

WOJCIECH JANUSZ

528.482 : 528.5

Urządzenia pomiarowo-kontrolne służące do wyznaczania względnych odkształceń budowli opracowane w IGiK

Znaczna część pomiarów odkształceń odbywa się przy wykorzystaniu uniwersalnych przyrządów i instrumentów geodezyjnych: teodolitów, niwelatorów, tarcz sygnałowych, łąt, drutów, taśm itp. Obok tych przyrządów stosuje się również przyrządy specjalne o ograniczonym zakresie stosowania — zaprojektowane wyłącznie dla wskazywania i wyznaczania zmian niektórych wielkości wskutek odkształceń budowli. Są to: szczelinomierze, klinometry, piony mechaniczne, urządzenia do pomiaru strzałek, niwelatory hydrostatyczne itp.

W niniejszym opracowaniu pragniemy zaznajomić czytelnika z nowo zaprojektowanymi konstrukcjami urządzeń specjalnych oraz sposobami ich użytkowania. Należy dodać, że niektóre z tych konstrukcji noszą cechy pełnej oryginalności — inne zawierają pewne udoskonalenia urządzeń opisywanych w literaturze. Omawiane w pracy konstrukcje są wynikiem wspólnego projektowania przez zespół geodetów i mechaników, pracowników IGiK. Przy projektowaniu brano pod uwagę wyniki dokonanych prac eksperymentalnych mających na celu określenie optymalnych parametrów urządzeń z punktu widzenia sposobu i celu wykonywania pomiarów w przeciętnie spotykanych warunkach. Rozpatrywano również warunki technologiczno- konstrukcyjne budowy i prawidłowego działania urządzeń.

Podane w pracy opisy dotyczą prototypów urządzeń pomiarowo-kontrolnych wykonanych częściowo na konkretne zamówienia i przy narzuconych niektórych parametrach. Z tego względu opracowanie zawiera również nieco uwag krytycznych i wniosków dotyczących kierunku zmian, jakie należałoby wprowadzić w następnych prototypach urządzeń.

Szczelinomierze

Szczelinomierzami nazywamy przyrządy pozwalające wyznaczać zmiany wzajemnego położenia fragmentów muru budowli oddzielonych od sie-

bie szczeliną dylatacyjną lub szczeliną powstałą wskutek pęknięcia muru. Szczelinomierz składa się z zespołu znaków pomiarowych, zastabilizowanych po obu stronach szczeliny w murze budowli oraz przyrządu pomiarowego, pozwalającego wyznaczać zmiany wzajemnego położenia tych znaków. Najczęściej stosowane są szczelinomierze w postaci dwu bolców metalowych zastabilizowanych po obu stronach szczeliny oraz przyrządu pozwalającego okresowo wyznaczać ich wzajemną odległość (a więc i zmiany tej odległości). Jako przyrząd pomiarowy stosuje się zazwyczaj suwmiarkę warsztatową, mikrometr średnicowy lub specjalny przyrząd zwany deformetrem.

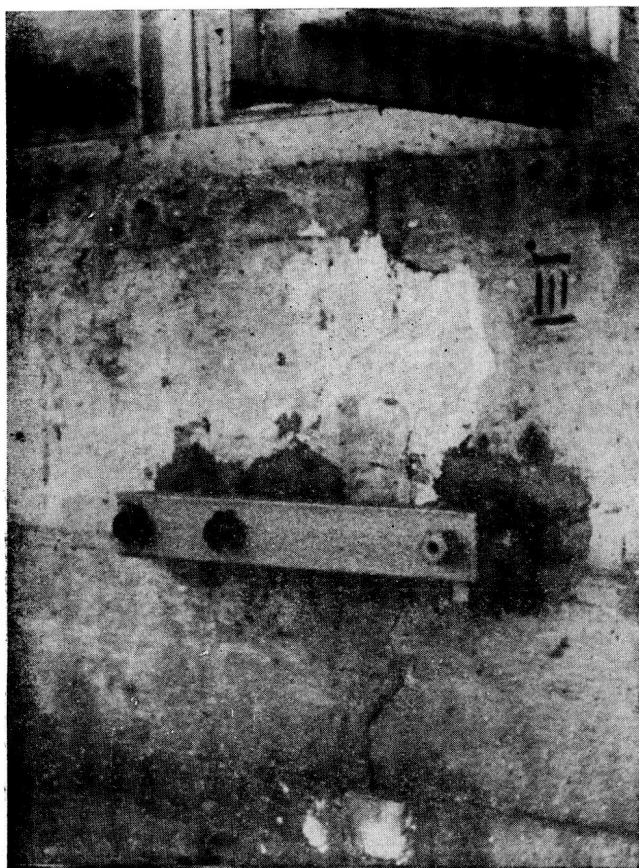
Dla pełniejszej oceny wzajemnego zachowania się fragmentów muru oddzielonych szczeliną celowe jest niekiedy wyznaczanie przestrzennego wzajemnego przemieszczania znaków pomiarowych umieszczonych po obu stronach szczeliny. Pozwala to na wyznaczenie nie tylko zmian szerokości szczeliny ale również wzajemnych uskoków fragmentów muru wzdłuż powierzchni oddzielającej je. W związku z tym stosuje się różne typy szczelinomierzy, pozwalających na wyznaczanie jednej, dwu lub trzech składowych wzajemnego przemieszczania znaków. Dla jeszcze lepszej oceny wzajemnych przemieszczeń fragmentów budowli oddzielonych szczeliną stosuje się zespoły szczelinomierzy, rozmieszczonych w pewnych odstępach wzdłuż tej samej szczeliny.

Stosowane szczelinomierze charakteryzują się bardzo zróżnicowanymi dokładnościami pomiaru w granicach od 0,01 mm do 0,5 mm w zależności od konstrukcji znaków pomiarowych i przyrządów mierzących.

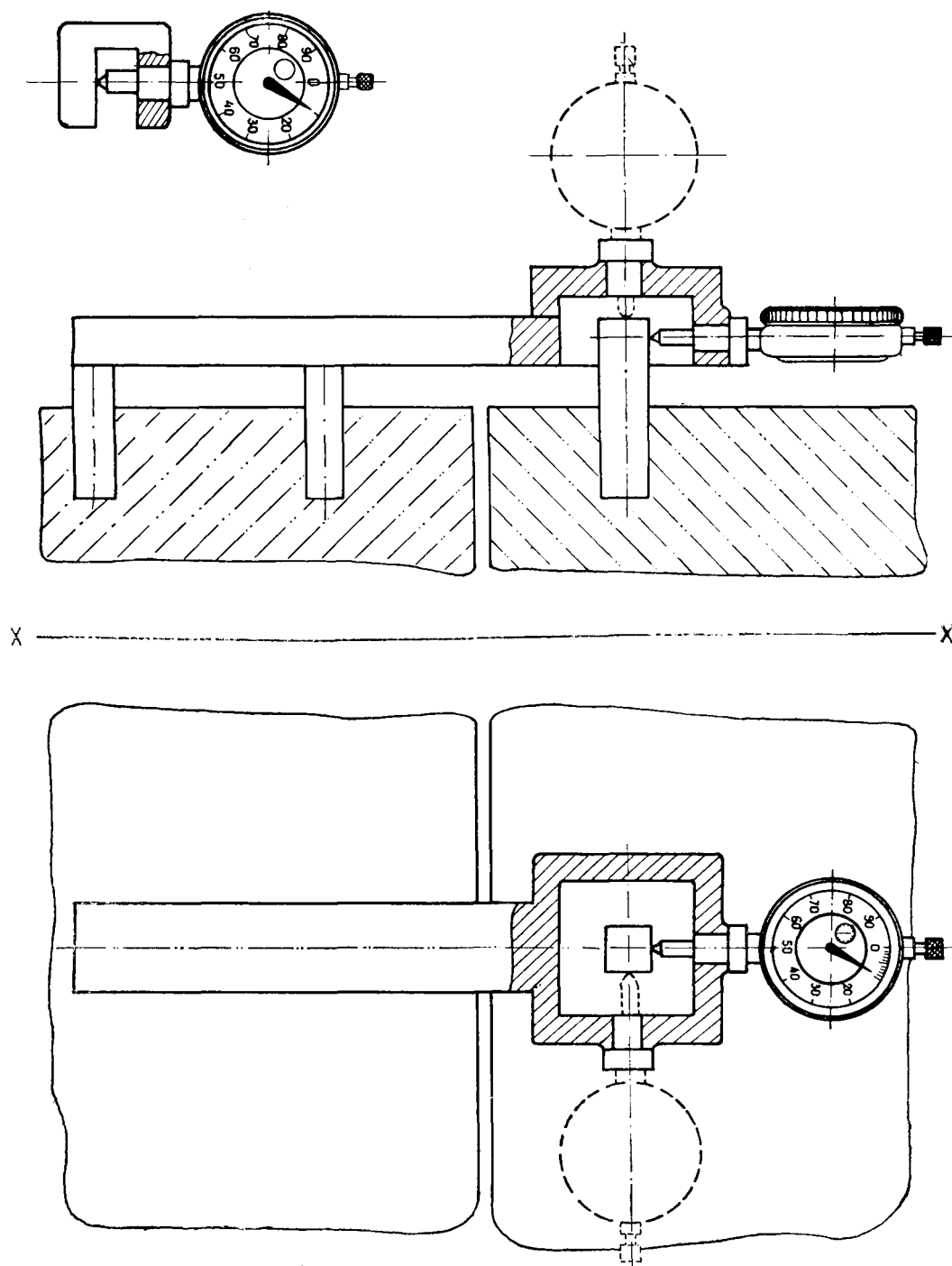
O dokładności szczelinomierza decyduje rodzaj zastosowanego przyrządu pomiarowego oraz jednoznaczność ustawiania go względem znaków pomiarowych. W wielu stosowanych dotychczas rodzajach szczelinomierzy wysoka dokładność przyrządów pomiarowych nie była we właściwy sposób wykorzystana wskutek braku jednoznaczności przyłożenia do znaków pomiarowych, wynikającego ze złego ich zaprojektowania. Na przykład w niektórych szczelinomierzach mierzy się rozstaw dwu płaszczyzn równoległych bez zabezpieczenia możliwości dostatecznie dokładnego ustawienia przyrządu pomiarowego prostopadle do tych płaszczyzn, w innych mierzy się suwmiarką wzajemną odległość krawędzi dwu bolców usytuowanych równolegle, bez oznaczenia miejsc przyłożenia suwmiarki do tych krawędzi.

W roku 1963 zaprojektowano i wykonano prototypową serię szczelinomierzy XYZ, pozwalających na wyznaczenie trzech składowych wzajemnych przemieszczeń fragmentów muru w sposób identyczny dla każdej składowej z rzeczywistą dokładnością rzędu 0,02 mm i przy małym nakładzie pracy. Szczelinomierz taki posiada jako znak pomiarowy bolec stalowy z hartowaną główką w kształcie prostopadłościanu, której trzy wza-

jemnie prostopadłe oszlifowane płaszczyzny stanowią podstawy dla oparcia nóżki czujnika zegarowego. Bolec ten zostaje zastabilizowany po jednej stronie szczeliny w taki sposób, aby prostopadłościenna główka znajdowała się w odległości kilku centymetrów od powierzchni muru. W murze po przeciwnej stronie szczeliny stabilizuje się wspornik metalowy z głowicą, w której ścianki wmontowane są trzy wzajemnie prostopadłe tuleje, umożliwiające jednoznaczne wstawianie czujnika zegarowego. Zastabilizowanie wspornika winno być dokonane tak, aby tulejki służące do wstawiania czujnika były usytuowane prostopadle do odpowiednich oszlifowanych płaszczyzn bolca z prostopadłościenną główką. Ponadto wymagane jest także zastabilizowanie, aby osie tulejek przecinały się w pobliżu środka ciężkości prostopadłościennej główki przy jednoczesnym braku styczności z nią głowicy i tulejek.



Rys. 1



Rys. 2

Na rysunku 1 pokazany jest szczelinomierz XYZ zastabilizowany w miejscu szczeliny powstałej wskutek pęknięcia muru budowli. Ponad szczelinomierzem widoczna jest zagipsowana płytką szklana, jakie stosuje się często dla stwierdzenia czy szczelina jest aktywna. Na rysunku widoczny jest wspornik przykręcony do dwu nagwintowanych bolców, zabetonowanych w murze po lewej stronie szczeliny. Wspornik ten w kształcie ceownika z przyspawaną po prawej stronie od czoła płytką posłużył wprost do przytwierdzenia trzech stalowych tulejek, widocznych po prawej stronie szczeliny. Bolec po prawej stronie szczeliny nie jest na rysunku widoczny wskutek zakrycia go przez wspornik. Schemat szczelinomierza XYZ pokazany jest na rysunku 2.

Czujnik zegarowy winien być przy pomiarze wkładany na taką głębokość w tuleję, aby kołnierz tulei wsparł się jednoznacznie o kołnierz obejmą przytwierdzonej do czujnika. Wówczas nóżka czujnika opiera się o płaską powierzchnię prostopadłościenną główki bolca, zaś odczyt czujnika charakteryzuje aktualne położenie kołnierza tulei względem odpowiedniej płaszczyzny prostopadłościenną główki bolca.

Zastabilizowanie szczelinomierza zostaje dokonane przy wykorzystaniu szablonu, który ma na celu takie wzajemne usytuowanie bolców i wspornika z tulejami aby zachować uprzednio wymienione warunki położenia względem bolca z prostopadłościenną główką. Stabilizacja przy wykorzystaniu szablonu zabezpiecza możliwość takiego usytuowania wzajemnego tulej i prostopadłościenną główki bolca pomiarowego, że początkowe odczyty czujnika wkładanego w poszczególne tuleje różnią się od odczytu 5,00 w granicach nieprzekraczających $\pm 0,5$ mm. Dzięki temu powstaje możliwość wyznaczania zmian każdej składowej o wielkościach nie przekraczających $\pm$ połowy zakresu pomiarowego czujnika. W przypadku, gdy spodziewamy się odkształceń większych od połowy zakresu czujnika, wykonujemy komplet wymiennych nóżek o nieparzystej liczbie, różniących się długością o połowę zakresu pomiarowego. Np. przy zastosowaniu czujnika o zakresie 10 mm należy wykonać komplet wymiennych nóżek różniących się między sobą kolejno co 5 mm. W takim przypadku wymiary szablonu i szczelinomierza winny być dobrane tak, aby początkowe odczyty równe w przybliżeniu 5,00 mm były otrzymywane przy wykorzystaniu nóżki o średniej w komplecie długości.

Nie należy zapominać, że przewidywany zakres odkształceń decyduje również o wzajemnym usytuowaniu i wymiarach bolca z prostopadłościenną główką oraz głowicy obejmującej ten bolec:

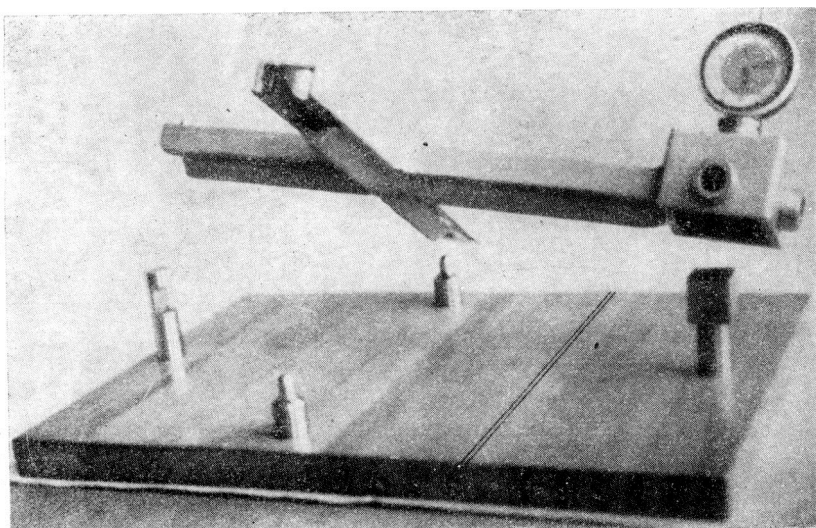
1. Krawędź główki bolca winna być dłuższa od przewidywanego podwójnego zakresu odkształceń, aby nie mógł zaistnieć przypadek zeskokczenia nóżki czujnika z odpowiedniej płaszczyzny prostopadłościannu,

2. Odległość wewnętrznej powierzchni głowicy od powierzchni główki

bolca winna być większa od przewidywanego zakresu odkształceń, aby nie mógł nastąpić przypadek zetknięcia się głowicy z bolcem, powodujący zaprzestanie działania szczelinomierza,

3. Wspornik i głowica winny być tak usytuowane, aby nie mógł nastąpić przypadek zetknięcia się ich z powierzchnią muru.

Opisany wyżej szczelinomierz XYZ może być praktycznie stosowany w miejscach, gdzie nie występuje obawa przed mechanicznym uszkodzeniem wspornika z tulejkami oraz nie występują trudne do usunięcia zanieczyszczenia prostopadłościennej głowki. W trudnych warunkach środowiska może być stosowany przenośny wariant szczelinomierza XYZ, pokazany na rysunku 3.



Rys. 3 Przenośny wariant szczelinomierza X,Y,Z ponad modelem stanowiska pomiarowego

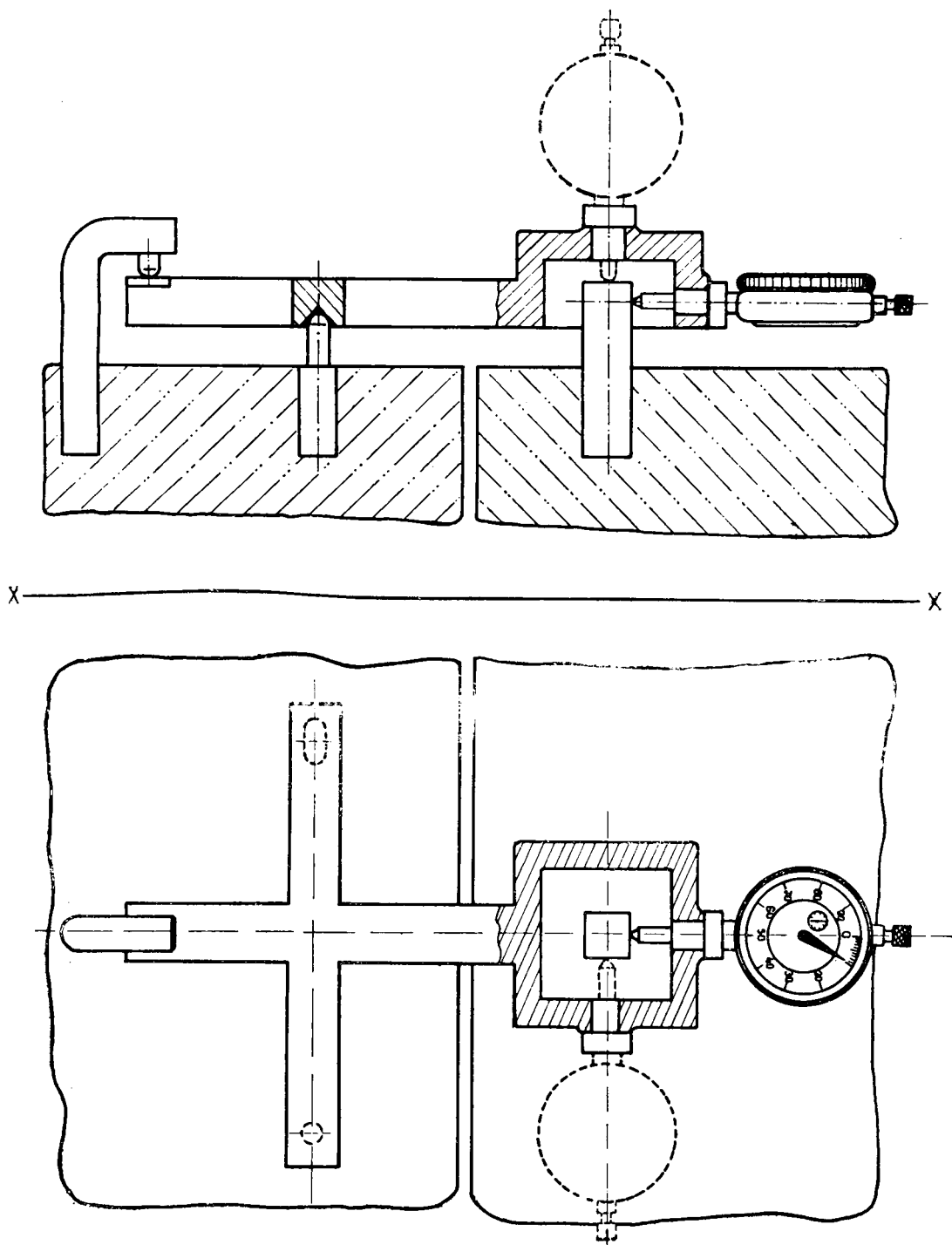
Przenośny wariant szczelinomierza charakteryzuje się tym, że wspornik z głowicą i tulejkami ustawiany jest jednoznacznie na stanowisku pomiarowym przy wykorzystaniu zastabilizowanych tam trzech bolców specjalnej konstrukcji. Wspomniane trzy bolce zastabilizowane są po jednej stronie szczeliny w określonym położeniu względem czwartego bolca z prostopadłościenną głowką, zastabilizowanego po drugiej stronie szczeliny. Ze względu na wygodę posługiwania się przenośnym szczelinomierzem XYZ najbardziej korzystne jest zastabilizowanie wspomnianych czterech bolców w poziomej powierzchni wnęki wykonanej w murze. Z tego względu szczelinomierz taki nadaje się głównie do pomiaru zmian szczelin dyfuzyjnych a odpowiednie wnęki winny być zaprojektowane zgodnie z przewidywaniem, że szczeliny będą poddane stałej kontroli.

Przenośna część szczelinomierza składa się ze wspornika w kształcie krzyża. Przy końcach trzech ramion tego krzyża znajdują się stopki stożkowa i pryzmowa oraz bolec, służące do jednoznacznego ustawiania przyrządu na trzech bolcach zastabilizowanych po jednej stronie szczeliny. Na końcu czwartego ramienia znajduje się głowica z trzema wzajemnie prostopadłymi tulejkami służącymi do wkładania czujnika zegarowego. Przyrząd ustawiony jednoznacznie na trzech bolcach zajmuje samoczynnie taką pozycję, że głowica obejmuje bolec z prostopadłościenną główką w sposób podobny jak w uprzednio opisanym wariantcie stałego szczelinomierza.

Pomiar aktualnych wartości składowych położenia tulejek względem odpowiednich płaszczyzn bolca z prostopadłościenną główką odbywa się tu w sposób identyczny jak przy wykorzystaniu stałego wariantu szczelinomierza. Należy jednak podkreślić, że z uwagi na możliwość zniszczenia czujnika i konieczności wymiany na inny, względnie na możliwość przesunięcia się obejm y względem obudowy czujnika, przy wykorzystaniu stałego szczelinomierza XYZ zachodzi potrzeba odnoszenia wyników pomiaru dokonanego na stanowisku do wyników pomiaru dokonanego na specjalnym sprawdzianie — komparatorze. Ostatecznym wynikiem obserwacji jest różnica odczytu wykonanego na stanowisku w stosunku do odczytu przy ustawieniu czujnika na komparatorze. W przypadku zastosowania przenośnego szczelinomierza XYZ wynikiem pomiaru jest różnica odczytu określonej składowej na stanowisku pomiarowym w stosunku do odczytu tej samej składowej otrzymanego na stanowisku wzorcowym. Stanowisko wzorcowe składa się z czterech bolców opisanej uprzednio konstrukcji, zastabilizowanych w jednym bloku betonowym w sposób zapewniający niezmiennność wzajemnego położenia wspomnianych bolców. Takie postępowanie w przypadku korzystania ze szczelinomierza przenośnego podyktowane jest potrzebą uniknięcia niekorzystnych skutków rozregulowania się czujnika lub nieznacznego wygięcia się ramion przenośnego wspornika. Schemat przenośnego wariantu szczelinomierza XYZ podany jest na rysunku 4.

Odczyty na komparatorze lub stanowisku wzorcowym należy wykonywać na początku i ponownie na końcu każdego cyklu obserwacji szczelin badanego obiektu. Sposób zapisu wyników obserwacji oraz obliczenia zmian składowych dx , dy , dz ilustrują tablice 1, 2, zawierające fragmenty odpowiednich dzienników pomiarowych.

Odnosnie techniki prac pomiarowych należy podkreślić, że silne wpychanie czujnika w tuleje szczelinomierza jest niedozwolone i grozi jego zniszczeniem w przypadku zbliżenia się bolca z prostopadłościenną główką do odpowiedniej tulei o wielkość przekraczającą połowę zakresu pomiarowego czujnika. Wkładanie czujnika w tuleje winno być dokonywane ruchem postępowym połączonym z lekkimi, obukierunkowymi obrotami.



Rys. 4

mi. Należy pamiętać, że może również wystąpić przypadek przeciwny polegający na oddaleniu się bolca z prostopadłościenną główką od odpowiedniej tulei o wielkość przekraczającą połowę zakresu pomiarowego czujnika. Uwidoczni się to w postaci uzyskania na czujniku włożonym w tuleję odczytu identycznego z odczytem na czujniku, którego nóżka nie jest wciśnięta (przy krańcu zakresu). Dla wykonania pomiaru w tych przypadkach zachodzi potrzeba zmiany wykręcanej nóżki czujnika odpowiednio na krótszą lub dłuższą.

Konserwacja szczelinomierzy XYZ polega na oczyszczaniu wewnętrznych powierzchni tulei oraz ich kołnierzy jak również powierzchni styku nóżki czujnika na odpowiednich ściankach prostopadłościennej główki bolca przy wykorzystaniu wyciora ze szczoteczką. Ponadto przy wykorzystaniu przenośnego szczelinomierza należy po każdym pomiarze zakładać na zastabilizowane bolce specjalne osłony w formie kapturek, chroniące przed zanieczyszczeniami.

Seria 70 egzemplarzy stałego szczelinomierza XYZ została zastabilizowana w jednej z zapór wodnych i poddana wstępnym badaniom sprawności działania. W okresie 2,5 roku wykonano przy użyciu tych szczelinomierzy około 90 cykli pomiarów, które wykazały prawidłowość działania urządzeń, wysoką dokładność wyników i wygodę prowadzenia prac pomiarowych. Jednocześnie okazało się, że mimo niekorzystnych warunków środowiska w rozpatrywanym okresie nie nastąpiły zanieczyszczenia szczelinomierzy w stopniu utrudniającym pracę i obniżającym wartość wyników pomiaru. Jako wniosek z przeprowadzonych prób wysunięto celowość wprowadzenia drobnej zmiany konstrukcyjnej, polegającej na zwiększeniu średnicy tulejek oraz zainstalowaniu na czujniku odpowiedniej oprawki z kołnierzem służącej do wkładania w tulejki. Taka zmiana powinna spowodować większą wygodę i łatwość wkładania czujnika w tuleje jak również w pewnym stopniu chronić nóżkę czujnika przed potrąceniem o tuleje przy nieuważnym wkładaniu. Zwiększenie średnic otworów przyczynia się również do ułatwienia w oczyszczaniu tulej i powierzchni prostopadłościennej główki bolca pomiarowego.

Koncepcja przenośnego wariantu szczelinomierza XYZ powstała pod wpływem obaw wysuniętych przez BP „Energoprojekt” a dotyczących niekorzystnego przewidywanego wpływu zanieczyszczeń szczelinomierza stałego. Wobec narzucenia gabarytów przenośnego szczelinomierza dostosowanych do rozstawu bolców 1, 2, 4 w wierzchołkach trójkąta o boku 254 mm otrzymano przyrząd mało portatywny. Wspomniane gabaryty podyktowane były chęcią uzyskania niezależnej kontroli pracy prototypu szczelinomierza XYZ przez pomiar deformetrem firmy Huggenberger. Dla umożliwienia takiej kontroli zaprojektowano dodatkowo specjalne kapturki na wspomniane uprzednio bolce, służące do ustawiania deformetru

Huggenbergera. W przypadku stwierdzenia w toku dłuższych badań pełnej sprawności prototypu i celowości produkowania przenośnych szczelinomierzy zajdzie konieczność wprowadzenia zmiany gabarytów — głównie znacznego skrócenia poprzecznych ramion wspornika. Dotychczas przeprowadzono jedynie wstępne badania laboratoryjne, które wykazały prawidłową pracę urządzenia i jego dostateczną sztywność konstrukcyjną.

Tablica 1

Dziennik odczytów szczelinomierza stałego Nr . . .

Data	Warunki	x	y	z	—dx mm	dy mm	—dz mm	
		odeczyt w komparatorze						
		wynik pomiaru						
20. VII. 64	tp. 21° wg. 26820 wd 23450	567 501 66	348 —153	498 — 3				
28. VII. 64	tp. 19° wg. 26850 wd 23450	548 500 48	340 —160	499 — 1	—0.18	—0.07	0.02	
6. VIII. 64	tp. 26° wg. 26870 wd 23450	547 501 46	342 —159	493 — 8	—0.20	—0.06	—0.05	

Szkic orientacyjny
Uwaga: dx, dy, dz wy-
rażają składowe przesunię-
cie bloku prawego
względem lewego

Szkic orientacyjny
Uwaga: dx , dy , dz wyrażają składowe przesunięcia bloku prawego względem lewego

Tablica 2

Dziennik odczytów szczelinomierza przenośnego na stanowisku Nr . . .

Data	Warunki	x	y	z	—dx mm	dy mm	dz mm
		odeczyty - na st. wzorc.					
		wynik pomiaru					
28. XI. 64		518 523 —5	496 503 — 7	543 486 57			
5. XII. 64		516 523 —7	491 504 —13	546 484 62	—0.02	—0.06	0.05
12. XII. 64		513 523 —10	498 503 — 5	544 487 57	—0.05	0.02	0.00

blok lewy

blok prawy

blok lewy

blok prawy

Szkic orientacyjny

Uwaga: dx , dy , dz wyrażają składowe przesunięć bloku prawego względem lewego

Szkic orientacyjny
Uwaga: dx , dy , dz wyrażają składowe przesunięcia bloku prawego względem lewego

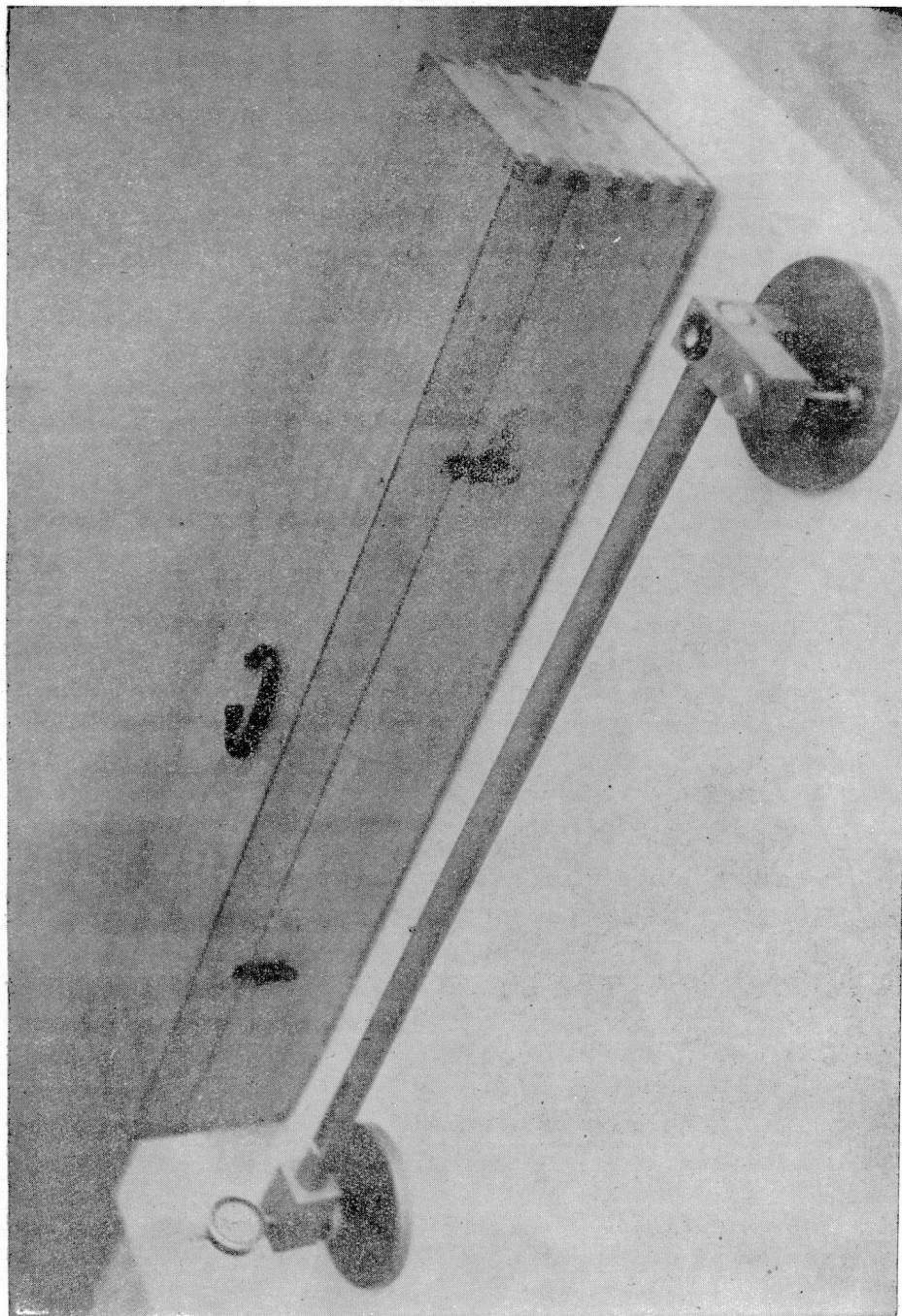
Klinometr

Jest to przyrząd służący do określania zmian pochylenia poszczególnych fragmentów budowli. Stanowiskiem pomiarowym jest para reperów zastabilizowanych na budowlu lub w jej wnętrzu we wzajemnej odległości $1\text{ m} \pm 1\text{ cm}$ i różniących się co do wysokości w granicach nie przekraczających $\pm 5\text{ mm}$, odpowiadających zakresowi pomiarowemu przyrządu. Oczywiście stabilizacja reperów winna być dokonana tak, aby początkowa różnica ich wysokości nie przekraczała około 2 mm , wówczas bowiem powstaje możliwość wyznaczania klinometrem zmian pochylenia związanych z odkształceniami w granicach do około $\pm 10'$.

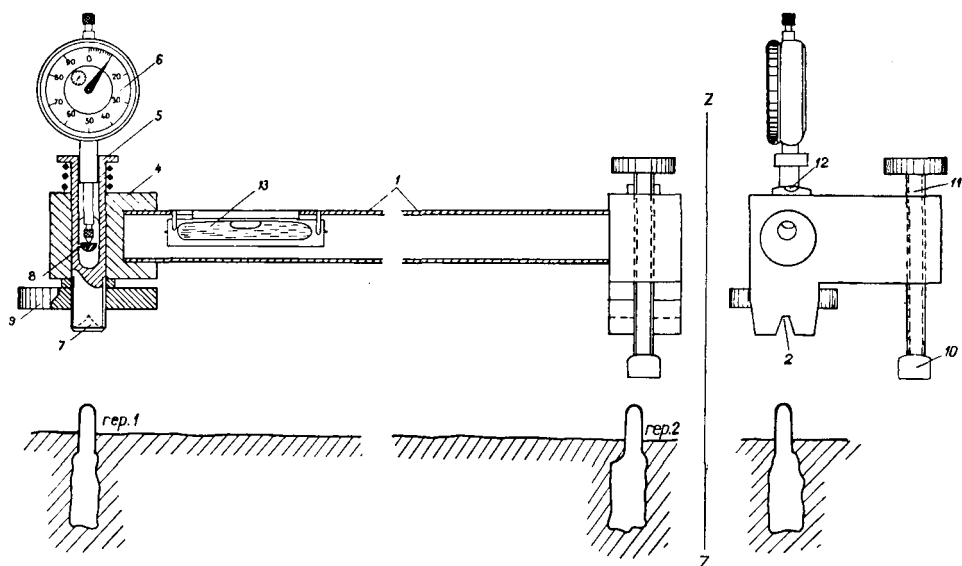
Znane są rozmaite konstrukcje klinometrów, opisane między innymi w literaturze krajowej [3], [4]. Przy projektowaniu omawianego dalej prototypu klinometru przyjęto jako myśl przewodnią maksymalne wykorzystanie bazy jaką jest wzajemna odległość reperów, maksymalne uproszczenie konstrukcji przyrządu pod względem technologii wykonania i obsługi przy pomiarach. Ponadto miano na względzie potrzebę otrzymania przyrządu możliwie portatywnego i posiadającego walory estetyczne. Zaprojektowany klinometr przedstawiony jest na rysunku 5. Rysunek 6 zawiera schemat klinometru.

Klinometr składa się z rury (1) sprzęgniętej ze stopką pryzmową (2) i stabilizatorem (3) oraz głowicą (4). W tulei wykonanej w głowicy porusza się w kierunku pionowym oś (5) sprzęgnięta z czujnikiem zegarowym (6) zakończona u dołu stopką stożkową (7). W rurze osadzona jest na stałe libela rurkowa (13). Nóżka czujnika zegarowego wspiera się na powierzchni kołka sprzęgniętego z głowicą. Mikrometryczny ruch osi względem głowicy uzyskuje się obracaniem nakrętki (9) wokół nagwintowanej części osi.

Dla wykonania pomiaru należy ustawić klinometr na reperach tak aby stopka stożkowa oparła się na główce jednego reperu zaś stopka pryzmowa na główce drugiego. W położeniu tym klinometr utrzymywany jest przez oparcie ruchomej nóżki (10) na powierzchni betonu lub specjalnej płytce zastabilizowanej obok reperu. Pokręcając śrubą nastawczą (11) doprowadzamy ustawiony na reperach klinometr do położenia, przy którym pęcherzyk libeli sferycznej zajmie położenie środkowe (w kierunku poprzecznym do osi rury). Wówczas doprowadza się do położenia środkowego pęcherzyk libeli rurkowej, obracając w tym celu nakrętkę (9). Obracanie to powoduje unoszenie lub opuszczanie głowicy i jednego końca rury (a więc zmiany pochylenia rury i libeli). Po doprowadzeniu pęcherzyka libeli rurkowej do położenia środkowego należy wykonać odczyt czujnika i zapisać wynik. Następnie należy przestawić klinometr tak, aby oś stała na reperze drugim zaś pryzmowa stopka na reperze pierwszym. W tym



Rys. 5 Klinometr ustawiony na bolcach z podstawkami



Rys. 6. Schemat klinometru (rzuty na pł. pionowe)

odwrotnym ustawieniu klinometru należy ponownie wykonać opisane uprzednio czynności ustawcze i odczytać czujnik zapisując otrzymany wynik. Przewyższenie między reperami obliczamy ze wzoru:

$$h_{1-2} = \frac{L - P}{2}$$

gdzie: L — odczyt czujnika przy pierwszym ustawieniu klinometru,

P — odczyt czujnika przy drugim ustawieniu klinometru.

Dla uzyskania prawidłowego wyniku pomiaru przewyższenia potrzebne jest spełnienie warunków:

1. Opisane czynności ustawcze winny być dokonane z należytą ostrożnością, bez uderzania klinometrem o repery lub inne przedmioty,

2. W czasie wykonywania pomiaru na stanowisku nie mogą wystąpić własne odkształcenia klinometru,

3. Czujnik winien wykazywać sprawność działania zaś libela rurkowa nie powinna podlegać jednostronnemu nagrzewaniu np. przez zbyt blisko umieszczone źródło światła.

4. Od momentu ustawienia przyrządu do odczytania czujnika winno upłynąć kilkanaście sekund czasu z uwagi na możliwość przemieszczania się pęcherzyka precyzyjnej libeli rurkowej.

Zagwarantowanie prawidłowości pojedynczego wyznaczenia przewyższenia nie jest praktycznie możliwe z uwagi na ewentualność nie zachowania któregośkolwiek z wymienionych warunków. Wobec tego, dla spraw-

dzenia wyników jak i zwiększenia dokładności wyznaczenia, pomiar należy wykonywać w dwu seriach przy czterech kolejno zmieniających się ustawieniach klinometru na reperach.

Na dokładność wyznaczenia aktualnej wartości przewyższenia dwu reperów składa się: czułość libeli rurkowej i dokładność doprowadzenia jej pęcherzyka do położenia środkowego (czułość mechanizmu poziomującego klinometr), dokładność odczytu czujnika, długość pochyłanego ramienia*), sztywność konstrukcji klinometru w czasie pracy na stanowisku pomiarowym.

W wykonanych dwu egzemplarzach klinometru zastosowano libele o przewagach 5" i 10". Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że dokładność wyznaczania przewyższeń z pomiaru w dwu seriach może być określona błędem średnim równym 0,01 mm co odpowiada dokładności kątowej wyznaczenia pochylenia odcinka łączącego jednoznacznie określone główki reperów równej 2". Stwierdzono jednocześnie, że klinometr jest dostatecznie sztywny, co wynika z identyczności wyników otrzymanych przy wielokrotnym jednakowym ustawianiu klinometru na reperach. Przy badaniach wyznaczano również dokładność określenia zmiany pochylenia (przewyższenia), wprowadzając w sposób sztuczny zmiany wysokości reperów i mierząc je bezpośrednio czujnikiem warsztatowym. Porównanie wyznaczenia bezpośredniego z wyznaczeniem przy wykorzystaniu klinometru wykazało zgodności w granicach dokładności odczytu czujnika.

Konserwacja klinometru polega na niedopuszczeniu do zanieczyszczania się czujnika i zatarcia osi oraz gwintu, na którym obraca się nakręt-

Tablica 3

Dziennik pomiaru zmian pochylenia klinometrem na stanowisku Nr . . .

Data	Warunki	L. poł.	P. poł.	L—P Różnica	Przewyższenie Δh mm	Zmiana przewyższ. dh mm	Zmiana pochylenia $dh \cdot 206''$
		502	310	192	0.96		
		502	312	190	0.95		
		392	423	— 31	—0.155	—1.11	—228''
		392	423	— 31	—0.155		
		324	493	—169	—0.845	—1.80	—372''
		324	493	—169	—0.845		

*) W znanych konstrukcjach klinometrów spotyka się błąd polegający na mocowaniu libeli na ramieniu odchylanym przez mikrometr względem bazy ustawionej na reperach, przy czym ramię to jest znacznie krótsze od bazy.

ka (9). Okresowo należy smarować układ ruchomej osi nie demontując go. Dopuszczalna jest wymiana czujnika na inny w przypadku uszkodzenia mechanizmu zegarowego. W tym celu należy odkręcić śrubkę mocującą czujnik w korpusie osi, znajdującą się pod sprężyną. Po wykonaniu pomiaru należy klinometr wytrzeć do sucha i pozostawić w suchym lecz nie- zbyt silnie ogrzewanym pomieszczeniu. Sposób prowadzenia dziennika pomiarowego ilustruje tablica 3.

Pion mechaniczny (wahadło fizyczne)

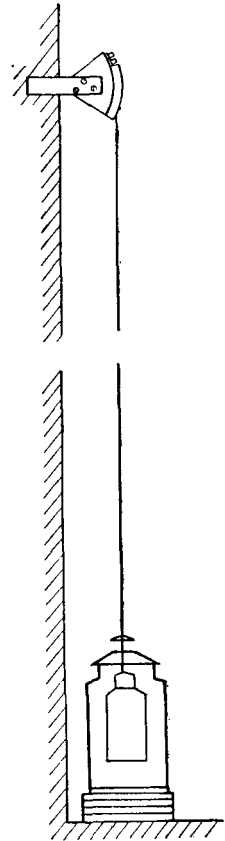
Pion mechaniczny zawieszany w szybie pionowym w badanym obiekcie służy do wskazywania w sposób ciągły zmian wzajemnego poziomego położenia punktu przytwierdzenia drutu pionu względem stanowisk obserwacyjnych lub rejestracyjnych sprzężonych z murem budowli na różnych poziomach szybu mieszczącego pion. Tym samym pion może służyć do wyznaczania zmian pochylenia lub wygięcia poszczególnych fragmentów budowli w płaszczyznach pionowych.

Pion mechaniczny składa się z: urządzenia do przytwierdzania drutu, stabilizowanego w murze budowli, obciążnika zawieszonego na drucie i naczynia z olejem ustawionego w takim położeniu, aby zwisający na drucie obciążnik znajdował się w oleju lecz nie dotykał naczynia. Pion mechaniczny ma za zadanie usytuowanie drutu w linii pionowej, względnie doprowadzenie go do oscylowania względem tej linii przy możliwie małej amplitudzie wahań. Praktycznie drut posiada swobodę regularnego oscylowania wokół linii pionu spowodowanego wpływem ruchu obrotowego ziemi (w granicach niewyczuwalnych pomiarem) oraz ruchu spowodowanego wpływami środowiska. Wpływy środowiska mają swe źródło w ruchu powietrza, uderzaniu o drut kropki i strug spadającej szybem wody, w drganiach budowli oraz zmianach temperatury powodujących zmiany długości drutu i obroty z obciążnikiem wokół osi. Przy konstruowaniu pionu wzięto pod uwagę potrzebę możliwie jak największego uniezależnienia sposobu zwisania drutu od niekorzystnych warunków środowiska. W związku z tym wykorzystano drut o wysokiej wytrzymałości na rozerwanie i o małej powierzchni przekroju (drut stalowy niklowany $\varnothing$ 0,28 mm o wytrzymałości na rozerwanie w granicach około $160 \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2}$). Obciąż-

nik zaprojektowano w postaci walca stalowego o wadze 6 kG. Urządzenie do zawieszenia drutu stanowi wspornik z ceownika zabetonowany w murze, zakończony wycinkiem rolki z wytoczonym na obwodzie rowkiem w kształcie litery V. Drut przytwierdza się przy pomocy śrubki z podkładką. Przytwierdzenie obciążnika do drutu dokonuje się przy pomocy zacisku wykonanego w główce obciążnika wykręcanej z niego podobnie jak

w pionach sznurkowych do centrowania teodolitów. W uprzednio stosowanych konstrukcjach pionów mechanicznych obciążniki zaopatrzone były w urządzenia do podciągania ich na drucie w miarę rozciągania się drutu pod wpływem długotrwałego obciążenia. W obecnym rozwiązaniu zastosowano wzamian podciągania obciążników podkładki pod ustawiony na podszybiu zbiornik z olejem, których kolejne usuwanie w miarę wyciągania się drutu zabezpiecza przed zetknięciem się obciążnika z dnem zbiornika.

Z uwagi na stwierdzone szybkie zużywanie się oleju służącego do tłumienia wahań obciążnika występujące wskutek wypierania go z naczynia przez wodę kapiącą z szybu, zastosowano zbiorniki zabezpieczone specjalnymi kapturami z wyciętym otworem o średnicy odpowiadającej przewidywanemu zakresowi przemieszczeń drutu względem ustawionego na podszybiu zbiornika. Zabezpieczenie przed możliwością kapania wody do zbiornika przez ten otwór polega na przytwierdzeniu do drutu gumowego kapturka odprowadzającego wodę ściekającą po drucie poza krawędzie otworu. Należy podkreślić, że w stosunku do podobnego rozwiązania w pionach mechanicznych konstrukcji Huggenbergera rozwiązanie opisane różni się znacznym zmniejszeniem wymiarów kapturka przytwierdzonego do drutu co zmniejsza oddziaływanie ruchu powietrza na zachowanie się pionu. Kapturek przytwierdzony do drutu może być wzdłuż niego przesuwany. Prawidłowe ustawienie kapturka na wysokości kilku cm ponad otworem kaptura na zbiorniku umożliwia jednocześnie z zabezpieczeniem przed wodą wykorzystanie go do kontroli zmian długości drutu. W przypadku wydłużenia się drutu kapturek ten obniży się w stosunku do krawędzi otworu. Wówczas należy zbadać, czy nie nastąpiło zetknięcie obciążnika z dnem zbiornika, którego położenie należy w takim przypadku obniżyć. Rysunek 7 zawiera schemat pionu mechanicznego.

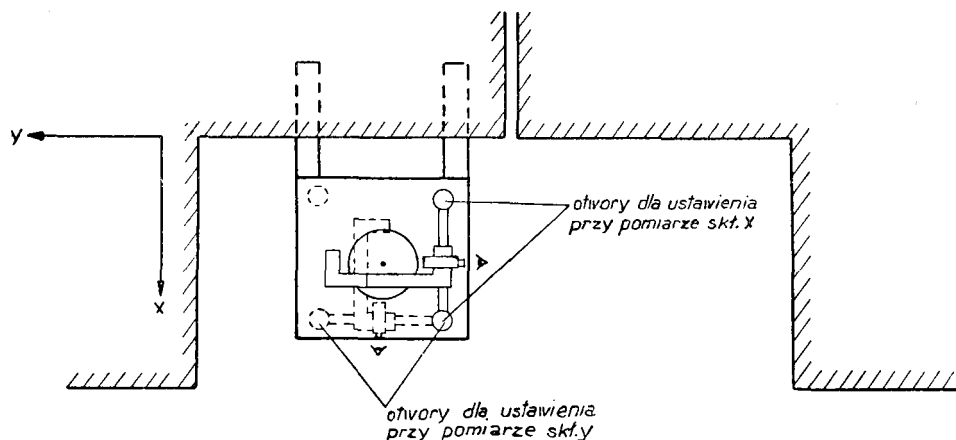


Rys. 7 Schemat pionu mechanicznego

Urządzenie do pomiaru aktualnych położań drutu

Dla stwierdzenia wielkości poziomego przemieszczenia fragmentu muru na pewnym poziomie w szybie względem punktu zawieszenia drutu pionu stabilizuje się w murze wsporniki służące do jednoznacznego ustawiania przenośnego urządzenia pomiarowego.

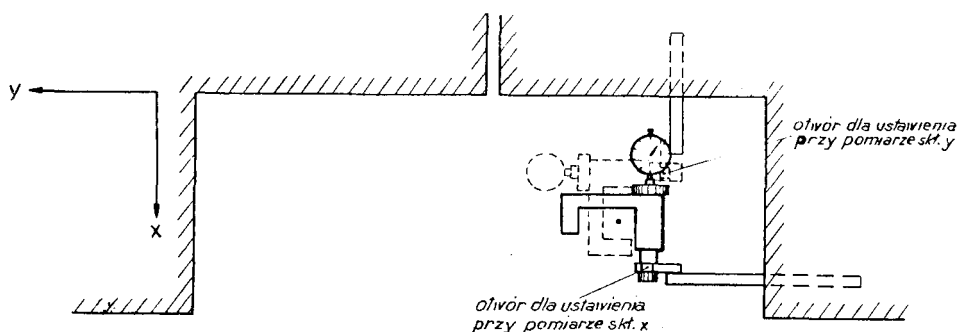
Dotychczas stosowano w Polsce urządzenie pomiarowe w postaci lunetki przesuwanej ruchem mikrometrycznym po metalowym ramieniu z podziałką milimetrową i noniuszem. Urządzenie to ustawia się przy pomocy kołków stalowych na otworach wykonanych w płytkach stolika przytwierdzonego do muru. Rysunek 8 podaje schematycznie w widoku z góry ustawienie tego przyrządu na stoliku pomiarowym.



Rys. 8 Ustawienie urządzenia pomiarowego starego typu

Urządzenie pomiarowe może być ustawiane na stoliku w dwu prostopadłych do siebie położeniach, co umożliwia pomiar dwu składowych zmian położenia drutu pionu względem stolika.

Wobec stosunkowo małej dokładności wspomnianego urządzenia pomiarowego, dosyć uciążliwej obsługi i błędnego zaprojektowania systemu ustawczego (zaklinowywanie się kołków w otworach) zaprojektowano prototyp urządzenia pomiarowego, którego idea działania opisana została szczegółowo w [2] (rys. 22b i tekst na stronach 182—184, 187—188). Urządzenie to, pozwalające na obserwację cienia drutu na płaszczyźnie płytki

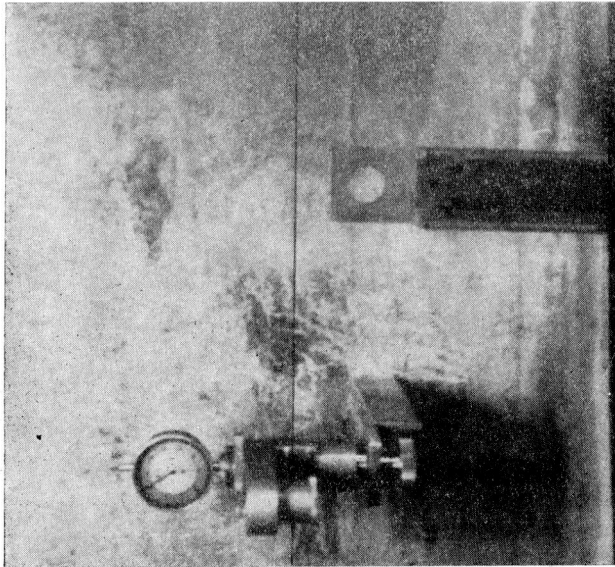


Rys. 9 Ustawienie urządzenia pomiarowego nowego typu

celowniczej, zaopatrzone jest w czujnik zegarowy dla wykonywania odczytów położenia drutu. Jest ono przytwierdzone na stanowisku pomiarowym w sposób jednoznaczny do płytek mocujących na dwu wspornikach, zabetonowanych w murze we wzajemnie prostopadłych położeniach.

Rysunek 9 podaje schematycznie w widoku z góry ustawienie nowego urządzenia pomiarowego na stanowisku pomiarowym drutu pionu mechanicznego.

Rysunek 10 zawiera widok stanowiska pomiarowego z zamocowanym w jednym z położen nowym urządzeniem pomiarowym.

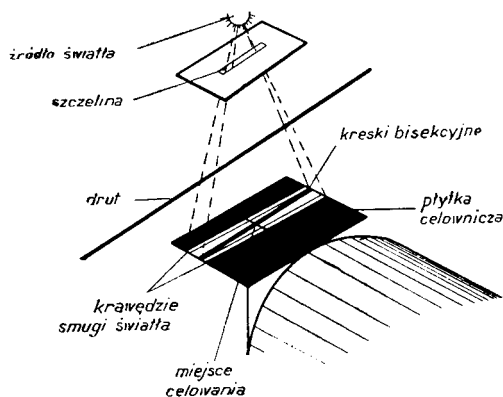


Rys. 10. Stanowisko pomiarowe pionu mechanicznego

Pomiar składowej położenia drutu względem zabetonowanego wspornika z płytką mocującą wykonuje się następująco. Przytwierdzamy urządzenie pomiarowe do płytki mocującej przy pomocy nakrętki sprzęgającej. Włączamy światło uzyskując jasną smugę na powierzchni płytki celowniczej. Smuga ta winna zawierać w swych granicach kreski bisekcyjne, nacięte na płytce celowniczej. Obracamy nakrętkę ruchu leniwego aż do uzyskania pozycji cienia drutu wprowadzonego w pole widzenia wiązki świetlnej symetrycznej w stosunku do kresek bisekcyjnych. Sytuację uzyskaną w takim położeniu przyrządu względem drutu pokazuje schematycznie w rzucie aksonometrycznym rysunek 11.

Obserwację cienia drutu przy doprowadzaniu go do położenia symetrycznego względem kreski bisektora prowadzi się okiem nieuzbrojonym z dowolnie obranej pozycji (z odległości 25—50 cm i z kierunku tworzą-

cego z płaszczyzną płytki celowniczej kąt nie mniejszy od 60°). Tak duża swoboda w ustawieniu oka w czasie obserwacji jest bardzo korzystna z uwagi na warunki pracy na stanowisku pomiarowym, obserwator bowiem może wybrać wygodną pozycję całego ciała w stosunku do otacza-



Rys. 11

jących stanowisko przedmiotów (drabinki w szybie, ścian, rynienki odprowadzającej do ścieku wodę spływającą szybem itp.).

Po uzyskaniu wspomnianego położenia cienia drutu wykonujemy odczyt czujnika i odejmujemy od niego odczyt zerowy, otrzymany po dociśnięciu ruchomej części urządzenia pomiarowego do oporu w kierunku płytki mocującej. Nacelowania i odczyty należy wykonywać kilkakrotnie

Tablica 4

Dziennik pomiaru zmian położenia drutu pionu Nr... na bloku 18 przy fudze 17/18

Data	Warunki	x	$-y$	dx mm	$-dy$ mm
		odczyt zerowy			
		wynik pomiaru			
30. IX. 64 g. 9 ²⁰		561	521		
		1000	1000		
		— 439	— 479		
3. X. 64 g. 8 ¹⁰		516	533		
		1001	1000		
		— 485	— 467		
				—0.46	0.12

Szkic orientacyjny
Uwaga: dx , dy wyrażają składowe przesunięcie punktu zawieszenia względem stanowiska pomiarowego

dla uniknięcia omyłek i zwiększenia dokładności wyznaczenia aktualnej pozycji drutu. Sposób zapisu wyników i obliczenia zmian składowych położenia drutu charakteryzuje tablica 4.

Działanie zaprojektowanych i zainstalowanych na jednej z zapor wodnych 5 egzemplarzy pionu mechanicznego z opisanym urządzeniem pomiarowym nowej konstrukcji zbadano w toku pomiarów eksperymentalnych i normalnych obserwacji o charakterze „produkcyjnym”. Długość drutu każdego z tych pionów wynosi około 40 m.

Stwierdzono, że nowe piony są mniej czułe na wpływ ruchu powietrza i uderzeń kapiącej wody aniżeli istniejące na tej zaporze piony starego typu, zaopatrzone w obciążniki w kształcie wrzecion ze skrzydełkami. Jest to spowodowane ukryciem obciążników wewnątrz zbiorników, zmianą kształtu obciążników z brył symetrycznych na obrotowe oraz ze zmianą drutów na bardziej wytrzymałe i zwiększeniem obciążenia od 35 do $100 \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2}$.

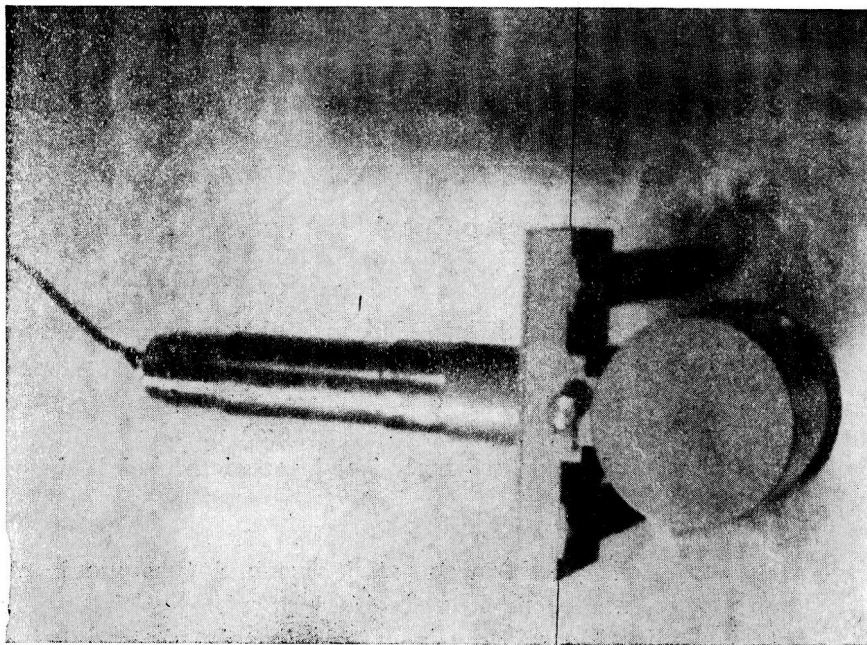
Odnosnie urządzenia pomiarowego stwierdzono, że ustawienie cienia drutu symetrycznie względem kresek bisektora z błędem średnim rzędu 0,01 mm jest łatwe do osiągnięcia nawet dla osób nie posiadających kwalifikacji pomiarowych. Również warta podkreślenia jest łatwość obsługi urządzenia oraz jednoznaczność celowania związana z obserwowaniem cienia zamiast samego drutu. Pewną niedogodnością zauważoną podczas pomiarów eksperymentalnych jest zastosowanie nietypowych baterii oraz niekorzystne gabaryty prototypu urządzenia pomiarowego, które to usterki będą usunięte w następnych prototypach urządzenia.

Rejestrator zmian położenia drutu

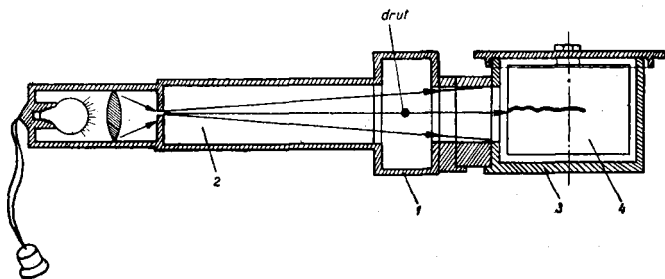
Dla uzyskania ciągłego obrazu zmian położenia drutu pionu mechanicznego skonstruowano rejestrator przedstawiony na rysunku 12 o schemacie jak na rysunku 13.

Konstrukcja rejestratora oparta jest na idei podanej w [2] Rejestrator mocuje się do dwu wsporników zabetonowanych w ścianie budowli na stanowisku pomiarowym. Drut pionu przebiega przez osłonę (1). Do osłony tej przytwierdzony jest rzutnik promieni rozbieżnych (2), których wiązka wybiega z otworu o średnicy 0,5 mm. Z przeciwnej strony do osłony przytwierdzona jest kaseta ciemniowa ze szczeliną (3) mieszczącą wewnątrz obracający się bęben (4) z nawiniętym na powierzchni materiałem światłoczułym. Obrót bębna z szybkością $1,7 \frac{\text{mm}}{\text{godz.}}$ wywołany

jest przez urządzenie zegarowe. Rzutnik światła zaopatrzoney jest w żarówkę 10 W, 24 V.



Rys. 12

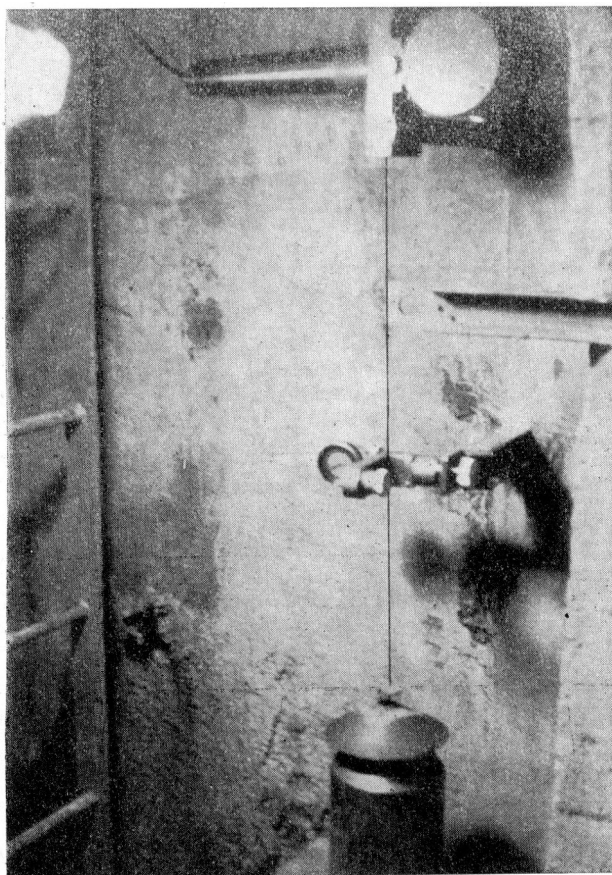


Rys. 13 Schemat rejestratora

Prototyp rejestratora zbadano praktycznie, montując go ponad stanowiskiem pomiarowym pionu, zaopatrzonym w urządzenie pomiarowe nowej konstrukcji (opisane w uprzednim rozdziale). Sprawdzono wyniki zarejestrowane w okresie kilku dni z wynikami pomiaru położenia drutu tego samego pionu uzyskanego przez częsty (w odstępach kilku godzin) bezpośredni pomiar. Momenty porównań wyników pomiaru i rejestracji oznaczono na fotogramie poprzez okresowe wyłączanie światła, co powodowało przerwy zapisu na materiale światłoczułym. Uzyskano w rezultacie dużą zgodność wyników, wskazującą na możliwość rejestrowania zmian położenia drutu z błędem średnim rzędu 0,02—0,05 mm w zależno-

ści od warunków środowiska pracy rejestratora oraz zachowania się drutu pionu mechanicznego.

Rysunek 14 przedstawia widok stanowiska pomiarowego, na którym przeprowadzono badania porównawcze. Na rysunku tym u dołu widoczny jest zbiornik z oliwą, wyżej wspornik z urządzeniem pomiarowym i wspornik dla mocowania tego urządzenia przy pomiarze drugiej składowej położenia drutu pionu, zaś u góry widoczny jest rejestrator. Obok urządzeń widoczna jest metalowa drabinka służąca do wchodzenia szymbem kontrolnym.



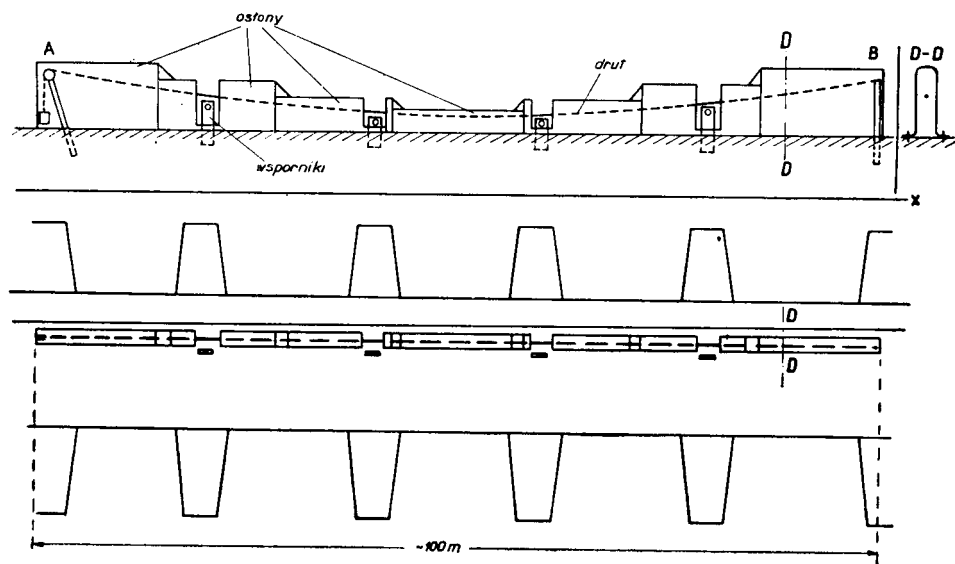
Rys. 14 Stanowisko obserwacji i rejestracji pionu mechanicznego

Omawiany rejestrator może być stosowany w pracach, przy których niezbędne jest określanie w sposób ciągły zachodzących zmian, natomiast przekazanie wyników do wiadomości może nastąpić z pewnym opóźnieniem — po wymianie i wywołaniu materiału światłoczułego.

Opisane urządzenie pomiarowe i rejestrator mogą służyć również do pomiaru i rejestrowania zmian strzałek wskazywanych przez druty zawieszane na urządzeniach opisanych w [2].

Urządzenie do mechanicznego wskazywania i wyznaczania odchyłeń od prostej

Na koronie jednej z niedużych zapór wodnych zainstalowano urządzenie umożliwiające wyznaczanie poziomych wzajemnych przemieszczeń szeregu punktów w kierunku prostopadłym do osi zapory. Urządzenie to składa się z dwu wsporników umieszczonych na przyczółkach zapory pomiędzy którymi napięto drut stalowy oraz z czterech wsporników służących do mocowania opisanego uprzednio urządzenia pomiarowego zstabilizowanych wzdłuż wspomnianego drutu na osiach kolejnych filarów części jazowej. Schemat urządzenia wskazującego zmiany poziomych i prostopadłych do drutu składowych przemieszczeń stanowisk urządzenia pomiarowego pokazany jest na rysunku 15.



Rys. 15 Schemat urządzenia mechanicznego do wyznaczania odchyłeń od prostej

Ponieważ drut został rozwieszony na koronie zapory, konieczne było dodatkowe zabezpieczenie go przed wpływem wiatru oraz opadów. W związku z tym ponad rozwieszonym drutem zbudowano ciąg osłon blaszanych, posiadających okienka ze zdejmowanymi wieczkami w miejscach stanowisk pomiarowych. Rysunek 16 pokazuje stanowisko pomiarowe z przytwierdzonym urządzeniem do odczytywania aktualnych po-

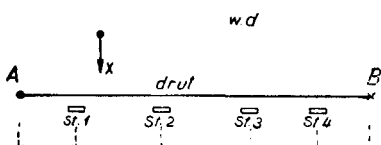
łożeń płytki mocującej względem rozwieszonego drutu. Sposób wykonania pomiaru jest tu identyczny jak w przypadku pomiaru aktualnego położenia drutu pionu mechanicznego. Należy tylko wspomnieć, że czynności pomiarowe winny być poprzedzone sprawdzeniem czy na skutek zmian temperatury, rozciągania się drutu lub uszkodzenia blaszanych osłon nie nastąpiło zetknięcie drutu z powierzchnią betonu lub wewnętrzną powierzchnią osłon. Sprawdzenie takie polega na wykonaniu odczytów położenia drutu na wszystkich stanowiskach, minimalnym poziomym przesunięciu jednego końca drutu i ponownym wykonaniu odczytów. W przypadku braku styczności drutu z otaczającymi przedmiotami różnice uzyskanych na poszczególnych stanowiskach odczytów winny być w granicach dokładności wyznaczenia proporcjonalne do stosunków odległości stanowisk od punktu przytwierdzenia drutu.

Badania opisanego urządzenia mają być przeprowadzane w sposób ciągły w okresie kilku lat. Obecnie stwierdzono, że zaprojektowany system osłon spełnia dobrze swą rolę zabezpieczenia przed wpływem wiatru, umożliwiając obserwację drutu z dokładnością rzędu 0,02 mm. Stwierdzono jednocześnie, że najwygodniej jest wykonywać pomiary wieczorem lub w nocy, natomiast w dziennych warunkach oświetleniowych obserwacja wymaga szczelnego osłaniania obserwatora i stanowiska pomiarowego kocem lub plandeką przed światłem. Stanowi to drobne utrudnienie pomiaru lecz nie wpływa niekorzystnie na jego wyniki.

Tablica 5

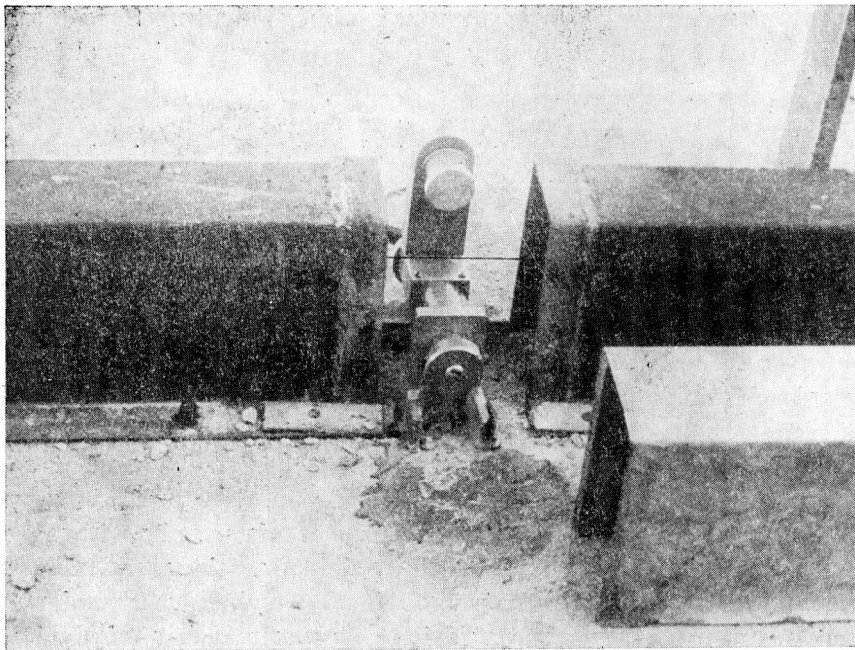
Dziennik pomiaru odchyleń od prostej

Data	Warunki	x_1	x_2	x_3	x_4
		odczyt zerowy			
		wynik pomiaru			
		$-dx_1$ mm	$-dx_2$ mm	$-dx_3$ mm	$-dx_4$ mm
6. IX. 64 10^{10}		463	607	590	597
		1000	1000	1000	1000
		— 537	— 393	— 410	— 403
6. IX. 64 10^{15}	po odchy-	541	759	821	899
	leniu drutu	1000	1000	1000	1000
	na punkcie	— 459	— 241	— 179	— 101
	B (kontrola)	0.88	1.52	2.31	3.02
3. XII. 64		582	745	730	665
		1000	1000	1000	1000
		— 418	— 255	— 270	— 335
		1.19	1.38	1.40	0.68



Szkic orientacyjny

Uwaga: wielkości dx wyrażają składowe przesunięć stanowisk względem linii łączącej punkty A i B zawieszenia drutu



Rys. 16. Stanowisko do pomiaru odchyleń od prostej

LITERATURA

- [1] *Huggenberger A. U.*: Talsperren-Messtechnik. Berlin 1951.
- [2] *Janusz W.*: Zagadnienie automatycznego wyznaczania odkształceń budowli przy pomocy modelu konstrukcji geodezyjnej w postaci stałej instalacji zespołu urządzeń pomiarowych. Prace IGiK t. XI z. 2/24.
- [3] *Kłopotciński W.*: Geodezja w projektowaniu elektrowni wodnych.
- [4] *Lazzarini T.*: Geodezyjne pomiary odkształceń i ich zastosowanie w budownictwie. W-wa PPWK 1961.

Recenzował: Prof. dr Tadeusz Lazzarini

Rękopis złożono w Redakcji w grudniu 1964 r.

ВОЙЦЕХ ЯНУШ

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ РАЗРАБОТАНЫ В ИГиК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

Р е з ю м е

Работа содержит описания прототипов следующих контрольно-измерительных приспособлений запроектированных и сделанных в Институте Геодезии и Картографии:

- 1) Щелемер XYZ (стационарный и переносный вариант)
- 2) Клинометр
- 3) Механический отвес (физический маятник)
- 4) Приспособление для измерения актуальных положений проволоки
- 5) Регистратор изменений положения проволоки
- 6) Приспособление для механического воссоздания отклонений от прямой.

Представленные приспособления являются частично вполне оригинальными разработками (щелемер, измерительное приспособление, регистратор) или включают некоторые усовершенствованные решения относительно раньше существующих приборов.

В работе приведены результаты исследований прототипов и изложено описание способа пользования этими приборами при измерениях.

В общем представленные прототипы характеризует простота конструкции и обслуживания, а также высокая точность результатов измерений.

Приборы устойчивы на неблагоприятные условия среды в какой их применяют и, по мнению автора, заслуживают на широкое применение при определении деформаций таких сооружений как нпр. водные плотины.

В работе подчеркивается надобность введения в последующих прототипах некоторых небольших изменений, относящихся главным образом к габаритам приборов для увеличения выгоды в производстве измерений.

WOJCIECH JANUSZ

CONTROL DEVICES FOR DETERMINING THE RELATIVE
DEFORMATIONS OF EDIFICES, WORKED OUT IN THE INSTITUTE
OF GEODESY AND CARTOGRAPHY

S u m m a r y

This paper contains a description of specimens of some control devices projected and worked out in the Institute of Geodesy and Cartography, viz.:

- 1) Slit measuring device XYZ (fixed and portable type)
- 2) Clinometer
- 3) Mechanical plumb bob (physical pendulum)
- 4) Wire position measuring device
- 5) Wire position registrator
- 6) Deviation reproducing device

Some of these contrivances were originally devised (slit measuring device, wire position measuring device, wire position registrator), others are improvements of previously existing gadgets.

The paper deals with results of the specimen trials and instructions of use. In general the specimens are of simple construction and easy to run but of high accuracy. They are resistant to the rugged environment and according to the Author's opinion, they deserve a broad application in the deformation determining of such edifices as e.g. dams.

A necessity of further improvements is emphasised; these apply in general to the gabarits, which shall render the use of gadgets more comfortable.