

# **Doświadczenia z monitorowania WNZ w kablach XLPE wysokich napięć**

**WOJCIECH KOŁTUNOWICZ**

**OMICRON ENERGY SOLUTIONS**

# Agenda

- > Dlaczego wykonujemy pomiar WNZ
- > Próby w miejscu zainstalowania
- > Systemy monitorowania - wyzwania
- > Systemy w tunelach i dla kabli zakopanych w ziemi
- > Elementy systemu
- > Parametry monitorowane
- > Przykłady rejestracji sygnałów

# Kwalifikacja systemów kablowych XLPE 400 kV (PQ test)



**Sześć linii kablowych XLPE na 400 kV  
Próby w CESI, Mediolan**





# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla



# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla

**Pomiar napięciem przemiennym z  
jednoczesnym pomiarem WNZ**

**Pomiar WNZ jest nastawiony głównie na  
kontrolę jakości osprzętu kablowego**

*Synchroniczny pomiar WNZ na wszystkich elementach osprzętu kablowego*

**London Elstree 2005**  
**20 km System kablowy XLPE**

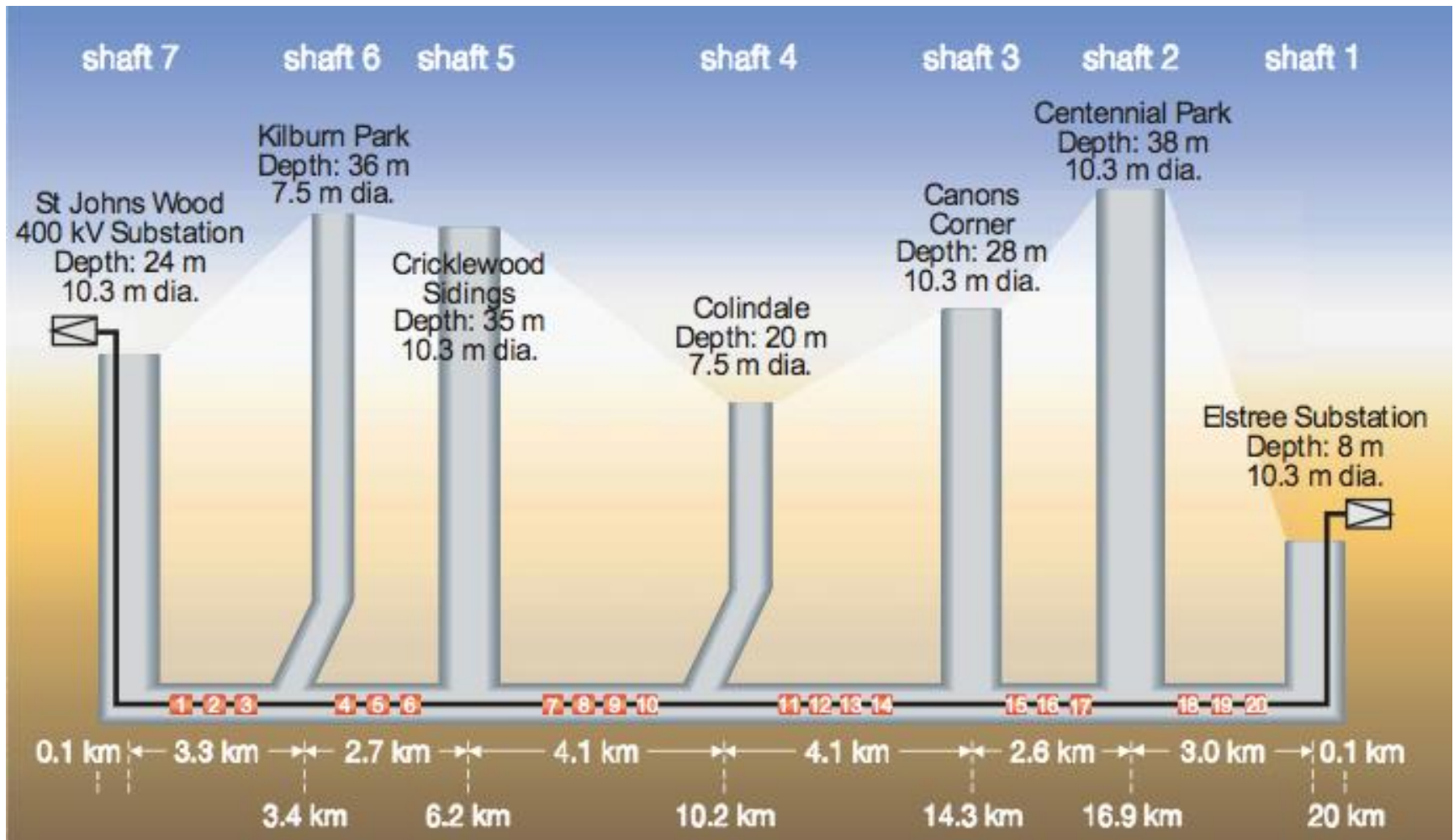
**Parametry próby:**  
**280 kV, 31 Hz, 240 A**

**Synchroniczny pomiar WNZ na  
20 mufach i 2 głowicach GIS**

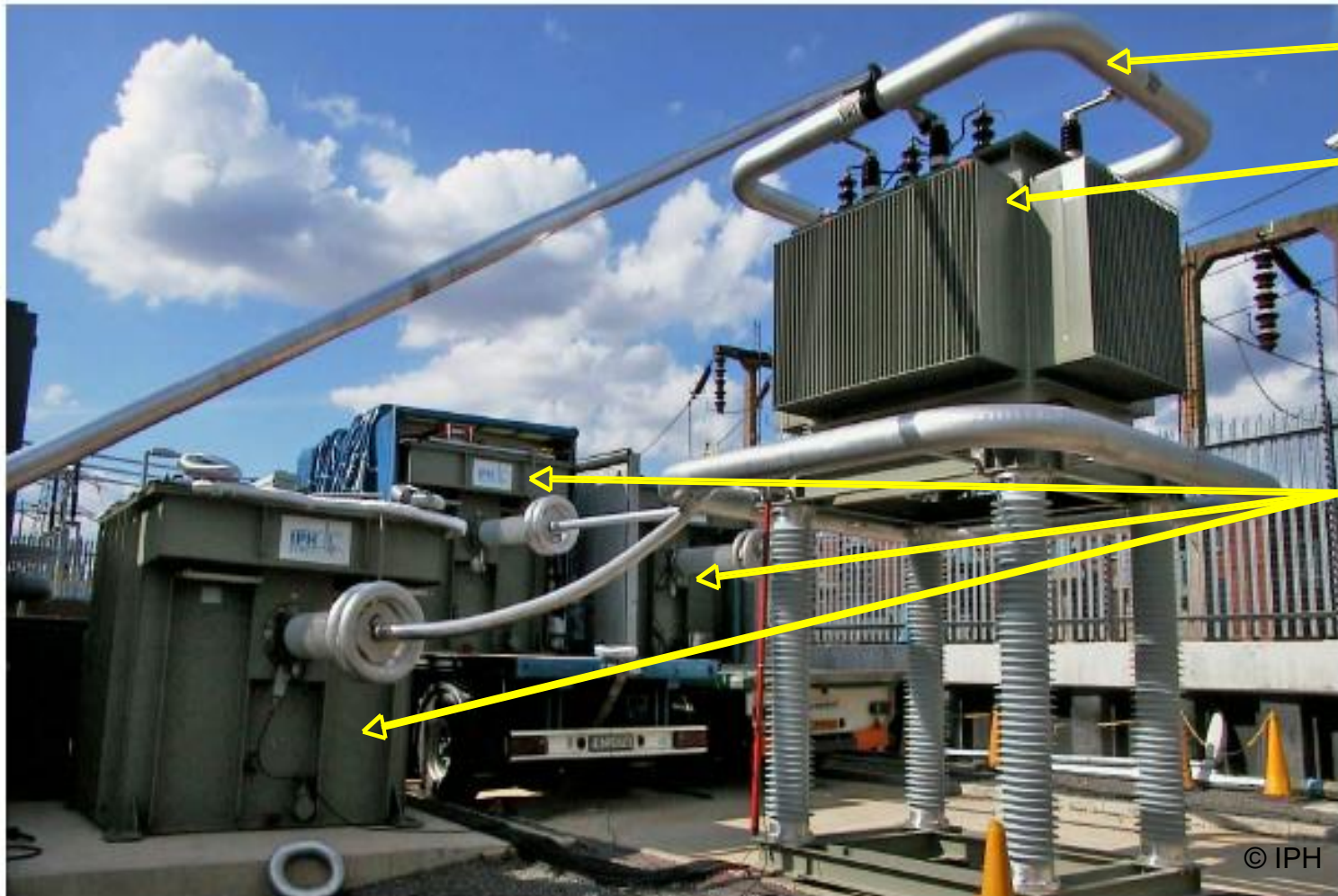




# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE London Elstree 2005



# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE London Elstree 2005



PD-free  
test set-up

additional  
reactor in  
series  
connection,  
0.7H, 30kV,  
240A

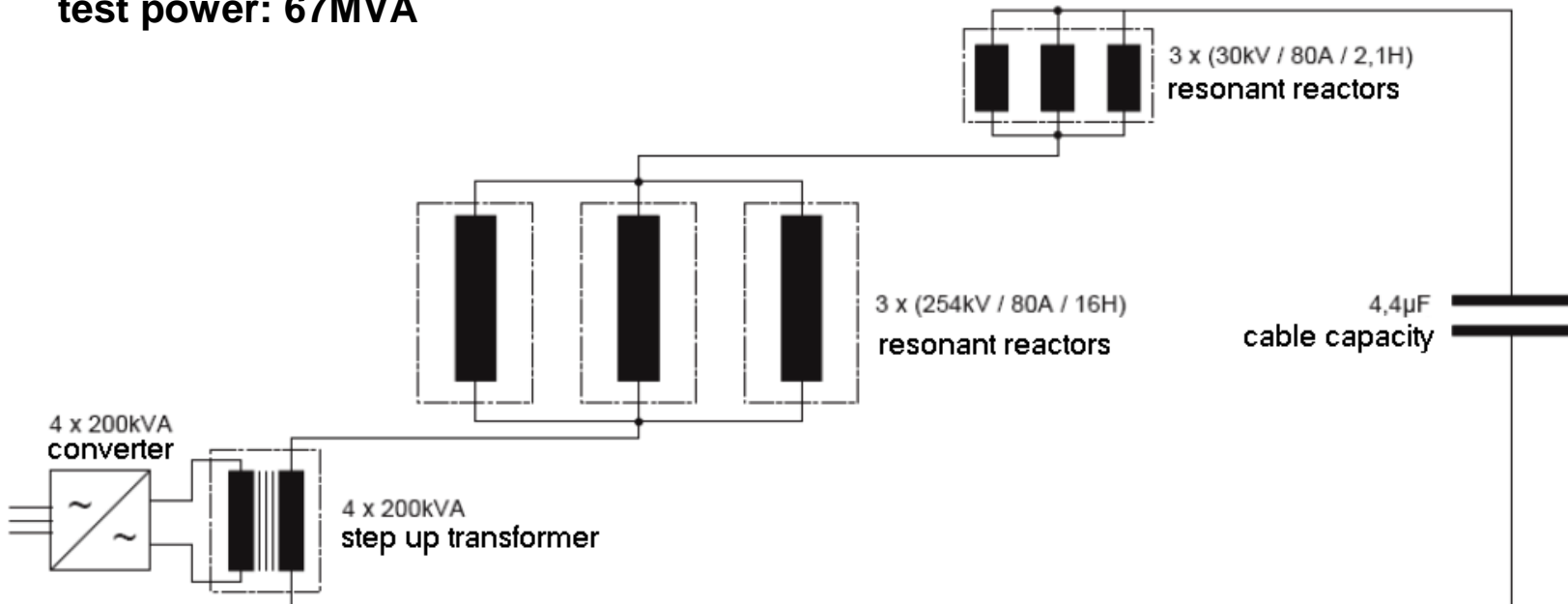
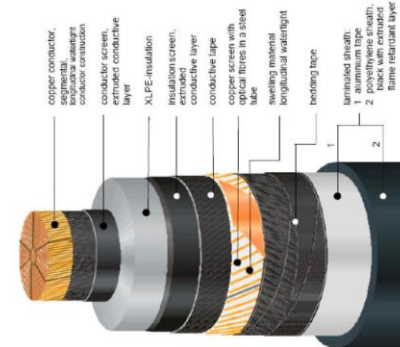
3 reactors in  
parallel  
connection,  
each 16H,  
254kV, 80A

© IPH

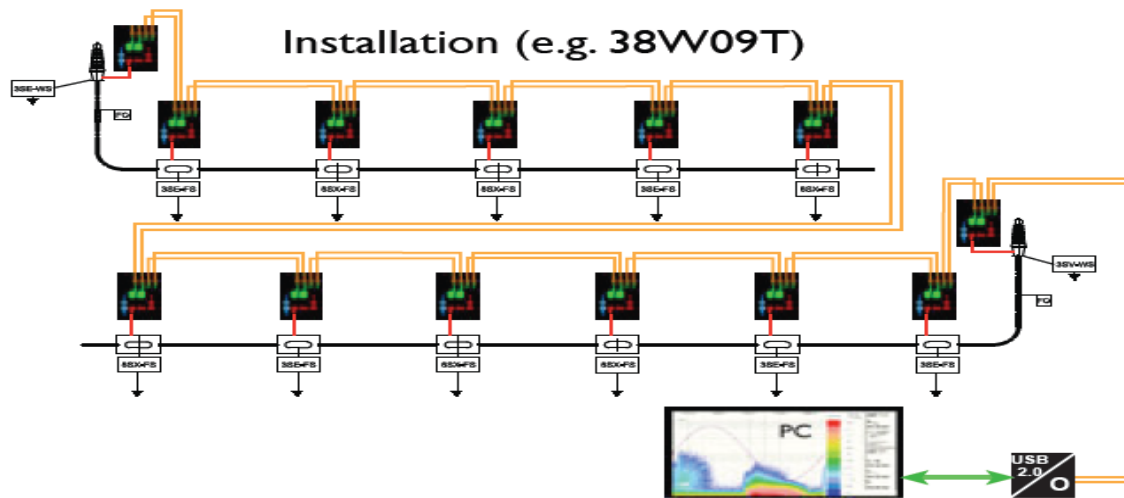


# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE London Elstree 2005

AC test voltage: 280kV  
 test duration: 1h  
 cable capacitance:  $4.4\mu\text{F}$  / phase  
 resonant frequency: 31.3Hz  
 AC test current: 240A  
**test power: 67MVA**



# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE London Elstree 2005



Synchroniczny pomiar WNZ

Sprawdzenie systemu pomiaru WNZ przed próbą

# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla - kalibracja



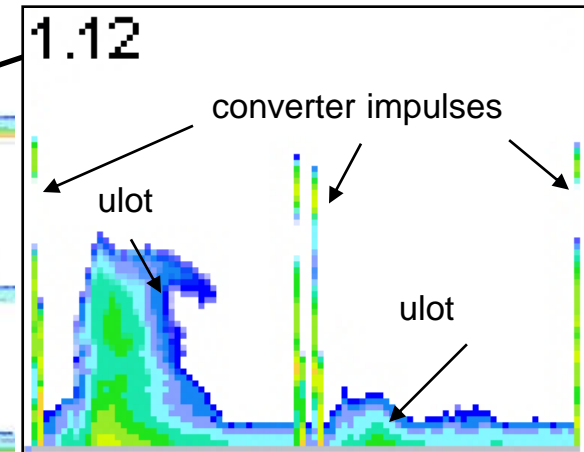
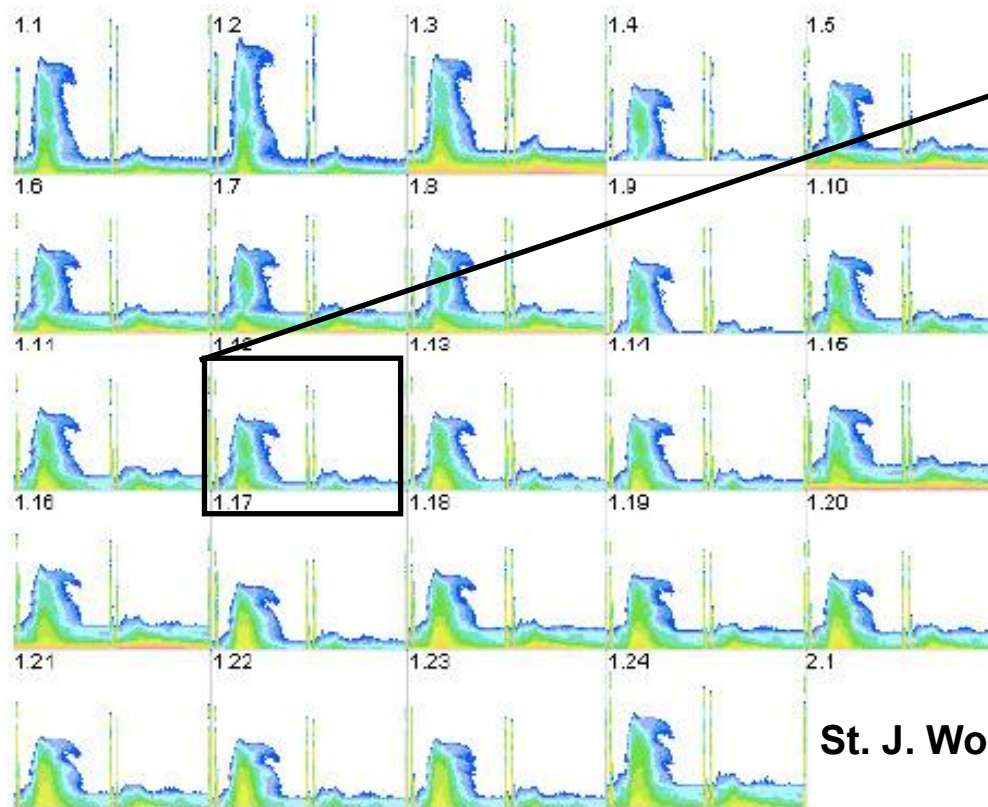


# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE London Elstree 2005

„wire test“

lokalizacja  
„wire” - Elstree

Elstree



St. J. Wood

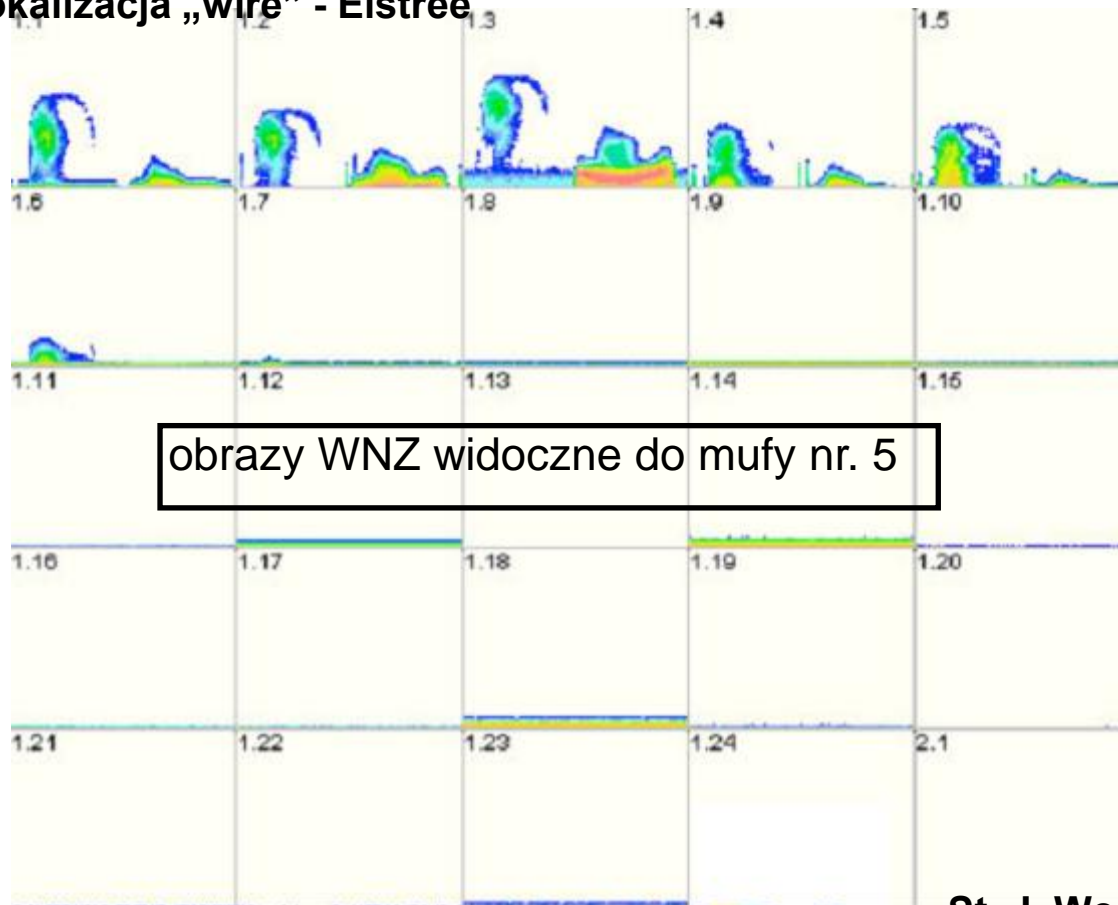
„wire test”: @  
niska częstotliwość centralna  
(600kHz)

© IPH

# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE London Elstree 2005

## „wire test“

lokalizacja „wire” - Elstree



obrazy WNZ widoczne do mufy nr. 5

PD base 1.1: sealing end in Elstree

PD base 1.2 & 1.3: sealing end in Elstree (inductive sensor)

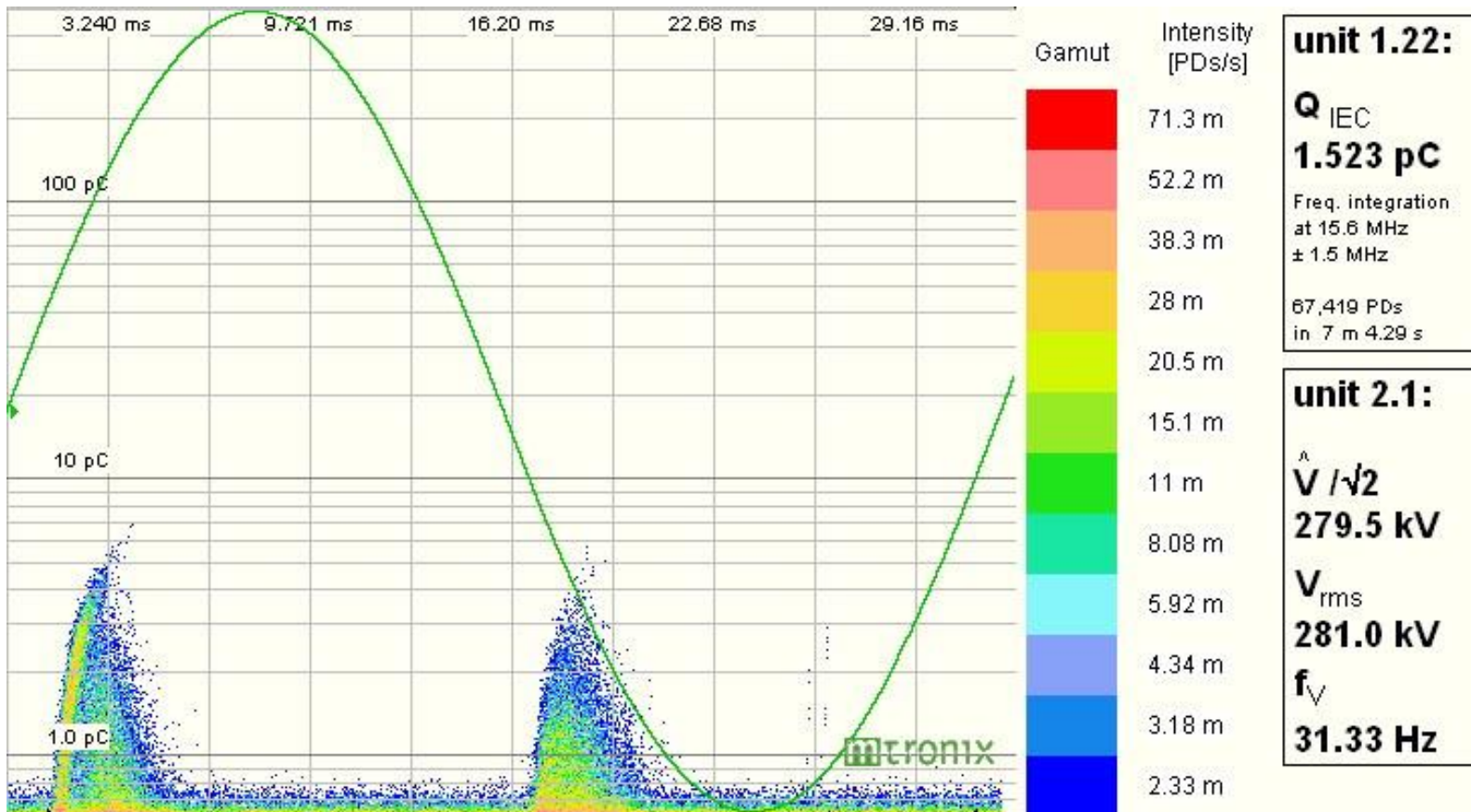
PD base 1.4...1.23: joints from Elstree to St. John's Wood

PD base 1.24: sealing end in St. John's Wood

„wire test”: @  
higher frequencies  
(center freq. 6MHz)

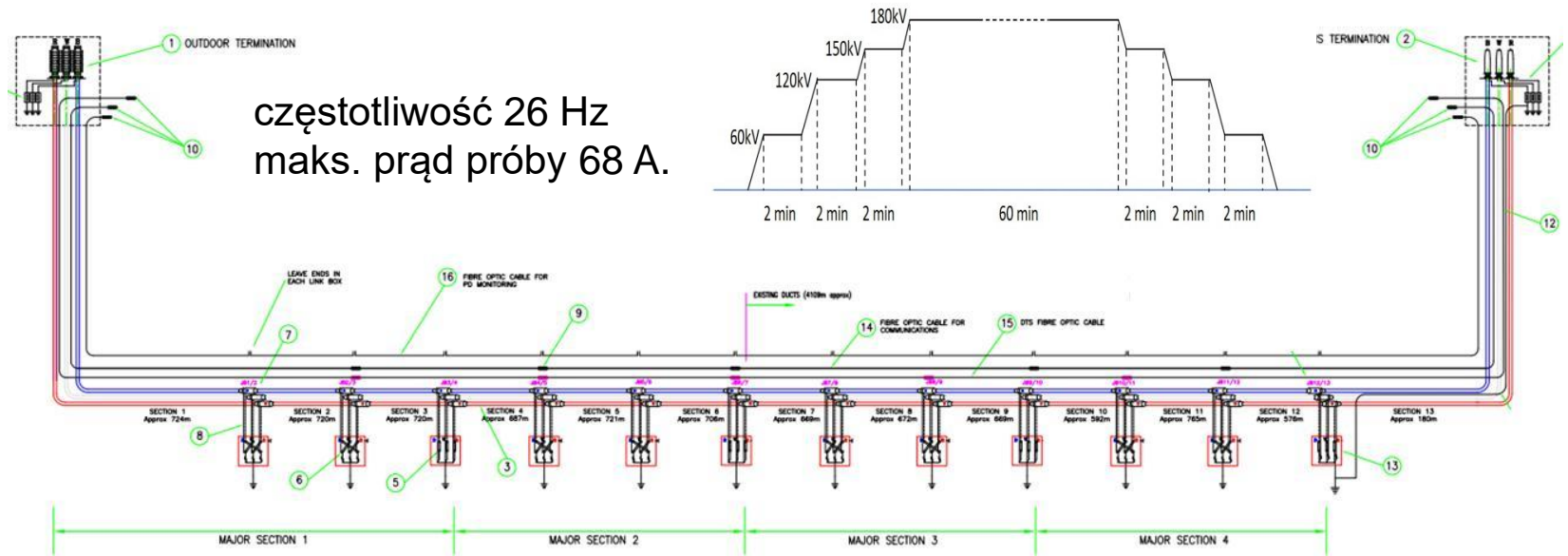
St. J. Wood

# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla XLPE 400kV XLPE Londyn Elstree 2005

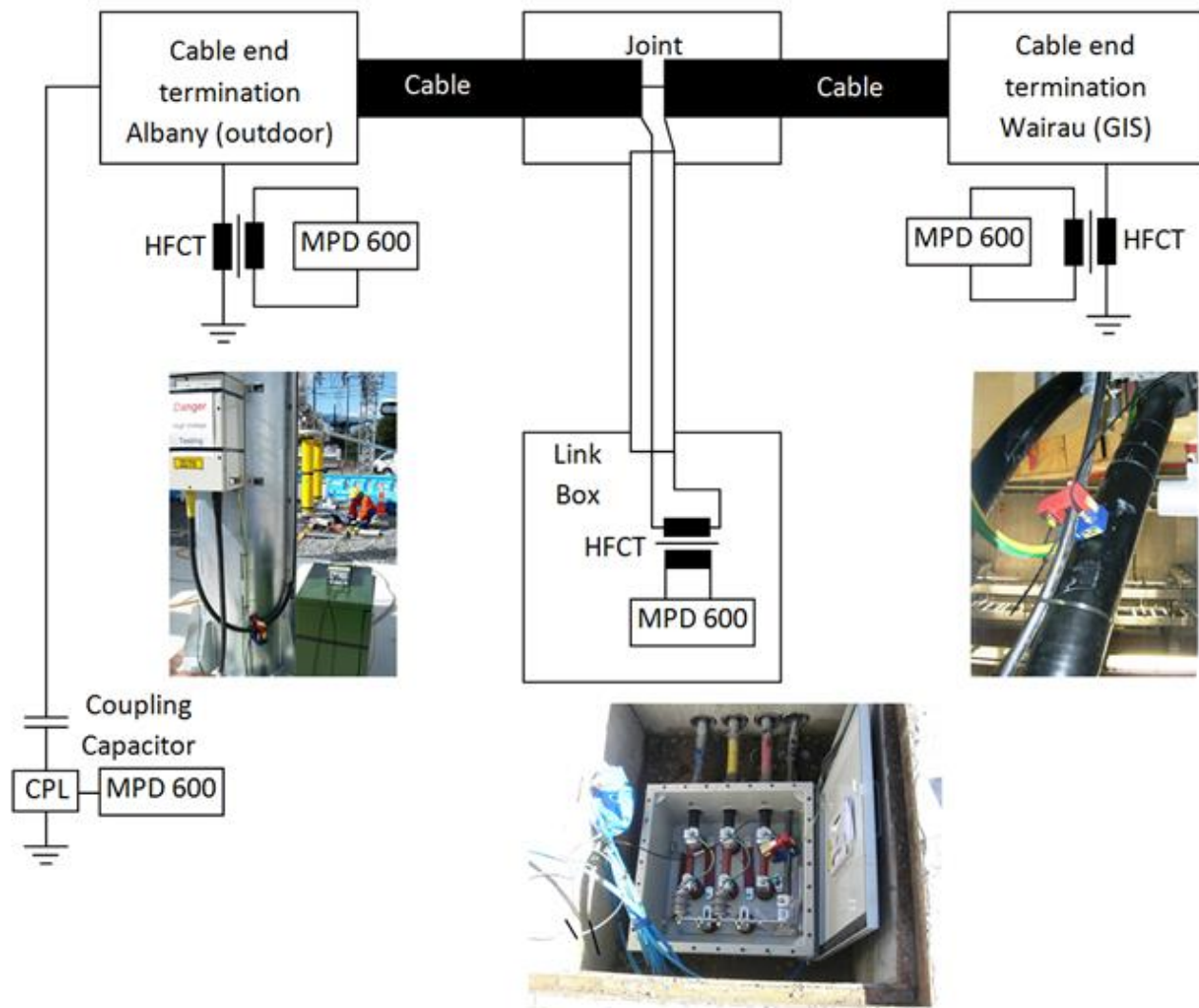




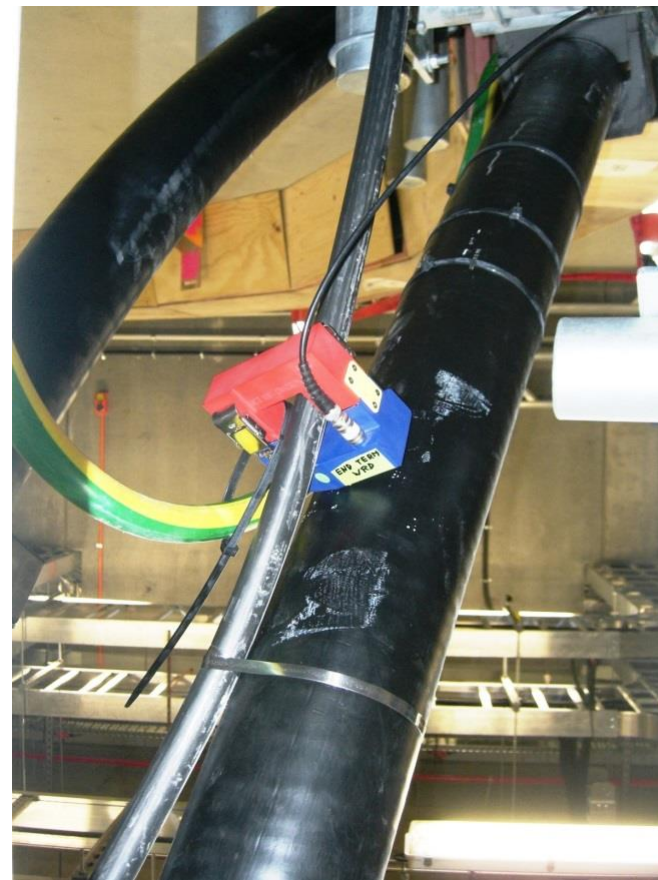
# Próby dielektryczne po zainstalowaniu linii kablowej 220 kV o długości 8.4 km w NZ



# Próby dielektryczne po zainstalowaniu linii kablowej 220 kV o długości 8.4 km w NZ



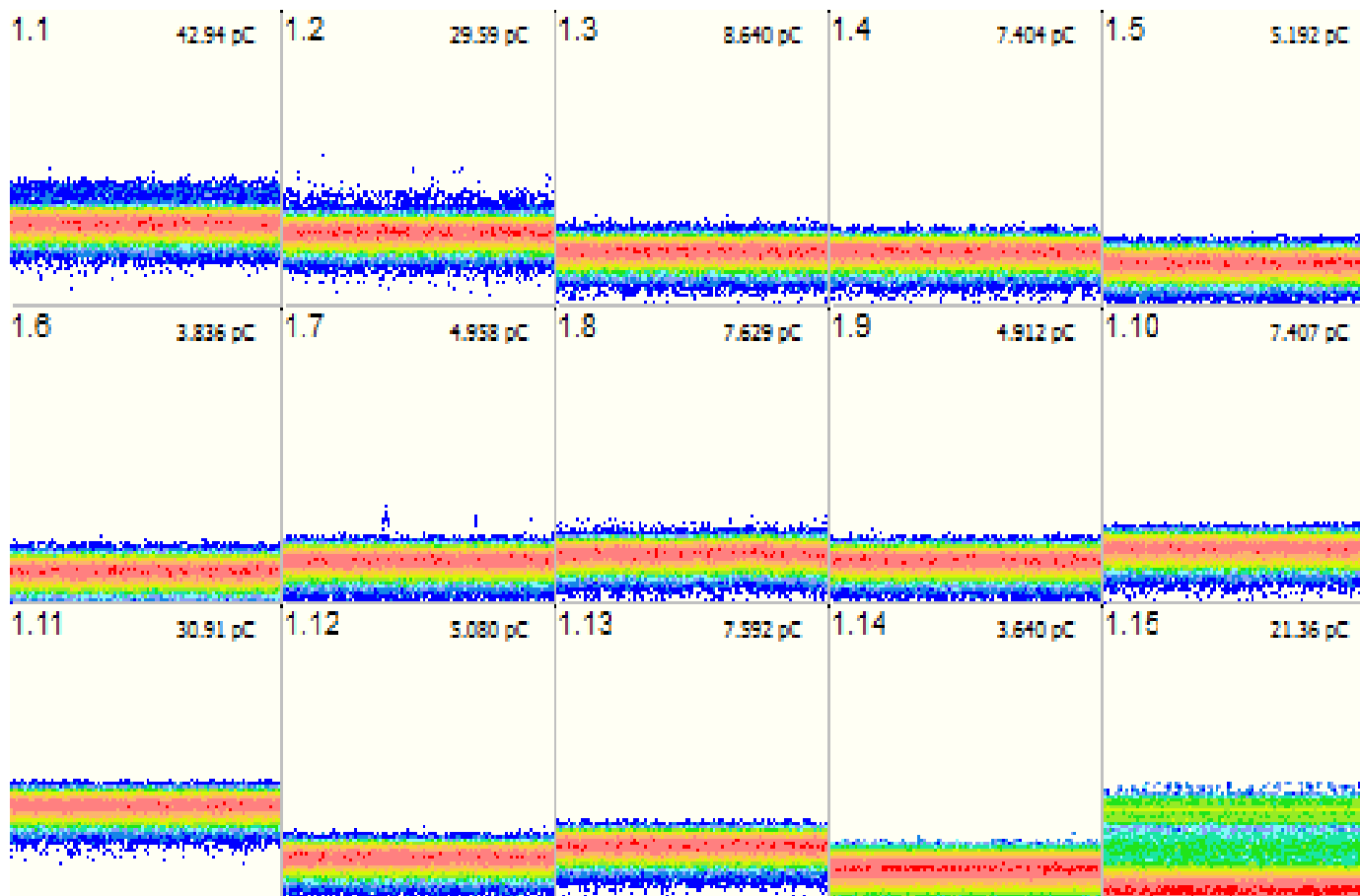
# Próby dielektryczne po zainstalowaniu linii kablowej 220 kV o długości 8.4 km w NZ



Lokalizacja czujników indukcyjnych HFCT



# Próby dielektryczne po zainstalowaniu linii kablowej 220 kV o długości 8.4 km w NZ



Pomiary WNZ przy napięciu  $U = 180$  kV

# Próby dielektryczne po zainstalowaniu kabla – pomiar WNZ

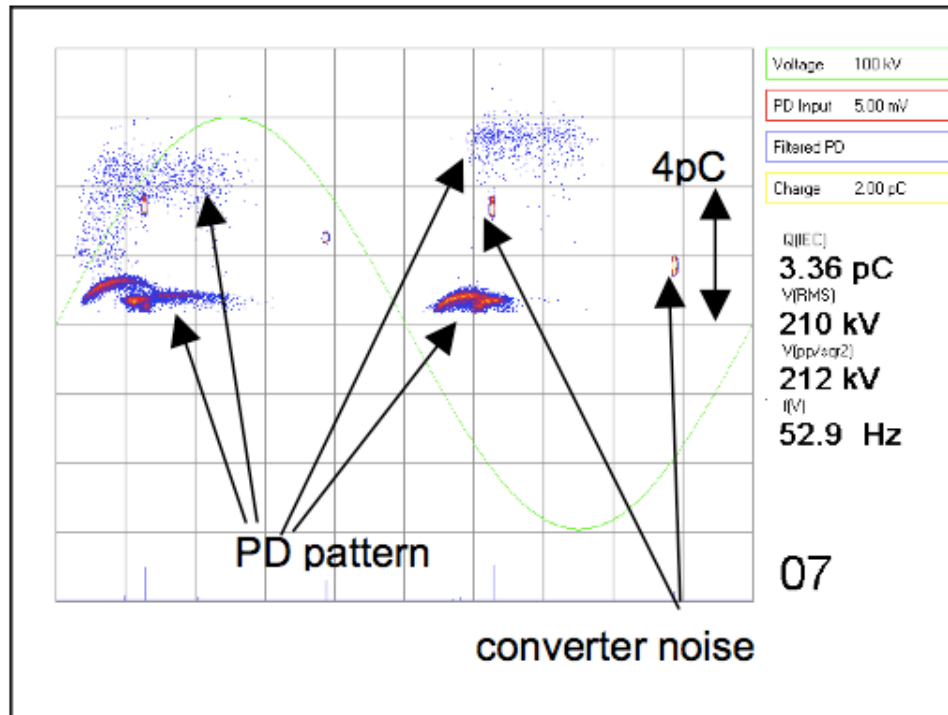
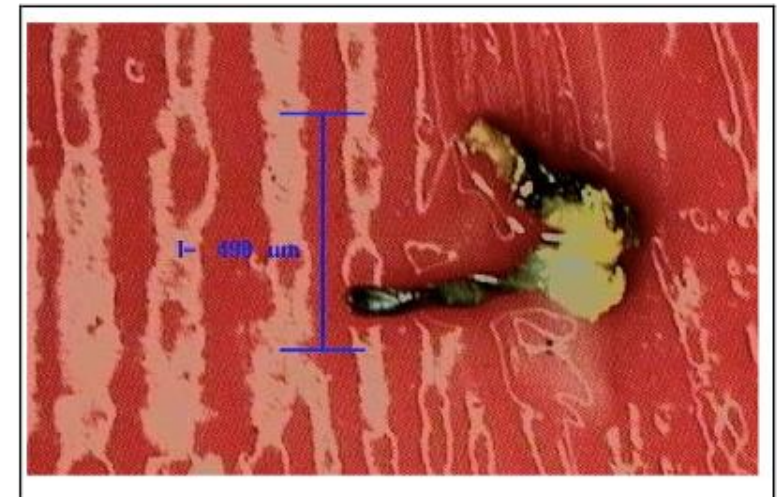


figure 11: Inner PD detected from a joint  
voltage: 212 kV, frequency 52.9 Hz



picture 12: 0.5 mm metal part found in joint

© IPH

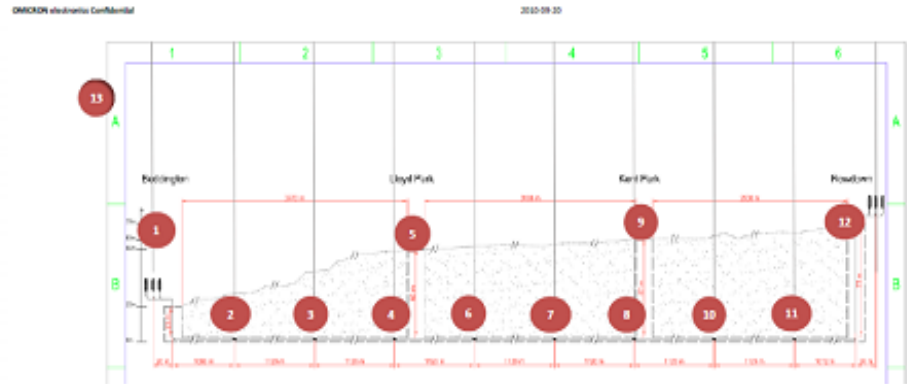
345kV XLPE System kablowy - Taiwan 2002

# Niestety:

- Sama próba napięciowa wykrywa jedynie silne uszkodzenia i daje ograniczoną informację diagnostyczną - tak/nie
- Niewielkie defekty w izolacji mogą nie doprowadzić do przeskoaku w czasie trwania próby napięciowej
- Typowe błędy instalacyjne prowadzą do awarii po dłuższym okresie eksploatacji

Monitorowanie ciągłe WNZ pozwala na wykrycie i lokalizację miejsca WNZ zarówno w czasie próby po zainstalowaniu linii kablowej jak również w czasie jej eksploatacji

# System monitorowania ciągłego WNZ w linii kablowej XLPE 420 kV w podziemnym tunelu



- Tunel: długość 10 km, średnica 3 m
- Kabel 400 kV, 2500 mm<sup>2</sup> XLPE
- Najdłuższy odcinek ma około 1176 m



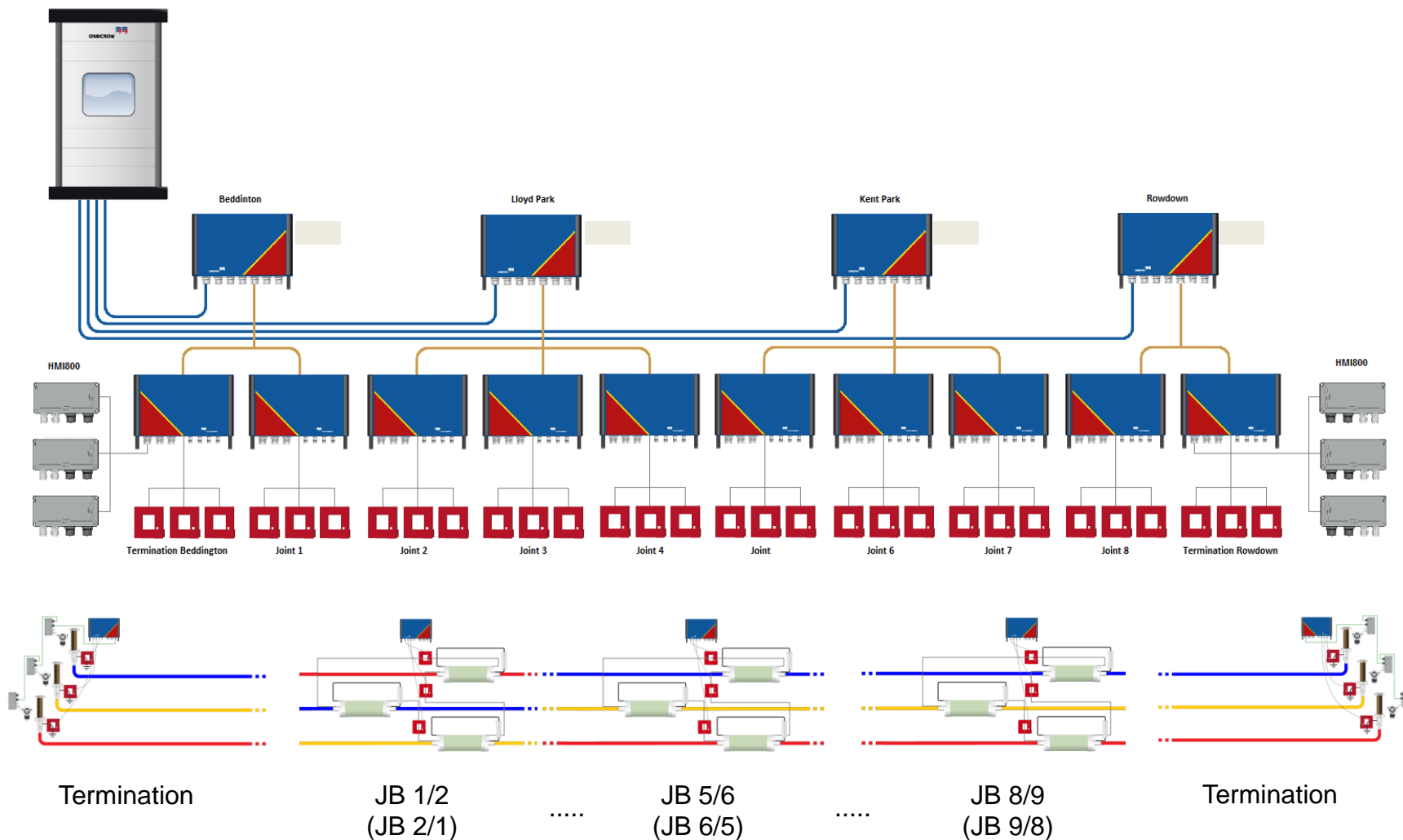
# System monitorowania ciągłego WNZ w linii kablowej XLPE 420 kV w podziemnym tunelu

## Parametry monitorowane:

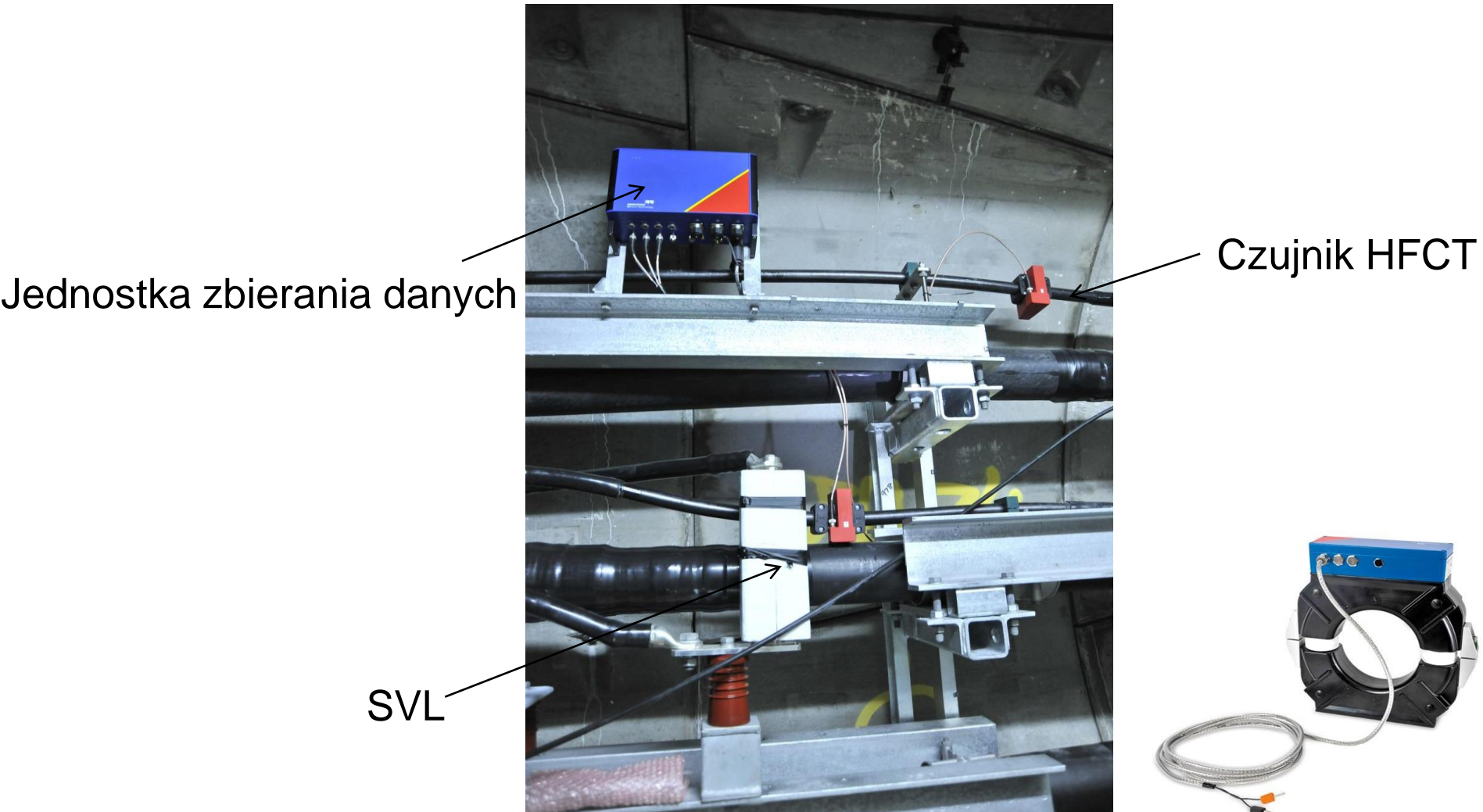
- **Wyładowania niezupełne:**
  - na obu głowicach
  - na połączeniach link-boxes na ośmiu mufach
- **Ciśnienie oleju w głowicach**
- **Stan ograniczników przepięć (SVL) na:**
  - ośmiu mufach – połączeniach crossbondingowych  
( $8 \text{ muf} \times 3 \text{ fazy} = 24 \text{ SVL}$ )



# System monitorowania ciągłego WNZ w linii kablowej XLPE 420 kV w podziemnym tunelu



# System monitorowania ciągłego WNZ w linii kablowej XLPE 420 kV w podziemnym tunelu

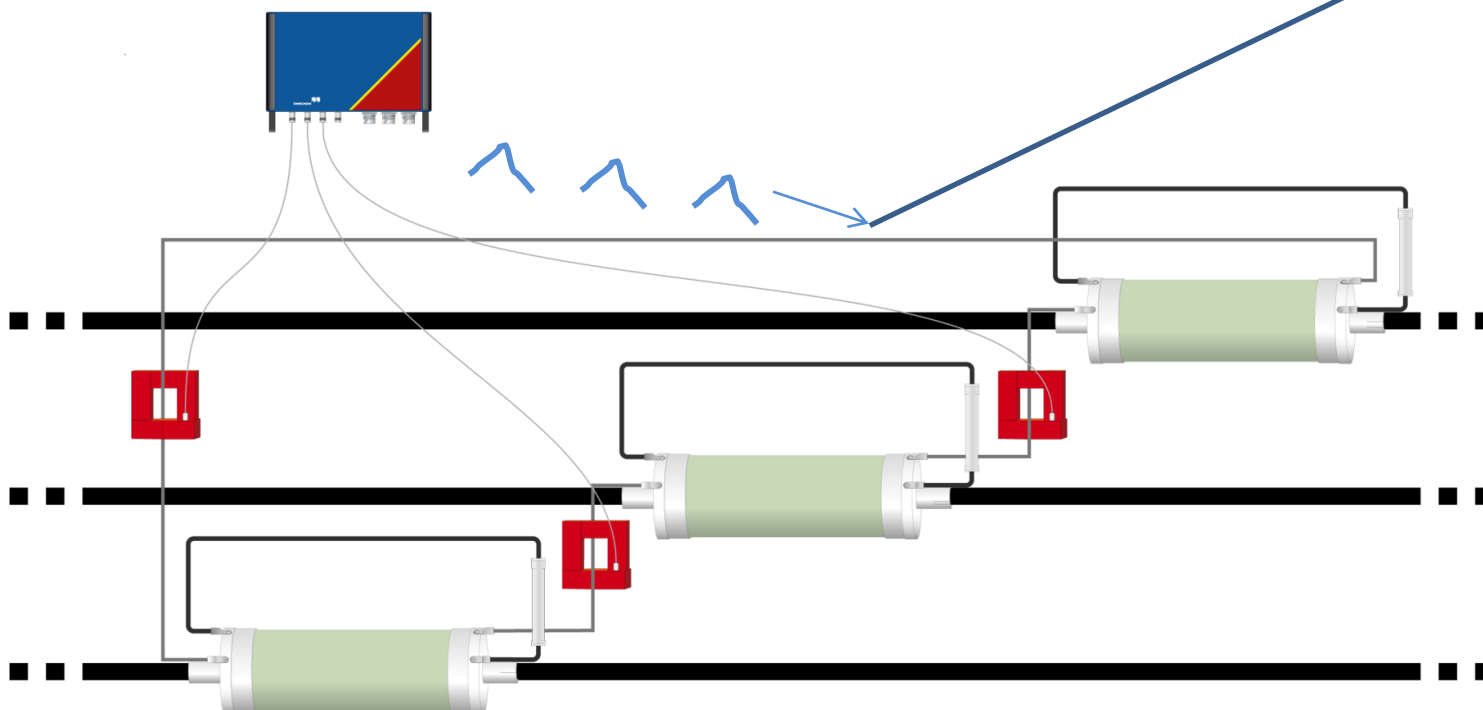


# System monitorowania ciągłego WNZ w linii kablowej XLPE 420 kV w podziemnym tunelu

## Monitorowanie stanu SVL

Każda jednostka ma wewnętrzny generator impulsów .

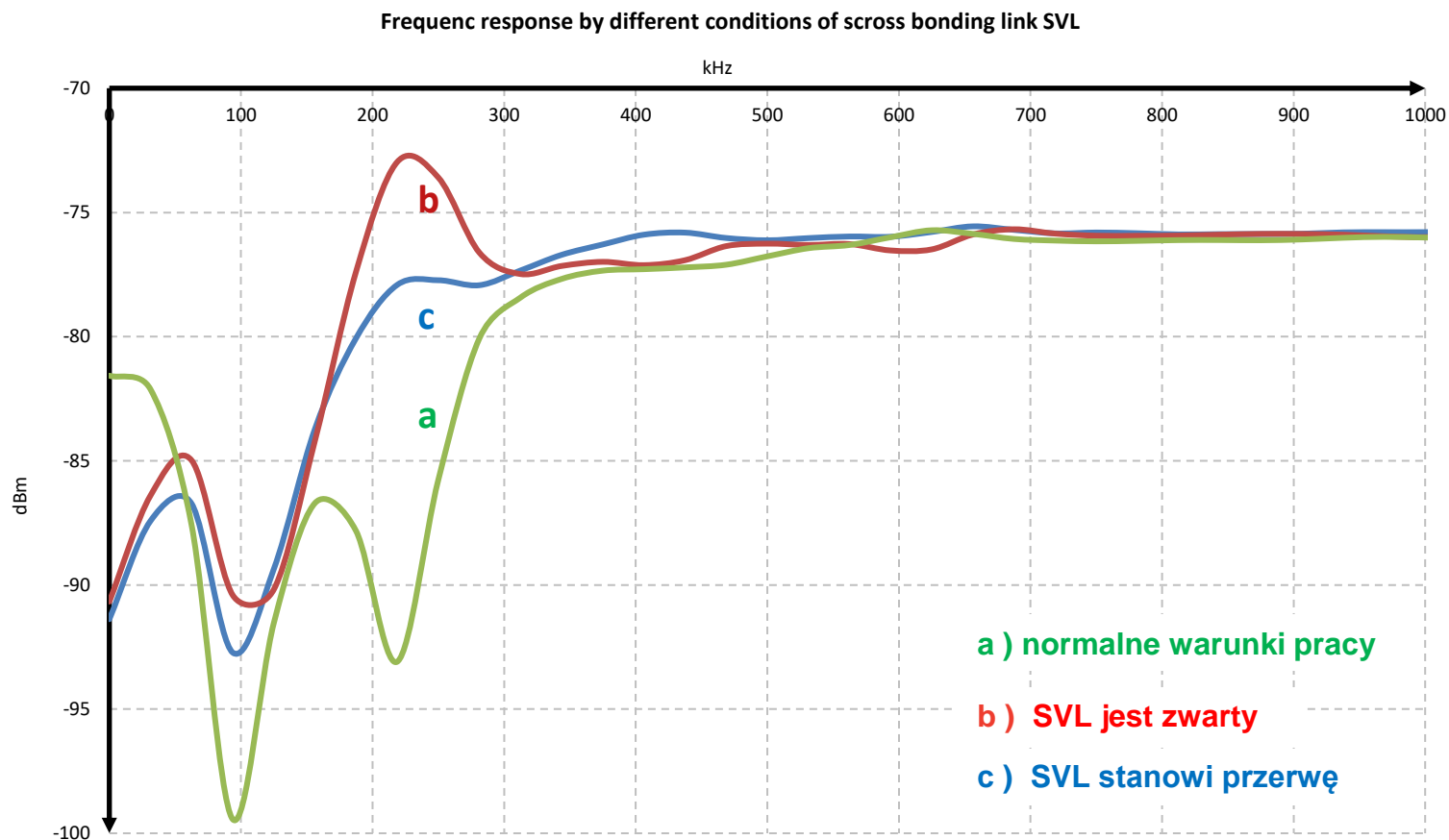
Impulsy są wprowadzane do obwodów z SVL poprzez czujniki HFCT





# System monitorowania ciągłego WNZ w linii kablowej XLPE 420 kV w podziemnym tunelu

## Monitorowanie stanu SVL



# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Monitoring system design for buried or tunnel cable systems

- Solutions for monitoring system power supply:
  - Low-voltage circuitry, typically for buried cable systems
  - Inductive power supply for tunnel cable systems
- Safe positioning and installation of PD sensors in the link boxes
- Monitoring system installation
- Integration of data from other sensors at

## AC voltage after-installation testing of cable system

- Perform PD measurements simultaneously at all cable accessories during the AC voltage after-installation test of the cable system

## Services during cable system operation

- Data evaluation (periodic or on request)
- Software updates

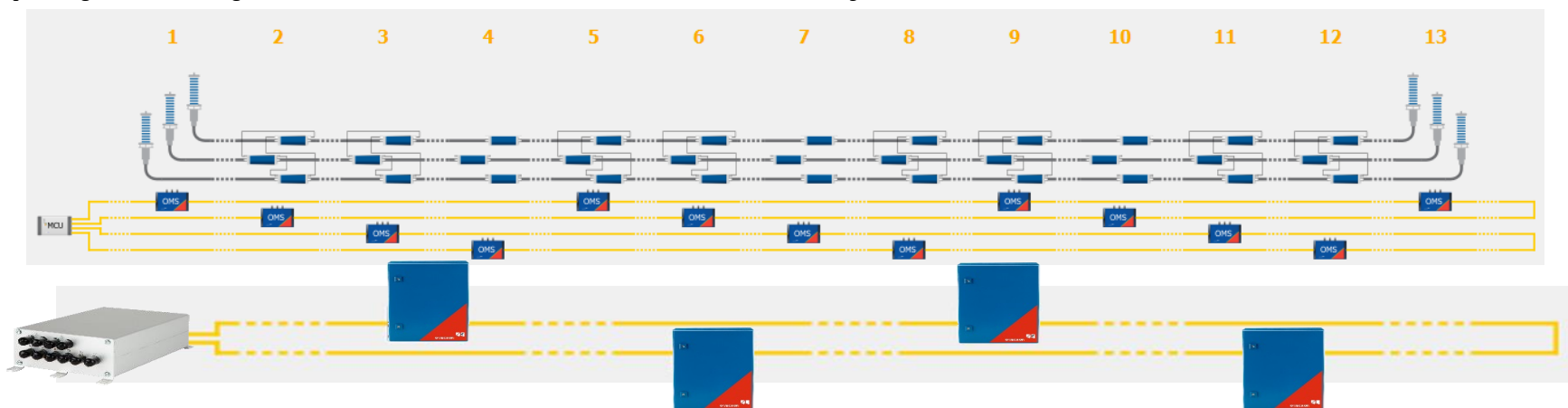


- 47 km WN linii pomiędzy Zomergem i Zeebrugge
- 10 km połączeń kablem podziemnym
- 4 linie kablowe 380 kV 2500 mm<sup>2</sup> CuEM
- Przesył 1000 MW jedną linią

# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

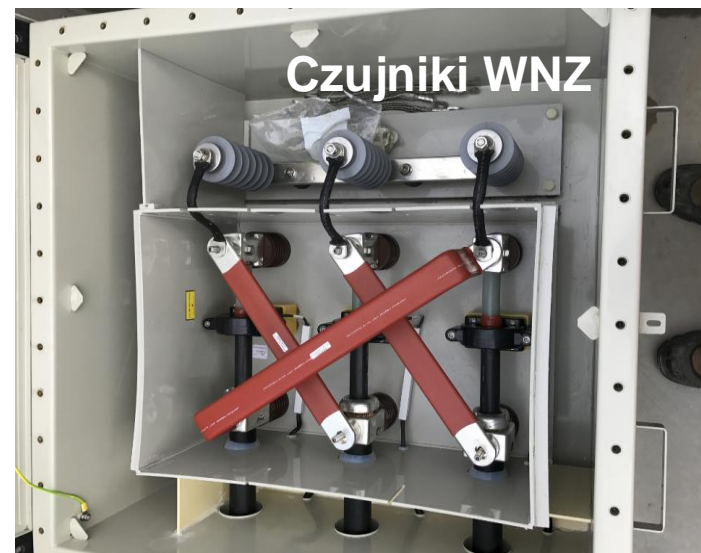


156 czujników HFCT jest połączonych do 52 jednostek zbierania danych które z kolei połączone są światłowodem do serwera w stacji





# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii





# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

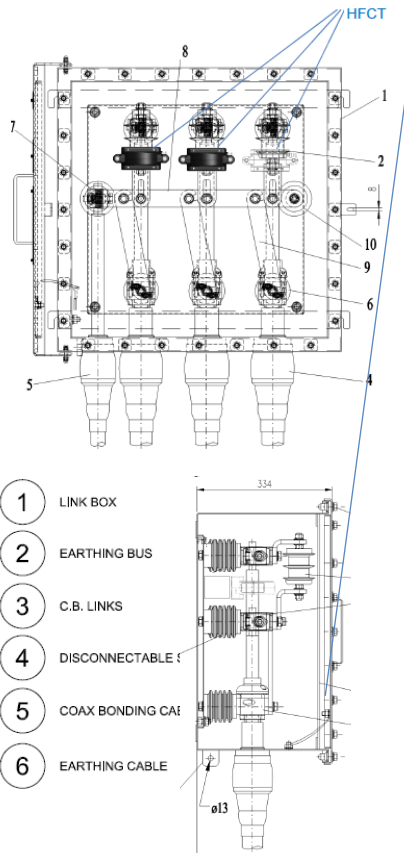
## Dodatkowe parametry monitorowane:

- Monitorowanie stanu SVL
- Monitorowanie prądu upływu w ekranie kabla przy użyciu czujników HFCT
- Integracja systemu pomiaru obciążenia i temperatury (DTS)

Dobór systemu zasilania dla jednostek zbierania danych

# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Lokalizacja czujników WNZ



Test description	General remarks
<b>TEST A: Impulse voltage test</b>	
Water immersion and heat cycling	Heating cycles according to IEC 62067 annex G.3: <ul style="list-style-type: none"> <li>• temperature of water for 5 h constant at min. 40°C (hot temperature)</li> <li>• cooling to 15°C temperature (cold temperature)<sup>1</sup></li> <li>• duration of one cycle = min. 12 h</li> </ul>
DC voltage test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Box is still immersed in water</li> <li>• Requirement: no breakdown occurs during test</li> </ul>
Impulse voltage test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulse voltage test is executed on the assembly, removed from the water and impulse tested with a minimum of delay</li> <li>• Requirement: no breakdown occurs during test</li> </ul>
<b>TEST B: Internal Arcing test</b>	
Internal arcing test	Test to ensure the security of persons in the vicinity of the concrete pit in case of internal short circuit fault in the box and estimate impact on PDM system
<b>TEST C: Short Circuit test</b>	
Short circuit test	Test to ensure: <ul style="list-style-type: none"> <li>-the security of persons in the vicinity of the box in case of short circuit in the HV cable system;</li> <li>-the functionality of the box and PDM system in case of short circuit in the HV cable system.</li> </ul>

# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

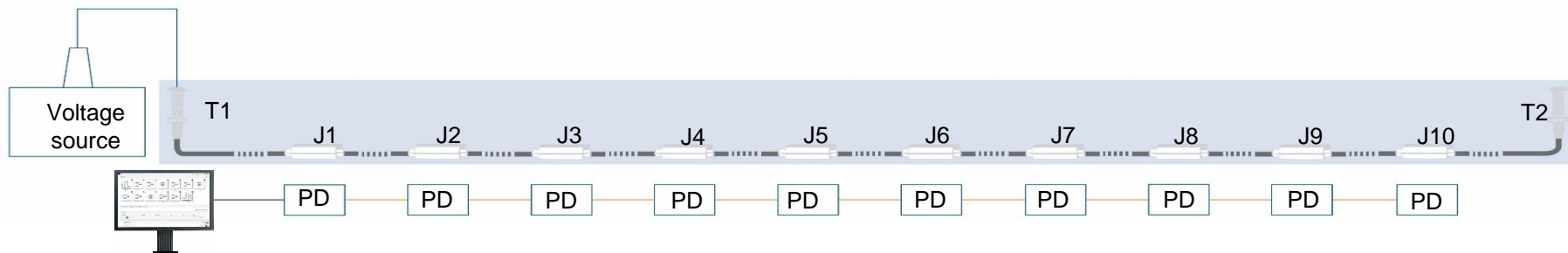
## Zasilanie jednostek gromadzenia danych kablem na nn



- Kabel nn jest układany razem z kablem energetycznym i należy tak go zaprojektować, aby przepięcia w linii kablowej nie prowadziły do jego uszkodzeń
- Dodatkowo, w pobliżu każdej mufy lub głowicy, umieszcza się skrzynki posiadające zabezpieczenia dla kabla nn

# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

Próba napięciowa po zainstalowaniu kabla – cztery równoległe linie kablowe (12 faz badanych kolejno)

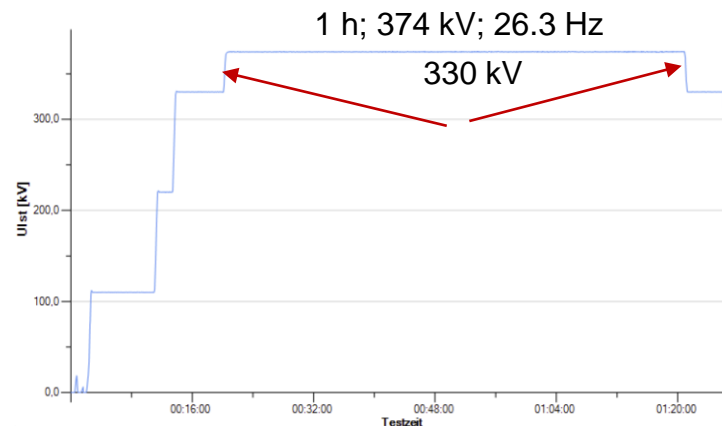




# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Próba po zainstalowaniu kabla

- ❑ Próba napięciowa z jednoczesnym i synchronicznym pomiarem WNZ na osprzęcie kabla
- ❑ 140 A wymagane do próby



# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

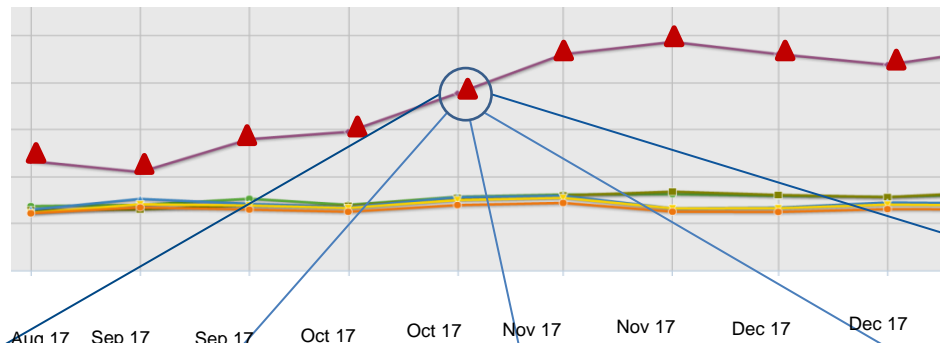
## Software – strona główna

The screenshot shows the main interface of the monitoring software. At the top left is the 'elia' logo and the text 'Monitoring Software STEVIN'. At the top right is the 'OMICRON' logo and links for 'Help | Settings | Logout'. Below this is a navigation bar with 'Monitoring Overview' and 'Monitoring System Status 0'. The main area contains three large icons: 'Monitoring' (a graph with a magnifying glass), 'Data Analysis' (a graph with a magnifying glass), and 'Configuration' (a gear). Each icon is numbered 2, 3, and 4 respectively. The footer includes 'Version: 1.36 PR1' and 'Copyright © 2010-2016 OMICRON Energy Solutions GmbH'.

- 1 Strona główna, link do konfiguracji systemu
- 2 Podgląd do elementów linii kablowej
- 3 Analiza danych
- 4 Konfiguracja systemu

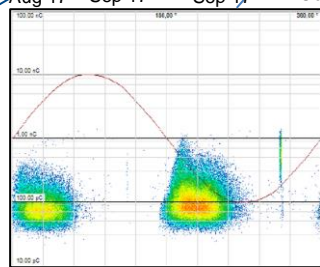
# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Software

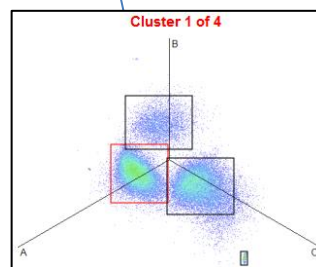


Saturday, October 21, 2017 2:00:11 PM  
DJ4d/F12 - F4 (Charge): 6.48 pC  
DJ4d/F4 - F8 (Charge): 10.74 pC  
DJ4d/F8 - F12 (Charge): 15.63 pC

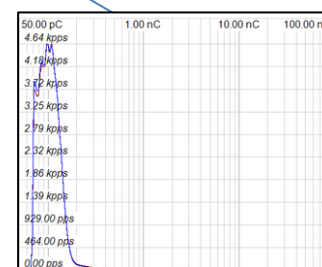
Scalar values with timestamp



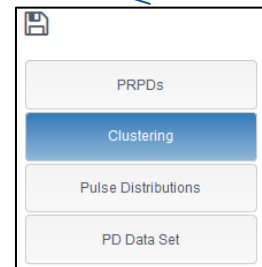
Visualize PRPD patterns



Automated cluster separation



Pulse distribution



Navigation panel

Zarejestrowany trend wartości WNZ

# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Wizualizacja systemu monitorowania

The screenshot displays the 'Monitoring Software' interface for 'STEVIN'. The top navigation bar includes the 'elia' logo, 'Monitoring Software STEVIN', and 'OMICRON' branding with links for 'Help | Settings | Logout'. The main content area is divided into three sections:

- 1 PDM Status Systemu:** A 'Monitoring System Status' section with a red notification icon.
- 2 Panel Nawigacji:** A 'Navigation' panel containing 12 cable system icons labeled TVM, J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, and TGE. Each icon has a status indicator (0 or 1) and a warning icon.
- 3 Event Log:** An 'Event Log - Cable system A (General Cable)' section with a 'Show confirmed events' checkbox and a table of events.

Start Date	End Date	Level	Source	Event	Status
2/26/2016 5:12 PM	2/26/2016 5:20 PM	Warning	J8 / 4	A J8 4 THD	active
2/26/2016 5:07 PM	2/26/2016 5:20 PM	Warning	J8 / 12	A J8 12 THD	active
2/26/2016 5:07 PM	2/26/2016 5:20 PM	Warning	J8 / 8	A J8 8 THD	active
2/26/2016 5:07 PM	2/26/2016 5:12 PM	Warning	J8 / 4	A J8 4 THD	finished

1 PDM Status Systemu

2 Panel Nawigacji

3 Event Log



# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Kabel A - Mufa J8

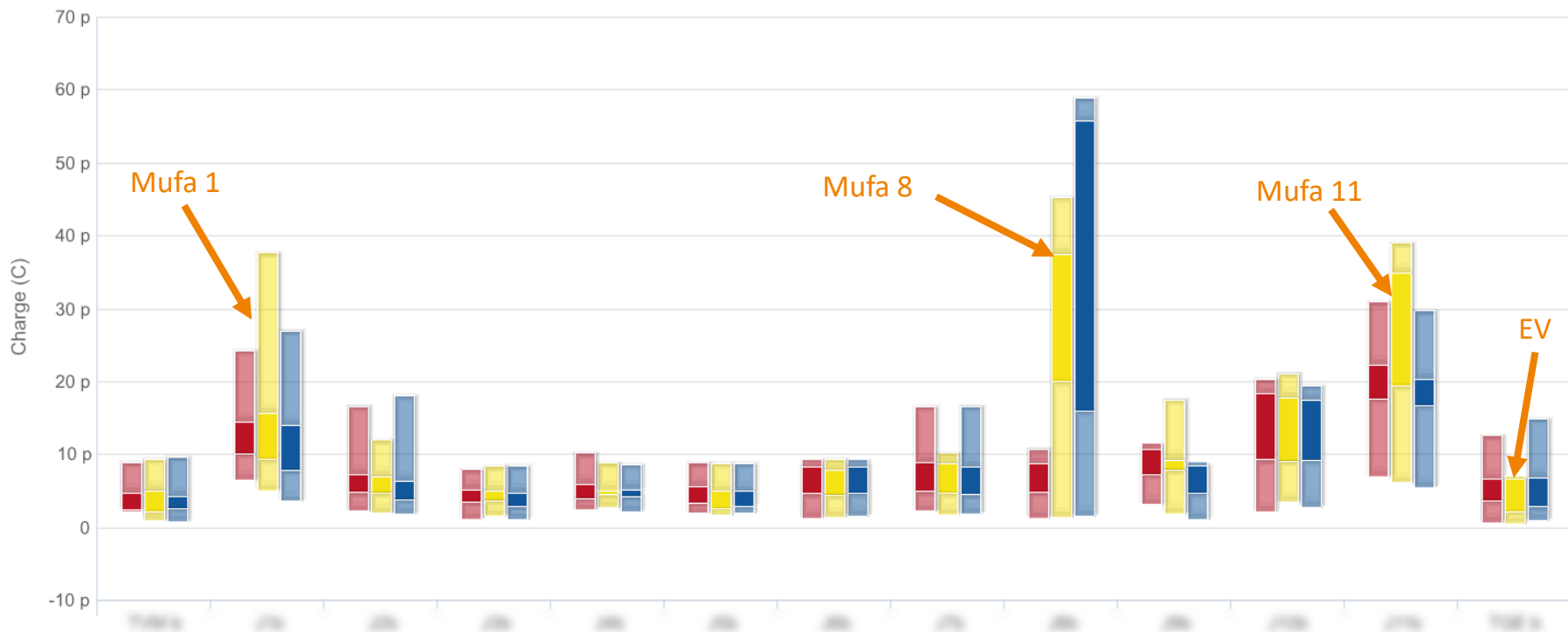
The screenshot displays the 'Monitoring Software STEVIN' interface. At the top, it shows the 'elia' logo, 'Monitoring Software STEVIN', and 'OMICRON' logo with navigation links for 'Help | Settings | Logout'. The breadcrumb navigation indicates 'Monitoring Overview > Dashboard > A > J8'. The main area is titled 'Monitoring System Status' and shows a 'Crossbonding joint bay' diagram with three cable sections. Each section has a data popup showing metrics like 'Average charge', 'Charge', 'PD events', and 'THD'. A text overlay 'Shows the Location status as well as rule violations.' points to the diagram. Below the diagram is an 'Event Log - Joint 8' section with a 'Show confirmed events' checkbox and a 'Confirm All' button. The event log table contains the following data:

Start Date	End Date	Level	Source	Event	Status
2/26/2016 5:12 PM	2/26/2016 5:31 PM	Warning	4	A J8 4 THD	active
2/26/2016 5:07 PM	2/26/2016 5:31 PM	Warning	12	A J8 12 THD	active
2/26/2016 5:07 PM	2/26/2016 5:31 PM	Warning	8	A J8 8 THD	active
2/26/2016 5:07 PM	2/26/2016 5:12 PM	Warning	4	A J8 4 THD	finished

- 1 Punkty pomiarowe:  
Wartości w czasie rzeczywistym
- 2 Event Log:  
Przekroczenie poziomów alarmowych dla Mufy 8

**Uwaga:** Pomiary wykonano symulując źródło WNZ

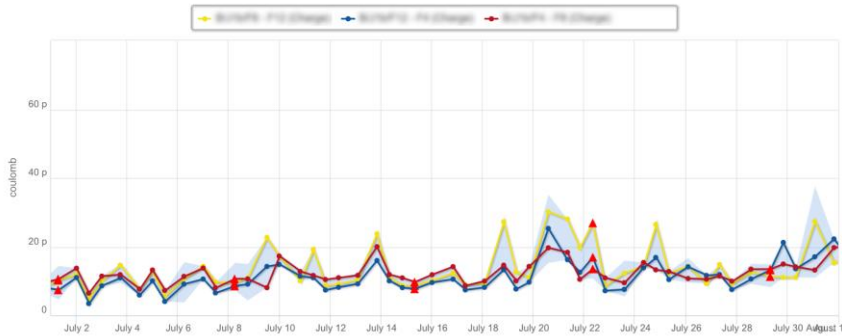
# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii



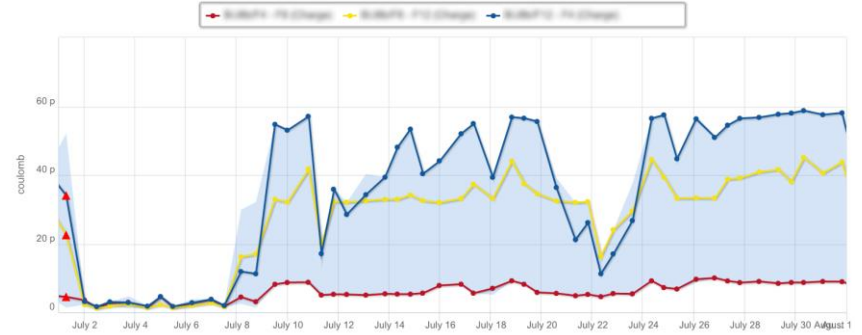
Dane z monitoringu uzyskane w okresie jednego miesiąca w trzynastu punktach pomiarowych

# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Mufa 1

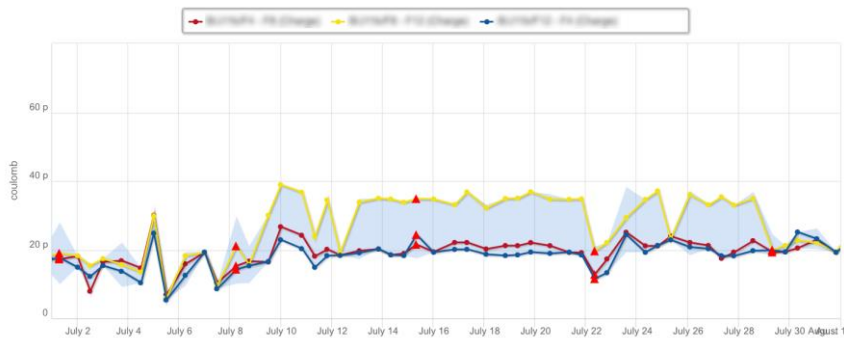


## Trend

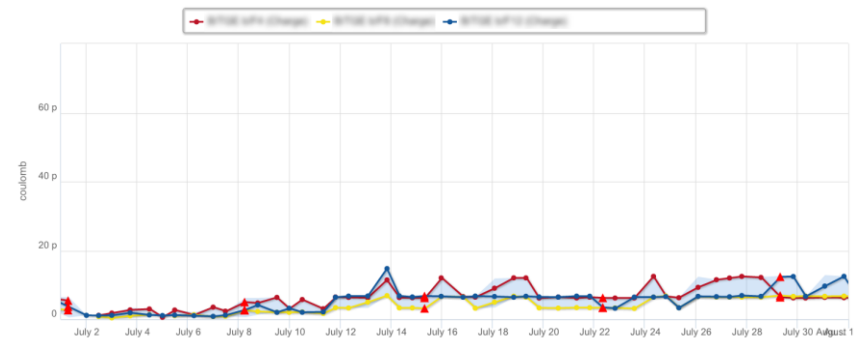


## Mufa 8

## Mufa 11



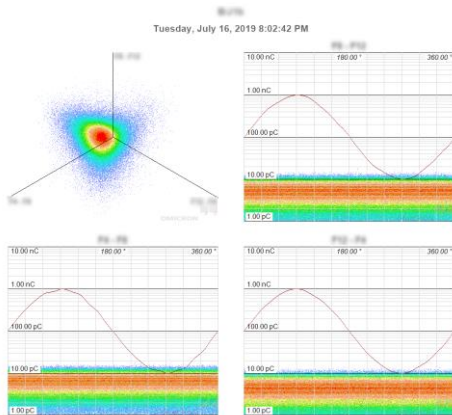
## Głowica (prawa strona na wykresie)



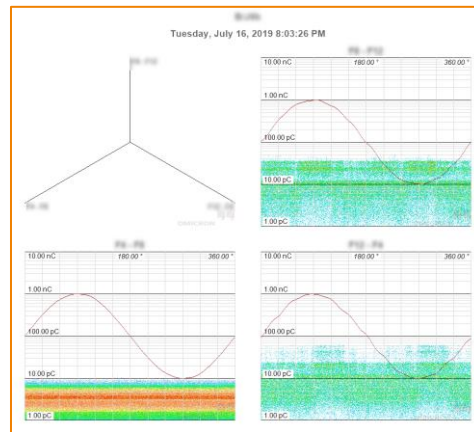
# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Wykresy rozdzielczo-fazowe - PRPDs

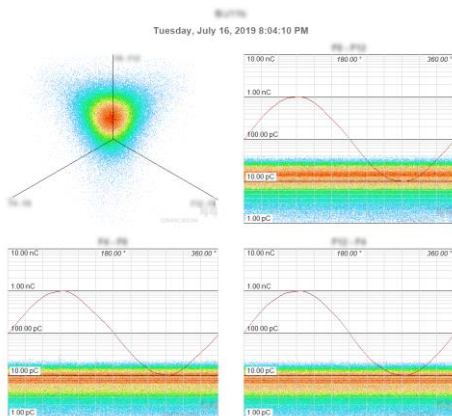
Mufa 1



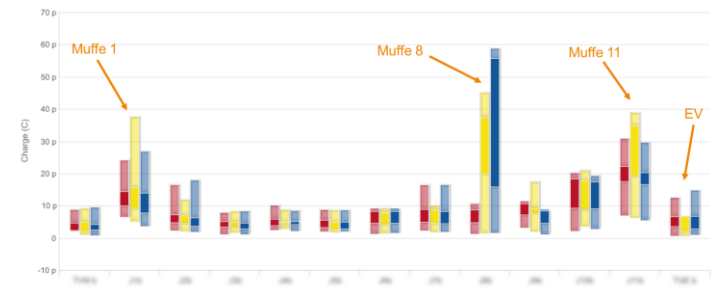
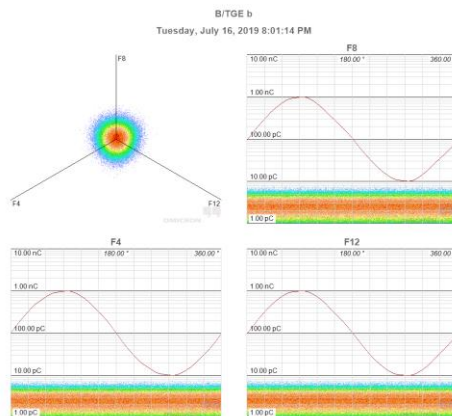
Mufa 8



Mufa 11



Głowica



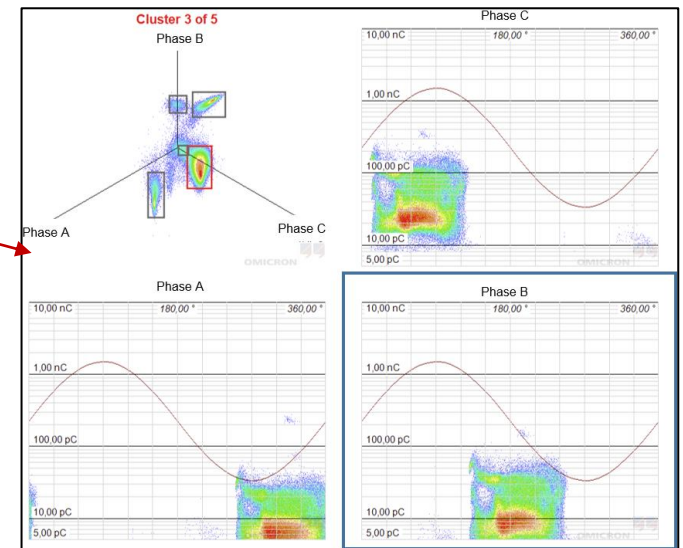
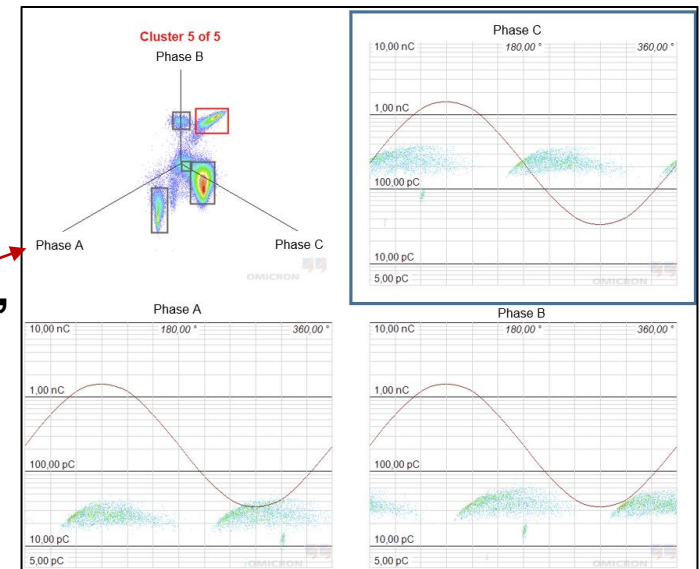
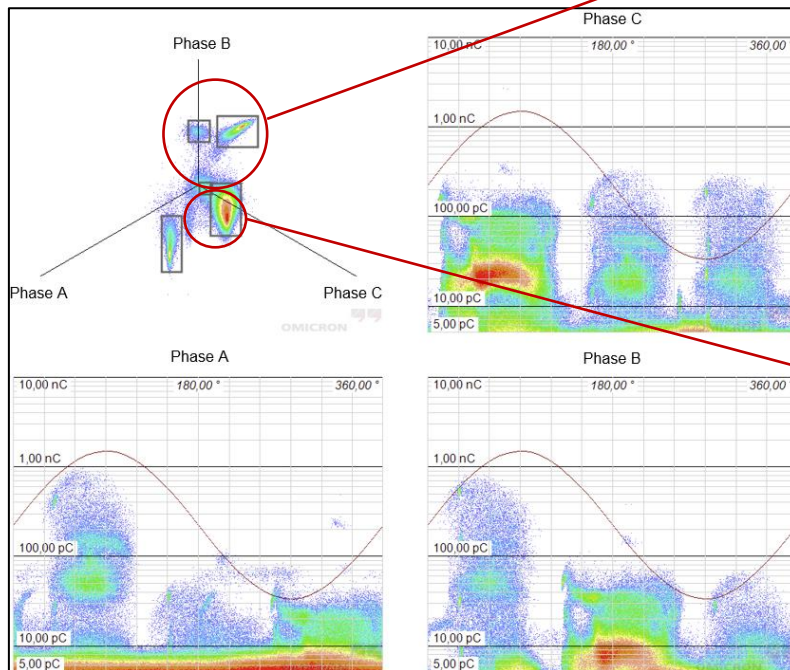


# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

## Software

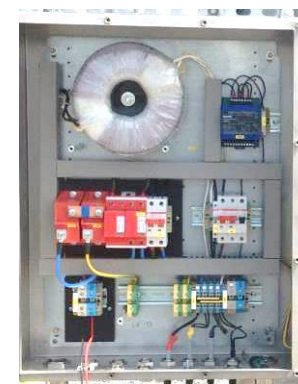
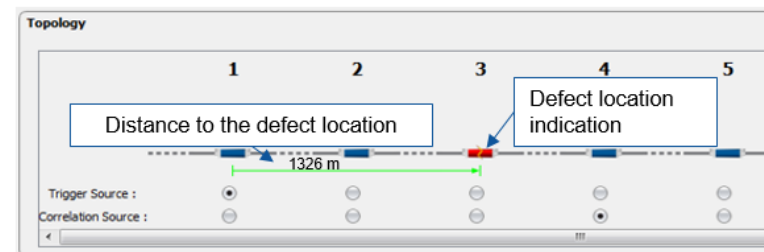
Automatyczna separacji klastrów od różnych źródeł WNZ

„synchronous multi-channel evaluation technique”



# System monitorowania ciągłego linii kablowych podziemnych XLPE 4 x 380 kV w Belgii

- Redundancja w przypadku uszkodzenia światłowodu
- Dokładna lokalizacja miejsca WNZ
- Próba dielektryczna połączona z synchronicznym pomiarem WNZ na osprzęcie kablowym
- Wsparcie przy wyborze i projektowaniu zasilania elementów systemu monitorowania



**Dziękuję za uwagę!**

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