

# Zastosowanie metody UHF do pomiaru WNZ w WN rozdzielnicach gazowych oraz kablach i transformatorach energetycznych

**KABEL**  
2024

**XXIX KONFERENCJA** SZKOLENIOWO-TECHNICZNA  
ELEKTROENERGETYCZNE SIECI KABLOWE I NAPOWIETRZNE

12-15 marca 2024

Lidzbark Warmiński

Hotel Krasicki\*\*\*\*

Wojciech Kołtunowicz

OMICRON Energy Solutions GmbH, Berlin



# Zastosowanie metody UHF do pomiaru WNZ w WN rozdzielnicach gazowych oraz kablach i transformatorach energetycznych

Wojciech Kołtunowicz  
OMICRON Energy Solutions GmbH, Berlin, Germany



26 March 2024

- > **Wyładowania niezupełne: definicja, metody pomiaru i klasyfikacja**
- > **Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL**
- > **Pomiary WNZ metodą UHF w transformatorach energetycznych**
- > **Pomiary WNZ na głowicach kablowych**
- > **Podsumowanie**

# Definicja WNZ

## wg. normy 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

Po przekroczeniu wartości krytycznej pola elektrycznego dochodzi do jonizacji gazu i zainicjowania WNZ

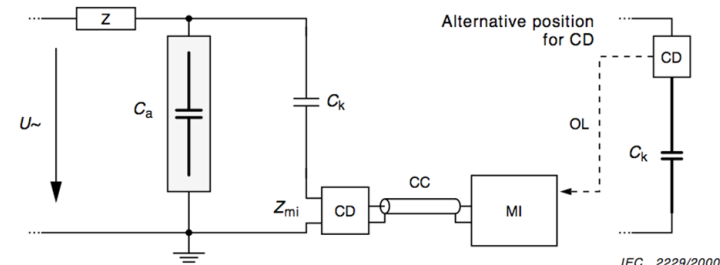
Procesowi jonizacji towarzyszy powstanie fali:

- Elektromagnetycznej,
- Akustycznej
- Świetlnej oraz
- Dochodzi do reakcji chemicznych – pojawiają się produkty rozkładu

# Metody pomiaru WNZ

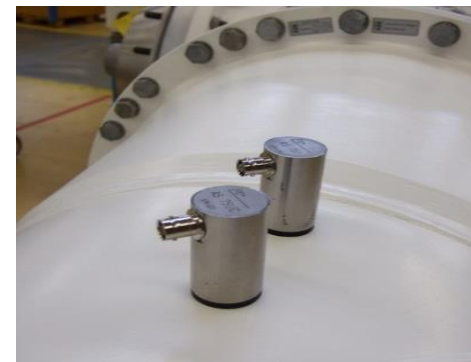
## ➤ Elektryczne:

- Standardowa (wg. IEC 60270)
- HF/VHF/UHF



## ➤ Nielektryczne:

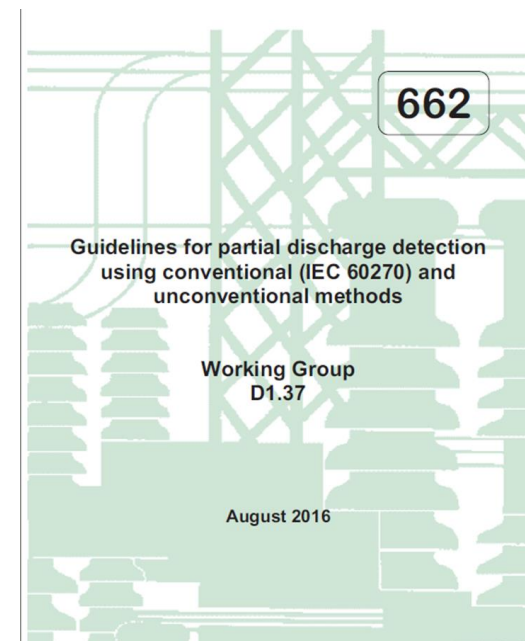
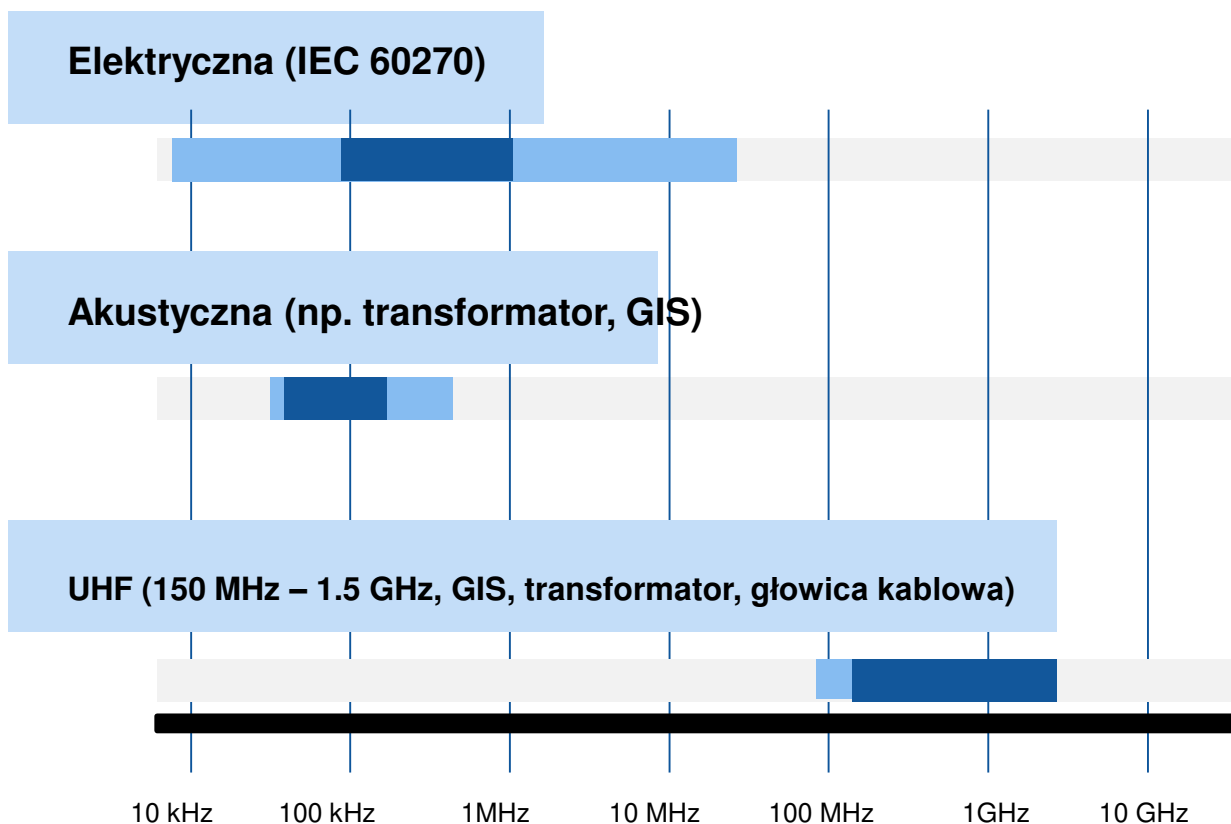
- Akustyczna
- Optyczna
- Chemiczna



Inny podział: metoda standardowa i metody alternatywne pomiaru WNZ

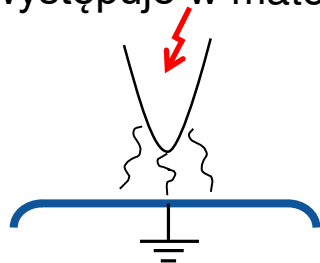
# Metody pomiaru WNZ

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

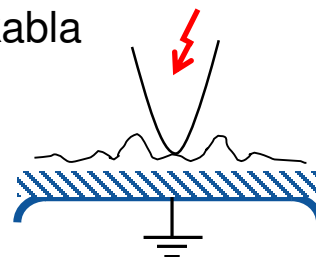


# Klasyfikacja WNZ

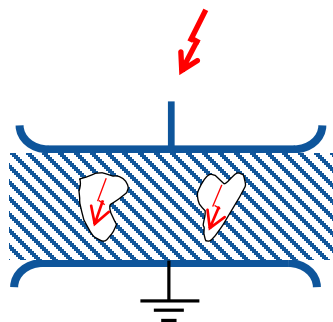
- **Wyładowania wewnętrzne** występują we wnętrzu dielektryków stałych i ciekłych, we wtrącinach gazowych i stałych
- **Wyładowania powierzchniowe** występują na powierzchniach granicznych materiałów izolacyjnych
- **Wyładowane ulotowe** występują w dielektrykach gazowych, w miejscach występowania niejednorodnego pola elektrycznego
- **Drzewienie** występuje w materiale izolacyjnym stałym kabla



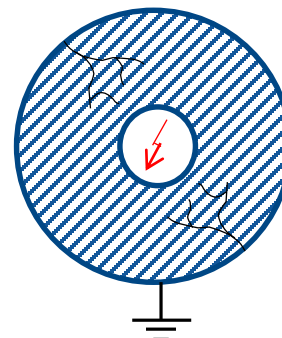
Ulot



Wyładowanie powierzchniowe



Wyładowanie we wtrącinach gazowych

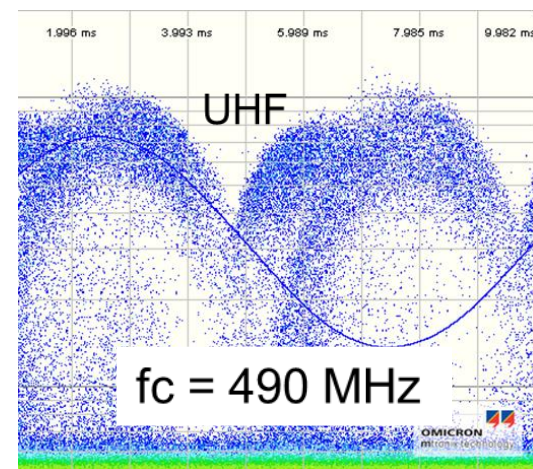
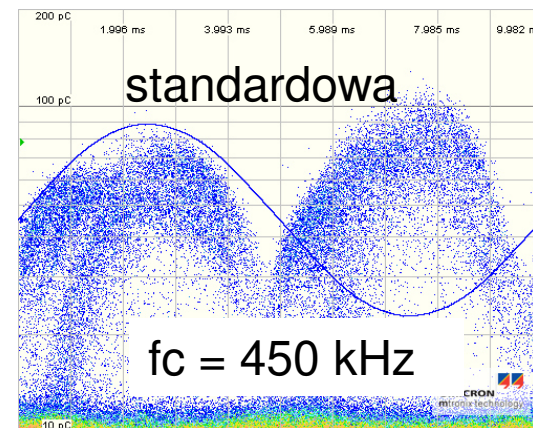


Drzewienie

# Dlaczego wykonujemy pomiary WNZ ?

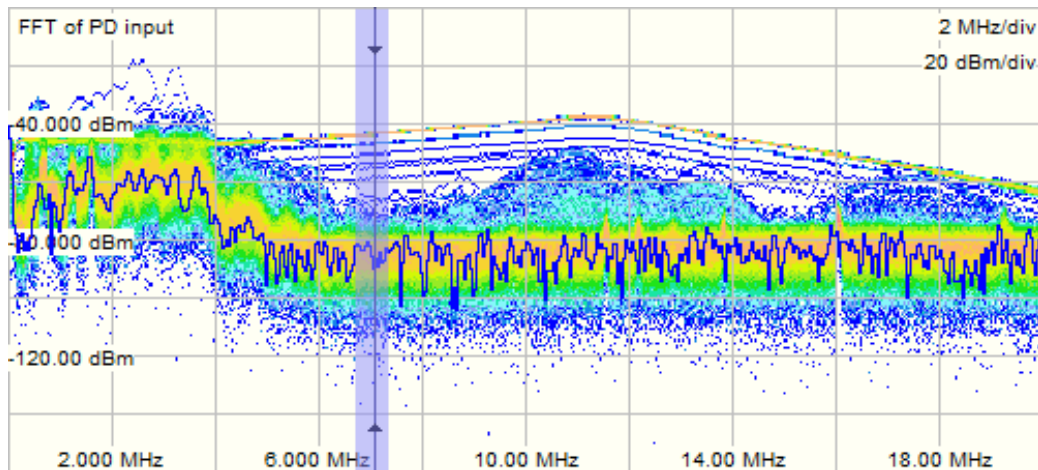
Nieniszczące pomiary wykonywane w celu:

- wykrycia defektów krytycznych
- lokalizacji defektów
- rozpoznania typu defektu
- oceny zagrożenia





# Metody ograniczenia wpływu zakłóceń

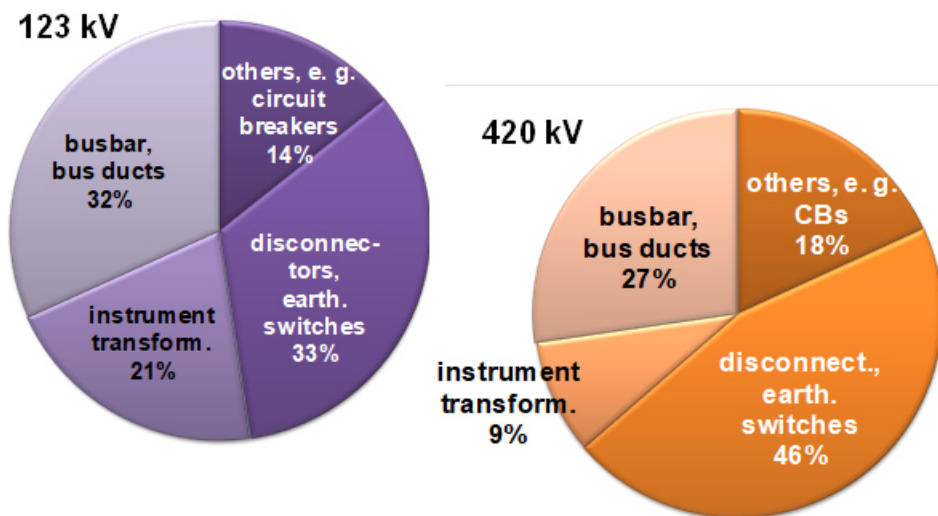


Optymalne ustawienie zakresu  
częstotliwości pomiarowej



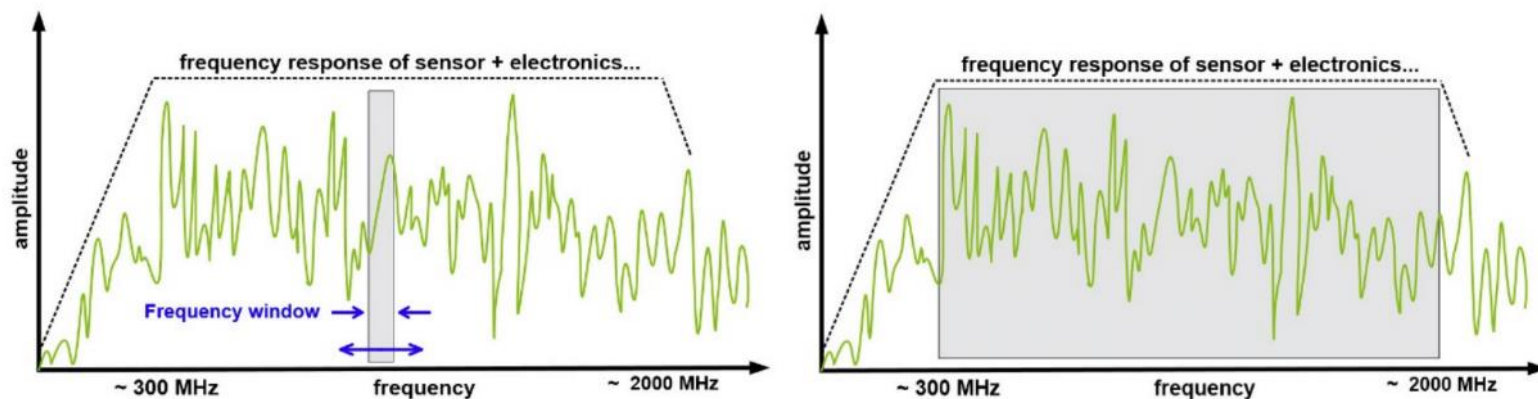
Obwód pomiarowy wolny od WNZ

# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL



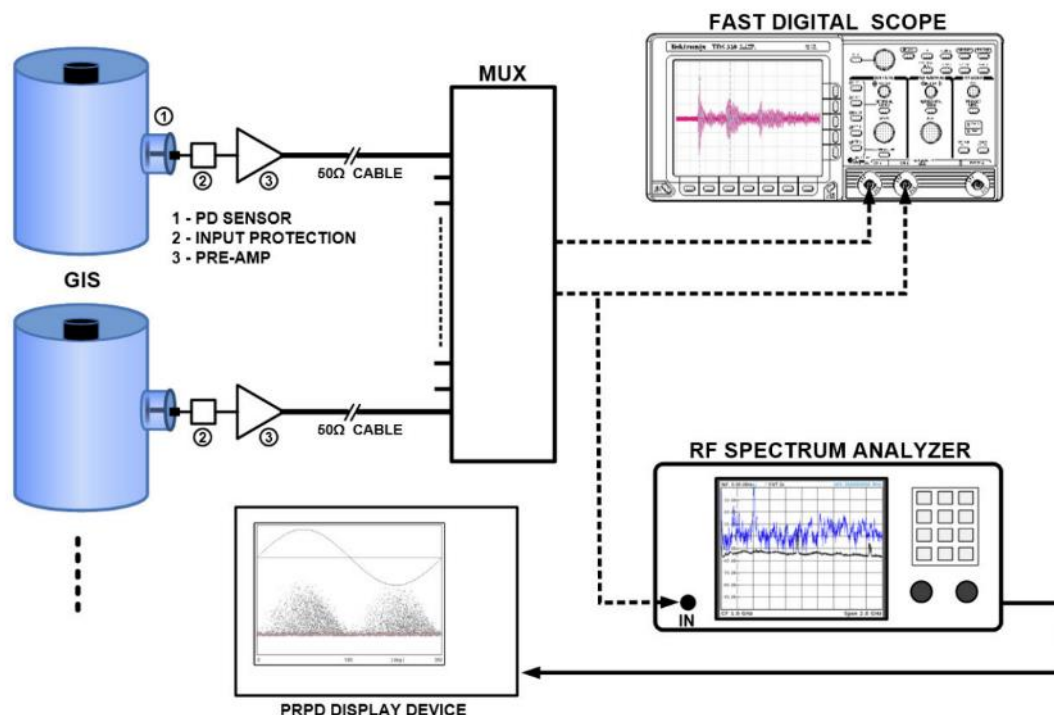
**Przyczyny awarii w 123 kV and 420 kV GIS w Niemczech**

Pomiar metodą UHF w wąskim i szerokim zakresie częstotliwości



# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL

## Urządzenia pomiarowe

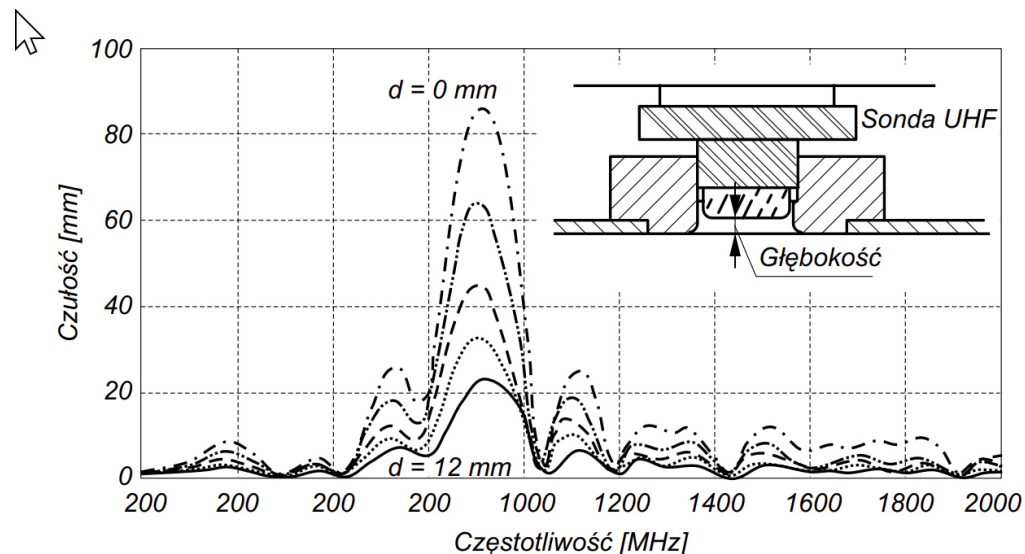


Schemat typowego układu pomiarowego używanego do pomiarów WNZ metodą UHF w wysokonapięciowych rozdzielnicach gazowych (GIS) [10]

# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL

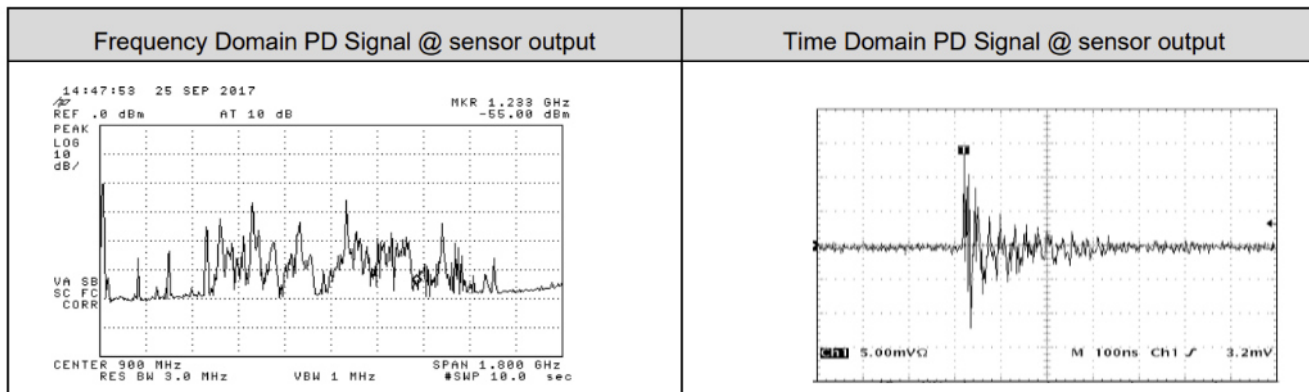


Zdjęcia typowych sond UHF stosowanych w GIS

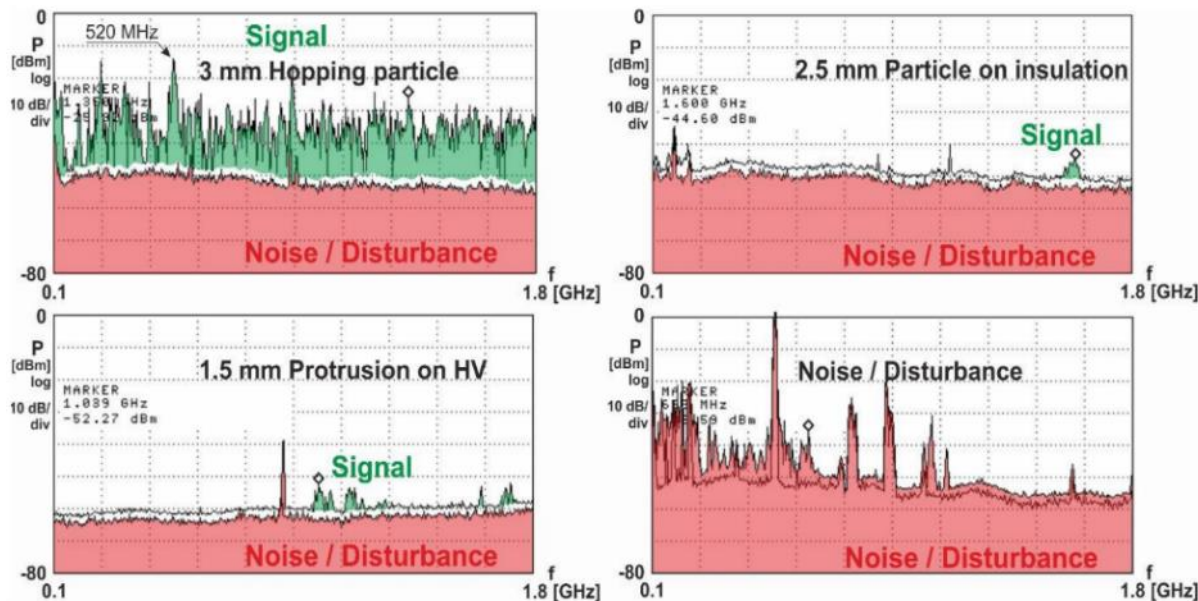


Odpowiedź częstotliwościowa sondy UHF

# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL

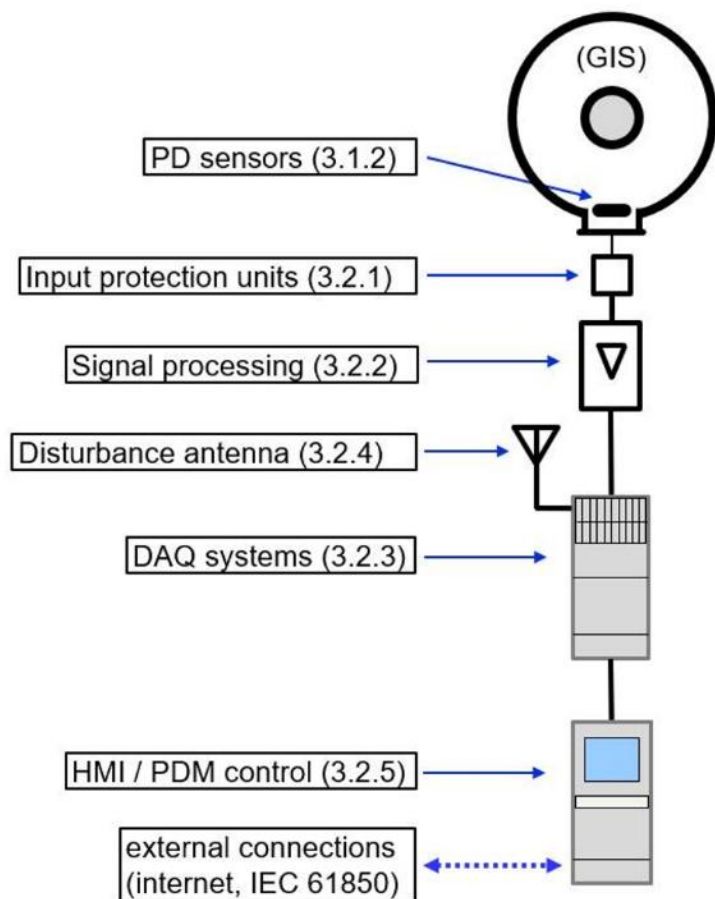


Impulsy UHF mierzone na wyjściu z sondy



Przykłady widma UHF dla różnych typów defektów oraz dla sygnału zakłóceniewego

# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL



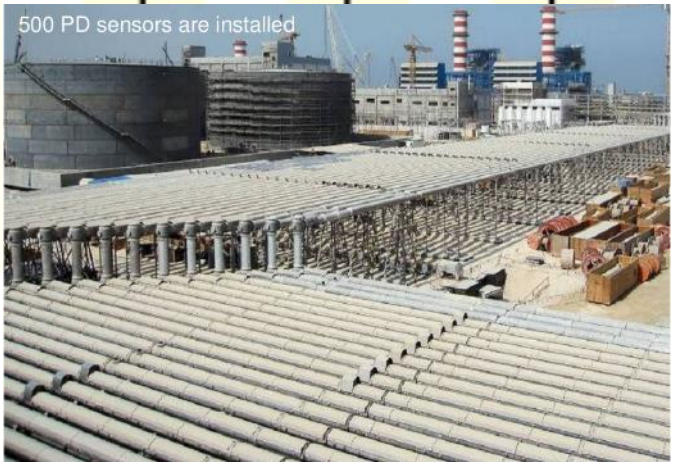
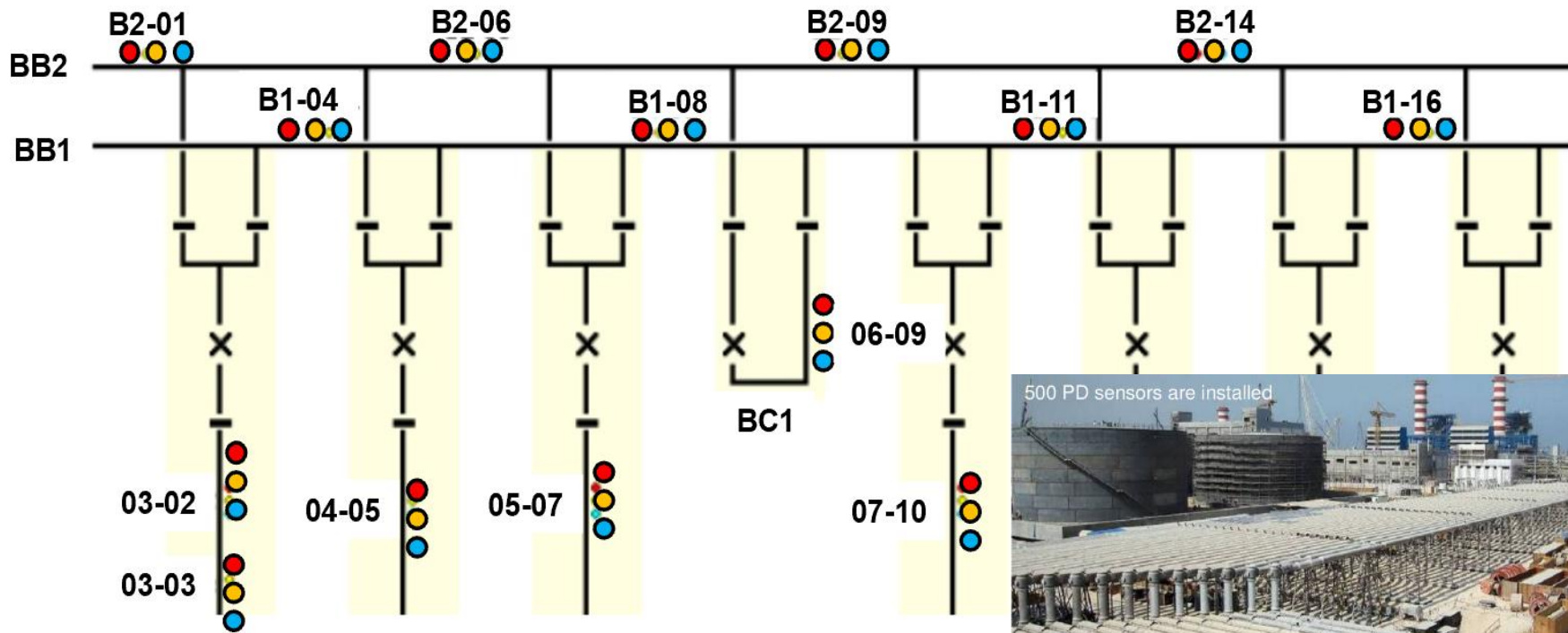
Element zabezpieczający



Przykład jednostki rejestracji danych usytuowanej w pobliżu sondy UHF

Schemat elementów systemu monitorowania ciągłego

# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL



Przykładowe rozmieszczenie sond UHF w rozdzielnicy GIS na 400 kV na schemacie jednoliniowym

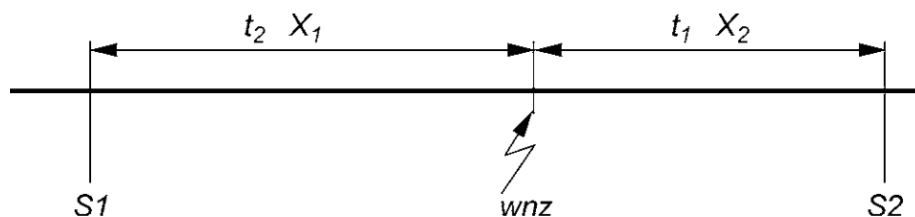
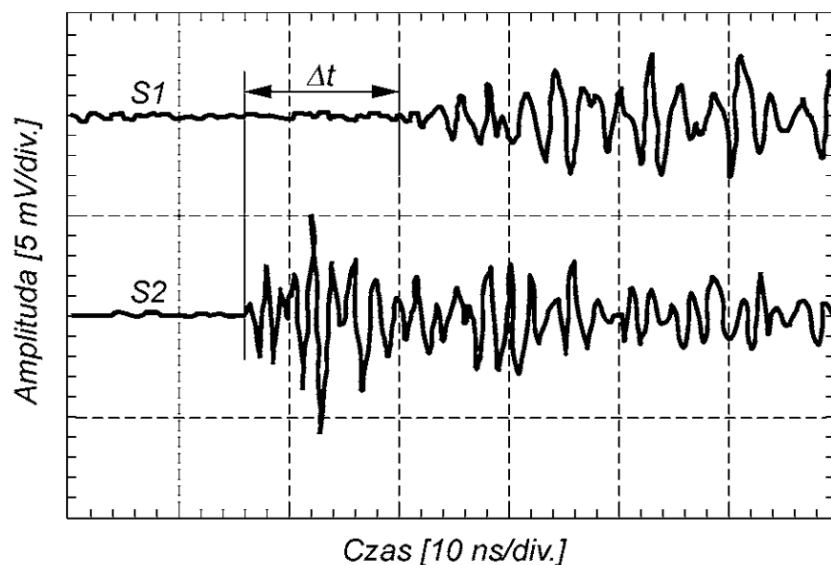
# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL

Data Visualization	Examples from different vendors	Meaning
PRPD (2D+) x: Phase Position y: PD Level z: Number of PD Pulses/ $\Delta T$		PRPD Patterns can be used to identify the type of defect such as mobile particles, floats, contact problems, etc.  Mainly used by intelligent alarm recognition system or by human experts for automatic or manual diagnostic purposes
POW x: Phase Position y: PD Level		PD peaks in single or multiple cycles are shown as dots on its phase/amplitude position
PRPS (2D) or SCOPE x: Phase y: PD Level		PD peaks in single or multiple cycles are shown as vertical bar vs. phase.  Typically used in Live Mode
PRPS (3D) x: Phase y: PD Level z: Cycle Number		A predefined number of PRPS cycles (usually 50) are shown in a 3D view

Przykłady reprezentacji wyników pomiarów WNZ



# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL



$$X_1 + X_2 = D$$

oraz

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{X_2}{v} - \frac{X_1}{v} = \frac{D - X_1}{v} - \frac{X_1}{v} = \frac{D - 2X_1}{v}$$

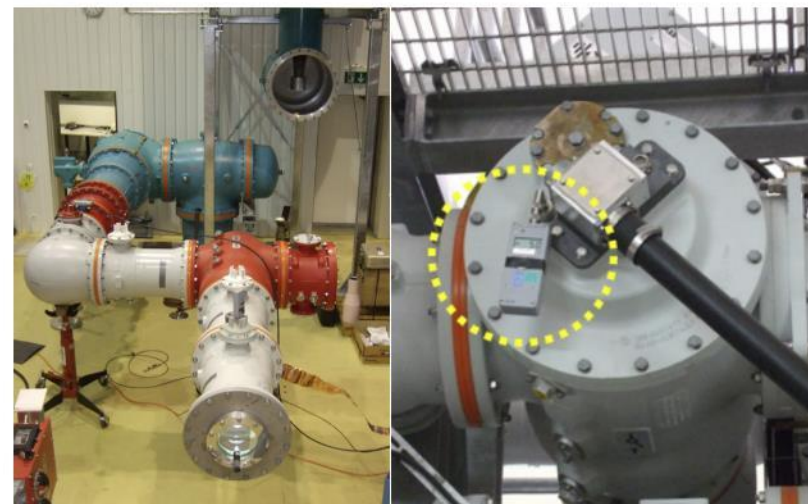
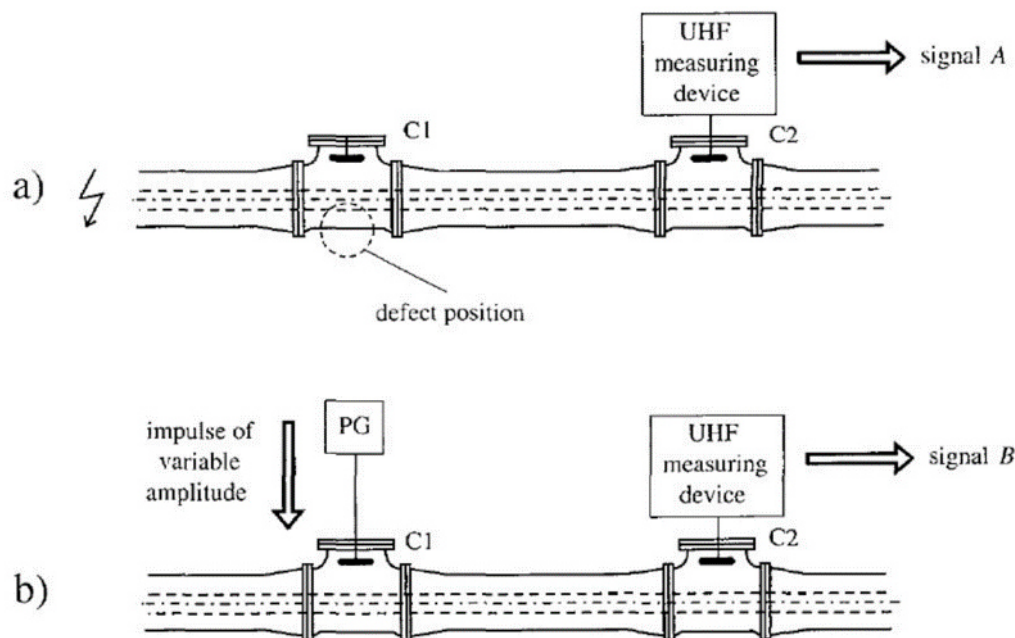
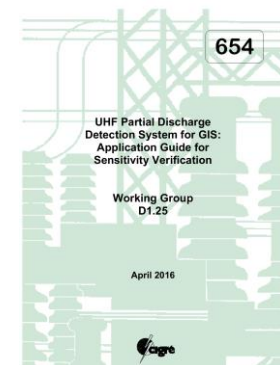
przy czym  $v$  – prędkość fali elektromagnetycznej.

Zatem

$$X_1 = \frac{D - \Delta t \cdot v}{2}, \quad X_2 = D - \frac{D - \Delta t \cdot v}{2} = \frac{D + \Delta t \cdot v}{2}$$

Przykład rejestracji sygnałów UHF na dwóch sondach (S1 i S2)

# Wykorzystanie metody UHF do pomiaru WNZ w rozdzielnicach gazowych GIS/GIL

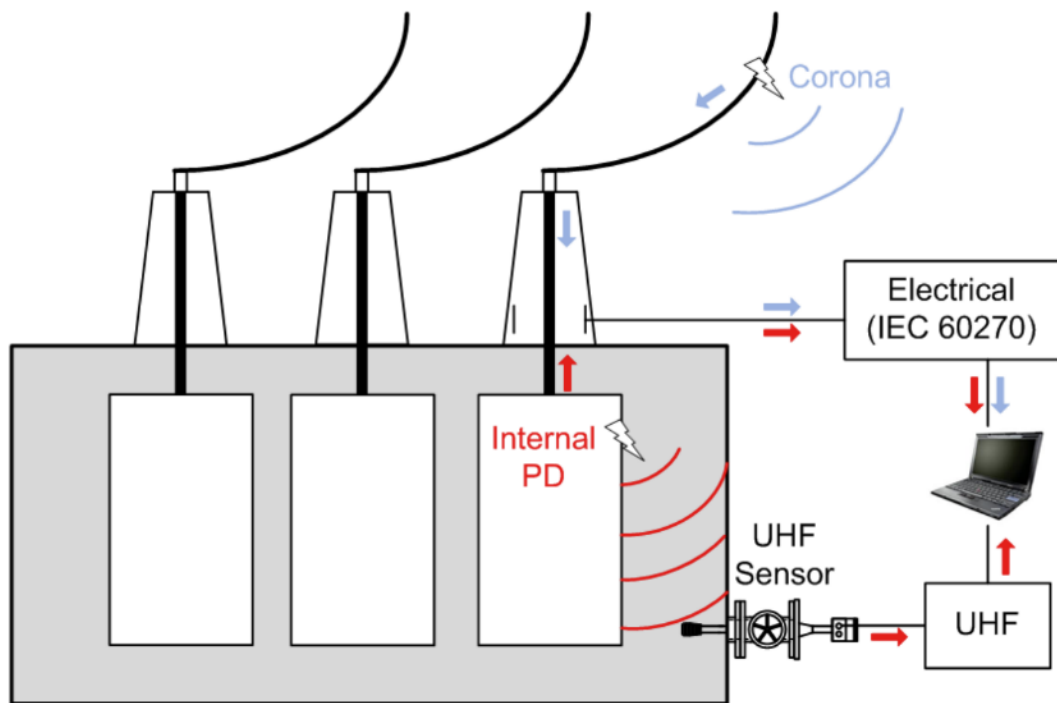


a)

b)

Układ do kontroli czułości systemu monitorowania według zaleceń CIGRE:  
Etap 1 (a) i Etap 2 (b)

# Pomiary WNZ metodą UHF w transformatorach energetycznych

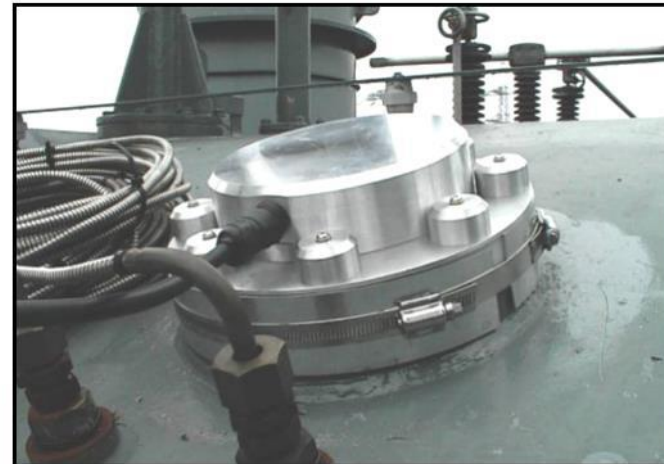


Wartość sygnału UHF zależy od:

- Typu defektu w izolacji i jego lokalizacji
- Tłumienia sygnału na drodze od źródła WNZ do miejsca pomiaru
- Czułości sondy UHF
- Charakterystyki łańcucha pomiarowego

Schemat obrazujący pomiary WNZ metodą standardową i metodą UHF

# Pomiary WNZ metodą UHF w transformatorach energetycznych



Przykładowe sondy UHF używane do pomiarów i monitorowania WNZ w transformatorach energetycznych

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

## Monitorowany Transformator 130 MVA, 230/115/48 kV



**1967:** Installation

**1993:** Rewound of the active part

**2010:** Bushing of phase U replaced

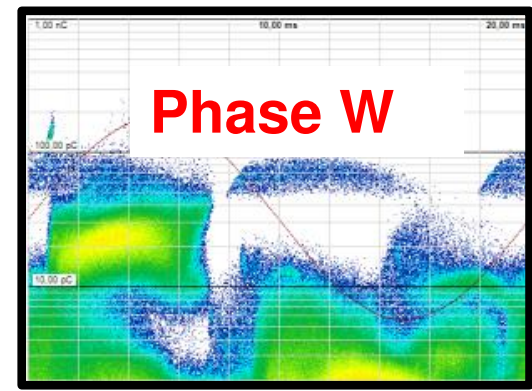
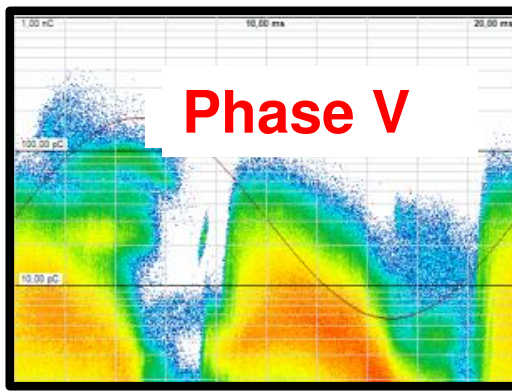
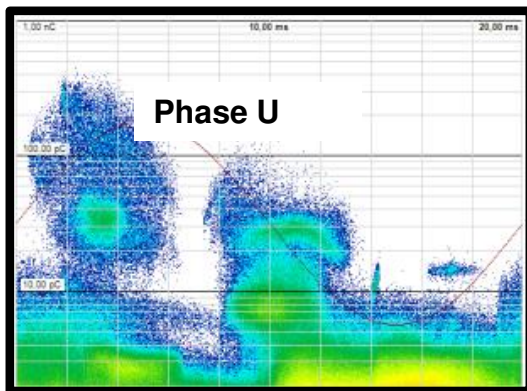
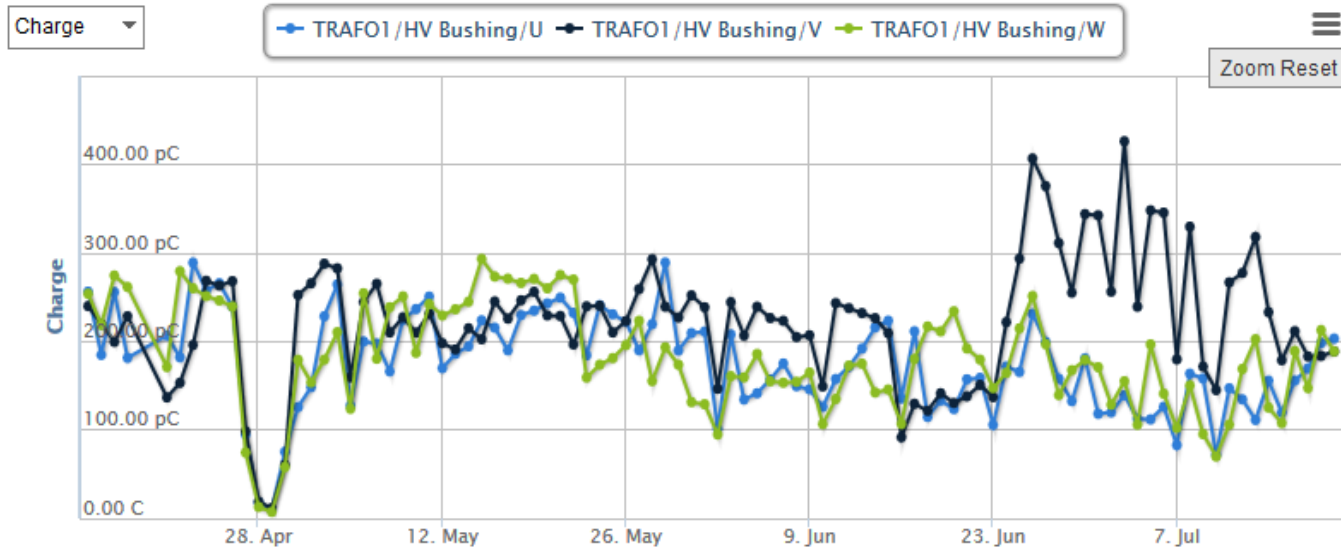
**1984:** Relocation from A to B

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

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

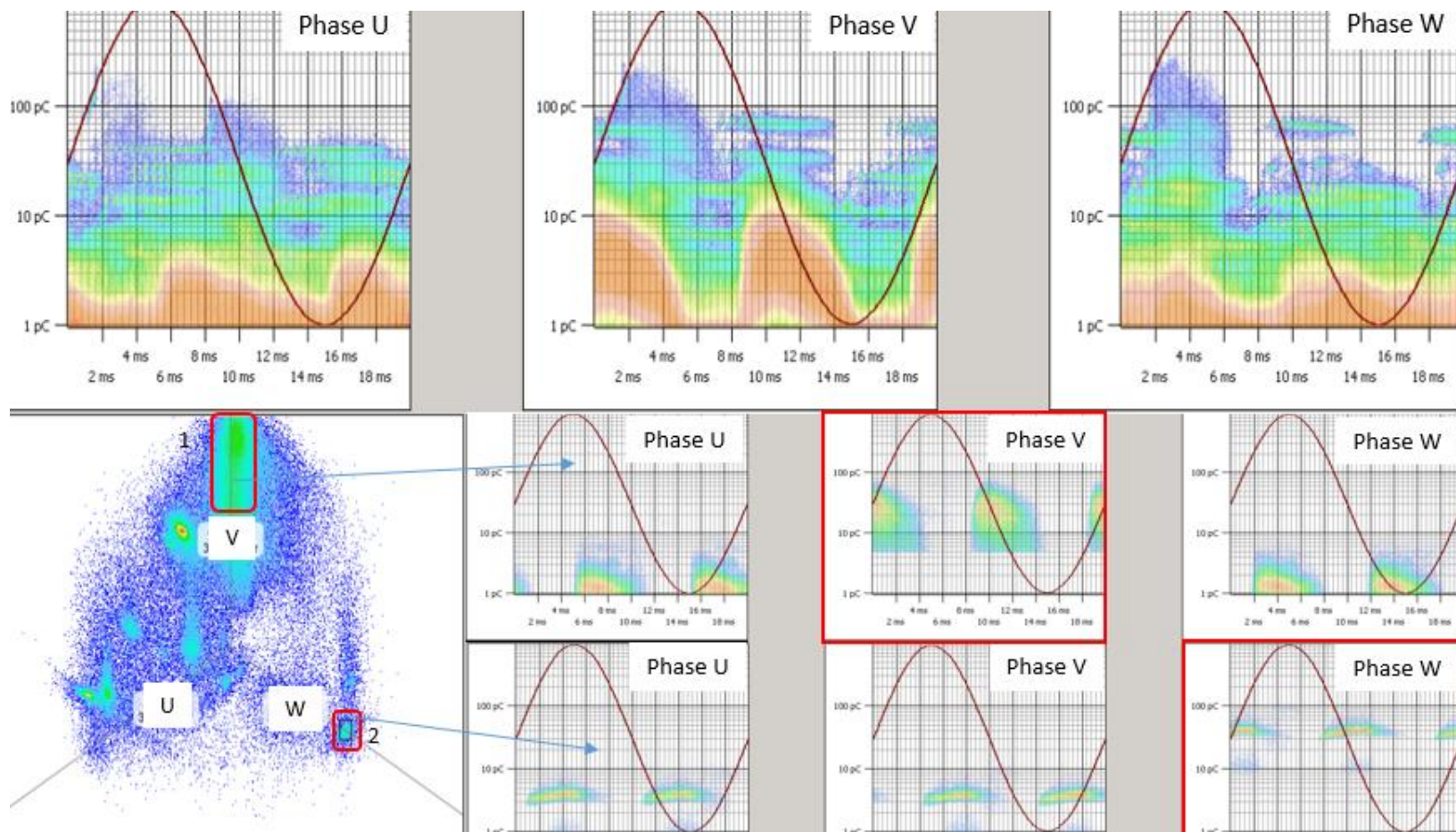
	Parametr	Część aktywna	Przepust
Off-line	DGA (H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> )	x	
	Zawilgocenie oleju	x	
On-line	WNZ na zaciskach pomiarowych przepustu	x	x
	UHF	x	
	Pojemność & Tangens Delta		x
	Przepięcia	x	x

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF



Pomiar WNZ metodą standardową: sondy na zaciskach pomiarowych przepustu

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF



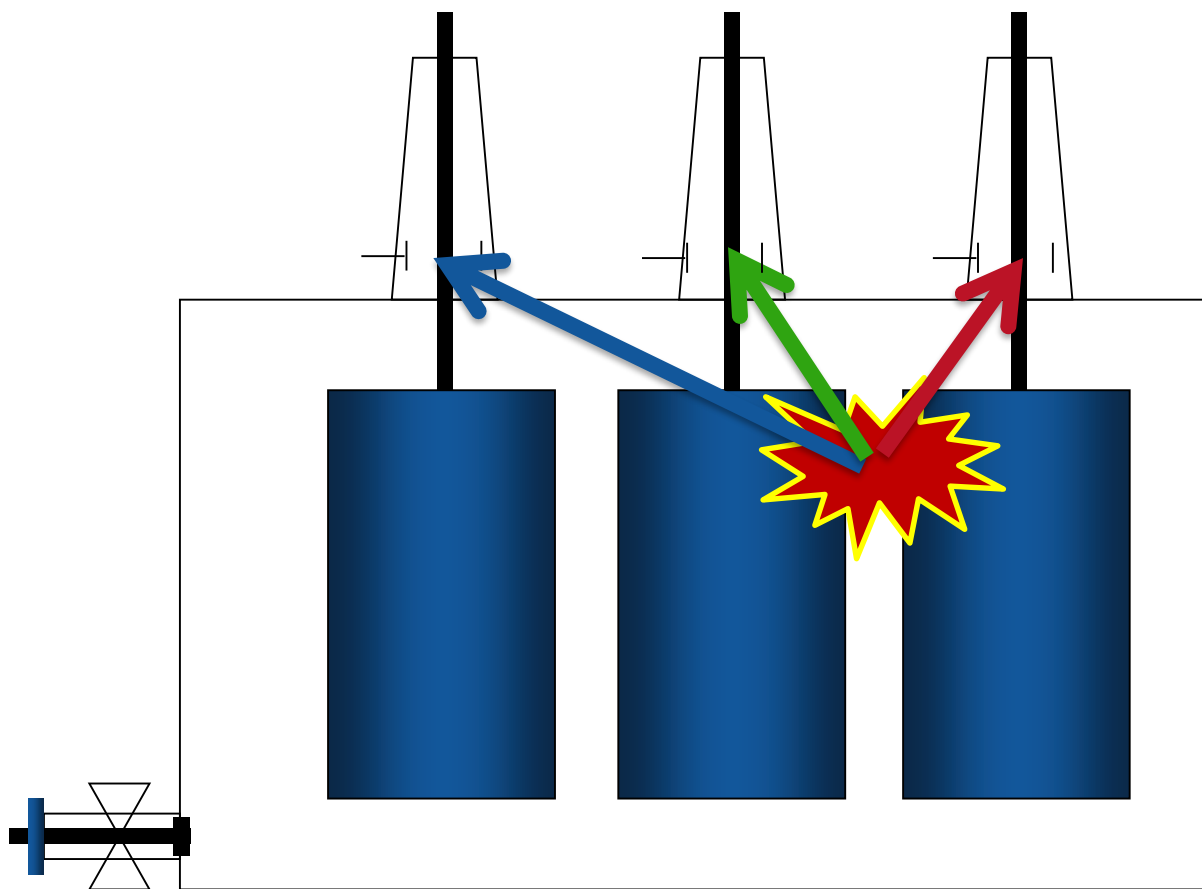
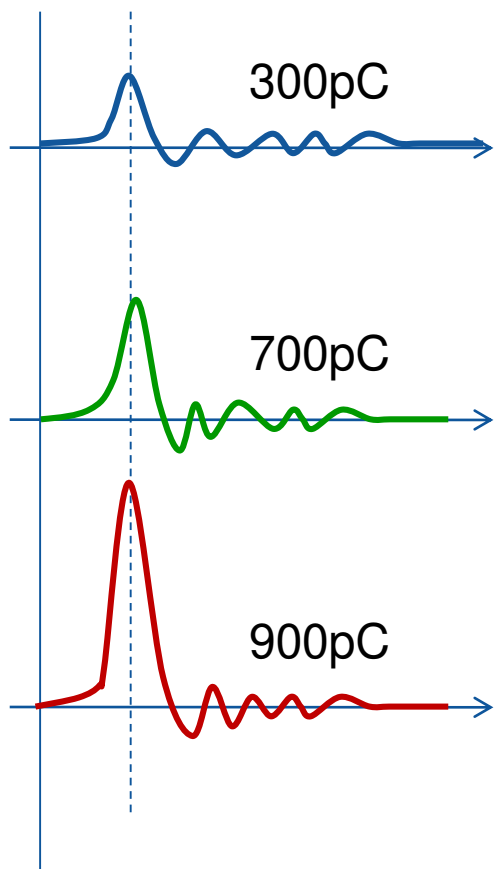
Pomiar WNZ metodą standardową (sonda na zaciskach pomiarowych przepustu)



### Multi-channel technique - 3PARD?

- > 3PARD stands for **3-Phase Amplitude Relation Diagram**
- > Synchronous measurement with three acquisition 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

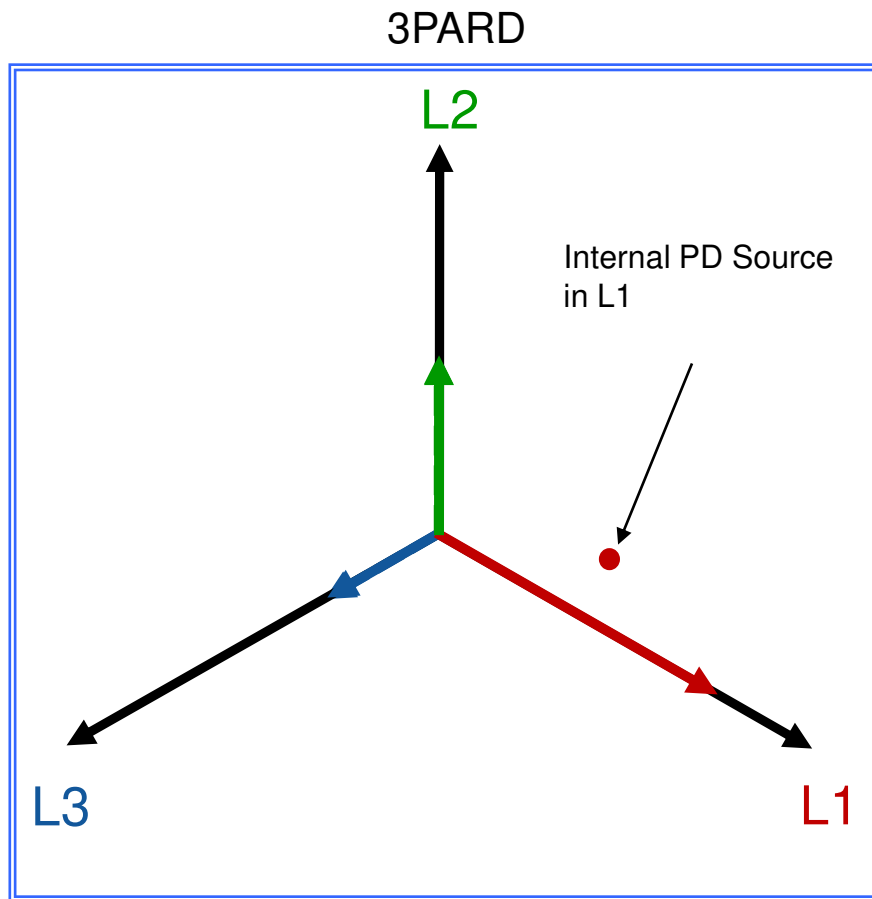
# Metody ograniczenia wpływu zakłóceń



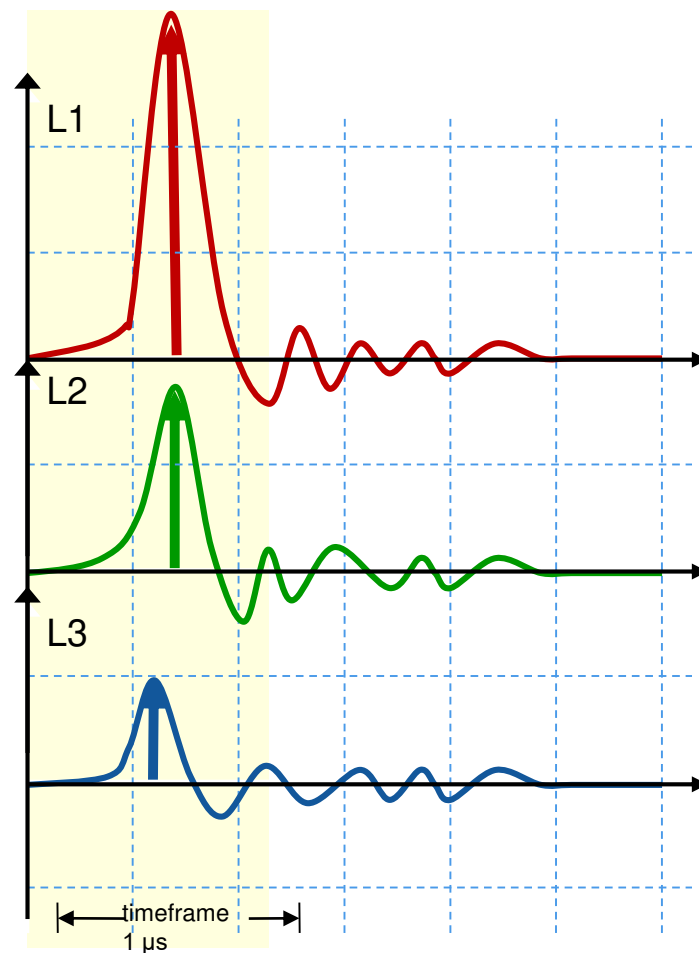
# Metody ograniczenia wpływu zakłóceń

## Źródło WNZ w fazie L1

Wewnętrzne WNZ w fazie  $L1 > L2 > L3$

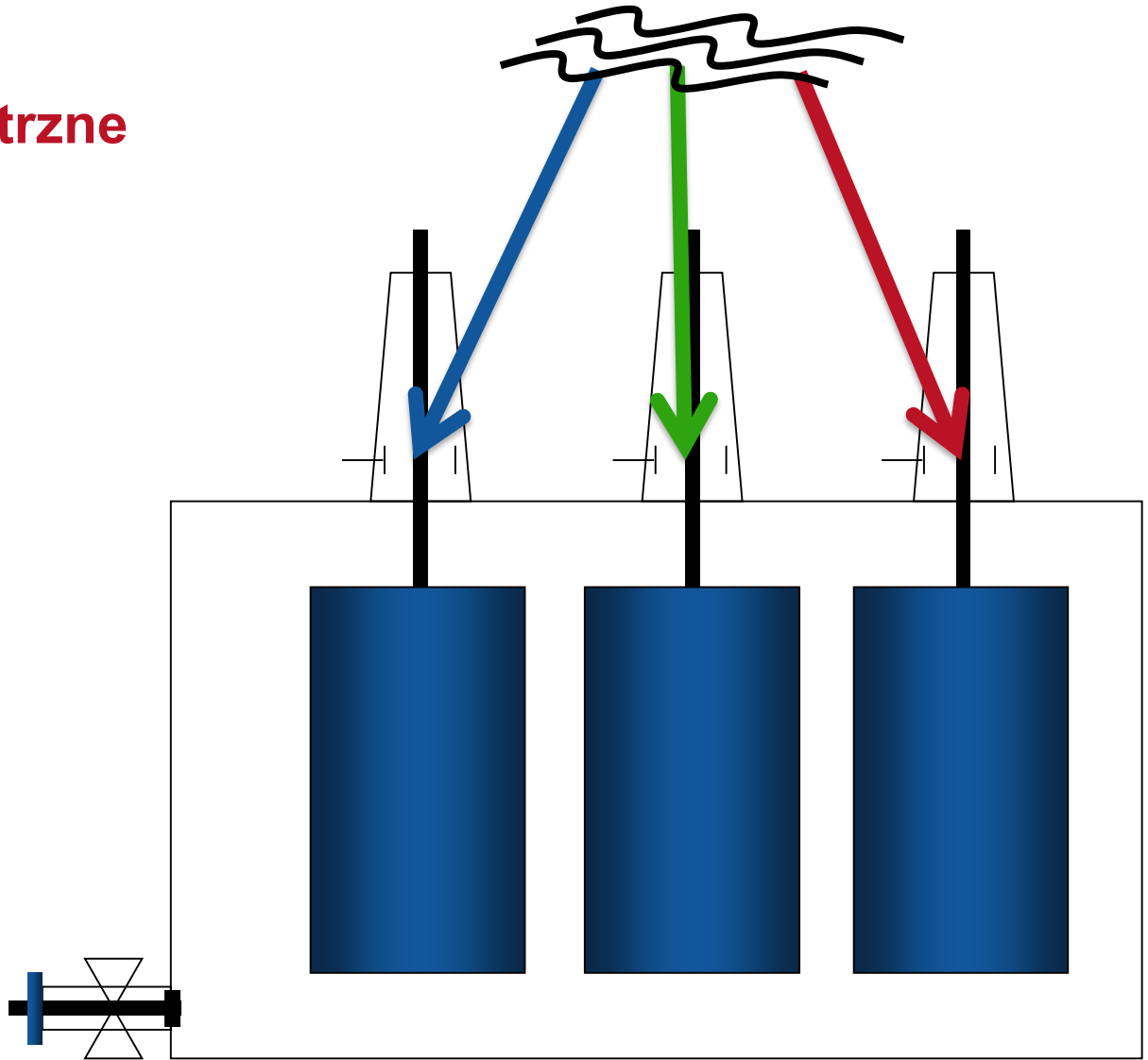
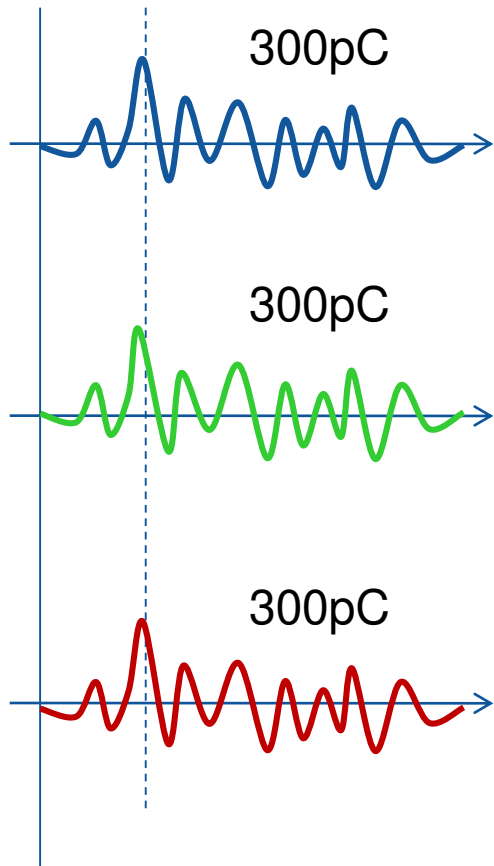


3PARAD = Three Phase Amplitude Relation Diagram



# Metody ograniczenia wpływu zakłóceń

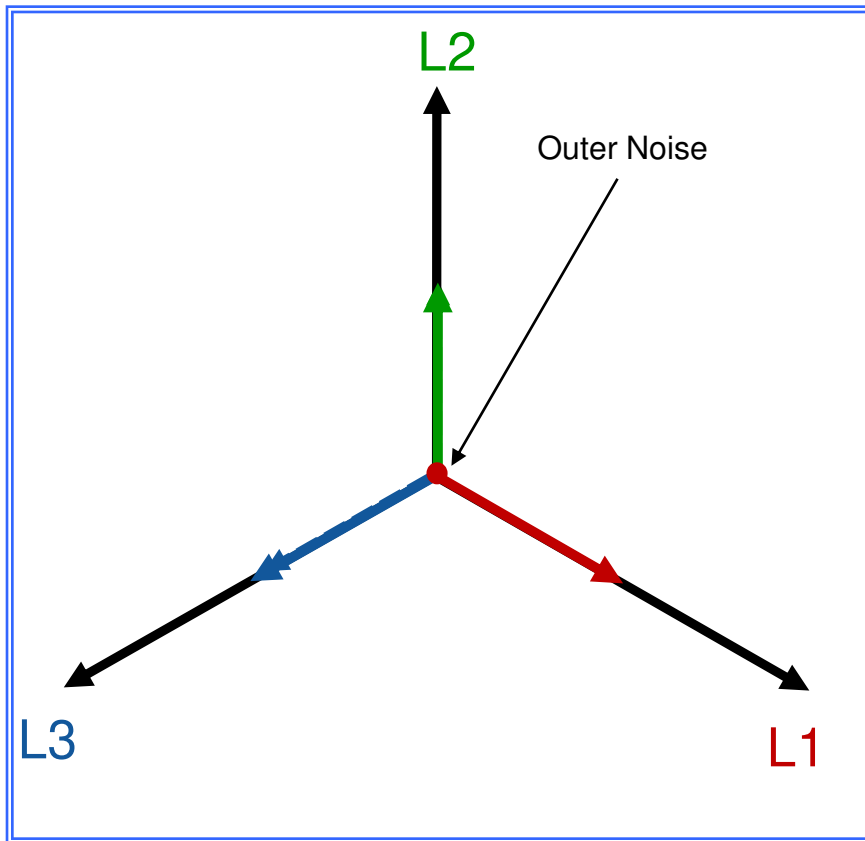
## Zakłócenie zewnętrzne



# Metody ograniczenia wpływu zakłóceń

## Zakłócenie zewnętrzne

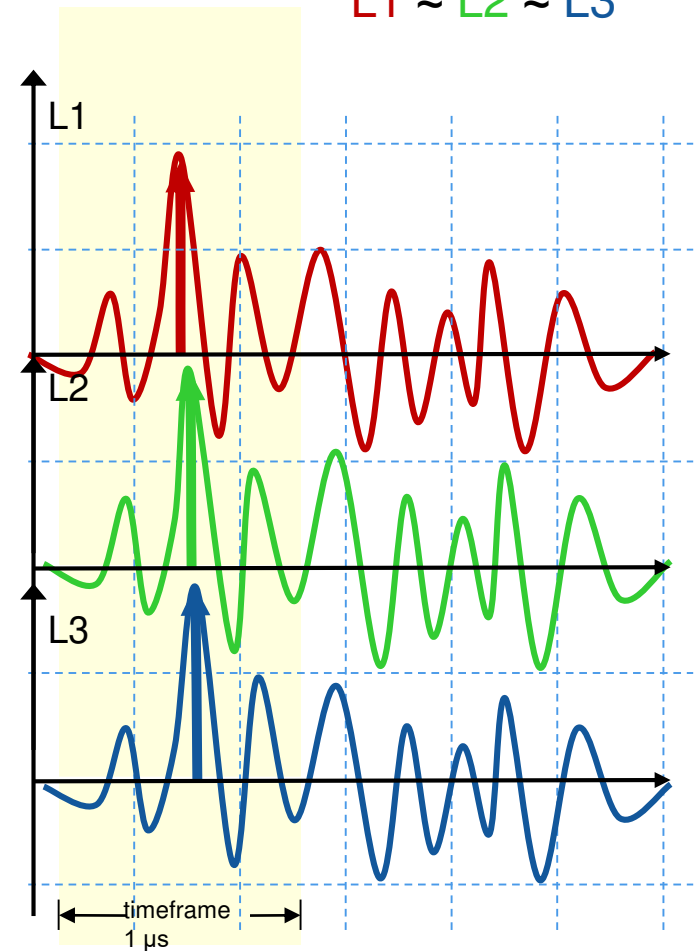
3PARD



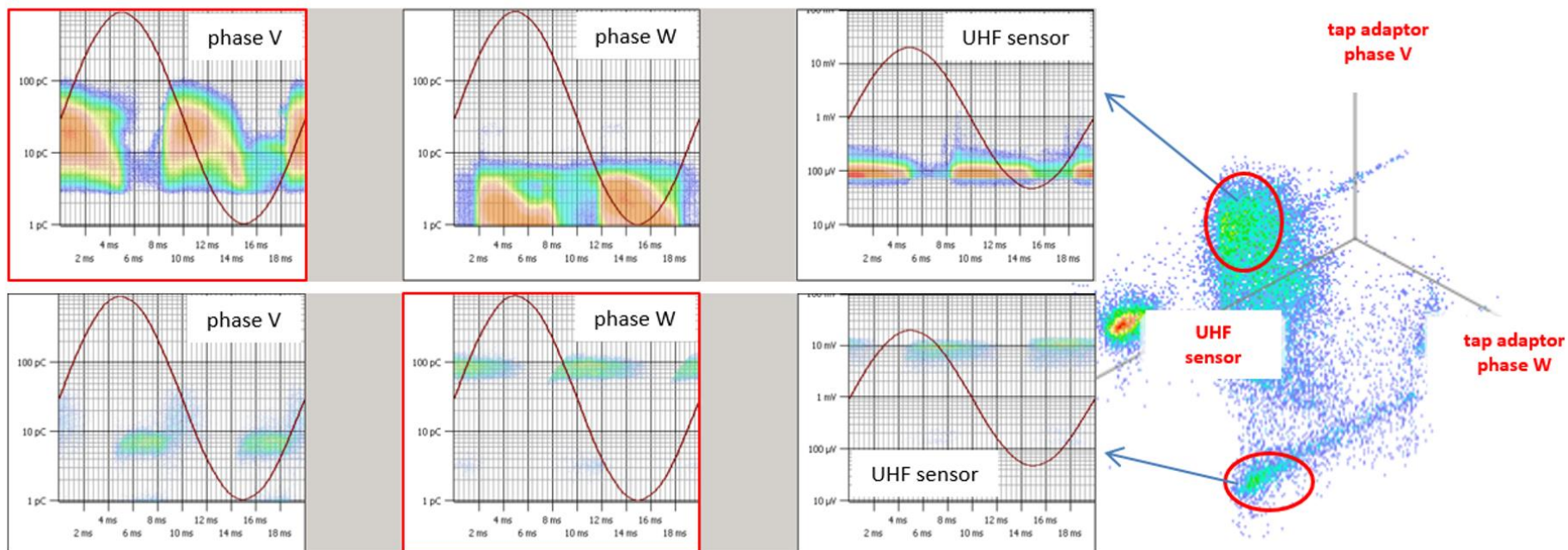
3PARD = Three Phase Amplitude Relation Diagram

Noise

$L1 \approx L2 \approx L3$

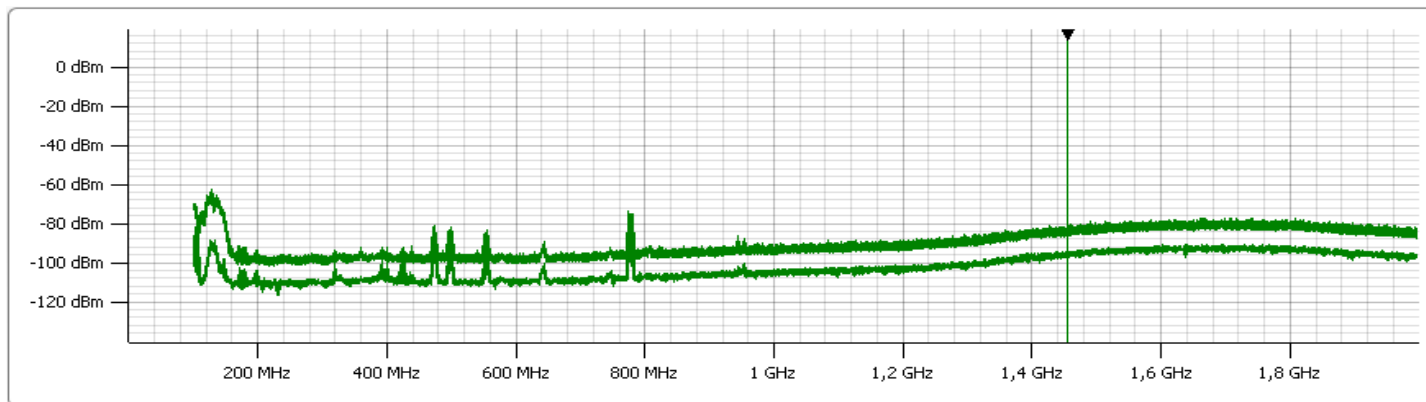


# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

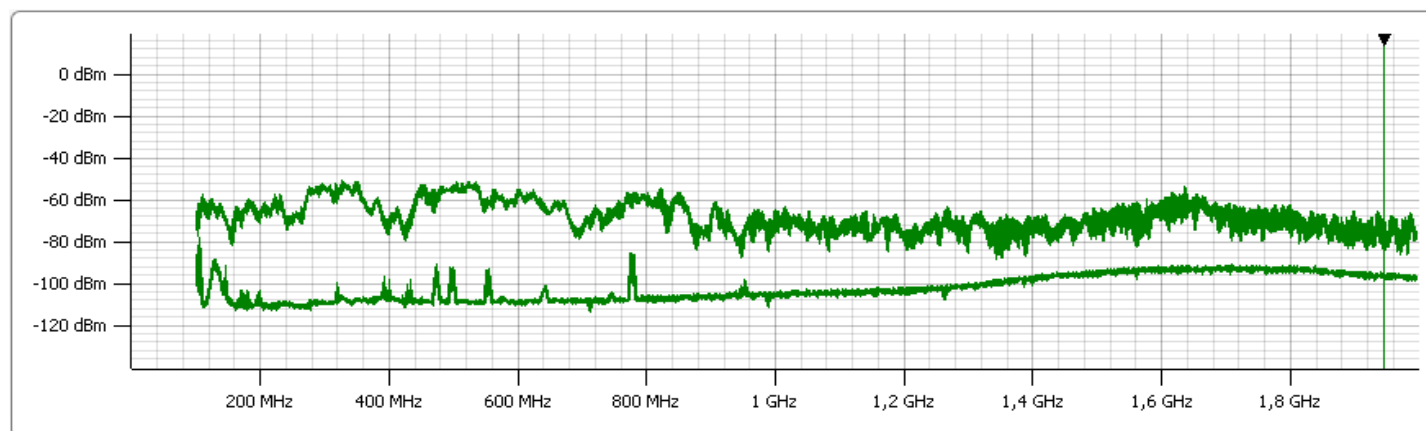


Rozdzielenie źródeł WNZ przy pomiarach metodą standardową i UHF

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

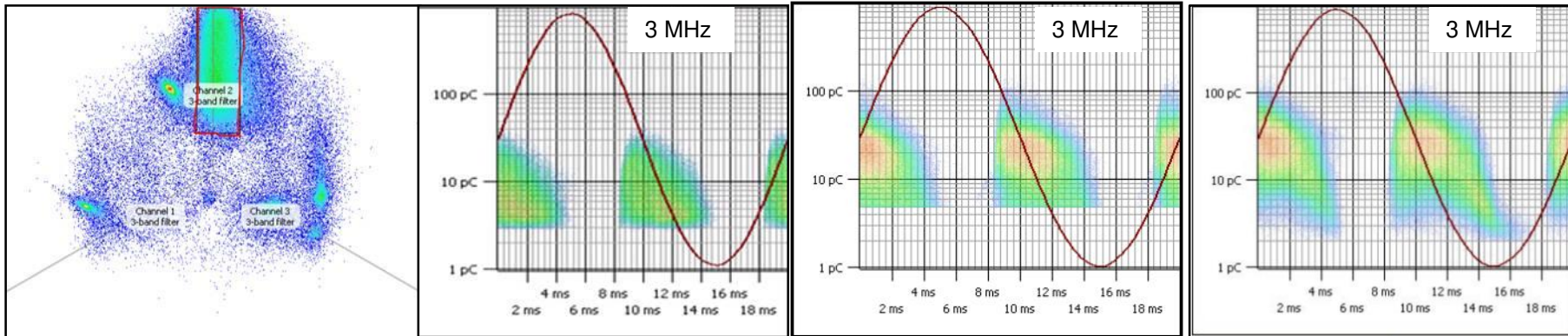


Widmo sygnału UHF dla transformatora w pozycji „off-line” (poziom szumu)



Widmo sygnału UHF dla transformatora w pozycji „on-line”

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

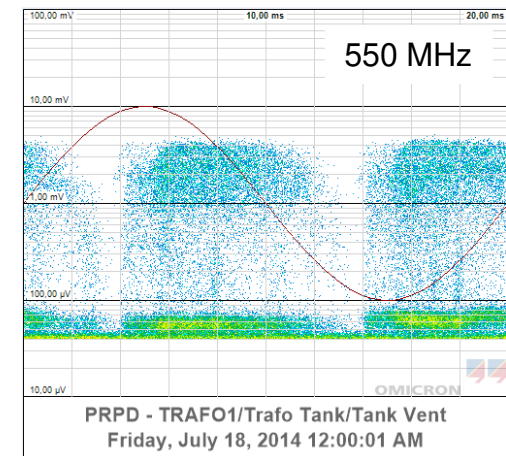
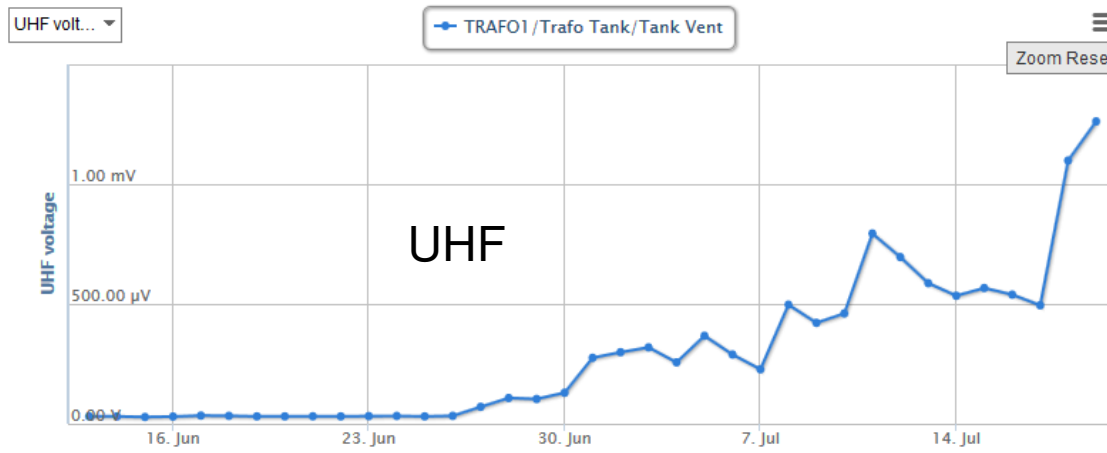


3PARD

5<sup>th</sup> of February 2014

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

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



Wyniki z monitoringu dla obu method pomiaru WNZ



# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

## Transformator T1 (47 years of service)

### Wyniki

#### Monitorowanie WNZ:

Defekty w Fazie V and W potwierdzone pomarami standardowymi i UHF

Obraz PRPD odpowiada wyładowaniom powierzchniowym i wyładowaniom w pęcherzykach gazu w oleju

Amplituda sygnału WNZ wzrosła trzykrotnie w ciągu trzech miesięcy

Sygnał WNZ ma ciągły charakter

#### Pomiary DGA:

Key gases: H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>

Typ defektu: wyładowanie elektryczne, defekt cieplny (termiczny)

## Wyniki pomiarowe

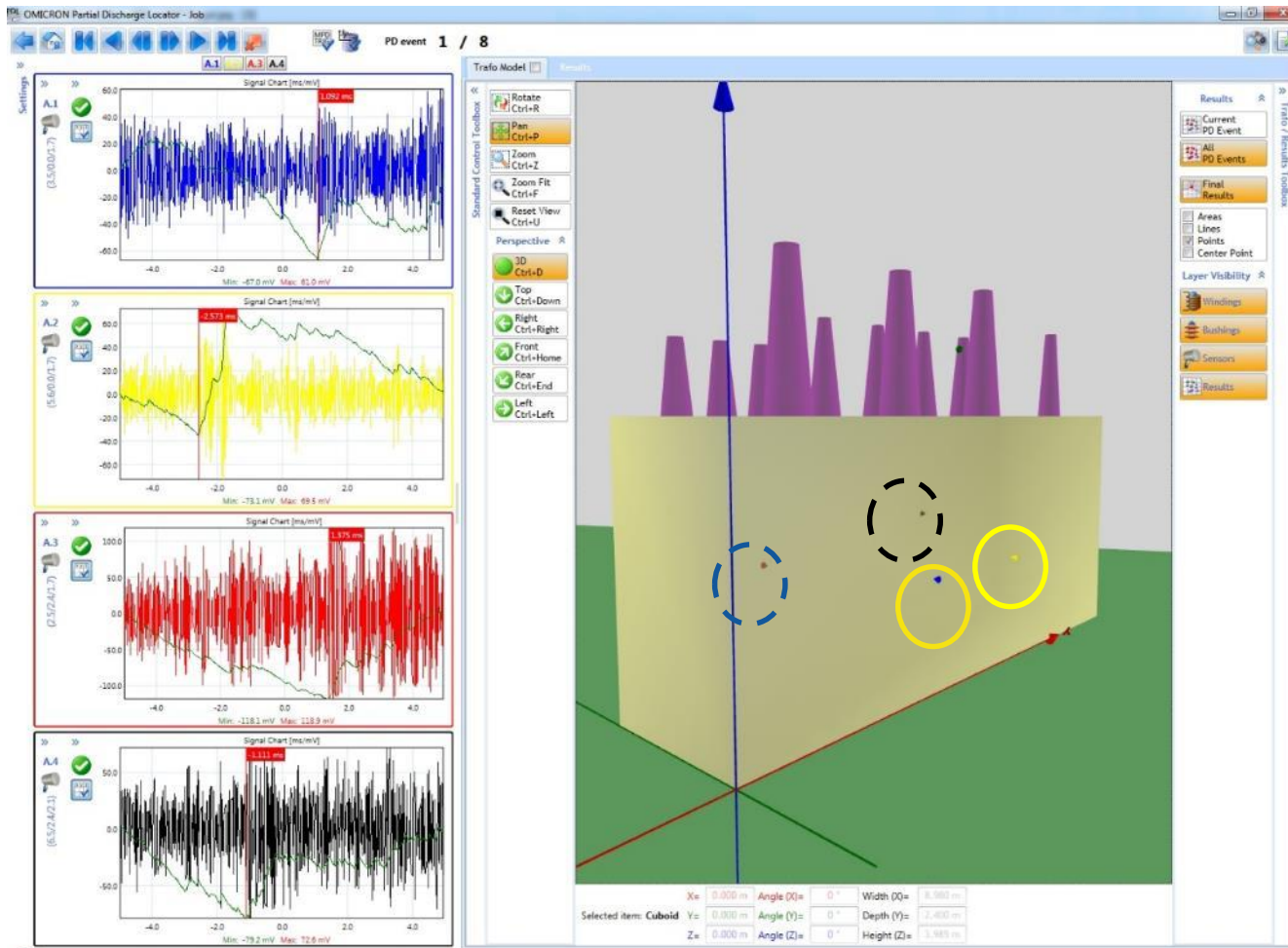
# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF



Pomiary akustyczne

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

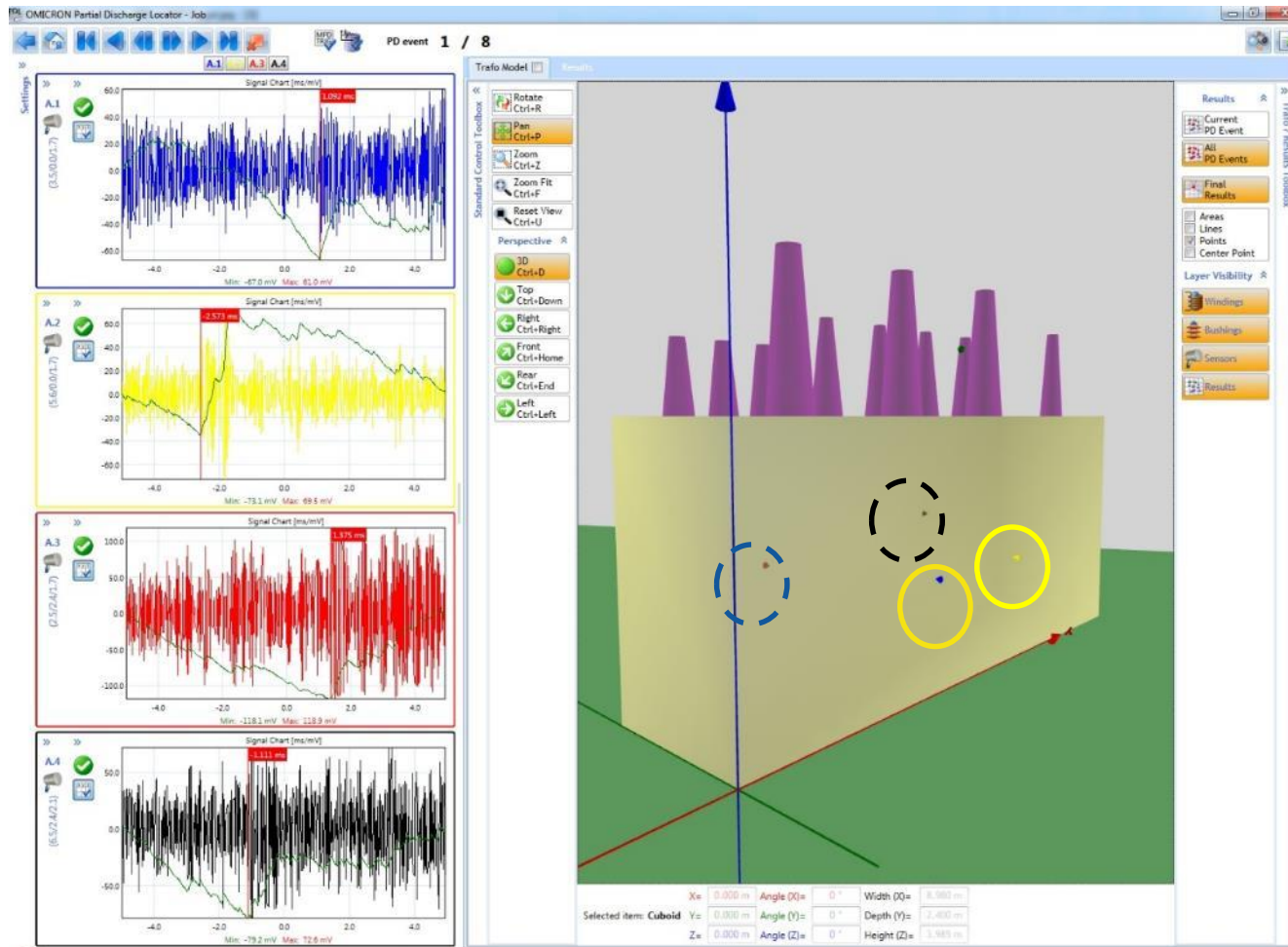
## 1<sup>st</sup> sensor position



Pomiary akustyczne

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

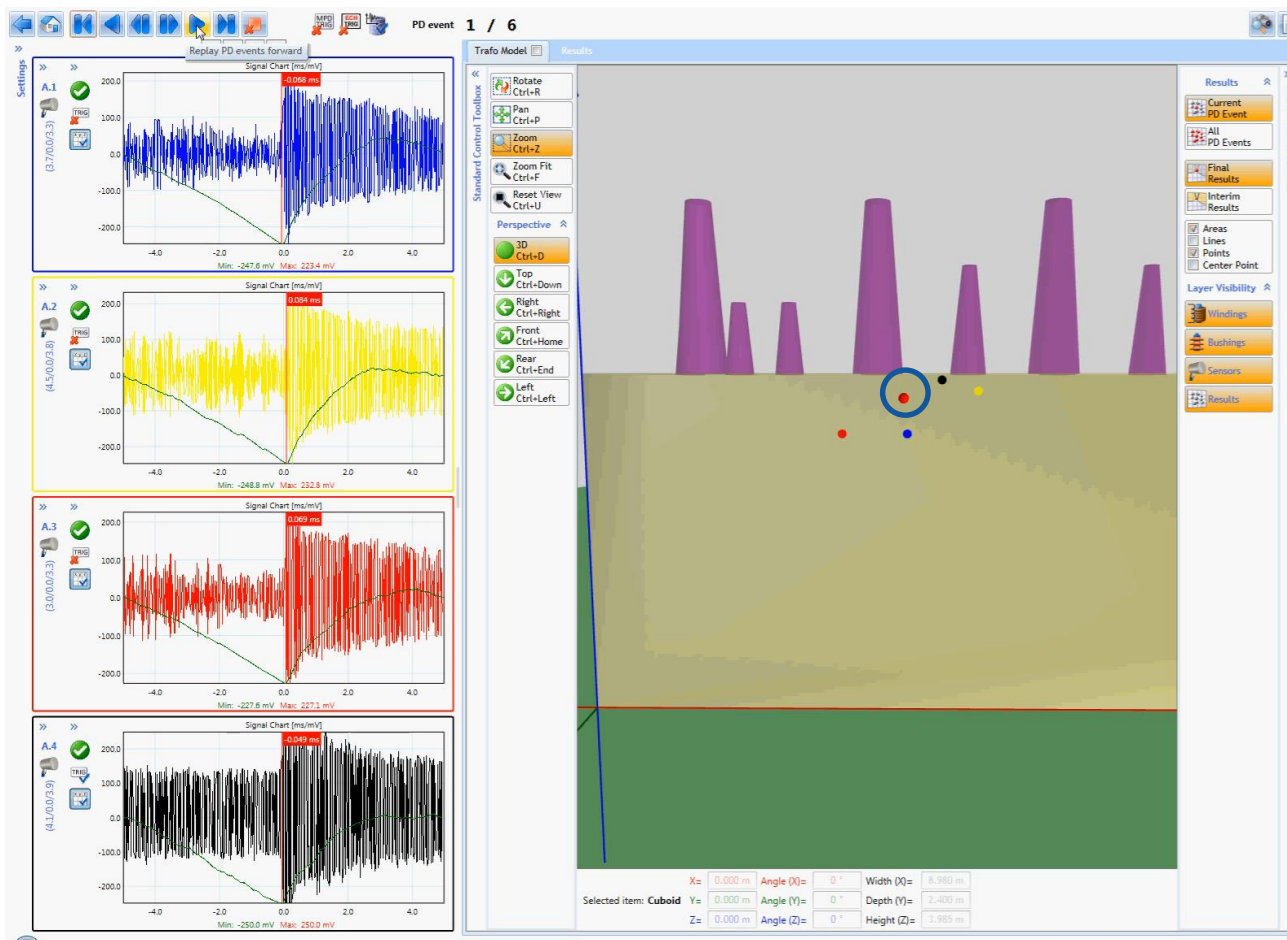
## 1<sup>st</sup> sensor position



Pomiary akustyczne

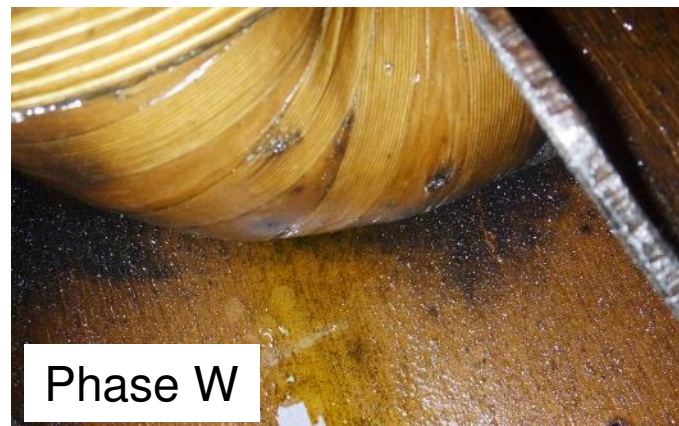
# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

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



Pomiary akustyczne

# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF

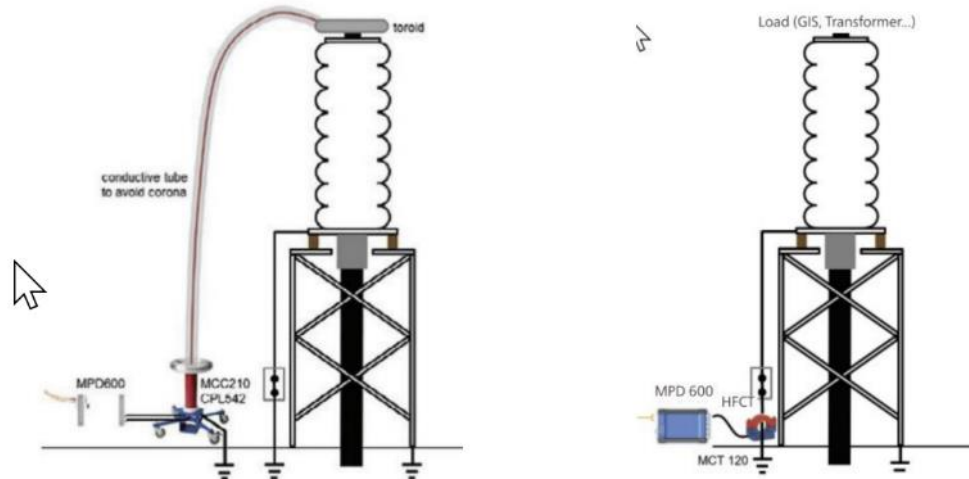


Inspekcja wnętrza transformatora

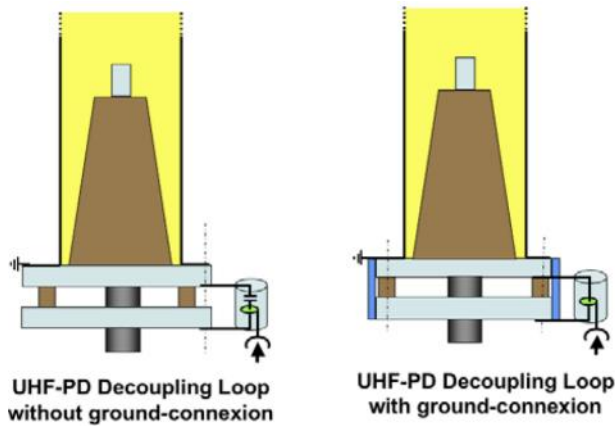
# Monitorowania WNZ transformatora energetycznego 130 MVA 230/115 kV metodą standardową i UHF



# UHF PD measurements on power cables



Pomiar WNZ na głowicach kablowych za pomocą kondensatora sprzęgającego oraz czujnika HFCT



Sposób połączenia sondy UHF do pomiaru WNZ na głowicach kablowych [20,21]



# UHF PD measurements on power cables

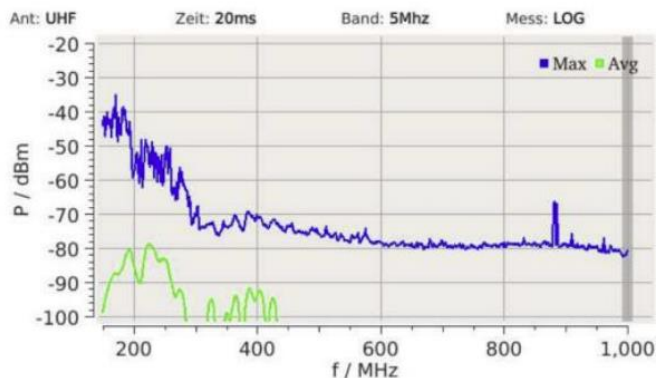


Figure 1 Spectrum of corona discharge

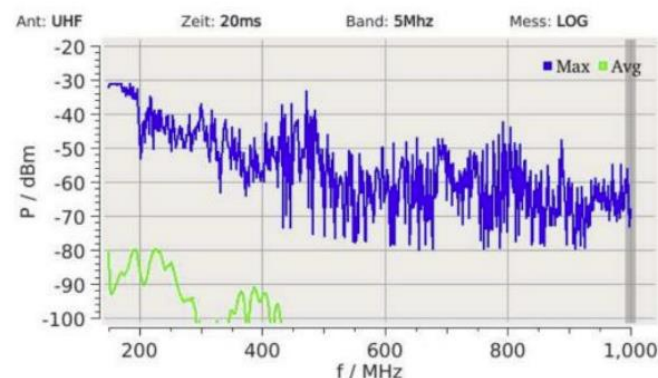
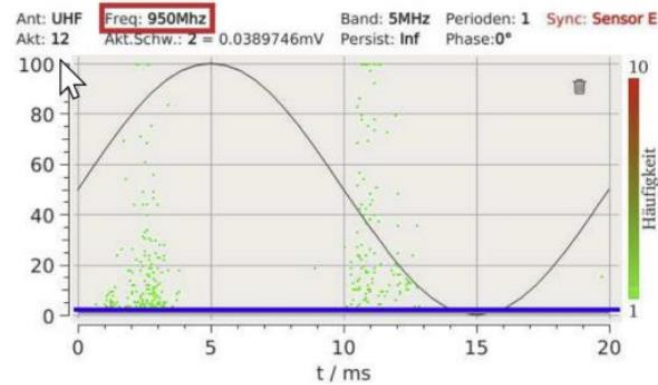
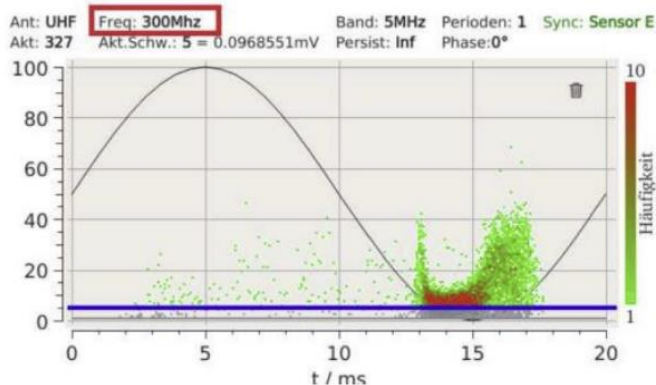
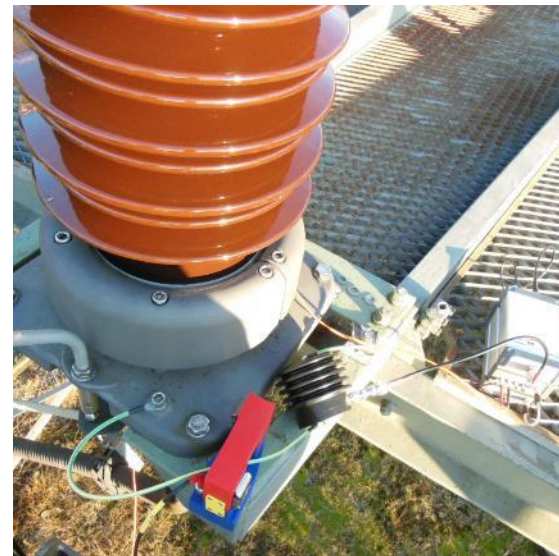


Figure 3 Spectrum of surface discharge



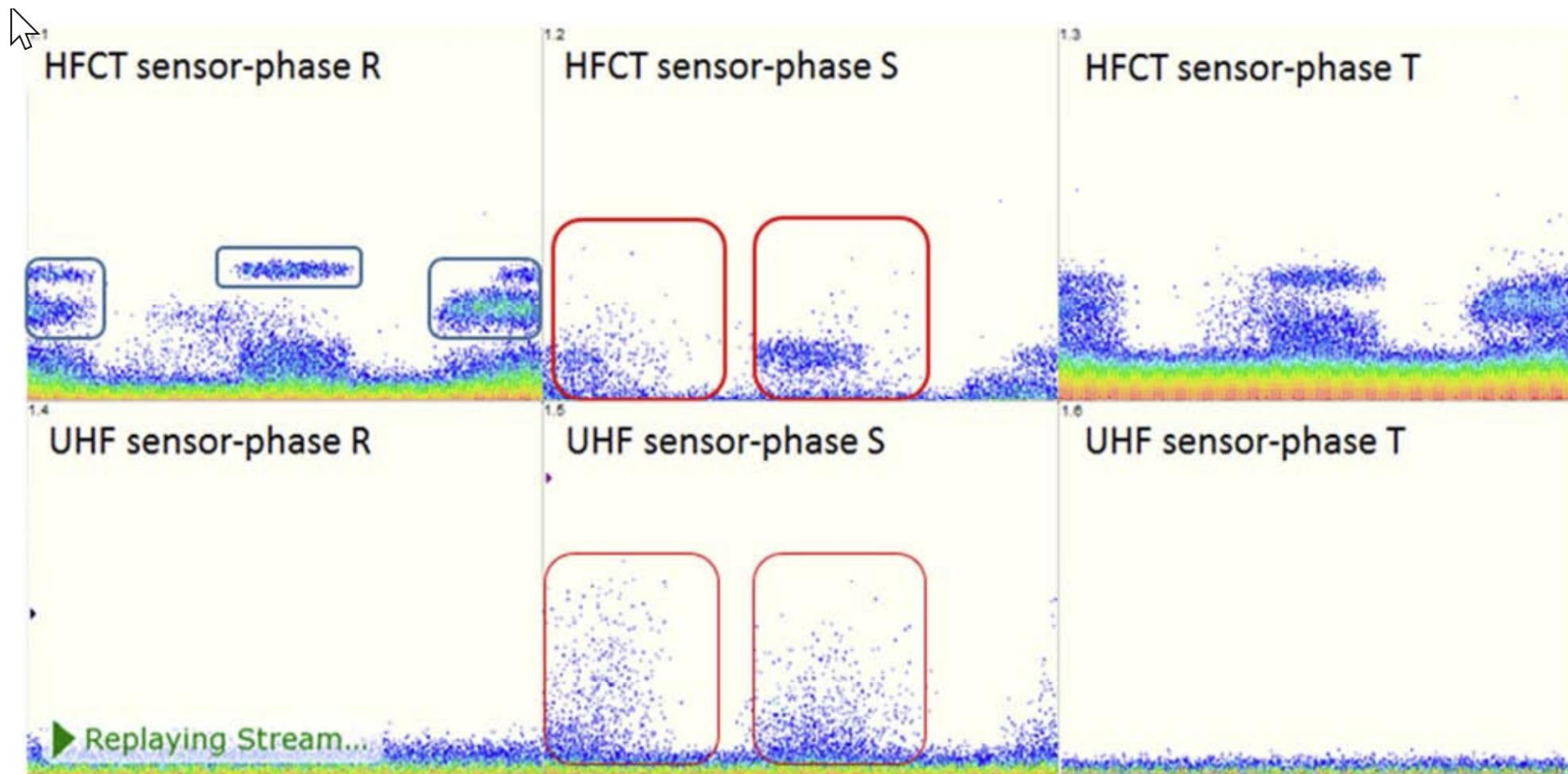
Przykładowe rejestracje metodą UHF widma oraz obrazów PRPD dla ulotu oraz wyładowań powierzchniowych [22]

# Pomiar WNZ na 110 kV kablu gazowym ciśnieniowym



Linia kablowa o dł. 1.9 km łączy rozdzielnicę GIS z linią napowietrzną

# Pomiar WNZ na 110 kV kablu gazowym ciśnieniowym



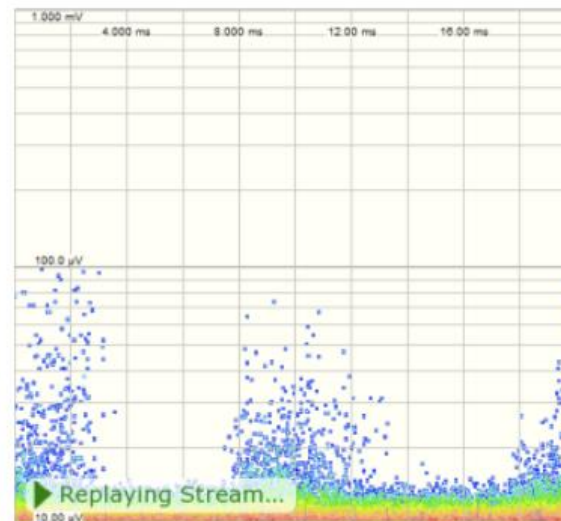
Wyniki pomiarów (obrazy PRPD) otrzymane w sposób synchroniczny na głowicy kablowej od strony linii napowietrznej 6 czujnikami WNZ

# Pomiar WNZ na 110 kV kablu gazowym ciśnieniowym

OHL terminations – HFCT sensor @2MHz



OHL terminations – UHF sensor @ 29



Obrazy PRPD rejestrowane dwoma typami czujników: HFCT i UHF [23]

Metoda UHF ma szereg **zalet** i daje możliwość:

- wykonania czułego pomiaru WNZ w warunkach polowych
- identyfikacji typu źródła WNZ, jak również pozwala odróżnić sygnał WNZ od zewnętrznych zakłóceń
- dokładnej lokalizacji miejsca źródła wyładowania
- stosowania razem z innymi metodami pomiaru WNZ takimi jak metoda standardowa oparta o pomiar ładunku pozornego czy metoda akustyczna
- zastosowania do monitoring ciągłego WNZ.

**Wadą metody** jest brak możliwości kalibracji mierzonego sygnału w odniesienie do wartości ładunku pozornego mierzonego metodą standardową. Sygnał UHF jest silnie tłumiony i dlatego też jego amplituda silnie zależy od miejsca lokalizacji zarówno źródła WNZ jak i sondy UHF.



**Dziękuję za uwagę!**

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

26 March 2024



# KABEL

2024

**XXIX KONFERENCJA** SZKOLENIOWO-TECHNICZNA  
ELEKTROENERGETYCZNE SIECI KABLOWE I NAPOWIETRZNE

12-15 marca 2024

Lidzbark Warmiński

Hotel Krasicki\*\*\*\*