

Stanisław Kostecki, Jerzy Machajski, Wojciech Rędownicz

**OCENA STANU BEZPIECZEŃSTWA
STOPNIA WODNEGO KRĘPA NA RZECE ODRZE**

***SAFETY STATE ASSESSMENT OF FALL STAGE KRĘPA
ON THE ODRÁ RIVER***

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań i pomiarów, przeprowadzonych dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektów stopnia wodnego Krępa na rzece Odrze. Przedstawiono zakres i metodologię prac dla oceny stopni wodnych niskiego spadku, wypracowaną w Instytucie Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej. Omówiono zagadnienia, jakie analizowano w trakcie prac pomiarowych i badawczych na obiekcie. Podano wnioski wynikające z przeprowadzonych badań, których ostateczne sformułowanie zawiera ocenę stanu bezpieczeństwa badanego obiektu. W podsumowaniu podkreślono potrzebę wykonywania badań dla oceny stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych, mających istotne znaczenie nie tylko dla bezpieczeństwa badanego obiektu, ale również dla terenów leżących poniżej stopnia.

Słowa kluczowe: hydrotechnika, stopień wodny, ocena stanu bezpieczeństwa

Summary

In the paper the results of investigations and measurements are presented, carried out for the aim of technical state assessment and safety of fall stage Krępa on the Odra river. Range and methodology of works for fall stages of low head assessment are described, elaborated in the Institute of Geotechnics and Hydrotechnics of Wrocław University of Technology. Problems analyzed during measurements and investigations carried out on the studied barrage are discussed. The final conclusion concerns the safety state assessment of investigated object. In the recapitulation a necessity of research for technical state assessment of hydro-engineering structures is emphasized, being of great importance not only for the safety of investigated object but also for areas situated downstream.

Key words: hydraulic engineering, fall stage, safety state assessment

WSTĘP

Każdy obiekt budowlany w okresie użytkowania podlega ocenie stanu technicznego i bezpieczeństwa, realizowanej zwykle z częstotliwością raz na pięć lat. Ocenie powinny podlegać wszystkie elementy konstrukcyjne obiektu, jak również warunki ich posadowienia, skutkujące zachowaniem tzw. bezpieczeństwa eksploatacyjnego. W wyniku oceny powinny zostać podjęte działania dla utrzymania stwierdzonego dobrego jego stanu, albo niezbędne prace remontowe dla jego poprawy, powinien również zostać określony czasokres ich realizacji [Kledyński 2006].

UWARUNKOWANIA PRAWNE

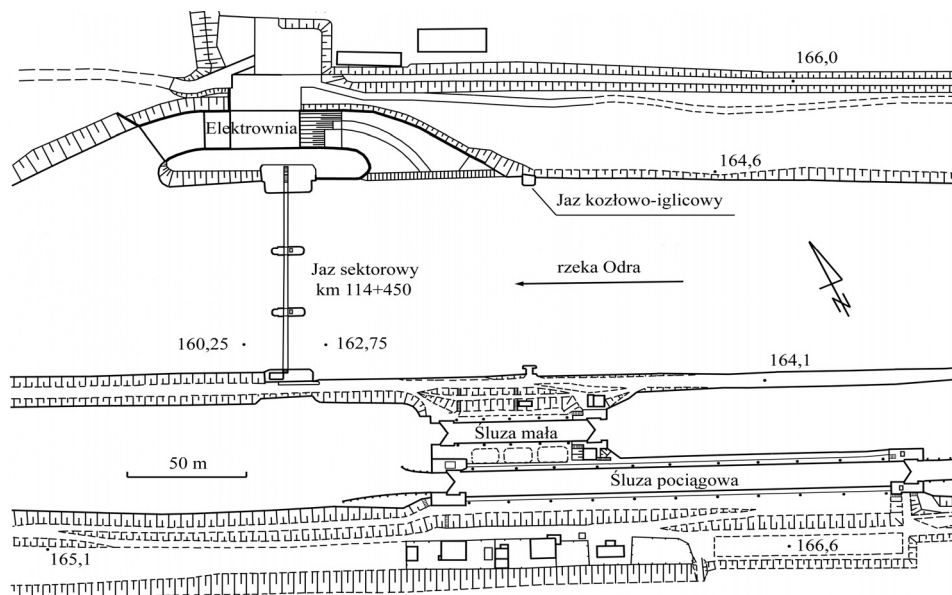
Uwarunkowania prawne eksploatacji obiektów budownictwa hydrotechnicznego pod względem bezpieczeństwa, zawarte są w ustawie Prawo budowlane oraz w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 [Rozporządzenie 2007]. Regulują one wiele zagadnień, które z chwilą przeprowadzania oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektu hydrotechnicznego, powinny być wnikliwie przeanalizowane.

ZAKRES I METODOLOGIA PRAC

Zakres i metodologię prac badawczych i pomiarowych dla oceny stanu bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych wypracowano w Instytucie Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej na bazie wieloletnich doświadczeń [Machajski i in. 2008]. Naszym zdaniem metodologia prac powinna ujmować i opisywać następujące zagadnienia: aktualny opis obiektu oraz jego funkcji, ogólną charakterystykę geologiczno-inżynierską podłoża wraz z prognozą stanu naprężeń, wyniki badań geotechnicznych budowli ziemnych ulegających deformacjom, ocenę zjawisk filtracyjnych w aspekcie stateczności budowli, ocenę sieci pomiarowo-kontrolnej wraz z oceną jakości i zakresu prowadzonych pomiarów, ocenę stanu technicznego konstrukcji betonowych, ceglanych i stalowych, a także mechanizmów napędowych zamknięć zainstalowanych na budowli warunkujących ich sprawność ruchową. Istotnymi zagadnieniami, jakie powinny być ujmowane w ocenie, są: stan prawny obiektu, przegląd materiałów archiwalnych, wyniki przeprowadzonych własnych pomiarów i badań, analiza dokumentacji eksploatacyjnej obiektu oraz realizacja zaleceń wykonania bieżących zabiegów remontowych, zapewniających dalsze bezpieczne użytkowanie obiektu.

KRÓTKI OPIS STOPNIA WODNEGO KRĘPA

Stopień Krępa powstał w 1892 roku na rzece Odrze w km 114,5 jej biegu i początkowo składał się z jazu kozłowo-iglicowego oraz małej śluzy żeglugaowej. W 1911 roku dobudowano równoległą śluzę pociągową. W 1979 roku wykonano nowy trzyprzęsłowy jaz sektorowy 100 m poniżej istniejącego (rys. 1). Podstawowe funkcje stopnia to: zapewnienie głębokości żeglugowych dla barek 1000-tonowych oraz produkcja energii elektrycznej w przystopniowej elektrowni wodnej. Obiekty stopnia posadowione zostały na czwartorzędowych utworach, reprezentowanych głównie przez żwiry i piaski o miąższości w rejonie jazu do 10 m, pod którymi zalegają utwory trzeciorzędowe, wykształcone głównie w postaci iłłów miocenijskich.

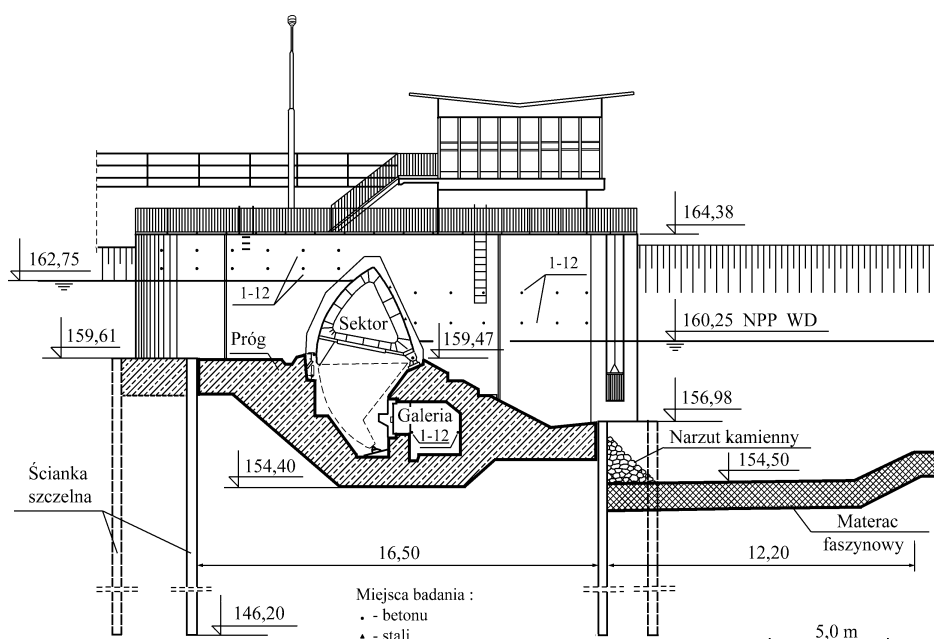


Rysunek 1. Plan stopnia wodnego Krępa na rzece Odrze
Figure 1. Plan of the Krępa fall stage on the Odra river

Stopień zamyka zlewnię o powierzchni 9315,8 km², kontrolowaną w przekroju Racibórz-Miedonia. Przepływy charakterystyczne i o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla stopnia kształtują się stąd następująco: NNQ = 12,2 m³/s, SNQ = 22 m³/s, SSQ = 78 m³/s, SWQ = 514 m³/s, WWQ = 3125 m³/s (10.07.1997), absolutne minimum = 8,90 m³/s (1954), Q_{50%} = 500 m³/s, Q_{1%} = Q_m = 1954 m³/s, Q_{0,3%} = Q_k = 2348 m³/s, Q_{0,1%} = 2880 m³/s. W historii obiektu odnotowano przejście przez jego przekrój wielu wezbrań

powodziowych. Były to lata 1958, 1977 przed jego przebudową oraz lata 1981, 1985, 1992, 1997, 2002, 2006 i 2010 po przebudowie na jaz sektorowy.

Jaz jest obiektem trzyprzęsłowym o rozpiętości jednego przęsła równej 25 m, wyposażonym w zamknięcia sektorowe, oparte na progu założonym od strony wody górnej na poziomie dna rzeki (rys. 2). W przyczółku od strony brzegu lewego umieszczono sterówkę oraz instalacje i urządzenia związane z napędem zamknięć jazu. Sterowanie zamknięciami jazu odbywa się z centralnej sterowni na lewym przyczółku jazu. W przyczółku od strony brzegu prawego umieszczono wielokomorową przepławkę dla ryb, a na przedłużeniu jazu



Rysunek 2. Przekrój przez próg i zamknięcie sektorowe jazu
Figure 2. Weir crest and drum gate cross-section

elektrownię wodną. Śluza pociągowa, zlokalizowana od strony brzegu lewego rzeki (rys. 1), ma długość użytkową 187,67 m i szerokość w świetle głowy górnej 9,60 m. Konstrukcja śluzy wykonana została z betonu, ściana prawa jako wolno stojący mur oporowy, natomiast ściana lewa została połączona z betonową płytą denną o grubości 1,0 m. Zamknięcia komory śluzy stanowią stalowe wrota wsporne dwuskrzydłowe, oparte na murowanej konstrukcji głowy dolnej i górnej. Napelnianie i opróżnianie śluzy odbywa się z wykorzystaniem krótkich kanałów obiegowych, zamykanych stalowymi zasuwami rolkowo-klinowymi

o napędzie elektrycznym. Elektrownia wodna typu przepływowego, w całości umieszczona pod powierzchnią terenu, wybudowana została na prawym brzegu rzeki i oddzielona jest od prawego przyczółka jazu językiem rozdzielczym (rys. 1). W hali zainstalowano dwa poziome turbozespoły Francisa, o mocy instalowanej $2 \times 0,50$ MW i przepłyku instalowanym 2×25 m³/s. Zewnętrzną część elektrowni stanowią kanały dopływowy i odpływowy, obustronnie zamknięte w stalowych ściankach szczelnych. Przepławka dla ryb typu komorowego, usytuowana została na prawym brzegu rzeki, wewnątrz prawego przyczółka jazu sektorowego [Machajski i in. 2008].

OCENA STANU BEZPIECZEŃSTWA

Konstrukcje betonowe

Badany jaz jest konstrukcją masywną (rys. 2), składającą się z pięciu zdylatowanych elementów, wykonanych z betonu hydrotechnicznego o parametrach zgodnych z normami obowiązującymi w 1979 roku. Mieszanka betonowa wykonywana była na miejscu, a prowadzone badania jakości betonów potwierdziły ich wymagania projektowe [Rędownicz, Kapelko 2006]. Celem realizowanych na obiekcie badań było ustalenie: wytrzymałości na ściskanie betonowych elementów jazu, rodzaju uszkodzeń i zakresu ich występowania, przyczyn ewentualnych uszkodzeń oraz wskazanie przedmiotu i zakresu naprawy. W tym celu przeanalizowano dostępną dokumentację, warunki eksploatacji budowli, przeprowadzono badania *in situ* elementów betonowych oraz dokonano oceny konstrukcyjnej budowli. Spośród możliwych metod badania betonu w konstrukcji, takich jak metody niszczące, seminieniszczące lub nieniszczące, wybrano tę ostatnią [Runkiewicz 2002]. Metoda ta daje wyniki przybliżone, ale jest efektywna i pozwala szybko ocenić stan betonu. Badania wytrzymałości betonu na ściskanie metodą nieniszczącą przeprowadzono, używając młotka Schmidta typu N, zgodnie z normą PN-74/B-06262. Po analizie rozwiązań konstrukcyjnych budowli oraz na podstawie własnych doświadczeń, dokonano jej podziału na elementy, które poddano badaniom. Punkty pomiarowe ponumerowano i zaznaczono czarnymi kropkami, jak przykładowo na rysunku 2.

Wyniki badań opracowano metodą bezpośrednią. Dla każdej wartości odbicia w_i obliczano wytrzymałości betonu R_i , na podstawie znanej funkcji regresji $R = R(w)$. Następnie wyznaczano wytrzymałość średnią dla elementu $R_{\text{śr.}}$, estymator odchylenia standardowego S_R , wytrzymałość minimalną $R_{\text{min.}}$ oraz wskaźnik zmienności v_R . Otrzymane wyniki korygowano poprzez zastosowanie współczynników poprawkowych: równego 1,12 do określenia wytrzymałości betonu, w zależności od stanu jego wilgotności – jak dla stanu po nasyceniu wodą oraz współczynnika uwzględniającego wiek betonu równego 0,60, jak dla betonu mającego co najmniej 1000 dni. Wyniki badań i obliczeń zestawiono

tabeli 1, a po ich analizie wyciągnięto następujące wnioski: poszczególne elementy konstrukcji mają mało zróżnicowane wytrzymałości na ściskanie, nieprzekraczające 20 MPa, jednorodność betonów zewnętrznych, poza trzema przypadkami, jest dobra, jednorodność betonów w galerii jest bardzo dobra, średnia wytrzymałość betonów zewnętrznych jest znacznie wyższa od wytrzymałości betonów wewnętrznych. Badane betony zaliczono do klasy C 12/15 [Czarnecki, Emmos 2002].

Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu elementów jazu Krępa
Table 1. Results of investigations on concrete compressive strength of Krępa weir elements

Element konstrukcji	Wytrzymałość betonu na ściskanie [MPa]				Klasa betonu	Ocena jednorodności betonu
	z badań bezpośrednich		ze współczynnikami poprawkowymi			
	R_{sr}	R_{min}	$R_{sr, popr.}$	$R_{min, popr.}$		
Przyczółek lewy, WG	37,4	25,0	25,1	16,8	C 12/15	zły
Przyczółek lewy, WD	35,1	24,4	23,6	16,4	C 12/15	mierny
Filar lewy, WG, ściana pd.	42,5	25,3	28,6	17,0	C 12/15	zły
Filar lewy, WD, ściana pd.	34,8	26,3	23,4	17,6	C 12/15	dobry
Filar lewy, WG, ściana pn.	34,8	23,1	23,4	15,5	C 12/15	zły
Filar lewy, WD, ściana pn.	39,1	31,8	26,3	21,4	C 16/20	dobry
Filar prawy, WG, ściana pd.	41,8	31,3	28,1	21,0	C 16/20	dobry
Filar prawy, WD, ściana pd.	36,1	27,0	24,2	18,1	C 12/15	dobry
Filar prawy, WG, ściana pn.	36,3	26,5	24,4	17,8	C 12/15	mierny
Filar prawy, WD, ściana pn.	34,9	24,9	23,5	16,7	C 12/15	mierny
Przyczółek prawy, WG	38,7	27,8	26,0	18,7	C 12/15	mierny
Przyczółek prawy, WD	34,0	24,8	22,8	16,6	C 12/15	mierny
Przyczółek lewy, 161,48 m n.p.m.	40,9	34,3	24,5	20,6	C 16/20	bardzo dobry
Przyczółek lewy, 156,98 m n.p.m.	28,5	23,4	19,1	15,7	C 12/15	dobry
Przyczółek lewy, 155,68 m n.p.m.	32,4	24,5	21,8	16,4	C 12/15	dobry
Galeria, przesło lewe, WD	28,0	24,4	19,0	16,4	C 12/15	bardzo dobry
Galeria, przesło lewe, WG	27,5	25,0	18,5	16,8	C 12/15	bardzo dobry
Filar lewy, ściany wewnętrzne	29,3	26,8	19,7	18,0	C 12/15	bardzo dobry
Galeria, przesło środkowe, WD	25,7	22,6	17,3	15,2	C 12/15	bardzo dobry
Galeria, przesło środkowe, WG	28,6	25,1	19,3	16,9	C 12/15	bardzo dobry
Filar prawy, ściany wewnętrzne	27,0	22,8	18,1	15,3	C 12/15	bardzo dobry
Galeria, przesło prawe, WD	25,0	23,3	16,8	15,6	C 12/15	bardzo dobry
Galeria, przesło prawe, WG	27,9	23,6	18,7	15,9	C 12/15	bardzo dobry
Przyczółek prawy, poz. galerii	27,7	23,8	18,6	16,0	C 12/15	bardzo dobry

Współczynniki poprawkowe:
 p_{wiek} – współczynnik poprawkowy uwzględniający wiek betonu, $p_{wiek} = 0,60$,
 $p_{wilg.}$ – współczynnik poprawkowy uwzględniający stan wilgotności betonu, $p_{wilg.} = 1,12$,
 WG – woda górna, WD – woda dolna,
 ściana pd. – powierzchnia ściany od strony południowej,
 ściana pn. – powierzchnia ściany od strony północnej,
 poz. galerii – poziom 155,68 m n.p.m.

Przeprowadzona analiza wytrzymałości wierzchniej warstwy betonu i obserwowana duża niejednorodność betonu na zewnętrznych powierzchniach konstrukcji, spowodowana jest zniszczeniem jego powierzchni. Betony wewnątrz galerii znajdują się praktycznie w stałych warunkach, stąd ich jednorodność jest wysoka. Uwzględniając powyższe i mając na uwadze, że minimalne wytrzymałości betonu otrzymane z badań bezpośrednich, z pominięciem współczynników poprawkowych, przekraczają znacznie wartość 20 MPa, można wnioskować, że dla badanego typu budowli wytrzymałość na ściskanie jest wystarczająca. Bardziej niepokojące są zmiany warstw powierzchniowych betonów zewnętrznych, ulegających kilku rodzajom korozji, w tym: korozji mrozowej, powstającej głównie w strefie wahań wody, której efekty, w postaci znacznych wżerów, widoczne są na wszystkich badanych elementach zewnętrznych budowli; korozji ługowania, objawiającej się rozpuszczaniem i wymywaniem wodorotlenku wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$; korozji wewnętrznej, spowodowanej alkaliczną reakcją kruszywa; korozji mechanicznej i niszczeniu betonu wskutek działania karbonatyzacji [Czarnecki, Emmos 2002]. Biorąc pod uwagę wyniki badań sklerometrycznych oraz oględzin powierzchni betonowych konstrukcji jazu, należy stwierdzić, że jako budowli masywnej nie zagraża obecnie bezpośrednie niebezpieczeństwo awarii.

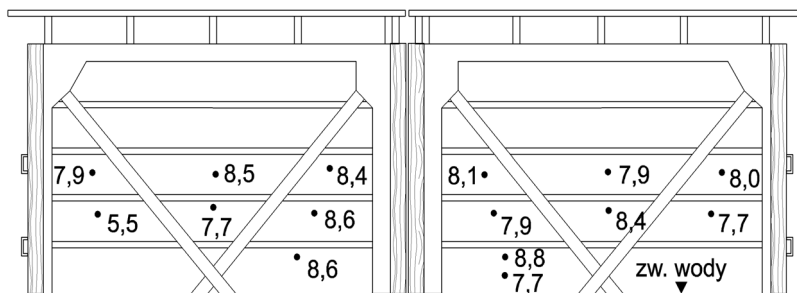
Podsumowując, przeprowadzone oględziny i badania sklerometryczne konstrukcji betonowych wykazały, że są one w dobrym stanie i nie ma zagrożeń spowodowanych złym stanem betonów konstrukcyjnych. Zaleca się jednak jak najszybszą renowację zniszczonych powierzchni, poprzedzoną wykonaniem badań niszczących betonu na próbkach rdzeniowych, dla określenia faktycznej jego wytrzymałości, porowatości i karbonatyzacji. Zalecana jest również ocena skażenia i korozji chemicznej betonu, co jest konieczne przed podjęciem decyzji o sposobie rehabilitacji budowli.

Konstrukcje stalowe

Konstrukcje stalowe na stopniu wodnym Krępa poddawane są niekorzystnym oddziaływaniom, spowodowanym stałym kontaktem ze środowiskiem wodnym, ruchem rumowiska oraz oddziaływaniem obiektów pływających. Oceniając stan techniczny elementów stalowych, dla określenia stopnia ich zużycia korozyjnego posłużono się badaniami ultradźwiękowymi, ponadto przeanalizowano zdolność ruchową, stan uszczelnień i urządzeń sterujących położeniem sektora. Badania przeprowadzono w okresie normalnej eksploatacji obiektów stopnia, stąd pomiary i ocena dotyczyła wyłącznie dostępnych części konstrukcji [Machajski i in. 2008]. Zamknięcia sektorowe są konstrukcjami powłokowymi, wzmocnionymi żebrami i pionowymi przeponami (rys. 2). Pomiary grubości blach sektorów wykonywano od wody dolnej dla blachy opierającej powłoki

przelewowej, na wysokości około 2 m od górnej krawędzi sektora, co odpowiada strefie wahań zwierciadła wody wewnątrz zamknięcia sektorowego. Jest to strefa, w której spodziewać się należy największych ubytków stali wskutek korozji. Wyniki pomiarów wszystkich trzech zamknięć wskazują, że nastąpił znaczny miejscowy ubytek stali, której nominalna grubość wynosiła 10 mm. Uzyskano następujące grubości tej powłoki: $6,5 \div 8,6$ mm dla przęsła lewego, $5,9 \div 8,7$ mm dla przęsła środkowego oraz $6,0 \div 9,8$ mm dla przęsła prawego. Zewnętrzne powierzchnie powłok przelewowych pozbawione są zabezpieczenia antykorozyjnego, zauważalne są wżery o głębokości dochodzącej do $1 \div 2$ mm. Na powierzchni powłoki przelewowej nieco powyżej linii wodnej występują wgnięcia blachy, wypływy wody wzdłuż progu przez niesprawne uszczelnienia komory podsektorowej i przecieki przez uszczelnienia boczne. Mimo powierzchniowej korozji blach, przecieków przez uszczelnienia boczne i progowe, zamknięcia mają pełną zdolność manewrową podczas normalnej eksploatacji.

Nitowane stalowe konstrukcje wrót głowy górnej i dolnej śluzy pociągowej noszą ślady zużycia i remontów. Wrota są łukowe o konstrukcji dźwigarowej. Głównymi elementami nośnymi są słupy skrajne i rygle, stężone dźwigarami ukośnymi, krzyżującymi się w środku rozpiętości każdego skrzydła. Blacha opierająca jest stężona poziomymi belkami o przekroju ceowym. Uszczelnienia boczne i dolne wrót stanowią belki drewniane. Grubość blachy opierającej wrót wsporczych głowy dolnej i górnej była sprawdzana w środkach pól ograniczonych belkami pionowymi i poziomymi rusztu piętrzącego w dwóch sekcjach poziomych – powyżej linii wody dolnej oraz w sekcji następniej ku górze (rys. 3). Jest to strefa wahań wody, przecieków przez nieszczelne uszczelnienia i największych zniszczeń korozyjnych. Pomiar wykazały zmienność



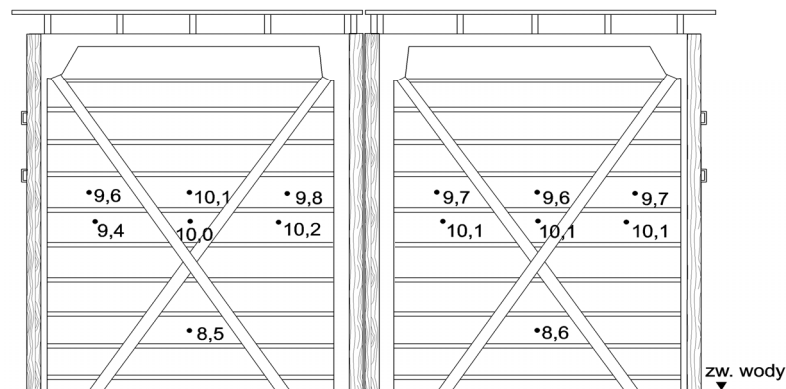
Rysunek 3. Grubości blachy opierającej wrót dolnych śluz pociągowej, zmierzone od strony wody dolnej

Figure 3. Planked sheet gauge of downstream lock-gates, measured downstream

grubości blachy w granicach $7,7 \div 8,6$ mm, w jednym miejscu zanotowano znacznie mniejszą grubość blachy, bo wynoszącą 5,5 mm. Powłoka ochronna elementów konstrukcji w części nadwodnej jest w dobrym stanie. W strefie wahań wody widoczne są

ubytki korozyjne, zarówno na powierzchni blachy opierającej, jak i na belkach poziomych i dźwigarach głównych. Belki poziome w części nadwodnej nie wykazują istotnych odkształceń. Półki dźwigarów ukośnych (steżających) wykazują odkształcenia mechaniczne, prawdopodobnie od uderzeń przez śluzowane jednostki oraz znaczące ubytki korozyjne. Uszczelnienia boczne w postaci belek drewnianych są wyeksploatowane, a widoczne przecieki wody niekorzystnie oddziałują na stan techniczny elementów stalowych znajdujących się w ich zasięgu.

Grubość blachy opierającej wrót górnych, z uwagi na ich wysokość, jest większa i wynosi około 10,0 mm w części ponad poziomem wody w śluzie oraz około 8,5 mm w części znajdującej się w strefie wahań wody (rys. 4). W części górnej nadwodnej elementy konstrukcyjne wrót są pokryte powłoką ochronną. Dźwigary oraz belki poziome w tej strefie nie wykazują odkształceń i są w dobrym stanie technicznym. Poniżej linii zwierciadła wody górnej zużycie konstrukcji jest większe wskutek przecieków przez zniszczone belki drewniane uszczelnień bocznych i środkowych pomiędzy skrzydłami wrót. Korozji uległa blacha, półki i środniki dźwigarów głównych oraz belki poziome.



Rysunek 4. Grubości blachy opierającej wrót górnych śluzy pociągowej, zmierzone od strony dolnej wody

Figure 4. Planked sheet gauge of upstream lock-gates, measured downstream.

Podsumowując wyniki badań konstrukcji stalowych, należy podkreślić, że obserwowane procesy destrukcji są wynikiem zużycia wskutek wieloletniej eksploatacji, szczególnie w przypadku zamknięć śluz żeglugowych. Oprócz niewielkich uszkodzeń mechanicznych, zdecydowana większość ubytków stali jest wynikiem braku działań utrzymaniowych, takich jak czyszczenie i zabezpieczanie powłokami antykorozyjnymi. Z uwagi na znaczne zużycie korozyjne blachy poszycia sektorów od wody dolnej, powinno się zbadać stan elementów konstrukcyjnych od wewnętrznej strony zamknięcia, a po stwierdzeniu dużych ubytków stali wykonać obliczenia sprawdzające nośność wszystkich elementów

i w razie potrzeby zaprojektować i wykonać potrzebne wzmocnienia. Pilnego remontu wymagają zwłaszcza uszczelnienia boczne i czołowe wrót śluzy, przecieki wody mają bowiem istotny wpływ na postęp korozji jej stalowych elementów konstrukcyjnych, należy również wymienić skorodowane elementy belek rusztu i dźwigarów głównych.

Konstrukcje gruntowe

Ograniczoną informację o gruntach tzw. języków rozdzielczych dostarcza archiwalna dokumentacja. Wynika z niej, że języki rozdzielcze mają miąższość 3,20–4,0 m i zostały uformowane głównie z piasków średnich, widoczne są również niewielkiej miąższości przewarstwienia z gruntów spoistych w postaci glin w stanie twardoplastycznym. Grunty nasypów do głębokości około 1,50–1,60 m ppt. są w stanie luźnym, a głębiej w stanie zagęszczonym.

Dla oceny aktualnego stanu zagęszczenia gruntów zalegających w nasypach języków rozdzielczych wykonano sześć sondowań o łącznej długości 16,90 m, za pomocą lekkiej sondy dynamicznej SL. Sondowania S1 – S4 wykonano wzdłuż dolnego języka rozdzielczego. W punktach tych górną warstwę nasypu stanowiła darni, poniżej znajdowało się ubezpieczenie w postaci warstwy kamieni wapiennych grubości około 30 cm, ułożonych bez spoinowania na warstwie podbudowy ze żwiru z kamieniami o miąższości 20–30 cm, głębiej zalegały piaski średnie bądź pospółki. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że nasyp do głębokości 2,40–3,20 m jest w stanie luźnym lub średnio zagęszczonym o $I_D = 0,24–0,41$. Najniższe warstwy nasypu są w stanie średnio zagęszczonym o $I_D = 0,57–0,60$. Rozpoznana w sondowaniach S1 i S2 warstwa gruntu w stanie zagęszczonym, której strop zalega na głębokości 2,60–3,0 m ppt. to już prawdopodobnie podłoże rodzime nasypu. Ogólnie należy stwierdzić, że badany język do głębokości 2,40–3,20 m jest niezagęszczony i nie spełnia wymogów dotyczących stanu zagęszczenia, wymagających $I_{DW} \geq 0,50$.

Dla języka górnego o analogicznej konstrukcji jak język dolny, wykonano sondowania oznaczone, jako S5 i S6. Stwierdzono, że na odcinku położonym najbliżej jazu jest on zbudowany do głębokości około 2,30 m z gruntów w stanie od luźnego do średnio zagęszczonego o $I_D = 0,31–0,42$, poniżej znajdują się grunty lepiej zagęszczone, w stanie średnio zagęszczonym o $I_D = 0,57$. Strop gruntów w stanie zagęszczonym o $I_D = 0,69$ znajduje na głębokości 2,60 m ppt.

Ocena wizualna języka dolnego wskazuje na jego znaczne zużycie, powierzchnia języka jest nierówna, z silnym porostem roślinności. W kilkunastu miejscach zdjęto warstwę darni i we wszystkich przypadkach stwierdzono, że kamienie ubezpieczenia przylegają do siebie, bez widocznych ubytków. Na długości języka od strony awanportu występują liczne lokalne uszkodzenia, miejscami widoczne są osuwiska wypełnione kamieniem wapiennym. Brzeg języka

od strony Odry jest w lepszym stanie, brak jest widocznych uszkodzeń skarpy nasypu pokrytej roślinnością.

Powierzchnia nasypu języka rozdzielczego na stanowisku górnym jest nierówna, miejscami odsłonięte są ubezpieczenia kamienne nasypu. Brzeg języka od strony awanportu wykazuje znaczne uszkodzenia wykładziny, która jest podmyta z widocznymi brakami kamieni. Skarpa ta wykazuje uszkodzenia w postaci zapadlisk i podmyć na niemal całej swojej długości. Skarpa brzegu od strony Odry jest lokalnie pozapadana i nie występują tak duże zniszczenia jak po stronie przeciwnej języka.

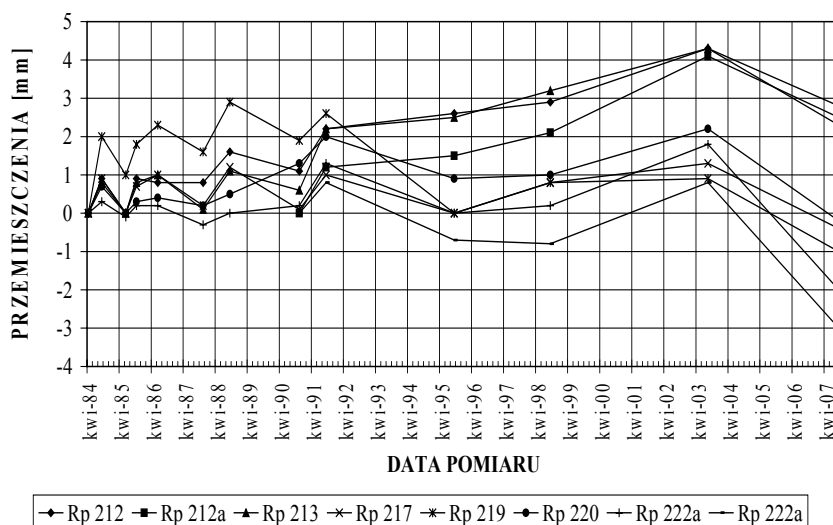
W podsumowaniu można stwierdzić, że grunty na całym obszarze obu języków rozdzielczych są niedostatecznie zagęszczone, a porównując aktualne wyniki z danymi archiwalnymi, można stwierdzić, że stan zagęszczenia w dolnej części nasypu znacząco się pogorszył. Z kolei na bazie wizji lokalnej języka dolnego można stwierdzić, że występujące lokalne uszkodzenia nasypu od strony kanału nie stanowią zagrożenia dla jego stateczności. Podobne obserwacje języka górnego pozwalają na stwierdzenie złego stanu ubezpieczeń, stąd konieczny staje się jego remont poprzez wykonanie nowego ubezpieczenia skarp obu języków.

Ocena wyników pomiarów prowadzonych na obiekcie

Na obiekcie została zainstalowana sieć pomiarowo-kontrolna umieszczona na jazie i w galerii jazu, składająca się z urządzeń do pomiaru przemieszczeń pionowych i poziomych, szczelinomierzy oraz łat wodowskazowych od strony wody górnej i dolnej. Pomiar poziomów WG i WD na jazie dokonywany jest za pomocą łat wodowskazowych. Ze względu na pełną automatyzację pracy elektrowni wodnej, od strony wody górnej dolnej, zainstalowane są sondy mierzące różnicę poziomów wody i na tej podstawie sterujące otwarciem łopatek turbin i ich pracą. W obrębie jazu pod jego fundamentami zainstalowanych zostało 19 piezometrów dla pomiaru ciśnienia filtracyjnego, których końcówki wyprowadzono do galerii jazowej od strony wody górnej i wody dolnej. Pomiar piezometryczne dokonywane są raz na miesiąc i dokumentowane w formie tabelarycznej. Na podstawie urządzeń zainstalowanych na przyczółkach i filarach jazu dokonywane są pomiary bezwzględnych przemieszczeń pionowych. Urządzenia zainstalowane na przyczółkach i filarach działowych jazu od strony wody górnej umożliwiają pomiary bezwzględnych przemieszczeń poziomych o składowej prostopadłej do osi jazu. Urządzenia zainstalowane w galerii jazu pozwalają na dokonywanie: pomiarów względnych przemieszczeń pionowych i poziomych jazu, pomiarów względnych przemieszczeń liniowych na szczelinach dylatacyjnych oraz zmian pochyleń konstrukcji przyczółków jazowych. Pomiary kontrolne na jazie przeprowadzane są z częstotliwością raz na rok, czasami rzadziej

nawet raz na trzy lata, następnie zestawiane tabelarycznie i w postaci wykresów pokazujących tendencje zmian. Przykładowy obraz rozkładu w czasie przemieszczeń pionowych reperów jazu od strony wody górnej pokazano na rysunku 5.

**WYKRES PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH REPERÓW JAZU
OD STRONY WODY GÓRNEJ**



Rysunek 5. Pionowe przemieszczenia jazu w funkcji czasu
Figure 5. Vertical displacements of the weir in the time function

W rejonie stopnia zainstalowano, odpowiednio na brzegu lewym i brzegu prawym rzeki, kilka reperów odniesienia, stanowiących bazę dla niwelacji reperów kontrolowanych. Nie wszystkie repery istniejące na obiekcie gwarantują stałość odniesienia, co powoduje określone trudności w ocenie przemieszczeń poszczególnych obiektów składowych stopnia. Za przyczynę istniejącego stanu rzeczy, podaje się osiadanie reperów odniesienia, po każdorazowym przejściu wezbrana powodziowego i zatapianiu terenów zalewowych, na którym te repery się znajdują [Cisek i in. 1999].

Analiza dokumentacji eksploatacyjnej obiektu

Na obiekcie prowadzone są obserwacje bieżące, okresowe i nadzwyczajne. Bieżące pomiary dokonywane są przez obsługę stopnia i rejestrowane w dzienniku budowli wodnej. Dotyczą one oglądu stanu budowli, jego otoczenia oraz

zamknięć jazów, zamknięć śluzy oraz zainstalowanej sieci pomiarowo-kontrolnej. Raz do roku, na wiosnę, prowadzone są również sondowania górnego i dolnego stanowiska jazu, z wpisem do dziennika budowli wodnej zaobserwowanych zmian w stosunku do pomiarów wcześniej zrealizowanych. Przeglądy okresowe dokonywane są na wiosnę i na jesień przez komisję składającą się z pracowników RZGW oraz kierownictwa stopnia. Wyniki odnotowywane są w protokołach z przeglądu oraz dzienniku budowli. Przeglądy nadzwyczajne dokonywane są po zaistnieniu sytuacji ekstremalnej na obiekcie, obejmujące również ocenę obiektów stopnia w sytuacji zdjęcia piętrenia. Fakt przeprowadzenia przeglądu powinien zostać odnotowany w dzienniku budowli, zaś jej wyniki zawarte w protokołach pokontrolnych obiektu.

Ocena stanu bezpieczeństwa

Przeprowadzone badania dla oceny stanu technicznego obiektów stopnia wodnego Krępa pozwalają na stwierdzenie, że jest ona zadowalająca, a stan bezpieczeństwa dobry. Wpływ na to mają stwierdzone drobne uszkodzenia konstrukcji betonowych i stalowych, natomiast ważne jest to, że nie mają one większego wpływu na w pełni zachowaną zdolność ruchową zamknięć sektorowych.

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań i pomiarów dla oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa stopnia wodnego Krępa na rzece Odrze wyraźnie wskazują nie tylko na wymóg, ale i potrzebę przeprowadzania tego typu prac. Wynikające z nich wnioski powinny stanowić podstawę podjęcia prac remontowych i naprawczych na obiekcie. Prace te mogą w znaczący sposób wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa eksploatacyjnego obiektu i tym samym zapobiec jego ewentualnej awarii, o często trudnych do oceny skutkach dla terenów leżących poniżej.

BIBLIOGRAFIA

- Bednarczyk S., Bolt A., Mackiewicz S. *Stateczność oraz bezpieczeństwo jazów i zapór*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2009.
- Cisek A. i in. *Wiarygodność i interpretacja wyników pomiarów geodezyjnych przemieszczeń budowli hydrotechnicznych*. Materiały Konferencji TKZ. Zakopane–Kościelisko 1999.
- Czarnecki L., Emmos P.H. *Naprawa i korozja konstrukcji betonowych*. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2002.
- Kledyński Z. *Remonty budowli wodnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2006.
- Machajski J., Kostecki S., Rędowicz W., Batóg A. *Badania na potrzeby oceny 5-letniej stopnia wodnego Krępa na rzece Odrze*. Raport serii SPR nr 4/2008. Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki. Wrocław 2008.

Rędowicz W., Kapelko A. *Projektowanie i wykonawstwo betonów hydrotechnicznych w latach 1979–2005 na potrzeby budowy Dolnego Śląska*. Materiały Symposium Naukowo-Technicznego. Cement – Właściwości i Zastosowanie, Górażdże. Wydawnictwo Instytut Śląski, Opole 2006.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 86/2007, poz. 579).

Runkiewicz L. *Badania konstrukcji żelbetowych*. Biuro Gamma. Warszawa 2002.

Ustawa Prawo budowlane (tekst jednolity Dz.U. Nr 207/2003, poz. 2016 z późniejszymi zmianami).

Instytut Geotechniki i Hydrotechniki
Politechnika Wrocławska
50-370 Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
Dr hab. inż. Stanisław Kostecki
tel. 71 320 23 40, e-mail: Stanislaw.Kostecki@pwr.wroc.pl
Dr inż. Jerzy Machajski
tel. 71 320 39 40, e-mail: Jerzy.Machajski@pwr.wroc.pl
Dr inż. Wojciech Rędowicz
tel. 71 320 33 68, e-mail: Wojciech.Redowicz@owr.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka*