



Beszámoló a „Transzformátor átvezető megbízhatóság” munkabizottság munkájáról

CIGRE WG A2.43: „Transformer bushings reliability”

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

**XVIII. Szigetelésteknikai Konferencia, Bikal, Puchner Kastélyszálló,
2018. október 17-19.**



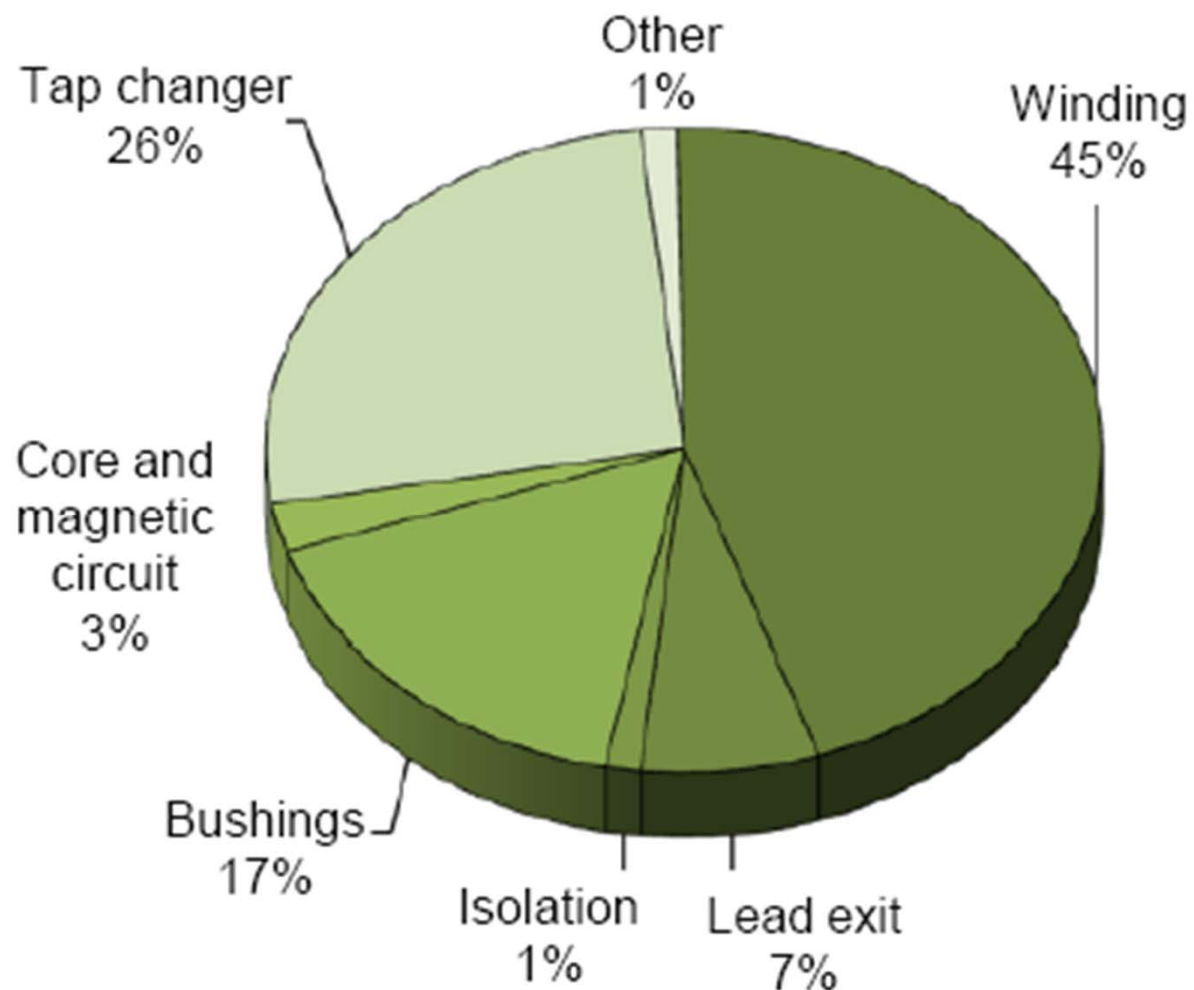
CIGRE WG A2.43: Transzformátor átvezető megbízhatóság

Tartalomjegyzék

- 1. Az előadás aktualitása és célja**
- 2. CIGRE WG A2.43 munkájának rövid áttekintése**
 - átvezető típusok, meghibásodások,**
 - átvezetők diagnosztikája, online monitoring**
- 5. Konklúziók**



Cigre A2.37: 100kV-nál nagyobb feszültségű alállomási trafók meghibásodási statisztikája (átvezető 17%)





Az előadás aktualitása

Az **átvezetők meghibásodása** viszonylag magas, egy trafó elég sok átvezetővel rendelkezik, meghibásodási rátájuk **5-50%**, statisztikáktól függően, **átlag 25%**.

Egy lengyel adat szerint **400 db** átvezetőt kellene lecserélniük (költség, kiesés)

Átvezető hibák gyakran okoznak **tűzet, amely tovább terjedhet.**

Átvezető **berobbanás** után **kétséges**, hogy a trafó aktív része tisztítható

Új szerep: **online monitoring.**

Az átvezetőn **állandó a feszültség és túlfeszültség** igénybevétel.

A szakirodalomban **sok hiányzó adat**, CIGRE WG célja: **lényegre törő, hiánypótló összefoglaló információ** az átvezetőkről.

CIGRE által létrehozott munkabizottságot (WG A2.43): **TRANSFORMER BUSHINGS RELIABILITY** (Transzformátor átvezető megbízhatóság).

Előadás célja: a WG A2.43 záró tanulmányának áttekintése



WG A2.43 munkájának áttekintése

WG A2.43 Technical Brochure - 2018

TRANSFORMER BUSHINGS RELIABILITY



Téma aktualitása: befejezte munkáját a CIGRE WG A2.43

CIGRE WG A2.43: Transzformátor átvezető megbízhatóság

- **WG A2.43: Transformer bushings reliability ($U_m > 72,5$ kV)**
- **Munkabizottság vezetője: Antun Mikulecky (HR)**
- **Magyar tagok: Németh B. (BME), Csépes G. (Mavir)**
- **Munka kezdése: 2010**
- **Tervezett befejezése: 2013: Technical Brochure és TUTORIAL**
- **Végső jelentés (TB): 2018**

CIGRE átvezetők WG-ről, TB-ról, TRANSFORMER BUSHINGS RELIABILITY WG A2.43, TB: 2018

A. Mikulecky, **Convenor** (HR), V. N. Nguyen, **Secretary** (CA)

A. Aznar (ES), J. Brown (NZ), J. Buchacz (PL), J. C. Cano (ES), **G. Csepes (HU)**, D. M. Geibel (US), L. P. Jordaan (ZA), O. Kouzmine (DE), N. Koch (CH), M. Krüger (AT), M. Martinez (ES), **B. Nemeth (HU)**,
V. Rorjis (NL), H. Sakai (JP), Y. Shirasaka (JP), M. Zink (DE)

További „segítők” (több mint 50 fő)

J. Czyzewski, A. van Schijndel, R. Ahuja, N. Gilbert, P. Francois, M. Figura, M. Srot, G. Skelo, F. Velagić, A. Langens, J. Graham, V. Jiří, K. Aoki, O.Kensuke, M. Yoshinao, K. Takayuki, J. Yang, P. New, J. Salva, P. Cole, I. Šulc, L. Jun, T. Vance, V. Maljković, H. Samodra, C. McDonald, R. Fear, M. Cuesto, A.L.J. Janssen, P. Mijajlovic, A. Rustenburg, N. Majer, U. Sundermann, A. Rocha, M. Augusta, **P. Handl, L. Zsolt**, U. Merz, R. Haug, A. Singh, M. Grierson, J. Smith, T. Huff, E. Figreroa, P. Franzen, M. N. Jaman, Schönberger, P. Mazza, C. Odendaal, S. Mettetwa, T. Hao, Ir. G. K. Supramaniam, C. Jedwanna and P.Guy

A WG jelentése (Technical Brochure) 7 fő fejezetből áll

1. fejezet: Bevezetés, átvezető történelem,

2. fejezet: Átvezető leírás, mire szolgál az átvezető, milyen típusok vannak (RBP, OIP, RIP, RIS), átvezetők tulajdonságai.

Ez alapvető fejezet, hogy megértsük a további TB részeket, ajánlott ezt elolvasni először.

3. fejezet: átvezető meghibásodások és hatásuk a trafó hibákra. Itt számos üzemeltető és gyártó nemzetközi tapasztalata lett közreadva.

Négy kérdőív volt kibocsátva (Q1, Q2, Q3, Q4), itt szerepelnek az eredmények.

Első az **üzemeltetők** részére, a második **trafó gyártóknak** (átvételi vizsgálatok tapasztalata), harmadik az **átvezető gyártóknak**, a negyedik pedig **átvezető diagnosztáknak**.

4. fejezet: átvezető meghibásodás folyamata: 4 fő ok: mechanikai, termikus, villamos, szennyezettség.

5. fejezet: átvezető (offline, periodikus) diagnosztika és online (folyamatos) monitoring.

6. fejezet: rövid és hosszú távú tárolás.

7. fejezet: konklúzió.

A záró tanulmány **végén** szakirodalmi, szabvány, stb. jegyzék

1. fejezet: Bevezetés, átvezető történelem

Átvezető típusok:

OIP: Oil Impregnated Paper, olajjal impregnált papír,

RIP: Resin Impregnated Paper, gyantával impregnált papír

RBP: Resin Bonded Paper, gyantával ragasztott papír

RIS: Resin Impregnated Synthetics (Paper), gyantával impregnált szintetikus (papír)

Átvezető történelem

RBP: 1908-tól, nagy PD

OIP: 1944-től: nagyobb feszre, kisebb PD, 1963-ban az első 500kV-os,

RIP: 1950-től,

Manapság: OIP és RIP használatos a legnagyobb AC és DC feszig, 1200kV-ig, 35kA-ig.

RBP úgy néz ki, hogy **idejemúlt**, főleg a régiék pótlására gyártják.

1990-től szilikon gumis átvezető, üvegszál epoxy csőbe

RIS: Legújabb fejlesztések: szilikon ház közvetlenül a RIP testen, a papírt **szervetlen** anyaggal helyettesítik: **RIS** (Resin Impregnated Synthetic) technológia.

2. fejezet: Átvezető leírás, mire szolgál az átvezető, milyen típusok vannak (RBP, OIP, RIP, RIS), átvezetők tulajdonságai

**Ez alapvető fejezet, hogy megértsük a további TB
részeket, ajánlott ezt elolvasni először.**

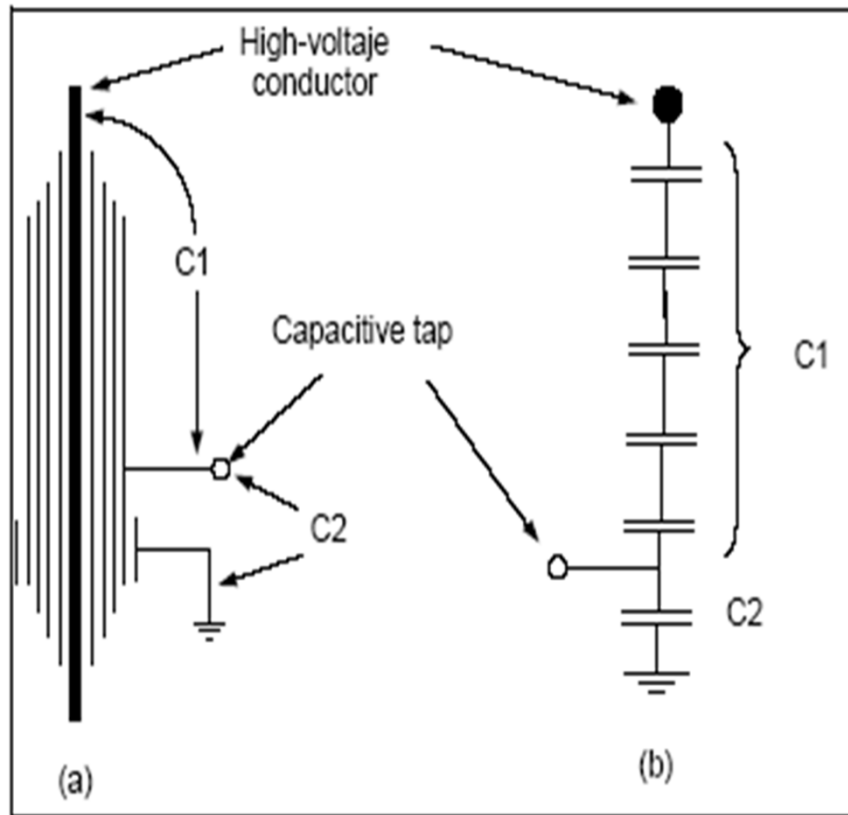
Átvezető leírás

Átvezető a tekercs feszültségét ill. az áramot vezeti ki a tankból.

Sematikus ábrázolás: központi elektród, potenciál vezérlő elektródok, mérő elektróda.

Két fontos átvezető típus van:

kerámia (porcellán) és a kondenzátor átvezetők, amelyeknek sokkal kisebb az átmérője, mint a nem kondenzátor típusú átvezetőknek.

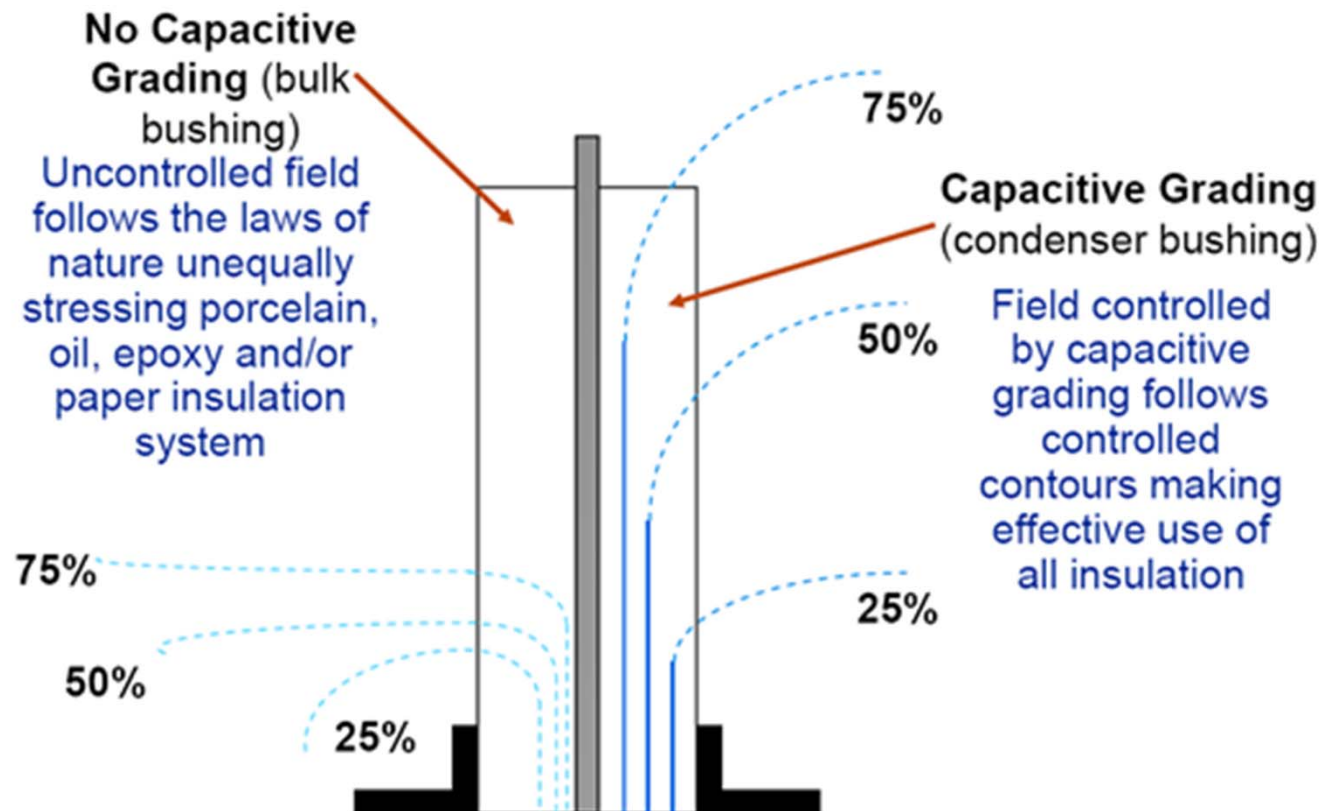




Miért szükséges potenciálvezérlés

Bushing Technologie

bulk bushing vs. condensor bushing





Balra: kondenzátor típusú, 110kV, 1971, RBP

Jobbra: nem kondenzátor típusú, 110kV, 1958, porcellán,

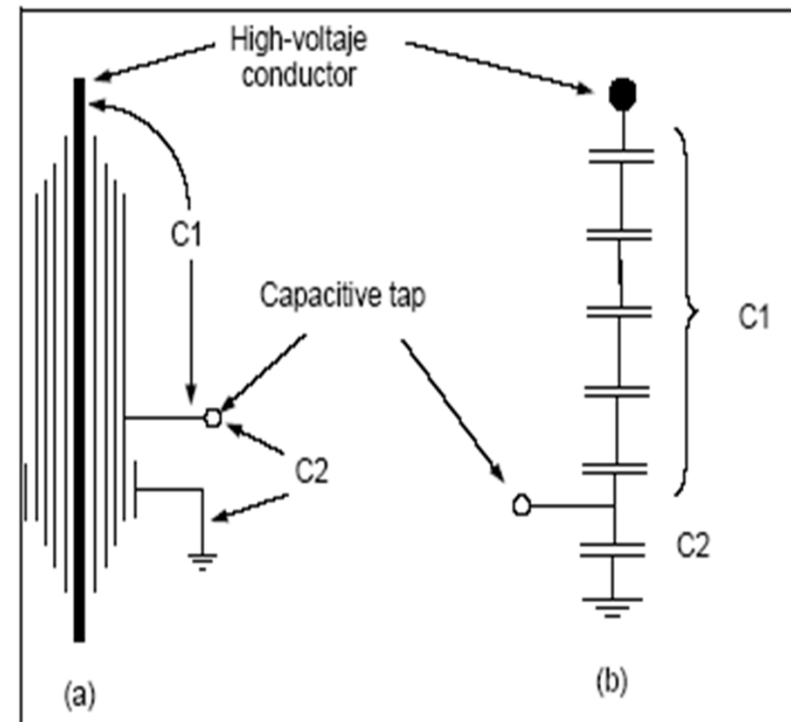
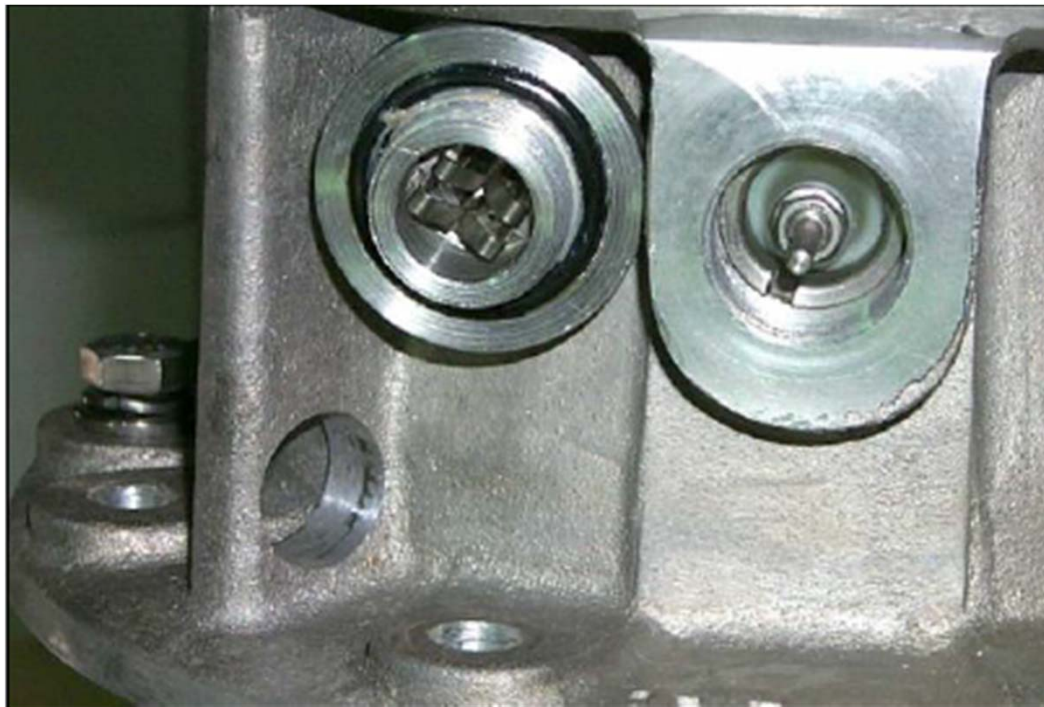
245 kV-on nem kondenzátor átvezető átmérője kb. 1 m, kondenzátor típusúnál kb. 250-300mm



C1 központi nagyfesz kivezetés kapacitása (elemi kondenzátorok soros eredője), **C2** a mérő elektróda kapacitása a földhöz (utolsó elektród föld kapacitása).

Mérő (IEC által használt), **feszültség** (IEEE által használt) megcsapolás.

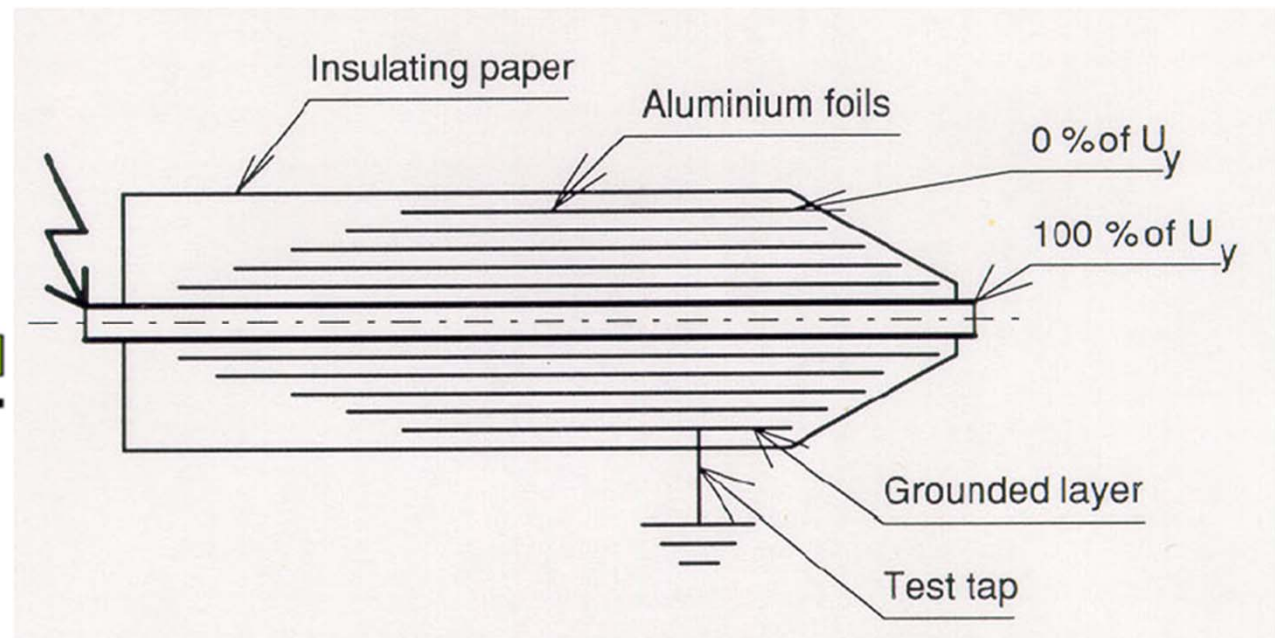
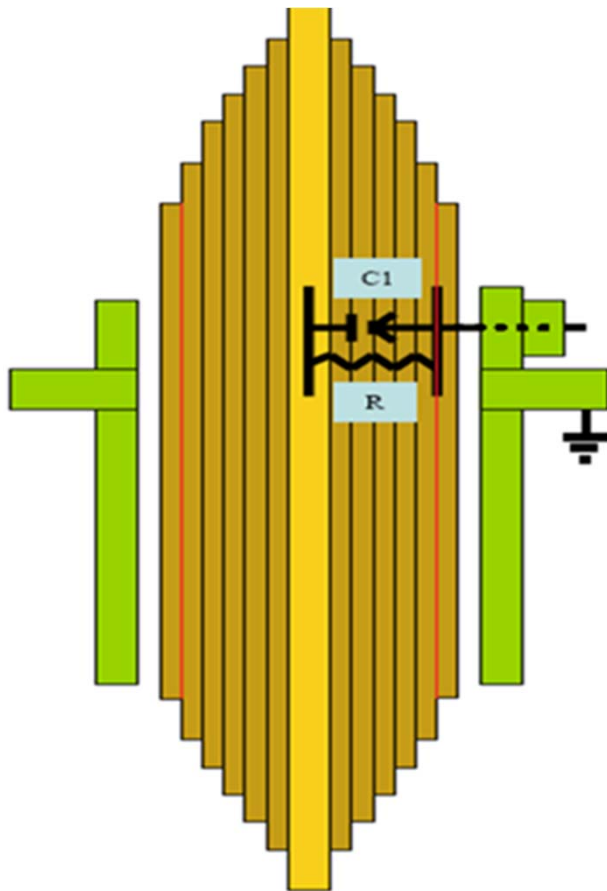
Fő különbség e két kivezetés között a vizsgáló feszültségben van: **mérő** megcsapolás **2-3kV**, a **feszültség** megcsapolás pedig **20kV szintű**. Kép: balra **mérő** kivezetés, jobbra **feszültség** kivezetés





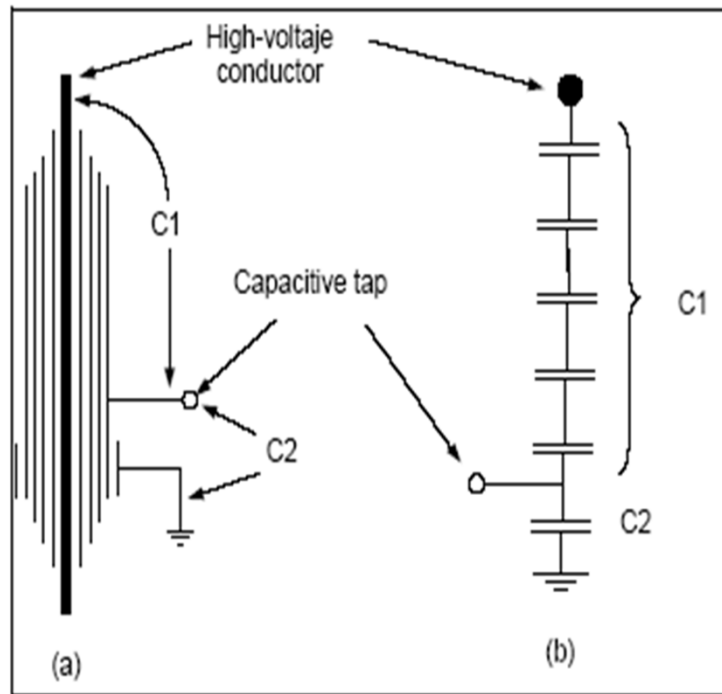
Kondenzátor (potenciálvezérelt) átvezetők felépítése

A belső mag **szigetelésébe** 36kV felett kapacitív vezérlés céljából „fémről” készült koncentrikus rétegek ágyazódnak be, amely lehetővé teszi a villamos tér egyenletes eloszlását (**Potenciál vezérlő fóliák**).



Átvezető offline és online monitoring

Nominal voltage UN [kV]	Number of foils	ΔC [%]
123	28	3,6
245	42	2,4
420	60	1,7
550	70	1,4



Voltage [kV]	No. of layers	% change
123	14	7.1
245	30	3.3
420	40	2.5
550	55	1.8



Biztonsági ügy a mérőmegcsapolás jó földelése !!!!!!!

Példa: 245kV - átvezetőnél a $C1=253\text{pF}$, $C2=207\text{pF}$, leosztott
 $U2=77\text{kV}$ kapacitás

Reliability of data

- Reminder:

– SAFETY
for staff,
bushing and
Transformer !!!

- Example:
 $U_r=245\text{ kV}$
bushing

$C1 = 253\text{ pF}$ $C2 = 207\text{ pF}$ → $U2 = 77\text{ kV}$



Oil Impregnated Paper (OIP) átvezető

- Az **OIP szigetelőanyagot** használják a **legáltalánosabban** az átvezetőknél. Olajjal impregnált papírból készítik és **további szabad olaj van a mag és a külső ház között.**
- **Előnyei:** jó tapasztalatokkal nagyon hosszú múltja van, viszonylag magasabb hőmérsékleten öregedik, PD mentes, bármilyen feszültségszintre készíthető, viszonylag alacsony költségű, viszonylag kis megkötöttség a kezelésnél és a tárolásnál.
- **Hátrányai:** öregedés, főleg magas hőmérsékleten, öregedéskor víz keletkezik és nő a veszteség, ez gyorsítja az öregedést, a szigetelőolaj szivároghat és víz mehet bele, ha elveszti a hermetikus lezárást, gyúlékony, azért megkötések vannak a pozicionálásra szállítás, kezelés és tárolás során.

Resin Bonded Paper (RBP) átvezető

- A szigetelő **papír egyenletes és vékony rétegben epoxy gyantával** van bevonva, és félvezető grafit közbeiktatása hozzá létre a potenciál vezérlő rétegeket.
- **Előnyei:** nem gyúlékony, kevésbé valószínű, hogy az átvezető meghibásodás meggyújtja a trafó tartály olaját, viszonylag alacsony költségen gyártható,
- **Hátrányai:** üregek vannak a szigetelésben, már névleges feszültségen is PD, általában nagyobb PD szint, az öregedési tapasztalat változó, idősebb RBP átvezetők sokat hibásodnak meg, megkötések a kezelés és tárolás során, nem megfelelő tárolás során víz szivároghat a szigetelésbe, az olajba merülő rész érzékeny és sérülhet a szállítás során.

Resin Impregnated Paper (RIP) átvezető

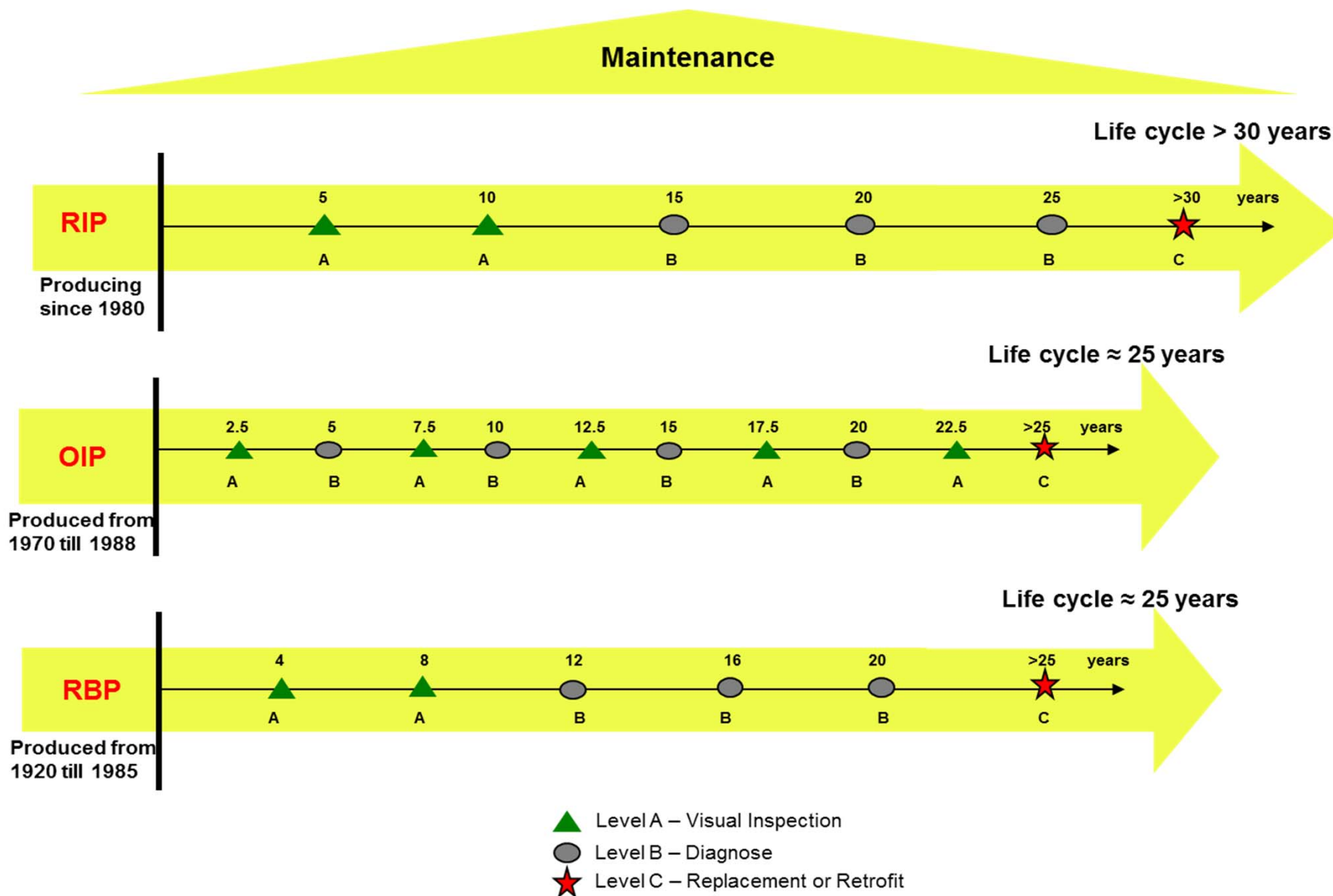
- A szigetelő **gyantával itatott papírból** készül. A gyantával itatott papír átvezető szigetelő burkolattal készíthető. A közbenső tér szigetelő folyadékkal vagy más szigetelő anyaggal tölthető ki. A **gyantás átvezető növekvő népszerűségnek örvend.**
- **Előnyei:** nem gyúlékony, kevésbé valószínű, hogy az átvezető meghibásodás meggyújtja a trafó tartály olaját, kevésbé valószínű a külső vízbehatolás, alacsony PD szint, PD mentes kétszeres U_n -ig, kicsi $tg\delta$, bármely feszültség szinten használható, jó mechanikai szilárdság, magas hőállóság (E osztály, 120°C), nincs megkötés az elhelyezéssel a szállítás, kezelés és tárolás során, felhasználóbarát méretek,
- **Hátrányai:** megkötés a kezelés és tárolás során, az olajba merülő részt védeni kell a nedvességtől a tárolás során, az olajba merülő rész sérülésnek van kitéve a szállítás során, viszonylag drága.

Átvezetők alap jellemzői

Bushings types basic properties			
	RBP	OIP	RIP and RIS
Design description			
Upper (air) envelope	Porcelain	Porcelain, (composite)	Composite, (porcelain, silicone)
Intermediate filler	Oil, viscous filler	Oil	Oil, dry foam, none
Lower (oil) envelope	None (RBP body)	Resin, porcelain	None (RIP body)
Properties			
PD, pC	Up to 100/250 pC	Up to 5/10 pC	Up to 5/10 pC
PD regeneration	PD always exist	Yes	No
$\tan \delta, \cdot 10^{-2}$	Approx. 0,5	Approx. 0,3	Approx. 0,4
Capacitance behaviour	Increasing (oil penetr.)	Stable (good condition)	Stable (good condition)
Temperature	120 °C	105 °C	120 °C
Overloading behaviour	Well known	Well known	Resin decuring problem
Oil leaking	Yes (oil filled)	Yes	Yes (oil filled)
Resistance to outer flashover	Porcelain rupture	Porcelain rupture	No rupture
Collapse after internal breakdown	Rarely collapse	Often collapse	No collapse
Debris in transformer after internal breakdown	Yes	Yes	Yes (small amount)
Storage problems	Humidity absorption, cracking problems	Deimpregnation	Humidity absorption (RIP)
Transformer fire resistance	Medium	Poor to Medium	Good
Earthquake resistance	Medium to Good	Poor to medium	Good
Resistance to vandalism	Medium	Poor	Good
Service with broken upper envelope	Yes (limited time, dry version)	No	Yes (limited time, dry version)

MICAFIL átvezetők várható élettartam

Typical life expectancy of MICAFIL bushings





Majdnem az összes mérőkapocs eltérő kivitelű

Micafil CTF 123/550



Felten OKTF 1550/420



Trench - thread M16x1.5



Haefely CRPT 245kV



Haefely COT 1550/1000 420kV



Micafil WTXF Red 420kV





Átvezető meghibásodás, kérdőívek

3. fejezet: átvezető meghibásodások és hatásuk a trafó hibákra. Ebben a fejezetben kerül összegyűjtésre számos üzemeltető és gyártó nemzetközi tapasztalata.

Négy kérdőív volt kibocsátva (Q1, Q2, Q3, Q4), itt szerepelnek az eredmények.

Első az **üzemeltetők** részére, a második **trafó gyártóknak** (átvételi vizsgálatok tapasztalata), harmadik az **átvezető gyártóknak**, a negyedik pedig **átvezető diagnosztáknak**.

Kérdőívek feldolgozása

Különös **figyelem a meghibásodásokra**, ezért a **meghibásodási adatok begyűjtésre az alábbi 4 fajta kérdőív lett kiküldve:**

Q1: 25 válasz, 25 üzemeltetőtől (15 ország) (üzemi meghibásodás)

Q2: 9 válasz 10 trafógyárból (8 ország)

Q3: 5 válasz 7 átvezető gyártótól (5 ország)

Q4: 31 válasz 31 szolgáltatótól (16 ország)

WG A2.43 vizsgálat tárgya: 72,5kV feletti potenciálvezérelt átvezetők.

Különös figyelem a meghibásodásokra, ezért a meghibásodási adatok begyűjtésre az alábbi 4 fajta kérdőív lett kiküldve:

Q1: Bushing in service failure questionnaire - for utilities and/or transformer owners **(átvezető meghibásodási adatok, tények az átvezető hibákról).**

Q2: Transformer Acceptance Test (TAT) failure questionnaire for bushings - for transformer manufacturers. **Fő cél: TAT (átvételi teszt) átvezető hibák és meghibásodási tények gyűjtése statisztikai céllal.**

Q3: Bushing manufacturer failure data questionnaire – for bushing manufacturers: **Átvezető hibák gyűjtése átvezető gyártóktól.**

Q4: Bushing diagnostics, maintenance and failure practice questionnaire - for utilities and/or transformer owners. **Fő cél: sérülési adatok áramszolgáltatóktól, tulajdonosoktól, diagnosztikai gyakorlat (időszakos, folyamatos), átvezető karbantartása.**



Q1 kérdőív: Bushing in service failure questionnaire - for utilities and/or transformer owners: **átvezető meghibásodási adatok, tények az átvezető hibákról.**

Q1 BUSHING IN SERVICE FAILURE QUESTIONNAIRE

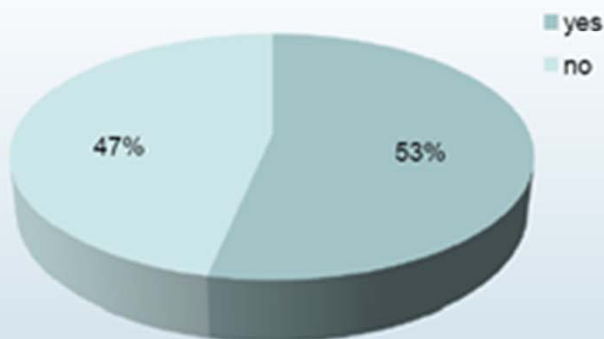
◆ Data summarizing:

❖ Reference periods:

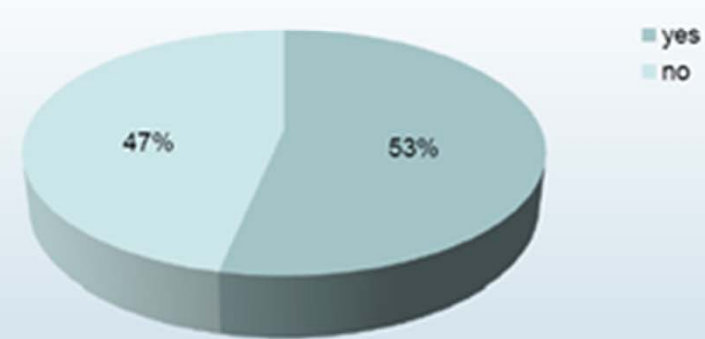
- ▶ Only 6 companies out of 15
- ▶ Different reference periods (from January 2000, 2001, 2002 and 2003) → agree on a common start date for all companies

❖ Existence of databases → good information about failures (data still to be analyze)

Incipient bushings failure database



Terminal bushings failure database





Q2 kérdőív: Transformer Acceptance Test (TAT) failure questionnaire for bushings - for transformer manufacturers. Fő cél: TAT (trafó átvételi teszt) átvezető hibák és meghibásodási tények gyűjtése statisztikai céllal.

Q2 TAT FAILURE QUESTIONNAIRE FOR BUSHINGS

◆ Data summarizing:

- ❖ Different reference periods (from January 2000, 2001, 2002 and 2003) → agree on a common start date for all companies
- ❖ There aren't TAT bushing failure databases:
 - ▶ Only one company out of 7
 - ▶ Some of them : "by transformer manufacturer" but the Q2 questionnaires must be completed by transformer manufacturers
- ❖ TAT failure rate: failed bushings/used bushings [%] = 0,13
 - ▶ Different reference periods
 - ▶ Agree on the average
- ❖ Complete information about failures → data still to be analyze

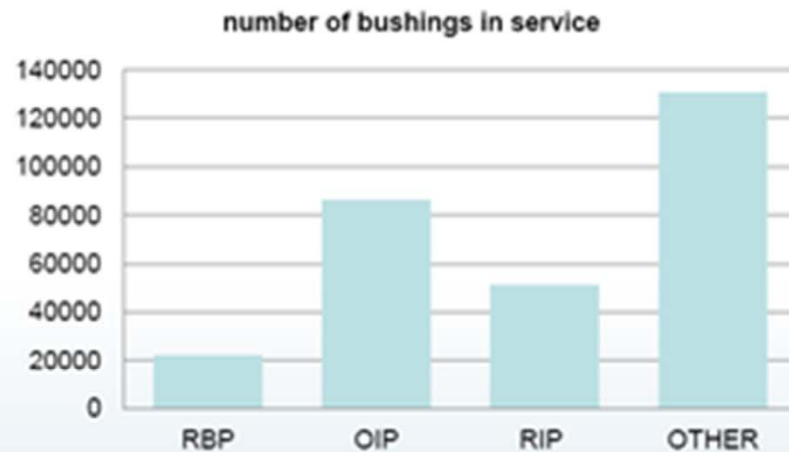


Q3 kérdőív: Bushing manufacturer failure data questionnaire – for bushing manufacturers: átvezető hibák gyűjtése átvezető gyártóktól.

Q3 BUSHING MANUFACTURER FAILURE DATA QUESTIONNAIRES

◆ Data summarizing:

❖ Only from 1 questionnaire



Failure cause: moisture ingress

Failure rate

$$F.R. = \sum F_i / \sum B_i$$

- F_i : number of failures in i th year
- B_i : number of bushing in service in i th year (life cycle assumed to be 40 years)

Reference period : 12 years (2000-2012)

Failure rate

- RBP: 0 %
- OIP: 0.0013 %
- RIP: 0.0017 %
- OTHER: 0 %



Q4 kérdőív: Bushing diagnostics, maintenance and failure practice questionnaire - for utilities and/or transformer owners: Fő cél: sérülési adatok szolgáltatóktól, tulajdonosoktól, diagnosztikai gyakorlat, átvezető karbantartása.

Q4 BUSHING DIAGNOSTIC, MAINTENANCE AND FAILURE PRACTICE QUESTIONNAIRE

- ◆ **Many participants (20 questionnaires)**
- ◆ **Easy questionnaires --→ complete information obtained**
- ◆ **Data summarizing, main topics:**
 - ❖ **General data**
 - ❖ **Diagnostic measurement staff**
 - ❖ **Existence of failure database**
 - ❖ **Bushing diagnostic techniques applied**



Ausztrália, Új-Zéland: meghibásodott átvezetők halmozott életkor eloszlása

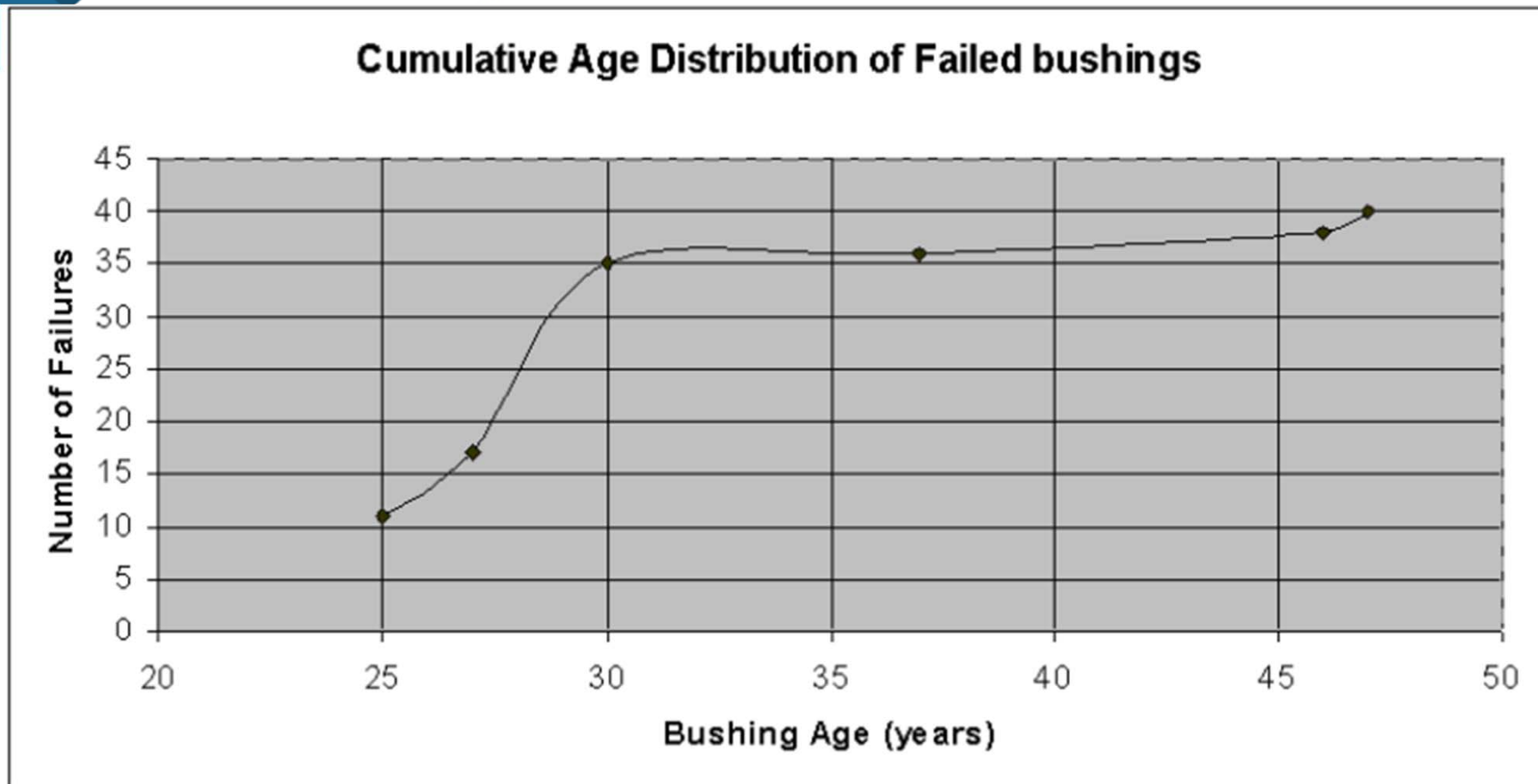
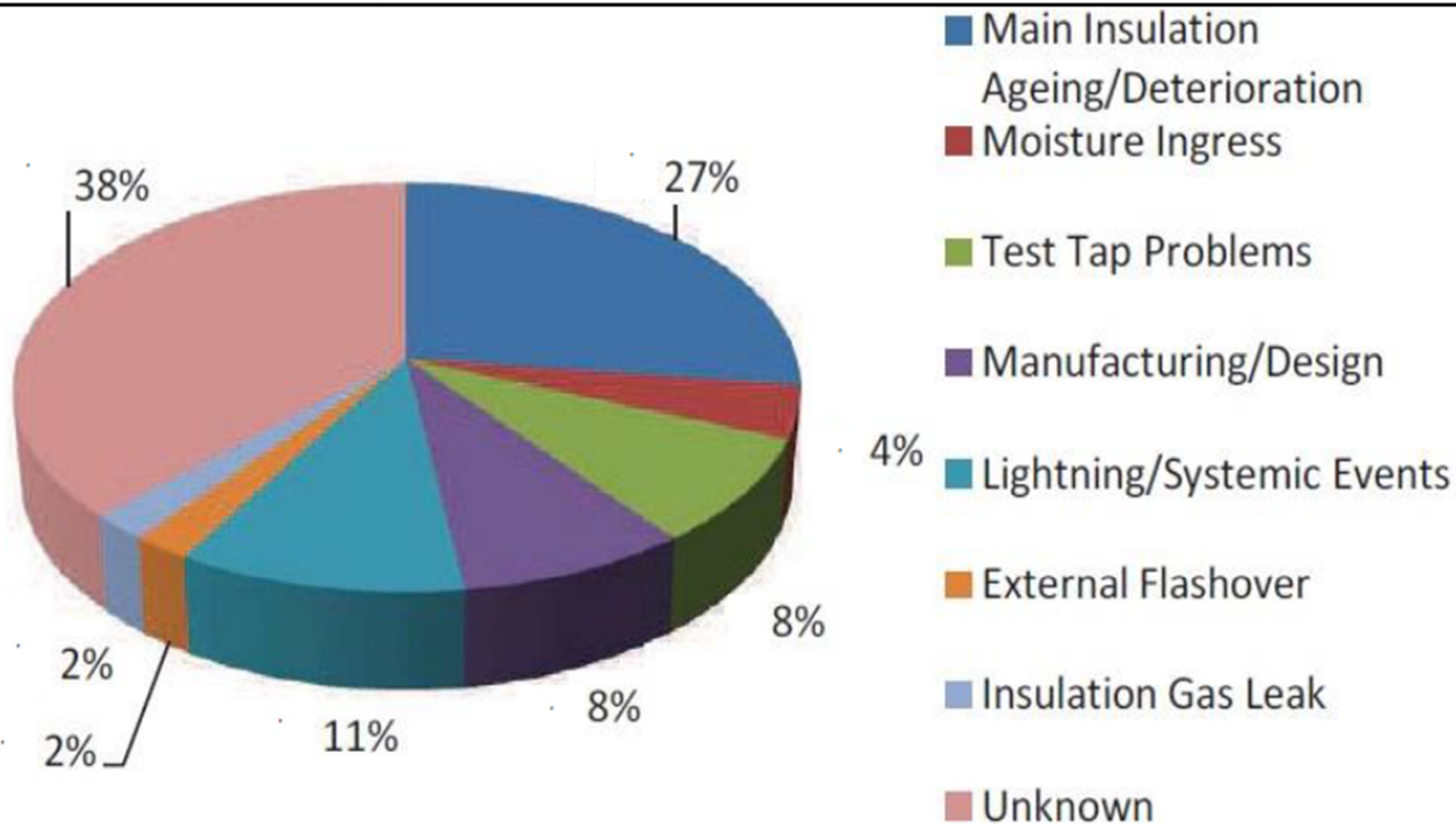


Figure 3.2.1: Australia – New Zealand cumulative age distribution of failed bushings



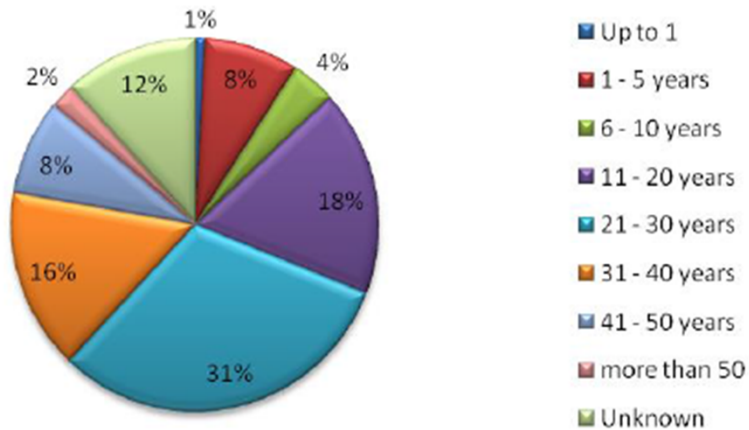
ASEAN országok átvezető hibák alapvető oka



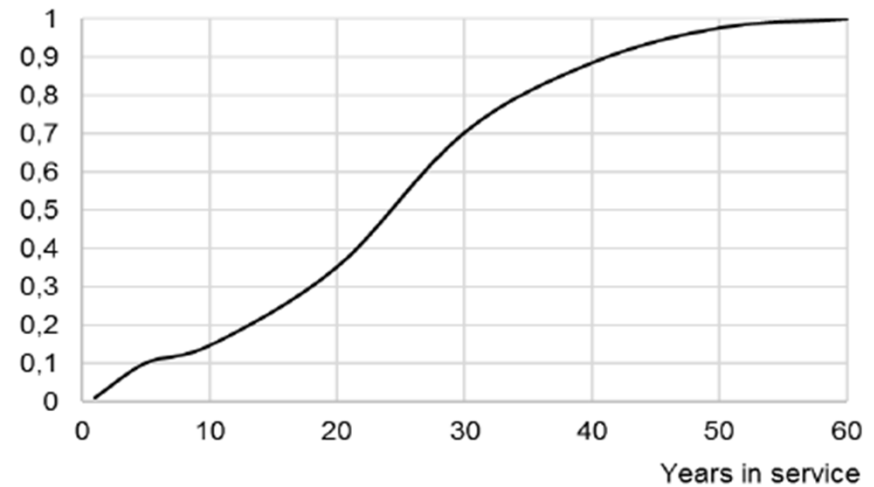


Üzemben töltött évek a hibát megelőzően: évek megoszlása, halmazott adat

Years in Service prior Failure

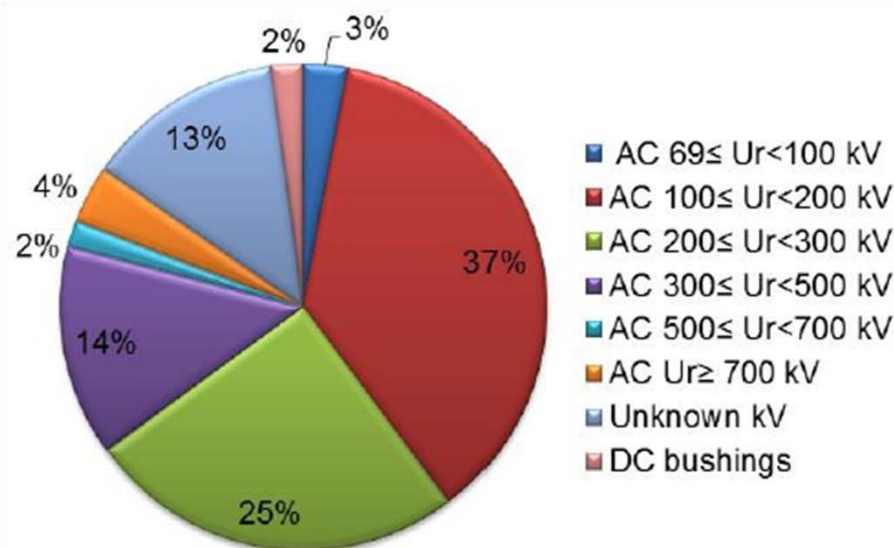
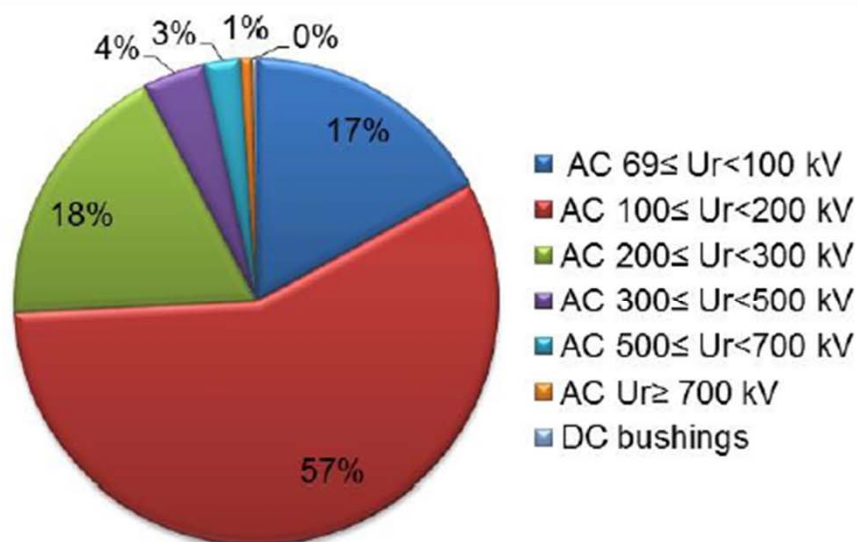


Failures, p.u.



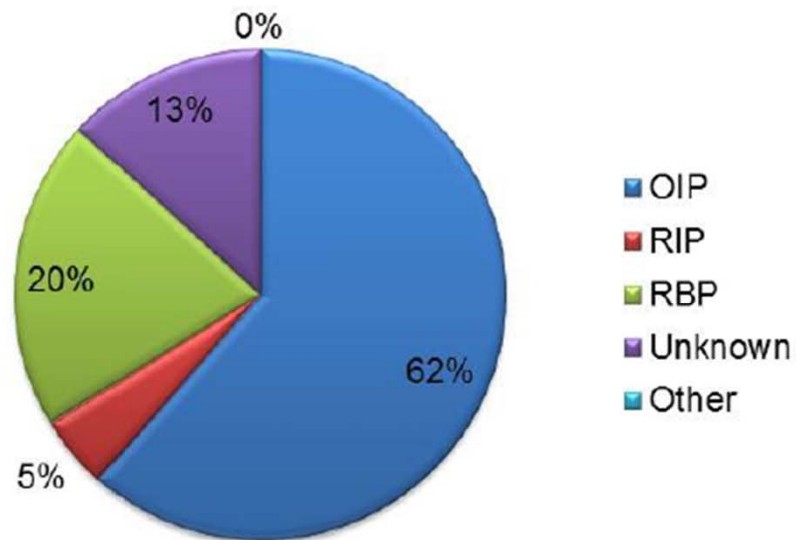
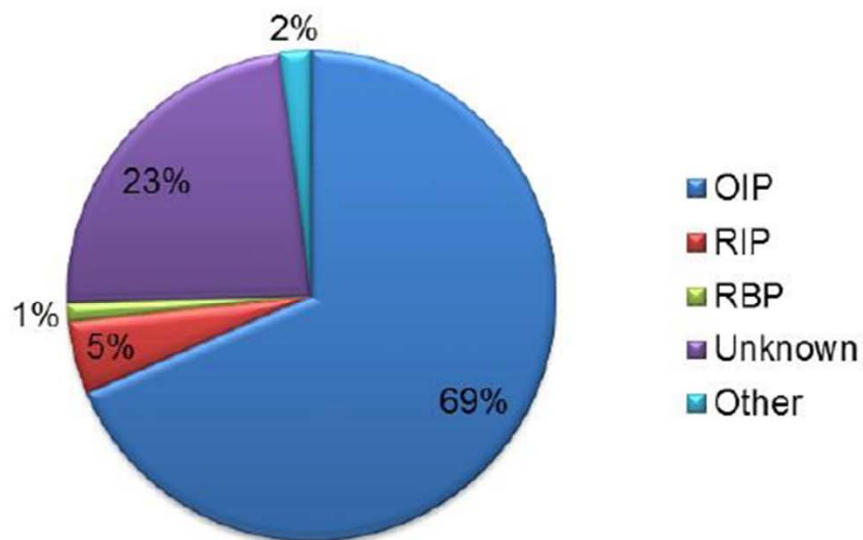


Átvezető megoszlás (balra) és meghibásodott átvezető (jobbra) megoszlás névleges feszültség szerint





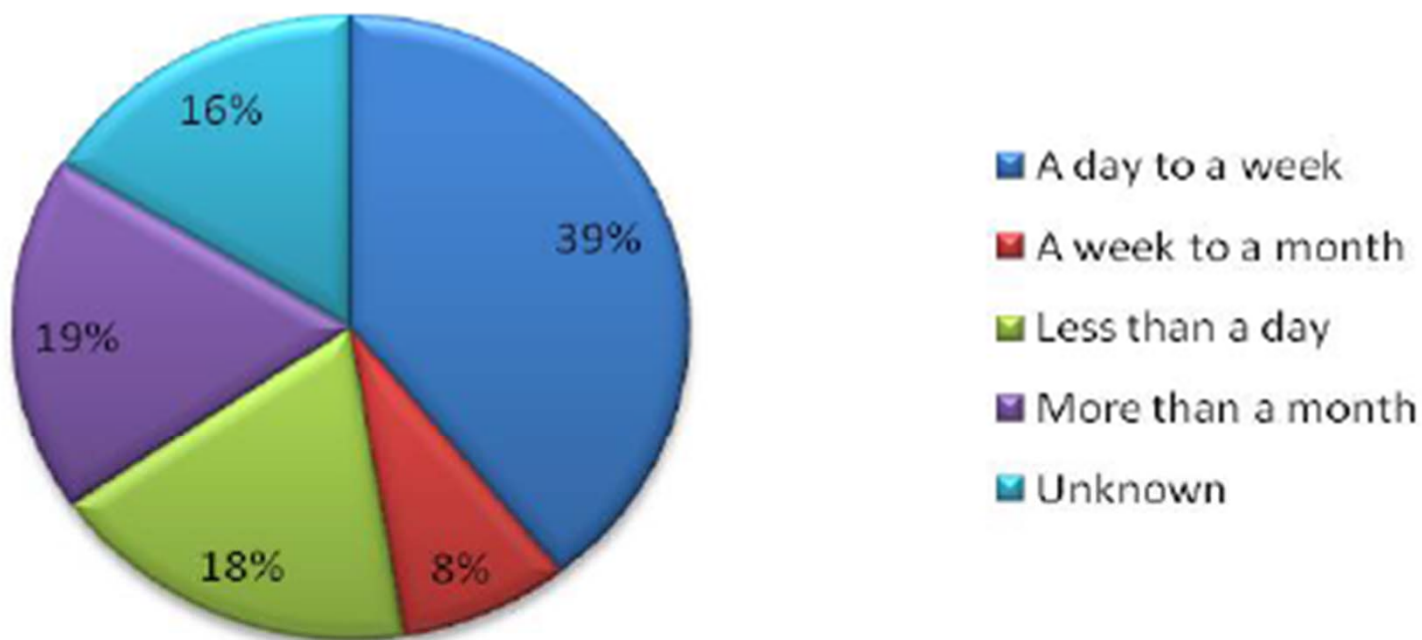
Átvezető (balra) és meghibásodott átvezetők szigetelési rendszere szerint megoszlása





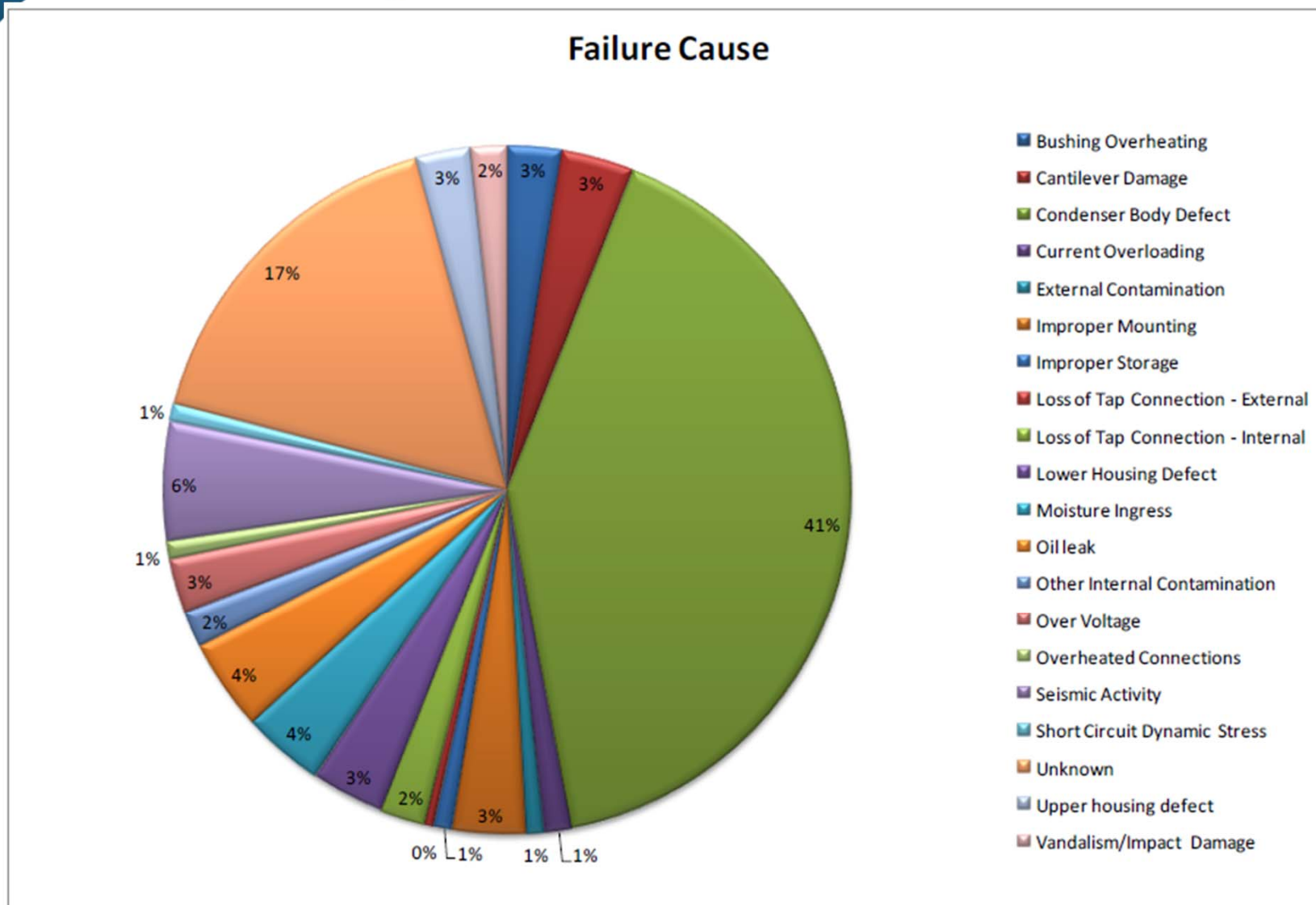
Trafó kiesés időtartama az összes átvezető hiba miatt

Outage duration





Átvezető meghibásodási okok az össze begyűjtött hibák alapján





TAT (Transformer Acceptance Test) meghibásodási ráta

Bushing nominal voltage, kV	TAT failure rate, %
69-100	0,1381
100-200	0,2654
200-300	0,1741
300-500	0,4098
500-700	0,2171
Over 700 kV	0,9828
HVDC	0,7884

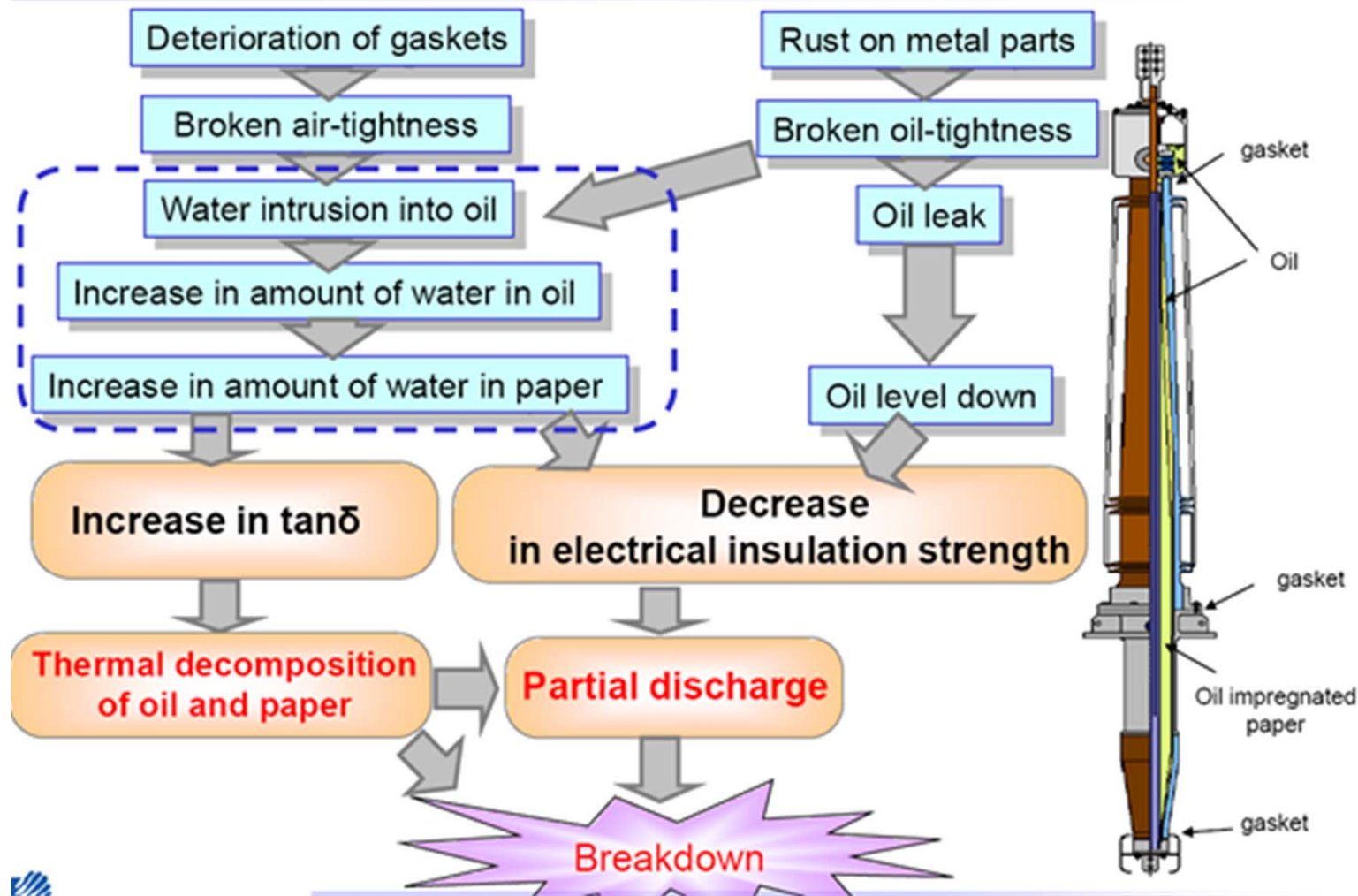


4. fejezet: átvezető meghibásodás folyamata: 4 fő ok: mechanikai, termikus, villamos, szennyezettség.



Átvezető meghibásodási mechanizmusa

OIP Bushing Deterioration Failure Mechanism



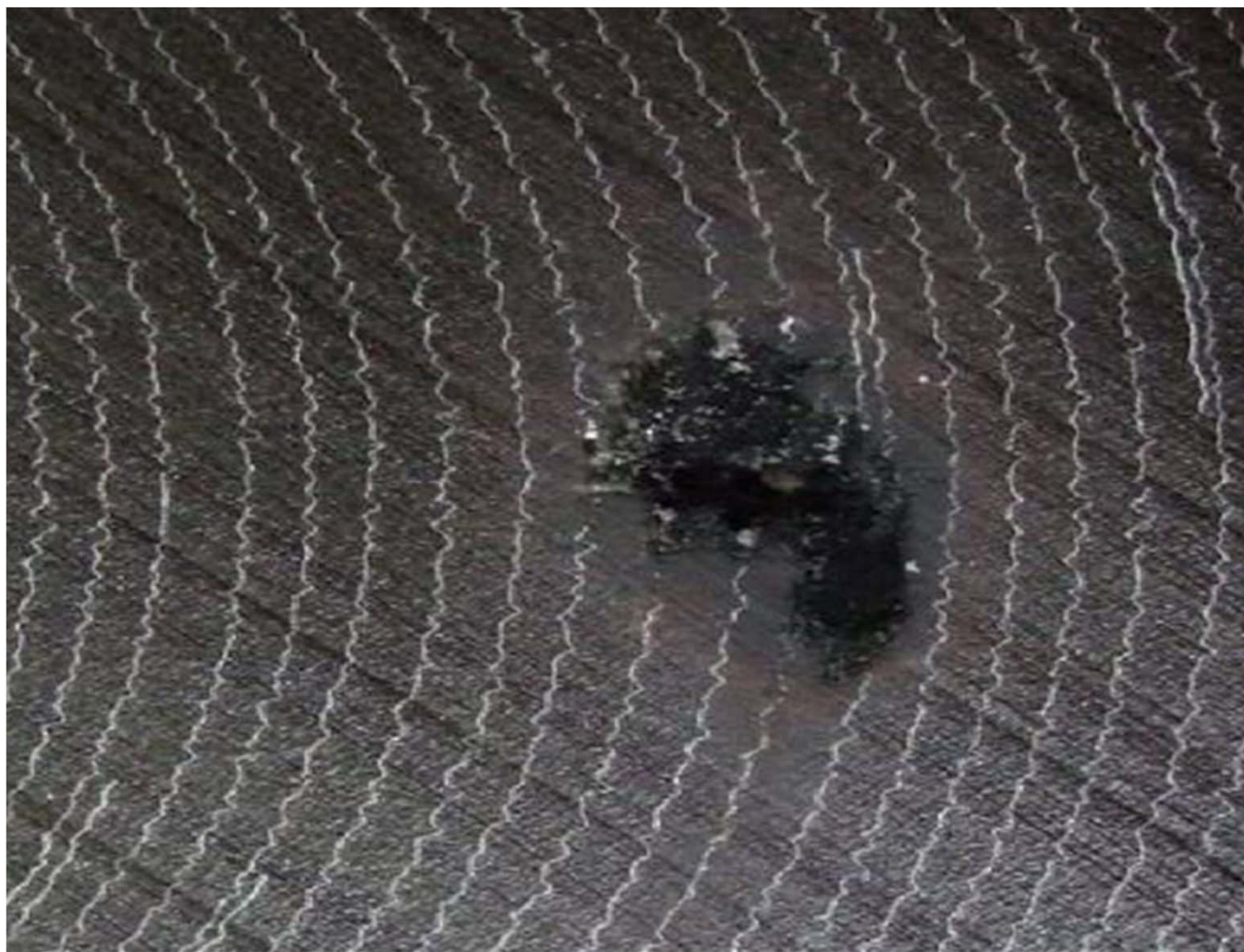


400 kV-os átvezető (bal felső), tűz egy 300 MVA-es trafón, átütés az átvezető dómnál





Részleges átütés a potenciálvezérlő rétegek és az átfedések között, elszenesedés, valószínűleg gyors tranzienstől miatti túlfeszültségek következtében





Mérőcsap rossz ill. hiányzó tömítése





**30 éves, 245 kV-os, RBP
átvezető robbanás**



Nyitott mérőelektródás feszültség alatti átvezető: rövid idő alatt tönkremehet



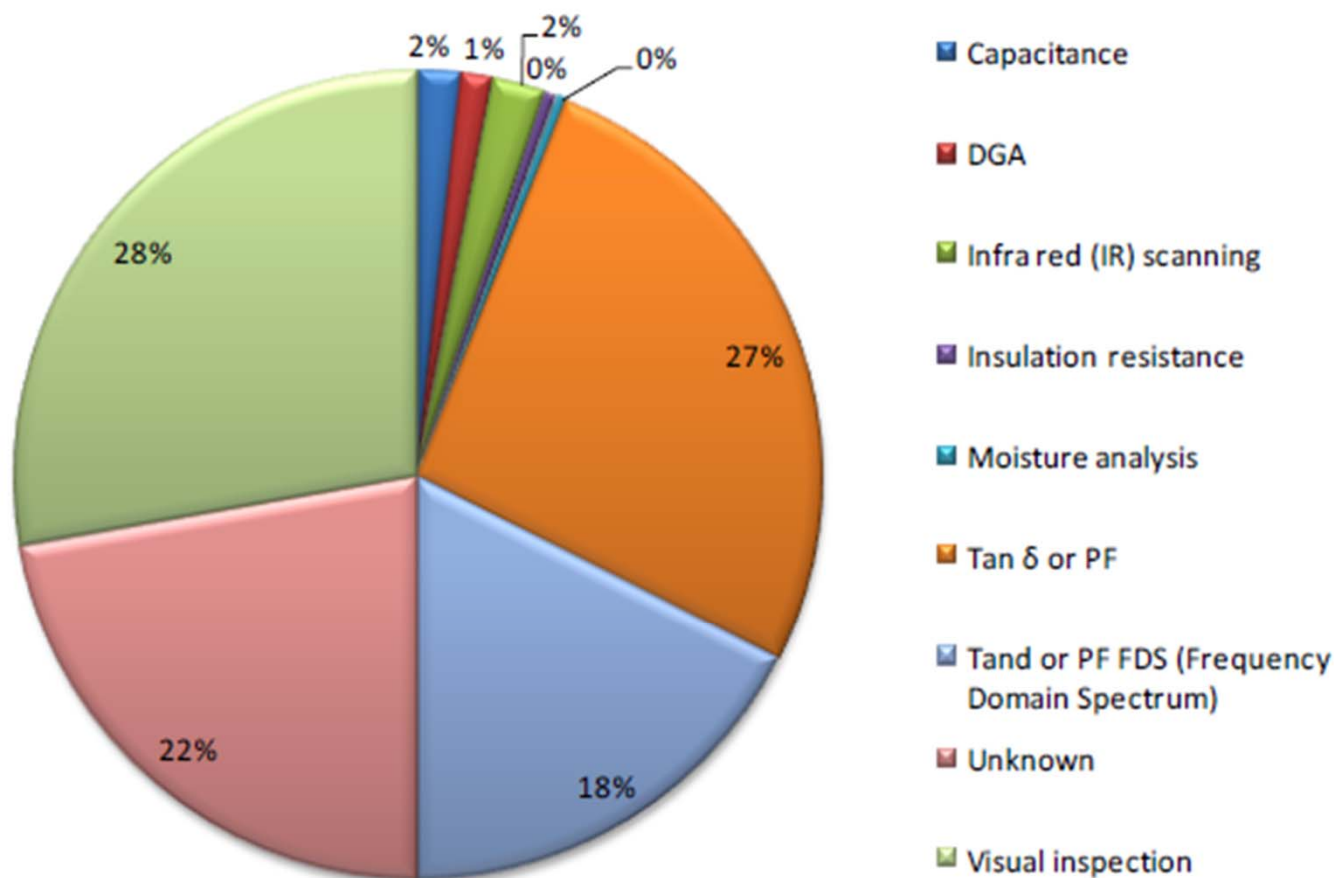


5. fejezet: átvezető (offline, periodikus) diagnosztika és online (folyamatos) monitoring.



Átvezető diagnosztikák, amelyek jelzik a hibát

Method which indicated failure



Főbb átvezető diagnosztikák

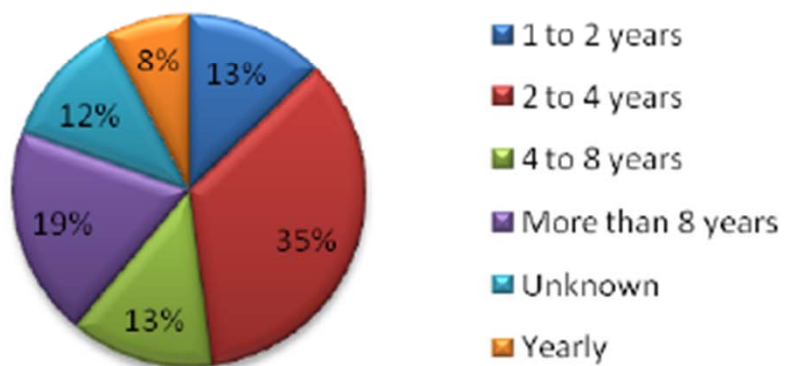
- PD,
- $Tg\delta/C$
- On-line $Tg\delta/C$ mérés
- Polarizációs mérések: FDS, RVM, PDC
- $tg\delta/C$ és PD diagnosztika: mérés a nagyfesz kivezetésen és mérőmegcsapoláson
- RVM, FDS, PDC diagnosztika: mérés a mérő elektródán, kiértékelés domináns időállandókkal
- Feszültség alatti átvezető kapacitív árama jó állapothoz képest nő átütött rétegek esetén (nő a kapacitás, nő vagy csökken a $tg\delta$)

A vizsgálati eredmények alapul szolgálnak a következő mérésekhez

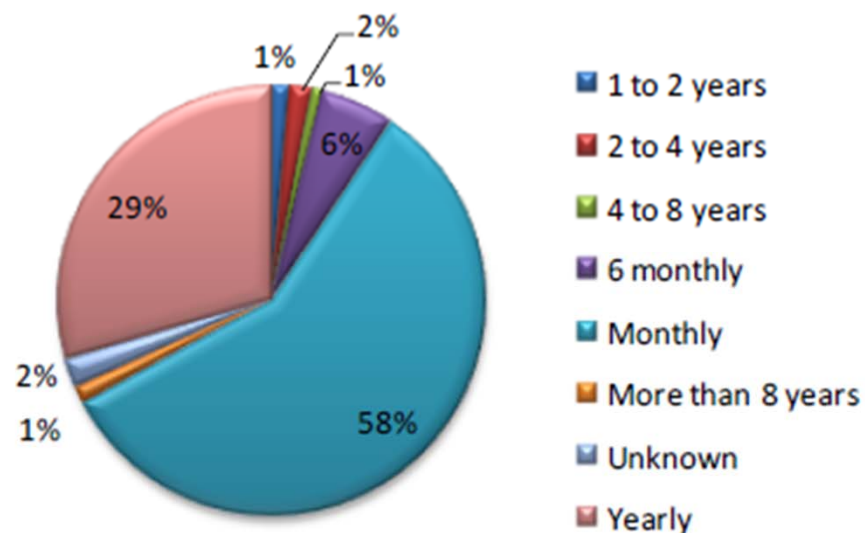


Az offline diagnosztika, ill. a szemrevételezések gyakorisága

Frequency of Off-line Diagnostic Method Applied



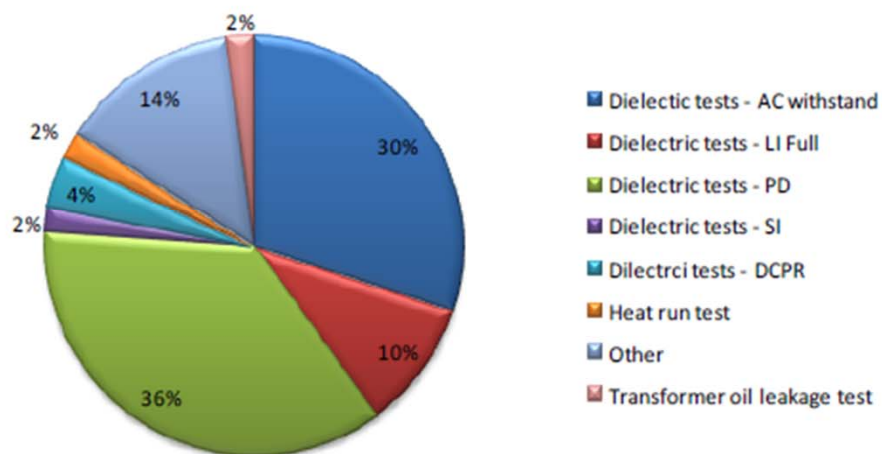
Bushing visual inspection



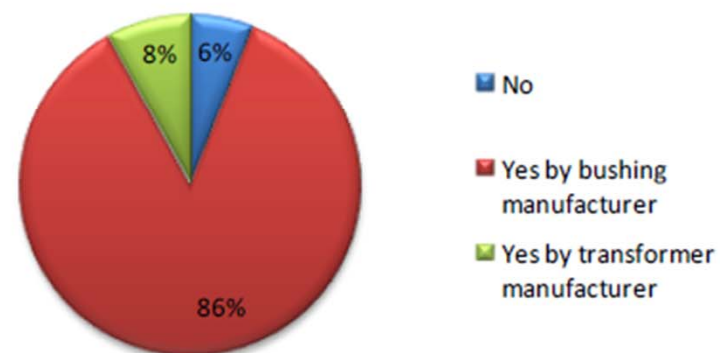


Vizsgálatok típusa a meghibásodás előtt, ill. volt-e vizsgálat a meghibásodás előtt

Test during which bushing failed



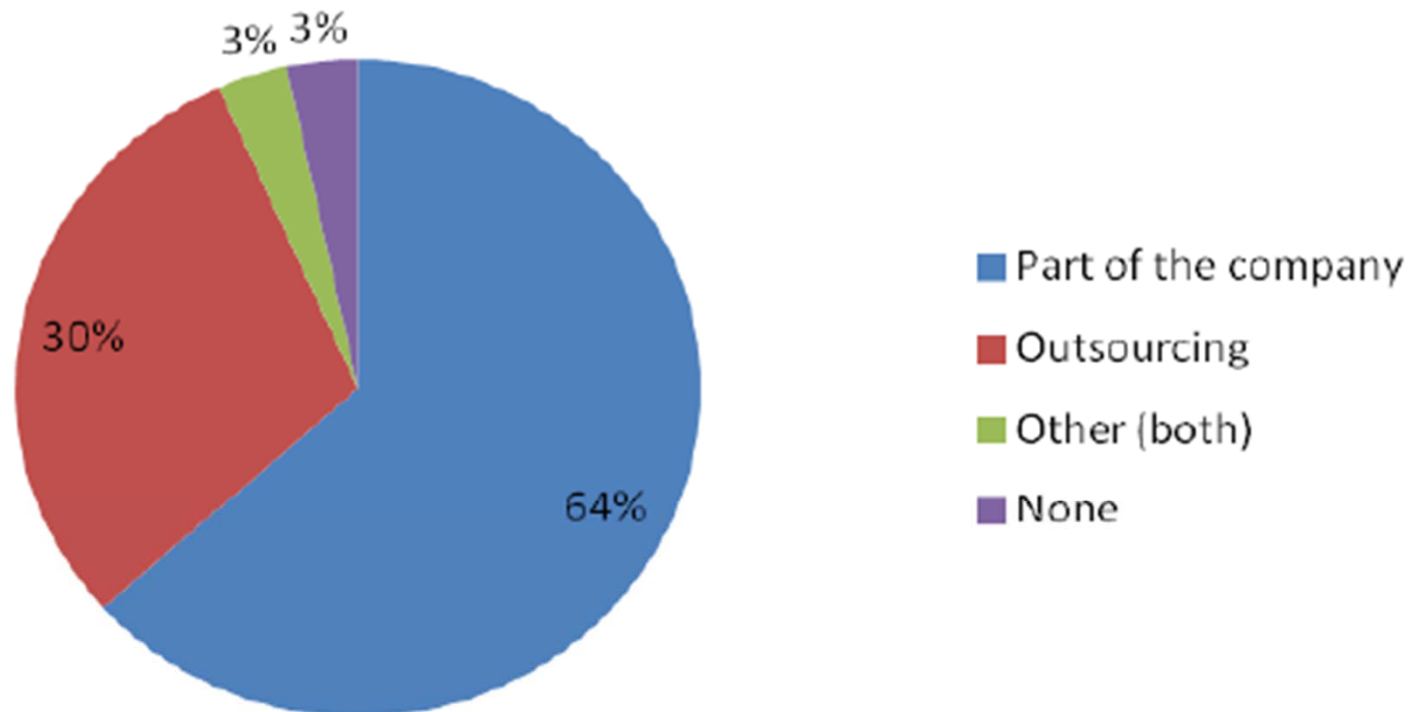
Was this test previously performed





A diagnosztikai csoport helye a szolgáltatónál

Diagnostic measurements staff

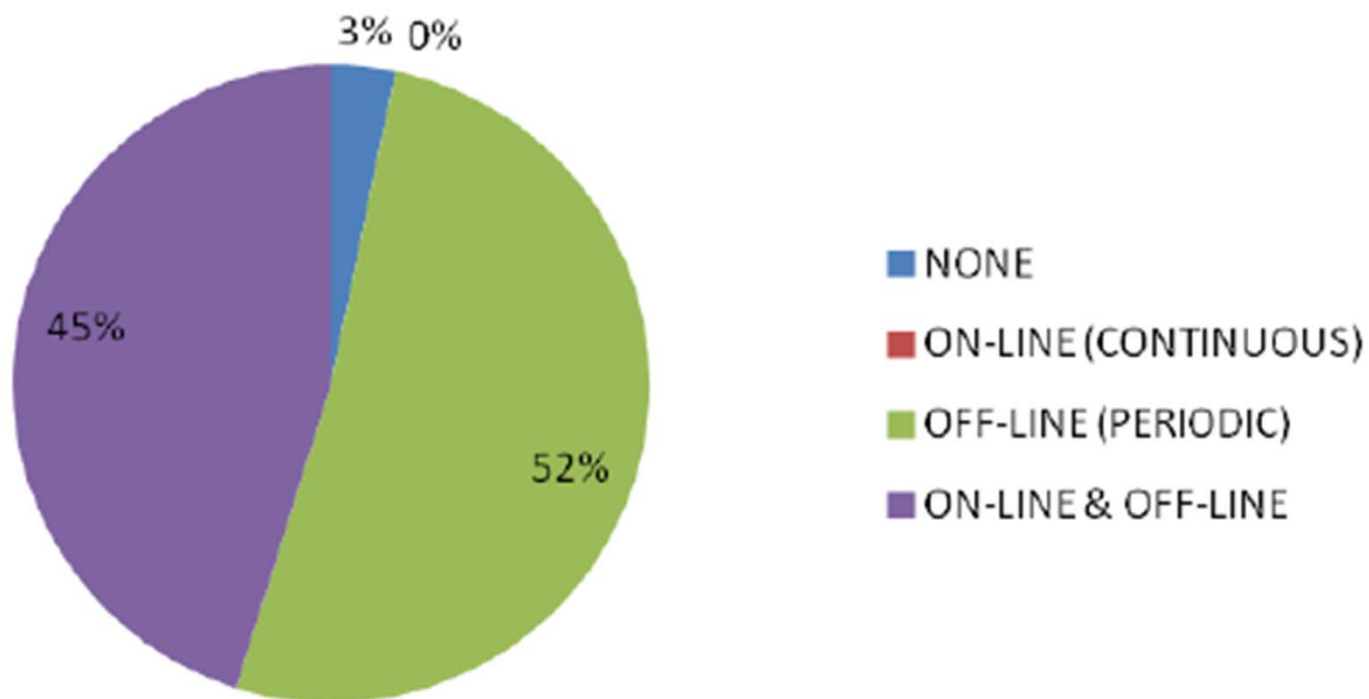




Alkalmazott diagnosztikai módszerek

Meglepő a nagyszámú az együtt használt online és offline esetek együttes száma (45%)

Bushing diagnostic methods applied





OFFLINE diagnosztika alkalmazása a szolgáltatóknál

Leggyakrabban használt offline diagnosztika a C és tg, majd az IR, meglepő, hogy HGA csak 53%. Nedvességmérés is gyakran használt (40%), a polarizációs spektrum módszerek elég ritkán használják

Off-line diagnostic method (periodic)	Abundance (used by utility), %
C and $\tan \delta$ (or PF)	96,7
FDS	13,3
PDC	6,7
RVM	6,7
PD	33,3
Insulation resistance	36,7
Infrared scanning	76,7
DGA	53,3
Moisture in oil	40
Other	6,7



ONLINE diagnosztika alkalmazása a szolgáltatóknál

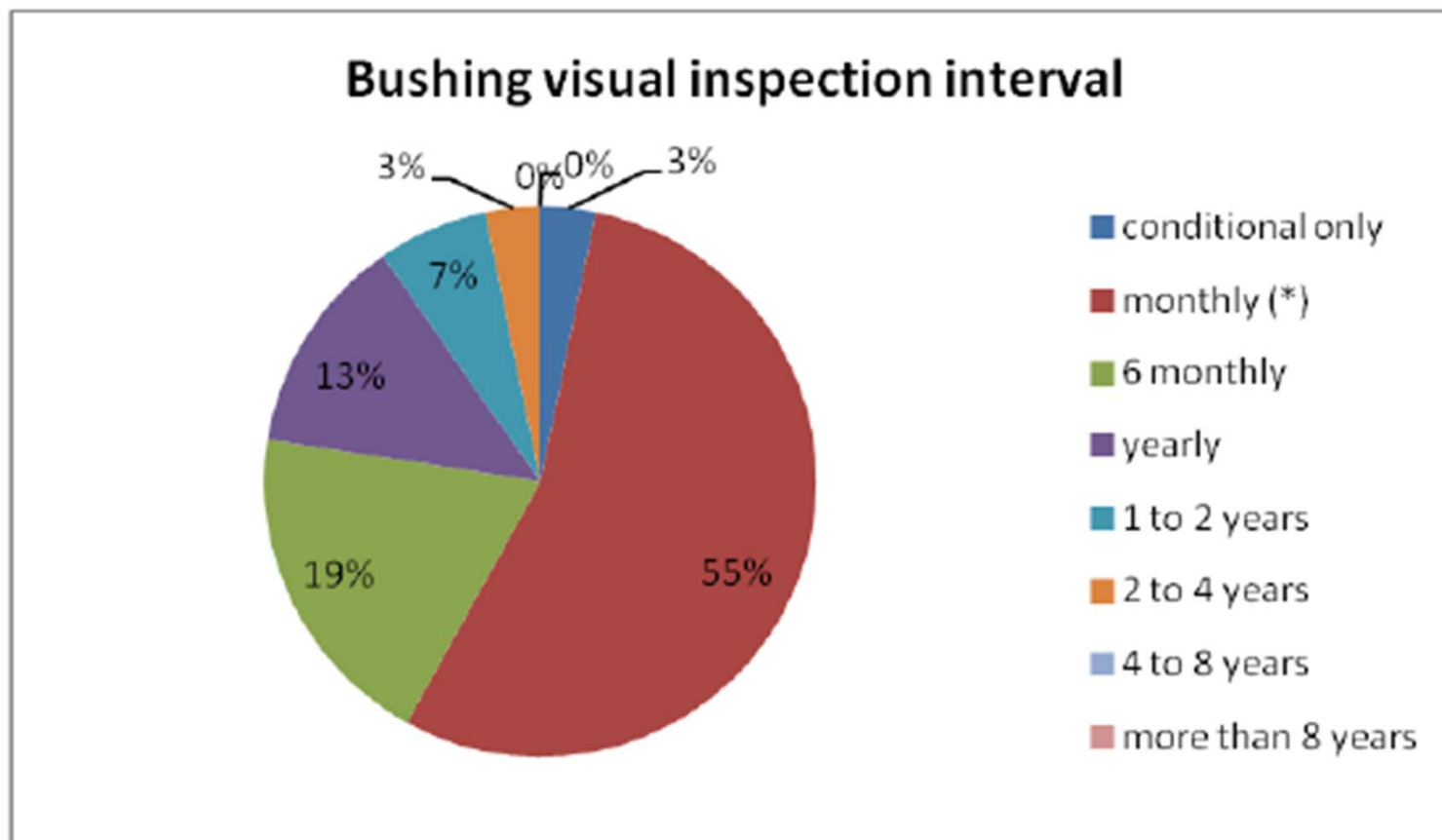
Leggyakrabban használt online diagnosztika a C, majd tgδ (legtöbb esetben együtt alkalmazzák). A többi módszert ritkán használják. A tranziens feszültségek mérését 21% körül.

On-line diagnostic method (continuous)	Abundance (used by utility), %
Capacitance	92,9
tan δ or PF	64,3
Creepage current	0
Oil pressure	7,1
Voltage transients	21,4
PD	7,1
Other	0



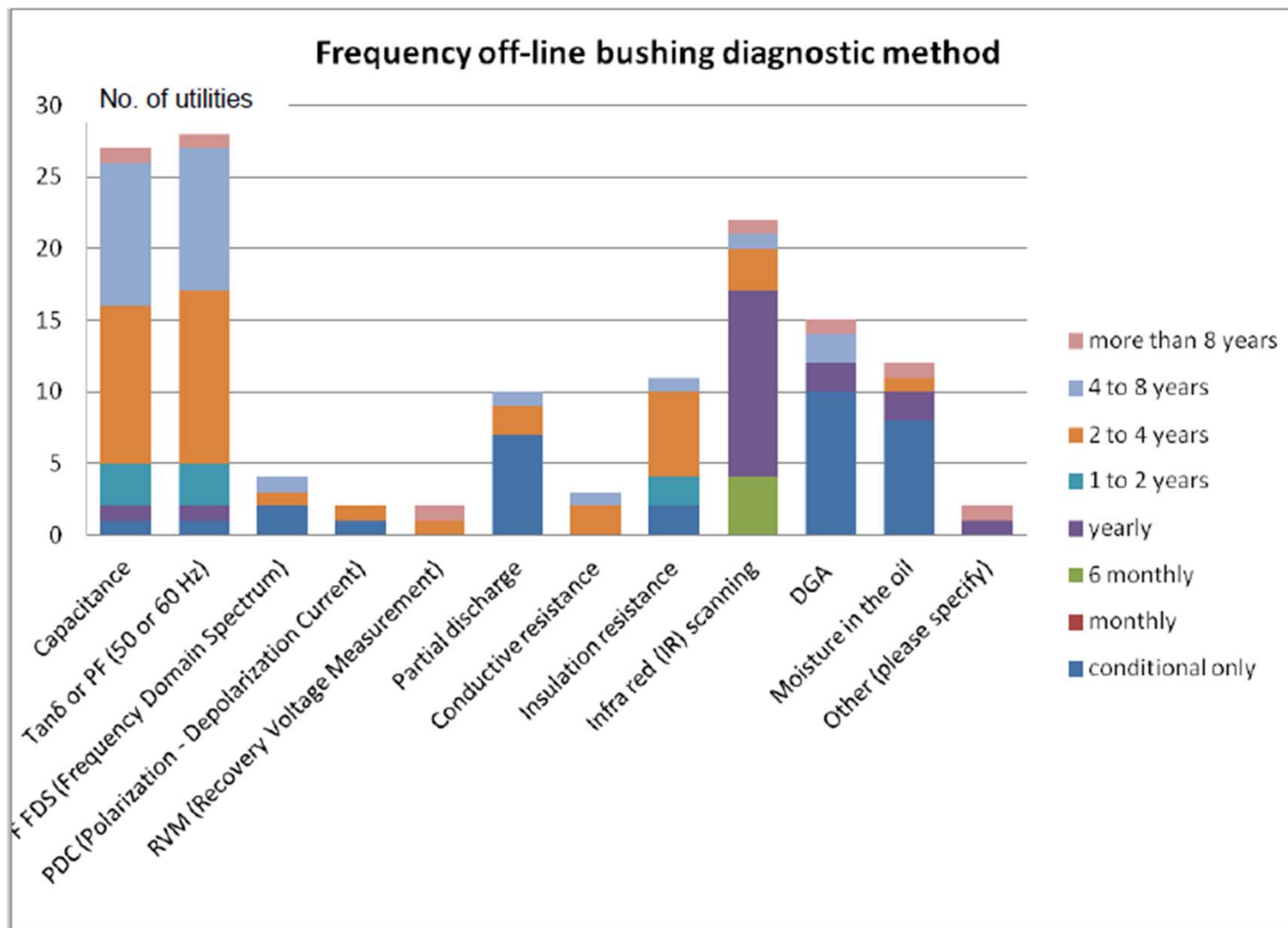
Szemrevételezés gyakorisága

Szemrevételezéssel az átvezetők 55%-a havonta ellenőrzésre kerül, éves gyakoriság pedig 87%. 31 szolgáltatóból 4 különböző fesz szinteken más-más gyakoriságot használ.



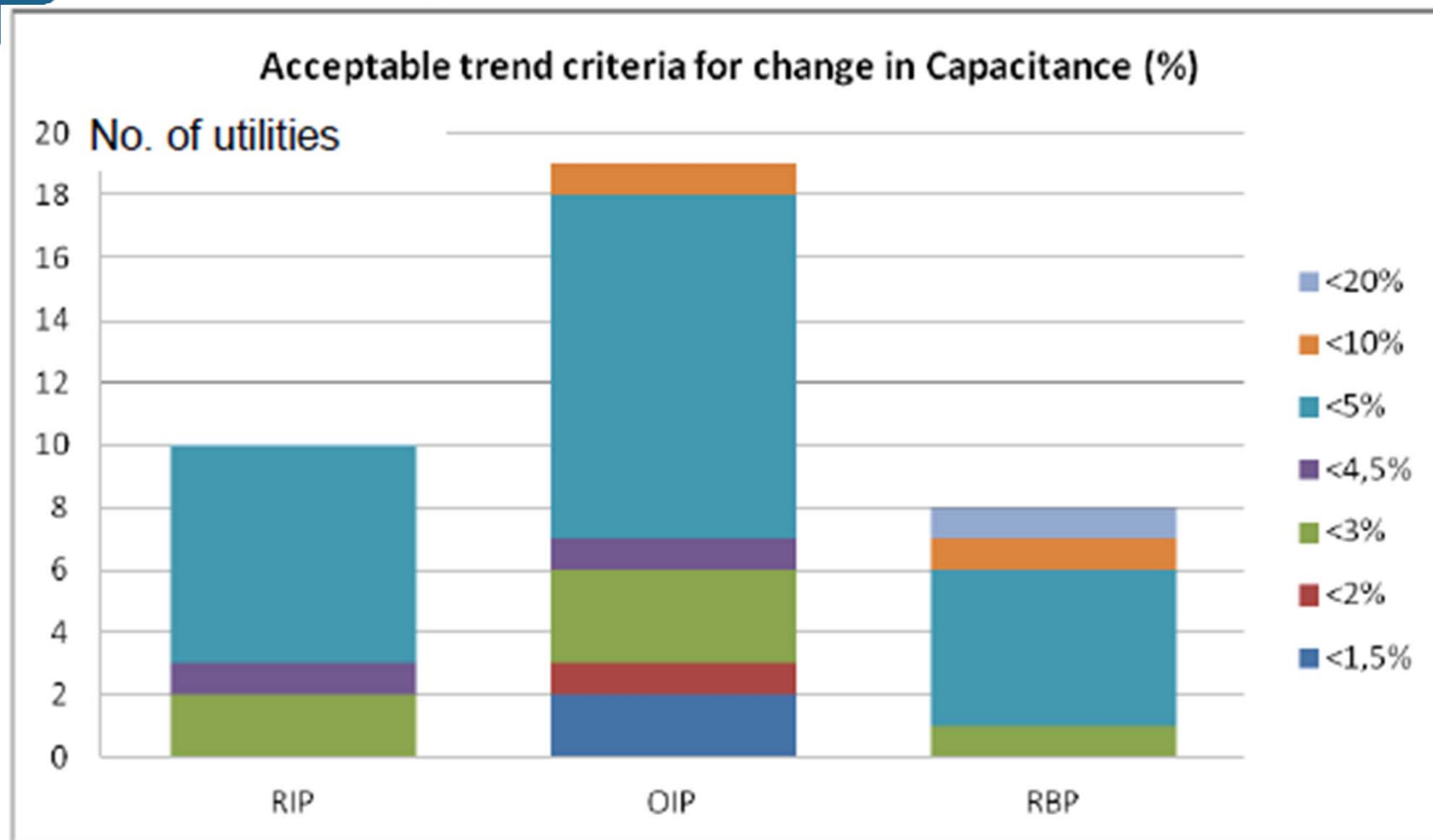


OFFLINE átvezető diagnosztikai módszerek gyakorisága



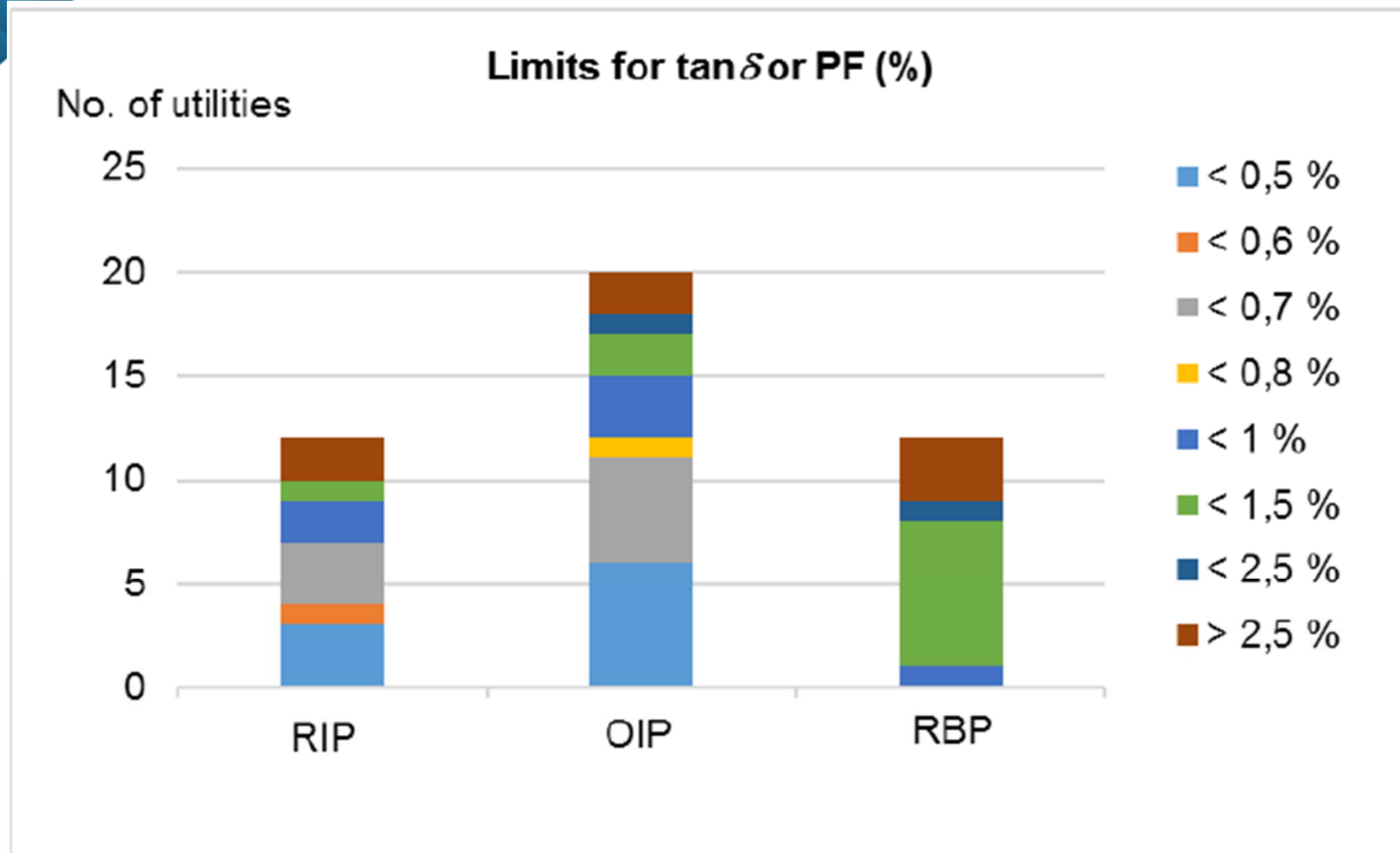


Átvezető kapacitás változás elfogadható szintje





Tgδ határértékek





Diagnosztika módszerek hatékonysága bizonyos hibákra

Failure mechanisms	Periodic (off-line) diagnostic methods and effectiveness	Continuous (on-line) diagnostic methods and effectiveness
Mechanical		
Seismic Disturbance	VI (H to M)	Oil pressure (H)
Vandalism	VI (M to L)	Oil pressure (H to M), C (L)
Bushing rigid connection	VI (H), $\tan\delta$ (M), C (L)	C (M) and δ (L), Oil pressure (M to L)
Electrodynamic forces on bushing transformer part	VI (M)	-
Thermal		
Gas bubble evolution	PD (M), AE (H to M)	PD (H to M), AE (H to M)
Current path and contact problems	IR (H), VI (M) $\tan\delta$ (M to L), WR (L)	IR (H), C (M), $\tan\delta$ (M to L),
Electric and dielectric		
Core cracking or delamination	C (H), PD (M), AE (H to M), $\tan\delta$ (L)	C (H), PD (H to M), AE (H to M)
Electrodes end problems	$\tan\delta$ (H to M), PD (M), AE (M)	$\tan\delta$ (M), PD (H to M), AE (H to M)
Zig Zag condenser bushings	$\tan\delta$ (H to M), PD (M), AE (M)	$\tan\delta$ (M), PD (H to M), AE (H to M)
Test tap problems	$\tan\delta$ (H to M), C (H to M), VI (M)	$\tan\delta$ (M), C (H)
Bushing end shield problems	PD (M to L), AE (H to M)	PD (M), AE (H to M)
VFT problems	PD (M), AE (M), $\tan\delta$ (L), C (M to L)	PD (M) AE (H to M), C (H to M)
Chemical, pollution and environment		
Poor sealing (moisture ingress)	$\tan\delta$ (H), VI (L)	$\tan\delta$ (M), Oil pressure (H)
Moisturizing from inside	$\tan\delta$ (L), $\tan\delta_2$ (H to M)	$\tan\delta$ (L), PD (L) AE (L),
Corrosive sulphur in OIP bushings	Oil properties (M)	PD (L), AE (L)
Small animals problem	VI (H)	-
Pollution and environment	VI (H to M), $\tan\delta$ (M)	CC (H to M)



Diagnosztika módszerek hatékonysága bizonyos hibákra

Diagnostic effectiveness marks:

- H – high: method is sensitive to the related phenomena
- M – medium: method is more or less sensitive to the related phenomena,
- L – low: results are useful but often inconclusive, other methods should be used to prove condition status

Diagnostic methods marks:

- C, $\tan\delta$ is used for bushing HV capacitance C_1 and related $\tan\delta_1$ (or PF). C_2 and related $\tan\delta_2$ are used for parameters between tap and flange
- VI: Visual inspection
- IR: Infrared scanning
- PD: Partial discharge measurement
- AE: PD qualitative registration and location by using of acoustic emission methods
- CC: creepage current
- DGA: dissolved gas analysis: only for OIP bushings
- Oil properties; Oil pressure: only for OIP bushings

Notes:

- Diagnostic effectiveness ranking is based on actual state of art and can be changed with diagnostic methods development
- Polarisation spectrum methods (PDC, FDS, RVM and their combinations) are often giving promising results. Indicative limits for 15 Hz and 400 Hz are given in table 5.2.2.2.4. and in chapter 5.2.3.
- Visual inspection is effective only if disturbance is visible and already appeared
- C, $\tan\delta$ measurement incorporate lot of modern approaches (voltage and frequency dependence, temperature correction, etc.)



RBP átvezető kapacitás változásának határértékei

RBP esetén a kapacitások nem stabil értékek, a kondenzátor testbe történő olajbehatolás miatt. Emiatt az RBP kapacitások jelentősége kisebb, mint a RIP és OIP esetében. RBP esetében a gyakorlatban az alábbi határértékek adódtak.

U_m , kV	RBP capacitance change, %
72,5	23
123	20
170	18
245	15
300	13
420	10



Szabványok határértékei és tipikus tgδ tartomány (50 Hz, 20°C)

Bushing insulation type	RBP	OIP	RIP
$\tan \delta / \%$ (new bushing, [2.1])	< 1,5	< 0,7	< 0,7
PF/% (new bushing, [2.2])	< 2	< 0,5	< 0,85
Typical values range, %	0,5 to 0,6	0,2 to 0,4	0,3 to 0,4



**tgδ relatív változásán alapuló átvezető állapot döntési táblázat
eredeti értékhez viszonyítva, referencia hőmérsékleten.**

	Bushing condition			
	1	2	3	4
OIP $\tan\delta$ relative change	up to 1,33	1,34 to 1,66	1,67 to 2	above 2
RIP $\tan\delta$ relative change	up to 1,25	1,26 to 1,5	1,51 to 1,75	above 1,76



Polarizációs spektrum mérések alkalmazása átvezető szigetelőkön (DFR: dielectric frequency response)

RVM: Recovery (return) voltage measurement

FDS: Frequency domain spectroscopy

PDC: polarisation depolarisation current

Mindhárom mérési módszer ugyanazt az polarizációt (határréteg) mérik különböző technikákkal.

RVM: visszatérő
feszültség mérés

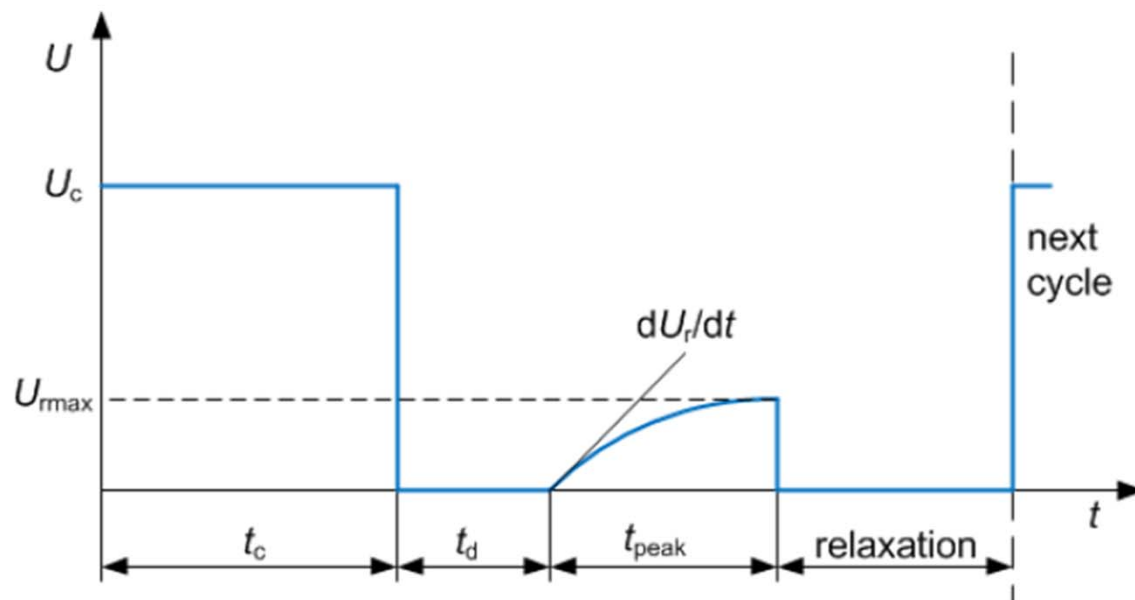
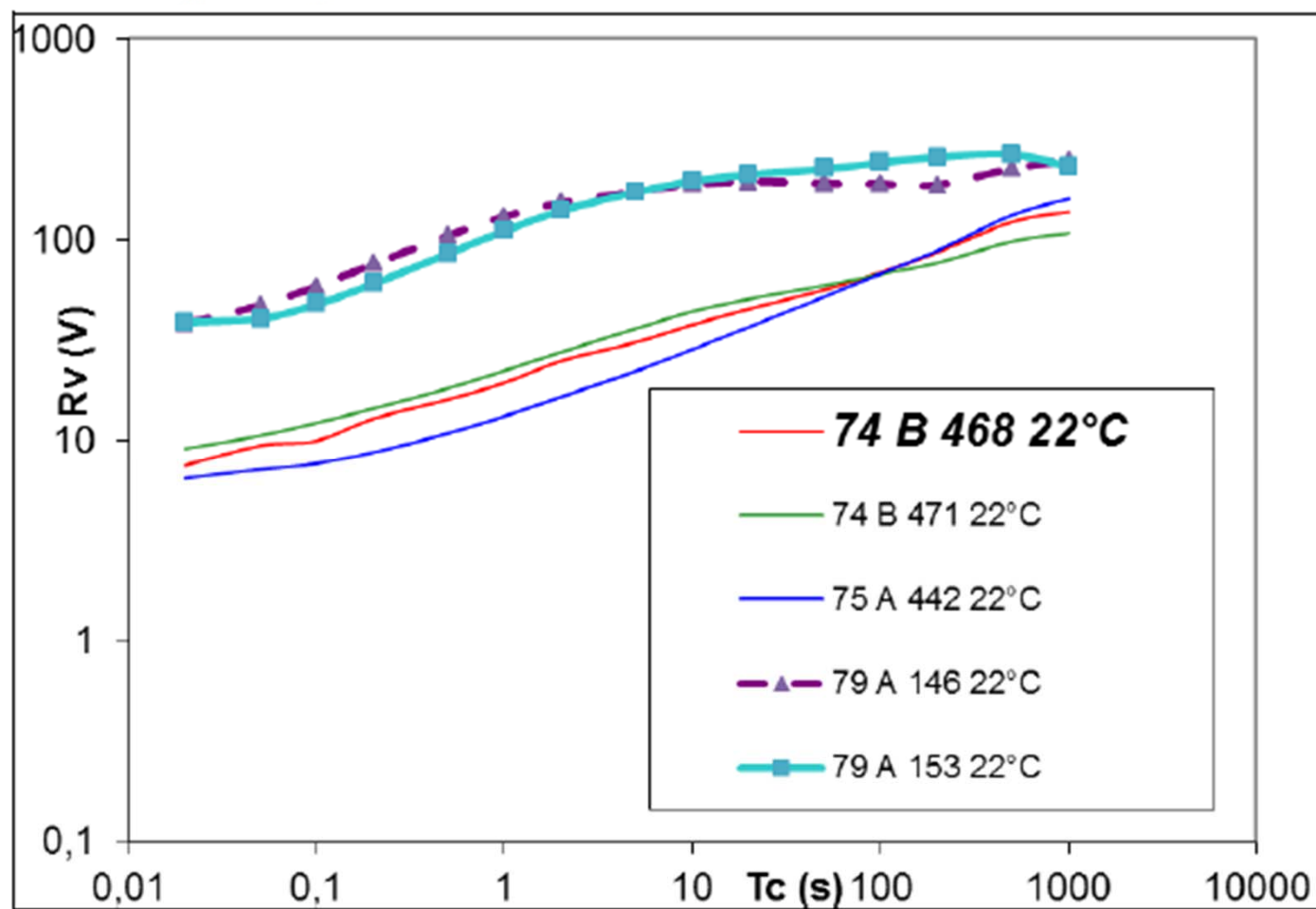


Figure 5.2.3.9: Recovery voltage measurement (RVM) sequence

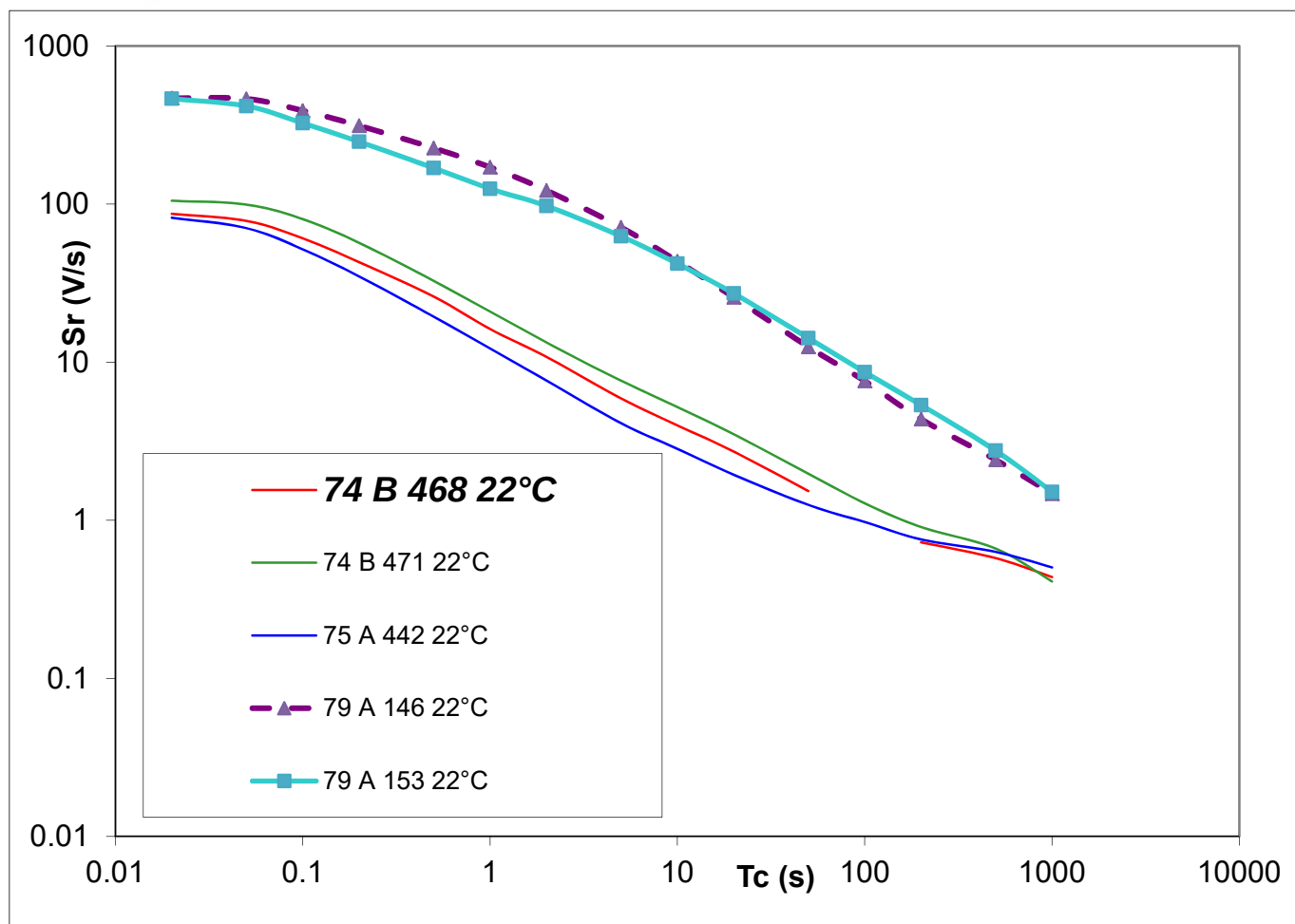


Átvezetők mérése RVM módszerrel: visszatérő feszültség maximum értékei: felső két görbe rossz állapotot jelez





Átvezetők mérése RVM módszerrel: visszatérő feszültség kezdeti meredekségei: felső két görbe rossz állapot jelez

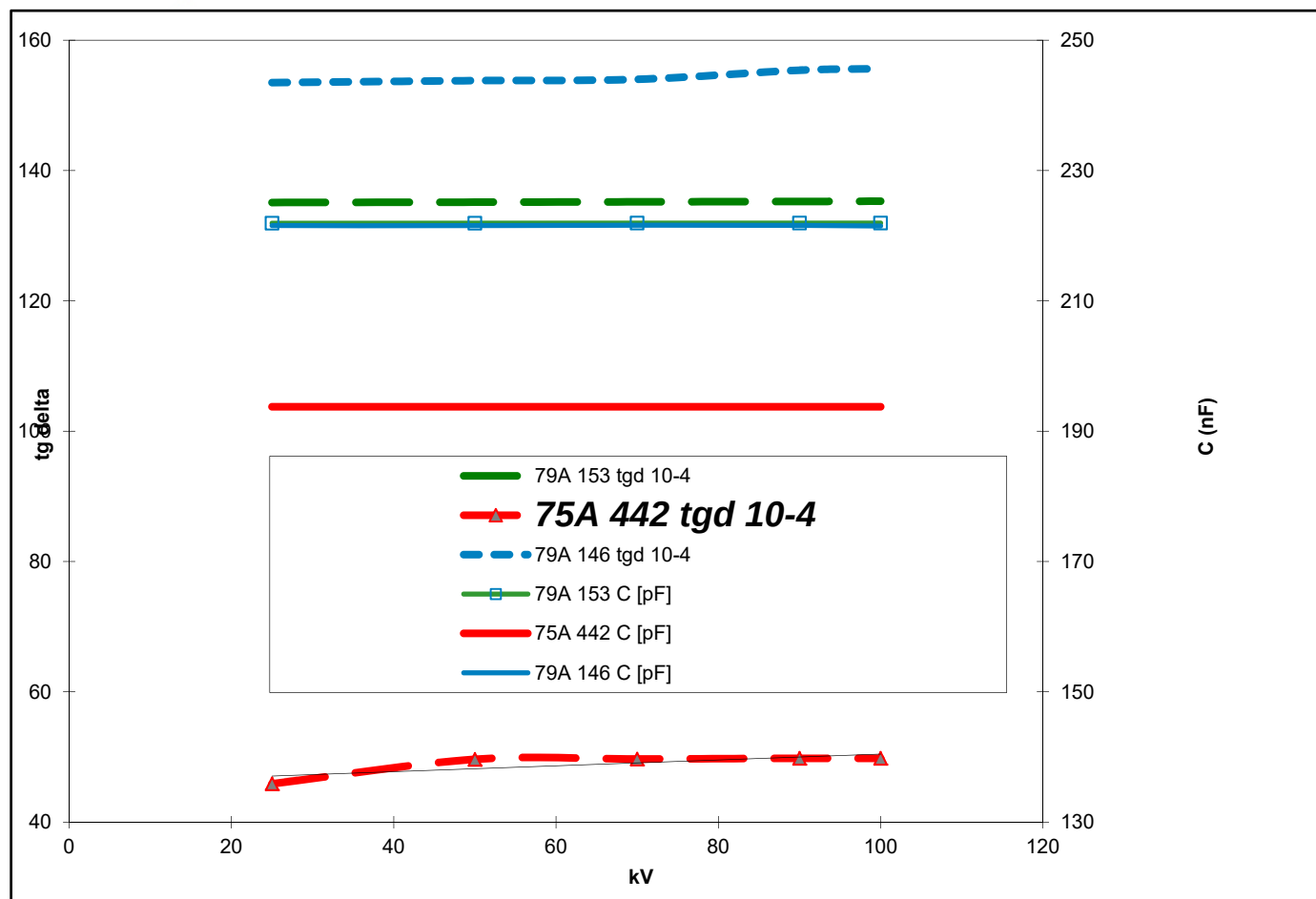




tgδ és kapacitás mérés a feszültség függvényében (25-100 kV, 50 Hz): hasonló eredmények mint RVM-nél

	79A 153		75A 442		79A 146	
kV	tgδ 10 ⁻⁴	C [pF]	tgδ 10 ⁻⁴	C [pF]	tgδ 10 ⁻⁴	C [pF]
25	135.1	221.922	45.9	193.75	153.5	221.56
50	135.15	221.927	49.65	193.756	153.8	221.57
70	135.2	221.934	49.7	193.758	154	221.58
90	135.25	221.94	49.8	193.76	155.4	221.6
100	135.3	221.948	49.8	193.76	155.6	221.5
90						
70						
50						

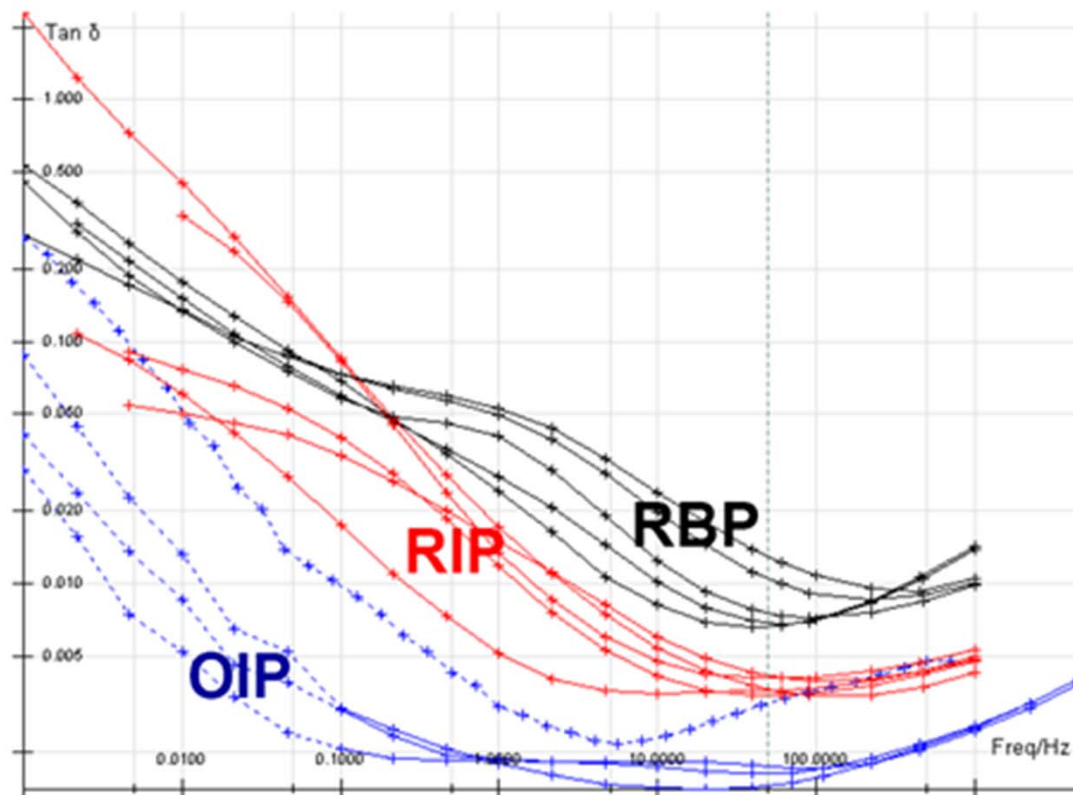
tg δ és kapacitás mérés a feszültség függvényében (25-100 kV, 50 Hz) hasonló eredmények mint RVM-nél





OIP, RIP és RBP átvezetők tg értékei FDS-el mérve

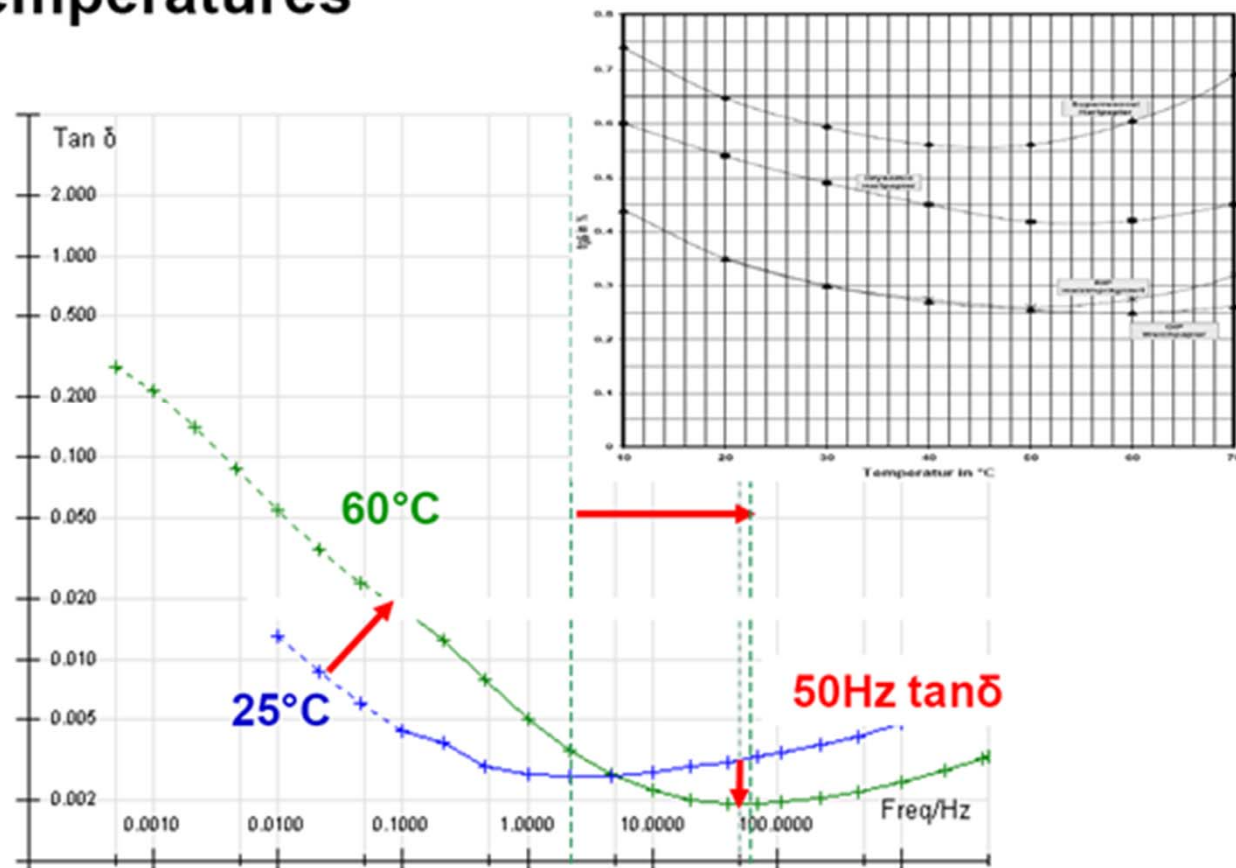
FDS Results on RIP, RBP and OIP Bushings





FDS/PDC átvezető mérés különböző hőmérsékleten

FDS/PDC on a RIP Bushing at Different Temperatures

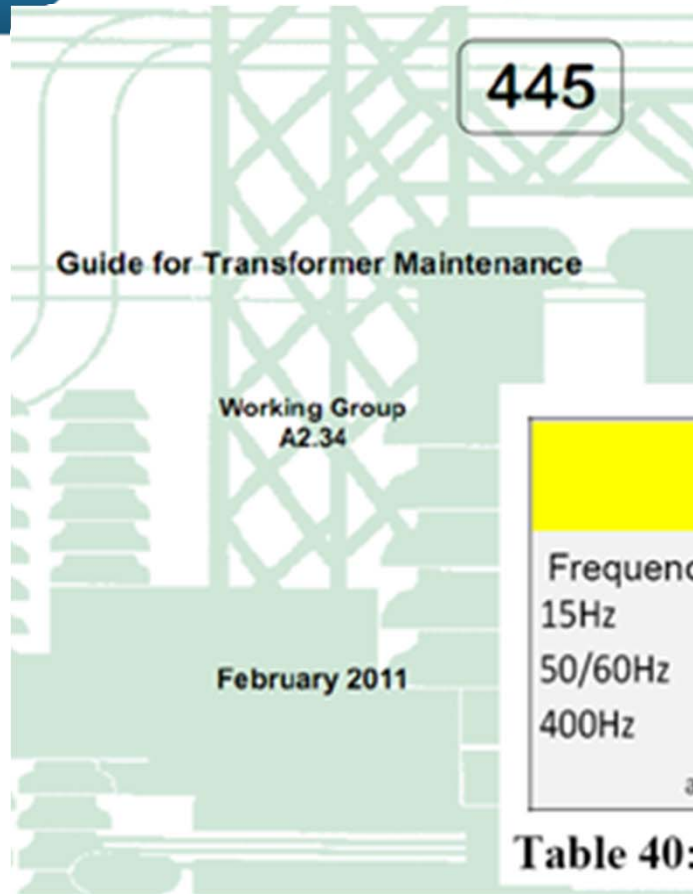


Source: G. Kopp, „Measurement of the dielectric response on HV bushings “



RIP, OIP és RBP átvezető veszteségi tényező határértékek

www.e-cigre.org



	RIP		OIP		RBP	
	Resin impregnated		Oil impregnated		Resin bonded paper	
Frequency	new	aged	new	aged	new	aged
15Hz	<0.6%	<0.7%	<0.5%	<0.7%	<0.7%	<1.5%
50/60Hz	<0.5%	<0.5%	<0.4%	<0.5%	<0.6%	<1%
400Hz	<0.6%	<0.7%	<0.5%	<0.7%	<0.7%	<1.5%
at 20°C						

Table 40: Indicative DF/PF Limit Values for Condenser Bushings



5. fejezet: átvezető (offline, periodikus) diagnosztika és online (folyamatos) monitoring.

Átvezető online monitoring

Átvezetőknél az **online** monitoring célja azonos a trafó monitoring céljával: az **átvezető hiba korai stádiumban** történő detektálása.

Erre a célra az átvezető **mérő elektródáját használják mint kapacitív feszültség osztót**: rövidre záródott potenciál vezérlő elektródák esetén nő a kapacitás.

Ugyancsak ezt az elektródát használják a **folyamatos túlfeszültség detektálására is**.

A **tulajdonos választja ki**, milyen online monitoring típusokat használ.

Online tg delta és PD mérés

Detektálható hibák: szigetelés hiba, öregedés, PD, potenciálfólia közötti átütés,

Összehasonlítva az offline méréssel az online mérést az alábbi előnye van:

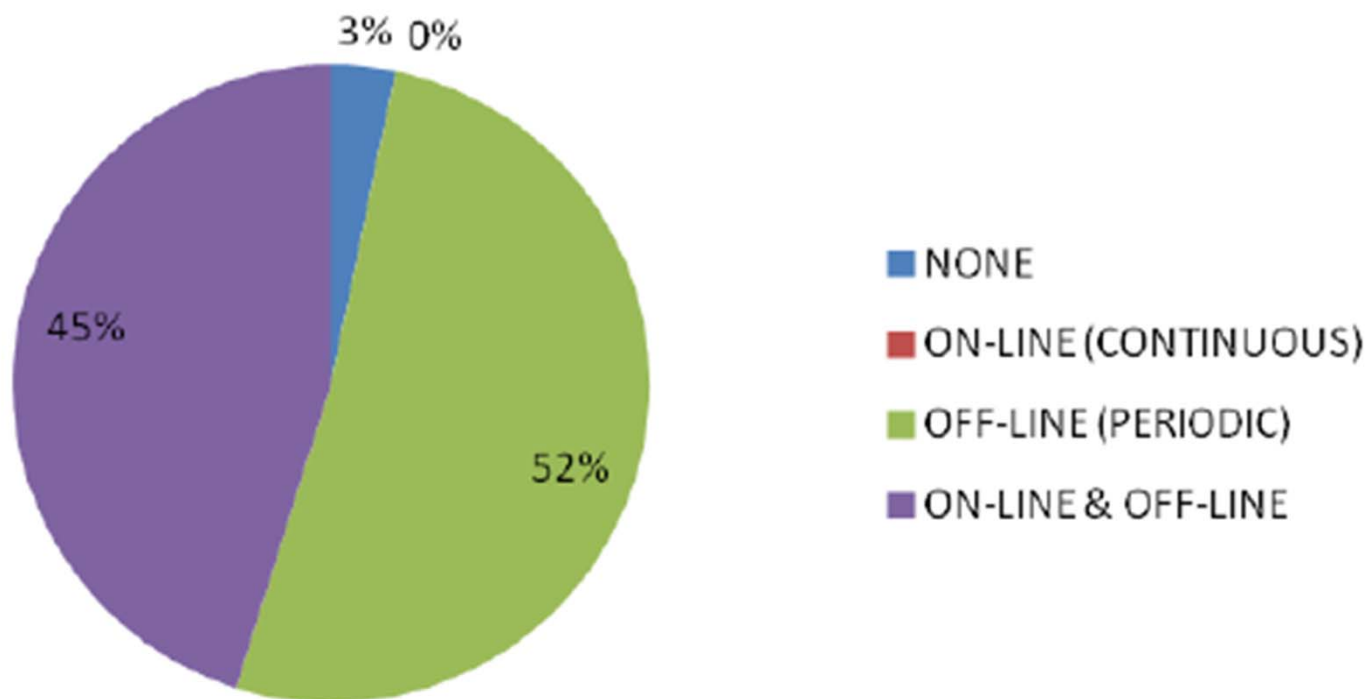
- Folyamatos mérés tg δ és PD
- Nagyon korai stádiumban felismerhető a hiba
- A tg δ és PD üzemi hőmérsékleten van mérve
- A tg δ és PD névleges feszén van mérve



Alkalmazott diagnosztikai módszerek

Meglepő a nagyszámú az együtt használt online és offline esetek együttes száma (45%)

Bushing diagnostic methods applied





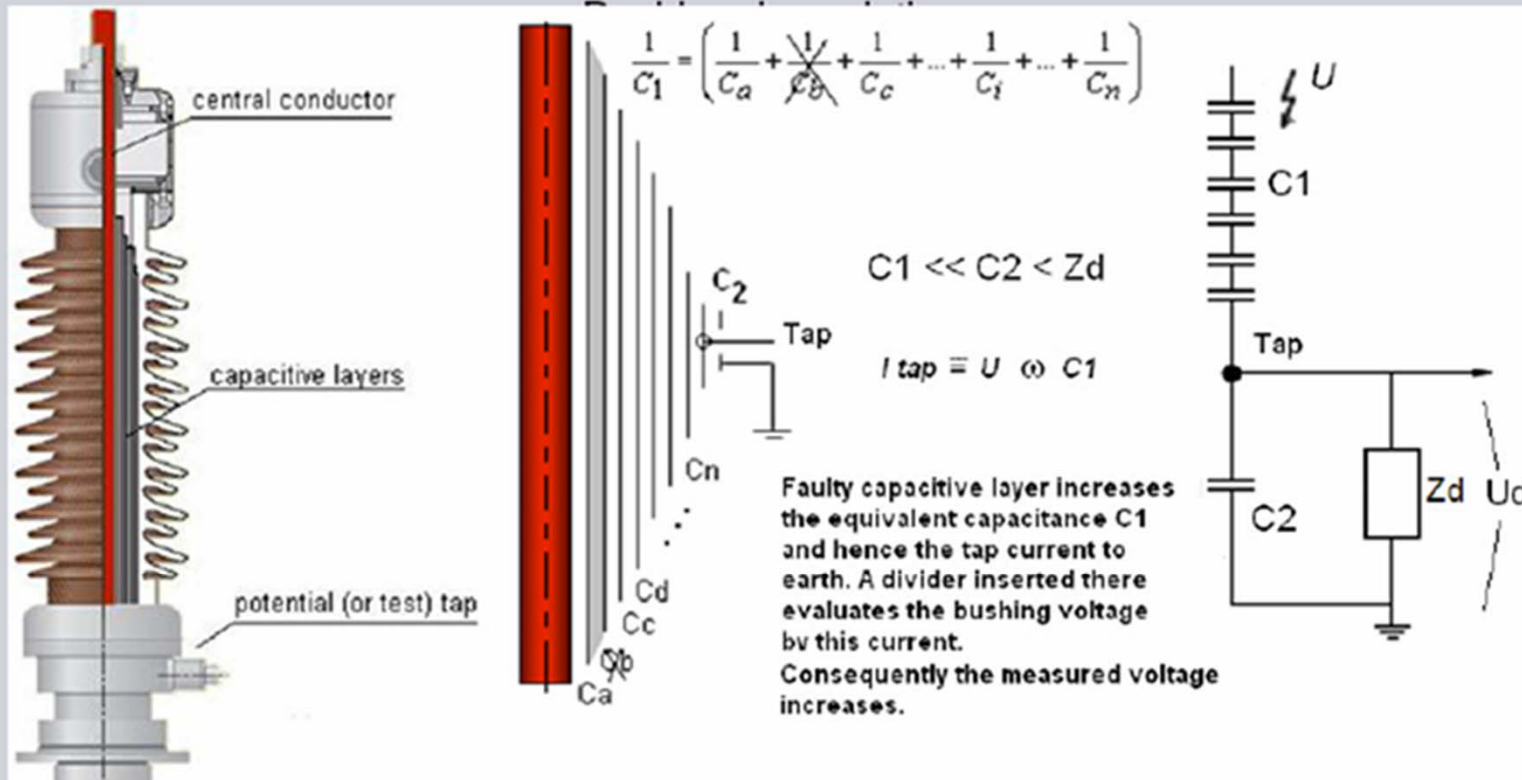
SIEMENS Transformer Monitoring and Diagnostics System

TMDS

TMDS Bushing Model

SI

Voltage [kV]	No. of layers	% change
123	14	7.1
245	30	3.3
420	40	2.5
550	55	1.8





Átvezetőre szerelhető feszültségosztó



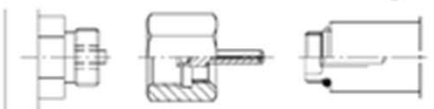


Szenzorok különböző átvezetőkhöz

SENSORS FOR DIFFERENT BUSHINGS



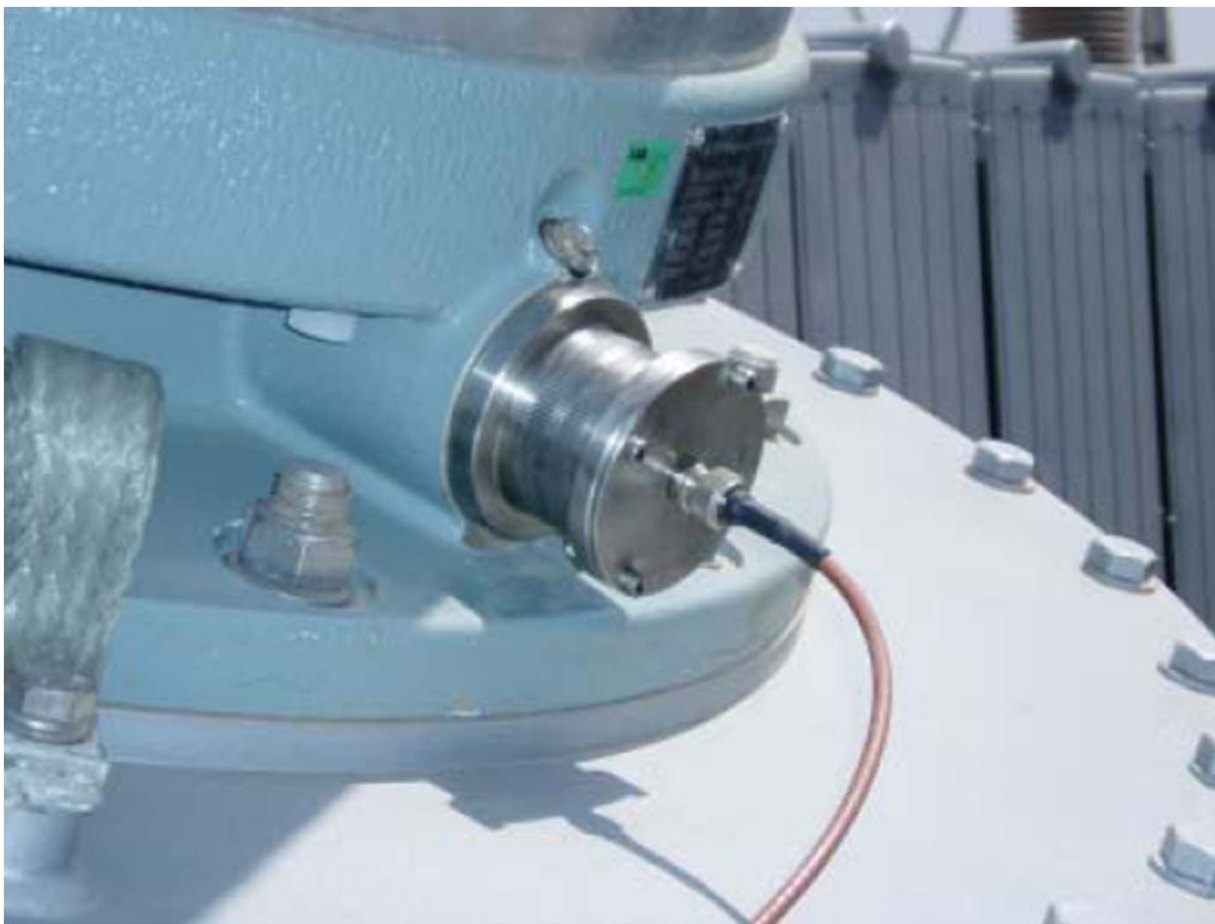
Sensor's adapter for Haefely
CRPT 245 kV bushing



Micafil WTxF
Red420kV

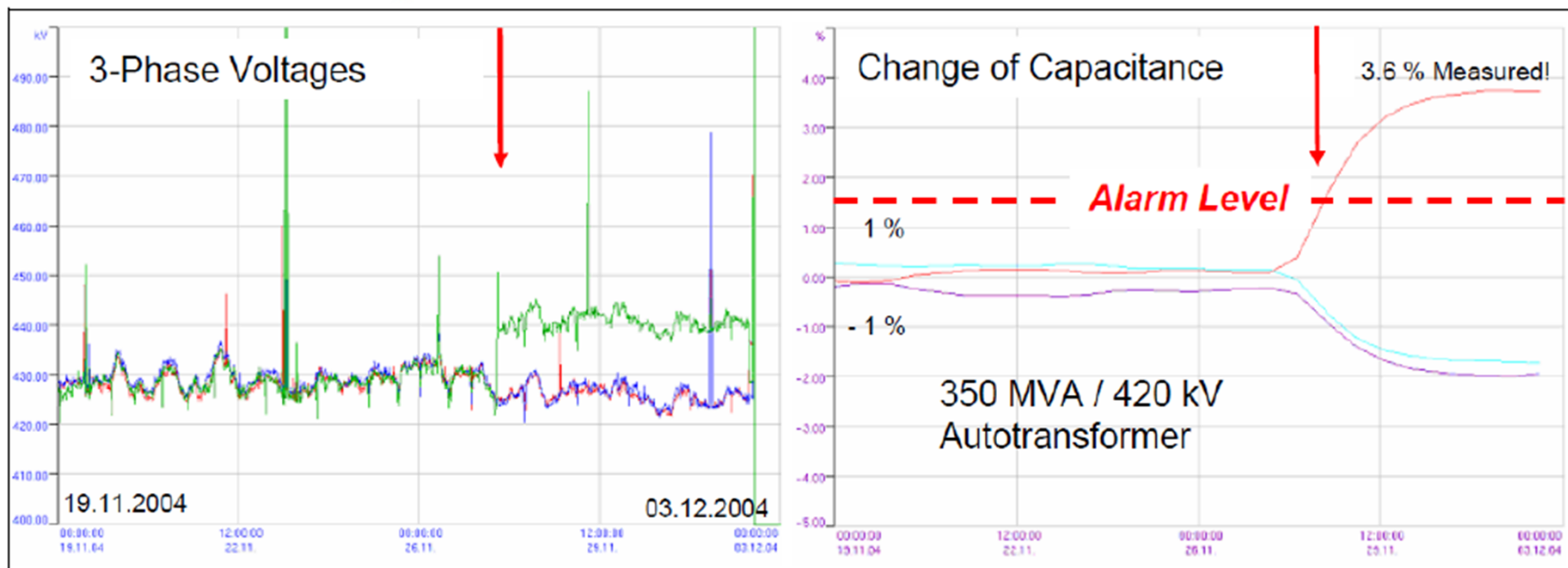


Átvezető szigetelő mérőelektrodára telepített feszültség szenzor





Átvezető mérőkapcson, mint feszültség osztón regisztrált feszültség és ebből kapacitás változás számítása.



Átvezetők tárolása

Az átvezető tárolásra vonatkozó ajánlások az átvezető típusától függenek (RBP, OIP, RIP, RIS).

Védeni kell a nedvesség behatolástól, UV, korrózió, ózon, sérüléstől, stb.

Legfontosabb: be kell tartani a gyártó ajánlásait.

Az átvezető végső soron egy kapacitás, feltöltődés lehetséges, ajánlott a rövidre zárás.

Meg kell különböztetni a rövid idejű ill. a tartós tárolást.

Rövid idő esetén ajánlatos a gyári csomagolásban tartani.

Hosszabb tárolás esetén ajánlatos függőleges helyzetben tartani,

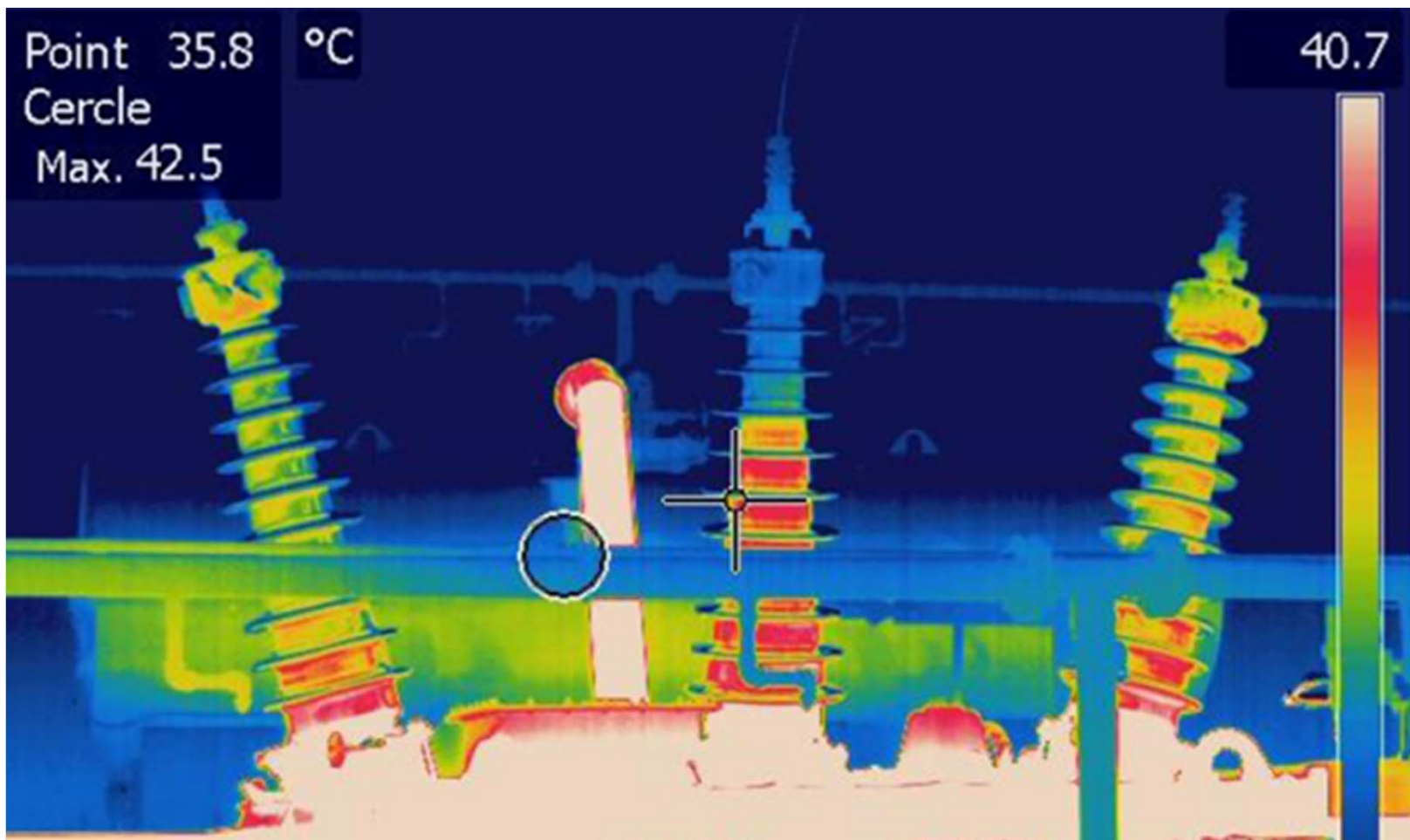


Átvezető tárolás





Hő kamerás felvétel az átvezetőkről: a középső fázisban alacsony az olajsztint. A külső atmoszférikus tényezők befolyásolhatják a mérést, ezért nem ajánlott napfényes időben csinálni. A szél is hűtheti a forró felületet (max. 20km/h szél).





Konklúziók

- Átvezető **meghibásodások** magasak (25%), gyakran okoznak tüzet.
- Sok átvezetőt kellene cserélni, nagyon **fontos a diagnosztika**,
- **CIGRE WG alakult 2010-ben**, záró tanulmány (TB) 2018-ban.

Átfogó és hiánypótló áttekintés: CIGRE WG A2.43 TB kiadása

CIGRE WG A2.43: Transzformátor átvezető megbízhatóság

**Köszönöm a
figyelmet!**





,

- b



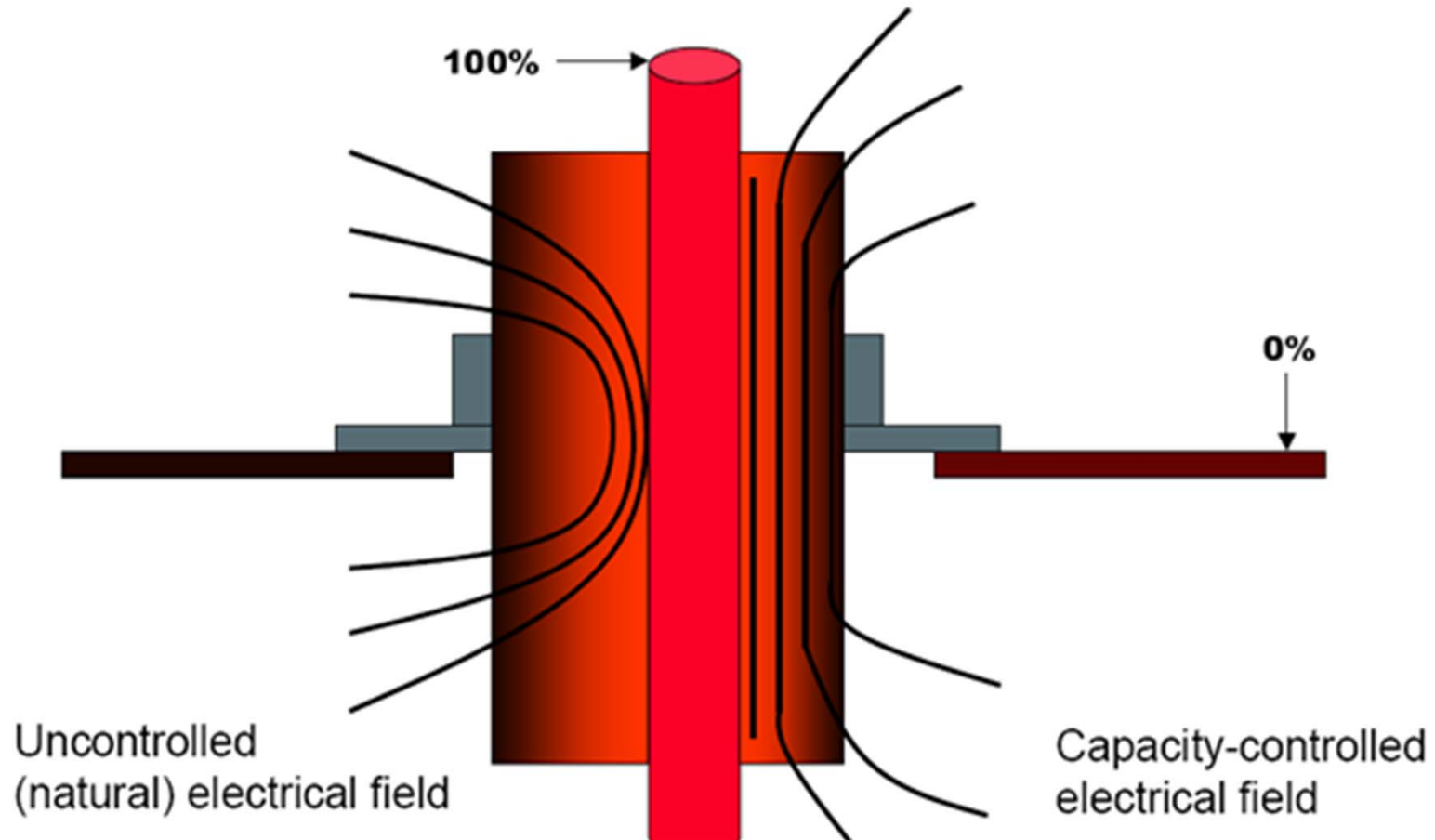
1968-1978 47.000 trafóév vizsgálata, több mint 1.000 meghibásodás elemzése: átvezetők meghibásodása a 3. helyen szerepel

Transformer parts	Failure abundance, %
Tap changers	30,6
Windings	23
Terminals (bushings)	15,6
Tank and dielectric fluid	13,6
Other accessories	14,4
Magnetic circuit	3,3



Miért szükséges potenciálvezérlés

Function of High Voltage Bushing

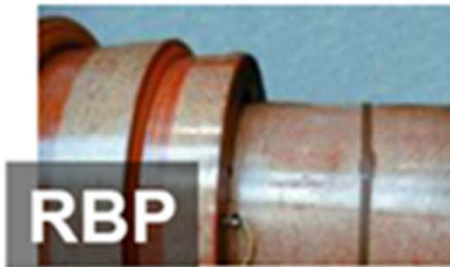




Nagyfeszültségű átvezetők szigetelési rendszere

- **RBP**: Resin Bonded Paper. gyantával ragasztott papír
- **OIP**: Oil Impregnated Paper, olajjal impregnált papír,
- **RIP**: Resin Impregnated Paper, gyantával impregnált papír

Isolation Systems of High Voltage Bushings



RBP

1913 to 1974



OIP

since 1950



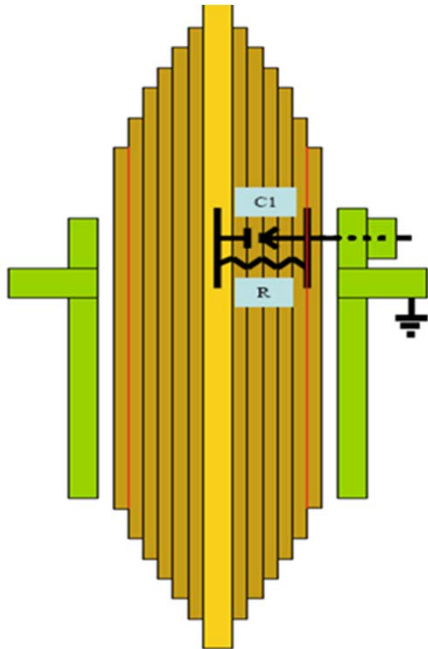
RIP

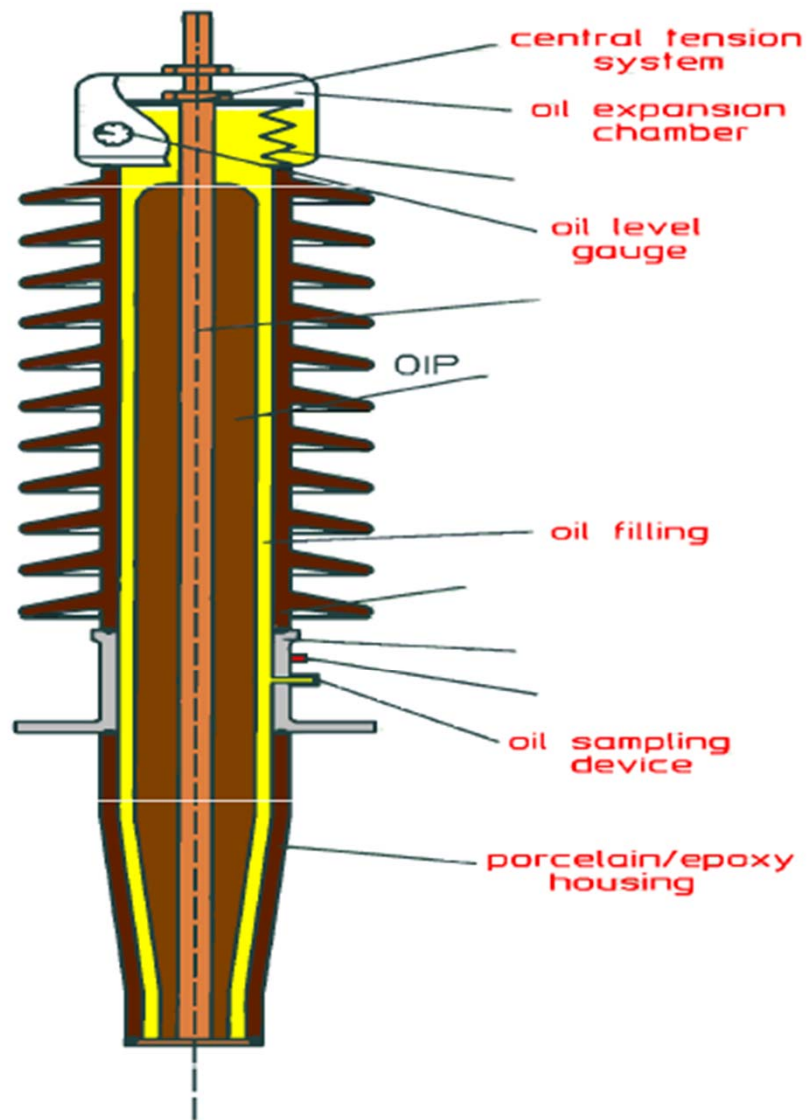
since 1960

Ez a mérőmegcsapolás **kizárólag az átvezető kapacitását és tgδ-t hivatott mérni** még akkor is, ha a trafó tekercsével össze van kötve, amelynek a kapacitása általában jóval nagyobb, mint az átvezető kapacitása.

Amikor a trafó üzemel, ez a **megcsapolás mérőműszerhez köthető**, de figyelni kell, hogy a potenciálja **földközeli legyen**. Ha nincs mérőműszer rákötve, akkor biztonságosan földelni kell. Ez a csap használható **PD mérésekre is**.

Nagy figyelmet kell fordítani a **megcsapolás állapotára**, szigetelésre, az átvezető réteghez való csatlakozásra, a leföldelés módjára, stb.. Bármilyen **lazaság ebben a körben** az átvezető sérüléséhez vezet és visszafordíthatatlan sérülést okozhat az átvezetőn.





OIP átvezető szerkezete

O il
I mpregnated
P aper



OIP, RBP és RIP átvezető gyártástechnológiáinak összehasonlítása

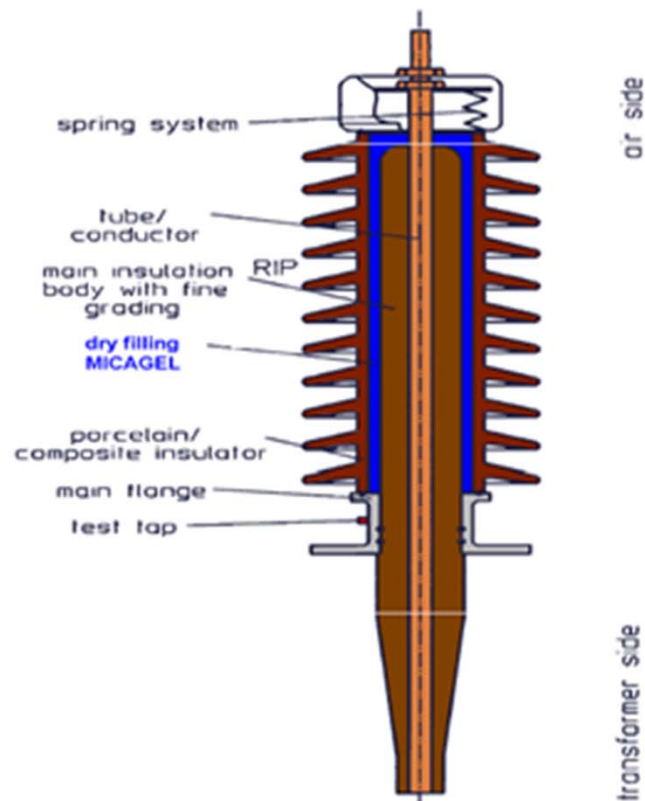
Bushings Technologies

Type	OIP Oil Impregnated Paper	RBP Resin Bonded Paper	RIP Resin Impregnated Paper
Main Insulation	paper, oil impregn.	paper, resin bonded	paper, resin impreg.
Housing cover	yes, on both sides	no	no
Oil-expansion chamber	yes	no	no
Oil-gauge	yes	no	no
Gas-tight	yes	no only oil-tight	yes
IEC 60137			
IEEE C57.19.			
Tan delta	< 0,007	< 0,015	< 0,007
PD	< 10 pC	< 250 pC	< 10 pC
	OIL FILLED BUSHINGS		DRY BUSHINGS



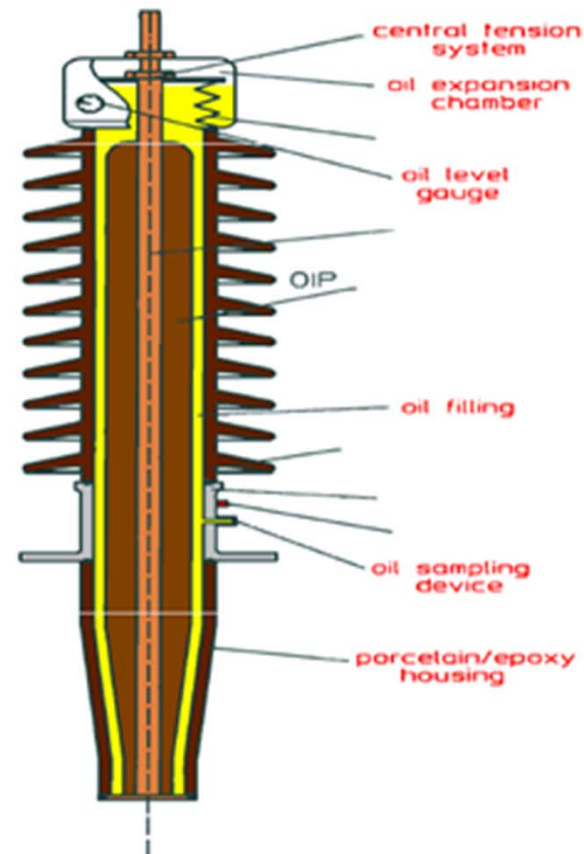
RIP és OIP technológia összehasonlítása

Bushing Technologie RIP & OIP Technology



TRANSFORMER
BUSHING

R esin
I mpregnated
P aper



O il
I mpregnated
P aper

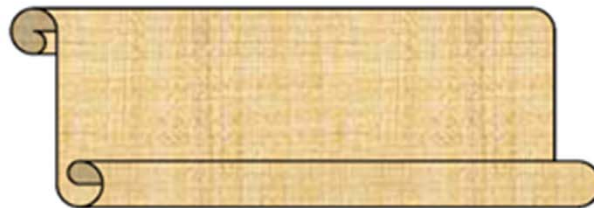


RIP átvezető gyártása

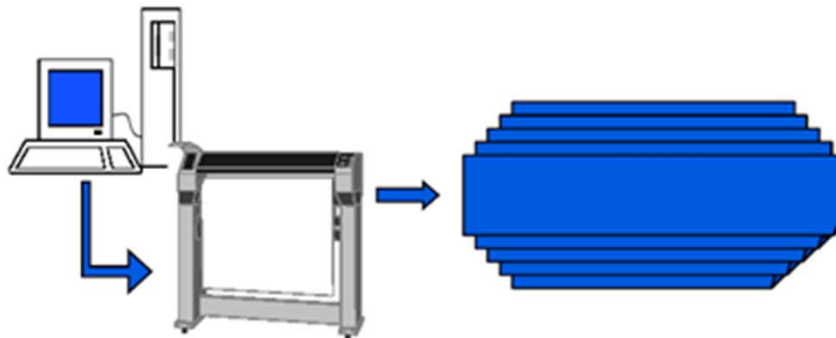
Production of R I P Bushings



Conductor:
- Al, Cu,
- solid, tube



Special
crepe paper



Aluminium
foils

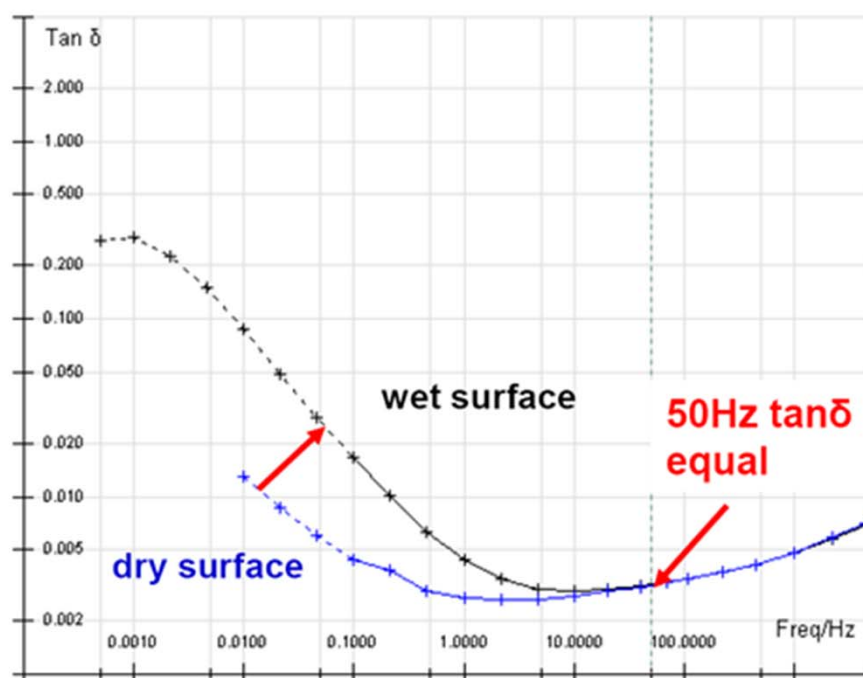




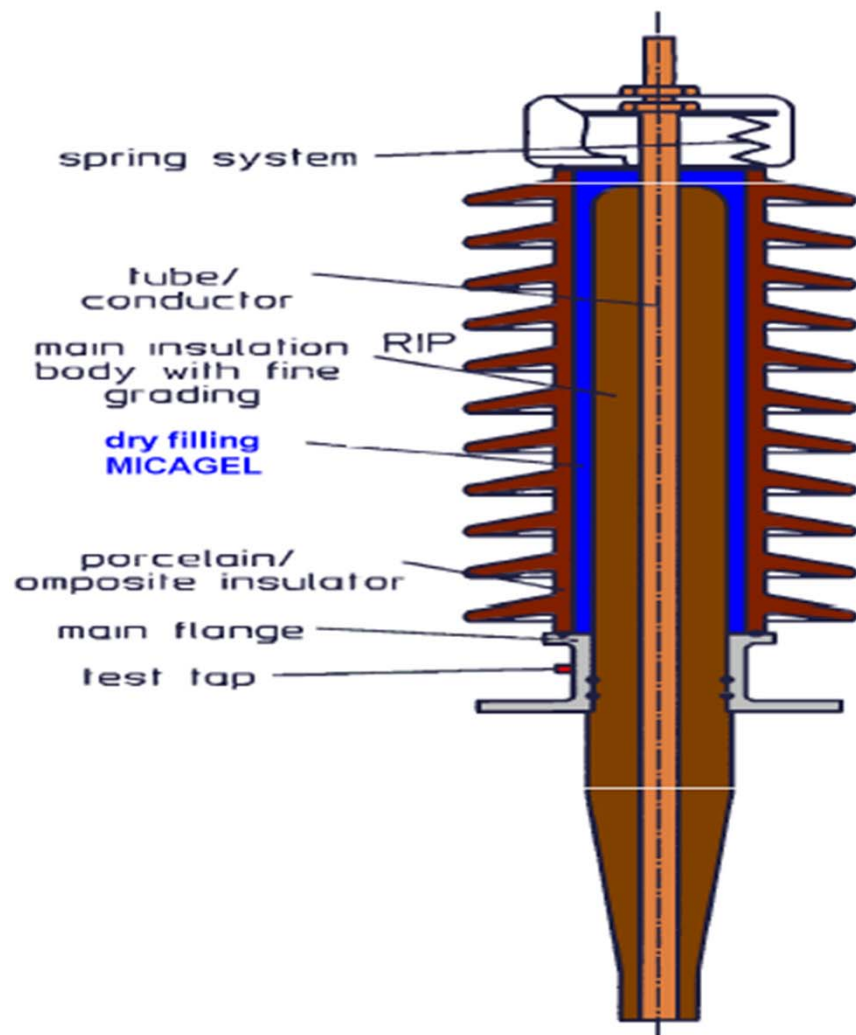
CIGRE WG A2.43: Transzformátor átvezető megbízhatóság

Átvezető tg nedves és száraz felülettel FDS módszerrel

FDS/PDC with Dry and Wet Surface



Source: G. Kopp, „ Measurement of the dielectric response on HV bushings “



RIP átvezető szerkezete

TRANSFORMER
BUSHING

R esin
I mpregnated
P aper

Mérések, diagnosztika az átvezetőn

A sikeres átvezető élettartam menedzseléshez különböző helyszíni villamos mérések használatosak:

- **Újlenyomat mérések új átvezetőn** az eredeti állapot jellemzésére
- Periodikus (rutin) vizsgálatok a **változás trendjének** követésére
- „Figyelmeztető” rendszer telepítése a hiba korai státusú jelzésre
- Vizsgálatok a hiba behatárolására

A helyszíni diagnózissal ellenőrizhető:

- A szilárd vagy folyékony szigetelés öregedése
- A szigetelőanyag villamos meghibásodása
- PD a potenciálvezérlő elektródák között
- Mérőmegcsapolás érintkezési hiba

A helyszíni vizsgálatok fő célja:

- A szigetelő olaj és szilárd szigetelés termikus öregedésének ellenőrzése
- A termikus és dielektromos hiba megkülönböztetése
- PD mérés és becslés
- A folyékony és szilárd szigetelés elnedvesedésének trendjének ellenőrzése
- Hőmérséklet
- HGA az OIP átvezetőn
- Alapmérések: kapacitás és tg mérése

A vizsgálati eredmények alapul szolgálnak a következő mérésekhez

RIP átvezető öregedése

Részleges átütések a **vezérlőrétegek** között elég ritka

Növekvő mérő **feszültséggel csökkenő tgδ** jelzés értékű a részleges átütésre

A mérő elektródához csatlakozó réteg rossz kötés, vagy a legbelső réteg a NF elektródához való rossz kötés csökkenti a tgδ növekvő fesz setén.

Részleges rétege átütésnél nő a kapacitás (n = rétegek száma, 4-7 kV/ réteg)

$$C_{új} = C_{régi} \times n / (n-1)$$

Nedvesség a RBP és RIP átvezetőben

Ha nem megfelelően tárolják az átvezetőt a papír a felületén nedvességet vehet fel.

A nedvesség növeli a tgδ-t, csökkenti az átütési szilárdságot.



Közelítő kapacitás változás két szomszédos potenciálvezérlő elektród rövidzárásakor különböző névleges feszültségű RIP és OIP átvezetők esetén (ha nincs más információ, akkor számolhatunk az elemi kondenzátorok számából is)

U_m , kV	RIP capacitance change, %	OIP capacitance change, %
52	17	11
123	7,1	4,8
245	4,2	2,7
420	2,6	1,7
550	1,9	1,3
800	1,3	0,9

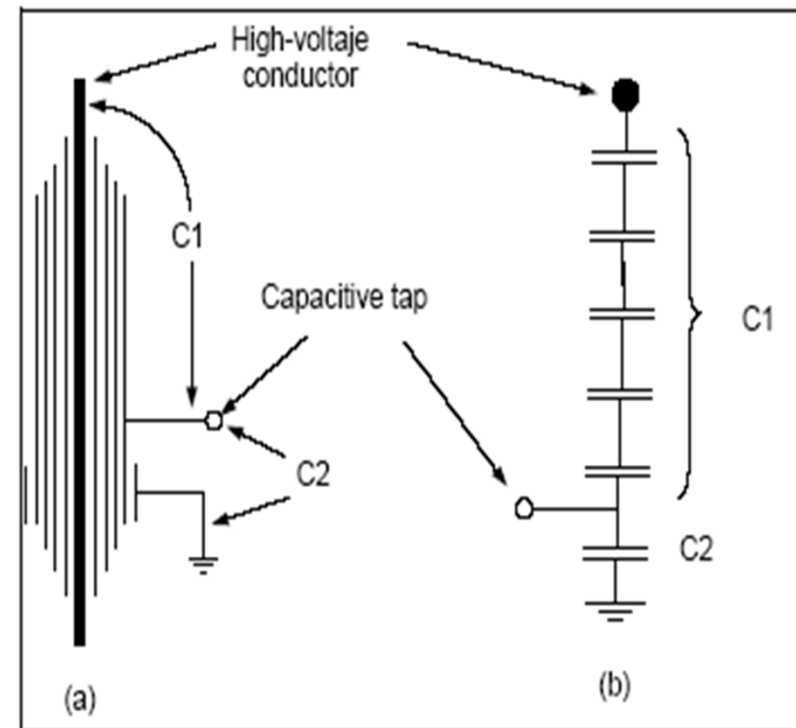


,

- **bb**

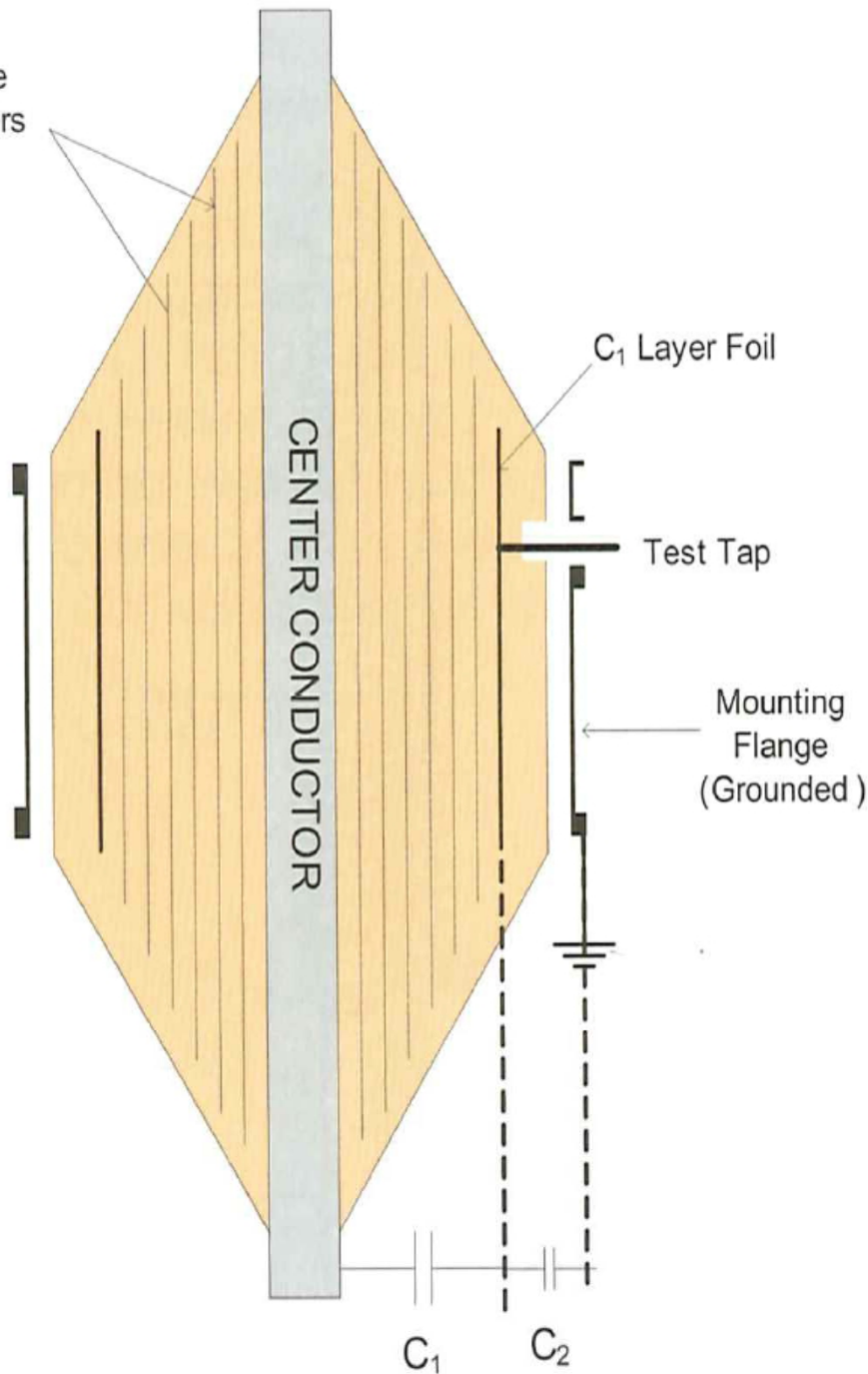
Van amikor mindkét kivezetéssel el van látva az átvezető. A **feszültség csap nagyobb méretű**. Mindkettőt földelni kell üzemben.

Kérdés: lehetne C2 is diagnosztikai célra használni, mint C1-et? Nem teljesen, mert a C2 több minden befolyásolja, C1 jobban jellemzi az átvezetőt.



A mérő ill. feszültség kivezetéseket használják **online monitoring** célra is, tehát állandóan feszültségnek ill. túlfeszültségnek van kitéve (egyébként üzemben rövidre lenne zárva).

Voltage
Equalizers

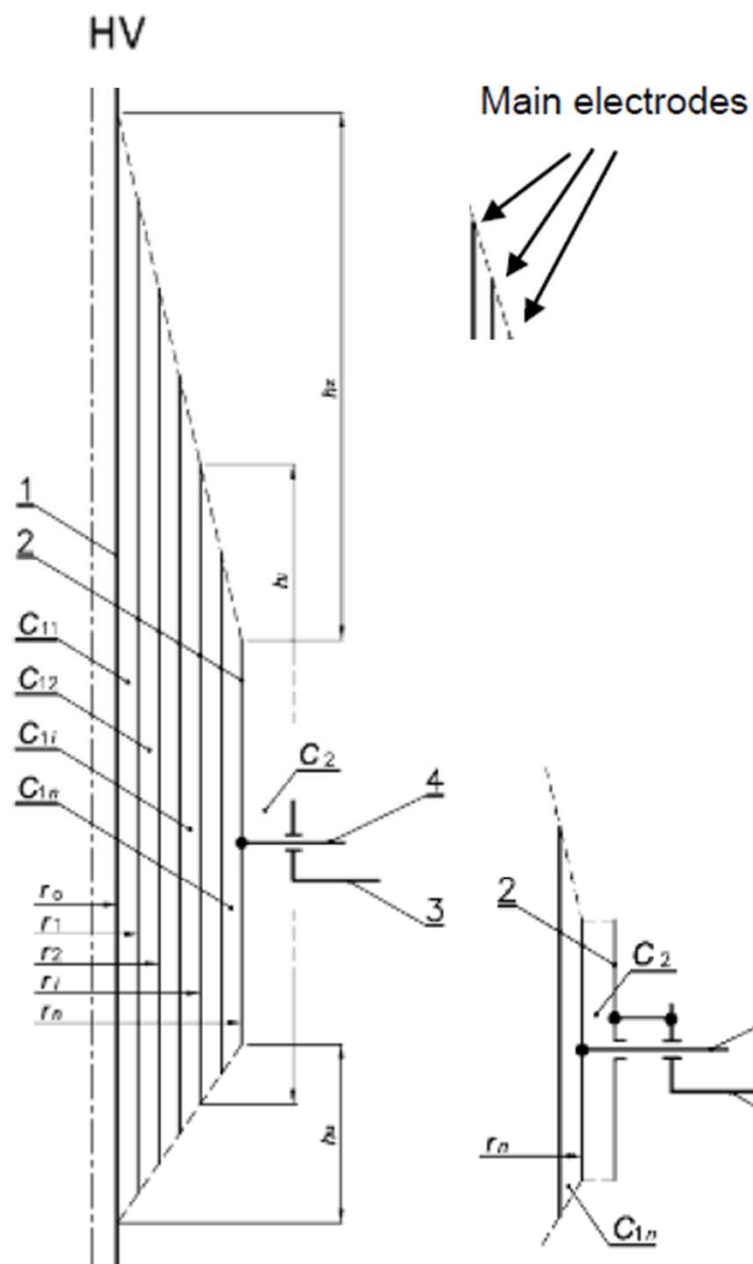


Tipikus OIP kondenzátor átvezető:

Szigetelőpapírból gyártott cső,
beágyazott alumínium fóliákkal.

Üzemben lévő átvezető szigetelése idővel változik (**elnedvesedik, öregszik, stb.**), a mérőelektrodán mért **kapacitás, tgδ hasonlóan változik.**

Diagnosztika megkönnyítésére az **utolsó réteget kivezetik** és kapacitív megcsapolás nevezik (nevezhetik **mérő vagy vizsgáló megcsapolásnak**).

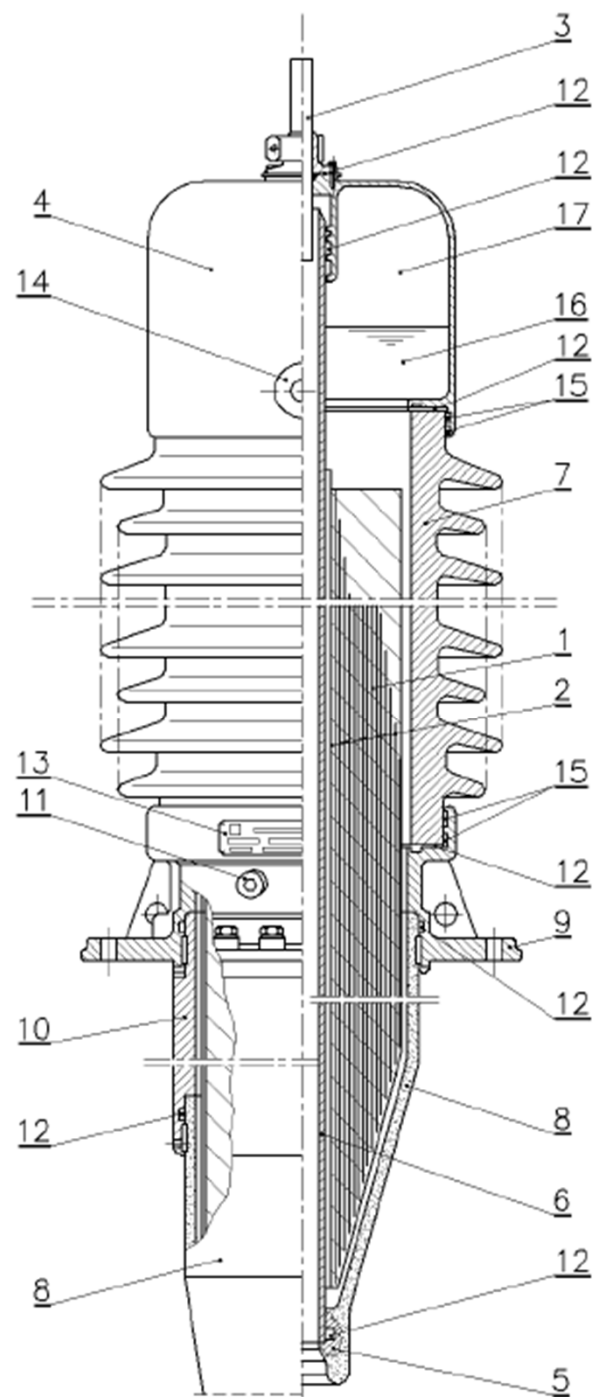


$$\frac{1}{C_1} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{1i}}$$

Kondenzátor típusú
átvezető sematikus rajza
mérő, ill. teszt csappal,

Positions and symbols:

- 1 – Central electrode
- 2 – Electrodes
- 3 – Flange
- 4 – Test/measuring/ $\tan \delta$ tap
- 5 – Voltage/potential/capacitance tap
- C_{1i} – Capacitance, i -th in line
- r_i – Radius of the i -th electrode
- h_i – High of the i -th electrode
- h_z – Air side
- h_u – Oil side
- C_1 – Condenser body capacitance (HV)
- C_2 – Test/voltage tap capacitance



OIP bushing parts:

- 1 Condenser body
- 2 Electrodes
- 3 HV connection
- 4 Head
- 5 Electrostatic screen
- 6 Central tube
- 7 Upper envelope
- 8 Lower envelope
- 9 Flange
- 10 Flange extension
- 11 Test tap
- 12 Gaskets
- 13 Nameplate
- 14 Oil gauge
- 15 Binding material
- 16 Insulating oil
- 17 Oil expansion part

**OIP átvezető
részei**



