

Właściwości podłoża gruntowego jako czynnik determinujący proces inwestycyjny farmy wiatrowej

Dr inż. Maciej Niedostatkiwicz, mgr inż. Tomasz Majewski, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

1. Wprowadzenie

Prowadzenie robót budowlanych bez dokumentacji projektowej oraz wymaganych prawem uzgodnień i pozwoleń, jak również ich realizacja przez wykonawców nie posiadających elementarnej wiedzy technicznej z zakresu budownictwa bardzo często są przyczynami powstawania w obiektach budowlanych stanu przedawaryjnego awarii, a czasami mogą doprowadzić do powstania katastrofy budowlanej [1]. Przyczyną usterek i uszkodzeń elementów konstrukcyjnych jest również niska jakość dokumentacji projektowej, w tym brak należytej staranności w zakresie rozpoznania podłoża gruntowego [2]. Sytuacja ta jest szczególnie istotna w przypadku wielkogabarytowych fundamentów pod obiekty inżynierskie. Usuwanie usterek i uszkodzeń fundamentów, polegające na ich wzmocnieniu, wzmocnieniu podłoża grutowego lub też wykonaniu obu tych czynności jednocześnie są działaniami kosztochłonnymi, ponadto bardzo często wstrzymują ciągłość realizacji procesu inwestycyjnego i skutkują poważnymi utrudnieniami organizacyjnymi [3]. Celem artykułu jest przedstawienie negatywnego wpływu usterek i uszkodzeń pojedyncze-

go fundamentu kołowego pod wieżę turbiny wiatrowej na ciągłość realizacji procesu inwestycyjnego całej farmy wiatrowej. W artykule opisano zaproponowany sposób usunięcia występujących usterek i uszkodzeń fundamentu kołowego.

2. Dane ogólne

Fundament przewidziany do użytkowania jako posadowienie wieży turbiny elektrowni wiatrowej o wysokości 85 m zaprojektowany został jako kołowy, schodkowy, złożony z trzech nałożonych na siebie pierścieni: dolnego (najniższego) o średnicy 2400 cm i zmiennej wysokości od 80 do 135 cm, środkowego o średnicy 1465 cm i zmiennej wysokości od 55 do 120 cm oraz górnego (najwyższego), którego średnica wynosiła 535 cm o stałej wysokości 45 cm. Dokumentacja projektowa przewidywała wykonanie fundamentu z betonu klasy B30. W dniu wykopu przyjęto wykonanie poduszki z tzw. „chudego” o grubości 10 cm. Zbrojenie fundamentu zaprojektowano ze stali klasy A-II (18G2). Realizowany wiatrak stanowił element 24-wiatrakowej farmy wiatrowej. Usterki i uszkodzenia wystąpiły tylko w jed-



Rys. 1. Fundament wieży turbiny wiatrowej: a) widok ogólny, b) stan fundamentu po zalaniu wodą gruntową

nym fundamencie. Uszkodzony fundament zrealizowany został zgodnie z założeniami projektowymi. Z chwilą zakończenia betonowania fundamentu w dwóch miejscach na powierzchni dolnego pierścienia stwierdzono występowanie wycieków wody. W każdym miejscu średni wydatek wypływu wynosił $\approx 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Po wystąpieniu usterek i uszkodzeń wykonano dodatkowe badania podłoża gruntowego oraz pomiary geodezyjne osiadania fundamentu.

3. Opis usterek i uszkodzeń fundamentu wieży turbiny wiatrowej

Bezpośrednio po zakończeniu betonowania fundamentu na górnej powierzchni dolnego pierścienia pojawiły się wycieki wody (rys. 1). Stan wody ustabilizował się na poziomie wierzchu pierścienia dolnego. W trakcie oględzin fundamentu nie stwierdzono widocznych pęknięć lub zarysowań na pozostałych górnych powierzchniach pierścienia fundamentu.

4. Analiza stanu technicznego fundamentu

W celu określenia klasy betonu wbudowanego w fundament oraz spadku wytrzymałości na ściskanie w miejscach uszkodzonych pobrano do badań próbki betonu w formie odwiertów rdzeniowych (rys. 2). Klasa wytrzymałości betonu określona została zgodnie z zaleceniami obowiązującej normy PN-EN 13791:2008 [4] oraz dodatkowo według norm PN/B-06250:1988 [5] oraz PN EN 206-1:2003 [6]. Uzyskane wyniki wykazały, że wbudowany w konstrukcję fundamentu beton w miejscu nie uszkodzonym (rdzeń nr 2: $f_{ci,lowest} = 35,1 \text{ MPa}$) spełniał wymagania klasy B30 dla normy [5] oraz wymagania klasy C25/30 dla normy [6], co było zgodne z założeniami projektowymi. Jednocześnie w miejscach uszkodzonych (rdzeń nr 1: $f_{ci,lowest} = 24,8 \text{ MPa}$ oraz rdzeń

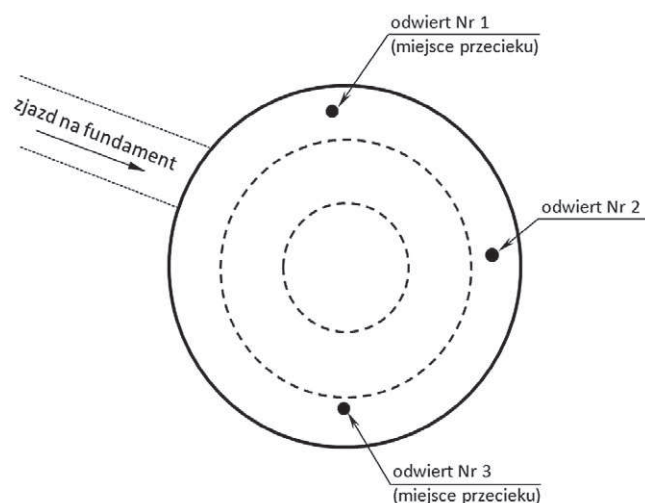
nr 3: $f_{ci,lowest} = 20,4 \text{ MPa}$) nastąpiło lokalne osłabienie betonu związane z wypłukaniem zaczynu cementowego i spadkiem wytrzymałości na ściskanie. W pobranym rdzeniu nr 1 beton spełniał wymagania klasy B20 według [5] oraz C16/20 według [6], w rdzeniu nr 3 odpowiednio B15 według [5] i C16/20 według [6]. Wykonane badania potwierdziły, że beton w miejscach przecieków miał zaniżoną wytrzymałość w stosunku do wymagań określonych w dokumentacji projektowej.

W pobranych rdzeniach stwierdzono pręty zbrojenia głównego i rozdzielczego o średnicy 16 mm, 20 mm oraz 25 mm. Na podstawie kształtu i rozkładu żeber na powierzchni prętów stwierdzono, że wykonane zostały ze stali RB500 co odpowiada klasie stali A-III N. Rodzaj zastosowanego w konstrukcji fundamentu zbrojenia był rozbieżny z przyjętym w dokumentacji projektowej. Zmiana klasy zbrojenia (z A-II na A-III N, to jest zamiana na stal o wyższej wytrzymałości) nie miała wpływu na zakres występujących uszkodzeń, zwiększała jednak nośność fundamentu na zginanie w poszczególnych przekrojach.

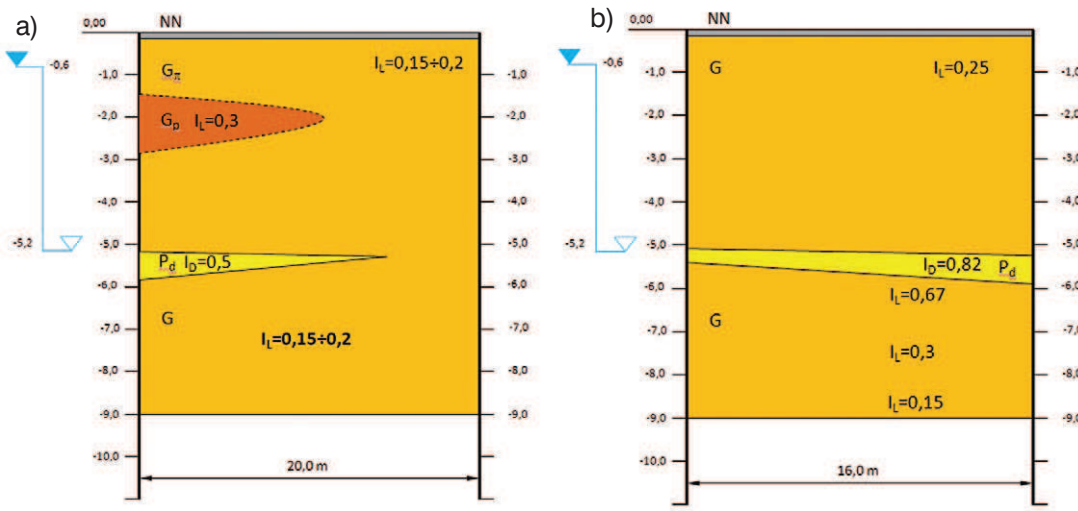
Bezpośrednią przyczyną usterek fundamentu objętego opracowaniem było wadliwe rozpoznanie warunków gruntowych w stosunku do przyjętych w projekcie. Parametry podłoża gruntowego określone zostały w dokumentacji projektowej na podstawie wykonanych dwóch otworów wiertniczych do głębokości 9,0 m każdy, w odległości $\sim 10 \text{ m}$ od fundamentu. Nie wykonano sondowań podłoża gruntowego. Parametry wytrzymałościowe gruntu przyjęte zostały na podstawie dostępnej literatury [7]. Po wykonaniu wykopu na spąg pozostałej warstwy twardoplastycznych glin działały siły wyporu wody. Pozostawienie jej na okres kilku dni bez zabezpieczenia spowodowało powierzchniowe jej wyschnięcie i spękanie. W trakcie betonowania warstwa ta została w sposób nagły dociążona świeżo ułożoną mieszanką betonową, w wyniku czego nastąpiło lokalne uwodnienie się gliny pod fundamentem (do stanu miękkoplastycznego i płynnego). Działający wypór wody gruntowej doprowadził do wyłamania dna wykopu, co w geotechnice określa się jako przebicie hydrauliczne.

5. Sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Wartości obciążeń zewnętrznych (ciężar wieży oraz turbiny elektrowni wiatrowej) przyjęto na podstawie tzw. kart katalogowych producenta turbiny. W obliczeniach sprawdzone zostały normowe warunki: nośności podłoża pod fundamentem, stateczności fundamentu na obrót i na przesuw oraz jego osiadania. Obliczenia fundamentu wykonano dla dwóch przypadków warunków gruntowo-wodnych: projektowych przyjętych w dokumentacji projektowej (rys. 3a) oraz rzeczywistych przyjętych na podstawie dodatkowych badań terenowych (rys. 3b). W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano wyniki, które wskazywały na spełnienie warun-



Rys. 2. Lokalizacja miejsc pobrania rdzeni do badań betonu



Rys. 3. Charakterystyka podłoża gruntowego w obszarze uszkodzonego fundamentu na podstawie: a) projektu budowlanego (dokumentacja projektowa), b) dodatkowych badań

ków normowych zarówno dla stanu projektowanego, jak również dla stanu rzeczywistego.

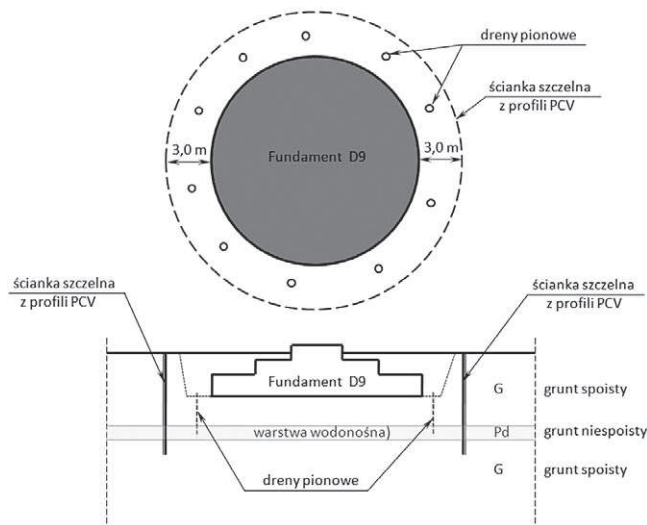
6. Rozwiązanie projektowe usunięcia usterek i uszkodzeń fundamentu

Zakres zaproponowanych prac związanych ze wzmocnieniem podłoża gruntowego oraz konstrukcji fundamentu obejmował:

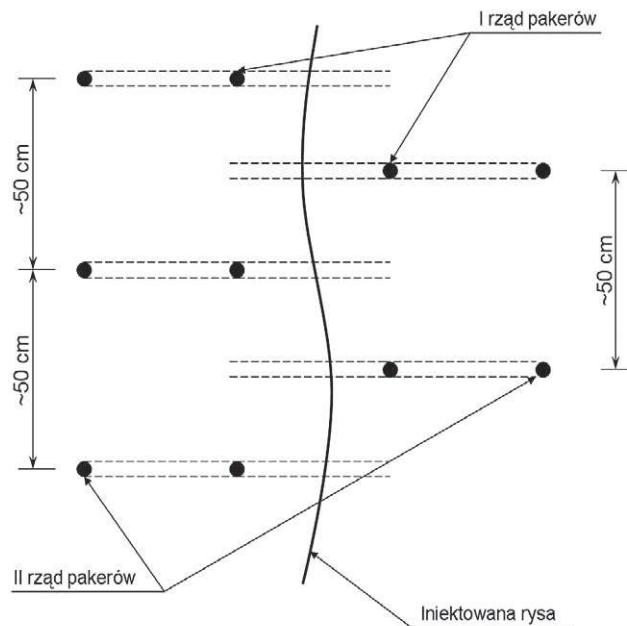
- wykonanie ścianki szczelnej z profili PCV w odległości ≈ 300 cm od krawędzi dolnego pierścienia fundamentu. Zgłębienie profili PCV w warstwie nieprzepuszczalnej przyjęto szacunkowo ≈ 100 cm poniżej spągu warstwy wodonośnej (piasku) (rys. 4),
- wykonanie pionowych drenów odwadniających tzw. igłofiltrów w odległości ≈ 150 cm od krawędzi dolnego pierścienia fundamentu, umożliwiających odprowadzenie wody z przestrzeni pomiędzy profilami PCV a bryłą fundamentu. Dla przyspieszenia obniżania poziomu wody

gruntowej przy jednoczesnym zachowaniu stateczności fundamentu na obrót, konieczne było okresowe kontrolowanie ilości pompowanej wody (rys. 4),

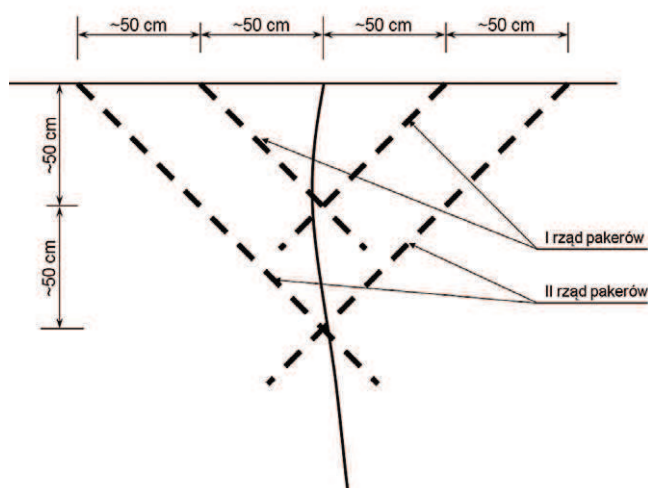
- po odprowadzeniu wody z wykopu rozpoczęcie prac związanych z uszczelnieniem żelbetowej konstrukcji fundamentu za pomocą iniekcji wysokociśnieniowej. Uszczelnienie należało wykonać wokół rys na powierzchni fundamentu oraz w miejscu występujących przecieków. Rysy należało wypełnić żywicą poliuretanową, a w przypadku stwierdzenia swobodnego przepływu wody przez rysę iniekcję żywicą poliuretanową należało poprzedzić iniekcją z pianki poliuretanowej, która spowodowałaby zahamowanie swobodnego przepływu wody przez rysy. Proponowany sposób rozmieszczenia pakerów iniekcyjnych na fundamencie pokazano na rysunku 5,



Rys. 4. Rozmieszczenia profili ścianki szczelnej z PCV oraz drenów pionowych wokół fundamentu (schemat)



Rys. 5. Rozmieszczenie pakerów iniekcyjnych wzdłuż rysy poziomej (schemat)



Rys. 6. Lokalizacja (kształt) trasy iniekcji ciśnieniowej wzdłuż rysy (schemat)

- po zakończeniu iniekcji wszystkie pakery należało usunąć, a górną powierzchnię fundamentu zabezpieczyć masą PCC. Miejsca po pobranych rdzeniach miały zostać wypełnione niskoskurczową zaprawą cementową typu PCC w sposób zabezpieczający przed wypchnięciem tej zaprawy przez działające ciśnienie wody. Wycięte fragmenty prętów zbrojenia górnego uzupełnione zostały nowym, przez ich zespawanie,
- po zakończeniu prac związanych ze wzmocnieniem podłoża gruntowego oraz fundamentu zalecano prowadzić kontrolne pomiary geodezyjne, z dokładnością do 0,2 mm, przez okres miesiąca w odstępach co 3 dni, a przez okres kolejnych 2 miesięcy co tydzień. Możliwe było przyspieszenie procesu rekonsolidacji podłoża gruntowego w czasie prac związanych z montażem ściany szczelinowej oraz montażem drenów pionowych poprzez wykonanie kontrolowanego balastowania fundamentu (dociążenia). Zastosowanie balastowania wymagało jednak wcześniejszego rozpoczęcia pomiarów geodezyjnych, już na etapie pompowania odsączania wody, w celu możliwości korekty ewentualnego nierównomiernego osiadania podłoża gruntowego.

Rozwiązaniem alternatywnym dla opisanego jest homogenizacja (zeskalenie) podłoża gruntowego pod fundamentem iniekcją cementową lub wykonanie dodatkowych pali. Rozwiązanie to wymaga jednak wykonania dodatkowej perforacji fundamentu dla przeprowadzenia iniekcji lub istotnego, rozległego rozkucia części fundamentu dla wykonania oczeputu i ostatecznie uznane zostały za niedoskonałe.

7. Podsumowanie

Bezpośrednio po zakończeniu betonowania kołowego, schodkowego fundamentu turbiny wiatrowej na powierzchni jego dolnego pierścienia, pojawiły się wycieki wody gruntowej. Zwiększające się w trakcie betonowania ciśnienie wody gruntowej doprowadziło do wyłamania dna wykopu, nastąpiło tzw. przebicie hydrauliczne dna wykopu. Woda przedostała się przez świeżą mieszankę betonową. Powstałe usterki były następstwem błędnego rozpoznania podłoża oraz wykonania projektu posadowienia fundamentu dla błędnie przyjętych warunków gruntowych. W trakcie prowadzenia robót nastąpiło upłynnienie gruntu pod fundamentem i zalanie dna wykopu wodą gruntową. Zmiana warunków gruntowych oraz uszkodzenia fundamentu pod wieżę turbiny wiatrowej spowodowały zaburzenie cyklu inwestycyjnego całej farmy wiatrowej i skutowały opóźnieniem w jej przekazaniu do użytkowania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Mitzel A., Stachurski W., Suwalski J., *Awaryjne konstrukcje betonowych i murowych*, Arkady, 1973
- [2] Traczyński K., *Konsekwencje niedostatecznego rozpoznania budowy podłoża gruntowego na przykładzie różnych inwestycji budowlanych realizowanych w Polsce*, Wykład podczas Konferencji XXVIII Warsztat Pracy Projektant Konstrukcji, Wisła 2013
- [3] Topolnicki M., *Ryzyko związane ze wzmocnieniem gruntu za pomocą kolumn o różnej sztywności*, Materiały Konferencji XXVIII Warsztat Pracy Projektant Konstrukcji, Wisła 2013, Tom II, s. 225–240
- [4] PN-EN 13791:2008 *Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych*
- [5] PN/B-06250:1988 *Beton zwykły*
- [6] PN EN 206-1:2003 *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
- [7] PN/B-3020:1981 *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*

www.przegladbudowlany.pl/archiwum



Archiwum od ręki
archiwalne spisy treści
na stronach www