

Szemponatok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

Edward Gulski

Delfti Műszaki Egyetem, Nagyfeszültségű Technika és Menedzsment
Hollandia

A módszertan az alábbi partnereinkkel együttműködve került kifejlesztésre:

Seitz Instruments AG, Svájc
Haefely Test AG, Svájc
NUON InfraCore, Hollandia

Szempontok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

TARTALOM

⇒ Általános szempontok

2. A kábelszigetelés romlása

3. Befolyásoló tényezők

4. Diagnosztikai eszközök kiválasztása

5. Következtetések

Szempontok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

TARTALOM

⇒ Általános szempontok

2. A kábelszigetelés romlása

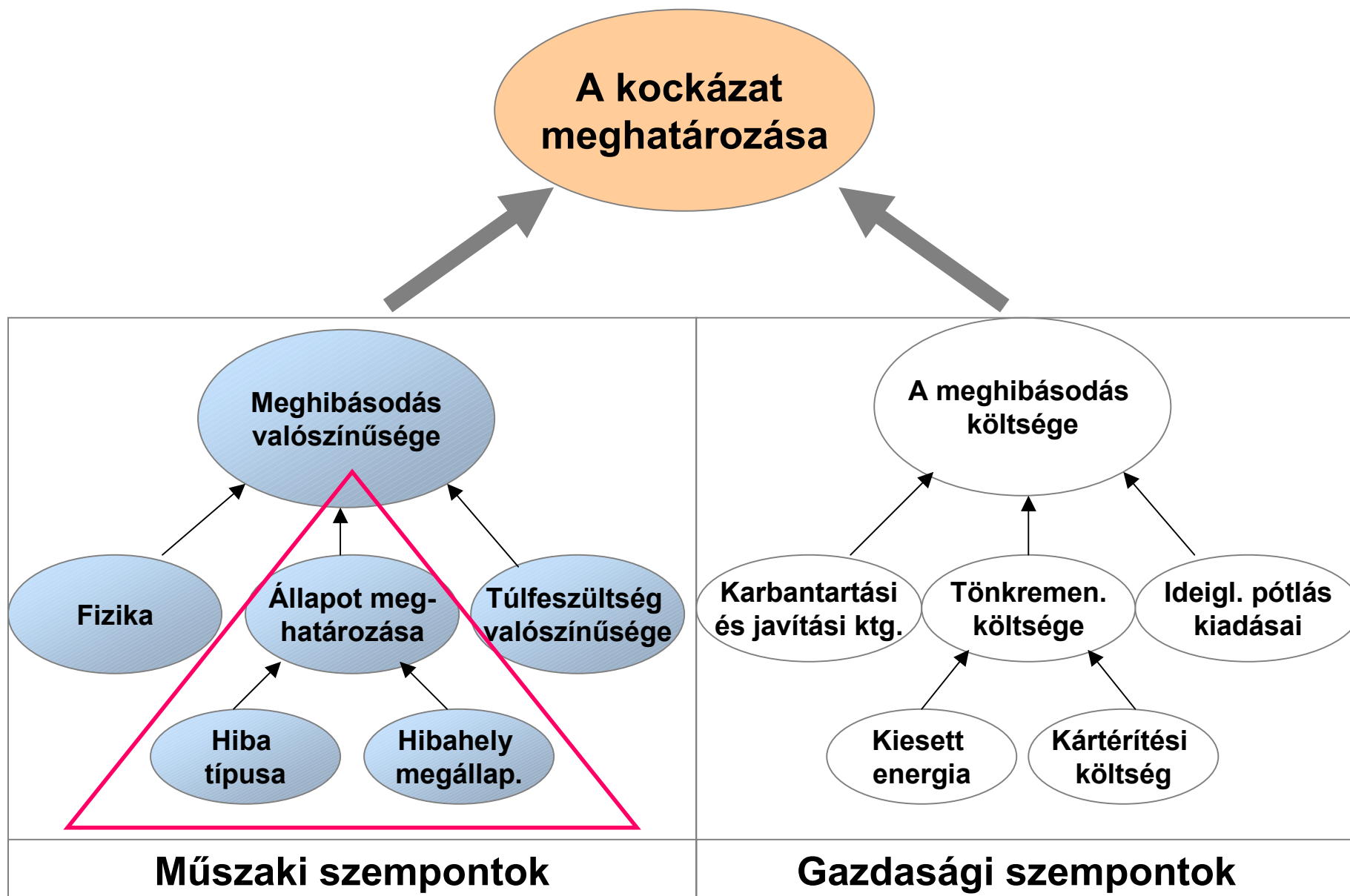
3. Befolyásoló tényezők

4. Diagnosztikai eszközök kiválasztása

5. Következtetések

A hálózati vagyon karbantartási stratégiái

- ⇒ **Üzemzavarvezérelt karbantartás (CM)**
 - ⇒ (beavatkozás csak hiba esetén)
- ⇒ **Idővezérelt karbantartás (TBM)**
 - ⇒ (megelőző karbantartás rögzített időszakokban)
- ⇒ **Állapotvezérelt karbantartás (CBM)**
 - ⇒ (megelőző karbantartás az aktuális állapottól függően)
- ⇒ **Megbízhatóságközpontú karbantartás (RCM)**
 - ⇒ az elem (vagyontárgy) rendelkezésre állásának fontossága határozza meg a karbantartás ütemezését



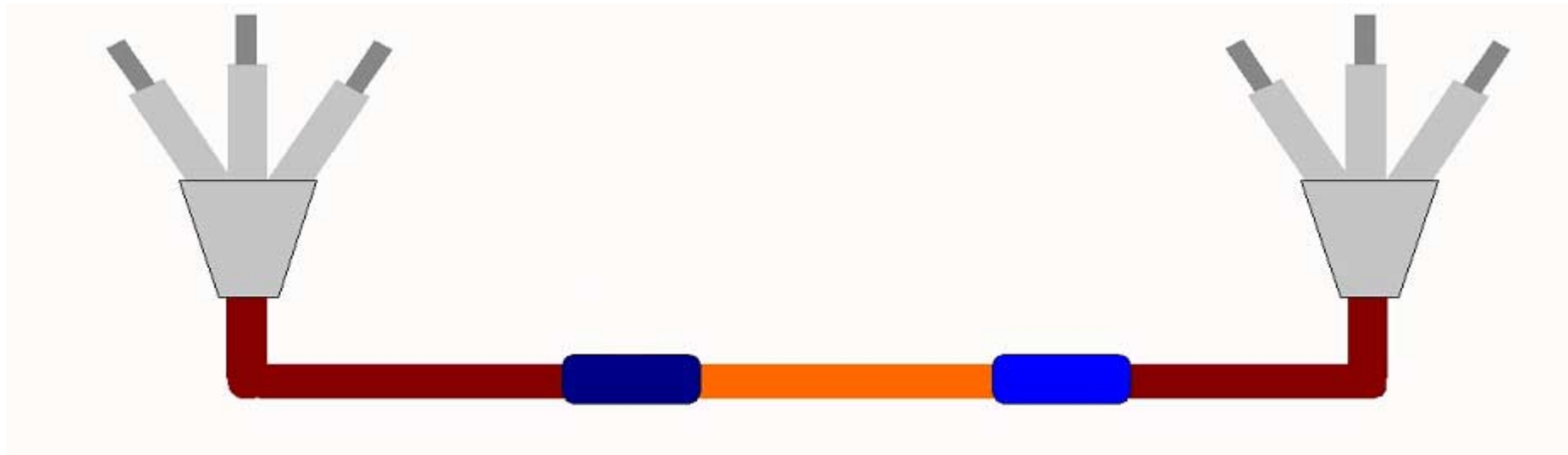
Az erősáramú kábelek szigetelési problémái

⇒ a közép feszültségű kábelhálózatokon előforduló meghibásodások 50 %-a szigetelési problémákból adódik;

⇒ A szigetelési problémák különböző eredetűek:

- új kábelek: összekötő és végelzáró hibás szerelése,
- üzemelő kábelek: a kábelszigetelés leromlása,
- üzemelő kábelek: összekötők és végelzárók leromlása;

Erősáramú kábelhálózatok



Kábelszakasz:

- Kábel
- Összekötők
- Végelzárók

- Különböző típusok
- Különböző életkor
- Különböző múlt

Az állapot megítélése

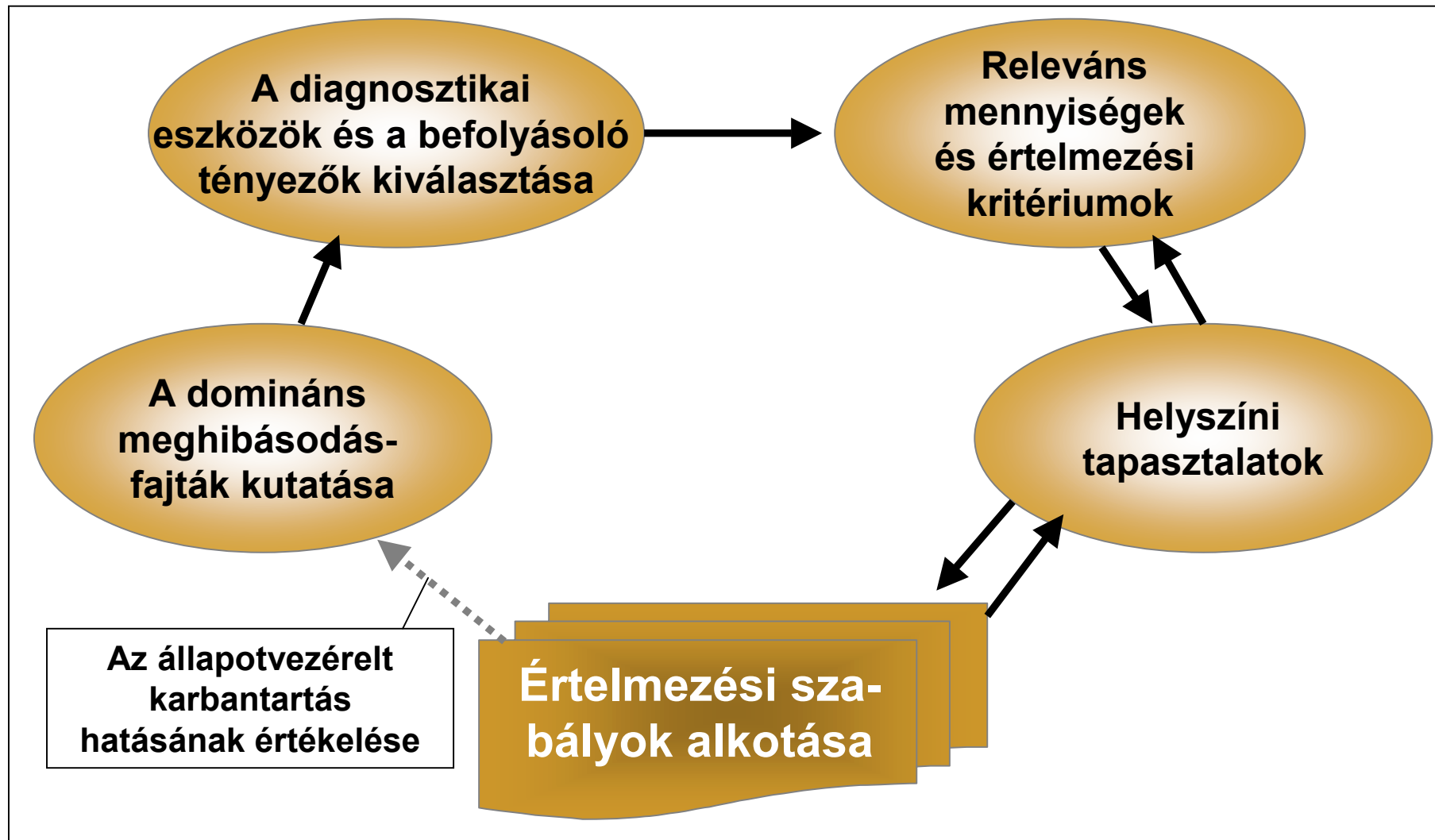
⇒ Az adott romlásra jellemző mely jelenséget lehet megfigyelni ?

⇒ Mely módszert/diagnosztikát kell használni ?

⇒ Hogyan folyik le és hogyan függ a romlás az üzemidőtől és az üzemi körülményektől?

⇒ Mi a aktuális meghibásodás mechanizmusa ?

Értelmezési szabályok alkotása az állapotvezérelt karbantartás támogatásához



Szempontok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

TARTALOM

⇒ Általános szempontok

2. A kábelszigetelés romlása

3. Befolyásoló tényezők

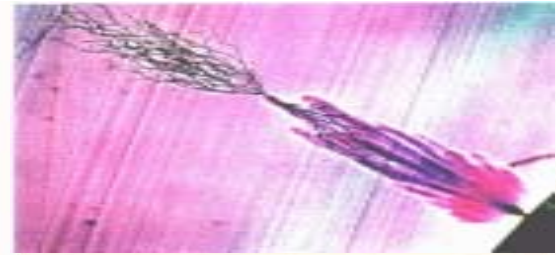
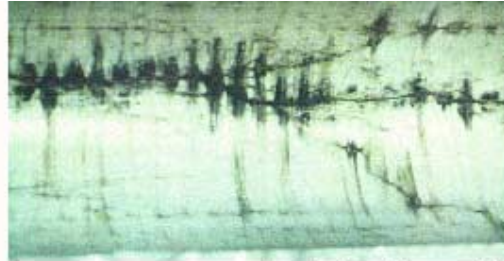
4. Diagnosztikai eszközök kiválasztása

5. Következtetések

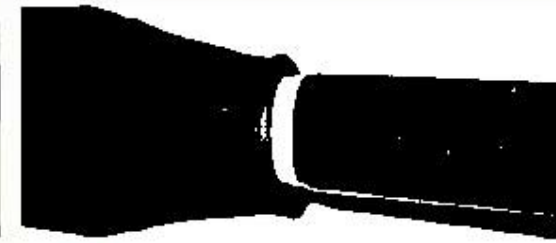
Erősáramú kábelek szigetelési hibái



Összekötő öregedése



Kábelszigetelés öregedése



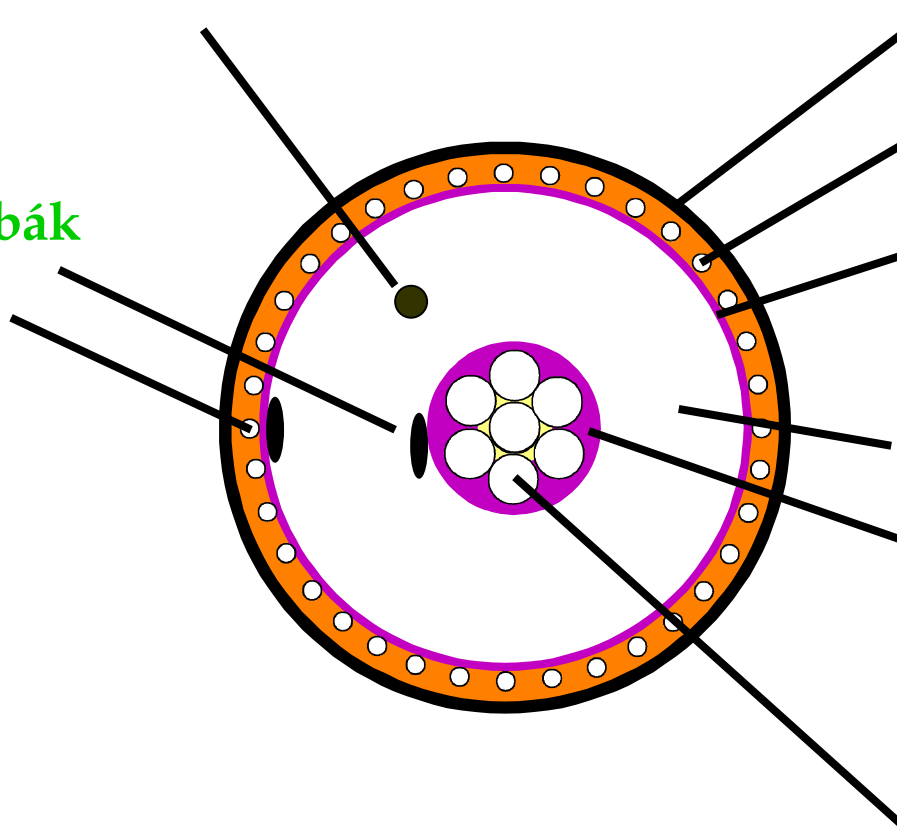
Rossz szerelés

Végelzáró öregedése

Az öregedés jelenségétől függő üzemi állapot

Belső hibák kisülései:
szennyeződések, üregek,
treeing

Felületi hibák
kisülései



Víz behatolása

Az árnyékolás korróziója

Csatlakozási felület
öregedése

Tree kialakulása

Elektrokémiai
elváltozások a belső
árnyékoláson

Mechanikai igénybevétel
és vezetők érintkezési
korróziója

A különböző típusú erősáramú kábelkomponensek tipikus szigetelési hibái		
Kábeltípus	Szerelvények	Szigetelés
Olaj- papír	Alacsony olajsztint	Sérült külső pácélozás
	Éles sarkok az érintkezőkön	Kúszókisülés
	Nedvesség behatolása	Belső sérülés (hajlítás eredményeként)
	Lég-/gázbuborékok	
	Rosszul megkeményedett műgyanta	
XLPE	Éles sarkok az érintkezőn	Sérült külső pácélozás
	Nedvesség behatolása	
	Lég-/gázbuborékok	
	Potenciálvezérlő réteg elmozdulása	
	Rosszul megkem. műgyanta	
	Csatlakozási problémák	
	Felhagyott félv.réteg	

Az erősáramú kábelek tipikus szigetelésromlási folyamatai

Szerel- vények	felfekvési problémák → PD → nyomhagyás; rossz keményedés → repedés PD; vezetők problémái → túlmelegedés → repedés → PD; helyi térerő koncentráció → PD
Extrudált szigetelés	vízfák → villamos treek → PD; szigetelési hiányok → felrétegződés → villamos treek → PD; helyi térerő koncentráció → PD
Olaj-papír szigetelés	olajfolyás → száraz régiók → túlmelegedés → PD; víz behatolása → terhelés hatásai → túlmelegedés → PD; helyi térerő koncentráció → PD

Tipikus hibaokok analízise

Összekötők és végelzárók:

- Éles sarkok a vezetőn (minden típus);
- Nedvesség behatolása (minden típus);
- Levegő-/gázbuborékok (Kabeldon);
- Rosszul megkeményedett műgyanta (TECE);
- Field grading movement (ABB)
- Csatlakozási problémák: rések, kiszögellések, stb. (ABB);

Kábelszigetelés:

- Sérült külső páncélozás;

Tipikus leromlási mechanizmusok és diagnosztikájuk

⇒ Vízfák kialakulása (water tree) (lassú)

Általános állapot specifikus diagnosztika:

- *Veszteségi tényező ($\tan \delta$)*
- *Visszatérő feszültség (RVM-Analízis)*
- *Isotermikus relaxációs áram (IRC-Analízis)*

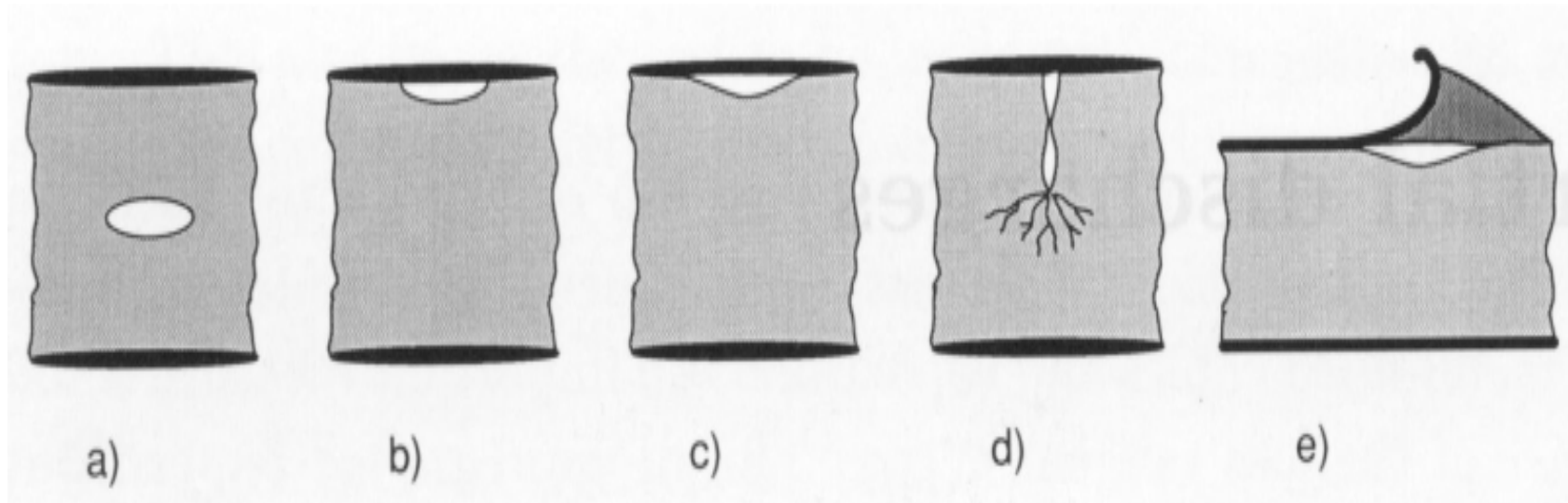
⇒ Villamos treek kialakulása (gyors)

⇒ Szigetelési hibák kisülése (lassú/gyors)

Gyengepont-specifikus diagnosztika:

- *Részleges kisülések (PD-Analízis 50(60)Hz-en, 50Hz...500Hz között OWTS-sel, 0.1Hz-en)*

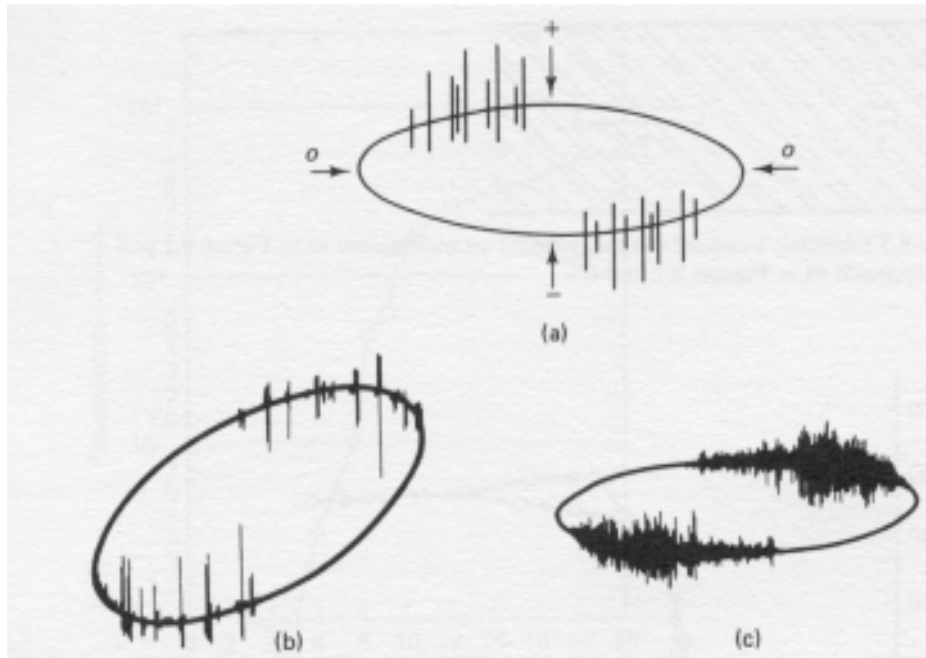
A részleges kisülések előfordulása



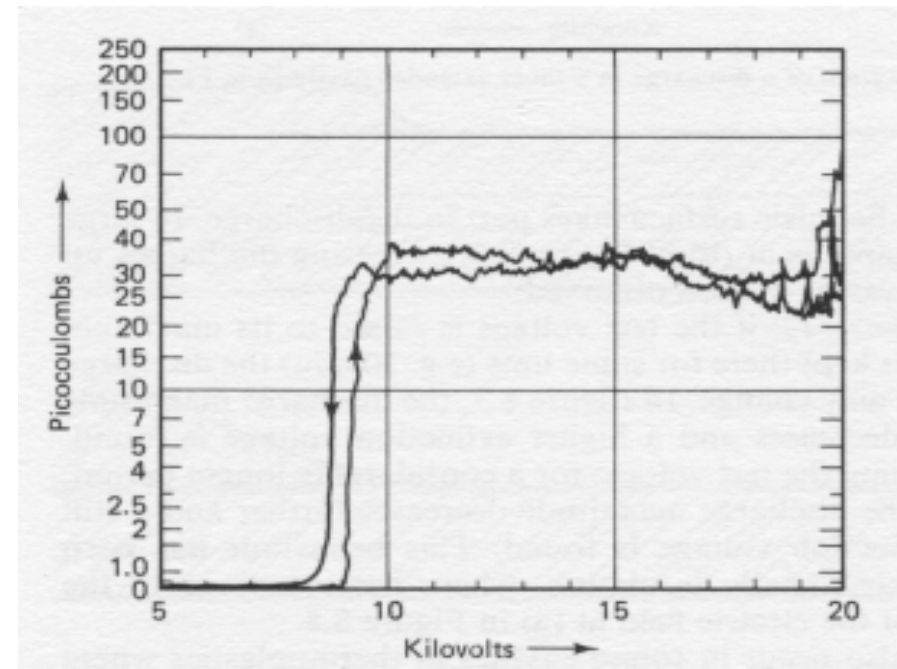
Belső részleges kisülések:

- a) teljesen körülvéve a dielektrikum által
- b) elektródához kapcsolódó üreg
- c) nem tapadó elektróda
- d) treeing által kezdeményezett
- e) hosszanti villamos térrel kapcsolódó

[Cigre, 1969]



A részleges kisülések
igen érzékenyen jelzik a
szigetelési problémákat.



Szempontok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

TARTALOM

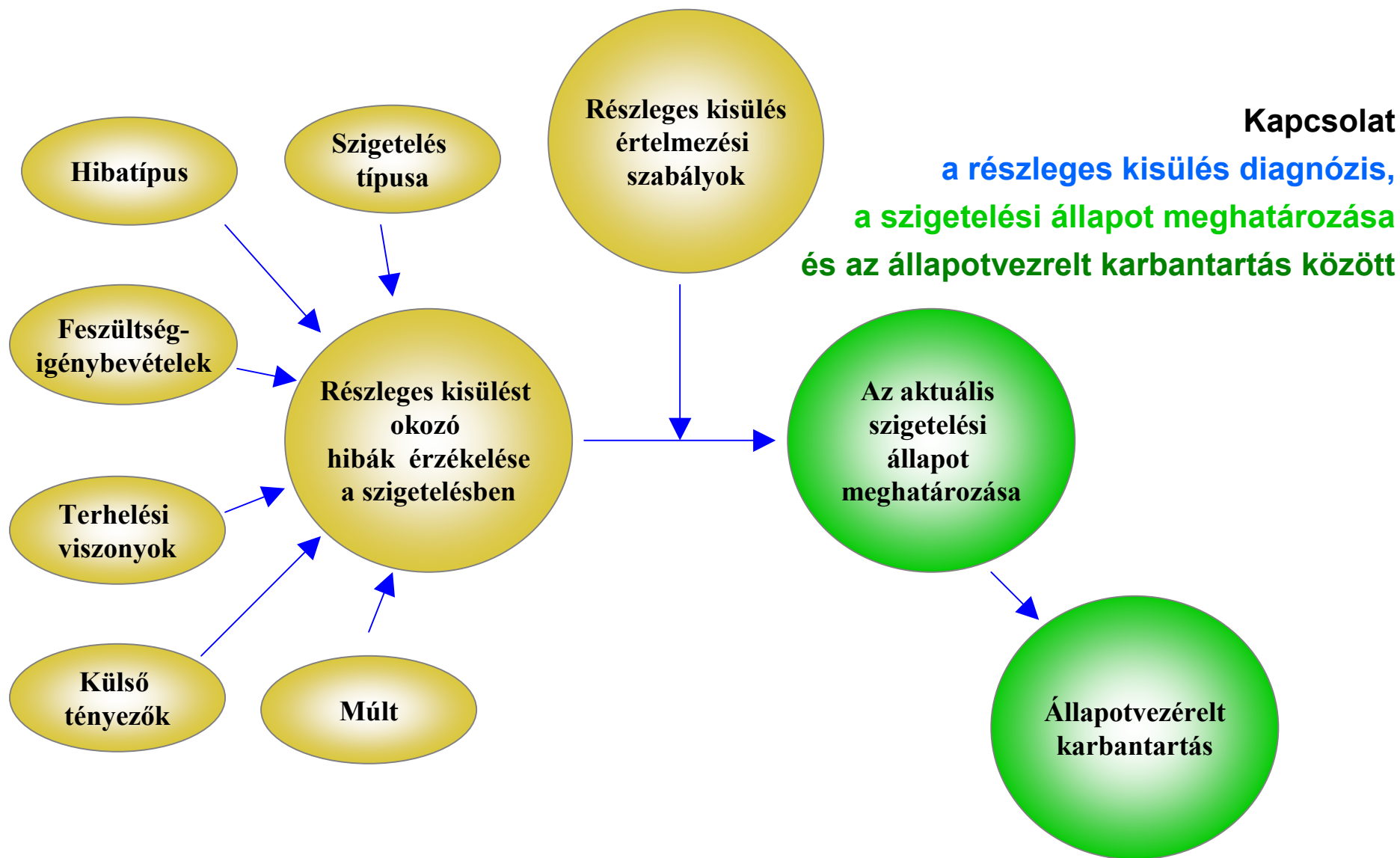
⇒ Általános szempontok

2. A kábelszigetelés romlása

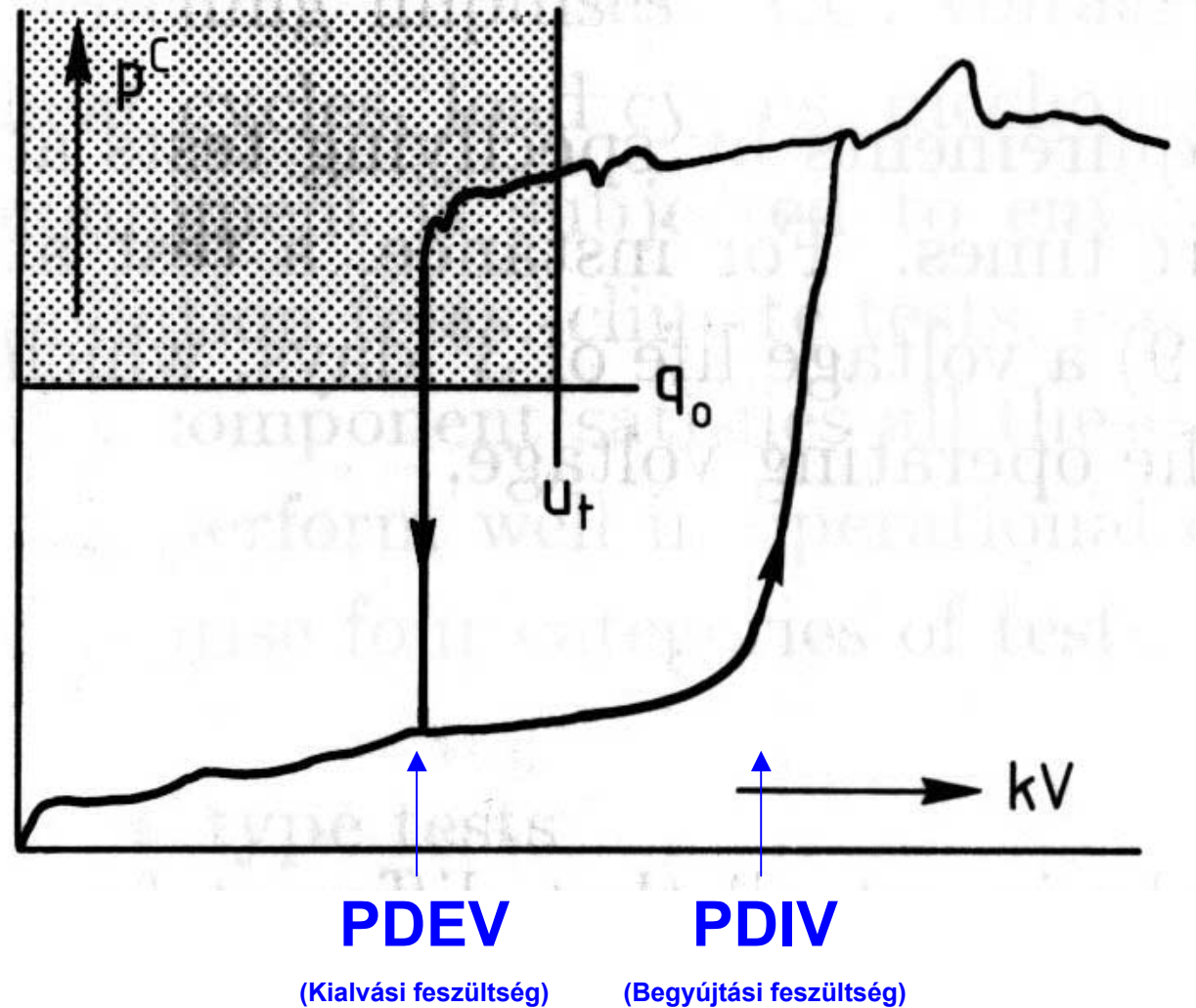
3. Befolyásoló tényezők

4. Diagnosztikai eszközök kiválasztása

5. Következtetések



A részleges kisülés mérések célja



Részleges kisülés vizsgálat. Az U_t feszültség alatt mért q_0 -nál nagyobb mértékű részleges kisülés nem elfogadható, ld. az árnyékolt területet.

Részleges kisülések: alternatív tápfeszültség módszerek

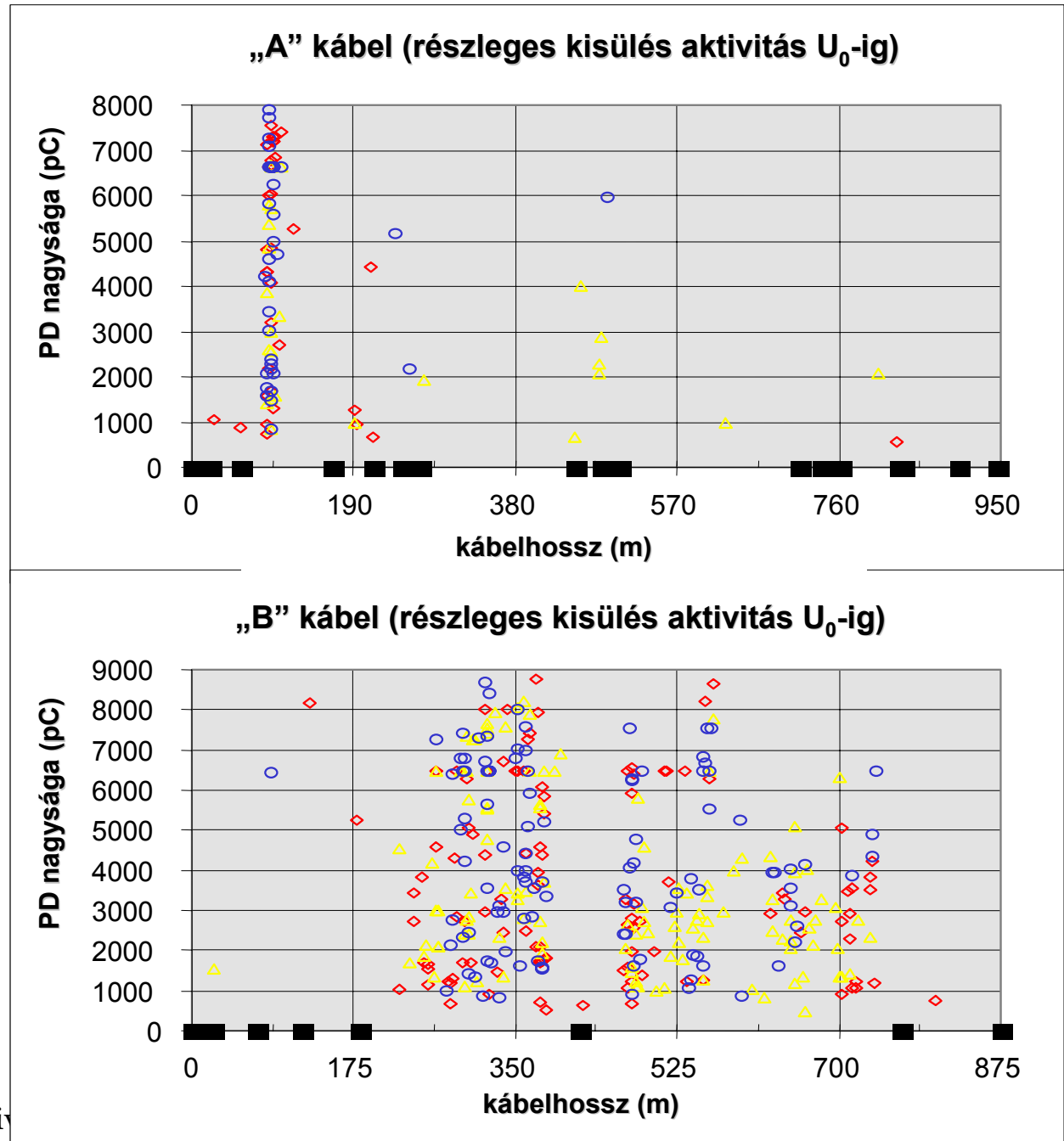
Azért, hogy csökkentsük a kábel feltöltéséhez szükséges kapacitív teljesítményigényt és ezzel a vizsgáló berendezés súlyát és költségét, különleges feszültségformák kerültek bevezetésre és alkalmazásra 1985 óta.

A leggyakrabban alkalmazott gerjesztő feszültségek a következőképpen osztályozhatók:

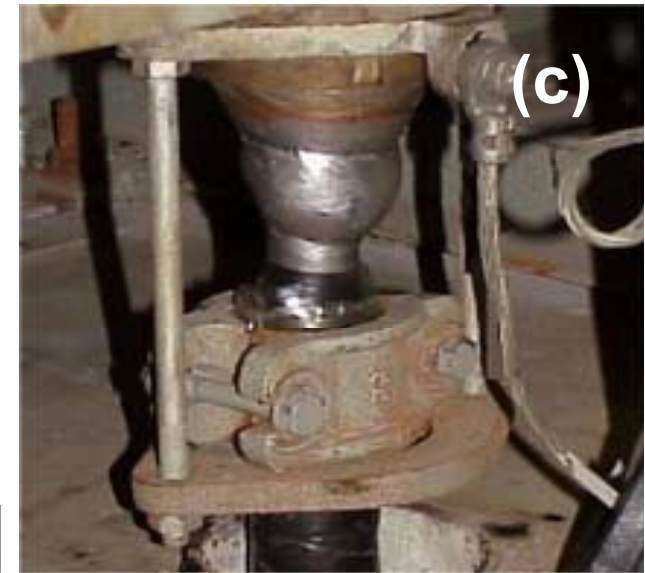
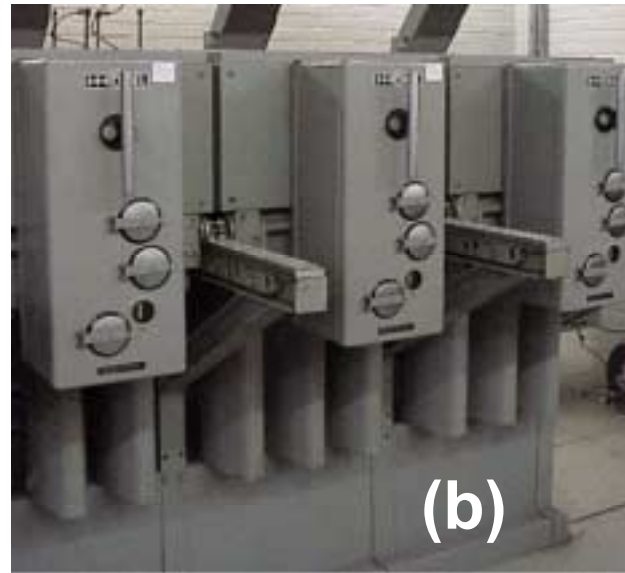
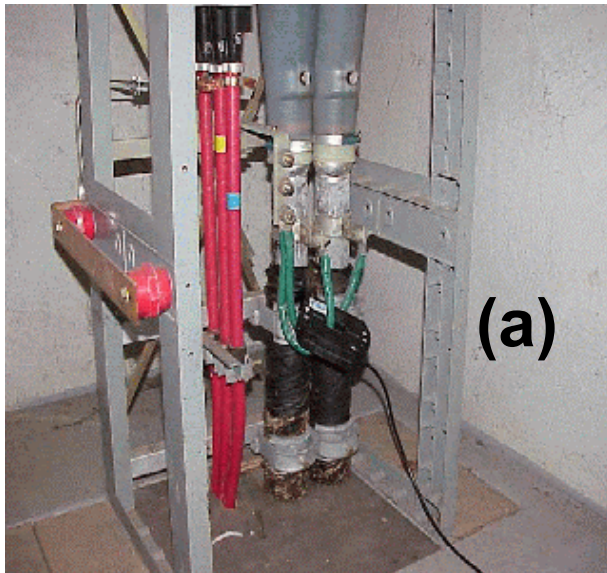
- *Folyamatos, igen alacsony frekvenciájú váltakozó feszültségek (VLF)*
- *Tranziens kapcsolási hullámú feszültségek (SI)*
- *Csillapodó oszcilláló feszültség-hullámok (OVW)*

Két olaj-papír
szigetelésű
kábelszakasz
részleges kisülés
térképe.

Részleges kisülés
aktivitás a
kábelszigetelésben.



A konstrukció nagy változatossága miatt a diagnosztikai rendszerek alkalmazhatósága különböző lehet: (a) A konstrukció nagyfokú nyitottsága révén majdnem minden diagnosztikai rendszer csatlakoztatható (b, c) mivel a kábelvégelező a kapcsolókészülék belsejében van, a hozzáférés korlátozott.



Szempontok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

TARTALOM

⇒ Általános szempontok

2. A kábelszigetelés romlása

3. Befolyásoló tényezők

4. Diagnosztikai eszközök kiválasztása

5. Következtetések

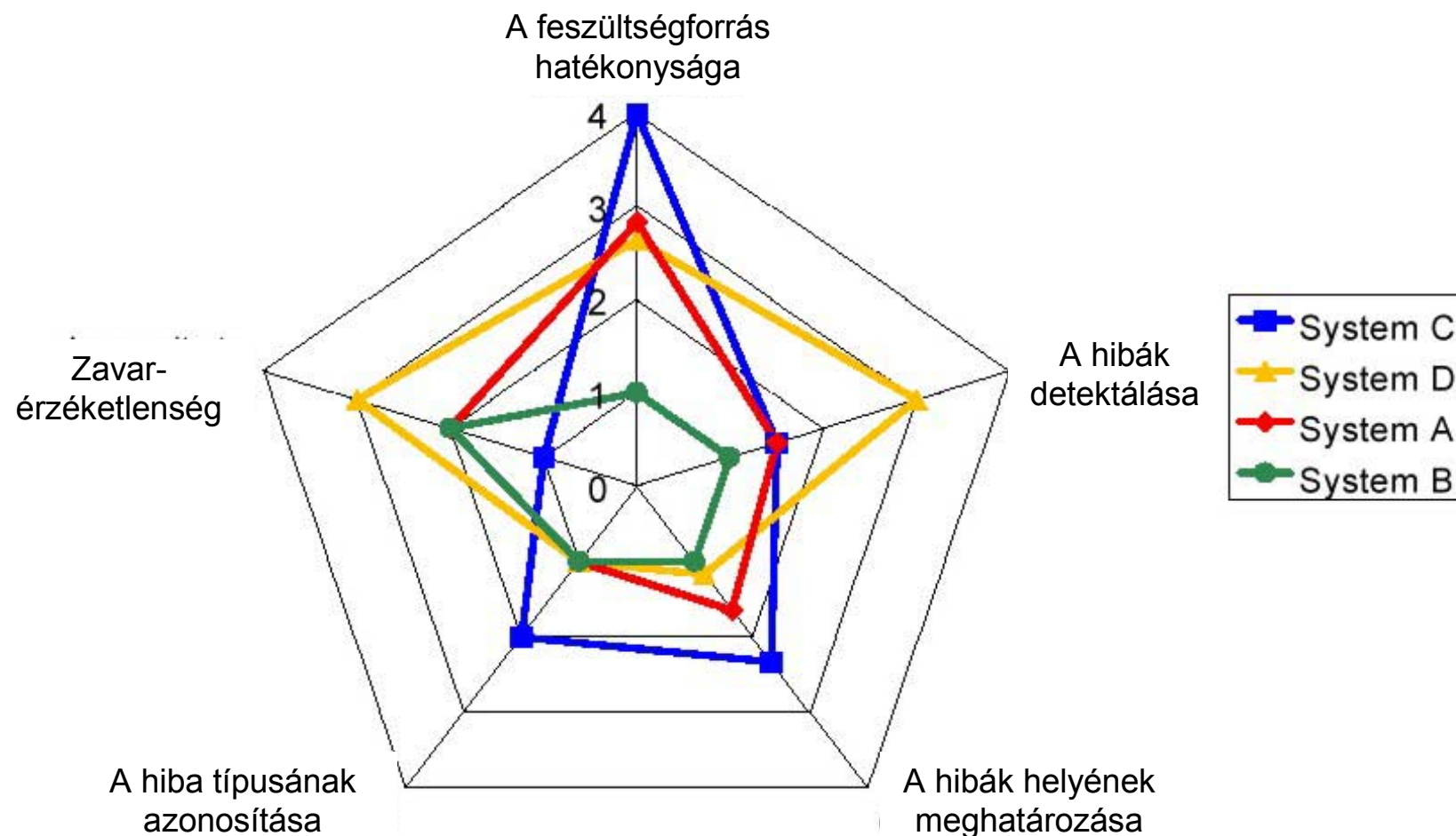
<i>Standard módszerek az elosztóhálózati kábelek diagnosztikai vizsgálatára</i>		
Feszültség forrás	Részleges kisülés mérés	Nyerhető információ
50 Hz-es váltakozó-feszültségű táplálás on-line módszer	Nagyfrekvenciájú részleges kisülés mérés üzemi feszültségeken	Részleges kisülés aktivitás a teljes kábelkörben csak U_0 -on
50 Hz-es váltakozó-feszültségű táplálás off-line módszer	Szabványos (IEC) részleges kisülés mérés szinuszos, üzemi frekvenciájú feszültségeken	A részleges kisülések előfordulása és helye a kiválasztott kábelszakaszon különböző feszültség szinteken
0.1 Hz-es váltakozó-feszültségű táplálás off-line módszer	Részleges kisülés mérés szinuszos 0,1 Hz-es feszültségeken	A részleges kisülések előfordulása és helye a kiválasztott kábelszakaszon csupán 2 feszültség szintet használva
Csillapodó váltakozó-feszültségű táplálás off-line módszer	Szabványos (IEC) részleges kisülés mérés csillapodó, szinuszos, 50..500 Hz frekvenciájú feszültségeken	A részleges kisülések előfordulása és helye a kiválasztott kábelszakaszon különböző feszültség szinteken

Részleges kisülések: az alternatív betáplálási módszerek fontos szempontjai

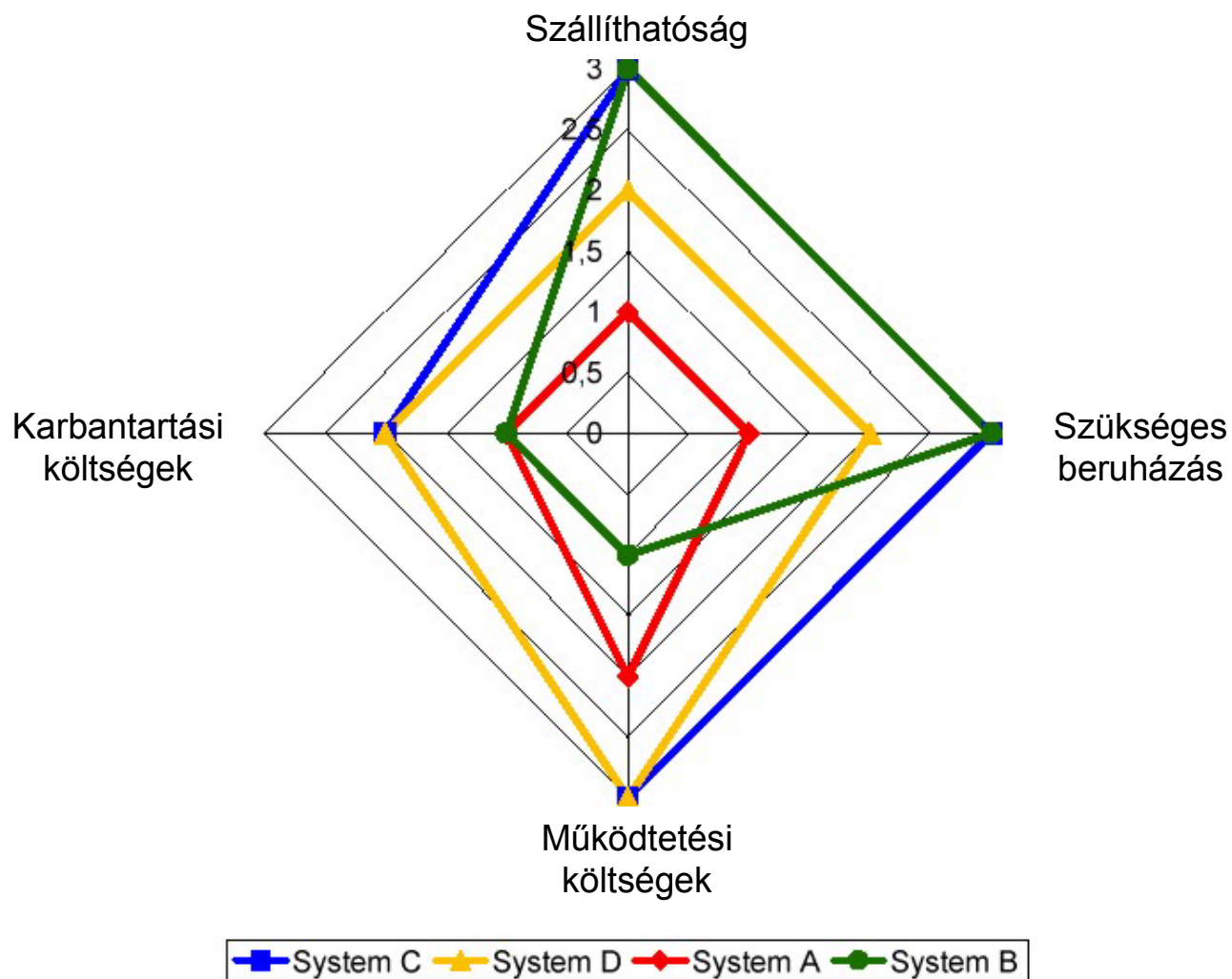
Azok számára, akik a részleges kisülés diagnosztikát használják elosztóhálózati kábeleik állapotának megállapítására, fontos az 50 Hz-es üzemi és az alternatív módszerként használt gerjesztő feszültségigénybevétel során nyert részleges kisülés mérések megfeleltethetősége.

Különösen az alábbi szempontok fontosak:

1. az alternatív vizsgálófeszültségen a részleges kisülések begyújtási folyamatainak összehasonlíthatónak kell lenniük az üzemi igénybevétel során végbemenő folyamatokkal;
2. a részleges kisülés mérését az IEC 60270 ajánlásainak megfelelően kell végrehajtani.



7. ábra A különböző rendszerek műszaki értékelése

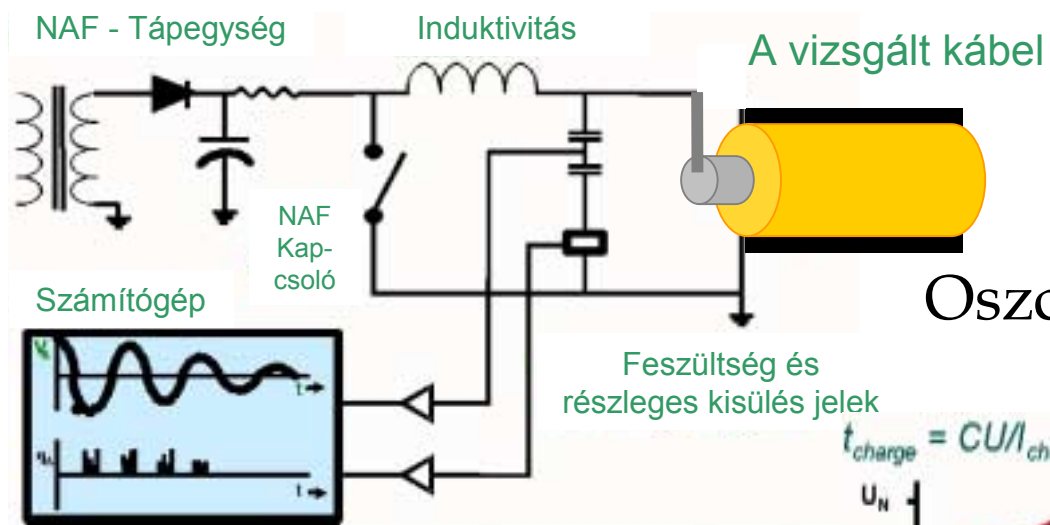


8. ábra A különböző rendszerek gazdasági értékelése

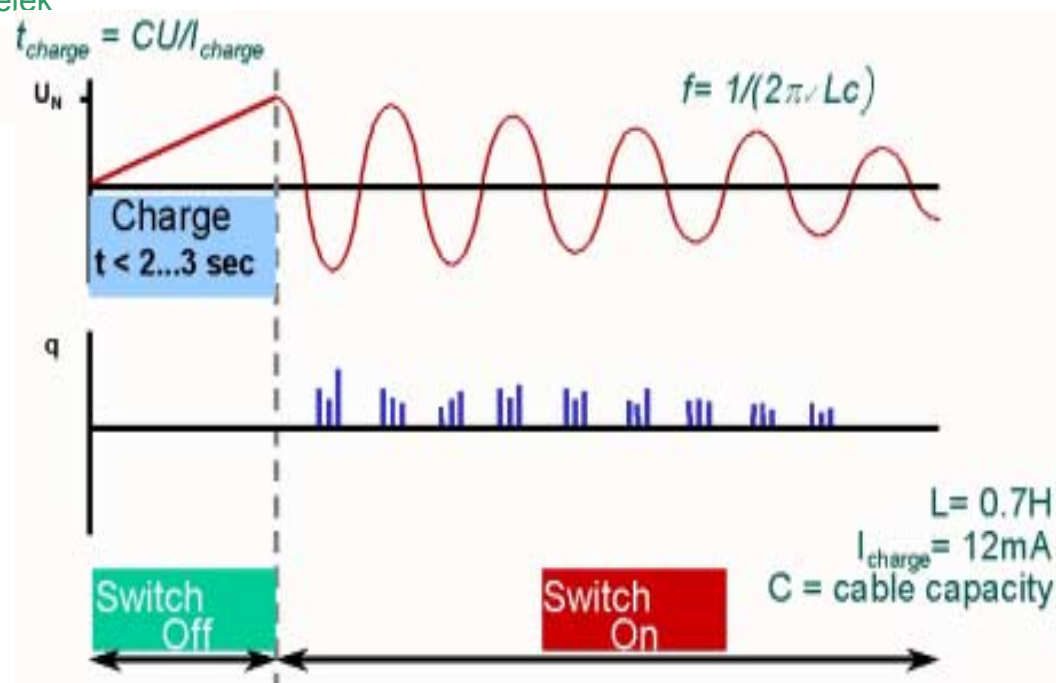
1. táblázat: a különböző rendszerek feszültségforrásainak jellemzői

Rendszer	Feszültségforrás
A	Színuszos feszültség üzemi frekvencián
B	Színuszos feszültség igen alacsony frekvencián 0,1 Hz
C	Oscilláló hullám változó frekvenciával, kis csillapítással
D	Oscilláló hullám fix frekvenciával, nagy csillapítással

OWTS Módszer



Oscilláló feszültség előállítása



sematikus ábra

OWTS Módszer



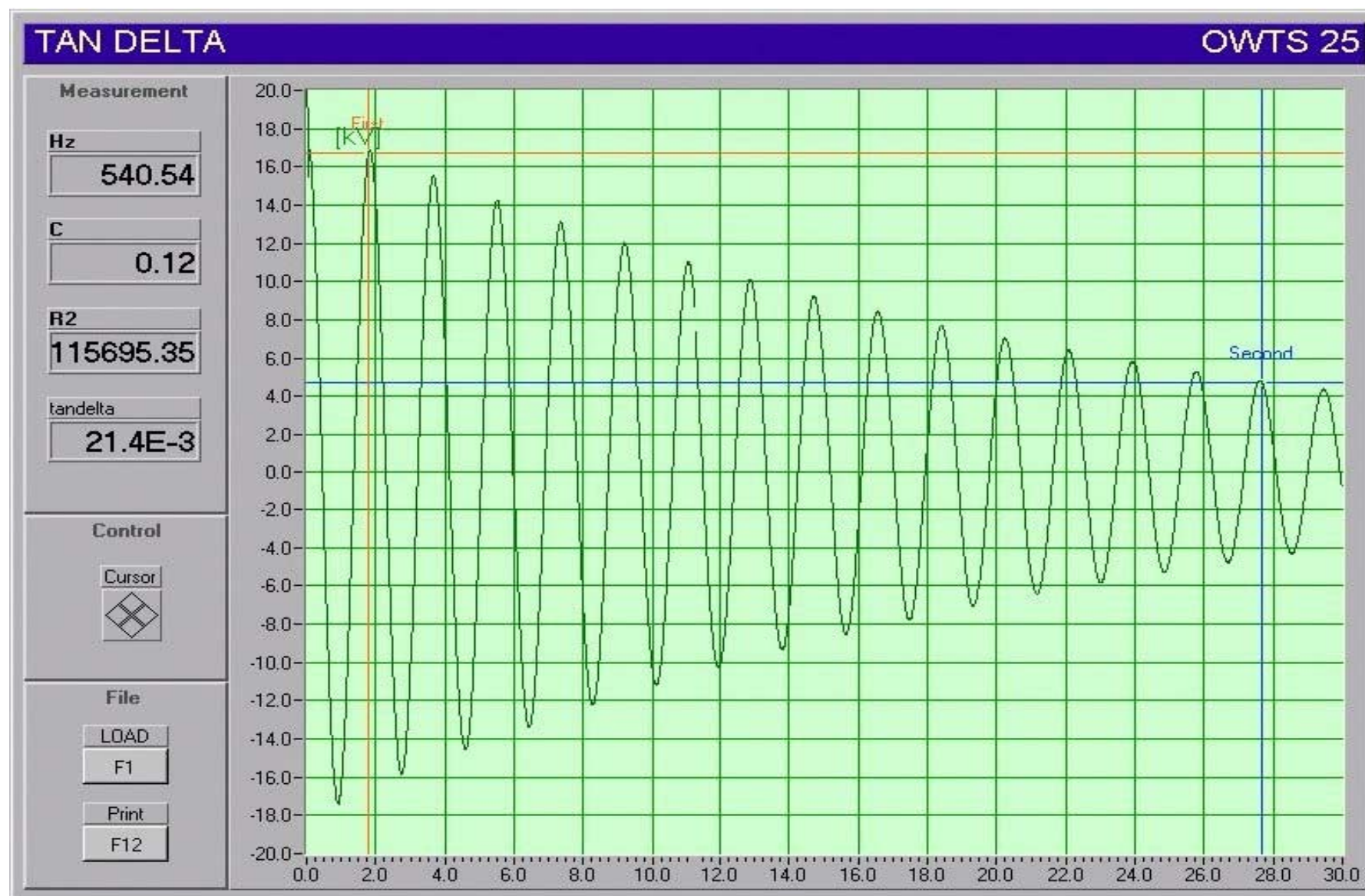
Tekercs / NAF kapcsoló / részleges
kisülés érzékelő áramkör



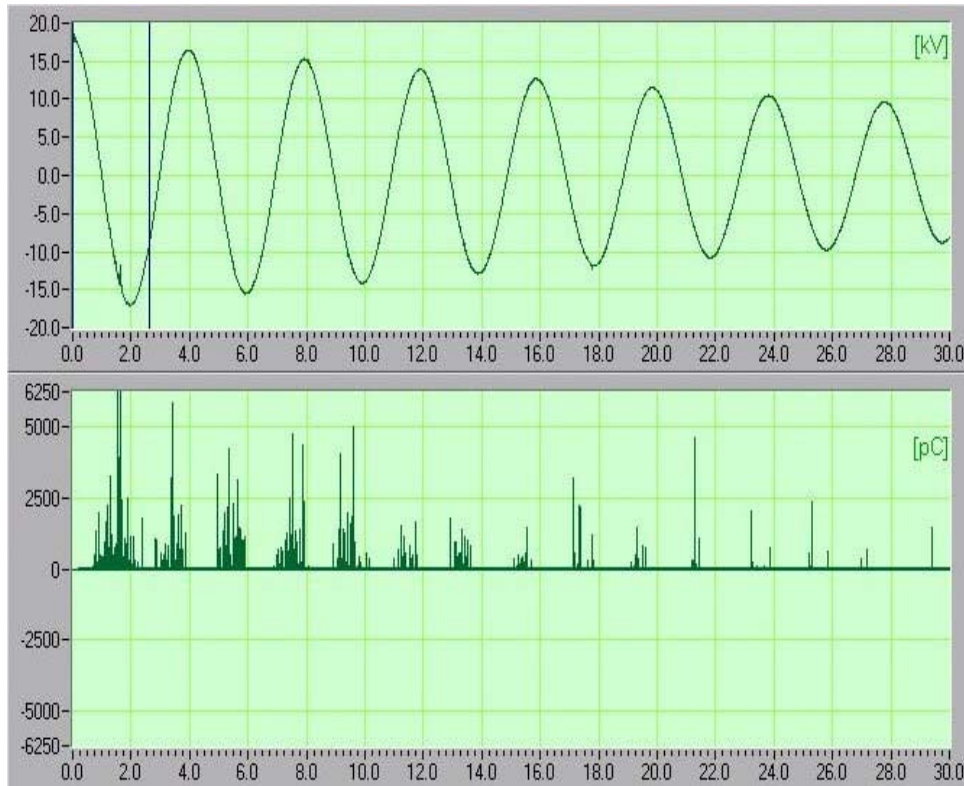
Egyenfeszültségű
tápegység / számítógép



Oscilláló feszültség hullám

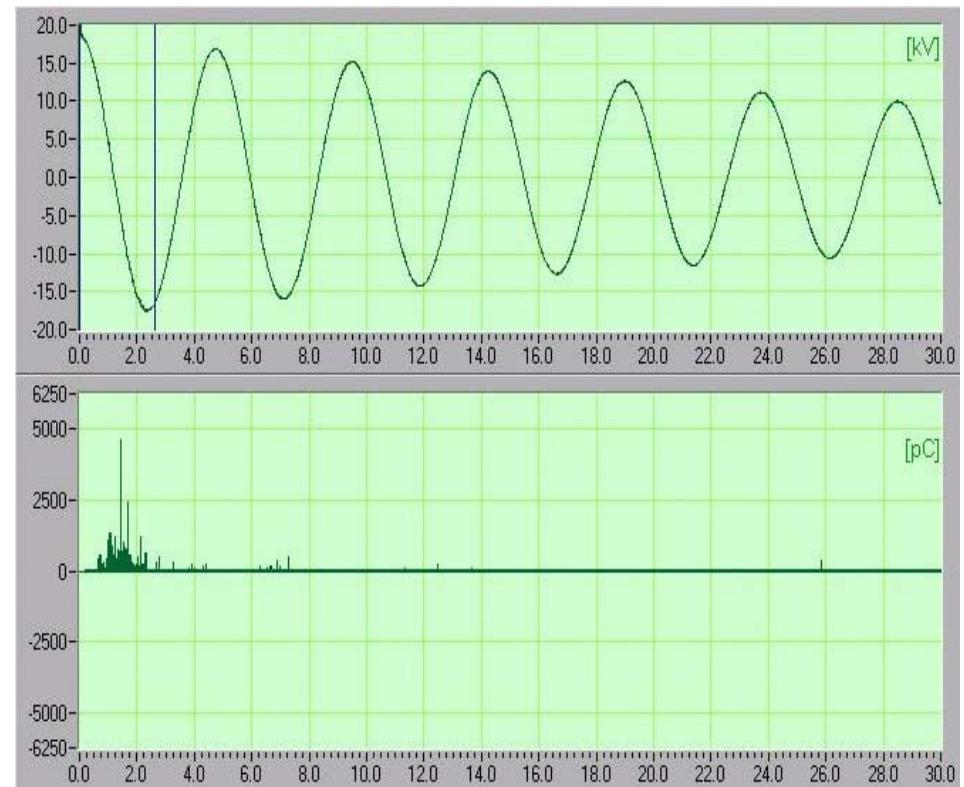


Oszcilláló feszültség hullám és a részleges kisülések előfordulása



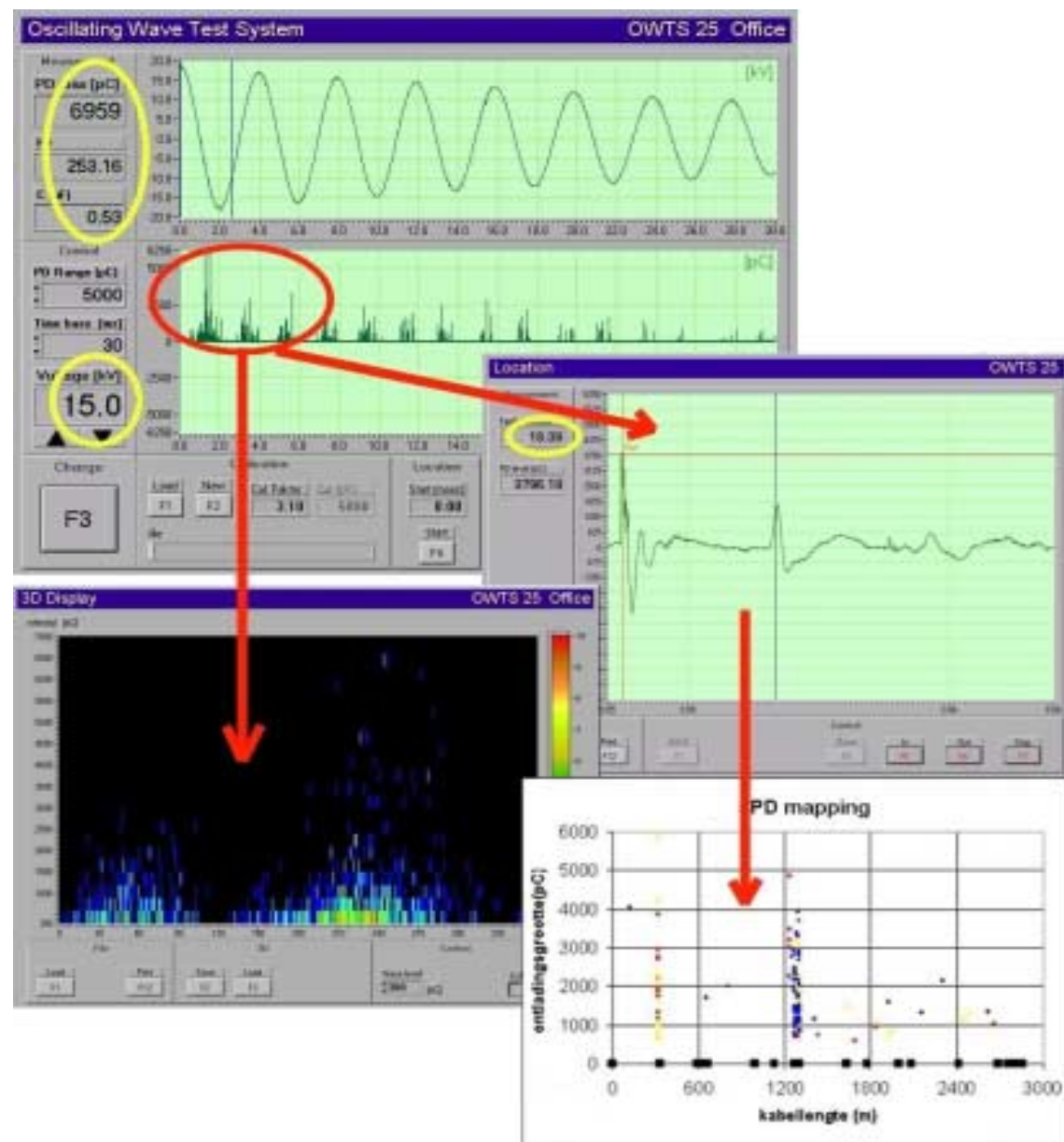
Tipikus PD-minta
szilárd
szigetelőanyagban, pl.
üregek

Folyékony
szigetelőanyagban
megfigyelt részleges
kisülés minta, pl.
felületi kisülés olajban



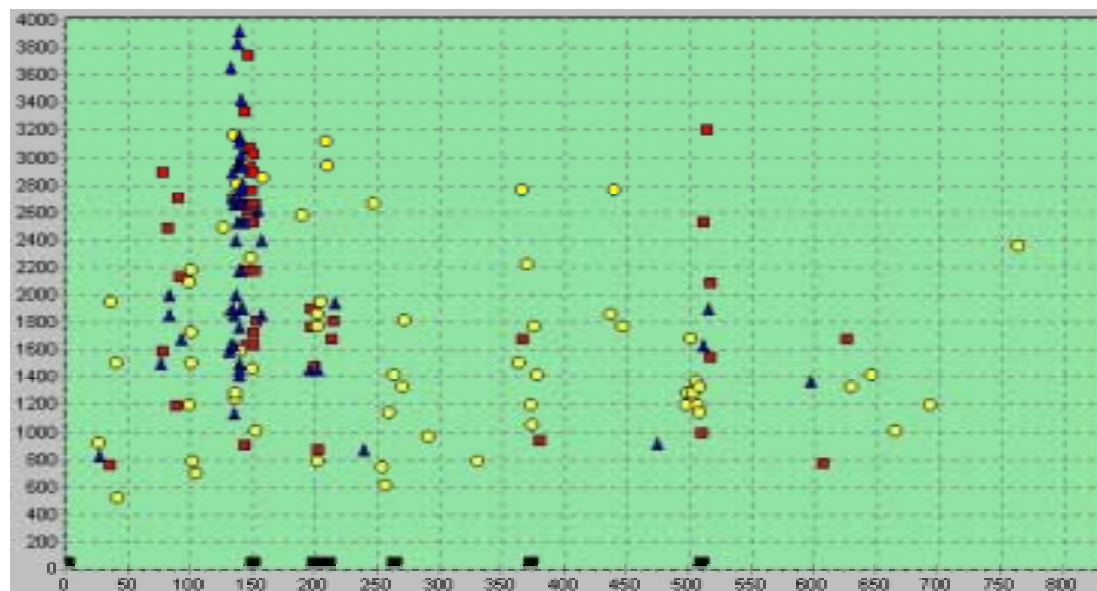
PD kiértékelés: OWTS módszer

- PD begyűjtési fesz. PDIV;
- PD kialvási fesz. PDEV;
- PD nagysága;
- PD intenzitása;
- PD-minta (2D & 3D);
- PD-térkép.
- $T_g \delta$.

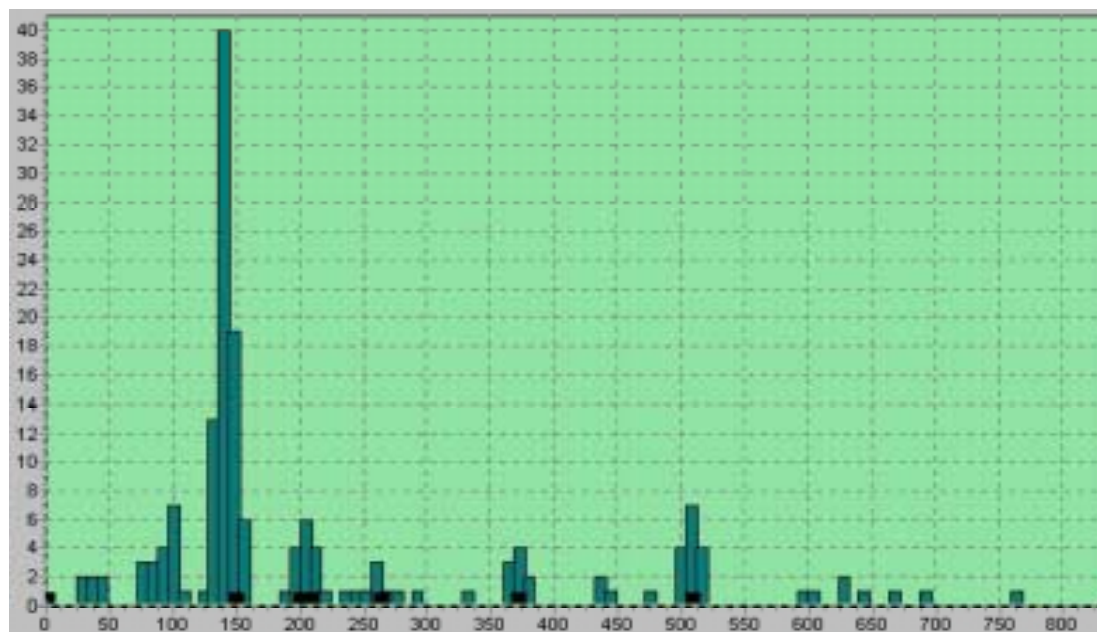


OWTS statisztikai értékelés

A részleges kisülések
amplitúdója a kábelhossz
függvényében
(A fekete téglalapok a
vízszintes tengelyen a
kábel szerelvényeket jelzik);



A részleges kisülések
intenzitása a kábelhossz
függvényében a kábel
mindhárom fázisában



Részleges kisülés diagnosztika kiválasztása



- a részleges kisülések begyűjtési folyamatai az alkalmazott alternatív vizsgáló feszültségen összevethetőek kell, hogy legyenek az üzemi frekvenciájú igénybevétellel;
- a részleges kisülések mérése az IEC ajánlásoknak megfelelően kell, hogy történjen.

Felületi kisülések PD alapmennyiségek 50(60) Hz-en és oszcilláló hullámmal

	50Hz AC	454Hz OWTS
PDIV(begy.f.)	12.5kVeff	18kVcsúcs (12.8kVeff)
PDEV(kialv.f.)	12.5kVeff	20kVcsúcs (14.1kVeff)
PD szint	0.85nC, 0.43nC at 20kVeff	0.87nC, 0.47nC at 20kVeff

Éles sarkok az olajban

	50Hz AC	454Hz OWTS
PDIV	10kVeff	16kVcsúcs (11.4kVeff)
PDEV	9kVeff	16kVcsúcs (11.4kVeff)
PD szint	2.8nC 20kVeff-nél	2.0nC 20kVeff-nél

Éles sarkok az olaj/levegő felületen

	50Hz AC	454Hz OWTS
PDIV	9.3kVeff	18kVcsúcs (12.7kVeff)
PDEV	9.3kVeff	15kVcsúcs (11kVeff)
PD szint	12nC (pos), 3nC(neg) 12.7kVeff-nél	10.5nC (pos), 2.5nC (neg) 12.7kVeff-nél

Lebegő részek az olajban

	50Hz AC	454Hz OWTS
PDIV	4.8kVeff	8kVcsúcs (5.7kVeff)
PDEV	2.7kVeff	6kVcsúcs (4.2kVeff)
PD szint	7.6nC, 6nC 8.1kVeff-nél	10.5nC, 6nC 7.8kVeff-nél

Részleges kisülés mérési eredmények
megfeleltethetősége, átvihetősége;

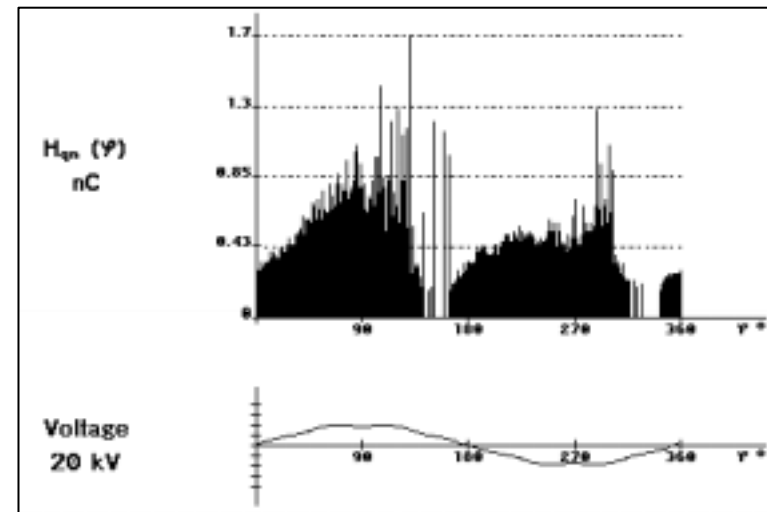
példa: felületi kisülés az olajban

Ugyanakkora begyújtási/kialvási fesz.;

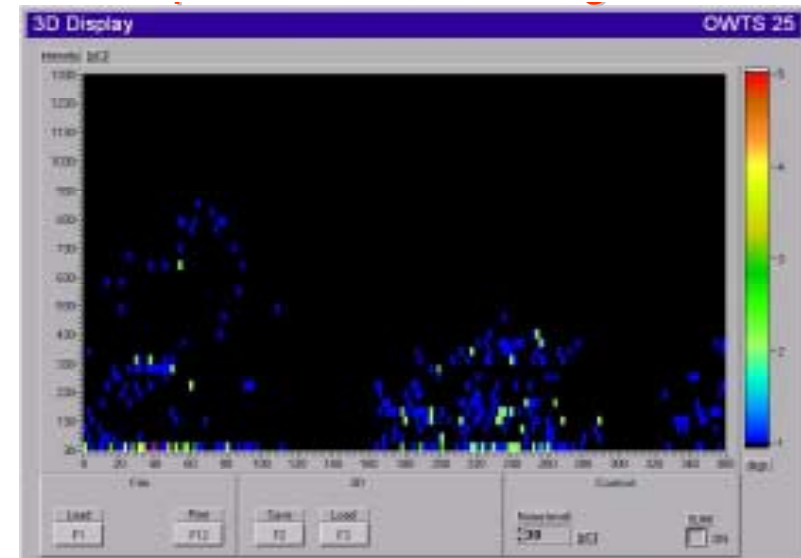
Hasonló részkisülés minták;

Ugyanakkora részkisülés amplitúdók;

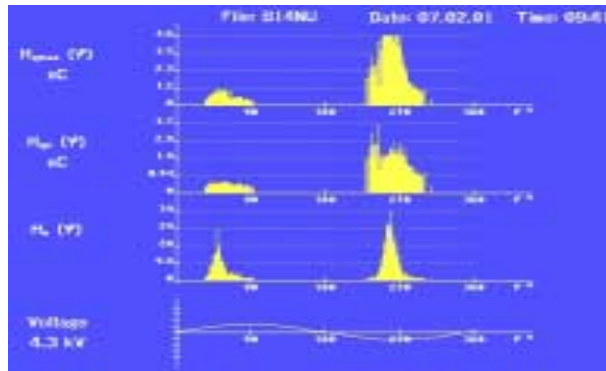
Részkisülés minta 50 Hz-es váltakozófeszültségen



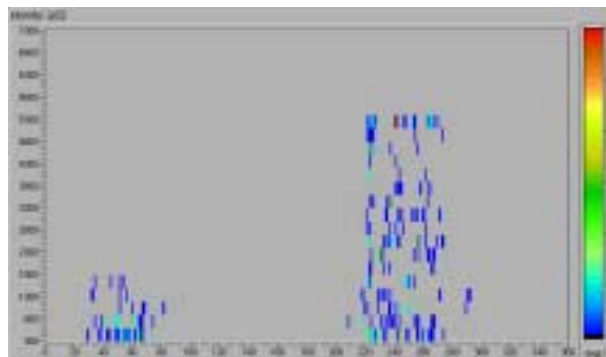
Részkisülés minta oszcilláló hullámú feszültségen



Részleges kisülés mérési eredmények megfeleltethetősége; példa: XLPE kábelszerelvények

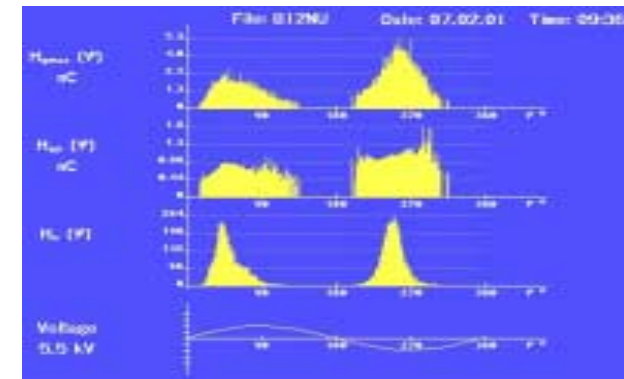


IEC 60270 PD
mérés
50(60)Hz-en



IEC 60270 PD
mérés oszcilláló
hullámmal

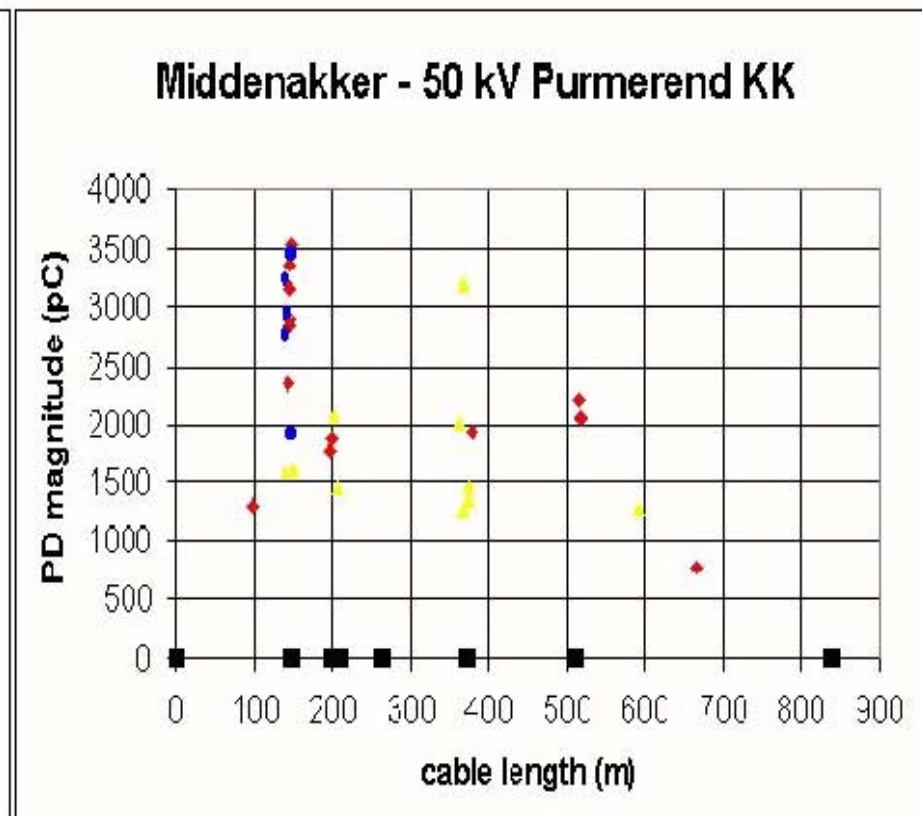
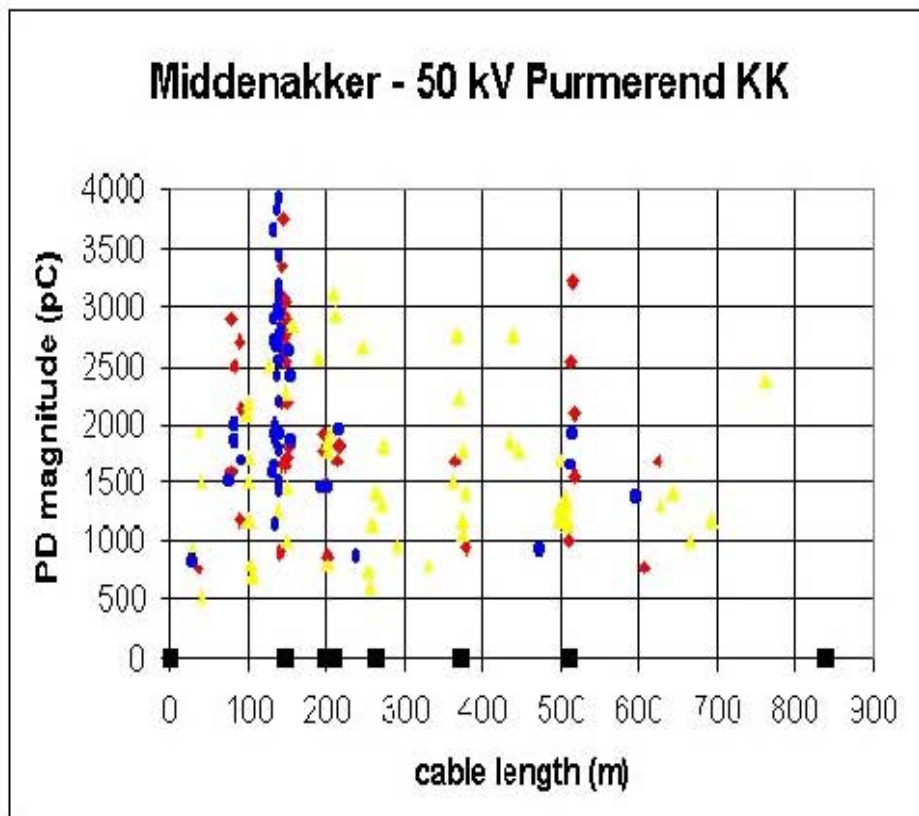
Hiba: *nincs kapcsolat a
félvezetőréteg és a 10 kV-
os kábelvégelzáró
nyomókúpja között;*



Hiba: *nincs kapcsolat a
félvezetőréteg és a 10 kV-
os kábelvégelzáró
nyomókúpja között;*

Részleges kisülés mérési eredmények megfeleltethetősége; példa: részleges kisülés térkép erősáramú kábelén

10 kV; papier/olie isolator; 840 m.; 17 years



PD térkép oszcilláló hullámú
módszerrel

PD térkép 50Hz-es váltakozó
feszültséggel

Oscilláló Hullámú Teszt Rendszer: OWTS®



OWTS vizsgálati eljárás

Mérés	Fezsültségszint	Mérések száma
Részl. kisülés háttérzajszint	0 kV.... 0.5 kV	1
PD begyújtási feszültség (PDIV)	<i>Az első PD impulzus</i>	3
PD jelenléte	U_0	3
PD jelenléte	$1.5 \times U_0$	3
PD jelenléte	$2 \times U_0$	3
PD kialvási feszültség (PDEV)	<i>legalább 20%-kal PDIV fölött</i>	3
$\tan \delta$	U_0	1

Szempontok az elosztóhálózati kábelek szigetelési állapotának megállapításához

TARTALOM

⇒ Általános szempontok

2. A kábelszigetelés romlása

3. Befolyásoló tényezők

4. Diagnosztikai eszközök kiválasztása

5. Következtetések

Következtetések (1)

- Az elosztóhálózati kábeleken a részleges kisülések (PD) korai stádiumban történő detektálása, lokalizációja és osztályozása megelőzheti a nem várt üzemzavarokat. Így a karbantartási tevékenység tervezhetővé válik.
- A fizika törvényszerűségei miatt a megelőző részleges kisülés diagnosztikát ipari frekvenciájú feszültségen kell végezni.
- Az OWTS gerjesztés biztosítja az 50 / 60 Hz-es körülményekhez a leghasonlóbb igénybevételt. Ezért ez a megközelítés a leginkább javasolt, mint alternatív gerjesztő feszültség a közép-feszültségű kábelek részleges kisülés diagnosztikájához.
- Közép-feszültségű kábelekre 3 éve áll rendelkezésre kompakt, fejlett részleges kisülés diagnosztikai rendszer. Az OWTS minőségileg hasonló gerjesztő feszültségeket és eljárásokat használ a részleges kisülés helyek detektálására, lokalizációjára és azonosítására a kábelszakaszokon és a szerelvényekben.

Következtetések (2)

- Az OWTS gerjesztésű PD diagnosztika előnyei a következőképpen foglalhatók össze:
 - A PD vizsgálatok a váltakozófeszültségű körülményekhez hasonlóak. Ez biztosítja, hogy valósághű információkat nyerhetünk a részleges kisülések begyújtási feszültségére, nagyságára és a szinuszgörbéhez illesztett PD-mintára vonatkozóan viszonylag rövid vizsgálati idő alatt, amely jelentős gazdasági előnyt eredményez.
 - Az aránylag kis begyújtási feszültség miatt az OWTS nem okoz túligénybevételt a középvezetékű kábeleken.
 - A PD mérési eljárás megfelel az idevágó nemzetközi szabványoknak (IEC 60270 és IEC 885-3), biztosítva a helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok összehasonlíthatóságát.
 - A kis teljesítményfelvétel miatt az OWTS rendszer könnyű és kompakt, így könnyen szállítható és a vizsgált kábelhez közel felállítható.

Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

Edward Gulski

Delft University of Technology, HV Technology & Management
The Netherlands

Methodology developed in co-operation with

Seitz Instruments AG, Switzerland
Haefely Test AG, Switzerland
NUON InfraCore, The Netherlands

Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

CONTENT

⇒ **General aspects**

2. Cable insulation degradation

3. Influencing factors

4. Selection diagnostics tools

5. Conclusions

Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

CONTENT

⇒ General aspects

2. Cable insulation degradation

3. Influencing factors

4. Selection diagnostics tools

5. Conclusions

HV Assets Maintenance Strategies

⇒Corrective Maintenance (CM)

⇒(reaction only when failures occur)

⇒Time Based Maintenance (TBM)

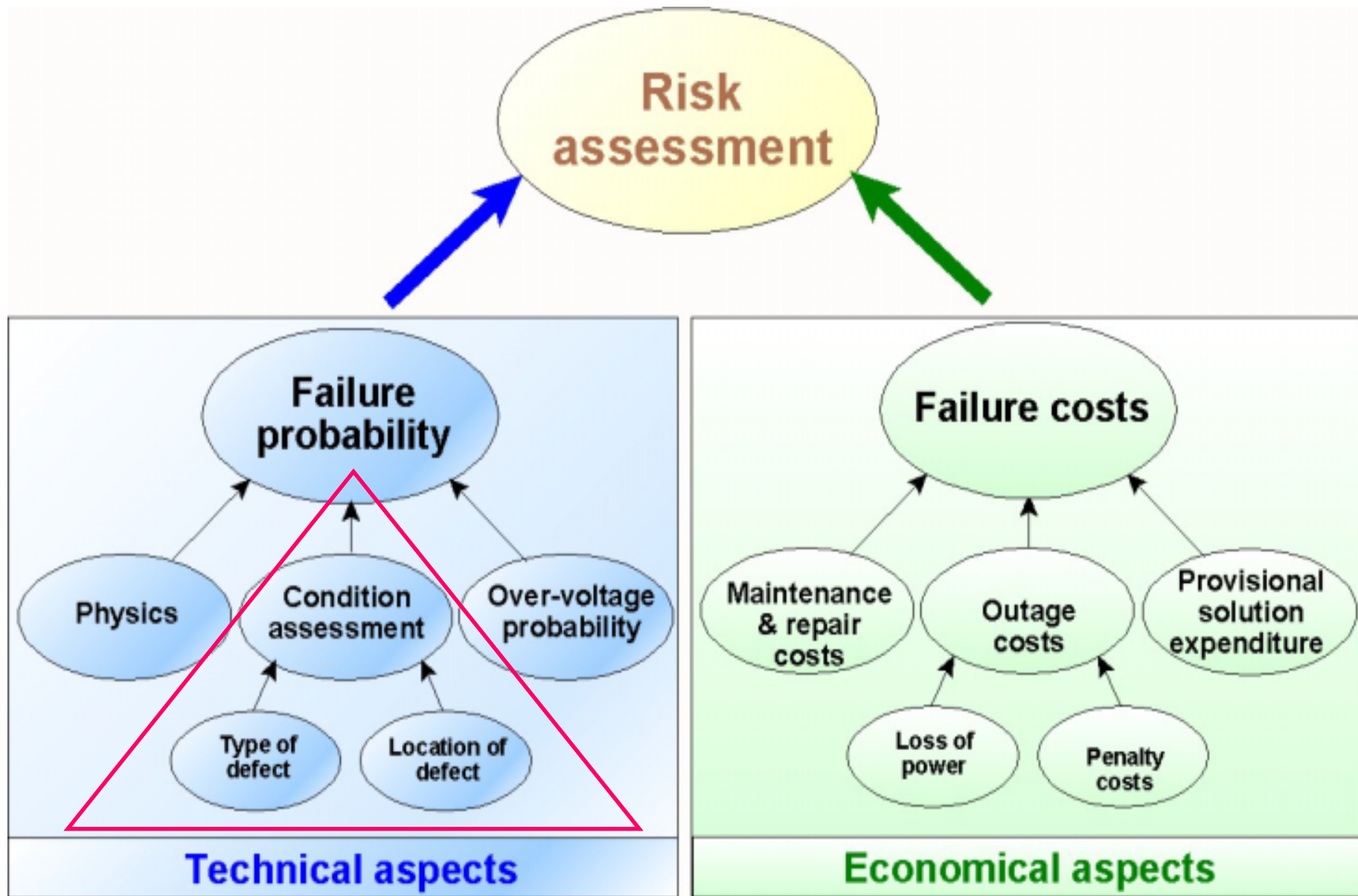
⇒(preventive maintenance in fixed time periods)

⇒Condition Based Maintenance (CBM)

⇒(preventive maintenance in dependence on the actual condition)

⇒Reliability Centered Maintenance (RCM)

⇒availability importance of the asset determines maintenance scheduling



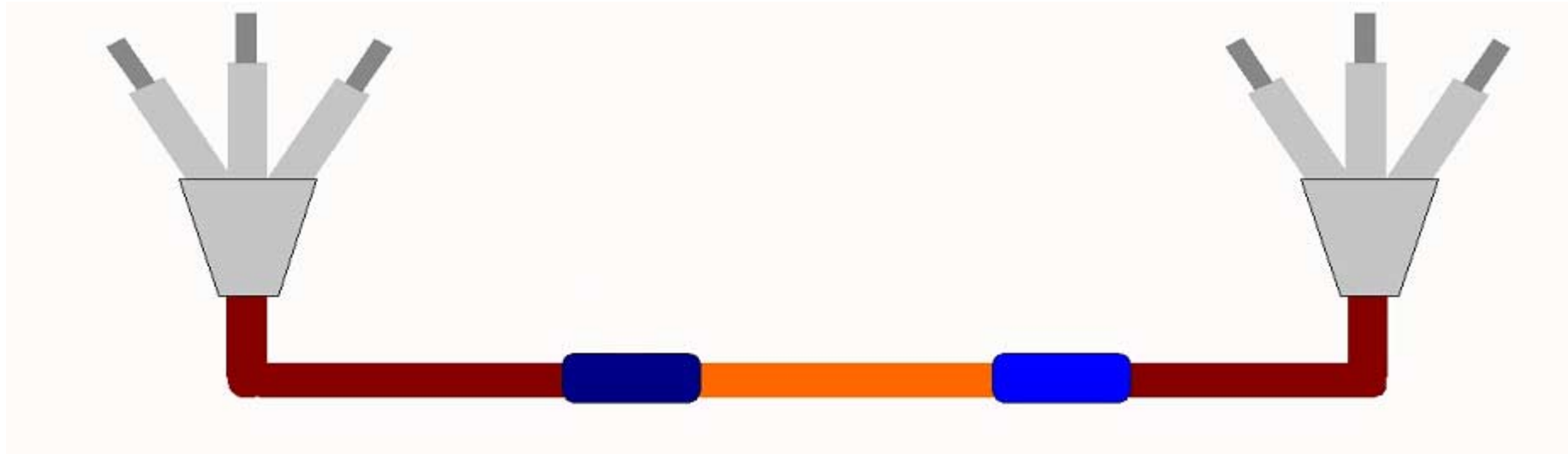
Power cable insulation problems

⇒ **50% of failure in medium voltage power cable networks in related to insulation problems;**

⇒ **Insulation problems have different origins:**

- new cables: joint and termination poor workmanship,
- cables in service: degradation of cable insulation,
- cables in service: degradation of joints and terminations;

Power cable systems



Cable Section:

- Cable parts
- Joints
- Terminations

- Different Types
- Different Ages
- Different History

Condition Assessment

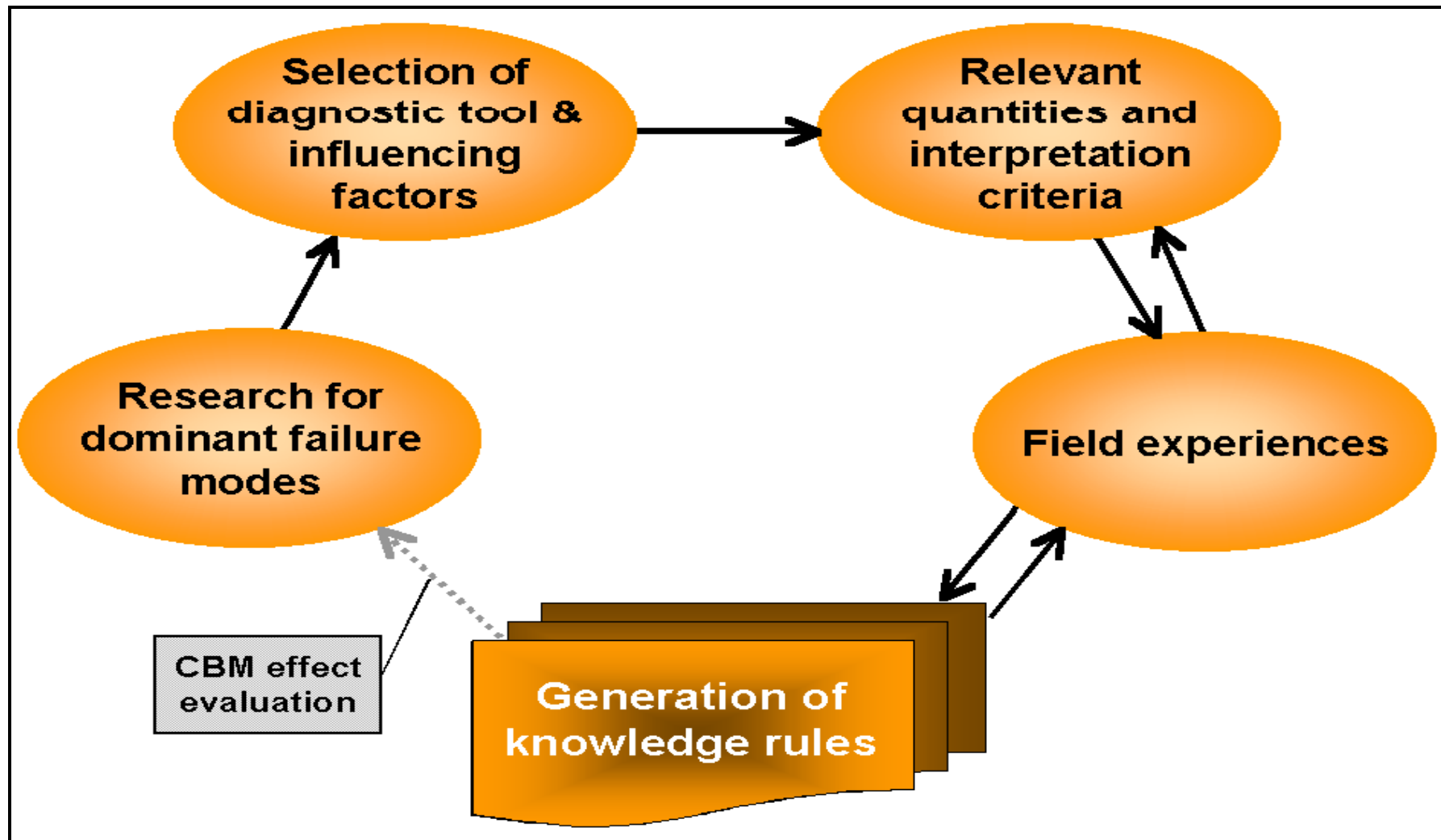
⇒ **Which phenomena can be monitored for particular degradation ?**

⇒ **Which techniques/diagnostics have to be involved ?**

⇒ **How degradation develops with service life and service conditions ?**

⇒ **What I the actual failure mechanism ?**

Generation process for PD knowledge rules to support CBM



Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

CONTENT

⇒ General aspects

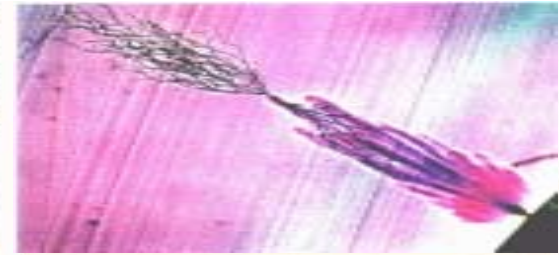
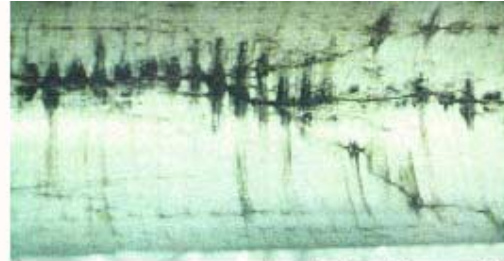
2. Cable insulation degradation

3. Influencing factors

4. Selection diagnostics tools

5. Conclusions

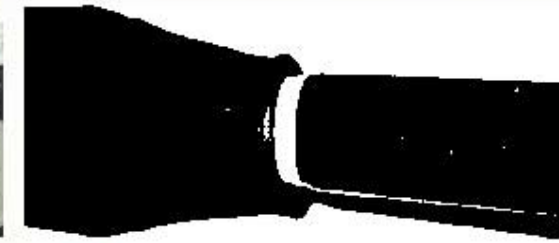
Power cables insulation defects



Cable insulation aging



Joint aging



Poor workmanship



Termination aging

Service condition depending ageing phenomena

Discharging internal defects: inclusions, cavities, treeing

Discharging interface defects

Water ingress

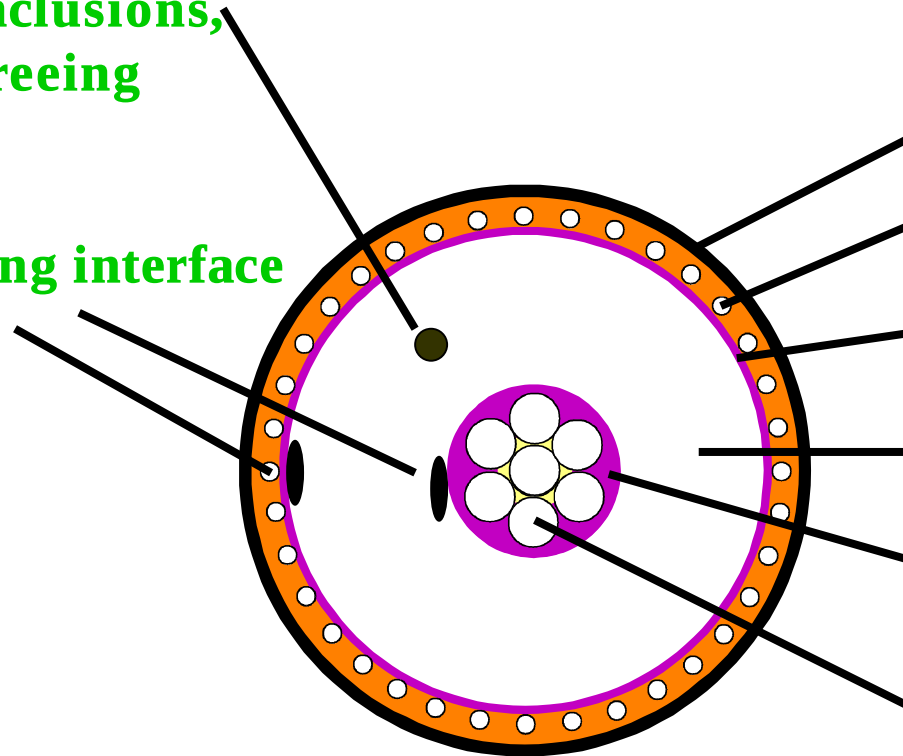
Screen corrosion

Interface ageing

Tree formation

Electrochemical changes inner screen

Mechanical stress and conductor contact corrosion



Typical insulation defects for different types of power cable components		
Cable type	Accessories	Insulation
PILC	Low oil level	Damage outer sheet
	Sharp edges on connectors	Tracking
	Moisture penetration	Internal damage (as a result of bending)
	Air/gas bubbles	
	Bad hardened resin	
XLPE	Sharp edges on connectors	Damage outer sheet
	Moisture penetration	
	Air/gas bubbles	
	Field grading movement	
	Bad hardened resin	
	Interface problems	
	Remaining semicone	

Typical insulation degradation processes of the power cable insulation	
Accessories	interface problems → PD → tracking; bad hardening → cracking → PD; conductors problems → overheating → cracking → PD; local field concentrations → PD
Extruded Insulation	water trees → electrical trees → PD insulation voids → delamination → electrical trees → PD local field concentrations → PD
Paper/Oil Insulation	oil leaks → dry regions → overheating → PD water ingress → load effects → overheating → PD local field concentrations → PD

Analysis of typical fault causes

Joint and terminations:

- Sharp edges on connector (all types);
- Moisture penetration (all types);
- Air/gas bubbles (Kabeldon);
- Bad hardened resin (TECE);
- Field grading movement (slipover ABB)
- Interface problems: gaps, protrusions, etc (slipover ABB);

Cable insulation:

- Damaged outer sheet;

Typical Degradation Mechanisms and Specific Diagnostics

⇒ Development of Water Trees (slow)

Specific Diagnostics of ***global condition assessment***:

- *Dissipation factor ($\tan \delta$)*
- *Return Voltage (RVM-Analysis)*
- *Isothermal Relaxation Current (IRC-Analysis)*

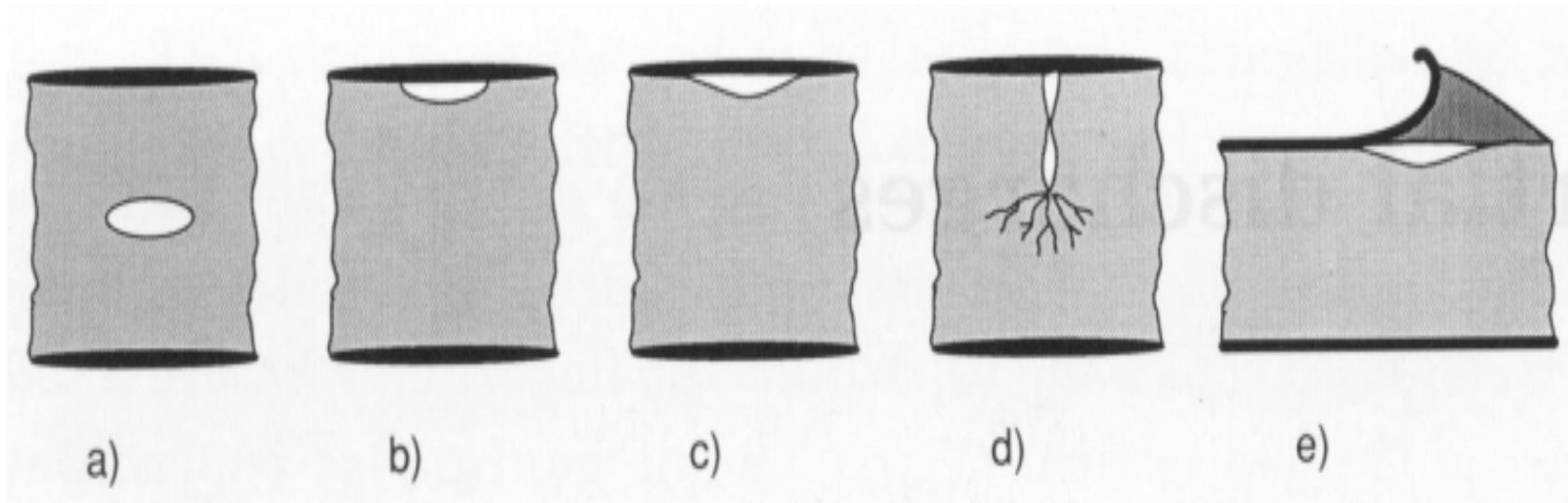
⇒ Transition into Electrical Trees (accelerated)

⇒ Discharging Insulation Defects (slow/accelerated)

Specific Diagnostics of ***weak-spot assessment***:

- *Partial Discharges (PD-Analysis at 50(60Hz), at 50Hz...500Hz OWTS, 0.1Hz VLF)*

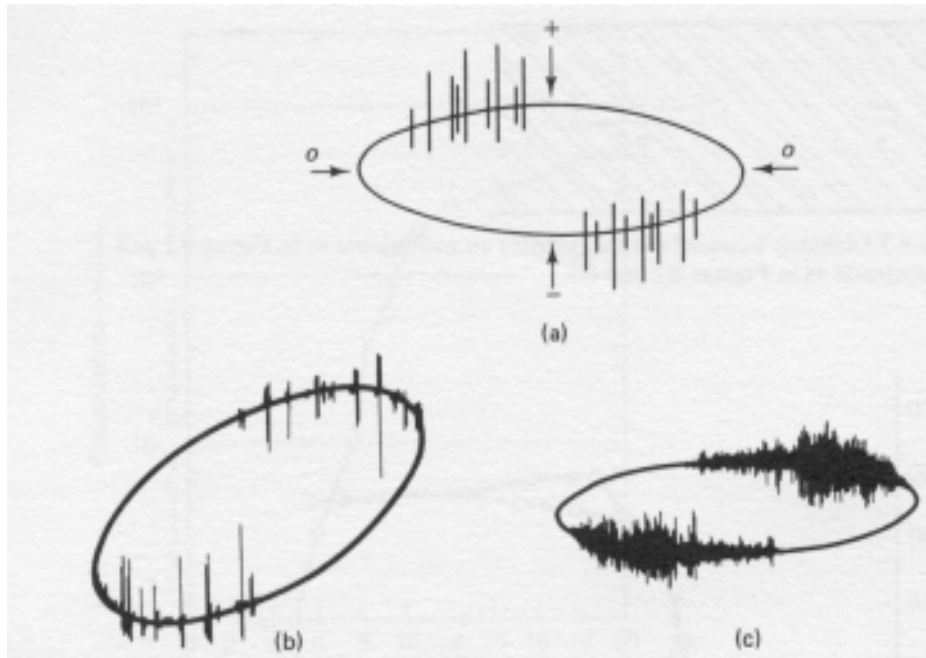
Occurrence of partial discharges



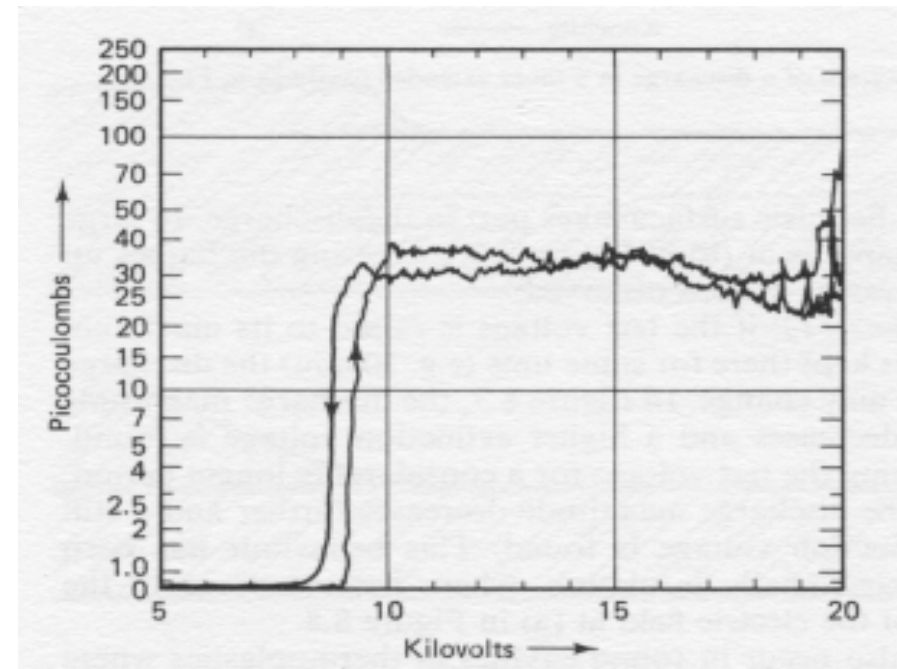
Internal partial discharges:

- a) completely surrounded by the dielectric
- b) electrode-bounded cavity
- c) non-adhering electrode
- d) initiated by treeing
- e) in an interface with a longitudinal field

[Cigre, 1969]



Partial discharges are a very sensitive indicator for the detection of **insulation problems**.



Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

CONTENT

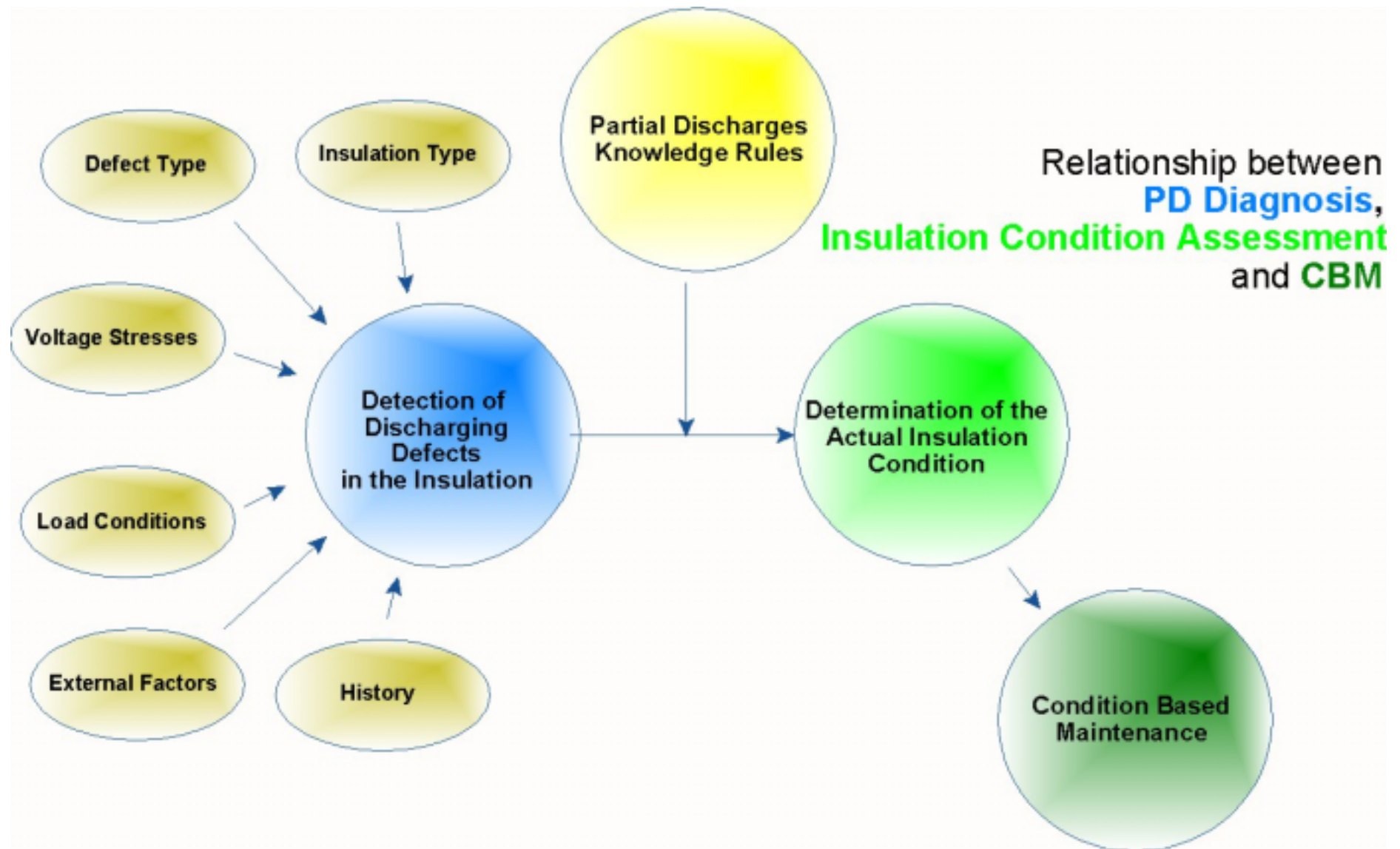
⇒ General aspects

2. Cable insulation degradation

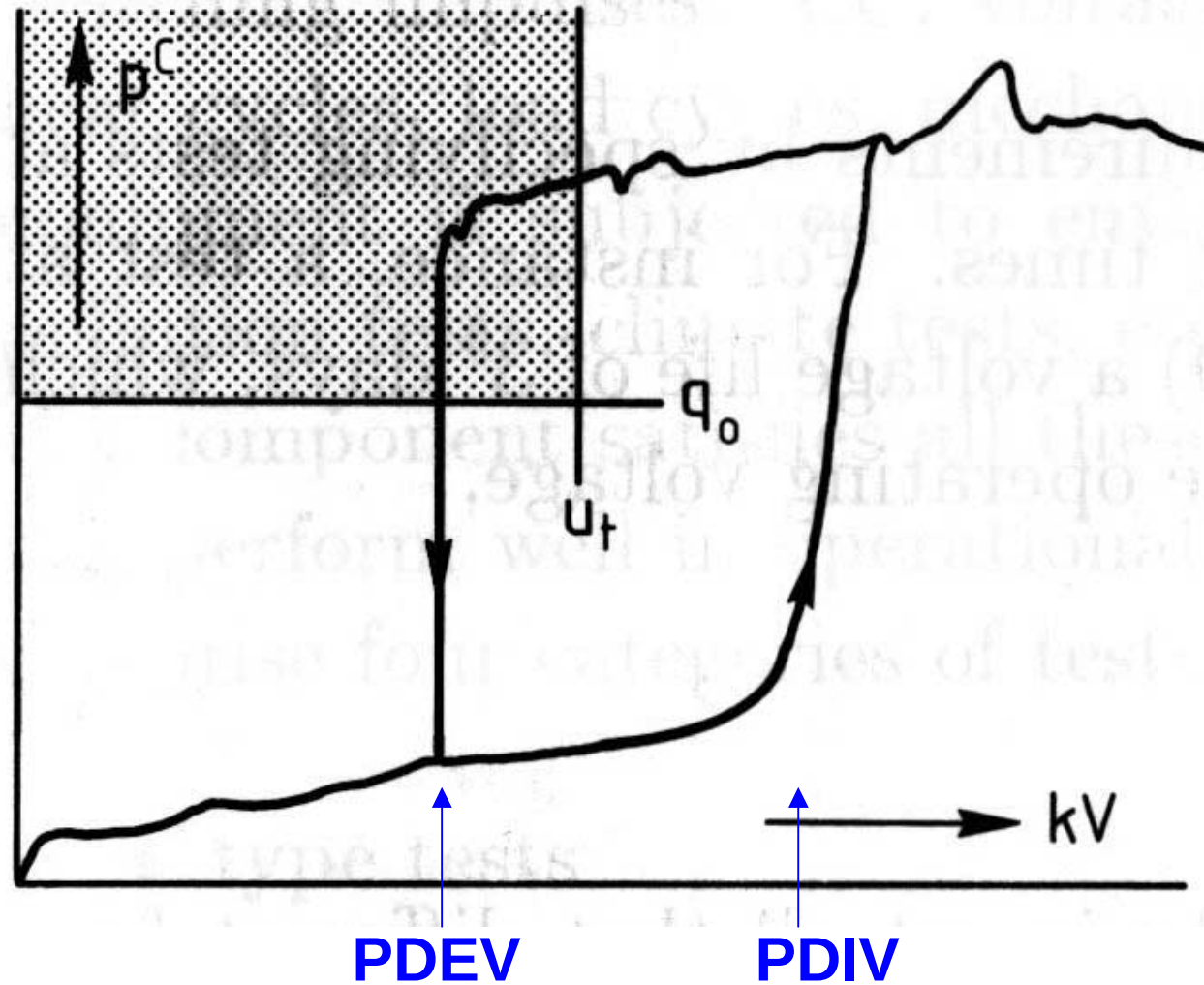
3. Influencing factors

4. Selection diagnostics tools

5. Conclusions



Goal of PD measurements



Discharge test. Any particular discharge larger than q_0 measured below test voltage U_t leads to rejection of the object under test, see shaded area.

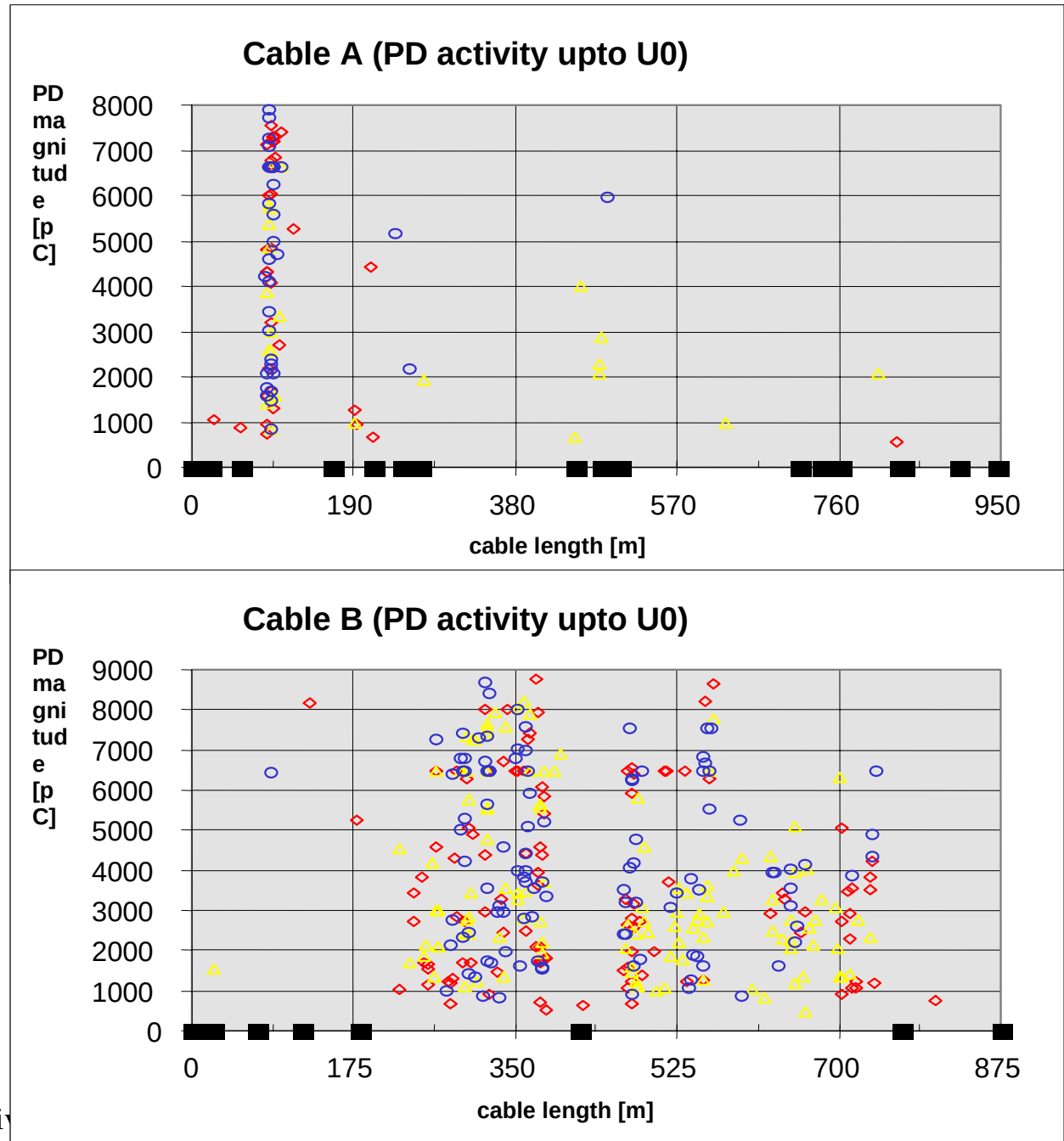
Partial discharges: alternative energizing methods

In order to decrease the capacitive power demand for energising the cable and hence to reduce the weight and costs of the test equipment, specific voltage shapes have been introduced and employed since 1985.

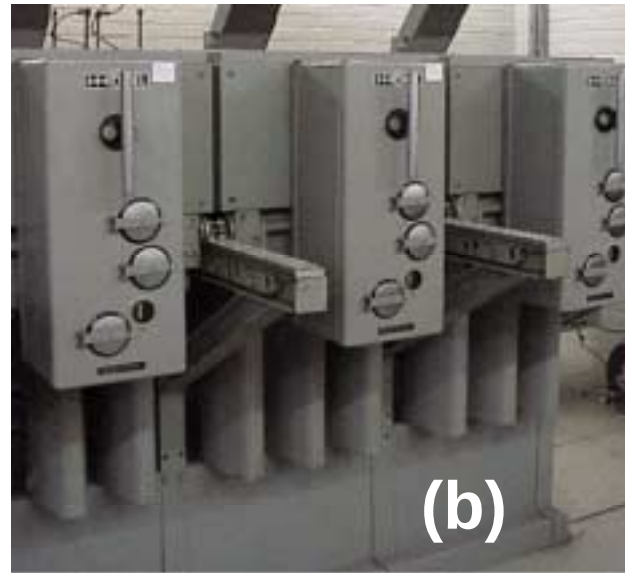
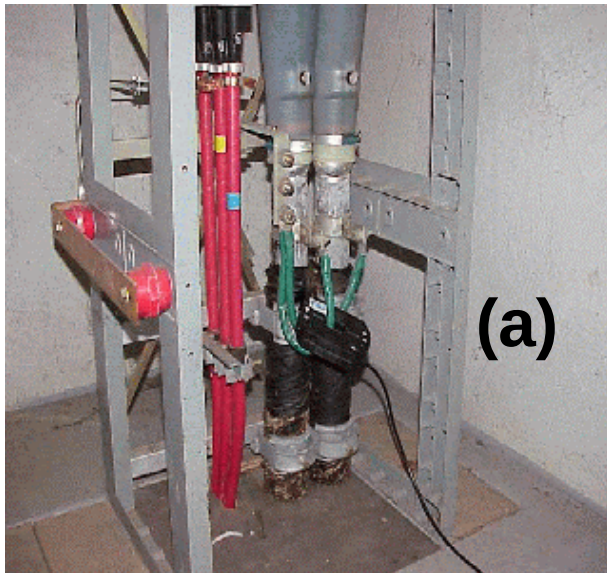
The most common applied excitation voltages can be classified as follows:

- *Continuous AC voltages of very low frequency (VLF)*
- *Transient switching impulse voltages (SI)*
- *Damped oscillating voltage waves (OVW)*

**PD mapping of
two PILC sections
with PD activity in
the cable
insulation.**



Due to large construction diversity the accessibility for diagnostic systems can be different: (a) due to very open construction almost each of diagnostics systems can be connected (b, c) due to the cable termination is inside the switchgear the accessibility is limited.



Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

CONTENT

⇒ General aspects

2. Cable insulation degradation

3. Influencing factors

4. Selection diagnostics tools

5. Conclusions

<i>Standard methods for diagnostic testing of distribution power cables</i>		
Voltage source	PD detection	PD information
50Hz ac energizing: <i>on-line method</i>	VHF PD detection at power line frequency voltages	PD activity in the whole power cable circuit at U_0 level only
50Hz ac energizing: <i>off-line method</i>	Standardized (IEC) PD detection at sinusoidal power line frequency voltages	PD occurrence and location in the selected cable section at different voltage levels
0.1Hz ac off-line energizing: <i>off-line</i>	PD detection at sinusoidal 0.1Hz voltage frequency	PD occurrence and location in the selected cable section at 2 different voltage levels only
Damped ac voltages energizing: <i>off-line</i>	Standardized (IEC) PD detection at damped sinusoidal voltages at 50Hz..500Hz frequencies	PD occurrence and location in the selected cable section at different voltage levels

Partial discharges: important aspects of alternative energizing methods

For a utility interested in applying PD diagnostics for condition assessment of its distribution power cable networks the PD measuring data transferability between 50(60) Hz continuous energising and the alternative excitation voltages is important.

In particular two aspects are important:

1. the PD inception processes under the applied alternative test voltage should be comparable to the power frequency stress;
2. the PD measurement should be performed in conformity to the IEC 60270 recommendations.

Reference: CIRED 2001; Amsterdam 18-21 June 2001, paper 1:53; COMPARISON AMONG DIFFERENT DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR MEDIUM VOLTAGE CABLE LINES; by V. Colloca, A. Fara ENEL Distribuzione (Italy), M. De Nigris G. Rizzi, CESI (Italy)

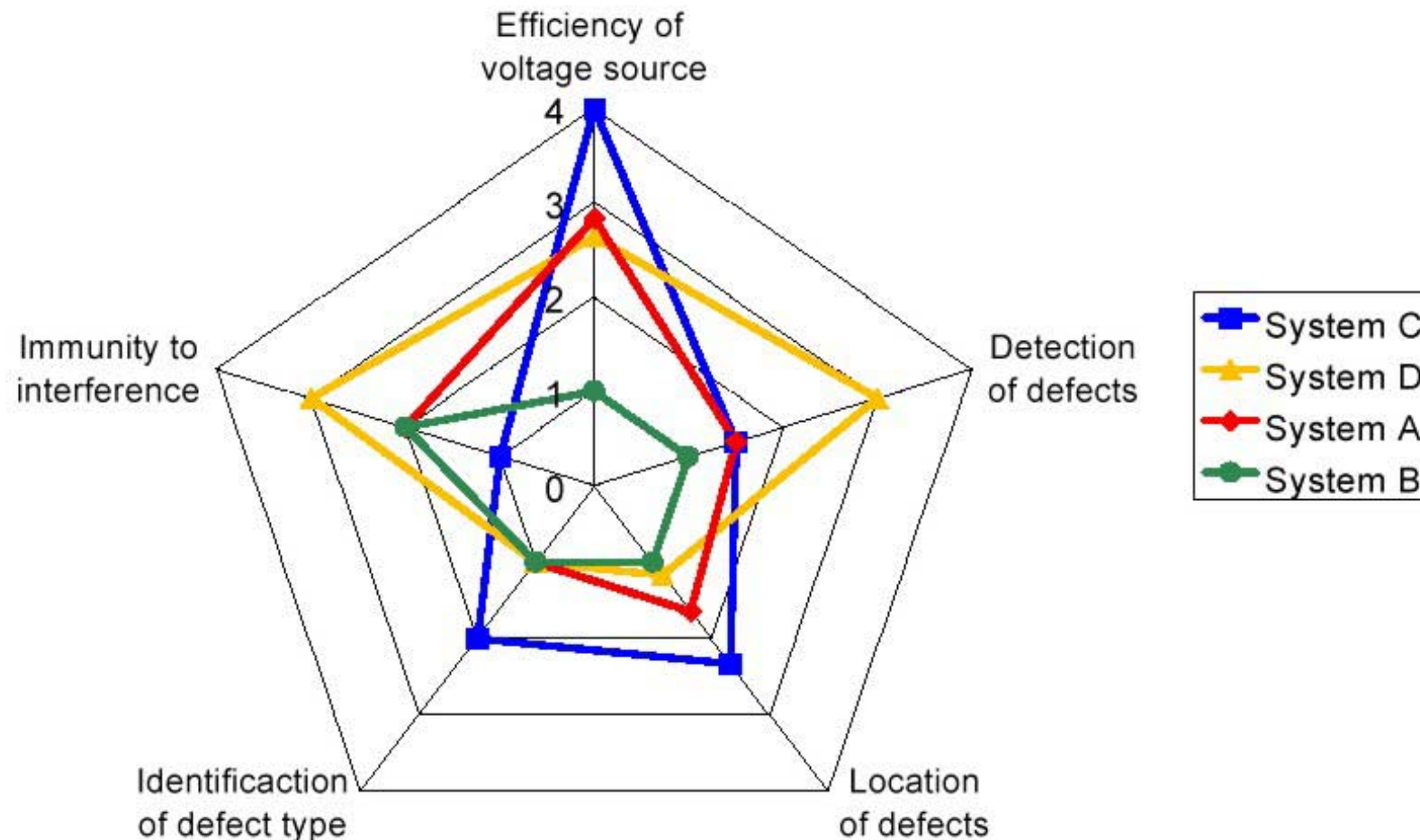


Figure 7: Technical evaluation of the different systems considered

Reference: CIRED 2001; Amsterdam 18-21 June 2001, paper 1:53; COMPARISON AMONG DIFFERENT DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR MEDIUM VOLTAGE CABLE LINES; by V. Colloca, A. Fara ENEL Distribuzione (Italy), M. De Nigris G. Rizzi, CESI (Italy)

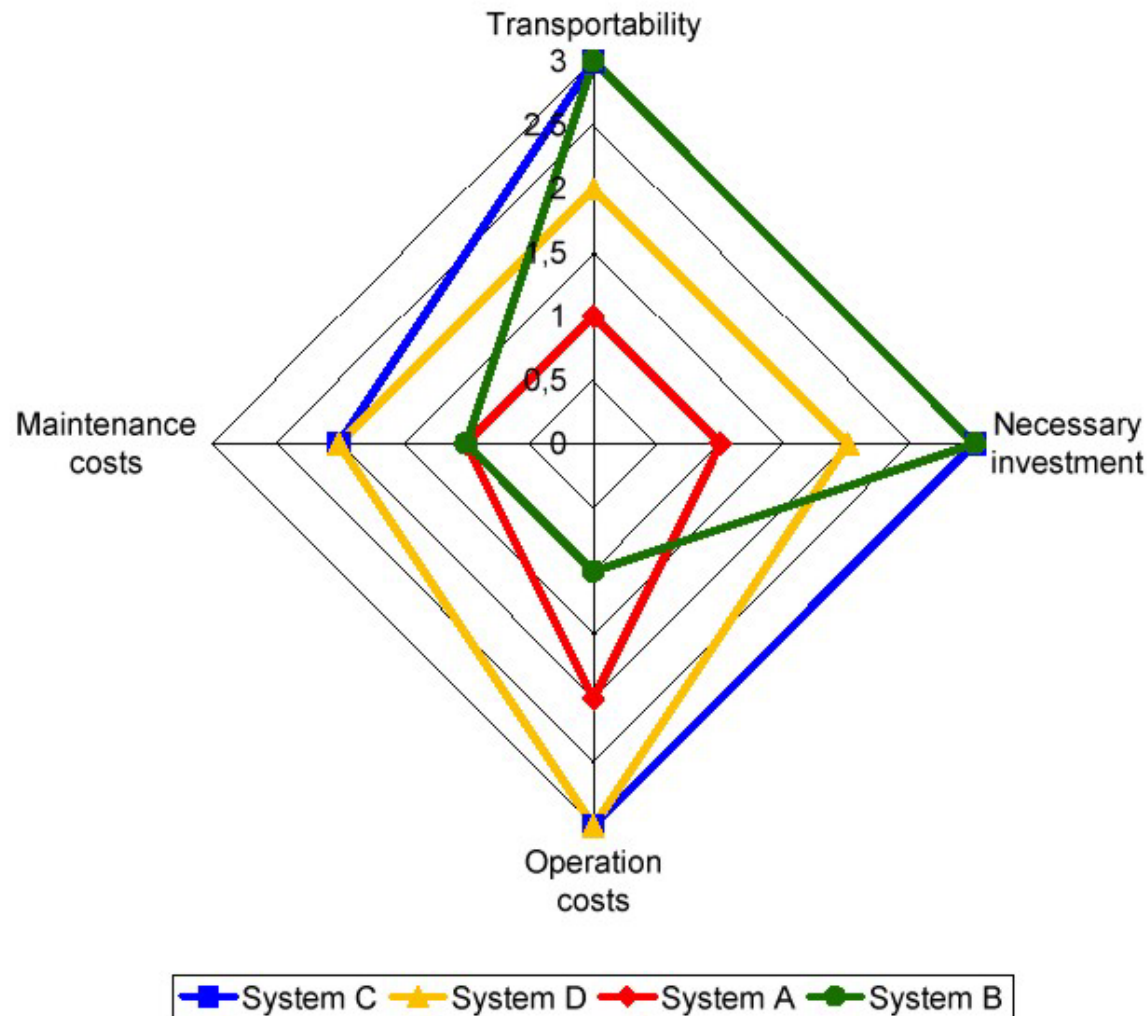
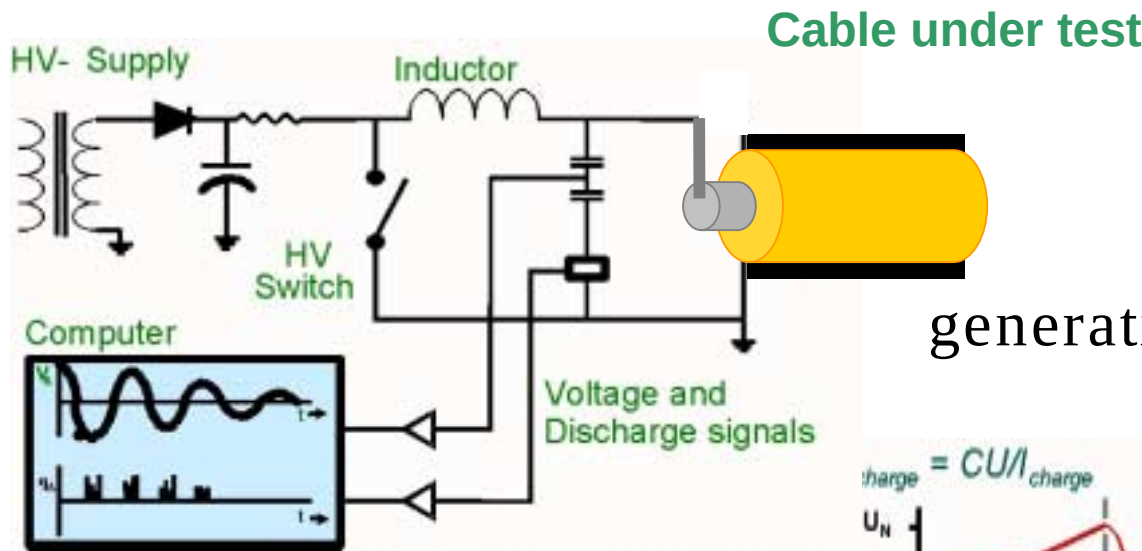


Figure 8: Mananagement and economical evaluation of the systems considered
Delft University of Technology, HV Technology & Management

Table 1: voltage sources characteristics of the systems considered

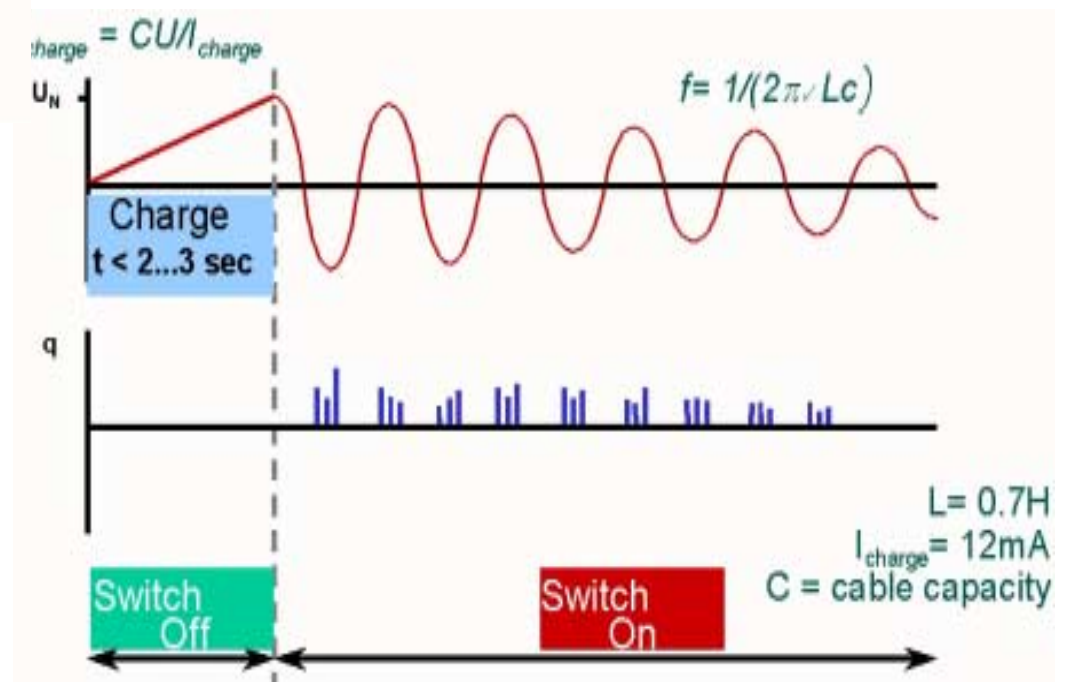
System	Source
A	Sinusoidal voltage at power frequency
B	Sinusoidal voltage with very low frequency (0.1 Hz)
C	Oscillating wave with variable frequency and low damping
D	Oscillating wave with fixed frequency and high damping

OWTS Method



generation of oscillating voltages

schematic diagram



OWTS Method



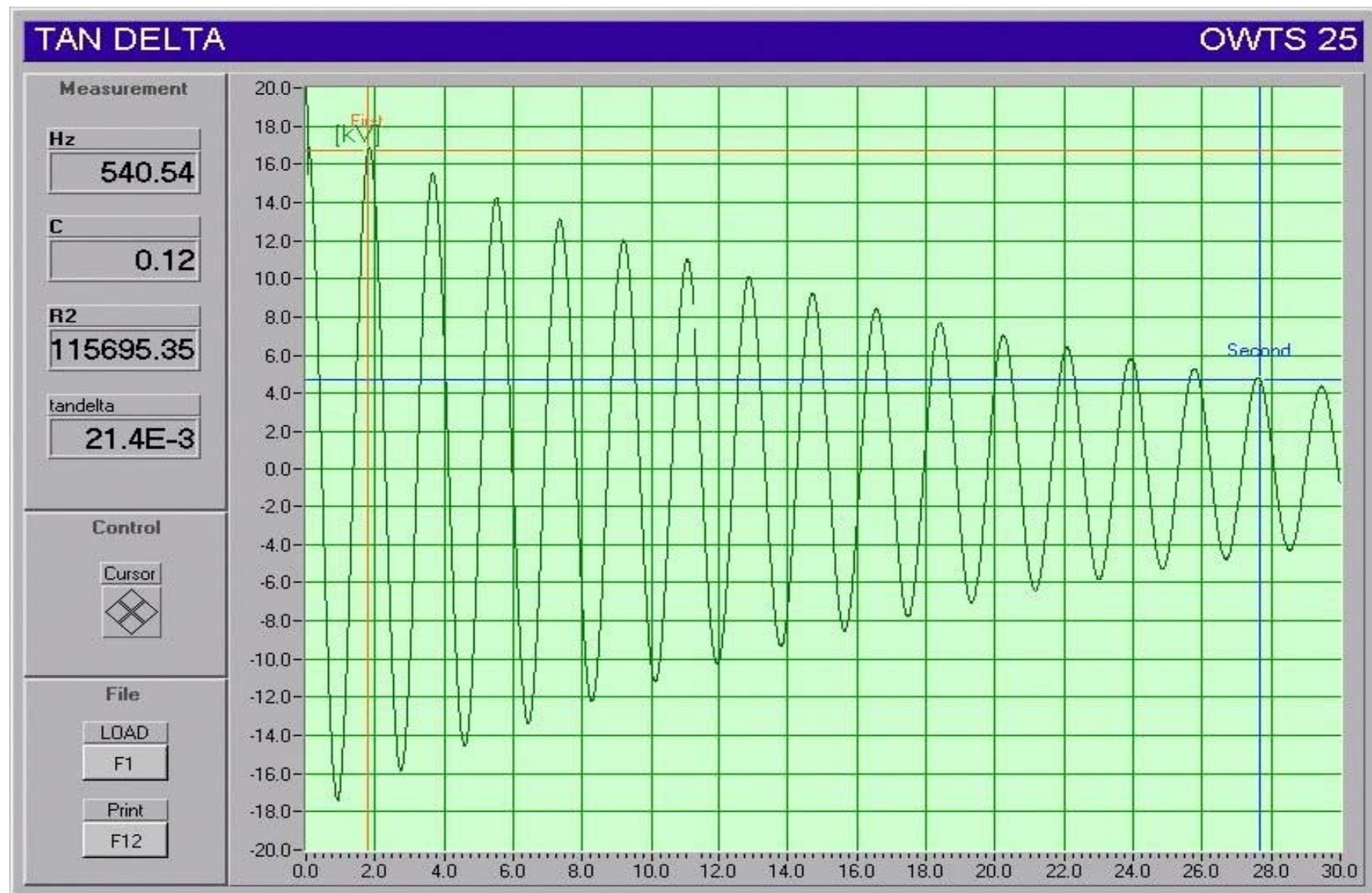
Coil / HV Switch / PD detection circuit



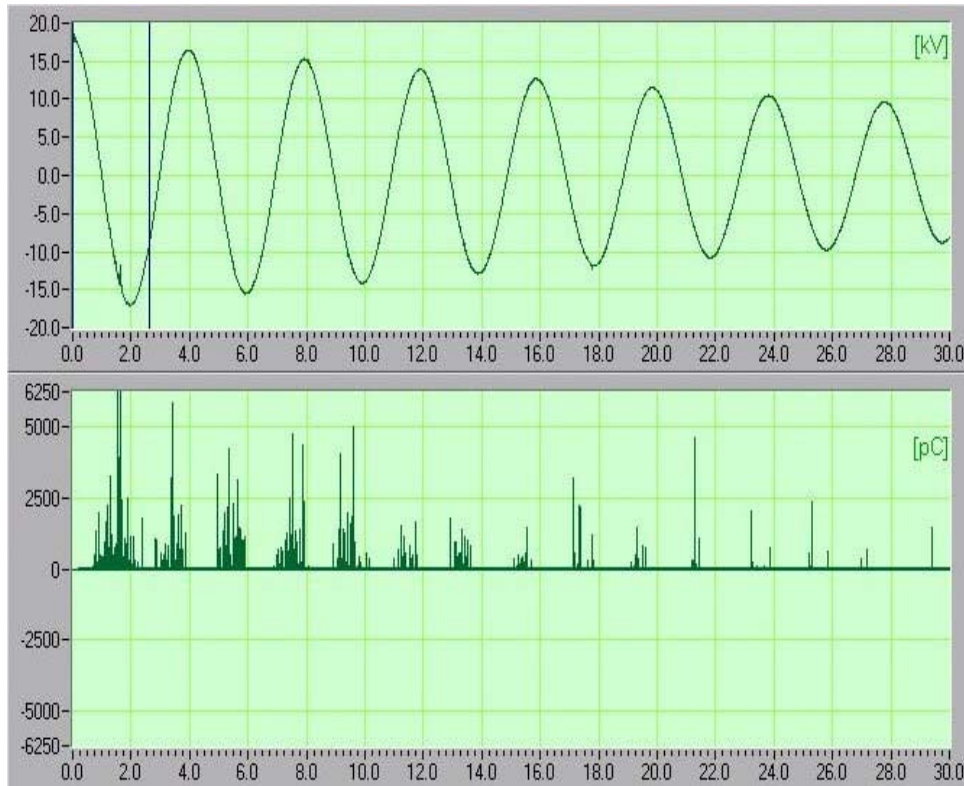
HV supply / computer



Oscillating Voltage Wave

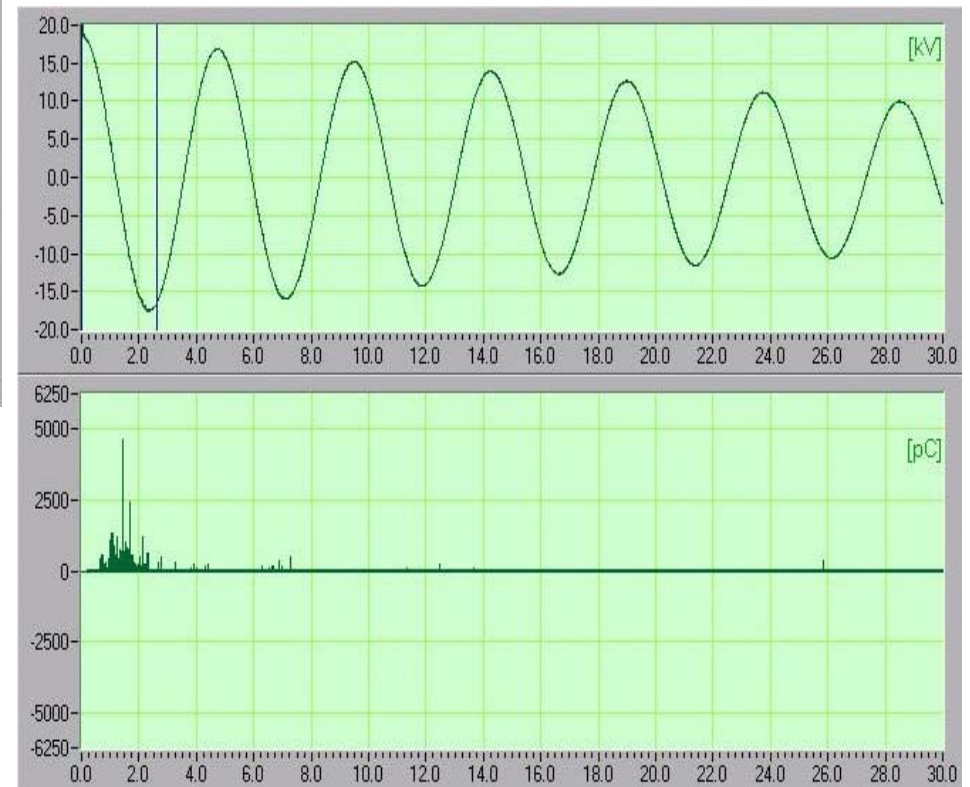


Oscillating Voltage Wave and PD occurrences



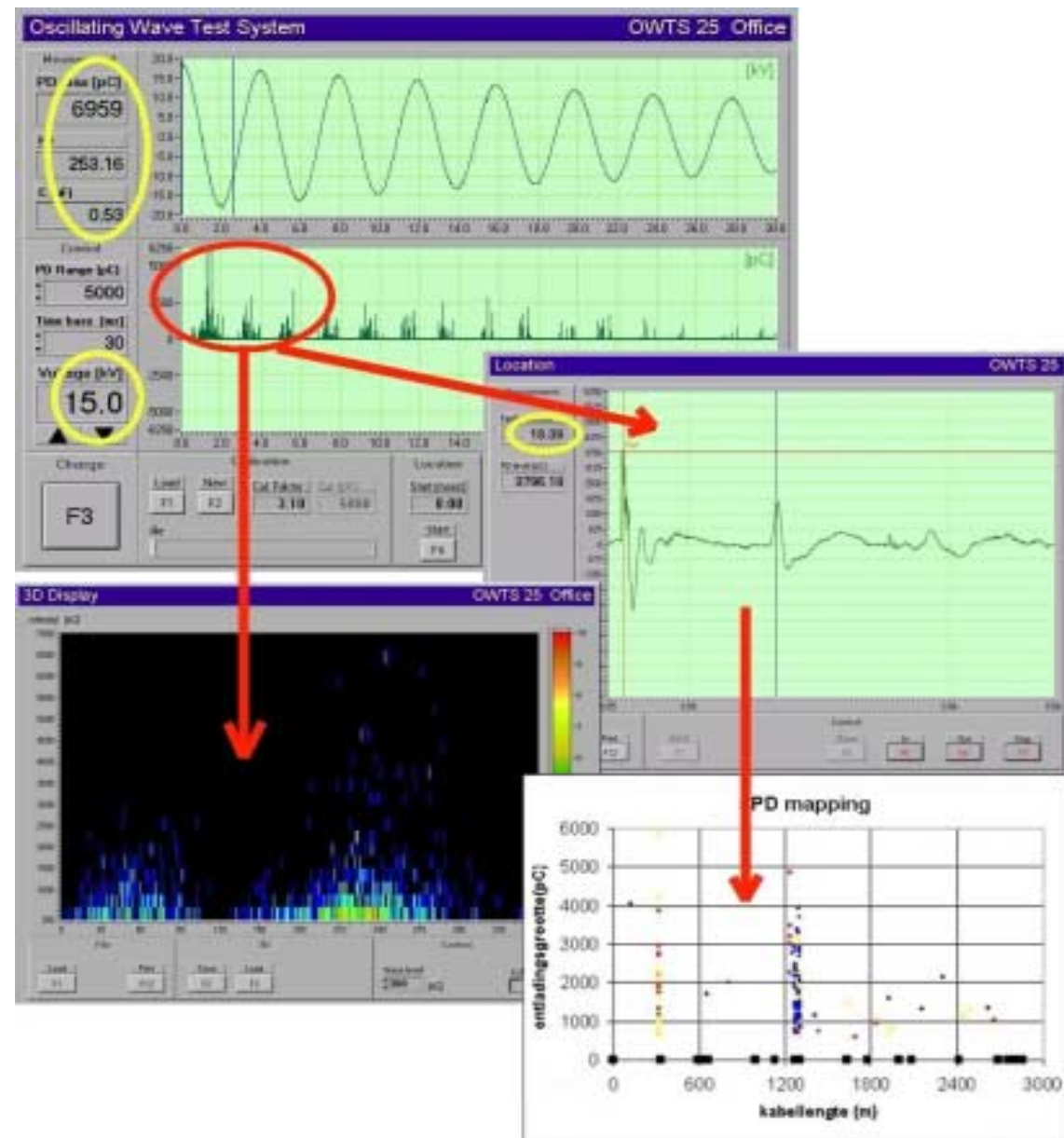
Example of typical PD pattern as observed for discharges in solid insulation, e.g. cavities

Example of typical PD pattern as observed for discharges in liquid insulation, e.g. surface discharges in oil



PD evaluation: OWTS method

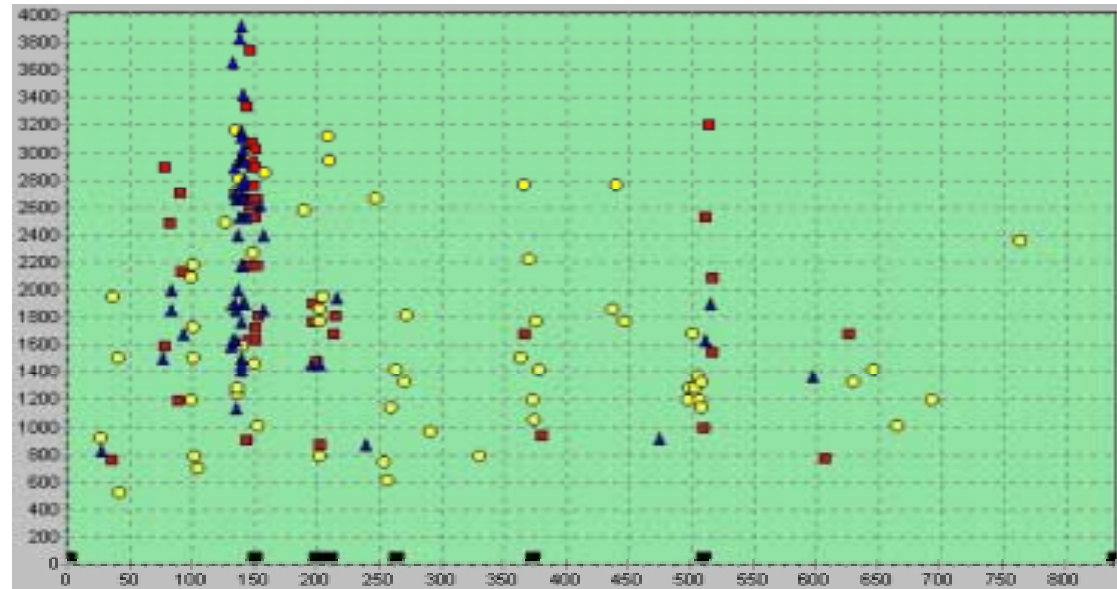
- PD inception voltage;
- PD extinction voltage;
- PD magnitudes;
- PD intensity;
- PD pattern (2D & 3D);
- PD mapping
- $T_g \delta$.



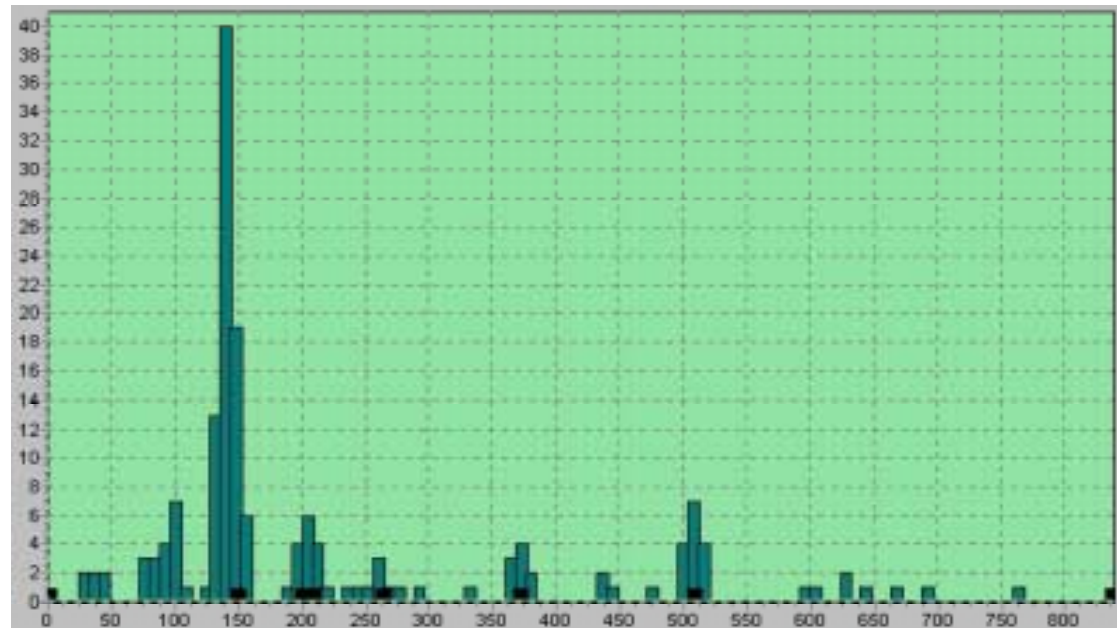
Owts statistical evaluation

**PD amplitude versus location
in all 3 phases of the power
cable**

**(black dots indicate
accessories);**



**PD intensity versus location in
all 3 phase of the power cable**



Selection of PD diagnostic



- the PD inception processes under the applied alternative test voltage should be comparable to the power frequency stress;
- the PD measurement should be performed in conformity to the IEC recommendations.

Surface discharges

PD basic quantities at ac 50(60) Hz and OVW

	50Hz AC energizing	454Hz OWTS
PDIV	12.5kVeff	18kVpeak (12.8kVeff)
PDEV	12.5kVeff	20kVpeak (14.1kVeff)
PD level	0.85nC, 0.43nC at 20kVeff	0.87nC, 0.47nC at 20kVeff

Sharp edges in oil

	50Hz AC energizing	454Hz OWTS
PDIV	10kVeff	16kVpeak (11.4kVeff)
PDEV	9kVeff	16kVpeak (11.4kVeff)
PD level	2.8nC at 20kVeff	2.0nC at 20kVeff

Sharp edges in oil/air interface

	50Hz AC energizing	454Hz OWTS
PDIV	9.3kVeff	18kVpeak (12.7kVeff)
PDEV	9.3kVeff	15kVpeak (11kVeff)
PD level	12nC (pos), 3nC(neg) at 12.7kVeff	10.5nC (pos), 2.5nC (neg) at 12.7kVeff

Floating part in oil

	50Hz AC energizing	454Hz OWTS
PDIV	4.8kVeff	8kVpeak (5.7kVeff)
PDEV	2.7kVeff	6kVpeak (4.2kVeff)
PD level	7.6nC, 6nC at 8.1kVeff	10.5nC, 6nC at 7.8kVeff

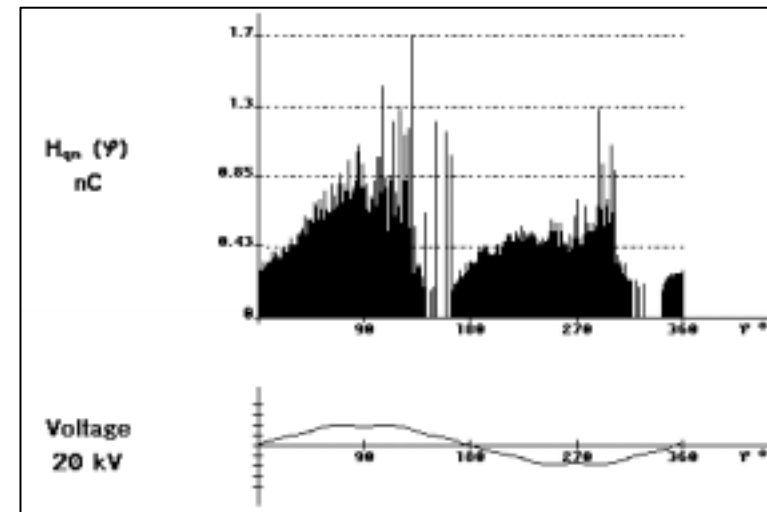
PD results transferability; example
defect surface discharge in oil

Same PDIV/PDEV;

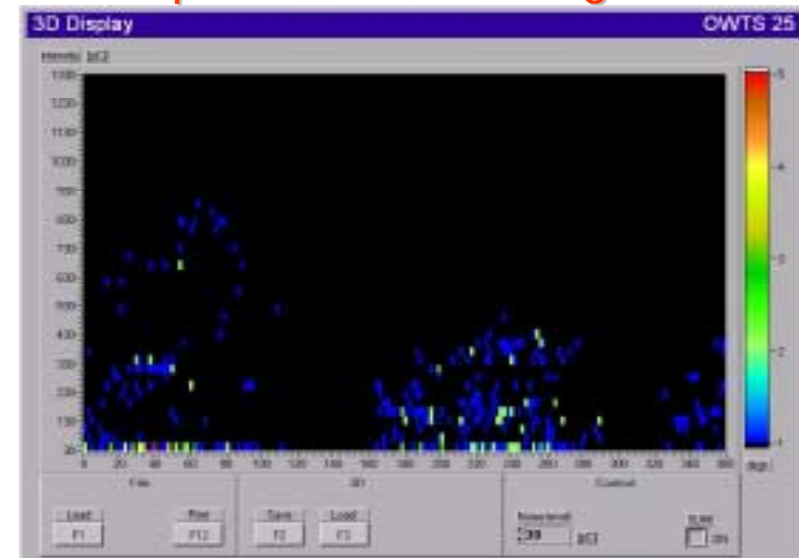
Similar patterns;

Same PD amplitudes;

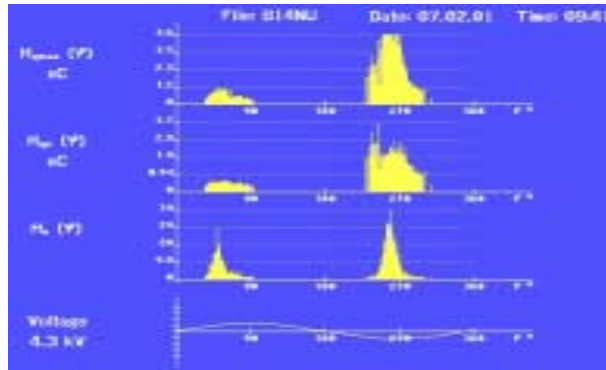
PD pattern at 50Hz ac conditions



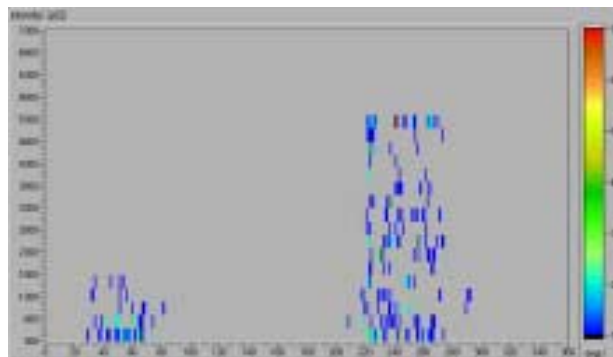
PD pattern at OVW diagnostic



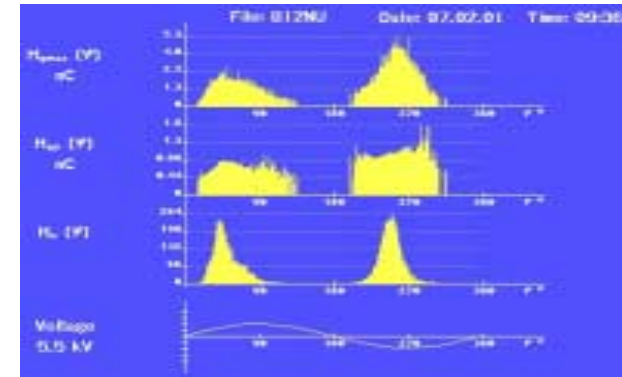
PD results transferability; example XLPE cables accessories



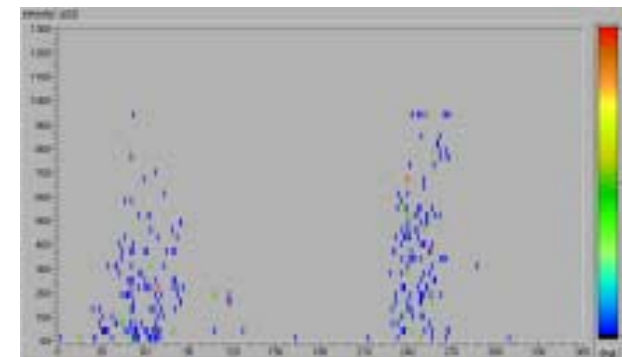
IEC 60270 PD
detection at
ac 50(60)Hz



Defect: *no contact
between the semicon and
the stress cone of the 10
kV cable termination;*



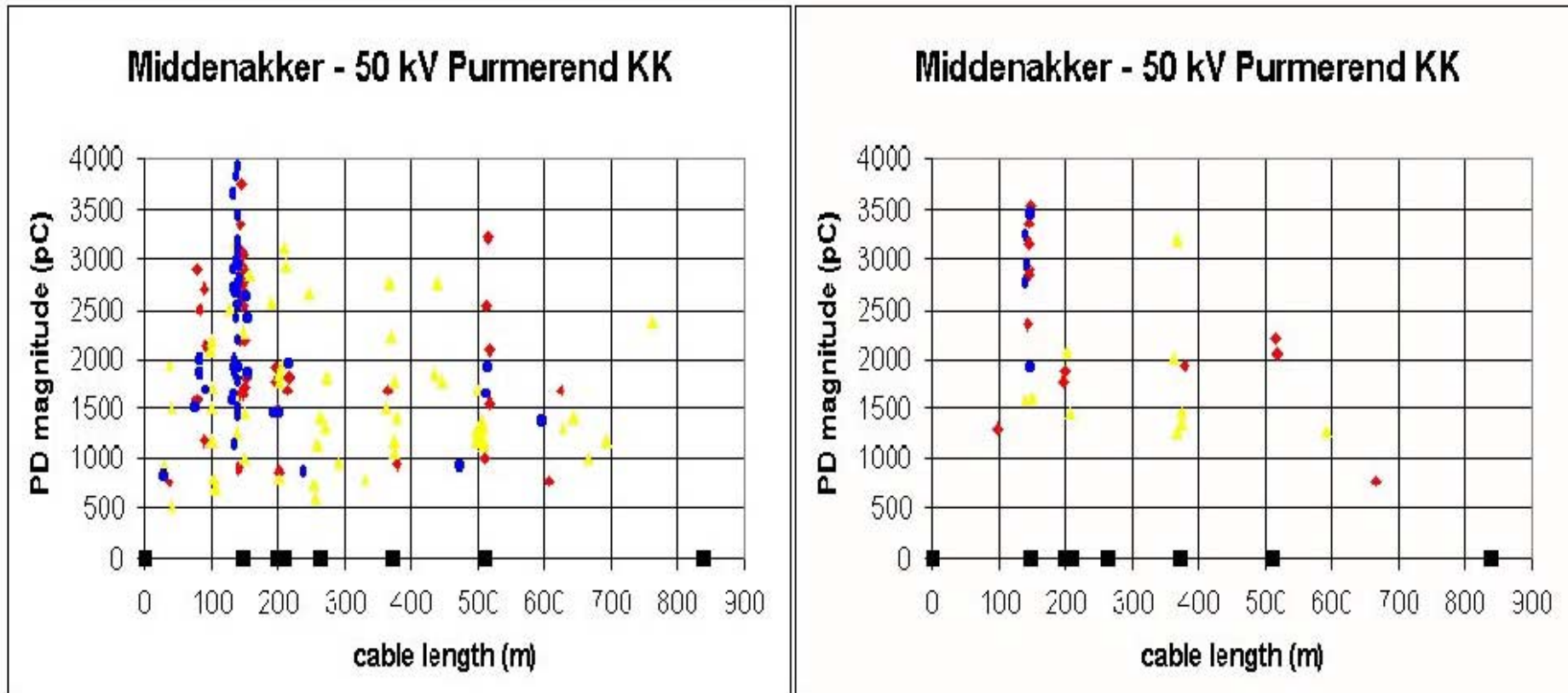
IEC 60270 PD
detection at OVW



Defect: *no contact
between the semicon and
the stress cone of the 10
kV cable splice;*

PD results transferability; example PD mapping in a power cable

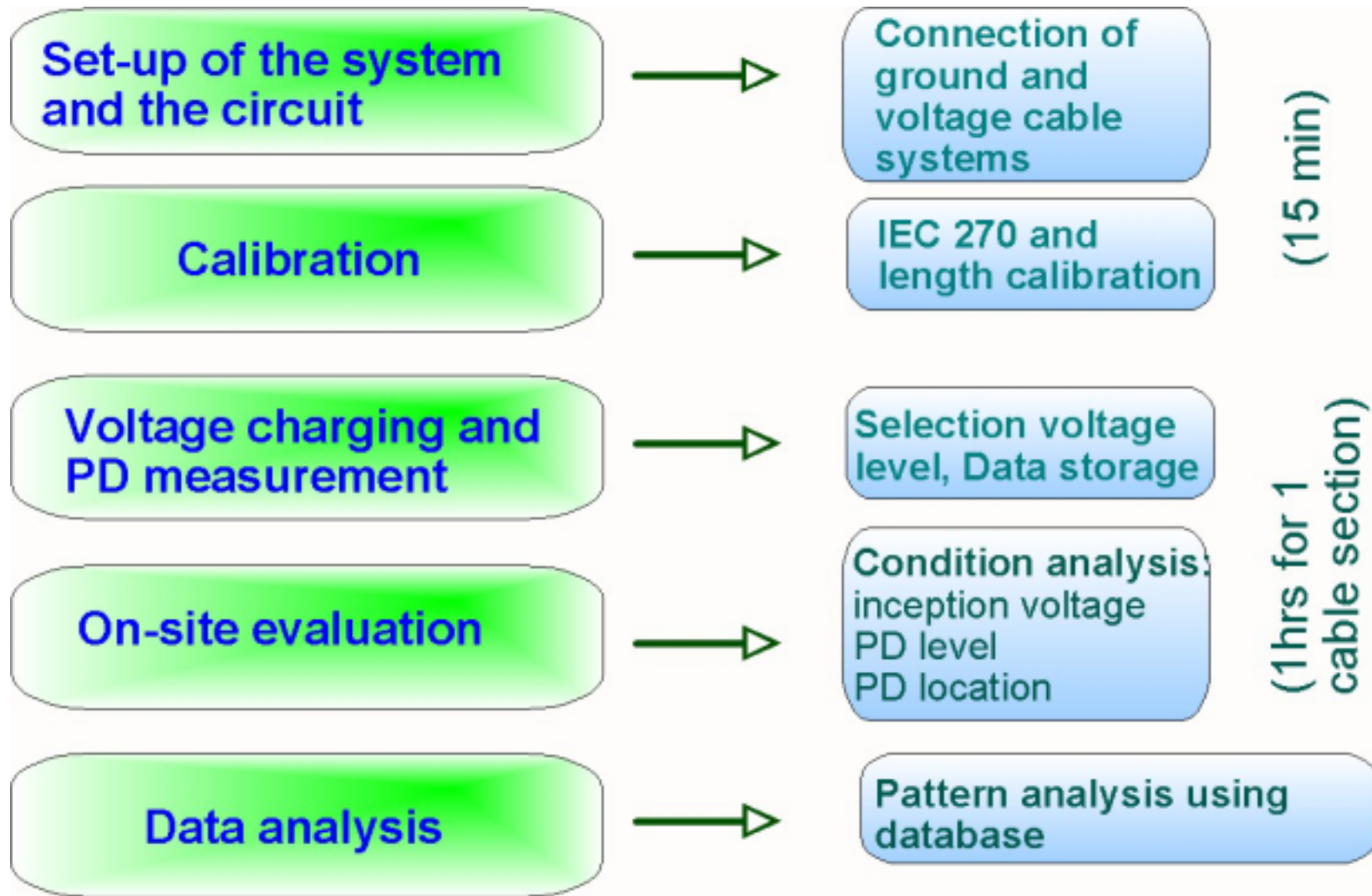
10 kV; papier/olie isolator; 840 m.; 17 years



PD mapping made using OVW method

PD mapping made using ac 50Hz energizing method

Oscillating Wave Test System: OWTS®



OWTS Test procedure

Measurement	Voltage level	Number of measurements
PD background noise level	0 kV.... 0.5 kV	1
PD inception voltage (PDIV)	<i>1st PD pulses occur</i>	3
PD occurrence at	U_0	3
PD occurrence at	$1.5 \times U_0$	3
PD occurrence at	$2 \times U_0$	3
PD extinction voltage PDEV)	<i>at least 20% above PDIV</i>	3
$\text{tg } \delta$	U_0	1

Aspects of Insulation Condition Assessment of Distribution Power Cables

CONTENT

⇒ General aspects

2. Cable insulation degradation

3. Influencing factors

4. Selection diagnostics tools

5. Conclusions

Conclusions (1)

- The detection, location and classification of partial discharges (PD) in distribution power cables at an early stage may prevent unexpected outages. As a result maintenance actions can be planned.
- From a physical point of view predictive PD diagnostics should be performed by power frequency voltages.
- OWTS excitation voltages ensure the most similar stress to 50 / 60 Hz energising. This approach is therefore mostly recommended as alternative excitation voltage for PD diagnostics of MV cables.
- Since 2 years compact advanced PD diagnostics system for MV cables is commercially available. OWTS uses excitation voltages and qualitatively similar procedures for detection, location and identification of PD sites in cable sections and accessories.

Conclusions (2)

- The advantages of PD diagnostics under OWTS excitation can be summarized as follows:
 - The PD tests are performed similar to AC conditions. This ensures realistic information on the PD inception voltage, PD magnitude and phase-resolved PD pattern within a relatively short testing time, which results in an appreciable cost benefit.
 - Because the comparatively low PD inception voltage no excessive stress is caused by the OWTS excitation of MV power cables.
 - The PD measuring procedures are in compliance with the relevant international standards IEC 60270 and IEC 885-3, which ensures the comparison of field tests with PD tests under laboratory conditions.
 - Due to the low power demand OWTS test systems are lightweight and compact, which can easily be transported and approached close to the cable under test.