

# Techniki DTS

## Nowoczesne algorytmy w procesie wykrywania i lokalizacji odchyłeń od standardu

Przygotował:  
dr inż. Andrzej Cichy

1. Wstęp
2. Najnowsze trendy w systemach monitoringu linii kablowych
  - 2.1. Analiza stanów przejściowych przy użyciu elementów nauczania maszynowego
  - 2.2. Monitoring głębokości ułożenia kabli zakopanych w dnie morskim
    - 2.2.1. Studium przypadku dla linii 500 kV HVDC
3. Podsumowanie

Zwiększa się zainteresowanie systemami do monitoringu stanu kabli (systemy DTS) w energetyce odnawialnych źródeł energii. Najbardziej jest to zauważalne przy okazji budowy dużych farm wiatrowych i fotowoltaicznych na lądzie oraz na morzu, których moc wyprowadzana jest często długimi liniami kablowymi wysokich napięć. Inwestorzy coraz częściej wymagają zaimplementowania w swoich realizacjach systemów z możliwością podglądu, rejestracji i analizy parametrów pracy linii kablowych, aby zwiększyć pewność przesyłu wyprodukowanej energii do punktu odbioru.

## Najnowsze trendy w systemach monitoringu linii kablowych

Z uwagi na ekspansję nowych technik informatycznych do energetyki można zauważyć coraz częściej pojawiające się rozwiązania oparte na wykorzystaniu elementów nauczania maszynowego oraz połączeniu kilku technik obliczeniowych do analizy danych z systemów monitorujących. Z uwagi na mnogość danych, niemożliwą do analizy on-line czy też off-line przez obsługę systemów, zaawansowane techniki informatyczne są wykorzystywane do zastąpienia operatora w tym zakresie.

# Analiza stanów przejściowych przy użyciu elementów nauczania maszynowego

Stany przejściowe / odchylenia od standardu to m.in.:

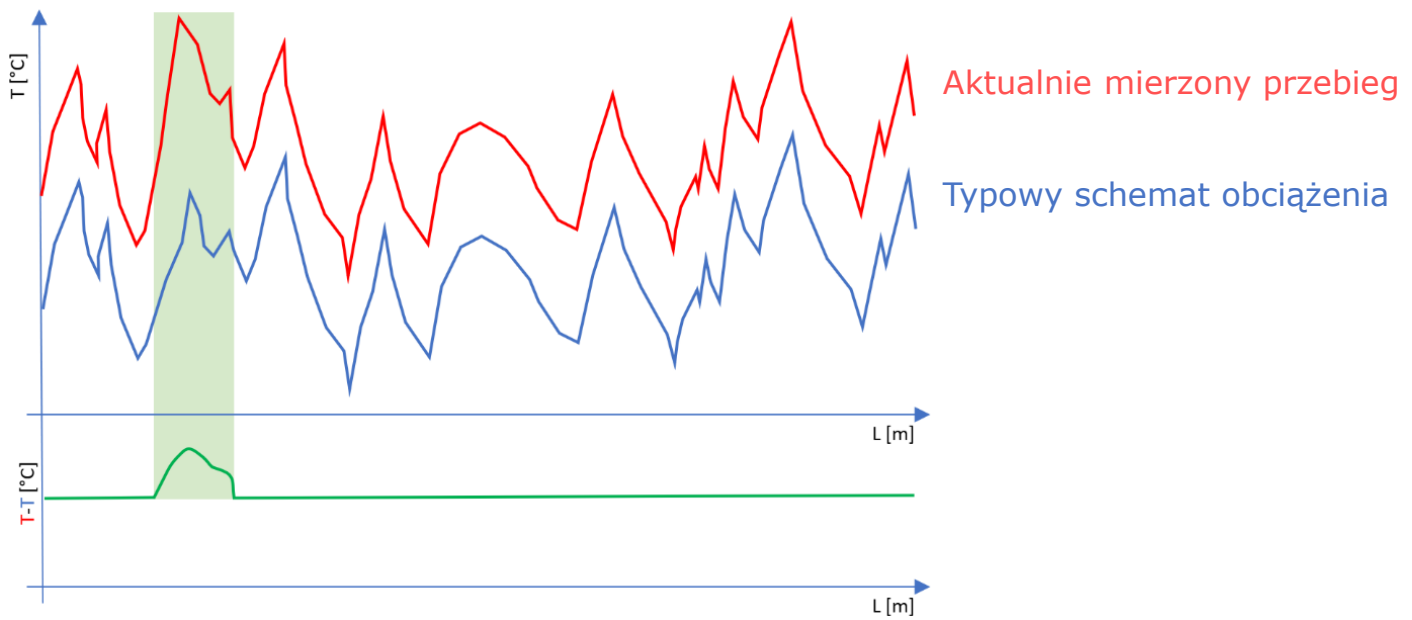
- nietypowe zachowania termiczne kabli elektroenergetycznych odbiegające od schematu pracy,
- wpływ otoczenia kabli poprzez lokalne/punktowe oddziaływanie człowieka lub zjawisk naturalnych.

Kable pracujące w bardzo zmiennych warunkach lub często na granicy przegrzania mogą być bardziej podatne na awarie, a ich żywotność może znacznie się skrócić. W związku z tym istotne jest wczesne wykrycie nieprawidłowych zachowań termicznych kabli podczas ich pracy.

Odchylenia od standardu lokalnie obniżają obciążalność linii kablowej tym samym stwarzają zagrożenie w sytuacji, kiedy konieczne jest zwiększenie obciążalności linii w okolicy znamionowego.

# Analiza stanów przejściowych przy użyciu elementów nauczania maszynowego

## MLTA – Maschine Learning Temperature Alarming



Teoretyczny obraz lokalnego odchylenia od standardu

# Analiza stanów przejściowych przy użyciu elementów nauczania maszynowego

Ogólna zasada działania MLTA:

- umożliwia alarmowanie w przypadku nietypowych zdarzeń temperaturowych ukrytych w regularnych i typowych śladach temperaturowych,
- typowy ślad temperaturowy to schemat zachowania jak np. sezonowość, dzień/noc, nasłonecznienie/cień dla każdej pojedynczej lokalizacji,
- nowe zestawy śladów temperatury są analizowane na podstawie termicznego odcisku palca stworzonego z danych archiwalnych,
- każde zachowanie odbiegające od typowego może być detektowane jako odchylenie od standardu.

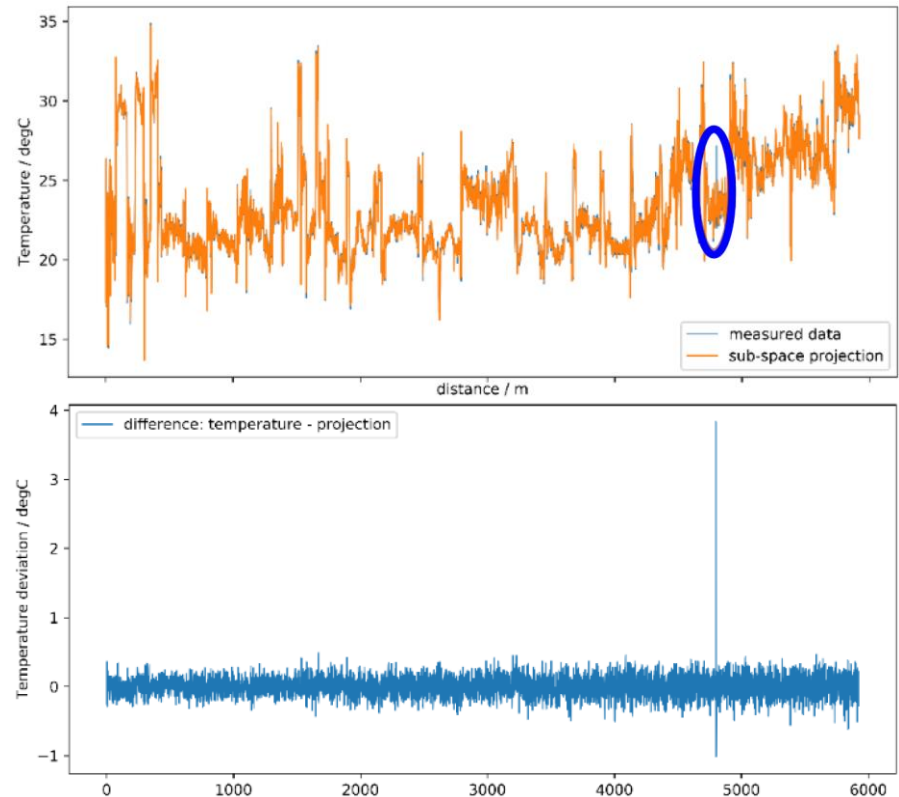
Umożliwia to dokładne rozróżnienie sytuacji nietypowych od normalnych wahań temperatury, w krótszym czasie w porównaniu z konwencjonalnymi algorytmami wykrywania temperatury jak:

- przekroczenie temperatury maksymalnej,
- gradient temperatury,
- stała czasowa,
- różnica od wartości średniej.

# Analiza stanów przejściowych przy użyciu elementów nauczania maszynowego

Proces analizy danych MLTA:

- cały zestaw danych szkoleniowych jest rozkładany na mniejsze segmenty pod względem czasu i położenia, aby zapewnić zbiór typowych zachowań wprowadzonych do algorytmu uczenia maszynowego,
- algorytm ma na celu wyodrębnienie typowych wzorców występujących podczas treningu zarówno w przestrzeni, jak i w czasie,
- w ten sposób przeprowadza się redukcję cech, aby wyodrębnić i zapisać jedynie najbardziej charakterystyczne cechy danych wejściowych jako model referencyjny,
- dane zbiera się zazwyczaj przez pierwsze dwa miesiące pracy systemu po uruchomieniu,
- system może pracować na danych archiwalnych.

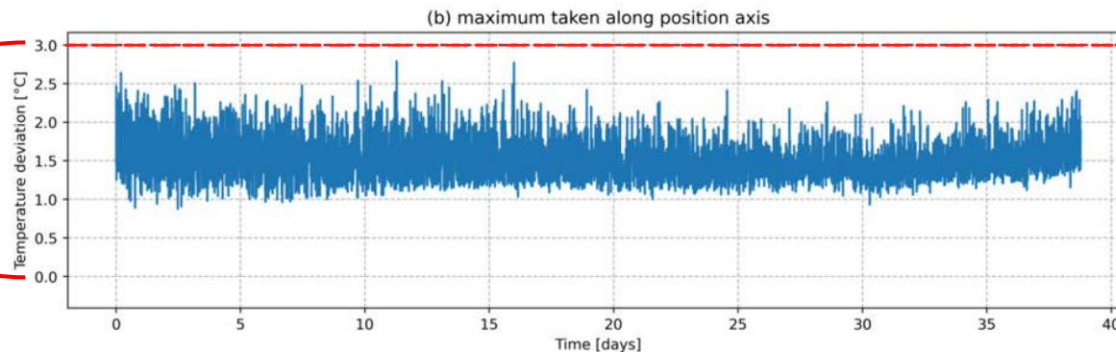
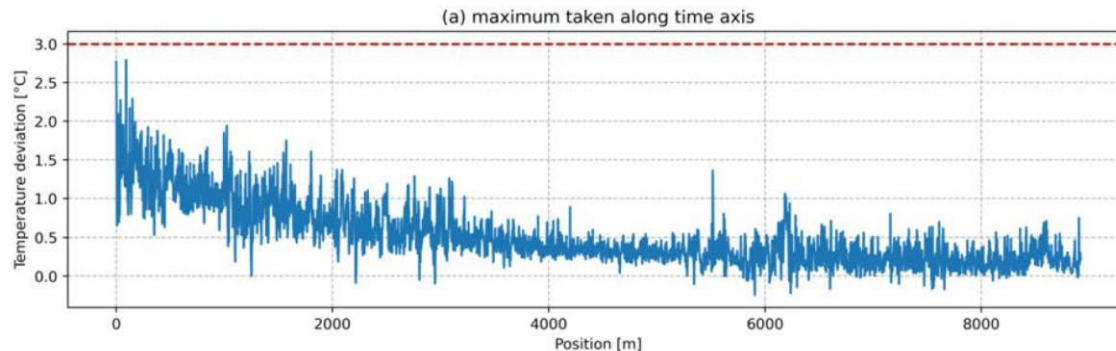




# Analiza stanów przejściowych przy użyciu elementów nauczania maszynowego

Proces analizy danych MLTA:

- każdy przeszkolony model jest sprawdzany przed uruchomieniem,
- do testów wykorzystuje się zbiór danych niezależny od zbioru uczącego, np.: kolejny (trzeci) miesiąc zarejestrowanych danych z DTS,
- do pełnego szkolenia i walidacji zaleca się wykorzystanie danych trwających minimum trzech miesięcy,
- następnie sprawdzany jest ten zestaw walidacyjny; czy przy zadanym progu nie wywołuje żadnych uciążliwych alarmów oraz czy jest zapewniona wystarczająca czułość na zdarzenia temperaturowe we wszystkich pozycjach i momentach.



3°C - próg  
temperatury nie  
powodujący  
fałszywych  
alarmów

# Monitoring głębokości ułożenia kabli zakopanych w dnie morskim

**Monitoring głębokości** ułożenia kabla w dnie morskim DoBS (Depth of Burial State) w czasie rzeczywistym:

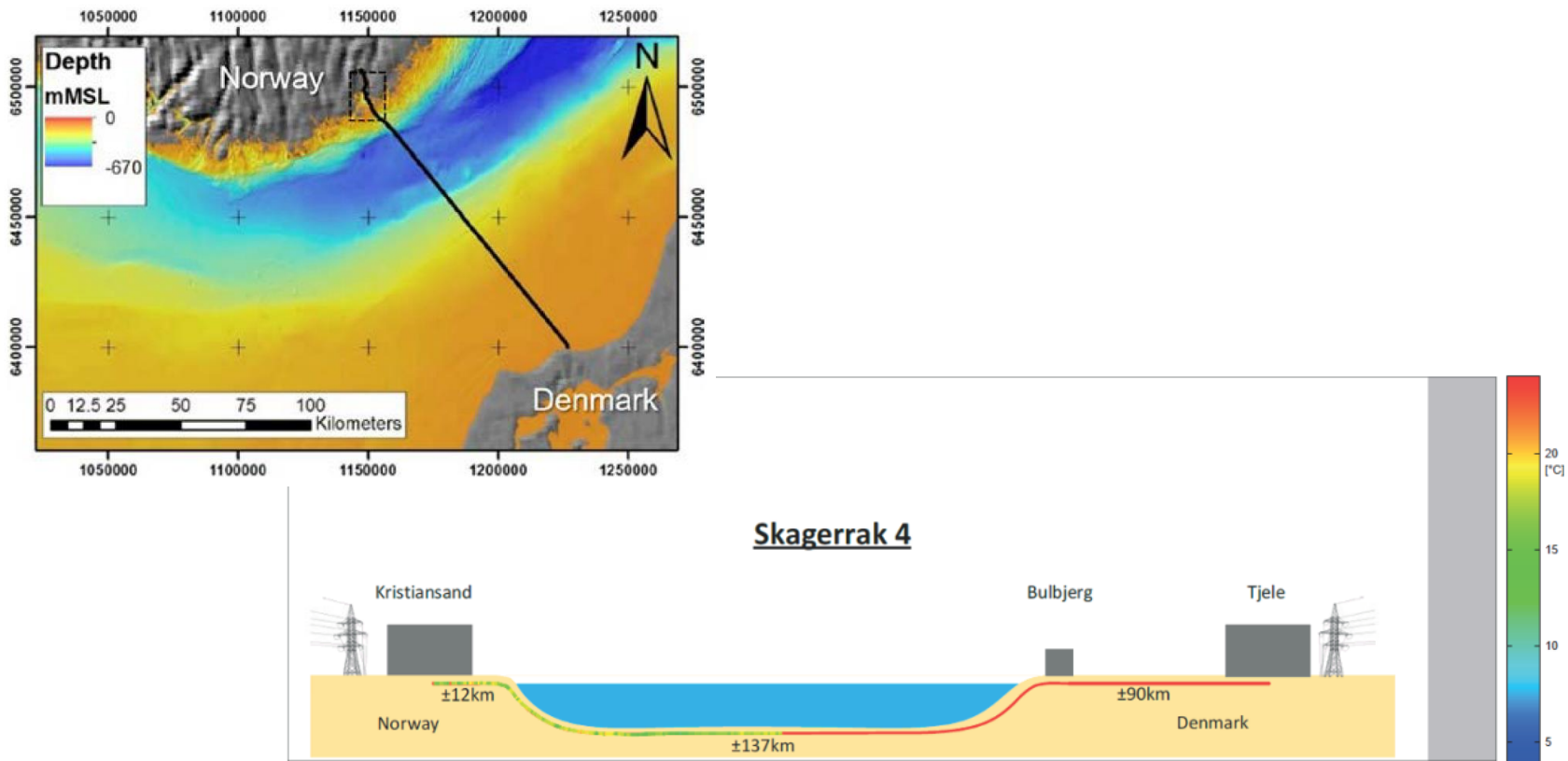
- kable podmorskie są zakopywane na etapie instalacji w dnie morskim na określonej głębokości,
- w związku z oddziaływaniem fal i prądów morskich mogą zostać odsłonięte,
- odkryte odcinki kabli podmorskich mogą wówczas być wystawione na zagrożenia z tytułu :
  - działalności połowowej,
  - Kotwiczenia,

co wiąże się z kosztownymi naprawami i przerwami w przesyłce mocy, a także nieprzewidzianymi wpływami na wrażliwe środowisko morskie.

**Główna zasada działania** metody DoBS polega na obliczeniu funkcji zmiany temperatury obciążenia lokalnego, zwanej dalej odpowiedzią termiczną. Im kabel jest płycej zakopany, tym szybciej ciepło z niego może zostać odprowadzone, a zatem tym mniejsza jest zmiana temperatury mierzona przez włókno po zmianie obciążenia.

# Studium przypadku dla linii 500 kV HVDC

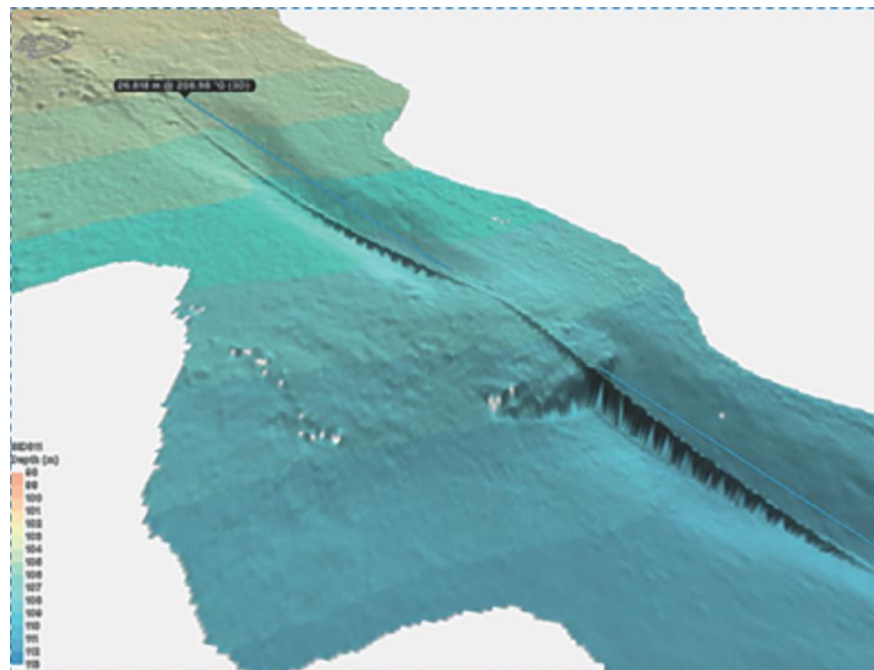
Połączenie 500 kV HVDC pomiędzy Statnett w Norwegii i Energinet w Danii – pierwsze na świecie zastosowanie działającego DoBS



Połączenie kablowe ma zdolność przesyłania mocy na poziomie 700 MW i obejmuje kabel podmorski o długości 137 km i kabel lądowy o długości 12 km po stronie norweskiej

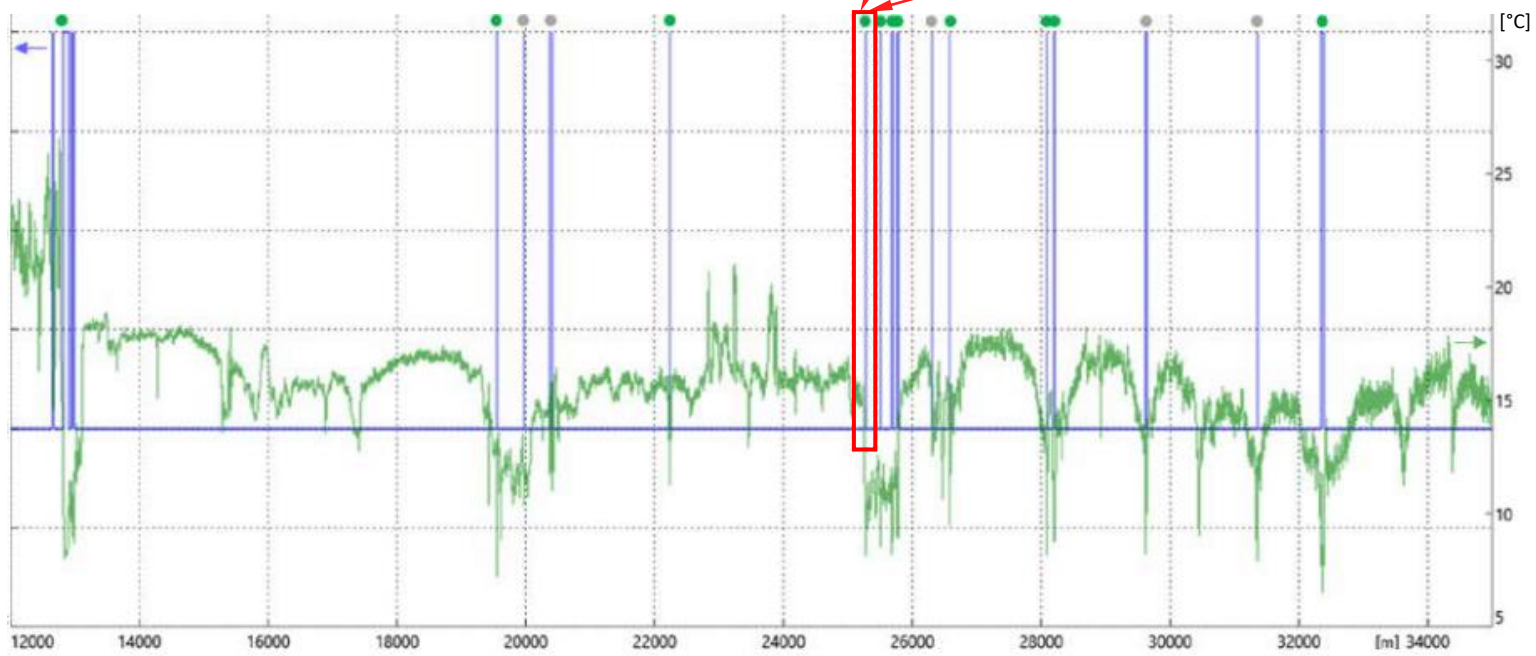
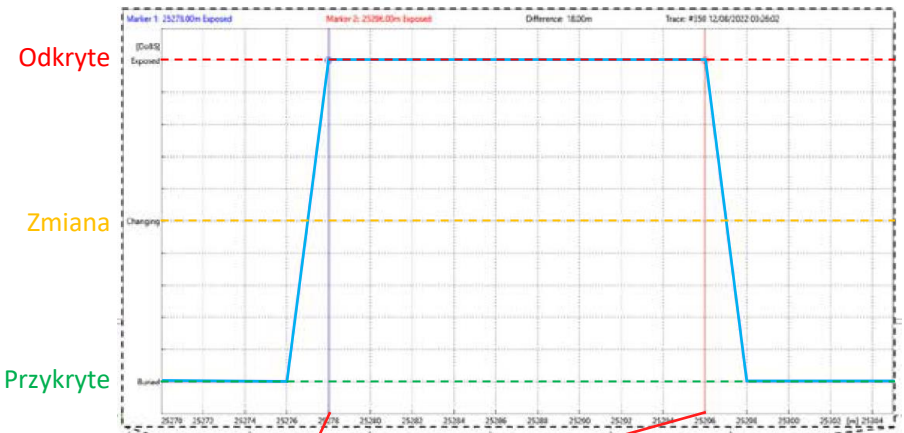
## Studium przypadku dla linii 500 kV HVDC

W celu weryfikacji wyników obliczeń DoBS z rzeczywistym ułożeniem linii latem 2022 roku przeprowadzono badanie ROV (Remotely Operated Vehicle) rozpoczynając od większej głębokości poruszając się w kierunku płytkiej wody. ROV został wyposażony w kamerę wideo oraz skaner wielowiązkowy, pozwalający na porównanie wszystkich obliczonych miejsc ekspozycji kabla ze stanem rzeczywistym.



# Studium przypadku dla linii 500 kV HVDC

Wyniki pomiaru BoBS

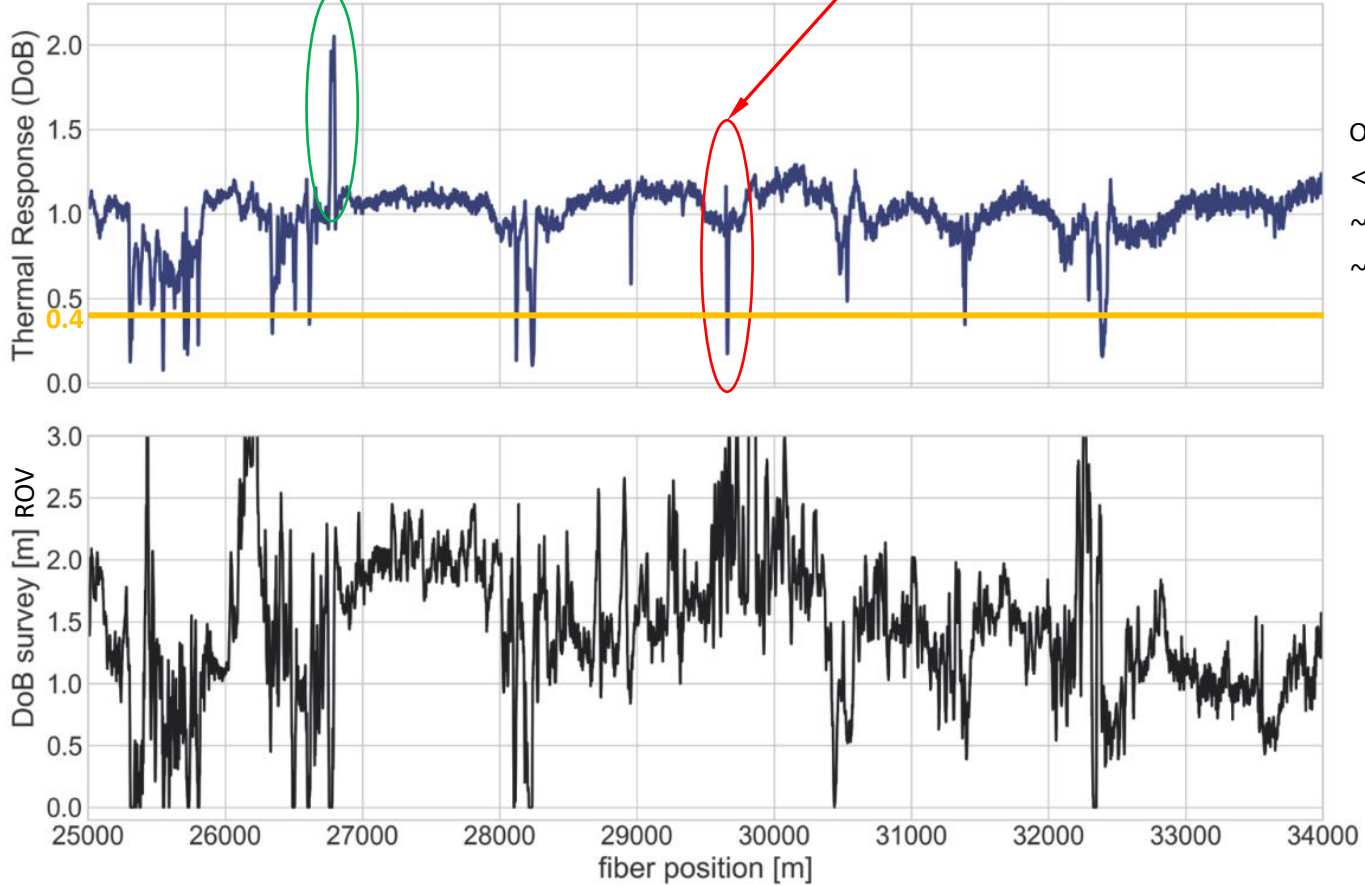


# Studium przypadku dla linii 500 kV HVDC

## Porównanie obliczeń BoBS z pomiarem ROV

Kabel w ruchu osłonowej

Potwierdzono, poprzez inspekcję filmów z ROV, że kabel jest przykryty kamieniami lub żwirem. Dlatego transfer ciepła jest tutaj zdominowany przez konwekcję i żadna metoda oparta na analizie temperatury nie jest w stanie odróżnić tych lokalizacji od rzeczywistych odśnieżeń kabla.



Odpowiedź termiczna:  
< 0,4 – kabel odkryty  
~1,0 – kabel przykryty  
~2,0 – kabel w osłonie

## Podsumowanie

1. Nowoczesne techniki informatyczne wykorzystywane w technice monitoringu pracy linii kablowych wychodzą naprzeciw najtrudniejszym wymaganiom użytkowników linii energetycznych na lądzie i na morzu.
2. Na lądzie narzędzia wspierające monitoring mogą służyć jako dodatkowe narzędzie potrafiące wzbudzić alarm w sytuacji zachowań nietypowych, które mogą prowadzić do przyszłych awarii linii kablowych.
3. Na morzu każde narzędzie mogące na bieżąco wskazywać na zagrożenia dla kabla jest niemalże bezcenne biorąc pod uwagę większe przesyłane tymi liniami moce oraz bardzo utrudniony dostęp do linii zakopanych na dnie morza a tym samym bardzo wysokie koszty dostępu i napraw takich linii.

**Dziękuję Państwu  
za uwagę**



**dr inż. Andrzej Cichy**  
**Kom. 510 852 605**