

Jerzy Machajski, Wojciech Rędownicz

**ANALIZA STANU BEZPIECZEŃSTWA
STOPNIA WODNEGO „BOBROWICE I” NA RZECIE BÓBR**

***SAFETY STATE ANALYSIS OF HYDRO-ENGINEERING
STRUCTURE “BOBROWICE I” ON THE BÓBR RIVER***

Streszczenie

W pracy zaprezentowano wyniki przeprowadzonej oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa stopnia wodnego EW „Bobrowice I” na rzece Bóbr. Zwrócono uwagę na warunki eksploatacji obiektu oraz zdolność przepustową urządzeń zrzutowych – przelewu czołowego oraz upustu dennego. Rozpatrzono problematykę zamulenia utworzonego powyżej zbiornika. Zwrócono uwagę na fakt, że nie zawsze miarą bezpieczeństwa jest stan techniczny budowli głównej, jaką jest jaz czy zaporę. Niejednokrotnie o jej mierze decydują inne uwarunkowania, takie jak brak możliwości uruchomienia upustu dennego, czy brak możliwości przeprowadzenia wymaganych dokonanych prac remontowych na obiekcie. Podkreślono wpływ takiego stanu rzeczy na bezpieczeństwo samego obiektu oraz potencjalne zagrożenie dla terenów leżących poniżej budowli.

Słowa kluczowe: stopień wodny, ocena stanu technicznego i bezpieczeństwa, zdolność przepustowa

Summary

In the paper the results of carried out technical state and safety opinion of hydro-engineering structure “Bobrowice I” on the Bóbr river were presented. The attention have been paid on the structure exploitation conditions and capacity ability of the weir and the bottom outlet. Problem of sedimentation of the upper reservoir was considered. It was suggested that not every the safety limit is the technical state of the main structure such as weir or the dam. Sometimes its limit are determining by quite different conditions such as lack of possibilities to open the bottom outlet or carrying out reconditioning works on the structure. The influence of such situation on the safety of structure and potential treatment on the ground lying below, was underlined.

Key words: hydro-engineering structure, technical and safety state opinion, capability ability

WSTĘP

Stosownie do aktualnie obowiązującego Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 [Rozporządzenie... 2007], każdą budowlę hydrotechniczną należy poddać raz na pięć lat okresowej ocenie stanu technicznego i bezpieczeństwa. Końcowym efektem przeprowadzonej oceny powinno być orzeczenie techniczne określające stan budowli oraz miarę jej bezpieczeństwa. Aktualnie brak jest rozporządzenia określającego zakres oceny stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych. Wyjątkiem są wały przeciwpowodziowe, dla których w 2003 roku opracowano stosowne wytyczne [Borys, Mosiej 2003]. Tym samym jednostki wykonujące oceny stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych posługują się metodologiami własnymi, wypracowanymi w trakcie prowadzonej działalności.

Institut Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej prowadzi prace dla oceny stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych od sześćdziesięciu lat. Tym samym wypracował ogólną metodologię postępowania, która każdorazowo dostosowywana jest do rodzaju i charakteru badanego obiektu. Badania dotyczyły zapór ziemnych i betonowych, zbiorników suchych i o stałym piętrzeniu, jazów, składowisk odpadów płynnych i półpłynnych, wałów przeciwpowodziowych, śluz żeglugowych itp.

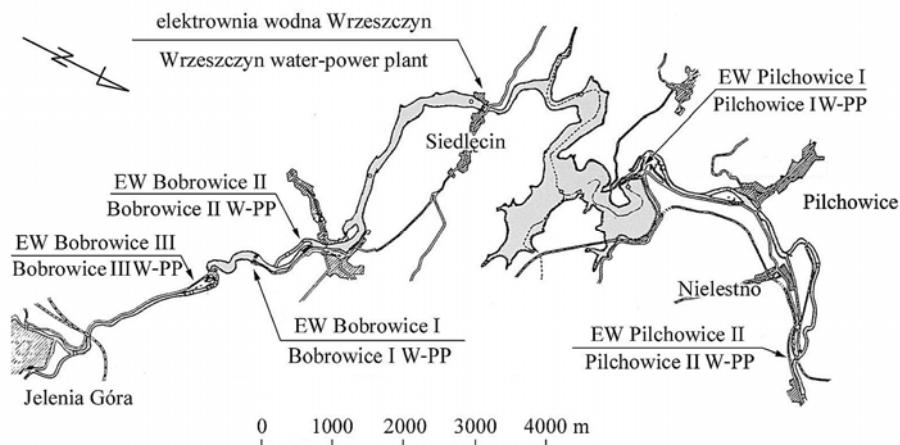
Ocena stanu technicznego i bezpieczeństwa każdego obiektu hydrotechnicznego powinna zawierać omówienie wielu elementów wynikających z warunków, w jakich prowadzona jest jego eksploatacja [Machajski 2002]. Tym samym powinna zawierać charakterystykę obiektu, omówienie warunków gruntowo-wodnych, występujących w rejonie budowli wraz z wymaganymi przepisami [Rozporządzenie... 2007] i obliczeniami sprawdzającymi rezultaty wnikliwego oglądu wszystkich elementów składowych obiektu, w tym jego części nadwodnych i podwodnych, pomiary inwentaryzacyjne, badania niszczące i nieniszczące elementów betonowych i stalowych, ocenę funkcjonowania elementów składowych budowli, w tym ocenę sprawności ruchowej mechanizmów i zamknięć zainstalowanych na budowli, charakterystykę wraz z oceną urządzeń pomiarowo-kontrolnych, w tym analizę i interpretację wyników pomiarów w odniesieniu do odnotowanych warunków eksploatacyjnych z porównaniem do ustalonych w instrukcji eksploatacji i utrzymania wartości dopuszczalnych dla poszczególnych mierzonych parametrów, przegląd dokumentacji eksploatacyjnej obiektu, w tym analizę dokonywanych przez obsługę stopnia codziennych wpisów dotyczących zaobserwowanych zjawisk, zestawienie zakresu niezbędnych do wykonania robót utrzymaniowych na stopniu oraz analizę innych czynników, mających wpływ na bezpieczeństwo obiektu. Zgodnie z wymogami Ustawy Prawo Budowlane, w ocenie należy zawrzeć końcowe orzeczenie techniczne w zakresie: konstrukcyjno-budowlanym, urządzeń budowlanych, sieci pomiarowo-kontrolnej oraz orzeczenie sumaryczne ze skalą ocen bardzo dobrą,

dobłą, zadowalającą, złą i katastrofalną. Ocenę powinno kończyć stwierdzenie określające aktualny stan bezpieczeństwa stopnia pod kątem jego możliwej dalszej eksploatacji.

Opisaną powyżej metodykę postępowania zastosowano do przeprowadzenia oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa stopnia wodnego EW „Bobrowice I” na rzece Bóbr. Jej niektóre rezultaty oraz wnioski przedstawiono poniżej.

OPIS OBIEKTU

Stopień wodny EW „Bobrowice” I funkcjonuje od 1925 roku. Jest usytuowany w km 208+460 biegu rzeki Bóbr, jako drugi stopień tzw. kaskady energetycznej rzeki Bóbr (rys. 1). Stopień tworzy zapora betonowo-kamienna z dwuprzęsłowym przelewem, upust denny oraz elektrownia wodna (rys. 2). Powyżej, w wyniku spiętrzenia wody, powstał zbiornik energetyczny, bez funkcji powodziowej, o powierzchni 0,11 km² i pojemności 0,50 hm³. Istniejąca w tych warunkach cofka sięga około 0,98 km powyżej przekroju jazu.



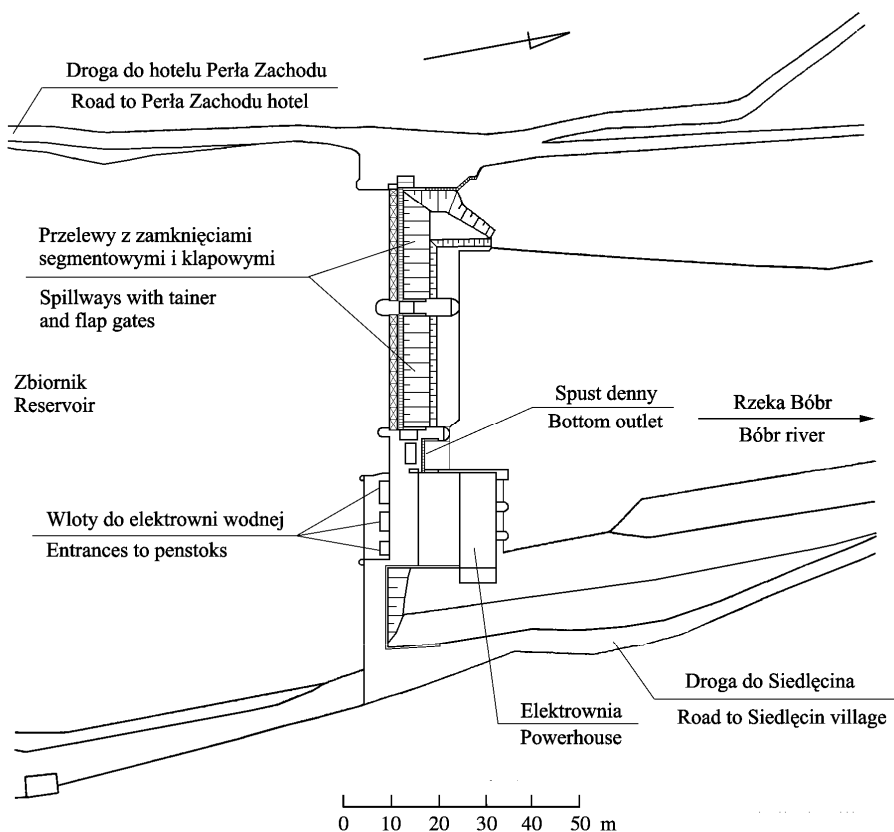
Rysunek 1. Rozmieszczenie obiektów kaskady hydroenergetycznej rzeki Bóbr

Figure 1. Placement of the Bóbr river hydro-energetic cascade structures

Zapora jest podstawowym elementem stopnia wodnego EW „Bobrowice I”. Jej długość wynosi 104,0 m, szerokość w koronie 5,0 m, szerokość w podstawie 17,0 m. Wysokość zapory od poziomu posadowienia wynosi 17,50 m, a od dna rzeki 15,50 m. Światło przelewu wynosi 45,0 m. Przelew składa się z dwóch przęseł o szerokości 22,5 m każdy, zamykanych stalowymi zamknięciami segmentowymi z klapami lodowymi. Segmenty i kłapy mają niezależne

napędy, dające większą swobodę wykonywania manewrów w okresie zimowym, podczas przepuszczania kry lodowej oraz w okresie występowania wezbrań powodziowych. Obustronnie sprzęgnięte napędy umieszczone są w budkach sterowniczych, zlokalizowanych na przyczółkach i filarze działowym jazu. Wysokość segmentu z klapą wynosi 4,10 m, wysokość kłapy 1,10 m. Wysokość piętrzenia jazu wynosi 14,50 m.

Upust denny zlokalizowany jest pomiędzy jazem a elektrownią wodną (rys. 2). Prostokątny przekrój upustu o wysokości 3,0 m i szerokości 6,0 m zamykany jest od strony wody dolnej zamknięciem segmentowym. Od strony wody górnej możliwe jest również zamknięcie przekroju upustu z wykorzystaniem zamknięcia awaryjno-remontowego w postaci płaskiej zasuwki stalowej. Segment i zasuwka mają wspólny napęd, umieszczony w budce sterowniczej na filarze działowym pomiędzy jazem a upustem dennym.



Rysunek 2. Rozmieszczenie obiektów stopnia wodnego „Bobrowice I”
Figure 2. Placement of the “Bobrowice I” hydro-engineering structure objects

Budynek elektrowni wodnej usytuowany jest na brzegu prawym (rys. 2). Fundamenty i blok budynku elektrowni do rzędnej przyległego terenu od strony WD, komory turbinowe od strony WG oraz kanały odpływowe zostały wykonane z betonu, natomiast hala maszyn, mieszcząca pomieszczenia generatorów, nastawnię i rozdzielnię, została wykonana z kamienia. Cały blok elektrowni w obrysie linii fundamentów został posadowiony na skale, która miejscami jest też widoczna w kanałach odpływowych poniżej wylotów rur ssących turbin.

Pod względem geomorfologicznym, stopień wodny położony jest w Kotlinie Jeleniogórskiej, która powstała w wyniku erozyjnego oddziaływania rzeki Bóbr. W otoczeniu jazu i elektrowni wodnej zalegają zmetamorfizowane skały gnejsowe. Silna metamorfizacja spowodowała, że są to głównie granitognejsy oliwkazowo-biotytowe. Powierzchniowo skały te są zwietrzałe i spękane. W dolinach na gnejsach zalegają aluwia kamienno-żwirowe, których miąższość dochodzi do sześciu m. Zbocza przyległych wzniesień pokrywają gliny zwietrzelinowe z rumoszem skalnym. Stan fizyko-mechaniczny podłoża gruntowego w rejonie posadowienia stopnia opisują parametry:

- gęstość właściwa – $\rho_s = 2,668 - 2,735 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- wytrzymałość na ściskanie – $R_c = 50,25 - 102,0 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$,
- nasiąkliwość = $0,50 - 5,90 \%$,
- wodochłonność – $Q = 0,100 - 0,500 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot 0,10 \text{ atm}^{-1}$.

Podłoże uważa się za nieprzepuszczalne. Jedynie na stokach przyległych wzniesień lokalnie widoczne są niewielkie wypływy źródlane.

Zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie [Rozporządzenie... 2007], podstawowy obiekt stopnia, jakim jest zaporą betonowo-kamienna z uwagi na wielkość piętrzenia $5 < H \leq 15 \text{ m}$ i posadowienie na gruntach skalistych powinien zostać zakwalifikowany do III klasy ważności obiektów hydrotechnicznych. Klasyfikacja ta również się nie zmienia z uwagi na moc elektrowni wodnej $< \text{od } 5 \text{ MW}$.

Dane hydrologiczne dotyczące przekroju lokalizacji stopnia wodnego EW „Bobrowice I” (km 208 + 460) przyjęte zostały na podstawie obserwacji prowadzonych na wodowskazach Jelenia Góra (powyżej) i Pilchowice zaporą (poniżej). Przekrój stopnia zamyka zlewnię o powierzchni 1047 km^2 . Zlewnię rzeki Bóbr stanowią zbocza górskie silnie zalesione o skalnym słabo przepuszczalnym podłożu. Przepływy charakterystyczne w przekroju stopnia, określone dla wielolecia 1970–1999 kształtują się następująco: NNQ – $0,410 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, SNQ – $2,48 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, SSQ – $13,5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, SWQ – $124 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, WWQ – $534 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (lipiec 1997), $Q_n - 1,90 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (przepływ nienaruszalny). Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, określone z wielolecia 1921–1999 kształtują się odpowiednio: $Q_{50\%} - 118 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, $Q_{10\%} - 267 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, $Q_{5\%} - 331 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, $Q_{2\%} - 417 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (woda miarodajna), $Q_{0,5\%} - 548 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (woda kontrolna). Elektrownia

wodna pracuje jako przepływowa. Przy przepływach do wielkości przeloty instalowanego równego $23,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zrzut wody następuje przez turbiny. Powyżej tego natężenia zrzut wody na dolne stanowisko odbywa się poprzez manewry początkowo klapami lodowymi, później segmentami, zaś przy ekstremalnie dużych dopływach uruchamiany jest upust denny.

**ANALIZA STANU BEZPIECZEŃSTWA STOPNIA
ORAZ POTENCJALNEGO ZAGROŻENIA DLA TERENÓW PRZYLEGLYCH
ANALIZA ZDOLNOŚCI PRZEPUSTOWEJ BŁOKU ZRZUTOWEGO
– WARUNKI PRZEPUSZCZANIA WÓD**

W warunkach normalnej eksploatacji stopnia woda przepuszczana jest przez trzy turbiny o łącznym przeloty instalowanym $23,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przepływ miarodajny przepuszcza się przelewami przy pełnym podniesieniu zamknięć segmentowych, a przepływ kontrolny przez przelewy i upust denny, przy pełnym otwarciu wszystkich zamknięć segmentowych. Podczas przepływu wód maksymalnych elektrownia jest wyłączona z eksploatacji.

Przepustowość urządzeń zrzutowych sprawdzono w warunkach przejścia wód miarodajnej i kontrolnej. Przyjęto, jak dla III klasy ważności stałych budowli hydrotechnicznych, odpowiednio wymagane maksymalne rzędne zwierciadła wody górnej. Podczas przejścia przepływu miarodajnego $Q_{2\%} = 415 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ założono rzędną $311,0 \text{ m n.p.m.}$, tj. $0,50 \text{ m}$ poniżej rzędnej korony jazu, a podczas przejścia przepływu kontrolnego $Q_{0,5\%} = 536 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ założono rzędną $311,40 \text{ m n.p.m.}$, tj. $0,10 \text{ m}$ poniżej rzędnej korony jazu.

W celu właściwego dobrania parametrów geometrycznych i współczynników empirycznych, występujących w zastosowanych do obliczeń równaniach [Rogala i in. 1991], przeanalizowano rozwiązania konstrukcyjne urządzeń zrzutowych, wykorzystując archiwalne rysunki budowlane oraz wiedzę o obiekcie nabytą podczas wykonywania oceny stanu technicznego stopnia „Bobrowice I” [Machajski i in. 2004]. Po wyznaczeniu wszystkich niewiadomych określono wydatki poszczególnych urządzeń dla różnych wariantów otwarć zamknięć segmentowych i poziomów wody górnej. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Analiza wyników obliczeń pozwala stwierdzić, że zgodnie z obowiązującymi przepisami [Rozporządzenie... 2007] urządzenia zrutowe stopnia wodnego „Bobrowice I” mogą przepuścić bezpiecznie przepływy miarodajny ($415 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i kontrolny ($536 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Przepływy obliczeniowe mogą być przepuszczone przez dwa przelewy, przy nieczynnej elektrowni i upuście dennym.

Zagrożenie może wystąpić jedynie w przypadku równoczesnej awarii jednego z zamknięć segmentowych usytuowanych na przelewie i w upuście dennym, co jednak jest bardzo mało prawdopodobne.

Tabela 1. Wyniki obliczeń wydatków urządzeń zrzutowych
Table 1. Calculation results of the hydraulics devices discharge

Rzędna zw. WG [m npm.]	Przelew lewy [m ³ ·s ⁻¹]	Przelew prawy [m ³ ·s ⁻¹]	Upust denny [m ³ ·s ⁻¹]	Elektrownia [m ³ ·s ⁻¹]
311,40	403	403	208	23,5
311,00	355	355	204	23,5
urządzenie zrzutowe i elektrownia	warunki przepuszczania przepływów maksymalnych			
	miarodajny			kontrolny
	bez 1 przelewu	bez spustu	bez elektrowni	wszystkie
przelew	355	710	710	806
upust denny	204	–	204	208
elektrownia	23,5	23,5	–	23,5
suma	582,5	733,5	914	1037,5

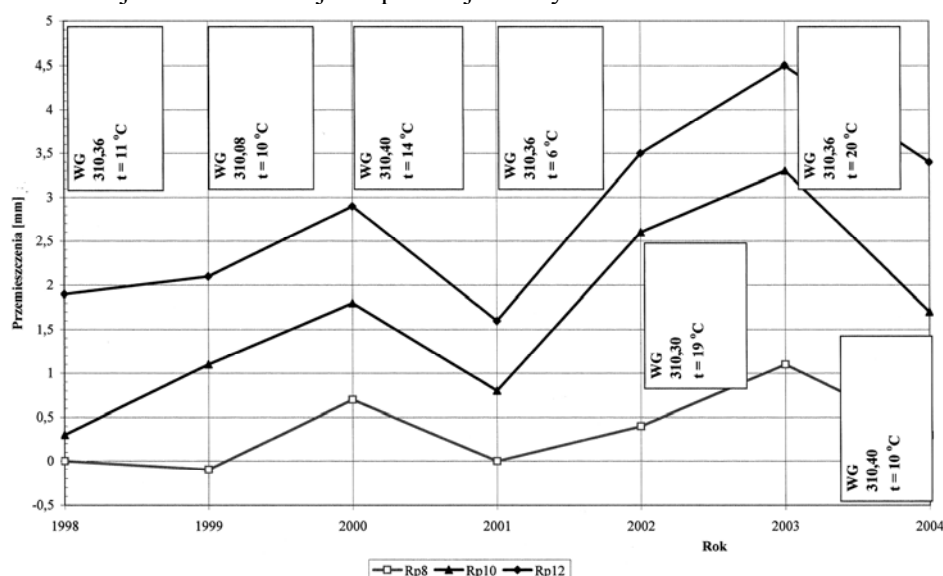
ZAMULENIE GÓRNEGO STANOWISKA

W czaszy zbiornika zalega w dużych ilościach rumowisko wleczone i unieszone, miejscami bardzo drobne, przechodzące w namuł. Jego rozkład w czaszy w dużej mierze zależy od operacji zamknięciami jazu, upustu dennego i poborem wody przez elektrownię. Od dłuższego czasu występujące w przekroju stopnia wezbrania, nawet w okresie wystąpienia wezbrania powodziowego w lipcu 1997, nie wymusiły otwarcia wszystkich zamknięć, stąd widoczne odkłady w czaszy, koncentrujące się wzdłuż linii brzegu lewego, w pobliżu jazu i upustu dennego. Badania podwodne z udziałem nurka wykazały znaczące zamulenie w rejonie wlotu do upustu dennego, sięgające około 1,0–1,50 m powyżej górnej krawędzi przekroju wlotowego. Zgromadzone w rejonie wlotu do przekroju upustu nanosy mogą utrudnić proces uruchamiania zamknięcia spustu. Mogą również, w przypadku jego otwarcia, uruchomić proces wynoszenia osadów na stanowisko dolne. Z uwagi na lokalizację stopnia na terenie Parku Krajobrazowego „Dolina Bobru” nie jest to wskazane.

ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH OBIEKTÓW SKŁADOWYCH STOPNIA

Na obiekcie stosunkowo późno, bo od 1994 roku, rozpoczęto pomiary przemieszczeń pionowych, jeszcze później pomiary przemieszczeń poziomych. Do pomiaru przemieszczeń pionowych zainstalowano repery kontrolne, umieszczając je od strony wody górnej, wody dolnej oraz na filarach działowych komór wylotowych poszczególnych turbin elektrowni wodnej. Repery odniesienia

umieszczono na budynku elektrowni od strony prawego brzegu oraz na kamiennej balustradzie przegrody doliny rzeki również od strony brzegu prawego. Pomiaru na stopniu wykonywane są dwukrotnie w roku, na wiosnę oraz na jesień, następnie wstawiane do bazy danych i poddawane analizie. Raz na pięć lat w ramach okresowej oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektu dokonywana jest interpretacja wyników połączona z określeniem parametrów dopuszczalnych w dostosowaniu do nowych uwarunkowań eksploatacyjnych. Na rysunku 3 pokazano przykładowe wyniki przemieszczeń pionowych reperów usytuowanych od strony wody dolnej. Widoczna jest reakcja budowli na zmienne piętrzenie, przemieszczenia nie przekraczają jednak wartości dopuszczalnych ustalonych dla tej budowli w dokumentacji projektowej sieci pomiarowo-kontrolnej oraz w instrukcji eksploatacji i utrzymania.



Rysunek 3. Wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych od strony wody dolnej
Figure 3. Tail-water results of vertical displacements measurements

Istniejącą na stopniu sieć urządzeń pomiarowo-kontrolnych uznano za sprawną technicznie i wystarczającą dla potrzeb realizacji wymaganego przepięsami zakresu pomiarów dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa. Zamontowane urządzenia umieszczone są na tych elementach składowych, których obserwacja jest niezbędna dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa, umożliwiają jednocześnie dokonanie stosownych obserwacji czy odczytów, bez ryzyka popełnienia większego błędu. Odrębnej dyskusji wymaga lokalizacja reperów odniesienia na stopniu. Nie jest właściwym dokonywanie oceny przemieszczeń pionowych konstrukcji na podstawie wskazań reperów odniesienia,

z których jeden zamontowany jest na narożniku budynku elektrowni, a drugi na balustradzie korony stopnia od strony wody dolnej. Badany obiekt narażony jest na oddziaływanie drgań wytwarzanych przez pracujące turbozespoły, przez zwiększone przepływy ponad krawędzią zamknięć jazu, czy wypływy przez otwór upustu dennego. Uzyskiwane w tych warunkach pomiary powinny być traktowane jako względne, bowiem nie można nie założyć, że wraz z reperami kontrolowanymi na obiekcie przemieszczają się również repery odniesienia. Zaproponowano zamontowanie minimum dwóch reperów odniesienia, jednego na brzegu lewym, drugiego na brzegu prawym, poza zasięgiem oddziaływania budowli w rozumieniu drgań i wpływu spiętrzonej wody powyżej. Repery te powinny być typu głębinowego, a w sytuacji podłoża skalistego z nawiązaniem do tego podłoża po wcześniejszym usunięciu wierzchniej warstwy zwietrzliny.

STAN TECHNICZNY OBIEKTU

Stan techniczny stopnia oceniono na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej, pomiarów inwentaryzacyjnych, badań nieniszczących konstrukcji betonowych i stalowych, badań podwodnych z udziałem wykwalifikowanego nurka.

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie metodą nieniszczącą przeprowadzono używając młotka Schmidta typu N, produkcji szwajcarskiej, zgodnie z normą PN-74/B-06262 i instrukcją stosowania ITB nr 210. Celem badań było określenie wytrzymałości na ściskanie betonu oraz jego jednorodności w poszczególnych elementach konstrukcji. Badaniom poddano tylko zewnętrzne ściany konstrukcji. Elementy betonowe oceniono wizualnie i na podstawie dokonanych pomiarów nieniszczących.

Uwaga obserwatora skupiona jest na zawilgoceniu, obecne praktycznie w każdym, z wyłączeniem korpusu zapory, elemencie konstrukcyjnym obiektu. Widoczne jest ono albo bezpośrednio na powierzchni tego elementu, albo poprzez nacieki związków wapnia. Nacieki związków wapnia szczególnie są widoczne na lewym przyczółku, jak i na filarze działowym stopnia. Zawilgocenie bezpośrednio odnotowano na ścianie zamykającej dolinę od strony brzegu prawego. Zawilgocenie to może być wynikiem infiltracji wód ze zbiornika, jak również wynikiem infiltracji wód opadowych przez powierzchniowe nieszczelności tych elementów konstrukcyjnych. Analiza wyników dokonanych pomiarów nieniszczących betonów konstrukcyjnych elementów składowych stopnia pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- konstrukcje poszczególnych elementów stopnia mają zróżnicowane wytrzymałości na ściskanie, zmieniające się od 10 do 45 MPa,
- klasy betonu dwóch elementów (filara lewego przy wlocie do turbiny nr 1 i muru oporowego przy elektrowni wodnej) nie można w ogóle określić,
- ogólnie jednorodność betonów o wyższej klasie jest dobra lub bardzo dobra,
- jednorodność betonów słabych jest dostateczna lub niedostateczna.

Zaprezentowane spostrzeżenia z przeprowadzonych badań nieniszczących betonów konstrukcyjnych można wyjaśnić w sposób następujący. Elementy, dla których stwierdzono wysoką wytrzymałość betonu na ściskanie były stosunkowo niedawno remontowane. Ich powierzchnia jest twarda, ale wyraźnie spękana. Wydaje się, że zaprojektowano i otrzymano beton o stosunkowo dużej wytrzymałości, ale jednocześnie o niskiej mrozoodporności. Widoczne w wielu miejscach na powierzchni betonu mikrospeknięcia mogą być jedną z przyczyn pogarszania się jakości betonu konstrukcyjnego w niedługim czasie. Betony o niskiej wytrzymałości (C8/10) to betony osiemdziesięcioletnie, pracujące w trudnych warunkach atmosferycznych, narażone w pewnym okresie na działanie agresywnych związków chemicznych zawartych w wodach rzeki Bóbr, stąd wymagające natychmiastowej renowacji.

Badania podwodne dostarczyły informacji o stanie elementów konstrukcyjnych stopnia zakrytych wodą oraz o stanie zamulenia górnego stanowiska bezpośrednio przed budowlą – korpusem zapory, upustem dennym i ujęciem elektrowni. Obejmowały również dolne stanowisko stopnia, głównie kanały odpływowe turbin na odcinku od wylotów rur ssących do przekroju wylotowego do koryta rzeki.

Dno koryta rzeki bezpośrednio przed jazem jest zamulone. Zamulenie sięga około 0,70–0,90 m poniżej rzędnej progę. Jest większe od strony przęsła lewego. Progi przęsła jazu są bez uszkodzeń, powierzchnia progów do miejsca oparcia segmentów jest gładka, bez uszkodzeń i bez osadzeń nanosów. Ściana lewego przyczółka jest gładka bez wyczuwalnych spęknięć czy ubytków wyprawy wodoszczelnej. Dotyczy to też ścian filara działowego jazu oraz filara pomiędzy jazem i upustem dennym.

Dno koryta rzeki w rejonie wlotu do upustu dennego znacząco się obniża. Próg wlotowy jest zamulony. Widoczna jest jedynie górna krawędź przekroju upustu. Jest ona wyokrąglona, bez ubytków i wyczuwalnych spęknięć. Sam przekrój upustu do zamknięcia segmentowego jest gładki, bez wyczuwalnych spęknięć czy ubytków betonu.

Na wlocie do poszczególnych komór turbin zainstalowane są kraty rzadkie, wykonane z płaskowników. Miejscami kraty są skorodowane oraz zaniezione przedmiotami niesionymi przez wodę, a wyrzucanymi przez ludzi mieszkających powyżej – widoczne są worki foliowe, gałęzie, liście i inne drobne przedmioty, kraty miejscami są praktycznie niedostępne. Wymagają oczyszczenia dla poprawy warunków hydraulicznych wpływu wody do poszczególnych komór turbin.

Ściana zamykająca przekrój doliny od strony brzegu prawego przedzielona jest półką betonową, poniżej której ściana jest betonowa, a powyżej z okładziną kamienną. Ściana poniżej półki jest gładka, bez wyczuwalnych spęknięć oraz pokryta białym nalotem. Koryto rzeki przed ścianą zaniezione jest nanosami rumoszu. Rumosz w pobliżu dna bardzo gęsty, w miarę zbliżania się do linii zwierciadła wody przechodzi w zawiesinę.

Kanały odpływowe turbin powyżej linii zwierciadła wody mają widoczne miejscowe uszkodzenia wodoszczelnej wyprawy ścian. Uszkodzenia te to głównie spękania i lokalne ubytki niewielkich powierzchniowo fragmentów wyprawy, widoczne również na sklepieniu kanału. Kanały odpływowe turbin poniżej linii zwierciadła wody rozpoznano w rejonie ściany prawej danego kanału i wylotu rury ssącej turbiny. Bezpośrednio w rejonie wylotu do dolnego stanowiska, w dnie kanałów leżą odłamki skalne, w narożnikach widoczne są spękania i ubytki betonu. W okolicy rury ssącej, na ścianach widoczne są liczne nacieki związków wapnia, ślady po nierówno ułożonym deskowaniu, ze ścian wystają kamienie i otoczaki. Widoczne są również wżery i raki, miejscami większe dziury i zagłębienia, nawet do 0,10 m głębokości. Bezpośrednio w rejonie wylotu rur ssących turbin ściany są gładkie, samo dno lekko porowate, ściany boczne przechodzą łagodnymi łukami w linię dna. Ściany kanałów bezpośrednio za wylotem rury ssącej są bez spękań. Dno jest gładkie. Jedynie miejscami wystają z niego kamienie, jako naturalny fragment podłoża skalnego. Bezpośrednio przed wylotami poszczególnych kanałów odpływowych w dnie widoczne były nanosy rumoszu. Wnęki zamknięć remontowych w ścianie prawej i w lewej zaniezione są rumoszem, miejscami widoczne były znaczące ubytki betonu, jak i widoczny porost roślinności.

Wylot upustu dennego całkowicie jest zanieiony nanosami rumoszu przemieszanego z namulami. Siegał dna koryta rzeki. Warstwa wody nad nanosami miała tylko około 0,30 m grubości. Dopiero na wysokości końca filara działowego, pomiędzy jazem i upustem dennym, dno jest naturalne skaliste, z pokryciem cienką warstwą namułu.

ZALECENIA PRZEPROWADZENIA PRAC REMONTOWYCH

Przed przystąpieniem do opracowania projektu prac remontowych obiektu zasugerowano przeprowadzenie dodatkowych prac badawczych. W pierwszej kolejności powinno się rozważyć potrzebę przeprowadzenia badań niszczących niektórych elementów konstrukcyjnych stopnia. Ocenie należy poddać elementy betonowe lewego przyczółka jazu, filara działowego pomiędzy jazem a upustem dennym, ściany nad upustem dennym oraz ściany zamykającej przekrój doliny od strony brzegu prawego. Próbkę betonu należy poddać badaniom wytrzymałościowym, ocenie wodoprzepuszczalności, badaniom chemicznym oraz ewentualnie mrozoodporności. Uzyskane wyniki stanowiłyby podstawę decyzji dotyczącej zakresu prac, jakie powinny być przeprowadzone dla wymienionych elementów, głównie dla wyeliminowania zauważonych przecieków oraz pęknięć. Sugeruje się aby projekt prac remontowych obiektu został skonsultowany ze specjalistami z zakresu realizacji prac remontowych i technologii ich wbudowania. Wskazany zakres prac remontowych powinien obejmować:

- wykonanie uzupełniających iniekcji na tych fragmentach konstrukcji, które zostaną wskazane po wykonaniu dokładnego rozpoznania betonów, jak i szczegółowej lokalizacji spękań i pęknięć,
- usunięcie wierzchniej warstwy betonu w komorach rur ssących, kanałach wylotowych turbin i ich filarach działowych, z wykonaniem płaszcza żelbetowego, z zastosowaniem betonów specjalnych,
- spoinowanie okładziny kamiennej na wskazanych elementach konstrukcyjnych stopnia, jednakże po uprzednim dokładnym usunięciu pozostałości starej zaprawy,
- wykonanie prac naprawczych murów oporowych na stanowisku górnym poprzez usunięcie wierzchniej warstwy betonu i położenie płaszcza żelbetowego z zastosowaniem betonów specjalnych,
- wykonanie w podobnej technologii prac naprawczych ściany od strony brzegu prawego,
- wykonanie, w podobnej technologii prac naprawczych, muru oporowego wzdłuż linii brzegu prawego od strony wody dolnej, z wbudowaniem drenażu od strony gruntu dla kontroli zjawisk filtracyjnych związanych z dopływem wód od strony przyległego masywu skalnego.

MOŻLIWOŚĆ REALIZACJI PRAC REMONTOWYCH

Realizacja wskazanego zakresu prac remontowych na stopniu wymagać będzie opróżnienia zbiornika poprzez otwarcie zamknięcia segmentowego upustu dennego. Z uwagi na wielkość przekroju upustu i jego zdolność przepustową istnieje uzasadniona obawa, że nastąpi uruchomienie osadów zgromadzonych powyżej i wyniesienie ich do dolnego stanowiska stopnia i dalej do zbiornika stopnia wodnego „Wrzeszczyn”. Osady zgromadzone w zbiorniku stopnia „Bobrowice” mogą zawierać zanieczyszczenia dopływające z zakładów przemysłowych zlokalizowanych powyżej, stąd obawa o stan środowiska naturalnego, szczególnie w kontekście lokalizacji obiektu na terenie Parku Krajobrazowego „Dolina Bobru”. Tym samym konieczne będzie przeprowadzenie powtórnego sondowania zbiornika pod kątem stanu osadów i stosownie do tego opracowanie procedury manewrowania zamknięciem segmentowym upustu oraz pracą turbozespołów, tak aby możliwe było opróżnienie zbiornika bez nadmiernego ruszenia zgromadzonych w nim osadów.

PODSUMOWANIE

Nie zawsze miarą bezpieczeństwa jest stan techniczny budowli głównej, jaką jest jaz czy zaporą. Niejednokrotnie o jej mierze decydują inne uwarunkowania, takie jak brak możliwości uruchomienia upustu dennego, czy brak moż-

liwości przeprowadzenia wymaganych dokonaną oceną prac remontowych czy naprawczych na obiekcie. Wpływ takiego stanu rzeczy na bezpieczeństwo samego obiektu oraz potencjalne zagrożenie dla terenów leżących poniżej jest istotny szczególnie w sytuacji, gdy badany obiekt zlokalizowany jest na obszarze chronionym i tym samym bardzo trudno o decyzje zezwalające na zrzut wody zmieszanej z osadami na dolne stanowisko.

BIBLIOGRAFIA

- Borys M., Mosiej K. *Wytyczne wykonywania ocen stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych*. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Falenty 2003.
- Machajski J. *Propozycja metodologii badań dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa małych zbiorników retencyjnych*. Materiały III Konferencji Naukowej Bezpieczeństwo i trwałość budowli wodnych. Kamień Śląski, maj 2002.
- Machajski J., Rędownicz W., Batóg A. *Badania dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych stopnia wodnego EW Bobrowice I*. Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki. Raport serii SPR nr 10/2004. Wrocław, listopad 2004.
- Rogała R., Machajski J., Rędownicz W. *Hydraulika stosowana. Przykłady obliczeń*. Wydawnictwo Politechniki Wroclawskiej, Wrocław 1991.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie*. Dz.U. Nr 86/2007, poz. 579.

Dr inż. Jerzy Machajski
Dr inż. Wojciech Rędownicz
Politechnika Wroclawska
Instytut Geotechniki i Hydrotechniki
50-370 Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tel. 0-71 320 33 68
e-mail: Jerzy.Machajski@pwr.wroc.pl
e-mail: Wojciech.Redowicz@pwr.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bednarczyk*