

**Marcin Plichta**

Prospect Road,  
Arnhall Business Park,  
Westhill, Aberdeenshire,  
AB32 6FE, Scotland,  
UK

Tel +44 1224526762

Fax +44 1224527000

Mob +48 601491180

[Marcin.Plichta@subsea7.com](mailto:Marcin.Plichta@subsea7.com)

## **ROV JAKO PLATFORMA POMIARÓW ECHOSONDĄ WIELOWIĄZKOWĄ**

*Funkcjonalna charakterystyka platformy, pozycjonowanie, zastosowania, sposoby Instalacji MBES, przykładowe wyniki.*

**Słowa kluczowe:** ROV, MBES, echosonda wielowięzkowa, pozycjonowanie, nawigacja inercyjna, USBL.

## **ROV AS MULTIBEAM ECHO SOUNDER PLATFORM**

*Platform characteristics, applications, positioning issues, mounting ways, exemplary results.*

**Keywords:** ROV, MBES, Multibeam echo sounder, positioning, inertial navigation, USBL

### **WSTĘP**

Zastosowanie echosondy wielowięzkowej na zdalnie sterowanym pojeździe podwodnym ROV wymaga specyficznego doświadczenia w zakresie instalacji, kalibracji i analizowania danych. Poniższy artykuł wskazuje punkty specyficzne dla zagadnienia oraz prezentuje przykładowe wyniki.

### **1. ROV – FUNKCJONALNA CHARAKTERYSTYKA PLATFORMY**

Autor poniższego artykułu wychodzi z założenia, iż czytelnik posiada podstawowe doświadczenie w konfiguracji oraz pracy z echosondą wielowięzkową. Poniższe opracowanie skupia się na specyficze zastosowania echosondy na pojeździe ROV często odnosząc się do instalacji na jednostce pływającej.

Patrząc z tej perspektywy pojazd ROV jako platformę można opisać w następujących punktach:

### **1.1. MOŻLIWOŚĆ PRACY NA POŻĄDANEJ GŁĘBOKOŚCI / PUŁAPIE**

Właściwość zanurzania pojazdu ROV w kontekście przeprowadzania pomiarów umożliwia przeprowadzenie sondażu o większej rozdzielczości, umożliwiając pracę bliżej przedmiotu opomiarowania (dna morskiego, rurociągu, wraku, itp). Fakt ten okupiony jest zazwyczaj szeregiem utrudnień związanych z pozycjonowaniem, kompensacją oraz kontrolą zachowania się pojazdu na profilu.

### **1.2. MOBILNOŚĆ, ZNACZĄCE PRZYSPIESZENIA KĄTOWE I LINIOWE.**

Mobilność jest zaletą przy pracach inspekcyjno konstrukcyjnych, jakkolwiek dla zastosowań sondażowych znaczące przyspieszenia związane z dużą manewrowością pojazdu okazują się być problematyczne. Pojazd ROV okazuje się niestabilny pojazd w zakresie bardzo małych prędkości. Doświadczenie pilota umożliwia ustalenie optymalnej prędkości sondażu. Dzięki możliwości ustawienia dużej częstotliwości pomiaru echosondy, przy pracy na niskim pułapie, limit maksymalnej prędkości sondażu może być przesunięty daleko możliwości pojazdu. Profilomierze mechaniczne nie zapewniają tego komfortu.

### **1.3. UTRUDNIONE POZYCJONOWANIE**

Fakt pracy pod wodą implikuje szereg trudności związanych z pozycjonowaniem. Wypracowano szereg technik umożliwiających pozycjonowanie akustyczne. Wszystkie są jednak kosztowne a ich użycie skomplikowane i wymagające dodatkowej wiedzy w operowaniu jak i utrzymaniu odpowiedniej jakości pozycji. Pozycjonowanie zostanie omówione w kolejnych punktach jako kluczowe dla wykonania sondażu.

### **1.4. UZALEŻNIENIE OD PĘPOWINY**

Pojazd ROV w przeciwieństwie do AUV jest uzależniony od pępowiny, lub często od zestawu pępowina – TMS<sup>1</sup>. Fakt ten oznacza konieczność współpracy z macierzystą jednostką podczas przeprowadzania sondażu o przebiegach dłuższych niż 300m. Przy złej konfiguracji statek – TMS – ROV pępowina często wprowadza dodatkowe źródło zaburzeń ruchu pojazdu wprowadzając niechciane artefakty do danych pomiarowych.

### **1.5. PODATNOŚĆ NA PRĄD MORSKI**

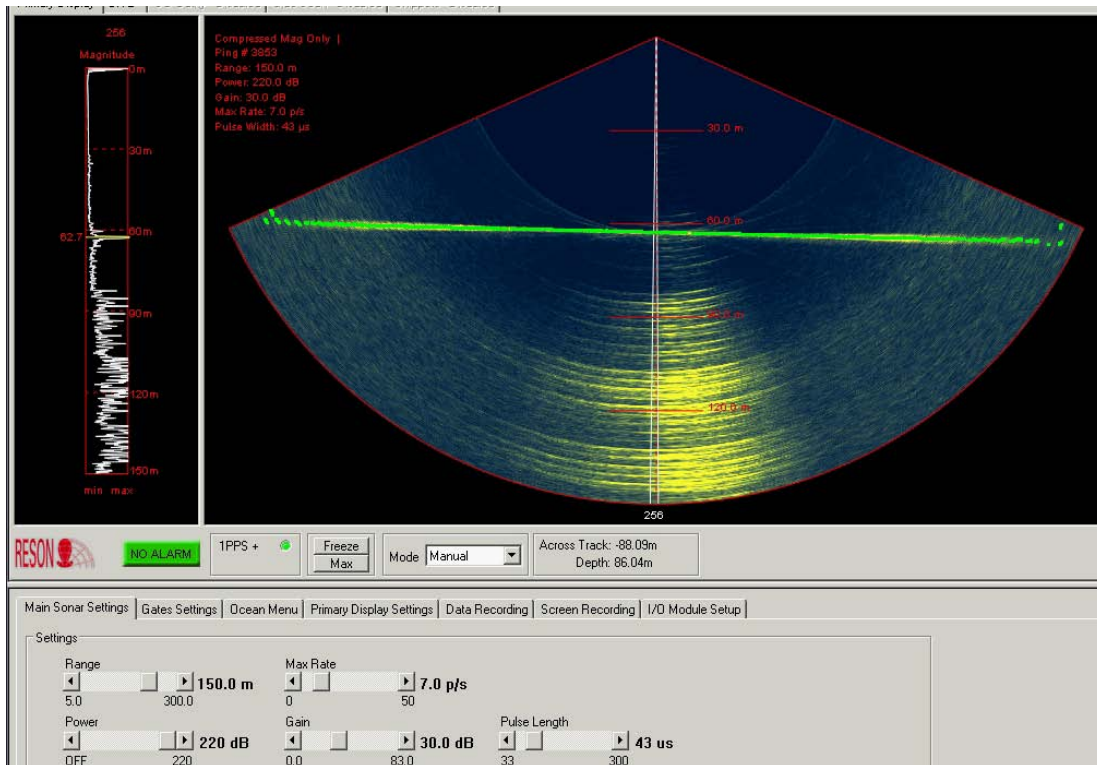
Niezauważalny dla jednostek prąd morski może uniemożliwić wykonywanie jakichkolwiek prac przy pomocy pojazdu ROV. W mniej drastycznych przypadkach można spodziewać się wpływu na dane pomiarowe wynikającego z przechyłu pojazdu. Przechył jako taki powinien być skompensowany przez odczyty czujnika położenia, lecz może uniemożliwić uzyskanie pożądanego pokrycie dna.

---

<sup>1</sup> TMS – (ang Tether Management System) - urządzenie pośredniczące w przekazie energii oraz danych, umożliwiające operowanie pojazdem na stosunkowo lekkiej kablolinie kewlarowej. Sam TMS zawieszony jest na wytrzymałej, ciężkiej, trwałej, i jednocześnie sztywnej stalowej kablolinie,

## 1.6. SZUM GENEROWANY PRZEZ HPU, WIBRACJE RAMY

Pracująca centralna pompa hydrauliczna (zapewniająca napęd i inne funkcje pojazdu) generuje, w zależności od typu pojazdu, szum rzędu nawet 20dB. W wyniku pracy układu popa-pędniki do ramy przedostają się wibracje. Obydwa wymienione wyżej czynniki powodują zmniejszenie stosunku sygnał/szum powracającego echa (Rys. 1). Wyżej wymienione czynniki redukują efektywny zasięg działania echosondy a w skrajnym przypadku mogą całkowicie uniemożliwić detekcję.



Rys.1. Efekt działania włączonego napędu na rozkład amplitudy echa.

## 1.7. STRUGA WODY ZA PĘDNIKAMI

Efekt zaburzenia echa doskonale znany i widoczny podczas manewrowania jednostkami pływającymi jest nierozdzielalną częścią sondaży wykonywanych za pomocą pojazdów podwodnych. Mocowanie pod lub z przodu pojazdu zapewnia optymalne położenie zapewniające izolację efektu. Niestety nie zawsze jest to możliwe ze względu na sprzętową konfigurację ROV. Mocowanie z tyłu pojazdu jest możliwe i w przypadku prawidłowego pilotażu może dawać zadowalające wyniki jakkolwiek należy mieć na uwadze potencjalne problemy wynikające ze strugi.

## 2. CHARAKTERYSTYKA FUNKCJONALNA MBES W KONTEKŚCIE PRACY NA ROV.

Opisując echosondę wielowiązkową nie sposób oderwać się od alternatywnych rozwiązań spotykanych w przemyśle. I tak porównując echosondę wielowiązkową z profilomierzem mechanicznym uzyskamy następujący zestaw cech:

## 2.1. WADY ECHOSONDY WIELOWIĄZKOWEJ.

Drogie i ciężkie (system 7125 w wersji ROV wraz z układami przyłączeniowymi waży ponad 36kg w powietrzu).

Duże (głowica akustyczna systemu 7125 składająca się z nadajnika i odbiornika ma całkowite wymiary: 416x495x102mm dla porównania głowica mechanicznego profilomierza ma wymiary: 278x110x110).

Trudne w instalacji (skomplikowane połączenia, prędkości przepływu danych znacząco wyższe od profilomierzy akustycznych, wskazane połączenie światłowodowe, wykonanie solidnych zamocowań).

Ograniczona szerokość kąta działania (typowa maksymalna szerokość kurtyny echosondy wielowiązkowej z płaską macierzą przetworników to nie więcej niż 130stopni. W praktyce oznacza to konieczność zastosowania dwóch głowic).

Czasochłonne w kalibracji (procedura kalibracyjna dwugłowicowego systemu opisuje przejazd sześciu profili kalibracyjnych. Oznacza to czasochłonność przy zbieraniu i obróbce danych).

Wymagające odpowiedniego personelu (Utrzymanie odpowiedniej jakości w sondażach echosondą wielowiązkową wymaga specyficznego doświadczenia w tym zakresie. Nie wszystkie praktyki w operowaniu profilomierzami są możliwe do przeniesienia na grunt MBES).

Wymagające oprogramowania umożliwiającego poprawną akwizycję dużej ilości danych (Proste przeliczenie daje wyobrażenie o ilości danych system dwugłowicowy pracujący z częstotliwością 7pings/s da nam  $2 \times 512 \text{beam} \times 7 \text{pings/s} = 7168$  pikiet/s, co w dalszym przeliczeniu daje 36mln pikiet/km (przy założeniu prędkości sondażu 0,7 km/h)).

Wymagające oprogramowania umożliwiającego wydajną obróbkę zebranych danych.

## 2.2. ZALETY ECHOSONDY WIELOWIĄZKOWEJ.

Znikoma długość przekroju poprzecznego. Przy możliwym najkrótszym czasie skanu wynoszącym 50 $\mu$ s przy założeniu prędkości 700m/h dystans, jaki pokona pojazd wynosi 10 $\mu$ m. Oczywiście dystans ten jest pomijalnie mały w stosunku do geometrycznego wymiaru wiązki wynoszącego 1 $\pm$ 0.2 stopnia. Przy pułapie pojazdu wynoszącym 10m długość podłużna skanu wyniesie 20cm). Dla porównania czas skanu mechanicznego profilomierza wynosi około 9 sekund. Droga, jaką pokona pojazd w tym czasie przy założeniu tej samej prędkości wyniesie 1.75m. Przekrój w takim przypadku nie do końca może być określany jako poprzeczny.

Gęstość danych. Na niskich pułapach (do 10m) echosonda wielowiązkowa może pracować z częstotliwością skanów do 30 razy na sekundę. W praktyce konieczne staje się ograniczenie liczby pomiarów do max 10/s tak, aby nie przeładować systemu akwizycji i obróbki danych.

Kompensowanie ruchu pojazdu. Wyżej wymienione cechy czasu skanu umożliwiają dokładniejszą kompensację przechyłów pojazdu. Wskazane jakkolwiek jest posiadanie czujnika umożliwiającego odczyt wartości z częstotliwością 10Hz i więcej.

Rozdzielczość – wynikająca z wyżej wymienionych cech oznacza większe prawdopodobieństwo wykrycia małych obiektów.

Wizualizacja i interpretacja danych. Wyżej wymienione cechy połączone z prawidłowym pozycjonowaniem umożliwiają poprawną analizę i interpretację danych.

Zalety echosondy wielowiązkowej umożliwiają wsparcie projektu danymi o większym poziomie ufności. Bardziej szczegółowy pomiar batymetryczny przy krytycznych operacjach związanych z odwzorowaniem dna oznacza lepszą ocenę sytuacji i planowanie.

Rachunek wad/zalet nie zawsze przemawia na korzyść echosond wielowiązkowych. Waga wyżej wymienionych punktów będzie zmieniać się w czasie.

### **3. ZASTOSOWANIE ECHOSONDY WIELOWIĄZKOWEJ MONTOWANEJ NA POJEŹDZIE PODWODNYM ROV.**

Poniższa klasyfikacja zastosowań została dokonana na potrzeby niniejszego artykułu. Niezmiernie trudnym zadaniem było by dokonanie kompleksowej klasyfikacji całego spektrum aplikacji. W ten sposób można wyróżnić następujące zastosowania:

- Sondaż przed wykonawczy korytarza. Ze względu na czasochłonność i koszt użycia pojazdu podwodnego sondaż MBES/ROV ograniczony jest do ostatniej fazy rozpoznania wąskiego pasa korytarza wytyczonego pomiarami prowadzonymi z jednostek pływających. Pokrycie takie wymaga sondażu na pułapie od 5 do 20m;

- Wysokiej precyzji sondaże rurociągów podmorskich, Najciekawszym jednocześnie najbardziej wymagającym zastosowaniem są sondaże mające na celu dostarczenie precyzyjnych danych dotyczących położenia rurociągu XYZ. Dane te są wykorzystywane w celu dokonania obliczeń wytrzymałościowych rurociągu, co skutkuje w potencjalnym przedłużeniu czasu jego życia;

- Monitoring ruchu dna morskiego;
- Wsparcie robót konstrukcyjnych;
- Inne – w zależności od potrzeb, doświadczenia i posiadanych środków.

### **4. POZYCJONOWANIE.**

Problematykę związaną z pozycjonowaniem można rozbić w klasyczny sposób na:

- Pozycjonowanie pionowe,
- Pozycjonowanie poziome,
- Kontrolowanie jakości danych.

Dwa pierwsze zagadnienia zostały opisane w kolejnych punktach. Kontrolowanie jakości to kluczowe dla powodzenia całości projektu. Zagadanie jest obszerne i dalece wykracza poza ramy niniejszego opracowania.

#### **A. POZYCJONOWANIE PIONOWE.**

Pozycjonowanie pionowe na pojeździe podwodnego koncentruje się na kontroli związanej z przeliczeniem odczytów ciśnienia na głębokość. Ciśnienie barometryczne, lokalne przyspieszenie grawitacyjne, średnia gęstość kolumny wody są parametrami poddanymi szczególnej kontroli. Systematyczna certyfikacja czujników i kontrola wzajemna w czasie trwania projektu są stałym elementem kontroli jakości.

#### **B. POZYCJONOWANIE POZIOME.**

Celem niniejszej publikacji nie jest systematyka sposobów pozycjonowania podwodnego, jakkolwiek nie sposób pominąć tej problematyki.

Docelową precyzją pozycjonowania ruchomego pojazdu podwodnego (w efekcie danych pomiarowych) jest 10cm przy głębokościach rzędu 1200-1400m.

Rozwiązania:

- USBL

- LBL
- System nawigacji inercyjnej

Wysokiej B klasy system USBL, zasilany wysokiej klasy czujnikami położenia, uzyskuje dokładność rzędu 4m przy poziomie ufności 68% na głębokości 1500m. Pozycja charakteryzuje się rozkładem normalnym. Niska dokładność oraz rozrzut pozycji dyskwalifikuje ten sposób pozycjonowania dla celów sondażowych.

System długiej linii bazowej LBL charakteryzuje się bardzo dobrą dokładnością niezależną od głębokości. Wadą tego rozwiązania jest jednak czasochłonne przygotowanie oraz ilość środków koniecznych do zapewnienia pokrycia znaczących długości rurociągów.

System nawigacji inercyjnej działający na bazie filtra Kalmana, integrujący dane USBL, czujnika przyspieszeń, logu Dopplerskiego, czujnika głębokości oraz żyrokompasu wydaje się być rozwiązaniem idealnym dla celów sondażowych. Praktyka jednak ukazuje skomplikowaną implementację, wersje rozwojowe implementacji oraz problemy kontroli jakości. Nie zmienia to faktu, iż jest to rozwiązanie coraz częściej spotykane szczególnie na akwenach o większych głębokościach



Rys. 2. Rama czujnika inercyjnego i logu dopplerskiego zamontowana na pojeździe Herkules 17

## 5. INSTALACJE MBES

Sposoby montażu echosond na pojeździe zależą od pożądanego pasa pokrycia lub pożądanego profilu poprzecznego. Poniżej kilka standardowych przykładów instalacji.





Rys. 3. Zestaw 8125, Log dopplerowski, sonar boczny zamontowany pod pojazdem Herkules 10.

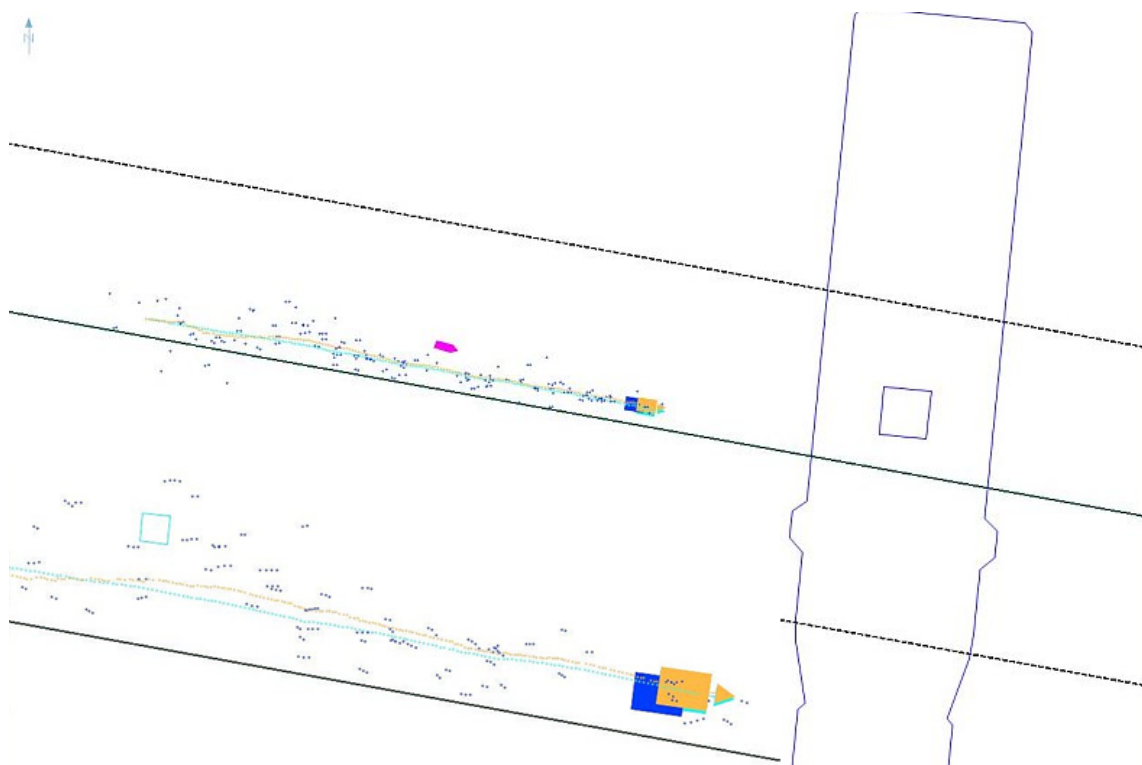


Rys. 4. Sposób mocowania w celu uzyskania szerszego pasa pokrycia, przy jednocześniej możliwości bliskiego kontaktu z rurociągiem dla inspekcji wizualnej. 2xReson SEABAT 8125 na pojeździe Seaeeye Panther.



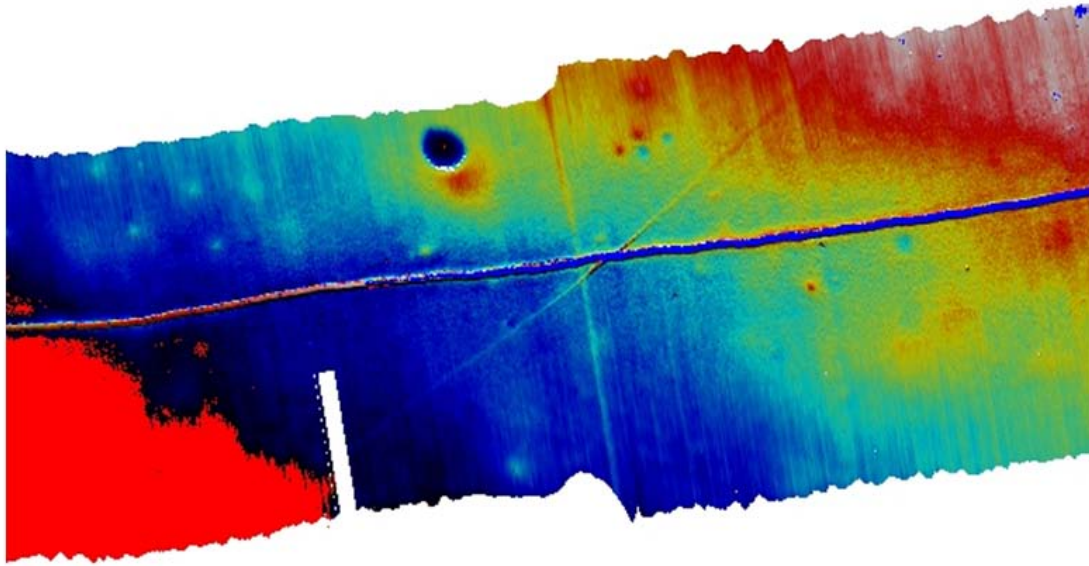
Rys. 5. Sposób mocowania w celu uzyskania lepszej definicji podparcia. Mocowanie DeltaT na pojeździe Pioneer11.

## 6. PRZYKŁADOWE WYNIKI

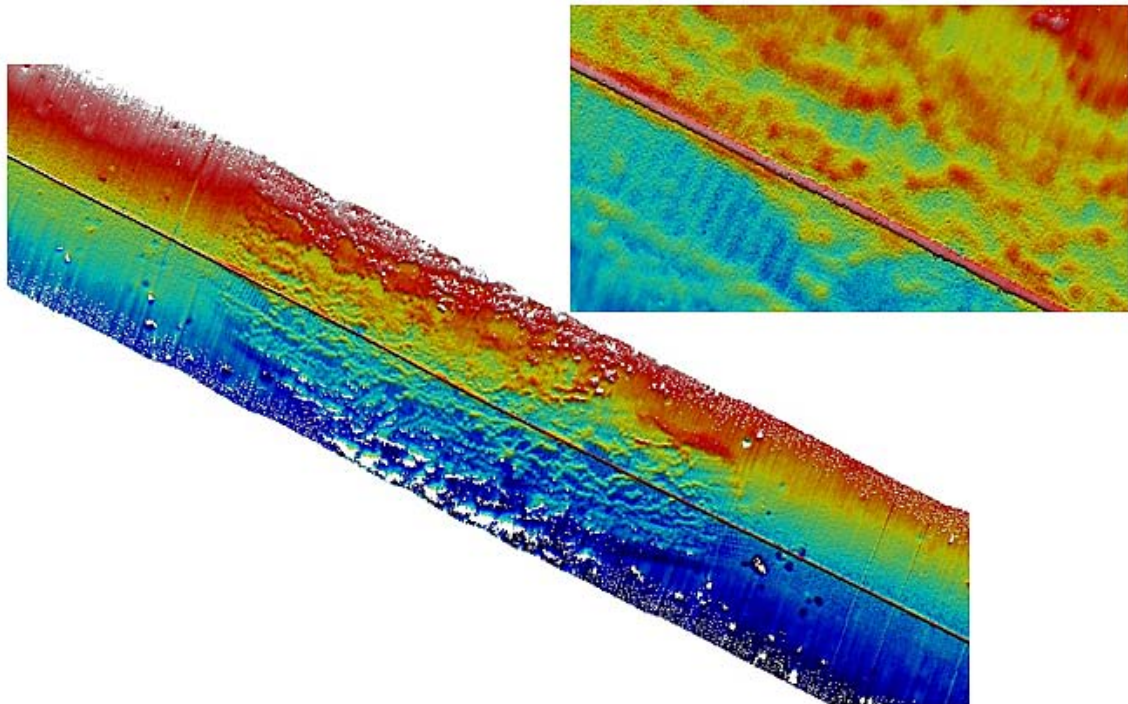


Rys. 6. Porównanie systemów pozycjonowania. Kolor granatowy - surowy namiar USBL, kolor żółty - rozwiązanie inercyjne w czasie rzeczywistym, błękitny - rozwiązanie inercyjne pozycja przeliczona w processingu.



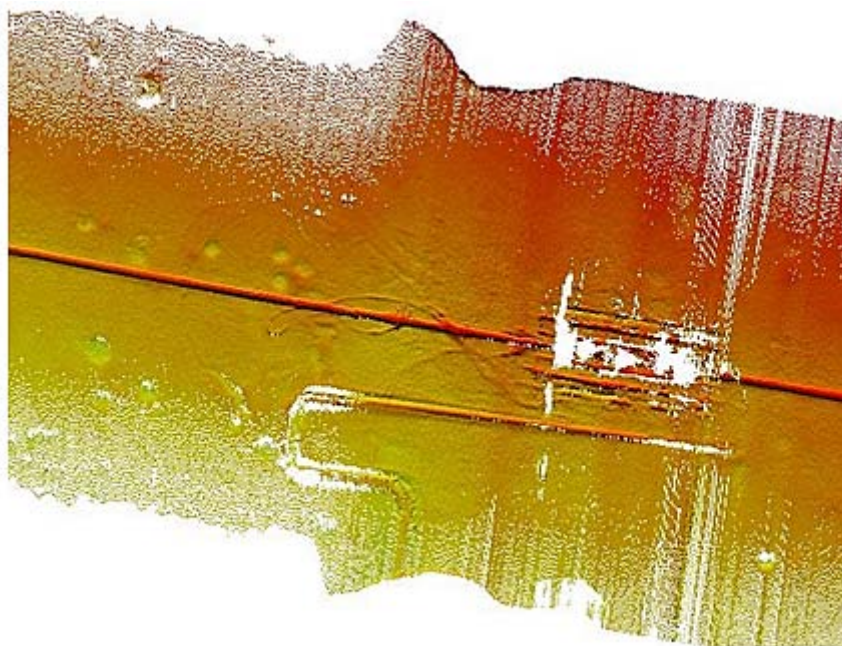


Rys. 7 Skrzyżowanie rurociągu 10" z pępowiną sterującą 3".

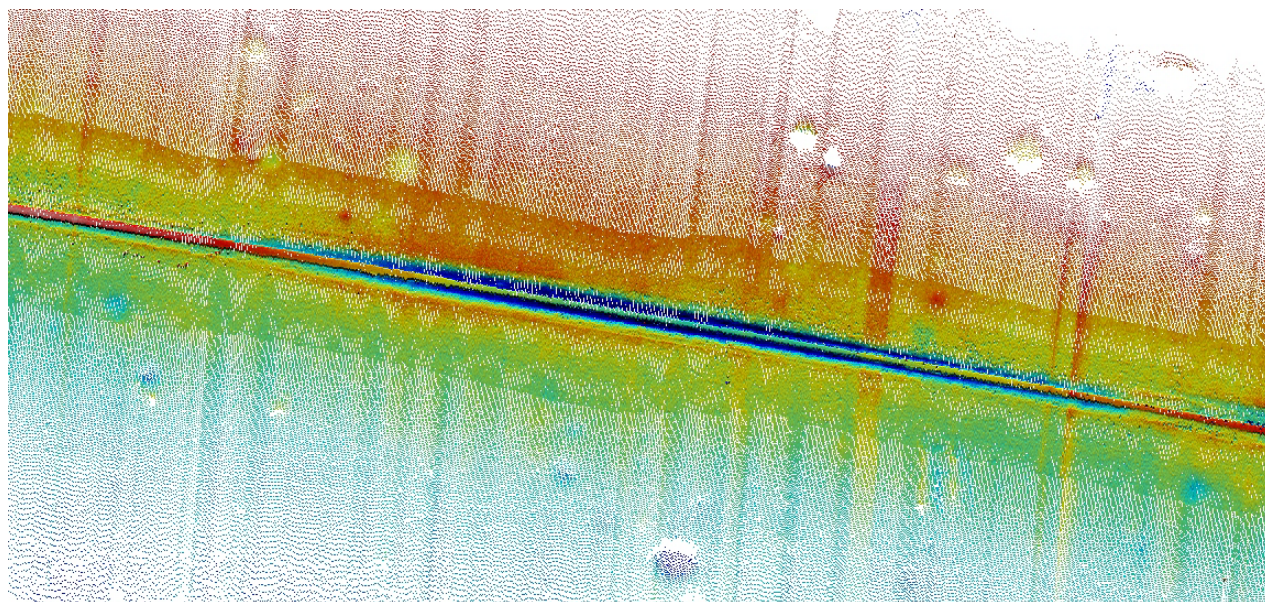


Rys. 8. Rumowisko.

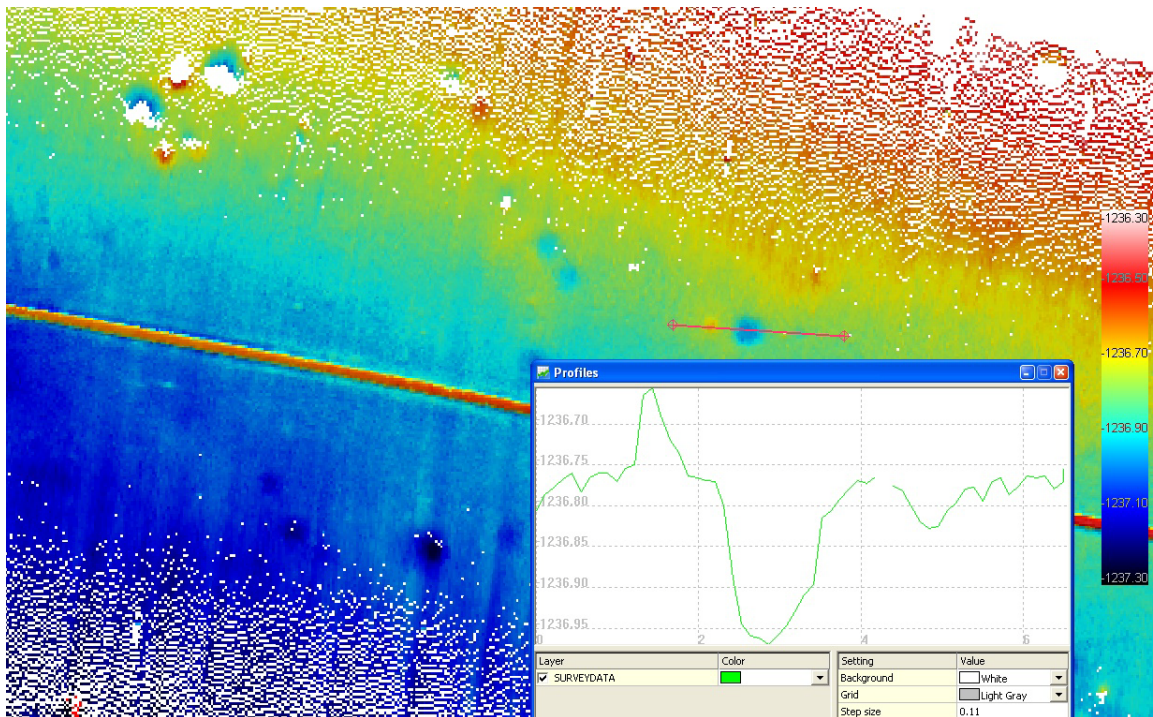




Rys. 10. ILT – rozgałęzienie liniowe. Rurociąg główny średnicy 12", przyłączenie 10" (część południowa), przewody sterujące 3" na zachód od instalacji.



Rys. 11. Zagłębienie 1.8m wynikające z naprężeń rurociągu. Siatka sondażowa 5x5cm



Rys. 12. Przykład rozdzielczości sondażu - zagłębienie przy rurociągu głębokości 15cm.

Autor

**Marcin Plichta** - senior online surveyor w Subsea7, współpracował z Przedsiębiorstwem Robót Czerpalnych i Podwodnych Sp. z o.o, Seabed Polska Sp. z o.o, ENVIA Sp. z o.o, Instytutem Morskim. Absolwent Wydziału Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki PG.



