



# **Doświadczenia w Monitorowaniu WNZ w Izolacji Transformatorów Energetycznych**

W. Kołtunowicz, OMICRON Energy Solutions

## PD Definition According to IEC 60270

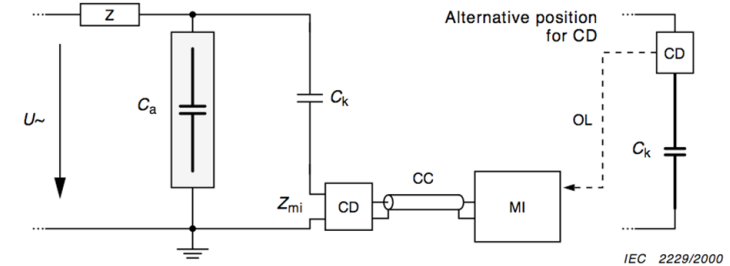
Partial Discharge (PD) - localized electrical discharge that only partially bridges the insulation between conductors and which can or can not occur adjacent to a conductor

- **PD** are in general a consequence of local electrical stress concentrations in the insulation or on the surface of the insulation
- **PD** generate electromagnetic signals
- **PD** are often accompanied by emission of sound, light, heat, and chemical reactions

# PD detection methods

## ➤ Electrical:

- Conventional (acc. IEC 60270)
- HF/VHF/UHF

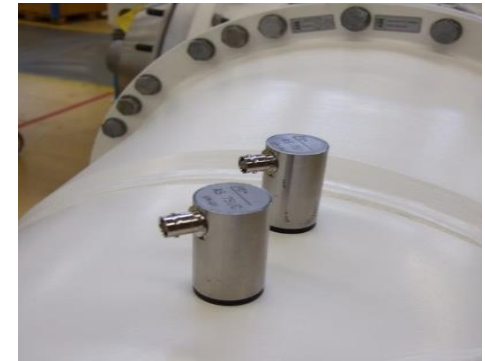


## ➤ Nonelectrical:

- Acoustic
- Optical
- Chemical



*UHF*



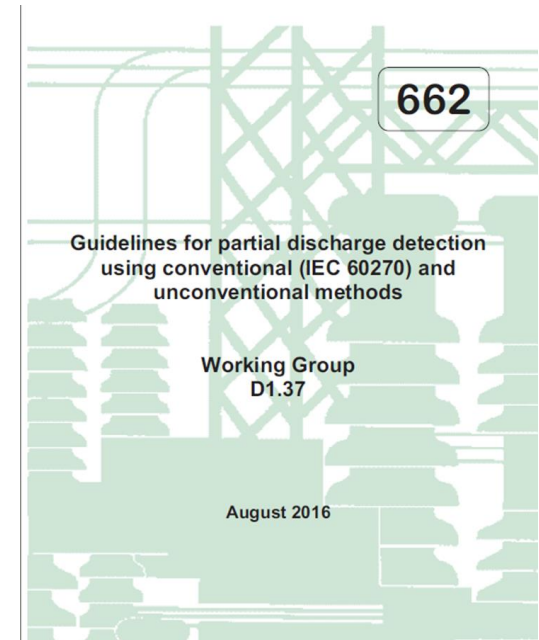
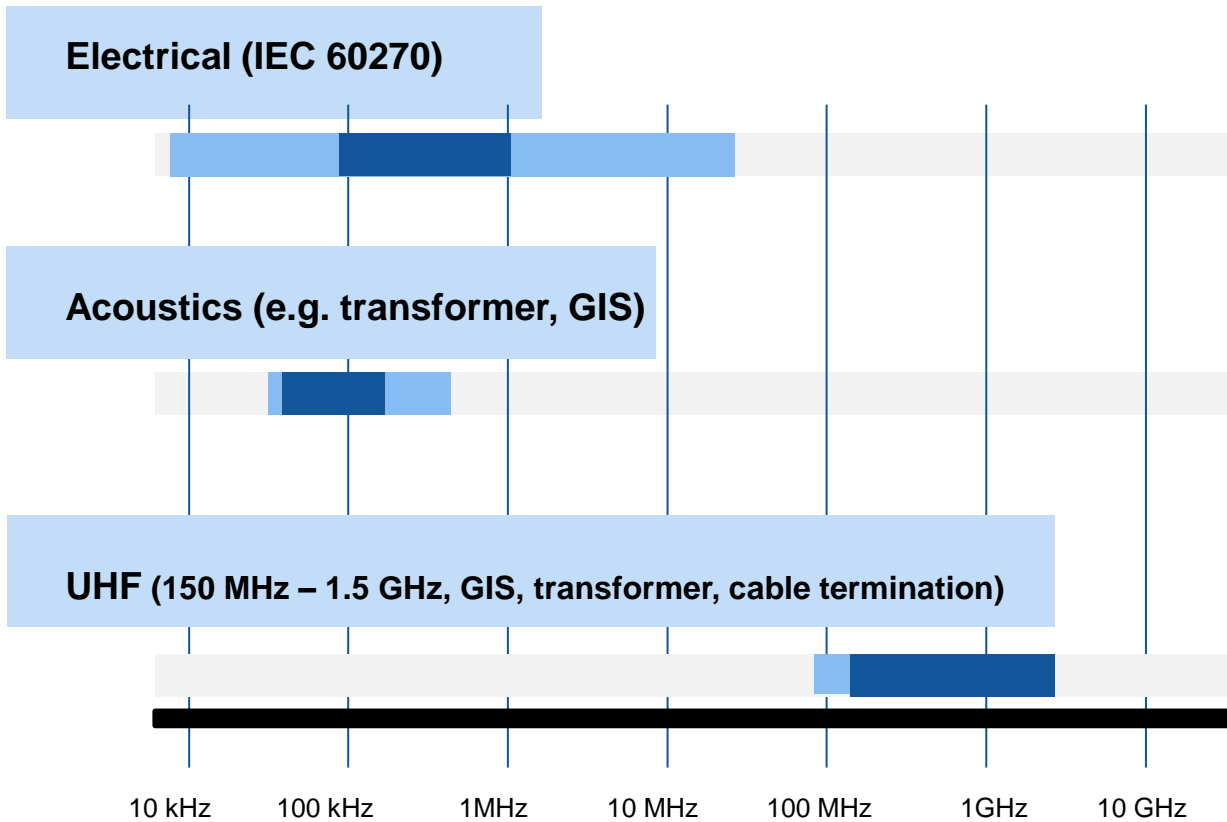
*Acoustic*



*Optical  
(CESI)*

# PD detection methods

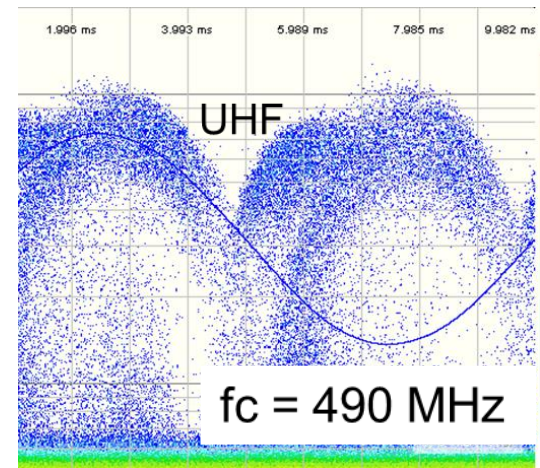
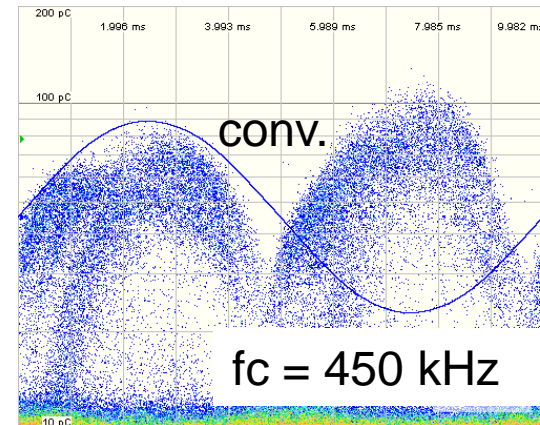
HV Component	Generator	Transformer	HV Cable	GIS
Insulation	Mica	Paper-oil	XLPE Oil	Epoxy Gas
PD Sensor	CC HFCT	CC, UHF Acoustics	HFCT CC UHF	UHF Acoustics



# Why PD measurements ?

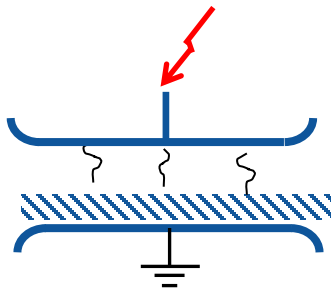
Non-destructive test method to:

- detect critical defects
- localize defects
- recognize defects
- access the risk

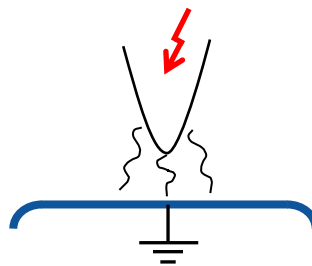


# PD classification

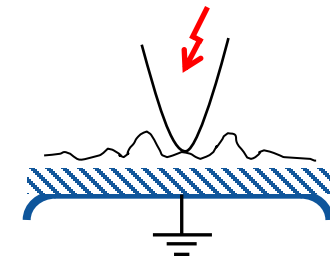
- **Internal discharges** occurring in voids or cavities within solid or liquid dielectrics
- **Surface discharges** appearing at the boundary of different insulation materials
- **Corona discharge** occurring in gaseous dielectrics in the presence of inhomogeneous fields
- **Treeing discharges** in solid dielectrics forming discharge channels (**treeing**)



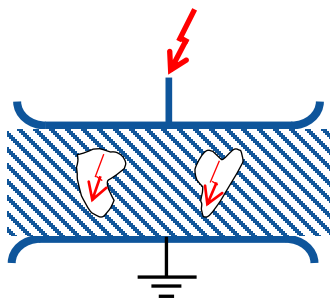
Discharge in laminated material



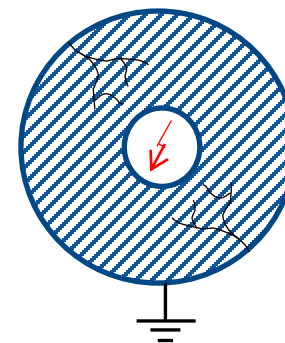
Corona discharge



Surface discharge

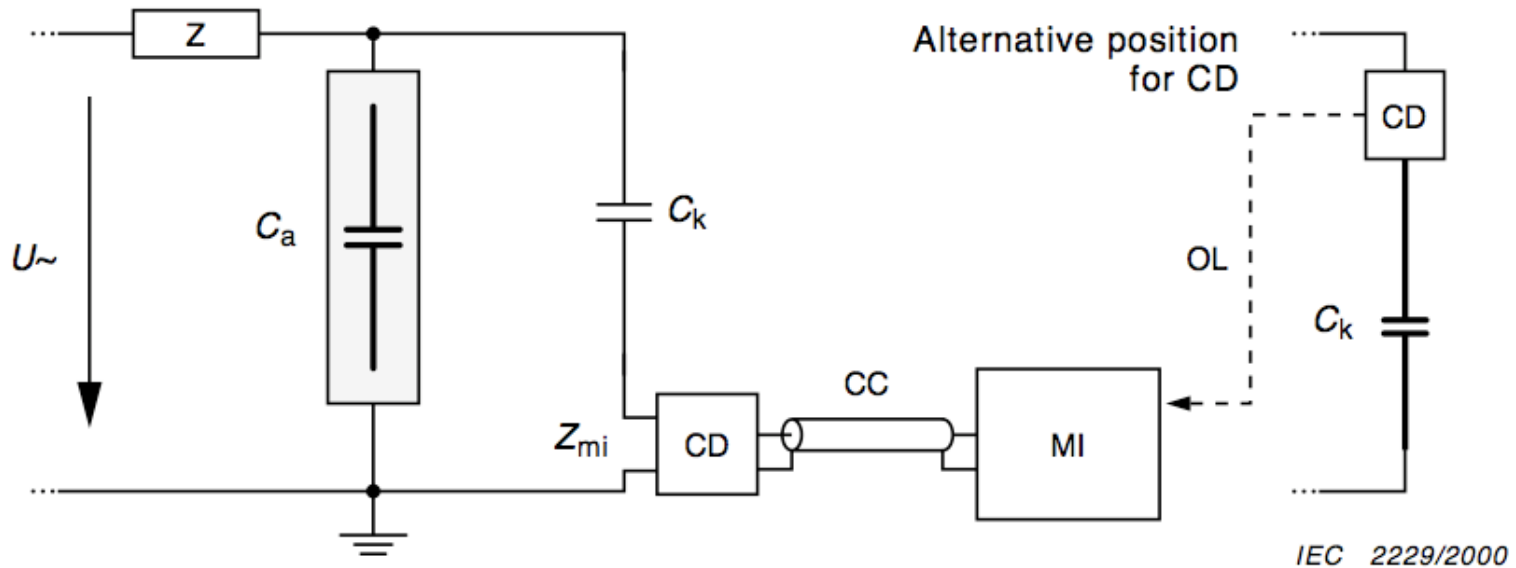


Cavity discharge



Treeing

# Basic measurement circuits

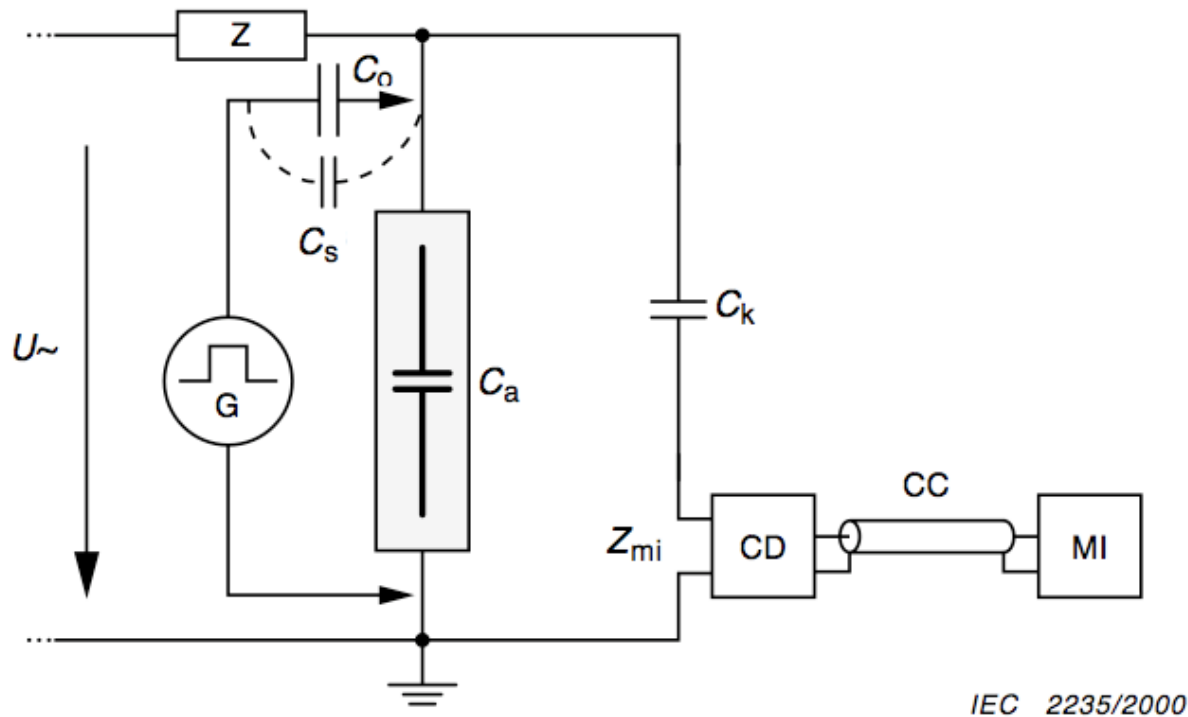


**Figure 1a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor**

## Components

- $U_{\sim}$  high-voltage supply
- $Z_{mi}$  input impedance of measuring system
- $CC$  connecting cable
- $OL$  optical link
- $C_a$  test object
- $C_k$  coupling capacitor
- $CD$  coupling device
- $MI$  measuring instrument
- $Z$  filter

# PD calibration



## Components

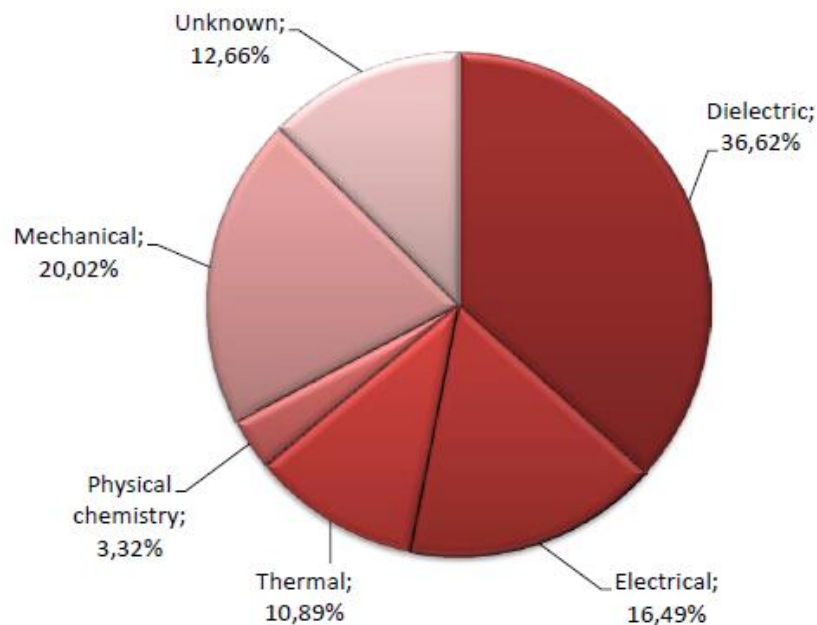
- $U_{\sim}$  high-voltage supply
- $G$  step voltage generator
- $C_0$  calibration capacitor
- $Z_{mi}$  input impedance of measuring system
- $CC$  connecting cable
- $C_a$  test object
- $C_k$  coupling capacitor
- $CD$  coupling device
- $C_s$  stray capacitance
- $MI$  measuring instrument
- $Z$  filter

IEC 2235/2000

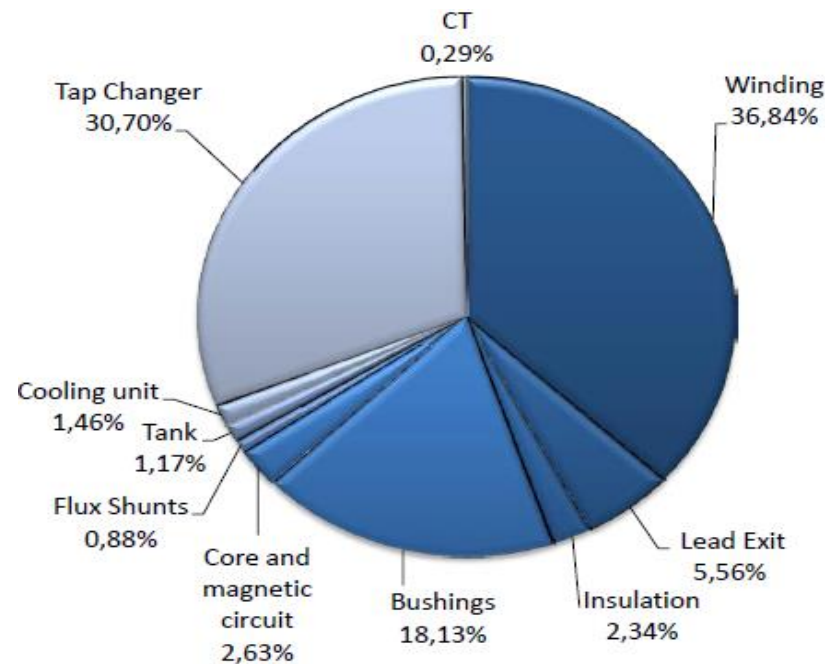
Figure 4a – Coupling device CD in series with the coupling capacitor



# Monitorowanie transformatorów mocy



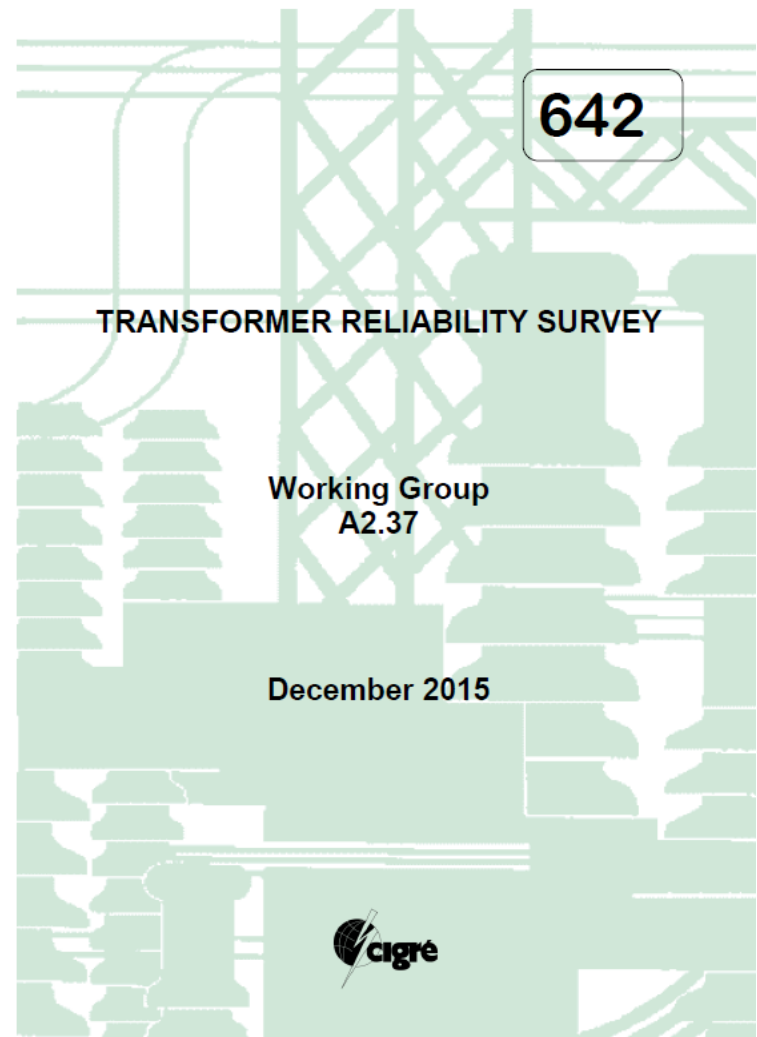
Analiza przyczyn 964 awarii



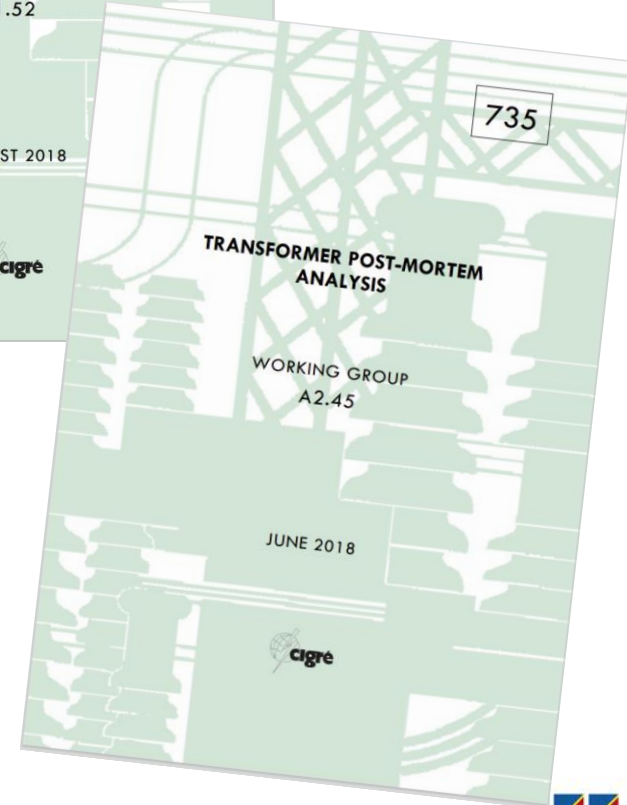
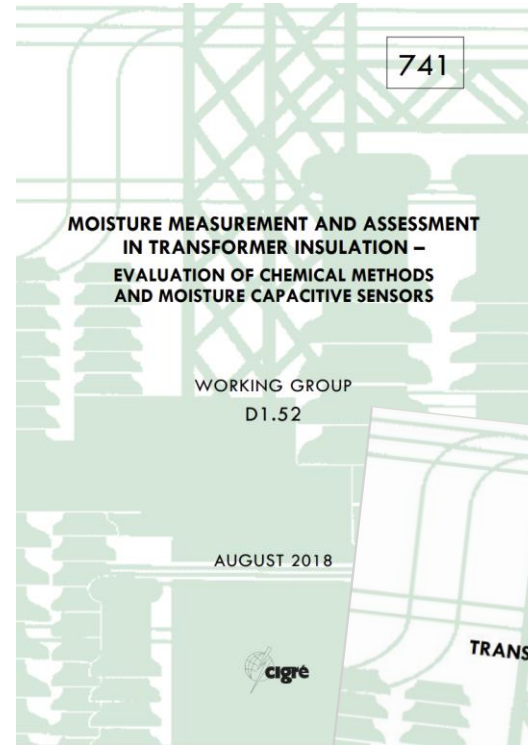
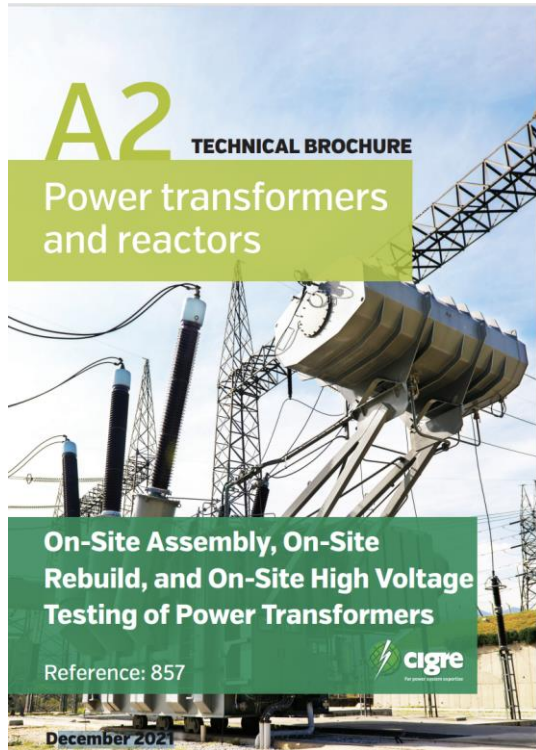
Lokalizacja miejsca awarii w transformatorach wyprodukowanych po 1980 r. (342 awarii,  $U \geq 100$  kV)

**CIGRE TB 642** “Transformer reliability survey” - 2016

# Technical Brochures of CIGRE



# Technical Brochures of CIGRE





# Monitorowanie transformatorów mocy

## Transformatory: 2 × 130 MVA, 230/115/48 kV



### T1:

**1967:** Instalacja

**1984:** Przeniesienie z A do B

**1993:** Przewożenie części aktywnej

**2005 - 2007:** On-line oil reclamation

**2010:** Wymiana przepustu w fazie U



### T2:

**1973:** Instalacja

..regularne przeglądy przełącznika zaczerpów

..regularne przeglądy systemu chłodzenia

# Metody pomiaru wnz

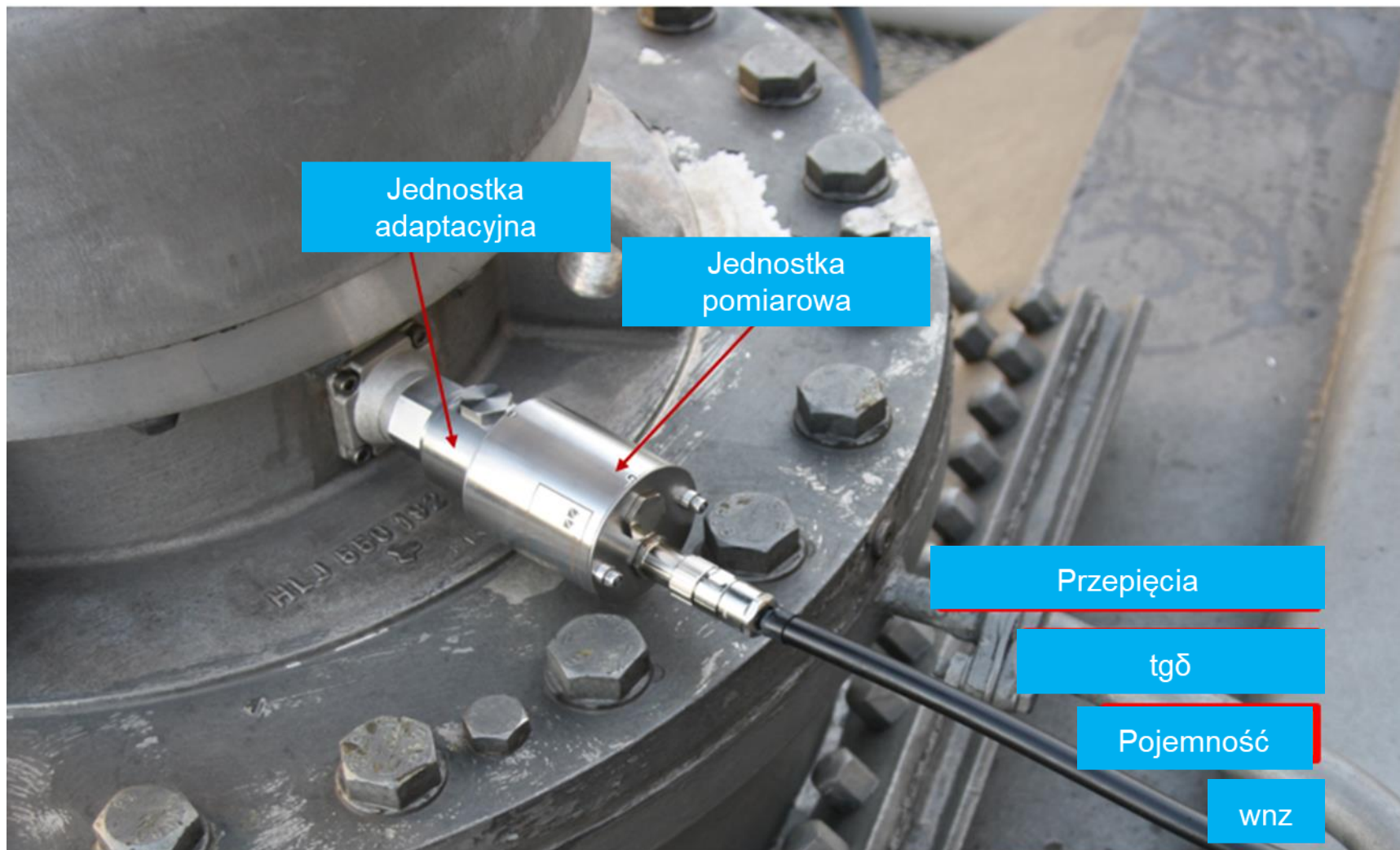
	Zalety	Wady
DGA	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prosta i jednoznaczna metoda interpretacji w przypadku pojedynczych defektów</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wysoki poziom wiedzy specjalistycznej wymagany w przypadku istnienia kilku typu defektów jednocześnie</li><li>• Stosunkowo niska dokładność w przypadku monitorowania on-line</li></ul>
PD	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umożliwia lokalizację defektów skracając czas naprawy</li><li>• Możliwość wykrycia defektów w początkowej fazie ich oddziaływania</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aby wyjaśnić niektóre wyniki, potrzebny jest wysoki poziom doświadczenia użytkownika</li><li>• Trudność w ustawianiu wartości progowych przy monitorowaniu ciągłym</li></ul>

# Monitorowanie transformatorów mocy

**Transformatory: 2 × 130 MVA, 230/115/48 kV**

	Wielkości mierzone	Uzwojenia	Przepusty
Off-line	DGA (H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> )	X	
	Wilgoć w oleju	X	
On-line	wnz mierzone na zaciskach pomiarowych przepustów	X	X
	UHF wnz	X	
	Pojemność i tgδ		X
	Przebiecia	X	X

# Monitorowanie transformatorów mocy

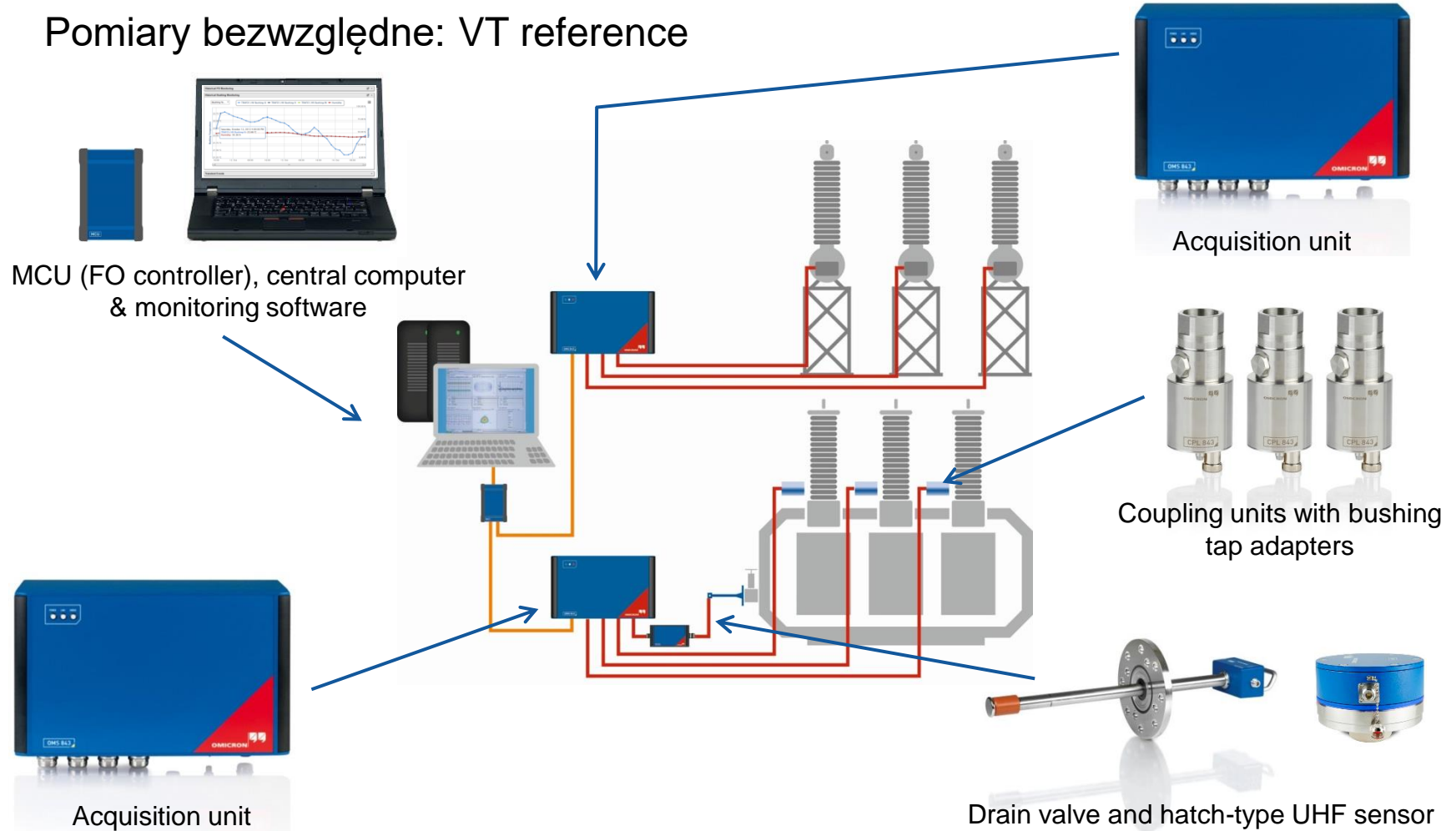


## Projekt systemu

# Monitorowanie transformatorów mocy

## Konfiguracja systemu do pomiarów C i tgδ

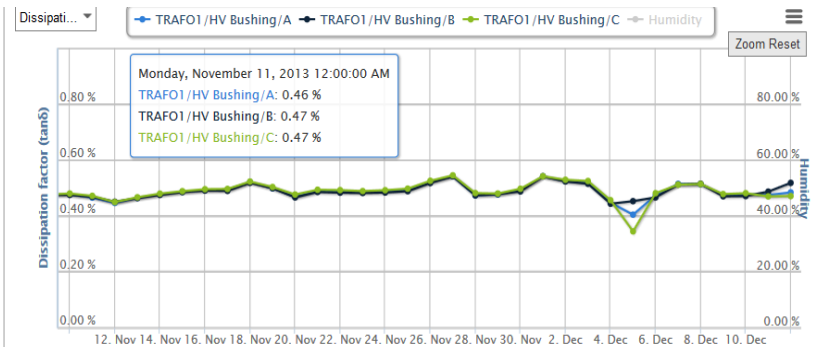
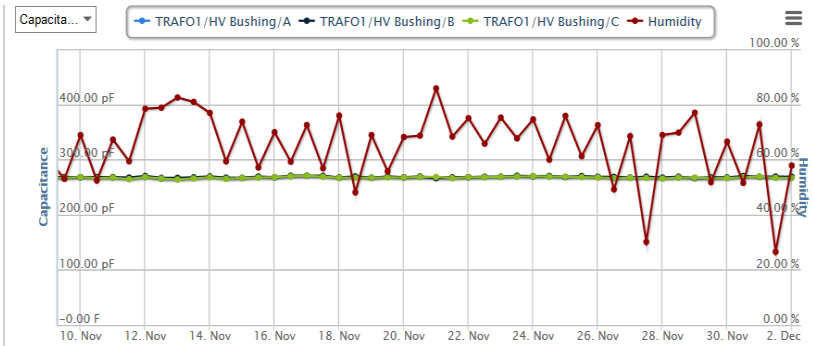
### Pomiary bezwzględne: VT reference





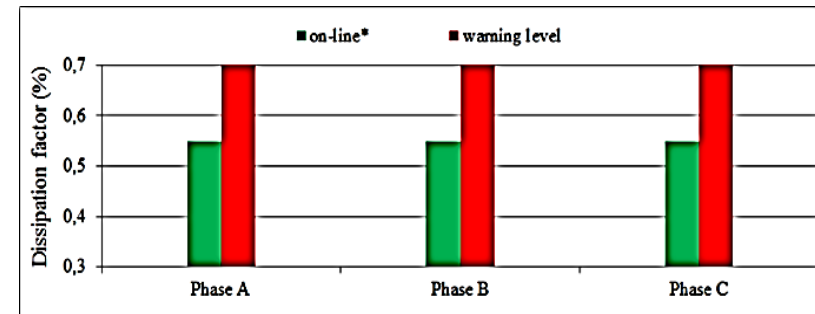
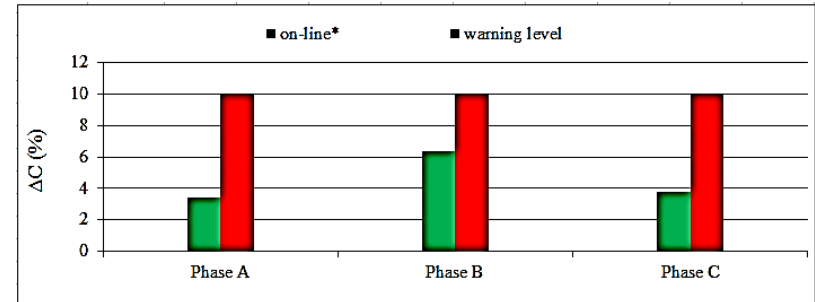
# Monitorowanie transformatorów mocy

## Pomiary bezwzględne pojemności i tgδ



Acceptance level of dielectric losses for bushings of different design (at 20°C)<sup>9</sup>

Standards	RIP	OIP	RBP
DF (tanδ) IEC60137	<0.7%	<0.7%	<1.5%
PF IEEE C57.19.01	<0.85%	< 0.5%	< 2 %



Voltage class and change of capacitance for condenser type bushings<sup>10</sup>

Voltage in kV	No. of layers	Change in %
123	14	7.1
245	30	3.3
420	40	2.5

# Monitorowanie transformatorów mocy

Analiza pomiarów wnz metodą standardową (IEC 60270)



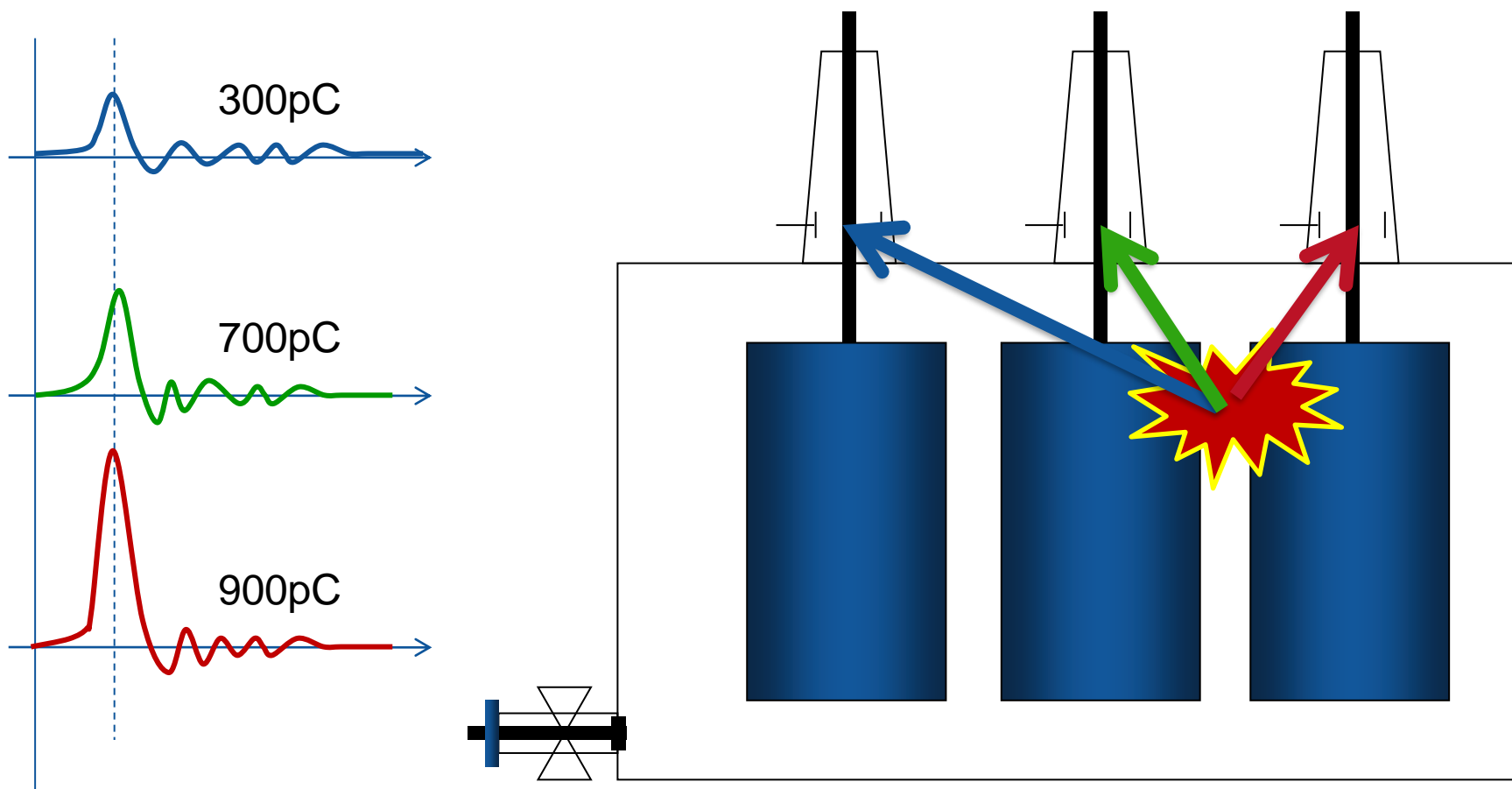
Trend poziomu WNZ mierzony w trzech fazach T1

## What is 3PARD?

- > 3PARD stands for **3-Phase Amplitude Relation Diagram**
- > Synchronous measurement with three MPD units on all three phases of a test object
- > The relation of the measured PD events on all three units is used to separate different PD sources from each other and from background noise
- > This is done in a three-phase star diagram

# Rozdzielenie źródeł WNZ i hałasu: 3PARD/3CFRD

## How 3PARD works – PD in the test object

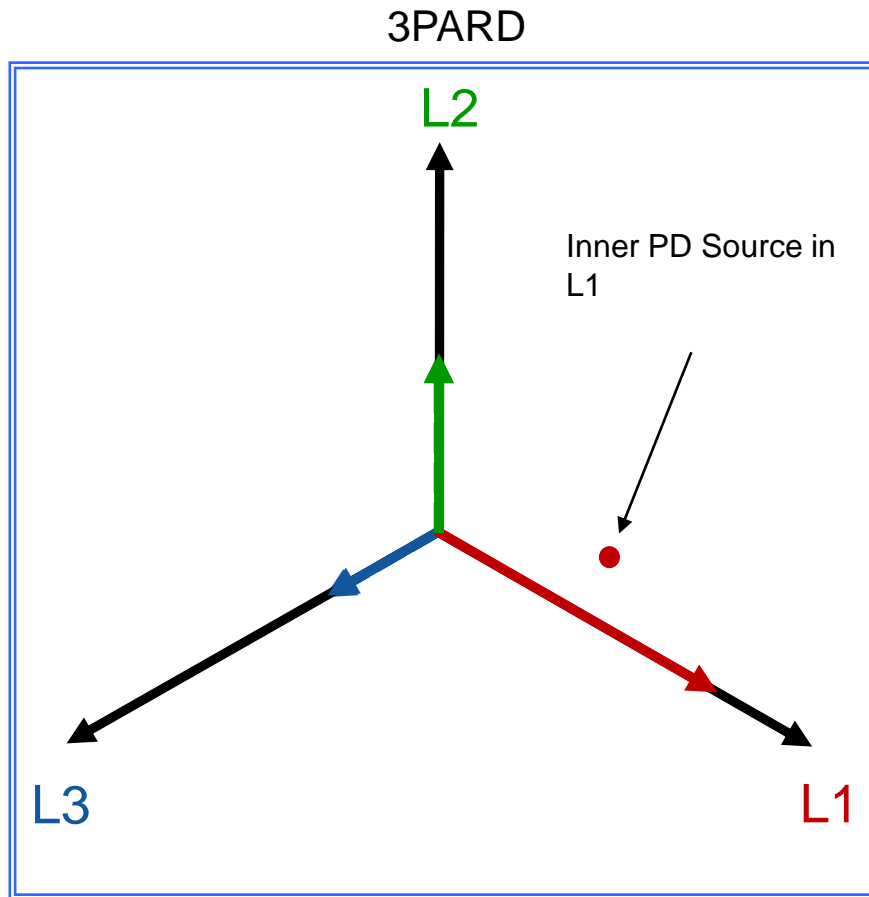


# Rozdzielenie źródeł WNZ i hałasu: 3PARD/3CFRD

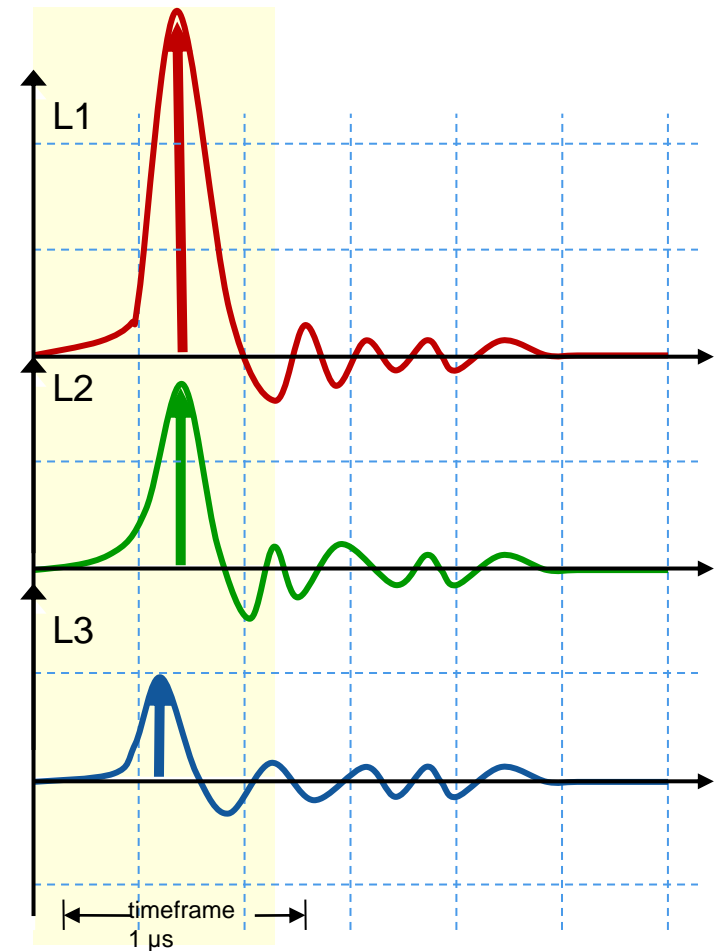
## Inner PD source in L1 in 3PARD

Inner PD Source

L1 > L2 > L3

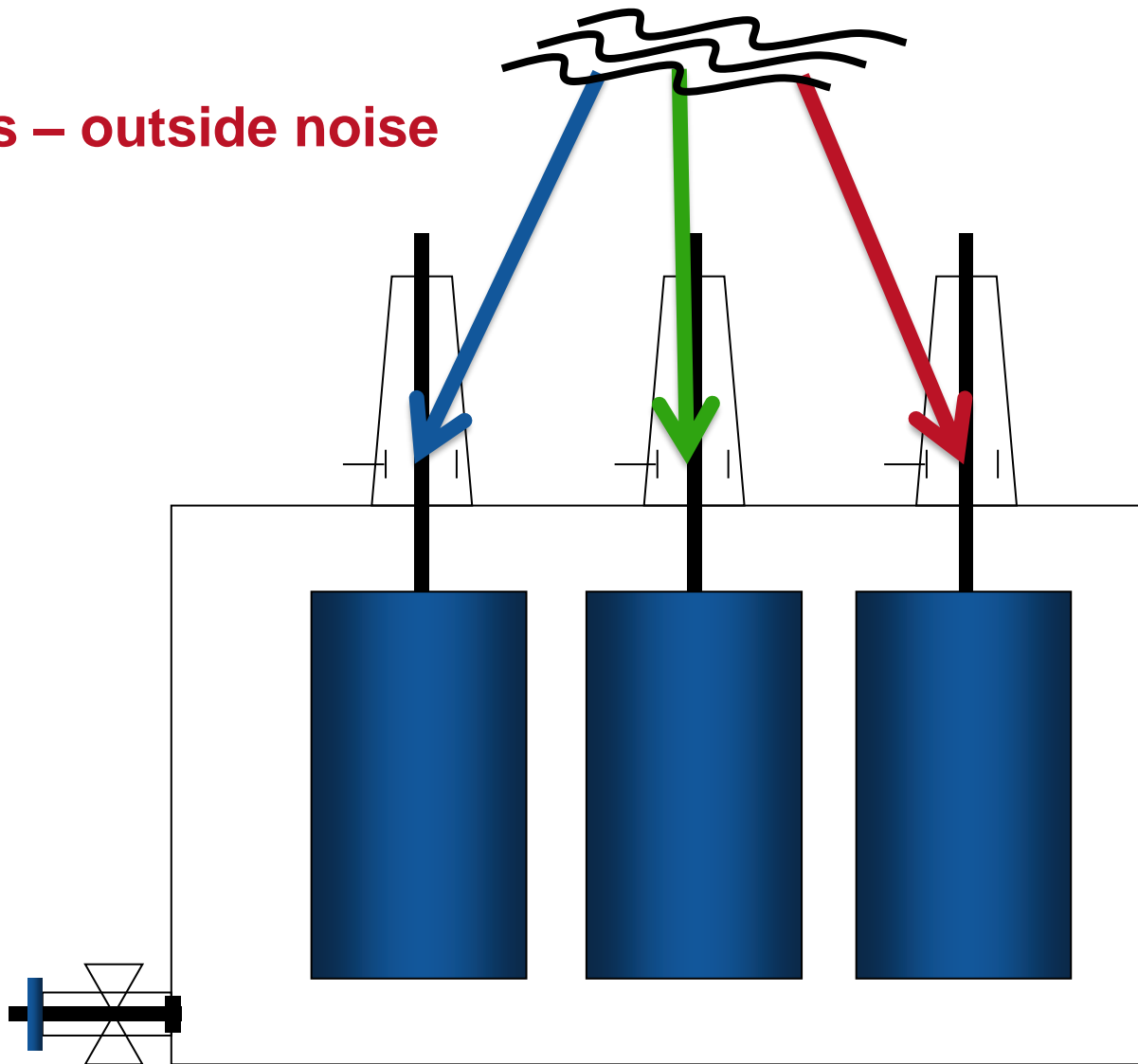
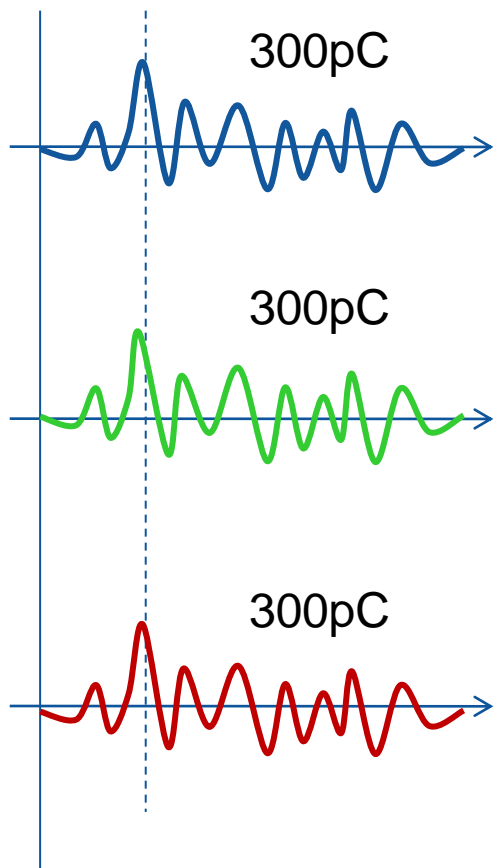


3PARD = Three Phase Amplitude Relation Diagram



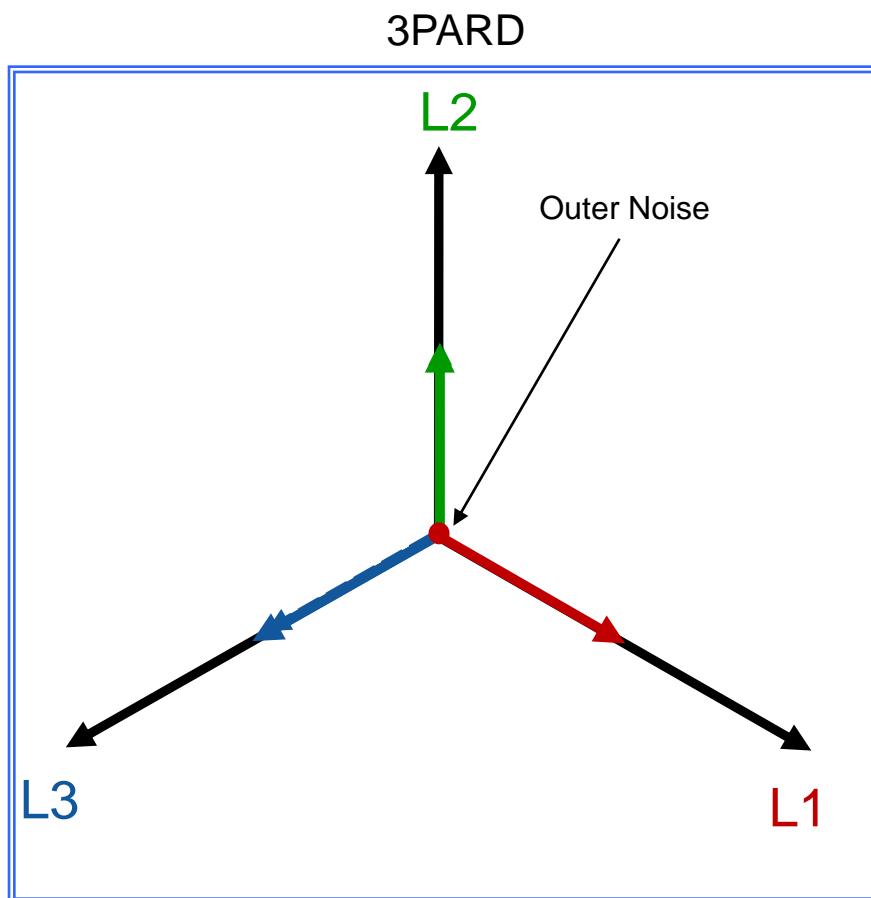
# Rozdzielenie źródeł WNZ i hałasu: 3PARD/3CFRD

## How 3PARD works – outside noise



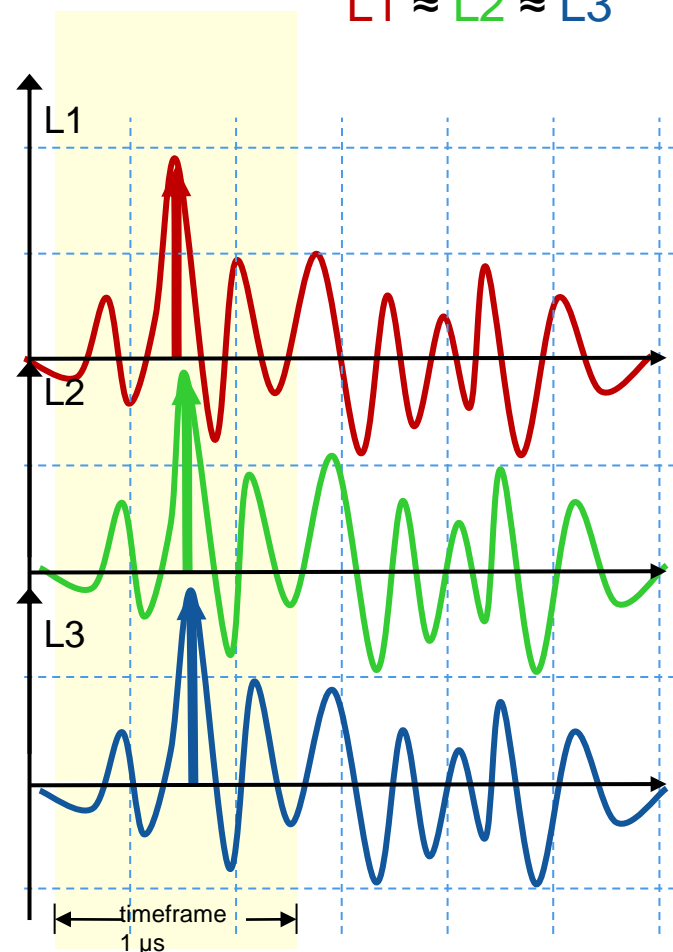
# Rozdzielenie źródeł WNZ i hałasu: 3PARD/3CFRD

## Noise in 3PARD



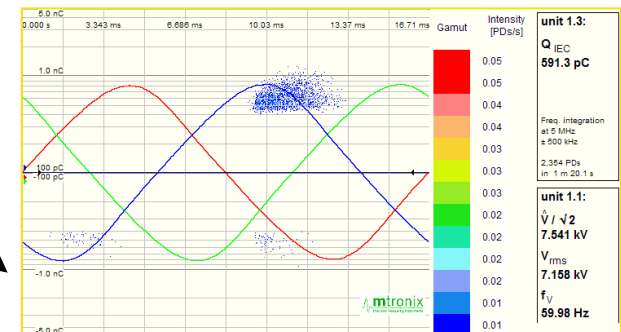
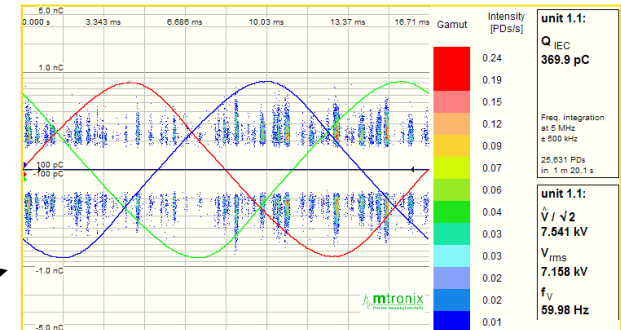
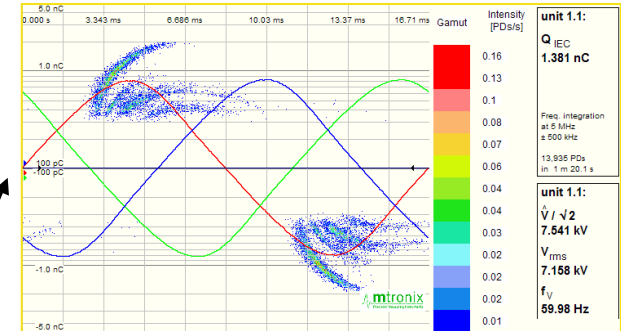
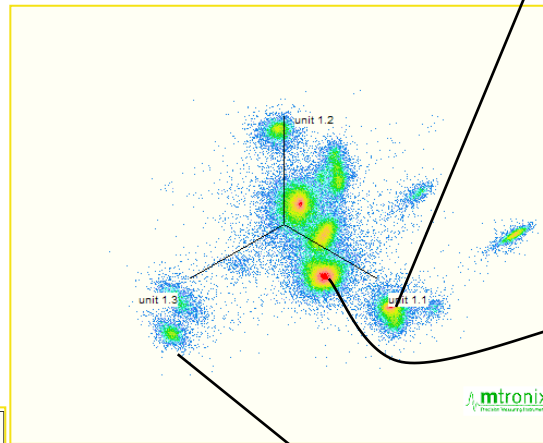
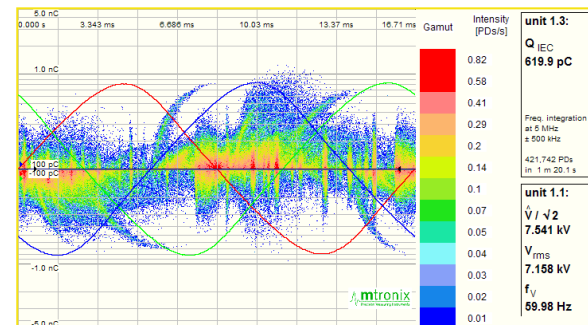
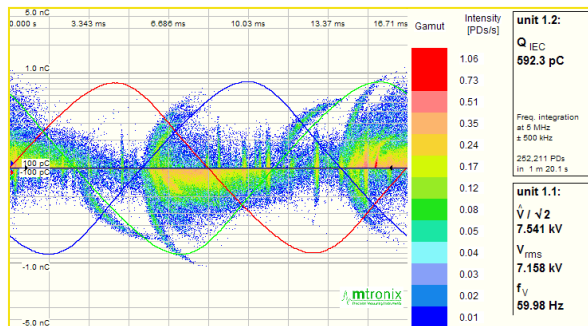
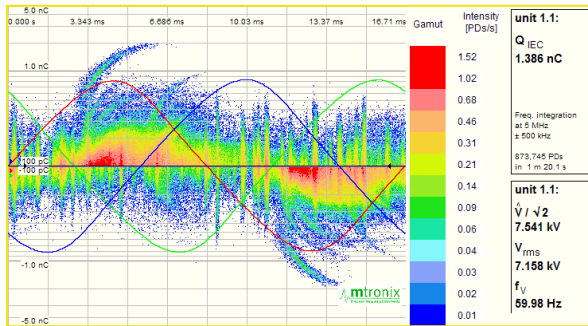
3PARD = Three Phase Amplitude Relation Diagram

Noise  
 $L1 \approx L2 \approx L3$



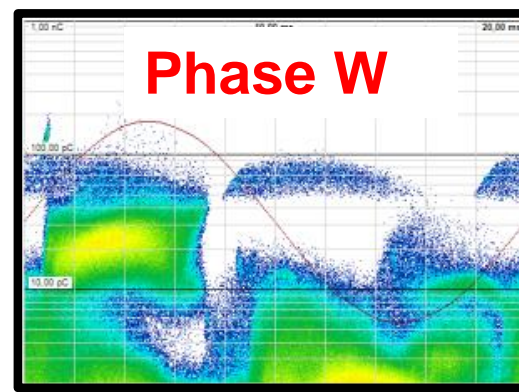
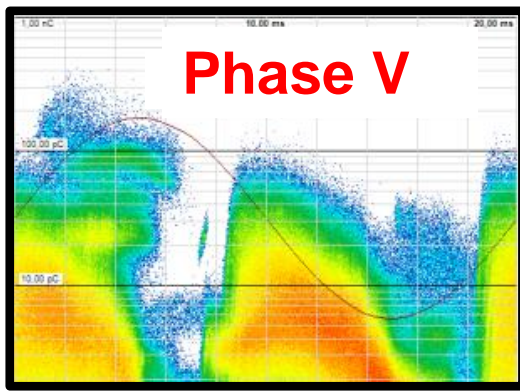
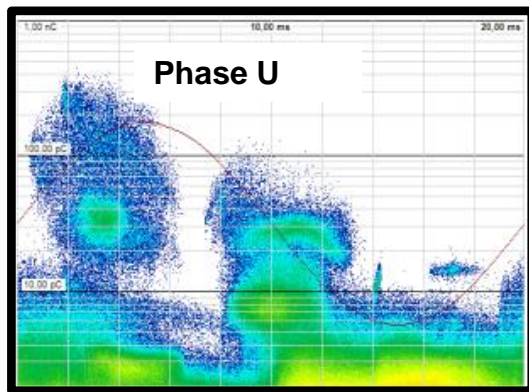
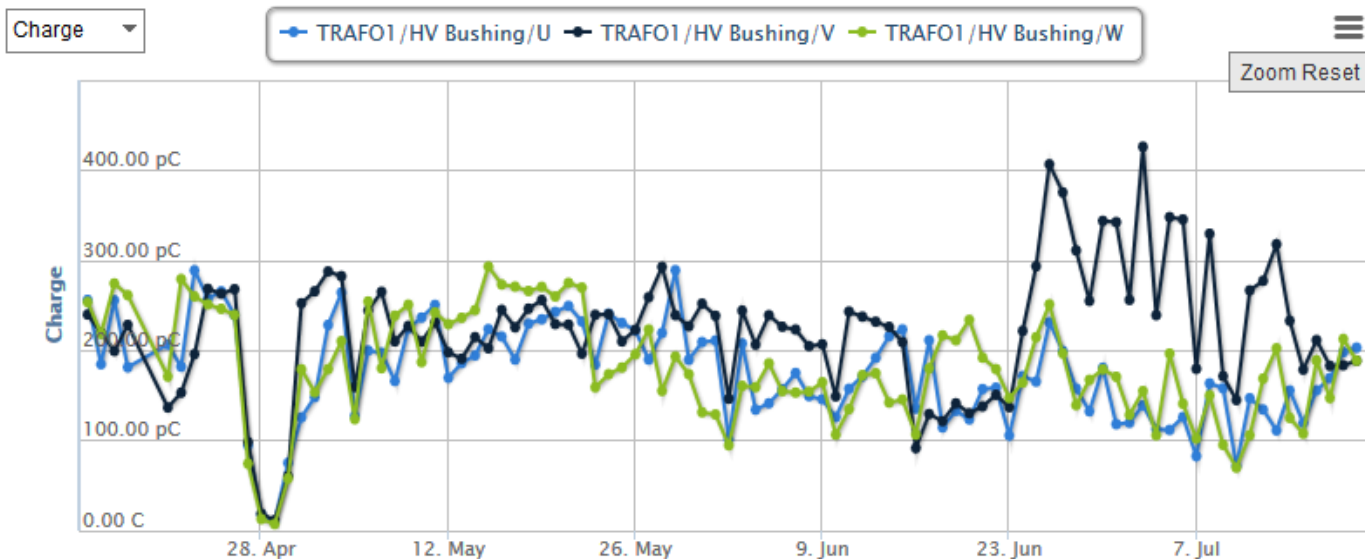
# Rozdzielenie źródeł WNZ i hałasu: 3PARD/3CFRD

## 3PARD Analysis Principle



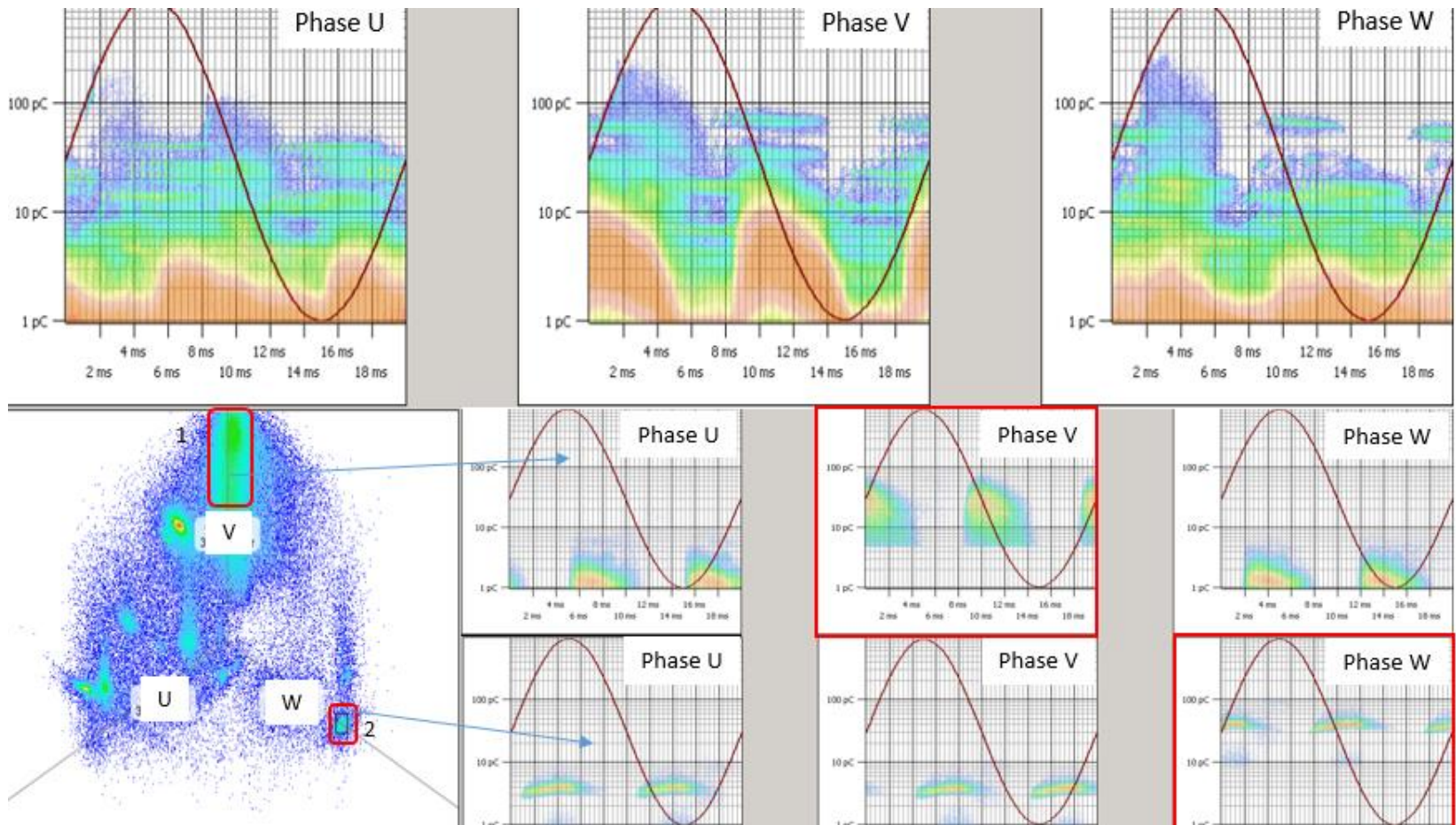


# Monitorowanie transformatorów mocy



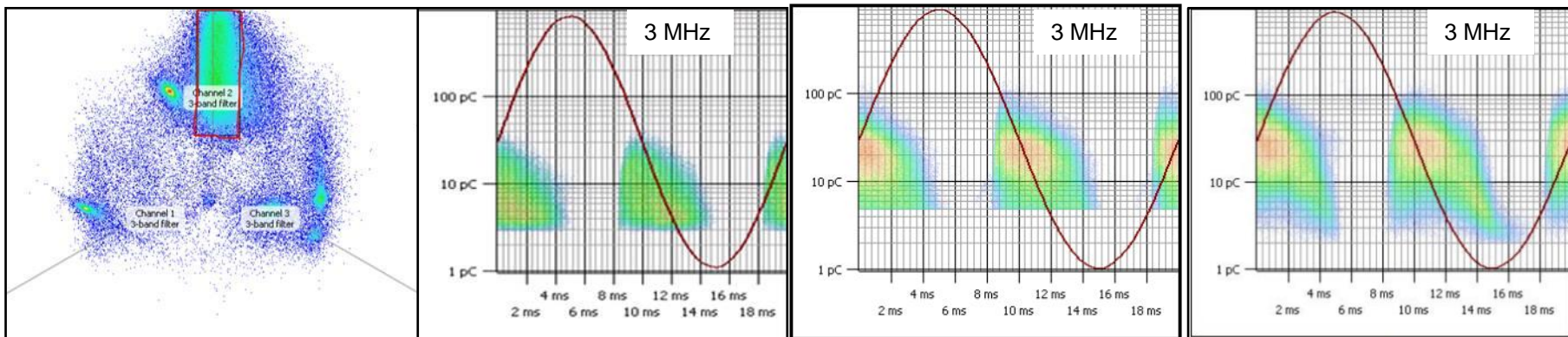
T1: Separacja źródeł WNZ prz użyciu funkcji 3PARD

# Monitorowanie transformatorów mocy



T1: Separacja źródeł WNZ prz użyciu funkcji 3PARD

# Monitorowanie transformatorów mocy

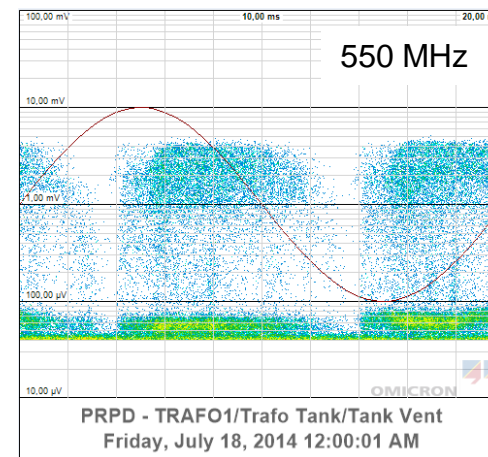
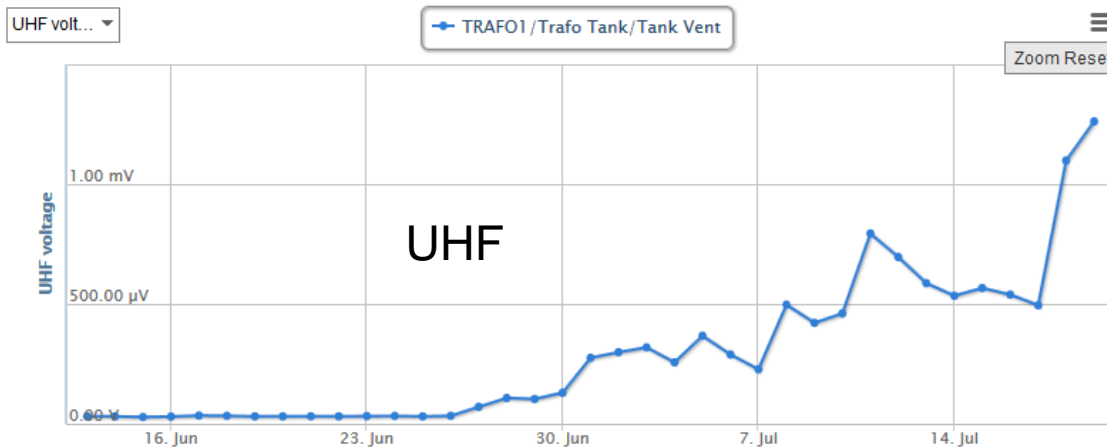


3PARD

3<sup>rd</sup> of February 2014

16<sup>th</sup> of April 2014

25<sup>th</sup> of June 2014



T1: Wyniki monitorowania

# Monitorowanie transformatorów mocy

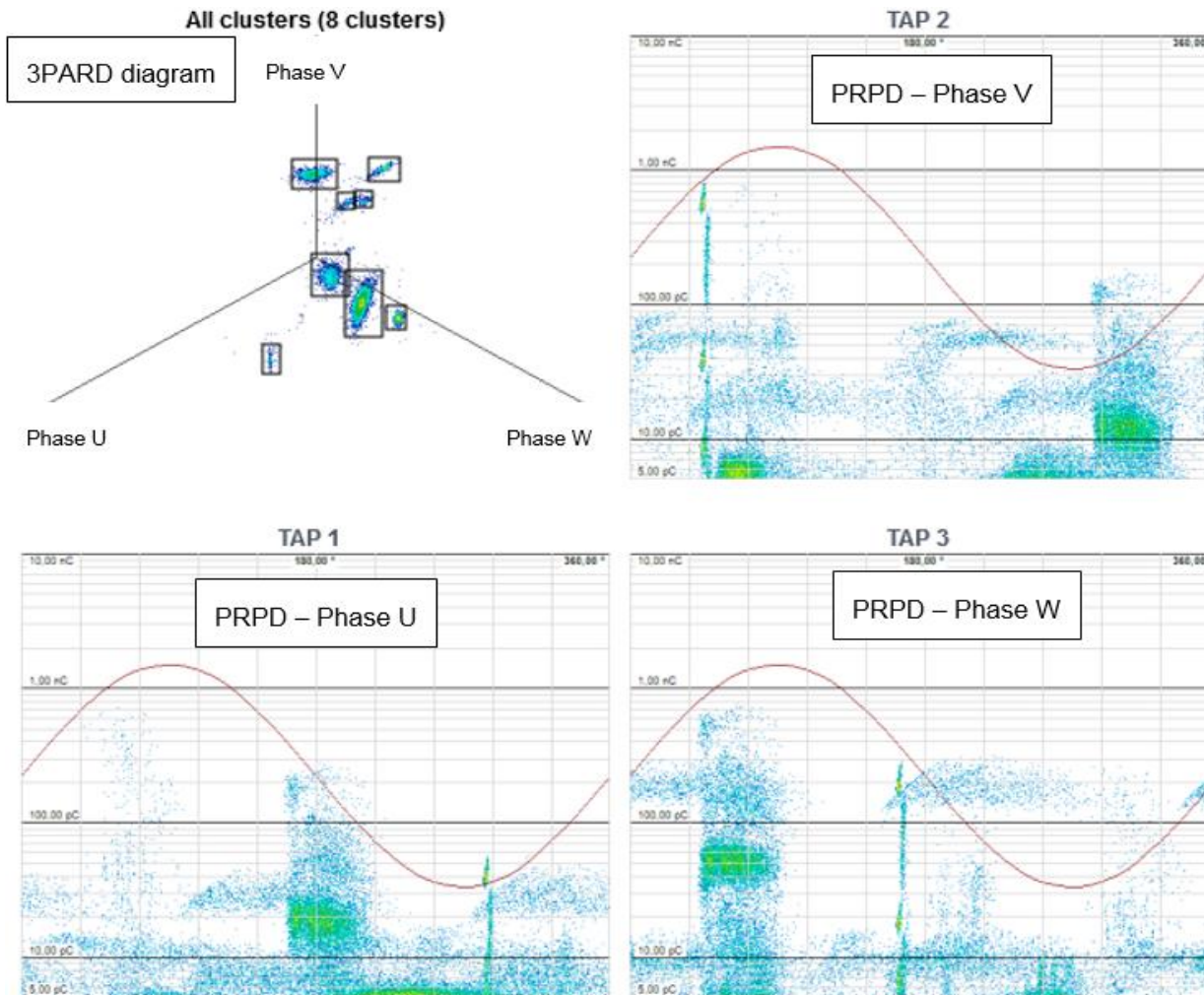
Sampling date	H <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	CH <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)
01 April	576	557	3821	150	11	116	19
15 April	433	416	3016	115	9	92	15
15 May	966	835	5952	226	21	179	32
12 June	1212	808	5797	225	21	171	30

Interpretation methods		Result
Duval	Triangle 1	Thermal fault (300 °C < T < 700 °C; mixture of electrical and thermal fault)
	Triangle 2	Stray gassing of mineral oil T < 200 °C
	Triangle 3	Thermal fault of very high temperature T > 700 °C
Roger's ratios		Fault not identified
Doernenburg's ratios		Fault not identified
IEC ratios		Discharge of high energy
Key gas		PD in the oil

T1: Opracowanie wyników DGA

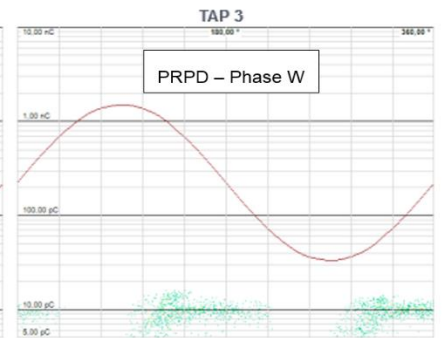
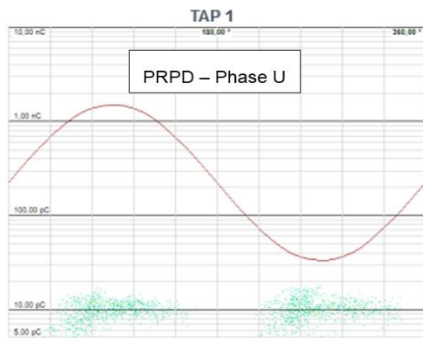
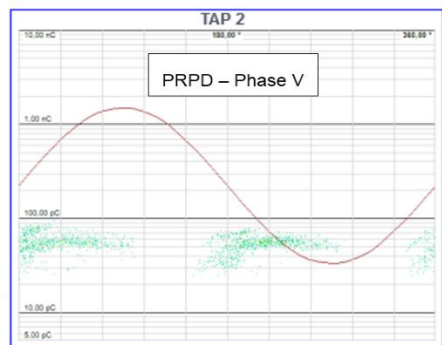
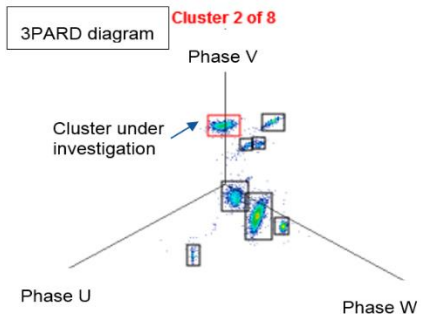


# Monitorowanie transformatorów mocy

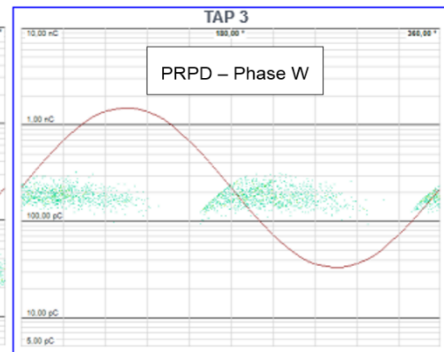
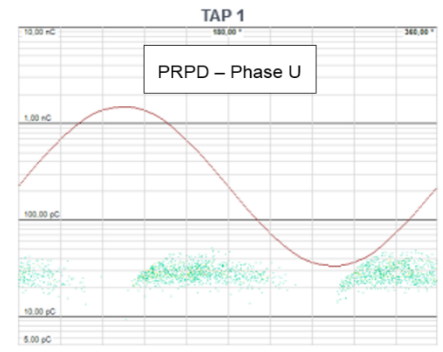
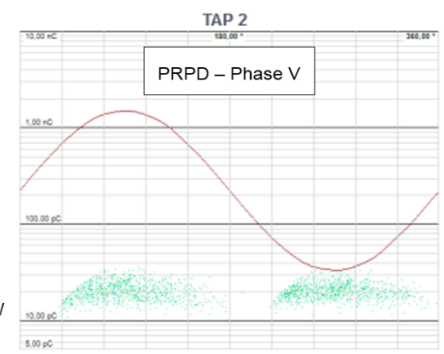
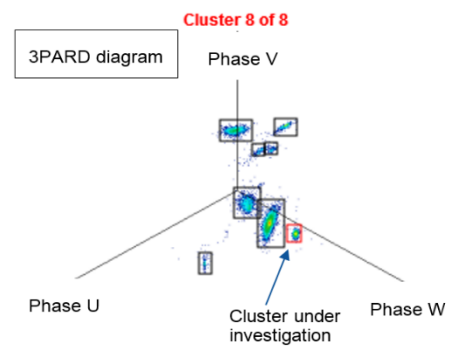


T2: Monitorowanie wnz metodą konwencjonalną – wszystkie klastry

# Monitorowanie transformatorów mocy



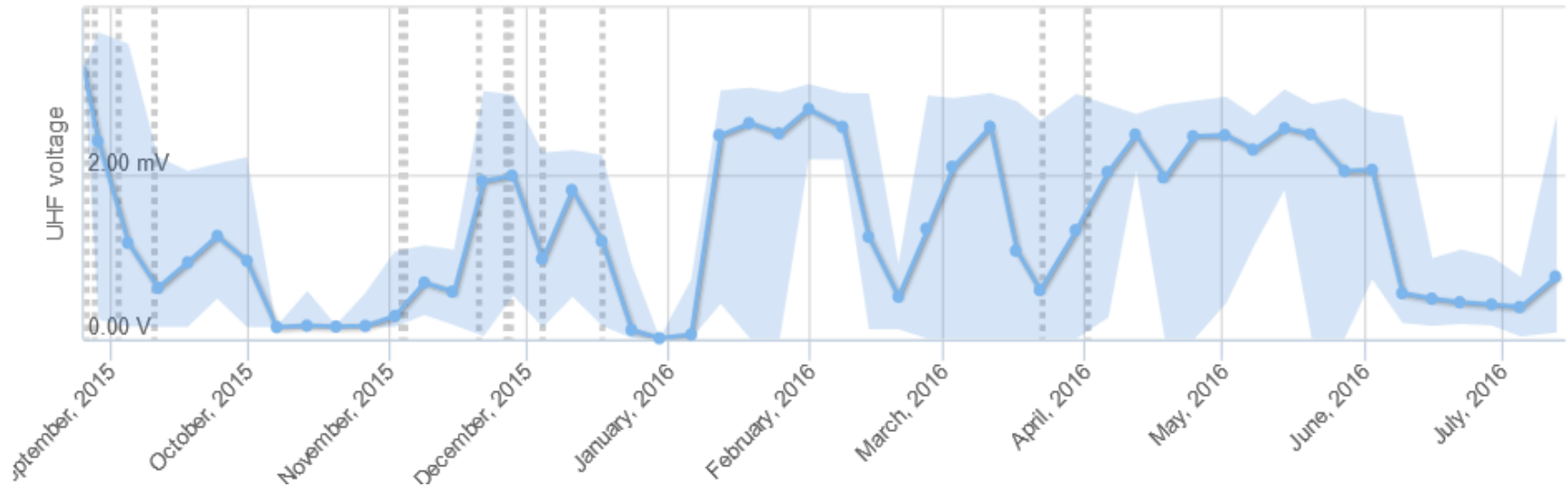
cluster no.2



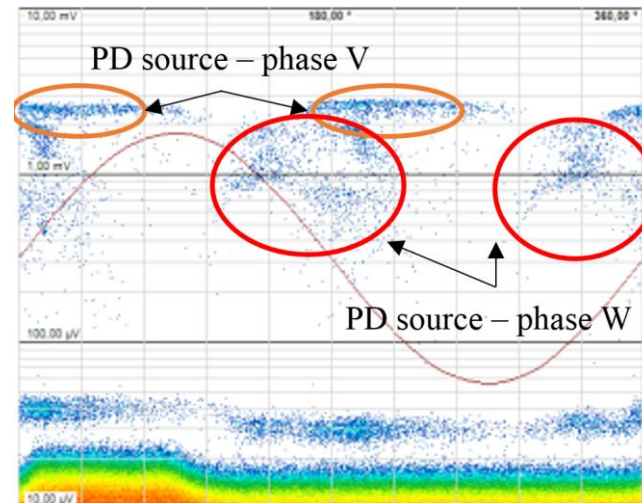
cluster no.8

T2: Monitorowanie wnz – automatyczna separacja klastrów

# Monitorowanie transformatorów mocy



T2: Monitorowanie wnz metodą UHF



# Monitorowanie transformatorów mocy

	Sampling date	H <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	CH <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)
T <sub>2</sub>	Dec 2014	187	865	9232	512	4	1148	274
	Mar 2015	157	863	9616	513	8	1134	274
	Jul 2015	216	879	9360	500	5	1050	263
	Jun 2016	118	989	10180	540	7	1076	290

Interpretation methods		Results T <sub>2</sub>
Duval	Triangle 1	Thermal fault T <sub>3</sub> (T > 700 °C)
	Triangle 4	Paper Carbonization
	Triangle 5	Paper Carbonization
Roger's ratios		Core and tank circulating currents, overheated joints
Dörnenburg's ratios		Thermal decomposition
IEC ratios		Thermal fault of high temperatures
Key gas		Overheated oil and cellulose



# Monitorowanie transformatorów mocy

Transformer T1 (47 years of service)	Transformer T2 (43 years of service)
<b>Wyniki pomiarów diagnostycznych</b>	
<b>Monitorowanie wnz:</b>  Defekty w fazie V i W potwierdzone pomiarami metodą konwencjonalną i UHF  Obraz PRPD odpowiada wyładowaniom powierzchniowym i wyładowaniom w pęcherzykach gazu  Wartość wnz wzrosła trzykrotnie w ciągu trzech miesięcy  Aktywność wnz ma charakter ciągły	<b>Monitorowania wnz:</b>  Defekty w fazie V i W potwierdzone pomiarami metodą konwencjonalną i UHF  Obraz PRPD pattern of floating potential, surface discharge and discharges in gas bubbles  Trend wnz stabilny  Aktywność wnz ma charakter nieciągły/okresowy
<b>Pomiary DGA :</b>  Kluczowe gazy: H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub>  Defect (wyładowania elektryczne), przegrzanie uzwojeń	<b>Pomiary DGA:</b>  Kluczowe gazy: CO, CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  PD defect, przegrzanie uzwojeń z karbonizacją celulozy



## Zalecane czynności konserwacyjne

Transformator T1	Transformator T2
<p>Pomiary akustyczne w celu lokalizacji miejsca emisji WNZ</p> <p>Inspekcja wnętrza kadzi transformatora.</p>	<p>Pomiary akustyczne w celu lokalizacji miejsca emisji WNZ</p> <p>Pomiary rezystancji izolacji uzwojeń.</p>
Podjęte decyzje	
Transformator zostanie wycofany z eksploatacji	Transformator pozostanie w eksploatacji pod ścisłą obserwacją

## Zalecenia i decyzje

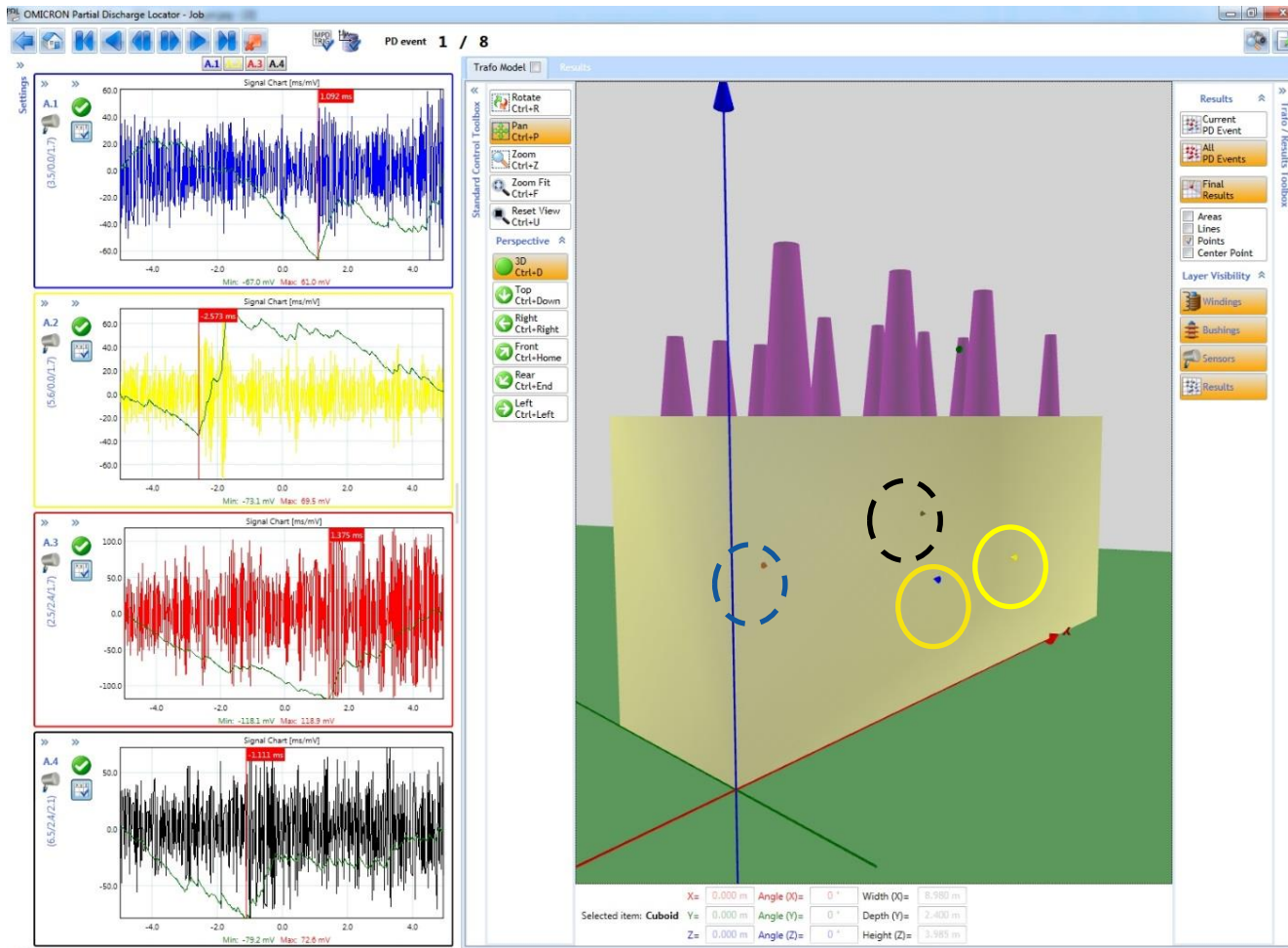
# Monitorowanie transformatorów mocy



T1: Lokalizacja miejsca wnz metodą akustyczną

# Monitorowanie transformatorów mocy

## 1<sup>st</sup> sensor position

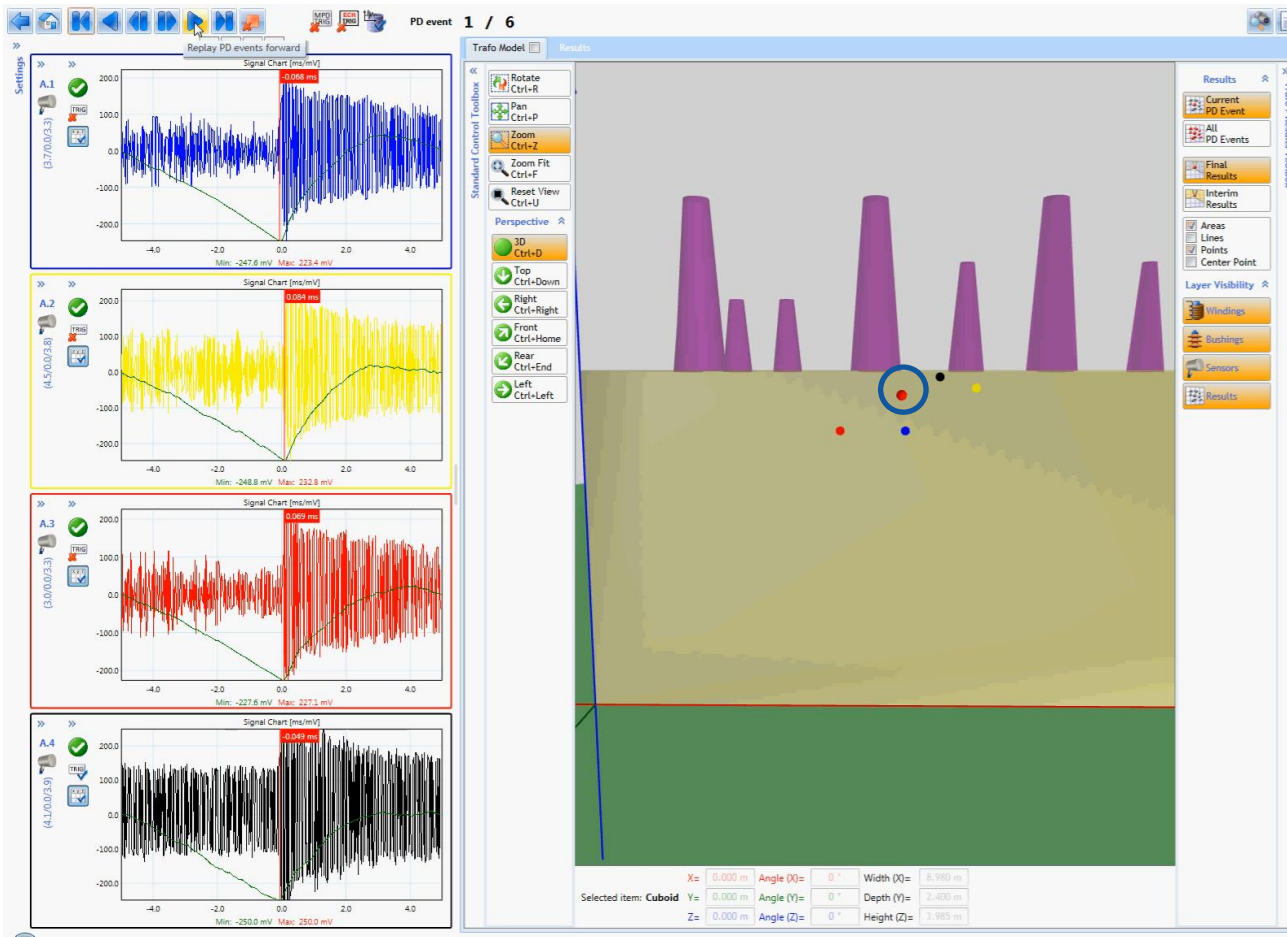


T1: Lokalizacja miejsca wnz metodą akustyczną



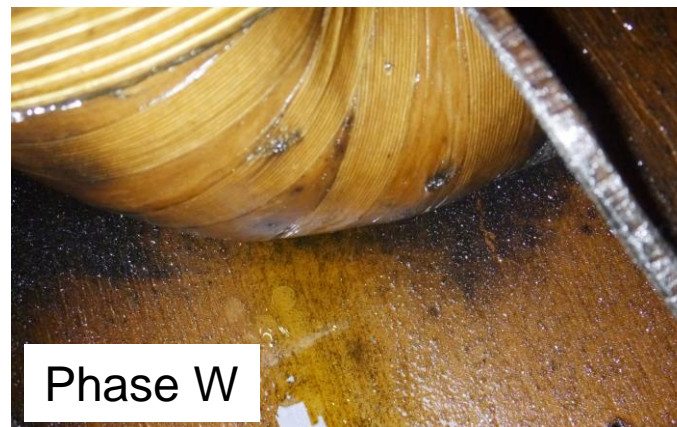
# Monitorowanie transformatorów mocy

## 2<sup>nd</sup> sensor position



T1: Lokalizacja miejsca wnz metodą akustyczną

# Monitorowanie transformatorów mocy



T1 – efekt oddziaływania wnz

# Podsumowanie

- Wyniki oceny poziomu WNZ oraz analiza DGA dostarczają wzajemnie uzupełniających się informacji na temat stanu izolacji transformatora.
- Dzięki połączeniu techniki standardowej i UHF do pomiaru WNZ, lokalizacja defektów może być przeprowadzona z większą dokładnością
- Synchroniczne pomiary WNZ w trzech fazach i zastosowanie techniki 3PARD do oceny wyników pomiaru umożliwiają skuteczną separację obrazów PRPD od różnych defektów oraz od zakłóceń. Separacja może być wykonana automatycznie
- Zastosowanie systemów monitorowania ciągłego umożliwia wczesne wykrycie i identyfikację ukrytych defektów w izolacji transformatorów oraz obserwację ich rozwoju w funkcji czasu. Pozwala to na odpowiednio wczesne podjęcie środków zaradczych z wyłączeniem transformatora z użytkowania włącznie



**Dziękuję za uwagę!**

**[wojciech.koltunowicz@omicronenergy.com](mailto:wojciech.koltunowicz@omicronenergy.com)**

23 February 2022



# Localizacja wnz metodą akustyczną

## Measurement setup

## IEEE Guide: C57.127 for Transformers

