

УДК 626: 628.13

Zdzisław Jan Małecki, prof. nadzw. dr hab. inż. Zdzisław Jan Małecki – Instytut Badawczo – Rozwojowy Inżynierii Lądowej i Wodnej „EUROEXBUD” w Kaliszu

ISTOTNE PROCESY ZAGRAŻAJĄCE BEZPIECZEŃSTWU ZBIORNIKÓW WODNYCH

Streszczenie

Zbiorniki wodne (zaporowe) zmieniają reżim hydrologiczny rzek. W wyniku spiętrzenia następuje w zbiorniku zwiększenie masy wody oraz zmniejszenie prędkości jej przepływu, co powoduje wyraźną segregację ziarnową transportowanego rumowiska w czaszy. W polskich zbiornikach zaporowych można zgromadzić zaledwie ok. 6% (w krajach sąsiedzkich 10-12%) objętości wody rocznie odpływającej głównie do Bałtyku. Łączna pojemność zbiorników retencyjnych w Polsce wynosi ponad 3550,0 mln m³. Wszystkie budowle hydrotechniczne, które służą do stałego lub okresowego magazynowania, piętrzenia i transportowania wody, są narażone na uszkodzenia i katastrofy. Podstawowe przyczyny uszkodzeń zapór to: brak dostatecznej znajomości zjawisk przyrodniczych i właściwości materiałów i podłoża, błędy techniczne popełniane na etapie wykonawstwa, nieprawidłowa eksploatacja budowli. Nadmierna filtracja wody ustalona pod budowlami piętrzącymi i wokół ich przyczółków oraz przez zapory betonowe i ziemne często zagraża bezpieczeństwu zbiorników wodnych (m.in. erozja wgłębna w czaszy zbiornika i poniżej zapory). Do procesów mających wpływ na bezpieczeństwo zbiorników wodnych należą: niewłaściwa praca urządzeń hydrotechnicznych, nierównomierne osiadanie budowli, nadmierne obniżanie poziomu wody dolnej (niżówki) oraz pulsacyjne oddziaływanie przepływającej wody. Do pośrednich zagrożeń mających wpływ na bezpieczeństwo budowli piętrzących należy proces karbonatyzacji betonu. Beton z racji swej zasadowości (wartość współczynnika $\text{pH} \geq 12$) stanowi warstwę ochronną stali zbrojeniowej przed korozją. W wyniku szkodliwego wpływu wody, dwutlenku węgla oraz soli, odczyn alkaiczny ulega obniżeniu. Przy wartości $\text{pH}=10$ (11) beton wykazuje tylko niewielką lub w ogóle żadną aktywność korozyjną stali zbrojeniowej. Zwiększenie się objętości korodującej stali zbrojeniowej (pęcznienie) w następstwie utraty alkaiczności betonu nazywamy karbonatyzacją betonu. Jednym z istotnych problemów eksploatacyjnych zbiorników retencyjnych jest proces zamulania akwenów oraz proces erozyjny nieumocnionej linii brzegowej.

Słowa kluczowe: zbiornik wodny, zapora, filtracja, erozja wgłębna, karbonatyzacja betonu, budowle hydrotechniczne.

Wprowadzenie

Zbiorniki wodne stanowią ważny element w otoczeniu człowieka. W celu powstrzymania zmniejszenia zdolności retencyjnych zlewni niezbędne jest zwiększenie małej retencji, m.in. poprzez odtworzenie zlikwidowanych i zanikających oczek wodnych, budowę i odbudowę zbiorników retencyjnych i piętrzeń na ciekach. Zbiorniki wodne (zaporowe) zmieniają reżim hydrologiczny rzek powodując zwiększenie powierzchni lustra wody, zmianę głębokości, czasu i prędkości przepływu [Mioduszewski W. 2003, Żbikowski A. i in. 1994]. W wyniku spiętrzenia następuje w zbiorniku zwiększenie masy wody oraz zmniejszenie prędkości przepływu, co powoduje wyraźną segregację ziarnową transportowanego rumowiska - w pobliżu wlotu ciek do zbiornika osadzają się zwykle ziarna grube (żwir, piasek), a blisko zapory cząstki drobne - pylaste i ilaste [Parzonka W. 1974].

Zgodnie z wymogami Dyrektywy 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z dnia 23 października 2000r. ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (tzw. Ramowej Dyrektywy Wodnej) zobowiązano kraje członkowskie Unii do przygotowania planów gospodarowania wodami, które stanowić będą jeden z podstawowych instrumentów zarządzania zasobami wodnymi. Polska, posiada stosunkowo

niewielką ilość zbiorników retencyjnych (zaporowych). W polskich zbiornikach zaporowych można zgromadzić zaledwie ok.6% (w krajach sąsiednich 10-12%) objętości wody odpływającej głównie do Bałtyku średnio rocznie z naszego kraju. Realne możliwości sztucznej retencji polskich zbiorników mogą sięgać 15% [Hotłós 2004]. Łączna pojemność zbiorników retencyjnych w Polsce wynosi ponad 3550,0 mln m³, co stanowi 0,11% powierzchni Polski. Zbiorniki zaporowe mają cechy pośrednie pomiędzy rzekami i wodami stojącymi (jeziorami).

Według Światowego Rejestru Zapór (ICOLD, 1998) liczba zapór (o wysokości ponad 15m) na świecie wynosi 36235. W 1900r. istniało zaledwie 427 wielkich zapór. Większość sztucznych zbiorników zaporowych powstała w drugiej połowie XX w. Istnieją zbiorniki zaporowe o pojemności przekraczającej 100 km³ (np. Brack na Angarze w Rosji – 169; Asuan na Nilu w Egipcie- 162; Kariba na Zambezi w Zambii; Akosambo na Wolcie w Ghanie – 148; D. Johnson Mahicouagen w Kanadzie – 142, El Mantro Caroni w Wenezueli – 138). Natomiast zbiorników zaporowych na świecie o pojemności od 50,0 do 100,0 km³ wykonano do roku 1996 w ilości 10. [Kundzewicz Zb. 2000] W Polsce istnieje 19 zbiorników zaporowych o pojemności ponad 50,0 mln m³ [GUS].

Rozróżnia się 3 podstawowe typy zbiorników wodnych:

1. Zbiorniki retencyjne (zaporowe), których zadaniem jest magazynowanie wody w okresach jej nadmiaru w celu wykorzystania w innych okresach (Solina, Rożnów, Jeziorsko, Goczałkowice). Zbiorniki zaporowe mają istotne znaczenie w gospodarce wodą, ponieważ umożliwiają czynne wpływanie służbom gospodarki wodnej na wyrównywanie losowych rozkładów i stanów wód w rzekach. Specyficznym rodzajem zbiorników są zbiorniki wyrównawcze. Funkcjonują one jako zbiorniki pomocnicze przy dużych zbiornikach retencyjnych, mających jako jedno z podstawowych zadań produkcję energii w szczycie zapotrzebowania. W Polsce np. zbiornik Solina - Myczkowce o $V_e=10,9$ mln m³ ma objętość wyrównawczą $V_w=5,4$ mln m³ - wyrównawcze zadanie spełniają Myczkowce.

2. Zbiorniki przepływowe powstają w wyniku przegrodzenia rzek jazami, których zadaniem jest utrzymanie w zasadzie stałego poziomu piętrzenia. Typowe zbiorniki przepływowe nie mają zdolności retencyjnych, a więc i objętości użytkowych. Polska posiada 8 zbiorników przepływowych. Największy zbiornik we Włocławku ma pojemność 370 mln m³ przy dobowym wahanii stanów 0,64 m, co daje objętość 46,0 mln m³.

3. Zbiorniki suche są jednozadaniowymi zbiornikami przeciwpowodziowymi. Ich zadaniem jest okresowe magazynowanie wody podczas przechodzenia fal powodziowych. Pomiędzy przejściami fal powodziowych czasie zbiorników najczęściej są wykorzystywane jako pastwiska. Polska posiada 12 zbiorników suchych, wszystkie w Sudetach.

Bezpieczeństwo budowy piętrzących

Wszystkie budowle hydrotechniczne, które służą do stałego lub okresowego magazynowania, piętrzenia i transportowania wody, są narażone na uszkodzenia i katastrofy. Międzynarodowa Komisja Wielkich Zapór (CIGB - ICOLD) ocenia, że na każde 100 zapór w ciągu 100 lat dwie ulegają katastrofie [Depczyński W. i in. 1999].

Podstawowymi przyczynami uszkodzeń zapór są trzy zasadnicze czynniki:

- brak dostatecznej znajomości zjawisk przyrodniczych i właściwości materiałów oraz podłoża,
- błędy techniczne popełniane na etapie wykonawstwa,
- nieprawidłowa eksploatacja budowli hydrotechnicznych.

Przedstawione czynniki mogą wystąpić na każdym etapie prac, związanych z ich powstawaniem (ekspertyzy przedprojektowe, projektowanie, budowa) i eksploatacją obiektu (początkowa i stała eksploatacja). Zaniedbania te mogą wystąpić na różnych szczeblach odpowiedzialności służb technicznych.

Bezpośrednimi przyczynami awarii i katastrof budowli piętrzących mogą być:

- zbyt mała przepustowość urządzeń upustowych (przelewy, spusty),
- nieosiągnięcie obliczeniowej zdolności przepustowej urządzeń upustowych (awarie lub nieumiejętność ich obsługi),
- niewłaściwa praca urządzeń przeciwfiltracyjnych i drenażowych w zaporach oraz wymywanie i wynoszenie materiału gruntowego z zapór lub ich podłoża,
- odkształcenia, nierównomierne osiadanie, przekroczenie dopuszczalnych stanów naprężeń,
- dynamiczne oddziaływanie wody (drżania, wibracje, trzęsienia ziemi, tąpnięcia),
- długotrwałe lub ekstremalne zjawiska klimatyczne,
- szkodliwe oddziaływanie wahań poziomów wody,
- czynniki subiektywne (błędy obliczeniowe, złe wykonawstwo itp.).

Naruszenie bezpieczeństwa budowli piętrzących lub jej podłoża może nastąpić w wyniku jednej lub kilku z podanych wyżej przyczyn. Zapobieganie awariom i katastrofom budowlanym wymaga od służb nadzoru technicznego, ciągłej kontroli stanu technicznego zapór (budowli piętrzących) oraz dokonywanie ocen stanu budowli z przewidywaniem i prognozowaniem zmian zachodzących w konstrukcjach budowli i w ich podłożach.

Bezpieczeństwo budowli w przepisach technicznych

Podstawowym aktem prawnym jest ustawa z dnia 7 lipca 1994r. - Prawo budowlane z późn. zm. W ustawie przedstawione są podstawowe wymagania, a mianowicie m.in.:

- prawa i obowiązki uczestników procesu budowlanego,
- budowa i oddanie do użytku obiektów budowlanych,
- utrzymanie obiektów budowlanych (w tym bezpieczna eksploatacja),
- przepisy dotyczące katastrofy budowlanej,
- przepisy karne i odpowiedzialności zawodowej.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie, uwzględniające klasyfikację budowli hydrotechnicznych oraz uaktualnione przepisy dotyczące: obliczeń stateczności budowli piętrzących, przyjmowania stanów obliczeniowych i przepływów wezbraniowych, przepuszczania wód, bezpiecznego wzniesienia koron budowli, wyposażenia budowli w urządzenia do przepuszczania wody oraz wyposażenia w urządzenia technicznej kontroli zapór oraz dojazdów, łączności i pomieszczeń budowli hydrotechnicznych.

Ponadto w innych przepisach i zaleceniach określono obowiązki użytkownika obiektu gospodarki wodnej w zakresie:

- obsługi i utrzymania w normalnych warunkach eksploatacji,
- użytkowania w warunkach uciążliwych,
- obserwacji, badań i przeglądów,
- oddziaływania na środowisko,
- ocen stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektu,
- sygnalizacji alarmowej i czynności w zakresie zagrożenia i awarii,
- wstrzymania eksploatacji (użytkowania) obiektu ze względu na prognozowane zagrożenie katastrofą budowlaną.

Oprócz cytowanego rozporządzenia i opublikowanych kilkunastu przepisów i zaleceń ważnych dla bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych istotną jest także Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim.

Procesy zagrażające bezpieczeństwu zbiorników wodnych

Ruch wód gruntowych w ośrodku porowatym, nazywany filtracją przebiega tam, gdzie strumień ma swobodne zwierciadło wody (zwane linią lub krzywą depresji) albo ruch wody odbywa się pod ciśnieniem. Spiętrzenie wody powoduje powstanie warunków do przebiegu

filtracji. Jeżeli różnica poziomów wód jest stała, mamy do czynienia z filtracją ustaloną. Natomiast jeżeli spiętrzenie okresowe (np. przez wały przeciwpowodziowe) wywołuje przepływ wód w gruncie przy zmiennych warunkach w czasie to wtedy mamy do czynienia z filtracją nieustaloną.

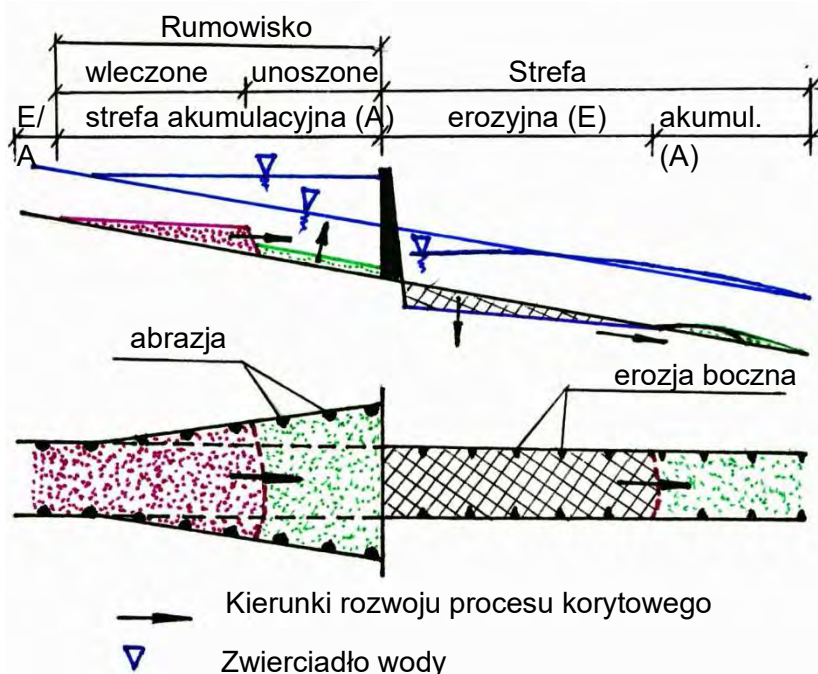
Filtracja pod budowlami piętrzącymi, wokół ich przyczółków oraz przez zapory betonowe i ziemne jest filtracją ustaloną.

Erozja wgłębna w czaszy zbiornika i poniżej zapory

Przy przejściu procesów rzecznych korytowych w zbiornikowe (jeziorne), szczególnego znaczenia nabierają procesy:

- sedimentujący w czaszach zbiorników,
- erozyjny (erozyjno-akumulacyjny) poniżej zapór.

Istotnym czynnikiem wywołującym proces erozji wgłębnej poniżej zapory jest: zatrzymanie w zbiorniku rumowiska wleczonego i unoszonego (zbiorniki zatrzymują od 80 do 99,5% rumowiska) a tym samym zwiększenie energii odpływających wód. W zbiorniku (stopniu) wodnym Włocławek, w górnej części jego czaszy, akumulowane jest w 100% rumowisko wleczone, natomiast w dolnej jego części unoszone w ponad 41%, co stanowi śr. ok. 90% rumowiska.



Rozwój procesu erozji wgłębnej poniżej zapory (w tym zasięg strefy erozyjnej) powoduje:

- obniżanie się dna koryta,
- przemieszczanie się czoła strefy erozyjnej w dół rzeki z ogólną tendencją zanikania w czasie (proces zazwyczaj występuje najintensywniej w pierwszych latach po okresie piętrzenia i w bezpośrednim sąsiedztwie zapory).

Rys. 1. Wpływ stopnia wodnego na procesy korytowe rzeki aluwialnej

na stabilność zapory stopnia wodnego „Włocławek” km 674,85 (wybudowany w latach 1962-1970).

Pod zaporą czołową zalegają grunty: czwartorzędowe żwiry, pospółka i piaski, a pod jazem grunty: czwartorzędowe, plioceńskie - drobne i pylaste piaski, pyły, gliny, ropy i w środkowej części grunty mioceńskie - piaski średnie i drobne oraz pylaste z przewarstwieniami węgla brunatnego. Budynek elektrowni posadowionej na gruntach plioceńskich zabezpiecza przed przesunięciem: żelbetowy szczelny ponur kotwiący, drenaż płytki w gruntach plioceńskich pod fundamentami budynku, drenaż głęboki zmniejszający ciśnienia wody w piaskach mioceńskich.

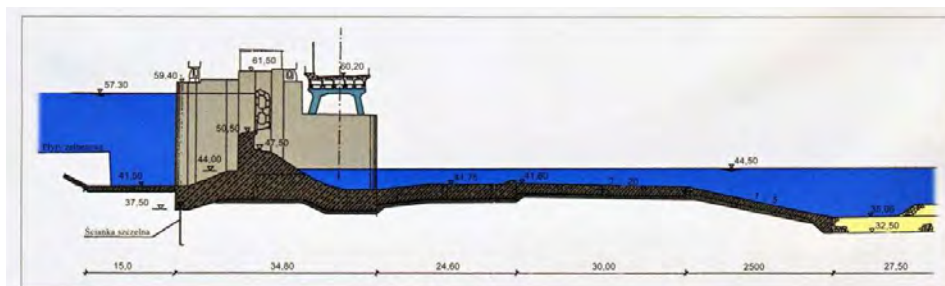
Odstąpienia od budowy kaskady dolnej Wisły spowodowało, że zbiornik „Włocławek” jest prawie od 40 lat eksploatowany w warunkach innych, niż były przyjęte w projekcie. Nie zrealizowanie stopnia Ciechocinek (lub Nieszawa) oraz przyspieszona erozja koryta rzeki poniżej stopnia pociągnęło za sobą obniżanie się poziomu zwierciadła wody dolnej co spowodowało

ograniczenie optymalnego wykorzystania elektrowni (odstąpiono od pracy w systemie szczytowym i interwencyjnym).

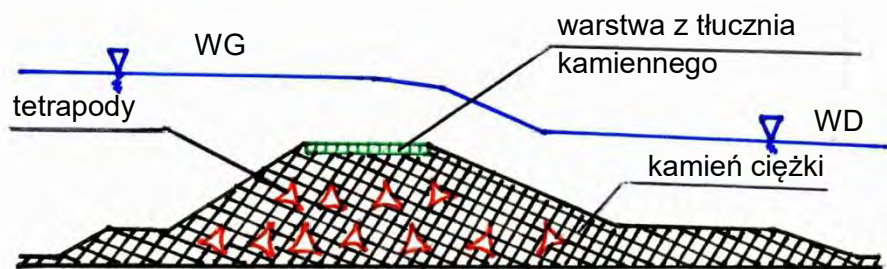


Rys. 2. Lokalizacja stopnia wodnego

Fot. 1. Próg podpierający stopień wodny we Włocławku



Rys. 3. Przekrój podłużny przez jaz i jego podłoże

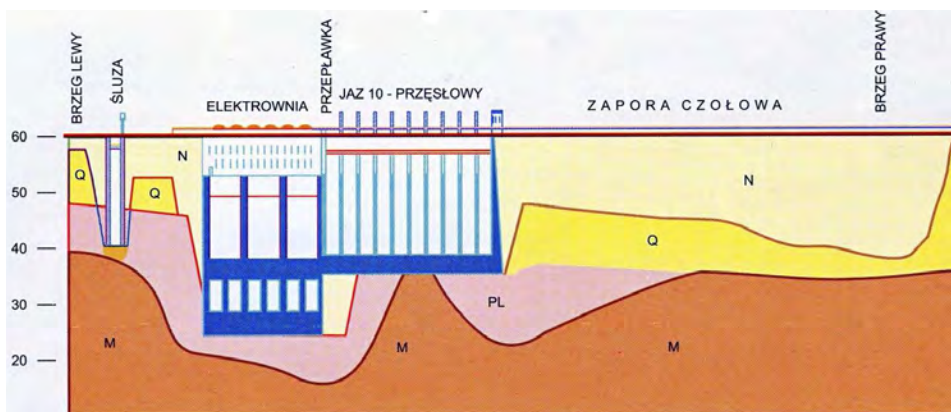


Rys. 4. Próg stabilizujący stanowisko dolne

Parametry techniczne stopnia wodnego Włocławek.

- zapora ziemna: długość 670m, max. wysokość 20m,
- żelbetowy jaz 10-cio przeszłowy: długość 254,5 m, światło przelewu 200,0 m, wysokość budowli 34,0 m.

Charakterystyczne przepływy: $Q_{\text{srNW}}=290\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{srR}}=890\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{1\%}=8970\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{0.3\%}=10280\text{m}^3/\text{s}$.



Rys. 5. Przekrój przez podłoże czołowych obiektów piętrzących

Niskie przepływy w rzece w następstwie obniżenia poziomu zwierciadła wody o wielkość powyżej 3 m spowodowało:

- zwiększenie przepływu minimalnego z początkowego 300 m³/s do 450 m³/s (od roku 1995),

- zmiana sposobu pracy turbin,
- konieczność wykonywania iniekcji zagęszczających i drenażu żwirowego pod ekranem tiksotropowym,
- częste wykonywanie umocnień brzegowych i dennych oraz skarpy zapory,
- odbudowę progu podpiętrżającego (podpierającego) poniżej stopnia.

Próg (rys. 4) został usytuowany w odległości 506m poniżej stopnia i wykonany jako budowla narzutowa z kamienia ciężkiego i betonowych tetrapodów, ubezpieczona skrzyniami siatkowo - kamiennymi na koronie oraz obudowana płytami betonowymi.

Procesy erozji wgłębnej w czasach zbiorników.

W czasach zbiorników występuje także proces rozwoju erozji wgłębnej. Z reguły erozja wgłębna w czasach zbiorników ma na ogół przebieg łagodny. Zauważa się także występowanie w niektórych zbiornikach erozję wgłębna objawiającą się ukształtowaniem innego meandrującego ciek w czaszy w stosunku do wykonanego w trakcie robót ziemnych (zbiornik zaporowy Murowaniec na rzece Śwędni koło Kalisza). Nowo wyprofilowany meandrujący ciek charakteryzuje się zakolami i „kraterami” [Małecki Z. 2008, Rozprawa].



Fot. 2. Czasza zbiornika Murowaniec

Podłoże czaszy zbiornika zbudowane jest z: piasków luźnych i piasków słabogliniastych z przewarstwieniami pyłów zwykłych lekkich. Ponadto w czaszy zbiornika częściowo pozostawiono gleby murszowo - mineralne i murszowate. Pomiary (przybliżone) przepływów wody w korycie dolnym poniżej

zapory w dwóch przekrojach wskazują, że istnieje uzasadniona obawa co do występowania:

- infiltracji wody do podłoża gruntowego w czaszy zbiornika (np. poprzez „kraterzy”),
- przemieszczania się wody pod zaporą ziemną i podtapiania terenów poniżej zbiornika wraz z zasilaniem koryta dolnego rzeki Śwędni.

Wpływ na budowle hydrotechniczne obniżenia poziomu wody oraz pulsacyjnego jej przepływu.

Obniżenie poziomu wody dolnej (niżówki) oraz pulsacyjne oddziaływanie wody powoduje:

- zwiększenie sił poziomych działających na budowlę zapory (stopnie),
- zmianę położenia krzywych depresji w podłożu i korpusie zapory czołowej (np. nie „pracujący” drenaż).

W następstwie powyższego mogą występować niekorzystne zjawiska a mianowicie:

- pustki i rozluźnienia pod płytami ubezpieczeń jazu,
- rozluźnienia i wymywania gruntu (wynoszone przez filtrującą wodę - sufozję) pod fundamentem murów oporowych przyczółków (niekorzystne zjawiska filtracji),
- pogorszenie mechanicznych własności gruntu wraz z tzw. upłynnieniem gruntu polegającym na krótkotrwałym obniżeniu jego wytrzymałości.

Podczas przejść wód powierzchniowych i zrzutu kry lodowej występuje: uszkodzenie umocnień budowli hydrotechnicznych oraz rozmycie podłoża pod płytami niecki wypadowej.

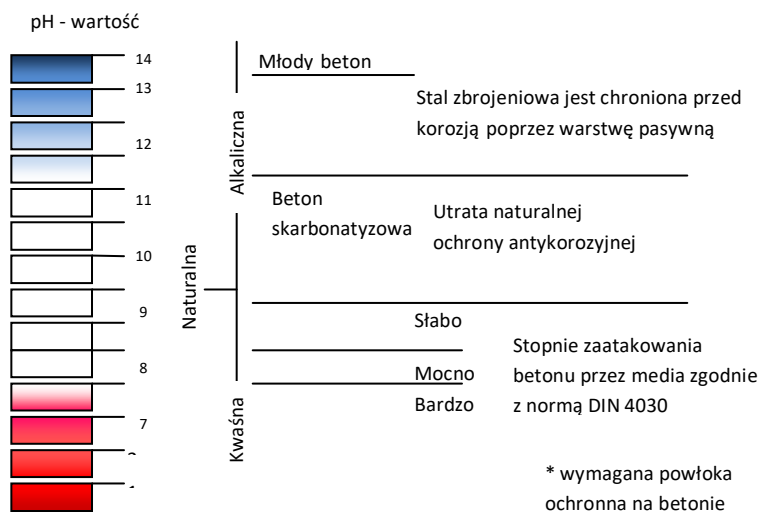
Ponadto elementy betonowe budowli hydrotechnicznych (zapora, wieża przelewowa) szczególnie w strefie zmian poziomów wody w zbiorniku ulegają procesowi karbonatyzacji [Małecki Z. 2008].

Karbonatyzacja betonu

Beton z racji swej zasadowości (wartość współczynnika $\text{pH} \geq 12$) stanowi warstwę ochronną stali zbrojeniowej przed korozją. W wyniku szkodliwego wpływu wody, dwutlenku węgla oraz soli, odczyn alkaliczny ulega obniżeniu. Przy wartościach $\text{pH} = 10$ (11) beton wykazuje tylko niewielką lub w ogóle żadną aktywność korozyjną stali zbrojeniowej. W ślad za postępującą karbonatyzacją betonu naturalna powłoka ochronna stali zbrojeniowej ulega zanikowi, co prowadzi do powstawania uszkodzeń widocznych gołym okiem. Poprzez zwiększenie się objętości korodującej stali zbrojeniowej (pęcznienie) na skutek korozji następuje uszkodzenie jej betonowej otuliny.

Przyczyną tak wysokiej wartości pH jest rozpuszczalny w cieczy znajdującej się w porach betonu wodorotlenek wapniowy ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) z cementu: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$; w wodzie: $\text{Ca}^{++} + 2\text{OH}^- + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$; oraz w wodzie $\text{CO}_3^{--} + 2\text{H}^+$ z Ca^{++} i CO_3^{--} powstaje CaCO_3 . Karbonatyzacja betonu powstaje w wyniku przemiany wodorotlenku wapniowego wchodzącego w reakcję z kwasem węglowym (H_2CO_3) w węglan wapniowy (CaCO_3). Znajdujący się w kamieniu cementowym lub uwolniony $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oraz pozostały CaO reaguje w obecności wody, w wyniku reakcji jonowej w CaCO_3 [Małecki Z. i in. 2007]. W ślad za postępującą karbonatyzacją, naturalna powłoka ochronna stali zbrojeniowej ulega zanikowi, co prowadzi do powstania uszkodzeń widocznych gołym okiem. Poprzez zwiększenie się objętości korodującej stali zbrojeniowej (pęcznienie) na skutek korozji następuje uszkodzenie jej betonowej otuliny.

Zmniejszenie alkaliczności betonu poniżej $\text{pH} = 10$ powoduje zmniejszenie naturalnej ochrony betonu przed korozją (karbonatyzacja betonu). Nieosłonięte i niezabezpieczone konstrukcje betonowe z biegiem lat ulegają uszkodzeniom, bądź w czasie badań betonu sygnalizują zbliżające się zagrożenie ich powstania. W tej sytuacji należy natychmiast przystąpić do zabiegów renowacyjnych powierzchni betonowych. Nowo wznoszone budowle zazwyczaj posiadają już powłoki ochronne opóźniające procesy karbonatyzacji. Zależnie od rodzaju budowli oraz jej stanu technicznego i rodzaju obciążeń, którym podlega, dobierane są odpowiednie metody (systemy) ochronne lub naprawcze.



Rys. 6. Karbonatyzacja betonu

wskaźnik pozostaje bezbarwny, w warstwach głębszych jeszcze nie skarbonatyzowanych, barwi on beton na kolor fioletowy. Jeżeli strefa skarbonatyzowana dociera do stali zbrojeniowej, to znak, że zabiegi renowacyjne należy rozpocząć natychmiast [Małecki Z. 2009]. Przed opracowaniem koncepcji renowacji należy przeprowadzić dalsze pomiary wytrzymałości betonu na ściskanie oraz określić rozwarstość rys. Mikrorysy o rozwarstości do 0,2 mm w przypadku zmiany temperatury i obciążenia najczęściej nie uaktywniają się i stanowią tym samym jedynie mankament optyczny. Natomiast makrorysy pojawiają się po dojrzeniu betonu wskutek lokalnego przekroczenia wytrzymałości betonu na rozciąganie, które zagrażają trwałości budowli [Antkiewicz J. Tężycki W., 2007].

Częstym uszkodzeniem powierzchni betonu w strefie falowania wody jest ubytek spoiwa objawiający się „obnażaniem” zalegającej płytko warstwy ziaren kruszywa grubego (fot.3). Na powierzchniach betonowych powyżej strefy falowania często w zagłębieniach porastają mchy, porosty i trawy co prowadzi w dłuższej perspektywie do osłabienia powierzchniowych warstw betonu (fot.4). Wobec powyższego należy koniecznie, regularnie usuwać rośliny mechanicznie lub chemicznie.



Fot. 3. Uszkodzona powierzchnia betonowa w strefie falowania wody



Fot. 4. Widoczne porastające mchy w połączeniach płyt betonowych

Badania stopnia karbonatyzacji elementów konstrukcji żelbetowych zbiornika Pokrzywnica (Szałe) w latach 2004-2006

Zapora ziemna zbiornika retencyjnego Pokrzywnica (Szałe), usytuowana jest na rzece Pokrzywnica w odległości 1,365 km od ujścia Pokrzywnicy do Proсны. Korpus zapory został wykonany z piasków drobnych i średnich pozyskanych z miejscowego złoża. Uszczelnienie budowli stanowi ekran na skarpie odwodnej wykonany z płyt żelbetowych grubości 15 cm. Pomiędzy płytami, na dylatacjach, zamontowana jest taśma uszczelniająca z PCV szerokości

20 cm. Płyty są ułożone na warstwie chudego betonu grubości 10 cm. Ekran dolną częścią opiera się o betonowy blok oporowy.

Tabela 1

Wyniki badań stopnia karbonatyzacji konstrukcji żelbetowych zbiornika Pokrzywnica, tj.: płyt na skarpie odwodnej, wieży przelewowej od strony zewnętrznej w latach 2004-2005. [Wyniki własne]

L.p.	Nazwa	Strefa falowania wody						Strefa powyżej maksymalnego poziomu piętrzenia wody					
		15.07.05			25.06.04			15.07.05			25.06.04		
		Punkt	Głębokość (cm)	Wartość pH	Punkt	Głębokość (cm)	Wartość pH	Punkt	Głębokość (cm)	Wartość pH	Punkt	Głębokość (cm)	Wartość pH
1.	Płyta żelbetowa skarpy odwodnej	B ₁ '	1.0 - 2.5	9.0	B ₃ '	1.0 - 3.0	9.0	B ₂ '	1.0 - 3.0	9.5	B ₄ '	1.0 - 3.0	9.5
		B ₁ ''	2.5 - 5.0	10.0	B ₃ ''	3.0 - 5.0	10.5	B ₂ ''	3.0 - 5.0	10.5	B ₄ ''	3.0 - 5.0	11.0
2.	Wieża przelewowa od strony zewnętrznej	A ₁ '	1.0 - 3.0	8.0	A ₃ '	1.0 - 3.0	8.0	A ₂ '	1.0 - 2.5	8.0	A ₄ '	1.0 - 3.0	8.0
		A ₁ ''	3.0 - 5.0	9.0	A ₃ ''	3.0 - 5.0	9.5	A ₂ ''	2.5 - 5.0	9.0	A ₄ ''	3.0 - 5.0	9.5

Wieża żelbetowa przelewowa o kształcie koła i średnicy 10 m usytuowana jest w odległości 21,60 m od osi zapory (fot.5,6). W dolnej części wieża łączy się z dwoma przewodami żelbetowymi o wymiarach 1,80 x 1,50 m, używanymi do przepuszczenia wielkich wód lub do opróżnienia zbiornika. Podstawowe parametry zapory: maksymalna wysokość 6,0 m, długość 473 m, szerokość korony 8,5 m, nachylenie skarpy odwodnej i odpowietrznej 1:3. Odczyn pH próbek betonu wykonano za pomocą specjalnego płynnego indykatora (Indykator Lösung-Deitermann). Dokonano nie niszczących badań uzupełniających za pomocą aparatu do pomiarów indukcji magnetycznej grubości betonowej otuliny zbrojenia, które potwierdziły wyniki dotyczące karbonatyzacji betonu (tab.1) [Małecki Z. 2008, Rozprawa].

W oparciu o wyniki badań stopnia karbonatyzacji betonu płyty żelbetowej skarpy odwodnej stwierdzono w strefie falowania początek procesu karbonatyzacji betonu (utrata naturalnej ochrony antykorozyjnej) szczególnie warstwy na głębokości 1,0 - 2,5 cm., jak również częściowo w strefie powyżej maksymalnego poziomu piętrzenia wody na głębokości 1,0 - 3,0 cm. Ażeby ograniczyć proces karbonatyzacji betonu zaleca się wykonanie zabiegów renowacyjnych powierzchni betonowych.

Na stopień karbonatyzacji elementów żelbetowych zapory i wieży przelewowej zbiornika Pokrzywnica ma istotny wpływ skład fizykochemiczny wody w zbiorniku Pokrzywnica. Oddziaływanie wód IV klasy jakości (śr. pH wody od 7,6-7,9) zgromadzonych w zbiorniku w połączeniu z falowaniem hydrodynamicznym zwierciadeł wody w następstwie przyrostu prędkości wiatru (wynosiło śr. 5,7 - 10,7 %) wraz z nawilżaniem, przemarzaniem i ścieraniem przez krę lodową ma szczególny wpływ na większy stopień karbonatyzacji betonu oraz na niekorzystne oddziaływanie niszczące w strefie falowania.

Abrazja brzegów i filtracja wody przez zapory ziemne

Jednym z istotnych problemów eksploatacyjnych zbiorników retencyjnych jest proces zamulania akwenów. Na odcinkach nieumocnionej linii brzegowej zbiorników zachodzi ciągły proces erozyjny kształtowania brzegów w następstwie zjawiska abrazji. Ponadto abrazja ma także wpływ destrukcyjny na szatę roślinną, która znajduje się w strefie brzegowej maksymalnego piętrzenia wody.



Fot. 5. Wieża upustowa zbiornika Pokrzywnica



Fot. 6. Wieża upustowa i skarpa odwodna zbiornika Pokrzywnica – przybliżenie (widoczne miejsca ubytków betonu w następstwie procesu karbonatyzacji)



Fot. 7. Max przepływ wód – zbiornik Pokrzywnica 2010 r.



Fot. 8. Rzeka Pokrzywnica poniżej zbiornika Pokrzywnica 2010 r.

W oparciu o uzyskane wyniki badań w roku 2006 a dotyczące zbiornika wodnego Pokrzywnica zauważono przyrost prędkości wiatru „po długości” (3,8 km) a mianowicie o: 8,6% (10.04.2006 r.), 9,8% (10.05.2006r.) i 5,3% (12.06.2006 r.) co skutkowało wystąpieniem falowania hydrodynamicznego wody powodującego wtórne zanieczyszczenie wód (zasilanie wewnętrzne) w następstwie „podrywania” osadów dennych zawierających związki chemiczne oraz przyspieszony proces erozyjny (abrazja).

Zauważalnym zagrożeniem dla stateczności zapór ziemnych zbiorników jest szkodliwy wpływ filtracji wody powodującej zmiany strukturalne w gruncie. W celu poprawienia stateczności zapory ziemnej należy zmierzać do obniżenia krzywej depresji poprzez zmniejszenie ciśnienia piezometrycznego i sphywowego w skarpie odwodnej poprzez poprawę skuteczności drenażu.



Fot. 9. Zapora ziemna – zbiornik Murowaniec na rzece Śwędźni



Fot. 10. Zbiornik Murowaniec od strony zapory („zrzucana woda”)



Fot. 11. Zbiornik Pokrzywnica – abrazja brzegów od strony północnej w części środkowej akwenu

Podsumowanie

1. Do procesów mających wpływ na bezpieczeństwo zbiorników wodnych i stopni wodnych należą:

- niewłaściwa praca urządzeń: upustowych, przeciwfiltracyjnych i drenażowych,
- nierównomierne osiadanie budowli hydrotechnicznych (odkształcenia i przekroczenia dopuszczalnych stanów naprężeń).

2. Do najważniejszych procesów mających wpływ na bezpieczeństwo budowli piętrzących należą:

- nadmierne obniżenie poziomu wody dolnej (niżówki) oraz pulsacyjne

oddziaływanie wody i zrzut kry lodowej. Następstwem tego jest:

- zwiększenie sił poziomych działających na budowle,
- zmiana położenia krzywych depresji w podłożu i korpusie zapory.

3. Do pośrednich zagrożeń, mających wpływ na bezpieczeństwo budowli piętrzących należy proces karbonatyzacji betonu.

Literatura:

1. Antkiewicz J., Tężycki W. *Trwałość i przyczepność napraw wykonanych na betonowych ekranach zapór ziemnych*, Nauka, przyroda, technologia – Melioracje i Inżynieria Środowiska, AR Poznań, 2007.
2. Czamara W. *Zastosowanie zbiorników wstępnych do ochrony zbiorników retencyjnych*, Zesz. Nauk. AR Wrocław, ser. Inżynieria Środowiska, XII, 413; 245-255, 2001
3. DIN 4030, 55928 *Teil 2. Prüfverfahren für Beton, Festbeton in Bauwerken und Bauteilen.*
4. Depczyński W., Szamowski A. *Budowle i zbiorniki wodne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999
5. Garbacz A., Piotrowski T., Courard L. *Inżynieria powierzchni betonu, cz. I. Struktura geometryczna powierzchni*. Mat. Bud. 9, 2006
6. GUS: *GUS, Ochrona Środowiska 2006*, Warszawa 2006
7. Hotłós H. *Gospodarowanie zasobami wodnymi w Polsce w latach 1990-2002*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna Nr 7-8/2004: – S. 262–265.
8. Kundzewicz Zb. *Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000
9. Małecki Z. *Karbonatyzacja budowli hydrotechnicznych i metody naprawy*. EKOTECHNIKA 1/44, Wrocław 2008. – S. 38–40.
10. Małecki Z. *Ocena wpływu wybranych zbiorników retencyjnych na środowisko w*

- zlewni Proсны. Rozprawa Naukowa, Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Lublin 2008
11. Mioduszeowski W. *Małe zbiorniki wodne*, IMUZ Falenty, 2003
12. Mirza J., Durand B. *Evaluation, selection and installation of surface rep air mortars at a dam site*. Constr. Build. Mat. 8,1, 1994
13. Parzonka W. *Ocena zmienności własności fizycznych i geologicznych osadów ze zbiorników wodnych: Sautet i Lubachów*, Archiwum Hydrotechniki, T.XXI, 4. – S. 654–674 (1974)
14. Żbikowski A., Żelazo J. *Ochrona środowiska w budownictwie wodnym*, Materiały informacyjne MOŚZNiL. P.p 156, 1994

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М. М. (НУВГП)

Зджіслав Малецький

ВАЖЛИВІ ПРОЦЕСИ, КОТРІ ЗАГРОЖУЮТЬ БЕЗПЕЦІ ВОДОСХОВИЩ

Стаття містить узагальнення досвіду експлуатації водосховищ на польських річках. Водосховища змінюють гідрологічний режим річок, а також змінюють умови транспорту наносів. У польських водосховищах можна зосередити близько 6% (у сусідніх державах 10-12%) об'єму стоку, котрий переважно надходить до Балтики. Всі гідротехнічні будівлі та споруди, призначені для управління стоком можуть піддаватися ушкодженням та катастрофам. Основні причини ушкоджень гребель – це нестача інформації про природні явища та властивості основ, технічні помилки під час експлуатації. Надмірна фільтрація також зумовлює загрозу експлуатаційній надійності.

Ключові слова: водосховище, гребля, фільтрація, місцевий розмив, карбонатація бетону, гідротехнічні споруди.

Zdzislaw Maletski

CRITICAL PROCESSES THREATENING THE SAFETY OF WATER RESERVOIRS

Water reservoirs (dam reservoirs) change the hydrological regime of rivers. The impounding of water results in the growth of the mass of water in the reservoir and the slowing down of its flow, which causes clear grain segregation of the bedload transported in the reservoir basin.

Polish dam reservoirs can accumulate only about 6% (in the neighbouring countries 10-12%) of the body of water annually flowing mainly into the Baltic. Altogether the capacity of water retention reservoirs in Poland is above 3550.0 million m³.

All hydrotechnical structures whose function is the permanent or temporary storage, impoundment and transportation of water are subject to damage and catastrophies. The basic causes of dam damage are the following: an insufficient knowledge of natural phenomena and the qualities of the materials and the bed, technical errors made at the time of the dam construction, and inappropriate exploitation of the structure. Excessive filtration of water set below the impounding structures and around their abutments, and through concrete and earth dams often threatens the safety of water reservoirs (i.a. vertical erosion in the reservoir basin and below the dam).

The processes affecting the safety of water reservoirs include the following: inappropriate functioning of the hydrotechnical machinery, uneven settling of the structure, excessive lowering of the low water level (low-flow period) and the pulsating effect of water flow.

There are also indirect hazards influencing the safety of impounding structures such as the process of the carbonation of concrete. Because of its alkalinity (pH value ≥ 12) concrete is used as a layer protecting reinforcing steel from corrosion. The harmful influence of water, carbon dioxide and salt lowers the alkaline reaction. When pH value equals 10 (11) concrete shows little or no corrosion activity of reinforcing steel. The growth of the volume of corroding reinforcing steel that results from the loss of concrete alkalinity is called concrete carbonation. One of the crucial problems concerning the exploitation of retention reservoirs is the silting up and the erosion of unreinforced banks.

Keywords: water reservoir, dam, filtration, vertical erosion, concrete carbonation, hydrotechnical structures.