

Zdzisław Jan Małecki, Ryszard Pokładek

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 3522,0 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 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.

Słowa kluczowe: zbiornik wodny, zapora, filtracja, erozja wgłębna, 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 [Mioduszecki 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].

dr hab. inż. Zdzisław Jan MAŁECKI – Osrodek Badawczo-Rozwojowy Inżynierii Lądowej i Wodnej „Euroxbud” w Kaliszu.

dr inż. Ryszard POKLADEK – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska.

Zgodnie z wymogami Dyrektywy 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (tzw. Ramowej Dyrektywy Wodnej) zobowiązano kraje członkowskie Unii do przygotowania planów gospodarowania wodami, które stanowiąc 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 3522,0 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 15 m) na świecie wynosi 36235. W 1900 r. 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 10 sztuk do roku 1996 [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 wahaniu 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 BUDOWLI 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 1994 r. – Prawo budowlane z późn. zm. W ustawie przedstawione są podstawowe wymagania, a mianowicie:

- 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.

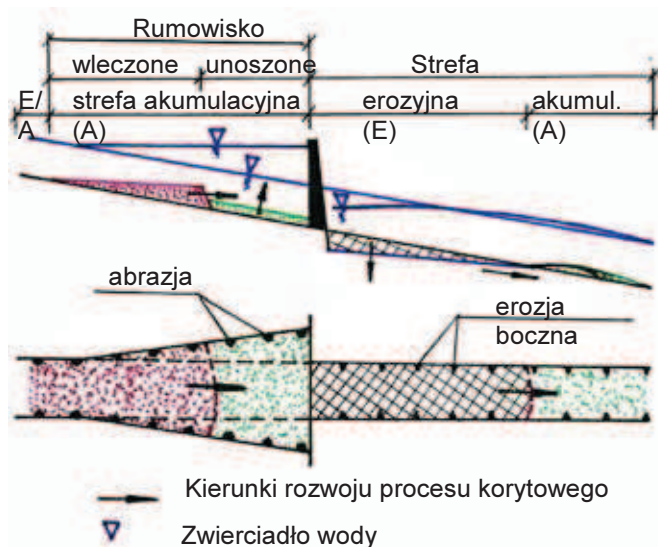
Filtracja pod budowlami piętrzącymi, wokół ich przyczółków oraz przez zapory betonowe i ziemne jest filtracją ustaloną.

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 wstępnej poniżej zapory jest: zatrzymanie w zbiorniku rumowiska wlezonego 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 wlezione, natomiast w dolnej jego części unoszone w ponad 41%, co stanowi śr. ok. 90% rumowiska.



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

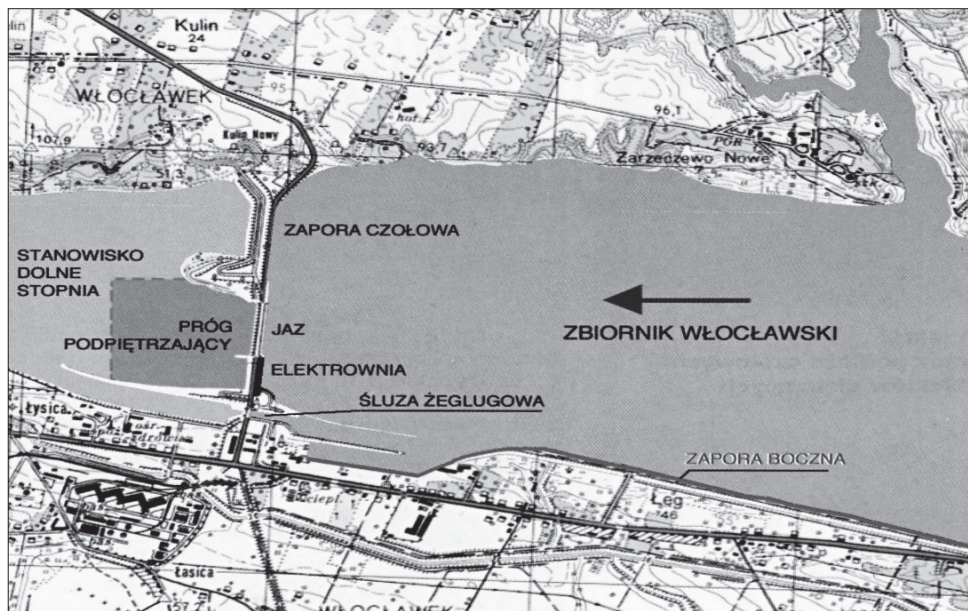
Rozwój procesu erozji wstępnej poniżej zapory (w tym zasięg strefy erozyjnej) powoduje:

- 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).

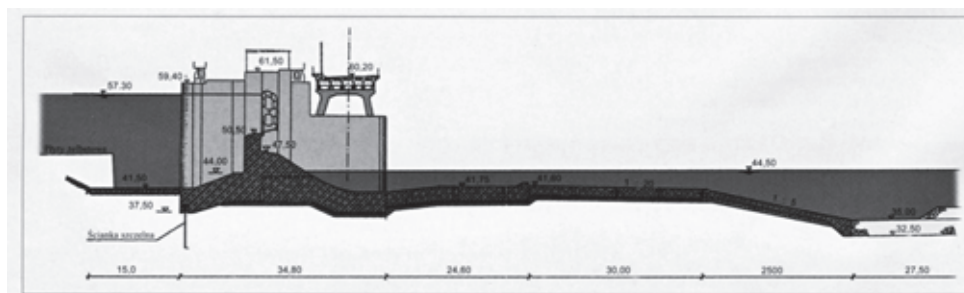
Wpływ erozji wstępnej na stabilność zapory stopnia wodnego „Włocławek” km 674,85 (wybudowany w latach 1962–1970)

Parametry techniczne stopnia wodnego Włocławek.

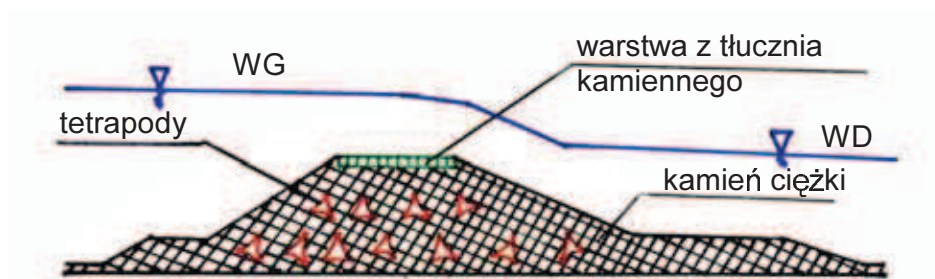
- zapora ziemna – długość 670 m, max. wysokość 20 m,
- żelbetowy jaz 10-cio przęsłowy – długość 254,5 m, światło przelewu 200,0 m, wysokość budowli 34,0 m,
- charakterystyczne przepływy – $Q_{\text{srNW}}=290\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{srR}}=890\text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{1\%}=8970\text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{0,3\%}=10280\text{m}^3/\text{s}$.



Rys. 2. Lokalizacja stopnia wodnego



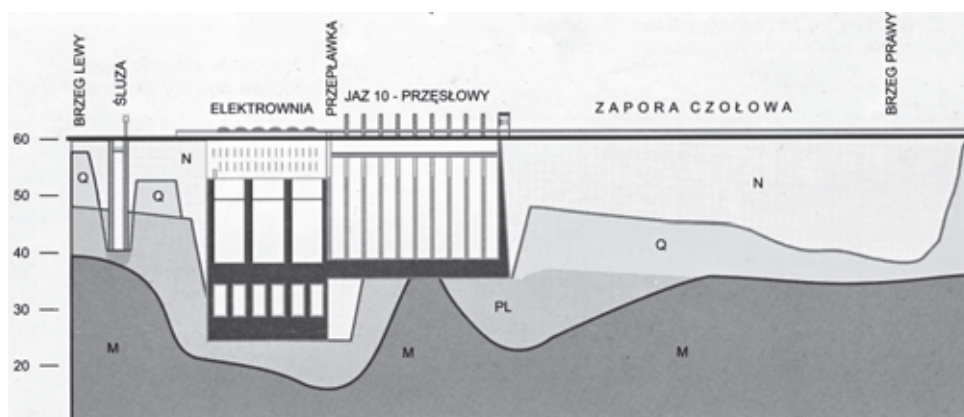
Rys. 3. Przekrój podłużny przez jaz i jego podłoże



Rys. 4. Próg stabilizujący stanowisko dolne



Fot. 1. Próg podpierający stopień wodny we Włocławku



Rys. 5. Przekrój przez podłoże czołowych obiektów piętrzących

Pod zaporą czołową zalegają grunty: czwartorzędowe żwiry, pospółka i piaski, a pod jazem grunty: czwartorzędowe, plioceńskie – drobne i pylaste piaski, pyły, gliny, łąy 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).

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 podpiętrzającego (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 czaszach zbiorników

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

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 „krater”),
- przemieszczania się wody pod zaporą ziemną i podtapiania terenów poniżej zbiornika wraz z zasilaniem koryta dolnego rzeki Swędrni.



Fot. 2. Czasza zbiornika Murowaniec

Wpływ na budowę hydrotechniczne obniżenia poziomu wody oraz pulsacyjnego jej przepływu

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

- zwiększenie sił poziomych działających na budowle 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 przelewo-wa) szczególnie w strefie zmian poziomów wody w zbiorniku ulegają procesowi karbonatyzacji [Małecki Z. 2008].

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 należy 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. Depczyński W., Szamowski A.: Budowle i zbiorniki wodne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
2. GUS, Ochrona Środowiska 2006, Warszawa 2006.
3. Hotłós H.: Gospodarowanie zasobami wodnymi w Polsce w latach 1990–2002. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 7–8, 2004: 262-265.
4. Kundzewicz Zb.: Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
5. Małecki Z.: Karbonatyzacja budowli hydrotechnicznych i metody naprawy. Ekotechnika 1, 44, 2008: 38–40.
6. Małecki Z.: Ocena wpływu wybranych zbiorników retencyjnych na środowisko w zlewni Proсны. Rozprawa naukowa, Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Lublin 2008.
7. Mioduszeński W.: Małe zbiorniki wodne. IMUZ Falenty, 2003.
8. Parzonka W.: Ocena zmienności własności fizycznych i geologicznych osadów ze zbiorników wodnych: Sautet i Lubachów. Archiwum Hydrotechniki, T.XXI, 4, 1974: 654–674.
9. Żbikowski A., Żelazko J.: Ochrona środowiska w budownictwie wodnym. Materiały informacyjne MOŚZNiL. P.p 156, 1994.

WESENTLICHE PROZESSE, DIE SICHERHEIT DER WASSERBEHÄLTER GEFÄHRDEN

Zusammenfassung

Die Wasserbehälter (Staubecken) verändern die hydrobiologische Form von Flüssen. Infolge der Stauung kommt in Becken zur Steigerung der Wassermasse und damit zur Geschwindigkeitssenkung des Durchflusses, was zur deutlichen Kerntrennung der transportierten Abschüttung am Beckenboden führt. In polnischen Becken kann man jährlich nur kaum 6% (in Nachbarländern 10–12%) der in die Ostsee fließenden Wassermenge speichern. Die ganze Kapazität der Staubecken in Polen beträgt 3522,0 Mio. m³. Alle hydrotechnischen Anlagen, die ständig oder zeitfristig der Wasserspeicherung dienen, werden den Beschädigungen und Katastrophen ausgesetzt. Die Grundursachen von Staudammbeschädigungen heißen: Mangel an genügenden Kenntnissen von Naturphänomenen und Materialeigenschaften, technische Fehler beim Bau, unrichtige Auswertung der Anlage. Zu hohe Filtration bestimmt unter den Gebäuden und ihren Köpfen wie auch Beton- und Erdesperren gefährden die Sicherheit der Becken (u.a. Tiefenerosion am Beckenboden und unter der Sperre). Zu den Prozessen mit dem Einfluss auf Beckensicherheit gehören noch: unrichtiger Betrieb der hydrotechnischen Anlagen, ungleichmäßiges Senken des Bauwerks, zu schnelles Sinken des Unterwassers und schlagendes Einwirken des durchfließenden Wassers.

Schlüsselworte: Wasserbehälter, Staunlage, Filtration, Tiefenerosion, hydrotechnische Anlagen.