

Projektowanie badań geologiczno-inżynierskich dla morskich farm wiatrowych

MONIKA SZABLÓWSKA, MARTA SOKOŁOWSKA, ADAM POPLAWSKI, EDYTA MAJER
Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy
monika.szablowska@pgi.gov.pl

Określenie warunków geologiczno-inżynierskich podłoża morskich farm wiatrowych jest pracą geologiczną, dlatego podlega przepisom ustawy prawo geologiczne i górnicze (p.p.g.). Wszelkie prace geologiczne z zastosowaniem robót geologicznych i dodatkowo metod sejsmicznych (w granicach obszarów morskich Rzeczypospolitej Polskiej), mogą być wykonywane tylko na podstawie projektu robót geologicznych (Art. 79 ust. 1 i 1a ustawy p.p.g.).

Przy planowaniu badań dla morskich farm wiatrowych i urządzeń służących do wyprowadzenia mocy uwzględnia się (Cook (red.), 2022; DNV_RP_0360):

- wymagania prawne,
- ograniczenia związane z przeznaczeniem terenu,
- złożoność budowy geologicznej,
- obecność lub brak zagrożeń geologicznych i ich rozmieszczenie,
- sejsmiczność obszaru,
- warunki meteorologiczne i morskie,
- prognozowaną zmienność i niepewność dotyczącą wartości parametrów geotechnicznych,
- lokalizację obiektu, rozmiar fundamentu i rodzaj posadowienia,
- niepewność związaną ze zmianą ostatecznej lokalizacji inwestycji,
- metodę montażu/installacji turbin lub kabli.

Zasada projektowania badań podłoża pod morskie farmy wiatrowe i zespół urządzeń służących do wyprowadzenia mocy opiera się na etapowym uszczegóławianiu modelu geologicznego (Baynes i Parry, 2022).

Na wczesnym etapie rozpoznania podłoża głównym celem jest określenie przydatności obszaru do realizacji przedsięwzięcia oraz ustalenie wstępnej lokalizacji dla poszczególnych obiektów (np. turbin, stacji transformatorowych czy trasy kabla) oraz lokalizacji alternatywnych. Na tym etapie zaleca się projektować badania geofizyczne, pokrywające cały obszar badań, pozwalające na wstępne rozpoznanie budowy geologicznej oraz morfologii i charakteru dna. Do tego celu zaleca się wykonać także niewielką liczbę otworów wiertniczych i/lub sondowań w celu opracowania modelu geologiczno-geofizycznego oraz wstępnego modelu geologicznego. Zadaniem kolejnych etapów jest dostarczenie szczegółowej charakterystyki warstw w podłożu, w ustalonej lokalizacji obiektów wchodzących w skład morskiej farmy wiatrowej, na potrzeby dobrania odpowiedniej metody posadowienia i zabezpieczenia fundamentu. Do tego celu zaleca się zaprojektować między innymi wysokorozdzielcze badania geofizyczne (UHRS), wiercenia wraz z poborem prób do badań laboratoryjnych oraz sondowania parametryczne. Efektem tych prac jest szczegółowy model geologiczny podłoża w rejonie projektowanych obiektów morskiej farmy wiatrowej (Fig. 1).

W tabeli została przedstawiona aparatura badawcza, urządzenia oraz metody badań zalecane do badań na morzu w zależności od celu badań geologiczno-inżynierskich (na podstawie Cook (red.), 2022; tłumaczone, uzupełnione).

Cel badań	Zalecana aparatura / urządzenia / metoda badań	Uwagi ¹⁾
Określenie profilu litologicznego oraz pobór prób z niewielkich głębokości w systemie zaburtowym	<ul style="list-style-type: none"> •Wibrosonda •Rdzeniówka grawitacyjna •Rdzeniówka tłokowa •Próbnik skrzyniowy •Próbnik czerpakowy 	Typowe głębokości maksymalne i możliwe kategorie poboru prób: <ul style="list-style-type: none"> •Wibrosonda – 3-8 m, średnica rdzenia 90 mm, kategoria poboru prób D (C) •Rdzeniówka grawitacyjna – 1-8 m, średnica rdzenia 90 mm, kategoria poboru prób A – C •Rdzeniówka tłokowa – 3-30 m, średnica rdzenia 90 mm, kategoria poboru prób A – C •Próbnik skrzyniowy – 0,3-0,5 m kategoria poboru prób A •Próbnik czerpakowy – 0,1-0,5 m, kategoria poboru prób E
Pozyskanie profilu wytrzymałościowego podłoża	<ul style="list-style-type: none"> •Sonda CPTU metodą zaburtową o zalecanym maksymalnym nacisku na stożek 200 kN (50 kN może być wystarczające wzdłuż tras kablowych, ale nie zawsze) •Sonda CPTU metodą otworową o zalecanym nacisku na stożek od 60 do 90 kN •Sonda penetracyjna typu T-bar lub ball (pomiar z powierzchni dna) do gruntów o bardzo niskiej wytrzymałości •Sonda FVT (pomiar punktowy na wybranych głębokościach) do gruntów o niskiej wytrzymałości 	Typowe głębokości maksymalne: <ul style="list-style-type: none"> •Dla metody zaburtowej (CPTU): 30-70* m, dla metody zaburtowej (FVT): 5-25 m. •Dla metody otworowej: teoretycznie bez ograniczeń, niska stosowność w gruntach o ekstremalnie wysokiej wytrzymałości
Określenie profilu litologicznego oraz pozyskanie prób z wybranych interwałów w połączeniu lub bez sondowania CPTU	<ul style="list-style-type: none"> •Hydrauliczne próbki tłokowe •Próbniki wciskane •Próbniki udarowe •Rdzeniowanie metodą obrotową 	Maksymalna głębokość – bez limitu dla systemów otworowych ograniczone w przypadku systemów zaburtowych. Preferowane próbki tłokowe, w drugiej kolejności cienkościennie wciskane. W przypadku zagęszczonych piasków dopuszcza się udarowe, a w skale rdzeniowanie metodą obrotową. <ul style="list-style-type: none"> •Hydrauliczne próbki tłokowe - kategoria poboru prób A – C •Próbniki wciskane próbnik wciskany cienkościenny - kategoria poboru prób A – C •Próbniki udarowe, próbniki wolnosadpawde wibracyjne - kategoria poboru prób C – E •Rdzeniowanie metodą obrotową - kategoria poboru prób A – D
Pozyskanie ciągłego rdzenia gruntów bardzo zwartych lub skał	•Rdzeniowanie metodą obrotową	Maksymalna głębokość – praktycznie nieograniczona. <ul style="list-style-type: none"> •Rdzeniowanie metodą obrotową kategoria A – D
Lokalizacja elementów żelaznych (niewybuchy, wraki, konstrukcje stalowe, itp.)	•Magnetometr	Wymaga gęstej siatki profili pomiarowych
Określenie batymetrii	<ul style="list-style-type: none"> •Sonar wielowiązkowy (multibeam sonar) •Profilomierze ze źródłem wysokoczęstotliwościowym (obecnie rzadko stosowane) 	Sonar wielowiązkowy daje gęste pokrycie dna, profilomierze pozwalają na określenie głębokości wyłącznie pod jednostką badawczą, wzdłuż linii płynięcia
Określenie charakteru dna, obecności obiektów (np. głazy, bruki muszlowe, siedliska)	<ul style="list-style-type: none"> •Sonar boczny (side scan sonar) •Pośrednio sonar wielowiązkowy (multibeam sonar) 	Sonar boczny pozwala na tworzenie mozaiki imitującej cieniowany relief dna, z bezpośrednią informacją o intensywności odbicia. Sonar wielowiązkowy pozwala na rejestrację sygnału rozproszenia wstecznego (backscatter signal), który jest powiązany z intensywnością odbicia. Przy gęstym pokryciu pomiarami batymetrycznymi dna, ujawnia się drobnoskładowa struktura powierzchni
Określenie położenia granic geologicznych w podłożu	<ul style="list-style-type: none"> •Jednokanalowe profilomierze akustyczne o różnej częstotliwości nadajnika •Wielokanalowe profilowanie sejsmiczne 2D i 3D 	Głębokość rozpoznania ograniczona częstotliwością zastosowanego źródła (odwrotna zależność między częstotliwością a głębokością). Profilowanie jednokanalowe nie pozwala na eliminację odbić wielokrotnych, jest ograniczone głębokościowo, sejsmika wielokanalowa pozwala na eliminację odbić wielokrotnych – zasięg większy.
Określenie parametrów fizycznych podłoża w celu identyfikacji litologii	<ul style="list-style-type: none"> •Otworowe sondy geofizyczne: elektrometryczne, radiometryczne, telewizor akustyczny, XRF, NMR i inne 	Określenie litologii na podstawie geofizycznych badań otworowych obejmuje szerokie spektrum metod wykraczających poza zakres opracowania
Określenie parametrów sztywności podłoża	<ul style="list-style-type: none"> •Otworowe sondy geofizyczne różnego typu (np. PS logging) •Stożek CPTU z końcówką sejsmiczną Opcjonalnie: <ul style="list-style-type: none"> •Presjometr/dylatometr sejsmiczny 	Maksymalna głębokość dla PS logging – praktycznie nieograniczona, maksymalnie stosowano do 600 m. Typowe głębokości maksymalne dla sondowań: Dla metody zaburtowej: 30-70* m Dla metody otworowej: teoretycznie bez ograniczeń, niska stosowność w gruntach o ekstremalnie wysokiej wytrzymałości
Określenie przewodności cieplnej	<ul style="list-style-type: none"> •Sonda do pomiaru przepływu energii cieplnej (ang. heat-flow probe) •Igła termiczna •Sonda TCPTU (Thermal CPTU) 	Sonda in situ do niewielkich głębokości. Najczęściej do głębokości wibrosondy lub pływcy. Sonda TCPTU pozwala na ciągłe pomiary przewodności cieplnej gruntu. Alternatywnie próbki mogą być badane w laboratorium terenowym przy użyciu igły termicznej.

Fig. 1 Trójwymiarowy model geologiczny podłoża, który integruje informacje geofizyczne, geologiczne (w tym geomorfologiczne) i geotechniczne (Velenturf in., 2021)