

## **BUDOWA TEODOLITÓW. SYSTEMY ODCZYTOWE**

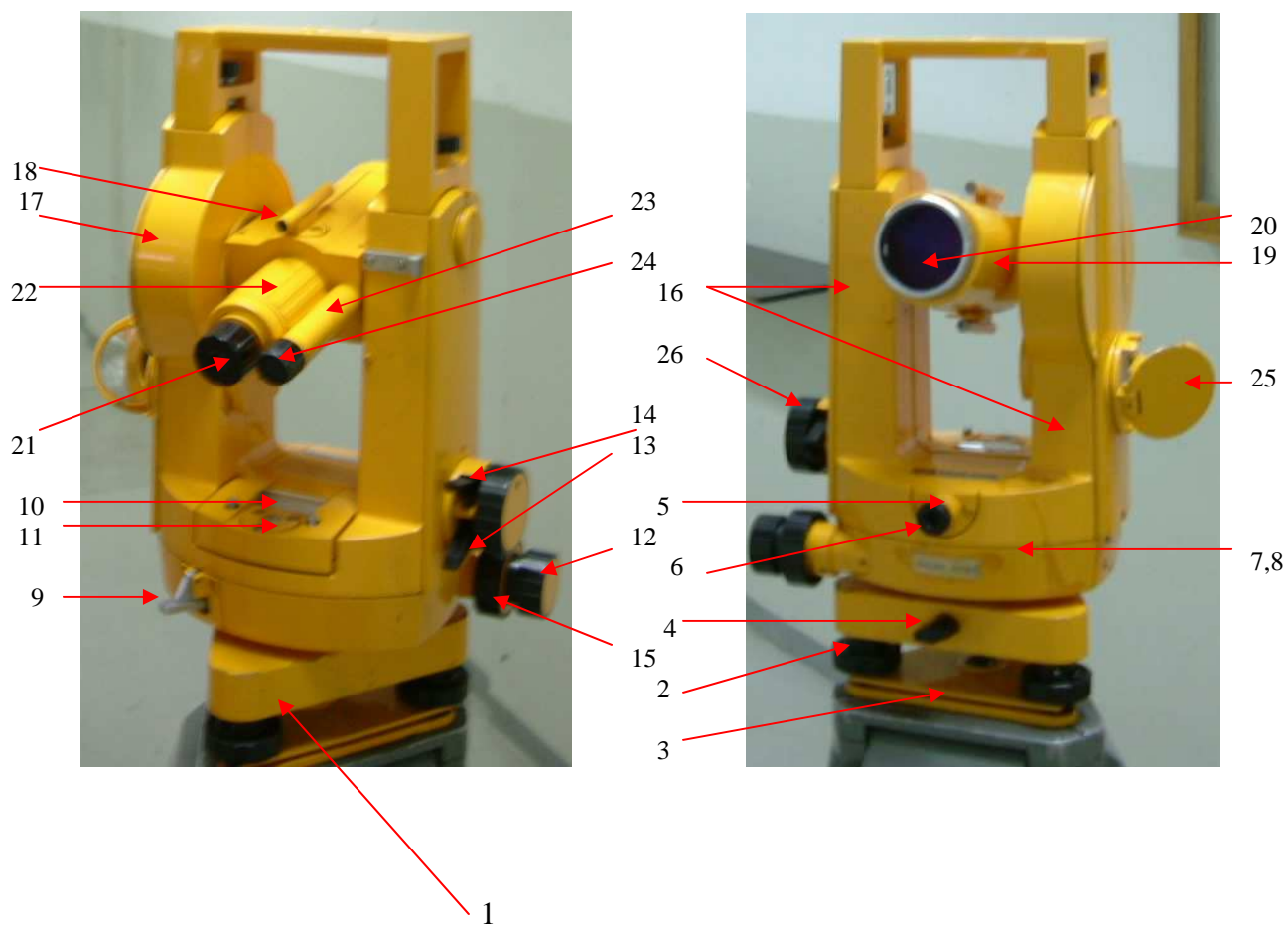
Teodolity to instrumenty geodezyjne wykorzystywane do pomiarów kątów poziomych i pionowych. Obecnie najczęściej wykorzystuje się w pomiarach teodolity (tachimetry Total Station) z elektronicznym systemem pomiarowym, rejestrujące wartości kierunków poziomych czy pionowych w sposób ciągły.

Na tym jednak etapie rozdział zostanie poświęcony klasycznemu teodolitom, jak Theo 020B czy Theo 010, które są wyposażone w analogowy jednomiejscowy i dwumiejscowy system odczytowy. Celem takiego a nie innego przedsięwzięcia nie jest ucieczka od nowych rozwiązań technologicznych, lecz potrzeba zrozumienia problematyki dotyczącej budowy i systemów odczytowych od podstaw.

Zanim jednak przejdziemy do omawiania poszczególnych systemów odczytowych, w pierwszej kolejności zachodzi potrzeba przedstawienia szczegółowej budowy teodolitów. Budowa ta zostanie zaprezentowana na podstawie teodolitu z jednomiejscowym systemem odczytowym Theo 020B. Na rys. 1 przedstawiono widok teodolitu Theo 020B z wyeksponowaniem poszczególnych jego najważniejszych elementów składowych.

Poniżej wymieniono a następnie szczegółowo opisano elementy składowe teodolitu Theo 020B wyróżnione na rys. 1.

1. Spodarka
2. Śruby poziomujące
3. Płytkę sprężynującą
4. Śruba dociskowa
5. Pion optyczny
6. Okular pionu optycznego
7. Alidada
8. Limbus
9. Sprzęg repetycyjny
10. Libela alidadowa
11. Libela okrągła
12. Leniwka alidady
13. Zacisk alidady
14. Zacisk lunety
15. Leniwka lunety



**Rys. 1.** Widok teodolitu z jednemiejscowym systemem odczytowym Theo 020B.

- 16. Dźwigary
- 17. Krąg pionowy
- 18. Celownik kolimatorowy
- 19. Luneta
- 20. Obiektyw lunety
- 21. Okular lunety
- 22. Pierścień ogniskujący
- 23. Lunetka systemu odczytowego
- 24. Okular lunetki systemu odczytowego
- 25. Lusterko oświetlające system odczytowy
- 26. Przełącznik kręgu poziomego i pionowego

Podstawą teodolitu jest *spodarka (1)*. Może być ona wbudowana w instrument albo też stanowić dolną niezależną część teodolitu (najczęściej stosowane). Mówimy wówczas o *spodarce wymiennej*. Aby oddzielić górną część teodolitu od spodarki należy odkręcić *śrubę dociskową (4)* a następnie wyjąć czop osiowy instrumentu z tulei spodarki. Zakładając, że wcześniej spodarka została spoziomowana, możemy teraz wsadzić do niej tarczę celowniczą. Wykorzystuje się ten schemat przy pomiarze kątów *metodą trzech statywów*.

W spodarce znajdują się 3 *śruby poziomujące (2)* zwane też ustawczymi. To właśnie przy pomocy tych trzech śrub poziomujemy instrument, czyli doprowadzamy oś główną instrumentu do pionu. Na rys. 1 widać, że trzy *śruby poziomujące* są połączone, a ściślej mówiąc przechodzą przez trójkątną płytkę zwaną *płytka sprężynującą (3)*. Na środku tej *płytki* znajduje się otwór z gwintem, w który wkręcana jest śruba zaciskowa statywu.

Do ustawienia teodolitu nad punktem (scentrowanie instrumentu) służy *pion optyczny(5)*. Jest to element optyczny wbudowany w spodarkę lub w alidadę, za pomocą którego możemy ustawić znaczek centrujący (obserwowany w polu widzenia pionu optycznego) nad punktem. Do ustawienia ostrości znaczka centrującego służy *okular pionu optycznego(6)*.

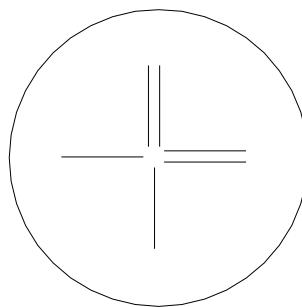
Przechodząc do górnej części teodolitu należy wyróżnić *alidadę (7)* jako element, na którym znajdują się pozostałe części składowe teodolitu. Pod obudową alidady znajduje się *limbus(8)*. Jest to krąg poziomy wykonany najczęściej ze szkła z naniesionym podziałem kątowym. To właśnie na *limbus* rzutowane są kierunki ramion mierzonego kąta a następnie z różnicy tych kierunków wyliczana jest wartość kąta.

Na alidadzie znajdują się dwie libele: *libela alidadowa (10)*, zwana także libelą rurkową oraz *libela okrągła (11)* zwana libelą sferyczną. Libele te posiadają ampułki wypełnione cieczą, w których to znajduje się pęcherzyk powietrza. Ampułki te mają wygrawerowane elementy, których punkt środkowy zwany jest *punktem głównym G* libeli. Obie te *libele* służą do wyznaczania płaszczyzn poziomych. Wykonanie tej czynności odbywa się za pomocą wspomnianych już *śrub poziomujących*. Jeżeli pęcherzyk powietrza zajmie położenie środkowe, tzn. znajdzie się w *punkcie G libeli*, mówimy wówczas o spoziomowaniu instrumentu. Różnica między tymi libelami polega na tym, że libela okrągła służy w pierwszej kolejności do przybliżonego spoziomowania teodolitu a dopiero później wykorzystujemy libelę rurkową do dokładnego spoziomowania instrumentu.

Na alidadzie znajduje się także *sprzęg repetycyjny (9)*, który sprzęga limbus i alidadę. Po włączeniu sprzęgu wartość kierunku poziomego odczytana na limbusie nie ulegnie

zmianie mimo obrotu alidady wokół osi głównej instrumentu. *Sprzęg repetycyjny* jest wykorzystywany do pomiaru kątów metodą repetycyjną.

Na alidazie osadzone są dwa *dźwigary*(16), na których z kolei osadzona jest *luneta*(19). Przy lewym dźwigarze znajduje się *krąg pionowy*(17). *Luneta* jest to element optyczny, za pomocą którego obserwujemy wyznaczany cel. Dzięki wielokrotnemu powiększeniu możemy obserwować znacznie oddalone obiekty. Jednymi z zasadniczych elementów lunety jest *obiektyw*(20) i *okular*(21). Obserwator patrząc do *lunety* od strony *okularu* widzi w polu widzenia siatkę celowniczą w postaci krzyża kresek (zwaną też siatką kresek) – rys. 2.



**Rys.2.** Siatka celownicza widziana przez okular lunety.

Ostrość siatki celowniczej można ustawić za pomocą *okularu lunety*(21). Oprócz siatki celowniczej w polu widzenia lunety znajduje się również obraz rzeczywisty. Do ustawienia ostrości widzianego obrazu służy *pierścień ogniskujący*(22).

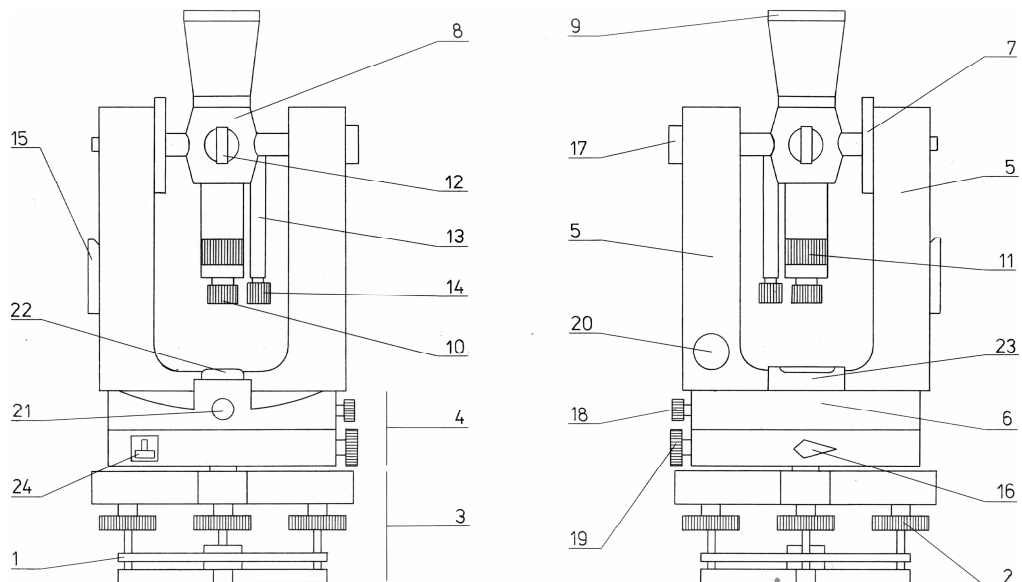
Jak już wcześniej wspomniano luneta służy do obserwacji wybranych elementów, celów. Aby dokładnie skierować lunetę na wybrany cel należy w pierwszej kolejności za pomocą *celownika kolimatorowego*(18) umieszczonego na lunecie ustawić ją w danym kierunku w sposób przybliżony a następnie wykorzystać *leniwki alidady*(12) i *lunety*(15) do precyzyjnego ustawienia lunety. Leniwki te służą do bardzo powolnego przesuwania siatki celowniczej w płaszczyźnie poziomej (*leniwka alidady*) i pionowej (*leniwka lunety*). Aby jednak obie te leniwki spełniały swoje role, wcześniej należy użyć *zacisków alidady*(13) i *lunety*(14). *Zacisk alidady* unieruchamia alidadę względem spodarki uniemożliwiając tym samym jej obrót wokół osi głównej instrumentu, natomiast *zacisk lunety* uniemożliwia jej obrót wokół własnej osi.

Jak już wspomniano na początku, teodolit służy do pomiaru kątów poziomych i pionowych. Wartość kąta obliczamy z różnicy dwóch kierunków. Do odczytywania wartości wyznaczanych kierunków służy *lunetka systemu odczytowego*(23). Przed dokonaniem

odczytu należy nastawić ostrość systemu odczytowego. Służy do tego **okular lunetki systemu odczytowego(24)**. Aby jednak można było wykonać odczyt z *lunetki*, cały system odczytowy musi być właściwie oświetlony. Umożliwia to **lusterko(25)**, które ustawione pod właściwym kątem zapewnia optymalne naświetlenie systemu odczytowego.

Na dźwigarze znajduje się także **przełącznik kręgu poziomego i pionowego (26)**. Wykorzystujemy go gdy chcemy odczytywać tylko wartości kierunków z limbusa lub obu kręgów jednocześnie.

Z kolei na rys. 3 zilustrowano rzut tego samego teodolitu (rys. 1) widzianego z dwóch stron tzn. w pierwszym i drugim położeniu lunety. Rysunek ten jest zaczerpnięty z pracy kontrolnej studenta Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH Przemysława Kurasa.

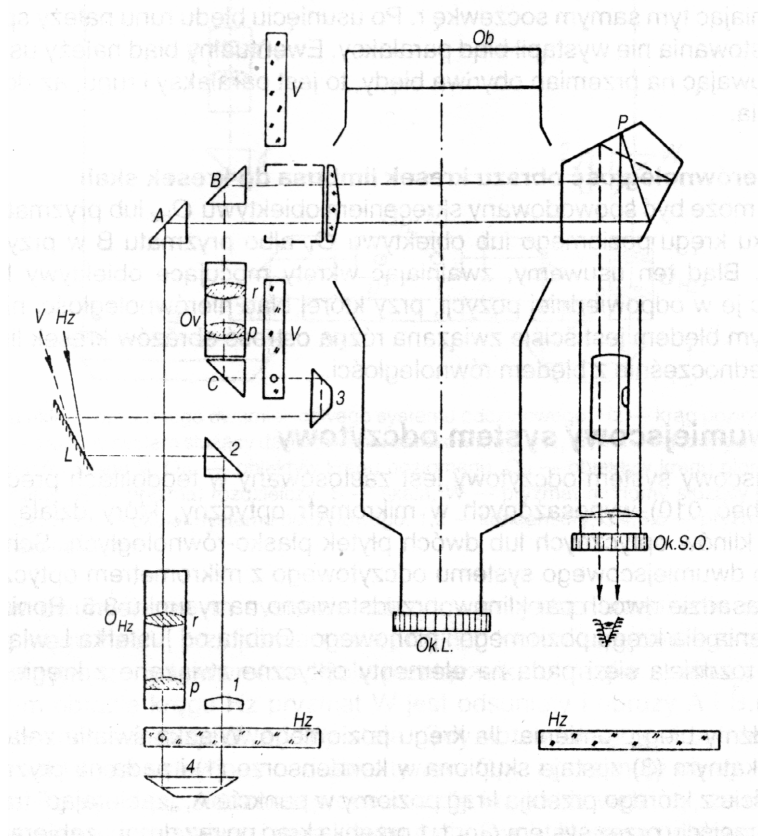


**Rys. 3.** Widok teodolitu z jednomiejscowym systemem odczytowym Theo 020.

Pewnym samosprawdzianem czytelnika może być porównanie rysunków 1 i 3 a następnie określenie elementów składowych teodolitu na rys. 3 w oparciu o opisane i zaznaczone elementy budowy teodolitu Theo 020 z rys. 1. Należy zaznaczyć, że odnośniki na rys. 1 nie pokrywają się z odnośnikami na rys. 3.

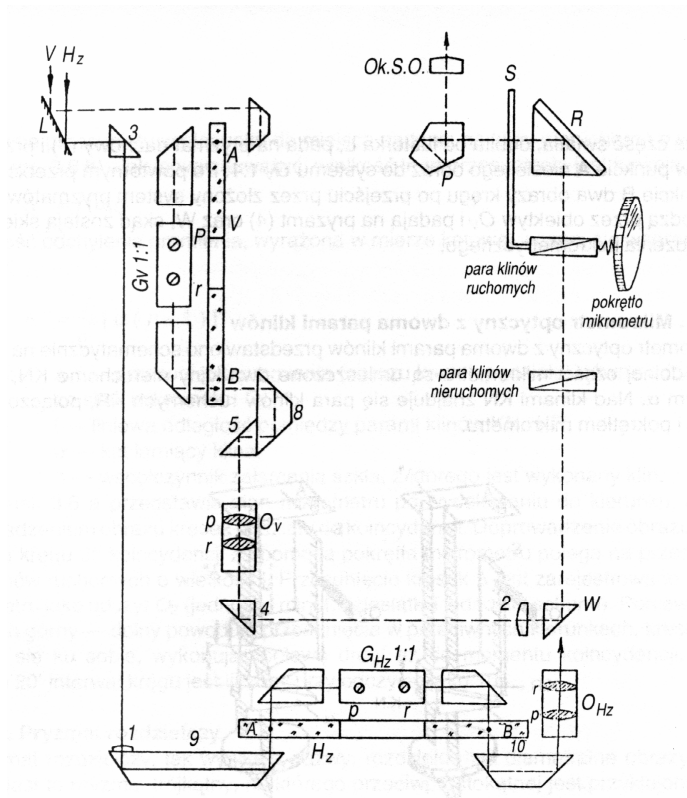
Znając już budowę teodolitów możemy przejść do omówienia **systemów odczytowych** stosowanych w Theo 020 i Theo 010. Celowo posłużono się tu przykładem tych dwóch instrumentów geodezyjnych, gdyż każdy z nich jest wyposażony w zupełnie inny system odczytowy. Pierwszy z nich (Theo 020) zawiera jednomiejscowy a drugi (Theo 010)

dwumiejscowy system odczytowy. Jak już wcześniej wspomniano cały system odczytowy widoczny jest w *lunecie systemu odczytowego*, w której to obserwujemy obraz limbusa. Ogólnie rzecz ujmując można powiedzieć, że różnica między jedno a dwumiejscowym systemem odczytowym polega na tym, że w teodolitach Theo 020 promień świetlny przechodzi jeden raz, a w Theo 010 promień ten przebija limbus dwukrotnie. Przebieg tego procesu ilustrują rys. 4 i 5



**Rys. 4.** Schemat układu optycznego jednomiejscowego systemu odczytowego  
[J.Tatarczyk]

Krótko omawiając przebieg promienia (np. dla kręgu poziomego Hz) widzimy, że po odbiciu od powierzchni lusterka wpada on do układu optycznego teodolitu. Załamuje się pod kątem  $90^0$  w pryzmacie trójkątnym (2) a następnie po przejściu przez pryzmat dachowy (4) zmienia swój bieg o  $180^0$  i przebija krąg poziomy (limbus) zabierając ze sobą fragment opisu z kręgu Hz. Następnie promień wpada do obiektywu kręgu poziomego przechodząc przez dwie soczewki *p* i *r*. Soczewki te są odpowiedzialne za występowanie błędu paralaksy. Dalej promień pada na pryzmat trójkątny załamując się o  $90^0$  a następnie zmierza do skali, pryzmatu pentagonalnego i ostatecznie do oka obserwatora.

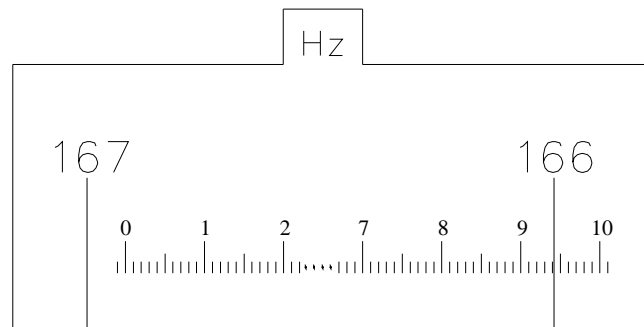


**Rys. 5.** Schemat układu optycznego dwumiejscowego systemu odczytowego  
[J.Tatarczyk]

W układzie optycznym przedstawionym na rys. 5, dla kręgu  $H_z$ , widzimy, że promień świetlny odbijając się od lusterka pada na pryzmat trójkątny (3) załamując się o  $90^0$  a następnie na pryzmat dachowy (9), gdzie zmienia swój bieg o  $180^0$ . Dalej przechodzi przez limbus przebijając go po raz pierwszy i zabierając ze sobą jego obraz w punkcie A. Następnie promień przechodzi przez system justujący  $G_{H_z}$  po czym ponownie przebiega krąg poziomy zabierając tym razem fragment jego opisu w punkcie B. Ponownie przechodzi przez pryzmat dachowy zmieniając swój bieg o  $180^0$  i wpadając do obiektywu kręgu poziomego, w którym to znajdują się dwie soczewki  $p$  i  $r$ . Teraz na przeszkodzie stanął pryzmat  $W$ , który jest odpowiedzialny za to, że widzimy jeden z kręgów: poziomy lub pionowy. Jeżeli chcielibyśmy aby widoczny był obraz kręgu  $H_z$  należy za pomocą śruby mikrometrycznej zmienić położenie pryzmatu  $W$ , który się odchyli i promień świetlny dla kręgu  $H_z$  będzie mógł pokonywać dalszą drogę. Pada on następnie na parę klinów nieruchomych i ruchomych, które to są powiązane ze skalą mikrometru. Następnie po przejściu przez pryzmat rozdzielczy  $R$  i pentagonalny  $P$  spada do oka obserwatora.

Można powiedzieć, że w efekcie końcowym, w jednomiejscowym systemie odczytowym widzimy tylko jeden obraz kręgu poziomego w postaci skali a w

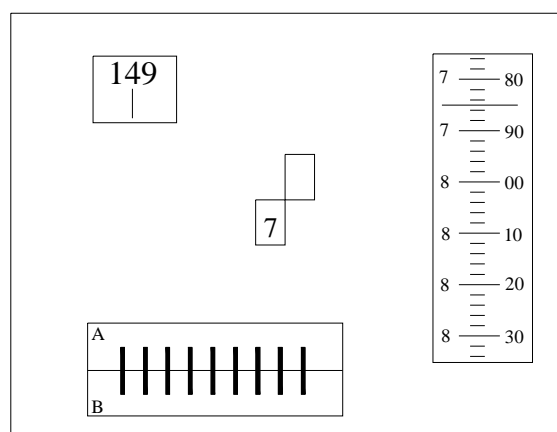
dwumiejscowym dwa obrazy kręgu poziomego. Przykład odczytu z jednomiejscowego systemu odczytowego przedstawiono na rys. 6 a i dwumiejscowego na rys. 7a i 7b.



**Rys.6.**

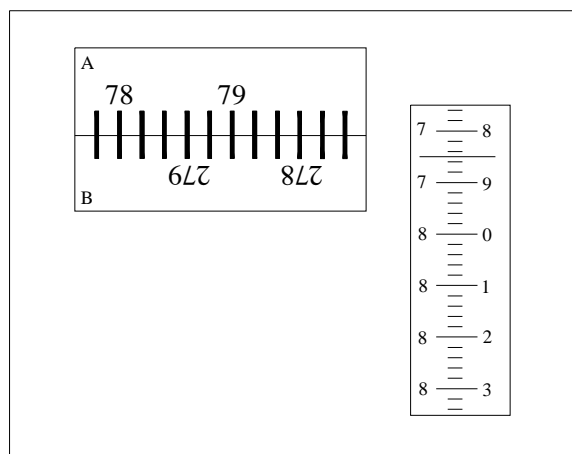
Na rys. 6 odczyt wynosi  $166^{\circ} 94' 20''$ . Jak dokonywać odczytu? Otóż jeśli chodzi o grady to w polu widzenia widzimy tylko dwie kreski limbusa (w naszym przykładzie 166 i 167). Bierzemy jednak tylko tą wartość kreski limbusa pod uwagę, która przecina skalę, czyli  $166^{\circ}$ . W przypadku wartości centygradów ( $'$ ) należy policzyć ile najmniejszych pełnych jednostek mamy od początku skali (od zera) do miejsca przecięcia kreski limbusa na skali, gdyż to właśnie najmniejsza jednostka na skali to  $1'$ . Dla ułatwienia co  $10'$  mamy opisane na skali wartości 1 (czyli  $10'$ ), 2 (czyli  $20'$ ) itd. Natomiast wartości decymiligradów ( $''$ ) należy oszacować. Bierzemy pod uwagę tą jedną jednostkę, przez którą przechodzi kreska limbusa i oceniamy czy przechodzi ona bliżej wartości  $94'$  czy  $95'$ . Należy pamiętać, że decymiligrady ( $''$ ) szacujemy z dokładnością co  $20''$ , czyli końcówka może osiągać wartości  $00''$ ,  $20''$ ,  $40''$ ,  $60''$  lub  $80''$ .

Dwumiejscowy system odczytowy został zaprezentowany dla teodolitu Theo 010B (rys. 7a) i Theo 010 (rys. 7b)



**Rys.7a.**





**Rys. 7b.**

Na rys. 7a odczyt wynosi  $149^{\text{g}} 77^{\text{c}} 85^{\text{cc}}$ . W pierwszej kolejności należy doprowadzić do koincydencji obrazu kręgów A i B za pomocą śruby mikrometrycznej. Dopiero teraz możemy dokonać odczytu. W lewym górnym okienku odczytujemy wartość gradów –  $149^{\text{g}}$ . Wartości dziesiątek centygradów ( $^{\text{c}}$ ) –  $70^{\text{c}}$  - odczytujemy z jednego z dwóch połączonych ze sobą okienek prostokątnych. Należy zaznaczyć, że w jednym okienku prostokątnym odczytujemy wartości parzyste a w drugim odczytuje się wartości nieparzyste. Następnie ze skali mikrometru odczytujemy jednostki centygradów ( $^{\text{c}}$ ) –  $7^{\text{c}}$  - oraz pełną wartość decymiligradów ( $^{\text{cc}}$ ) –  $85^{\text{cc}}$ . Odczyt na skali mikrometru wyznacza poprzeczna kreska indeksowa. Po lewej stronie skali mikrometru umieszczone są wartości jednostek centygradów ( $^{\text{c}}$ ) a po prawej wartości decymiligradów ( $^{\text{cc}}$ ). Najmniejsza jednostka na skali mikrometru to  $2^{\text{cc}}$ , więc możemy, tak jak w przykładzie, oszacować tą wartość z dokładnością dwukrotnie większą, czyli do  $1^{\text{cc}}$ .

Na rys. 7b odczyt wynosi  $78^{\text{g}} 87^{\text{c}} 85^{\text{cc}}$ . W pierwszej kolejności należy doprowadzić do koincydencji obrazu kręgów A i B za pomocą śruby mikrometrycznej. W tym przypadku wartości gradów -  $78^{\text{g}}$  – odczytujemy z obrazu kręgu A. Bierzymy pod uwagę tą wartość gradów, która różni się o  $200^{\text{g}}$  względem wartości gradów widocznej na obrazie kręgu B, zlokalizowanej na prawo względem wartości z kręgu A -  $278^{\text{g}}$ . Następnie odczytujemy wartości dziesiątek centygradów ( $^{\text{c}}$ ) –  $80^{\text{c}}$ . W tym celu liczymy ile jednostek znajduje się między odczytem  $78^{\text{g}}$  a  $278^{\text{g}}$ . Każdą taką jednostkę traktujemy jako wartość  $10^{\text{c}}$ . W naszym przypadku liczba jednostek między  $78^{\text{g}}$  a  $278^{\text{g}}$  wynosi 8, stąd  $80^{\text{c}}$ . Należy jednak podkreślić, że w rzeczywistości najmniejsza jednostka to  $20^{\text{c}}$ . Odczytujemy jednak tą jednostkę jako  $10^{\text{c}}$ , gdyż przy doprowadzaniu do koincydencji obrazu kręgów A i B śrubą mikrometryczną, obrazy te przemieszczają się w przeciwnych kierunkach. Pokonują więc połowę drogi aby

doprowadzić je do koincydencji. Dlatego też wartości tych jednostek dzielimy przez połowę, czyli otrzymujemy  $10^{\circ}$ . Na końcu odczytujemy jednostki centygradów –  $7^{\circ}$  – i pełną wartość decymiligradów –  $85^{\text{cc}}$ . Wykonujemy to na skali mikrometru w taki sam sposób jak przy omawianiu rys. 7a.