

Stanisław PACHUTA

Instytut Geodezji i Metrologii

WAT - Warszawa

AUTOMATYCZNY POMIAR PRZEMIESZCZEŃ BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH Z POMOCA LASEROWEGO ZESTAWU POMIAROWEGO "W I S Ł A"

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości badań termicznych ruchów zapór wodnych z pomocą Laserowego Zestawu Pomiarowego "Wisła-1". Zawarto w nim krótki opis urządzenia oraz stosowanych metod pomiarów. Przedstawiono ocenę dokładności pomiarów wymaganych dla jakościowego i ilościowego badania zależności między wielkościami przemieszczeń a ich przyczynami, ze szczególnym uwzględnieniem ruchów termicznych.

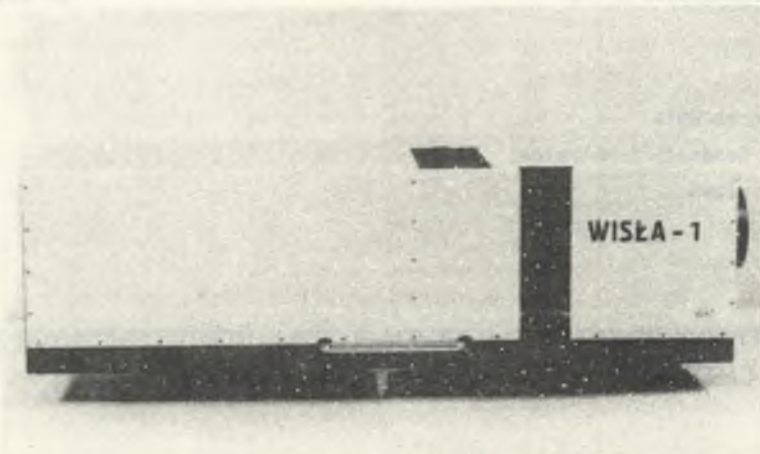
1. ZASADY OGÓLNE BUDOWY LASEROWO-ELEKTRONICZNEGO URZĄDZENIA DO AUTOMATYCZNEGO POMIARU POZIOMYCH PRZEMIESZCZEŃ POPRZECZNYCH ZAPÓR WODNYCH "W I S Ł A - 1"

Ogólna zasada pomiaru poziomych przemieszczeń poprzecznych zapór wodnych polega na utworzeniu wzdłuż korony badanego obiektu:

- zorientowanej w przestrzeni laserowej płaszczyzny odniesienia, względem której są określane zmiany położenia odbiorników umieszczonych w punktach pomiarowych zapory. Odbiorniki te pracują na zasadzie fotodetekcji. Pomierzone wielkości fotoelektryczne odpowiadające przemieszczeniom liniowym (ugięciom) zapory są przesyłane do zainstalowanego w oddzielnym pomieszczeniu bloku opracowania i rejestracji wyników, gdzie po odpowiednim przetworzeniu na wielkości liniowe rezultaty pomiaru są przedstawione w postaci analogowej i cyfrowej.

Laserowo-elektroniczne urządzenie "WISŁA-1" do automatycznego pomiaru poziomych przemieszczeń poprzecznych składa się z trzech bloków operacyjnych:

- bloku nadawczego,
- bloków odbiorczych w ilości zależnej od potrzeb (1 + 15 szt.)
- bloku opracowania i rejestracji wyników.



Rys. 1. Widok ogólny nadajnika urządzenia "WISŁA-1"
 1- obudowa głowicy laserowej, 2- spodarka,
 3-jeden z 2 uchwytów do przenoszenia odbiornika

Fig. 1. General view of the sender "WISŁA-1"

Urządzenie "WISŁA-1" do automatycznego pomiaru poziomych przemieszczeń poprzecznych przeznaczone jest do pracy w sposób:

- stacjonarny, z możliwością łatwego montażu i demontażu na poszczególnych badanych obiektach,
- przenośny.

Zasięg pomiaru urządzenia do 1000 m.

Urządzenie może określać poziome przemieszczenia badanego obiektu względem przyjętej płaszczyzny odniesienia w zakresie ± 50 mm z dokładnością ± 1 mm. Konstrukcja urządzenia pozwala na równoczesny pomiar przemieszczeń na 15 punktach pomiarowych. Ponieważ urządzenie będzie pracować w różnych warunkach atmosferycznych, elementy urządzenia zainstalowane na wolnym powietrzu mogą pracować w temperaturze od -25°C do $+40^{\circ}\text{C}$, natomiast elementy urządzenia zainstalowane w pomieszczeniu pracują w temperaturach dodatnich od $+5^{\circ}\text{C}$ do $+30^{\circ}\text{C}$. Źródłem światła wyznaczającym pionową, laserową płaszczyznę odniesienia jest laser gazowy He-Ne o mocy mW. Urządzenie może być zasilane prądem zmiennym 220 V lub stałym 24 V.

Urządzenie "WISŁA-1" opracowuje dane z pomiaru i rejestruje następujące parametry:

- czas obserwacji,

- numer punktu pomiarowego,
- wartość ugięcia w danym punkcie pomiarowym,
- stan przekroczenia wartości dopuszczalnej, przy czym częstotliwość rejestracji tych parametrów może być dowolnie zaprogramowana w interwałach czasu: 10 sekund, 1 minuta, 2 minuty, 10 minut lub 1 godzina. Sposób wprowadzenia informacji:
- wyświetlenie wartości zmierzonej w postaci cyfrowej i wydruk tej wartości na taśmie lub jej
- rejestracja analogowa w funkcji czasu (wykres zmian) ponadto może uruchomić w razie przekroczenia wartości dopuszczalnych sygnalizację alarmową świetlną lub dźwiękową.

2. OPIS TECHNICZNY I ZASADA DZIAŁANIA BLOKU NADAWCZEGO URZĄDZENIA "W I S Ł A 1"

Zadaniem bloku nadawczego jest utworzenie zorientowanej w przestrzeni laserowej płaszczyzny odniesienia (najwygodniej pionowej). Blok nadawczy stacjonarnie, tzn. podczas pomiaru odkształceń budowli hydrotechnicznej, jest umieszczony na słupie (stanowisku pomiarowym) odizolowanym od czynników wywołujących ruchy badanego obiektu. Po zakończonych pomiarach blok nadawczy można zdemontować i przechować w stanie złożonym lub przenieść i wykorzystać na innym obiekcie.

W skład bloku nadawczego wchodzi (rys. 1):

1. nadajnik laserowy, który składa się z:

- głowicy laserowej,
- spodarki.

Głowicę laserową stanowi:

- źródło promieniowania laserowego
- zespół formowania płaszczyzny laserowej,

2. zasilacz,

3. modulator promieniowania z silnikiem.

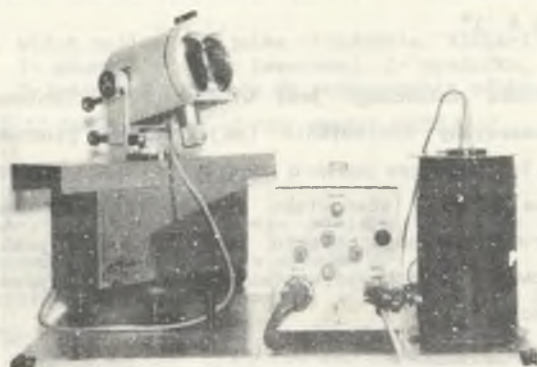
W urządzeniu jest zastosowany zasilacz typowy ZL 320. Jego zadaniem jest przetwarzanie prądu zmiennego 220 V na prąd stały odpowiedni dla wzbudzenia akcji laserowej.

3. OPIS TECHNICZNY I ZASADA DZIAŁANIA BLOKU ODBIORCZEGO

Zadaniem bloku odbiorczego jest określanie wartości przemieszczeń badanej budowli hydrotechnicznej względem laserowej płaszczyzny odniesienia. Zasada odbioru opiera się na zjawisku detekcji.

W układach odbiorczych sygnały świetlne emitowanej płaszczyzny laserowej przetwarzane są na wielkości elektryczne wygodne do przesyłania i dalszego opracowania w bloku opracowania i rejestracji wyników. Blok odbiorczy (rys. 2) składa się z:

- kompletu odbiorników pomiarowych (maksymalnie 15 sztuk), ustawionych w uprzednio wybranych i zastabilizowanych punktach korony zaporę (punkty te powinny leżeć na jednej prostej),
- dwóch odbiorników kontrolnych ustawionych na punktach stałych położonych poza zaporą.



Rys. 2. Widok ogólny bloku odbiorczego urządzenia "WISŁA-1":

- 1- kamera odbiornika, 2, 3-segmenty obiektywu,
- 4- układ nadawczy, 5- serwomechanizm, 6- spodarka,
- 7- zasilacz

Fig. 2. General view of the receiving segment of the device "WISŁA 1"

Odbiorniki połączone są z częścią centralną bloku rejestracji wyników za pomocą koncentrycznego kabla. Poszczególne odbiorniki pomiarowe posiadają niezależne zasilanie bateryjne 12 V. Przyjmując, że pomiar przemieszczeń zaporę jest oparty na zasadzie samonaprowadzania się odbiorników na maksimum mocy wiązki, każdy odbiornik składa się z następujących zespołów:

- kamery (1),
- obiektywów (2) i (3),
- układu nastawczego i operacyjnego (4),

- serwomechanizmu (5),
- spodarki (6),
- zasilacza (7).

Kamera odbiornika jest zbudowana w postaci niewielkiego pudełka stanowiącego obudowę, odbiorczego elementu światłoczułego. Element światłoczuły stanowi układ optyczny złożony z:

- dwusegmentowego obiektywu L_1 i L_2 ,
- detektorów światła laserowego D_{11} i D_{21} , umieszczonych w ogniskach obiektywu L_1 i L_2 .

Kamera przemieszcza się wzdłuż układu ustawczego (prowadnicy) umocowanego w górnej części spodarki odbiornika, przy czym zakres przemieszczeń kamery odpowiada dopuszczalnemu zakresowi badanych ugięć (ruchów) zapory i wynosi ± 50 mm. Odbiorniki kontrolne mają taką samą budowę jak odbiorniki pomiarowe. Dwa odbiorniki kontrolne służące do stałej kontroli położenia laserowej płaszczyzny odniesienia umieszcza się na punktach stałych, natomiast odbiorniki pomiarowe na punktach korony zapory (budowli hydrotechnicznej). Dolne części spodarek odbiorników pomiarowych łączy się z odpowiednimi znakami stabilizacyjnymi punktów pomiarowych. Kamery odbiorników kontrolnych przesuwa się ściśle w położenie środkowe według wskazań odpowiednich indeksów i unieruchamia za pomocą śruby zaciskowej.

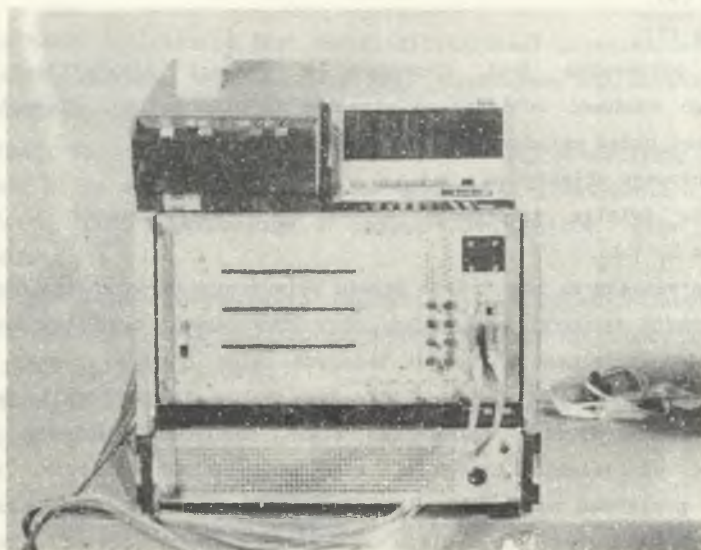
4. OPIS TECHNICZNY I ZASADA DZIAŁANIA BLOKU OPRACOWANIA I REJESTRACJI WYNIKÓW POMIARU

Blok opracowania i rejestracji wyników opiera się na założeniu, że sygnałem wejściowym jest sygnał napięciowy stały, zmieniający się w zakresie od -5 cm do $+5$ cm. W całym tym przedziale sygnał napięciowy jest liniową funkcją ugięcia badanego obiektu.

Blok opracowania i rejestracji wyników składa się z:

- wejściowych przetworników analogowo-cyfrowych,
- nadajników i odbiorników linii przesyłowych oraz
- części centralnej, której zadaniem jest koordynowanie pracy poszczególnych układów przetworzenia oraz zarejestrowania informacji.

Blok odbioru i rejestracji umożliwi przyjęcie przesłanych z poszczególnych odbiorników sygnałów elektrycznych, odpowiednie ich przetworzenie na wielkości elektryczne, odpowiadające wartościom liniowym przemieszczeń punktów oraz przedstawienie ich w formie cyfrowej (wyświetlenie i zarejestrowanie).



Rys. 3. Blok opracowania i rejestracji wyników urządzenia:
1- układ opracowania, 2- układ rejestrujący

Fig. 3. The segment of editing and registering the results

Istnieje możliwość nastawienia interwału rejestracji (co 10 s., 1 min, 2 min, 10 min, lub co 1 godz.) wszystkich lub w zależności od potrzeb wybranych odbiorników pomiarowych i odbiorników kierunkowych.

Blok odbioru i rejestracji pozwala na ustawienie stanów przekroczenia, tj. takich wartości przesunięć wykazywanych przez odbiorniki, których przekroczenie włącza sygnały świetlne i akustyczny, alarmujące o zagrożeniu.

Laserowy Zestaw Pomiarowy "Wisła-1" może być rozstawiany na badanym obiekcie z wykorzystaniem wszystkich 15 odbiorników równocześnie, przy czym wartości przesunięć kolejnych odbiorników odbierane są co 2 sekundy i jednocześnie wyświetlane na wyświetlaczu. Istnieje możliwość dokonywania rejestracji i przedstawienia graficznie przemieszczeń na dołączonym do zestawu rejestratorze analogowym.

5. CHARAKTERYSTYKA METOD POMIARÓW WYKONYWANYCH Z POMOCĄ LASEROWEGO ZESTAWU POMIAROWEGO "W I S Ł A - 1"

W zależności od potrzeb LZP "Wisła-1" może być wykorzystywany do wykonywania trzema metodami. Metody te różnią się od siebie dokładnością, zakresem matematycznego opracowania oraz ewentualnym uwzględnieniem poprawek redukcyjnych do uzyskania wyników pomiarów. Ostatnia metoda decyduje o tym, czy w wyniku pomiaru uzyskamy przemieszczenia względne czy bezwzględne. Wyróżnia się więc następujące metody pomiarów:

- a) pomiar ciągły bez uśredniania i redukcji, z sygnalizacją stanów przekroczenia,
- b) pomiar ciągły z uśrednieniem i redukcją dla wyznaczeń względnych,
- c) pomiar ciągły z uśrednieniem i redukcją dla wyznaczeń bezwzględnych.

ad. a) Pomiar ciągły bez uśredniania i redukcji, z sygnalizacją stanów przekroczenia nie jest zasadniczym przeznaczeniem urządzenia, - przy tej metodzie pomiarów LZP "Wisła-1" stanowiłby techniczne urządzenie alarmowe, a uzyskiwane wyniki ze względu na brak uśrednienia i redukcji byłyby obciążone stosunkowo dużym błędem (około 2 milimetry) spowodowanym między innymi wpływem refrakcji i turbulencją atmosfery.

ad. b) Pomiar ciągły z uśrednieniem i redukcją dla wyznaczeń względnych stanowi podstawową metodę pomiarów wykonywanych z pomocą LZP "Wisła-1". Wykorzystywany jest on dla badania ruchów określonych punktów kontrolnych obiektów hydrotechnicznych, zachodzących pod wpływem zmian temperaturowych lub zmian obciążenia hydrostatycznego na skutek zmian wysokości poziomu wody w zbiorniku. O względności pomiarów decyduje tutaj fakt, że interesują nas zmiany położenia punktów obiektu zaistniałe w czasie trwania pomiaru. W wyniku uśrednienia rezultatów pomiarów wykonywanych w ciągu np. 10 sekund (lub nawet co minutę) uzyskujemy pomiar chwilowy, podnosząc przy tym dokładność pomiaru i uzyskując jednocześnie informację o tej dokładności. W zakresie redukcji wchodzi poprawki z tytułu chwilowego położenia laserowej płaszczyzny odniesienia w stosunku do stałej prostej.

ad. c) Pomiar ciągły z uśrednieniem i redukcją dla wyznaczeń bezwzględnych różni się od wyżej opisanego tylko tym, że wymaga on uwzględnienia takich poprawek, jak wartości miejsc zera odbiorników i nadajnika oraz ewentualnych zmian położenia punktów oparcia stałej prostej, zaistniałych w czasie od poprzedniego pomiaru. Wyniki pomiarów ciągłych dla wyznaczeń bezwzględnych mogą być ze sobą porównywane.

Pozwala to na wykorzystywanie Laserowego Zestawu Pomiarowego do wyznaczania przemieszczeń poprzecznych obiektów hydrotechnicznych, zachodzących w czasie między pomiarem pierwotnym a pomiarem aktualnym.

6. UZYSKANE WYNIKI I OCENA ICH DOKŁADNOŚCI

W latach 1983-85 wykonano badania przemieszczeń punktów kontrolnych zapór wodnych na dwu obiektach.

Ze względu na niewielkie zmiany poziomu wód, spowodowane panującą w tych latach suszą, wyznaczone przemieszczenia punktów spowodowane były w głównej mierze zmianami temperaturowymi.

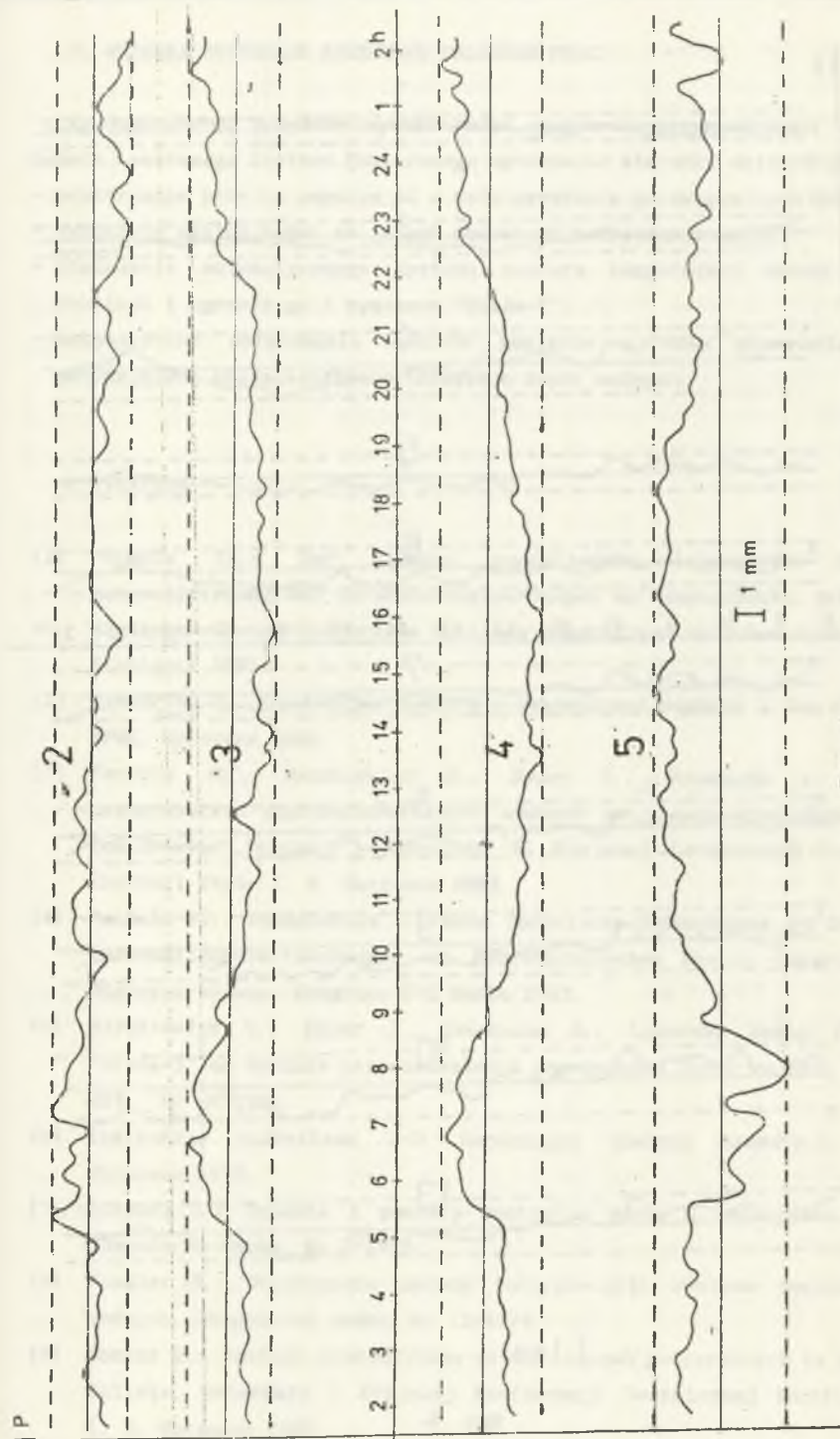
Na zaporze I pomiary wykonano w miesiącach: czerwiec i wrzesień. Jest to obiekt nieduży, wysokość piętrzenia wynosi 3,6 metra. Pomiarem objęto tylko część obiektu: siłownię, i filary jazu, nie badano ruchów punktów zapory ziemnej - w tym układzie długość stałej prostej wyniosła 220 metrów. Uzyskano dokładność pomiaru rzędu 0,4 milimetra. Rejestrowane zmiany położenia wybranych punktów obiektu pod wpływem zmian temperaturowych w ciągu doby wynosiły maksymalnie od 3 do 4 mm. (rys. 4). Zwraca uwagę pewna niezgodność ruchów jednego filaru (odbiornik Nr 5), przy bardzo dobrej zgodności ruchów pozostałych punktów obiektu. Badania przeprowadzone innymi metodami przez służbę kontroli zapór oraz wiercenia betonu potwierdziły konieczność wykonania zabiegów zabezpieczających - zabiegi te są aktualnie wykonywane.

Na zaporze II pomiary wykonano w miesiącach: kwiecień i wrzesień. Długość budowli wynosi 550 metrów, a wysokość 50 metrów. Wysokość piętrzenia wynosi 31 metrów. Stała prosta ma długość 630 metrów. Zapora jest typu ciężkiego i składa się z 36 sekcji, w tym 4 sekcje siłowni wodnej. Badania prowadzone w latach 1946-56 określiły maksymalne odkształcenia w kierunku prostopadłym, które dochodziło do 11 mm.

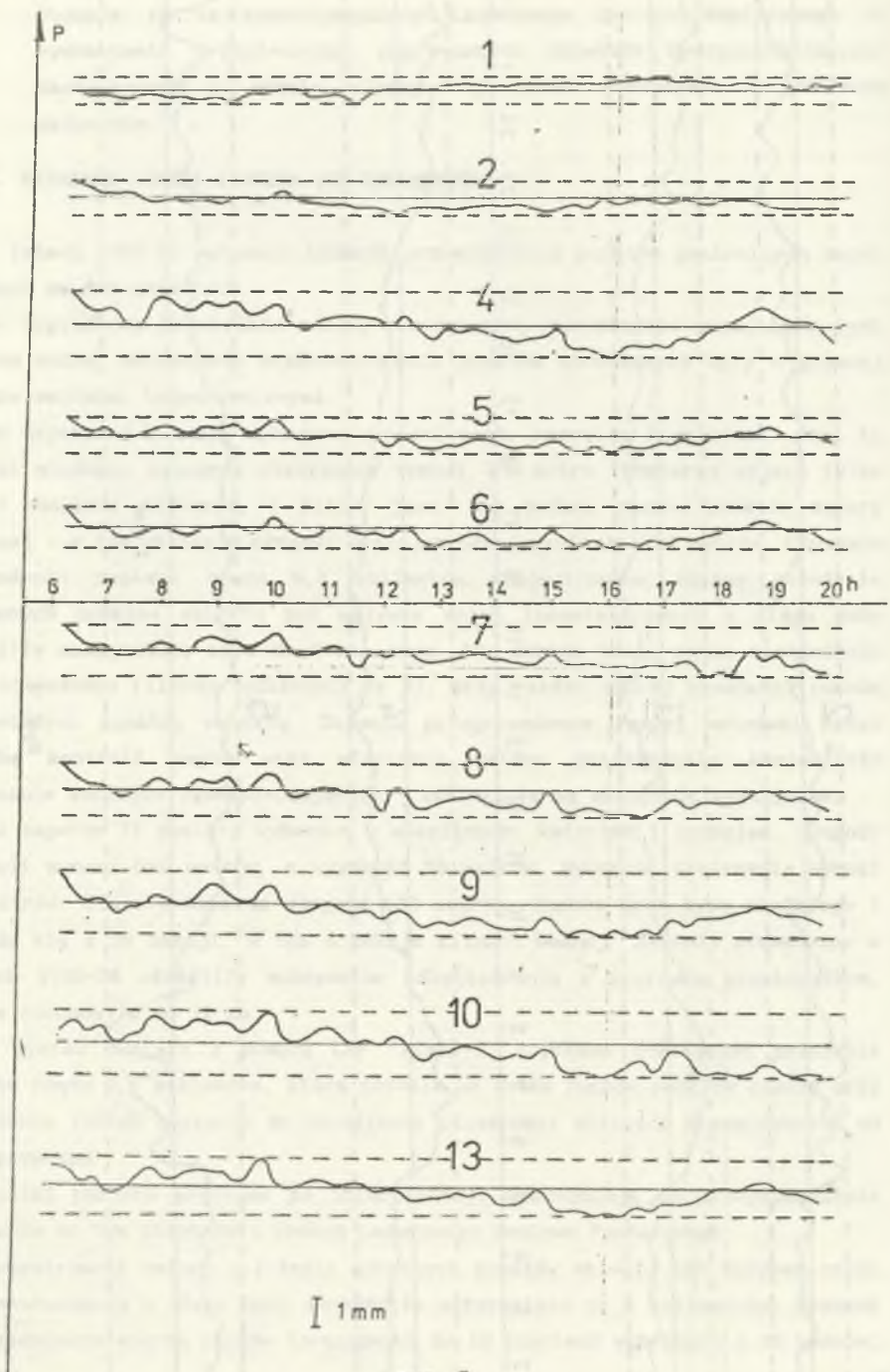
W wyniku pomiaru z pomocą LZP "Wisła-1" uzyskano dokładność położenia punktu rzędu 0,6 milimetra, która pozwala na ocenę ruchów punktów zapory oraz włączenie takich pomiarów do określania zależności wartości przemieszczeń od ich przyczyn.

Wyniki pomiaru uzyskane po interpretacji upoważniają do przeprowadzenia pomiarów na tym obiekcie z pomocą Laserowego Zestawu Pomiarowego.

Rejestrowane zmiany położenia wybranych punktów obiektu pod wpływem zmian temperaturowych w ciągu doby dochodziły maksymalnie do 2 milimetrów. Rysunek 5 przedstawia wykres ruchów termicznych na 10 punktach wybranych z 15 badanej zapory.



Rys. 4.



Rys. 5.

7. WNIOSKI DOTYCZĄCE KIERUNKÓW DALSZYCH PRAC

Ze względu na pomyślne wyniki badań ruchów termicznych zapór wodnych z pomocą Laserowego Zestawu Pomiarowego opracowano kierunki dalszych prac:

- powtórzenie prac na zaporze II w celu uzyskania porównywalnych wyników,
- wykonanie takich badań na innych obiektach hydrotechnicznych,
- stworzenie automatycznego systemu pomiaru temperatury betonu w wielu punktach i zgranie go z systemem "Wisła-1",
- matematyczne opracowanie wyników pomiarów w celu stworzenia modeli estymujących przemieszczenia termiczne zapór wodnych.

LITERATURA

- [1] Pachuta St.: Der Einsatz geodätischer Lasergeräte bei der Automatisierung der Verschiebungsmessungen an Wasserbauten. Materiały z Międzynarodowego Sympozjum Pomiarów Odształceń Metodami Geodezyjnymi. Stuttgart 1981.
- [2] Lazzarini T.: Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia. PFWK, Warszawa 1981.
- [3] Pachuta St., Baszkiewicz K., Bauer J., Sołoduha R.: Badania przemieszczeń poprzecznych zapór wodnych za pomocą laserowego zestawu pomiarowego "Wisła-1". Materiały II Krajowej Konferencji Technicznej Kontroli Zapór t. 4. Warszawa 1983.
- [4] Pachuta St., Baszkiewicz K.: Neue Technische Entwicklung des Gerätes zu Deformationsuntersuchungen von Hydrotechnischen Bauten. Materiały XVII Międzynarodowego Kongresu FIG Sofia 1983.
- [5] Baszkiewicz K., Bauer J., Sołoduha R.: Laserowy Zestaw Pomiarowy "Wisła-1" do badania przemieszczenia poprzecznych zapór wodnych. Biuletyn WAT, Nr 7/1984.
- [6] Instrukcja techniczna G-3: Geodezyjna obsługa inwestycji, GUGiK, Warszawa 1979.
- [7] Mikucki Z.: Badania i pomiary kontrolne zapór i zbiorników wodnych. Gospodarka wodna, Nr 7/1972.
- [8] Fiedler K.: Współczesne metody interpretacji wyników pomiarów zapór wodnych. Gospodarka wodna, Nr 12/1974.
- [9] Dobosz W.: Analiza statystyczna przemieszczeń pomierzonych na zaporze w Solinie. Materiały I Krajowej Konferencji Technicznej Kontroli Zapór t. 4. Warszawa 1981.

- [10] Dobosz W.: Wpływ zmian temperaturowych na przemieszczenia korony zapory. Materiały II Krajowej Konferencji Techn. Kontroli Zapór t. 4. Warszawa 1983.
- [11] Pachuta St., Bauer J., Baszkiewicz K., Sołoducha R.: Automatyczny pomiar termicznych przemieszczeń budowli hydrotechnicznych przy pomocy laserowego zestawu pomiarowego "Wisła", Materiały Komitetu Permanentnego FIG, Katowice 1985.
- [12] Bauer J.: Analiza funkcjonalna modelu laserowego zestawu pomiarowego "Wisła-1" dla potrzeb określenia dokładności pomiarów. Praca doktorska, WAT, Warszawa 1986.
- [13] Sołoducha R.: Badania dokładności pomiarów poziomych przemieszczeń wykonyw. laserowym zestawem pomiarowym "Wisła-1" na wybranych obiektach hydrotechnicznych. Praca doktorska, WAT Warszawa 1987.
- [14] Pachuta St.: Zastosowanie techniki laserowej geodezji. Instrumentoznawstwo. Skrypty WAT, 1981.
- [15] Pachuta St.: Laserowe instrumenty i zintegrowane systemy geodezyjne opracowane w Instytucie Geodezji i Meteorologii WAT. Materiały III Konferencji pt. "Zabezpieczenie topograficzne i meteorologiczne oraz rozpoznanie powietrzne działań bojowych wojsk. Warszawa, 24-25 marca 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Aleksander Płatek

Wpłynęło do Redakcji 20.01.1988 r.

AUTOMATIC MEASUREMENTS OF WATER DAM DISPLACEMENTS WITH USE OF LASER MEASURING SET "WISŁA-1"

S u m m a r y

This paper shows possibilities to examine thermal movements of dams with the laser measuring set "Wisła 1". It also contains a short description of both the device and applied measuring methods.

A method for evaluation of the measurement accuracy, necessary for qualitative and quantitative tests of the relations between the displacement magnitudes and their causes is presented, with particular attention on the thermal movements.

AUTOMATISCHE MESSUNG DER VERLAGERUNG VON HYDROTECHNISCHEN GEBÄUDEN

Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden die Möglichkeiten zur Durchführung von Untersuchungen thermischer Bewegungen der Staudämme mittels Lasermeßsatzes "Wisła 1", vorgestellt. Der Artikel beinhaltet eine kurze Beschreibung der Ausrüstung, wie auch der verwendeten Meßmethoden. Es wurde die Bewertung der Genauigkeit der Messungen, die für die Qualität und Anzahl der Untersuchungen der Abhängigkeit zwischen den Verschiebungsgrößen und ihrer Ursache, erforderlich; mit spezieller Berücksichtigung thermischer Bewegungen, beschrieben.