

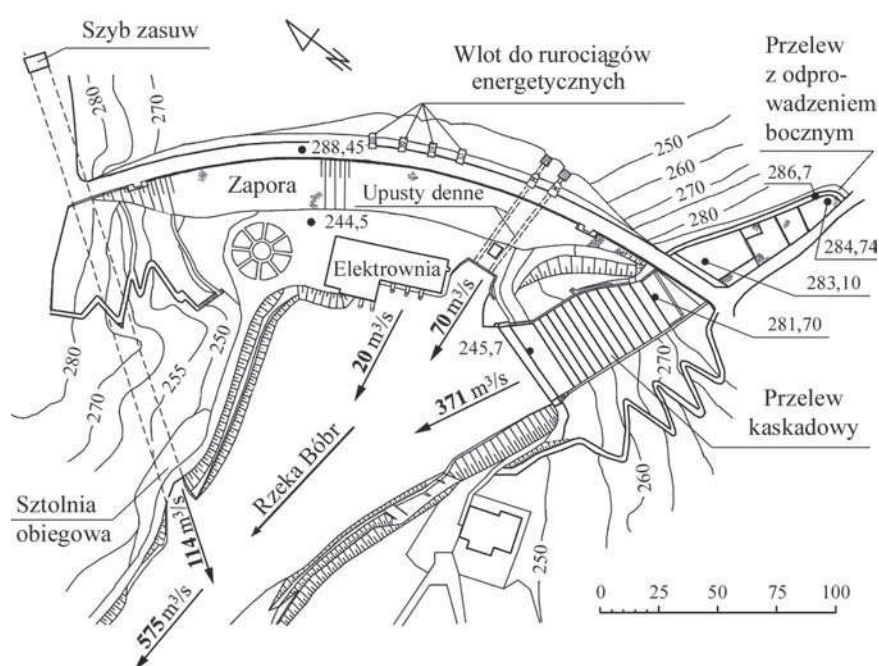
Próba określenia przyczyn uszkodzeń budynku elektrowni wodnej Pilchowice w jego części podwodnej

Dr inż. Jerzy Machajski, dr inż. Wojciech Rędowicz, Politechnika Wroclawska

1. Stopień wodny Pilchowice I

1.1. Krótki opis obiektu

Zapora stopnia wodnego EW „Pilchowice I” zlokalizowana jest w km 196+700 biegu rzeki Bóbr. Jej korpus zbudowany został z kamienia łamanego na zaprawie i posadowiony na gnejsach i granitognejsach. Korpus zapory o wysokości 69 m i kubaturze 260 tys. m³, wykonany został bez dylatacji i poprowadzony w łuku o promieniu w poziomie korony zapory równym 250 m [6]. Przepływy wód wynikające z wymogów eksploatacyjnych odbywają się przez urządzenia zrzutowe, w tym: przelew stokowy, kaskadę wielostopniową, upusty dennne i sztolnię obiegową (rys. 1). Wody powodziowe przelewają się do koryta zbiorczego przelewu i spływają w dół po 15 stopniach kaskady. Upusty dennne o średnicy DN 1,50 m, początkowo wykonane zostały jako wyłącznie urządzenia spustowe, dopiero około 1923 roku zostały połączone rurociągami z budowanym turbozespołem nr V (rys. 2, 4). W pobliżu wylotu rurociągów spustowych zainstalowano zasuwę, których zamknięcie umożliwiło skierowanie wody do odgałęzień, przechodzących w jeden przewód o średnicy DN 2,0 m, prowadzący do turbozespołu nr V. Sztolnia obiegowa o długości 387 m została wykuta w górotworze w postaci tunelu o szerokości 7,80 m i wysokości 6,40 m w którym w środku długości wbudowano szyb zasuw



Rys. 1. Układ funkcjonalny zapory zbiornika retencyjnego Pilchowice

o głębokości 48 m. W szybie tym umieszczono trzy rurociągi stalowe o średnicy DN 1,50 m zamykane zasuwami klinowymi (rys. 1) [6, 7].

1.2. Elektrownia wodna

Budynek elektrowni posadowiony został u podnóża centralnej części zapory (rys. 1). Jego część podwodna wykonana została z betonu, natomiast hala maszyn z cegły. W hali zainstalowano cztery turbozespoły o mocy 1240 kW i przepłyku 6,75 m³/s, zasilane rurociągami o średnicy DN 1,60 m. W roku 1923 rozbudowano elektrownię i dostawiono turbozespoł nr V z turbiną o mocy 2480 kW i przepłyku 9,62 m³/s, zasilany wodą ujmo-

waną upustami dennnymi (rys. 4). Kanały odpływowe poszczególnych turbin wykształcono w postaci sklepionych u góry prostokątnych przewodów betonowych rozdzielonych filarami betonowymi. W ich głowicach znajdują się wnęki na zamknięcia remontowe [6, 7].

1.3. Warunki gruntowo-wodne

Nie zachowała się archiwalna dokumentacja określająca budowę geologiczną podłoża zapory. Dopiero prace przeprowadzone w 1996 roku dostarczyły informacji, na podstawie których możliwa była jakakolwiek ocena [6]. Bezpośrednie podłoże tworzą metamorficzne osady protezoiku. Ogólnie są to gnejsy

słojowo-oczkowe i gnejsy drobnoziarniste, miejscami poprzecinane żyłami granitu. Petrograficznie gnejsy są zróżnicowane zarówno pod względem składu mineralnego (kwarc i łuszczyki), jak też ilości poszczególnych minerałów. Wspólną ich cechą jest wysoki stopień zmetamorfizowania. Na aktualny stan podłoża gruntowego wpłynęły procesy zwietrzelinowe, tektonika, erozja wodna i wspomniany wyżej skład petrograficzny. Warunki wodne podłoża gruntowego zapory wskazują na istnienie uprzywilejowanych dróg filtracji. Jest to szczególnie widoczne w centralnej części zapory.

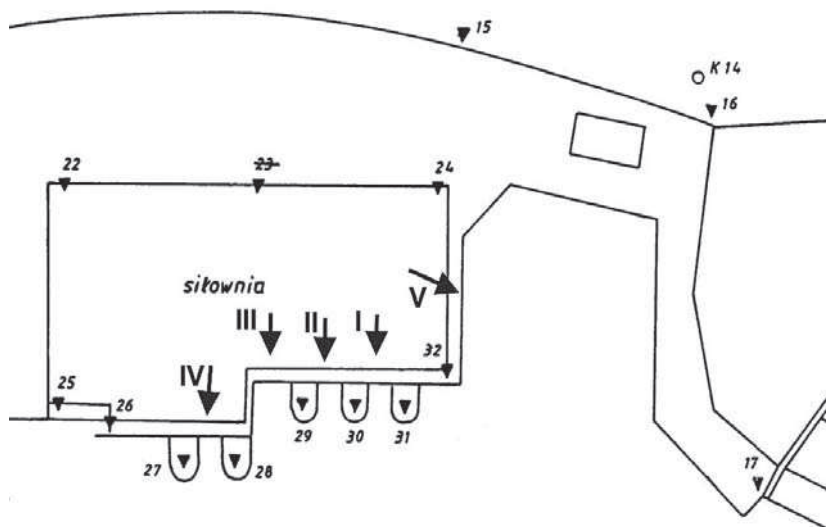
2. Ocena stanu technicznego

2.1. Obserwacje podwodne

Celem badań podwodnych elektrowni była ocena stanu kanałów odpływowych turbin [7]. W ich trakcie notowano uszkodzenia w postaci pęknięć i ubytków, przemieszczeń w rejonie elementów dylatowanych, rozmyć erozyjnych. Dla przedmiotowej turbiny nr V, na całej długości kanału odpływowego stwierdzono uszkodzenia w postaci wżerów i ubytków, w niektórych rejonach połączenia ścian i dna widoczne były rozległe szczeliny, miejscami ubytki betonu o głębokości do 40 cm. Pod narożnikiem budynku elektrowni, widoczne było podmycie o głębokości do 1,0 m i szerokości do 0,60 m, ciągnące się wzdłuż całej ściany budynku. Płyta wypadu poniżej wylotu, na całej swojej długości była podmyta. Miejsce to wobec postępującego rozmycia, może stanowić istotne zagrożenie konstrukcji dobudowanej części budynku elektrowni.

2.2. Pomiary odkształceń pionowych

Na obiekcie dokonywano są pomiary przemieszczeń pionowych, z wykorzystaniem sieci pomiarowej, której rozmieszczenie na budynku elektrowni pokazano na rysunku 2 [6].

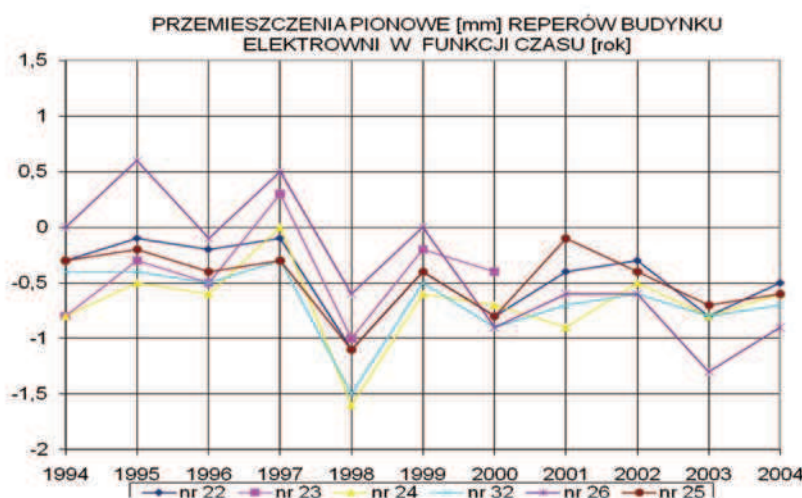


Rys. 2. Sieć reperów kontrolowanych na budynku elektrowni

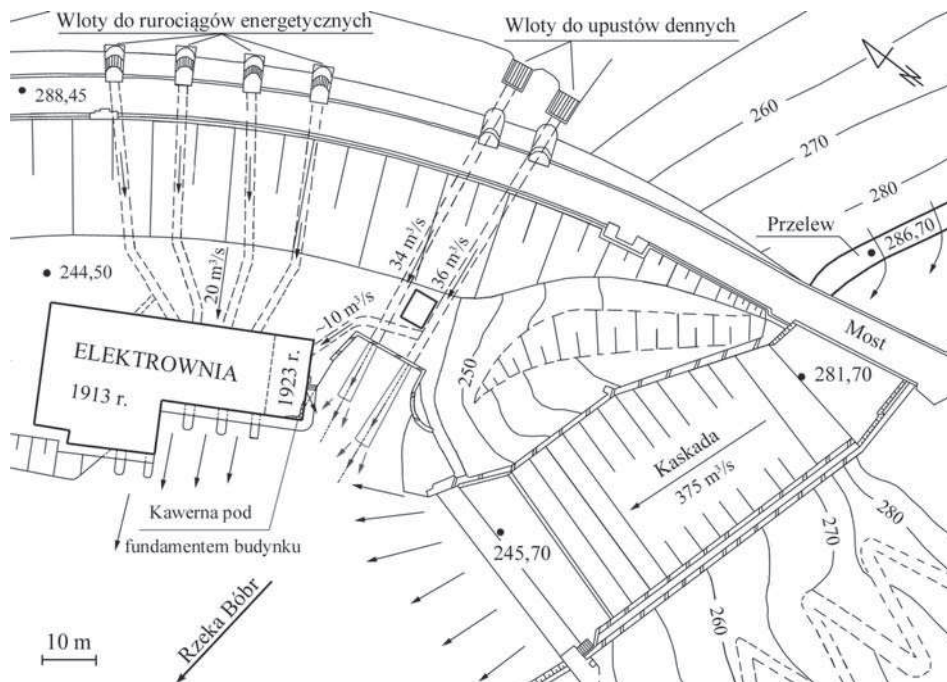
Wyniki pomiarów przeanalizowano dla profilu uzyskanego przez połączenie reperów umieszczonych na budynku elektrowni (rys. 2). Jak wynika z przedstawionych pomiarów (rys. 3), repery te systematycznie osiadają, ale odnotowany zakres zmian jest minimalny. Jedynie po powodzi w 1997 roku, odnotowano wyraźne osiadanie, a następnie wypiętrzenie, w okresach późniejszych sytuacja się ustabilizowała w zakresie przemieszczeń $\pm 0,5$ mm. Nadal jest jednak widoczne osiadanie budynku [6].

3. Próba określenia przyczyn uszkodzeń budynku elektrowni

Analizując przyczyny uszkodzeń części podwodnej budynku elektrowni wodnej, wzięto pod uwagę kilka możliwych czynników, które zdaniem autorów mogły spowodować zaobserwowane uszkodzenia [1, 2, 6]. W pierwszej kolejności rozważono warunki eksploatacji obiektu, szczególnie wpływ pracy upustów dennych i równoległe pracującej kaskady wielostopniowej. Następnie zwrócono uwagę na podłoże gruntowe, które wykazuje duże zróżnicowanie jak począt-



Rys. 3. Przemieszczenia pionowe reperów elektrowni w funkcji czasu



Rys. 4. Schemat przepuszczania wody przez stopień wodny Pilchowice

kowo sądzono, od jednolitego podłoża skalnego budowanego przez gnejsy. Zasadniczo wyłączono wpływ pracy turbozespołu nr V, aczkolwiek jest największym zamontowanym w elektrowni. Na zakończenie omówiono wyniki obserwacji poczynionych w trakcie badań modelowych bloku rzutowego tego zbiornika.

3.1. Warunki eksploatacji obiektu, oddziaływanie hydrodynamiczne

Warunki eksploatacji obiektu to głównie praca elektrowni wodnej oraz przepuszczanie wód powodziowych przez urządzenia zrzutowe. W sytuacji nadejścia sygnału o możliwości powstania zagrożenia powodziowego, w pierwszej kolejności otwierane są upusty sztolni obiegowej, co wynika z potrzeby utrzymania pracy turbozespołu nr V. Gdy ilość dopływającej wody przekracza 100 m³/s, odstawiany jest turbozespół V i następuje zrzut wody z wykorzystaniem upustów dennych. Wyłot z upustów jest swobodny, co oznacza pewien zasięg padania strumienia i jego oddziaływanie na podłoże. Gdy dopływ do zbiornika przekracza 200 m³/s, zaczyna się on wypełniać, a po osiągnięciu korony przelewu część

wody zrzucana jest przez kaskadę wielostopniową. Przy dużych objętościowo przepływach, wzajemne usytuowanie kaskady i upustów powoduje, że większa objętość wody spływającej kaskadą, uderzając w strumień wyptywający z upustu, kieruje go w stronę narożnika części podwodnej elektrowni, z pulsacyjnymi uderzeniami w jego konstrukcję. Powstające w tej sytuacji obciążenia hydrodynamiczne budynku elektrowni są ściśle związane z reżimem przepuszczania wody przez zaporę [3, 7]. Na rys 4 przedstawiono schemat przepuszczania wody przy maksymalnym poziomie piętrzenia wody na zbiorniku do rzędnej 288,75 m n.p.m. Podczas normalnej eksploatacji woda przepuszczana jest przez turbiny elektrowni. Zwykle pracuje turbina nr V usytuowana w części dobudowanej w 1923 roku. Pozostałe turbozespoły są uruchamiane, gdy konieczne jest wypuszczenie mniejszej lub większej ilości wody. Maksymalny wydatek turbin wynosi 37,2 m³/s. Podczas wezbrania lub przygotowywania rezerwy powodziowej, oprócz elektrowni działają upusty denne sztolni obiegowej. Następnie uruchamia się upusty denne nr 4 i 5 przechodzące przez korpus zapory. Wtedy wyłącza się turbinę nr V.

Zasady przepuszczania wody bezpośrednio wpływają na oddziaływanie hydrodynamiczne strumienia na fundamenty budynku elektrowni, powodując ich podmycie. Podczas normalnej eksploatacji fundamenty są podmywane przez wodę wyptywającą z turbiny nr V. Jest to oddziaływanie długotrwałe, ale prędkość strumienia wody nie przekracza 2,0 m/s. Gdy czynne są upusty denne nr 4 i 5, oddziaływanie jest zwielokrotnione. W celu określenia parametrów hydraulicznych wyptywających strumieni wykonano stosowne obliczenia. Wydatki upustów dennych i przelewu, obliczono na podstawie wyników badań wykonanych przez Instytut Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej [5, 7]. Uzyskano wartości przepływów $Q_4 = 34 \text{ m}^3/\text{s}$ dla upustu nr 4 i $Q_5 = 36 \text{ m}^3/\text{s}$ dla upustu nr 5 oraz odpowiednio prędkości strumieni $v_4 = 19,3 \text{ m/s}$ oraz $v_5 = 20,4 \text{ m/s}$. Zasięg padania strumienia L_p obliczono ze wzoru (1) [1, 2, 4]:

$$L_p = \frac{v_o^2 \cos \alpha}{g} \left(\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{2 g h_s}{v_o^2}} \right) \quad (1)$$

w którym:
 v_o – prędkość strumienia wody wyptywającego z upustu dennego (m/s),

α – kąt nachylenia wektora prędkości wody (rad),
 h_s – wysokość spadania strumienia wody (m),
 g – przyspieszenie ziemskie (m/s^2).
 Maksymalny zasięg padania ma miejsce wtedy, gdy poziom wody dolnej jest minimalny, wynosi dla upustu nr 4 $L_{p4} = 11,4$ m, a dla upustu nr 5 $L_{p5} = 16,8$ m. Różnica zasięgu padania strumieni wynika z faktu zróżnicowanego wysokościowego usytuowania wylotów upustów dennych. Wyptywający z rurociągu strumień ulega napowietrzeniu i w konsekwencji rozproszeniu, które zależy od intensywności jego turbulencji, sił lepkości i napięcia powierzchniowego. Zwykle rozproszenie ma miejsce, gdy długość strumienia przekroczy wartość 50 jego średnic [2]. W rozpatrywanym przypadku długość ta wynosi $50 \times 1,5 = 75$ m, a więc strumień wody wpadający na dolne stanowisko w obrębie budynku jest zwarty, a jedynie jego powierzchnie są napowietrzone. Na podstawie licznych badań [1, 2] można przyjąć, że rozszerzenie strumienia wynosi $3 \div 4\%$ dla intensywności turbulencji strumienia wynoszącej $5 \div 8\%$. Można się spodziewać, że maksymalne średnice napowietrzonych strumieni wyniosą $d_{n4} = 2,4$ m oraz $d_{n5} = 2,8$ m. Napowietrzenie strumieni spowoduje zmniejszenie ich średnich prędkości, które można szacować na 10%.

3.2. Podłoże gruntowe

Z danych archiwalnych wynika, że zapórę posadowiono na stosunkowo zdrowej skale, po wcześniejszym zdjęciu nadkładu osadów aluwialnych i zwietrzałych partii gnejsów, o miąższości zawierającej się w przedziale od 3 do 14 m. Ponieważ obraz filtracji, w oparciu o piezometry zainstalowane na koronie zapory, wskazywał na istnienie uprzywilejowanych dróg filtracji w podłożu gruntowym zapory, w 1996 roku podjęto wiercenia podłoża w stopie ściany odpowietrznej zapory. Wykonane badania wodochłonności oraz wydobytych próbek gruntu wykazały, że stan podłoża gruntowego w tym rejonie może

budzić zastrzeżenia. Natrafiano na materiał zwietrzały, pustki, szczeliny wypełnione gliną, a nawet piaskiem aluwialnym. Badania te potwierdziły odnotowaną reakcję korpusu zapory w okresie przejścia wezbrania powodziowego w 1997 roku, szczególnie widoczną od strony lewego przyczółka. Tym samym potwierdziło się też obserwowane systematycznie osiadanie całego budynku elektrowni wodnej.

3.3. Wyniki badań modelowych

Prowadzone na potrzeby analizy zdolności przepustowej urządzeń zrzutowych zbiornika badania modelowe [8] potwierdziły przypuszczenie, że jedną z przyczyn stwierdzonych rozmyć w rejonie narożnika części podwodnej budynku elektrowni, może być strumień wyptywający z upustu dennego uderzający w narożnik, samo zaś uderzenie potęgowane jest wpływem kaskady. Masa wody wchodząca na dolne stanowisko stopnia z ostatniego stopnia kaskady kieruje się w stronę budynku elektrowni i jako strumień przydenny zderza się ze strumieniem z upustu, zwielokrotniając siłę uderzenia [2]. Musimy mieć świadomość tego, że rozbudowa budynku elektrowni znacząco przybliżyła ten obiekt do przekroju wylotu upustu, tym samym spowodowała możliwość uderzeń o narożnik budynku, jak i erozyjne oddziaływanie na podłoże gruntowe w przekroju jego posadowienia.

4. Podsumowanie

Należy podkreślić, że celem tego artykułu jest próba określenia przyczyn stwierdzonych rozmyć podłoża w rejonie posadowienia naroża budynku elektrowni wodnej. Możliwość taka pojawiła się po analizie obserwacji poczynionych w trakcie prowadzonych badań modelowych [8], jak również w wyniku przeprowadzonej analizy funkcjonowania urządzeń zrzutowych zbiornika [1, 2, 3]. Pełna odpowiedź możliwa będzie dopiero po przeprowadzeniu dokładnej inwen-

taryzacji stwierdzonych uszkodzeń, wykonaniu wierceń i specjalistycznych badań dla dokładnego rozpoznania podłoża i ocenie jego odporności na oddziaływanie strumienia wody wyptywającego z upustu. Można rozważyć również wykonanie badań modelowych na modelu fizycznym wielkogabarytowym [1], obejmującym tylko badany rejon, dla stwierdzenia charakteru i intensywności oddziaływań strumienia. Przeprowadzone wstępne obliczenia hydrauliczne wskazują, że wyptywające z upustów dennych strumienie wody mają bardzo duże prędkości i wytwarzają obciążenia hydrodynamiczne mogące zagrozić fundamentom budynku elektrowni. Biorąc pod uwagę również stałe działanie wody wyptywającej z turbiny nr V, należy jak najszybciej podjąć kroki zapobiegające dalszemu podmywaniu fundamentów elektrowni Pilchowice I.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Novak P., Moffat A.I.B., Nalluri C., Narayanan R., Hydraulic Structures. Taylor & Francis Publisher. New York 2007
- [2] Vischer D.L., Hager W. H., Energy Dissipators. A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield 1995
- [3] Machajski J., Rędownicz W., Ocena zdolności przepustowej stopnia wodnego Pilchowice I na rzece Bóbr. Gospodarka Wodna nr 5. Wydawnictwo SIGMA NOT, Warszawa 2006
- [4] Rogala R., Machajski J., Rędownicz W., Hydraulika stosowana. Przykłady obliczeń. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1991
- [5] Kowal J., Paczeński E., Rędownicz W., Weryfikacja zdolności przepustowych urządzeń zrzutowych zbiorników retencyjnych. III Krajowa Konferencja TKZ. Warszawa 1986
- [6] Machajski J., Batog A., Rędownicz W., Badania dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych stopnia EW Pilchowice I. Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki. Raport serii SPR nr 14/2004. Wrocław, listopad 2004
- [7] Machajski J., Rędownicz W., EW Pilchowice I – Przebudowa stopnia wodnego – Koncepcja. Etap I. Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki. Raport serii SPR nr 11/2008. Wrocław, styczeń 2h009
- [8] Machajski J., EW Pilchowice I – Przebudowa stopnia wodnego. Etap II. Badania modelowe. Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki. Raport serii SPR nr 4/2009. Wrocław, lipiec 2009