



ANDRZEJ T. WOJTASIK, *andrzej.wojtasik@gtprojekt.pl*

Politechnika Poznańska & GT Projekt

MICHAŁ RÓŻAŃSKI, *michal.rozanski@gtprojekt.pl*

GT Projekt

## **AWARIA POSADOWIENIA OBIEKTU MOSTOWEGO W ZŁOŻONYCH WARUNKACH GRUNTOWO-WODNYCH**

### **BRIDGE FOUNDATION FAILURE DUE TO COMPLICATED GROUND AND WATER CONDITIONS**

**Streszczenie** W referacie opisano przykład powstania poważnej awarii posadowienia obiektu mostowego, budowanego w ciągu autostrady A2. Awaria powstała na skutek podjęcia błędnych decyzji odnośnie sposobu posadowienia obiektu inżynierskiego, w złożonych warunkach gruntowo-wodnych, z subartezyjską wodą gruntową. Autorzy, mając w pamięci podobne przypadki awarii posadowienia obiektów mostowych, przedstawiają szczegółowy opis warunków geotechnicznych, sposób posadowienia, oraz opis projektu i realizacji sposobu naprawczego.

**Abstract** This paper presents a case history of a serious foundation problem of a motorway bridge. The foundation has been designed on complicated ground conditions, with subartesian groundwater. Having in mind several similar cases, Authors present detailed description of ground conditions, designed foundation, and implemented technical solution.

#### **1. Wstęp**

W ostatniej dekadzie, budowy wielu odcinków dróg i autostrad, zostało w Polsce zrealizowanych kilkaset obiektów mostowych, od niewielkich obiektów do znaczących konstrukcji inżynierskich. Większość obiektów mostowych posadowiona jest w sposób pośredni, głównie na palach lub elementach palopodobnych. Warunki gruntowe w bezpośrednim sąsiedztwie cieków wodnych są zaliczane do złożonych lub skomplikowanych. W takich warunkach mogą wystąpić znaczące problemy związane z pracami fundamentowymi. Jednym z potencjalnych zagrożeń jest występowanie wód gruntowych pod znacznym ciśnieniem, subartezyjskim. Autorzy spotkali się z kilkoma przypadkami obiektów mostowych budowanych w ciągu autostrad A1, A2 i A4, gdzie prace związane z palowaniem spowodowały nagły i intensywny wypływ wód gruntowych wzdłuż pali.

Ciekawym przypadkiem awarii posadowienia jest niewielki obiekt mostowy budowany w ciągu autostrady A2. Na tym przykładzie pokazano zagrożenia wynikające z błędnych decyzji na etapie projektowania posadowienia, problemy realizacyjne oraz sposób postępowania naprawczego.

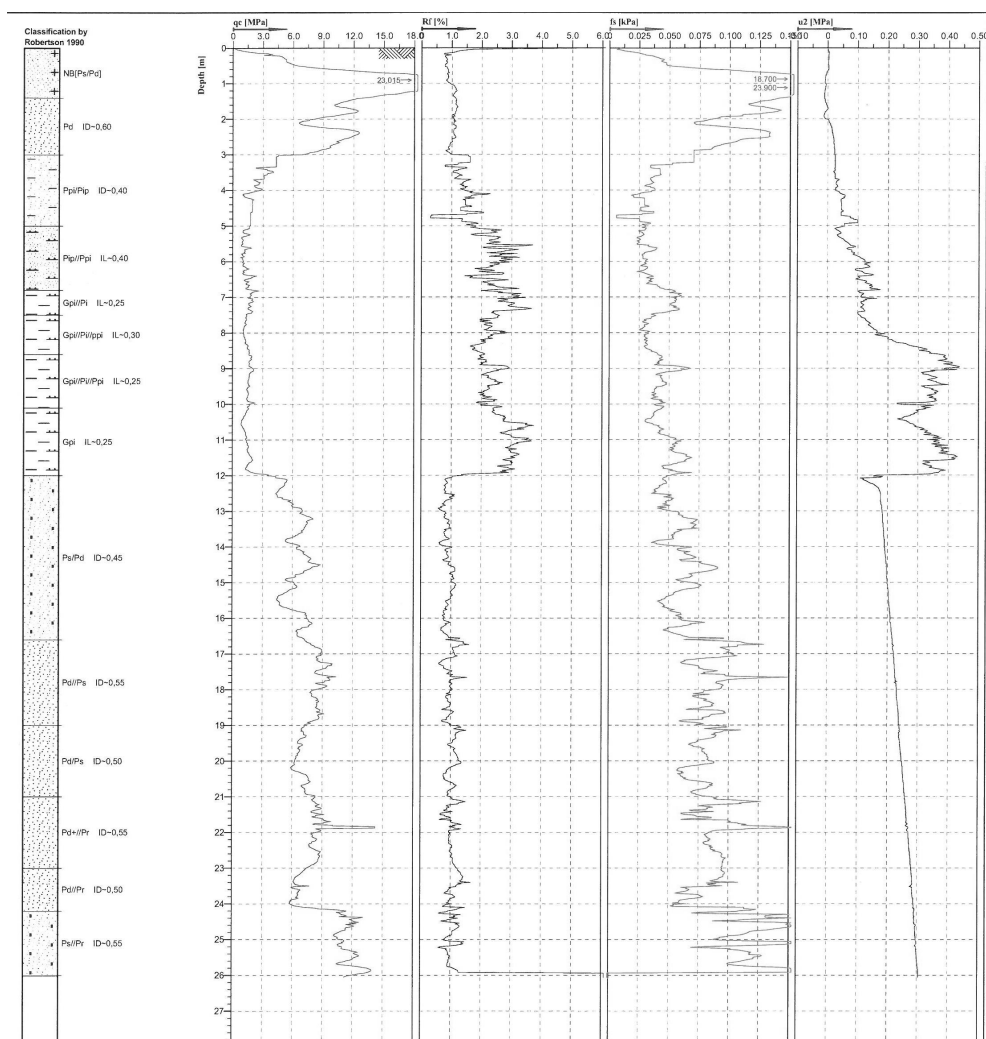
Przekrój podłużny przez obiekt mostowy pokazano na rysunku nr 1.



Druga warstwa wodonośna związana jest z plejstoceńskimi niespoistych osadami wodnolodowcowymi. Woda tego poziomu występuje w postaci napiętego zwierciadła pod ciśnieniem artezyjskim, gdzie warstwą napinającą są słaboprzepuszczalne warstwy osadów zastoiskowych (mułki). Nawiercone zwierciadło wody gruntowej występuje na głębokości około 12,0 m ppt.

Woda gruntowa, wg dokumentacji archiwalnej, stabilizowała się w przedziale głębokości od około  $0,01 \pm 0,60$  m ppt.

Podczas wykonywania uzupełniających badań geotechnicznych stwierdzono samowypływ wody gruntowej z archiwalnych otworów badawczych oraz wzdłuż wbitego pała, przeznaczonego do próbnego obciążenia. Na podstawie analizy wykresów CPTU stwierdzono naddatek ciśnienia hydrostatycznego na poziomie około +3,5 m nad poziomem terenu. W rejonie wypływu wód artezyjskich powstało duże prawdopodobieństwo rozluźnienia przypowierzchniowych warstw piasków.



Rys. 2. Sondowanie CPTU wykonane w obrębie podpory nr 2

### 3. Posadowienie obiektu mostowego

Opisana awaria posadowienia dotyczy obiektu mostowego, jednoprzęsłowego, o długości 15,50 m i rozpiętości teoretycznej przęsła 14,70 m. Konstrukcja ustroju niosącego składa się z prefabrykowanych belek Kujan o długości 15 m i wysokości 63 cm. Obiekt znajduje się w ciągu autostrady A2, nad niewielkim ciekim wodnym o szerokości koryta około 1,5÷2 m. Obiekt stanowi także zespolone przejście dla zwierząt średnich o wysokości min 3,5 m i szerokości 15,0 m.

Fundamenty przyczółków zaprojektowano w postaci ław o wysokości 1,0 m, na palach prefabrykowanych 40×40 cm i długości 13,0 i 19,0 m. W celu wykonania wykopu fundamentowego przewidziano wbicie ścianek szczelnych o długości 6,0 m.

### 4. Opis awarii posadowienia

Zaprojektowane posadowienie obiektu przewidywało wbicie pali prefabrykowanych o długości 17,0 m, które musiały przebić warstwę spoistych mułków stanowiących izolację od wód gruntowych o charakterze artezyjskim. Projekt zakładał posadowienie pali w zagęszczonych piaskach wodnolodowcowych. W dokumentacji projektowej wskazano, iż woda gruntowa w osadach piaszczystych (poniżej warstwy mułków) występuje w formie wody artezyjskiej co może w konsekwencji doprowadzić do rozluźnienia przypowierzchniowych warstw piasków.

W ramach standardowych działań przed rozpoczęciem prac palowych zostały wykonane dodatkowe badania sprawdzające, w wyniku których potwierdzono występowanie wód o ciśnieniu artezyjskim (szczególnie uwidocznili się to wypływem wody z miejsca sondowania przy podporze nr 2). Wynikiem wykonanych badań (sondowania CPTU) było wnioskowanie o zmianę sposobu posadowienia – na posadowienie w formie wzmocnienia objętościowego – wgłębnego mieszania z zaczynem cementowym – kolumny cementowo-gruntowe DSM. Proponowane rozwiązanie zakładało wykonanie kolumn do głębokości ok. 9,0 m bez konieczności przebijania warstwy gruntów spoistych stanowiących izolację od artezyjskich wód gruntowych.

Pomimo sugestii dotyczących zmiany posadowienia wykonano wbicie prefabrykowanych pali testowych, następstwem czego stwierdzono duży samowypływ wzdłuż pobocznic pali. Przy braku odpowiednich decyzji, projekt posadowienia był kontynuowany. Po wykonaniu całości prac związanych z palowaniem stwierdzono, iż na podporze nr 1 nie występuje samowypływ, natomiast w obrębie podpory nr 2 występuje ciągły, intensywny wypływ wody.

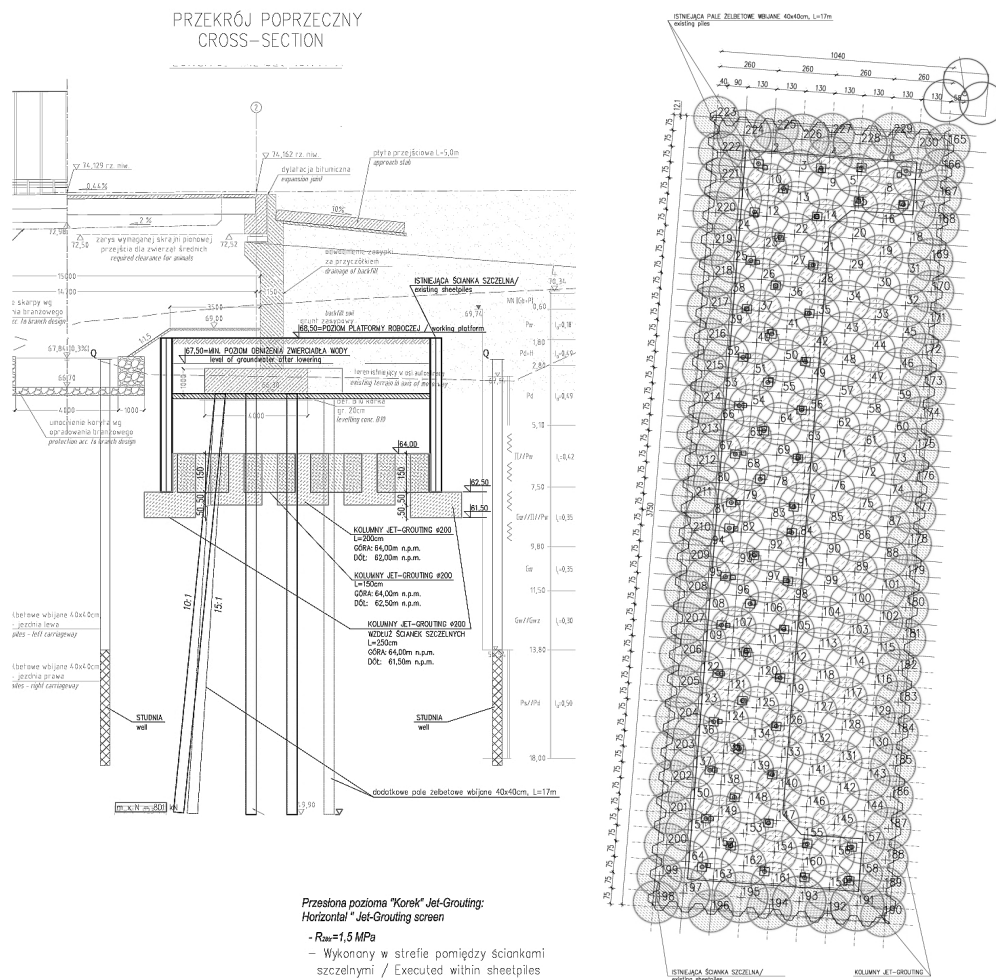
Po zakończeniu ww. prac przystąpiono do wykonania wykopów (w ścianie szczelnej). W zaistniałej sytuacji, wykop dla podpory nr 2 został całkowicie zalany, bez możliwości jego odpompowania przy intensywnym napływie wody gruntowej, co uniemożliwiło dalsze prace budowlane.

W tej sytuacji Wykonawca został zmuszony do podjęcia działań naprawczych oraz sporządzenia dodatkowych projektów: dodatkowego palowania, odwodnienia i obniżenia poziomu wód gruntowych, uszczelnienia i zabezpieczenia fundamentu oraz zamknięcia otworów studni odwadniających.

### 5. Zastosowane rozwiązanie naprawcze – projekt i realizacja

Po wykonaniu prac palowych, Generalny Wykonawca przystąpił do realizacji robót ziemnych, wykonane zostały wykopy fundamentowe oraz fundament podpór 1. W trakcie robót ziemnych w obszarze wygrodzonym ściankami szczelnymi podpory 2, napotkano istotne trudności z napływem i odprowadzeniem napływającej do wykopu (od spodu) wody





Rys. 4. Projekt przesłony poziomej – przekrój i rzut

Obniżenie poziomu wód gruntowych zostało zrealizowane za pomocą 4 studni o średnicy 30 cm, z wykorzystaniem pomp o wydajności  $60 \div 80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Obniżenie poziomu wód gruntowych zostało wykonane w sposób gwarantujący brak przepływu wód przez wykonywany korek cementowy.

Zaprojektowany korek cementowy, w technologii „jet-grouting”, w formie poziomej przesłony wykonany został poniżej poziomu wykopu, pod fundamentem podpory nr 2, na całej powierzchni komory wygradzonej ściankami szczelnymi. Przesłona pozioma została wykonana wewnątrz komory, spód korka zaprojektowano na głębokościach 1,5/2,0/4,10 m. Korek betonowy utworzono łącznie z 230 kolumn „jet-grouting”, z których 217 zaprojektowano o średnicy 2,0 m, 3 kolumny o średnicy 2,2 m oraz 10 kolumn o średnicy 2,40 m. Dla zapewnienia szczelności korka „jet-grouting”, zaprojektowano obwodowe kolumny „jet-grouting” (na styku ze ścianką szczelną) długości min. 4,10 m (podstawa kolumn „jet-grouting” znajduje się poniżej spodu ścianki szczelnej).

Rozstaw kolumn „jet-grouting” został dobrany w taki sposób, aby pola kolumn o średnicy 2,00 m tworzyły ciągłą bryłę wzmocnionego podłoża gruntowego, ściśle przylegającego do ścianki szczelnej wygradzającej wykop.

Zaprojektowany korek cementowy w technologii „jet-grouting” ma za zadanie odcięcie napływu i przepływu wody gruntowej wzdłuż pali, co mogłoby wpłynąć negatywnie na ich długoterminową nośność. Poza obszarem fundamentu nr 2, wygodzonym ściankami szczelnymi, zaprojektowano zainiektowanie starych otworów geotechnicznych powstałych podczas wykonywania badań gruntowych, w których stwierdzono wypływ wody gruntowej.

Zastosowania technologia jest mało wrażliwa na występowanie przewarstwień i innych niejednorodności gruntu oraz na występowanie przepływów filtracyjnych i umożliwia iniektowanie podłoża w kontrolowany sposób.

Jako medium iniekcyjne zastosowano zaczyn cementowy na bazie cementu hutniczego CEM III A 32,5 N.

Po zakończeniu prac związanych z uszczelnieniem fundamentu, studnie zostały kolejno zlikwidowane poprzez ich uszczelnienie i zamknięcie. Uszczelnienie zewnętrzne, na styku grunt – rura wiertnicza, każdej studni, wykonano za pomocą 3 kolumn „jet-grouting” o średnicy 200 cm. Następnym etapem było zalanie otworów studni betonem w odpowiednich domieszkami gwarantującymi szczelność i wytrzymałość.



Rys. 5. Wykonane pale testowe z widocznym samowypływem



Rys. 6. Wykonany wykop podpora nr 2 wypełniony wodą



Rys. 7. Wykop po wykonaniu korka cementowego w technologii „jet-grouting”



Rys. 8. Podpora nr 2 – betonowanie podpory

## 6. Podsumowanie i wnioski

W niniejszym artykule przedstawiony został przykład awarii budowlanej, która ujawniła się podczas prowadzenia prac fundamentowych. Prace budowlane zostały wstrzymane na okres kilku miesięcy w celu wykonania dodatkowych badań i analiz oraz opracowania niezbędnych projektów: odwodnienia, dodatkowego palowania, uszczelnienia całego fundamentu w technologii „jet-grouting”. Dodatkowe koszty związane z pracami naprawczymi przekroczyły znacznie planowane koszty budowy podpory. Czas realizacji prac budowlanych wydłużył się o ponad 6 miesięcy.

Przedstawiony przypadek awarii, posadowienia obiektu inżynierskiego, jest jednym z kilku podobnych przypadków mających miejsce podczas realizacji licznych projektów drogowych w Polsce. Zdobyte doświadczenia uczą, aby, na etapie prowadzonych analiz posadowienia i wyboru jego sposobu, jak również na etapie wykonawstwa prac fundamentowych, konsultować się z doświadczonymi geotechnikami.