

WYPARCIE ŚCIANKI SZCZELNEJ NA BUDOWIE JAZU W NURCIE RZEKI

Krzysztof Parylak, Grzegorz Antoniszyn

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Na rzece Nysie Kłodzkiej w mieście Nysie zaprojektowano trzyprzęsłowy jaz piętrzący wodę na potrzeby energetyczne. Dokumentacja projektowa nie zawierała przewidzianego Eurokodem 7 projektu geotechnicznego, a w tym badań podłoża gruntowego, spełniających wymagania III kategorii geotechnicznej. Wykonano jedynie niewystarczające wiercenia geologiczne i sondowania dynamiczne. W konsekwencji do projektu przyjęto niezgodny z rzeczywistością układ warstw i parametry geotechniczne niemogące być podstawą do poprawnego posadowienia i wykonania jazu. Nie wykazano także, że pod dnem szerokoprzestrzennego wykopu fundamentowego zamiast podanych w dokumentacji gruntów spoistych w stanie twardoplastycznym występowały tylko ich nieliczne przewarstwienia w sufozycznych piaskach drobnych i pylistych o miąższości ponad 4,5 m. Przyjęcie do projektowania tych nieprawdziwych cech podłoża spowodowało, że ściankę szczelną zakończono w piaskach zaledwie 2,5 m poniżej poziomu posadowienia jazu. W wykonywanym początkowo w żwirach, a następnie w warstwie gruntów spoistych wykopie na głębokości 7 m powstało przebicie hydrauliczne. Nastąpiło gwałtowne wyparcie dolnego końca ścianki, jej deformacja, a wykop zapełnił się sufozycznym gruntem. Spowodowało to także rozluźnienie podłoża pod zaprojektowanym fundamentem budowli.

Słowa kluczowe: badania geotechniczne, ścianki szczelne, przebicia hydrauliczne, awarie budowlane

WSTĘP

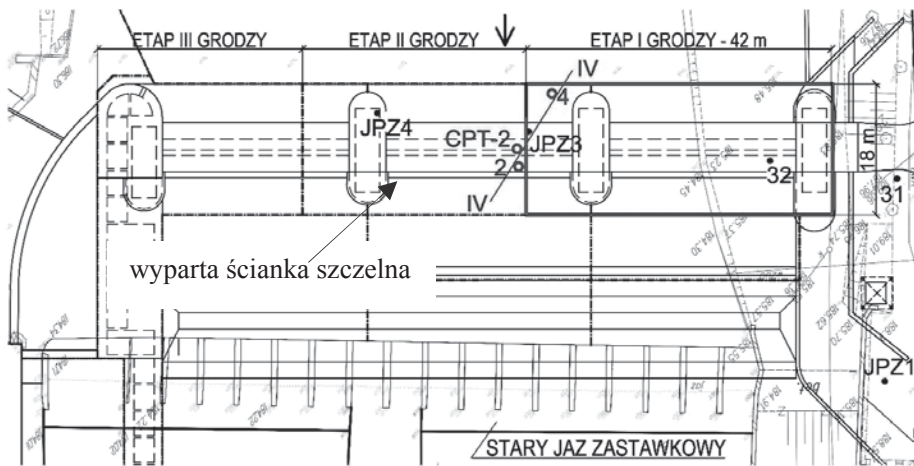
W trakcie realizacji wykopu budowlanego pod budowę jazu, wygrodnzonego ścianką szczelną w nurcie rzeki, w wyniku niewłaściwego rozpoznania geotechnicznego nastąpiło w dnie wykopu przebicie hydrauliczne poprzez wyparcie dolnego końca ścianki szczelnej. Spowodowało to zniszczenie umocnienia i zapełnienie wykopu gruntem.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Krzysztof Parylak, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Budownictwa, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław,
e-mail: krzysztof.parylak@up.wroc.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

Realizowany projekt budowlany nie został oparty na wymaganiach w tym przypadku projektu geotechnicznym, lecz jedynie na mającej inne zadanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, której zakres nie obejmował zadań przewidzianych w takiej dokumentacji. Nieuprawnione osoby wykonały także tzw. dokumentację geotechniczną, która nie wyczerpywała wymogów określonych w § 4 Rozporządzenia [1998]. Popołnione błędy były wynikiem realizacji zadań geotechnicznych przez osoby nieposiadające odpowiednich uprawnień budowlanych określonych w art. 12 Prawa budowlanego, w myśl którego zagadnienia te stanowią fachową ocenę zjawisk technicznych.

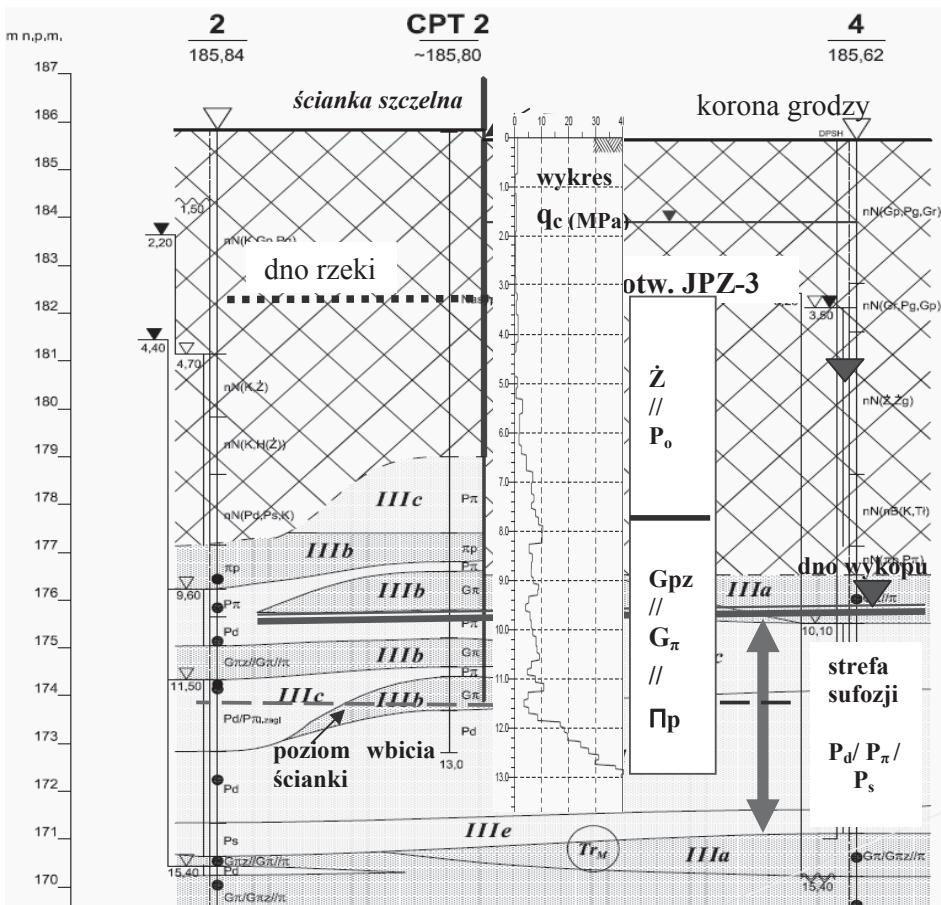
Skutkiem tego było przyjęcie przez projektanta podanych przez geologa nierzeczywistych parametrów geotechnicznych podłoża oraz głębinie wygrodnzonego ścianką szczelną w nurcie rzeki wykopu, będącego realizacją zadań I etapu budowy jazu (rys. 1).



Rys.1. Lokalizacja badań: JPZ3, 32 – wiercenia i sondowania dynamiczne wykonane przed awarią, 2, 4, – wiercenia wykonane po awarii, CPT-2 – sondowania CPT wykonane po awarii grodzy

Fig. 1. Location of field tests: JPZ3, 32 – borings and dynamics soundings for design of a new weir made in rivers bad before failure, 2, 4 – borings and dynamics sounding after failure, CPT-2 – CPT sounding after failure

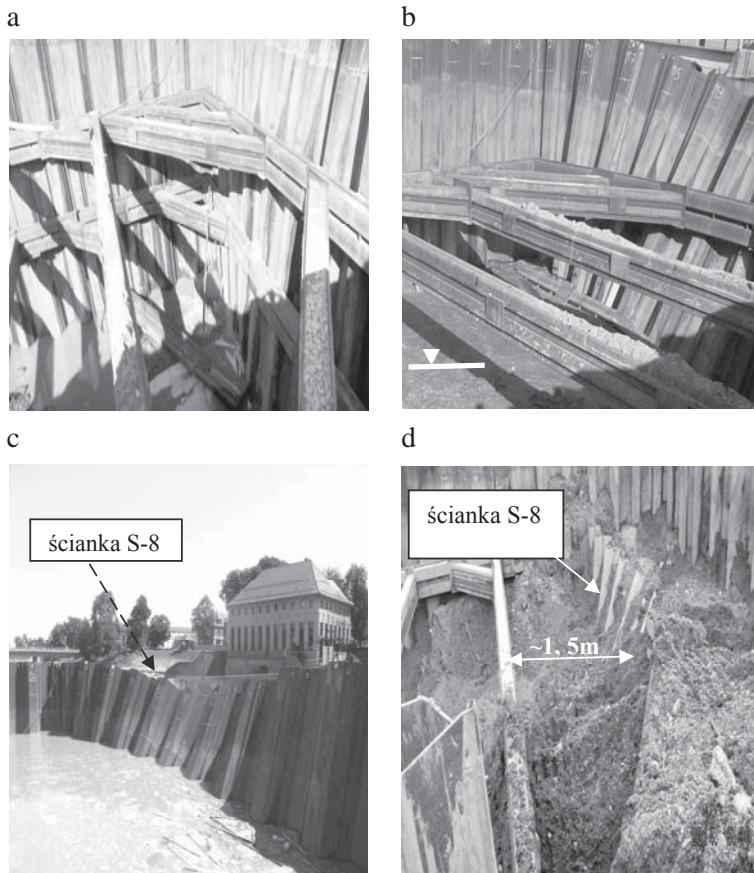
Bez wymaganych badań podano, że w otworze badawczym JPZ3 pod dnem wykopu występują nieprzepuszczalne grunty spoiste w stanie twardoplastycznym i półzwartym (rys. 2). Późniejsze wiercenia i sondowania wykonane po wystąpieniu awarii w dodatkowych miejscach 2, 4, CPT-2 [Dokumentacja z badań... 2013, Sprawozdanie z dodatkowego... 2014] wykazały tam obecność ponad 4-metrowej warstwy drobnoziarnistych gruntów niespoistych.



Rys. 2. Przekrój geotechniczny w miejscach badań jak na rys. 1: JPZ3 – profil z badań do celów projektowych

Fig. 2. The geotechnical cross-section as in plan in Fig. 1: JPZ3 – profile from tests for the design

Wobec tej nieświadomości w projekcie wykonawczym bez wymaganych obliczeń zastosowano umocnienie ścian wykopu o głębokości 7 m ścianką szczelną z grodzic G-62 wbitą do 11 m. W tej samej nieświadomości głębiono wykop, co spowodowało, że po naruszeniu około 1 m warstwy gliny pylastej w dnie wykopu wystąpiło przebicie hydrauliczne, zapoczątkowane w miejscu wadliwie zaślepionego odwiertu JPZ3. W wyniku tego przebicia następowało napełnianie wykopu wodą infiltrującą z nurtu rzeki i upłynnym gruntem, które po wyrównaniu się ciśnień zostało powstrzymane (rys. 3b).



Rys. 3. Etapy rozwoju awarii grodzy S-8: a – stan przed awarią; rozparcie grodziec poziomymi zastrzałami, b, c – zapełnianie wykopu nawodnionym gruntem i deformacja grodzy S-8, d – stan po awarii w nowo ubezpieczonym wykopie z odciętą zdeformowaną ścianką

Fig. 3. Stages of development of cofferdam S8 failure: a – the state before failure sheet piling supported by horizontal struts, b, c – filling the trench with liquefied soil and deformation of the sheet piling S-8, d – the state after the failure in the newly insured trench with deformed sheet piling

W nieświadomości dalszego zagrożenia zjawiskiem, zamiast szybkiego wprowadzenia drugiej zewnętrznej głębszej grodzy, wypompowywano napełniany wykop, w wyniku czego nastąpiło kolejne, tym razem gwałtowne rozmycie i wyparcie niewielkiej miąższości strefy oporu gruntu oraz wygięcie dolnego końca ścianki (rys. 4). Skutkiem tego było przeniesienie obciążeń na rozpory, częściowe porozrywanie spawanych połączeń ukośnych rozpór i wygięcie na znacznej szerokości kilkunastu grodziec (rys. 3c). Stan wykopu przed awarią i deformacje ścianki po jej wystąpieniu przedstawiono na rysunku 3.

OCENA POPRAWNOŚCI ROZPOZNANIA GEOTECHNICZNEGO

W realizacji badań na potrzeby ustalania geotechnicznych warunków posadowienia budowanego jazu nie zostały zachowane przez projektanta wymogi normy PN-EN 1997-1 i Rozporządzenia [1998]. Nawet w najmniejszym zakresie nie zostały zrealizowane badania spełniające wymagania obowiązującej w tym przypadku trzeciej kategorii geotechnicznej (tab. 1). Nie wykonano wymaganej liczby wierceń i sondowań położonych w zbyt dużych odległościach. Nie pobrano wymaganej liczby próbek i nie wykonano badań laboratoryjnych. Parametry geotechniczne określono dopuszczalną tylko dla pierwszej kategorii geotechnicznej metodą pośrednią na podstawie rodzajów stanów gruntów (I_L i I_D) [PN-B-3020:1981]. Jednakże i te parametry określono niewłaściwie.

Tabela 1. Zestawienie wykonanych badań z wymogami normy Eurokodu 7

Table 1. Comparison of the made tests with Eurocode 7 rules

Rodzaj wymaganych badań [Dz.U. z 1998 r. nr 126, poz. 839, PN-EN 1997-2]	Ocena stopnia zrealizowania [Dokumentacja geotechniczna... 2010]
Kind of required tests [Dz.U. 1998, No. 126, poz. 839, PN-EN 1997-2]	Appreciation of realization [Geotechnical reports... 2010]
Wykonanie wierceń i sondowań oraz wstępnego określenia rodzaju gruntu na podstawie analizy makroskopowej	Liczba punktów niewystarczająca. Tylko 3 badania w jednym, przekroju. Odległości pomiędzy otworami były większe od 20 m
Realization of borings and sounding, and primary of type of soil determination by microscopy analysis	Quantity of the points field tests to little. Only three tests in one cross section. Distances between points field tests were length than 20 meters
Układ warstw gruntów oraz występowanie poziomów wód	Brak badań uziarnienia. Rodzaje gruntów określano makroskopowo
Description of soil layers and grunt water level	Lack of grain size distribution tests. Type of soil was determined bay macroscopic method only
Określenie w bezpośrednich badaniach gęstości objętościowych, kąta tarcia wewnętrznego, spójności, modułów ścisłości lub odkształcenia	Nie wykonano żadnego z wymaganych badań. Parametry ustalane na podstawie wykresów z normy PN-B-3020:1981 są niewiarygodne i nieudokumentowane
Determination in direct tests; density, internal angle of friction, cohesion, modulus of compressibility or displacements	Neither test no made. Parameters determined by correlations in PN-B-3020:1981 are incredible and no proved
Sondowania dynamiczne	Wykonano tylko dla powierzchniowej warstwy żwirów. Wartości I_D określano także dla gruntów spoiстых
Sounding dynamic tests	Test realized only for gravel in top layer. Values I_D was determined also for cohesive soil
Badania presjomertyczne i dylatometryczne	Nie wykonano
Pressiomertic and dilatometric tests	No realized
Właściwość wód gruntowych	Wykonano
Properties of ground water	Realized
Badania sondą CPT-u	Nie wykonano
CPT-u test	No realized

Zlokalizowany w miejscu awarii otwór JPZ3 o głębokości 10 m wykonano tylko do poziomu 3,7 m poniżej posadowienia jazu. Pobrano tylko 1 próbę żwiru z nieistotnego dla poziomu posadowienia, bo z przewidzianego do usunięcia pierwszego metra otworu, wykonując dla niego badanie uziarnienia. Nie opisano również sposobu wykonywania wiercenia ani też sposobu likwidacji otworu, co prawdopodobnie wynika z tego, że otwór wykonywany z jednostki pływającej w rurze obsadowej nie został szczelnie zamknięty, na przykład przez wymagane w tym przypadku zabetonowanie. W podobnie niewłaściwy sposób badano i dokumentowano rozpoznanie podłoża w otworach JPZ1 i JPZ4 (rys. 1). Brak przestrzegania zasad dokumentowania warstw spowodował, że w opracowaniach Dokumentacja geologiczno-inżynierska... [2010] i Dokumentacja geotechniczna... [2010] nie wykazano, że pod dnem wykopu występowały sufozyjne piaski drobne, piaski średnie i piaski pylaste (rys. 2). Dla warstwy gruntów spoistych, występujących według Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej... [2010] (rys. 2) poniżej 4,5 m od dna rzeki, nie pobrano ani jednej próby do badań laboratoryjnych [Parylak 2013].

Na podstawie ocen makroskopowych podano, że występowały tam przewarstwienia glin (Gp, G π i G π z) w stanie twaroplastycznym o $I_L = -0,05$. Grunty te potraktowano jako jedną warstwę, pomimo że, jak wiadomo, może różnić je decydująca o wielu cechach nawet 30-procentowa zawartość frakcji iłowej [Parylak 2013]. Na profilu podano, że stanowią one jednolitą warstwę, o przypisanych na podstawie normy PN-81/B-3020 parametrach $\Phi_u = 18^\circ$, $c_u = 40$ KPa, tj. o parametrach, jakie odpowiadają iłom [PN-EN 1997-2]. Ustalane ponad 30 lat temu prostymi metodami na potrzeby normy PN-81/B 03020 zależności parametrów wytrzymałościowych i modułów jako funkcje I_L i I_D , jak wykazali Lipiński i in. [2016], w większości przypadków są wysoce niedokładne. Bezkrtycznie, a do tego z interpretacyjnymi błędami przyjmowano je w obu dokumentacjach tej inwestycji [Dokumentacja geologiczno-inżynierska... 2010, Dokumentacja geotechniczna... 2010]. Niezgodność wykonanych badań z wymaganiami III kategorii geotechnicznej przedstawiono w tabeli 1.

WERYFIKACJA STANU I RODZAJU PODŁOŻA NA PODSTAWIE BADAŃ KONTROLNYCH

Po wystąpieniu awarii wykonawca robót przeprowadził w otoczeniu wykopu szereg kontrolnych badań podłoża, potwierdzających zasadniczo, że układ warstw w tym rejonie był jak w otworach 2 i 4 (rys. 2). Wykazano, że w przekroju grodzy poniżej dna docelowego wykopu występowała około 5-metrowa warstwa przewarstwionych sufozyjnych piasków. Jednakże również w tym przypadku nie wykonano wymaganych badań laboratoryjnych, a parametry geotechniczne interpretowano z normy PN-81/B 03020.

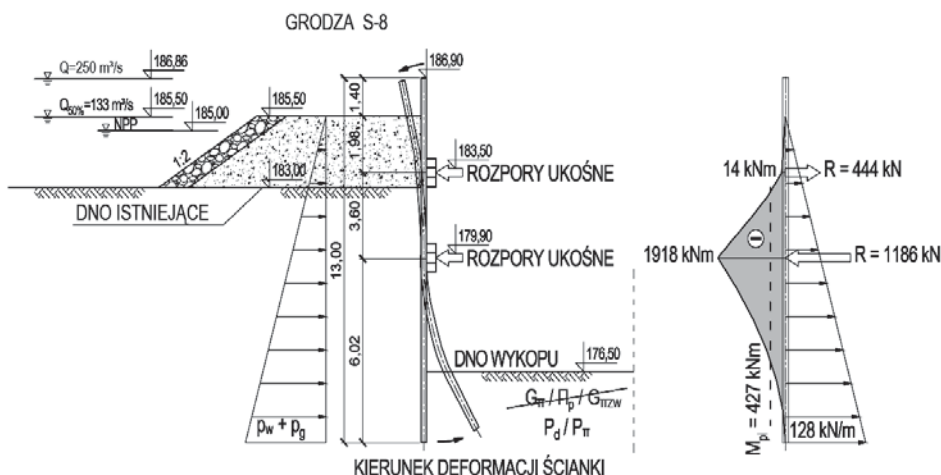
Wykonane po awarii sondowania sondą statyczną CPT wykazały, że do głębokości 11,5 m wartości oporu stożka (q_c) były zmienne w przedziale od 0 do 10 MPa. Również wartości f_s w przedziale głębokości do 13 m były małe i zmieniały się od 0,01 do 0,2 MPa, co wskazuje, że znacząco naruszona została strefa gruntu w bezpośrednim otoczeniu dolnego końca ścianki. Poniżej tego poziomu, gdzie skutki filtracyjnej erozji prawdopodobnie były mniejsze, opory stożka (q_c) wzrosły do poziomu 40 MPa, a wartości f_s do 0,8 MPa. Wskazuje to, że mechanizm zniszczenia został spowodowany początkowo filtracyj-

nym przebicciem, zniszczeniem strefy odporu gruntu, co spowodowało utratę podparcia dolnego końca ścianki. W przypadku rozluźnienia gruntu pod końcem ścianki przy dynamicznym wypływie mieszaniny wodno-gruntowej do dna wykopu spowodowało, że w procesie tym wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntów niespoistych prawdopodobnie zmniejszyła się do kilku stopni [Castro i Poulos 1977]. Z tych względów określenie rzeczywistych parć deformujących ściankę szczelną w chwili awarii było trudne.

Określona wartość q_c w badaniach sondą statyczną CPT 2, wykonanych po zakończeniu awarii i odbudowie grodzy S-8, kształtowała się w przedziale 4–8 MPa (rys. 1 i 2). Zinterpretowany na tej podstawie zależnością $\Phi = 23 + 13,5 \log(q_c)$ [PN-EN 1997-2] kąt tarcia wewnętrznego był na poziomie 23–31°.

PROGNOZOWANA STATECZNOŚĆ ŚCIANKI W CZASIE AWARII

Dla schematu statycznego jak na rysunku 4 obliczono stan równowagi ścianki szczelnej w warunkach braku zniwelowanego procesem sufozji odporu gruntu. Wyparcie w strefie dna wykopu spowodowało zanik parcia biernego. W następstwie tego obciążenia parciem czynnym od gruntu i wody zostały całkowicie przeniesione przez dolny rząd stalowych rozpór przy niewielkim udziale odporu, jaki wytworzył się przy strefie nasypowej [Henry 1986].



Rys. 4. Przekrój grodzy S-8 wraz z prawdopodobną jej deformacją

Fig. 4. Cross section of sheet piling S-8 together with probable deformation

Wobec zmiany kierunku wygięcia ścianki jak na rysunku 3a siłą utrzymującą przestała być górna rozpora, na której to belce oparte były grodzice G-62. Uległy one wygięciu, odsuwając się od górnej podpory nawet na odległość rzędu 1,5 m (rys. 3d).

Obliczenia statyczne wykazały, że powstały na wysokości dolnej podpory maksymalny obliczeniowy moment zginający wyniósł 1918 k·Nm i był ponad 4-krotnie większy od momentu, jaki w zakresie naprężeń sprężystych może przenieść grodzica G62 (rys. 4). W celu

kontynuacji prac budowlanych po awarii przy napełnianym jeszcze wykopie wykonano dodatkowe zabezpieczenie, poszerzając grodzę od strony nurtu rzeki i wykonując drugi rząd ścianki szczelnej dostosowanej do warunków gruntowych określonych w Sprawozdaniu z dodatkowego... [2014] (rys. 3d).

WNIOSKI

1. Realizacja wszystkich zadań procesu budowlanego, w tym wykonywania badań i dokumentacji geotechnicznych, wymaga wiedzy i uprawnień określonych w Prawie budowlanym. Naruszeniem tych zasad poprzez zastąpienie dokumentacji wymaganych dla III kategorii geotechnicznej zawierającymi merytoryczne błędy uproszczonymi dokumentacjami geologicznymi, w tym wykraczającą poza przedmiotowy zakres dokumentacją geologiczno-inżynierską, było przyczyną powstania awarii.

2. Niedostateczna liczba miejsc badań, brak określenia parametrów gruntów w badaniach bezpośrednich, a przede wszystkim wykazanie, że w rejonie grodzy S8 zamiast 4,5-metrowej warstwy sufozycznych piasków występowały grunty spoiste w stanie twar doplastycznym było przyczyną niewystarczającego zagłębienia ścianki szczelnej. Było to również powodem nieodpowiedniego sposobu głębenia wykopu.

3. Zanik sił odporu gruntu spowodowany powstaniem przebiccia hydraulicznego pod dolnym końcem ścianki wyeliminował podparcie jej dolnego końca i spowodował rozkład momentów zginających zbliżony do rozkładu jak na rysunku 4.

4. W chwili utraty stateczności obliczeniowy moment podporowy dolnej rozpory czterokrotnie przekroczył wytrzymałość na zginanie przekroju grodzicy G-62, powodując zniszczenia spawanych połączeń rozpór. Deformację ścianki minimalizował mobilizujący się odpór gruntu w górnej jej części, stawiany przez usypaną od strony odwodnej gruntową grodzę, a także odpór wynikający z napełniania się wykopu do stanu jak na rysunku 3c. W wyniku deformacji ścianka lokalnie przemieściła się górą w kierunku grodzy do około 1,5 m (rys. 3d).

PIŚMIENNICTWO

- Castro, G., Poulos, S.J. (1977). Factors affecting liquefaction and cyclic mobility. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 6, 501–516.
- Dokumentacja geologiczno-inżynierska pod projektowane przebudowy jazów oraz nowe stopnie korekcyjne i budowle na rz. Nysie Kłodzkiej na odcinku od km 55,0–65,1 (2010). Hydrogeo, Kraków.
- Dokumentacja geotechniczna z badań podłoża gruntowego dla projektowanej przebudowy koryta rzecznej, oceny stanu istniejących obwałowań oraz dla nowych obwałowań i budowli ochronnych (2010). Hydrogeo, Kraków.
- Dokumentacja z badań podłoża gruntowego dla rozpoznania warunków gruntowo-wodnych w dole fundamentowym budowanego jazu w km 62+314 rzeki Nysy Kłodzkiej w Nysie (2013). Zakład Usług Geologicznych Grunt, Opole.
- Henry, F. (1986). *The design and construction of engineering foundations* Champan and Hall. London, New York.

- Lipiński, M., Wdowska, M., Michalczyk, K. (2016). Parametry geotechniczne według normy PN-81/B 03020 – perspektywa dnia dzisiejszego. *Inżynieria i Budownictwo*, 4, 212–216.
- Parylak, K. (2013). Ekspertyza techniczna w zakresie określenia przyczyn zaistnienia awarii grodzy I etapu budowy jazu kłapowego w km 62+314 na Nysie Kłodzkiej. Wrocław.
- PN-81/B 03020. Grunty budowlane. Bezpośrednie posadowienie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-1. Eurokod 7. Część 1: Projektowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2. Eurokod 7. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego.
- Projekt budowlany (2011). Przebudowa i udrożnienie przeciwpowodziowe rzeki Nysy Kłodzkiej od zbiornika wodnego Nysa (km 65+100) do rejonu Kubic (km 55+500) wraz z istniejącymi budowlami. Hydroprojekt Kraków Sp. z o.o., Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych. Dz.U. nr 26. poz. 839.
- Sprawozdanie z dodatkowego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych w rejonie dołu fundamentowego budowanego jazu w km. 62+314 rzeki Nysy Kłodzkiej w Nysie (2014). Zakład Usług Geologicznych Grunt, Opole.

FAILURE OF SHEET PILING IN COURSE THE BUILDING OF DIVERSION WEIR IN A RIVER MIDSTREAM

Abstract. For the purposes of the construction of a new diversion weir on the Nysa Kłodzka River in Nysa, instead of geotechnical investigations required by Construction Law, only geological investigations were performed. The depth of subsoil recognition was too small and the number of boreholes, probing as well as the scope of the laboratory test did not meet the requirements of the third geotechnical category. Consequently, the layers arrangement and geotechnical parameters contained in the engineering – geological documentation were inconsistent with the reality. This caused incorrect design of the weir. In addition, according to the documentation, below the bottom of the wide foundation excavation, the cohesive soils in stiff state were located. In fact, there were suffusive fine and silty sands with a thickness more than 4.5 m with a few interbeddings of cohesive soil. Design based on the incorrect subsoil characteristics caused that sheet piling was ended in the sands only 2.5 m below the weir foundation level. While excavation, at a depth of 6 m, the piping took place. The rapid displacement of the lower end of the sheet piling has occurred, and excavation was filled with soil. It caused the total loosening of soil below foundation of the designed structure.

Key words: geotechnical investigations, sheet piling, piping, suffusion soil, structure failures

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.06.2016

Cytowanie: Parylak, K., Antoniszyn, G. (2016). Wyparcie ścianki szczelnej na budowie jazu w nurcie rzeki. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (2), 137–145.