

Metody precyzyjnego pomiaru odległości poziomych i pionowych

I. Metoda pomiaru odległości poziomych

Przy pomiarach realizacyjnych oraz pomiarach przemieszczeń często występuje potrzeba precyzyjnego mierzenia krótkich odległości poziomych, nie przekraczających 100 m. Pomiary i odłożenia związane z wytyczaniem osi elementów konstrukcji budowlanych nie następują na ogół poważniejszych trudności i wobec wymaganej dokładności w granicach $1\div 5$ mm mogą być z powodzeniem wykonywane taśmą stalową lub też przy użyciu dalmierzy elektronicznych różnych typów. Trudniejszy problem stanowi mierzenie lub odkładanie odległości związane z montażem maszyn i urządzeń, przy którym wymagane są dokładności w granicach $0,1\div 0,5$ mm. Wówczas taśma stalowa, jakkolwiek często jeszcze stosowana z braku lepszych dostępnych środków pomiarowych, w gruncie rzeczy nie umożliwia spełnienia stawianych wymagań dokładnościowych, zwłaszcza jeśli stosuje się ją bez korzystania z urządzeń pomocniczych gwarantujących zachowanie z dostateczną dokładnością ustalonej siły naciągu oraz bez korzystania z termometrów oporowych umożliwiających pomiar temperatury samej taśmy. Korzystanie z taśm inwarowych nie jest w warunkach krajowych realne z uwagi na ich brak, zaś stosowanie drutów inwarowych jest niekorzystne z uwagi na potrzebę domierzania innymi przymiarami dużych reszt, dochodzących do połowy standardowej długości drutu.

Spośród istniejących obecnie dalmierzy jedynie Mecometr 3000 firmy Kern umożliwia osiągnięcie w dobrych warunkach wspomnianych wyżej dokładności, jednak bardzo wysoka cena utrudnia zastosowanie go w większej ilości egzemplarzy przy pracach pomiarowych wykonywanych równocześnie w wielu zakładach przemysłowych. Wysoki koszt dalmierza stwarza też zwiększone ryzyko korzystania z niego w trudnych warunkach budowy, gdzie często spotyka się przypadki uszkodzenia lub zniszczenia sprzętu pomiarowego.

Z tego powodu w Instytucie Geodezji i Kartografii powstała koncepcja wykorzystania do precyzyjnego pomiaru odległości standardowych łat do niwelacji precyzyjnej, znajdujących się w dyspozycji większości zespołów geodezyjnych, prowadzących prace w budowanych lub modernizowanych i rozbudowywanych zakładach przemysłowych.

Łaty do niwelacji precyzyjnej mają w takim zastosowaniu bardzo istotne walory, wyrażające się następująco:

- 1) wysoka dokładność podziału taśmy inwarowej oznaczonego w jednolity sposób na całej długości łąty,
- 2) konstrukcyjne rozwiązanie stałego naciągu taśmy,
- 3) osłonięcie taśmy z trzech stron drewnianą obudową łąty, dzięki czemu jest ona w małym stopniu narażona na uszkodzenia mechaniczne,
- 4) znaczna odporność taśmy na zmiany długości pod wpływem zmian temperatury związana z małą wartością współczynnika rozszerzalności równego w przybliżeniu $\alpha = 2 \cdot 10^{-6}/1^{\circ}\text{C}$.

Niekorzystne cechy łąt to:

- 1) mała odporność taśm inwarowych na wstrząsy i uderzenia obudowy, wyrażająca się możliwością wystąpienia miejscowej zmiany długości,
- 2) możliwość rozregulowania się urządzenia do naciągu taśmy, powodująca jej odkształcenie sprężyste,
- 3) przenoszenie się wpływu zmian długości drewnianej obudowy, powstających głównie pod wpływem zmian wilgotności, na taśmę inwarową (wpływ ten jest bardzo mały ale nie można go wykluczyć).

W sumie jednak walory łąt wyraźnie przeważają nad ich niekorzystnymi cechami i przy zachowaniu niezbędnych środków ostrożności umożliwiają uzyskiwanie bardzo wysokich dokładności, zwłaszcza przy pomiarze stosunkowo krótkich odległości.

Metodę pomiaru odległości poziomych przy użyciu łąt do niwelacji precyzyjnej opracowano w trzech wariantach:

- 1) z wykorzystaniem teodolitu zaopatrzonego w nasadkę równoległościenną na lunecie (opisano w [2], [3]),
- 2) z wykorzystaniem pionownika optycznego zaopatrzonego w nasadkę równoległościenną, nałożoną na wydrążoną śrubę sprzęgową (opisano w [3]),
- 3) z wykorzystaniem tachimetru BRT 006 firmy Zeiss-Jena.

Trzeci wariant omówiony pobieżnie w [3] okazał się w wyniku przeprowadzonych badań terenowych najkorzystniejszy pod względem technologiczności procesu pomiarowego¹. Okazał się on najkorzystniejszy również z tego powodu, że nie wymaga kojarzenia teodolitu lub pionownika z nasadką równoległościenną przy zastosowaniu dodatkowych elementów łączących, dopasowywanych do posiadanych instrumentów, lecz wykorzystuje wprost istniejący tachimetr BRT 006 bez konieczności dokonywania jego adaptacji do omawianego celu².

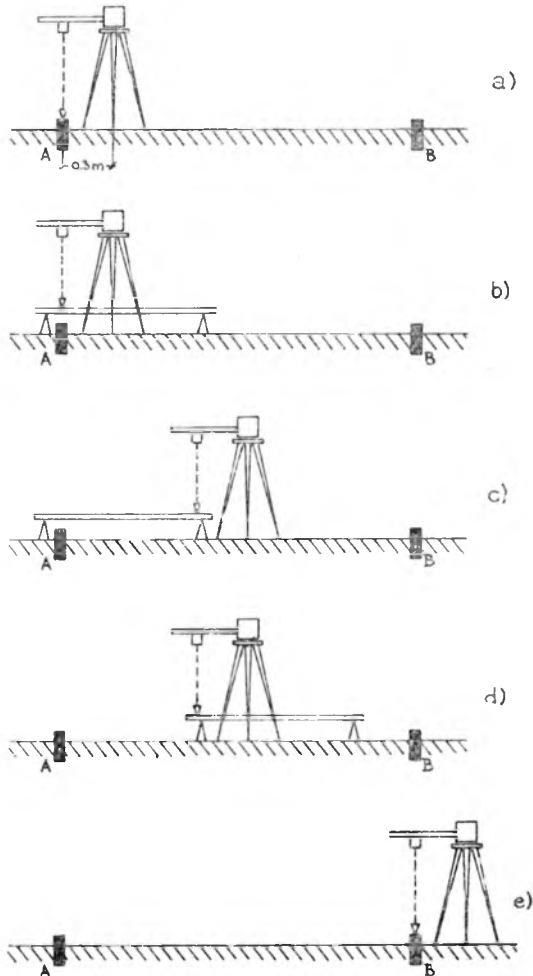
¹ W przeprowadzeniu badań brali udział mgr inż. Roman Ostrowski i st. inż. Stefan Zykubek.

² Z wyjątkiem uzupełnienia libelą rurkową w wypadku, gdy łąta oddalona jest znacznie od znaków ograniczających mierzoną długość.

Biorąc pod uwagę walory technologiczne wariantu metody pomiaru z wykorzystaniem tachimetru BRT 006 omówimy tu szczegółowo ten wariant.

1. Opis metody i technologii pomiaru

Istota omawianej metody pomiaru odległości wywodzi się z zasad niwelacji precyzyjnej, z tą różnicą, że łąta jest układana poziomo wzdłuż kierunku mierzonej długości i zamiast odczytu drobnego na mikrometrze płytki równoległościennej niwelatora precyzyjnego, w omawianej metodzie wykonuje się odczyt drobnony na podziałce wykonanej na liniale BRT,



Rys. 1

wzdłuż którego przesuwany jest ruchem leniwym pryzmat kierujący do lunety drugi obraz celu. Jest to możliwe dzięki rozmieszczeniu kresk podziału na liniale BRT co 0,5 mm i opisaniu kresk znajdujących się co 5 mm, podobnie jak na większości lat do niwelacji precyzyjnej. Przy posługiwaniu się tachimetrem BRT do omawianego zadania nie korzystamy z pierwszego obrazu celu uzyskiwanego bez pośrednictwa ruchomego pryzmatu.

Przebieg pomiaru odległości AB zilustrowany na schematycznym rysunku 1, jest następujący:

1) Ustawiamy BRT w pobliżu punktu A tak, aby jego liniał był równoległy do AB i zwrócony tak, aby wzrost podziału następował od B do A . W tym celu wzdłuż odcinka AB w odległości poziomej ok. 4 cm od znaków należy naciągnąć sznurek, a następnie ustawić BRT w przybliżeniu nad sznurkiem w odległości ok. 0,3 m od punktu A , jak to pokazano na rysunku 1a. Ponieważ najmniejsza odległość celowania lunetą BRT jest równa 1,8 m, a celowanie dokonywane jest w pozycji pionowej, należy przedtem przesunąć ruchomy pryzmat w pobliże końca liniału, gdyż wówczas jesteśmy w stanie nacelować na sznurek naciągnięty tuż nad znakami z normalnie stosowanej wysokości ustawienia instrumentu równej 1,5 m. Wynika to stąd, że na odległość celowania składa się odległość celu od ruchomego pryzmatu i odległość tego pryzmatu od lunety BRT.

Następnie należy BRT spoziomować i obrotem lunety wokół osi poziomej i pionowej doprowadzić ją do takiego położenia, w przybliżeniu pionowego, przy którym pozioma (poprzeczna) kreska lunety pokryje się z obrazem sznurka widzianym przez ruchomy pryzmat. Luneta BRT nie wymaga zasłaniania, ponieważ przy celowej skierowanej pionowo w dół pryzmat bazowy jest osłonięty przez obudowę instrumentu, a więc pierwszy obraz celu wyłącza się samoczynnie.

Z kolei należy przesunąć ruchomy pryzmat do takiego położenia, przy którym obraz punktu A pokryje się z podłużną (pionową) kreską lunety BRT. Przy tym położeniu pryzmatu należy wykonać odczyt na liniale BRT i zapisać go w dzienniku (tabl. 1) w kolumnie „wstecz”. Odczyt ten jest czterocyfrowy, przy czym jednostka ostatniego miejsca jest równa 0,05 mm i uzyskuje się ją przez oszacowanie dziesiątych części odległości między sąsiednimi kreskami podziału na liniale BRT.

2) Układamy poziomo łatę wzdłuż mierzonego odcinka tuż nad znakiem A w sposób zilustrowany na rysunku 1b tak, aby kierunek wzrostu podziału był zgodny z kierunkiem AB (odwrotny w stosunku do kierunku wzrostu podziału na liniale BRT). Łata powinna być zorientowana równoległe do sznurka i spoziomowana przy użyciu regulowanych podstawek i przyłożonej libeli. Następnie przesuwamy ruchomy pryzmat do takiej pozycji, przy której nastąpi symetryczne ustawienie obrazu najbliższej

Tablica 1

Dziennik pomiaru odległości łątami do niwelacji precyzyjnej i BRT 006

Stan.	Cel	Odczyt	Pomiar pierwszy				Pomiar drugi				Uwagi										
			wstecz		w przód		wstecz		w przód												
I	„A”	Ł					0	1	5												
		BRT		4	4	8	4		4	5	1	2									
II	Ł	Ł	5	8	8		0	0	9												
		BRT	3	7	7	3	3	7	3	7											
III	Ł	Ł	5	9	0		0	1	2												
		BRT	4	0	8	0	4	0	9	3											
IV	„B”	Ł	5	9	1																
		BRT	3	0	5	3	3	0	2	7											
		$\Sigma =$	1	9	2	2	9	0	1	8	9	6	9								
		$\Sigma_w - \Sigma_D =$	1	7	3	3	2	1													
	odległ.	A-B=	8	6	6	6	0	mm													

kreski podziału łąty i pionowej kreski lunety. Wykonujemy odczyt gruby z łąty i drobny z liniału BRT odpowiadający temu ustawieniu pryzmatu i zapisujemy go w dzienniku w kolumnie „w przód”. Przy zapisie należy zwracać uwagę na to, że 2 ostatnie cyfry odczytu z łąty powinny pokrywać się miejscami w kolumnach z dwoma pierwszymi cyframi odczytu z liniału BRT (zapis na zakładkę).

3) Nie poruszając łąty przestawiamy BRT wzdłuż mierzonego odcinka AB tak, aby w polu widzenia lunety znalazł się obraz końcowego odcinka podziału łąty, jak na rysunku 1c.

Po doprowadzeniu liniału do równoległości z osią podziału łąty i zpoziomowaniu go przesuwamy ruchomy pryzmat do pokrycia pionowej kreski lunety z osią obrazu najbliższej kreski łąty, wykonujemy odpowiadające temu położeniu pryzmatu odczyty na łącie i liniale BRT oraz zapisujemy je w kolumnie „wstecz”.

4) Nie poruszając BRT przekładamy łątę wzdłuż mierzonego odcinka AB tak, aby w polu widzenia lunety znalazł się obraz początkowego odcinka podziału łąty, jak na rysunku 1d, orientujemy ją według sznurka i poziomujemy, a następnie przesuwamy ruchomy pryzmat do pokrycia

pionowej kreski lunety z osią najbliższej kreski łąty, wykonujemy odczyty i zapisujemy w kolumnie „w przód”.

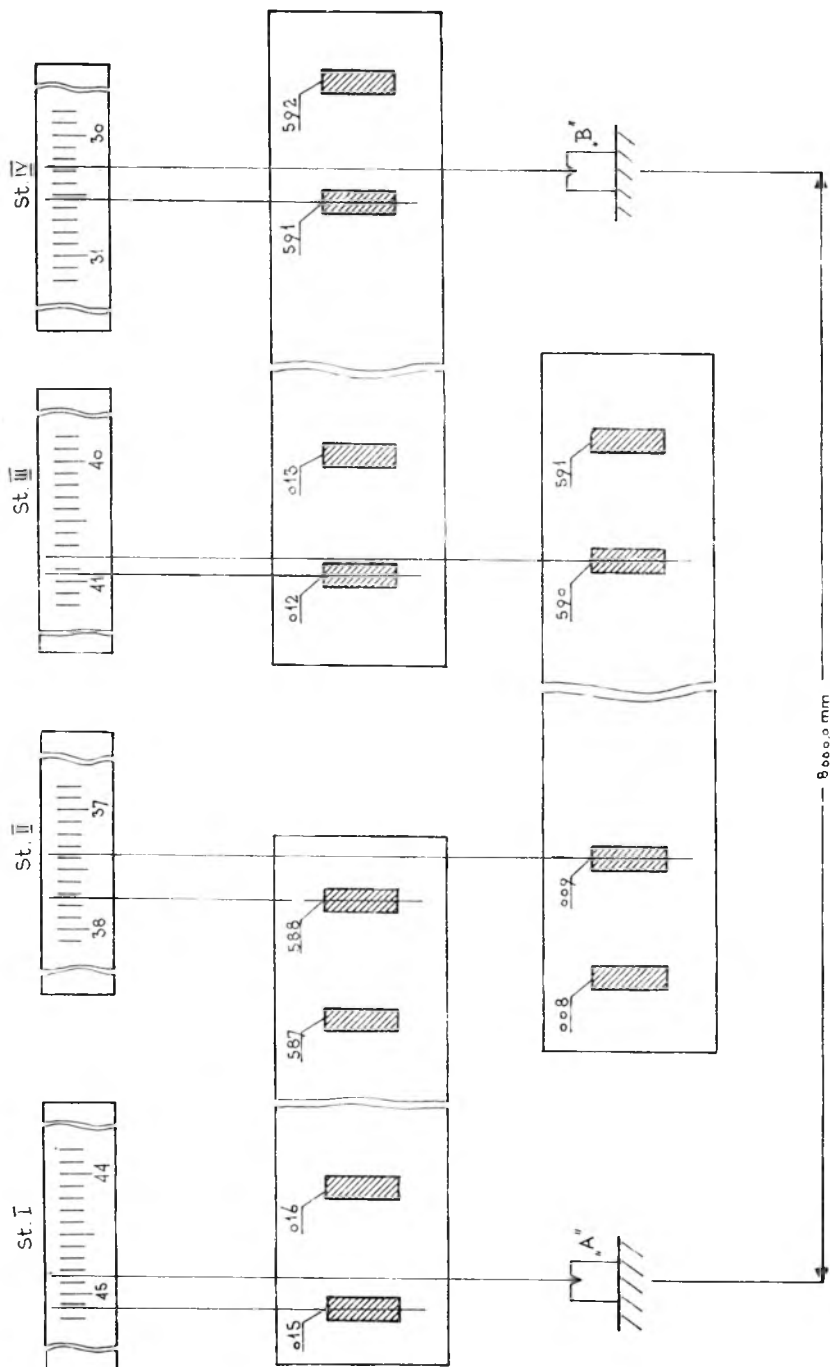
Dalsze czynności polegają na kolejnym przestawianiu BRT i łąty wzdłuż mierzonego odcinka AB i wykonywaniu wyżej omówionych odczytów aż do ustawienia BRT nad punktem B , nacelowania ruchomym pryzmatem na łątę ułożoną na ostatnim prześle i wykonania odczytu oraz nacelowania na punkt B ruchomym pryzmatem i wykonania odczytu (ostatni odczyt zapisany w kolumnie „w przód”). Takie ustawienie BRT ilustruje rysunek 1e.

Pomiar długości powinien być wykonany co najmniej dwukrotnie. Różnica wyników dwukrotnego pomiaru nie powinna przekroczyć $\Delta d = 0,1 \sqrt{n}$ mm, gdzie n — ilość ułożeń łąty na mierzonym odcinku.

Przy dokonywaniu nacelowań należy stosować zasadę minimalnego tylko przesuwania ruchomego pryzmatu do nacelowań na najbliższą kreskę łąty, wówczas bowiem uzyskujemy małe różnice odczytów drobnych przy nacelowaniach na łątę „wstecz” i na łątę „w przód”, zawierające się w granicach 0,5 cm, w wiązku z czym wyniki pomiaru nie są obciążone dosyć dużymi błędami systematycznymi podziału liniału BRT.



Rys. 2



Rys. 3

Na rysunku 2 pokazano łątę i BRT ustawione jak przy pomiarze. Do układania i poziomowania łąty służą specjalne podstawki ustawiane na powierzchni terenu lub konstrukcji. Orientowanie łąty równoległe do kierunku mierzonej długości dokonywane jest przez usytuowanie krawędzi łąty wzdłuż napiętego sznurka. Z tego powodu sznurek zostaje napięty mimośrodowo względem linii AB , w odległości równej połowie szerokości łąty, wówczas bowiem oś podziału łąty pokrywa się z linią AB . Poziomowanie łąty następuje przez regulację wysokości jej podparcia na podstawkach według wskazań libeli podłużnej ułożonej na obudowie łąty.

Do wyjaśnienia sposobu zapisywania dokonywanych odczytów służy przykład zawarty na rysunku 3 i w tablicy 1. Rysunek 3 zawiera schematycznie pokazany związek między nacelowaniami i odczytami wykonanymi na kolejnych stanowiskach na łącie i na liniale BRT. Na schemacie tym widoczne są konkretne odczyty, odpowiadające pionowym liniom symbolizującym położenie ruchomego przyzmatu przy nacelowaniach na znaki A i B oraz osie najbliższych kresek podziału łąty przy jej położeniach na 3-ch kolejnych przesłach. W formularzu (tabl. 1) pokazano zapis odczytów z rysunku 3 i obliczenie długości AB . Obliczenie to dokonane jest w sposób identyczny jak w niwelacji, tj. mierzona odległość jest równa różnicy sum odczytów „wstecz” i „w przód” podzielonej przez 2.

Zapis odczytów różni się od stosowanego w niwelacji tym, że odczyty „wstecz” i „w przód” wykonane z jednego stanowiska BRT zapisywane są w tych samych wierszach (wg stanowisk BRT).

2. Wymagana dokładność czynności pomiarowych i ocena dokładności pomiaru

Przy korzystaniu z BRT jesteśmy w stanie wykonywać nacelowania ruchomym przyzmatem na oś kreski łąty i odczyty położenia przyzmatu z łącznym błędem średnim rzędu 0,05 mm. Dokładność tę można uzyskać również przy celowaniu na znak geodezyjny pod warunkiem, że jest on wykonany w sposób umożliwiający nacelowanie bisekcyjne. Jak wykazały doświadczenia terenowe korzystnie jest, gdy znak ma formę podwójnego krzyża, którego kreski są nacięte w odstępach 2 mm i mają grubość rzędu 0,5 mm.

Przyjmując, że pomiar prowadzimy z pełnym wykorzystaniem długości zakresu pomiarowego łąty, tj. odcinkami po około 2,9 m (z wyjątkiem ostatniego przesła dostosowanego do długości odcinka resztowego), i pomijając wpływy błędów czynności pomocniczych otrzymalibyśmy przy tej dokładności celowania i odczytywania średni błąd względny pomiaru jednego przesła równy 1 : 40 000. Przyjmując następnie, że nie występują

błędy systematyczne, uzyskalibyśmy dokładność pomiaru długości dowolnego odcinka d , wyrażoną jego średnim błędem względnym, równą

$$\frac{m_d}{d} = \frac{1}{40\,000} \sqrt{\frac{2,9}{d}}, \quad (1)$$

tj. przy $d = 25 \text{ m}$ $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{115\,000}$,

$d = 50 \text{ m}$ $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{165\,000}$,

$d = 100 \text{ m}$ $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{235\,000}$.

Przy pomiarze mamy jednak do czynienia z dodatkowymi wpływami błędów następujących czynności pomocniczych:

- 1) poziomowania łąty i układania jej równoległe do kierunku mierzonej długości,
- 2) odrzutowania znaku geodezyjnego na poziom podziału łąty,
- 3) sytuowania liniału BRT równoległe do łąty,
- 4) pomiaru temperatury inwarowej taśmy łąty.

Określone wzorem (1) możliwe do uzyskania dokładności pomiaru stanowią podstawę do ustalenia dopuszczalnych błędów czynności pomocniczych tak, aby ich wpływ nie zwiększał nadmiernie błędu pomiaru, a z drugiej strony, aby ewentualne nadmierne wymagania dokładnościowe dotyczące tych czynności nie utrudniały zbytnio pomiaru.

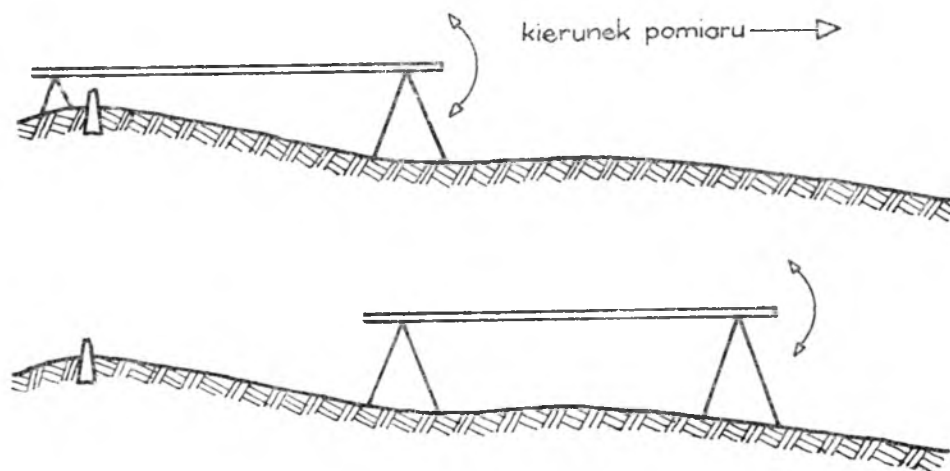
Największy wpływ o charakterze systematycznym na dokładność pomiaru mają błędy poziomowania i orientowania łąty. Przyjmując, że wpływ ten nie powinien przekroczyć $0,1 \frac{m_a}{d}$ otrzymamy dopuszczalne odchylenia łąty od równoległości do mierzonego odcinka AB w płaszczyźnie poziomej i od poziomu:

przy $d = 25 \text{ m}$	$m_a = 3,5'$,	tj. 1 mm/m ,
$d = 50 \text{ m}$	$m_a = 3,2'$,	1 mm/m ,
$d = 100 \text{ m}$	$m_a = 2,6'$,	$0,8 \text{ mm/m}$.

Błąd odrzutowania znaku geodezyjnego na poziom podziału łąty zależy jest od dokładności poziomowania BRT na kierunku równoległym do mierzonego odcinka i od różnicy wysokości znaku i podziału łąty. Tachimetr BRT jest zaopatrzony jedynie w libelę sferyczną, w związku z czym nie może być spozimowany z błędem mniejszym od $1'$. Aby błąd odrzutowania nie przekroczył $0,05 \text{ mm}$, należy więc sytuować łątę nie wyżej niż 150 mm nad znakiem. W wypadku, gdy nie jest to możliwe, np. z powodu zastabilizowania znaków w głębokich studzienkach, konieczne jest zaopatrzenie BRT w libelę rurkową usytuowaną równoległe do liniału. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że na dokładność odrzutowania

mają wpływ również ewentualne odchylenia prowadnicy ruchomego przyzmatu od prostoliniowości. Z tego powodu nawet w przypadku zaopatrzenia BRT w libelę rurkową, pionowa odległość znaku od powierzchni podziału łąty nie powinna przekraczać 500 mm.

Błąd sytuowania liniału BRT równoległe do podziału łąty ma dwójaki wpływ na dokładność pomiaru. Mianowicie, odchylenie liniału od poziomu powoduje różnicę między długością odcinka, o który przesuwa się przyzmat po liniale, a długością rzutu tego odcinka na łątę. Wpływ ten jest bardzo mały przy zachowaniu podanej wcześniej zasady przesuwania przyzmatu: jedynie w granicach odstępu najbliższych widocznych kresek podziału przy jednoczesnym przekładaniu łąty tak, aby jej podział w miejscu odczytu „wstecz” i „w przód” znajdował się w przybliżeniu na jednym poziomie. Z tego powodu, w celu ograniczenia błędów różnicy odczytów na liniale, wykonanych na jednym stanowisku, do wartości zaniedbywalnej 0,01 mm należy poziomować liniał z błędem nie większym niż 2' oraz sytuować podział łąty po jej przełożeniu na następne przęsło (w stosunku do poprzedniego przęsła) z błędem wysokości nie przekraczającym 10 mm. Z tego wynika zalecenie, aby łąta była poziomowana tylko przez regulację wysokości na jednej podstawie, znajdującej się w pobliżu końca łąty, natomiast wysokość podparcia w pobliżu miejsca odczytu wykonanego przed przełożeniem powinna być nie zmieniona. Zasadę tę ilustruje schemat układania łąty na kolejnych przęsłach zawarty na rysunku 4. Na rysunku tym oznaczono strzałkami na łukach miejsca dopuszczalnej regulacji wysokości podparcia łąty.



Rys. 4

miaru sztywnego, przy którym wpływ ugięcia przymiaru na jego długość będzie sprowadzony do minimum. Otóż w rozpatrywanym przez nas stosowaniu łąt rozmieszczenie punktów podparcia nie musi być ściśle zgodne z zaleceniami dotyczącymi przymiarów sztywnych, natomiast komparacja powinna odbywać się przy takim samym podparciu łąty, jak przy pomiarze.

Ze względu na to, że fragment podziału łąty znajdujący się w miejscu celowania przed przełożeniem i po przełożeniu na następne przeszło powinien znajdować się na tej samej wysokości, najkorzystniej jest, gdy podstawki znajdują się właśnie pod miejscami celowania (z wyjątkiem miejsc nad znakami geodezyjnymi, gdzie ze względu na potrzebę uzyskania widoczności znaków, podstawki ustawia się przed lub za znakiem).

Wreszcie należy dodać, że istnieje istotny wpływ usytuowania łąty w poziomie, a nie w pionie, jak to ma miejsce przy niwelacji. Badania [5] wykazały, że różnice między długością taśmy łąty leżącej poziomo i stojącej dochodzą do 0,02 mm. Różnice te wywołane są odchyleniami samej taśmy od prostoliniowości przy poziomym ułożeniu łąty, jak również zapewne nieco zmienionymi warunkami pracy urządzenia naciągającego taśmę. Z tego powodu w wypadku, gdy łąta ma być używana zarówno do niwelacji, jak i do pomiaru odległości poziomych należy ją komparować dwukrotnie — w pozycji poziomej i pionowej, a do wyników pomiarów wprowadzać poprawki komparacyjne uzyskane w takiej pozycji, w jakiej łąta jest stosowana przy pomiarze.

Błędy pomiaru temperatury przymiaru mają dosyć znaczny wpływ na dokładność wyznaczenia odległości. Jak wynika między innymi z [6] współczynnik rozszerzalności termicznej taśm inwarowych używanych w łątach jest zbliżony do $\alpha = 2 \cdot 10^{-6}/1^{\circ}\text{C}$. Oznacza to, że błąd określania temperatury taśmy nie powinien przekraczać 1°C , wówczas bowiem jego wpływ na dokładność określenia długości będzie zaniedbywalny w stosunku do błędu samego pomiaru.

Biorąc pod uwagę występowanie wyżej omówionych błędów czynności pomocniczych trzeba stwierdzić, że rzeczywista dokładność pomiaru długości będzie mniejsza od określonej wzorem (1). Błąd pomiaru uwzględniający wpływy błędów czynności pomocniczych można oszacować jako większy o około 50% od błędu określonego wzorem (1). Przeprowadzone prace doświadczalne wykazały też, że faktyczna dokładność pomiaru wyraża się błędem średnim rzędu 0,3 mm, przy pomiarze długości 25 m (1 : 82 000), i błędem średnim rzędu 0,6 mm, przy pomiarze długości 100 m (1 : 170 000). Błędy te są miarodajne do określenia dokładności pomiaru zmian długości przy założeniu, że w okresie między pomiarami długość taśmy w łącie nie ulega zmianie i przy założeniu, że podczas obydwu pomiarów dokonywane były nacelowania na te same fragmenty taśmy

(ograniczenie wpływu nierównomierności naniesienia kresek podziału taśmy).

Dokładność pomiaru odległości z uwzględnieniem wpływu błędów komparacji będzie nieco niższa od wyżej podanej. Można przyjąć, że uwzględniając wpływ błędów komparacji jesteśmy w stanie osiągnąć przy pomiarze błąd średni 0,4 mm na 25 m i 0,8 mm na 100 m.

II. Metoda pomiaru odległości pionowych

Przedstawianą tu metodę pomiaru opracowano głównie do precyzyjnego pomiaru różnic wysokości w ciasnych pomieszczeniach, np. w pionowych szybach i klatkach schodowych, gdzie ze względu na potrzebę uzyskania bardzo krótkich celowych nie jest możliwe zastosowanie metody niwelacji precyzyjnej w jej klasycznym wydaniu, to jest z użyciem niwelatora. Metoda ma zastosowanie również w tych przypadkach, gdy nie istnieje możliwość dostatecznie bliskiego ustawienia niwelatora względem łąt, co zachodzi wówczas, gdy pragniemy wyznaczyć różnicę wysokości po zewnętrznej powierzchni budowli. Ten przypadek zachodzi bardzo często zwłaszcza przy wyznaczaniu osiadań korpusów głęboko posadowionych budowli w trakcie ich wznoszenia w głębokich i rozległych wykopach (sekcje zapór wodnych, przepompownie itp.). Wreszcie spotykamy się niekiedy z przypadkiem przenoszenia wysokości po ścianie budowli powyżej powierzchni terenu, kiedy to w ogóle brak jest miejsc dla ustawiania niwelatora.

Dotychczas do pomiaru różnic wysokości w pionowych szybach lub wzdłuż pionowych ścian zewnętrznych, związanego z pomiarem przemieszczeń, stosowano pionowo zawieszane taśmy lub druty stalowe albo inwarowe z nakładanymi łątkami. Niedogodnością takiego sposobu jest zbyt mała dokładność oraz niejednolitość postępowania, wymagająca zwłaszcza odrębnego komparowania taśm i drutów na odcinkach równych mierzonej różnicy wysokości. Trzeba dodać, że w praktyce komparacja takich taśm i drutów prowadzona była przy ich poziomym ułożeniu lub rozwieszeniu, a więc w warunkach różniących się od warunków ich stosowania przy pomiarze.

Omawiana tu metoda opiera się na wykorzystaniu opracowanego do niej specjalnego przyrządu — mikroniwelatora, zastępującego niwelator precyzyjny³.

³ W opracowaniu dokumentacji urządzeń do stosowania omawianej metody brał udział st. inż. Stefan Zykubek, natomiast w pracach eksperymentalnych również mgr inż. Roman Ostrowski.

Istotną cechą mikroniwelatora jest możliwość celowania na podział łąty przez poziomo usytuowaną lunetę (mikroskop) z odległości rzędu 3 cm.

Elementami pomocniczymi są wsporniki stabilizowane w ścianie w ustalonych odstępach wzdłuż linii pionowej, służące do ustawienia mikroniwelatora i repery składane, stabilizowane w ścianie wzdłuż tej samej linii pionowej.

Ważną zaletą omawianej metody jest możliwość jednolitego opracowania wyników pomiarów niwelacyjnych niezależnie od tego, czy pomiar jest prowadzony przy użyciu niwelatora, czy też mikroniwelatora. Uwydatnia się ona zwłaszcza wtedy, gdy ciąg niwelacyjny mierzony jest na poszczególnych odcinkach w zależności od warunków terenowych niwelatorem lub mikroniwelatorem. Decyduje o tym możliwość korzystania z tej samej łąty na odcinkach ciągu mierzonych niwelatorem i innych odcinkach mierzonych mikroniwelatorem. Użycie tej samej łąty uwalnia nas od konieczności odrębnego na poszczególnych odcinkach ciągu uwzględniania zróżnicowanych poprawek komparacyjnych i termicznych, niezbędnego w przypadku stosowania taśm lub drutów.

1. Opis metody, urządzeń i technologii pomiaru

Na rysunku 5 pokazano schematycznie pomiar różnicy wysokości h_{1-5} przy użyciu niwelatora i mikroniwelatora. Zgodnie z rysunkiem różnice wysokości h_{1-2} , h_{4-5} w miejscach ciągu dostępnych do normalnej niwelacji mierzone są w znany sposób niwelatorem precyzyjnym, natomiast różnice wysokości h_{2-3} , h_{3-4} wzdłuż pionowej ściany szybu mierzy się mikroniwelatorem (5) przytwierdzanym do wsporników zastabilizowanych w tej ścianie. Repery 3, 4 są składane, dzięki czemu łątę można ustawiać wzdłuż jednej linii pionowej.

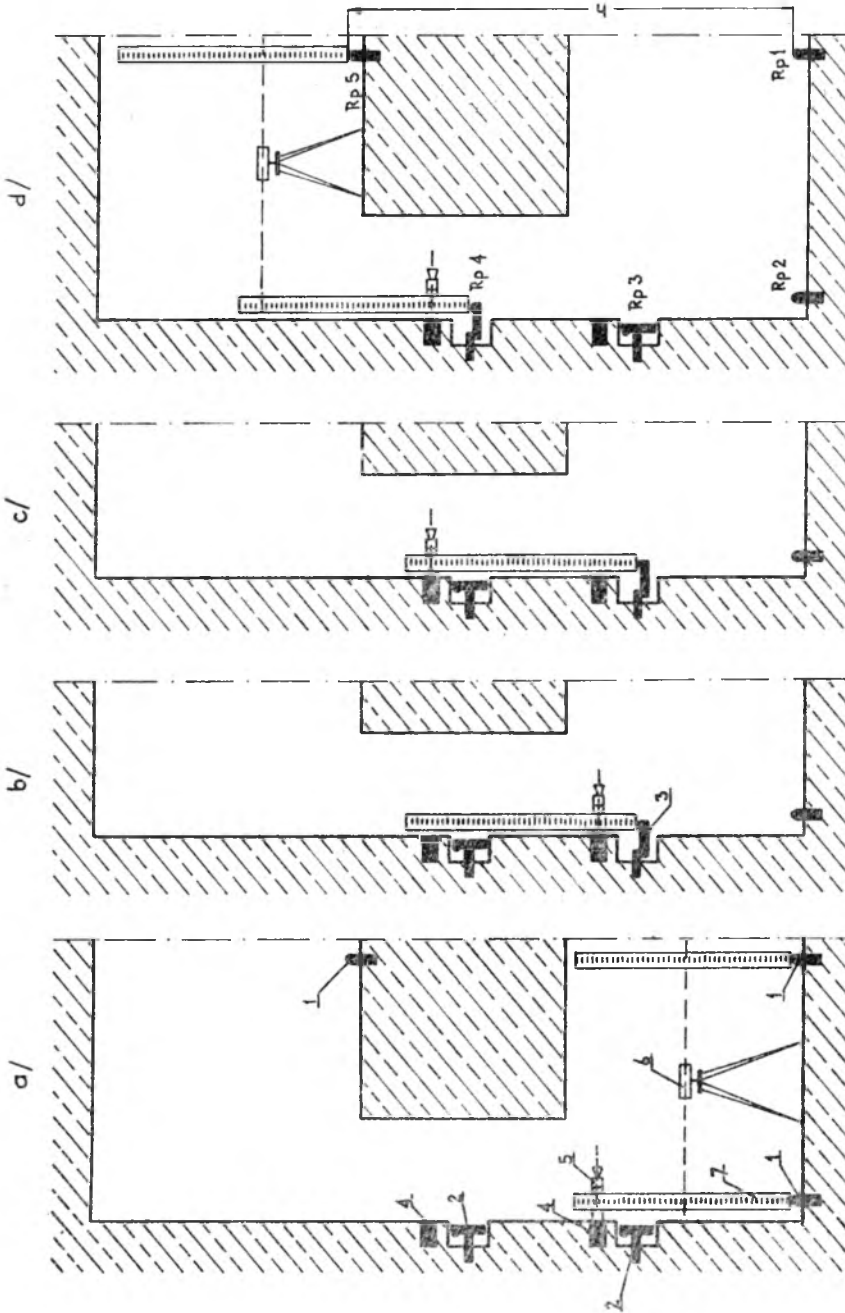
Na rysunku 5 pokazane są kolejne fazy pomiaru ciągu między reperami 1÷5.

Rysunek 5a pokazuje pomiar różnicy wysokości h_{1-2} niwelatorem precyzyjnym oraz odczyt przy użyciu mikroniwelatora na łącie „wstecz” ustawionej na reperze 2. Przy tym ustawieniu łąty reper 3 jest złożony.

Rysunek 5b pokazuje odczyt przy użyciu mikroniwelatora na łącie „w przód” ustawionej na reperze 3 po jego uprzednim rozłożeniu. Przy tej pozycji łąty złożony jest reper 4.

Odczyty przy użyciu mikroniwelatora umieszczonego jak na rysunkach 5a, b służą do wyznaczenia różnicy wysokości h_{2-3} .

Na rysunku 5c pokazano odczyt mikroniwelatora po przeniesieniu go na kolejne stanowisko, wykonany na łącie „wstecz” ustawionej na reperze 3.



Rys. 5. Schemat pomiaru różnic wysokości w szybie
 1 — reper czołowy, 2 — reper składany w pozycji złożonej, 3 — reper składany w pozycji rozłożonej, 4 — wspornik mikroskopu, 5 — mikroskop, 6 — niwelator,

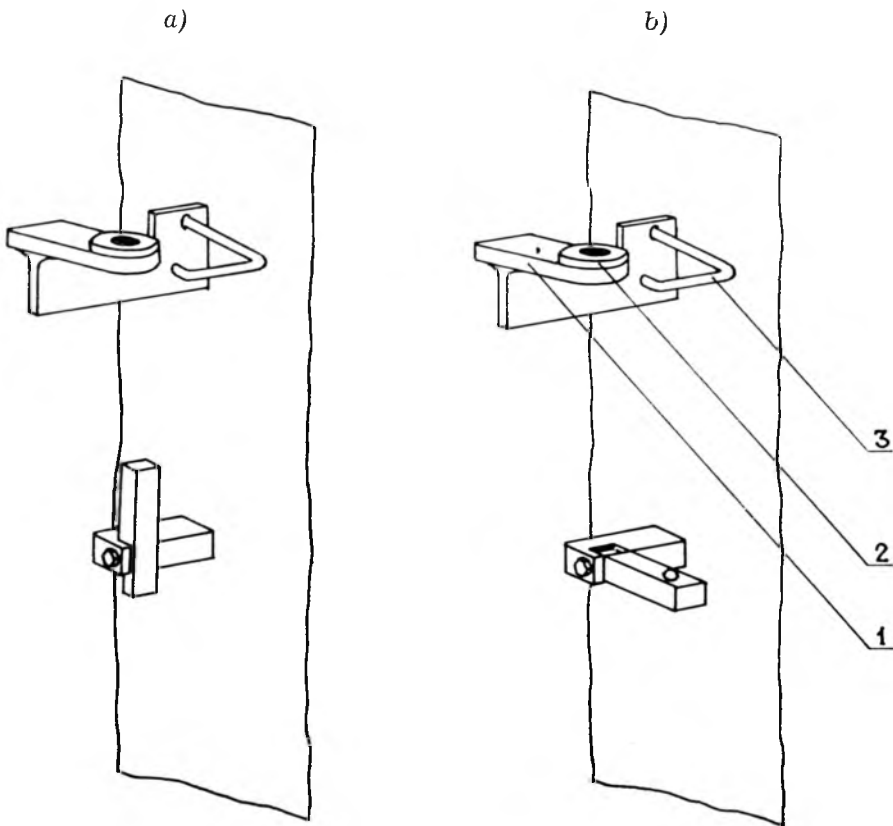
Na rysunku 5d pokazano odczyt przy użyciu mikroniwelatora na łacie „w przód”, wykonany po przestawieniu łąty na reper 4.

Odczyty mikroniwelatora ustawionego jak na rysunkach 5c, d służą do wyznaczania różnicy wysokości h_{3-4} .

Na rysunku 5d pokazano też pomiar różnicy wysokości h_{4-5} niwelatorem precyzyjnym.

Repery składane i wsporniki mikroniwelatora należy instalować w odstępach pionowych nieco mniejszych od długości podziału łąty, a każdy reper powinien być nieco niżej od odpowiedniego wspornika. Dzięki temu odczyt na łątę „w przód” wykonywany jest w pobliżu początku podziału zaś odczyt „wstecz” w pobliżu końca podziału tak, że pomiar różnic wysokości odbywa się przy zastosowaniu minimalnej możliwej do uzyskania liczby stanowisk mikroniwelatora, tj. z pełnym wykorzystaniem długości posiadanej łąty.

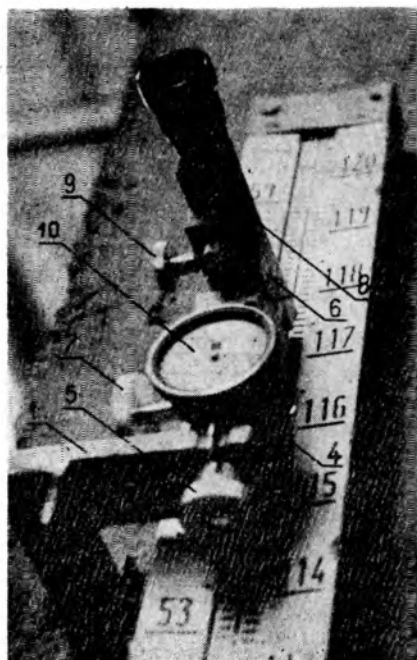
Na rysunku 6a pokazano reper w pozycji złożonej i wspornik (1) z tuleją (2) służącą do ustawiania mikroniwelatora oraz jarzmem (3) służącym



Rys. 6

do krępowania łąty, zaś na rysunku 6b reper pokazany jest w pozycji rozłożonej, przystosowanej do ustawiania na nim łąty.

Rysunek 7 pokazuje stanowisko mikroniwelatora z widocznym fragmentem łąty ustawionej na reperze „wstecz”.



Rys. 7

Zgodnie z rysunkiem 7 mikroniwelator składa się z:

— korpusu stałego (4), przytwierdzonego jednoznacznie do wspornika (1) przy użyciu śruby sprzęgowej przełożonej przez tuleję (2) i przy użyciu nakrętki sprzęgającej (5).

— korpusu ruchomego (6), przesuwanego pionowo ruchem leniwym wzdłuż prowadnicy osadzonej w korpusie stałym za pomoc pokrętki (7),

— celownika (8) w postaci mikroskopu, przesuwanego ruchem leniwym przy użyciu pokrętki (9) poziomo wzdłuż osi optycznej,

— urządzenia odczytowego (10) w postaci czujnika zegarowego, mierzącego pionowe przesunięcia mikroskopu (8) względem korpusu stałego.

Odczyt przy użyciu mikroniwelatora, podobnie jak przy użyciu niwelatora, składa się z dwóch części: odczytu grubego z łąty, równego liczbie kreski od początku podziału łąty do kreski, na którą celujemy, oraz odczytu drobnego, wykonywanego na tarczy czujnika zegarowego przy nacelowaniach mikroskopem na kreskę łąty (odczyt ten jest odpowiednikiem odczytu mikrometru płytki równoległościennej niwelatora precyzyjnego).

me przesunięcie mikroskopu (zbliżenie lub oddalenie od łąty) pokrętką (9) oraz doprowadzamy do ostrości obraz krzyża kresek obracając okularem mikroskopu.

W polu widzenia mikroskopu ze względu na duże jego powiększenie ($20\times$) i małą odległość celowania na łątę, widoczna jest w całości tylko jedna kreska podziału łąty. Ustalenie, która to jest kreska (a więc jaki jest odczyt gruby) następuje przez wprowadzenie w pole widzenia mikroskopu ruchomego wskaźnika (np. krawędzi linijki) przesuwanego po powierzchni podziału łąty. Odczyt gruby wykonujemy wg tego wskaźnika okiem nie uzbrojonym, tj. bez korzystania z mikroskopu. Odczyt gruby zapisujemy jako liczbę 3-cyfrową, w której jednostka ostatniego miejsca jest równa 5 mm. W przykładzie pokazanym na rysunku 8 odczyt gruby wynosi $L = 023$. Następnie za pomocą pokrętki (7) wywołujemy pionowe przesunięcie mikroskopu do nacelowania na dolną oraz na górną krawędź kreski podziału łąty przy użyciu poziomej kreski krzyża kresek mikroskopu. Rysunek 8a pokazuje przykładowo odczyt czujnika $d = 377$, uzyskany przy nacelowaniu poziomą kreską krzyża kresek mikroskopu na dolną krawędź kreski łąty. Odczyt ten jest również 3-cyfrowy, przy czym pierwszą cyfrę odczytujemy z małej tarczy zaś dwie następne z dużej tarczy. Jednostka ostatniego miejsca jest tu równa 0,01 mm.

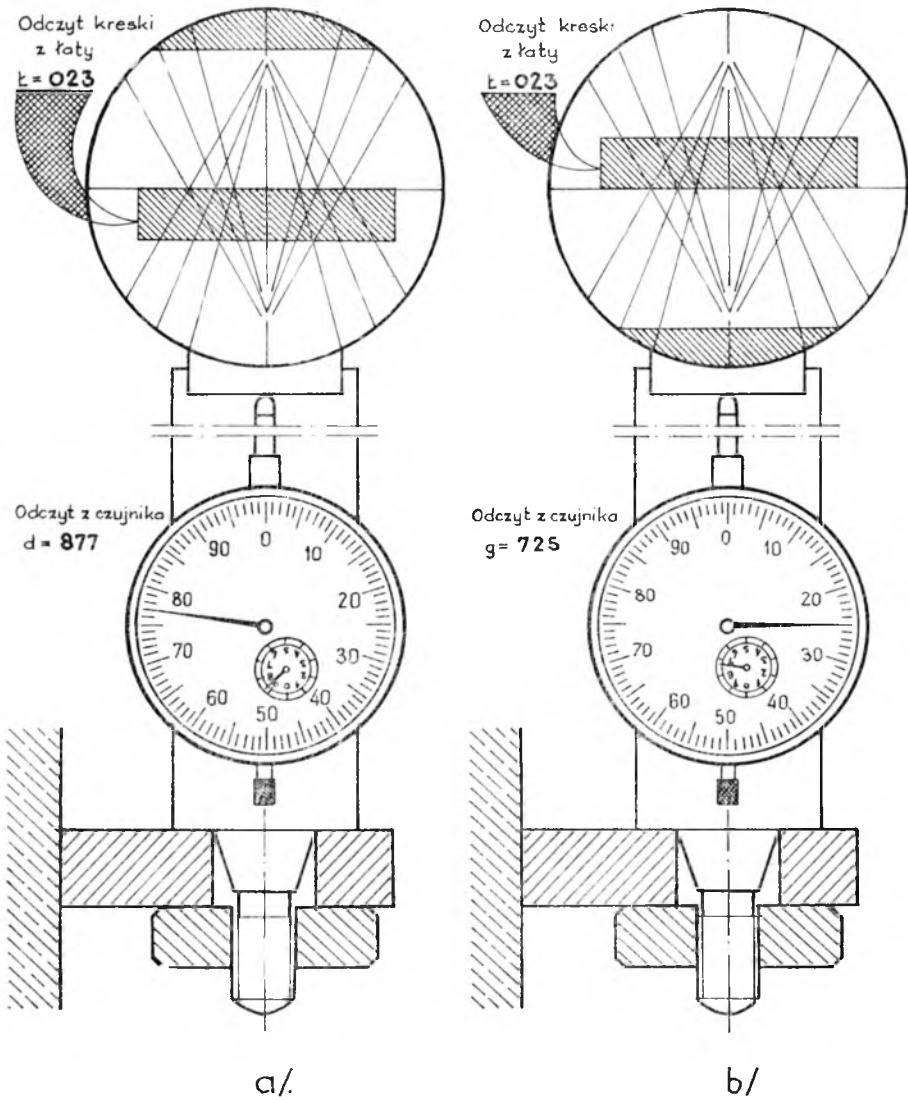
Rysunek 8b pokazuje przykładowo odczyt $g = 725$ uzyskany przy nacelowaniu na górną krawędź kreski podziału łąty.

Zapis odczytu grubego z łąty L oraz odczytów drobnych d i g z czujnika należy wykonać w następującym porządku:

L	023	
d	877	
g	725	
L_0	024 602	

Zsumowanie tych odczytów daje odczyt ostateczny $L_0 = 024\ 602$, w którym jednostka ostatniego miejsca jest równa 0,005 mm, w związku z czym odczyt ten wyrażony w metrach wyniesie $L_0 = 0,12301$ m.

Zawarty w tablicy 2 przykład zapisu przy pomiarze różnic wysokości, odpowiadającym rozmieszczeniu reperów, jak na rysunku 5, ilustruje zasadę, która umożliwi jednolite ujęcie i obliczenie wyników uzyskanych z pomiaru części ciągu niwelatorem i innej części tego ciągu mikroniwelatorem. Oznaczenia w kolumnie zatytułowanej „odczyt z” wyjaśniają, jakie odczyty należy wpisywać w poszczególnych wierszach. Tak więc L oznacza odczyt gruby z łąty, $M-d$, $M-g$ oznaczają odczyt dolny i górny z mikroniwelatora, zaś N oznacza odczyt mikrometru niwelatora. Odczyty M lub N występują w zależności od tego, czy pomiar na danym sta-



rys. 8

nowisku wykonywany jest mikroniwelatorem czy niwelatorem. W kolumnie „uwagi” należy wpisywać, który z instrumentów został zastosowany na danym stanowisku. Z tego właśnie powodu (dla jasności co do tego, który z instrumentów jest stosowany na rozpatrywanym stanowisku) dziennik pokazany w tabelicy 2 różni się od normalnego dziennika niwelacyjnego tym, że w tych samych wierszach zapisuje się wyniki pomiarów

z określonego stanowiska instrumentu, a nie wyniki pomiarów odnoszące się do łąty ustawionej na określonym reperze lub żabce.

2. Dokładność pomiaru

Dokładność pomiaru różnic wysokości omawianą metodą zależy od:

- 1) dokładności stabilizowania reperów i wsporników mikroniwelatora w ustalonych pozycjach względem linii pionowej,
- 2) dokładności czynności pomiarowych,
- 3) dokładności naniesienia podziału łąty i dokładności komparacji.

Jak już wspomniano, repery i wsporniki mikroniwelatora powinny być stabilizowane na jednej linii pionowej, wówczas bowiem możliwe jest pionowe ustawianie łąty podtrzymywanej w tej pozycji za pomocą jarzm (3) przytwierdzonych do wsporników. Przyjmując, że wsporniki stabilizowane są w odstępach co 2,6 m możemy napisać, że odchylenie jarzm od wspólnej linii pionu o wielkość a wywoła błąd różnicy wysokości

$$m_{h(2,6)} = \frac{a^2}{5\,200}$$

Zakładając, że błąd ten nie powinien przekroczyć $m_h = 0,01$ mm otrzymujemy graniczną wielkość $a = 7$ mm.

Biorąc pod uwagę możliwość występowania błędów niepłaskości i nieprostokątności stopki łąty do osi podziału, należy stabilizować repery składane tak, aby łąta podtrzymywana przez jarzma opierała się na reperach tym samym, środkowym miejscem stopki.

Jarzma podtrzymujące łątę w pozycji pionowej umożliwiają jej pewien luz, dający swobodę zróżnicowanego ustawienia podziału łąty pod względem odległości od mikroniwelatora. Luz ten, którego wielkość nie przekracza 2 mm, decyduje o koniecznej dokładności poziomego usytuowania mikroskopu. Aby błąd odczytu na łacie spowodowany tym luzem nie przekroczył 0,01 mm, należy poziomować oś celową mikroskopu z błędem nie przekraczającym $15'$, tj. 5 mm/m. Poziomowanie osi celowej mikroskopu dokonywane jest jednorazowo przez pionowe usytuowanie osi tulei (2) przy stabilizowaniu wspornika (1). Biorąc pod uwagę fakt, że budowla, w której stabilizuje się wsporniki może podlegać pewnym zmianom nachylenia pod wpływem nierównomiernych osiadań, należy przy stabilizowaniu wsporników pionować osie tulej z nieco wyższą dokładnością, rzędu $10'$ tak, aby drobne zmiany nachylenia budowli nie powodowały przekroczenia dopuszczalnego odchylenia tych osi od pionu. Można to osiągnąć z powodzeniem przy wykorzystaniu libeli sferycznej układanej na powierzchni tulej podczas stabilizowania wsporników.

Przy pomiarze mamy do czynienia głównie z błędami celowania na kreski podziału łąty i błędami odczytywania czujnika zegarowego. Jak wykazały prace eksperymentalne łączny błąd celowania i odczytywania nie przekracza 0,01 mm.

Jak wiadomo z literatury (np. [1], [5]), łąty mogą być komparowane z błędem średnim rzędu 0,02 mm. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że komparacja dotyczy tylko niektórych kresek podziału, trzeba się liczyć z możliwością pewnego zwiększenia wpływów błędów komparacji o wpływy lokalnych nierównomierności maniesienia podziału. Błędy nierównomiernego maniesienia podziału według danych firmowych renomowanych wytwórców nie przekraczają 0,02 mm.

Należy podkreślić, że w wypadku, gdy pomiar prowadzimy w celu wyznaczania zmian różnic wysokości związanych z pionowymi przemieszczeniami reperów, przy użyciu łąty, która nie podlega zmianom długości, wpływ nierównomierności podziału zostaje wyeliminowany przez stałe rozmieszczenie reperów i wsporników mikroniwelatora. Następuje to dzięki temu, że przy pomiarach okresowych celuje się na te same (lub w przypadku drobnych przemieszczeń sąsiadujące) kreski podziału łąty.

Reasumując powyższe uwagi dojdziemy do wniosku, że w wypadku prawidłowego zastabilizowania reperów i wsporników mikroniwelatora, jak również prawidłowego wykonywania czynności pomiarowych, możliwe jest osiągnięcie dokładności pomiaru różnicy wysokości między sąsiednimi reperami ($h = 2,6$ m) charakteryzującej się błędem średnim rzędu 0,03 mm. Wynika z tego, że pomijając wpływy błędów systematycznych wynikających z błędów komparacji, różnicę wysokości $h = 25$ m można zmierzyć z błędem średnim rzędu 0,1 mm, zaś różnicę wysokości $h = 50$ m z błędem średnim rzędu 0,15 mm.

L I T E R A T U R A

- [1] Cisak J.: *Badanie podziału laty do niwelacji precyzyjnej*. Informator IGiK, nr 5/72
- [2] Janusz W.: *Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji*. PPWK, Warszawa 1971, 1975
- [3] Janusz W., Ostrowski R., Zykubek St.: *Metoda precyzyjnego pomiaru krótkich odległości*. Konferencja Naukowo-Techniczna SGP na temat Geodezyjnej Obsługi Budownictwa Przemysłowego, Katowice 1977
- [4] Jasnorzewski J.: *Metrologia długości*. PPWK, Warszawa 1959
- [5] Kalinowska B.: *Współczesne problemy komparacji i badania precyzyjnych lat niwelacyjnych*. Praca doktorska, Politechnika Warszawska 1976
- [6] Margański St.: *Wpływ temperatury na wyniki niwelacji precyzyjnej*. Geodezja i Kartografia Tom XXVI, z. 1 PWN 1977

Recenzował: doc. dr hab. inż. Andrzej Hermanowski
Rękopis złożono w Redakcji w październiku 1977 r.

ВОЙЦЕХ ЯНУШ

МЕТОДЫ ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ

Р е з ю м е

При монтаже больших машин и промышленного оборудования, а также при определении смещений и деформаций появляется необходимость точного измерения небольших горизонтальных и вертикальных расстояний. Кроме исследований, проводимых для повышения точности электронных дальномеров, целесообразным являются также поиски новых способов измерений с использованием применяемых до сих пор линейных мер. В Институте геодезии и картографии в Варшаве разработаны такие способы, основанные на использовании стандартных нивелирных реек.

П р е ц и з и о н н ы е и з м е р е н и я г о р и з о н т а л ь н ы х р а с с т о я н и й

Метод измерения горизонтальных расстояний с применением реек для точного нивелирования разработано в трех вариантах:

- 1) с использованием теодолита, снабженного параллельной пластинкой на зрительной трубе,
- 2) с использованием оптического отвеса, снабженного параллельной пластинкой,
- 3) с использованием тахеометра BRT 006 фирмы Цейсса.

Третий вариант в результате проведенных исследований оказался наиболее выгодным.

Чтобы измерить расстояния АВ следует согласно с рисунком 1 произвести следующие действия:

1) установить тахеометр BRT так, чтобы его линейка была параллельна AB , а подвижная призма находилась над пунктом A , наставить подвижную призму на пункт A и взять отсчет по линейке (рис. 1a),

2) положить рейку вдоль AB так, чтобы её начало находилось вблизи пункта A , а направление увеличения отсчетов было обратное по отношению к направлению увеличения отсчетов на линейке BRT, наставить призму на ближайший штрих деления рейки и взять отсчет (рис. 1b),

3) поставить BRT вблизи конца рейки и взять по его линейке отсчет, соответствующий наводке подвижной призмы на ближайшее деление рейки (рис. 1c),

4) положить рейку вдоль отрезка AB так, чтобы в поле зрения призмы BRT находился начальный отрезок деления, навести подвижную призму на ближайший штрих и взять отсчет (рис. 1d).

Следующие действия заключаются в очередной перестановке BRT и рейки вдоль измеряемого отрезка AB и в взятии вышеупомянутых отсчетов до установки BRT над пунктом B , наводки на этот пункт подвижной призмы и взятия отсчета (рис. 1e).

На рисунке 2 показано прецизионное измерение расстояния с применением рейки и BRT. Способ произведения отсчетов рейки и линейки BRT иллюстрирует схематический рисунок 3, а таблица 1 содержит пример записи отсчетов, показанных на рисунке 3, и пример вычисления расстояния AB .

Рассматриваемый метод впервые был применен для прецизионного измерения линейных деформаций фундамента в период схватывания бетона. Получено точность измерения 0,3 мм при измерении длин порядка 25 м и 0,6 мм при измерении длин порядка 100 м.

Прецизионные измерения вертикальных расстояний

Часто появляется необходимость измерения хода точного нивелирования, который отрезок которого трудно измерить нивелиром ввиду ограниченного места (короткие расстояния визирования). Выступает это особенно в вертикальных шахтах, лестничных площадках и глубоких выёмках. Для измерения превышений в вертикальных шахтах и в других тесных местах внутри сооружений применялись до сих пор ленты или проволоки с планочками. Неудобством этого способа является слишком малая точность и неоднородность действий, требующих отдельного компарирования лент и проволок.

Разработано способ, при котором для измерения в тесных помещениях применяется специальный прибор — микронивелир вместо прецизионного нивелира.

На рисунке 5 показано схематически измерение превышений h с использованием нивелира и микронивелира. Согласно с рисунком превышения h_{1-2} , h_{4-5} измерено известным способом с помощью прецизионного нивелира, зато превышения h_{2-3} , h_{3-4} в тесной шахте измерено микронивелиром, приклепленным к кронштейнам стабилизированным в стене. Реперы 3, 4 складные, благодаря чему рейку можно устанавливать вдоль вертикальной линии.

Микронивелир оснащен в микроскоп, передвигаемый вертикально. Отсчеты берется визируя на оба края деления рейки и отсчитывая высоту положения микроскопа с точностью 0,01 мм. Применяя микронивелир, можно измерить превышения несколько раз точнее, чем используя прецизионный нивелир.

Микронивелир, установленный на измерительном посту, показано на рисунке 7. Таблица 2 содержит пример записи и вычисления превышений h соответствующих схематическому рисунку 5.

Рассмотренный метод применен в первый раз для точного измерения линейных деформаций железобетонных колонн под влиянием возрастающей нагрузки.

WOJCIECH JANUSZ

THE METHODS OF PRECISION MEASUREMENTS OF HORIZONTAL AND VERTICAL DISTANCES

Summary

Small horizontal and vertical distances should be measured precisely during the assembly of big machines and industrial devices as well during the evaluating of dislocations and deformations. It is suitable to find out the new ways of measurements using gauges applied so far, besides reassembling aiming at obtaining more accurate electronic range finders. Such methods, based on application of standard levelling rods, were elaborated at the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw.

Precise horizontal distances measurements

The method of measuring horizontal distances using the precise levelling rods was elaborated in three variants:

- 1) with utilization of theodolite equipped with parallelepiped plate on the telescope,
- 2) with utilization of optical plumb equipped with parallelepiped plate,
- 3) with utilization the BRT Tachymeter produced by Zeiss.

As a result of carried reaserches, the third variant appeared to be the most profitable.

In order to obtain the distance AB , the following activities should be carried, according to fig. 1:

1) to set up the BRT Tachymeter in such way, that its ruler is parallel to AB , and the movable prism is over the point A , to sight with the prism to the point A and to make the readout on the ruler (fig. 1a),

2) the levelling rod should be put along AB in such way, that its beginning is near the point A and the direction of growing readouts is reverse to the direction of growing readouts on the ruler of BRT, then to sight with the movable prism to the nearest dash on the rod and to make the readout (fig. 1b),

3) to re-set the BRT near the end of the levelling rod and to make the readout on the ruler, which is suitable for the sighting with the prism to the nearest dash on the rod (fig. 1c),

4) to re-set the levelling rod along the AB in such way, that the beginning of the scale is in the view field of the prism of the BRT, to sight with the movable prism to the nearest dash and to make the readout (fig. 1d).

The further activities consist of successive re-setting the BRT and levelling rod along the AB and making readouts till the BRT is set up over the point B , then it is necessary to sight with the movable prism to this point and to make the readout (fig. 1e).

The precise measurement with utilization the levelling rod and BRT Tachymeter is shown in fig. 2. The way of making readouts on the rod and ruler of the BRT is illustrated in the schematic fig 3, and table 1 contains the example of record the readouts shown in fig. 3 and the example of calculating the AB distance.

The discussed method was applied for the first time for the precise measurements of linear deformations of the foundation during the setting of concrete. The following accuracies were obtained: 0,3 mm for the distance of 25 m order and 0,6 mm for the distance of 100 m order.

Precise vertical distances measurements

It is often necessary to measure the precise levelling line, which contains one part very difficult for measuring, because of the limited space conditions (short sight lines). It occurs particularly in vertical pit shafts, staircases and deep foundation trenches. Steel tapes or wires with small rods put on were used so far for measuring the differences of the altitudes in pit shafts and other tight rooms inside the buildings. These methods were inconvenient because of the small accuracy and not uniform proceeding, which requires separate comparison of rods and wires.

The method was elaborated which uses the special device — microlevel instead of the precise level, for the measurements in tight rooms.

Fig. 5 shows schematically the measurements of altitudes differences using microlevel and level. The differences h_{1-2} , h_{4-5} are measured with the precise level in normal way, and the differences h_{2-3} , h_{3-4} in the tight shaft are measured with the microlevel which is affixed on special brackets stabilized in the wall (see fig. 5). The benchmarks 3,4 are built-up, to the rod can be positioned vertically.

The microlevel is equipped with the microscope, which can be vertically shifted. The readouts are made by sighting to two edges of the dash on the scale of the rod and by readout of the altitude of the microscope position with accuracy 0,01 mm. The differences in altitudes can be measured several times more precisely with utilization of the microlevel, than with the normal precise level.

Fig 7 shows microlevel set up over the station. The table 2 contains the example of the record and calculating the height differences h which corresponds to the schematic fig. 5.

The discussed method was applied for the first time for the precise measurements of the deformations of the reinforced concrete pillars under the influence of the growing ballast.

