



**System
Elektroenergetyczny:
Bezpieczeństwo
Operacyjne i Rynkowe**

Koncepcja monitoringu online kabli SN z wykorzystaniem reflektometrii TDR

Dr inż. Tomasz Samotyjak



**Instytut
Energetyki**
Oddział Gdańsk

Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.

Dlaczego monitoring jest potrzebny?



Zwykle stanem kabla interesujemy się dopiero wtedy, gdy pojawia się realny problem w sieci.

1

Ciągłość zasilania

Uszkodzenie kabla SN oznacza przerwy w zasilaniu, koszty i presję czasu.

2

Lokalizacja

W przypadku uszkodzenia kabla przydatne jest wskazanie miejsca uszkodzenia.

3

Ograniczenia innych metod

Wiele metod daje dobry wynik, ale wymaga postępu lub osobnej diagnostyki.

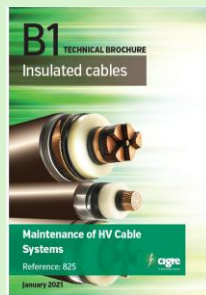
4

Wskazania CIGRE

Dokumenty CIGRE potwierdzają rosnącą rolę monitoringu online i pomiarów TDR w diagnostyce kabli.

W praktyce chcemy wcześnie wykryć zmianę i ułatwić późniejszą lokalizację uszkodzenia.

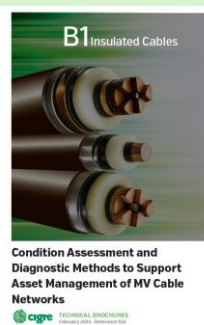
Co mówią dokumenty CIGRE



Monitoring online

TB 825

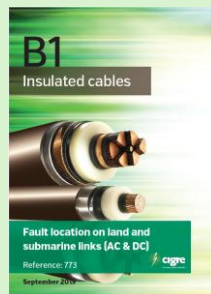
Pokazuje rosnące zainteresowanie monitoringiem online oraz wskazuje TDR i DTS jako narzędzia wspierające dostępność systemów kablowych.



Fingerprint i diagnostyka

TB 924

Traktuje TDR jako podstawową metodę diagnostyczną oraz zaleca wykonanie fingerprintu po uruchomieniu i okresowe powtarzanie pomiarów.



Lokalizacja uszkodzeń

TB 773

Wymienia TDR i FDR wśród podstawowych narzędzi stosowanych w praktyce do lokalizacji uszkodzeń.



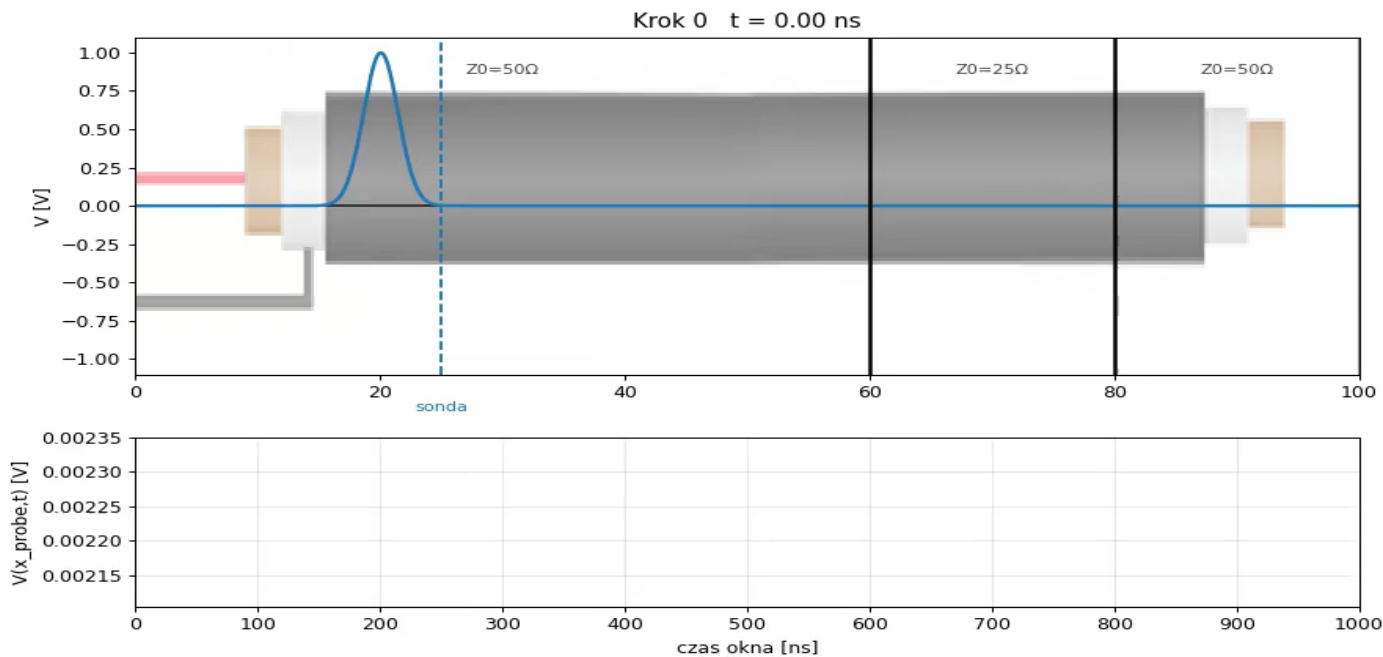
Wspólne dane i metodyka

WG D1.81

Prace nad ujednoliceniem formatu danych TDR i sposobu porównywania reflektogramów w różnych warunkach.

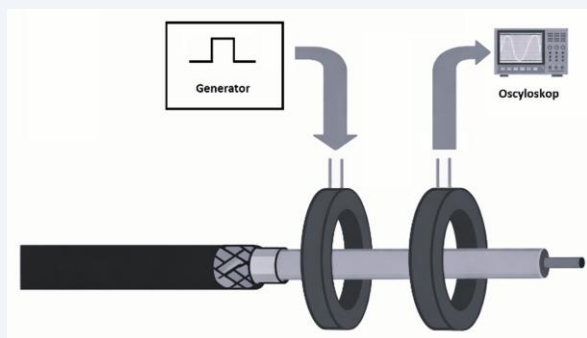
Wspólny kierunek wskazywany w dokumentach CIGRE to: wykonanie fingerprintu, kolejne pomiary okresowe lub monitoring online oraz porównywanie wyników w diagnostyce i lokalizacji uszkodzeń.

Podstawy działania reflektometrii TDR



- Do badanego kabla wprowadzany jest krótki impuls pomiarowy.
- Każda zmiana impedancji falowej powoduje powstanie odbicia części sygnału.
- Czas powrotu odbicia pozwala wyznaczyć położenie miejsca zmiany.
- Amplituda i kształt odbicia pomagają ocenić charakter nieciągłości.

Koncepcja proponowanego rozwiązania



1

Fingerprint

Referencyjny pomiar
poprawnego stanu kabla

2

Aktualny pomiar

Rejestracja aktualnego
reflektogramu

3

Wyrównanie i normalizacja

Dopasowanie czasu i
amplitudy

4

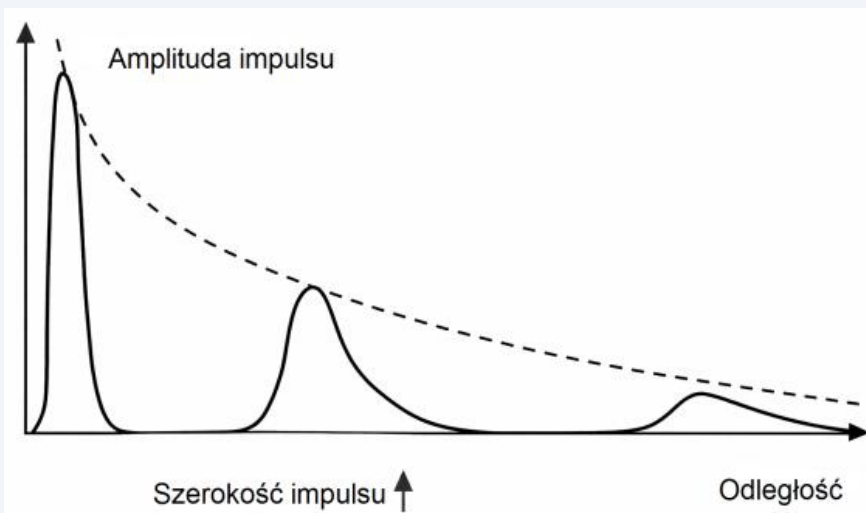
Detekcja zmian

Ocena odchylenia i
decyzja diagnostyczna

Artykuł integruje wskazówki z dokumentów CIGRE w spójną koncepcję monitoringu online opartego na TDR

- pomiar bez wyłączania kabla z eksploatacji (praca online)
- bezinwazyjne wprowadzenie impulsu testowego przez sprzęg indukcyjny
- rejestracja odpowiedzi kabla z użyciem czujnika HFCT
- porównanie bieżącego reflektogramu z pomiarem referencyjnym (fingerprintem)

Ograniczenia i trudności pomiarów TDR



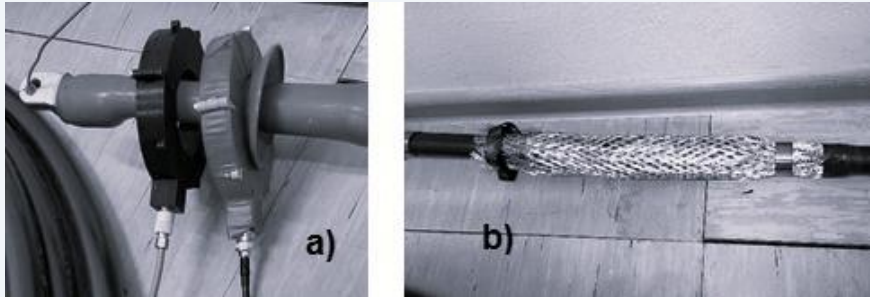
Skuteczność TDR w warunkach obiektowych zależy od parametrów impulsu, toru pomiarowego i powtarzalności akwizycji.

- **Rozdzielczość a zasięg** - lepsza rozdzielczość wymaga krótszego impulsu, ale skraca użyteczny zasięg pomiaru.
- **Tłumienie i dyspersja** – wraz z długością kabla impuls ulega osłabieniu i poszerzeniu, co zmniejsza amplitudę odbić oraz utrudnia identyfikację odległych zmian.
- **Niedopasowanie toru pomiarowego** - sprzęgi i czujniki wprowadzają własne zniekształcenia.
- **Powtarzalność** - wiarygodna analiza wymaga stałej konfiguracji toru i porównywalnych warunków pomiaru.

Prototyp układu i weryfikacja laboratoryjna

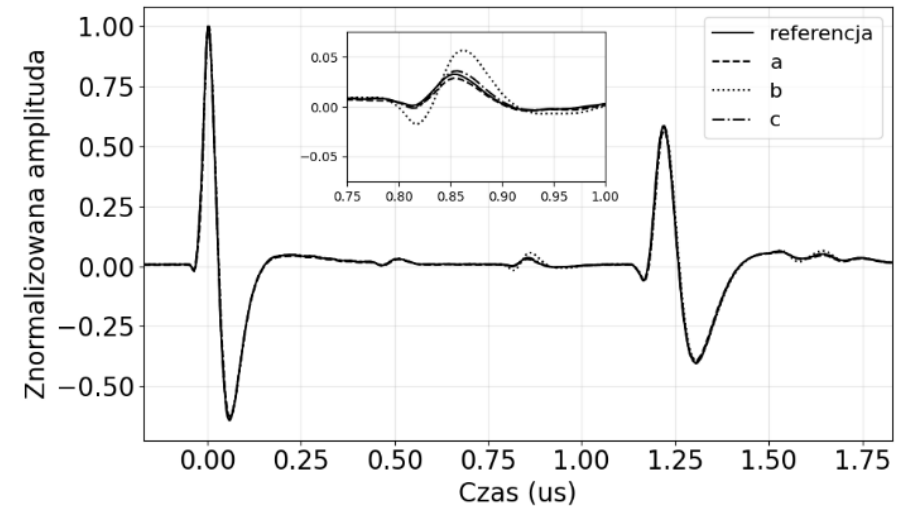


Obiekt badań



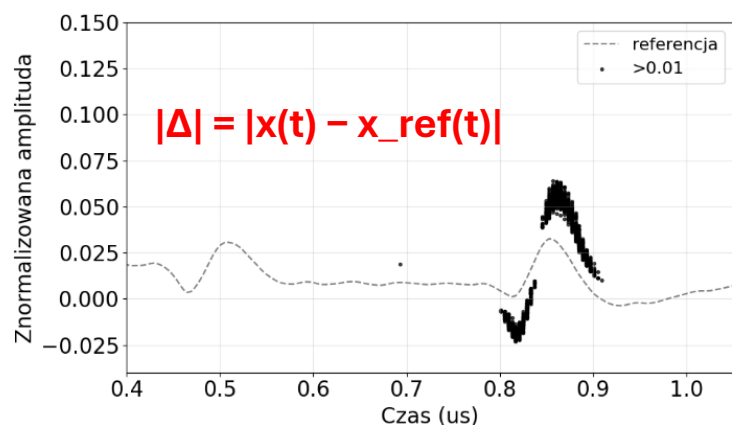
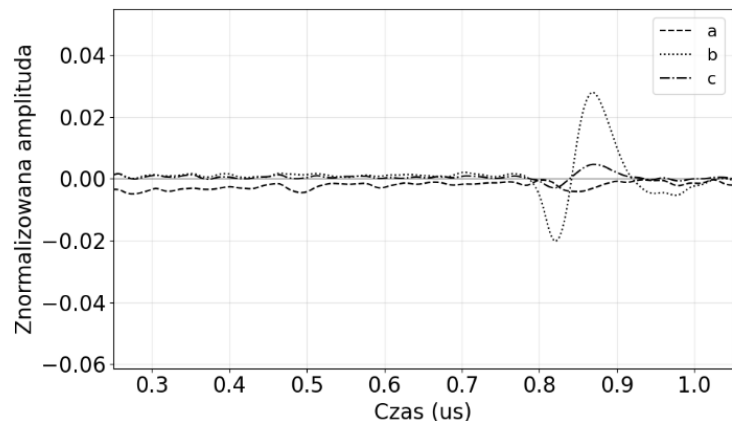
- 100 m kabla SN typu NA2XS(FL)2Y
- Dwie mufy, w tym jedna celowo zmodyfikowana
- Przypadki testowe odpowiadające 20%, 40% i 80% degradacji oplotu
- Dla każdego przypadku zarejestrowano 64 reflektogramy

Wynik TDR



W obszarze modyfikowanej mufy obserwuje się różnice między przebiegiem referencyjnym a przypadkami testowymi.

Analiza odchyleń względem fingerprintu



1

Fingerprint

2

Aktualny pomiar

3

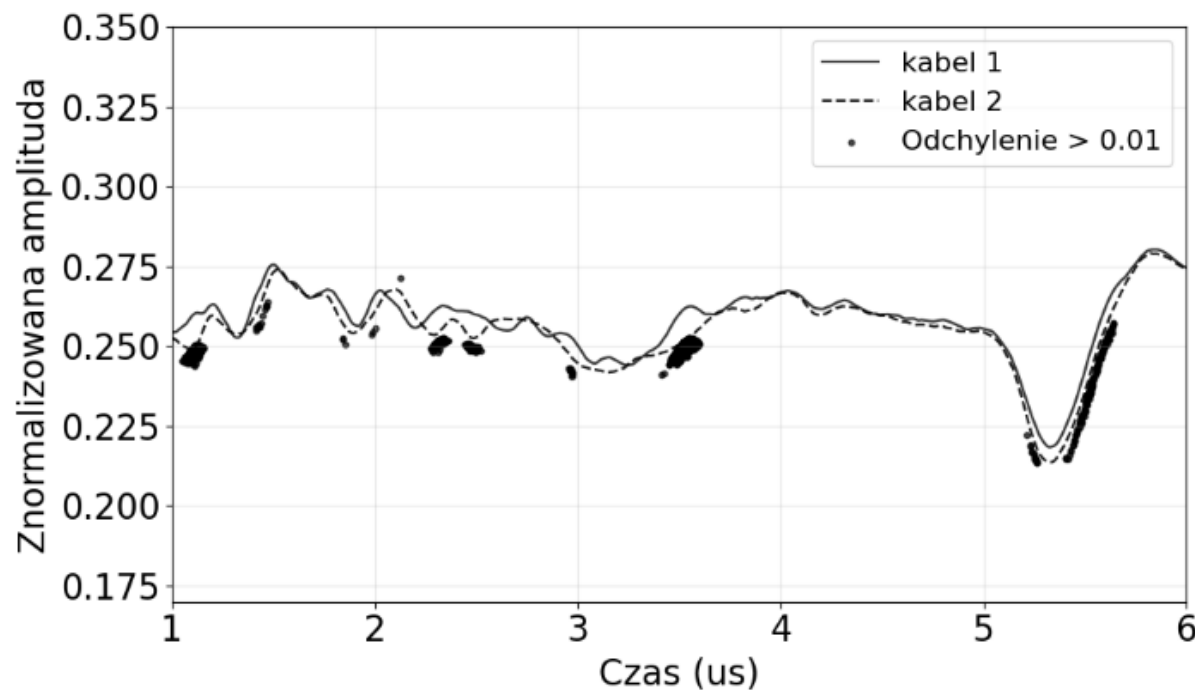
Wyrównanie i
normalizacja

4

Detekcja
zmian

- Wyznaczenie fingerprintu
- Od aktualnego przebiegu odejmujemy przebieg referencyjny
- Wartość $|\Delta|$ przyjmujemy jako próg wystąpienia anomalii
- **Pojedyncze przekroczenie może wynikać z zakłócenia, ale powtarzalne odchylenia w tym samym obszarze wskazują na zmianę stanu kabla**

Znaczenie pomiaru referencyjnego



Nawet sąsiednie odcinki kabla mogą dawać różne przebiegi TDR.

- Badano dwa odcinki kablowe o długości 600 m
- Między reflektogramami można zaobserwować drobne różnice
- Pomiar referencyjny powinien być wyznaczany dla badanego odcinka kabla, tego samego sprzęgu i tej samej konfiguracji pomiarowej.

Fingerprint musi być wyznaczany lokalnie: dla tego samego kabla i tej samej konfiguracji pomiarowej. Monitoring online ułatwia spełnienie tego warunku.

Wnioski



- Monitoring online TDR dostarcza użytecznych informacji diagnostycznych w warunkach normalnej pracy kabla
- Podstawą wiarygodnej oceny jest lokalny fingerprint wyznaczony dla tego samego kabla i tej samej konfiguracji pomiarowej.
- Największą wartość daje analiza zmian w czasie i powtarzalnych odchyłach, a nie pojedynczego reflektogramu
- Monitoring online ułatwia spełnienie warunku porównywalności pomiarów i wspiera późniejszą lokalizację uszkodzeń.



Dziękuję za uwagę

- Dr inż. Tomasz Samotyjak
- t.samotyjak@ien.gda.pl