

# REFERAT KONFERENCYJNY

## XXXI KONFERENCJA

SZKOLENIOWO-TECHNICZNA  
ELEKTROENERGETYCZNE SIECI  
KABLOWE I NAPOWIETRZNE

**KABEL**  
2026 ▲

10 – 13 marca 2026 r.

Świeradów-Zdrój Elements Hotel & Spa \*\*\*\*\*

**Autor:** Piotr Cichecki

**Firma:** Megger Sp. z o.o., Stara Iwiczna

**KABEL**  
2026 ▲

**Tytuł:** *Monitoring infrastruktury energetycznej -  
czy tylko wyładowania niezupełne? podtytuł:  
Nowoczesne metody monitoringu linii  
kablowych WN/NN*



CENTRUM SZKOLENIOWO-KONFERENCYJNE  
"ENERGETYK" S.C.

20-867 Lublin, ul. Sudecka 73

✉ [biuro@energetyk.lublin.pl](mailto:biuro@energetyk.lublin.pl)

🌐 [www.energetyk.lublin.pl](http://www.energetyk.lublin.pl)

## 1. Wstęp

Ostatnia dekada pokazuje wzrost długości linii kablowych WN oraz NN o około 20-30% na poziomach napięć <110kV-220kV> w porównaniu z latami 2010-2015. Zauważamy również coraz większy udział linii kablowych o napięciu 400kV w sieciach transmisyjnych krótkich do 1km.

Co za tym idzie, eksploatacja odcinków kablowych o długościach 20-60km znaczenie różni się pod względem technicznym ale także logistycznym w przypadku uszkodzeń takich linii. Czas znalezienia uszkodzenia oraz naprawa i ponowne przywrócenie linii do działania może zabrać od kilku tygodni do nawet miesięcy. Duże znaczenie ma tu dostępność materiałów naprawczych ale także warunki pogodowe jak i dostępność ekip instalatorskich. Ostatnia zima dobitnie pokazała jak pogoda może sparaliżować prace budowlane, a mróz i opady śniegu zastopować instalacje kabli SN/WN.

W przypadku odnawialnych źródeł energii (OZE) takich jak farmy fotowoltaiczne oraz wiatrowe gdzie współudział w wytwarzaniu energii z roku na rok rośnie, przestoje związane z bieżącymi naprawami oraz konserwacją majątku sieciowego są konieczne ale powinny być jak najkrótsze.

Z obserwacji i wyliczeń naszej firmy wynika, że w Polsce przestój związany z uszkodzeniem linii kablowej 110kV na obiektach OZE wielkości 50-100MW wynosi średnio od 5 dni do 10dni. w Przypadku większych farm taki czas może zwiększyć się dwukrotnie.

Zauważamy również, że polscy operatorzy sieci WN coraz częściej sięgają po rozwiązania związane z ciągłym monitoringiem stanu izolacji kabla jak i samego osprzętu. Wynika to z prostego faktu: jak dbasz tak masz i lepiej zapobiegać niż leczyć – mówi stare przysłowie. Zatem jakie wyzwania mają operatorzy sieci kablowych oraz właściciele majątku sieciowego w obecnych czasach:

- Przewidzenie kosztów i ryzyka związanych z kosztami napraw, nieplanowanymi i planowanymi awariami, konserwacją, utratą przychodów, karami pieniężnymi i utratą reputacji
- Wybór między konwencjonalnym monitoringiem (badaniami cyklicznymi) a doraźnymi naprawami.
- Ręczna inspekcja jest kosztowna, niebezpieczna i rzadko pozwala na wykrycie usterek zatem nowe technologie i rozwiązania są wymagane aby skracać czasy przestoju naprawczych i eksploatacyjnych.
- Systemy DTS (Distributed Temperature Sensing) i DAS (Distributed Acoustic Sensing) monitorują integralność izolacji kabli, ale pomijają złącza(mufy) i zakończenia (głowice), gdzie najczęściej dochodzi do awarii. Jak wynika z naszych obserwacji i wyliczeń (średnio 1 faza kablowa ulega uszkodzeniu na 1000 po okresie eksploatacji wynoszącym 5 lat)
- Często monitoring online dla WNZ na długich odcinkach kablowych (powyżej 2km) jest kosztowny w swojej skali, ograniczony przez zakłócenia i problemy z interpretacją i nie obejmuje wszystkich rodzajów awarii, logistycznie niemożliwy do wykonania (brak zasilania w mufowiskach).
- Operatorzy oczekują lepszego, zautomatyzowanego rozwiązania.

Jednym z najnowszych rozwiązań obecnych już na innych rynkach pozwalającym na uzupełnienie możliwości DTS i DAS jest system który łączy dane z czujników DES (Distributed Electric Sensing) w złączach (mufach) i głowicach zapewniając scentralizowane, stałe rozwiązanie do monitorowania online przez cały okres eksploatacji systemu kablowego. To zautomatyzowane rozwiązanie do monitorowania obniża koszty operacyjne poprzez optymalizację planowej konserwacji i zmniejsza ryzyko awarii, poprawiając dostępność, wydajność i bezpieczeństwo. Rozwiązania oparte na czujnikach pasywnych (nie wymagają zasilania) zainstalowanych w skrzynkach cross-bondingowych lub uziemiających jak i przy głowicach na żyłach powrotnych kabli, pozwalają na wczesne wykrycie defektów oraz zagrożeń wynikających z korozji uziemień, nie działających ograniczników

przebieg lub innych związanych z brakiem asymetrii prądów żyły roboczej jak i powrotnej, a co za tymi idzie zwiększeniu temperatury. Stosunek poziomu prądu w żyłach roboczych jak i powrotnych może dać wiele informacji użytkownikowi o jego liniach kablowych a dodatkowa korelacja z temperaturą mierzoną lokalnie na mufach czy głowicach dać informacje o ew. zagrożeniu awarią i unieruchomieniem całej farmy.

## 2. Jak działa monitoring linii kablowych

Obecnie na rynku mamy głównie odczynienia z pięcioma rodzajami monitoringu linii kablowych:

**Systemy DTS** (Dynamic/Distributed Temperature Sensing) - technologia pomiarowa wykorzystująca światłowody do ciągłego, dynamicznego monitorowania temperatury wzdłuż całego kabla pomiarowego (mogącego mieć długość nawet kilkudziesięciu kilometrów). Działają one w oparciu o analizę zjawisk rozproszenia światła (głównie Ramana lub Brillouina) wewnątrz światłowodu, co pozwala na określenie temperatury z dużą precyzją i wysoką rozdzielczością przestrzenną. Zalety takiego rozwiązania w przypadku linii kablowych to: ciągły pomiar wzdłuż kabla energetycznego, wysoka rozdzielczość, duży zasięg, dynamiczna kalibracja, odporność na zakłócenia (EMI) i działanie w trudnych warunkach). Minusem systemów DTS w obecnym kształcie to brak możliwości pomiaru faktycznej temperatury wewnątrz mufy kablowej oraz głowicy kablowej (niektórzy producenci muf kablowe mają możliwość pomiaru w przypadku gdy światłowód przechodzi przez mufę). Z dostępnych danych statystycznych wynika iż ok 30 % defektów starzeniowych i instalacyjnych jest wykrywane przez systemy DTS.

**Systemy DAS** (Distributed Acoustic Sensing) - technologia pomiarowa która wykrywa drgania akustyczne wzdłuż kabli podmorskich, ostrzegając o potencjalnych zagrożeniach związanych z pobliskim kotwiczeniem lub działalnością rybacką. To proaktywne podejście pozwala podjąć działania na czas, zanim dojdzie do uszkodzenia linii kablowej całkowicie. Technologia DAS mierzy drgania, reagując na subtelne zmiany naprężeń w światłowodzie zintegrowanym z kablami podmorskimi. Uzyskane sygnały są analizowane i prezentowane w celu przedstawienia częstotliwości i amplitudy zakłócenia. W przypadku awarii technologia ta służy jako dodatkowe źródło informacji do lokalizacji uszkodzeń, ponieważ wiele rodzajów awarii objawia się drganiami, które system wychwytuje. Zalety systemów DAS to przede wszystkim: precyzja w lokalizacji zwarcia, 24/7 monitoring drgań i ich amplitudy, wykrycie ruchów statków w pobliżu linii kablowej (offshore), wykrycie uderzeń kotwic, w przypadku linii napowietrznych system może być wykorzystywany do wykrycia nadmiernego oblodzenia linii oraz zwarć wykonanych przez drzewa. Systemy odporne są na zakłócenia (EMI)

**Systemy DTSS** (Distributed Temperature & Strain Sensing) - technologia łącząca pomiary temperatury oraz naprężeń wzdłuż całego kabla energetycznego wyposażonego w światłowód. Oprócz wykrywania przegrzania, DTSS identyfikuje naprężenia, naprężenia mechaniczne i potencjalne zmęczenie kabla spowodowane prądami oceanicznymi, zmianami ciśnienia i ruchami dna morskiego. Dzięki ciągłemu monitorowaniu temperatury i naprężeń na całej długości kabla, DTSS umożliwia wczesne wykrywanie usterek, zapobiega awariom i zapewnia bezpieczną pracę w trudnych warunkach podmorskich. Poprawia to wydajność kabla, wydłuża jego żywotność i wspiera niezawodność podmorskich sieci przesyłowych. Systemy stosowane głównie w kabla podmorskich.

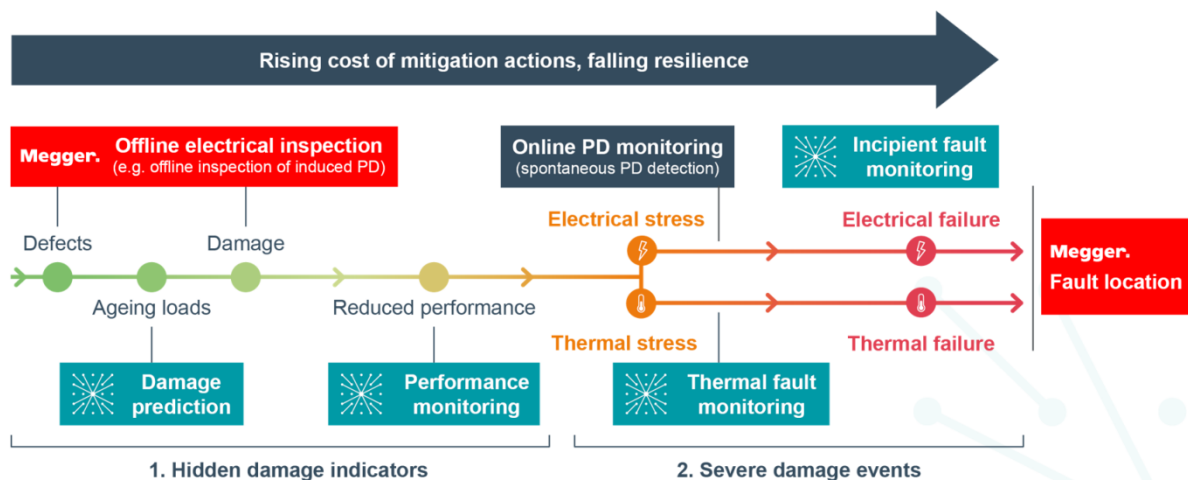
**Systemy PD online monitoring** (Pomiar/monitoring WNZ online) – technologia pozwalająca na pomiar właściwości wyładowań niepełnych jak m.in.: amplituda, obrazy fazowe, trendy poziomu i intensywności WNZ w czasie. Systemy te są oparte przeważnie na czujnikach HFCT (High Frequency Current Transformer) lub krócej CT rozmieszczonymi w skrzynkach typu link box lub cross bonding box wzdłuż linii kablowej. Obserwacja aktywności WNZ pozwala na eliminację błędów montażowych (podczas badań odbiorczych), jak również na śledzenie rozwoju defektów starzeniowych izolacji muf i głowic kablowych. Czujniki mają

możliwość pomiaru zjawisk WNZ w częstotliwościach przeważnie <1MHz-100MHz> w zależności od zastosowań. Minusem metody jest konieczność zainstalowania zasilania (DC/AC) w skrzynkach typu cross bonding lub link box gdzie odpowiednie przekształtniki (korelatory) przekształcają sygnały z pasywnych czujników CT na sygnały analogowe przesyłane światłowodem. Przy długich liniach kablowych zasilanie punktów pomiarowych może być problematyczne i praktycznie takie rozwiązania nie są stosowane przy kablach energetycznych na farmach wiatrowych czy fotowoltaicznych, gdzie mufy nie posiadają betonowych studni a zasilanie indukcyjne często nie jest wystarczające i trudne do implementacji w bezpośrednio zakopanych mufach i kablu WN.

**Systemy DES** (Distributed Electric Sensing) - stosunkowo nowe systemy pozwalające na synchroniczne pomiary napięcia i prądu o wysokiej dokładności na kablach o długości do 60-100 km, co pozwala na lepszą ochronę sieci, szybką lokalizację usterek i niższe koszty operacyjne. Systemy wykorzystując istniejące światłowody w żyłach powrotnych lub oddzielne położone linie światłowodowe wzdłuż kabla energetycznego. DES to pasywna, bezobsługowa technologia, która umożliwia monitorowanie stanu kabli w czasie rzeczywistym bez konieczności stosowania zewnętrznego zasilania lub infrastruktury danych w miejscu pomiaru. Pomiar stosunku prądu w żyłce roboczej kabla do wartości prądów w żyłkach powrotnych może dać wiele informacji o stanie systemu uzziemienia oraz stanie systemu cross-bonding w sieci kablowych takich jak: korozja uzemień, uszkodzenia ograniczników przepięć w skrzynkach cross bondingowych, uszkodzenia powłoki kablowej. Systemy DES opierają się na pasywnych czujnikach HFCT lub CT współdziałających z przetwornikami światłowodowymi. Pasywne przetworniki światłowodowe umożliwiają współpracę systemu DES (sieci czujników pomiarowych) ze standardowymi przekładnikami prądowymi i napięciowymi (HFCT/CT dostępnymi od wielu producentów) Pasywny przetwornik wielkości wtórnych przetwarza wartości wtórne prądu lub napięcia odpowiednio na analogowy sygnał optyczny przesyłany standardowym światłowodem jedno modowym (nie potrzebne światłowody wielomodowe jak w przypadku pomiaru WNZ online). Sygnały z wielu przetworników są multipleksowane, przesyłane jednym włóknem światłowodowym i odbierane w centralnej lokalizacji przez jednostkę odczytującą. Zaletami takich systemów jest możliwość obsługi wielu czujników na odległości jedno modowym światłowodem bez konieczności zasilania. Systemy DES mogą współpracować z systemami DTS i być wyposażane w dodatkowe czujniki montowane na mufach lub głowicach.

### 3. Greenlight® – (DES + DTS) nowe możliwości dla zwiększenia efektywności monitoringu linii kablowych

System Greenlight® oferowane przez firmę Megger poprawia dyspozycyjność sieci i ogranicza przerwy w dostawie energii poprzez monitorowanie osprzętu (mufy i głowice kablowych), który jest odpowiedzialny za większość awarii (57% awarii spowodowane przez mufy i głowice wg CIGRE WG B1.57). System realizuje stałe i ciągłe monitorowanie tych elementów sieci, zapewniając wczesne sygnały ostrzegawcze o nieprawidłowościach i rozwijających się defektach, co pozwala ograniczyć koszty konserwacji i czynności wykonywane ręcznie. Pomiary z wykorzystaniem pasywnych przetworników światłowodowych nie wymagają zasilania i innego oprzyrządowania w odległych monitorowanych lokalizacjach, dzięki czemu możliwa jest prosta i ekonomiczna automatyzacja niezawodnego i dokładnego monitoringu majątku o krytycznym znaczeniu. Rozwiązanie Greenlight® zapewnia wysoką dokładność pomiarów wszystkich złączy (mufy) i głowic kablowych z zastosowaniem platformy analizy danych w czasie rzeczywistym, która pozwala obserwować na bieżąco nieprawidłowości w liniach kablowych i reagować z wyprzedzeniem w celu uniknięcia awarii.



Rys.1 Proaktywne kompletne podejście do wykrywania uszkodzeń proponowane przez firmę Megger.

Diagram (Rys.1) przedstawia cykl życia urządzenia kablowego, w tym muf i głowic kablowych. Istnieją różne etapy uszkodzenia linii kablowych. Niektóre przyczyny uszkodzenia związane są produkcją lub bezpośrednio instalacją. Uszkodzenia mogą być również wywołane (lub pogłębione) przez obciążenie i eksploatację urządzenia jeśli nie zostały wykryte na etapie badań odbiorczych lub w miarę upływu czasu. Niektóre źródła uszkodzeń mogą pochodzić z czynników zewnętrznych, takich jak pogoda, zwierzęta, koparki, działania osób trzecich itp. Rozwiązania firmy Megger pozwalają na wczesne wykrywanie uszkodzeń na każdym etapie życia i eksploatacji linii kablowych. Oznacza to, że operator może interweniować na wczesnym etapie uszkodzenia, na długo przed awarią urządzenia a to znacznie obniża koszty działań naprawczych i poprawia odporność systemu.

Reasumując, można rozdzielić dwie kategorie uszkodzeń:

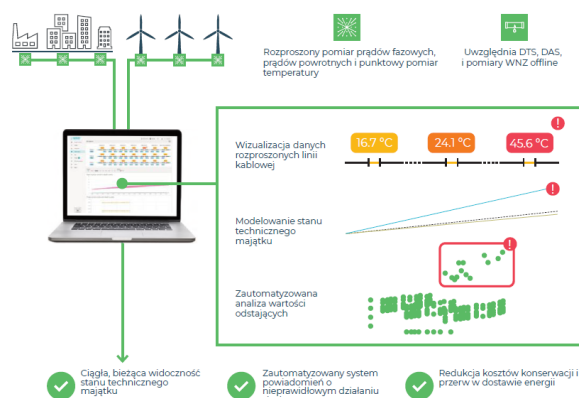
**Ukryte uszkodzenia**, które trudno znaleźć takie jak błędy instalacyjne związane z wysterowaniem pola, złym korowaniem, czy wady fabryczne muf lub głowic. (możliwe do wykrycia głównie przy próbie napięciowej oraz pomiarze WNZ)

**Poważniejsze, długoterminowe uszkodzenia**, które są łatwiejsze do wykrycia, ale pojawiają się znacznie później w cyklu życia, takie jak starzenia termiczne lub degradacja izolacji ze względu na aktywności wyładowań niezupełnych czy obecność wilgoci, gazów (głowice olejowe).

Monitoring wyładowań niezupełnych online często reaguje zbyt późno w wykrywaniu tych skutków, nawet jeśli działa nieprzerwanie na wszystkich głowicach i mufach. System DTS odczytujący temperaturę tylko wzdłuż kabla i jego izolacji często jest „ślepy” na problemy muf i głowic. Uszkodzenia termiczne często wynikają z korozji żył powrotnych i obecności „wilgoci” na granicy izolacja kabla/żyła powrotna. Woda w mufach często pochodzi z nieszczelnych skrzyń cross-bondingowych a błędy w crossowaniu skrzynek powodują tzw. hot spoty. Generalnie istnieją dwie główne drogi do awarii: naprężenia elektryczne lub termiczne. Zjawiska takie powodują wzrost temperatury muf oraz odcinków kablowych blisko muf. Często błędy te nie są wykrywalne w standardowym zakresie badań odbiorczych, a nominalne warunki pracy oraz obciążenie linii dopiero pozwalają na inicjacje defektów. Dopiero dzięki kombinacji systemów DTS i DES oferowanym przez firmę Megger efektywność wykrycia opisanych wyżej błędów i defektów znacznie się zwiększa.

#### 4. DTS + DES + monitoring/pomiar WNZ = 100% bezpieczeństwo

Systemy DTS udowodniły swoją przydatność na przestrzeni ostatnich lat i są obecnie stosowane w co 3 instalacji przekraczającej 10km (dane światowe). Systemy monitoringu WNZ mimo swoich ograniczeń odległościowych stanowią coraz większą liczbę dla instalacji powyżej 33kV i oparte są głównie na czujnikach HFCT instalowanych przy głowicach kablowych na samym kablu lub na uziemieniach żyły powrotnej. Takie rozwiązanie powoduje, że głównie krótkie linie są w zasięgu tych systemów. Inaczej sprawa się ma w przypadku pomiarów WNZ off-line czyli na liniach wyłączanych z sieci na czas pomiaru, gdzie stosując zewnętrzny generator napięciowy jesteśmy w stanie precyzyjnie określić napięcie zapału czy charakter i lokalizację WNZ na odcinkach nawet kilkukilometrowych.



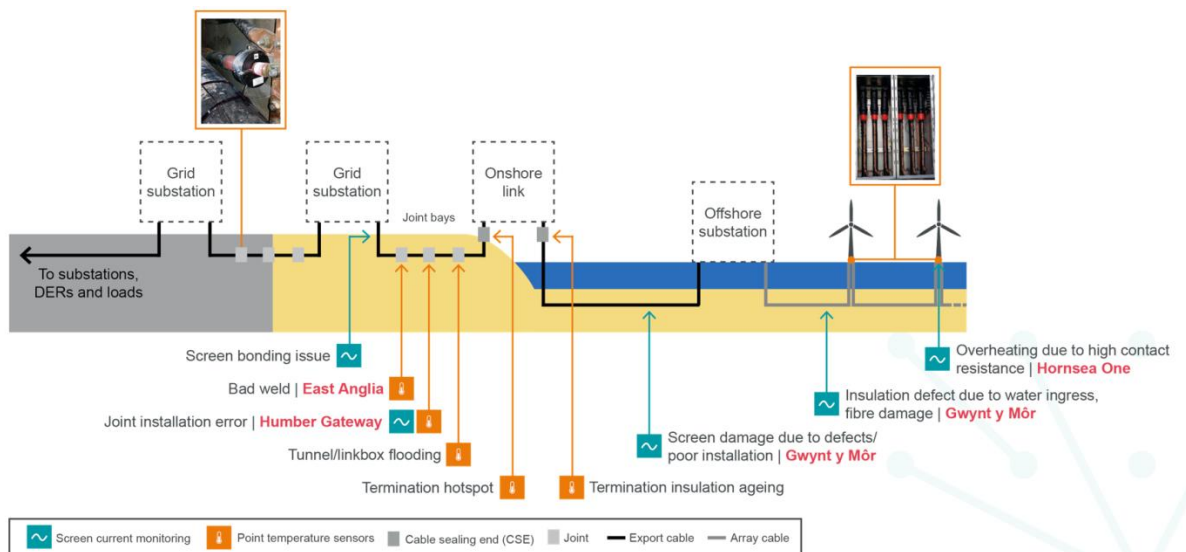
#### Rys.2 Wizualizacja rozwiązań monitoringu DTS + DES

Oczywiście jak zostało to wcześniej pokazane każdy system ma swoje ograniczenia jednak wydaje się, że przy długich odcinkach kablowych zastosowanie monitoringu przy implementacji:

- Pomiarów off-line (wykluczenie błędów montażowych na początku eksploatacji linii kablowej)
- Pomiarów on-line w formie DTS (obserwacja odpowiedzi/charakterystyk temperaturowych kabla)
- Pomiarów on-line w formie DES (obserwacja odpowiedzi elektrycznej: stosunku wartości prądu w żyły głównej do wartości prądów w żyłach powrotnych na poszczególnych sekcjach linii)

pozwała na kompletną ocenę jakości i niezawodności danej linii kablowej na przestrzeni lat.

Nowatorskie podejście do analizy prądów żył roboczych i powrotnych, wyniki licznych badań a także doświadczenia praktyczne wskazują, że wiele typowych uszkodzeń muf i głowic kablowych można wykryć poprzez monitorowanie online prądów powrotnych w różnych punktach na trasie linii kablowej. Jednym z wniosków z takich badań, przytoczonym w raporcie CIGRE B1, jest teza, że monitorowanie wartości prądu fazowego do prądu powrotnego we wszystkich mufach jednocześnie może szybko ujawnić typowe błędy instalacyjne lub innego rodzaju problemy degradacyjne w złączach i głowicach kablowych. Śledzenie trendów zmian w czasie i porównanie wartości uzyskanych w poszczególnych punktach pomiarowych (mufach) dostarcza ciągłych informacji o stanie technicznym linii kablowej. Gdy pojawią się problemy, z danych można odczytać, gdzie dokładnie taki problem wystąpił, co ułatwia odpowiednie ukierunkowanie prac konserwacyjnych (Rys.3).

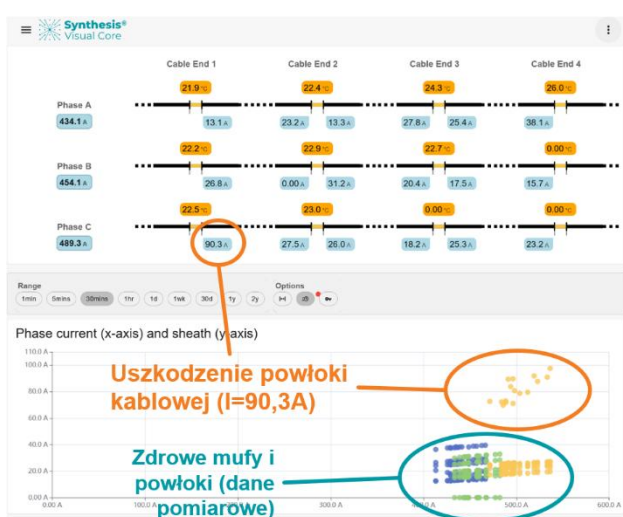


Rys.3 Przykładowy schemat zastosowania systemów Greenlight® (DTS+DES) oferowanym przez firmę Megger.

## 5. Przykłady zastosowania

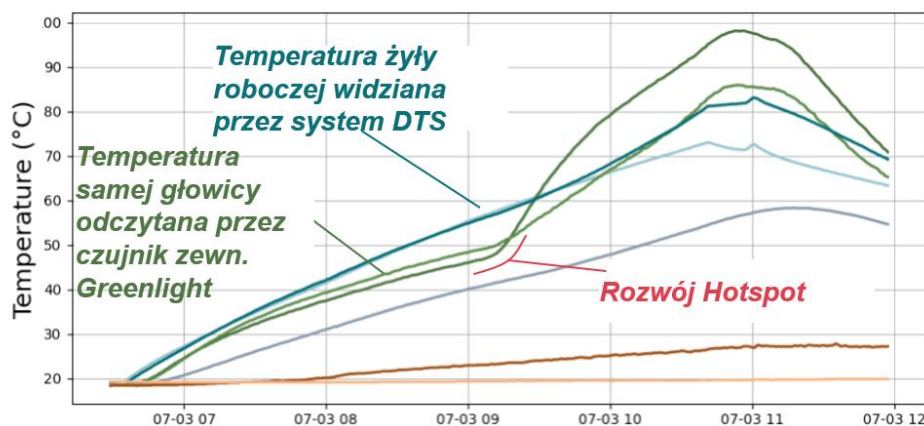
### 5.1 Uszkodzenie powłoki na odcinku monitorowanym przez Greenlight® dla linii 110kV

- Polityka operatora dotycząca wyłączenia pracy, jeśli natężenie stosunek prądu ekranowego do głównej żyły przekroczy 3%, zidentyfikowaliśmy do 8%.
- Greenlight® przyniósł dwie korzyści operacyjne: Pewność i czas na zaplanowanie optymalnej interwencji (wyłączenia przed awarią) Uniknięcie niepotrzebnych kosztów i ryzyka związanego z procedurą lokalizacji uszkodzeń
- Metodologia zastosowana przez TSO w raporcie CIGRE B1 WG B1.60
- Zaoszczędzone ok 300 tys euro
- Brak konieczności wymiany odcinka kablowego, wystarczyła doraźna naprawa



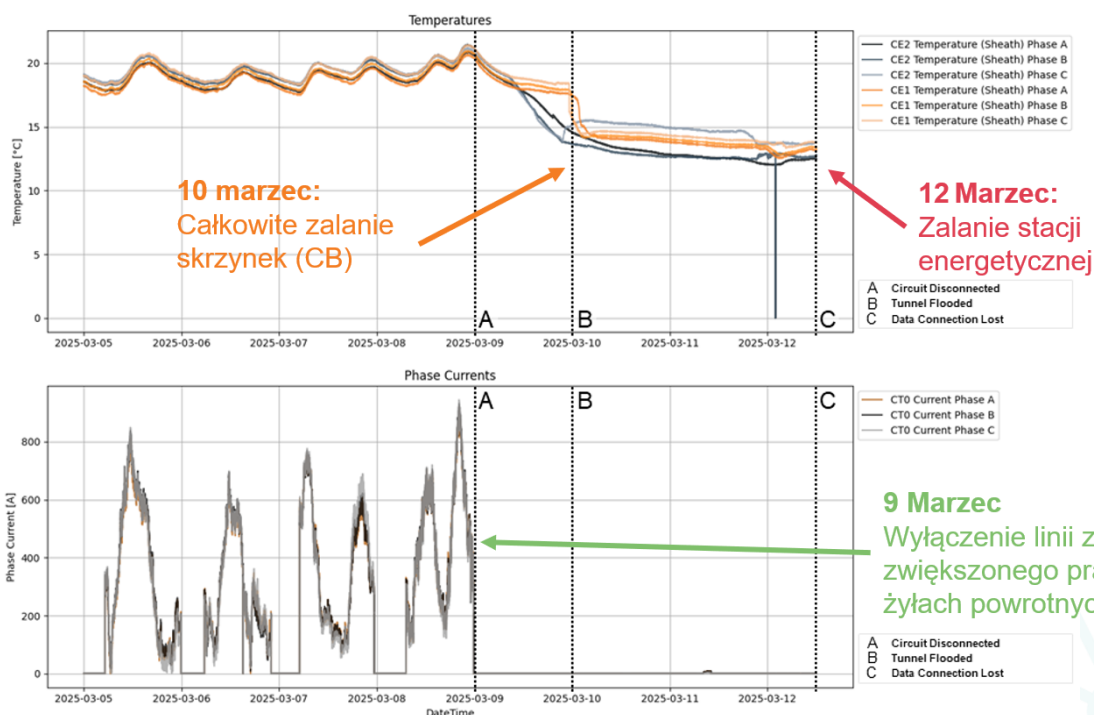
### 5.2 Detekcja hotspotu (głowice SN) czujniki temperatury zainstalowane wraz z systemem Greenlight®

- Zastosowano zbyt dużą siłę przy skręcaniu głowic (głowice podwójne)
- Wzrost temperatury niewidoczny przez system DTS
- Zastosowano zewnętrzny pasywny czujnik temperaturowy zainstalowany w miejscu wystawienia pola elektrycznego współpracujący z Greenlight



## 5.2 Zalanie skrzynek typu cross-bonding linii kablowej 400kV

- Rejestracja zmian temperatury oraz prądów w żyłach powrotnych pozwoliła na odpowiednie działania TSO
- Odłączono linie 400kV przed zalaniem skrzynek CB i samej stacji GPZ
- Zmniejszono ryzyko zwarcia i hotspotu
- Po tym jak linia została odłączona system Greenlight nadal działał informując o kolejnych zmianach temperatur i zalanych skrzynek CB
- Zmiany wartości prądów były widoczne równoległe ze zmianami temperatury kabla (DTS+DES)



## 6. Wnioski

Monitoring linii kablowych oparty na połączonych systemach DTS oraz DES pozwala na:

- Ciągłe przetwarzanie danych każdych warunkach ze wszystkich czujników, 24/7 DTS + DES
- Możliwość wczesnego ostrzegania przed awariami
- Zwiększa bezpieczeństwo i niezawodność linii
- Historia i trending wszystkich parametrów w jednym systemie
- Współpraca z systemami SCADA
- Łatwy w montaż i eksploatację systemów monitoringu
- Zdalny dostęp do danych i wyników
- Zastosowanie dla każdego rodzaju linii kablowych SN/WN/NN
- Doposażenie linii w systemy DES oraz czujniki lokalne na mufach i głowicach rozszerza zdolności systemów DTS

# KABEL

2026

