

## SPRAWDZENIE I REKTYFIKACJA – POŁOWA - TEODOLITU Z JEDNOMIEJSCOWYM SYSTEMEM ODCZYTOWYM THEO 020

Każdy geodeta przed wykonaniem pomiarów powinien sprawdzić czy teodolit jest wolny od błędów instrumentalnych. Sprawdzenie to jest podzielone na trzy etapy i obejmuje:

1. Sprawdzenie elementów mechanicznych
2. Sprawdzenie elementów optycznych
3. Sprawdzenie warunków geometrycznych (osiowych).

**Sprawdzenie elementów mechanicznych** zaczynamy od oględzin statywu. Należy upewnić się czy nogi statywu wysuwają się w sposób płynny, czy śruby motylkowe poruszają się w sposób płynny w całym swym zakresie, czy części drewniane i metalowe są dobrze ze sobą połączone (czy nie ma zbyt dużych luzów)

Następnie przystępujemy do oględzin spodarki. Należy odłączyć górną część teodolitu od spodarki i trzymając spodarkę w ręku, lekko nią potrząsnąć. Wówczas płytka sprężynująca powinna wydać dźwięk zbliżony do stukania.

Poza tym sprawdzamy śruby poziomujące, które powinny obracać się ruchem swobodnym w całym swym zakresie. Takim samym ruchem powinna się także charakteryzować alidada.

Kolejną czynnością jest sprawdzenie libeli alidadowej i okrągłej. Konieczne tu jest zwrócenie uwagi na stan elementów szklanych, w których znajduje się pęcherzyk libeli i stwierdzenie czy nie ma pęknięć, czy wygrawerowane elementy na powierzchni libel są widoczne.

Następnie sprawdzamy leniwki alidadową i lunety czy obracają się w całym swym zakresie ruchem płynnym oraz czy zaciski odpowiednio alidady i lunety działają poprawnie (unieruchamiają alidadę względem spodarki i lunetę).

Należy również dokonać dokładnych obserwacji na lunecie. Sprawdzić czy obraca się ona wokół własnej poziomej osi obrotu w sposób płynny, czy na okularze i obiektywie nie ma pęknięć, czy okular lunety i pokrętło ogniskujące również obracają się swobodnie.

Na koniec sprawdzamy czy nie ma uszkodzeń mechanicznych na lusterku, pionie optycznym czy lunecie systemu odczytowego. Sprawdzamy tu zarówno płynność obrotów okularów pionu i lunetki a także czy nie ma pęknięć na wszystkich w/w elementach.

W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości w jakimkolwiek z w/w elementów należy przy użyciu własnych środków w terenie dokonać napraw. Jeśli są to naprawy przekraczające wymagające warunków i sprzętu specjalistycznego, należy oddać sprzęt do warsztatu.

**Sprawdzenie elementów optycznych** dokonujemy przede wszystkim na takich częściach teodolitu jak: luneta, lunetka systemu odczytowego, pion optyczny. Spoglądając do tych elementów należy określić czy nie są widoczne w polu widzenia zanieczyszczenia różnego pochodzenia (pyłki kurzu), krople nieokreślonej cieczy, tłuste plamy i inne. W przypadku gdy uniemożliwiają one wykonanie prawidłowych pomiarów, instrument powinien zostać oddany do warsztatu naprawczego w celu usunięcia usterek.

**Sprawdzenie warunków geometrycznych** poprzedzone jest sprawdzeniem kilku błędów jakie można napotkać przy wykonywaniu odczytów z lunetki systemu odczytowego. Do zasadniczych należą *błąd paralaksy* i *błąd runu*.

### **Błąd paralaksy**

#### *Definicja:*

Występuje wówczas jeśli obraz kresek limbusa nie leży w płaszczyźnie skali. Wówczas obraz kresek limbusa i skali obserwowany równocześnie nie są jednakowo ostre.

#### *Wykrywanie:*

Okularem lunetki systemu odczytowego nastawiamy na ostrość skali oczekując jednakowej ostrości kresek limbusa. Jeśli po ustawieniu ostrości skali, kreski limbusa nie są tak samo ostre, oznacza to występowanie błędu paralaksy.

#### *Rektyfikacja:*

Usuwa się błąd za pomocą soczewki  $p$  - znajdującej się w obiektywie kręgu poziomego - zlokalizowanej bliżej miejsca przebicia kręgu poziomego przez promień świetlny.

## Błąd runu

### *Definicja:*

Występuje wówczas jeśli zakres jednej działki kresek limbusa nie jest równy zakresowi skali.

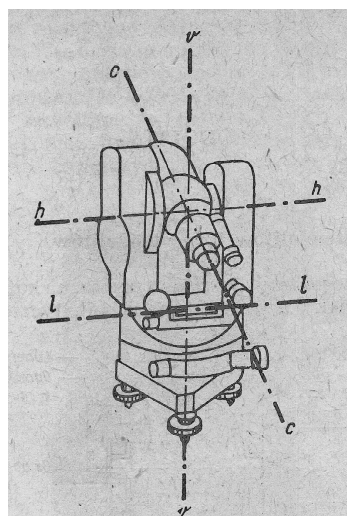
### *Wykrywanie:*

Ustawiamy lewą kreskę limbusa na wartości zerowej („0”) skali oczekując pokrycia prawej kreski limbusa na wartości dziesiątej („10”) skali. Drugim sposobem może być wykrycie błędu runu poprzez tzw. bisekcję. Jeśli skala jest zaopatrzona w dodatkowe interwały po obu stronach, to należy ustawić lewą kreskę limbusa w środku pierwszego dodatkowego interwału przy zerze („0”) skali – bisekcja – oczekując takiego samego pokrycia na końcu skali. Druga metoda jest dokładniejsza.

### *Rektyfikacja:*

Usuwa się błąd za pomocą soczewki  $r$  - znajdującej się w obiektywie kręgu poziomego - zlokalizowanej dalej od miejsca przebicia kręgu poziomego przez promień świetlny.

Dopiero teraz gdy instrument jest wolny od wszystkich mechanicznych i optycznych wad, możemy przystąpić do sprawdzenia **warunków geometrycznych teodolitu**. Ponieważ są to warunki osiowe instrumentu, należy dokładnie poznać kilka zasadniczych elementów osiowych teodolitu.



**Rys 1.** Układ osiowy teodolitu. [A. Anders i inni]

Na podstawie rys. 1 widzimy, że w teodolitach wyróżniamy oś główną v-v, oś celową c-c, oś obrotu lunety h-h, oś libeli l-l. Znając ich wzajemne usytuowanie w konstrukcji teodolitów możemy rozpocząć omawianie warunków geometrycznych. Należą do nich:

1. Warunek libeli
2. Warunek siatki kresek
3. Warunek pionu optycznego
4. Warunek kolimacji
5. Warunek inklinacji
6. Warunek miejsca zero
7. Warunek mimośrodów kręgu poziomego
8. Warunek mimośrodów kręgu pionowego

Każdy z w/w warunków ma określoną definicję, której niespełnienie oznacza występowanie w teodolicie błędów. Poniżej zostanie omówiona połowa metoda wykrywania i rektyfikacji błędów osiowych instrumentu.

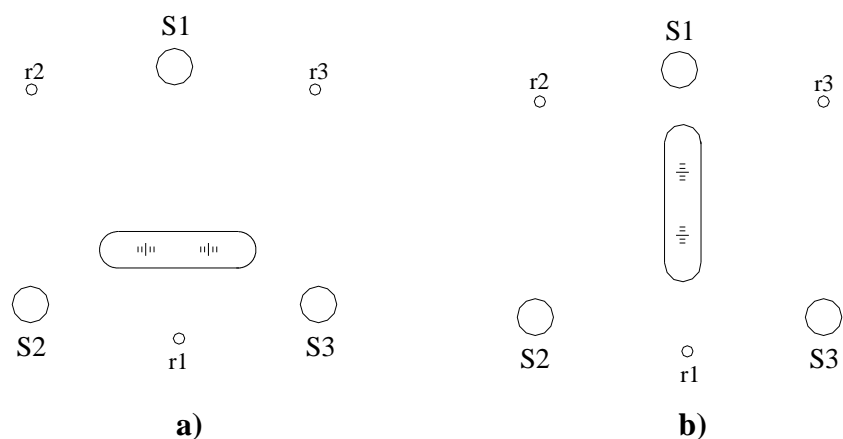
### **Błąd libeli**

#### *Definicja:*

Oś libeli alidadowych lub płaszczyzny poziome styczne w punkcie głównym libeli powinny być prostopadłe do osi głównej instrumentu.

#### *Wykrywanie:*

Zaczynamy sprawdzenie warunku od libeli alidadowej (rurkowej). W pierwszej kolejności poziomujemy instrument (doprowadzamy pęcherzyk do górowania) przy pomocy libeli okrągłej za pomocą nóg statywu. Teraz ustawiamy libelę rurkową równoległe do dwóch śrub poziomujących S2 i S3 (rys. 2a) i kręcimy tymi śrubami równocześnie w przeciwnych kierunkach do momentu aż pęcherzyk powietrza zajmie położenie środkowe. Obracamy alidadę o  $90^{\circ}$  (rys. 2b) i przy pomocy trzeciej śruby poziomującej S1 doprowadzamy pęcherzyk ponownie do górowania. Teraz obracamy alidadę z powrotem o  $90^{\circ}$  (wracamy do stanu pierwotnego, czyli równoległego do dwóch śrub ustawczych – rys. 2a) i sprawdzamy czy pęcherzyk nie wyszedł z górowania. Jeśli tak, ale w niewielkim zakresie, to poprawiamy poziom instrumentu za pomocą tych samych dwóch śrub ustawczych S2 i S3. Teraz obracamy alidadę o  $180^{\circ}$  i sprawdzamy położenie pęcherzyka. Jeżeli wyjdzie z górowania to mamy do czynienia z błędem libeli.



**Rys. 2.** Sprawdzenie libeli alidadowej

### *Rektyfikacja:*

Rektyfikacja polega na usunięciu połowy błędu libeli za pomocą śrub poziomujących  $S_i$  a drugą połowę przy pomocy śrubek rektyfikacyjnych  $r_i$ . Po zrektyfikowaniu libeli alidadowej należy sprawdzić czy libela okrągła jest w górowaniu. Jeżeli pęcherzyk w libeli sferycznej nie jest w punkcie głównym to cały błąd usuwamy za pomocą śrubek rektyfikacyjnych libeli okrągłej.

### **Błąd siatki kresek (krzyża nitek)**

#### *Definicja:*

Pozioma oś siatki kresek powinna być prostopadła do osi głównej instrumentu.

#### *Wykrywanie:*

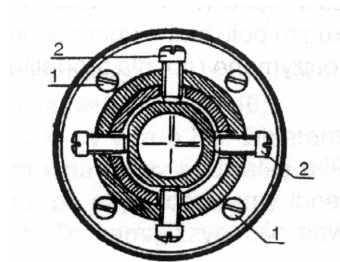
Przy bezwietrznej pogodzie zawieszamy na gałęzi drzewa pion sznurkowy w taki sposób aby jego koniec znajdował się poniżej wysokości osi celowej teodolitu. Następnie celujemy na zwisający swobodnie pion sznurkowy i obserwujemy położenie krzyża nitek względem pionu sznurkowego. Jeżeli na całej długości pionowej kreski krzyża nitek nie występuje pokrycie z pionem sznurkowym wówczas mamy do czynienia z błędem siatki kresek.

Innym sposobem może być zaznaczenie na ścianie budynku znaku (np. krzyżyk) i wycelowanie początkiem (z lewej strony) poziomej kreski siatki celowniczej. Teraz za pomocą leniwki alidady przesuwamy krzyż nitek w płaszczyźnie poziomej obserwując cały

czas czy kreska pozioma siatki na całej swej długości pokrywa się ze znakiem (krzyżykiem). Jeżeli nie, wówczas mamy do czynienia z błędem siatki kresek.

#### *Rektyfikacja:*

Należy zdjąć osłonę okularu lunety (rys. 3), zwolnić śrubki sprzęgające obudowę płytki ogniskowej z tubusem lunety (1) i za pomocą śrubek rektyfikacyjnych płytki ogniskowej (2) usunąć skręcenie krzyża kresek.



**Rys. 3.** Widok mocowania płytki ogniskowej lunety [J. Tatarczyk]

### **Błąd pionu optycznego**

#### *Definicja:*

Pionowa część osi celowej pionu optycznego powinna pokrywać się z osią główną instrumentu i przy obrocie alidady o  $360^{\circ}$  przebiegać dowolną płaszczyznę prostopadłą do osi pionownika w jednym punkcie.

#### *Wykrywanie:*

Na białej kartce papieru kreślimy znak (krzyżyk-S1), nad którym to centrujemy instrument. Następnie obracamy alidadę o  $180^{\circ}$  i sprawdzamy czy znaczek centrujący znajduje się nadal nad naszym znakiem (krzyżykiem-S1). Jeśli nie to mamy do czynienia z błędem pionu optycznego.

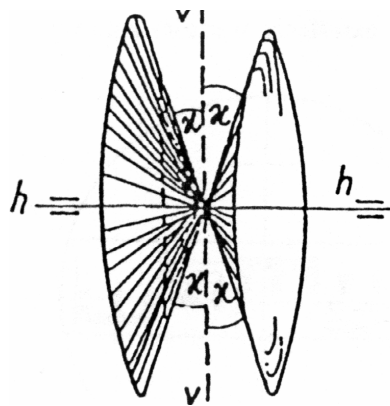
#### *Rektyfikacja:*

Na kartce zaznaczamy teraz drugie położenie znaczka centrującego (krzyżyk-S2) otrzymując odcinek S1-S2. Wyznaczamy środek tego odcinka uzyskując punkt S3. Teraz za pomocą śrubek rektyfikacyjnych pionu optycznego przesuwamy znaczek centrujący na środek odcinka S1-S2, czyli na punkt S3.

## Błąd kolimacji

### *Definicja:*

Oś celowa lunety powinna być prostopadła do poziomej osi obrotu lunety. Niespełnienie tego warunku powoduje, że oś celowa zamiast płaszczyzny zatacza pobocznice stożka (rys. 4). Dla dwóch położen lunety stożki te są symetryczne i stykają się ze sobą w punkcie przecięcia się osi głównej  $v-v$  z osią obrotu lunety  $h-h$ . Można więc ten błąd eliminować w terenie przez pomiar kąta w dwóch położeniach lunety.



**Rys. 4.** Graficzny obraz błędu kolimacji [A. Jagielski]

### *Wykrywanie:*

Na wysokości osi celowej obieramy dowolny punkt (znaczymy krzyżykiem) na ścianie budynku. Celujemy na ten punkt w dwóch położeniach lunety dokonując za każdym razem odczytu z kręgu poziomego. Różnica dwukrotnego odczytu powinna wynosić  $180^0$ . Nadmiar lub niedobór tej różnicy od  $180^0$  jest podwójnym błędem kolimacji.

### *Pomiar:*

$$O_1 = 33^0 45' 20''$$

- odczyt z limbusa w I położeniu lunety

$$O_2 = 213^0 46' 40''$$

- odczyt z limbusa w II położeniu lunety

$$K = \frac{(O_2 - O_1) - 180^0}{2} = 40''$$

- błąd kolimacji

### *Rektyfikacja:*

Obliczamy teraz odczyty poprawione:

$$O1 + K = 33^{\circ} 46' 00''$$

$$O2 - K = 213^{\circ} 46' 00''$$

a następnie za pomocą leniwki alidady nastawiamy w lunecie systemu odczytowego właściwy, poprawiony odczyt ( $O2-K$ ). Ponieważ poruszaliśmy przy tym leniwką alidady, siatka celownicza zostanie przesunięta i nie będzie znajdowała się teraz na naszym punkcie (krzyżyku). Dlatego też zdejmujemy osłonę okularu lunety i tak jak przy rektyfikacji siatki kreskę przesuwamy za pomocą śrubek rektyfikacyjnych krzyż nitek na nasz punkt (krzyżyk).

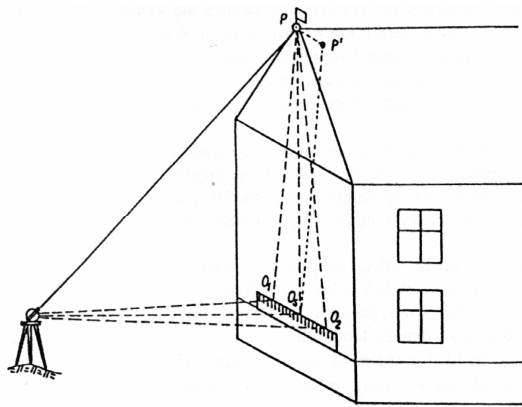
### **Błąd inklinacji**

#### *Definicja:*

Pozioma oś obrotu lunety powinna być prostopadła do osi głównej instrumentu.

#### *Wykrywanie:*

Wybieramy dowolny punkt  $P$  na pewnej wysokości (np. dach budynku –rys. 5) a pod tym punktem, na wysokości osi celowej ustawiamy liniał (łata, linijka). Celujemy do punktu  $P$ , unieruchamiamy alidadę względem spodarki (zacisk alidady) a następnie opuszczamy lunetę na wysokość osi celowej w kierunku naszego liniału. Czynność tą powtarzamy w drugim położeniu lunety, za każdym razem dokonując odczytu z liniału. Jeżeli odczyty z I-O1 i II-O2 położenia lunety są różne (różnią się od siebie o +/- 1-2mm) to różnica ta jest podwójnym błędem inklinacji.



**Rys. 5.** Wykrywanie błędu inklinacji [A. Jagielski]



*Pomiar:*

$$O1 = 26.2 \text{ mm}$$

- odczyt z liniału w I położeniu lunety

$$O2 = 31.4 \text{ mm}$$

- odczyt z liniału w II położeniu lunety

$$I = \frac{O2 - O1}{2} = 2.6 \text{ mm}$$

- błąd inklinacji

*Rektyfikacja:*

Rektyfikacja błędu inklinacji polega na zmianie położenia poziomej osi obrotu lunety przez właściwe przesunięcie łożyska, w których to luneta jest osadzona, tzn. tak aby uzyskać odczyt średni Os.

**Błąd miejsca zero (błąd indeksu)**

*Definicja:*

Przy poziomym położeniu osi celowej, odczyt z kręgu pionowego powinien wynosić  $90^0$  lub  $270^0$ .

*Wykrywanie:*

W pewnej odległości od stanowiska, na wysokości osi celowej zaznaczamy punkt (np. krzyżyk na ścianie budynku). Celujemy do tego punktu w dwóch położeniach lunety dokonując za każdym razem odczytu z kręgu pionowego. Suma odczytów z I i II położenia lunety powinna wynosić  $360^0$ . Nadmiar lub niedobór od tej sumy jest podwójnym błędem indeksu.

*Pomiar:*

$$O1 = 90^0 03' 20''$$

- odczyt z kręgu pionowego w I położeniu lunety

$$O2 = 269^0 57' 40''$$

- odczyt z kręgu pionowego w II położeniu lunety

$$Z = \frac{(O1 + O2) - 360^0}{2} = 30''$$

- błąd indeksu (miejsca zero)

### *Rektyfikacja:*

Obliczamy teraz odczyty poprawione:

$$O1 - Z = 90^{\circ} 02' 50''$$

$$O2 - Z = 269^{\circ} 57' 10''$$

a następnie za pomocą leniwki lunety nastawiamy w lunetce systemu odczytowego właściwy, poprawiony odczyt (O2-Z). Ponieważ poruszaliśmy przy tym leniwką lunety, siatka celownicza zostanie przesunięta i nie będzie znajdowała się teraz na naszym punkcie (krzyżyku). Dlatego też zdejmujemy osłonę okularu lunety i tak jak przy rektyfikacji siatki kreskę przesuwamy za pomocą śrubek rektyfikacyjnych krzyż nitek na nasz punkt (krzyżyk).

### **Mimośród kręgu poziomego**

#### *Definicja:*

Oś główna instrumentu powinna przechodzić przez środek geometryczny limbusa.

#### *Wykrywanie:*

Wykrycie tego błędu polega na wyznaczeniu błędu kolimacji w kilku równo rozmieszczonych miejscach kręgu poziomego. Na podstawie dodatkowych pomiarów określamy także błąd celowania i odczytu, z których to wyliczamy błąd operacji pomiarowej a na końcu błąd graniczny. W efekcie końcowym sporządzamy wykres obliczonych błędów kolimacji dla poszczególnych podziałów kręgu poziomego i porównujemy czy łamana na wykresie nie przekracza wartości błędu granicznego. Jeżeli przekracza, oraz wykres ma zbliżony kształt do sinusoidy, to mówimy o mimośrodku kręgu poziomego.

#### *Pomiar:*

W pewnej odległości od stanowiska obieramy sobie dowolny punkt w przybliżeniu na wysokości osi celowej instrumentu (np. krzyżyk na ścianie budynku). Ponieważ będziemy wyznaczać błąd kolimacji na 10 równych częściach podziału kręgu poziomego (a więc co  $40^{\circ}$ ), wykorzystujemy sprzęg repetycyjny do ustawienia odczytu w pobliżu  $0^{\circ}$ . Po wycelowaniu na punkt (przy zaciśniętym sprzęgu repetycyjnym) wykonujemy odczyt O1 z kręgu poziomego, zwalniamy sprzęg repetycyjny i wykonujemy ponowny odczyt O2 w II położeniu lunety. W ten sposób wyznaczymy pierwszy błąd kolimacji przy podziale limbusa

w okolicach 0°. Powtarzamy czynności za każdym razem zmieniając początkowy odczyt co 40°. W tabeli 1 zamieszczono wyniki pomiaru i obliczeń:

Lp.	O1 [°]	O2 [°]	K [°C]
1	0.1520	200.1600	+ 40
2	40.0400	240.0360	- 20
3	80.0420	280.0340	- 40
4	120.0260	320.0160	- 50
5	160.0120	360.0080	- 20
6	200.0200	0.0300	+ 50
7	240.0060	40.0180	+ 60
8	280.0200	80.0300	+ 50
9	320.0160	120.0200	+ 20
10	360.0240	160.0100	- 70

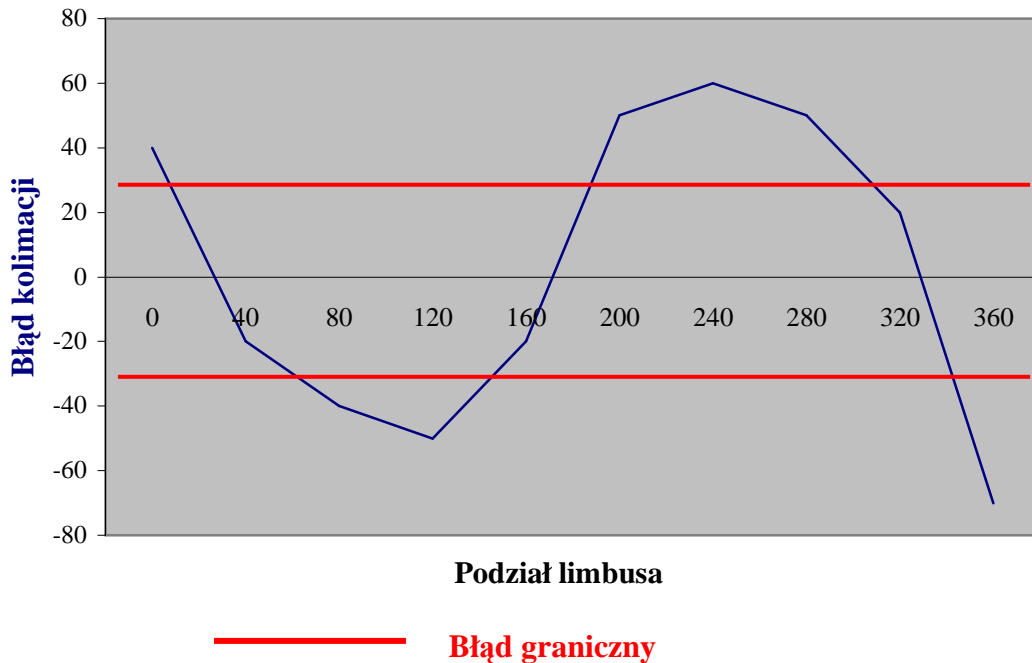
**Tabela 1.** Wyznaczenie błędu kolimacji na 10 równo rozmieszczonych częściach kręgu poziomego

Aby określić wartość błędu granicznego, niezbędnego do analizy wykresu błędów kolimacji, musimy wyznaczyć w pierwszej kolejności błąd operacji pomiarowej, na który to składa się błąd odczytu i celowania. Mając błąd operacji pomiarowej wyliczymy błąd graniczny. W tym celu do wybranego przez nas wcześniej punktu wycelowaliśmy 10-krotnie lunetą i za każdym razem dokonaliśmy odczytu z kręgu poziomego Hz. Na podstawie wyników tego pomiaru określono błąd graniczny  $m_{gr}$ . Wyniki zamieszczono w tabeli 2.

Lp.	$\alpha_i$ [°]	$v_i = \alpha_i - \alpha_{sr}$ [°]	$v_i v_i$ [° <sup>2</sup> ]
1	156.0560	- 0.0002	0.0004
2	156.0580	+0.0018	0.0324
3	156.0500	- 0.0062	0.3844
4	156.0540	- 0.0022	0.0484
5	156.0620	+0.0058	0.3364
6	156.0600	+0.0038	0.1444
7	156.0560	- 0.0002	0.0004
8	156.0580	+0.0018	0.0324
9	156.0520	- 0.0042	0.1764
10	156.0560	- 0.0002	0.0004
$\alpha_{sr} = 156.0562$		$[v] = 0$	$[vv] = 1.156^{cc}$
$m_{opk} = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm 36.8^{cc}$ $m_{op} = \frac{m_{opk}}{\sqrt{n}} = \pm 11.3^{cc}$ $m_{gr} = 3m_{op} = \pm 33.9^{cc}$			

**Tabela 2.** Wyznaczenie błędu granicznego

Z tab. 1 widać, że wartości błędów kolimacji nie są do siebie zbliżone a więc występuje zależność  $K1 \neq K2 \neq K3 \neq Ki$ . Natomiast na podstawie tab. 2 widać, że błędy te w znacznej mierze odbiegają też od wartości błędu granicznego  $m_{gr}$ . Aby ostatecznie stwierdzić, czy występuje mimośród kręgu poziomego należy wyniki pomiarów przedstawić w formie graficznej (rys. 6).

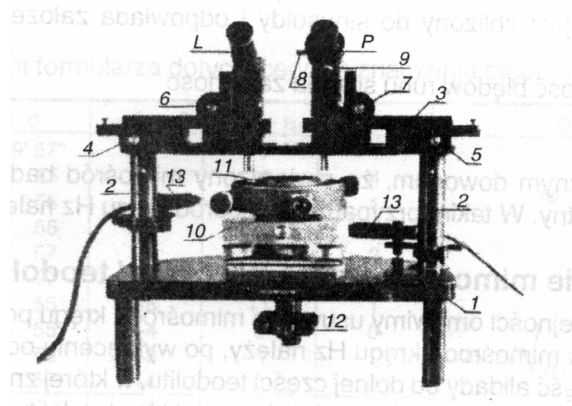


**Rys6.** Graficzna prezentacja wyznaczenia mimośrodów kręgu poziomego

Na podstawie wyników pomiaru i wykresu (rys. 6) można stwierdzić, że mimośród kręgu poziomego występuje. Kształt wykresu jest zbliżony do sinusoidy a znaczna część błędów kolimacji przekracza wartość błędów granicznych.

### Rektyfikacja

W przypadku wystąpienia mimośrodu kręgu poziomego należy dokonać rektyfikacji w laboratorium. Po oddzieleniu górnej części alidady od dolnej umieszczamy spodarkę wraz z dolną częścią teodolitu na specjalnym stole (rys. 7).



**Rys. 7.** Specjalny stół do centrowania kręgu H<sub>z</sub> i V. [J. Tatarczyk]

Następnie za pomocą śrub 4 i 5 ustawiamy mikroskopy L i P nad opisaną częścią kręgu. Po lewej stronie mikroskopu należy ustawić dokładnie zero limbuse a po prawej oczekiwać 200<sup>g</sup>. Ponieważ tak nie będzie, za pomocą zacisku 8 i śruby 9 nastawiamy prawy wskaźnik mikroskopu na odczyt 200<sup>g</sup>. Teraz obracamy limbus o 200<sup>g</sup> czyli doprowadzamy lewy wskaźnik mikroskopu na odczyt 200<sup>g</sup> oczekując pokrycia prawego wskaźnika z zerem limbuse. Ze względu, że występuje mimośród na prawym wskaźniku nie uzyskamy pokrycia z zerem limbuse. Połowę tego interwału usuwamy śrubą 9 a drugą połowę za pomocą drewnianego młoteczka lekko uderzając w szklany limbus, aż do pokrycia się prawego wskaźnika mikroskopu z zerem limbuse.