

Próby opracowania metody pomiaru odkształceń wydłużonych budowli przy wykorzystaniu ciągów poligonowych i specjalnej aparatury pomiarowej

Geodezyjne pomiary odkształceń budowli hydrotechnicznych, a wśród nich głównie zapór wodnych, są wykonywane przede wszystkim przy wykorzystaniu metod trygonometrycznej i stałej prostej — dla wyznaczenia ruchów poziomych oraz niwelacji geometrycznej i trygonometrycznej — dla wyznaczenia ruchów pionowych. Jednocześnie są wykonywane pomiary tzw. metodami fizycznymi przy użyciu specjalnie konstruowanych urządzeń pomiarowych jak wahadła, szczelinomierze, pochyłomierze itp. służących do wyznaczenia ruchów względnych. Daje się jednak zauważyć brak pełniejszego powiązania różnych metod dla uzyskania jednolitego obrazu zachodzących odkształceń, względnie dla wzajemnego kontrolowania wyników.

W ostatnich latach zaistniała tendencja do rozszerzenia metodyki geodezyjnych pomiarów odkształceń, wyrażająca się między innymi próbami wykorzystania niwelacji hydrostatycznej i poligonizacji do tych celów. O ile niwelacja hydrostatyczna nie powinna nastęrczać większych trudności przy zastosowaniu jej w galeriach, wewnątrz zapór, o tyle poligonizacja — jak to wynika ze zranych nam prób (np. [4]) — nie zdała egzaminu, z uwagi na niekorzystne na ogół warunki pomiaru kątów i prawo błędów, utrudniające uzyskanie dostatecznie dokładnych wyników. Z drugiej jednak strony poligonizacja posiada istotne walory, które skłaniają do kontynuowania prób jej zastosowania. Walory te, to możliwość wykorzystania poligonizacji do powiązania wzajemnego pomiarów względnych z bezwzględnyymi oraz do wyznaczenia odkształceń w miejscach niedostępnych dla innych metod.

W pracy niniejszej zajmiemy się szerzej próbami zastosowania poligonizacji do wyznaczania odkształceń zapór lub innych wydłużonych budowli. Mamy przy tym na względzie dążenie do uzyskania możliwie jak najwyższej dokładności przy jednoczesnej prostocie i dużej szybkości

wykonania pomiarów. Problem szybkości wykonania pomiarów posiada kapitalne znaczenie w przypadku badania odkształceń szybkozmiennych, nie mówiąc już o normalnym dążeniu do usprawnienia technologii każdego rodzaju pomiarów, wynikającym ze względów ekonomicznych.

W opracowaniu zastąpiono pomiar kątów pomiarem strzałek tj. pomiarem rzutów poziomych odległości punktów poligonowych od prostych, łączących punkty poligonowe sąsiadujące z obu stron na ciągu.

Biorąc pod uwagę powyższe zamiary, dokonamy próby wykorzystania specjalnie zaprojektowanych urządzeń dwójakiego rodzaju:

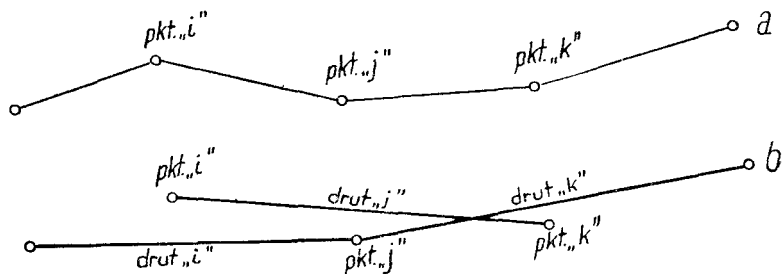
a) zainstalowane na stałe na badanym obiekcie urządzenia do odtwarzania, w sposób ciągły i wygodny dla obserwacji, zachodzących zmian wartości strzałek i długości boków ciągu poligonowego (zwane dalej urządzeniami odtwarzającymi),

b) przenośne urządzenie pomiarowe, służące do wizualnej obserwacji wartości odtworzonych strzałek i długości boków ciągu poligonowego.

W przypadku uzyskania na tej drodze właściwych rezultatów, przejdziemy następnie do prób zastąpienia urządzenia wymiennego w punkcie b) urządzeniami rejestrującymi zmiany wartości strzałek i długości boków w sposób samoczynny — bez udziału obserwatora.

Urządzenia odtwarzające w sposób ciągły zachodzące zmiany mogą być zbudowane na różnych zasadach. W pracy niniejszej przeanalizujemy możliwość szerokiego wykorzystania do tego celu drutów.

Dla wyjaśnienia koncepcji wyobraźmy sobie, że należy odtworzyć zmiany strzałek w ciągu poligonowym, którego fragment posiada kształt jak na rys. 3a.



Rys. 3

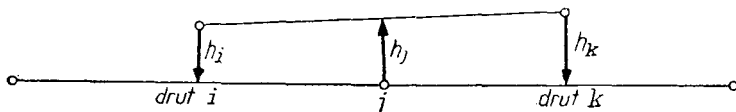
W tym celu możemy rozwiesić pomiędzy punktami ciągu druty jak na rys. 3b.

Dla wyznaczenia zmian strzałek należałoby okresowo mierzyć rzuty poziome odległości od każdego punktu do odpowiedniego drutu przebiegającego obok (rys. 3b). Od drutu należy w tym przypadku wymagać, aby nie ulegał wybočeniom z płaszczyzny pionowej przechodzącej przez punkty zaczepienia na obu końcach.

Dla wyznaczenia zmian długości należałoby odpowiednio rozwieszone druty, traktować jak przymiary długości. W związku z tym rozwieszenie drutów winno być wykonane w sposób podobny jak przy pomiarach bazowych drutami Jäderina.

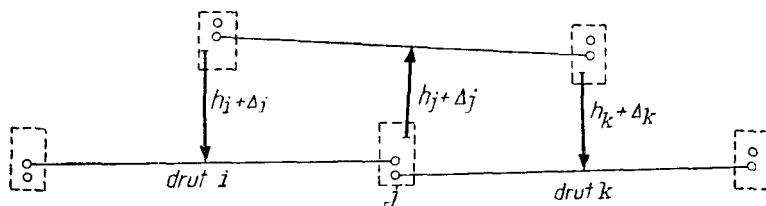
Urządzenia do wyznaczenia zmian strzałek

Dla odtworzenia strzałek na wszystkich punktach poligonowych należałoby urządzenia skonstruować zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 4.



Rys. 4

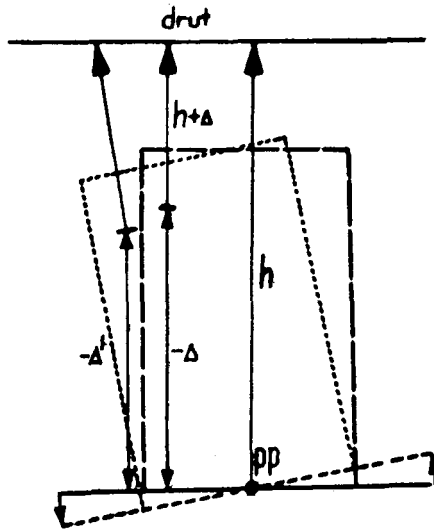
Według schematu na przykład punkt poligonowy j winien być identyczny z punktem zaczepienia drutów i -tego i k -tego oraz z indeksem zerowym urządzenia służącego do pomiaru rzutu odległości drutu j -tego, odpowiadającej strzałce h_j . Jak wiadomo, przedmiotem badania są wartości zmian: dh_i , dh_j , dh_k ..., nie zaś najprawdopodobniejsze wartości samych strzałek, które wystarczy znać tylko z pewnym przybliżeniem dla określenia kształtu ciągu poligonowego. Wobec tego, zamiast realizować schemat umożliwiający pomiar strzałek: h_i , h_j , h_k ..., możemy zastosować trochę inny schemat, bardziej dogodny z punktu widzenia konstrukcji urządzeń. Pozwala na to pomiar strzałek nieco zniekształconych, lecz w sposób niezmienny przy powtarzanych obserwacjach strzałek: $h_i + \Delta_i$, $h_j + \Delta_j$, $h_k + \Delta_k$..., tak aby wielkości Δ_i , Δ_j , Δ_k ... nie zmieniały się. W tej sytuacji zaprojektowane urządzenia odtwarzające zrealizują następujący schemat (rys. 5).



Rys. 5

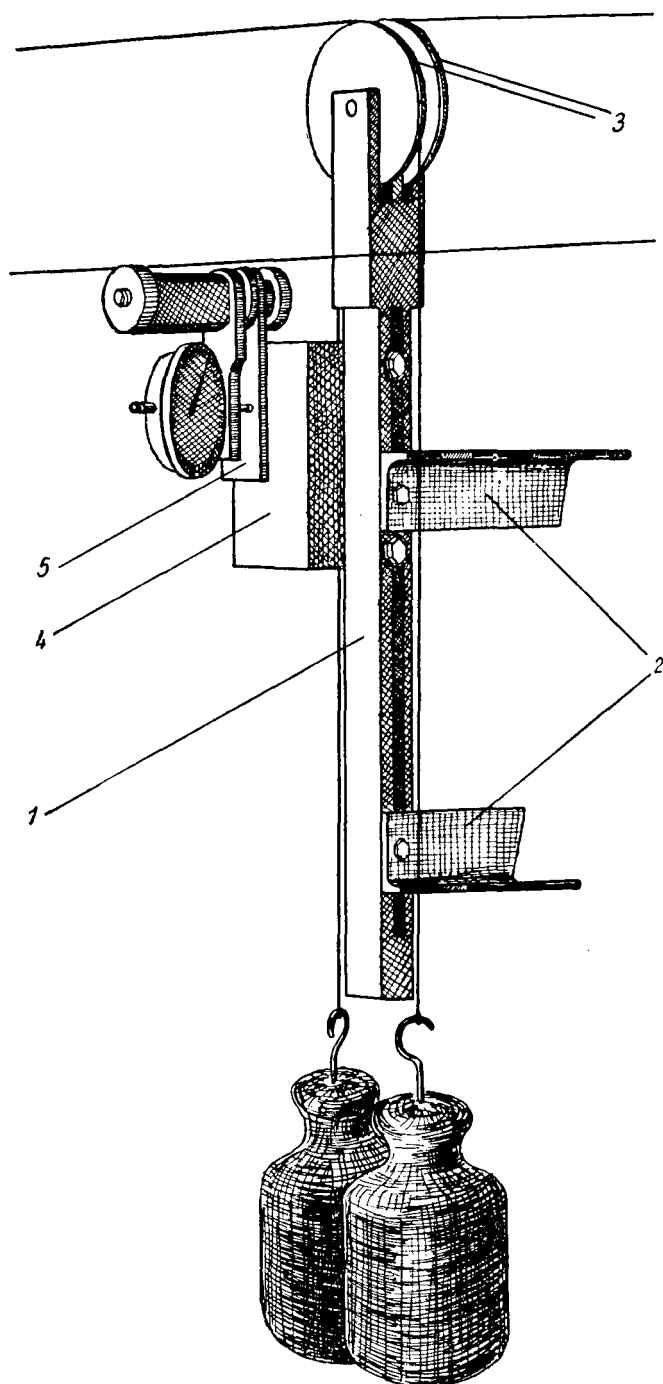
Na powyższym schemacie liniami przerywanymi oznaczono kontury poszczególnych urządzeń, w obszarze których poszczególne punkty: zaczepienia drutów i -tego, k -tego i indeks zerowy urządzenia odczyto-

wego nie zachowują identyczności położenia, lecz tylko jego niezmiennosc wzajemną. Dla wyników pomiarów jest istotne, aby odległości wzajemne tych punktów w obrębie poszczególnych urządzeń nie były zbyt duże i aby urządzenia nie podlegały zbyt dużym obrotom wskutek zachodzących odkształceń. Mogłoby to spowodować zmiany składowych: Δ'_i , Δ'_j , Δ'_k ... w kierunkach pomiaru strzałek, jak również pomiar odbywałby się nie po prostych prostopadłych do kierunku rzutu drutu. Sytuację tę, przeanalizowaną przed zaprojektowaniem urządzeń odtwarzających, charakteryzuje rys. 6.



Rys. 6

W roku 1961 w Pracowni Mechanicznej IGiK inż. M. Smółka wykonał dokumentację konstrukcyjną i prototypowy komplet urządzeń, umożliwiający odtworzenie zmian strzałek w ciągu składającym się z ośmiu punktów zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 5. Pojedyncze urządzenie, stabilizowane w miejscu punktu poligonowego pokazuje rys. 7. Urządzenie to składa się z korpusu (1), w postaci beleczki rozciętej wzdłuż dla umożliwienia przykręcania na różnej wysokości i z pewną tolerancją pochyłeń do kątowników (2), zabetonowanych w murze badanego obiektu. Korpus ten w górnej części posiada gniazdko i otwór dla osi, na której obracają się dwa mosiężne bloczki (3). Bloczki posiadają na obwodzie rowki prowadzące w kształcie litery V dla przewieszania drutu. Do korpusu urządzenia można przykręcić w dwu położeniach (obustronnie) wycinek kątownika (4) z przytwierdzoną do niego płytką mosiężną (5). Płytkę tą, zaopatrzoną w swej górnej części w otwór



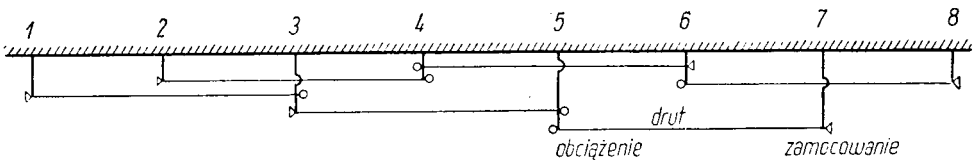
Rys. 7

przewodzący, służy do jednoznacznego, wielokrotnego przymocowywania przenośnego urządzenia pomiarowego, a tym samym do jednoznacznie określonego punktu jej powierzchni odnosi się wyniki każdorazowego pomiaru strzałek.

Wykonany prototypowy komplet urządzeń odtwarzających został zainstalowany w dolnej galerii jednej z zapór wodnych na Podkarpaciu *), na ścianie od strony zbiornika. Poszczególne urządzenia zostały zastabilizowane w następujących miejscach:

Nr pktu	Odległość	Nr bloku	Nr fugi
1	45,1m	27	27/28
2	47,0	24	24/25
3	41,1	21	21/22
4	45,2	18	18/19
5	44,8	15	15/16
6	42,5	12	12/13
7	44,7	10	9/10
8		7	6/7

Na urządzeniach tych rozwieszono zostały, pomiędzy bloczkami, druty stalowe niklowane o średnicy 0,35 mm w sposób zgodny ze schematem pokazanym na rys. 8.



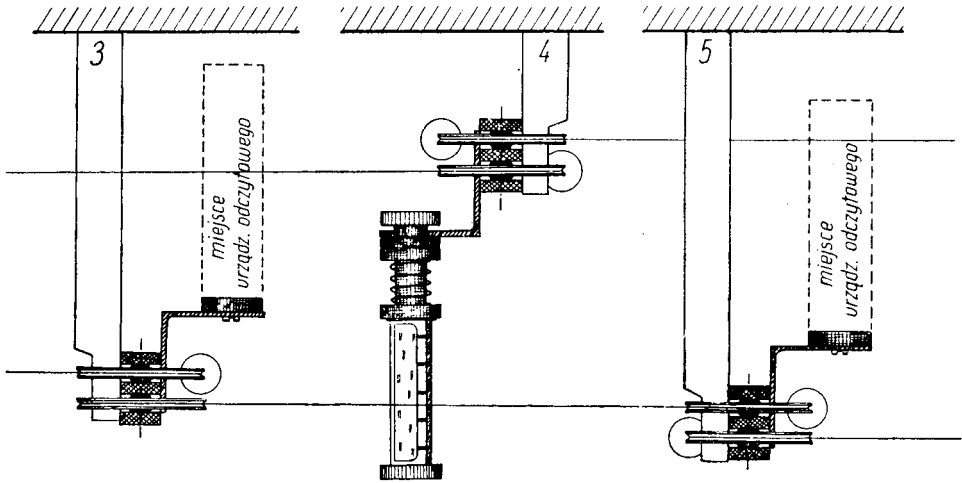
Rys. 8

Dla wyjaśnienia zasady działania aparatury służy rys. 9, przedstawiający przykładowo widok z góry na urządzenia zainstalowane w punktach poligonowych 3, 4, 5. Na rysunku tym drut przełożony jednym końcem przez bloczek urządzenia zastabilizowanego w punkcie poligonowym 3 i zamocowany, drugim końcem przełożony jest przez bloczek urządzenia zastabilizowanego w punkcie poligonowym 5 i obciążony zwisającym odważnikiem. W rezultacie drut napięty przez obciążnik zwisa swobodnie pomiędzy bloczkami. Dla zaobserwowania strzałki h_4 na punkcie poligonowym 4 przymocowuje się przenośne urządzenie odczytowe. Drut przewieszony końcami przez bloczki urządzeń w punktach

*) Zapora II wg nomenklatury zastosowanej w publikacji [2], str. 422, § 60.

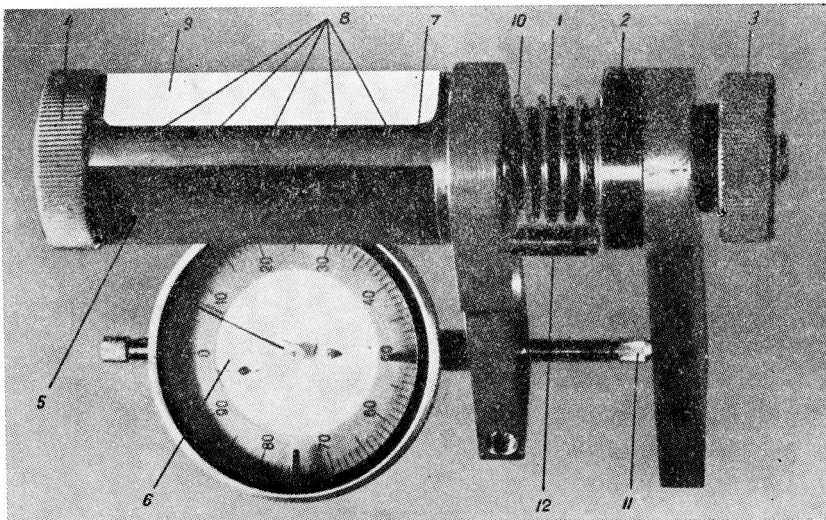
3 i 5 zwiisa bezpośrednio ponad górną powierzchnią urządzenia odczytowego zamocowanego w punkcie poligonowym 4.

Zaprojektowane i wykonane prototypowe urządzenie pomiarowe (rys. 10) składa się:



Rys. 9

a) z części nieruchomej w postaci walca (1) z kołnierzem (2), zakończonego obustronnie śrubami dla nakrętki sprzęgającej (3) i dla nakrętki ruchu leniwego części ruchomej (4),



Rys. 10

b) z części ruchomej w postaci grubościennej rurki (5) nasuniętej na walec i sprzęgniętego z nią korpusu czujnika (6); na górnej powierzchni rurki wyfrezowana jest płytka celownicza (7) z naciętymi parami kresek (8) o odstępach 1 mm (odległość między środkami przedziałów par kresek sąsiadujących na płycie jest równa 10 mm) oraz zamocowane jest zwierciadełko (9).

Leniwy ruch części ruchomej wzdłuż osi walca uzyskuje się poprzez pokręcanie nakrętki (4). Możliwość występowania ruchu martwego wyeliminowana jest przez silne dociskanie rurki do nakrętki sprężyną nałożoną na walec, wspartą o kołnierz (10). Kołnierz ten umożliwia ponadto jednoznaczne umocowanie urządzenia odczytowego na płycie mocującej. Umocowanie urządzenia odczytowego wymaga przełożenia śruby nakrętki zaciskowej przez otwór w płycie mocującej i wkręcenie tej nakrętki do oporu z przeciwnej strony płytki. Nóżka czujnika (11) jest zawsze wsparta o powierzchnię płytki mocującej. Do ruchomej części urządzenia przytwierdzony jest trzpień kontrolny (12).

Urządzenie pomiarowe jest umocowane w taki sposób, że drut przełożony przez bloczki urządzeń w sąsiadujących punktach poligonowych i napięty, zwisa ponad płytką celowniczą i zwierciadelkiem na wysokości kilku milimetrów. Oś walca urządzenia odczytowego jest przy tym usytuowana w poziomie. Właściwe usytuowanie urządzenia odczytowego uzyskujemy jednorazowo przez zamocowanie na odpowiedniej wysokości i z odpowiednim pochyleniem płytki mocującej, sprzęgniętej z korpusem urządzenia odtwarzającego.

W wyniku wstępnych pomiarów strzałek, dokonanych w okresie poprzedzającym badania dokładnościowe, ustalono technologię pomiaru, którą obecnie opiszemy.

Pomiar strzałek

1. Wkładamy śrubę urządzenia odczytowego w otwór płytki mocującej i sprzęgamy nakrętką sprzęgającą. Należy przy tym pamiętać, że powierzchnia kołnierza winna równo przylegać do powierzchni płytki mocującej i że płaszczyzny styku nie mogą być zanieczyszczone.

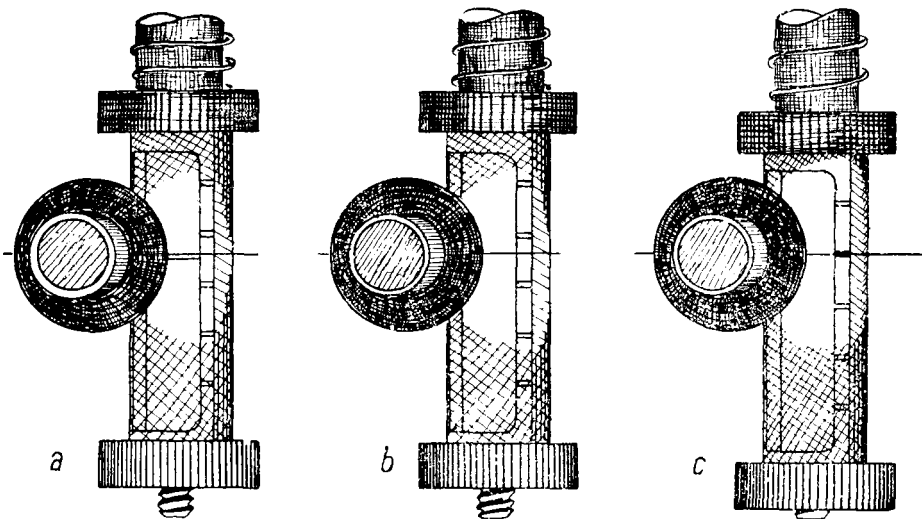
2. Sprawdzamy czy drut przebiega na właściwej wysokości nad płytką celowniczą i zwierciadelkiem. Wysokość ta winna się zawierać w granicach $1 \div 5$ mm, przy czym zmienność wysokości na poszczególnych punktach nie powinna przekraczać 2 mm. Warunek taki podyktowany jest powstawaniem błędów odczytów, spowodowanych niezupełnie dokładnym spoziomowaniem płytki celowniczej i zwierciadełka, nieszkodliwym przy zachowaniu jednakowej wysokości drutu nad urządzeniem pomiarowym. W związku z tym dobrze jest w dzienniku pomiaro-

wym w kolumnie uwag prowadzić zapis wysokości drutu nad płytką celowniczą. W przypadku, gdy wysokość drutu nie jest właściwa, regulujemy ją drogą zmiany naciągu drutu. W tym celu należy lekko unieść lub opuścić obciążnik naciągający dany drut. Korzystnie jest, gdy odważnik ustawiony na właściwej wysokości zostaje następnie lekko wsparty o ścianę lub gdy drut na odcinku między bloczkiem a odważnikiem zostaje wyprowadzony z położenia pionowego i zaczepiony o śrubę urządzenia względnie inny przedmiot stały.

Przed rozpoczęciem pomiaru należy ponadto sprawdzić, czy drut zwisający pomiędzy bloczkami dwu punktów poligonowych nie styka się z żadną przeszkodą i nie ulega wyboczeniu, czy nie jest poza tym zgięty przez uderzenie lub szarpnięcie w okresie poprzedzającym pomiar. Należy pamiętać, że wyboczenie drutu może być spowodowane również przez ruch powietrza lub doraźnie wprowadzone pole magnetyczne. Przed pomiarem należy lekko przetrzeć obserwowany odcinek drutu dla starcia kropli wody i drobnych zanieczyszczeń, podtrzymując drut drugą ręką aby nie spowodować zmiany jego naciągu.

3. Czynności w czasie samego pomiaru przebiegają następująco:

A. Ustawia się latarkę nad drutem, tak aby odbity w zwierciadle obraz reflektora był widoczny dla obserwatora patrzącego z góry, jak na rys. 11a. Żarówka latarki winna być zmatowiona poprzez owinięcie



Rys. 11

bibułką papierową w celu rozproszenia światła. Obserwator winien być lekko nachylony i widzieć drut z odległości rzędu $15 \div 25$ cm (lepiej bliżej górnej granicy odległości).

B. Nie poruszając całego ciała obserwator lekko unosi i opuszcza głowę, uzyskując kolejne przejścia obrazu drutu odbitego w zwierciadle na obie strony obrazu drutu widzianego wprost. W ten sposób obserwator może uzyskać właściwą pozycję oka, której odpowiada pokrycie się odbitego w zwierciadle obrazu drutu z obrazem samego drutu *). Położenie to osiąga się w momencie odniesienia wrażenia minimalnej grubości drutu (jak na rys. 11b).

C. Obracając nakrętkę ruchu leniwego obserwator powoduje przesunięcie płytki celowniczej wzdłuż osi walca do położenia, przy którym jedna z par kresek bisekcyjnych obejmuje symetrycznie rzut drutu na płaszczyznę płytki (jak na rys. 11c). Następnie obserwator sprawdza ruchem głowy, czy położenie kresek bisekcyjnych, symetryczne względem rzutu drutu, uzyskane zostało przy właściwym położeniu oka oraz lekkimi obrotami latarki w płaszczyźnie prostopadłej do drutu sprawdza, czy nie występuje przesuwanie się obrazu drutu względem kresek bisekcyjnych. Występowanie takiego zjawiska może być spowodowane przez cień drutu wędrujący po powierzchni płytki, stosownie do zmian położenia źródła światła. W takim przypadku należy zmierzyć baterię latarki dla uzyskania oświetlenia o barwie bardziej zbliżonej do białej.

D. W chwili upewnienia się, że wszystkie czynności A, B i C zostały wykonane prawidłowo, wykonuje się odczyt czujnika, przy położeniu części ruchomej jak w punkcie C.

Czynności A, B, C i D wykonuje się trzykrotnie, zapisując kolejne odczyty czujnika w dzienniku, w rubryce danego punktu poligonowego w kolumnie 2 (tabl. 1).

E. Obserwator dociska ręką ruchomą część urządzenia pomiarowego do położenia odpowiadającego oparciu się trzpienia kontrolnego o powierzchnię płytki mocującej i wykonuje odczyt czujnika odpowiadający temu położeniu. Dociśnięcie należy wykonać ujmując grubościenną rurkę obustronnie palcami. Wynik ten zapisuje się w górnej części rubryki danego punktu poligonowego w kolumnie 3, poprzedzając odczyt setnych części milimetra z dużej tarczy czujnika cyfrą 9 na miejscu milimetrów (jeśli odczyt jest mniejszy od 0 lecz bliski), względnie liczbą 10 (jeśli odczyt jest większy od 0 lecz bliski). Bezpośrednio pod wymienionym wynikiem zapisuje się średnią arytmetyczną z wykonanych trzech odczytów, odpowiadających kolejnym ustawieniom płytki celowniczej jak w punkcie C, a poniżej zapisuje się różnicę obu wyników. Różnica ta stanowi wynik pomiaru strzałki z pierwszej serii.

*) Podkreślimy tu występowanie drobnej nieostrości obu obrazów, wynikającej z niejednakowej odległości drutu i zwierciadełka od oka obserwatora, tym mniejszej — im mniejsza jest różnica odległości.

Podobnie wykonuje się pomiar na kolejnych punktach poligonowych, w porządku punktów 2—7, uzyskując pierwszą serię wartości strzałek (zapis w kolumnach 2, 3), następnie w porządku punktów 7—2, otrzymując drugą serię wartości strzałek (zapis w kolumnach 4, 5) i po raz trzeci w porządku 2—7, uzyskując trzecią serię wartości strzałek (zapis w kolumnach 6, 7).

Tablica 1

Data: 26.06.62 godz. 8⁰⁰

Obs. W. Janusz

Nr pktu	1 seria		2 seria		3 seria		Śr.	v		
	2	3	4	5	6	7		8		
2	731	993	738	994	735	993	259	-1	-1	2
	6	733	29	734	7	736				
	3	260	38	260	6	257				
3	136	998	137	998	134	998	865	2	-2	1
	5	135	27	131	4	134				
	3	863	30	867	3	864				
4	537	999	533	999	531	999	466	0	1	-1
	29	533	6	534	4	532				
	33	466	4	465	2	467				
5	517	996	516	996	517	996	481	2	0	-3
	4	517	4	516	10	512				
	9	479	8	480	10	484				
6	532	997	530	997	534	998	467	0	3	-2
	3	530	29	533	29	529				
	25	467	39	464	24	469				
7	218	998	217	998	217	998	778	-1	0	1
	21	219	22	220	9	221				
	19	779	20	778	26	777				

(zapis w 0,01 mm)

$$mh(1) = \pm \sqrt{\frac{45}{36}} = \pm 1,1$$

Po ukończeniu pomiarów oblicza się dla każdego punktu poligonowego średnią wartość pomierzonej strzałki z trzech serii, zapisując ją w kolumnie 8. W kolumnie 9 wypisuje się różnice między odpowiednimi średnimi, a wynikami z poszczególnych serii (poprawki). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, możliwość otrzymania poprawek nie przekraczających wielkości $\pm 0,03$ mm.

Badanie dokładnościowe pomiaru strzałek

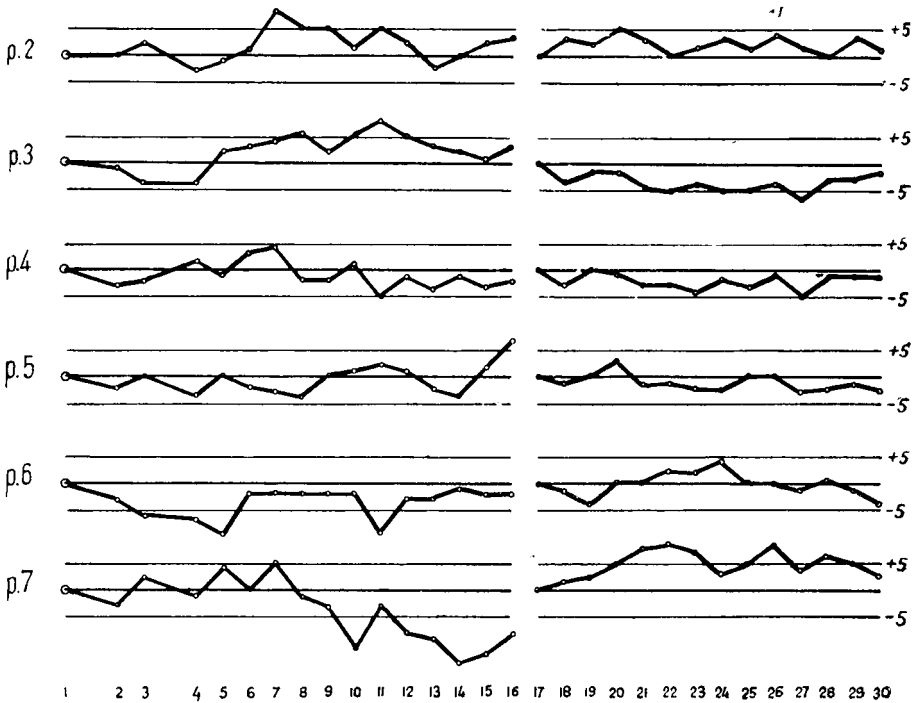
Po ustaleniu techniki pomiaru, wykonano w odstępach jednodniowych szereg obserwacji doświadczalnych dla określenia możliwej do uzyskania dokładności. Wyniki tych pomiarów charakteryzuje wykres (rys. 12).

Przy analizie wyniki podzielono na dwie grupy obserwacji: 1 ÷ 16 i 17 ÷ 30. Pierwsza grupa wyników uzyskana została przy nie rozproszonym oświetleniu, natomiast druga — po owinięciu żarówki bibułą.

Błędy średnie zaobserwowanych strzałek obliczono z wzoru:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{k \cdot s(s-1)}} \quad (1)$$

gdzie k — liczba pomierzonych strzałek, s — liczba serii.



Rys. 12. Wykres zmian zaobserwowanych wartości strzałek
(w setnych częściach milimetra)

Zakładając, iż w odstępach czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami nie zaszyły odkształcenia samej budowli, możemy uważać kolejne stwierdzone zmiany wyników obserwacji $dh = h' - h$ za spowodowane wyłącznie błędami pomiarowymi. Założenie takie wydaje się być uzasadnione małymi zmianami warunków atmosferycznych w całym okresie przeprowadzanych badań oraz małymi zmianami stanu zbiornika zapory wodnej. Gdyby jednak faktycznie występowały drobne zmiany położenia punktów poligonowych, to wprowadzone założenie powodowałoby, iż obliczone dalej wartości błędów średnich pomiaru strzałki m_h byłyby większe od fak-

tycznie uzyskanych. Tym samym wynik niniejszej analizy niedoceniałby w pewnym stopniu dokładności metody i urządzeń pomiarowych.

Jak już powiedzieliśmy, wielkości dh traktujemy jako spowodowane wyłącznie błędami pomiarowymi, wobec czego $dh = \varepsilon$, gdzie ε — błąd prawdziwy różnicy pomiaru. Stąd wynika wzór:

$$m_{dh} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[dh^2]}{n}}. \text{ Ponieważ jednocześnie zachodzi zależność}$$

$m_{dh} = \pm \sqrt{m_h^2 + m_h'^2}$, to przyjmując $m_h = m_{h'}$, możemy napisać:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[dh^2]}{2n}}. \quad (2)$$

W ten sposób z wzoru (2) obliczymy błędy średnie strzałek na podstawie wartości ich różnic, uzyskanych z kolejnych powtórzeń pomiaru ciągu. Zestawienie uzyskanych różnic dh oraz obliczonych błędów średnich m_h z wzorów (1) i (2) zawarte jest w tabl. 2.

W tablicy tej podane błędy obliczone zostały w dwojaki sposób:

a) biorąc pod uwagę poprawki wyrównawcze wszystkich strzałek z jednego pomiaru ciągu, względnie różnice dh z dwu kolejnych pomiarów ciągu,

b) biorąc pod uwagę poprawki wyrównawcze określonej strzałki ze wszystkich powtórzeń jej pomiaru, względnie różnice dh uzyskane ze wszystkich powtórzeń pomiaru tej strzałki. Postępowanie takie miało na celu zbadanie czy na poszczególnych stanowiskach pomiarowych nie występowały warunki, powodujące zróżnicowanie dokładności pracy w stosunku do dokładności na innych stanowiskach. Z drugiej strony chodziło o zbadanie czy w poszczególnych dniach nie występowały zróżnicowania warunków pomiarowych na wszystkich stanowiskach w zależności od zmian warunków atmosferycznych.

Niezależnie od tego obliczono najbardziej prawdopodobne wartości błędów średnich m_h oparte na łącznym wykorzystaniu całego materiału obserwacyjnego w obu grupach wyników. Odpowiednie wartości podano w dolnych prawych narożnikach tabel.

Interesującą jest możliwość obliczenia błędów średnich pomiaru strzałek jako funkcji wyznaczonych przesunięć punktów ciągu poligonowego. Tym sposobem uzyskujemy możliwość oceny dokładności przy jednoczesnym praktycznym sprawdzeniu czy faktyczny rozkład błędów w ciągu jest zgodny z rozkładem teoretycznym. Tego rodzaju analizę dokładności w naszym przypadku ułatwia fakt, że zainstalowane urządzenia odtwarzające zrealizowały ciąg w przybliżeniu prostoliniowy. Tym samym możemy wyznaczyć, na podstawie wykonanych pomiarów, wzajemne przesunięcia poprzeczne do kierunku ciągu wszystkich jego punk-

Tablica 2

Tablica zmian wartości strzałek (dh) oraz błędów średnich (m_h)

Nr obs.	Numery punktów						$m_{h(1)}$	$m_{h(2)}$
	2	3	4	5	6	7		
1							1,2	
	0	-1	-3	-2	-3	-3		1,5
2							1,1	
	2	-3	1	2	-3	5		2,1
3							1,8	
	-5	0	3	-4	-1	-3		2,2
4							1,4	
	2	6	-2	4	-3	5		2,9
5							1,1	
	2	1	4	-2	8	-4		3,0
6							1,7	
	7	1	1	-1	0	5		2,5
7							1,6	
	-4	1	-6	-1	0	-6		2,4
8							1,2	
	0	-3	0	4	0	-2		1,5
9							1,1	
	-3	3	3	1	0	-8		2,8
10							1,4	
	4	2	-6	1	-8	8		3,9
11							1,0	
	-3	-2	4	-1	7	-5		2,9
12							1,8	
	-4	-2	-3	-3	0	-1		1,8
13							1,6	
	2	-1	3	-2	2	-5		2,0
14							1,4	
	2	-1	-2	5	-1	2		1,8
15							1,7	
	1	2	1	5	0	4		1,8
16							1,4	
$m_{h(1)}$	1,3	1,5	1,6	1,6	1,4	1,2	1,4	
$m_{h(2)}$	2,3	1,7	2,3	2,1	2,7	3,4		2,5

Nr obs.	Numery punktów						$m_{h(1)}$	$m_{h(2)}$
	2	3	4	5	6	7		
17							1,4	
	3	-3	-3	-1	-1	1		1,6
18							0,8	
	-1	2	2	1	-2	1		1,1
19							0,9	
	3	0	0	3	4	3		1,8
20							1,1	
	-2	-2	-2	-4	-1	3		1,7
21							0,8	
	-3	-2	0	0	3	0		1,4
22							0,9	
	1	2	-1	-1	0	-2		1,0
23							1,5	
	2	-1	2	0	2	-4		1,6
24							1,0	
	-2	0	-1	3	-4	2		1,7
25							1,2	
	3	1	2	0	0	4		1,6
26							0,9	
	-3	-3	-4	-4	-1	-5		2,4
27							0,8	
	-1	4	4	1	1	2		1,7
28							1,0	
	4	0	0	1	-2	-1		1,4
29							1,1	
	-3	1	0	-1	-2	-2		1,3
30							1,0	
$m_{h(1)}$	1,9	1,0	0,7	0,8	0,6	0,8	1,0	
$m_{h(2)}$	1,8	1,4	1,5	1,5	1,5	1,9		1,8

Wartości w tablicy wyrażone są w setnych częściach milimetra.

tów, bez potrzeby uwzględniania drobnych zmian wzajemnej odległości punktów. Z tych samych względów możemy wyznaczenie przesunięć przeprowadzić bardzo prostym i wygodnym sposobem graficznym. Do opracowania takiego stosuje się formularz (rys. 13).

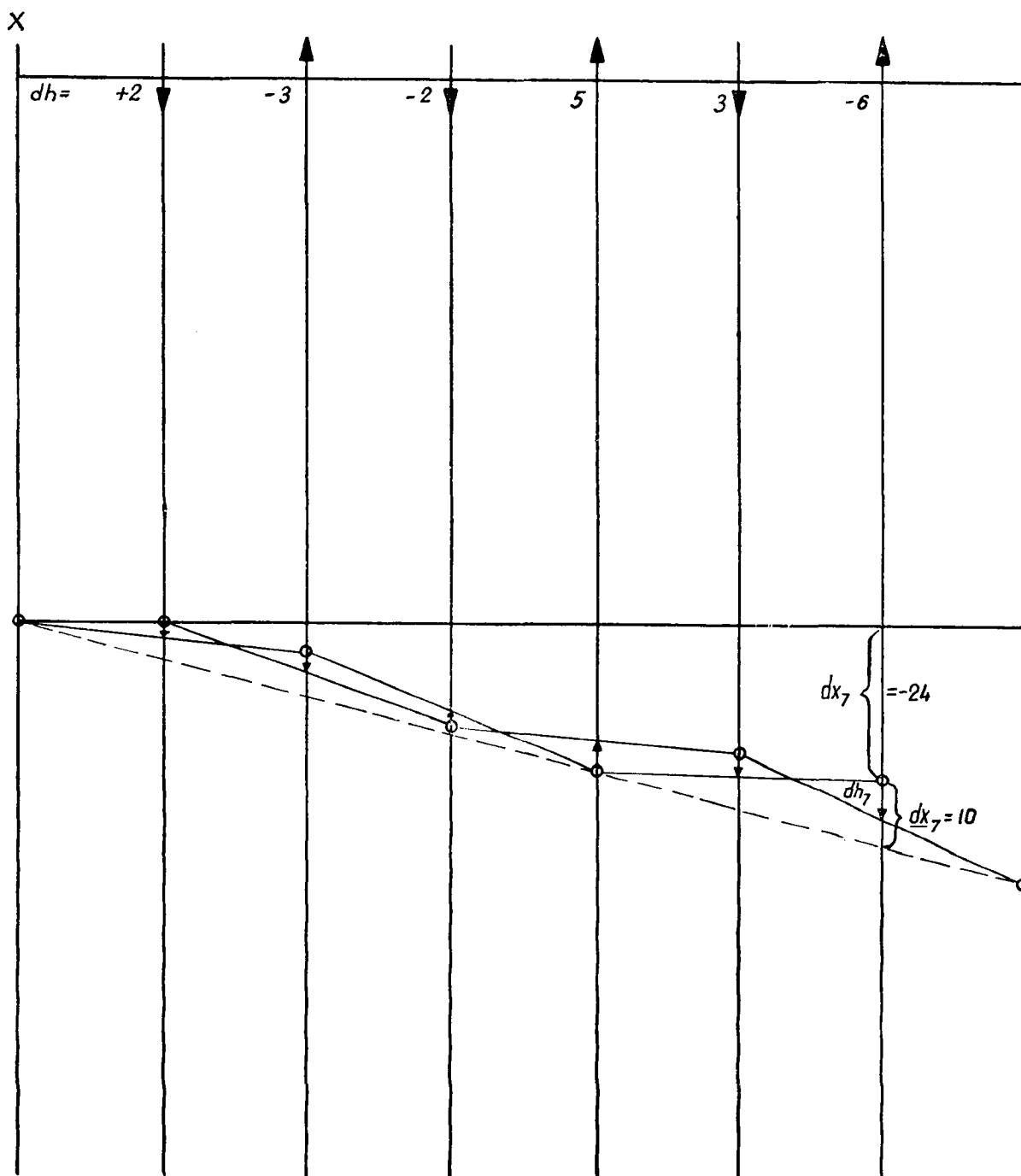
Wykres przesunięć punktów ciągu poligonowego strzałek

Obs. wyjściowa wg wd tp

Obs. poprzednia

Obs. aktualna

Skala 1:2000
Skala przesunięć 100:1



Wykonał

Na formularzu pozioma prosta na wysokości około połowy arkusza oznacza oś odniesienia zachodzących przesunięć. Punkty przecięcia tej osi z prostymi pionowymi określają pierwotne położenie punktów poligonowych (przy uprzednim pomiarze). Rozstaw prostych pionowych wyraża odległość między kolejnymi punktami poligonowymi w skali 1 : 2000, zaś ich kierunek jest kierunkiem zmian wzajemnego położenia punktów, możliwych do stwierdzenia pomiarem strzałek. Proste pionowe oznaczone są u góry strzałkami określającymi zwroty ustawienia urządzenia odczytowego, zamocowywanego na poszczególnych punktach poligonowych (rys. 9). Przy poziomej linii, w pobliżu tych strzałek, obok odpowiednich prostych pionowych zapisuje się stwierdzone pomiarami wielkości dh na poszczególnych punktach poligonowych. W celu wykonania wykresu przesunięć przyjmujemy, że aktualne położenie punktów 1, 2 pozostaje identyczne z pierwotnym i oznaczamy je kółkami na osi odniesienia. Od aktualnego położenia punktu 2 odkładamy wzdłuż prostej pionowej wartość zmiany strzałki dh_2 , uwzględniając przy tym znak zmiany oraz zwrot urządzenia odczytowego na punkcie 2. Przez koniec tak wniesionego wektora prowadzimy z aktualnego położenia punktu 1 linię prostą do przecięcia z prostą pionową, przechodzącą przez punkt 3. Wyznaczony punkt przecięcia obwodzimy kółkiem jako aktualne położenie punktu 3.

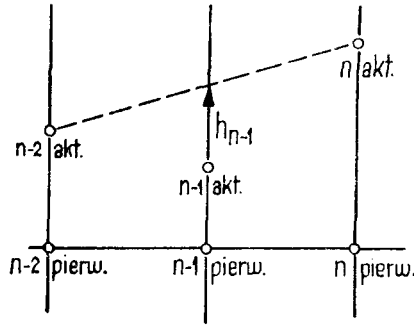
Podobnie jak uprzednio dla punktu 2, odkładamy wzdłuż prostej pionowej od aktualnego położenia punktu 3 wartość zmiany strzałki dh_3 , uwzględniając znak tej zmiany i zwrot urządzenia odczytowego na punkcie 3. Przez koniec tak wniesionego wektora prowadzimy z aktualnego położenia punktu 2 linię prostą do przecięcia z prostą pionową, przechodzącą przez punkt 4. Wyznaczony punkt przecięcia obwodzimy kółkiem jako aktualne położenie punktu 4.

Z dotychczasowego opisu wynika jednoznaczność postępowania przy wyznaczaniu aktualnych położen kolejnych, dalszych punktów ciągu poligonowego. Dlatego też uogólnimy tryb postępowania.

Zgodnie z rys. 14, dla wyznaczania aktualnego położenia n -tego punktu ciągu odkładamy dh_{n-1} od aktualnego położenia $n - 1$ punktu wzdłuż linii pionowej, uwzględniając znak tej zmiany i zwrot urządzenia odczytowego na punkcie $n - 1$. Następnie przez koniec tak wniesionego wektora prowadzimy z aktualnego położenia punktu $n - 2$ linię prostą do przecięcia z prostą pionową, przechodzącą przez punkt n . Wyznaczony punkt przecięcia obwodzimy kółkiem, jako aktualne położenie punktu n .

Uzyskujemy w rezultacie aktualne położenie wszystkich punktów ciągu przy założeniu niezmienności punktów 1, 2, w stosunku do położen pierwotnych na osi odniesienia. Czyność takiego opracowania wyników trwała około 4 minut.

Zgodnie z postawionym uprzednio założeniem niezmienności położenia punktów w okresie przeprowadzanych badań, uzyskane w ten sposób różnice dx składowych położenia poszczególnych punktów są spowodowane jedynie błędami ich wyznaczenia w ciągu wiszącym, nawiąza-



Rys. 14

nym do punktu 2 i kierunku 1—2. Możemy przeto założyć; $dx_i = \varepsilon_{x_i}$, gdzie ε_{x_i} — błąd prawdziwy wyznaczenia składowej dx przesunięcia i -tego punktu ciągu.

Stąd wynika wzór:

$$m_{dx_i} = \pm \sqrt{\frac{[dx_i^2]}{n}}$$

Jednocześnie posiadamy możliwość obliczenia wartości współczynnika wagowego $Q_{x_{ii}}$ wyznaczenia składowej dx przesunięcia i -tego punktu ciągu wiszącego i wyrażenia błędu wyznaczenia z wzoru:

$$m_{dx_i} = Q_{x_{ii}} \cdot m_h$$

Wobec tego uzyskujemy możliwość obliczenia błędu strzałki jako funkcji wyznaczonych przesunięć poprzecznych punktów ciągu wiszącego:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[dx_i^2]}{n}} \cdot \frac{1}{Q_{x_{ii}}} \quad (3)$$

Jeśli połączymy na formularzu (rys. 13) aktualne położenia punktów 1, 8 linią prostą, to odległości pionowe od tej linii do aktualnych położenia punktów 2 ÷ 7 będą identyczne z wielkościami składowych dx przesunięć tych punktów, przy założeniu niezmienności punktów końcowych ciągu poligonowego.

Rozumując podobnie jak uprzednio powiemy, że uzyskane w ten sposób zmiany dx_i położenia poszczególnych punktów są spowodowane

jedynie błędami ich wyznaczenia w ciągu nawiązanym obustronnie do punktów końcowych.

W rezultacie otrzymujemy możliwość obliczenia błędu strzałki jako funkcji wyznaczonych przesunięć punktów ciągu obustronnie nawiązanego:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\overline{dx_i^2}]}{n} \cdot \frac{1}{Q_{xii}}}, \quad (4)$$

gdzie Q_{xii} oznacza współczynnik wagowy wyznaczenia składowej x przesunięcia i -tego punktu ciągu nawiązanego obustronnie.

Przy wykorzystaniu obliczonych wielkości dh , uzyskanych na podstawie wyników dokonanych obserwacji doświadczalnych (rys. 12), wyznaczone zostały opisany uprzednio sposobem wykreślnym wartości składowych przesunięć dx oraz \overline{dx} punktów ciągu. Wyznaczone wartości zestawiono w tablicach 3, 4. W znany sposób wyznaczono wartości współczynników wagowych odnoszących się do składowych x wyznaczenia przesunięć każdego punktu ciągu ($Q_{s_{ii}}$, $Q_{x_{ii}}$) oraz obliczono z wzorów (3) i (4) odpowiednie wartości błędów średnich pomiaru strzałek.

Najbardziej prawdopodobne wartości błędów średnich (m_h) wykazane zostały po prawej stronie każdej z tablic 3 i 4.

Zestawmy wypisane w poszczególnych tablicach, najprawdopodobniejsze wartości wyznaczonych błędów średnich strzałki:

	Z I grupy (obs. 1 ÷ 16)	Z II grupy (obs. 17 ÷ 30)
$m_h(1)$	$\pm 14\mu$	$\pm 10\mu$
$m_h(2)$	25μ	18μ
$m_h(3)$	22μ	16μ
$m_h(4)$	34μ	15μ

W zestawieniu można zauważyć około 1,5-krotne polepszenie dokładności wyników drugiej grupy obserwacji, przeprowadzonych w lepszych warunkach oświetleniowych. Jednocześnie widoczne jest, iż błędy m_h , uzyskane z wzoru (1) są około 1,8 razy mniejsze od pozostałych, które są zbliżone do siebie co do wielkości. Różnica ta może wskazywać, że w okresie przeprowadzania badań występowały drobne ruchy obiektu, wpływające pogarszająco na ocenę dokładności pracy w przypadkach, gdy ocena ta opiera się na różnicach wyników kolejnych pomiarów wykonywanych w jednodniowych odstępach czasu. Z drugiej strony może być ona spowodowana znanym w innych pomiarach geodezyjnych zjawiskiem, że błędy średnie obliczone na podstawie niezgodności między wynikami z poszczególnych serii osiągają wielkości zanizone — zbyt optymistyczne.

Tablica 3

Tablica wartości dx — składowych przesunięć punktów ciągu wiszącego.

Nr obs.	Numery punktów ciągu						$m_{h_{sr.}}$
	3	4	5	6	7	8	
1							
2	0	-2	2	2	8	9	
3	-5	-15	-29	-37	-40	-33	
4	10	21	25	21	19	11	
5	-4	3	16	36	63	102	
6	-4	-5	-16	-30	-60	-98	
7	-14	-26	-40	-55	-70	-75	
8	8	19	42	54	85	95	
9	0	-6	-13	-11	9	-11	
10	6	20	27	37	48	43	
11	-8	-11	-3	8	35	80	
12	6	8	2	-6	-28	-60	
13	8	13	24	28	33	37	
14	-4	-10	-23	-39	-61	-92	
15	-4	-10	-12	-4	6	24	
16	-2	0	0	11	22	42	
m_{dx}	66	135	225	306	458	635	
Q_x	2,8	6,3	10,5	15,3	20,8	26,7	
$m_h(3)$	2,4	2,1	2,1	2,0	2,2	2,4	2,2
17							
18	-6	-19	-25	-33	-39	-43	
19	2	10	13	18	28	41	
20	-6	-12	-18	-18	-27	-30	
21	4	5	10	8	7	13	
22	6	9	12	15	12	9	
23	-2	0	4	7	9	8	
24	-4	-11	-22	-33	-48	-73	
25	4	9	16	28	50	76	
26	-6	-10	-18	-26	-34	-33	
27	6	7	16	17	20	13	
28	2	12	13	17	18	23	
29	-8	-16	-24	-30	-32	-36	
30	6	15	25	32	44	53	
m_{dx}	51	113	177	234	316	410	
$m_h(3)$	1,8	1,8	1,7	1,5	1,5	1,5	1,6

Wartości w tablicy wyrażone są w setnych częściach milimetra.

Tablica 4

Tablica wartości \underline{dx} — składowych przesunięć punktów ciągu nawiązanego obustronnie.

Nr obs.	Numery punktów ciągu						$m_{h_{sr}}$
	2	3	4	5	6	7	
1	- 1	- 3	- 6	- 3	- 4	1	
2	5	5	- 1	-10	-13	-12	
3	- 2	8	16	19	13	10	
4	-15	-34	-41	-43	-37	-24	
5	14	24	36	41	40	23	
6	10	7	6	3	- 2	- 6	
7	-13	-19	-21	-12	- 4	4	
8	1	3	- 2	- 6	- 3	1	
9	- 6	- 6	2	3	7	11	
10	-11	-30	-45	-48	-49	-33	
11	8	23	34	37	37	23	
12	- 6	- 2	- 3	2	2	2	
13	13	22	29	30	26	18	
14	- 3	-10	-20	-25	-20	-12	
15	- 6	-14	-17	-24	-19	-12	
16							
$m_{\underline{dx}}$	89	173	238	258	240	158	
$\frac{Q}{\Sigma x}$	3,9	6,2	7,2	7,2	6,2	3,9	
$m_{h(4)}$	2,3	2,8	3,3	3,6	3,9	4,1	3,4
17	6	6	0	- 1	- 3	- 3	
18	- 6	- 9	- 8	-10	-11	- 7	
19	4	2	0	- 1	3	- 1	
20	- 2	1	0	3	- 2	- 4	
21	- 1	4	6	7	9	4	
22	- 1	- 4	- 3	0	1	3	
23	11	17	20	19	19	14	
24	-11	-17	-23	-28	-26	-15	
25	5	3	4	1	- 2	- 5	
26	- 2	3	2	9	8	9	
27	- 3	- 4	2	1	1	- 2	
28	5	2	0	- 3	- 4	- 1	
29	- 8	- 9	- 7	- 5	- 6	- 1	
30							
$m_{\underline{dx}}$	60	81	93	105	103	70	
$m_{h(4)}$	1,5	1,3	1,3	1,5	1,7	1,8	1,5

Wartości w tablicy wyrażone są w setnych częściach milimetra.

W tej sytuacji można na podstawie wyników badań powiedzieć, że możliwe jest uzyskanie z trzech serii błędu średniego pomiaru strzałki o wielkości ok. $\pm 16 \mu$.

Przy zastosowanych w badaniu długościach boków poligonowych błąd średni strzałki równy $\pm 16 \mu$ odpowiada błędowi średniemu kąta poligonowego $m_0 = \pm 0,15$. Uzyskane dokładności pomiaru strzałek pozwalają więc wyznaczyć składowe x przesunięć punktów ciągu z błędem około trzykrotnie mniejszym aniżeli przy zastosowaniu teodolitu Wild T-3. Należy jednocześnie podkreślić, że pomiar strzałek przy wykorzystaniu omawianej aparatury przebiegał bardzo sprawnie i okazał się możliwy do wykonania nawet przez osoby nieprzygotowane fachowo do precyzyjnych prac pomiarowych. Pomiar ciągu zawierającego 6 stanowisk, na których wyznaczono strzałki w trzech seriach, trwał przeciętnie około 40 minut, przy pracy pojedynczego obserwatora, oraz 30 minut przy zespole dwuosobowym (sekretarz wykonuje odczyty czujnika i zapisuje, zaś obserwator wykonuje wyłącznie czynności nastawcze i celownicze urządzenia odczytowego). Uwzględniając czas trzykrotnego przejścia wzdłuż mierzonego ciągu (660 m), otrzymamy przeciętny czas wykonania czynności pomiarowych na pojedynczym stanowisku odpowiednio około 6 i 4 minut. Istotne jest również, że ciężar przenośnego urządzenia odczytowego wynosi 0,9 kg i urządzenie to jest portatywne w stopniu umożliwiającym umieszczenie go, wraz z pokrowcem, w kieszeni fartucha roboczego.

W konkretnie zainstalowanym dla celów badawczych ciągu, o długości rzędu 310 m i długościach boków rzędu 45 m, uzyskano błąd średni wyznaczenia składowej dx przesunięcia punktu środkowego, w stosunku do początkowego i końcowego przyjętych za niezmiennie, równy $\pm 0,1$ mm, oraz w przypadku uznania tego ciągu za nawiązany jednostronnie — błąd średni wyznaczenia składowej dx końcowego punktu równy $\pm 0,4$ mm.

Wykonane badania, prócz liczbowych danych służących do przeprowadzenia analizy dokładności, dały okazję do stwierdzenia szeregu faktów dotyczących praktycznego zachowania się rozwieszonego drutu. Na podstawie tego typu obserwacji można wysnuć następujące wnioski:

1. Możliwe jest wykonanie stałej instalacji, odtwarzającej zmiany strzałek w ciągach poligonowych o znacznie większych aniżeli zastosowano w badaniu długościach boków. W takim przypadku uzyskamy możliwość wielokrotnego zmniejszenia błędu kąta poligonowego, jako funkcji pomierzonych strzałek.

2. Możliwe jest wykonanie takiej instalacji na zewnętrznej powierzchni badanego obiektu pod warunkiem zastosowania odpowiednich osłon drutów przed wpływem wiatru i opadów atmosferycznych. Tym

samym staje się na przykład możliwe wykorzystanie omawianej aparatury do badania przesunięć od stałej prostej z błędami rzędu $\pm 0,02$ mm.

3. Warte jest dalszych dociekań zagadnienie stosowania urządzeń rejestrujących zmiany położenia drutu w sposób samoczynny, przy jednoczesnym prowadzeniu prac nad ulepszeniem konstrukcji urządzeń do obserwacji wizualnej. Prawdopodobne jest, że oba rodzaje urządzeń mogą znaleźć zastosowanie przy różnych warunkach badania odkształceń.

Przeprowadzone prace doświadczalne stały się również okazją do wynotowania wszelkiego rodzaju usterek zaprojektowanej prototypowej aparatury, co stanowi podstawę do prac nad jej udoskonaleniem. Niezależnie od nadspodziewanie dobrych dokładności pomiaru strzałek, stwierdzono potrzebę wprowadzenia na przykład zmian w systemie urządzenia pomiarowego. Mianowicie lusterko zostanie zastąpione jednoznacznie zamocowanym na ruchomej części urządzenia odczytowego źródłem światła, które spowoduje rzucanie przez drut cienia na płaszczyznę płytki celowniczej z naciętymi kreskami bisekcyjnymi. Celowanie będzie więc polegało na przesuwaniu płytki celowniczej do położenia, przy którym cień drutu zostanie symetrycznie ujęty pomiędzy kreski bisektora. Tym samym uniknie się potrzeby niewygodnego i nużącego przyjmowania przez obserwatora ściśle określonej i nieruchomej pozycji. Tego typu zmiany pozwolą na nieznaczne wprowadzenie zwiększenie dokładności pracy lecz w zasadniczy sposób ułatwią jej tok i umożliwią wykonywanie pomiarów przez stałą załogę obiektów, po jej krótkim przeszkoleniu.

Równoległe do opisanych badań nad urządzeniami do wyznaczania zmian strzałek prowadzone były badania nad urządzeniami do wyznaczania zmian długości. Dotychczasowe wyniki tych badań zachęcają do ich kontynuowania. Opis wspomnianej aparatury i wyniki jej badania będą przedmiotem publikacji w jednym z następnych zeszytów Prac IGiK.

LITERATURA

- [1] *Huber M. T.*: Stereomechanika techniczna (wytrzymałość materiałów), PZWS, Warszawa 1951.
- [2] *Lazzarini T.*: Geodezyjne pomiary odkształceń i ich zastosowanie w budownictwie, PPWK, Warszawa 1961.
- [3] *Ponikowski J.*: Geodezja gospodarcza, tom III (Geodezja kolejowa). PPWK, Warszawa 1954.
- [4] *Stanek V.*: Geodetické měření deformaci přehrady u Slap, Geodoetický a kartografický sborník, Praga 1957.

Rękopis złożono w Redakcji we wrześniu 1962 r.

ВОЙЦЕХ ЯНУШ

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИННЫХ
ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ И СПЕЦИАЛЬНОЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Резюме

В работе излагается описание проволочной аппаратуры, предназначенной для отображения непрерывным способом изменений величин стрелок в полигонометрическом ходе закреплённым в деформирующемся сооружении.

Кроме того описывается устройство предназначенное для визуального наблюдения величин стрелок, а также излагается способ использования измеренных величин для определения взаимных перемещений отдельных точек хода в направлении перпендикулярном к направлению хода (в случае прямолинейности хода).

Приводятся итоги исследования точности прототипного комплекта устройства созданного в Механической Мастерской Института Геодезии и Картографии.

В итоге проведенных исследований установлено, что имеется возможность измерения стрелок со средней квадратической ошибкой около ± 16 микронов. При примененных в исследовании длинах сторон полигонометрического хода около 45 м, приходим к выводу, что для получения сравнимого по точности эффекта при использовании измерений углов полигонометрического хода, следовало бы измерять эти углы со средней квадратической ошибкой $0'',15$, что при современном состоянии техники является невозможным.

В итоге столь положительных результатов исследований предполагается продолжать работу в направлении замены устройств для визуальных наблюдений проволочек — устройствами автоматически регистрирующими изменения положений проволочек.

В этом случае станет возможным определение быстро изменяющихся деформации, например во время испытаний сооружений, передаваемых в эксплуатацию.

WOJCIECH JANUSZ

EXPERIMENTS CONCERNING ELABORATION OF METHODS
FOR MEASUREMENTS OF DEFORMATIONS OF ALLONGED
CONSTRUCTIONS BY USE OF TRAVERSES AND SPECIAL
MEASURING DEVICES

S u m m a r y

The author describes at first the wire apparatus for continuous reconstruction of the changes of sags in a traverse, marked on the construction, during its deformation. Besides, the device for the visual observation of the size of sags is described and the method of the use of measured elements for determination of relative displacements of the traverse points, in the direction perpendicular to the direction of a rectilinear traverse, is given.

The results of testing the accuracy of the prototype set of devices, constructed in the workshops of the Research Institute of Geodesy and Cartography are shown.

As a result of research work carried out, it was stated, that it is possible to measure with this device the sags with the standard error of about 16μ . The length of the traverse legs in these tests was about 45 metres; this means, that to obtain such an accuracy by measuring angles of the traverse, these angles have to be measured with the standard error of $0,15''$, which is completely impossible till now.

Owing to such results of this research work it is intended to replace the device for the visual observation of the wires by the one for the automatic registration of changes of the wires position. It would be then possible to determine the quickly-changing deformations, e. g. during the load test of constructions, before their exploitation.