

TEMAT SPECJALNY

FUNDAMENTY ZIELONEJ ENERGII

POSADOWIENIE ELEKTROWNI WIATROWYCH

Zielona energia ma niesamowity potencjał, który może być wykorzystany w każdym miejscu naszego globu. W Polsce ze źródeł odnawialnych pozyskuje się głównie energię słoneczną. Energia z wiatru to około 35% OZE. Ostatnio wzrósł jednak potencjał do rozbudowy elektrowni wiatrowych. Budując zieloną infrastrukturę energetyczną warto postawić również na rozwiązania fundamentowe, które ograniczają wpływ budowy na środowisko naturalne. Głównym czynnikiem, który może w znaczny sposób ograniczyć emisję CO₂ jest skrócenie czasu budowy poprzez wybór odpowiedniego rozwiązania geotechnicznego, jak i dobór materiałów.

CZY POLSKA DOGONI SZKOCJĘ?

Szkocja jest przykładem skutecznego wdrożenia OZE. W 2020 roku osiągnęła 100-procentowy miks energetyczny oparty

wyłącznie na źródłach energii odnawialnej. W Polsce obecnie stawiamy głównie na energię pozyskiwaną ze słońca. Podobny trend rysuje się w skali globalnej. Energia z wiatru to zaledwie 2,5% całkowitej produkcji energii na świecie. Ciągle najwięcej energii pozyskiwanych jest z paliw kopalnych, a na drugim miejscu plasuje się energia jądrowa. Skuteczność szkockiej strategii OZE polega na tym, że inwestuje się tam we wszystkie możliwe źródła energii odnawialnej. Nawet jeśli ich udział procentowy nie jest duży, to po zsumowaniu wszystkie dają zadowalający efekt i w znacznym stopniu obniżają oddziaływanie człowieka na naturę.

ZALETY I OGRANICZENIA ZWIĄZANE Z ENERGIĄ Z WIATRU

Jedną z ważniejszych zalet farm wiatrowych jest fakt, że nie emitują one żadnych

zanieczyszczeń do środowiska. Dodatkowo, z punktu widzenia geotechniki, w zasadzie można je posadzić wszędzie. Na lądzie nawet w miejscach o skomplikowanych warunkach gruntowo-wodnych, a także na morzach. W praktyce, aby budowa miała sens, farmy wiatrowe muszą być zlokalizowane w miejscach, w których występują silne wiatry, czyli na terenach nizinnych oraz na morzu. W Polsce farmy wiatrowe oprócz Pomorza występują również na terenach wyżynnych, na dużych otwartych przestrzeniach. To właśnie tutaj potrzebne jest mądre przygotowanie się do inwestycji. Najważniejsze jest wykonanie rozpoznania geotechnicznego tak, by w odpowiedni sposób można było dokonać optymalizacji w zakresie projektowania fundamentów. Odpowiednia głębokość posadowienia pali, ich średnica, właściwa ilość zbrojenia czy zastosowanie mieszanki o obniżonej emisyjności, to

Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

- ☑ **jakie korzyści daje budowa farm wiatrowych,**
- ☑ **jakie rozwiązania fundamentowe na lądzie i w wodzie można zastosować przy budowie fundamentów infrastruktury elektrowni wiatrowych,**
- ☑ **czy możliwe jest zastosowanie betonu o obniżonej emisyjności do wykonania infrastruktury OZE.**

wszystko wpływa na to, czy na koniec procesu budowlanego daną realizację będziemy mogli nazwać „zieloną”. Mniejsza ilość materiału wbudowanego do fundamentów, czy odpowiednio dobrana technologia są w stanie dać nam korzyści dla środowiska, jednak na decyzję o ich zastosowaniu mają wpływ warunki gruntowe i konsultacja ze specjalistami.

FUNDAMENTY DOSTOSOWANE DO PODŁOŻA, ALE RÓWNIEŻ SIŁĘ WIATRU

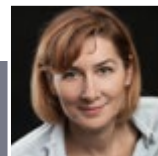
Elektrownie wiatrowe to konstrukcje generujące w swoich fundamentach zarówno siły pionowe wciskające i wrywające, jak i poziome oraz momenty wywracające i skręcające. W przypadku gruntów nośnych w podłożu wystarczające jest posadowienie bezpośrednie i odpowiedniej wielkości fundament – tłu-

maczy Urszula Tomczak, Główny projektant i ekspert, Soletanche Polska. Farmy wiatrowe lokalizowane są jednak w różnorodnym terenie często także blisko zbiorników wodnych. Stąd też poniżej poziomu posadowienia mogą znajdować się grunty o zbyt małej nośności

(grunty organiczne, miękkoplastyczne i plastyczne grunty spoiste, luźne piaski) lub położenie warstw jest zmienne w obrębie jednego obiektu. Dla elektrowni wiatrowej bardzo duże znaczenie ma równomierne osiadanie fundamentu. W celu wyrównania osiadania

■ URSZULA TOMCZAK

Główny projektant i ekspert Soletanche Polska



Absolwentka Politechniki Warszawskiej, gdzie kształciła się na wydziale Inżynieria Lądowa w specjalności Mosty i Budowle Podziemne. Jest wykładowcą Politechniki Warszawskiej oraz głównym ekspertem w firmie Soletanche Polska, z którą jest związana od 2004 roku. Brała udział w realizacji takich projektów, jak np.: suchy wykop dla Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku – kotwione ściany szczelinowe, betonowy korek, mikropale kotwiące, Warsaw Spire w Warszawie – kotwione ściany szczelinowe, Trasa WZ w Łodzi – ściany szczelinowe jako mury oporowe i podpory dla linii tramwajowej, KTW w Katowicach – kotwione ściany szczelinowe oraz barety jako posadowienie pośrednie części wysokiej budynku.

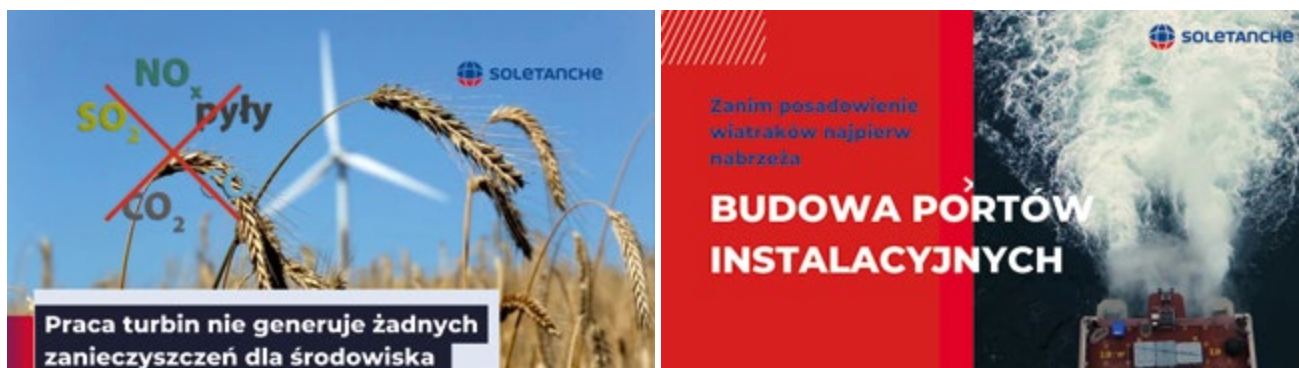
■ MICHAŁ ZORZYCKI

Kierownik Zespołu Projektowego, Soletanche Polska



Absolwent kierunku Geotechnika i Budownictwo Specjalne na wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Zawodowo od 14 lat jest związany z geotechniką – pracuje w firmie Soletanche Polska na stanowisku Kierownika Zespołu Projektowego. Posiada uprawnienia projektowe oraz do kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń. Na co dzień, oprócz kierowania zespołem projektowym zajmuje się projektowaniem oraz wsparciem budów. Aktualnie jest zaangażowany w projekt stacji Śródmieście tunelu średnicowego w Łodzi, projekt palowania i obudów wykopów w projekcie Rozbudowa Kompleksu Olefin dla PKN Orlen, a także projekt obudów wykopów komór i obiektów liniowych na potrzeby Budowy Kolektora Wiślanego w Warszawie.





szczególnie w miejscu występowania gruntów słabonośnych lub upadu warstw nośnych w rejonie jednego obiektu należy zastosować posadowienie pośrednie fundamentu. Tutaj idealnym rozwiązaniem są pale fundamentowe zazwyczaj umieszczone obwodowo pod fundamentem, zbrojone najczęściej na całej długości ze względu na siły wyciągające – podkreśla.

BOOM NA FARMY WIATROWE NA ŁĄDZIE

Firma Soletanche doświadczenie w realizacji fundamentowania pod turbiny wiatrowe zdobywała jeszcze w okresie pierwszego boomu na budowę tego rodzaju alternatywy dla paliw kopalnych. Jedną z pierwszych realizacji była budowa farmy wiatrowej „Lotnisko” w Gminie Wicko w okolicach Kopaniewa (powiat łęborski). Inwestycja zrealizowana została z sukcesem. Obecnie pracuje tam ok. 30 turbin o mocy 3 MW każda. Pierwszym

etapem prac przed rozpoczęciem inwestycji, było wykonanie rozpoznania podłoża i wybranie projektanta z odpowiednim doświadczeniem do zaprojektowania posadowienia obiektów. W górnej części profilu gruntowego znajdują się grunty słabe – plastyczne gliny, głębiej grunty nośne wykształcone w postaci średnio zagęszczonych i zagęszczonych piasków oraz twar doplastycznych glin. Zmienność przekrojów gruntowych wymagała kompleksowej analizy inżynierskiej w celu zapewnienia odpowiedniej nośności i sztywności posadowienia. Technologie każdorazowo dobierano ze względu na lokalne warunki gruntowo-wodne. Dla 30 elektrowni wiatrowych zaprojektowano pale CFA o średnicach 400 mm i 600 mm i długościach od 8 do 14 m oraz pale Screwsol o średnicy 330/500 mm i długości od 5 do 9,5 m. Na rysunku poniżej przedstawiono przykładowy układ pali obwodowych zaprojektowanych w dwóch rzędach: 30 pali po obwodzie i dodatkowo 10 sztuk bliżej środ-

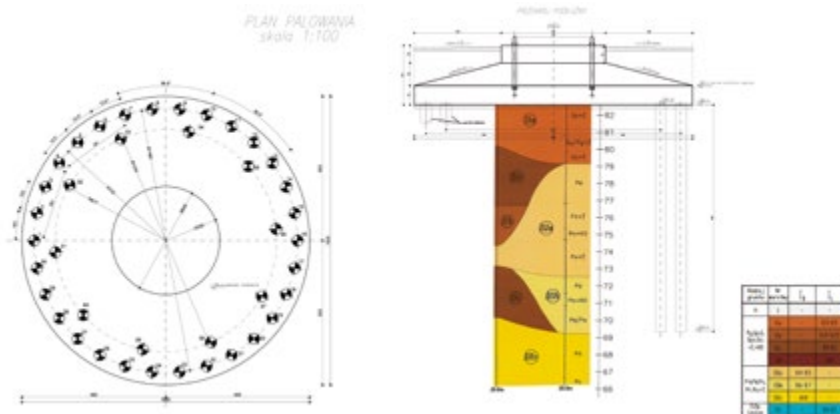
ka elektrowni dla fundamentu kołowego o średnicy 16 m. Kolejnym zagadnieniem jest wielkość samego fundamentu. Nawet w warunkach gruntów nośnych posadowienie na palach i przejście przez nie całości lub części obciążeń pozwala na redukcję wymiarów samego fundamentu i co za tym idzie optymalizację kosztów.

ABY OSIĄGNĄĆ CELE KLIMATYCZNE ZWIĄZANE Z DEKARBONIZACJĄ, POTRZEBNA JEST BUDOWA FARM WIATROWYCH NA MORZU I ŁĄDZIE

Rozwój farm wiatrowych na Bałtyku ma generować moc 11 GW do 2040 roku, ale potencjał wybrzeża szacowany jest nawet na ponad 30 GW. Niestety, rozwój farm wiatrowych na lądzie jest konsekwentnie ograniczony przez ustawodawcę. Według szacunków Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej (PSEW), poprawka „700 metrów” uniemożliwi realizację nawet 84% planowanych inwestycji na lądzie. Jakie rozwiązania mogą pomóc w rozwoju energetyki wiatrowej? Farmy na morzu są dużo bardziej wydajne, ale znacznie droższe w budowie, utrzymaniu i serwisowaniu. Warto zatem pomyśleć o tym, jak ograniczyć koszty związane z budową i eksploatacją infrastruktury towarzyszącej (instalacyjnej oraz serwisowej).

NIE ŻAŁUJ CZASU I FUNDUSZY NA ROZPOZNANIE GEOTECHNICZNE

Niezależnie od tego, czy budujemy nowy obiekt, czy też przebudowujemy zastaną infrastrukturę – jedno jest pewne. Musimy zacząć od dobrego rozpoznania gruntu oraz historii miejsca, w którym planujemy



RYS. 1. | Przykładowy rzut płyty fundamentowej z palami fundamentowymi w dwóch obwodach
RYS. 2. | Przekrój fundamentu elektrowni wiatrowej z lokalizacją pali oraz układem warstw geologicznych

inwestycję. Warto wiedzieć, co z tym terenem wcześniej się działo. Jeżeli mamy do czynienia z istniejącą infrastrukturą po nabrzeżu, marinie lub w porcie musimy dodatkowo sprawdzić jaki jest stan konstrukcji. Szczegółowe wykonanie pierwszego punktu, w przyszłości pozwoli na konkretną optymalizację rozwiązania oraz osiągnięcia korzyści – zarówno dla inwestora, jak i dla środowiska.

NIE ZAWSZE PRZEBUDOWA JEST TAŃSZA OD BUDOWY NOWEJ INSTALACJI

Wszystko zależy od tego, jakie przeznaczenie będzie miała nowa konstrukcja. Przykładowo jakie wartości osiągną zmienne obciążenia i czy nośność istniejącej konstrukcji jest wystarczająca. Jeżeli tak jest, to modernizacja będzie stosunkowo niewielka. Jeśli jednak zastane zabudowania wymagają istotnego wzmocnienia fundamentów, wówczas dobrze sprawdzi się miks technologii. W tym przypadku zaprocentuje dokładne rozpoznanie geotechniczne, które pozwoli projektantowi na rozważenie wielu różnorodnych technologii i dobór optymalnego rozwiązania. Optymalnego, czyli takiego, które oznacza przeniesienie zmodyfikowanych obciążeń przy wbudowaniu jak najmniejszej ilości materiałów, ale z zachowaniem bezpiecznych warunków użytkowania i nośności. Biorąc pod uwagę to, że na naszym wybrzeżu jest sporo obiektów hydrotechnicznych, takich jak porty czy nabrzeża przeładunkowe, które można z powodzeniem przebudować, scenariusz z przebudową jest wielce prawdopodobny.

W warunkach nadmorskich często występują znaczne warstwy gruntów organicznych, które nie pozwalają na posadowienie bezpośrednio. Z uwagi na zwiększenie dopuszczalnych obciążeń na nabrzeżu oraz niepewność geotechniczną związaną z występowaniem gruntów organicznych, nabrzeże należy wzmocnić. Ponadto zastana infrastruktura to zazwyczaj betonowe płytkie nabrzeże, które służy jedynie do cumowania łodzi. Należy je dostosować do nowej infrastruktury i zwiększonych obciążeń. Zmiana na przystań serwisową dla elektrowni

wiatrowych wymaga powstania budynków biurowych oraz miejsc składowania np. podzespołów wiatraków czekających na transport na pełne morze. Analiza geotechniczna oraz kalkulacja kosztów wykazała, że najlepszym rozwiązaniem jest wykonanie nabrzeża na płycie fundamentowej pośrednio podpartej mikropalami. Takie rozwiązanie pomoże zachować istniejącą infrastrukturę i tylko nieco ją nadbudować. To zaoszczędzi czas i pieniądze.

Przykładem ciekawej modernizacji jest realizacja jaką wykonał zespół ForShore by Soletanche Bachy (oddział dedykowany do realizacji projektów związanych z budową infrastruktury morskiej) w porcie Saint Louis du Rhone, we Francji. Projekt ten obejmował modernizację przepustowości istniejącego nabrzeża w celu ułatwienia transportu i montażu turbin na potrzeby programu morskiej energii wiatrowej we Francji.

Zakres obejmował utworzenie dziesięciu miejsc cumowniczych oraz wzmocnienie miejsc składowania i montażu turbin. Modernizacja obejmowała wykonanie dwóch belek żelbetonowych na palach pod sunnicę. Zastosowano pale wiercone w technologii CFA o średnicy 820 mm i długości od 30 do 35 metrów. Strefa magazynowania została wzmocniona poprzez zainstalowanie siatki inkluzji betonowych z materacami rozpraszającymi w celu rozłożenia obciążeń. 10 punktów cumowniczych zbudowano z żelbetonowych bloków posadowionych również na palach CFA.

W przypadku braku możliwości wykorzystania istniejącej ściany nabrzeża rozwiązaniem konkurencyjnym i proekologicznym jest ściana szczelinowa. Wymaga ona jedynie lokalizacji w istniejącym lub usypanym terenie.

ŚCIANA SZCZELINOWA JAKO FUNDAMENT NABRZEŻA – TO ROZWIĄZANIE JEST ŚWIATOWYM TRENDEM

Dobrym przykładem projektu z wykorzystaniem tej technologii jest budowa ściany nabrzeża dla ciężkich ładunków o zanurzeniu 11,5 m i nabrzeżu o nośności 300kPa i długości 200 m, którą wykonała w porcie



La Nouvelle ForShore by Soletanche Bachy.

Soletanche zaproponowało zmianę rozwiązania w technologii combi-wall na technologię ścian szczelinowych. Rozwiązanie to wygrało z uwagi na niższy koszt, szybszą realizację i mniejsze ryzyko w przypadku napotkania kolizji w gruncie. Zaprojektowano ściany szczelinowe grubości 1,0 m i głębokości 40 m. Dodatkowo, posadowienie nabrzeża zmieniono z kolumn żwirowych na inkluzje betonowe pozwalające na bardziej efektywne posadowienie oraz oszczędności czasowe i finansowe.

Należy też wspomnieć, że miejsce pracy znajdowało się na obszarze Natura 2000 i przylegał do niego rezerwat przyrody. Wymagana była ścisła ochrona roślin i zwierząt lagunowych. Należało opracować i realizować plan monitoringu jakości wody, a na budowie został zatrudniony pełnoetatowy ekolog i kierownik ds. środowiska. Prace zostały ukończone w 2022 roku.

Chcę zwrócić uwagę na pewien panujący stereotyp, mówiący o tym, że nabrzeża mu-



w technologii ścian szczelinowych w Polsce – powiedział podczas konferencji Budowa Farm Wiatrowych Michał Zorzycki, kierownik zespołu projektowego Soletanche Polska.

ZIELONA ENERGIA TO RÓWNIEŻ OKAZJA DO OCHRONY ŚRODOWISKA W TRAKCIE REALIZACJI

Krótszy termin wykonania i mniejsze zużycie materiałów to elementy wpływające na zmniejszenie śladu węglowego. Istnieje także możliwość wykorzystania do realizacji prac w środowisku morskim proekologicznej mieszanki betonowej, której recepturę przygotowało laboratorium we Francji. Exegy by Soletanche Bachy to trzy rodzaje mieszanki: nisko emisyjnej, bardzo nisko emisyjnej i ultra nisko emisyjnej. Na ślad węglowy betonu głównie wpływa cement. Jest odpowiedzialny za 85% emisji CO₂, chociaż stanowi tylko 12% składu betonu. Powodem jest klinkier – składnik wytwarzany w procesie wypalania wapienia i gliny. Aby zmniejszyć emisję dwutlenku węgla, oczywiste jest zmniejszanie udziału klinkieru w cemencie. W realizacjach z wykorzystaniem technologii ścian szczelinowych z powodzeniem możemy zastosować połączenie skrócenia czasu realizacji oraz wykorzystania betonu o obniżonej emisyjności w służbie budowy elektrowni OZE.

Jesteśmy przekonani, że holistyczne podejście do obniżenia wpływu człowieka na środowisko, powinno łączyć wykorzystanie odnawialnych źródeł energii z wykonaniem infrastruktury do jej poboru, w taki sposób, aby obniżyć ślad węglowy w czasie procesu budowlanego. |

szą być wykonywane w technologii ścianek szczelnych czy ścianek kombinowanych. Doświadczenia Soletanche na świecie pokazują, że wykonywanie ścian nabrzeża w technologii ścian szczelinowych w wielu przypadkach jest szybsze, tańsze i bardziej ekologiczne.

W Polsce, o ile wiem, nie wykonano ani jednej ściany nabrzeża w technologii ścian szczelinowych. Chciałbym Państwu przedstawić tabelę porównawczą dla jednej z inwestycji na Pomorzu Zachodnim, gdzie proponowaliśmy rozwiązanie w technologii ścian szczelinowych. Jak możecie Państwo zaobserwować, najważniejsze elementy na które w Polsce zwraca się uwagę, czyli czas i cena, a także to na co niestety dopiero zaczynamy zwracać uwagę, czyli ochrona środowiska, przemawiały za ścianą szczelinową. Ostatecznie jednak wybrano technologię

combi-wall, a powód był prozaiczny – tak było w rozwiązaniu bazowym.

Rozumiem, że rozwiązanie bazowe może się wydawać bardziej bezpieczne, ponieważ jest znajome i powszechnie używane na polskim rynku. Zapewniam jednak, że wykonanie nabrzeża w technologii ścian szczelinowych nie jest nowością. Na świecie jest to mocny trend i tam, gdzie jest to możliwe i opłacalne, korzysta się z technologii ścian szczelinowych.

W przypadku, gdy spodziewamy się, że w gruncie pojawią się kamienie, wykonanie ściany combi-wall może nie być technicznie wykonalne, natomiast chwytak wykonujący ściany szczelinowe po prostu wyciągnie kamienie i wykona zadanie bez większego uszczerbku czasowego. Mam nadzieję, że w najbliższym czasie będziemy mieć okazję zaprojektować i wykonać nabrzeże

		ściana szczelinowa rozwiązanie Soletanche	ścianka szczelna rozwiązanie bazowe
ilość stali	tony	1479,00	5164
ilość betonu	m ³	15786,00	-
czas realizacji	miesiące	5,00	7,00
cena	mIn	20 102,00	32 709,00
zużycie CO ₂	tony	8398,34	9811,60

TAB. 1. | Tabela porównawcza dwóch rozwiązań – combi-wall vs ściana szczelinowa