

OCENA WARUNKÓW GEOTECHNICZNYCH PODŁOŻA NA POTRZEBY MODERNIZACJI JAZU NA NYSIE ŁUŻYCKIEJ PRZY ELEKTROWNI WODNEJ ZIELISKO

**Assessment of subsoil geotechnical conditions
for upgrading weir on Lusatian Neisse
by Zielisko hydroelectric plant**

Krystyna DZIDOWSKA¹ & Lech NOGA²

¹*Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,
Instytut Geotechniki i Hydrotechniki;
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław;
e-mail: Krystyna.Dzidowska@pwr.wroc.pl*

²*Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe PROGEOS,
ul. Trendowskiego 71, 52-430 Wrocław;
e-mail: progeos@neostrada.pl*

Treść: W pracy przedstawiono ocenę warunków geotechnicznych podłoża w celu wyeliminowania zagrożeń dla projektowanej bezpiecznej eksploatacji jazu. Wyniki z wiercenia otworów i sondowań oraz badań laboratoryjnych gruntów wykazały, że podłoże pod konstrukcją jazu budują luźne pospółki i pospółki gliniaste oraz plastyczne gliny pylaste. Niekorzystny stan gruntów był spowodowany intensywną filtracją wody rzecznej przez podłoże. W glinach stwierdzono „pusty kanał”, wypełniony zawiesiną gliniastą, co świadczy, że gliny były poddane intensywnej sufozji. Jednocześnie kanał oznacza, że sufozja w glinach przybiera już cechy przebiccia hydraulicznego, co stwarza niebezpieczeństwo powstania zjawiska wyparcia gruntów pod konstrukcją jazu, a w rezultacie uszkodzenia lub zniszczenia jazu.

Słowa kluczowe: podłoże gruntowe, warunki geotechniczne, jaz, modernizacja

Abstract: The paper presents an assessment of subsoil geotechnical conditions, aimed at eliminating hazards to the planned safe operation of the weir. Borehole drilling and sounding results showed that the subsoil under the weir structure is made up of loose aggregates, clayey aggregates and plastic loams. The adverse condition of the soils had been caused by intensive river water infiltration through the subsoil under the weir. A “hollow channel” filled with clayey suspension was the evidence of intensive tunnelling in the clays and that the tunnelling already assumes the form of a hydraulic punch-through which poses a danger that the soils under the weir will be displaced and as a result the weir will be damaged or destroyed.

Key words: subsoil, geotechnical conditions, weir, upgrading

WPROWADZENIE

Jaz na Nysie Łużyckiej jest zlokalizowany w pobliżu miejscowości Kamienica w gminie Trzebień (województwo lubuskie). Jako obiekt hydrotechniczny nosi nazwę jaz Zielisko. Przyczółek zachodni (lewy) jest usytuowany na brzegu niemieckim, a przyczółek wschodni (prawy) – na brzegu polskim. Jaz zbudowano w pierwszych latach XX wieku na potrzeby przepływowej elektrowni wodnej, zwanej obecnie Elektrownią Wodną Zielisko. Nie był on poddany rehabilitacji co najmniej przez 50 lat. Długi okres eksploatacji jazu wywołał zmiany w jego szczelności oraz pracy systemu drenaży, co bezpośrednio wpłynęło na stan gruntów podłoża (Kołuch 1997). Jaz jest posadowiony w strefie styku słabo przepuszczalnych glin mioceńsko-plioceńskich i/lub glin morenowych z wodoprzepuszczalnymi pospółkami rzecznyymi. Strefa ta ma naturalną skłonność do powstawaniu niekorzystnych deformacji filtracyjnych w gruntach, które powodują rozluźnienie oraz rozmywanie gruntów (Wieczysty 1982). Powstawanie deformacji filtracyjnych podłoża jazu jest ułatwione, ponieważ ścianka szczelna zbudowana z pali drewnianych jest zdegradowana lub nie istnieje, a betony przyczółków i płyty górnej nie są szczelne (Dzidowska & Noga 2006). Po powodzi z 1997 roku wyniki wiercenia otworów w podłożu jazu wykazały „puste miejsce” (kawernę) w stropie glin pod przyczółkiem lewym i bardzo luźny stan pospółek pod przyczółkiem prawym (Kołuch 1997). Podjęto wówczas doraźne działania polegające tylko na wypełnieniu betonem kawerny pod fundamentem przyczółka lewego. Planowana obecnie modernizacja jazu przewiduje następujące prace budowlane: uszczelnienie rozluźnionych gruntów pod jazem, przebudowę przyczółków wraz z filarem, płytą i niecką wypadową oraz demontaż istniejącej drewnianej ścianki szczelnej. W niniejszej pracy przedstawiono ocenę warunków geotechnicznych podłoża w celu wyeliminowania zagrożeń dla projektowanej bezpiecznej eksploatacji jazu. Warunki geotechniczne podłoża jazu zbadano w rejonie przyczółka prawego i płyty górnej oraz niecki wypadowej na brzegu lewym i prawym.

OGÓLNA BUDOWA GEOLOGICZNA REJONU BADAŃ

Jaz Zielisko jest usytuowany w strefie styku mioceńsko-plioceńskich i plejstocieńskich gliny z holocieńskimi osadami piaszczysto-żwirowymi doliny Nysy Łużyckiej (Dyjur & Chlebowski 1973). Starsze podłoże geologiczne budują piaskowce, wapienie, dolomity i łowce z triasu i górnej kredy oraz mioceńsko-plioceńskie piaskowce krzemionkowe. Przypowierzchniowe podłoże jest reprezentowane przez mioceńsko-plioceńskie gliny pylaste zwięzłe i plejstocieńskie gliny morenowe oraz holocieńskie rzeczne osady piaszczysto-żwirowe. Mioceńsko-plioceńskie gliny pylaste występują na wychodniach denudacyjnych lub w lokalnych wymyciach erozyjnych. Często są one zamaskowane przez gliny zwałowe. Barwa ich jest szarozielona lub szaroniebieska, przechodząca w stropie w brunatną. W składzie mineralnym tych glin dominuje illit i montmorylonit (50–60 %) oraz kwarc (40–50 %), a podrzędnie muskowit i ksyliit (Dyjur & Chlebowski 1973). Duża zawartość illitu i montmorylonitu powoduje, że są bardzo wrażliwe na zawilgocenie. Plejstocieńskie gliny morenowe stanowią podstawowe podłoże dla osadów tarasów akumulacyjnych Nysy Łużyckiej. Gliny te zostały zdeponowane w maksymalnym stadium zlodowacenia środkowopolskiego.

Są to gliny piaszczyste i gliny pylaste zwięzłe o barwie ciemnoszarej i konsystencji twardo-plastycznej. Natomiast w stadiale mazowiecko-podlaskim zlodowacenia środkowopolskiego i podczas zlodowacenia północnopolskiego dominowała w tym rejonie akumulacja rzeczna osadów piaszczysto-żwirowe z domieszką materiału gliniastego. Osady te budują wyższy taras akumulacyjny Nysy Łużyckiej. Petrograficznymi składnikami tych osadów są kwarc, lityt, bazalt, krzemień i skalenie. W holocenie powstał niski taras Nysy Łużyckiej, który budują utwory piaszczysto-żwirowe oraz mady. Osady piaszczysto-żwirowe są reprezentowane głównie przez pospółki zawierające kwarc i otoczaki skandynawskie oraz materiał gliniasty. Mady występują w stropie tarasu niskiego. Nachylenie osadów holocenów jest w kierunku spływu wód Nysy Łużyckiej. Pierwszy poziom wodonośny występuje w piaszczysto-żwirowych utworach plejstocenów i/lub holocenów. Zwierciadło wody podziemnej pierwszego poziomu wodonośnego znajduje się na głębokości od 1.0 m do 3.0 m p.p.t.

METODYKA BADAŃ

Warunki geotechniczne podłoża jazu rozpoznano na podstawie wyników wiercenia dziesięciu otworów do głębokości 5–9 m i dziesięciu sondowań gruntów niespoistych do głębokości 4–5 m oraz wyników badań laboratoryjnych na wytypowanych próbkach gruntów (Dzidowska & Noga 2006). Wiercenia otworów były wykonywane w rejonie przyczółka prawego, prawej strony płyty górnej i niecki wypadowej oraz na brzegu lewym w rejonie płyty górnej i niecki wypadowej. Na brzegu prawym wiercenia otworów wykonano wiertnicą ŁBU-50, a na brzegu lewym zestawem ręcznym, ze względu na utrudnienia komunikacyjne. Sondowania w gruntach niespoistych przeprowadzono sondą wbijaną lekką z końcówką stożkową w bezpośrednim sąsiedztwie wierconych otworów. W miejscu lokalizacji otworów przewiercenie betonów wykonano metodą mechaniczno-obrotową, wiertnicą typu HILTI, przy zastosowaniu koronek diamentowych o średnicy 150 mm. Na wytypowanych próbkach gruntów niespoistych przeprowadzono w laboratorium badania wilgotności naturalnej, uziarnienia, gęstości objętościowej i wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania. Współczynnik wodoprzepuszczalności gruntów niespoistych określono na podstawie uziarnienia, wykorzystując wzór amerykański $k_{10} = 0.0036 \cdot d_{20}^{2.3}$ m/s. W gruntach spoistych badano laboratoryjnie wilgotność naturalną, gęstość objętościową, konsystencję i wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania.

OCENA WARUNKÓW GEOTECHNICZNYCH PODŁOŻA

Podłoże gruntowe jazu budują głównie pospółki i pospółki gliniaste oraz mioceno-kpłocenówskie i plejstocenówskie gliny piaszczyste i gliny pylaste zwięzłe. Ze względu na stopień zagęszczenia gruntów akumulacji rzecznej i stopień plastyczności gruntów spoistych wydzielono w podłożu pięć warstw geotechnicznych. Generalne warunki geotechniczne w podłożu jazu przedstawiono na figurach 1 i 2. Na zamieszczonych przekrojach geotechnicznych wydzielone warstwy geotechniczne oznaczono numerami Ia, Ib, Ic, IIa i IIb.

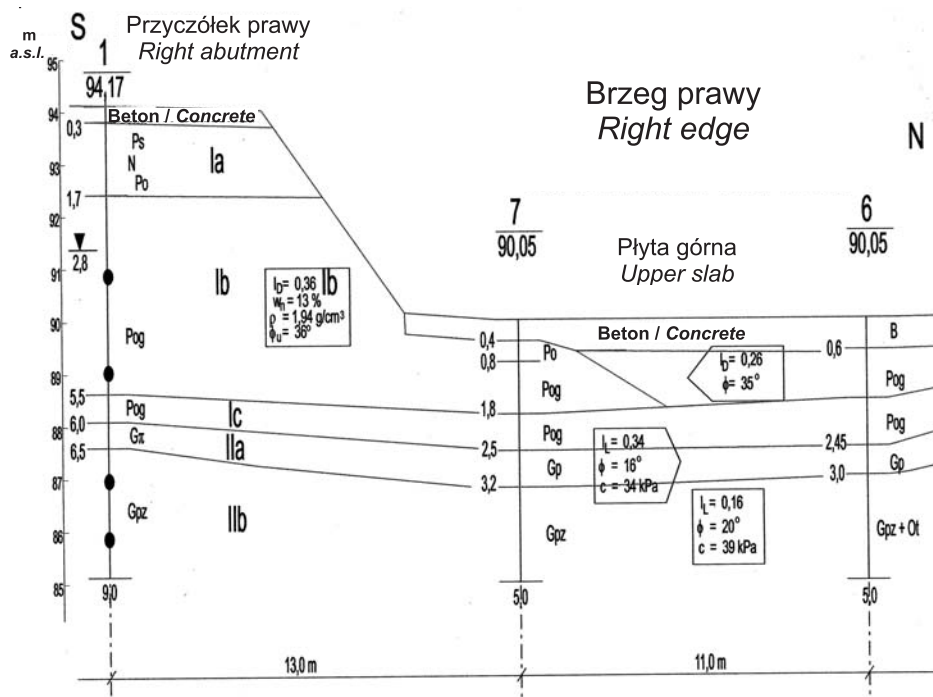


Fig. 1. Przekrój geotechniczny podłoża jazu Zielisko w rejonie prawego przyczółka i niecki wypadowej. Objaśnienia: przekrój geotechniczny, przyczółek prawy, brzeg prawy, płyta górna, beton, m n.p.m. – metry nad poziomem morza, Ia – warstwa geotechniczna, N – nasyp, Ps – piasek średni, Po – pospółka, Pog – pospółka gliniasta, Gp – glina piaszczysta, Gpz – glina piaszczysta zwięzła, Gπ – glina pylasta, I_D – stopień zagęszczenia, I_L – stopień plastyczności, w_n – wilgotność naturalna, ρ – gęstość objętościowa, ϕ_u – kąt tarcia wewnętrznego, c_u – kohezja

Fig. 1. Geotechnical cross section of Zielisko weir subsoil near right abutment and outlet basin. Legend: geotechnical cross, right abutment, right edge, slab upper, concrete, m n.p.m. – above sea level metre, Ia – geotechnical layer, N – embankment, Ps – medium sand, Po – sandy gravel, Pog – clayey gravel, Gp – sandy clay, Gpz – sandy silty clay, Gπ – silty clay, I_D – compaction index, I_L – liquidity index, w_n – water content, ρ – density, ϕ_u – friction angle, c_u – cohesion

Warstwy geotechniczne Ia, Ib i Ic budują podłoże na prawym brzegu w rejonie przyczółka i płyty górnej oraz niecki wypadowej. Grunty wykształcone są jako pospółki i pospółki gliniaste, zawierające od 2% do 7% frakcji ilowej. Przejścia pomiędzy tymi gruntami są płynne i nieostre. Występują w stanie od luźnego do zagęszczonego, o stopniu zagęszczenia od 0.22 do 0.72. Obliczony współczynnik filtracji pospółek wynosi od $3.20 \cdot 10^{-5}$ m/s do $7.38 \cdot 10^{-4}$ m/s, co oznacza dobrą/średnią ich wodoprzepuszczalność (Kowalski 1988). Obliczony wskaźnik niejednorodności pospółek $U = 40$ ($d_{10} = 0.03$ mm, $d_{60} = 1.2$ mm) wykazał możliwość wystąpienia sufozji mechanicznej w pospółkach gliniastych (Wieczysty 1982). Warstwa Ia występuje w stropie podłoża i nie stanowi bezpośredniego podłoża dla konstrukcji jazu. Jej miąższość wynosi od 0.5 m do 1.7 m.

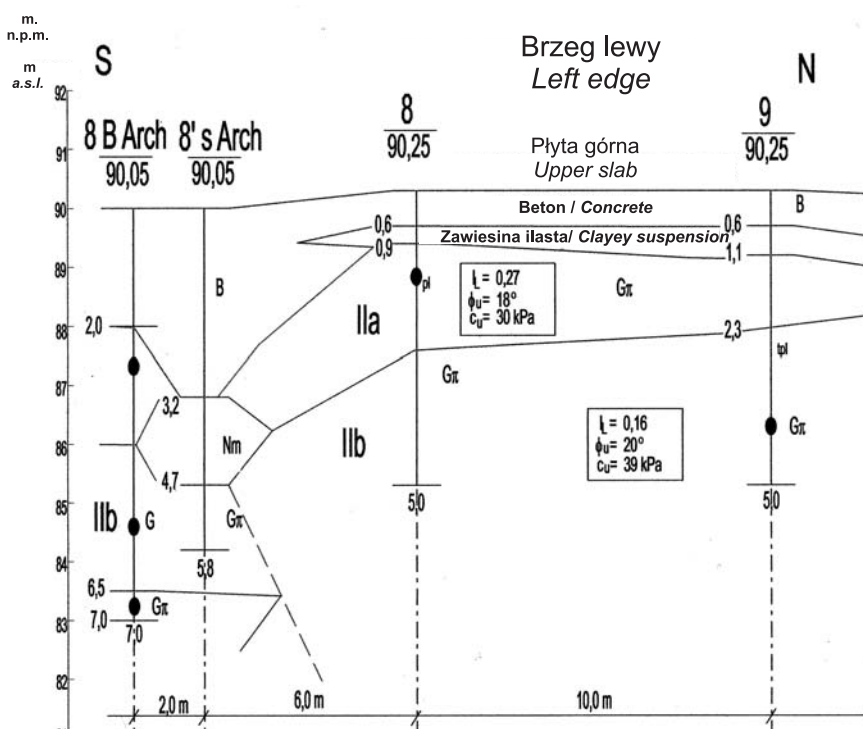


Fig. 2. Przekrój geotechniczny podłoża jazu Zielisko w rejonie lewego przyczółka i płyty poszuru. Objaśnienia: przekrój geotechniczny, brzeg lewy, płyta górna, beton, B – beton, Ia – warstwa geotechniczna, zawiesina ilasta, G – glina, Gπ – glina pylasta, I_L – stopień plastyczności, Nm – namul, ϕ – kąt tarcia wewnętrznego, c_u – kohezja

Fig. 2. Geotechnical cross section of Zielisko weir subsoil near left abutment and outlet basin. Legend: geotechnical cross, left edge, slab upper, beton, B – concrete, Ia – geotechnical layer, clayey aggregate, G – sandy clay, Gπ – silty clay, I_L – liquidity index, Nm – mud, ϕ – friction angle, c_u – cohesion

Warstwa ta zbudowana jest z pospółek, które są w stanie średnio zagęszczonym, o stopniu zagęszczenia od $I_D = 0.36$ do $I_D = 0.61$, średnio $I_D = 0.52$. Warstwa geotechniczna Ib zalega pod warstwą geotechniczną Ia. Stanowi ona bezpośrednie podłoże dla konstrukcji jazu. Jej miąższość wynosi około 3.5 m. Zbudowana jest głównie z pospółek gliniastych w stanie luźnym/średnio zagęszczonym, o stopniu zagęszczenia od $I_D = 0.22$ do $I_D = 0.36$, średnio $I_D = 0.26$. Ich kąt tarcia wewnętrznego wynosi od 33° do 36° . W warstwie tej występuje pierwszy poziom wód podziemnych. Swobodne zwierciadło wody stwierdzono na głębokości 2.8 m w rejonie przyczółka prawego i 1.6 m w obszarze niecki jazu. Kierunek filtracji wody podziemnej jest zgodny z przepływem wód Nysy Łużyckiej. Obliczony współczynnik filtracji pospółek wynosi od $2.65 \cdot 10^{-5}$ m/s do $7.38 \cdot 10^{-4}$ m/s, średnio $4.15 \cdot 10^{-4}$ m/s, co oznacza ich dobrą/średnią wodoprzepuszczalność (Kowalski 1988). Warstwa geotechniczna Ic zalega na stropie glin. Jej miąższość wynosi około 1.0 m. Budują ją pospółki gliniaste w stanie średnio zagęszczonym/zaagęszczonym. Stopień zagęszczenia kształtuje się od 0.61 do 0.72, a współczynnik filtracji k wynosi około $3.20 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Warstwy geotechniczne IIa i IIb zlokalizowane są na brzegu prawym i lewym. Na brzegu prawym stanowią podłoże dla pospółek, a na brzegu lewym budują bezpośrednie podłoże przyczółka, płyty górnej i niecki wypadowej (Fig. 1 i 2). Budują je gliny piaszczyste i gliny pylaste zwięzłe. Gliny w warstwie geotechnicznej IIa są w stanie plastycznym. Ich stopień plastyczności wynosi od 0.27 do 0.42, kąt tarcia wewnętrznego od 16° do 18° , a spójność od 30 kPa do 34 kPa. Natomiast normowe moduły ścisłości (M_0) kształtują się od 25 MPa do 35 MPa (PN-81/B-03020). Wartości modułów świadczą o znacznej odkształcalności glin. Na brzegu prawym stan plastyczny glin stwierdzono na kontakcie z wodą podziemną pierwszego poziomu wodonośnego, a na brzegu lewym – pod płytą górną. Wyniki wiercenia otworów wykazały pod płytą górną „pustą przestrzeń” (kanał) wypełnioną zawiesziną gliniastą (Fig. 2). Kierunek filtracji zawiesziny gliniastej był zgodny z kierunkiem przepływu wód Nysy Łużyckiej. Przeprowadzona inwentaryzacja powierzchni płyty wykazała, że przesączanie wody w podłoże odbywa się przez nieszczelne betony (Dzidowska & Noga 2006). Na powierzchni betonów stwierdzono kawerny, rysy, pęknięcia i nieszczelne dylatacje. Ponadto wyniki przeprowadzonych w laboratorium badań wytrzymałości na ściskanie w stanie powietrzno-suchym i nawodnionym, gęstości objętościowej i nasiąkliwości wagowej betonów płyty wykazały, że nie spełniają one wymagań stawianych betonom przeznaczonym do zastosowania w konstrukcjach hydrotechnicznych (Rozporządzenie 1996).

Zatem powstanie pod płytą górną „pustego kanału”, wypełnionego zawiesziną gliniastą, świadczy o długotrwałym przesączaniu wód powierzchniowych w podłoże, które powoduje intensywną sufozję stropu glin (Wieczysty 1982). Obecnie warstwa geotechniczna IIa stwarza na brzegu lewym niebezpieczeństwo wyparcia gruntów tuż za płytą górną. Warstwę geotechniczną IIb budują te same gliny co warstwę IIa, ale zalegające poniżej warstwy IIa. Ich stan jest twardoplastyczny, o stopniu plastyczności od 0.16 do 0.23, kącie tarcia wewnętrznego od 19° do 22° i spójność od 32 kPa do 40 kPa. Natomiast normowo określone moduły ścisłości glin wynoszą od 40 MPa do 55 MPa, co świadczy o dobrej nośności.

PODSUMOWANIE

Ocenę warunków geotechnicznych podłoża jazu przeprowadzono w celu wyeliminowania zagrożeń dla projektowanej bezpiecznej eksploatacji jazu. Wyniki z wiercenia otworów i sondowań oraz badań laboratoryjnych gruntów wykazały, że podłoże jazu budują na ogół pospółki i pospółki gliniaste oraz gliny piaszczyste i gliny pylaste. Ze względu na stopień zagęszczenia pospółek i stopień plastyczności glin wydzielono w podłożu pięć warstw geotechnicznych. Na przekrojach geotechnicznych oznaczono je numerami Ia, Ib, Ic, IIa i IIb (Fig. 1 i 2). Na brzegu prawym bezpośrednio podłoże konstrukcji jazu buduje zawodniona warstwa geotechniczna Ib. Jest ona reprezentowana głównie przez pospółki o zawartości frakcji iłowej około 7%. Pospółki zaglinione są w stanie luźnym lub luźnym/średnio zagęszczonym, o stopniu zagęszczenia od 0.22 do 0.36. Wraz z głębokością stan ich staje się średnio zagęszczony i zagęszczony, o stopniu zagęszczenia od 0.61 do 0.72. Współ-

czynnik filtracji pospólek kształtuje się od $2.65 \cdot 10^{-5}$ m/s do $7.38 \cdot 10^{-4}$ m/s, a zatem są to grunty o dobrej wodoprzepuszczalności (Kowalski 1988). Jednocześnie obliczony wskaźnik niejednorodności pospólek $U = 40$ wskazuje na występowanie znacznej ilości frakcji drobniejszych i również zjawiska sufozji (Wieczysty 1982). Zatem stabilizowanie i wzmacnianie pospólek luźnych przez iniekcję zaczynem cementowym może stwarzać lokalnie trudności ze względu na wypełnienie porów frakcją drobniejszą (Gwizdała & Kościk 2007). Podłoże konstrukcji jazu na brzegu lewym budują gliny piaszczyste i pylaste. Bezpośrednie podłoże dla fundamentów konstrukcji stanowią głównie gliny pylaste. Są one w stanie plastycznym, o stopniu plastyczności od 0.27 do 0.42. Wraz z głębokością stan ich staje się twardoplastyczny, o stopniu plastyczności od 0.16 do 0.23. Stan plastyczny glin jest rezultatem filtracji wód powierzchniowych przez podłoże, zwłaszcza w rejonie płyty górnej. Przesączanie się wody przez płytę następuje z powodu nieuszczelnności betonów (Dzidowska & Noga 2006). Przesączanie wód przez płytę spowodowało nie tylko zmianę stanu glin, ale również sufozję wraz z powstaniem „kanału pustego” wypełnionego zawieszoną gliniastą. Powstanie kanału oznacza, że sufozja w glinie jest długotrwała i przybiera już cechy przebicia hydraulicznego, co stwarza niebezpieczeństwo powstania zjawiska wyparcia gruntów tuż za płytą górną, a w rezultacie – uszkodzenia lub zniszczenia jazu (Wieczysty 1982, Pisarczyk 1998).

LITERATURA

- Dyjur S. & Chlebowski Z., 1973. Budowa geologiczna polskiej części łuku Mużakowa. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 192, Wrocław, 12–25.
- Dzidowska K. & Noga L., 2006. Geotechniczne badania aktualnego stanu podłoża pod jazem Zielisko i w rejonie projektowanej przeprawki. *Archiwum PBW „Progeos”*, Wrocław, 1–27.
- Gwizdała K. & Kościk P., 2007. Zastosowanie iniekcji strumieniowej. W: *Geoinżynieria drogi mosty tunele*, Inżynieria Bezwykopowa Sp. z o.o., Kraków, 52–57.
- Kołuch Z., 1997. *Dokumentacja geotechniczna podłoża gruntowego i stanu technicznego betonów dla potrzeb modernizacji jazu Zielisko*. Geotester, Szyce, 34, 1–16.
- Kowalski W.C., 1988. *Geologia inżynierska*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1–550.
- Norma Polska PN-81/B-03020. *Grunty budowlane. Projektowanie i obliczenia statyczne posadowień bezpośrednich*. Polski Komitet Normalizacji Miary i Jakości, Warszawa, 1–24.
- Pisarczyk S., 1998. *Mechanika gruntów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1–227.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 20 grudnia 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej. Dz. U. Nr 21, poz. 111.
- Wieczysty A., 1982. *Hydrogeologia inżynierska*. PWN, Warszawa, 1–1068.

Summary

An assessment of subsoil geotechnical conditions was carried out in order to eliminate hazards to the planned safe operation of the weir. The results of borehole drilling and sounding in the cohesionless soils and of laboratory tests of the soils showed that weak load-bearing clayey aggregates, sandy clays and loams occur under the weir structure. The waterlogged, well water-permeable clay aggregates (belonging to geotechnical layer Ib) were in loose condition, with an average compaction degree of 0.26 and an internal friction angle of 34° (Fig. 1). With depth the soils became medium-compacted and compacted. The clayey aggregates were varigrained and contained considerable quantities of finer grains. The sandy clays and the loams (belonging to geotechnical layers IIa and IIb) were in a plastic state with a plasticity degree of 0.27–0.42 (Fig. 2). With depth they became hard-plastic with plasticity degree I_L of 0.16–0.23. The loose condition of the clayey aggregates and the plastic condition of the clays was due to the intensive filtration of river water through the subsoil. The filtration resulted in the loosening and washing away of the subsoil. The clayey aggregates' filtration coefficient $k = 1.33 \cdot 10^{-3}$ m/s and inhomogeneity index $U = 40$ (at which tunnelling may occur in the case of finer grains) contributed to their loosening. A "hollow channel" filled with clayey suspension, found in the clays, was the evidence of their intensive tunnelling (Wieczysty 1982). The existence of the channel also means that the tunnelling already assumes the form of a hydraulic punch-through which poses a danger that the soils under the weir will be displaced and as a result the weir will be damaged or destroyed (Pisarczyk 1988).