

## **Geodezyjne pomiary odkształceń kominów i masztów**

### **1. Wstęp**

Zagadnienie badania odkształceń metodami geodezyjnymi jest coraz bardziej doceniane przez nowoczesne budownictwo zarówno przemysłowe jak i mieszkaniowe.

Ponieważ wyniki pomiarów odkształceń stanowią cenny materiał dla wykonawstwa budowlanego oraz biur projektowych, albowiem informując o zachowaniu się konstrukcji budowlanych potwierdzają zarazem słuszność przyjętych założeń statycznych, bądź też dają w pewnym stopniu ocenę prawidłowości wykonania, montażu itp.

Zagadnienie to nabiera szczególnej wagi przy budowie i eksploatacji zakładów przemysłowych, w których produkcja oparta jest na taśmowym, względnie automatycznym systemie obróbki. Zakład taki stanowi powiązaną warunkami produkcyjnymi jednostkę wytwórczą, a znajomość zachowania się poszczególnych jego elementów podczas współpracy jest niezwykle cenna i może być niejednokrotnie sygnałem do zapobieżenia niepożądanym awariom.

W związku z powyższym przy wznoszeniu dużych zakładów przemysłowych, lub też innych poważnych budowli, obok zagadnienia pomiarów realizacyjnych równorzędne znaczenie powinny mieć badania odkształceń danego obiektu.

W nawiązaniu do znanych metod pomiarowych oraz praktycznych potrzeb inwestora, w pracach omawianych nasuwa się pewien podział na dwa zasadnicze rodzaje badań:

1. Badania osiadań poszczególnych obiektów lub elementów budowlanych,
2. Badania przesunięć lub odkształceń w płaszczyźnie poziomej.

Przy badaniu odkształceń konstrukcji wysokich, takich jak kominy fabryczne, maszty, wielkie piece lub inne elementy budowlane stanowiące pewną grupę konstrukcji wsporczych, należy z reguły stosować jednocześnie oba wyżej wymienione rodzaje badań.

Z uwagi na charakter pracy tych konstrukcji, ich stabilność i bezpieczeństwo, istnieje potrzeba oddzielnego omówienia przebiegu ich badań.

Przyczyn powstawania odkształceń, ugięć lub wybożenia może być wiele o różnym skutku działania.

Największy jednak wpływ na wielkość odkształceń lub wychyleń czy przesunięć wywierają działania silnych wiatrów, obciążenia dynamiczne, oraz nierównomierne osiadania.

Geodeta oprócz pomiarów związanych z obsługą geodezyjną obiektu prowadzić powinien od początku budowy kontrolę pionowości, oraz badanie osiadania.

Badanie powyższe należy kontynuować nawet po zakończeniu prac budowlanych, aż do czasu ustania ruchów obiektu w płaszczyźnie pionowej lub poziomej.

Wyniki bieżących pomiarów mają służyć do badania stanu bezpieczeństwa obiektu, a w wypadkach niekorzystnych, do zaprojektowania i wykonania odpowiedniego zabezpieczenia.

Po przeanalizowaniu znanych metod i sposobów pomiaru pod względem pracochłonności, oraz dokładności, stwierdzić należy że najodpowiedniejszą do okresowych badań odkształceń kominów lub wysokich masztów jest metoda trygonometryczna wyznaczania przesunięć poziomych. Zatem pragniemy ją omówić w niniejszej pracy.

Zagadnienie pomiaru odkształceń podobnie jak i przy innych metodach sprowadza się do wyznaczenia przesunięć poziomych, ściśle określonych punktów, obranych w sposób jednoznaczny na badanej konstrukcji.

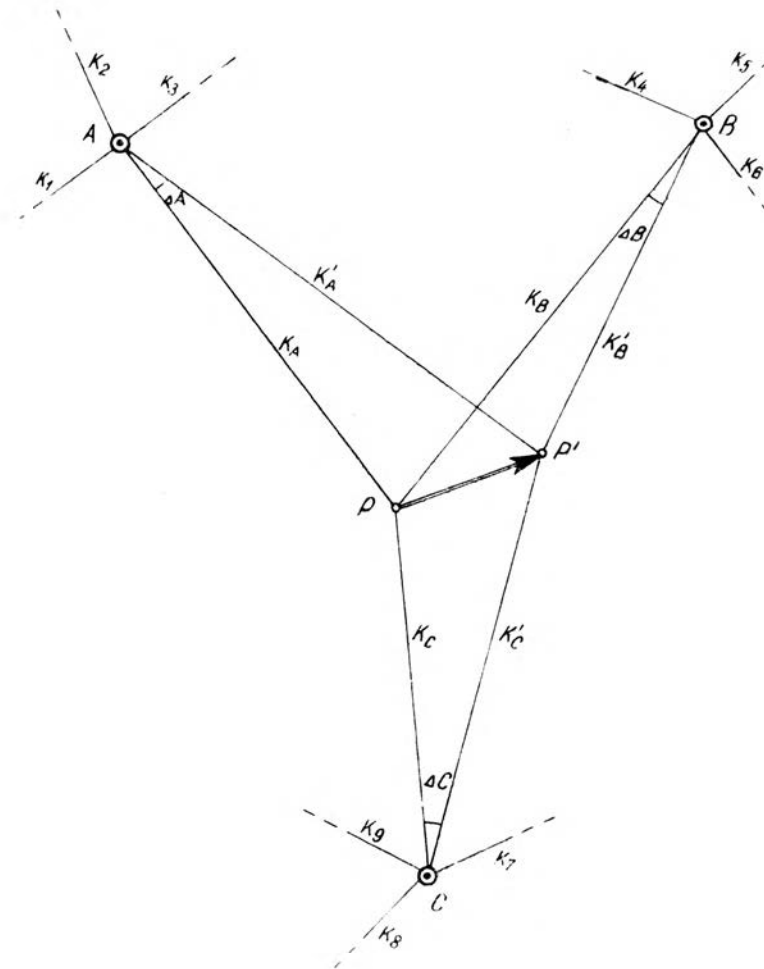
Określenie wielkości przesunięcia punktu w przypadku gdy zachowana jest stałość stanowiska przedstawimy w ujęciu schematycznym (rys. 55). Jak widać z podanego rysunku wektor przesunięcia otrzymujemy na podstawie precyzyjnie pomierzonego kąta, zawartego między kierunkiem na punkt w położeniu pierwotnym, a kierunkiem w chwili wykonywania pomiaru aktualnego. Poszczególne obserwacje wykonane metodą kierunkową muszą być nawiązane do jednych i tych samych punktów odniesienia rozmieszczonych w pewnej odległości od badanego obiektu.

Omawiana metoda może być również stosowana do jednorazowego pomiaru pionowości kominów, lub masztów i tylko w tym wypadku punktami odniesienia może być podstawa komina lub masztu.

Z otrzymanych z terenu prac pomiarowych lub proponowanych usprawnień wynika niejednokrotnie, że wykonawcy upraszczając sobie okresowe badania kominów lub wysokich masztów, wykonują w pewnym okresie czasu serię niezależnych pomiarów pionowości, różnymi znanymi sposobami. W związku z tym powiązanie poszczególnych obserwacji jest

na ogół bardzo problematyczne, ponieważ pomiary odnoszone są zazwyczaj do podstawy komina lub masztu, bądź też do bazy pomiarowej, której trwałość stabilizacji jest niepewna na terenie o dużym nasileniu budowlanym, lub niepewnych gruntach (tereny górnicze).

Uważamy zatem, że stanowisko wykonawców przeprowadzających badania przytoczonym powyżej sposobem jest nieprawidłowe. Pozornie wydawać się może, iż podstawa komina jest stała, lecz takie założenie słuszne będzie jedynie w momencie wykonywania pomiaru. Musimy sobie bowiem uświadomić, że niemal wszystkie badania okresowe przeprowadzane są na tych obiektach, które wg opinii rzeczoznawców nasuwają obawy co do ich bezpieczeństwa.



Rys. 55.  $A, B, C$  — stanowiska instrumentu;  $K_1, K_2, \dots, K_9$  — kierunki nawiązania;  $K_A, K_B, K_C$  — kierunki wcinające odnoszące się do położonego początku punktu  $P$ ;  $K'_A, K'_B, K'_C$  — kierunki wcinające odnoszące się do aktualnego położenia punktu  $P'$ ;  $\Delta A, \Delta B, \Delta C$  — wielkości przesunięć kątowych powstałe z różnicy kierunków  $K$  i  $K'$

## 2. Okresowe pomiary odkształceń

### 2. 1. Urządzenia pomiarowe

W skład wyposażenia grupy pomiarowej wykonującej pomiary odkształceń powinny wchodzić:

#### *I. Przyrządy i urządzenia do pomiaru przesunięć poziomych*

1. Teodolit tzw. jednosekundowy z libelą nasadkową.
2. Statyw drewniany nieskładany lub specjalnie wybudowany słup obserwacyjny.
3. Sygnały tarczowe.
4. Parasol mierniczy.
5. Przyrząd do pomiaru siły wiatru (wiatromierz).
6. Termometr.

#### *II. Komplet przyrządów do niwelacji ściślej*

1. Niwelator precyzyjny.
2. Statyw drewniany nieskładany.
3. Łata inwarowa.
4. Repery ścienne (ewentualnie jeszcze repery gruntowe).

Przyrządy używane do pomiarów powinny być w bardzo dobrym stanie — sprawdzone i zrektyfikowane.

### 2. 2. Sieć pomiarowa dla badania przesunięć poziomych

Przy badaniach okresowych należy zwrócić szczególną uwagę na właściwe zaprojektowanie sieci pomiarowej. Wysokie komin fabryczne bądź maszty radiostacji w wielu wypadkach nie posiadają wokół siebie zabudowy utrudniającej rozmieszczenie bądź zastabilizowanie urządzeń pomiarowych. Natomiast w istniejących zakładach starszego typu o zwartej, niekiedy chaotycznej zabudowie możemy się spotkać z poważnymi trudnościami przy projektowaniu osnowy do pomiaru odkształceń. Jednak zarówno w jednym, jak i drugim przypadku należy pamiętać, by przy projektowaniu sieci wykorzystać wszelkie istniejące w danych warunkach możliwości wpływające na poprawę jakości oraz na obniżenie kosztów sieci pomiarowej.

#### 2. 2. 1. Stanowiska teodolitu

Ustalamy i stabilizujemy zazwyczaj trzy stanowiska w miejscach najkorzystniejszych dla wykonania badania. A więc powinniśmy dążyć do takiego rozmieszczenia stanowisk obserwacyjnych, aby obiekt badany znajdował się w przybliżeniu w środku ciężkości trójkąta równobocznego, utworzonego przez stanowiska jako wierzchołki tego trójkąta. Odległości stanowisk od komina, lub masztu badanego, zależne są przede wszyst-

kim od wysokości obiektu, oraz od otaczającej go zabudowy. Ogólnie można przyjąć, że przy projektowaniu sieci pomiarowej dla obiektów o wysokości ponad 50 m odległości stanowisk winny wynosić w przybliżeniu podwójną wysokość badanego komina lub masztu.

Wykonanie pomiarów z bardzo dużych odległości wpływa niekorzystnie na dokładność wyznaczenia przesunięć. (Wraz ze wzrostem odległości zmniejsza się możliwość określenia małych wielkości odkształceń).

Stabilizacja stanowisk powinna być wykonana z dużą starannością. Nie należy na ten cel ograniczać środków finansowych jak i materiałowych, ponieważ stanowisko jest jednym z głównych punktów odniesienia.

Bardzo racjonalnym i opłacalnym przy badaniach okresowych jest budowanie niezależnych słupów z betonu lub cegły z płytą do automatycznego centrowania instrumentu.

Stanowisko takie posiada wiele zalet, a mianowicie:

1. Stwarza możliwość dokładnego i szybkiego centrowania teodolitu,
2. Nie ulega skręcaniu i nagłym zmianom pod wpływem wiatru lub promieni słonecznych,
3. Jest wygodne dla obserwatora,
4. Nie ulega mimowolnemu uszkodzeniu przez pojazdy.

Orientacyjne wymiary słupa obserwacyjnego powinny wynosić ok.  $0,50 \times 0,50$  m oraz wysokość ok. 1,50 m w części nadziemnej. Natomiast część stanowiska umieszczona w ziemi powinna mieć znacznie powiększone wymiary podstawy zależne od rodzaju gruntu, a głębokość posadowienia powinna być zaprojektowana poniżej poziomu zamarzania.

Stabilizacja przy pomocy słupa obserwacyjnego jest nieco droższa, ale przy badaniach trwających dłuższy okres czasu (np. 1 rok) jest nieodzowna.

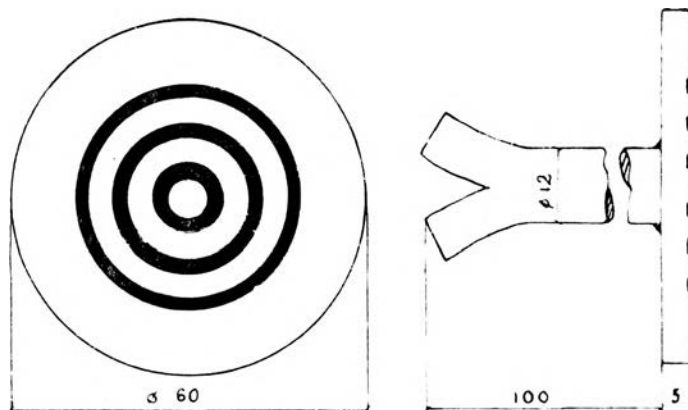
W przypadku niemożności wybudowania słupa, stanowisko należy zastabilizować bardzo starannie trwałymi znakami pomiarowymi, używanymi w poligonizacji, a obserwacje wykonywać ze statywu. Należy się przy tym liczyć z uzyskaniem mniejszych dokładności wyznaczenia odkształceń.

### 2.2.2. Punkty orientacyjne

Na każdym stanowisku należy ustalić minimum trzy punkty orientacyjne, mogą być one zastabilizowane przy pomocy celowników tarczowych (rys. 55) na okolicznych budynkach w znacznej odległości od miejsca badań. Za punkty takie można też przyjąć widoczne podstawy masztów antenowych, wieże triangulacyjne lub kościelne itp.

Dla zachowania większej pewności i precyzji pomiarów należy przy każdej obserwacji badać stałość stanowiska instrumentu. Do tego celu zastabilizujemy minimum 5 celowników tzw. kontrolnych w miarę możliwości rozłożonych równomiernie w całym horyzoncie.

Odległość tych punktów od stanowiska nie powinna być zbyt duża (orientacyjnie ok. 70 m). Powiązanie wzajemne stanowisk obserwacyjnych jest również wskazane lecz nie niezbędne.



Rys. 56

W przypadku braku zabudowy dla osadzenia punktów kontrolnych należy zastabilizować słupki betonowe zaopatrzone w sygnały.

Przykład kontroli stałości stanowiska przy pomocy punktów kontrolnych podano poniżej.

Na badanych kominach lub masztach celowników nie stabilizujemy, lecz celujemy na ich krawędzie, lewą i prawą, w odpowiednim oznaczonym poziomie ze wszystkich trzech stanowisk. Zazwyczaj przyjmujemy minimum 3 poziomy komina lub masztu: 1) przy podstawie, 2) w środku komina lub masztu, 3) przy wierzchołku. Praktycznie błąd celu na krawędzie waha się w granicach od 2" do 5".

### 2. 3. Sieć pomiarowa

#### 2. 3. 1. Okresowe badanie przesunięć pionowych.

Pomiary osiadania danego obiektu powinny być prowadzone równoległe z obserwacjami przesunięć poziomych.

Pomiary te wykonuje się przy pomocy niwelacji precyzyjnej. Sieć pomiarowa powinna składać się z minimum 3 reperów stałych rozmieszczonych w odległości 60 do 150 m od obiektu (mogą to być repery głębinowe, bądź też ściennie posadowione na murach sąsiadujących starych i pewnych budowli) oraz z punktów badanych zastabilizowanych na obiekcie.

W przypadku komina wystarcza 4 repery osadzone w fundamencie w miejscach dostępnych dla dogodnego ustawienia łąty niwelacyjnej.

Kształt reperu powinien zezwalać na jednoznaczne ustawienie na nim łąty przy każdym pomiarze. Znaki pomiarowe w murach lub betonie należy osadzać na zaprawie cementowej. Używanie do tego celu słabszych

zapraw jest niewskazane. Repery powinny posiadać zabezpieczenia w postaci pokryw zakręcanych, bądź też innych urządzeń chroniących je przed uszkodzeniem lub poruszeniem.

#### 2. 4. Prace polowe

2. 4. 1. Obserwacje do wyznaczenia przesunięć poziomych. Precyzyjne wykonanie pomiarów polowych jest zasadniczą i najważniejszą częścią badania zachowania się budowli. Cykl obserwacyjny dla okresowych pomiarów odkształceń składa się zazwyczaj z dwóch rodzajów obserwacji:

- 1) pomiary kątowe (obserw. kierunków),
- 2) pomiary niwelacyjne, przeprowadzane możliwie jednocześnie lub zaraz po obserwacjach kątowych.

Obserwacje należy przeprowadzać w dobrych i możliwie podobnych warunkach atmosferycznych, przy bezwietrznej pochmurnej pogodzie. Wskazaniem jest także, aby całość badania wykonywana była przez jednego obserwatora, jak również tym samym kompletem instrumentów.

W przypadku wykonywania obserwacji na statywie drewnianym, należy zwrócić uwagę na centryczne ustawianie teodolitu na stanowisku, a w związku z tym na dokładne zrektyfikowanie pionownika optycznego.

Gdy pionownik optyczny wbudowany jest na stałe w spodarę, rektyfikację można przeprowadzić wg wskazań podanych w pracy J. Szymońskiego pt. „Instrumentoznawstwo geodezyjne” cz. I, § 24. Pionownik tego typu należy ustawiać zawsze jednakowo w stosunku do sytuacji, a teodolit w przybliżeniu na jednakowej wysokości nad terenem.

Podczas obserwacji wysokich kominów lub masztów zdarzają się również bardzo strome celowe (na górne punkty konstrukcji). Wynika zatem konieczność stosowania libeli nasadkowej, w celu zmniejszenia błędu pomiaru kąta. Jak wiemy z analiz przeprowadzonych w literaturze geodezyjnej, błąd kierunku na skutek niedokładnego spoziomowania (przy celowych nachylonych do poziomu ok. 45°) może w przypadku niekorzystnym osiągnąć wielkość równą błędowi spoziomowania.

Teodolit podczas pomiaru powinien być osłonięty parasolem przed działaniem promieni słonecznych.

Obserwacje rozpoczynamy od jednego dobrze widocznego punktu orientującego. Limbus teodolitu ustawia się tak, aby po wycelowaniu na punkt początkowy, całkowity odczyt w pierwszej serii przedstawiał wartość kilku lub kilkunastu sekund.

Następne dwie serie wykonujemy podobnie jak pierwszą przy zmienionym nieco odczycie mikrometru na punkt początkowy, a więc, np. przy 10' zasięgu mikrometru, drugą serię rozpoczynamy w przybliżeniu od ok. 4'30" na mikrometrze, a trzecią około 9'00", przy zmianie limbusa koniecznej tylko do przesunięcia mikrometru.

Dla zmniejszenia wpływu błędu celowania należy przyjąć następującą technikę pomiaru: po wycelowaniu na punkt, zgrać mikrometr i odczytać

kierunek, po czym ponownie wykonać celowanie przy pomocy leniwki (zawsze ruchem ściskającym sprężynę) oraz wykonać odczyt.

Kolejność obserwacji punktów zachowujemy zgodną z kierunkiem podziału koła poziomego teodolitu. Pomiar przy jednym położeniu koła zamykamy odczytem na punkt początkowy.

#### 2. 4. 2. Pomiary niwelacyjne

Podobnie jak i przy pomiarach kątowych należy przed obserwacją zbadać stan przyrządów pomiarowych, oraz przeprowadzić ich sprawdzenie i rektyfikację.

Przy kontrolowaniu niwelatora należy, oprócz płynności ruchów śruby elewacyjnej mikrometru oraz prostoliniowości ruchu soczewki ogniskującej, zbadać również jako bardzo ważny warunek — równoległość osi libeli do osi celowej niwelatora. Kontrolę tą przeprowadzamy w znany sposób przy pomocy niwelacji ze środka i w przód na tych samych reperach przy rozstawieniu lat wynoszącym 40 m.

Różnice między jednym i drugim pomiarem kontrolnym nie powinny przekraczać 0,3 mm. W przeciwnym wypadku oś libeli doprowadzamy do równoległości z osią celową przy pomocy śrub rektyfikacyjnych. Zasada rektyfikacji jest taka sama jaką stosuje się przy niwelatorach tzw. głuchych.

Pomiar przeprowadzamy jednocześnie bądź też niezwłocznie po obserwacjach kątowych. Zaniwelowane wzajemnie repery na obiekcie badanym nawiązujemy do minimum 3 reperów odniesienia (tzw. stałych).

Repery stałe powinny być o ile możliwości połączone niezależnymi ciągami niwelacyjnymi, w celu sprawdzania ich stałości w okresie trwania badań. Zasady i technika pomiaru jest na ogół ta sama jak przy niwelacji osnowy dla potrzeb CUG i K, z tą różnicą, że długość celowych stosujemy nieco zmniejszoną, co wynika z wymagań dokładnościowych i niejednokrotnie z wzajemnego usytuowania punktów badanych, jak również z nieco odmiennego charakteru prac niż przy niwelacji ciągów w terenie otwartym.

#### 2. 4. 3. Dodatkowe jednorazowe prace polowe i kameralne

Celem przygotowania planu do opracowań graficznych należy jednorazowo pomierzyć w terenie:

1. Odległości poziome od stanowisk instrumentu do konstrukcji badanej i do punktów orientacyjnych oraz kontrolnych. Odległości te mierzymy bezpośrednio taśmą, lub paralaktycznie z dokładnością ok. 1 : 500.
2. Kąty pionowe na obserwowane punkty komina lub masztu, konieczne do trygonometrycznego wyznaczenia różnic wysokości między poszczególnymi sygnałami, jak też dla wyznaczenia wysokości całego obiektu.



Z kolei należy obliczyć przybliżone współrzędne punktów sieci pomiarowej. Dlatego stosujemy przybliżone współrzędne, gdyż są one potrzebne wyłącznie do skartowania sieci w skali 1 : 200 lub 1 : 500 na trwałym, możliwie sztywnym papierze kreślarskim bądź planszy aluminiowej.

## 2. 5. Kameralne opracowanie wyników

2. 5. 1. Sprawdzenie stałości stanowiska. Pomierzone kierunki na poszczególnych stanowiskach obserwacyjnych należy wyrównać stacyjnie wg załączonego poniżej przykładu (zał. 1). Podobne wyrównanie przeprowadzamy zarówno dla obserwacji wyjściowej (początkowej), jak też i wszystkich następnych (tzw. aktualnych).

Kontrolę stałości stanowiska przeprowadzamy na podstawie porównania kątów na punkty kontrolne z pomierzonych podczas obserwacji wyjściowej i aktualnej. W przypadku stałości stanowiska i punktów kontrolnych, średni błąd typowego spostrzeżenia ( $\mu_1^0$ ) obliczony na podstawie rozbieżności między kątami wyjściowymi i aktualnymi na danym stanowisku, powinien być zbliżony do jedności (1" lub 1<sup>ec</sup> zależnie od tego jaki system podziału zastosowany jest w teodolicie).

$$(\mu_1^0) = \pm \frac{(m_{z_1}) \cdot r}{m_s} = \pm \sqrt{\frac{[\partial\partial]}{(r-1)(\mu^2 + \mu'^2)}}$$

gdzie  $(m_{z_1}) = \pm \sqrt{\frac{[\partial\partial]}{r(r-1)}}$  — średni błąd stałej orientacyjnej na danym stanowisku

$\mu$  — średni błąd kier. śr. z wyrównania stacyjnego obserwacji wyjściowej,

$\mu'$  — średni błąd kier. śr. z wyrównania stacyjnego z obserwacji aktualnej

$$m_s = \pm \sqrt{\mu^2 + \mu'^2}$$

Odchylenia ( $\mu_1^0$ ) od jedności w przypadku stałości stanowiska i pięciu punktów kontrolnych mogą się wahać w granicach od 0,5 do 1,7 (przy większej ilości punktów kontrolnych granica rozbieżności nieco się zmniejsza).

Wzór na średni błąd jednostkowy ( $\mu_1^0$ ) został wyprowadzony w publikacji prof. T. Lazzariniego pt. „Geodezyjne pomiary odkształceń”.

## 2. 5. 2. Wyznaczenie przesunięcia stanowiska

Wielkość błędu jednostkowego ( $\mu_1^0$ ) wskazuje nam na ruch punktów odniesienia. O ile ( $\mu_1^0$ ) przekracza znacznie jedność wnioskujemy, że oś pionowa teodolitu podczas pomiaru aktualnego (powtórny) była przesunięta w stosunku do jej położenia, przy obserwacji wyjściowej.

Powyższy stan może być spowodowany poruszeniem stanowiska obserwacyjnego w okresie między pomiarami, bądź też w przypadku obser-

Załącznik 1

**Przykład wyrównania stacyjnego  
kierunków obserwowanych w pełnych seriach**

Stanowisko C

Data pom. 10. X. 55 r.

Dziennik pom. Nr 222

Instrument. Wild T2

Nr cel.	kierunki pomierzone			Σ	Kierunki wyrów Σ : s	Nr cel.	kierunki skrócone $K_i + \delta_i$			Σ	
	s e r i a						I	II	III		Σ
	I	II	III								
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	
1	359 59' 60'' 0	60'' 0	60'' 0	180'' 0	60'' 0	I	59'' 1	62'' 6	58'' 3	180'' 0	
13	103 03' 13'' 5	06'' 8	14'' 0	34'' 3	11'' 4	13	12'' 6	9'' 4	12'' 3	34'' 3	
14	155 18 23'' 0	20'' 2	22'' 5	65'' 7	21'' 9	14	22'' 1	22'' 8	20'' 8	65'' 7	
15	217 47 30'' 5	27'' 6	33'' 4	91'' 5	30'' 5	15	29'' 6	30'' 2	31'' 7	91'' 5	
16	257 11 64'' 9	59'' 8	65'' 9	190'' 6	63'' 5	16	64'' 0	62'' 4	64'' 2	190'' 6	
17	327 11 57'' 0	53'' 6	57'' 8	168'' 4	56'' 1	17	56'' 1	56'' 2	56'' 1	168'' 4	
Σ	248'' 9	228'' 0	253'' 6	730'' 5	243'' 4	Σ	243'' 5	243'' 6	243'' 4	730'' 5	
$A_i = \frac{\Sigma}{n}$	41'' 5	38'' 0	38'' 3	121'' 8	$B = 40'' 6$						
$\delta_i = B - A_i$	- 0'' 9	+ 2'' 6	- 1'' 7	0'' 0							

Nr celom.	V = kier. wyr. - kier. skróc.			Σ
	I	II	III	
	$K_i + \delta_{I}$	$K_i + \delta_{II}$	$K_i + \delta_{III}$	
1	2	3	4	5
I	+ 0,9	- 2,6	+ 1,7	0,0
13	- 1,2	+ 2,0	- 0,9	- 0,1
14	- 0,2	- 0,9	+ 1,1	0,0
15	+ 0,9	+ 0,3	- 1,2	0,0
16	- 0,5	+ 1,1	- 0,7	- 0,1
17	0,0	- 0,1	0,0	- 0,1
Σ	- 0,1	- 0,2	0,0	- 0,3
				$[vv] = 23,07$

Sredni bład kierunku sredniego z 3 serii

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{|vv|}{s(s-1)(k-1)}} = \pm \sqrt{\frac{23 \cdot 07}{3(3-1)(6-1)}} = \pm 0''88$$

wacji ze statywu drewnianego, różnice wynikać mogą na skutek różnego i wadliwego centrowania na stanowisku przy jednym z pomiarów. Różnice te muszą być wyznaczone i wyeliminowane ponieważ wpływają na zmniejszenie dokładności wyznaczenia przesunięć punktów badanych.

Określenie wielkości przesunięcia stanowiska wyliczamy na podstawie zasady:  $[p'v'v'] + [p'v'v'] = \text{minimum}$ . Przebieg całości obliczeń dla wyznaczenia składowych przesunięcia  $\Delta x$  i  $\Delta y$  oraz kontroli przeprowadzanego rachunku ilustruje przykład podany poniżej (zał. 2).

## Załącznik 2

## Przykład obliczania przesunięcia stanowiska

Kierunki nawiaz p. k.	Pomiar wyjściowy $K_i$	Pomiar aktualny $K'_i$	$s_i =$ $= K_i - K'_i$	$\sum_{i=1}^n s_i$	
					oznaczenia
	$\mu = \pm 1''11$		$\mu' = \pm 0''88$	$m_s = + 1''42$	
13	25.9	103 02 54.0	71.4	- 17.4	+ 9.8
14	29.8	155 17 44.9	81.9	- 37.0	+29.4
15	40.6	217 47 13.9	30.5	- 16.6	+ 9.0
16	107.7	257 12 03.6	03.5	+ 0.1	- 7.7
17	28.2	327 11 89.0	36.1	+ 32.9	-40.5
				- 38.0	0.0

Objaśnienia i wzory

Stała orientacyjna

$$Z_i = \frac{|s_i|}{r} = - 7.60$$

Śr. błąd stałej orientac.

$$(m_{z_i}) = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{r(r-1)}} = \sqrt{\frac{274095}{20}} = \pm 11''71$$

Śr. błąd różnicy kierunków  
wyjściowego i aktualnego

$$m_s = \pm \sqrt{\mu^2 + \mu'^2} = \pm 1''42$$

Śr. bł. jednost. kierunku

$$(\mu_i^0) = \pm \frac{(m_{z_i}) \cdot \sqrt{r}}{m_s} =$$

$$= \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{(r-1)\mu^2 + \mu'^2}}$$

wielkość  $(\mu_i^0)$  wskazuje na ruch stanowiska

$$(\mu_1^0) = \pm \frac{11.71 \cdot \sqrt{5}}{1.42} = \pm 18''44$$

Wzory na współczynn. kier. dla  
kierunków kontrolnych

$$a_i = - \rho'' \frac{\sin \alpha}{C_i}$$

$$b_i = + \rho'' \frac{\cos \alpha}{C_i}$$

gdzie  $\alpha$  - kąt zawarty między kierunkiem osi X a kier. na dany p.  $C_i$  - długość odp. celowej w mm. Wsp.  $a_i, b_i$  liczymy do dwóch znaków po przecinku

$$\text{Współcz. } A_i = a_i - \frac{\sum a}{r}$$

$$B_i = b_i - \frac{\sum b}{r}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta x \\ \Delta y \end{array} \right\} \text{składowe przesunięcia}$$

Oznaczenie kier.	Współczynniki kierunkowe		Współcz. kierunkowe zredukowane		$\delta_i$	$\Sigma$
	$a_i$	$b_i$	$A_i$	$B_i$		
13	-7.97	0.00	- 7.35	+ 1.17	+ 9.80	+ 3.95
14	-4.24	-5.47	- 3.62	- 4.30	+29.40	+21.39
15	+2.13	- 4.62	+2.75	- 3.45	+ 9.00	+ 8.21
16	+1.72	-0.83	+2.34	+ 0.34	- 7.70	- 5.11
17	+5.25	+5.09	+5.87	+ 6.26	-40.50	-28.46
$\Sigma$	-3.11	-5.83	-0.01	- 0.01	0.00	- 0.02
$-\frac{\Sigma}{r}$	+0.62	+1.17				

	A]	B]	Σ]	
A]	+114 6219	+35.0208	- 409.4610	- 259.8183
B]		+71.0646	- 402.1520	- 296.0666
Σ]			+2740.9400	+1929.3270

Stała orientac. po wyrówn.

$$Z_2 = - \frac{|a|}{r} \Delta x - \frac{|b|}{r} \Delta y + Z_1$$

$$Z_2 = 0.62 \cdot 2.17 + 1.17 \cdot 4.58 - 7.60 = - 0.88$$

$$\text{waga } p_s = \frac{1}{m_s^2} = 0.4984$$

średni błąd jedn. po wyrówn.

$$\begin{aligned} (\mu_2^0) &= \pm \sqrt{\frac{p|vv| + p'|v'v'|}{r-3}} = \\ &= \pm \sqrt{\frac{m_s^2 \cdot |\text{kor}^2|}{r-3}} \end{aligned}$$

$$\Delta x = \pm 2.17 \text{ mm} \quad \Delta y = 4.59 \text{ mm}$$

Oznaczn. kier.	$a_i \cdot \Delta y$	$b_i \cdot \Delta x$	$\varepsilon''_i$	$\delta_i = Z_2 - s_i$	$\varepsilon_i + \delta_i = \Sigma \varepsilon_i$	Korelaty $= p_s \cdot \Sigma \varepsilon_i$	kor. $r'_i = p$	kor. $r'_i = -p'$	kontrola		
									$K_i + V_i$	$K'_i + V'_i + \varepsilon_i$	$Z_2$
13	- 17.295	0.000	- 17.295	+16.52	-0.78	-0.39	-0.48	+0.30	53.52	54.40	-0.88
14	- 9 201	- 25.107	- 34.308	+36.12	+1.81	+0.90	+1.11	-0.70	46.01	46.89	-0.88
15	+ 4.622	- 21.206	- 16.585	+15.72	-0.86	-0.43	-0.53	+0.33	13.37	14.25	-0.88
16	+ 3.732	- 3.810	- 0.078	- 0.98	-1.06	-0.53	-0.65	+0.41	02.95	03.83	-0.88
17	+ 11.392	+ 23.363	+ 34.775	-33.78	+0.98	+0.49	+0.60	- 0.38	89.60	90.48	-0.88
			- 33.511		+0.09	+0.04	+0.05	-0.04			
			- 6.704								

$$m_s^2 |k^2| = 3.3430$$

$$p_s |\delta\delta 2| = 3.3330$$

$$(\mu_2^0) = \pm \sqrt{\frac{3.3430}{2}} = \sqrt{1.672} = 1'29$$

W końcowej fazie obliczeń kontrolnych określamy ponownie średni błąd jednostkowy ( $\mu_2^0$ ) po wyrównaniu. Wielkość tego błędu oblicza się według wzoru:

$$(\mu_2^0) = \pm \sqrt{\frac{p|vv| + p'|v'v'|}{r-n}} = \pm \sqrt{\frac{|m_s^2 \text{ kor}^2|}{r-n}}$$

gdzie  $v$  — poprawki do pomiaru wyjściowego,

$v'$  — poprawki do pomiaru aktualnego,

$r$  — ilość równań warunkowych,

$n$  — ilość niewiadomych,

$p = \frac{1}{\mu_s^2}$  — waga dla pomiaru wyjściowego,

$p' = \frac{1}{\mu_s'^2}$  — waga dla pomiaru aktualnego,

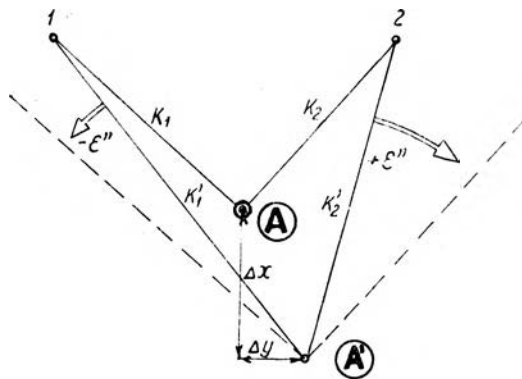
kor — korelaty.

Obliczona wielkość błędu jednostkowego ( $\mu_2^0$ ) po wyrównaniu nie powinna odbiegać znacznie od jedności. Gdyby jednak wartość ( $\mu_2^0$ ) przekraczała znacznie granicę rozbieżności podaną dla ( $\mu_1^0$ ) (powyżej 1,7) nasuwałoby to wniosek, iż uległ przesunięciu jeden lub nawet dwa punkty kontrolne w okresie między pomiarami. Sposób indentyfikacji takiego punktu podany jest w publikacji prof. T. Lazzariniego pt. „Geodezyjne pomiary odkształceń”.

### 2. 5. 3. Obliczenie poprawek do kierunków ze względu na przesunięcie stanowiska

W przypadku przesunięcia stanowiska zaobserwowane kierunki pomiaru aktualnego obarczone są pewnym błędem wynikłym na skutek zmiany miejsca położenia osi pionowej instrumentu. Wynika więc konieczność uwzględnienia poprawek do kierunków pomiaru aktualnego, ze względu na przesunięcie stanowiska.

W związku z powyższym otrzymane składowe przesunięcia ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) należy nanieść na plan sieci (w celu zmniejszenia błędów kreślarskich  $\Delta x$  i  $\Delta y$  nanosimy w skali 5 : 1 lub 10 : 1). Z otrzymanego na planie punktu (wyznaczonego przez  $\Delta x$  i  $\Delta y$ ) wykreślamy prostopadłe do poszczególnych kierunków nawiązujących i wcinających.



Rys. 57

Następnie odległości liniowe  $p$  pomierzone od nowego położenia stanowiska na planie do punktu przecięcia prostopadłej z danym kierunkiem, podzielić należy przez wielkość powiększenia (zastosowaną do przesunięć  $\Delta x$  i  $\Delta y$ ) po czym podstawić do wzoru na wielkość kątową poprawki. Ze względu na spotykane zazwyczaj niewielkie wartości przesunięć stanowiska używamy prostego wzoru (słusznego dla małych kątów)

$$\varepsilon'' = \frac{\rho''}{c_i} \cdot p_i$$

gdzie  $c_i$  — długość celowej w mm,

$$\rho'' = 206265 \text{ lub } \rho''^c = 636619.$$

## Przykład obliczania przesunięć kierunków na stanowisku

Pomiar wyjściowy $K_i$ Data: .....			Obiekt: ..... Obliczenie przesunięć poprzecz. na stanowisku A				Pomiar porównywany $k_i'$ Data: .....				
Cel.	$K_i$	$k_i'$	$\varepsilon''$	$K_i' =$ $= k_i' + \varepsilon''$	$S_i =$ $= K_i - K_i'$	$(K_i') =$ $= K_i + z$	$\Delta_i =$ $= (K_i') -$ $- K_i$	Dług. celowej $C_i$ mm	$W = \frac{C_i}{\rho''}$ m/m	Przesun. $p_i = m_i \cdot \Delta_i$ mm	$m_{p_i} =$ $= \pm w \cdot m_{\Delta_i}$ mm
	$\mu = \pm 0''50$	$\mu' = \pm 064$									
I	359°59'60''0	60''0	- 2,0	58,0	+ 2,0	59,6					
1	6 34 62,7	58,2	- 2,9	55,3		56,9	- 5,8		0,418	- 2,4	0,4
2	7 13 10,4	04,2	- 2,8	01,4		3,0	- 7,4		0,417	- 3,1	0,4
3	7 34 26,6	21,9	- 3,8	18,1		19,7	- 6,9		0,351	- 2,4	0,4
4	8 37 40,3	36,2	- 3,8	32,4		34,0	- 6,3		0,353	- 2,2	0,4
5	9 52 23,6	18,9	- 4,0	14,9		16,5	- 7,1		0,280	- 2,0	0,3
6	11 10 20,0	15,6	- 5,0	10,6		12,2	- 7,8		0,281	- 2,2	0,3
7	15 22 34,0	25,9	- 7,6	18,3		19,9	- 14,1		0,210	- 3,0	0,2
II	17 01 07,1	07,0	- 0,9	06,1	+ 1,0	07,7					
III	317 16 35,6	32,7	- 0,1	32,6	+ 3,0	34,2					
IV	333 49 12,2	10,3	+ 2,2	12,5	- 0,3	14,1					
V	344 43 12,9	10,3	0,0	10,5	+ 2,4	12,1					
					+ 8,1 $z = +1,62$						

## Kontrola

$$\Sigma K_i' = \Sigma k_i' + \Sigma \varepsilon''$$

$$\Sigma (K_i') = \Sigma K_i' + n \cdot z$$

$$\Sigma \Delta_i = \Sigma (K_i') - \Sigma K_i$$

$$\Sigma \Delta_i = 0 \text{ dla pp. nawiaz.}$$

Cel	$\delta_i = z - s_i$
I	- 0,38
II	+ 0,62
III	- 1,38
IV	+ 1,92
V	- 0,78
$\Sigma$	0,00

$$[\delta\delta] = 6,7280$$

$$(m_z) = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{r(r-1)}} = \pm \sqrt{\frac{6,7280}{20}} = \pm 0,58$$

$$(m_s^0) = \pm \frac{(m_z) \sqrt{r}}{m_s} = \pm \frac{0,58 \cdot \sqrt{5}}{\sqrt{0,50^2 + 064^2}} = \pm 1''59$$

$$m_{\Delta} = \pm \sqrt{m_s^2 + (m_z^2)} = \pm \sqrt{0,6596 + 0,3364}$$

$$m_{\Delta} = \pm 1,00$$

Znak poprawki ustalamy na podstawie planu przyjmując zasadę jak na rysunku 57. Zasadę ustalenia znaku poprawki można przedstawić w następujący sposób:

Założmy, że  $K_1$  i  $K_2$  są to kierunki z pomiaru wyjściowego, zaś  $K'_1$  i  $K'_2$  kierunki z obserwacji aktualnej (te ostatnie nie są wykreślane na planie).

W celu sprowadzenia kierunków obserwacji aktualnej do wyjściowego położenia stanowiska  $A$ , należy  $K'_1$  i  $K'_2$  poprawić o wielkości kątowe  $\varepsilon_1''$  i  $\varepsilon_2''$ .

Zatem gdy np.  $K'_2$  przesuwamy w wyobraźni w kierunku równoległej do  $K_2$ , a jest to kierunek zgodny z podziałem koła poziomego teodolitu, to poprawka  $\varepsilon''$  będzie dodatnia.

Poprawkę  $\varepsilon''$  ze znakiem minus otrzymamy w przypadku odwrotnym, np. przy określaniu poprawki dla  $K'_1$ .

#### 2. 5. 4. Wyznaczenie przesunięć poziomych sposobem rachunkowo-graficznym

Wyrównane stacyjnie kierunki z pomiarów wyjściowego i aktualnego, zestawiamy w podanym poniżej schemacie w celu przeprowadzenia obliczeń dla wyznaczenia wielkości przesunięć poprzecznych punktów badanych obserwowanych z danego stanowiska.

Ponieważ przy omawianych badaniach pomiary wykonujemy z zasady na trzech stanowiskach usytuowanych wokół obiektu badanego, obliczenia przeprowadzamy niezależnie i oddzielnie dla każdego stanowiska (zał. 3), a przebieg ich przybiera następującą kolejność:

1. Do kierunków obserwacji aktualnej dodajemy poprawki  $\varepsilon''$ , na przesunięcie stanowiska (o ile takowe przesunięcie zostało stwierdzone, a jego wielkość obliczona).
2. Obliczamy tzw. stałą orientacyjną na podstawie rozbieżności kierunków na punkty nawiązujące tzn. przeprowadzamy orientację wzajemną obu pęków kierunków (z pomiaru wyjściowego i aktualnego).
3. Następnie wyznaczamy przesunięcia kątowe  $\Delta_i$  na danym stanowisku odejmując od kierunków poprawionych pomiaru aktualnego odpowiednie kierunki pomiaru wyjściowego.
4. Poprzeczne przesunięcia liniowe obliczamy na podstawie prostego wzoru słusznego dla małych kątów

$$p_i = \frac{c_i}{\rho''} \Delta_i$$

gdzie

- $p_i$  — przesunięcie poprzeczne liniowe prostopadłe do celowej,
- $c_i$  — długości celowej podane w mm.,
- $\Delta_i$  — przesunięcie kątowe z danego stanowiska,
- $\rho''$  — 206265 lub dla podziału gradowego,
- $\rho''''$  — 636619.

Dla dużych przesunięć kątowych należałoby stosować wzór

$$\eta_i = c \cdot \operatorname{tg} \Delta_i$$

lecz w badaniach odkształceń jest to z reguły niespotykane. Dla scharakteryzowania dokładności wyznaczania przesunięć poprzecznych ( $p_i$ ) obliczamy błąd wyznaczenia

$$m_{p_i} \cong \frac{c_i}{\rho''} \cdot m_{\Delta}$$

gdzie

$$m_{\Delta_i} = \pm \sqrt{m_s^2 + (m_z)^2} \quad \text{— średni błąd przesunięcia kąтового}$$

$$m_s = \pm \sqrt{\mu^2 + \mu'^2} \quad \text{— średni błąd różnicy kierunków z obserwacji wyjściowej i aktualnej,}$$

$$(m_z) = \pm \sqrt{\frac{|\delta\delta|}{r(r-1)}} \quad \text{— średni błąd stałej orientacyjnej}$$

gdzie

$$\delta_i = z - s$$

$r$  — ilość kierunków nawiązania.

Jako dodatkową kontrolę przeprowadzanych obliczeń wyznaczamy również średni błąd jednostkowy

$$(p_{0.3}^0) = \pm \frac{(m_z) \cdot \sqrt{r}}{m_s}$$

którego wartość powinna wynosić około 1" lub 1<sup>c</sup>.

Obliczone przesunięcia  $p_i$  w powiększeniu 5 : 1 lub 10 : 1 nanosimy na plan sieci w następujący sposób. Z punktów badanych na planie wystawiamy prostopadłe do kierunków z danego stanowiska i odkładamy wielkości  $5p$  lub  $10p$ , kreśląc przez otrzymany punkt równoległą do danego kierunku pierwotnego.

Podobnie postępujemy z przesunięciami dla danego punktu z następujących 2 stanowisk.

Przecięcie równoległych teoretycznie powinno nastąpić w jednym punkcie i wyznaczyć nam położenie jego w czasie pomiaru aktualnego w stosunku do pomiaru wyjściowego. Równoległe te dają z reguły w przecięciu niewielki trójkąt błędów, który należy rozwiązać wg zasady podanej w załączonym poniżej przykładzie (zał. 4).

#### Z a ł ą c z n i k 4

**Wyznaczenie najprawdopodobniejszego położenia punktu wewnątrz trójkąta błędów**

Przez wykreślenie równoległych do celowych biegnących ze stanowiska A, B i C powstanie trójkąt błędów  $P_1 P_2 P_3$ . Długość jego boków, wzięte z rysunku, wynoszą:  $s_1 = 52$  mm,  $s_2 = 38$  mm,  $s_3 = 52$  mm.



Długości celowych wcinających wynoszą:

od stanowiska A — 600 m  $A^2 = 30625$

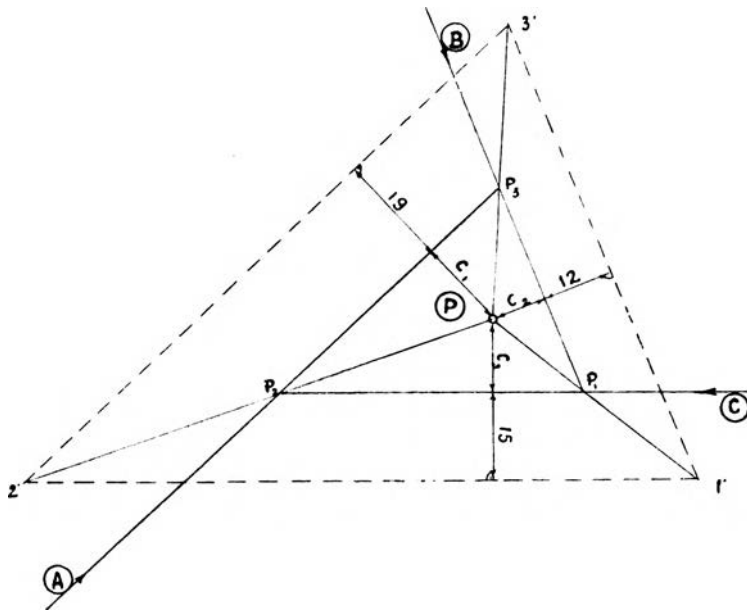
od stanowiska B — 560 m  $B^2 = 27225$

od stanowiska C — 530 m  $C^2 = 28900$

Wzajemny stosunek odległości  $C_i$  najprawdopodobniejszego położenia punktu P od boków trójkąta błędów, będzie:

$$C_1 : C_2 : C_3 = \frac{A^2 s_1}{p_A} : \frac{B^2 s_2}{p_B} : \frac{C^2 s_3}{p_C}$$

gdzie  $p_i$  oznaczają wagi kierunków pomierzonych na stanowiskach A, B, C.



Rys. 58

W danym wypadku można przyjąć  $p_i = 1$ .

$$C_1 : C_2 : C_3 = 18,7 : 11,9 : 14,6$$

lub

$$C_1 : C_2 : C_3 = 19 : 12 : 15.$$

W odstępach równych 19, 12, 15 mm należy poprowadzić równoległe do boków  $s_1$ ,  $s_2$  i  $s_3$  wewnątrz lub na zewnątrz trójkąta błędów. Punkty przecięcia tych równoległych dadzą punkty  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ . Punkt przecięcia prostych

$1' - P_1$ ,  $2' - P_2$ ,  $3' - P_3$  będzie szukanym punktem P.

*Uwaga:* Sposób wyznaczania najprawdopodobniejszego położenia punktu wewnątrz trójkąta błędów zaczerpnięto z podręcznika Jordana.

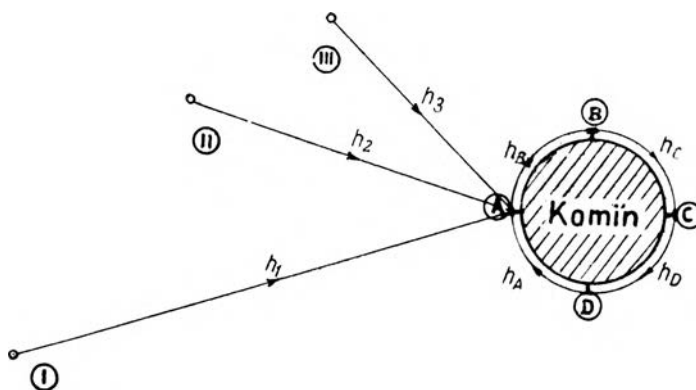
Wielkości przesunięcia odczytujemy z planu w celu uzyskania rzeczywistej wartości liniowej przesunięcia, odległości pomierzone na planie

dzielimy przez 5 lub 10 zależnie od powiększenia stosowanego przy naniżeniu  $p_i$ . Dzięki stosowaniu powiększenia pięcio- lub dziesięcio-krotnego zmniejszamy błędy graficzne do wielkości praktycznie zaniedbywalnych.

Opracowane w powyższy sposób wszystkie punkty badane w kolejnym połączeniu dadzą obraz zachowania się obiektu badanego. Na planie otrzymujemy rzut poziomy przesunięć całego obiektu lub jego osi symetrii.

### 2. 5. 5. Obliczenie przesunięć pionowych

Pomiar niwelacyjny komina fabrycznego lub masztu z nawiązaniem do 3 reperów stałych nie powoduje zazwyczaj poważniejszych trudności przy wyrównaniu i wyznaczeniu wielkości osiadań.



Rys. 59

Jeśli repery badane A, B, C, D tworzą ciąg wiszący (rys. 59), to przesunięcia ich możemy wyznaczyć z różnic wysokości pomiaru wyjściowego i aktualnego wg zasady wyrównania i obliczenia przesunięć podanej przez prof. T. Lazzariniego w publikacji pt. „Geodezyjne pomiary odkształceń” § 20, str. 91. Obliczenie można przeprowadzić w dwojaki sposób:

1. Przez części. Obliczyć przesunięcie punktu A przy pomocy średniej arytmetycznej z 3 dowiązań do reperów stałych i oddzielnie wyrównać obwodnicę A, B, C, D, przy pomocy 2 równań warunkowych.

$$V'a + V'b + V'c + V'd + \omega_1 = 0$$

$$V''a + V''b + V''c + V''d + \omega_2 = 0$$

2. Można też rozwiązać równocześnie 4 równania zgodnie z wzorem  $W = h - r + z = 7 - 4 + 1 = 4$

$$1. V'a + V'b + V'c + V'd + \omega_1 = 0$$

$$2. V'a' + V'b' + V'c' + V'd' + \omega_2 = 0$$

$$3. V'_1 - V'_1' - V'_2 + V'_2' + \omega_3 = 0$$

$$4. V'_1 - V'_1' - V'_3 + V'_3' + \omega_4 = 0$$

Jednocześnie wyrównanie całej sieci pozwoli na wyznaczenie prawdopodobniejszej wielkości średniego błędu, średniej różnicy wysokości na podstawie wzoru:

$$(m^0) = \pm \sqrt{\frac{|pvt| + |p'v't'|}{w}}$$

W przypadku gdy w okresie między pomiarami jeden lub więcej reperów uległo uszkodzeniu lub zniszczeniu, a przebieg obserwacji aktualnej jest inny niż pomiaru wyjściowego, przeprowadzamy wyrównanie każdej obserwacji oddzielnie metodą zawarunkowaną a przesunięcia wyznaczamy z różnicy rzędnych między pomiarem wyjściowym i aktualnym.

#### 2. 5. 6. Sposób prof. Hausbrandta

Przy badaniach okresowych w pewnych wypadkach można stosować również metodę obliczeń opartą na rachunku krakowianowym. Metoda ta może mieć zastosowanie tylko wtedy, jeżeli układ celowych podczas poszczególnych obserwacji jest jednakowy. Prof. Hausbrandt zakłada bezbłądność wyników pomiaru wyjściowego, co stwarza zasadniczą różnicę w stosunku do sposobu stosowanego przez I. G. i K. Główną zaletą omawianej metody jest możliwość ścisłego określenia wielkości przesunięć poziomych oraz obliczenie błędów przesunięć.

Prof. Hausbrandt w publikacji pt. „Rachunki geodezyjne” w artykule „Zagadnienie wyznaczenia drobnych ruchów punktów pomiarowych” (pomiary odkształceń) str. 118-130, przedstawia zasady teoretyczne metody krakowianowej dla wyznaczenia przesunięć poziomych i pionowych. Praca ilustrowana jest przykładami.

#### 2. 6. Analiza dokładności opracowania graficznego

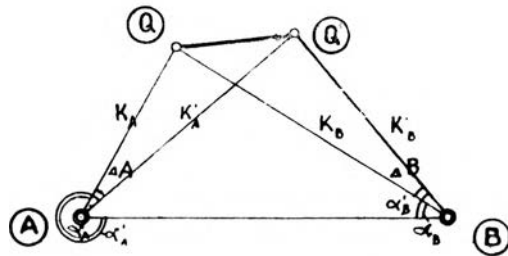
Opracowanie graficzne powinno być wykonane z jak największą starannością, lecz mimo wszystko musimy się liczyć z pewnymi błędami, które będą w pewnej mierze wpływały zarówno na wielkość, kierunek i punkt zaczepienia wektora przesunięcia. Ponieważ wektor przesunięcia punktu powstaje w wyniku omawianych powyżej prostych naogół czynności kreślarskich, postaramy się przeanalizować możliwe niedokładności i określić ich wpływ na dokładność opracowań.

Ogólne ujęcie analizy zostało zaczerpnięte z referatu prof. T. Lazzariniego pt. „Pomiary odkształceń” — wygłoszonego w grudniu 1955 r. na XI konferencji naukowo-technicznej w Krakowie.

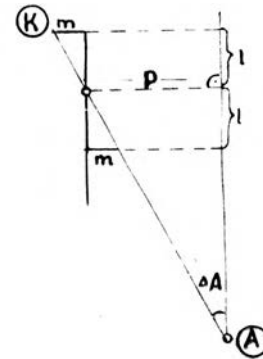
Podstawową czynnością graficzną jest opracowanie przesunięcia punktu. Rozważmy prosty przypadek wyznaczenia punktu Q obserwowanego z 2 stanowisk A i B rys. 60 zakładając przy tym ich stałość.

1. Przy odkształceniach sprężystych budowli spotykamy się zazwyczaj z przesunięciami rzędu kilku lub kilkunastu milimetrów. Biorąc

pod uwagę fakt, że wielkości te wyznaczone są ze znacznych odległości, np. ok. 100 m, stwierdzimy, że kąt zbieżności kierunku wyjściowego i aktualnego jest bardzo mały.



Rys. 60



Rys. 61

Określamy zatem w jakich granicach odkładanie równoległych zamiast zbieżnych celowych będzie możliwe, by nie wpłynęło to ujemnie na zniekształcenie wielkości wektora przesunięcia.

Zamiast  $\Delta_A$  (rys. 61) odkładamy równoległą w odległości

$$P = c \operatorname{tg} \Delta_A \cong \frac{c}{\rho''} \cdot \Delta_A$$

co spowoduje błąd „m”. Wielkość ta wskazuje jak daleko zeszliśmy z prostej A-K stosując powyższe uproszczenie.

Założmy, że dokładność kreślenia = 0,1 mm, a  $\Delta_A = 1'$ , wówczas

$$l = \frac{m}{\operatorname{tg} \Delta_A} \cong \frac{m}{\Delta_A} \cong \frac{0,1 \text{ mm}}{0,0003} \cong 333 \text{ mm}$$

Jak widać z powyższego przykładu, uproszczenie to można stosować niemal przy każdym pomiarze odkształceń, zaś dla zmniejszenia błędów kreślarskich stosujemy powiększenie 5 : 1 lub 10 : 1 dla naniesienia wielkości przesunięcia poprzecznego p.

- Może również zaistnieć możliwość, że podstawowy trójkąt AQB zostanie naniesiony z pewnym błędem kreślarskim. Zbadajmy, jaki wpływ będzie to miało na zmianę kierunku i wielkość wektora przesunięcia. Przy wyprowadzaniu wzoru zakładamy dla uproszczenia, że punkt  $Q$  leży w  $Q$  zaś proste  $A-Q$  i  $B-Q$  są symetrycznie odchyłone od  $A-Q$  i  $B-Q$  i wykreślone prawidłowo (rys. 62).

Błąd  $\Delta\gamma$  określimy przy założeniach: długość celowych przyjmujemy 100 m, skala planu 1 : 1000, błąd naniesienia punktu na plan ok.  $\pm 0,2$  mm. otrzymamy wówczas największy błąd kątowy wzdłuż

jednego ramienia dochodzący do 0,004, a błąd kąta  $\gamma$  w niekorzystnym wypadku około 27'. Podstawiając te wielkości do wzoru

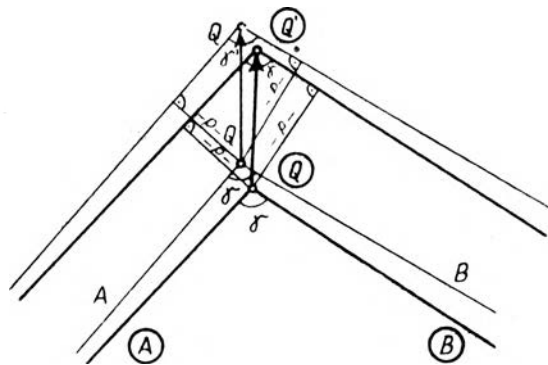
$$\Delta q_{\gamma} = \pm \frac{1}{2} q \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \cdot \Delta \gamma \text{ otrzymamy}$$

$$\text{dla } \gamma = 60^{\circ} \quad \Delta \rho_{\gamma} = 0.00004 \text{ p}$$

$$\text{dla } \gamma = 90^{\circ} \quad \Delta \rho_{\gamma} = 0.00002 \text{ p}$$

$$\text{dla } \gamma = 120^{\circ} \quad \Delta \rho_{\gamma} = 0.00001 \text{ p}$$

(dane zaczerpnięte z referatu prof. T. Lazzariniego).



Rys. 62

3. Rozważmy, jaki wpływ posiada na wektor przesunięcia błędne odłożenie wielkości prostopadłych  $p$ . Na podstawie wzoru

$$q = \frac{p}{\sin \frac{\gamma}{2}}$$

$$\delta q = \frac{1}{\sin \frac{\gamma}{2}} \delta p = \frac{q}{p} \delta p$$

$$\Delta q = \pm p \cdot \frac{\Delta p}{p}$$

Przy małych długościach prostopadłych  $p$  błąd ten może zniekształcić znacznie wielkość samego przesunięcia. W tym wypadku stosowanie powiększenia dla  $p$  5 : 1 lub 10 : 1 wpłynie korzystnie na zmniejszenie się tego błędu.

4. W przypadku niedokładnego poprowadzenia równoległych do kierunków  $A - Q$  i  $B - Q$  w odległości  $p$  spowodujemy błąd podobny jak w przypadku 2. Aby wpływ omawianych błędów był sumarycznie minimalny, należy jednak bardzo starannie przeprowadzać czynności kreślarskie przy rozwiązywaniu graficznym. Przeprowa-

dzione prace tą metodą, zarówno na zaporach jak też przy pomiarze kominów czy innych obiektów budowlanych, wykazały dostatecznie dużą dokładność i minimalny nakład czasu przy opracowaniu.

### **3. Jednorazowa kontrola pionowości kominów fabrycznych i masztów radiowych**

Pomiary pionowości wysokich kominów fabrycznych lub masztów radiostacji przeprowadzane są niejednokrotnie bądź to dla kontroli, bądź też dla przeprowadzenia konserwacji (np. poprawienie pionowości masztu radiowego przez odpowiedni naciąg ściągow). Do prac powyższych wykonawcy stosują różne metody i sposoby pomiarów, często zbyt pracochłonne, a nie zawsze gwarantujące wymaganą dokładność pomiaru. Dlatego wydaje się słusznym podanie pewnej sugestii dla ujednoczenia tych prac przez wprowadzenie odpowiedniej metody. Z praktyki oraz publikacji można wytypować mniej lub więcej szczęśliwe rozwiązania tego zagadnienia. Obok dosyć prostych sposobów rzutowania na łąkę poziomą, ustawioną przy podstawie komina lub masztu (sposób nie wymagający niemal zupełnie obliczeń), stosowano dosyć często metodę wciągnięcia wprzód opublikowaną przez prof. Z. Kowalczyka pt. „Pomiar wysokości kominów fabrycznych i kontrola ich pionowości” (Geodezja i Kartografia, tom I, zeszyt 1-2, str. 43). Metodę tę stosowano przez pewien czas przy okresowych pomiarach odkształceń kominów fabrycznych na terenie Huty im. Lenina. Jest ona bardzo pracochłonna zarówno w pracach polowych jak i obliczeniach. Poza tym przy dużym ruchu budowlanym stosowanie tego sposobu staje się bardzo uciążliwe ze względu na trudności wynikające podczas pomiarów bazy (w kształcie trójkąta założonej wokół komina).

#### **3. 1. Metoda analityczno-graficzna**

Śledząc postęp w tej dziedzinie łatwo zauważyć wśród wykonawców dążenie do znalezienia bardziej odpowiednich metod pomiaru i do określania wielkości przesunięć z bezpośrednich elementów pomiarowych, a nie ich funkcji. Rozpowszechniona obecnie, a co ważniejsze, rzec by można, uniwersalna dla tych prac jest metoda omawiana powyżej, opracowana przez inż. Langa dla zapór wodnych.

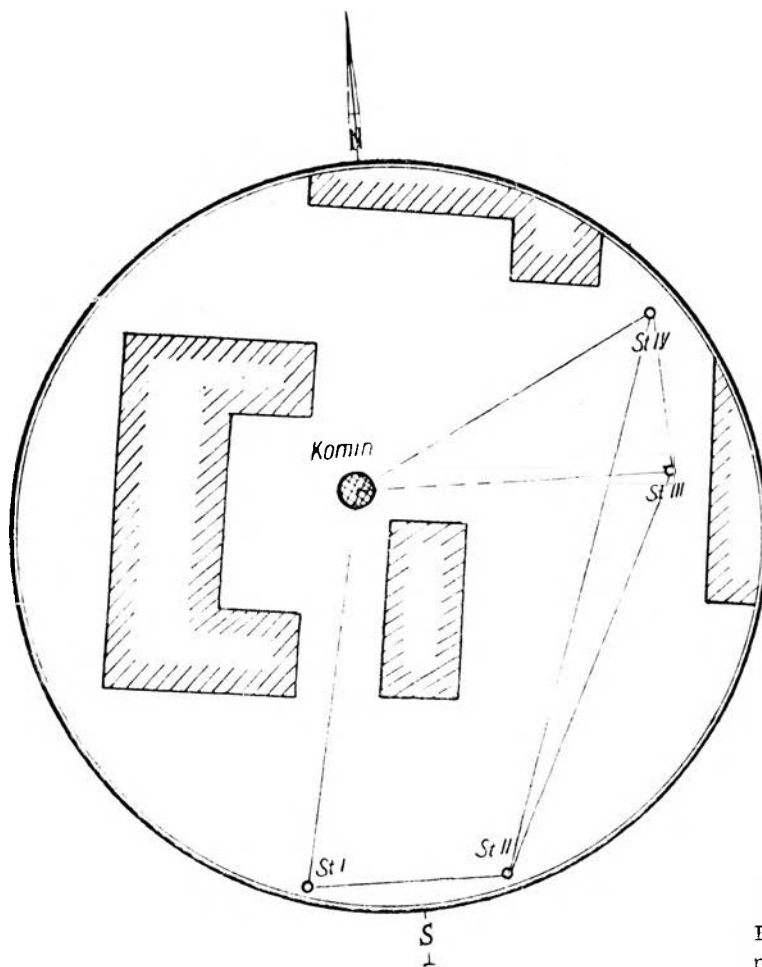
Wyznaczenie przesunięć wierzchołka względnie środka komina określamy w stosunku do podstawy (przyjmując iż w czasie pomiaru jest ona stała). Technika wykonywania pomiaru jak i samego opracowania jest bardzo podobna do omawianej powyżej przy badaniach okresowych. Ze względu na wymagane zazwyczaj mniejsze dokładności niż przy pomiarach okresowych, jak też z uwagi na jednorazowe wykonanie pomiaru, stabilizacja stanowisk może być prowizoryczna.

Pomiar wykonujemy teodolitem jednosekundowym z libelą nasadkową, ustawionym na statywie drewnianym. Teodolit powinien być osłonięty przy pomocy parasola przed działaniem promieni słonecznych.

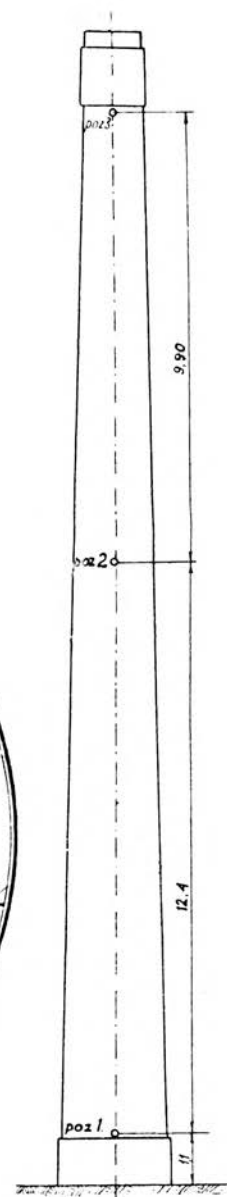
### 3. 1. 1. Wykonanie pomiaru

Istota pomiaru polega na określeniu wielkości kątowych  $\Delta\alpha$  między poszczególnymi punktami osi symetrii w badanych poziomach komina w stosunku do jego podstawy.

Ponieważ osi symetrii nie można zasygnalizować jednoznacznie dla wszystkich trzech stanowisk obserwacyjnych, dlatego obserwacje wykonujemy na lewą i prawą krawędź komina w oznaczonym przekroju, a do opracowań bierzemy średnie z obu kierunków, co przy kominach o prawidłowym kołowym przekroju pozwoli z pewnym przybliżeniem określić położenie osi symetrii.



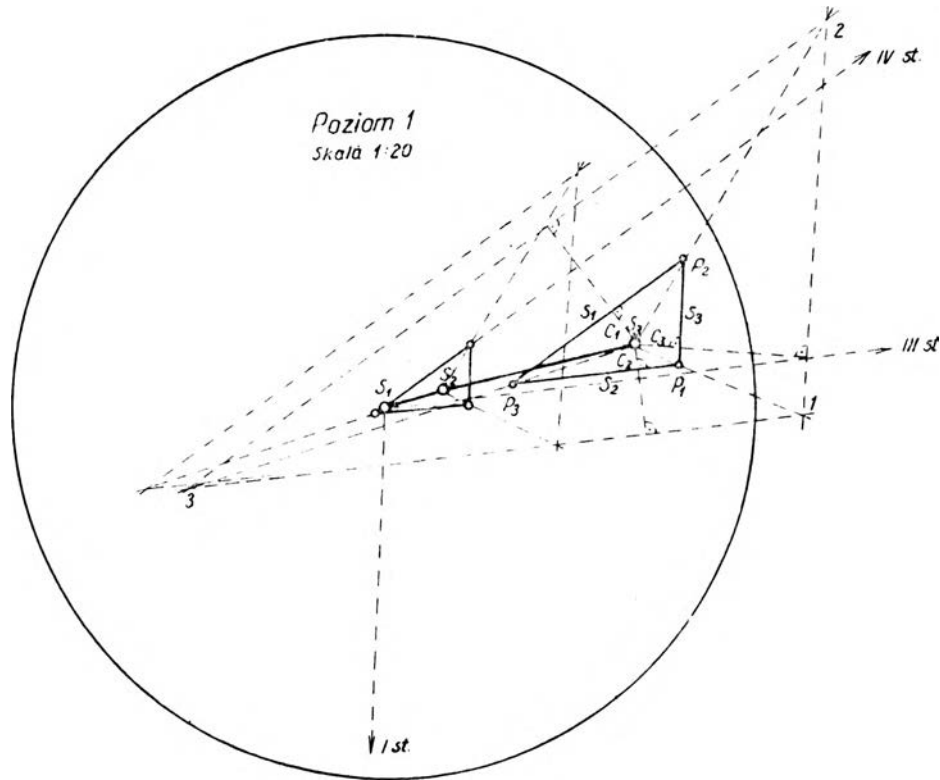
Rys. 63a. Szkic usytuowania stanowisk



Rys. 63b. Widok komina z oznaczeniem poziomów, na których wyznaczano położenie osi

Przed wykonaniem pomiaru teodolit winien być dokładnie spoziomowany.

Obserwacje powinny być wykonane metodą kierunkową w 2 seriach. Całość pomiarów należy przeprowadzać w dobrych warunkach atmosferycznych przy bezwietrznej i pochmurnej pogodzie. Wpływ silnego wia-



Rys. 63c. Położenie osi kmina  $S_1, S_2, S_3$  w poziomach 1.2.3. w rzucie na poziom 1. Punkty  $S_1, S_2, S_3$  wyznaczono przy pomocy trójkąta błędów z uwzględnieniem jego wielkości i długości celowych wg wzoru:  $C_1 : C_2 : C_3 = \frac{A^2_{s_1}}{P_A} : \frac{B^2_{s_2}}{P_B} : \frac{C^2_{s_3}}{P_C}$ . Wzajemne położenie osi skala 1 : 1

tru na wysoki komin może dochodzić do kilkunastu cm (wg opinii specjalistów). Pomiar rozpoczynamy od punktów przy podstawie, przechodząc kolejno ku górze. Dla określenia odległości między badanymi przekrojami, bądź też całkowitej wysokości kominą metodą trygonometryczną należy jednocześnie pomierzyć i kąty pionowe, a następnie przy pomocy taśmy lub nawet tachimetrycznie pomierzyć odległości oraz kąty między stanowiskami, jak też od stanowisk do badanego obiektu (odległość z dokładnością ok. 1 : 500). Dane kątowe i liniowe są konieczne do obliczenia przybliżonych współrzędnych stanowisk oraz podstawy obiektu i naniesienia na karton dla opracowania graficznego wielkości przesunięć.



### 3. 1. 2. Wyznaczenie pochylenia obiektu w rzucie poziomym

Z obserwacji na poszczególnych stanowiskach określamy przesunięcia kątowe drogą prostych przeliczeń.

Jako kierunek wyjściowy przyjmujemy średni kierunek na poziom przy podstawie, a następnie przez porównanie ze średnimi kierunkami pomierzonymi na poziomach górnych, otrzymamy wielkości kątowe przesunięcia z danego stanowiska. Podstawiając wartości  $\Delta\alpha$  do prostego wzoru  $p_i = \frac{c_i}{\rho''} \cdot \Delta\alpha$  dla małych wielkości kąta lub też do wzoru  $p_i = c_i \cdot \text{tg } \Delta\alpha$  przy znacznych wielkościach kątowych otrzymamy składowe przesunięcia liniowych z danego stanowiska.

Graficzna zasada wyznaczania wielkości pochylenia komina w rzucie poziomym oparta jest na następujących operacjach.

Sporządzamy w skali plan stanowisk i punktów badanych obiektu. Dla kominów i masztów punktami wyjściowymi będzie punkt na osi symetrii przy podstawie. Ze stanowisk do punktu wyjściowego kreślimy celowe. Równoległe do tych celowych w odległości  $\eta_i$ , kreślimy proste równoległe ( $p_i$  w skali zazwyczaj powiększonej w stosunku do skali rysunku, np. 1 : 1 lub 2 : 1). Przecięcie równoległych ze wszystkich trzech stanowisk określi nam położenie punktu. Tą samą operację przeprowadzamy z następnym badaniem poziomem. Z przecięcia równoległych powstanie zazwyczaj niewielki trójkąt błędów, który należy rozwiązać wg przykładu podanego powyżej (w rozdz. 2. 5. 4.).

Jedną z przyczyn powstania trójkąta błędów może być również nieprawidłowy przekrój komina (tzn. różniący się od koła).

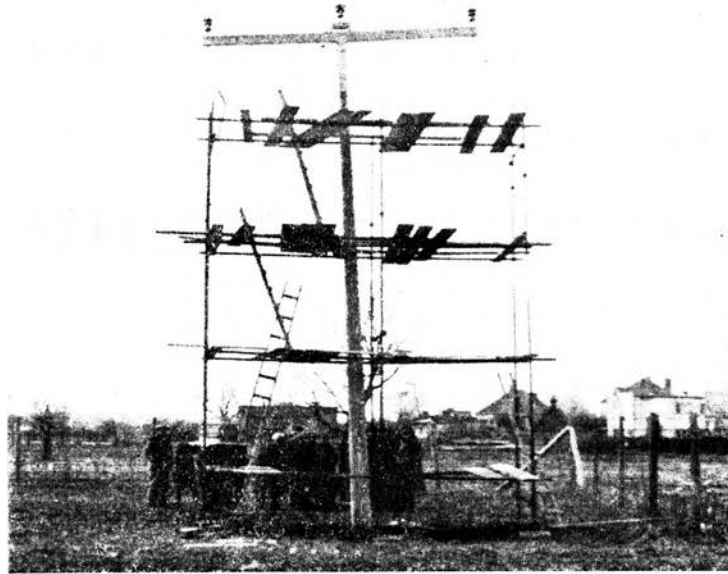
Połączone kolejno punkty wyznaczone na planie dadzą nam w skali wielkość i kierunek przesunięcia komina (w rzucie poziomym).

## 4. Pomiar odkształceń masztów energetycznych przy próbnym obciążeniu

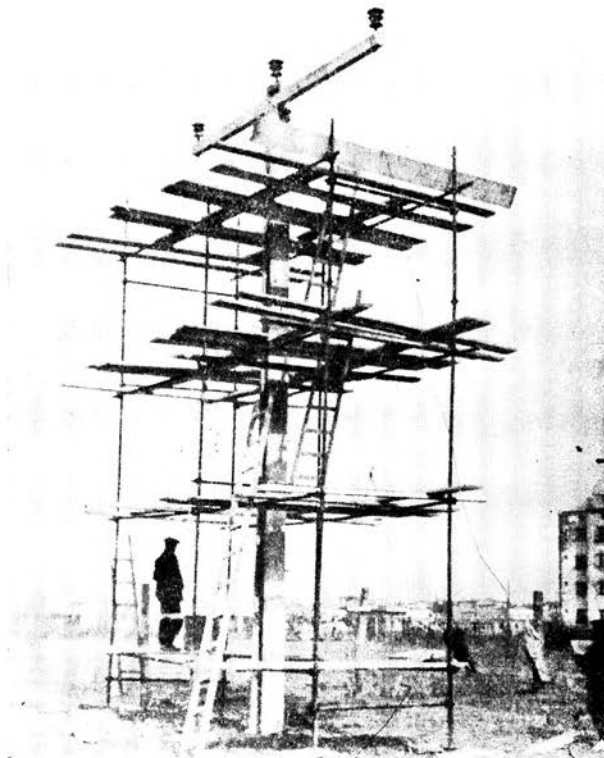
### 4. 1. Uwagi ogólne

Maszty energetyczne linii wysokiego napięcia wymagają dużej wytrzymałości ze względu na konieczną gwarancję całkowitego bezpieczeństwa przy najbardziej niesprzyjających warunkach atmosferycznych (jak burze, huragany itp.) Dlatego też nowoprojektowane maszty energetyczne, przed rozpoczęciem masowej produkcji i zastosowaniem ich do budowy z reguły poddawane są szczegółowym badaniom w warunkach polowych.

Zmontowany i ustawiony na polu doświadczalny maszt energetyczny (wkopany w ziemię w pozycji pionowej) poddaje się obciążeniu siłami poziomymi i pionowymi. Wielkości i kierunki sił obciążających określa program badań. W ogólnych zarysach program przewiduje zazwyczaj następujące badania:



Rys. 64



Rys. 65

1. Próba wytrzymałości na parcie wiatru,
2. Próba na skręcanie w przypadku zerwania jednego z przewodów skrajnych.
3. Próba wytrzymałości na jednostronny naciąg wszystkich przewodów w kierunku równoległym do linii wysokiego napięcia.

Próbne obciążenia wykonywane są na ogół prostym sposobem za pomocą lin stalowych, umocowanych jednym końcem w miejscu przyłożenia siły działającej na maszt, zaś drugi koniec liny obciążamy balastem w postaci płyt betonowych, żeliwnych itp. układanych w miarę potrzeby na zaczepionej do drugiego końca liny małej platformie drewnianej. Zmianę kierunku działania siły z pionowej na poziomą uzyskujemy przy pomocy bloczka. Bloczek przytwierdzony bywa na niezależnym trójnogu ustawionym w pewnej odległości od badanego masztu i wysokości równej w przybliżeniu wysokości zaczepienia liny na badanym maszcie.

#### 4. 2. Pomiary połowe

4. 2. 1. Stanowiska teodolitu i urządzenia pomiarowe. W przypadku wykonywania pomiarów odkształceń dla wspomnianych powyżej prób wytrzymałości stanowiska teodolitu stabilizujemy na dwóch prostych; prostopadłych do siebie.

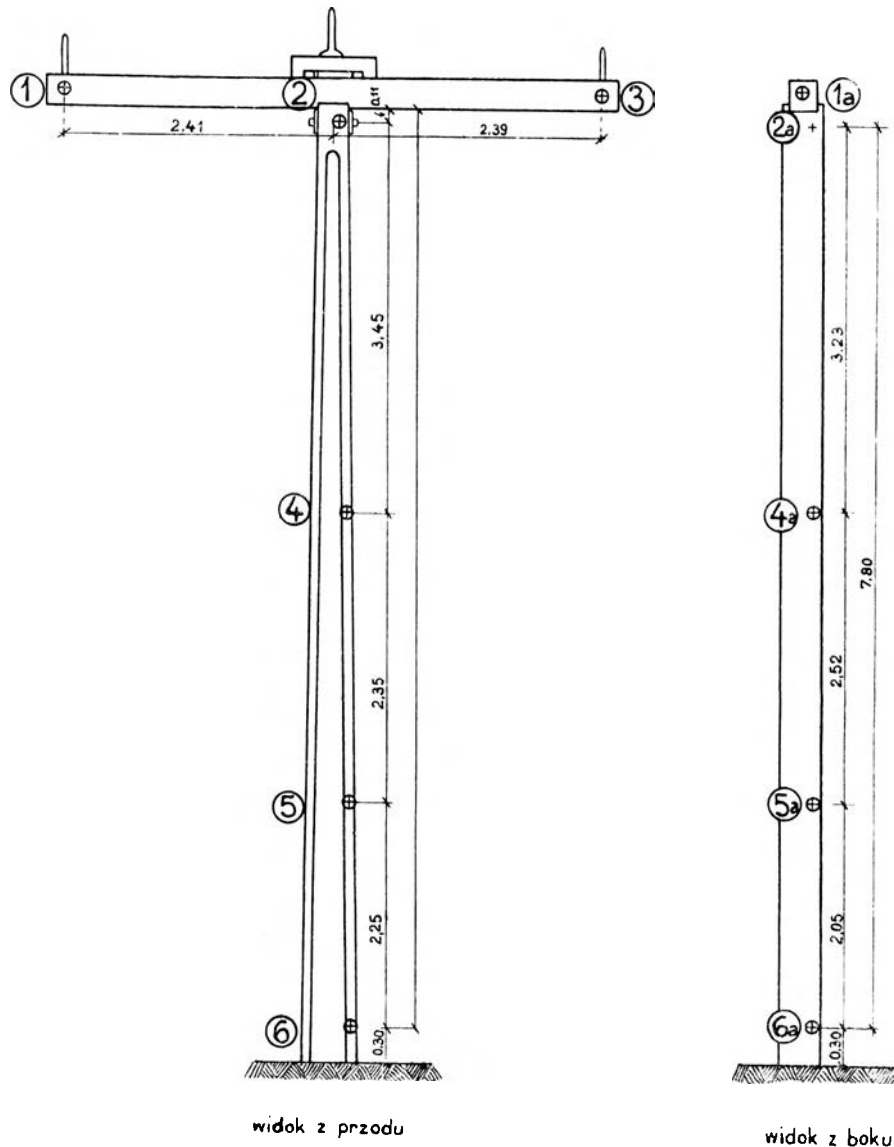
W odległości równej ok. dwie wysokości masztu na prostej prostopadłej do linii wysokiego napięcia, oraz na prostej równoległej do linii, stabilizujemy dwa stanowiska przy pomocy bolców metalowych z naciętym krzyżem (na górnej podstawie), lub przy pomocy palika (z gwoździem).

Usytuowanie należy tak dobrać, by obserwator najmniej narażony był na obserwację pod światło, gdyż odbłask promieni słonecznych może bardzo niekorzystnie wpłynąć na wykonanie obserwacji. Znaki pomiarowe w okresie pomiaru winny być chronione przed uszkodzeniem lub poruszeniem.

Na powierzchniach masztu od stron stanowisk rozmieszczamy celowniki tarczowe w pewnych odległościach od siebie. Ilość poziomów dla rozmieszczenia celowników zależy jest od wielkości oraz konstrukcji badanego masztu i waha się od 4 do 7 wzdłuż całej wysokości. Tarczki celownicze rozmieszcza się również i na końcach poprzeczek, na których umieszczone są izolatory skrajnych przewodów.

Punkty orientacyjne stabilizujemy na sąsiednich budynkach przy pomocy celowników tarczowych. Odległości tych punktów mogą być dosyć duże (powyżej 200 m). Wskazane jest również, by jeden z punktów nawiązania znajdował się w odległości od 50 do 100 m od stanowiska na wysokości ok. 1,5 m, a to w celu dowiązywania obserwacji kątów pionowych, szczególnie przy zmianie wysokości teodolitu. Takie dowiązanie ułatwi nam przeprowadzenie redukcji na jeden poziom odniesienia dla wszystkich obserwacji. Jako poziom odniesienia ustala się zazwyczaj płaszczyznę horyzontu podczas pomiaru wyjściowego. Horyzont instrumentu można u-

stalić również przy pomocy łąty niwelacyjnej umieszczonej na specjalnym reperze w pewnej odległości od stanowiska.



Rys. 66. Słup strunobetonowy. Szkic rozmieszczenia celowników

#### 4 2. 2. Wykonanie obserwacji

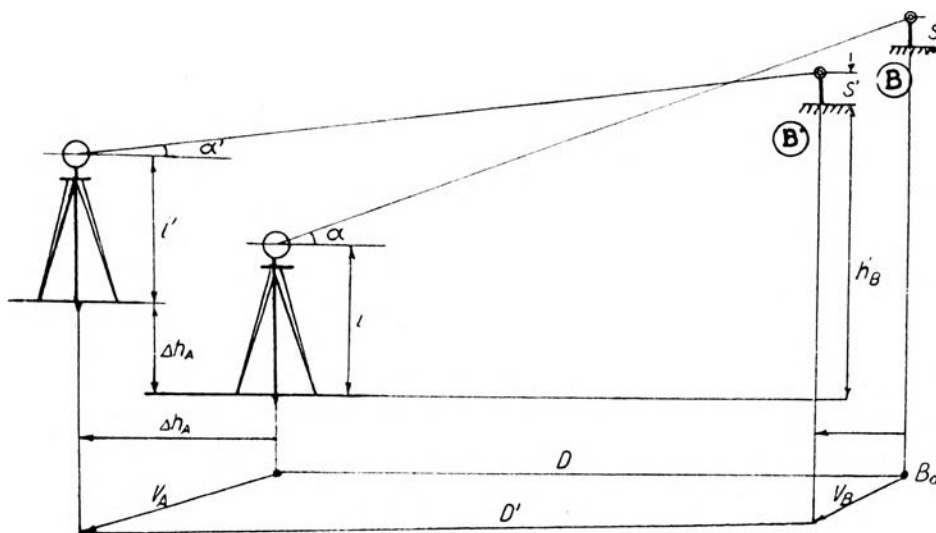
Przed rozpoczęciem obciążeń wykonujemy pierwszą obserwację, tzw. wyjściową. Mierzymy jednocześnie kąty poziome metodą kierunkową w dwóch seriach oraz kąty pionowe na punkty nawiązania i punkty badane.

Przy każdym obciążeniu, lub odciążeniu robimy podobne jak wyżej pomiary katowe. Należy przy tym uważać, by obserwacje wykonywane by-

ły w możliwie jednakowych warunkach atmosferycznych. Obserwacje powinny być wykonane teodolitem tzw. 1". Instrument winien być w bardzo dobrym stanie, sprawdzony i zrektyfikowany. Całość obserwacji należy wykonać jednym i tym samym teodolitem przez jednego obserwatora.

#### 4. 3. Opracowanie kameralne wyników pomiarów

Zredukowane do obserwacji wyjściowej pomiary kątowe zestawiamy we wspólnej tabeli wypisując je wg kolejności wykonania. Z tabeli tej wyliczamy przesunięcia kątowe zazwyczaj w sekundach w odniesieniu do obserwacji wyjściowej, oddzielnie dla przesunięć poziomych i oddzielnie dla przesunięć pionowych. Znak dodatni lub ujemny ustalamy zależnie od kierunków z podziału limbusa, tzn. przyjmujemy zasadę odejmowania odczytu kierunku z pomiaru aktualnego od odczytu z pomiaru wyjściowego. Zachowanie znaków przy wyliczaniu przesunięć kątowych jest



Rys. 67

konieczne dla dalszego opracowania w formie graficznej. Obliczenie przesunięć poziomych nie nasuwa większych trudności i może być wyliczone z prostego wzoru

$$P_i = \frac{c_i}{\rho''} \Delta_i \quad \text{— w przypadku małych kątów}$$

bądź też z wzoru

$$P_i = c_i \operatorname{tg} \Delta_i \quad \text{— w zastosowaniu do dużych przesunięć kątowych.}$$

Do wyliczeń przesunięć pionowych należy stosować wzory Langa, opublikowane przez prof. T. Lazzariniego w Roczniku Geodezyjnym na rok 1954.

Wyprowadzenie zaczerpnięte z powyższej pracy podaję poniżej:

$$h_B = i + D \operatorname{tg} \alpha - S + (K - R)$$

$$h_B' = i' + D' \operatorname{tg} \alpha' - S' + (K - R) + \Delta h_A$$

gdzie  $(K-R)$  oznacza łączny wpływ krzywizny ziemi i refrakcji. Zakładając, że wpływ ten będzie jednakowy podczas pomiaru wyjściowego i aktualnego, otrzymamy:

$$\Delta h_B = h_B' - h_B = (i' - i) + D' \operatorname{tg} \alpha - D \operatorname{tg} \alpha - (S' - S) + \Delta h_A$$

Ze względu na niewielkie przesunięcia poziome stanowiska i punktu obserwowanego, możemy przyjąć  $D' \cong D + (\Delta D_A + \Delta D_B)$ . Odnośnie składników  $\Delta D_A$  i  $\Delta h$  zakładamy przeważnie, iż są one równe zeru, ponieważ przyjmujemy, że podczas krótkotrwałej obserwacji masztu stanowisko jest stałe, natomiast składnik  $\Delta D_B$  wyliczamy z przesunięć poziomych. W związku z tym otrzymamy:

$$\Delta h_B = \Delta_i - \Delta S + D (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha) + \Delta D_B \operatorname{tg} \alpha'$$

Gdy przesunięcie kątowe  $\alpha' - \alpha = \Delta \alpha$  nie przekracza kilku minut, więc

$$\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} (\alpha + \Delta \alpha) - \operatorname{tg} \alpha \cong \frac{1 + \operatorname{tg} 2\alpha \cdot \Delta \alpha}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \Delta \alpha} \cong (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \Delta \alpha$$

oraz

$$\Delta h_B \cong \Delta_i - \Delta s + (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \cdot D \cdot \frac{\Delta \alpha''}{\rho''} + \Delta D_B \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Otrzymane wielkości przesunięć poziomych i pionowych zestawiamy w tabelkach. W górnej części tabeli należy podać wielkość obciążenia, numer obserwacji i datę pomiaru itp., a następnie w kolumnach ustawiamy w kolejności wykonywania pomiaru wartości przesunięć.

Oprócz zestawienia tabelarycznego w celu graficznej ilustracji przebiegu odkształceń rysujemy wykresy dla obserwacji wykonanych przy bardziej charakterystycznych obciążeniach. Jako podkład do wykresu służy nam zazwyczaj rysunek masztu (w rzutach) wykonany w odpowiedniej skali z naniesionymi znakami pomiarowymi (które obserwowaliśmy podczas badań z danego stanowiska). Dla poszczególnych punktów nanosimy wielkości przesunięć poziomych i pionowych.

Skalę przesunięć utrzymujemy zazwyczaj 10 : 1, 5 : 1, lub 2 : 1 dla niewielkich przesunięć, lub 1 : 1, 1 : 2 i 1 : 5 dla większych przesunięć. Stosowanie do jednego wykresu innej skali dla rysunku a innej dla odkształceń jest podyktowane niewspółmierną wielkością badanego masztu do jego odkształceń. Wyznaczone na rysunku punkty przy pomocy wektorów przesunięć poziomych i pionowych, łączymy kolejno ze sobą, otrzymując w ten sposób linię odkształceń badanego masztu (w skali spaczonej). Przy bardzo dużych odkształceniach można stosować dla wykresu jedną skalę, wówczas linie odkształceń będą miały przebieg naturalny (w danej skali).







#### LITERATURA

- [1] *Bezuchow K. J.* Ispytanije stroitelnych konstrukcij i sooruzenij. Moskwa — 1954.
- [2] *Czyż T.* Obliczenia statyczne kominów fabrycznych.
- [3] *Hausbrandt S.* Rachunki geodezyjne, Warszawa — 1953.
- [4] *Jordan W.* Handbuch der Vermessungskünde. Stuttgart — 1933.
- [5] *Lazzarini T.* Geodezyjne pomiary odkształceń. Prace G.I.N.B. Warszawa 1952.
- [6] *Lazzarini T.* Wyznaczenie odkształceń metodami geodezyjnymi. Rocznik geodezyjny — 1954.
- [7] *Lazzarini T.* Pomiary odkształceń — Referat techniczno-naukowy wygłoszony na konferencji NOT w Krakowie — 1955 r.
- [8] *Lutz A. F.* Rozbiwka krupnych sooruzenij. Moskwa — 1952 r.
- [9] *Łącki B., Jurczyński H.* Obsługa geodezyjna budowy fabrycznych kominów żelazobetonowych. Przegląd geodezyjny Nr 11 — Warszawa 1954 r.
- [10] *Łącki B.* Pomiary pionowości masztów radiowych metodą różnicową. Przegląd geodezyjny Nr 1, Warszawa — 1955 r.
- [11] *Kłoś C.* Kminy fabryczne — Warszawa — 1952 r.
- [12] *Szymoński J.* Instrumentoznawstwo geodezyjne. Część I. Warszawa — 1954 r.

СТЭФАН ЗЫКУБЭК

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ДЫМНЫХ ТРУБ И МАЧТ

### Резюме

Измерение деформации высоких фабричных дымных труб или радиомачт является особенно важным в тех случаях, когда существуют причины, непосредственно, или посредственно вызывающие деформации исследуемого объекта.

Периодические исследования деформации состоят обыкновенно из измерения двоякого рода:

1. Измерения горизонтальных перемещений.
3. Измерения оседаний.

Так как необходимыми являются непрерывные исследования, следует надлежаче запроектировать измерительную сеть.

Точками отнесения должны быть:

1. Три станции теодолита, в форме бетонных колонн с металлическими плитами для установки и центрирования теодолита.
2. Визирные диски прочно (на глухо) закрепленные в стенах здания и хорошо видимые во время наблюдения.
3. По меньшей мере три стенные или земные реперы (для измерения оседаний).

Контроль постоянства следует вести методом обратных засечек, основываясь на измерениях исходном и актуальном 5-ти (по крайней мере) контрольных, недалеко лежащих точек (60—150 м от станции)

Избранные для наблюдений уровни дымных труб должны быть однозначно определены (левый и правый край дымной трубы), чтобы угловые наблюдения на всех трех станциях относились к точкам, расположенным на одной и той же высоте. Для обработки наблюдений следует принять среднюю арифметическую отсчетов обоих краев дымных труб.

Наблюдения, равно угловые как и нивелиационные, должны производиться с наивысшей точностью прецизионными инструментами. Во время

измерений теодолит должен быть снабжен накладным уровнем чтобы уменьшить влияние негоризонтальности инструмента на точность измерения углов при крутых визирных линиях. Камеральная обработка наблюдений ведется аналитически — графическим путём.

Угловые величины перемещений определяются из стационарно уравновешенных наблюдении. Из угловых перемещений, отдельно для каждой станции, определяем при помощи простых тригонометрических формул, линейные перемещения. Итоговую величину и направление перемещения (сдвига) определяем графически на плане. Масштаб плана и масштаб обработки деформации принципиально разнятся между собой. Определение небольших сдвигов, при большой точности измерений производится, с целью уменьшения возможных графических ошибок, в масштабе, напр. 5:1.

Наблюдения оседании производятся подобным образом, как классическая нивелировка, а величины вертикальных перемещении вычисляем из совокупного уравновешения превышений (склонений), полученных при исходном и актуальном наблюдениях.

Однократные измерения отвесности высоких дымовых труб или радиомачт также могут быть производимы аналитически-графическим методом. Наблюдения производятся в этом случае на деревянных штативах. Величины сдвигов (смещения на исследуемых высоких горизонтах зданий определяются относительно основы объекта. Дальнейшая обработка аналогична обработке при периодических исследованиях деформации.

#### ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ И МАЧТ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОБНЫХ НАГРУЗКАХ

Исследование имеет целью определение устойчивости ферм и мачт электропередачи при действии на них сил, определенных по своей величине и направлению, в программе исследования.

По всей высоте фермы или мачты, в нескольких наиболее характеристических точках закрепляются, наглухо на весь период наблюдения, визирные диски. В направлениях, перпендикулярных к направлениям натягивающих сил и на расстояниях, равных 3—4 высотам фермы или мачты, станции инструмента стабилизируются деревянными пикетами или металлическими стержнями с насеченным крестом.

Наблюдения деформации производятся теодолитом, установленном на штативе; при каждой нагрузке одновременно измеряют горизонтальные и вертикальные углы. Угловые перемещения наблюдаемых точек определяем путём сравнения отдельных наблюдений с исходным наблюдением (произведенным до нагрузки фермы или мачты).

Линейные величины деформации вычисляем, пользуясь тригонометрическими формулами; на основании полученных векторов чертится график прогибов, иллюстрирующий реакцию фермы (мачты) под влиянием нагрузки.

STEFAN ZYKUBEK

## GEODETICAL MEASURING OF DISTORTIONS IN CHIMNEYS AND MASTS

### S u m m a r y

The measuring of distortions in chimneys and masts assumes particular importance when there are reasons bringing about, directly or indirectly, changes in the structure examined.

Periodical examinations for distortions usually consist of two kinds of measurements:

- 1) Measurements of horizontal shifts.
- 2) Measurements of sinking.

As it is necessary to preserve continuity in the examination the measuring network should be properly projected and well stabilised.

The following ought to be its points of reference:

- 1) Three theodolite stands in the form of concrete pillars each with a metal plate to put and centre the theodolites on.
- 2) Signals permanently fixed in the walls of the building and well visible during observations,
- 3) A minimum of three stationary bench marks or ground marks (to measure the sinking).

The stability of the stands should be checked by resection on the basis of the initial and actual observations made at a minimum of five near checking points (60 : 150 m from the stand).

Each of the levels of the chimneys chosen for observation ought to be uniformly determined for angular measurements (of the left and right edges of the chimney) at the same height from the three stands. To work out results use the arithmetic mean of two edges.

Both angular and levelling observations should be made with great precision and by means of high-grade instruments.

During the measurements the theodolite should be furnished with a striding level to diminish the influence of the non-horizontality of the instrument on the accuracy of the measurements when the sight lines are steep.

Camera plotting is done on analytical and graphic lines. The angular extent of the shift is determined from observations levelled at the station. These values are computed with the help of a simple trigonometrical formula in order to obtain transverse linear shifts determined for each of the stands separately.

The whole extent and direction of the shift is found on the plan by the graphic method.

The plan scale and the plotting scale of the distortion are different from each other as a rule. The determination of slight shifts with great accuracy is made on e. g., a scale of 5 : 1 in order to diminish whatever graphic errors may be involved.

The observations of sinking are made in a way similar to that followed in classic levelling and the extent of horizontal shifts is computed from the combined levellings of excesses (inclinations) of the initial and actual observations.

Single measurements of the verticality of tall chimneys or radio masts may also be made by the analytical and graphic methods. Observations are then made on wooden tripods.

The extent of shifts on the upper levels examined is determined with respect to the base of the structure. Further plotting resembles that in periodical examinations for distortions.

Measuring of distortions in pylons in test loading.

The object of the examination is to determine the sustaining power of masts according to quantities and directions of forces established in the programme.

Up the whole height of a mast, at some most characteristic points we fix permanent signal discs for the time of the measurements and stabilise the stands with the help of wooden pegs or metal rods each with a notched cross (on lines vertical to the direction of the action of the shutter and at a distance equal to 3 : 4 of the height of the mast).

The observations of the distortions are made with the help of a theodolite placed on a tripod, and horizontal and vertical angles are measured at the same time after each of the loadings. The angular shifts of the points observed are determined from the comparison of each of the measurements with the initial observation (made before the mast was loaded).

We obtain the linear values of the distortions from the computation by means of trigonometrical formulae and on the basis of these vectors we draw bend diagrams, illustrating the behaviour of the mast during the loadings.