



Zapora wodna w Niedzicy, fot. NBI

Monitoring i diagnostyka **budowli** hydrotechnicznych, cz. 1



■ **dr hab. inż. Zbigniew Kledyński, prof. nadzw.**, Politechnika Warszawska, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki

Monitorowanie i diagnozowanie dostarcza wiedzy na temat stanu technicznego obiektu hydrotechnicznego, tj. jego nośności i użyteczności. Z tego powodu procesy te stanowią podstawę do formułowania stosownych ocen. Szczególnym rodzajem oceny – zwłaszcza w przypadku piętrzących budowli hydrotechnicznych – jest ocena bezpieczeństwa obiektu.

Pojęcie bezpieczeństwa oznacza nie tylko istnienie niezbędnej nadwyżki nośności nad obciążeniami, gwarantującej integralność i stateczność konstrukcji, ale także staje się niezwykle istotnym komponentem ryzyka katastrofy wywołanej przerwaniem zapory, przy czym ryzyko jest tu rozumiane jako iloczyn prawdopodobieństwa przerwania zapory i strat ludzkich oraz materialnych, wywołanych poniżej obiektu z powodu jej nagłego zniszczenia.

W niniejszej, pierwszej części artykułu omówiono zagadnienie monitorowania budowli hydrotechnicznych, natomiast w drugiej części, która ukaże się w przyszłym numerze czasopisma, zostanie przedstawiona problematyka diagnostyki stanu tego rodzaju budowli.

1. Wprowadzenie

Pojęcie monitoringu w technice jest bardzo szerokie i wciąż ekspansywne. W najogólniejszym znaczeniu jest zorganizowanym sposobem obserwacji obiektu lub procesu, zwykle ciągłym i długoterminowym. W znaczeniu przywoływanym

w artykule monitoring dotyczy budowli hydrotechnicznych – zwłaszcza piętrzących – i określa systematyczne obserwacje, pomiary i badania tych obiektów, służące do oceny ich stanu technicznego i bezpieczeństwa. Z kolei diagnostyka to działania podejmowane w związku z zaistnieniem sytuacji nietypowych, związanych z potencjalną lub rzeczywistą awarią lub katastrofą obiektu, bądź też postępującą jego degradacją i koniecznością podjęcia działań zapobiegawczych, w szczególności działań remontowych.

Zapory, jak prawie żadne inne obiekty budowlane, same w sobie stanowią mogą

istotne zagrożenie dla otoczenia. Wynika to z faktu piętrzenia wody (współcześnie do ok. 300 m – zapora Nurek w Tadżykistanie w Azji), często w znacznych ilościach (współcześnie do 180,6 mld m³ – zbiornik Kariba na rzece Zambezi w Afryce). Przerwanie zapory wiąże się z gwałtownym opróżnieniem zbiornika i nagłą powodzią o skali zwykle znacząco większej niż naturalne, nawet ekstremalne wezbranie.

Zainteresowanie kwestiami bezpieczeństwa zapór ma tak długą historię, jak i one same, ale dopiero tragiczne skutki katastrof zapór w czasach nowożytnych

[1] oraz postęp naukowy i techniczny spowodowały, że wraz z rozwojem budownictwa wodnego nastąpił także szybki rozwój techniki kontroli budowli piętrzących.

Obiekty piętrzące stale lub okresowo wodę podlegają procesom starzenia materiałów, filtracyjnej degradacji podłoża oraz – pozostając w ścisłym związku ze środowiskiem przyrodniczym – ekstremalnym zjawiskom naturalnym, zwłaszcza hydrologicznym, ale także sejsmicznym. Oprócz tego na ich stan wpływają niedoskonałości projektowania i wykonawstwa, a w szczególnych okolicznościach także celowe oddziaływania destrukcyjne – działania wojenne lub terrorystyczne.

Nagła awaria wysokiej zapory jest z reguły przyczyną katastrofalnej fali wezbraniowej. Zniszczenia jakie ona wywołuje, wynikają przede wszystkim ze znacznych prędkości wody (do ponad 50 km/h) oraz znacznych głębokości zalewu.

Potencjalne konsekwencje katastrofy zapory (wysokie straty w ludziach i materialne) sprawiają, że piętrzące budowle hydrotechniczne podlegają szczególnej kontroli, której towarzyszą systemy ostrzegawczo-alarmowe.

Zapory powinny być wyposażone w instrukcje postępowania w razie awarii lub katastrofy. W ramach przygotowywania takich dokumentów tworzone są mapy potencjalnego zalewu. Mimo postępu w modelowaniu hydraulicznym, prognozowanie zalewu będącego skutkiem katastrofy obiektu piętrzącego natrafia na fundamentalne trudności. Wynikają one z nieznanego przebiegu tworzenia się wyrwy w przegrodzie, nieznanomości jej wymiarów oraz trudności w oszacowaniu szorstkości terenu zalewowego.

Mapy zalewu mają więc charakter pewnego przybliżenia. Na ich podstawie wyznacza się trzy strefy. Pierwsza obejmuje tereny bezpośrednio przyległe do obiektu i z tego powodu, w przypadku niesygnalizowanego przerwania zapory, zniszczenia na tym obszarze będą totalne. Strefa druga dotyczy terenów, z których możliwa będzie ewakuacja ludności. Strefa trzecia to obszar możliwej ewakuacji ludzi i przynajmniej części mienia.

Z analizy zasięgu zalewu oraz inwentaryzacji zagospodarowania terenów zalewowych wynikają m.in. sposoby sygnalizowania zagrożenia, alarmowania oraz ustalenia w sprawie kierunków, tempa i miejsc ewakuacji. Działania te mogą być prewencyjnie wsparte przez wykonanie osłon, schronów lub realizację dodatkowych wymagań, np. konstrukcyjnych,

w obiektach zlokalizowanych na zagrożonym terenie. Wszystko to ma służyć zmniejszeniu strat.

Systemy ostrzegawczo-alarmowe bazują na wynikach obserwacji i pomiarów kontrolnych podstawowych (limitujących) wielkości charakteryzujących stan obiektu i jego otoczenia. Do parametrów tych zaliczamy: względne przemieszczenia liniowe i kątowe budowli, wydatki filtracji, położenie krzywej depresji lub ciśnienie wyporu. W przypadku budowli tworzących zbiorniki retencyjne znaczenie dla bezpieczeństwa obiektu ma gospodarka wodna realizowana na zbiorniku, a w jej ramach wielkości decyzyjne generowane przez system osłony hydrologiczno-meteorologicznej. Są to m.in. poziom piętrzenia i stan wody dolnej, stany wód gruntowych, opady w zlewni zbiornika, temperatury powietrza i wody, zjawiska lodowe itp.

Dla większości z wymienionych wielkości powinny być ustalone wartości dopuszczalne i graniczne. Przez wartości dopuszczalne obserwowanych zjawisk rozumie się takie, które mieszczą się w przedziale wartości prognozowanych, a ich przekroczenie wskazuje na konieczność pilnego przeprowadzenia analizy przyczyn ich zaistnienia. Natomiast wartości graniczne to wartości, których przekroczenie grozi katastrofą budowlaną.

2. Podstawy prawne

Prawne aspekty monitorowania budowli hydrotechnicznych zawarte zostały w ustawach: Prawo budowlane [11]

i Prawo wodne [12 i 13] oraz wydanych na ich podstawie przepisach, w tym techniczno-budowlanych [9], a także różnego rodzaju wytycznych i instrukcjach branżowych, np. [2, 14].

Artykuł 62 ustawy Prawo budowlane [11] określa obowiązek wykonywania okresowych kontroli obiektu budowlanego, a w tym kontroli:

1) okresowej, co najmniej raz w roku, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego:

a) elementów budynku, budowli i instalacji narażonych na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania obiektu

b) instalacji i urządzeń służących ochronie środowiska

c) instalacji gazowych oraz przewodów kominowych (dymowych, spalinowych i wentylacyjnych);

2) okresowej, co najmniej raz na pięć lat, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia; kontrolą tą powinno być objęte również badanie instalacji elektrycznej i piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń i środków ochrony od porażeń, oporności izolacji przewodów oraz uziemień instalacji i aparatów.

Z kolei w art. 64 ust. 3 ustawy Prawo wodne [12] zapisano, że właściciel budowli piętrzącej jest zobowiązany zapewnić prowadzenie badań i pomiarów umożliwiających ocenę stanu oraz bezpieczeństwa budowli, a w szczególności:



Czasza zbiornika górnego elektrowni szczytowo-pompowej w trakcie okresowego przeglądu

- 1) stanów wód podziemnych, ich filtracji przez budowlę, przez podłoże oraz w otoczeniu budowli;
- 2) wytrzymałości budowli oraz podłoża;
- 3) stanu urządzeń upustowych;
- 4) zmian na górnym i na dolnym stanowisku budowli.

Realizacja przytoczonych wyżej zapisów ustawowych wymaga stosowania odpowiednich urządzeń kontrolno-pomiarowych, w które należy wyposażać budowle hydrotechniczne i ich otoczenie, tak aby kontrolować ich stan techniczny, począwszy od okresu budowy i przez cały okres użytkowania [9]. Wymóg instalowania takich urządzeń, w szczególności umożliwiających długookresowe kontrolowanie stanu budowli, nie dotyczy obiektów o wysokości piętrzenia niższej niż 2,0 m i pojemności zbiornika mniejszej niż 0,2 mln m³.

Rodzaj, liczbę i rozmieszczenie (z uwzględnieniem geodezyjnej sieci odniesienia) urządzeń kontrolno-pomiarowych oraz stopień dokładności pomiarów ustala się indywidualnie dla każdej budowli hydrotechnicznej w zależności od klasy jej ważności oraz konstrukcji i rodzaju podłoża. Uwzględnia się przy tym zasady pracy elementów budowli oraz strefy większego zagrożenia, tj. uskoki, wkładki słabych gruntów lub skał i starorzecza – w podłożu oraz miejsca koncentracji naprężeń, połączenia nasypów z elementami betonowymi i przyczółkami – w konstrukcjach.

Urządzenia kontrolno-pomiarowe w budowlach I i II klasy ważności należy przystosować do automatycznego odczytu oraz zapewnić – za pomocą innych urządzeń nieautomatycznych – okresową kontrolę prawidłowości wskazań urządzeń automatycznych.

Na etapie projektowania budowli ustala się także dopuszczalne i graniczne wartości obserwowanych zjawisk i ich dynamikę, częstość dokonywania pomiarów oraz najbliższy termin aktualizacji instrukcji pomiarowej.

3. Techniczna Kontrola Zapór (TKZ) – rozwiązania organizacyjne

Truizmem jest stwierdzenie, że nadzór nad bezpieczeństwem ponad 43 tysięcy tzw. wielkich zapór na świecie jest pod każdym względem zróżnicowany, także prawnie i organizacyjnie. Przegląd kilku krajowych rozwiązań z obszaru nam najbliższego pod względem kultury technicznej i prawnej (Europa, USA) można znaleźć w przeglądowych opracowaniach, np. [7].

W Polsce nie ma spójnego systemu TKZ, a jego elementy są rozproszone instytucjonalnie, a dodatkowo także podzielone według kryteriów technicznych (klasy ważności budowli) i własnościowych. Ostatnia nowelizacja ustawy Prawo wodne (ustawa z 5 stycznia 2011 r. o zmianie ustawy Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw) tworzy wprawdzie tzw. państwową służbę do spraw bezpieczeństwa budowli piętrzących (podporządkowując ją Instytutowi Meteorologii i Gospodarki Wodnej, IMGW), ale nie wiąże się to z jakimkolwiek aktem wykonawczym, w którym sprecyzowano by nie tylko uprawnienia owej służby, ale przede wszystkim merytoryczne wymagania wobec niej (np. w zakresie kwalifikacji personelu). Tym samym tylko zapisy ustawowe wyznaczają ramy działania służby, a z nich wynika kosmetyczna zmiana dotychczasowego stanu, tyle że z dodatkowym wzmocnieniem roli IMGW.

Ilustracją tego stanu rzeczy jest m.in. porównanie zapisów art. 64 ust. 4 ustawy Prawo wodne w dotychczasowym brzmieniu: „budowle piętrzące stanowiące własność skarbu państwa, zaliczone na podstawie przepisów ustawy Prawo budowlane do I lub II klasy, poddaje się okresowym badaniom wykonywanym przez ośrodek technicznej kontroli zapór Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej” i zmienionym 5 stycznia br.: „budowle piętrzące stanowiące własność skarbu państwa, zaliczone na podstawie przepisów ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane do I lub II klasy, poddaje się badaniom i pomiarom pozwalającym opracować ocenę stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa dla tych budowli, wykonywanym przez państwową służbę do spraw bezpieczeństwa budowli piętrzących”.

Praktyka w zakresie badań stanu i oceny bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych w Polsce była (i w zasadzie pozostanie) taka, że zdecydowaną większość obiektów hydrotechnicznych klasy I i II, będących własnością skarbu państwa, a znajdujących się w zarządzie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) oceniają pracownicy Ośrodka Technicznej Kontroli Zapór (OTKZ) w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

Natomiast stan techniczny budowli hydrotechnicznych, w tym wałów przeciwpowodziowych, pozostających w zarządzie marszałków województw, w których imieniu działają dyrektorzy wojewódzkich zarządów melioracji i urządzeń

wodnych (WZMiUW) jest monitorowany przez resort rolnictwa, m.in. za pośrednictwem Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych (obecnie Instytut Technologiczny) w Falentach koło Warszawy. Teraz, w świetle znowelizowanej ustawy Prawo wodne, obiekty te, gdy są klasy I lub II, jako własność skarbu państwa powinny być kontrolowane przez IMGW.

Oprócz tego istnieją tysiące obiektów hydrotechnicznych, niektóre o wysokiej klasie ważności, nierzadko w niezadawalającym stanie technicznym, ale niebędące własnością skarbu państwa albo nadzorowane przez inne resorty niż środowiska i nieoceniane przez OTKZ. Podlegają one wprawdzie przytoczonym wcześniej ogólnym przepisom prawa budowlanego i wodnego, ale monitorowanie ich stanu technicznego – przez egzekwowanie okresowych kontroli i ocen – jest rozproszone w strukturze państwowego nadzoru budowlanego (powiatowe i wojewódzkie inspektoraty nadzoru budowlanego). Obecnie, gdy taki obiekt klasy I lub II jest własnością skarbu państwa, a jego stan techniczny zagraża lub może zagrażać bezpieczeństwu, to Prezes KZGW „przekazuje” go państwowej służbie do spraw bezpieczeństwa budowli piętrzących w celu poddania badaniom i pomiarom kontrolnym (art. 64, ust. 4a).

Na poziomie Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego (GUNB) od kilku lat nie ma komórki nadzoru specjalistycznego (ostatni raport roczny GUNB na temat stanu bezpieczeństwa budowli piętrzących wodę w Polsce pochodzi z czerwca 2008 r.), co oznacza, że stan bezpieczeństwa budowli piętrzących jest traktowany tak samo, jak i np. budownictwa mieszkaniowego.

Z opisanych powodów nie ma centralnej bazy danych na temat stanu technicznego i bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych w Polsce, a dostępne dane obejmują obiekty piętrzące, w tym przeciwpowodziowe, pozostające w zarządzie KZGW i oceniane przez OTKZ, oraz ok. 8,5 tys. km obwałowań przeciwpowodziowych, monitorowanych przez IMUZ.

Informacje o stanie technicznym budowli hydrotechnicznych będących własnością komunalną (samorządową) i prywatną oraz obiektów będących wprawdzie własnością skarbu państwa, ale zarządzanych przez inne resorty, np. energetyki, rolnictwa itd. i nieocenianych przez OTKZ, pozostają rozproszone. Nie ma więc miarodajnej wiedzy o skuteczności egzekwowania obowiązku wykonywania ocen, o poziomie merytorycznym i for-

malnej poprawności wykonywanych ocen. Po nowelizacji sprawozdawczość przejmie IMGW, ale będzie ona dotyczyła tylko obiektów klasy I i II. W tej grupie znajdują się obiekty skarbu państwa kontrolowane bezpośrednio (?) przez IMGW (tj. podległe KZGW i te, które są administrowane przez inne resorty, ale pozostają w złym stanie technicznym i decyzją Prezesa KZGW trafiają pod kontrolę IMGW) oraz pozostałe, gdyż ich właściciele zostali zobowiązani do przekazywania jednego egzemplarza oceny stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa budowli piętrzącej państwowej służbie do spraw bezpieczeństwa budowli piętrzących, w terminie miesiąca od dnia jej odbioru (art. 64, ust. 6).

Z przedstawionego przeglądu zapisów znowelizowanej ustawy wynika, że nie tyle stworzono rozwiązanie systemowe, ile powiększono zakres bezpośredniego oddziaływania IMGW, czyniąc zeń jednocześnie instytucję wykonującą kontrole i nadzorującą ich wykonywanie – wszystko ograniczając do budowli klas I i II. Tymczasem od dawna wiadomo, że nadzorem należy objąć wszystkie obiekty, a przywołanemu – lub innemu – podmiotowi należy nadać wyłącznie uprawnienia monitorujące i kontrolne wobec tych uprawnionych z mocy prawa budowlanego inżynierów, którzy takie oceny bezpośrednio wykonują.

Centralna instytucja odpowiedzialna za kontrolowanie stanu technicznego budowli piętrzących w Polsce powinna powstać w strukturze KZGW, a z GUNB współpracowałyby w ściśle określonym i ograniczonym zakresie. Instytucja ta powinna mieć cechy organu merytorycznego, formułującego obligatoryjne, ogólne wymagania i wytyczne odnośnie do sporządzania ocen stanu bezpieczeństwa budowli piętrzących wszystkich klas. Ośrodek ten miałby posiadać wdrożony i certyfikowany przez niezależną instytucję system zapewnienia jakości oraz powinien być akredytowany lub uzyskać – na zasadzie wzajemności – akceptację procedur swoich działań przez analogiczne instytucje zagraniczne i międzynarodowe.

Ośrodek powinien nie tylko prowadzić rejestr budowli piętrzących i sprawozdawać o ich stanie, za pośrednictwem Prezesa KZGW, zainteresowanym organom państwowym, ale także zająć się weryfikacją ocen sporządzanych przez osoby uprawnione, podejmujące się tego typu działań.

Idąc śladem rozwiązań brytyjskich, KZGW powinien sporządzić listę certyfikowanych specjalistów technicznej

kontroli zapór i okresowo ją weryfikować. Z kolei wzorem norweskim, na liście powinny być ujawnione szczegółowe zakresy kompetencji specjalistów, tj. specjalności odpowiadające specyfice krajowych obiektów hydrotechnicznych. Z rozwiązań francuskich warto by zapożyczyć kilkusobową Radę ds. Bezpieczeństwa Zapór, która opiniowałaby – tylko w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa – wszystkie projekty budowli piętrzących wyższych klas, a w relacjach z wyżej opisanym ośrodkiem w KZGW pełniłaby rolę opiniującej rady naukowo-technicznej. Aktualnie elementy takiej oceny mogą się co najwyżej znaleźć w specjalistycznej opinii wydanej przez osobę fizyczną lub jednostkę organizacyjną wskazaną przez właściwego ministra (art. 33, ust. 3 ustawy Prawo budowlane).

Ponieważ w każdym (!) systemie TKZ oceny wykonywać muszą tylko uprawnieni inżynierowie, dlatego niezbędne jest przywrócenie odpowiedniej specjalności techniczno-budowlanej – hydrotechnicznej – i nadawanie jej osobom z odpowiednim wykształceniem i praktyką branżową. W aktualnym stanie prawnym budowle hydrotechniczne włączono w zakres specjalności konstrukcyjnej, a powszechnie wiadomo, że w programach kształcenia na kierunku budownictwo zagadnień hydrotechnicznych jest albo bardzo mało, albo – najczęściej – nie ma i wcale.

4. Kontrolowane wielkości. Monitoring klasyczny

W zakres pomiarów kontrolnych budowli wodnych zwykle wchodzi [3] pomiary m.in.: osiadań i przemieszczeń poziomych, wychyleń, przemieszczeń względnych w dylatacjach, rozwarcia rys (jeśli występują i uznano, że powinny być kontrolowane), ciśnień piezometrycznych pod budowlą, wydatku drenaży, intensywności przecieków, odkształceń betonu i skał, sił i naprężeń w betonie i skałach, sił i naprężeń w stali zbrojeniowej i sprężającej, nacisków na podłoże i od zasypek, temperatury betonu, gruntu i wody w zbiorniku i systemie drenażowym, temperatury powietrza atmosferycznego zewnętrznego i w galeriach, piezometryczne w korpusach nasypów hydrotechnicznych, ciśnień porowych w rdzeniach glinowych, pomiary temperatury wody w piezometrach.

Konkretny zestaw kontrolowanych wielkości, liczba punktów pomiarowych (czujników i urządzeń pomiarowych) oraz stopień zautomatyzowania pomia-

rów zależą od klasy ważności obiektu [9] i jego wielkości.

W przypadku obiektów piętrzących niższych klas (kasy III i IV) pomiary kontrolne ograniczają się zwykle do geodezyjnych pomiarów osiadań wybranych punktów (repery ziemne, repery na budowach betonowych) i pomiarów piezometrycznych. Czasami towarzyszą im pomiary wydatków drenaży lub przecieków. W bardziej rozbudowanych programach kontroli budowli mierzy się przemieszczenia poziome wybranych punktów oraz przemieszczenia względne na dylatacjach. Pomiary te wykonywane są z ustaloną częstością i z reguły nie są automatyzowane.

Najszerzy zakres kontrolowanych wielkości stosuje się na obiektach wyższych klas ważności (klasa I i II). Pomiary te – poza geodezyjnymi – są zwykle w różnym stopniu automatyzowane. Trudności w zautomatyzowaniu bezwzględnych pomiarów przemieszczeń próbuje się przezwyciężyć przez wykorzystanie GPS (ang. *Global Positioning System*), w czym przeszkodę stanowi wciąż wysoka cena dostatecznie precyzyjnych urządzeń.

5. Automatyczne Systemy Technicznej Kontroli Zapór (ASTKZ) jako narzędzie monitoringu

5.1. ASTKZ – wymagania ogólne i struktura systemów

Współcześnie i w najbardziej zaawansowanej postaci monitoring budowli piętrzącej jest realizowany przy wykorzystaniu indywidualnie zaprojektowanego dla każdego obiektu Automatycznego Systemu Technicznej Kontroli Zapory (ASTKZ). W skład systemu wchodzi aparatura kontrolno-pomiarowa złożona ze zdalczynnych czujników reagujących na różne wielkości charakteryzujące stan obiektu i jego otoczenia, związanych z czujnikami mierników i przekładników, oraz odpowiednio oprogramowanego komputera, który umożliwi zdalczynne inicjowanie pomiarów, gromadzenie ich wyników (akwizycja), przetwarzanie i analizę, raportowanie, a także powiadamianie o zaistnieniu wartości dopuszczalnych (ostrzegawczych) lub granicznych (alarmowych).

ASTKZ powinny zapewniać [7]: niezawodność i odpowiednią dokładność czujników pomiarowych, niezmiennosc wskazań czujników w czasie, tam gdzie warunki pozwalają – możliwość okresowego porównywania wyników pomiarów automatycznych z wynikami pomiarów wykonanych innymi przyrządami (tzw.



Automatyczny, zdalczyny szczelinomierz wskazujący przemieszczenia sekcji oddzielonych dylatacją



Stanowisko dla przenośnego szczelinomierza nasadkowego

pomiary klasyczne), niezawodność transmisji danych z czujników do komputera nadzorującego pracę systemu, bezpieczne gromadzenie danych pomiarowych, bieżącą analizę wyników pomiarów, również przy wykorzystaniu programów graficznych i sygnalizujących anomalie pomiarowe w czasie rzeczywistym, analizę zachowania się obserwowanych wielkości w czasie, przekazywanie danych w czasie realnym do ośrodka interpretacyjnego (w miarę potrzeby).

Czujniki to urządzenia konwertujące parametry mierzone na inną wielkość, zwykle elektryczną, która może być łatwiej transmitowana i mierzona. Stały rozwój czujników i technologii pomiarów sprawia, że aparatura pomiarowa jest coraz dokładniejsza i w coraz szerszym wyborze; maleją także jej ceny. Poprawia się odporność czujników na korozję i trudne warunki

pracy w obiekcie. Coraz więcej jest tzw. czujników inteligentnych, tj. z wbudowaną autokontrolą i automatycznym ostrzeganiem o nieprawidłowościach, automatyczną kompensacją błędów nieliniowości i histerezy lub błędów systematycznych wywołanych dryftem temperaturowym itd. Urządzenia te miewają wbudowane moduły przetwarzania sygnału z pamięcią wewnętrzną oraz mogą pracować w sieci, co daje możliwość przyłączenia większej liczby czujników do jednego przewodu.

Można zaobserwować rozwój zastosowań instrumentów optycznych, np. sterowanych komputerowo instrumentów geodezyjnych do pomiarów odkształceń oraz systemów laserowych do precyzyjnego pomiaru przemieszczeń statycznych i dynamicznych. Coraz częściej wykorzystuje się naziemny skanowanie laserowe, którego możliwości w zakresie oceny

stanu budowli hydrotechnicznych wciąż jeszcze są nie w pełni wykorzystywane [15]. W zakresie pomiarów przemieszczeń i odkształceń stosowane są także metody fotografii cyfrowej w połączeniu z technikami przetwarzania obrazu.

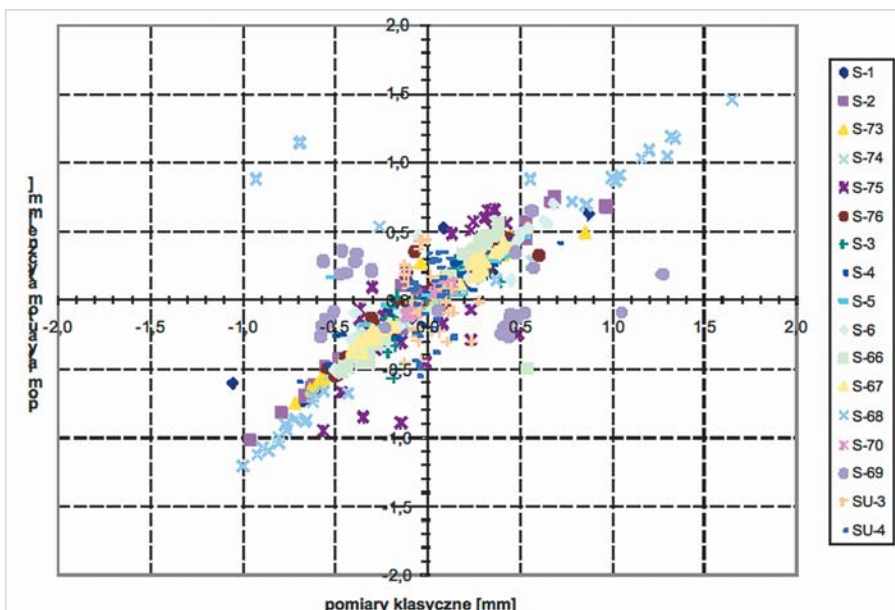
Nowe możliwości – zwłaszcza w obszarze trudnych do zautomatyzowania technik geodezyjnych, tj. niwelacji precyzyjnej oraz liniowo-kątowych pomiarów przemieszczeń poziomych – stwarza coraz dokładniejsza (i tańsza, a więc i łatwiej dostępna) aparatura i metody GPS.

Wzrasta liczba zastosowań czujników elastooptycznych (pomiar ciśnienia, naprężeń, temperatury i przemieszczeń) oraz światłowodowych. Te ostatnie są nieocenione w detekcji erozji wewnętrznej w nasypach hydrotechnicznych i ich podłożu [8].

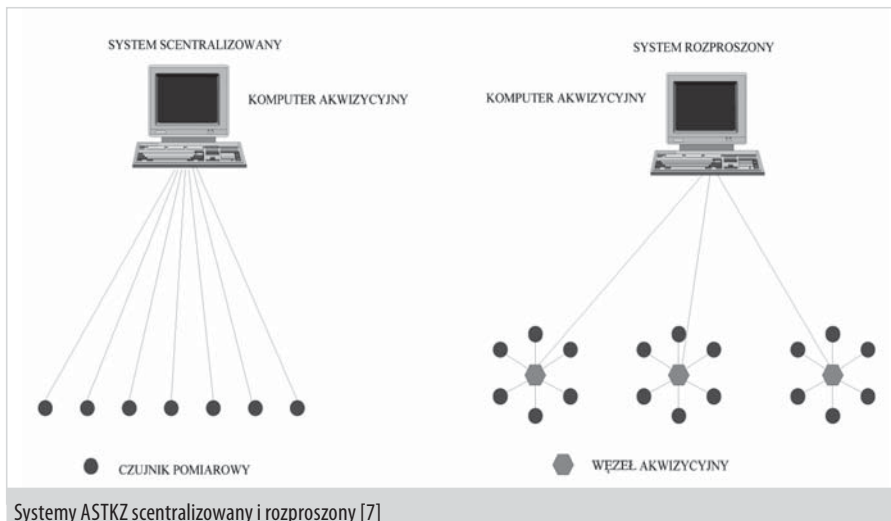
Okablowanie łączące czujniki z mierzonymi, interfejsami i centralnym komputerem jest narażone na uszkodzenia zarówno w fazie budowy obiektu, jak i w okresie wieloletniej eksploatacji w środowisku wilgotnym lub wręcz korozyjnym. Przewody są narażone na zakłócenia elektromagnetyczne lub uszkodzenie z powodu wyładowań atmosferycznych. Kontrolowanie stanu okablowania w wielu przypadkach jest utrudnione lub wręcz niemożliwe z powodu braku dostępu. Z tych powodów dąży się do redukcji długości okablowania, co można uzyskać przez stosowanie wspólnych dla wielu czujników przewodów zasilających i przesyłowych dla sygnału (magistrale), łączenia czujników w systemy rozproszone lub rezygnację z okablowania i przejście na radiową transmisję danych.

Coraz częściej kable elektryczne są zastępowane światłowodami. Są one odporne na zakłócenia elektromagnetyczne i wyładowania elektryczne, ale nie można przez nie zasilac urządzeń. Dlatego często ogranicza się ich rolę do transmisji sygnałów pomiarowych. Dąży się do standaryzowania – cyfryzacji – sygnałów wyjściowych czujników, co ułatwia ich wpinanie przez tzw. interfejsy do komputerowych systemów zbierania (akwizycji) danych pomiarowych.

Kolejnym elementem ASTKZ jest system zbierania (akwizycji) danych pomiarowych. Stosowane są dwa typy konfiguracji ASTKZ: scentralizowany i rozproszony. W pierwszym każdy czujnik jest bezpośrednio połączony z komputerem zbierającym dane. W drugim grupy czujników są przyłączone do punktów akwizycyjnych, a te do jednostki centralnej. Rozwiązanie rozproszone pozwala



Współzależność odczytów szczelinomierzy – automatycznych i nasadkowych



Systemy ASTKZ scentralizowany i rozproszony [7]

na zmniejszenie ilości okablowania, ale generuje większe koszty wyposażenia. Kluczem do wyboru konfiguracji powinny być uwarunkowania lokalne oraz oczekiwana niezawodność systemu.

W tym segmencie postęp jest ogromny, a obniżające się ceny sprzętu komputerowego sprawiają, że możliwości systemów akwizycji danych są praktycznie nieograniczone, gdyż dotyczą tylko indywidualnie tworzonego oprogramowania. Problemy sprowadzają się do szybkiego moralnego starzenia się sprzętu i oprogramowania, niekompatybilności nowego wyposażenia ze starym oraz rosnącego znaczenia weryfikacji strumienia danych, których pozyskuje się coraz więcej i łatwiej.

Dotychczas zrealizowane ASTKZ wykorzystują przede wszystkim indywidualne **oprogramowanie do przetwarzania i prezentacji danych** pomiarowych. Rozwiązania te są wypierane przez profesjonalne i względnie uniwersalne programy, gdyż przyspieszają one budowę systemu i obniżają jego koszt. Łatwiej w tych warunkach o aktualizowanie oprogramowania oraz jego rozwijanie o kolejne moduły prezentacji i analizy danych.

Niezwykle ważnym elementem ASTKZ jest **komunikacja z końcowym użytkownikiem danych**, gdyż to on ostatecznie interpretuje wyniki pracy systemu i decyduje o wynikającym stąd postępowaniu. Połączenie komputera prowadzącego akwizycję danych pomiarowych, a często ich analizę, może być realizowane za pomocą tradycyjnego łącza telefonicznego, satelity, telefonii komórkowej lub internetu – zależnie od możliwości i potrzeby.

Komputer sterujący i zbierający dane może stanowić element sieci komputerowej, a ta stwarza możliwość dostępu do informacji wielu użytkownikom znajdu-

jącym się w różnych miejscach, ale w tym samym czasie.

Powodzenie monitoringu, z punktu widzenia oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznej, polega na dostarczeniu danych odpowiedniego typu i w odpowiedniej ilości, we właściwym czasie, z akceptowalną dokładnością i w formie umożliwiającej dalsze przetwarzanie i interpretację.

Skuteczność systemu uwarunkowana jest nie tylko skutecznością metrologiczną, lecz przede wszystkim trafnością rozmieszczenia czujników w obiekcie, a ta z kolei wynikać musi z doświadczenia i specjalistycznej wiedzy inżynierskiej; czasami właściwe ułożenie punktów pomiarowych może być wspomagane symulacjami komputerowymi pracy obiektu.

Skuteczność metrologiczna ASTKZ zależy m.in. od niezawodności zastosowanej aparatury. Urządzenia te można podzielić na dwie grupy, zależnie od oczekiwań dotyczących niezawodności działania. Pierwsza grupa obejmuje urządzenia o stałym do nich dostępie, umożliwiającym ich serwisowanie łącznie z wymianą. W drugiej grupie są urządzenia, które po zainstalowaniu w okresie budowy obiektu stają się później niedostępne i praktycznie nie mogą zostać naprawione lub wymienione. Niezawodność urządzeń w drugiej grupie powinna być szczególnie wysoka, a w pierwszej uzasadniona ekonomicznie.

5.2. ASTKZ – czujniki stosowane w polskich systemach TKZ

W ostatnich kilkunastu latach w Polsce kilka znaczących budowli piętrzących wyposażono w zautomatyzowane systemy pomiarowe umożliwiające bieżącą ocenę stanu ich bezpieczeństwa. Systemy te wykorzystują różne typy czujników: tensometryczne, elektrooporowe, strunowe, indukcyjne, ultradźwiękowe, hy-

drauliczne, optyczne i inne. Z kolei aparatura obsługująca czujniki to nowoczesne urządzenia elektroniczne, a transmisja sygnałów odbywa się z reguły światłowodami.

Niezależnie od tego, jaki typ przetwornika zastosowano w czujniku, można je pogrupować w zależności od mierzonej wielkości. Są więc czujniki i urządzenia do pomiaru: poziomów wody w piezometrach i zbiornikach, wydatków filtracji i wielkości przecieków, przemieszczeń liniowych i kątowych, odkształceń wewnętrznych i na powierzchni konstrukcji betonowych lub na powierzchni konstrukcji metalowych, sił, nacisków i parcia budowli na podłoże, wielkości meteorologicznych; dane z czujników meteo wykorzystywane są m.in. do obliczania poprawek ciśnienia i temperatury dla innych czujników w ASTKZ.

Poniżej omówiono czujniki znajdujące zastosowanie przede wszystkim do pomiarów wielkości istotnych w ocenie stanu budowli hydrotechnicznych. Pomiar ciśnienia filtracji sprowadza się do pomiaru poziomu zwierciadła wody w piezometrze otwartym lub ciśnienia wody w piezometrze zamkniętym i przeliczenia go na wysokość słupa wody. W pierwszym przypadku dokładność pomiaru jest rzędu 1 cm lub mniej, a w drugim – kilku centymetrów słupa wody. Pomiar ręczny można wykonywać w piezometrach otwartych różnego typu gwizdkami, tzw. świstawkami, a w piezometrach zamkniętych przy użyciu manometrów. W systemach zautomatyzowanych w pierwszym przypadku stosuje się najczęściej czujniki ultradźwiękowe. Pomiar odległości do swobodnego zwierciadła wody odbywa się przez pomiar czasu przejścia ultradźwięków; pomiar wymaga kompensacji wpływu zmian temperatury wody. Urządzenia tego typu są instalowane na obiektach w Dębem, Czańcu, Klimkówce, Koronowie, Pilchowicach, Porąbce-Żar, Włocławku.

W piezometrach zamkniętych stosowane są czujniki ciśnieniowe, w których ciśnienie wody odkształca element sprężysty czujnika, a odkształcenie to jest przenoszone na element tensometryczny (Włocławek, Dębe), strunę (początkowo we wszystkich ASTKZ w Polsce) lub piezoelektryk (Klimkówka, Czorsztyn) i przetwarzane na sygnał elektryczny. Czujniki ciśnieniowe, wyposażone w filtr ceramiczny, mogą także służyć do pomiaru ciśnienia porowego w gruntach spoiowych (Czorsztyn, Klimkówka).

Kolejnym parametrem charakteryzującym zjawiska filtracyjne i szczelność obiektu hydrotechnicznego jest wydatek filtracji lub przecieków. Zwykle do pomiaru wydatków przecieków służyły korytka z przelewami pomiarowymi (najczęściej przelewem trójkątnym Thompsona) lub zwężki Venturiego, instalowane u wylotów drenaży. Automatyzacja pomiarów sprowadza się do zainstalowania czujnika lub czujników mierzących poziom wody nad przelewem pomiarowym albo przed i za zwężką. Dokładność takiego pośredniego pomiaru wynosi 1% zakresu pomiarowego, przy zakresach od 0,0 do 200 l/min.

Gdy przepływy/przecieki filtracyjne są ujęte w przewody ciśnieniowe (całkowicie wypełnione wodą), stosowane są krzyże pomiarowe, a różnicę ciśnień mierzy się czujnikami ciśnieniowymi.

Do pomiarów przemieszczeń względnych, liniowych (rozwarście szczelin dylatacyjnych) najbardziej przydatne w systemach ASTKZ okazały się szczelinomierze elektryczne: indukcyjno-transformatorowe (różnicowe) lub strunowe. Zakres pomiarowy tych urządzeń jest od 0 do 50 mm, a błąd pomiaru jest rzędu 0,5% maksymalnego zakresu (w przypadku przetworników strunowych wymaga to kompensowania wpływu temperatury).

Szczelinomierze transformatorowe zainstalowane są w Porąbce, Dębem, Włocławku, Rożnowie i Porąbce-Żar, a szczelinomierze strunowe w Besku, Dobczycach, Tresnej, Dębem, Włocławku i Jeziorsku.



Widok z korony obwałowania zbiornika górnego elektrowni szczytowo-pompowej na dolinę

Przechylenia budowli są mierzone w sposób klasyczny przy pomocy tzw. wahadeł prostych lub rewersyjnych. Z ko-

lei czujniki do pomiaru przemieszczeń kątowych (pochyleń) budowli zwane są klinometrami. Najczęściej są to czujniki strunowe (np. polskie czujniki strunowe SCK). Zakresy pomiarowe takich klinometrów zawierają się od 0 do $\pm 1^\circ$, przy dokładności pomiaru lepszej niż 1% zakresu pomiarowego czujnika i rozdzielczości kilku sekund. W celu poprawienia dokładności pomiaru stosuje się kompensowanie wpływu temperatury, co w polskich czujnikach kątowno-różnicowych SCKR uzyskuje się przez zastosowanie dwóch strun.

Wbudowanie w czujnik trzech strun (polski inklinometr strunowy SCIR) umożliwia dodatkowo wyliczenie azymutu położenia inklinometru w otworze. Zakresy pomiarowe tych inklinometrów wynoszą 5, 15 i 30° , przy dokładności pomiaru lepszej niż 1% zakresu pomiarowego czujnika i rozdzielczości kilku sekund.

Klinometry strunowe typu SCK zainstalowano w Besku, Dobczycach, Czańcu, Porąbce, Dębem, Koronowie, Rożnowie i Porąbce-Żar, a klinometry typu SCKR w Rożnowie i Włocławku.

Oprócz klinometrów i inklinometrów strunowych stosowane są pochylomierze (klinometry i inklinometry) ultradźwiękowe, w których wykorzystuje się ultradźwiękowe pomiary zmian poziomu cieczy w naczyniu przymocowanym do obiektu. Zakres pomiarowy pochylomierzy wynosi 1° , przy czułości $0,1 \mu\text{m/m}$ ($0,2''$); stabilność krótkookresowa (1 godz.) wynosi $0,1 \mu\text{m/m}$ ($0,2''$) i stabilność długookresowa wynosi $10 \mu\text{m/m}$ ($2''$). Pochylomierze wyposażone są w czujniki temperatury o rozdzielczości $0,01^\circ\text{C}$.

Na bazie pochylomierzy zbudowany jest ultradźwiękowy niwelator hydrostatyczny (odpowiednik klasycznej wagi wodnej), działający na zasadzie naczyń połączonych, a służący do pomiaru względnych przemieszczeń pionowych części budowli w długich przedziałach czasowych. Pochylomierze ultradźwiękowe zainstalowano w elektrowni wodnej w Dębem i w Porąbce-Żar, a niwelatory hydrostatyczne we Włocławku i Pilchowicach.

Oprócz pochylomierzy strunowych i ultradźwiękowych stosowane być mogą czujniki (klinometry i inklinometry) tensometryczne. Zakresy pomiarowe takich klinometrów zawierają się od 0 do $\pm 1^\circ$, przy dokładności pomiaru od 0 do $5''$. Zbudowane analogicznie inklinometry mają zakresy pomiarowe 5, 15 i 30° .

5.3. STKZ – podsumowanie

Stosowanie Automatycznych Systemów Technicznej Kontroli Zapór (ASTKZ) jest



Górna część typowego piezometru otwartego; pomiar położenia zwierciadła wody w piezometrze służy kontroli filtracji przez budowlę piętrzącą lub w podłożu

faktem, przy czym wielkie potencjalne możliwości tych systemów nie zawsze są w pełni wykorzystywane. O ile w początkowym okresie przyczyny tego stanu leżały po stronie niedoskonałości aparatury, w tym jej znacznej zawodności, o tyle aktualnie barierą jest konieczność większego zaangażowania użytkowników obiektów, także finansowego, w utrzymanie systemu i jego merytoryczną obsługę. Niezbędne się staje zatrudnianie najwyższej wykwalifikowanych inżynierów i ekspertów, gdyż oni są w stanie przyswoić i wykorzystać bogatą wiedzę o obiekcie, jakiej dostarcza ASTKZ.

Systemy TKZ znalazły bogate zastosowanie przy analizie bezpieczeństwa obiektów wodnych, a jeszcze w niepełnym, możliwym zakresie w formułowaniu ocen ich stanu technicznego.

Dotychczasowe doświadczenia w eksploatacji ASTKZ w Polsce pozwalają na ocenę zarówno zalet i wad eksploatawanych systemów.

Do zalet należy zaliczyć [7]:

- możliwość dokonywania zdalnych i bardzo szybkich, niemal jednoczesnych pomiarów nawet kilkuset czujnikami rozlokowanymi na całym obiekcie
- możliwość bardzo szybkiego uchwycenia wszystkich szybko zmieniających się zjawisk
- możliwość dysponowania, w systemie komputerowym, praktycznie nieograniczoną liczbą danych pomiarowych zgromadzonych z kilkunastu lub kilkudziesięciu lat eksploatacji obiektu, z ewentualnością natychmiastowego dostępu do nich i wykorzystania ich

w komunikatywnej postaci tabel, wykresów i zestawień

- łatwą możliwość, przy wykorzystaniu dodatkowych programów komputerowych uchwycenia i prognozowania zjawisk sezonowych i wieloletnich, zachodzących na obiekcie
- natychmiastową sygnalizację przekroczeń wartości dopuszczalnych i granicznych, decydujących o bezpieczeństwie obiektu
- gromadzenie bardzo dużej liczby danych, niemożliwej do osiągnięcia przy pomocy klasycznej aparatury pomiarowej.

Do wad tych systemów należy zaliczyć:

- mniejszą, z natury rzeczy, niezawodność aparatury z uwagi na jej większe skomplikowanie
- wyższe ceny i koszty aparatury, czujników i ich eksploatacji, względem urządzeń klasycznych, obsługiwanych ręcznie
- większą awaryjność aparatury z uwagi na pracę w bardzo ciężkich warunkach (woda, wilgoć, słońce i mróz)
- większe wymagania w zakresie użytkowania i opieki nad aparaturą ze strony użytkowników w zakresie nadzoru technicznego i serwisu oraz korzystania z pozyskiwanych danych.

Zestawienie zalet i wad ASTKZ oraz podsumowanie dotychczasowych doświadczeń z ich stosowania w Polsce skłania do sformułowania następujących postulatów:

1. Należy doprowadzić wszystkie istniejące ASTKZ do stanu ich całkowitej używalności, pełnego z nich korzystania i nie rezygnować pochopnie z zainstalowanych

już urządzeń i czujników; w ramach tych działań należy zmodernizować systemy, stosując przy tym najlepsze, sprawdzone doświadczenia i fachowe zespoły serwisowe.

2. Należy otoczyć lepszą opieką ze strony użytkowników obiektów hydrotechnicznych (głównie są to Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej – RZGW) istniejące ASTKZ, m.in. przez utworzenie specjalistycznych etatów i obsadzenie ich ludźmi o odpowiednich kwalifikacjach lub – alternatywnie – powierzyć nadzór techniczny i serwis systemów wyspecjalizowanym firmom i uprawnionym rzeczoznawcom,

3. Dążyć do szerszego wykorzystywania danych z automatycznych systemów pomiarowych, m.in. przez inicjowanie i prowadzenie badań naukowych, w tym rozwijanie stosownych metod ich interpretacji.

Literatura

1. *Dam failures. Statistical analysis.* „ICOLD Bulletin” 1995, No. 99.
2. Jankowski W.: *Ogólne wytyczne kontroli bezpieczeństwa budowli piętrzących wodę.* IMGW. Warszawa 2008.
3. Kledyński Z.: *Remonty budowli wodnych,* OWPW. Warszawa 2006.
4. Kledyński Z.: *Stan i perspektywy analizy ryzyka bezpieczeństwa zapór w Polsce.* XIII Międzynarodowa Konferencja Technicznej Kontroli Zapór, Stare Jabłonki, 24–27 czerwca 2009. Monografie IMGW. Warszawa 2009, s. 3–11.
5. *Ocena ryzyka w zarządzaniu bezpieczeństwem zapór. Przegląd korzyści, metod i najnowszych zastosowań.*

„CIGB-ICOLD Bulletin” 2005, No. 130; POLCOLD, IMGW. 2007.

6. Pisarczyk S., Rymsza B.: *Badania laboratoryjne i polowe gruntów.* OWPW. Warszawa 2003.
7. *Awarie i katastrofy zapór – zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze.* Red. K. Fiedler. IMGW. Warszawa 2007.
8. Radzicki K.: *Identyfikacja procesów erozyjnych i filtracyjnych w ziemnych obiektach hydrotechnicznych metodami termo detekcji.* HYDROTECHNIKA XII, Ustroń, 18–20 maja 2010. Materiały pokonferencyjne. Ustroń 2010.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (DzU 2007, nr 86, poz. 579).
10. Thiel K. i Kledyński Z. (red.): XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Podkomitetu Mechaniki Skał i Podłoża Polskiego Komitetu Wielkich Zapór „Stabilizacja masów skalnych w podłożu budowli hydrotechnicznych”, Żywiec, 9–11 października 2002. Materiały pokonferencyjne. IMGW. Warszawa 2003, s. 100.
11. Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. DzU 2006, nr 156, poz. 1118 z późn. zm.
12. Ustawa Prawo wodne z dnia 19 lipca 2001 r. DzU 2001, nr 115, poz. 1229 z późn. zm.
13. Ustawa z dnia 5 stycznia 2011 r. o zmianie ustawy Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw.
14. Wachowski W.: *Zasady wykonywania badań podwodnych dla oceny stanu technicznego budowli piętrzących.* IMGW. Warszawa (w przygotowaniu).
15. Zaczek-Peplińska J.: *Możliwości wykorzystania skanowania laserowego w ocenie stanu technicznego zapory betonowej.* Sekcja Konstrukcji Hydrotechnicznych KILiW PAN. Warszawa, 17 listopada 2009 (referat).
16. *Zapory betonowe. Kontrola i naprawa pęknięć. Przegląd metod i przykłady.* Tłumaczenie wyciągu w: Bulletin ICOLD” 1997, No. 107; „POLCOLD-IMGW” 1999.

*

Artykuł jest zmienioną i rozszerzoną wersją referatu *Monitoring i diagnostyka budowli hydrotechnicznych na potrzeby oceny ich stanu technicznego i bezpieczeństwa*, wygłoszonego w części problemowej 56. Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZITB Krynica 2010.

