioration of the cellulosic insulation is moderate – higher. The operation of the transformer must be definitively ended (if there are no other obstructing circumstances). Check sampling of oil for the assessment of 2FAL is 1× in the interval of 1 to 3 months (according to need).

- ***2FAL > 5190 ppb***

The overall deterioration of the cellulosic insulation is extensive. Not to keep the transformer in operation. (Rewinding or replacement of the transformer.)

Saját értékelő rendszerünk

A fokozatok jelentése:

0: Furánszármazék nyomokban sem mutatható ki.

1: Nyomnyi mennyiségű furánszármazék detektálható.

2: A szigetelőpapír enyhén öregedett.

3: A szigetelőpapír közepesen öregedett, a transzformátor a papírdegradáció alapján elérte fél élettartamát.

4: A szigetelőpapír erősen öregedett.

5: A transzformátor a papírdegradáció alapján nemzetközi tapasztalatok szerint megközelítette, esetleg el is érte üzembiztos életének végét.

IEC/TR 62874 Ed. 1.0

Guide to the interpretation of carbon dioxide and 2-furfuraldehyde as markers of paper thermal degradation in insulating mineral oil

tervezett kibocsátás: 2014.06.

Cellulóz szigetelés élettartamának becslésére

- Hatálya: ásványi olaj töltetű, cellulóz szigetelés
- Statisztikai közelítés az öregedés mértékére
és az öregedési rátára
- Adatbázis és nem határérték (furán és CO₂)
- Rendszeres állapotkövetés mellett használható, egy mérés nem alkalmas becslésre

IEC/TR 62874 Ed. 1.0

- **Vizsgálatok**
- Alap vizsgálatok:
 - furán
 - hibagáz: CO₂
- Kiegészítő vizsgálatok:
 - víztartalom
 - savszám
 - inhibítor tartalom
 - passzivátor tartalom
 - részecske számlálás

IEC/TR 62874 Ed. 1.0

- **A tipikus értékek csoportosítása:**

Kor és típus szerint

- **Kor szerint:**

<1 1-10 10-30 30<

A populáció 90%-os és 98%-os értékei

Tipikus értékeket és éves tipikus növekedési rátát is ad

IEC/TR 62874 Ed. 1.0

- **Berendezés típusok szerint:**
 - fojtótekercs
 - erőátviteli transzformátor
 - generátor trf
 - hálózati átviteli trf
 - nagy elosztó trf. ($>2\text{MVA}$)
 - egyenirányító trf.
 - HVDC
 - LVDC
 - kemence trf.
 - ipari/elosztó trf. ($< 2\text{MVA}$)

IEC/TR 62874 Ed. 1.0

- **Eljárás:**

alacsony degradáció	ha < 90% (megfelelő kor szerinti csoportban)	
tipikus	ha 90-98%	-,,-
magas	ha >98%	-,,-

Furánra és CO₂-re is megnézzük, a nagyobb érték számít.

- **Ajánlott vizsgálati gyakoriság**

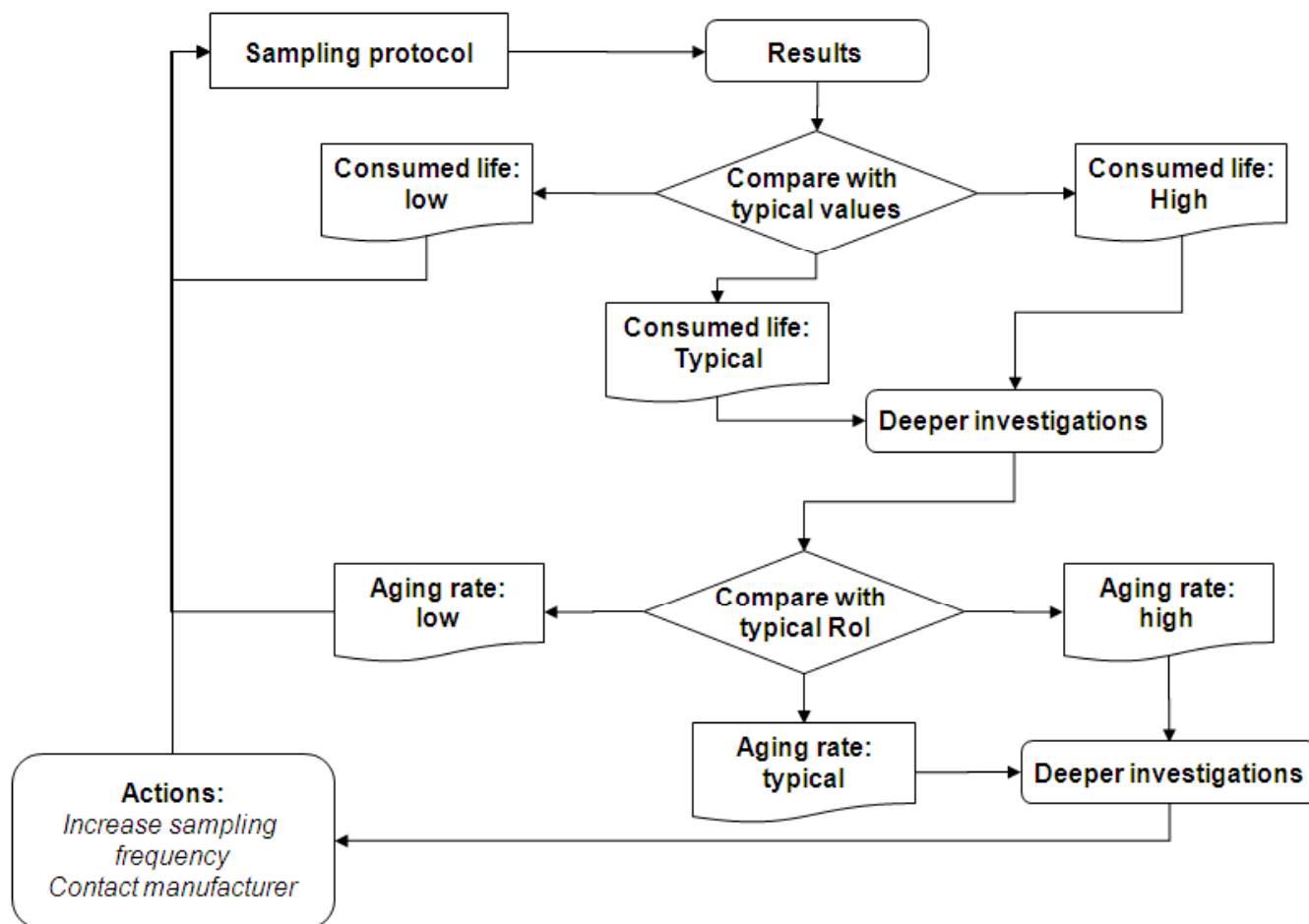
Tipikus, vagy alacsony papír degradáció esetén:

alap vizsgálatok 1-2 évente

Magasfokú papír degradáció esetén, vagy ha abnormális papír öregedés gyanítható nagy terhelés, elégtelen hűtés, vagy a környezeti körülmények miatt:

alap és kiegészítő vizsgálatok legalább évente kétszer

IEC/TR 62874 Ed. 1.0



Példák

40 éves 220 kV-os, 300MVA

Káresemény előtt 1 évvel

Vizsgált furánszármazék	Vizsgálati eredmény [mg/kg]
5-hidroximetil-2-furfurál (5HMF)	< 0,05
2-furfurál (2FAL)	0,69
2-acetilfurán (2 ACF)	< 0,05
5-metil-2-furfurál (5 MEF)	0,25
2-furfurilalkohol (2 FOL)	< 0,05
<i>olaj hőmérséklete</i>	54 °C
minősítés	2-3

A fokozatok jelentése:

0: Furánszármazék nyomokban sem mutatható ki.

1: Nyomnyi mennyiségű furánszármazék detektálható.

2: A szigetelőpapír enyhén öregedett.

3: A szigetelőpapír közepesen öregedett, a transzformátor a papíredegradáció alapján elérte fél élettartamát.

4: A szigetelőpapír erősen öregedett.

5: A transzformátor a papíredegradáció alapján nemzetközi tapasztalatok szerint megközelítette, esetleg el is érte üzembiztos életének végét.

40 éves 220 kV-os, 300MVA

Káresemény után

Minta jele	Átlagos polimerizációs fok
1.minta: K oldal, U fázis, alsó vég	430
2.minta: K oldal, W fázis, felső vég	326
3.minta: N oldal, alsó vég	575

A tekercselés papírszigetelése tehát nem természetes öregedés során degradálódott le

8 éves 50 MVA, 120 kV-os

Vizsgált gáz	Mértékegység	Vizsgálati eredmény									Jellemző érték
		03.18	03.24	03.31	04.08	04.15	04.21 alsó csap	04.21 fölső csap	04.28	05.05	
hidrogén	μl/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	12	<10	<10	50-150
levegő	%	7,1	7,9	7,0	6,8	7,7	8,8	7,9	5,3	6,5	-
szénmonox	μl/l	1121	1154	976	867	905	849	899	725	759	400-600
Széndiox	μl/l	3841	4097	3377	3354	3496	3337	3295	2659	2811	3800-14000
metán	μl/l	10	10	7	9	12	11	12	9	10	30-130
acetilén	μl/l	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2-20
etilén	μl/l	12	6	4	4	6	6	6	5	5	60-280
etán	μl/l	13	3	2	3	4	4	3	3	3	20-90
éghető	μl/l	1161	1174	989	883	927	870	932	741	778	
<i>aktuális telj. MW</i>		24	24,2	22,6	22,5	23	9,6		5,1	6,8	
<i>olajhőmérs. °C</i>		33	30	31	39	31	30		32	28	
<i>külső hőmérs. °C</i>			8,6	4	12	8	15		10	15	

8 éves 50 MVA, 120 kV-os

Átütési feszültség (átütési szilárdság)	MSZ EN 60156:2000	kV kV/cm	81 324	>40 >160
Dielektromos veszteségi tényező	MSZ EN 60247:2004	tgδ	0,0017	<0,50
Sűrűség 20°C-on	MSZ EN ISO 3675:2000	kg/m ³	877,0	
Mechanikai szenny. és üledéktartalom	MSZ IEC 60422:2000 Visszavont.sz.	tömeg %	<0,02	
Savszám	MSZ ISO 6618:1995	mg KOH/g	<0,01	<0,2
Határfelületi feszültség	MSZ ISO 6295:1995	mN/m	39,7	>22
Víztartalom	MSZ EN 60814:2000	mg/kg	5,7 (33 °C) 3,7 (20 °C)	<15 (20 °C-on)
Szín *	Saját készítésű színskála		2	
Külső	MSZ EN 60296:2005		Látható szennyeződést, szabad vizet nem tartalmaz	
Inhibitor tartalom *	MSZ-09-0209-85	tömeg %	0,3	

Vizsgált furánszarmazék	Vizsgálati eredmény [mg/kg]
5-hidroximetil-2-furfurál (5HMF)	< 0,05
2-furfurál (2FAL)	< 0,05
2-acetilfurán (2 ACF)	< 0,05
5-metil-2-furfurál (5 MEF)	< 0,05
2-furfurilalkohol (2 FOL)	< 0,05
<i>Olaj hőmérséklete</i>	Kb 33 °C

30 éves, 1 MVA, 25 kV

Vizsgált furánszármazék	Vizsgálati eredmény [mg/kg]
5-hidroximetil-2-furfurál (5HMF)	0,04
2-furfurál (2FAL)	4,56
2-acetilfurán (2 ACF)	0,5
5-metil-2-furfurál (5 MEF)	<0,05
2-furfurilalkohol (2 FOL)	<0,05

Minta jele	Átlagos polimerizációs fok
primer tekercs kivezető kábel	114
legmagasabb ponton lévő szigetelés	273