

Wyznaczenie dokładnego azymutu astronomicznego z obserwacji Polaris (*α Ursae Min.*)

Wyznaczenie dokładnych azymutów astronomicznych ma szerokie zastosowanie w geodezji na tzw. punktach Laplace'a. W dzisiejszym stanie techniki geodezyjnej, przy wyznaczaniu azymutu zadowalamy się takimi wynikami, które dają średni błąd średniej arytmetycznej w granicach od $\pm 0'',1$ do $\pm 0'',5$.

Zasadniczo istnieje kilka metod, które pozwalają na otrzymanie powyżej określonej dokładności. Wybór odpowiedniej metody zależy przede wszystkim od szerokości geograficznej miejsca obserwacji, dysponowanego instrumentu oraz przeznaczonego czasu na wykonanie obserwacji.

Poza metodą obserwacji z Polaris wszystkie inne metody wymagają zwykle stosowania miry pomocniczej, tzn. pomocniczego celu, umieszczonego w odległości około 2 km od stanowiska instrumentu i dobrze widocznego w ciągu całego wieczoru, tj. w ciągu kilku godzin po zachodzie słońca.

Metoda wyznaczania azymutu z Polaris jest szeroko stosowana i przewyższa inne metody pod niektórymi względami a mianowicie:

1. Pozwala na wykonywanie obserwacji w krótkich seriach i wskutek tego nadaje się do wykonywania ich bezpośrednio z wież triangulacyjnych I rzędu, na których wykonywane są również obserwacje kątów w triangulacyjnych sieciach podstawowych.

2. Pozwala na bezpośrednie wyznaczenie azymutu boku triangulacyjnego I rzędu, bez posługiwania się mirą pomocniczą.

3. Pozwala na wykonywanie obserwacji Polaris również i w dzień, a więc w tych godzinach, kiedy w naszych warunkach klimatycznych widoczność odległych celów ziemskich jest najlepsza i pozwala na możliwie dobre nacelowanie.

Do ważniejszych wad metody z Polaris zaliczyć można:

1. Wpływ błędów współrzędnych Polaris, a w szczególności błędu deklinacji na azymut. Błąd ten ma charakter błędu systematycznego; można

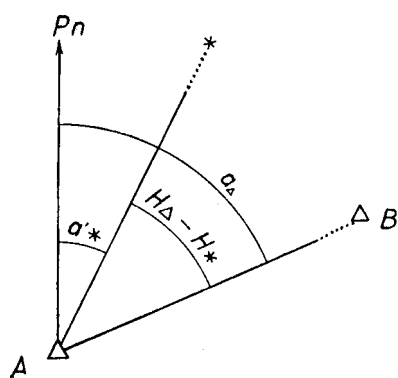
go wyeliminować przez wykonywanie obserwacji Polaris parami, dla kątów godzinnych symetrycznych względem południka miejscowego. (Z tablicy wartości da dla $d\delta = + 1''$ widać, że dla kątów godzinnych symetrycznych względem południka miejscowego wielkość $d\delta$ przyjmuje jednakowe wartości ale ze znakami różnymi).

2. Znaczny wpływ nachylenia osi poziomej teodolitu na azymut, szczególnie dla szerokości geograficznych, gdzie Polaris obserwuje się na małych odległościach zenitalnych. Z tych powodów dla szerokości geograficznych powyżej 60° metody wyznaczania azymutu z Polaris nie stosuje się.

3. Zmiany w położeniu osi poziomej teodolitu przy nastawianiu na cel ziemski i na gwiazdę jak również w czasie przekładania lunety przy przejściu do drugiego jej położenia.

Przy zastosowaniu odpowiednich środków błędy powyższe można utrzymać na poziomie nieszkodliwym dla określonej powyżej dokładności i w naszych szerokościach geograficznych metoda wyznaczania azymutu z obserwacji Polaris może być z korzyścią stosowana.

Wzór na obliczenie azymutu z Polaris



Rys. 1

Pomijając odpowiednie redukcje, wynikające z wysokości punktów A i B ponad poziom morza oraz odchyłki pionu — azymut kierunku AB oblicza się z następującego wzoru:

$$a_{\Delta} = (a_* + 0'',322 \cos \varphi \operatorname{cosec} z) + (H_{\Delta} - H_*)$$

gdzie:

a_{Δ} — azymut kierunku A B,

a_* — azymut Polaris w momencie nacelowania jej, liczony od północy,

$0'',322 \cos \varphi \operatorname{cosec} z$ — poprawka na aberację dzienną.

$$a'_* = a_* + 0'',322 \cos \varphi \operatorname{cosec} z$$

$(H_{\Delta} - H_*)$ — kąt dwuścienny pomiędzy płaszczyznami wertykału, jedną przechodzącą przez linię pionu na punkcie A i przez punkt B, a drugą przechodzącą przez tę samą linię pionu i przez Polaris w momencie jej obserwacji.

Jak widać z powyższego wzoru wyznaczenie azymutu kierunku A B z obserwacji Polaris sprowadza się do:

- pomiar przy pomocy teodolitu kąta dwuściennego $(H_{\Delta} - H_*)$,
- obliczenia azymutu Polaris w momencie jej obserwacji, z uwzględnieniem poprawki wynikającej z aberacji dziennej.

Pomiar kąta ($H_{\Delta} - H_*$) przy pomocy teodolitu astronomicznego Wild T-4*a) Przygotowanie efemeryd roboczych*

Przed przystąpieniem do pomiaru kąta (obserwacji azymutu) należy przygotować tzw. efemerydy robocze Polaris, które pozwalają na szybkie i prawidłowe wykonanie obserwacji w nocy, a bez których obserwacje w dzień są prawie nie możliwe.

Przygotowanie efemeryd roboczych polega na sporządzeniu tablicy pozwalającej na szybkie znalezienie przybliżonej odległości zenitalnej z oraz azymutu a . Polaris dla każdego dowolnego wskazania chronometru, idącego według miejscowego czasu gwiazdowego. Po nastawieniu lunety według znalezionej z tablicy odległości zenitalnej i odczytu na kole poziomym, obraz gwiazdy znajdzie się w polu widzenia lunety, co ułatwi znacznie wykonanie obserwacji.

Przybliżoną odległość zenitalną gwiazdy oraz jej azymut dla kątów godzinnych w odstępach co 10 minut i dla danej szerokości geograficznej obliczyć można na podstawie tablic, publikowanych w rocznikach astronomicznych.

Przedstawione poniżej efemerydy robocze Polaris przygotowane zostały na podstawie polskiego rocznika astronomicznego na rok 1956 w sposób następujący:

1. Tablica efemeryd ułożona została dla kątów godzinnych Polaris t od 0^h do 24^h w odstępach co 10 minut.

2. Czas gwiazdowy miejscowy Θ_m dla poszczególnych wartości kąta godzinnego t obliczony został z następującego wzoru:

$$\Theta_m = t + \alpha$$

gdzie α jest średnią rektascenzją Polaris na dany rok. W poniższym przykładzie średnia rektascenzja dla 1956 roku wynosi $1^h 53^m$ (polski rocznik str. 39), czyli

$$\Theta_m = t + 1^h 53^m$$

3. Przybliżony azymut Polaris a_* dla szerokości geograficznej $52^\circ 28' 5$ obliczony został na podstawie tablicy rocznika: „Przybliżony azymut Biegunowej 1956” umieszczonej na str. 94.

4. Przybliżona odległość zenitalna Polaris z_p (przy położeniu lunety P) obliczona została na podstawie tablicy rocznika: „Tablica do obliczania przybliżonej odległości zenitalnej Biegunowej”, umieszczonej na str. 95.

5. Odległość zenitalną dla położenia lunety L oblicza się z wzoru:

$$z_L = 360^\circ - z_p$$

6. Kąt pomiędzy kierunkiem ziemskim $A B$ i gwiazdą, który jest potrzebny przy nastawianiu na gwiazdę w azymucie, oblicza się z następującego wzoru:

$$\sphericalangle A B, \text{ Polaris} = (360^\circ - a_{\Delta}) + a_*$$

gdzie a_{Δ} jest przybliżoną wartością szukanego azymutu.

Przybliżoną wartość na a_{Δ} znaleźć można kilku sposobami, na przykład:

1. Obliczając azymut a_{Δ} ze współrzędnych geograficznych stanowiska i celu, wyznaczonych geodezyjnie.

2. Z przybliżonej obserwacji środka tarczy słonecznej w momencie górowania.

Dla danej długości geograficznej miejsca obserwacji: $\lambda_E = 1^h 24^m 09^s$ i dla danego dnia: 15. V. 1956 obliczenie czasu środkowo-europejskiego dla momentu górowania słońca będzie następujące:

Czas prawdziwy miejscowy, w momencie kiedy słońce znajduje się w południku miejscowym, wynosi	12 ^h 00 ^m 00 ^s
Różnica długości geograficznej	— 1 24 09
W tym momencie czas prawdziwy Greenwich wynosi	10 35 51
Minus równanie czasu dla 15. V. 56 godziny 16 ^h ,59	— 3 44
Czas średni Greenwich w momencie górowania słońca w miejscu obserwacji będzie	10 32 07
Redukcja z czasu średniego Gr. na czas środkowo-europejski	1
Czas środkowo-europejski w momencie górowania słońca	11 32 07

Gdybyśmy chcieli korzystać z czasu gwiazdowego miejscowego, to należałoby obliczyć rektascenzję słońca dla momentu kulminacji w południku miejscowym — a jak wiemy — czas gwiazdowy miejscowy w momencie kulminacji słońca w południku miejscowym równy jest rektascenzji słońca.

3. Z nastawienia na Polaris wieczorem o dowolnej porze, na podstawie jednego elementu, tj. odległości zenitalnej Polaris, pomagając sobie w azymucie busolą, bądź kierunkiem północy z mapy.

Po wycelowaniu lunety na punkt B ustawiamy koło poziome na odczyt $0^{\circ}00'00''$ a następnie w najbliższym czasie gwiazdowym Θ_m umieszczonym w tablicy efemeryd roboczych, ustawiamy Polaris na środek krzyża nitek lunety, odczytujemy koło poziome i odczyt ten wpisujemy w wierszu danego Θ_m w kolumnie wartości $(360^{\circ} - a_{\Delta}) + a_*$. Odejmując od wpisanego odczytu wartość a_* , odpowiadającą danemu czasowi gwiazdowemu, otrzymamy wartość $(360^{\circ} - a_{\Delta})$, którą wpisujemy w tej samej kolumnie przy kątach godzinnych $t = 0^h$ i $t = 12^h$. Pozostałe wartości tej kolumny obliczamy dodając do wartości $(360^{\circ} - a_{\Delta})$ odpowiednie wartości a_* .

Wielkości z kolumny $(360^{\circ} - a_{\Delta}) + a_*$ dają odczyty koła poziomego dla nastawienia alidady instrumentu w azymucie na Polaris, kiedy przy nacelowaniu na kierunek AB odczyt na kole poziomym wynosi $0^{\circ}00'$. Przy zmianie położenia koła poziomego, trzeba dane odczyty koła poziomego dla kierunku AB dodawać każdorazowo do wartości odczytanej z wymienionej kolumny, by otrzymać odczyt koła poziomego, odpowiadający nastawieniu lunety na Polaris.

EFEMERYDY ROBOCZE POLARIS NA ROK 1956
DLA SZEROKOŚCI GEOGRAFICZNEJ 52°28',5

Θ_m	$t = \Theta_m - \alpha$	α_*	$(360^\circ - \alpha_\Delta) + \alpha_*$	z		Θ_m	$t = \Theta_m - \alpha$	α_*	$(360^\circ - \alpha_\Delta) + \alpha_*$	z	
				P	L					P	L
$h\ m$	$h\ m$	$'$		$^\circ\ '$	$^\circ\ '$	$h\ m$	$h\ m$	$^\circ\ '$		$^\circ\ '$	$^\circ\ '$
1 53	0 00	0,0	280°16',3	36 35	323 25	7 53	6 00	-92,8		37 32	322 28
2 03	0 10	-4,1	280 12	36 35	323 25	8 03	6 10	-92,6		37 34	322 26
2 13	0 20	-8 2	280 08	36 35	323 25	8 13	6 20	-92,2		37 37	322 23
2 23	0 30	-12,4	280 04	36 36	323 24	8 23	6 30	-91,7		37 39	322 21
2 33	0 40	-16,5	280 00	36 36	323 24	8 33	6 40	-91,0		37 42	322 18
2 43	0 50	-20,5	279 56	36 37	323 23	8 43	6 50	-90,2		37 44	322 16
2 53	1 00	-24,5		36 38	323 22	8 53	7 00	-89,2		37 47	322 13
3 03	1 10	-28,4		36 38	323 22	9 03	7 10	-88,0		37 49	322 11
3 13	1 20	-32,5		36 39	323 21	9 13	7 20	-86,5		37 51	322 09
3 23	1 30	-36,3		36 39	323 21	9 23	7 30	-85,0		37 54	322 06
3 33	1 40	-40,1		36 40	323 20	9 33	7 40	-83,4		37 56	322 04
3 43	1 50	-43,7		36 41	323 19	9 43	7 50	-81,6		37 58	322 02
3 53	2 00	-47,2		36 43	323 17	9 53	8 00	-79,6		38 00	322 00
4 03	2 10	-50,9		36 44	323 16	10 03	8 10	-77,4		38 02	321 58
4 13	2 20	-54,2		36 45	323 15	10 13	8 20	-75,2		38 04	321 56
4 23	2 30	-57,5		36 47	323 13	10 23	8 30	-72,8		38 06	321 54
4 33	2 40	-60,7		36 48	323 12	10 33	8 40	-70,2		38 08	321 52
4 43	2 50	-63,7		36 50	323 10	10 43	8 50	-67,4		38 10	321 50
4 53	3 00	-66,7		36 52	323 08	10 53	9 00	-64,7		38 12	321 48
5 03	3 10	-69,4		36 54	323 06	11 03	9 10	-61,8		38 13	321 47
5 13	3 20	-72,1		36 56	323 04	11 13	9 20	-58,7		38 15	321 45
5 23	3 30	-74,6		36 58	323 02	11 23	9 30	-55,6		38 16	321 44
5 33	3 40	-77,0		37 00	323 00	11 33	9 40	-52,4		38 18	321 42
5 43	3 50	-79,2		37 02	322 58	11 43	9 50	-48,9		38 19	321 41
5 53	4 00	-81,3		37 04	322 56	11 53	10 00	-45,6		38 20	321 40
6 03	4 10	-83,2		37 06	322 54	12 03	10 10	-42,1		38 22	321 38
6 13	4 20	-84,9		37 08	322 52	12 13	10 20	-38,5		38 23	321 37
6 23	4 30	-86,5		37 10	322 50	12 23	10 30	-34,9		38 24	321 36
6 33	4 40	-87,9		37 13	322 47	12 33	10 40	-31,2		38 25	321 35
6 43	4 50	-89,1		37 15	322 45	12 43	10 50	-27,3		38 26	321 34
6 53	5 00	-90,1		37 17	322 43	12 53	11 00	-23,5		38 26	321 34
7 03	5 10	-91,0		37 20	322 40	13 03	11 10	-19,7		38 27	321 33
7 13	5 20	-91,7		37 22	322 38	13 13	11 20	-15,8		38 27	321 33
7 23	5 30	-92,2		37 25	322 35	13 23	11 30	-11,9		38 28	321 32
7 33	5 40	-92,6		37 27	322 33	13 33	11 40	-7,9		38 28	321 32
7 43	5 50	-92,7		37 30	322 30	13 43	11 50	-3,9		38 28	321 32
7 53	6 00	-92,8		37 32	322 28	13 53	12 00	0,0		38 28	321 32

EFEMERYDY ROBOCZE POLARIS NA ROK 1956
DLA SZEROKOŚCI GEOGRAFICZNEJ 52°28',5

Θ_m	$t = \Theta_m - \alpha$	α_*	$(360^\circ - \alpha_\Delta) + \alpha_*$	z		Θ_m	$t = \Theta_m - \alpha$	α_*	$(360^\circ - \alpha_\Delta) + \alpha_*$	z	
				P	L					P	L
<i>h m</i>	<i>h m</i>	<i>'</i>		<i>o ' "</i>	<i>o ' "</i>	<i>h m</i>	<i>h m</i>	<i>'</i>		<i>o ' "</i>	<i>o ' "</i>
13 53	12 00	0,0		38 28	321 32	19 53	18 00	+92,8		37 32	322 28
14 03	12 10	+ 3,9		38 28	321 32	20 03	18 10	+92,7		37 30	322 30
14 13	12 20	+ 7,9		38 28	321 32	20 13	18 20	+92,6		37 27	322 33
14 23	12 30	+11,9		38 28	321 32	20 23	18 30	+92,2		37 25	322 35
14 33	12 40	+15,8		38 27	321 33	20 33	18 40	+91,7		37 22	322 38
14 43	12 50	+19,7		38 27	321 33	20 43	18 50	+91,0		37 20	322 40
14 53	13 00	+23,5		38 26	321 34	20 53	19 00	+90,1		37 17	322 43
15 03	13 10	+27,3		38 26	321 34	21 03	19 10	+89,1		37 15	322 45
15 13	13 20	+31,2		38 25	321 35	21 13	19 20	+87,9		37 13	322 47
15 23	13 30	+34,9		38 24	321 36	21 23	19 30	+86,5		37 10	322 50
15 33	13 40	+38,5	280°55'	38 23	321 37	21 33	19 40	+84,9		37 08	322 52
15 43	13 50	+42,1	280 58	38 22	321 38	21 43	19 50	+83,2		37 06	322 54
15 53	14 00	+45,6	281 02	38 20	321 40	21 53	20 00	+81,3		37 04	322 56
16 03	14 10	+48,9	281 05	38 19	321 41	22 03	20 10	+79,2		37 02	322 58
16 13	14 20	+52,4		38 18	321 42	22 13	20 20	+77,0		37 00	323 00
16 23	14 30	+55,6		38 16	321 44	22 23	20 30	+74,6		36 58	323 02
16 33	14 40	+58,7		38 15	321 45	22 33	20 40	+72,1		36 56	323 04
16 43	14 50	+61,8		38 13	321 47	22 43	20 50	+69,4		36 54	323 06
16 53	15 00	+64,7		38 12	321 48	22 53	21 00	+66,7		36 52	323 08
17 03	15 10	+67,4		38 10	321 50	23 03	21 10	+63,7		36 50	323 10
17 13	15 20	+70,2		38 08	321 52	23 13	21 20	+60,7		36 48	323 12
17 23	15 30	+72,8		38 06	321 54	23 23	21 30	+57,5		36 47	323 13
17 33	15 40	+75,2		38 04	321 56	23 33	21 40	+54,2		36 45	323 15
17 43	15 50	+77,4		38 02	321 58	23 43	21 50	+50,9		36 44	323 16
17 53	16 00	+79,6		38 00	322 00	23 53	22 00	+47,2		36 43	323 17
18 03	16 10	+81,6		37 58	322 02	24 03	22 10	+43,7		36 41	323 19
18 13	16 20	+83,4		37 56	322 04	24 13	22 20	+40,1		36 40	323 20
18 23	16 30	+85,0		37 54	322 06	24 23	22 30	+36,3		36 39	323 21
18 33	16 40	+86,5		37 51	322 09	24 33	22 40	+32,5		36 39	323 21
18 43	16 50	+88,0		37 49	322 11	24 43	22 50	+28,4		36 38	323 22
18 53	17 00	+89,2		37 47	322 13	24 53	23 00	+24,5		36 38	323 22
19 03	17 10	+90,2		37 44	322 16	1 03	23 10	+20,5		36 37	323 23
19 13	17 20	+91,0		37 42	322 18	1 13	23 20	+16,5		36 36	323 24
19 23	17 30	+91,7		37 39	322 21	1 23	23 30	+12,4		36 36	323 24
19 33	17 40	+92,2		37 37	322 23	1 33	23 40	+ 8,2		36 35	323 25
19 43	17 50	+92,6		37 34	322 26	1 43	23 50	+ 4,1		36 35	323 25
19 53	18 00	+92,8		37 32	322 28	1 53	24 00	0,0		36 35	323 25

b) Przygotowanie instrumentu do obserwacji

By zapewnić najwyższą dokładność mierzonego kąta, potrzebne jest bardzo staranne przygotowanie teodolitu do pomiaru.

Tak więc przed użyciem nowego instrumentu do pomiarów, należy sprawdzić zachowanie się poziomej osi instrumentu (osi obrotu lunety), gdyż w razie większych zmian zachodzących w położeniu tej osi powstać mogą pewne błędy systematyczne i zniekształcić ostateczny wynik azymutu. Sprawdzenia bądź wyznaczenia wielkości takiego błędu dokonać można sposobem opisanym w Geodezji i Kartografii, Tom III, Zeszyt 2 w artykule autora pt. „Zmiany w położeniu osi obrotu lunety w teodolitach astronomicznych oraz sposób ich wyznaczania”. Jeżeli badanie osi nie jest możliwe, to należy pomierzyć azymut kontrolny, tzn. wyznaczyć azymut kierunku dla którego jest już on znany z wyznaczenia innymi instrumentami lub też innymi metodami i porównać je ze sobą.

Przed użyciem nowego instrumentu należy również przeprowadzić badanie libeli wiszącej, które ma na celu:

1. Stwierdzenie przydatności libeli do dokładnych pomiarów azymutu. Libele posiadające tzw. progi lub zbyt wielkie różnice w krzywiźnie na różnych miejscach fiolki należy wymienić.
2. Określenie zakresu libeli posiadającego stosunkowo małe różnice w krzywiźnie i nadającego się do wykorzystania.
3. Wyznaczenie wartości jednej działki libeli (τ'').

Należy sprawdzić i w razie potrzeby zrektyfikować pryzmaty koła poziomego tak by obraz kresek koła w okularze układał się symetrycznie względem kreski poziomej, indeks wskazywał prawidłowe minuty i „run” utrzymany był na poziomie pozwalającym na jego pominięcie.

Odchylenie nitki ruchomej w okularze lunety od położenia pionowego, jak również kolimację środkowej nitki stałej, należy starannie usunąć.

Wyciąg okularowy należy nastawić na obraz nieskończony, a krzyż nitek, właściwie nitkę ruchomą, na ostrość, usuwając paralaksę.

Przy ustawianiu teodolitu na stanowisku zwrócić należy uwagę by jedna nóżka (śruba nastawnicza) skierowana była na Polaris. Pomaga to przy stosowaniu pewnych zabiegów, mających na celu zmniejszenie wpływu błędów libeli na azymut, o których będzie mowa przy opisie sposobu obserwacji.

Czopy poziomej osi instrumentu (osi obrotu lunety) należy przeczyć i lekko naoliwić codziennie przed rozpoczęciem pomiaru azymutu.

Przynajmniej na godzinę przed rozpoczęciem obserwacji instrument powinien być odkryty, by nabrał temperatury otoczenia. W ciągu dnia natomiast instrument nie powinien pozostawać ani na chwilę pod działaniem promieni słonecznych.

Przy pomiarze teodolitem Wild T-4 długość pęcherzyka libeli wiszącej należy wyregulować do 40 działek libeli.

Po dokonaniu przybliżonego poziomowania teodolitu, dokładne poziomowanie jego przeprowadza się w sposób następujący:

Alidadę teodolitu ustawiamy w ten sposób, by oś libeli wiszącej była równoległa do dwóch śrub nastawniczych *A* i *B* i odczytujemy jeden koniec pęcherzyka libeli np. od strony śrub rektyfikacyjnych libeli. Przekręcamy alidadę o 180° i odczytujemy ten sam koniec pęcherzyka libeli (od strony śrub rektyfikacyjnych libeli). Przy pomocy śrub nastawniczych *A* i *B* nastawiamy koniec pęcherzyka libeli (zawsze ten sam koniec pęcherzyka libeli) na odczyt średni. Przekręcamy alidadę o 90° i trzecią śrubę nastawniczą *C* nastawiamy koniec pęcherzyka na poprzednio znaleziony odczyt średni. W razie potrzeby, należy przeprowadzić drugie przybliżenie, postępując identycznie. Jeśli poziomowanie zrobione jest dokładnie to dla każdego dowolnego położenia alidady otrzymamy jeden i ten sam odczyt tego samego końca pęcherzyka libeli.

Po dokładnym spoziomowaniu teodolitu, należy przystąpić do rektyfikacji libeli, którą przeprowadza się w sposób następujący:

Odczytujemy jeden koniec pęcherzyka, np. z lewej strony obserwatora, nie zwracając obecnie uwagi na numerację podziałek libeli. Nie zmieniając położenia alidady, przekładamy libelę i czytamy koniec pęcherzyka od tej samej strony obserwatora (lewej), licząc działki tak samo jak to robiliśmy przy pierwszym położeniu libeli, przy czym obserwator czyta libelę w obydwóch położeniach z jednego i tego samego stanowiska. Przy pomocy rektyfikacyjnych śrub libeli pęcherzyk libeli ustawiamy na odczyt średni. Jeśli libela jest dobrze zrektyfikowana, to niezależnie od nachylenia osi poziomej instrumentu, w obydwu położeniach libeli (przy niezmiennym położeniu alidady) pęcherzyk libeli ustawi się w jednakowej odległości od wybranego jednego i tego samego (np. lewego) końca osi poziomej teodolitu.

W obecnym stanie, tzn. po przeprowadzeniu dokładnego poziomowania instrumentu i rektyfikacji libeli, dla doprowadzenia osi poziomej instrumentu do położenia prostopadłego z jego pionową osią obrotu, wystarczy unieść lub opuścić jeden koniec osi przy pomocy śrub rektyfikacyjnych, umieszczonych przy łożysku osi poziomej w taki sposób, by pęcherzyk libeli zajął położenie środkowe.

Staranne przeprowadzenie poziomowania instrumentu, rektyfikacji libeli wiszącej i ustawienia osi poziomej teodolitu prostopadle do jego osi pionowej jest niezmiernie ważne, gdyż pozwala na stosowanie zabiegów mających na celu zmniejszenie wpływu błędów libeli wiszącej na azy-mut.

Bezpośrednio przed rozpoczęciem obserwacji, należy przekręcić kilkakrotnie mikrometr koła poziomego na całym jego zakresie, jak również obrócić kilkakrotnie lunetę dookoła poziomej osi, a alidadę dookoła pionowej osi teodolitu.

c) Sposób wykonania samych obserwacji

Obserwacje pierwszego półpoczetu (Położenie lunety L)

1. Nitkę ruchomą mikrometru okularowego lunety teodolitu nastawiamy na odczyt $R = 10,075$. (W teodolicie Wild T-4 nie można wykonywać obserwacji na nitce ruchomej w środku pola widzenia lunety, tzn. dla $R = 10,00$ gdyż znajduje się tam nitka stała, która przeszkadza przy obserwacji na nitkę ruchomą).

2. Lunetę skierowujemy na punkt B . Jako celu użyć można światła parabolicznego reflektora elektrycznego o średnicy lustra około 20 cm. Taki reflektor, dobrze zrektyfikowany, widoczny jest również w dzień na odległość 20-30 km. W dzień można również użyć światła heliotropu. Przy pierwszym poczecie koło poziome nastawiamy na odczyt $0^{\circ}00'30''$, a przy rozpoczęciu następnych przesuwamy koło o wielkość $180/n$ — jak to ma miejsce w obserwacjach geodezyjnych — gdzie n jest ilością poczetów.

3. Pochylamy lunetę do dołu na 20° — 30° poniżej horyzontu i następnie naprowadzamy ją na światło umieszczone na punkcie B , ruchem od dołu do góry, zwracając uwagę na to, by nie „przejechać” światła i by zostawić ostatni ruch w tym samym kierunku dla leniwki koła wierzchołkowego. Zabieg ten ma na celu obserwowanie obydwu kierunków danego kąta w możliwie identycznych warunkach mechanicznych, by zmniejszyć ujemny wpływ na azymut, jaki daje zmiana położenia osi obrotu lunety przy różnokierunkowym nastawianiu na cel lunety. Chodzi tu o to, by naprowadzenie na cel ziemski i na Polaris odbywało się w identyczny sposób (od dołu do góry).

4. Leniwkami koła wierzchołkowego i koła poziomego naprowadzamy lunetę na cel w ten sposób, by pionowa nitka ruchoma znalazła się na celu i równocześnie cel znajdował się w środku pomiędzy dwiema stałymi nitkami poziomymi — jedną środkową, a drugą obok niej od strony numeracji obrotów śruby mikrometru okularowego.

5. Odczytujemy obydwie końce pęcherzyka libeli wiszącej i przekładamy ją. Zawsze czytamy najpierw lewy koniec pęcherzyka libeli: $l_2 = 31,2$ a następnie jego prawy koniec: $p_2 = 61,4$. Przez prawy lub lewy koniec pęcherzyka rozumieć należy koniec pęcherzyka po prawej lub lewej stronie obserwatora, zwróconego twarzą do obserwowanego celu. W danym przykładzie zaczęliśmy od drugiego położenia libeli, a więc wyniki wpisaliśmy do prawej kolumny, przeznaczonej do odczytów libeli, oznaczonej znakiem minus. Ma to miejsce zawsze kiedy zero podziałki libeli obserwator widzi z lewej strony. Po przełożeniu libeli zero podziałki libeli znajdzie się po prawej jego stronie i takie odczyty wpisywać będziemy do lewej kolumny, oznaczonej znakiem plus.

6. Leniwką koła poziomego nastawiamy nitkę ruchomą dokładnie na cel.

7. Czytamy dwukrotnie koło poziome: $h' = 0^{\circ}00'13'',7$ i $h'' = 13'',6$.

Obserwacje azymutu astronomicznego									
Numer poczty	Data	Luna	Cel	Libela		Mikrometr	Chronometr	Koło poziome	Uwagi
1	30 IX 56	L	Δ Tamka	64,8	37,2	4,6		0°00'13",7	$\frac{1}{4} \epsilon'' = 0'',257$ $R'' = 154,2$ $\frac{1}{2R''} \cdot \frac{1}{100} = 0,324$
				40,7	61,4	4,4		13,6	
				24,1	24,2	4,6		13,65	
				105,5	98,6	+ 4,53		$-i \cdot \text{ctg } z$ 0,00	
				+ 6,90		- 2,07		$c \cdot \text{cosec } z + 3,79$	
				102,05		+ 2,46		0°00'17",44	
				63,9	,	5,0	15 ^h 42 ^m 25 ^s ,5	280°57'56",3	
				39,7	,	7,5	47,0	56,5	
				24,2	,	10,0	43 01,0	280°57'56,40	
				103,6		+ 7,50	15 42 44,5	$i \cdot \text{ctg } z + 1,03$	
1	30 IX 56	P	* Polaris	- 42,2	+ 3,45	- 2,07	+ 1 14,5	$c \cdot \text{cosec } z + 13,49$	$Z_{\Delta} = 90^{\circ}00'$ $Z_{*} = 38^{\circ}22'$ $\text{ctg } z_{*} = 1,2632$ $\text{cosec } z_{*} = 1,6111$ $\frac{1}{4} \epsilon'' \cdot \text{ctg } z_{*} = 0,2994$ $R'' \text{ cosec } z_{*} = 2,4843$
				,	39,5	10,0	15 ^h 48 ^m 11 ^s ,0	101°00'27",2	
				,	63,8	7,5	27,0	27,0	
				,	24,3	5,0	47,5	27,10	
				103,3		- 7,50	15 48 28,5	$i \cdot \text{ctg } z$ 0,85	
				- 42P = - 2,85		+ 2,07	+ 1 14,5	$c \cdot \text{cosec } z$ 13,49	
						- 5,43	15 49 43,0	101°00'12",76	
				62,9	38,8	4,9		180°00'21",7	
				38,7	63,0	4,8		21,7	
				24,2	24,2	4,8		21,70	
1	30 IX 56	P	Δ Tamka	101,6	101,8	4,83		$-i \cdot \text{ctg } z$ 0,00	$\frac{1}{4} \epsilon'' \cdot \text{ctg } z_{*} = 0,2994$ $R'' \text{ cosec } z_{*} = 2,4843$
				0,2		+ 2,07		$c \cdot \text{cosec } z - 4,26$	
				101,70		2,76		180°00'17",44	

8. Nitkę ruchomą nastawiamy trzykrotnie na cel i robimy odczyty na bębnie mikrometru okularowego: $M' = 4,6$, $M'' = 4,4$ i $M''' = 4,6$. Przy nastawianiu nitki ruchomej, tak przy celowaniu na przedmiot ziemski jak i przy celowaniu na gwiazdę, ostatni ruch śruby wykonujemy w kierunku wzrastania odczytów na bębnie mikrometru.

9. Czytamy obydwa końce libeli wiszącej: $l_1 = 64,8$ i $p_1 = 40,7$ i ponieważ obecnie jest to pierwsze położenie libeli wpisujemy odczyty do lewej kolumny libeli, oznaczonej znakiem plus.

10. Z chronometru odczytujemy czas gwiazdowy miejscowy: 15^h40^m i dla tego czasu znajdujemy w efemerydach roboczych odległość zenitalną: $z_L = 321^{\circ}38'$ oraz odczyt na kole poziomym dla ustawienia alidady: $(360^{\circ} - a_{\perp}) + a_* = 280^{\circ}58'$ (Zwykle wykonuje to protokolant).

11. Zwalniamy śruby zaciskowe obydwóch kół i nastawiamy lunetę na odczytaną z efemeryd roboczych odległość zenitalną: $z_L = 321^{\circ}38'$. Jak poprzednio — przy nastawianiu na odległość zenitalną — uważać należy by nie „przejechać” oraz by zostawić jeszcze dla leniwki koła wierzchołkowego ruch w tym samym kierunku na przestrzeni około 2 minut łuku.

12. Alidadę ustawiamy w ten sposób, by odczyt na kole poziomym wynosił $\{ 360^{\circ} - a_{\perp} \} + a_* = 280^{\circ}58'$

13. Nitkę ruchomą mikrometru okularowego nastawiamy dokładnie na odczyt $R = 10,05$ pamiętając przy tym, że ostatni ruch śruby mikrometru okularowego, przy każdorazowym nastawianiu nitki ruchomej, powinien odbywać się w kierunku wzrastania podziałki na bębnie mikrometru. Ma to na celu wyeliminowanie martwego ruchu śruby.

14. Po znalezieniu gwiazdy w lunecie, przy pomocy obydwu leniwek nastawiamy lunetę w ten sposób, by można było zaobserwować moment przejścia gwiazdy przez nitkę ruchomą w położeniu $R = 10,05$ na tej samej wysokości jak poprzednio, tzn. w środku pomiędzy dwiema sąsiednimi stałymi nitkami poziomymi, jedną środkową, a drugą sąsiednią, od strony numeracji obrotów śruby mikrometru.

15. W momencie przejścia gwiazdy przez nitkę ruchomą w położeniu $R = 10,05$ notujemy odczyt chronometru z dokładnością do pół sekundy: $M' = 5,0$; $Ch' = 15^h42^m25^s,5$ i natychmiast przestawiamy nitkę ruchomą do położenia $R = 10,075$. W momencie przejścia gwiazdy przez nitkę ruchomą w tym położeniu notujemy chronometr: $M'' = 7,5$; $Ch'' = 15^h42^m47^s,0$. Robimy ostatnie przestawienie nitki ruchomej do położenia $R = 10,10$ i w momencie przejścia gwiazdy przez ostatnie położenie nitki ruchomej odczytujemy po raz trzeci chronometr: $M''' = 10,0$ i $Ch''' = 15^h43^m01^s,0$.

Nastawienie nitki ruchomej na odczyty: 10,05, 10,075 i 10,10 dla zaobserwowania przejść gwiazdy w tych położeniach jest korzystne tylko dla

danego kąta godzinnego gwiazdy. Dla innych kątów godzinnych wybór położenia nitki ruchomej zależy od kierunku i szybkości przejścia obrazu gwiazdy przez krzyż nitek w lunecie. Położenie nitki ruchomej dobiera się w ten sposób, by odstęp były równe, a środkowe położenie było zawsze jednakowe i wynosiło 10,075. Wielkość odstępów trzeba dobierać tak, by nie czekać zbyt długo na przejście gwiazdy, również by nie robić obserwacji zbyt pośpiesznie. W pobliżu kulminacji gwiazdy odstęp muszą być większe, a w pobliżu elongacji bardzo małe. Na gwiazdę zmieniającą swe położenie w azymucie bardzo mało, nastawiać należy podobnie jak na cel ziemski, tzn. nastawiać każdorazowo nitkę ruchomą na gwiazdę i równocześnie odczytywać chronometr.

16. Odczytujemy lewy i prawy koniec pęcherzyka libeli wiszącej $l_1 = 63,9$ i $p_1 = 39,7$, ale jej nie przekładamy.

17. Odczytujemy dwukrotnie koło poziome: $h' = 280^\circ 57' 56''{,}3$ i $h'' = 56''{,}5$.

Obserwacje drugiego półpoczetu (Położenie lunety P)

1. Zwalniamy zaciski obydwóch kół, przekładamy lunetę przez zenit i na podstawie efemeryd roboczych ustawiamy lunetę na odległość zenitalną $z_p = 38^\circ 22'$. Przy przekładaniu lunety należy również uważać, by nie „przejechać” odległości zenitalnej gwiazdy i by zostawić jeszcze ruch dla leniwki koła wierzchołkowego w tym samym kierunku na przestrzeni około 2 minut. Chodzi tutaj o zachowanie jednakowego ruchu przy obrocie lunety dookoła osi w ciągu całego poczetu.

2. Alidadę ustawiamy na odczyt koła poziomego, jaki mieliśmy przy ostatnim nacelowaniu na gwiazdę w położeniu L , zwiększony o pół obrotu: $280^\circ 58' - 180^\circ = 100^\circ 58'$.

3. Przy pomocy jednej z dwóch śrub nastawniczych (elewacyjnych) teodolitu, równoległych do osi obrotu lunety, poprawiamy położenie pęcherzyka libeli wiszącej w ten sposób, by odczyty końców jego były możliwie takie same, jakie mieliśmy przy ostatnim nastawianiu na gwiazdę tj. $l_1 = 63,9$ i $p_1 = 39,7$. Ma to na celu zmniejszenie wpływu błędów libeli, jak nierównomiernej krzywizny fiolki i niedokładnego wyznaczenia wartości jednej działki libeli, na azymut średni obliczony z dwóch półpoczetów. Dla uzyskania pewnej wprawy i wyczucia śrub nastawniczych, sposób poprawiania odczytów pęcherzyka libeli przy pomocy tych śrub, należy przed rozpoczęciem pomiaru dobrze przestudiować.

4. Po zauważeniu gwiazdy w polu widzenia lunety, leniwkami koła poziomego i wierzchołkowego sprowadzamy obraz gwiazdy do miejsca pozwalającego na zaobserwowanie przejścia gwiazdy przez nitkę ruchomą w położeniu $R = 10,10$. Stale pamiętać należy, że przy użyciu leniwki koła wierzchołkowego nie wolno zmieniać kierunku ruchu dla danego

poczetu, a więc ostatni ruch trzeba sobie zostawić na sam koniec, tj. bezpośrednio przed rozpoczęciem obserwacji przejść gwiazdy. Również trzeba pamiętać, że obserwacje przejść gwiazdy i celu ziemskiego muszą być wykonane zawsze w tym samym miejscu nitki ruchomej. W naszym przypadku wybraliśmy sobie środek pomiędzy dwoma poziomymi nitkami stałymi krzyża nitek, jedną środkową a drugą sąsiednią od strony numeracji ilości obrotów śruby mikrometru okularowego.

5. W momencie przejścia gwiazdy przez nitkę ruchomą w położeniu $R = 10,10$ odczytujemy chronometr: $M' = 10,0$ i $Ch' = 15^h 48^m 11^s,0$. Przystawiamy nitkę ruchomą do położenia $R = 10,075$, a następnie do położenia $R = 10,05$ i w momencie przejścia gwiazdy przez nitkę ruchomą w tych położeniach robimy dwa następne odczyty chronometru:

$$M'' = 7,5; \quad Ch'' = 15^h 48^m 27^s,0$$

$$M''' = 5,0; \quad Ch''' = 15 \ 48 \ 47 \ 5,$$

6. Odczytujemy najpierw lewy a następnie prawy koniec pęcherzyka libeli wiszącej: $l_2 = 39,5$ i $p_2 = 63,8$.

7. Czytamy dwukrotnie koło poziome: $h' = 101^{\circ}00'27'',2$ i $h'' = 101^{\circ}00'27'',0$.

8. Nitkę ruchomą nastawiamy na odczyt $R = 10,075$ i lunetę skierujemy na punkt B .

9. Nitkę ruchomą nastawiamy trzykrotnie na światło na punkcie B i każdorazowo odczytujemy bębenek mikrometru okularowego: $M' = 4,9$, $M'' = 4,8$ i $M''' = 4,8$.

10. Odczytujemy dwukrotnie koło poziome: $h' = 180^{\circ}00'21'',7$ i $h'' = 21'',7$.

11. Odczytujemy położenie pęcherzyka libeli wiszącej i przekładamy ją: $l_2 = 38,8$ i $p_2 = 63,0$.

12. Po upływie 2 minut od przełożenia czytamy drugi raz libelę: $l_1 = 62,9$ i $p_1 = 38,7$.

W ten sposób zakończony został jeden poczet, stanowiący pewną całość. Zwykle wykonuje się takich poczetów 24 lub conajmniej 12.

d. Obliczenie poprawki chronometru do czasu gwiazdowego miejscowego

Przy obliczaniu poprawki chronometru do czasu gwiazdowego miejscowego potrzebna jest znajomość długości geograficznej miejsca obserwacji (dla azymutu wystarcza dokładność $\pm 0^{\circ},1$) oraz poprawka chronometru do czasu gwiazdowego Greenwich. Ostatnią poprawkę znaleźć można przez porównanie chronometru przed i po obserwacji azymutu z jedną ze stacji radiowych, nadających astronomiczne sygnały czasu.

**WYKAZ WAŻNIEJSZYCH STACJI RADIOWYCH NADAJĄCYCH
ASTRONOMICZNE SYGNAŁY CZASU**

Czas środkowo-europejski	Nazwa stacji	Fala w metrach
0 ^h 55 ^m — 1 ^h 00 ^m	Norddeich	114,77
	"	34,73
	"	46,34
	"	70,34
	"	2 400
0 55 — 1 06	Moskwa	29,85
	"	3 901
	"	55,76
	"	17 647
2 55 — 3 06	Moskwa	29,85
	"	39,01
4 55 — 5 06	Moskwa	17 647
6 55 — 7 06	Moskwa	26,20
8 55 — 9 06	Moskwa	17 647
8 55 — 9 06	St. Assise	3 291
	Pontoise	27,84
9 55 — 10 06	St. Assise	3 291
	Pontoise	40,39
10 25 — 10 36	St. Assise	3 291
	Pontoise	21,62
10 55 — 11 06 "	Rugby	16,96
	"	22,13
	"	23,46
	"	29,03
	"	32,09
	"	18 750
12 55 — 13 00	Berlin II	1 621,6
12 55 — 13 00 12 55 — 13 06	Norddeich	114,77
	"	17,67
	"	2 400
12 55 — 13 06	Moskwa	26,20
	"	17 647
13 55 — 14 06	St. Assise	3 291

Czas środkowo-europejski	Nazwa stacji	Fala w metrach
14 55 — 15 06	Moskwa	26,20
	"	29,85
	"	39,01
	"	55,76
	"	3 333
16 55 — 17 06	Moskwa	26,20
	"	29,85
	"	39,01
	"	55,76
	"	17 647
18 55 — 19 06	Rugby	23,46
	"	16,96
	"	29,03
	"	42,95
	"	18 750
20 55 — 21 06	Moskwa	29,85
	"	39,01
	"	55,76
	"	17 647
20 55 — 21 06	St. Assise	3 291
	Pontoise	27,84
21 55 — 22 06	St. Assise	3 291
	Pontoise	40,39
22 55 — 23 06	Moskwa	29,85
	"	39,01
	"	55,76
	"	3 333
23 25 — 23 36	St. Assise	3 291
	Pontoise	21,62

Ponadto stacja Nauen nadaje bez przerwy od godziny 17 do godziny 24 czasu środkowo-europejskiego sekundy czasu średniego na fali 66,30 m. Sekunda zerowa każdej minuty trwa 0,4, natomiast pozostałe sekundy trwają 0,1.

Rytmowe sygnały czasu mogą być odbierane trzema sposobami:

- automatycznie na taśmie chronografu,
- półautomatycznie na słuchawki, np. metodą Kuka-Prejpicza,
- na słuch według koincydencji.

Przy pierwszym sposobie, do automatycznego odbioru na taśmie chronografu potrzebny jest odbiornik wysokiej klasy, zaopatrzony u wyjścia

w prostownik i przekaźnik (rélais) i odbierający sygnał z dostateczną siłą.

Drugi sposób — najbardziej rozpowszechniony — pozwala na otrzymanie wyników o dokładności nie wiele mniejszej od pierwszego sposobu, przy stosunkowo prostych środkach. Wystarczy tu wtórne uzwojenie transformatora wyjściowego normalnego odbiornika telegraficznego połączyć z tzw. układem Kuka-Prejpicza, zaopatrzonym w przełącznik i w zaciski dla chronometru kontaktowego i słuchawek.

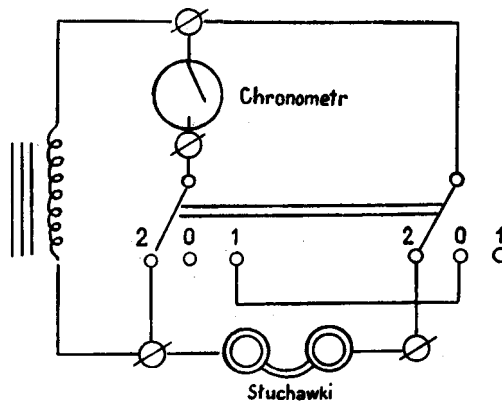
Działanie przystawki Kuka-Prejpicza jest następujące:

W położeniu „0” występuje w słuchawkach pełny, normalny odbiór stacji nadawczej.

W położeniu „1” słychać w słuchawkach sygnały stacji nadawczej tylko w czasie zwarcia się kontaktów chronometru.

W położeniu „2” słychać w słuchawkach tylko wtenczas, kiedy kontakty chronometru są rozwarte.

Przed przystąpieniem do odbioru sygnałów czasu na przystawce Kuka-Prejpicza, należy sprawdzić numerację na przełączniku. Numeracja jest zgodna z schematem, jeśli po zupełnym wyłączeniu chronometru słychać stację nadawczą w słuchawkach w położeniu „0” i „2” a nie słychać w położeniu „1”.



Rys. 2

Sposób odbioru rytmowych sygnałów czasu przy pomocy powyższej przystawki jest następujący.

1. Przełącznik ustawiamy w położeniu „0” i w momencie usłyszenia początku pierwszej kreski odcytujemy chronometr z dokładnością do $\pm 0^s,1$. Jeżeli działanie kontaktów i wskazówki sekundowej nie jest równoczesne, trzeba wyznaczyć różnice i dodać je z odpowiednim znakiem do poprzedniego odczytu chronometru. (I kreska: $11^h30^m19^s,2 + 0^s,0$).

2. Przekładamy przełącznik do położenia „1” bądź „2” — przy którym sygnał zaniknie — i czekamy na pojawienie się go. W momencie usłyszenia pierwszej kropki (skrótowej) notujemy odczyt chronometru w półsekundach dla położenia „1”, a w całych sekundach dla położenia „2”, zmniejszając każdorazowo odczyt chronometru o całą sekundę, gdyż koincydencja następuje podczas ostatniej, jeszcze nie słyszalnej kropki. (Położenie „2”: $11^h30^m38^s,0 - 1^s = 11^h30^m37^s,0$).

3. Następnie przekładamy przełącznik do położenia „2” bądź „1”, przy którym sygnał zaniknie i postępujemy analogicznie jak poprzednio. (Położenie „1”: $11^h31^m13^s,5 - 1^s = 11^h31^m12^s,5$)

W ten sposób odebrać możemy 8-9 koincydencji.

4. Przed ostatnią kreską przekładamy przełącznik do położenia „0” i notujemy chronometr dla tego momentu. (VI kreska: $11^h35^m20^s,1 + 0^s,0$).

Przykład:

Położenie przełącznika						
1			0	2		
30, IX. 1956 godz. 10 ^h 33, ^m 5 — St. Assise 3291 m						
			I 11 ^h 30 ^m 19 ^s ,2			
11 ^h 31 ^m 12, ^s 5	53, ^s 3	55		11 ^h 30 ^m 37, ^s 0	17, ^s 8	19
32 25, 5	126, 3	129		31 49, 0	89, 8	92
33 36, 5	197, 3	201		33 01, 0	161, 8	165
34 49, 5	270, 3	275		34 13, 0	233, 8	238
			VI 11 ^h 35 ^m 20 ^s ,1			

Z odczytów chronometru dla pierwszej kreski, skontrolowanego odczytem ostatniej kreski, obliczamy odstęp czasu od pierwszej kreski do kolejnej koincydencji, ($11^h30^m37^s,0 - 11^h30^m19^s,2 = 17^s,8$), a na podstawie obliczonych odstępów czasu z załączonej tablicy znajdujemy numery kropek, dla których nastąpiła koincydencja. (Odstępowi czasu na chronomtrze gwiazdowym $17^s,8$ odpowiada kropka 19.) Następnie przy pomocy drugiej tablicy redukujemy — jak poniżej — wszystkie odebrane koincydencje do środkowego momentu sygnału rytmowego i znajdujemy odczyt średni chronometru dla tego momentu.

Data	Stacja radiowa		Godzina środk sygnału	Numer i nazwa chronometru	Numer kropki	Odczyt chronometru w czasie koincydencji	Redukcja do środkowego momentu	Odczyty zredukowane
	Nazwa	Fala						
30. IX. 1956	St. Assise	3291	$10^h33^m,5$	Nardin 7323	19	$11^h30^m37^s,0$	$+2^m12^s,66$	$11^h32^m49^s,66$
					55	31 12, 5	$+1^s37,15$	65
					92	49, 0	$+1^s00,66$	66
					129	32 25, 5	$+0^s24,16$	66
					165	33 01, 0	$-0^s11,34$	66
					201	36, 5	$-0^s46,85$	65
					238	34 13, 0	$-1^s23,34$	66
					275	49, 5	$-1^s59,84$	66
							Średnia	$11^h32^m49^s,66$

TABLICA
ODSTĘPÓW KROPEK OD PIERWSZEJ KRESKI (W CZASIE GWIAZDOWYM)

	Nr kropki	d	Nr kropki	d	Nr kropki	d	Nr kropki	d	Nr kropki	d
—	1	0,0	62	60, ^s 2	123	120, ^s 3	184	180, ^s 5	245	240, ^s 7
•	2	1,0	63	61,2	124	121,3	185	181,5	246	241,6
•	3	2,0	64	62,1	125	122,3	186	182,5	247	242,6
•	4	3,0	65	63,1	126	123,3	187	183,5	248	243,6
•	5	3,9	66	64,1	127	124,3	188	184,4	249	244,6
•	6	4,9	67	65,1	128	125,3	189	185,4	250	245,6
•	7	5,9	68	66,1	129	126,2	190	186,4	251	246,6
•	8	6,9	69	67,1	130	127,2	191	187,4	252	247,6
•	9	7,9	70	68,1	131	128,2	192	188,4	253	248,5
•	10	8,9	71	69,0	132	129,2	193	189,4	254	249,5
•	11	9,9	72	70,0	133	130,2	194	190,4	255	250,5
•	12	10,8	73	71,0	134	131,2	195	191,3	256	251,5
•	13	11,8	74	72,0	135	132,2	196	192,3	257	252,5
•	14	12,8	75	73,0	136	133,2	197	193,3	258	253,5
•	15	13,8	76	74,0	137	134,1	198	194,3	259	254,5
•	16	14,8	77	75,0	138	135,1	199	195,3	260	255,5
•	17	15,8	78	75,9	139	136,1	200	196,3	261	256,4
•	18	16,8	79	76,9	140	137,1	201	197,3	262	257,4
•	19	17,8	80	77,9	141	138,1	202	198,2	263	258,4
•	20	18,7	81	78,9	142	139,1	203	199,2	264	259,4
•	21	19,7	82	79,9	143	140,1	204	200,2	265	260,4
•	22	20,7	83	80,9	144	141,0	205	201,2	266	261,4
•	23	21,7	84	81,9	145	142,0	206	202,2	267	262,4
•	24	22,7	85	82,8	146	143,0	207	203,2	268	263,3
•	25	23,7	86	83,8	147	144,0	208	204,2	269	264,3
•	26	24,7	87	84,8	148	145,0	209	205,2	270	265,3
•	27	25,6	88	85,8	149	146,0	210	206,1	271	266,3
•	28	26,6	89	86,8	150	147,0	211	207,1	272	267,3
•	29	27,6	90	87,8	151	147,9	212	208,1	273	268,3
•	30	28,6	91	88,8	152	148,9	213	209,1	274	269,3
•	31	29,6	92	89,8	153	149,9	214	210,1	275	270,2
•	32	30,6	93	90,7	154	150,9	215	211,1	276	271,2
•	33	31,6	94	91,7	155	151,9	216	212,1	277	272,2
•	34	32,5	95	92,7	156	152,9	217	213,0	278	273,2
•	35	33,5	96	93,7	157	153,9	218	214,0	279	274,2
•	36	34,5	97	94,7	158	154,8	219	215,0	280	275,2
•	37	35,5	98	95,7	159	155,8	220	216,0	281	276,2
•	38	36,5	99	96,7	160	156,8	221	217,0	282	277,2
•	39	37,5	100	97,6	161	157,8	222	218,0	283	278,1
•	40	38,5	101	98,6	162	158,8	223	219,0	284	279,1
•	41	39,5	102	99,6	163	159,8	224	219,9	285	280,1
•	42	40,4	103	100,6	164	160,8	225	220,9	286	281,1
•	43	41,4	104	101,6	165	161,8	226	221,9	287	282,1
•	44	42,4	105	102,6	166	162,7	227	222,9	288	283,1
•	45	43,4	106	103,6	167	163,7	228	223,9	289	284,1
•	46	44,4	107	104,5	168	164,7	229	224,9	290	285,0
•	47	45,4	108	105,5	169	165,7	230	225,9	291	286,0
•	48	46,4	109	106,5	170	166,7	231	226,8	292	287,0
•	49	47,3	110	107,5	171	167,7	232	227,8	293	288,0
•	50	48,3	111	108,5	172	168,7	233	228,8	294	289,0
•	51	49,3	112	109,5	173	169,6	234	229,8	295	290,0
•	52	50,3	113	110,5	174	170,6	235	230,8	296	291,0
•	53	51,3	114	111,5	175	171,6	236	231,8	297	291,9
•	54	52,3	115	112,4	176	172,6	237	232,8	298	292,9
•	55	53,3	116	113,4	177	173,6	238	233,8	299	293,9
•	56	54,2	117	114,4	178	174,6	239	234,7	300	294,9
•	57	55,2	118	115,4	179	175,6	240	235,7	301	295,9
•	58	56,2	119	116,4	180	176,5	241	236,7	302	296,9
•	59	57,2	120	117,4	181	177,5	242	237,7	303	297,9
•	60	58,2	121	118,4	182	178,5	243	238,7	304	298,8
•	61	59,2	122	119,3	183	179,5	244	239,7	305	299,8
—	62	60, ^s 2	123	120, ^s 3	184	180, ^s 5	245	240, ^s 7	306	300, ^s 8

TABLICA
REDUKCJI RYTMOWYCH SYGNAŁÓW CZASU DO MOMENTU ŚRODKOWEGO
(W CZASIE GWIAZDOWYM)

Nr kropki	r	Nr kropki	r	Nr kropki	r	Nr kropki	r	Nr kropki	r
	$m \ s$		$m \ s$		$m \ s$		$m \ s$		$m \ s$
1	+ 2 30,411	62	+ 1 30,246	123	+ 0 30,082	184	- 0 30,082	245	- 1 30,246
2	+ 2 29,424	63	+ 1 29,260	124	+ 0 29,096	185	- 0 31,068	246	- 1 31,233
3	+ 2 28,438	64	+ 1 28,274	125	+ 0 28,110	186	- 0 32,055	247	- 1 32,219
4	+ 2 27,452	65	+ 1 27,288	126	+ 0 27,123	187	- 0 33,041	248	- 1 33,205
5	+ 2 26,466	66	+ 1 26,301	127	+ 0 26,137	188	- 0 34,027	249	- 1 34,192
6	+ 2 25,479	67	+ 1 25,315	128	+ 0 25,151	189	- 0 35,014	250	- 1 35,178
7	+ 2 24,493	68	+ 1 24,329	129	+ 0 24,164	190	- 0 36,000	251	- 1 36,164
8	+ 2 23,507	69	+ 1 23,342	130	+ 0 23,178	191	- 0 36,986	252	- 1 37,151
9	+ 2 22,520	70	+ 1 22,356	131	+ 0 22,192	192	- 0 37,973	253	- 1 38,137
10	+ 2 21,534	71	+ 1 21,370	132	+ 0 21,205	193	- 0 38,959	254	- 1 39,123
11	+ 2 20,548	72	+ 1 20,383	133	+ 0 20,219	194	- 0 39,945	255	- 1 40,109
12	+ 2 19,561	73	+ 1 19,397	134	+ 0 19,233	195	- 0 40,931	256	- 1 41,096
13	+ 2 18,575	74	+ 1 18,411	135	+ 0 18,247	196	- 0 41,918	257	- 1 42,082
14	+ 2 17,589	75	+ 1 17,425	136	+ 0 17,260	197	- 0 42,904	258	- 1 43,068
15	+ 2 16,603	76	+ 1 16,438	137	+ 0 16,274	198	- 0 43,890	259	- 1 44,055
16	+ 2 15,616	77	+ 1 15,452	138	+ 0 15,288	199	- 0 44,877	260	- 1 45,041
17	+ 2 14,630	78	+ 1 14,466	139	+ 0 14,301	200	- 0 45,863	261	- 1 46,027
18	+ 2 13,644	79	+ 1 13,479	140	+ 0 13,315	201	- 0 46,849	262	- 1 47,014
19	+ 2 12,657	80	+ 1 12,493	141	+ 0 12,329	202	- 0 47,836	263	- 1 48,000
20	+ 2 11,671	81	+ 1 11,507	142	+ 0 11,342	203	- 0 48,822	264	- 1 48,986
21	+ 2 10,685	82	+ 1 10,520	143	+ 0 10,356	204	- 0 49,808	265	- 1 49,972
22	+ 2 09,698	83	+ 1 09,534	144	+ 0 09,370	205	- 0 50,794	266	- 1 50,959
23	+ 2 08,712	84	+ 1 08,548	145	+ 0 08,384	206	- 0 51,781	267	- 1 51,945
24	+ 2 07,726	85	+ 1 07,562	146	+ 0 07,397	207	- 0 52,767	268	- 1 52,931
25	+ 2 06,740	86	+ 1 06,575	147	+ 0 06,411	208	- 0 53,753	269	- 1 53,918
26	+ 2 05,753	87	+ 1 05,589	148	+ 0 05,425	209	- 0 54,740	270	- 1 54,904
27	+ 2 04,767	88	+ 1 04,603	149	+ 0 04,438	210	- 0 55,726	271	- 1 55,890
28	+ 2 03,781	89	+ 1 03,616	150	+ 0 03,452	211	- 0 56,712	272	- 1 56,877
29	+ 2 02,794	90	+ 1 02,630	151	+ 0 02,466	212	- 0 57,699	273	- 1 57,863
30	+ 2 01,808	91	+ 1 01,644	152	+ 0 01,479	213	- 0 58,685	274	- 1 58,849
31	+ 2 00,822	92	+ 1 00,657	153	+ 0 00,493	214	- 0 59,671	275	- 1 59,835
32	+ 1 59,835	93	+ 0 59,671	154	- 0 00,493	215	- 1 00,657	276	- 2 00,822
33	+ 1 58,849	94	+ 0 58,685	155	- 0 01,479	216	- 1 01,644	277	- 2 01,808
34	+ 1 57,863	95	+ 0 57,699	156	- 0 02,466	217	- 1 02,630	278	- 2 02,794
35	+ 1 56,877	96	+ 0 56,712	157	- 0 03,452	218	- 1 03,616	279	- 2 03,781
36	+ 1 55,890	97	+ 0 55,726	158	- 0 04,438	219	- 1 04,603	280	- 2 04,767
37	+ 1 54,904	98	+ 0 54,740	159	- 0 05,425	220	- 1 05,589	281	- 2 05,753
38	+ 1 53,918	99	+ 0 53,753	160	- 0 06,411	221	- 1 06,575	282	- 2 06,740
39	+ 1 52,931	100	+ 0 52,767	161	- 0 07,397	222	- 1 07,562	283	- 2 07,726
40	+ 1 51,945	101	+ 0 51,781	162	- 0 08,384	223	- 1 08,548	284	- 2 08,712
41	+ 1 50,959	102	+ 0 50,794	163	- 0 09,370	224	- 1 09,534	285	- 2 09,698
42	+ 1 49,972	103	+ 0 49,808	164	- 0 10,356	225	- 1 10,520	286	- 2 10,685
43	+ 1 48,986	104	+ 0 48,822	165	- 0 11,342	226	- 1 11,507	287	- 2 11,671
44	+ 1 48,000	105	+ 0 47,836	166	- 0 12,329	227	- 1 12,493	288	- 2 12,657
45	+ 1 47,014	106	+ 0 46,849	167	- 0 13,315	228	- 1 13,479	289	- 2 13,644
46	+ 1 46,027	107	+ 0 45,863	168	- 0 14,301	229	- 1 14,466	290	- 2 14,630
47	+ 1 45,041	108	+ 0 44,877	169	- 0 15,288	230	- 1 15,452	291	- 2 15,616
48	+ 1 44,055	109	+ 0 43,890	170	- 0 16,274	231	- 1 16,438	292	- 2 16,603
49	+ 1 43,068	110	+ 0 42,904	171	- 0 17,260	232	- 1 17,425	293	- 2 17,589
50	+ 1 42,082	111	+ 0 41,918	172	- 0 18,247	233	- 1 18,411	294	- 2 18,575
51	+ 1 41,096	112	+ 0 40,931	173	- 0 19,233	234	- 1 19,397	295	- 2 19,561
52	+ 1 40,109	113	+ 0 39,945	174	- 0 20,219	235	- 1 20,383	296	- 2 20,548
53	+ 1 39,123	114	+ 0 38,959	175	- 0 21,205	236	- 1 21,370	297	- 2 21,534
54	+ 1 38,137	115	+ 0 37,973	176	- 0 22,192	237	- 1 22,356	298	- 2 22,520
55	+ 1 37,151	116	+ 0 36,986	177	- 0 23,178	238	- 1 23,342	299	- 2 23,507
56	+ 1 36,164	117	+ 0 36,000	178	- 0 24,164	239	- 1 24,329	300	- 2 24,493
57	+ 1 35,178	118	+ 0 35,014	179	- 0 25,151	240	- 1 25,315	301	- 2 25,479
58	+ 1 34,192	119	+ 0 34,027	180	- 0 26,137	241	- 1 26,301	302	- 2 26,466
59	+ 1 33,205	120	+ 0 33,041	181	- 0 27,123	242	- 1 27,288	303	- 2 27,452
60	+ 1 32,219	121	+ 0 32,055	182	- 0 28,110	243	- 1 28,274	304	- 2 28,438
61	+ 1 31,233	122	+ 0 31,068	183	- 0 29,096	244	- 1 29,260	305	- 2 29,424
62	+ 1 30,246	123	+ 0 30,082	184	- 0 30,082	245	- 1 30,246	306	- 2 30,411

Obliczenie poprawki chronometru do czasu gwiazdowego miejscowego, dla odczytów chronometru w czasie odbioru sygnałów czasu, a następnie w czasie obserwacji azymutu, ilustruje następujący przykład:

Data	Średni moment sygnału czasu	Θ_0	Θ_m	Odczyt chronometru		Poprawka chronom.	Zmiana na 1 ^h
				Ch	w jedn. godzin		
30. IX. 1956				$11^h 32^m 49^s,66$	$11^h,547$	$+1^m 14^s,82$	$\frac{-0^s,80}{10,529} =$
	Azymut			$15\ 45\ 36,50$	$15,760$	$+1\ 14,50$	
	$21\ 03,5$	$0\ 34\ 51,469$	$22\ 05\ 47,97$	$22\ 04\ 33,95$	$22,076$	$+1\ 14,02$	$-0^s,0760$

gdzie

Θ_0 — czas gwiazdowy Greenwich o północy Greenwich,

$\Theta_m = \Theta_0 + \Delta\Theta + \lambda$ — czas gwiazdowy miejscowy,

$\Delta\Theta$ — odstęp czasu od północy Greenwich do środka astronomicznego sygnału czasu, w czasie gwiazdowym,

λ — długość geograficzna, liczona od Greenwich.

e) Obliczenie poprawki do odczytów koła poziomego ze względu na nachylenie osi poziomej instrumentu

Poprawkę do odczytów koła poziomego, ze względu na nachylenie osi poziomej instrumentu, oblicza się z następującego wzoru:

$$h_i = -i'' \operatorname{ctg} z$$

gdzie

h_i — poprawka do odczytów koła poziomego, w sekundach łuku,

i'' — nachylenie osi poziomej instrumentu, w sekundach łuku,

z — odległość zenitalna obserwowanego celu, dla którego szukamy poprawki do odczytów koła poziomego.

Samo nachylenie osi poziomej instrumentu oblicza się z odczytów libeli wiszącej z wzoru:

$$-i'' = -i'' = \{(l_1 + p_1) - (l_2 + p_2)\} \cdot 1/4\tau'' = \{2(l_1 + p_1) - 2L_0\} \cdot 1/4\tau'' = \{2L_0 - 2(l_2 + p_2)\} \cdot 1/4\tau''$$

gdzie

l_1 i p_1 — odczyty lewego i prawego końca pęcherzyka libeli wiszącej w położeniu pierwszym, tzn. kiedy zero podziału libeli znajduje się po prawej stronie obserwatora zwróconego twarzą do obserwowanego celu,

l_2 i p_2 — odczyty lewego i prawego końca pęcherzyka libeli wiszącej w położeniu drugim, tzn. kiedy zero podziału libeli znajduje się po lewej stronie,

τ'' — wartość jednej działki libeli (jednego parsza) czyli jej przewaga,

$L_0 = 1/2 (l_1 + p_1 + l_2 + p_2)$ — wielkość pomocnicza (miejsce zerowe libeli), która jest niezależna od nachylenia osi instrumentu i nie zmienia się dopóki nie zajdą jakieś zmiany w samej libeli, np. wskutek wstrząsu przy jej przekładaniu lub wskutek zmian temperatury oraz rektyfikacji libeli. Znajomość tej wielkości pozwala na znalezienie nachylenia osi instrumentu z odczytów pęcherzyka w jednym tylko położeniu libeli.

W naszym przypadku, w czasie obserwacji gwiazdy w 2 położeniach lunety nie przekładamy libeli, gdyż dla obliczenia średniego nachylenia z dwóch położen lunety przekładanie takie nie jest potrzebne. Nie przekładanie libeli ma na celu uniknięcie wprowadzania dodatkowych błędów, wynikających z drobnych choćby zmian, jakie powstać mogą w układzie libeli. Obliczamy jednak oddzielnie każdy półpoczet dla wykrycia grubych błędów i lepszej oceny obserwacji i w tym przypadku, przy obliczaniu nachylenia, korzystamy z wielkości pomocniczej L_0 . Dla wyznaczenia tej wielkości przekładamy libelę podczas celowania na przedmiot ziemski, którego odległość zenitalna jest zwykle bliska 90° i wobec tego nachylenie osi poziomej instrumentu nie posiada tutaj większego znaczenia.

Obliczenie wpływu nachylenia osi poziomej teodolitu na odczyt koła poziomego w naszym przykładzie będzie następujące:

Pierwszy półpoczet (Położenie lunety lewe — L)

Przedmiot ziemski

$$-4i = (64,8 + 40,7) - (37,2 + 61,4) = 105,5 - 98,6 = + 6,90$$

$$1/4\tau'' = 0'',237; \quad z = 90^\circ; \quad \text{ctg } z = 0;$$

$$-4i \cdot 1/4\tau'' \cdot \text{ctg } z = 0.$$

Polaris

$$L_0' = \frac{1}{2} (64,8 + 40,7 + 37,2 + 61,4) = 1/2 (105,5 + 98,6) = 102,05$$

$$L_0'' = \frac{1}{2} (62,9 + 38,7 + 38,8 + 63,0) = 1/2 (101,6 + 101,8) = 101,70$$

$$-4i = 2 (63,9 + 39,7) - (102,05 + 101,70) = + 3,45$$

$$z = 38^\circ 22'; \quad \text{ctg } z = 1,2632$$

$$-4i \cdot 1/4\tau'' \cdot \text{ctg } z = + 1'',03$$

Drugi półpoczet (Położenie lunety prawe — P)

Polaris

$$-4i = (102,05 + 101,70) - 2(39,5 + 63,8) = -2,85$$

$$z = 38^{\circ}22'; \quad \text{ctg } z = 1,2632$$

$$-4i \cdot 1/4\tau'' \cdot \text{ctg } z = -0'',85$$

Przedmiot ziemski

$$-4i = (62,9 + 38,7) - (38,8 + 63,0) = 101,6 - 101,8 = -0,2$$

$$-4i \cdot 1/4\tau'' \cdot \text{ctg } z = 0$$

(W praktyce nie zawsze odległość zenitalna z przedmiotu ziemskiego równa jest 90°).

f) Redukcja odczytów koła poziomego do położenia nitki ruchomej mikrometru okularowego, odpowiadającego kolimacji równej zeru ($c = 0$)

Trzeba zaznaczyć, że położenie nitki ruchomej, dla kolimacji równej zeru, nie jest — ściśle biorąc — jednakowe dla wszystkich czterech nacelowań. O zmianie w położeniu nitki ruchomej można się przekonać porównując ze sobą poczety nieparzyste z parzystymi, gdzie zmiana kolimacji powstaje z powodu stosowania odmiennego ruchu przy naprowadzaniu na cel. Mianowicie, przy poczecie nieparzystym zaczynamy od lewego położenia lunety, kiedy mikrometr okularowy jest z lewej strony. Patrząc na oś obrotu lunety od strony mikrometru, przy nastawianiu na cel obracać się ona będzie ruchem zgodnym z ruchem wskazówki zegara. Dla poczetów parzystych natomiast, ruchem niezgodnym.

Przy korzystaniu z nitki ruchomej przy okularze i przy nacelowaniu na przedmiot ziemski bliski horyzontu w dwóch położeniach lunety, będziemy mieli równanie:

$$h_L + (M_L - M_0) \cdot R''/100 = h_P + (M_0 - M_P) \cdot R''/100$$

z którego otrzymamy następujący wzór na położenie nitki ruchomej dla kolimacji równej zeru:

$$M_0 = \frac{M_P + M_L}{2} + (h_L - h_P) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R''/100}$$

gdzie

M_0 — odczyt na bębnie nitki ruchomej mikrometru okularowego, przy nastawieniu na przedmiot ziemski, w położeniu kiedy kolimacja równa jest zeru:
 $M_0 = 2,07$.

M_P — średnia z 3 odczytów nitki ruchomej, przy nastawieniu lunety na przedmiot ziemski w położeniu lunety P (przez położenie P rozumiemy tutaj takie położenie lunety, kiedy mikrometr okularowy znajduje się po prawej stronie obserwatora zwróconego twarzą do obserwowanego przedmiotu)
 $M_P = 4,83 \text{ R}/100$

M_L — średnia z 3 odczytów nitki ruchomej, przy nastawieniu lunety na przedmiot ziemski w położeniu L : $M_L = 4,53 \text{ R}/100$.

h_P — średnia z dwóch odczytów na kole poziomym, przy nastawieniu lunety na przedmiot ziemski w położeniu P i przy położeniu nitki ruchomej
 $M_P = 4,83$: $h_P = 21'',70$.

h_L — średnia z dwóch odczytów na kole poziomym, przy nastawieniu lunety na przedmiot ziemski w położeniu L i przy położeniu nitki ruchomej
 $M_L = 4,53$: $h_L = 13'',65$.

R'' — wartość jednego obrotu śruby mikrometru okularowego (nitki ruchomej) w sekundach łuku: $R'' = 154'',2$; $1 : 2R''/100 = 0,324$

Poprawkę do odczytów koła poziomego, ze względu na każdorazową kolimację nitki ruchomej, oblicza się z następującego wzoru:

Prawe położenie lunety (P):

$$c_P \operatorname{cosec} z = (M_0 - M_P)'' \operatorname{cosec} z$$

Lewe położenie lunety (L):

$$c_L \operatorname{cosec} z = (M_L - M_0)'' \operatorname{cosec} z$$

Zastosowanie wzorów powyższych do przykładu będzie następujące:

Pierwszy półpoczet (L)

Przedmiot ziemski

$$M_0 = (4,83 \times 0,500) + (4,53 \times 0,500) + (13,65 \times 0,324) - 21,70 \times 0,324 = 2,07 \text{ R}/100$$

$$M_L - M_0 = 4,53 - 2,07 = + 2,46$$

$$(M_L - M_0)'' \cdot \operatorname{cosec} z = + 2,46 \times 1,542 \times 1,000 = + 3'',79$$

Polaris

$$M_L - M_0 = 7,50 - 2,07 = + 5,43$$

$$(M_L - M_0)'' \cdot \operatorname{cosec} z = + 5,43 \times 1,542 \times 1,6111 = + 13'',49$$

Drugi półpoczet (P)

Polaris

$$M_0 - M_P = 2,07 - 7,50 = - 5,43$$

$$(M_0 - M_P)'' \cdot \operatorname{cosec} z = - 5,43 \times 1,542 \times 1,6111 = - 13'',49$$

Przedmiot ziemski

$$M_0 - M_P = 2,07 - 4,83 = - 2,76$$

$$(M_0 - M_P)'' \cdot \operatorname{cosec} z = - 2,76 \times 1,542 \times 1,000 = - 4'',26$$

Obliczenie azymutu Polaris a_*

Przy obliczaniu azymutu Polaris a_* stosuje się najczęściej wzór następujący:

$$\operatorname{tg} a_* = - \frac{\operatorname{ctg} \delta \sec \varphi \sin t}{1 - \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t}$$

który wyprowadzony jest z następujących wzorów zasadniczych astronomii sferycznej:

$$\begin{aligned} \sin z \sin a_* &= - \cos \delta \sin t \\ \sin z \cos a_* &= \cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos t \end{aligned}$$

gdzie

- δ — widoma deklinacja Polaris w momencie jej obserwacji,
- $t = \Theta_m - \alpha$ — kąt godzinny Polaris w momencie jej obserwacji,
- $\Theta_m = \Theta_{Gr} + \lambda_E$ — czas gwiazdowy miejscowy,
- Θ_{Gr} — czas gwiazdowy Greenwich,
- α — widoma rektascenzja Polaris w momencie jej obserwacji,
- φ — szerokość geograficzna miejsca obserwacji,
- λ_E — długość geograficzna miejsca obserwacji (E na wschód od Gr.),
- z — odległość zenitalna Polaris.

Podstawiając we wzorze wyżej przytoczonym na miejsce deklinacji jej dopełnienie:

$$\delta = (90^\circ - p)$$

oraz rozwijając $\operatorname{ctg} (90^\circ - p)$ w szereg, otrzymamy wzór na azymut Polaris w postaci szeregu będącego funkcją p , φ i t . Różniczkując ten wzór rozwinięty w szereg kolejno względem p , φ i t oraz ograniczając się do dwóch jego wyrazów, otrzymamy następujące wzory różniczkowe, pozwalające na obliczenie błędu azymutu w zależności od błędów deklinacji gwiazdy, szerokości geograficznej miejsca obserwacji i kąta godzinnego bądź rektascenzji gwiazdy:

$$\frac{da_*}{dt} = - p \sin 1'' \sec \varphi \cos t - p^2 \sin^2 1'' \sec \varphi \operatorname{tg} \varphi \cos 2t$$

$$\frac{da_*}{d\varphi} = - p \sin 1'' \sec \varphi \operatorname{tg} \varphi \sin t - \frac{1}{2} p^2 \sin^2 1'' \sec^3 \varphi (1 + \sin^2 \varphi) \sin 2t$$

$$\frac{da_*}{dp} = - \sec \varphi \sin t - p \sin 1'' \sec \varphi \operatorname{tg} \varphi \sin 2t$$

Poniższe 3 tablice, które sporządzone zostały w założeniu, że $p = 3360''$, pozwalają na odczytanie wielkości błędu azymutu spowodowanego błędem deklinacji $d\delta = + 1''$, błędem szerokości geograficznej $d\varphi = + 1''$ oraz błędem rektascenzji gwiazdy $da = + 1^\circ$ dla różnych kątów godzinnych i dla szerokości geograficznych od 49° do 55° .

$$da_* \text{ dla } d\alpha = +1^s$$

oraz

$$da_* \text{ dla } dt = -1^s$$

Kąt go- dzinny	Szerokość geograficzna							Kąt go- dzinny
	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°	
0 ^h	+0,38	+0,39	+0,40	+0,41	+0,42	+0,43	+0,44	0 ^h
1	+0,37	+0,37	+0,38	+0,39	+0,40	+0,41	+0,42	1
2	+0,33	+0,33	+0,34	+0,35	+0,36	+0,36	+0,37	2
3	+0,26	+0,27	+0,27	+0,28	+0,29	+0,29	+0,30	3
4	+0,18	+0,19	+0,19	+0,19	+0,20	+0,20	+0,21	4
5	+0,09	+0,09	+0,09	+0,10	+0,10	+0,10	+0,10	5
6	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	6
7	-0,10	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11	-0,12	-0,12	7
8	-0,19	-0,19	-0,20	-0,20	-0,21	-0,21	-0,22	8
9	-0,26	-0,27	-0,27	-0,28	-0,29	-0,29	-0,30	9
10	-0,32	-0,33	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,36	10
11	-0,35	0,36	-0,37	-0,38	-0,38	-0,39	-0,40	11
12	-0,37	-0,37	-0,38	-0,39	-0,40	-0,41	-0,42	12
13	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,38	-0,39	-0,40	13
14	-0,32	-0,33	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,36	14
15	-0,26	-0,27	-0,27	-0,28	-0,29	-0,29	-0,30	15
16	-0,19	-0,19	-0,20	-0,20	-0,21	-0,21	-0,22	16
17	-0,10	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11	-0,12	-0,12	17
18	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	18
19	+0,09	+0,09	+0,09	+0,10	+0,10	+0,10	+0,10	19
20	+0,18	+0,19	+0,19	+0,19	+0,20	+0,20	+0,21	20
21	+0,26	+0,27	+0,27	+0,28	+0,29	+0,29	+0,30	21
22	+0,33	+0,33	+0,34	+0,35	+0,36	+0,36	+0,37	22
23	+0,37	+0,37	+0,38	+0,39	+0,40	+0,41	+0,42	23
24	+0,38	+0,39	+0,40	+0,41	+0,42	+0,43	+0,44	24

Objaśnienia do przykładu obliczenia azymutu

Dane: $\varphi = 52^{\circ}28'32'',91$; $\lambda = 1^h24^m08^s,80$

Data obserwacji: 30. IX. 1956.

Godzina obserwacji w czasie gwiazdowym miejscowym:

Dla L: $\Theta_m = 15^h43^m59^s,0$

Dla P: $\Theta_m = 15^h49^m43^s,0$

Odległość zenitalna Polaris, odczytana z efemeryd roboczych:

$$z = 38^{\circ}22'$$

Kąt pomierzony, poprawiony ze względu na nachylenie osi poziomej i kolimację:

Dla L: $(H_{\Delta} - H_*) = 79^{\circ}02'06'',52$

Dla P: $(H_{\Delta} - H_*) = 79^{\circ}00'04'',68$

Obliczenie współrzędnych widomych α i δ gwiazdy

Obliczenia współrzędnych widomych α i δ Polaris (α Ursae Min) na moment obserwacji dokonujemy na podstawie danych, ogłaszanych w rocznikach astronomicznych. Do interpolacji użyć można wzorów Bessel'a, przy czym dla deklinacji bierzemy trzy wyrazy, a dla rektascenzji tylko dwa wyrazy szeregu.

Formuła Bessel'a jest następująca:

$$f_n = f_0 + n\Delta'_0 + B''(\Delta''_0 + \Delta''_1) + \dots$$

gdzie

f_n — szukana funkcja

f_0 — najbliższa funkcja z tablicy

n — współczynnik interpolacji

$$B'' = \frac{n(n-1)}{4}$$

A oznaczenia tej formuły są następujące:

Argument	Funkcja	Różnica pierwsza	Różnica druga
0	f_0	Δ'_0	Δ''_0
1	f_1	Δ'_1	Δ''_1

Współczynnik trzeciego wyrazu B'' jest zawsze ujemny i może być wzięty z tablic, publikowanych w niektórych rocznikach astronomicznych.

W naszym przypadku z rocznika: „Apparent Places of Fundamental Stars 1956” str. 409 lub z polskiego rocznika na rok 1956 str. 63 mamy:

Data 1956	α	Różnica pierwsza	δ	Różnice	
				pierwsza	druga
29. IX.	$1^h 54^m 60^s 25$ 60, 74	$+ 0^s 49$	$89^{\circ} 03' 39'' 79$	$+ 0'' 37$	$- 0'' 01$
30. IX.			$40, 16$	$+ 0, 36$	$- 0, 01$
31. IX.			$40, 52$	$+ 0, 35$	
1. X.			$40, 87$		

Wartości powyższe podane są dla momentu górowania gwiazdy w danym dniu w południku Greenwich, tzn. kiedy czas gwiazdowy Greenwich równy jest rektascenzji α . Ażeby obliczyć współczynnik interpolacyjny n trzeba znaleźć odstęp czasu w jednostkach dnia od czasu gwiazdowego Greenwich w dniu 30. IX: $1^h 54^m 60^s 25$ do średniego momentu obserwacji obydwóch półpoczetów, wyrażonego również w czasie gwiazdowym Greenwich:

Obliczenie azymutu astronomicznego				
Numer poczetu	1			
Koło	L	P		
Data	30. IX. 1956			
φ	52°28'32''91			
λ	1 ^h 24 ^m 08 ^s 80			
z	38°22'		0	'
$+0'',322 \cdot \cos \varphi$	0.1961			
$\Theta_m \frac{L+P}{2}$	15 ^h 46 ^m 51 ^s		h	m s
$\alpha_0 + \lambda$	3 19 09			
$t_{Gr}^h = \Theta_m - \{\alpha_0 + \lambda\}$	12 27 42			
$t_{Gr}^d = n$	0,5192		0,	
$\Delta'_{1/2}(\delta) n \Delta'_{1/2}(\delta)$	+0,36 +0,187			
$\Delta''_0 + \Delta''_1 B''_n \cdot (\Delta''_0 + \Delta''_1)$	-0,02 + 1			
δ_*	89°03'40'',16	39,79 + 0,37	0	' "
$n \cdot \Delta'_{1/2} + B''_n \cdot (\Delta''_0 + \Delta''_1)$	+ 0,19	40,52 + 0,36		
δ	89°03'40'',35	40,87 + 0,35	0	' "
$\Delta'_{1/2}(\alpha)$	+ 0,49			
α_0	1 ^h 54 ^m 60 ^s ,25		h	m s
$n \cdot \Delta'_{1/2}$	+ 0,25			
α	1 ^h 55 ^m 00 ^s ,5	1 ^h 55 ^m 00 ^s ,5	h	m s
Θ_m	15 43 59,0	15 49 43,0		
$t^h = \Theta_m - \alpha$	13 48 58,5	13 54 42,5		
t^0	207°14'37''5	208°40'37''5	0	' "
$\left\{ \begin{array}{l} \cos t... \\ \operatorname{ctg} \delta... \\ \operatorname{tg} \varphi... \end{array} \right.$	9,948 9345 n 8,214 4854 0,114 6396	9,943 1670 n 8,214 4854 0,114 6396	,	,
$\left\{ \begin{array}{l} \sin t... \\ \operatorname{ctg} \delta... \\ \sec \varphi... \end{array} \right. n$	8,278 0595 n 9,660 6539 n 8,214 4854 0,215 3138 n	8,272 2920 n 9,681 1260 n 8,214 4854 0,215 3138 n	,	n
$r...$	8,090 4531	8,110 9252	,	,
$\frac{1}{1-q}...$	- 8 1611	- 8 0545	,	,
$\operatorname{tg} \alpha_{*...}$	8,082 2920	8,102 8707	,	,
α_*	+ 0°41'32'',85	+ 0°43'33'',80	0	' "
$\angle (\Delta - *)$	79 02 06,52	79 00 04,68	,	,
$+0'',322 \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{cosec} z$	+ 0,32	+ 0,32	+ 0,	+ 0,
α_Δ	79°43'39'',69	79°43'38'',80	0	' "
$\alpha_\Delta \frac{L+P}{2}$	79°43'39'',24		0	' "

Średni moment obserwacji w czasie gwiazdowym	
miejscowym wynosi	$15^h 46^m 51^s$
Różnica długości geograficznej	$- 1\ 24\ 09$
Średni moment obserwacji w czasie gwiazd. Gr.	$14\ 22\ 42$
Czas gwiazd. Gr. w momencie kulminacji gwiazdy	$1\ 55\ 00$
Odstęp czasu w godzinach	$12\ 27\ 42$
Odstęp czasu w jednostkach dnia:	$n = 0,5192$
Współczynnik trzeciego wyrazu szeregu:	$B'' = - 0,06$
$\alpha = \alpha_0 + n \cdot \Delta'_{1/2} = 1^h 54^m 60^s,25 + (0,5192 \times + 0^s,49) = 1^h 54^m 60^s,25 + 0^s,25 = 1^h 55^m 00^s,5$	
$\delta = \delta_0 + n \Delta'_{1/2} - B'' (\Delta''_0 + \Delta''_1) = 89^0 03' 40'',16 + (0,5192 \times + 0'',36) +$ $+ (- 0,06 \times - 0'',02) = 89^0 03' 40'',16 + 0'',187 + 0'',001 = 89^0 03' 40'',35$	

Obliczenie kąta godzinnego $t = \Theta_m - \alpha$:

$$t_L = 15^h 43^m 59^s,0 - 1^h 55^m 00^s,5 = 13^h 48^m 58^s,5 = 207^0 14' 37'',5$$

$$t_P = 15\ 49\ 43,0 - 1\ 55\ 00,5 = 13\ 54\ 42,5 = 208\ 40\ 37,5$$

W ten sposób obliczyliśmy wszystkie dane potrzebne do korzystania z wzoru zasadniczego na azymut gwiazdy a mianowicie: t , α i δ .

Wprowadzając do naszego wzoru zasadniczego na obliczenie azymutu Polaris następujące oznaczenia:

$$q = \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t$$

$$r = \operatorname{ctg} \delta \sec \varphi \sin t$$

będziemy mieli:

$$\operatorname{tg} a_* = \frac{r}{1 - q} = r \cdot \frac{1}{1 - q}$$

oraz

$$\log \operatorname{tg} a_* = \log r + \log \frac{1}{1 - q}$$

Wzór na azymut Polaris w tej postaci jest bardzo korzystny, gdyż istnieją specjalne tablice pozwalające na bezpośrednie obliczenie $\log \frac{1}{1 - q}$ dla argumentu $\log q$, co w dużym stopniu upraszcza obliczenie. Tablice takie znaleźć można w polskim roczniku astronomicznym na rok 1956 na stronie 97-102 oraz w niektórych zbiorach tablic astronomicznych jak np. Th. Albert — Formeln und Hilfstafeln für Geographische Ortsbestimmungen.

Redukcja azymutu do poziomu morza

Przy większych wysokościach celu ponad poziom morza do azymutu astronomicznego kierunku AB trzeba wprowadzić następującą poprawkę spowodowaną tym, że normalne na punktach A i B nie leżą w jednej płaszczyźnie:

$$\Delta a = + 0'',000\ 109 \cdot h \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin 2a$$

gdzie

Δa — poprawka do azymutu kierunku AB za wysokość celu,

h — wysokość celu ponad poziom morza, w metrach,

φ — szerokość geograficzna miejsca obserwacji,

a — azymut celu.

Redukcja azymutu do średniego bieguna

Przy obliczaniu azymutu odniesionego do średniego bieguna, posługujemy się następującymi wzorami:

$$a_0 = a - (y \cos \lambda_E + x \sin \lambda_E) \sec \varphi$$

gdzie

- a_0 — azymut odniesiony do średniego bieguna,
 a — azymut obliczony z obserwacji i zredukowany do poziomu morza,
 x i y — współrzędne bieguna dla średniego momentu obserwacji azymutu,
 λ_E — różnica długości geograficznej, liczona na wschód od Greenwich z plusem,
 φ — szerokość geograficzna miejsca obserwacji.

TABLICA

przesunięć Polaris w lunecie w ciągu 20 sekund czasu, w jednostkach 1/100 obrotu śruby mikrometru okularowego teodolitu T 4 : ΔM , oraz proponowanych w czasie obserwacji Polaris pierwszych nastawień nitki ruchomej w położeniu lunety prawym: M'_P i położeniu lunety lewym: M'_L .

Drugie położenie nitki ruchomej pozostaje zawsze jednakowe i wynosi: $M''_P = M''_L = 10,075 R$. Trzecie położenie oblicza się z wzoru: $M'''_P = M'_L$ i $M'''_L = M'_P$.

Tablice opracowane zostały dla wartości śruby $R = 154,72$.

Θ_m	Kąt godzinny	Szerokość geograficzna				Θ_m	Kąt godzinny	Szerokość geograficzna			
		49°		55°				49°		55°	
		ΔM	$\frac{M'_P}{M'_L}$	ΔM	$\frac{M'_P}{M'_L}$			ΔM	$\frac{M'_P}{M'_L}$	ΔM	$\frac{M'_P}{M'_L}$
h^m 1 53	h 0	+3,2	$\frac{5,0}{10,0}$	+3,2	$\frac{5,0}{10,0}$	h^m 14 53	h 13	-3,0	$\frac{10,0}{5,0}$	-3,0	$\frac{10,0}{5,0}$
2 53	1	+3,1	$\frac{5,0}{10,0}$	+3,1	$\frac{5,0}{10,0}$	15 53	14	-2,8	$\frac{10,0}{5,0}$	-2,7	$\frac{10,0}{5,0}$
3 53	2	+2,8	$\frac{5,0}{10,0}$	+2,7	$\frac{5,0}{10,0}$	16 53	15	-2,2	$\frac{9,5}{5,5}$	-2,3	$\frac{9,5}{5,5}$
4 53	3	+2,2	$\frac{5,5}{9,5}$	+2,2	$\frac{5,5}{9,5}$	17 53	16	-1,6	$\frac{9,0}{6,0}$	-1,7	$\frac{9,0}{6,0}$
5 53	4	+1,5	$\frac{6,0}{9,0}$	+1,5	$\frac{6,0}{9,0}$	18 53	17	-0,9	$\frac{8,5}{6,5}$	-0,9	$\frac{8,5}{6,5}$
6 53	5	+0,8	$\frac{6,5}{8,5}$	+0,7	$\frac{6,5}{8,5}$	19 53	18	-0,1		-0,1	
7 53	6	-0,1		-0,1		20 53	19	+0,8	$\frac{6,5}{8,5}$	+0,7	$\frac{6,5}{8,5}$
8 53	7	-0,9	$\frac{8,5}{6,5}$	-0,9	$\frac{8,5}{6,5}$	21 53	20	+1,5	$\frac{6,0}{9,0}$	+1,5	$\frac{6,0}{9,0}$
9 53	8	-1,6	$\frac{9,0}{6,0}$	-1,7	$\frac{9,0}{6,0}$	22 53	21	+2,2	$\frac{5,5}{9,5}$	+2,2	$\frac{5,5}{9,5}$
10 53	9	-2,2	$\frac{9,5}{5,5}$	-2,3	$\frac{9,5}{5,5}$	23 53	22	+2,8	$\frac{5,0}{10,0}$	+2,7	$\frac{5,0}{10,0}$
11 53	10	-2,8	$\frac{10,0}{5,0}$	-2,7	$\frac{10,0}{5,0}$	0 53	23	+3,1	$\frac{5,0}{10,0}$	+3,1	$\frac{5,0}{10,0}$
12 53	11	-3,0	$\frac{10,0}{5,0}$	-3,0	$\frac{10,0}{5,0}$	1 53	24	+3,2	$\frac{5,0}{10,0}$	+3,2	$\frac{5,0}{10,0}$
13 53	12	-3,2	$\frac{10,0}{5,0}$	-3,2	$\frac{10,0}{5,0}$						

LITERATURA

- [1] *Albrecht Th.* Formeln und Hilfstafeln für Geographische Ortsbestimmungen. Vierte Auflage. Leipzig 1908.
- [2] *Błażko S. N.* Kurs praktycznej astronomii. Izdanie trzecie. Moskwa, Leningrad 1951.
- [3] *Cwietkow K. A.* Praktyczeskaja astronomia. Wtoroje pierierabotannoje izdanie. Moskwa 1951.
- [4] *Dulian B.* Zmiany w położeniu osi obrotu lunety w teodolitach astronomicznych oraz sposób ich wyznaczenia. Geodezja i Kartografia, Tom III. Zeszyt 2.
- [5] *Dulian B.* Metoda Zingera i przystosowanie teodolitu astronomicznego Wild T-4 do dokładnego wyznaczenia poprawki czasu tą metodą. Prace Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego. Tom II. Zeszyt 1/1954.
- [6] *Hoskinson A. J.* *Duerksen J. A.* Manual of Geodetic Astronomy. Determination of Longitude, Latitude and Azimuth. Washington 1947.
- [7] *Kępiński F.* Wyznaczenie czasu, szerokości geograficznej i azymutu na mocy obserwacji słońca i gwiazd. Warszawa 1946.
- [8] *Kępiński F.* Astronomia praktyczna. Warszawa 1951.
- [9] *Niethammer Th.* Die Genauen Methoden der Astronomisch-Geographischen Ortsbestimmung. Basel 1947
- [10] *Odermatt H.* Universal Theodolite Wild T 4, Instructions for the Determination of Geographic Positions.
- [11] Rocznik Astronomiczny na rok 1956. Warszawa 1955.

БЛАЖЕЙ ДУЛИАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОГО АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА ИЗ НАБЛЮДЕНИИ ПОЛЯРНОЙ

Резюме

При определении астрономических азимутов для геодезических целей на пунктах Лапласа применяется очень часто метод наблюдения звезды α Ursae Min.

Применение этого метода оправдано тем, что пользуясь ним, можно производить наблюдения и днем, в ранних утренних и предвечерних часах, при наилучшей видимости наблюдаемой земной цели. Этот метод позволяет также применять короткие серии, благодаря чему является возможным производить наблюдения на триангуляционных сигналах с непосредственной привязкой к триангуляционным пунктам, не пользуясь при этом вспомогательными сигналами. Как каждый метод — и этот также имеет свои недостатки. Самым важным является вредное влияние наклона горизонтальной оси теодолита, а также изменения положения этой оси, возникающие вследствие вредного напряжения сил во время оборота трубы около своей оси.

Описываемый способ определения азимута с Полярной опирается на использовании подвижной нити окулярного микрометра в астрономических теодолитах типа Вильд Т4 и на введении нового, до сих пор неучитываемого фактора, именно на применении специального процесса, имеющего целью уменьшить влияние изменений положения оси оборота трубы во время наблюдений, на определяемый азимут.

BŁAŻEJ DULIAN

THE DETERMINATION OF THE ACCURATE ASTRONOMICAL
AZIMUTH FROM THE OBSERVATION OF POLARIS

S u m m a r y

When astronomical azimuths are determined for the surveying purposes, i. e., at the so-called Laplace's points the methods of observing the α Ursa Min. star is very often applied. This is because the method allows for making observation in the daytime as well, in the morning or evening hours, when the image of the object observed on the ground may best be seen. The method is also good for short series, which allows observations to be made from triangulation towers with direct connection with triangulation without intermediate subsidiary aims. Like every method this one, too, has some disadvantages of which the most important are the negative influence of the inclination of the horizontal axis of the theodolite and changes in the position of this axis due to the harmful tension of forces during the revolution of the telescope round its axis.

The above methods of determining the azimuth from Polaris makes use of the mobile thread of the ocular micrometer in astronomical theodolites of the Wild T 4 type and introduces a new factor, hitherto left out of account and consisting in a special operation aiming at reducing the influence upon the azimuth of the changes occurring in the position of the axis of revolution of the telescope during observations.