

JOZEF CIEŚLAK
MARCIN BARLIK
STANISŁAW MARGAŃSKI

528.541.2:528.024.1-187.4

Prace badawcze nad wprowadzeniem precyzyjnych niwelatorów samopoziomujących do niwelacji najwyższej dokładności

W Instytucie Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej podjęto w 1974 roku w ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii badania naukowe w zakresie instrumentów i technologii pomiarów niwelacji precyzyjnej. Prace te składały się z badań laboratoryjnych i badań polowych. Opracowano 2 programy badań laboratoryjnych: standardowy i szczegółowy. Przyjęto, że precyzyjny niwelator samopoziomujący powinien być poddany badaniu standardowemu, którego celem jest sprawdzenie poprawności działania jego zasadniczych elementów optycznych i mechanicznych oraz wyznaczenie niektórych parametrów kwalifikujących instrument do prac niwelacyjnych o określonej dokładności. Wytyczne przy opracowaniu programu szczegółowego mają za zadanie jak najwszechstronniejsze zbadanie niwelatora, wyznaczenie parametrów charakteryzujących jego jakość, stwierdzenie zalet i wad oraz porównanie niwelatorów samopoziomujących z precyzyjnymi niwelatorami libelowymi typu Wild N 3 i Zeiss Ni 004.

Nie będziemy w tym miejscu omawiać badań standardowych, gdyż badania te nie były podstawą dla dalszych badań terenowych, a omówienie tych badań jest tematem innego opracowania.

1. Szczegółowe badania laboratoryjne niwelatorów samopoziomujących firmy Zeiss Jena Ni 002 i Opton Ni 1

Zakwalifikowane wstępnym badaniem standardowym instrumenty samopoziomujące poddano badaniom szczegółowym. Miały one na celu przede wszystkim stwierdzenie, jak zachowuje się konstrukcja mechaniczna i optyczna w różnych warunkach zewnętrznych. Badaniom tym poddano dwa egzemplarze instrumentów Zeiss Ni 002 o numerach fabrycznych

423 173 i 423 180 oraz niwelator firmy Opton Ni 1 nr fabryczny 80 998. Część opracowanego testu szczegółowego nie różni się zasadniczo od podobnych badań, jakim poddaje się instrumenty libelowe. Dlatego nie będziemy ich tutaj drobiazgowo omawiać.

1.1. Działanie układu optycznego precyzyjnych niwelatorów samopoziomujących

Sprawdzenie polegało na:

- wyznaczeniu głębi ostrości lunety,
- wyznaczeniu powiększenia lunety,
- wyznaczeniu zdolności rozdzielczej,
- wyznaczeniu równania dalmierza każdego egzemplarza niwelatora,
- badaniu stałości osi celowej przy zmianie ogniskowania,
- badaniu zmian położenia osi celowej na skutek przesunięcia soczewki ogniskującej (badanie geometrii toru soczewki ogniskującej).

Głębia ostrości, powiększenie lunety, a także zdolności rozdzielcze i parametry dalmierzy w trzech wyżej wymienionych instrumentach nie odbiegały swymi wartościami od podanych w prospektach producenta. Nie będziemy omawiali w tym miejscu sposobu przeprowadzania tych badań. Stwierdzić jednak należy, że głębia ostrości dla długości celowej 35 m, która jest najczęściej stosowana przy pomiarach tego typu instrumentami, wynosi około 1,5 m. A więc ustawienie niecentryczne niwelatora między łątami w tych granicach nie wywoła potrzeby zmiany ogniskowania, co może być źródłem dodatkowych błędów.

Badanie stałości osi celowej przy zmianie ogniskowania zostało przeprowadzone na specjalnie założonej bazie o długości 70 m.

W odstępach 10-metrowych, w betonowej posadzce umieszczono 8 stalowych bolców zakończonych powierzchniami kulistymi. Przewyższenia między nimi zniwelowano kilkakrotnie niwelatorami Zeiss Ni 002 i Opton Ni 1. Łatę niwelacyjną ustawiano kolejno na bolcach od 1 do 8. W końcu bazy w odległości 5 metrów przed pierwszym bolcem umieszczono spoziomowany niwelator. *Ruchem lewoskrętnym* przesuwano soczewkę ogniskującą do położenia, w którym uzyskano wyraźny obraz łąty, ustawionej na pierwszym bolcu. Dokonano następnie odczytu na łącie i mikrometrze optycznym. Następnie przestawiano łatę na kolejne bolce i powtarzano opisane czynności ponownie, z tym zastrzeżeniem, żeby soczewkę ogniskującą przesuwano *ruchem lewoskrętnym*. Następnie łatę przestawiano *poruszając od reperu ósmego w kierunku przeciwnym*. Czynności pomiarowe wykonywano przy zachowaniu prawoskrętnego ruchu soczewki ogniskującej. Opisane badanie wykonano dla 1 i 2 podziału na łącie. W niwelatorach firmy Zeiss odczytów dokonywano przy obydwu położeniach kompensatora. Przyjmując oznaczenia:

H_i^L — odczyt na łacie przy lewoskrętnym ruchu soczewki dla ustawienia na i -tym bolcu,

H_i^P — odczyt na łacie przy prawoskrętnym ruchu soczewki ogniskującej,

obliczano

$r_i = H_i^L - H_i^P$ — różnicę odczytów charakteryzującą błąd odczytu na tej samej łacie, wywołane zmianą ustawienia osi celowej przy różnokierunkowym ogniskowaniu.

Zachowanie jednakowego znaku różnicy w zakresie całego badania świadczy o występowaniu błędu systematycznego. Średnią wartość tego błędu systematycznego określono ze związku

$$r_{sr} = \frac{[p_i r_i]}{[p_i]},$$

gdzie p_i to waga kolejnych odczytów określona empirycznie dla różnych długości celowych, zależna od wartości błędów odczytu.

Z powyższych badań otrzymano wartości:

Opton Ni 1 nr 80998 $r_{sr}^1 = -0,08$ mm, $r_{sr}^2 = -0,05$ mm;

Zeiss Ni 002 423173 $r_{sr}^1 = -0,03$ mm, $r_{sr}^2 = +0,04$ mm;

Zeiss Ni 002 423180 $r_{sr}^1 = +0,04$ mm, $r_{sr}^2 = -0,03$ mm.

Określono je na podstawie dwu niezależnych badań w marcu i kwietniu 1974 r. Podsumowując ten punkt testowania instrumentów stwierdzono brak znaczącego wpływu ogniskowania na położenie osi celowej w wymienionych egzemplarzach niwelatorów.

Na tej samej bazie określono też zmiany położenia osi celowej na skutek przesunięcia soczewki ogniskującej. Przyjmując oznaczenia:

HN — horyzont instrumentu równy praktycznie odczytowi na pierwszej łacie H_1 ,

H_i — odczyt na łacie ustawionej na i -tym bolcu, otrzymujemy dla kolejnych bolców

$$(HN)_1 = H_1$$

$$(HN)_2 = H_2 + h_{12}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$(HN)_8 = H_8 + h_{12} + h_{23} + \dots + h_{78}$$

Średnia wysokość horyzontu

$$(HN)_{sr} = \frac{1}{n} \sum (HN)_i.$$

Różnice $\delta_i = (HN)_{sr} - (HN)_i$ charakteryzują błąd quasi-horyzontu, ruch soczewki ogniskującej, a także zawierają przypadkowe błędy obserwacji.

Wpływ nachylenia quasi-horyzontu na położenie osi celowej charakteryzuje funkcja liniowa

$$\delta'_i = a_0 + a_1 \cdot s_i,$$

gdzie s_i to odległość od instrumentu do łąty na i -tym bolcu.

Różnica $\Delta'_i = \delta_i - \delta'_i$ charakteryzuje błędy wywołane przesunięciem soczewki ogniskującej. Najlepiej jednak aproksymuje błędy systematyczne funkcja kwadratowa

$$\delta''_i = a_0 + a_1 s_i + a_2 s_i^2.$$

Aproksymację wielomianową wykonano przy użyciu maszyny Odra 1204 stąd różnice

$$\Delta''_i = \delta_i - \delta''_i$$

charakteryzują pozostałe błędy przypadkowe ruchu soczewki. W obydwu typach niwelatorów w zakresie długości celowej do 35 m zmiany położenia osi celowej mają charakter liniowy. Dla celowych dłuższych niż 35 m należy bardziej centrycznie ustawiać niwelator pomiędzy łątami, aby uniknąć nieliniowych zmian osi celowej. W badanych egzemplarzach niwelatorów różnice Δ''_i mieściły się w granicach 0,2 mm dla całego zakresu badania. Świadczy to o braku występowania istotnych dla dokładności zmian położenia osi celowej na skutek ogniskowania. Tory soczewek ogniskujących i ruch zwierciadła (tylko w niwelatorze Zeiss Ni 002) są więc regularne.

1.2. Sprawdzenie działania układu mechanicznego

Badania działania elementów układu mechanicznego są zasadniczo różne od podobnych, wykonywanych w przypadku niwelatorów libelowych. Obydwa badane typy niwelatorów automatycznych zaopatrzone są w kompensatory typu grawitacyjnego. Od jakości obróbki i montażu zależy więc precyzja realizacji poziomej osi celowej niwelatora. Badaniom podlegały:

- a) całkowity przypadkowy błąd odczytu na łącie złożony z przypadkowego błędu ustawienia się kompensatora i błędu celowania,
- b) parametry charakteryzujące mikrometr optyczny,
- c) zakres działania kompensatora w granicach wychylenia lunety,
- d) czas tłumienia drgań,
- e) błąd kompensacji w zakresie działania kompensatora,
- f) zmiany położenia osi celowej niwelatora pod wpływem zmian temperatury,
- g) stabilność osi celowej zależnie od drgań podłoża,
- h) zmiany osi celowej pod wpływem zmian natężenia pola magnetycznego.

Sprawdzenia wymienione w punktach a, b, c, d, e wykonano w miesiącach luty—maj 1974 r., tzn. przed sezonem polowym, w celu porównania niwelatorów automatycznych z precyzyjnymi niwelatorami libelowymi, a także dla określenia przesłanek co do wyboru odpowiedniego programu obserwacji. Omówimy teraz w skrócie najważniejsze etapy badań układu mechanicznego niwelatorów firmy Zeiss Ni 002 i Opton Ni 1.

Błąd celowania μ_0 wyznacza się przy wyłączonym kompensatorze nachylenia poprzez dokonywanie szeregu odczytów na łącie. Badanie takie przeprowadza się w kilku seriach dla łąty ustawionej na kolejnych reparach bazy kontrolnej, począwszy od 10 m do ok. 70 m. Całkowity błąd odczytu (m_0) wyznacza się przy włączonym kompensatorze. Serię odczytów wykonuje się po każdorazowym energicznym ruchu śruby kierującej (śruba ustawcza leżąca w pionowej płaszczyźnie osi celowej), który wyprowadzał kompensator z poprzedniego, ustalonego położenia równowagi. Natomiast przypadkowy błąd ustawienia kompensatora μ_k wyznacza się z zależności

$$\mu_k = \pm \sqrt{m_0^2 - \mu_0^2}.$$

Błędy m_0 i μ_0 były prawie jednakowe co do wielkości i wynosiły w instrumentach:

Opton Ni 1	nr 30998	$\sim 0,40''$,
Zeiss Ni 002	nr 423173	$\sim 0,35''$,
Zeiss Ni 002	nr 423180	$\sim 0,45''$.

Czynnikiem decydującym o wielkości błędu odczytu jest oczywiście długość celowej. Należy jednak stwierdzić, że kompensatory w badanych egzemplarzach charakteryzują się małymi błędami ustawienia kompensatora ($\mu_k < 0,1''$).

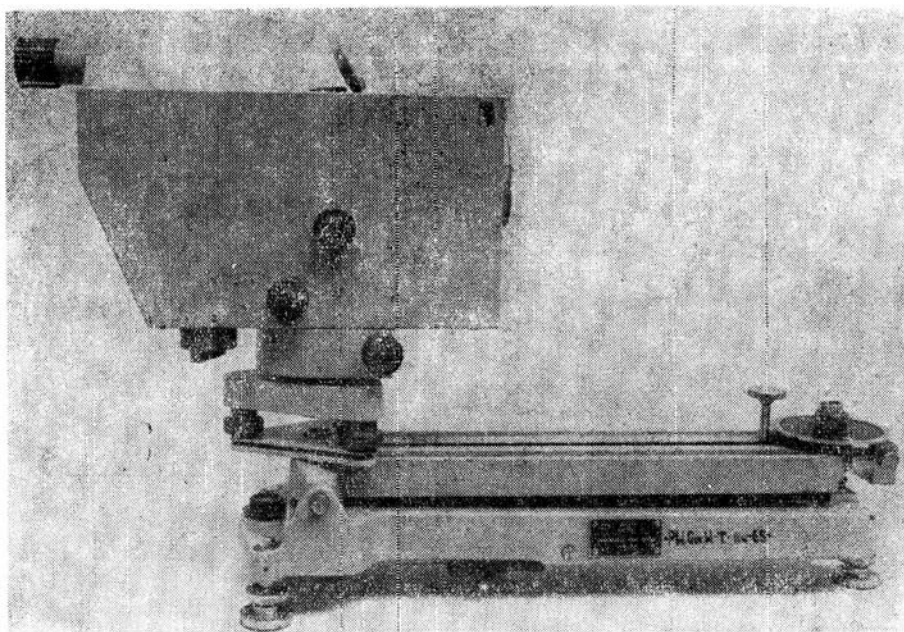
Wyznaczenie parametrów mikrometrów optycznych, mimo zasadniczych różnic konstrukcyjnych wykonywane jest w taki sam sposób, jak w niwelatorach libelowych.

Stwierdzono w wyniku badań, że wartość jednej działki mikrometru optycznego nie odbiega od nominalnej we wszystkich 3 egzemplarzach o więcej niż 0,02 mm. Martwy ruch natomiast jest znikomy i zanedbywalny.

Zakres działania kompensatora wyznaczano egzaminatorem libel firmy „Askania”. Niwelator na czas badań mocowano w taki sposób, aby ruch ramienia egzaminatora nie zmieniał wysokości horyzontu instrumentu. Pochylając instrument określa się kąt, przy którym nastąpi oparcie kompensatora (wyłączenie). Granica ta wynosi w kierunku podłużnym dla niwelatorów Zeiss około $18'$, dla niwelatorów Opton Ni 1 około $11'$; natomiast przy pochyleniu poprzecznym dla niwelatorów Zeiss około $14'$, dla niwela-

torów Opton Ni 1 około 21'. Zakres działania kompensatora rzutuje na staranność poziomowania libeli pudełkowej instrumentu.

Czas tłumienia drgań wyznacza się za pomocą stopera. Czas ten świadczy o jakości tłumików kompensatora i wpływa na łatwość wykonywania obserwacji. W niwelatorach Zeiss Ni 002 wynosi około 1 sekundy, w niwelatorach Opton Ni 1 około 0,2 sekundy. Okazuje się więc, że kompensator użyty w niwelatorach Zeiss Ni 002 jest „zbyt czuły”. Obserwacja tym typem instrumentu jest bardziej męcząca niż przy obserwacjach instrumentami Opton Ni 1.



Rys. 1

Istota błędu kompensacji (*i*) w zakresie działania kompensatora polega na tym, że system samopoziomujący nie kompensuje całkowicie nachylenia osi celowej. Błąd ten wyznaczono z obserwacji stałego znacznika pomiarowego przy pochyleniu instrumentu i rejestracji zmian odczytów na mikrometrze. Stosowano do badania egzaminator libel firmy „Askania”. Rolę znacznika spełniała metalowa łąta niwelacyjna o długości ~ 25 cm przytwierdzona do ściany. Instrument ustawiono w kierunku podłużnym (równoległe do ramienia egzaminatora, rys. 1) oraz w kierunku prostopadłym do ramienia egzaminatora. Obserwacje wykonywano kolejno przy poziomym położeniu niwelatora, a następnie dla wychylenia 2', 4' ... itd. w granicach działania kompensatora i to do przodu i do tyłu oraz w lewo i prawo od położenia początkowego.

Wartość kątową tego błędu obliczano z wzoru

$$i'' = \frac{O_\alpha - O_0}{d} \varrho'',$$

gdzie O_α i O_0 — odpowiednio odczyt mikrometru przy pochyleniu lunety i przy spoziomowanym instrumencie; d — odległość od niwelatora do łąty.

Średni błąd wyznaczenia wartości kąta i'' zawiera się w granicach $\pm 0,1''$ dla trzech badanych egzemplarzy instrumentów.

Rozkład wartości kąta i'' wskazuje na asymetrię działania kompensatorów w wypadku wychyleń podłużnych i poprzecznych. W niwelatorach firmy Zeiss Ni 002 próg sprawnego działania wynosi ok. $10'$. Natomiast w niwelatorach firmy Opton Ni 1 próg taki wynosi ok. $8'$ w przypadku pochyłeń podłużnych i ok. $10'$ w przypadku pochyłeń poprzecznych. Przy pochyleniach podłużnych równych $10'$ w tym niwelatorze kąt i'' sięgał $+8,8''$ (wychylenie do przodu) i ok. $-2,1''$ (wychylenie do tyłu). Rozkład błędu kompensacji wskazuje na konieczność dokładnego poziomowania libeli pudełkowej w kierunku podłużnym.

Badania termiczne niwelatorów wykonano przed i po okresie badań polowych. Na czas badań niwelatory umieszczono na słupie betonowym. Celowano na dwa znaczki pomiarowe. Temperaturę w pomieszczeniu laboratorium regulowano za pomocą olejowych piecyków elektrycznych. Na podstawie kilku cykli badań stwierdzono dwa rodzaje zmian kąta nachylenia quasi-horyzontu na skutek zmian temperatury:

- a) zmiany długookresowe,
- b) zmiany krótkookresowe.

Zmiany długookresowe charakteryzuje współczynnik

$$k_{t_{sr}} = \frac{\Delta\sigma''}{1^\circ\text{C}} = \frac{[\Delta\sigma \cdot \Delta t]}{[\Delta t^2]}.$$

Najwłaściwiej wyznacza się go tylko wtedy, kiedy zmiany temperatury są rzędu $2 \div 3^\circ\text{C}$ na 1^h . Wartości $k_{t_{sr}}$ dla badanych niwelatorów zestawiono w tablicy 1. W celu ustalenia $k_{t_{sr}}$ temperaturę zmieniano w laboratorium

Tablica 1

Instrument \ Data	30.III.74	5.IV.74	11.XI.74	25.II.75
Opton Ni 1 80 998	—	$+0,30'' \pm 0,09''$	$+0,24'' \pm 0,12''$	—
Zeiss Ni 002 423 180	$+0,30'' \pm 0,16''$	—	—	$+0,57'' \pm 0,08''$
Zeiss Ni 002 423 173	nie stwierdzono	—	$+0,73'' \pm 0,18''$	$+0,70'' \pm 0,10''$

od ok. $+13^{\circ}$ do ok. $+29^{\circ}\text{C}$. Pomiaru temperatury dokonywano zestawem termometrów rtęciowych, kiedy instrument przyjął w zasadzie temperaturę otaczającego go powietrza.

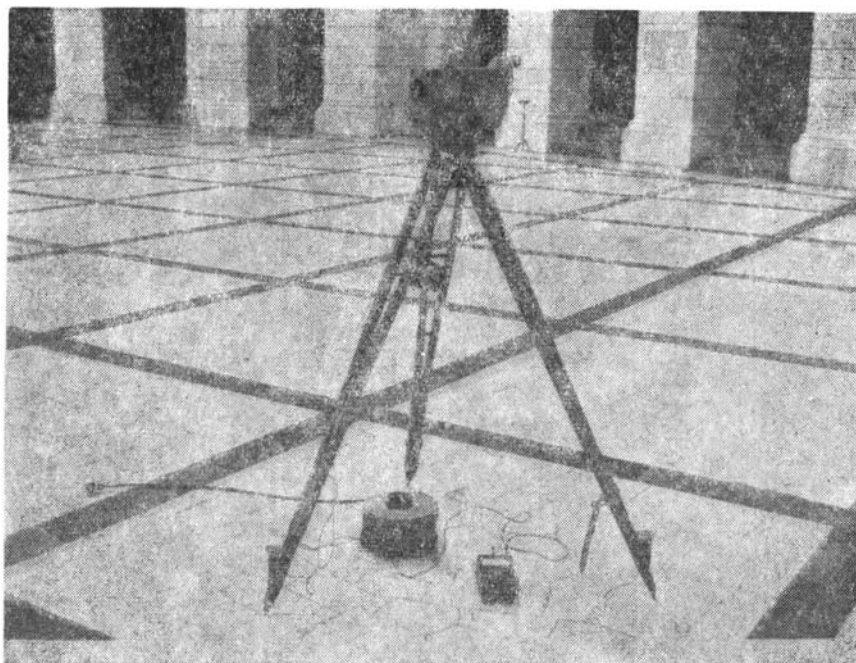
Zmiany krótkookresowe charakteryzują zdolność do natychmiastowej reakcji niwelatora na zmianę temperatury. Są one ławe do wykrycia w wypadku niwelatorów libelowych, gdzie reakcja następuje w przeciągu ułamka minuty. Zjawisko to polega na ciągłej zmianie położenia osi celowej wskutek „dużej pobudliwości” pęcherzyka libeli do zmiany swego położenia. Niwelatory automatyczne zaopatrzone są w kompensator termiczny, a układ kompensatora nachylenia umieszczony jest wewnątrz korpusu lunety. Zmiany krótkookresowe położenia osi celowej charakteryzowane są przez współczynnik

$$k_{t,T} = \frac{\Delta\sigma''}{1^{\circ}\text{C} \cdot 1 \text{ min}} = \frac{[\Delta\sigma'' \Delta t \cdot \Delta T]}{[\Delta t^2] \cdot [\Delta T^2]},$$

gdzie ΔT charakteryzuje interwały czasu zmian temperatury, a Δt zmiany temperatury.

Pomiaru temperatury obudowy niwelatora dokonywano termometrami elektrycznymi z czujnikami termistorowymi, a instrumenty poddawano intensywnemu ogrzewaniu tak, aby zmiany temperatury były rzędu kilku stopni w interwale 15 minut. W niwelatorach Zeiss Ni 002 zmiany krótkookresowe kąta σ były niedostrzegalne, można więc sądzić, że wpływ krótkookresowych zmian quasi-horyzontu na wyniki pomiaru na stanowisku jest zanedbywalny. Doświadczenie wskazuje na dużo większą wrażliwość instrumentów Opton Ni 1 na zmiany krótkookresowe temperatury. Instrument ten ma więc mniejszą bezwładność termiczną. Pożądana cecha dużej bezwładności termicznej niwelatora Zeiss Ni 002 stwarza możliwość wydłużenia okresu pomiaru w ciągu dnia i rezygnację z osłony niwelatora parasolem.

Pod wpływem wibracji podłoża w niwelatorach samopoziomujących ulega rezonansowi zawieszenie kompensatora grawitacyjnego. Obserwuje się wtedy drgania obrazu łąty, którym może towarzyszyć systematyczna zmiana położenia osi celowej. Mikrosejsmy wywołane ruchem kołowym na szosach charakteryzują się amplitudami rzędu 0,1 mm i częstotliwością kilkudziesięciu Hz. W laboratorium wywoływano drgania za pomocą silnika elektrycznego z asymetrycznie zamocowaną na jego wale masą. Prędkość obrotu osi jest regulowana napięciem wejściowym (rys. 2). Specjalny czujnik rejestrował drgania pionowe instrumentu. Na stanowisku wykonywano 18-krotny pomiar różnicy wysokości między reperami odległymi o 30 m od instrumentu, dobierając drgania tak, aby otrzymać zróżnicowany stopień trudności poprawnej koincydencji. Rezultaty badań porównano



Rys. 2

z błędem średnim wyznaczonym także z 18 obserwacji na tym samym stanowisku bez drgań podłoża. Średni błąd pomiaru przewyższenia $m_{\Delta h}$ wyznaczony niwelatorem Opton Ni 1 w warunkach bez drgań wyniósł $\pm 7,7 \cdot 10^{-2}$ mm. Przeciętnie średni błąd pomiaru przewyższenia w przypadku wystąpienia drgań dla tego niwelatora wynosi $\pm 11,3 \cdot 10^{-2}$ mm, a więc obniżenie dokładności nastąpiło o 47%. Dla niwelatorów firmy Zeiss Ni 002 nr 423 173 i 423 180 obniżenie dokładności wyniosło ok. 20%. Obserwacje instrumentami Zeiss są jednak przedłużone ze względu na wyższą czułość kompensatora. Poza tym drgania obrazu w okularze tego typu instrumentów są bardzo męczące dla oka obserwatora.

Badania magnetyczne przeprowadzono w laboratorium po sezonie pomiarowym. Miały one na celu wykrycie ewentualnego oddziaływania zmian natężenia pola magnetycznego Ziemi na odczyty, a przez to i na wyznaczoną różnicę wysokości za pomocą automatycznych niwelatorów precyzyjnych. Wykorzystano cewkę Helmholtza o średnicy ok. 2 m i rozstawie cewek składowych ok. 1 m. Cewka ta wykonana została w Politechnice Warszawskiej. Przez zwoje cewki przepuszczano prąd stały o natężeniu $i = 2,7$ A, wytwarzając wektor natężenia pola magnetycznego równy ok. 4 Oe, czyli około sześć razy więcej niż wynosi natężenie pola ziemskiego. Cewkę umieszczano tak, aby wektor natężenia pola był pionowy o zwrocie

w górę i w dół oraz poziomy, skierowany ku obiektywowi lub okularowi. Obserwacje niwelatorem polegały na dokonywaniu odczytów dla natężenia 0,0; +2,7; -2,7; 0,0 ampera. Rezultaty badań nie wykazały wpływu zmian natężenia pola magnetycznego na wielkość odczytów niwelatorem. Świadczy to o trafnym doborze materiału amagnetycznego do budowy kompensatora.

System mechaniczny i optyczny niwelatora automatycznego stwarza tzw. quasi-horyzont, którego położenie charakteryzuje kąt nachylenia quasi-horyzontu σ . Miarą jakości przyrządu jest stałość wartości kąta σ .

Tablica 2

Zeiss Ni 002 nr 423 173				
Data	σ''	m_{σ}''	temp.	U w a g i
27.II. 74	-1,8	$\pm 0,2$	+20,8	badania laboratoryjne po transporcie (400 km)
16.III. 74	-2,6	$\pm 0,2$	+21,2	
8.V. 74	-3,2	$\pm 0,2$	+20,8	
1.VII. 74	+0,8	$\pm 0,1$	—	
13.VII. 74	-0,6	$\pm 0,2$	22,0	badania polowe
27.VII. 74	-0,1	$\pm 0,2$	20,8	
13.VIII. 74	-0,1	$\pm 0,1$	—	
26.VIII. 74	-0,5	$\pm 0,1$	20,8	
8.IX. 74	+0,2	$\pm 0,1$	21,0	po badaniach termicznych badania laboratoryjne po badaniach termicznych po próbie wstrząsowej po składowaniu w pozycji roboczej
21.IX. 74	-0,1	$\pm 0,1$	16,8	
11.X. 74	-2,8	$\pm 0,1$	20,9	
26.X. 74	-2,8	$\pm 0,1$	20,8	
8.XI. 74	-4,9	$\pm 0,2$	21,2	po badaniach termicznych badania laboratoryjne po badaniach termicznych po próbie wstrząsowej po składowaniu w pozycji roboczej
14.XI. 74	-3,4	$\pm 0,1$	21,0	
19.II. 75	-7,8	$\pm 0,2$	20,8	
3.III. 75	-3,8	$\pm 0,3$	21,0	
5.III. 75	-2,6	$\pm 0,1$	20,9	po badaniach termicznych badania laboratoryjne po badaniach termicznych po próbie wstrząsowej po składowaniu w pozycji roboczej
10.III. 75	-2,1	$\pm 0,1$	21,9	

W tablicach 2 i 3 zestawiono wartości σ dla dwu egzemplarzy niwelatorów, które badano tak w laboratorium, jak i w terenie podczas pomiarów doświadczalnych.

Dane zestawione w tablicy 2 świadczą o małej wartości kąta nachylenia quasi-horyzontu w niwelatorze Zeiss Ni 002. Ukazują one jednak duże zmiany wartości tego kąta na skutek transportu, zmian temperatury, a także na skutek pozycji przechowywania instrumentu. Większe zmiany kąta σ zarejestrowano w wypadku przechowywania instrumentu w pozycji leżącej niż w pozycji roboczej. W badanych egzemplarzach niwelatorów firmy Opton Ni 1 (tablica 3) występują duże wartości kąta σ , a także duże zmiany

tego kąta. Stąd wysuwany już poprzednio postulat autorów o codziennej kontroli i ewentualnej rektyfikacji, przez przesunięcie siatki kresek lub obrót klina przed obiektywem. Wielkość nachylenia quasi-horyzontu ogranicza dowolność ustawienia niwelatora ekscentrycznie względem łąt.

Tablica 3

Opton Ni 1 nr 80 998						
Data	przed rektyfikacją		po rektyfikacji		temperatura	U w a g i
	σ''	m_{σ}''	σ''	m_{σ}''		
2.III. 74	-9,5	$\pm 0,3$	-1,8	$\pm 0,2$	20,9	po badaniach termicznych po transporcie (400 km)
4.III. 74	-8,9	$\pm 0,3$			21,0	
8.III. 74					20,8	
15.III. 74	-4,8	$\pm 0,4$			21,2	
16.III. 74	-4,4	$\pm 0,3$			20,9	
8.V. 74	-6,3	$\pm 0,2$	-0,9	$\pm 0,2$	21,0	po transporcie (400 km)
1.VII. 74	-6,5	$\pm 0,2$			—	
2.VII. 74					—	
13.VII. 74	-5,2	$\pm 0,1$			22,0	
27.VII. 74	-3,8	$\pm 0,2$			20,8	
13.VIII. 74	+3,4	$\pm 0,3$	0,0	$\pm 0,3$	—	po transporcie (400 km)
26.VIII. 74	-10,7	$\pm 0,2$			20,8	
8.IX. 74	+6,2	$\pm 0,5$			20,3	
21.IX. 74	-5,9	$\pm 0,1$			18,0	
11.X. 74	-4,8	$\pm 0,1$			20,9	
26.X. 74	+2,2	$\pm 0,1$	-1,5	$\pm 0,2$	20,8	
8.XI. 74	+3,7	$\pm 0,2$			21,2	

Równolegle z niwelatorami Opton Ni 1 i Zeiss Ni 002 zbadano niwelator precyzyjny Wild N 3 nr 39 549. Na tle niwelatorów automatycznych korzystniej przedstawia się jakość mikrometru optycznego badanego niwelatora libelowego, jak też wartości błędów odczytu. Uzyskane błędy stałości osi celowej przy zmianie ogniskowania, jak też i geometria toru soczewki ogniskującej wskazują na lepszą jakość wykonania części optycznej w niwelatorze Wild N 3 niż w obydwu typach niwelatorów automatycznych. Ponieważ niwelator ten posiada dość bogatą dokumentację badawczą prowadzoną od szeregu lat, więc wyniki porównań są reprezentatywne. Przed sezonem pomiarowym wykonano również, w ramach prac własnych, szczegółowe badania precyzyjnych niwelatorów firmy Zeiss Ni 004 nr 145 780 i nr 102 541. Niwelatory te zostały użyte w pracach doświadczalnych w Grybowie, o czym będzie jeszcze dalej mowa.

2. Badania polowe

2.1. Analiza źródeł błędów systematycznych

Przed przystąpieniem do terenowych prac badawczych poddano badaniu łąty niwelacyjne, przeanalizowano inne źródła błędów systematycznych oraz opracowano kilkanaście wariantów programów obserwacyjnych na stanowiskach pomiarowych. Badanie łąt wykonał zespół pod kierownictwem mgr inż. B. Kalinowskiej na komparatorze poziomo-pionowym. Wyznaczono średnią długość metra łąty w temperaturze 20°C w pozycji pionowej oraz współczynnik termiczny zmian długości metra łąty na skutek zmian temperatury. Badania łąt dokonano przed i po sezonie pomiarowym, a więc w czerwcu i październiku 1974 r.

Współczynniki termiczne łąt wyznaczono z orientacyjną dokładnością równą około 20% ich wartości. Współczynnik rozszerzalności łąt firmy Zeiss wynosi średnio $\alpha_{sr} = 2,0 \cdot 10^{-6}$, a łąt firmy Opton $\alpha_{sr} = 1,2 \cdot 10^{-6}$.

Wobec tego równania łąt wyrażą się wzorem

$$l_{ti} = l_{0i} = \Delta l_i = l_{0i} + \alpha_{sr} (t - t_0).$$

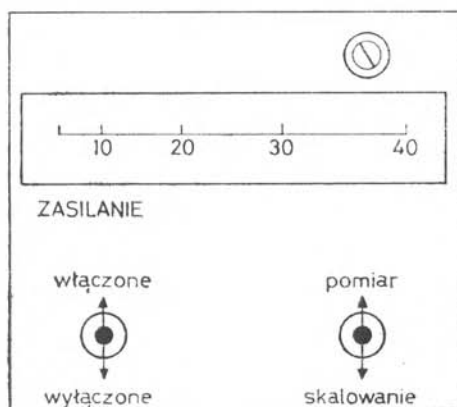
Wpływ zmian długości łąt na skutek zmian temperatury na przewyższenie odcinka określa związek

$$\delta h = \Delta h \cdot \Delta l.$$

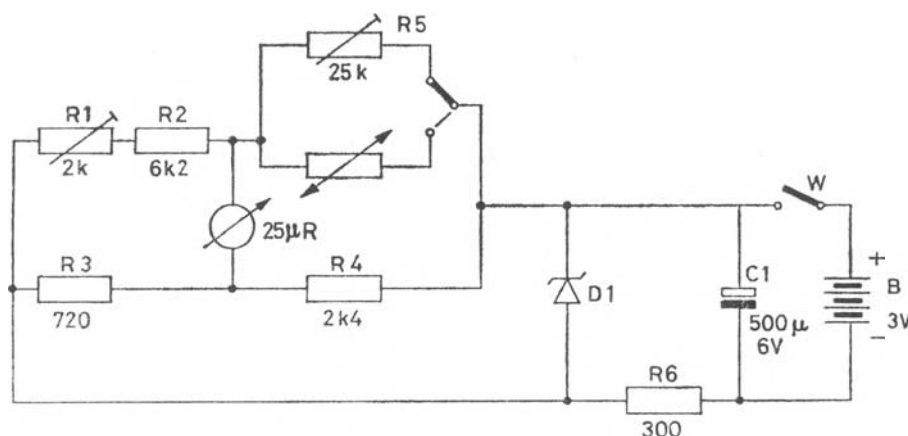
Z analizy wzorów wynika, że błąd pomiaru przewyższenia między dwoma reperami, wynikający ze zmian temperatury taśmy łąty, może osiągnąć wartość 0,3 mm przy różnicy temperatur $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ oraz przewyższeniu $\Delta h = 35$ m. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia, kiedy niwelacja precyzyjna wykonywana jest w terenie górzystym o dużej deniwelacji terenu. Ponieważ jednak temperatura taśmy łąty jest różna od temperatury otaczającego powietrza, przeto w terenie górzystym zaleca się mierzyć bezpośrednio temperaturę taśmy inwarowej.

Próby bezpośredniego pomiaru temperatury taśmy inwarowej były przeprowadzone dla łąt niwelacyjnych Zeiss nr 34 414 i 34 415 za pomocą specjalnie dla tego celu skonstruowanych termometrów na zasadzie wykorzystywania elementów termistorowych. W tym celu nawiercono w drewnianej obudowie łąt niewielkie otwory kołowe na wysokościach 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 m, które były gniazdami umieszczonych czujników. Stosowano dwa czujniki termistorowe przylegające bezpośrednio do wewnętrznej powierzchni taśmy. System mierzący gwarantował pomiar średniej temperatury taśmy łąty z dokładnością 1°C . Odczytów średniej temperatury dokonano ze wskazania położenia indeksu pomiarowego. Urządzenie mierzące zaprojektował według naszych zaleceń mgr inż. R. Donat (rys. 3 i 4).

Temperatura taśmy łąty była na ogół o kilka stopni wyższa od temperatury powietrza. Temperaturę powietrza mierzono termometrem rtęciowym — termometr osłonięto parasolem. Stwierdzono, że w wielu przypadkach różnice temperatur (taśmy i powietrza) były rzędu $8 \div 10^{\circ}\text{C}$. Również temperatury taśm obu łąt nie były jednakowe, chociaż różnice te na ogół nie przekraczały $3 \div 4^{\circ}\text{C}$.



Rys. 3



Rys. 4

Dla kontroli zamieniono wzajemnie czujniki obu łąt. Zjawisko potwierdziło się. Przeprowadzono badanie zmian temperatury taśmy inwarowej w odstępach kilkuminutowych przy obrocie łąty dookoła własnej osi. Ustawiono łątę w ten sposób, że strona przednia zwrócona była ku słońcu, a następnie obracano łątę o 180° . Łątę obracano w interwale $3 \div 5$ minut, to jest w czasie, który potrzebny jest na dokonanie pomiaru przewyższenia na

stanowisku. Stwierdzono, że przeciętnie temperatura taśmy łąty przy zmianie jej położenia zmieniała się o $2 \div 3^\circ\text{C}$. Jeżeli założymy, że różnica temperatur taśmy łąt wynosi $\Delta t = 3^\circ\text{C}$, przewyższenie $\Delta h = 2 \text{ m}$, a współczynnik rozszerzalności $\alpha = 2 \cdot 10^{-6}$, to spowoduje to zmianę w wielkości przewyższenia na stanowisku:

$$\delta h = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 1^\circ\text{C} \cdot 3^\circ\text{C} = 12 \text{ } \mu\text{m}.$$

Wydaje się, że dla obliczeń poprawek termicznych można przyjąć średnią temperaturę taśm obu łąt, tym bardziej, że przy odpowiednim programie obserwacyjnym, wpływowi różnicy temperatur obu taśm łąt na wyznaczenie przewyższenia można nadać charakter przypadkowy. Przypomnieć należy, że wpływ zmian termicznych powoduje również zmianę σ — kąta nachylenia horyzontu niwelatora.

Wpływ tego czynnika w pewnym stopniu eliminuje się przy zachowaniu jednakowej długości obu stronnych celowych.

Nie omawia się w tym miejscu wpływu refrakcji pionowej na wyniki niwelacji precyzyjnej, chociaż wiadomo, że gradient temperatury w przyziemnej 3-metrowej warstwie powietrza jest głównym czynnikiem stanowiącym o wielkości refrakcji.

Na ogół wszystkie instrumenty automatyczne, na skutek tzw. przekompensowania lub niedokompensowania, mogą być obciążone pewnym błędem szcążkowym, którego wynikiem jest dodatkowe nachylenie horyzontu niwelatora. Efekt ten może być wywołany błędem justowania libeli pudełkowej. Błąd ten może mieć charakter systematyczny, a w związku z powyższym winien być w miarę możliwości eliminowany. Błąd ten przyjmuje przypadkowy charakter dla odcinka, sekcji czy linii, jeżeli poziomowanie libeli pudełkowej na stanowisku nieparzystym będzie wykonywane przy nacelowaniu lunety niwelatora na łątę wstecz, a na parzystym stanowisku na łątę w przód. Oprócz tego błędu istotny wpływ na dokładność pomiaru przewyższeń może odgrywać osiadanie łąt i niwelatora na stosunkowo miękkim poboczu drogi. Wpływ tego rodzaju osiadań można wyeliminować przez dobór odpowiedniego programu obserwacji na stanowisku pomiarowym.

Przy zachowaniu na stanowisku programu obserwacyjnego t_z , p_z , p_k , t_k , gdzie: t_z — odczyt I podziału na łącie wstecz,

p_z — odczyt I podziału na łącie w przód,

p_k — odczyt II podziału na łącie w przód,

t_k — odczyt II podziału na łącie wstecz,

stwierdzono, że istnieje większa korelacja między odczytami p_z i p_k niż między t_z i t_k .

Abstrahując od błędów podziału łaty, można założyć, że przesunięcie obu podziałów jest równe C . Wówczas:

$$t_k = t_z + C,$$

$$p_k = p_z + C.$$

Różnice $t_k - (t_z + C)$ sugerują występowanie nieokreślonego bliżej źródła błędów.

Specjalnie niebezpieczny jest przypadek, kiedy różnice $t_k - (t_z + C)$ występują z jednakowym znakiem. Z praktyki geodezyjnej wynika, że często różnice mają systematyczny charakter. W niwelatorach libelowych różnice te tłumaczy się wpływem zmiany kąta między osią celową a osią libeli, osiadaniem łąt i osiadaniem niwelatora. W instrumentach samopoziomujących jednym ze źródeł błędów jest osiadanie łąt i niwelatora, chociaż nie-wykluczone są inne jeszcze źródła błędów.

2.2. Projekt sieci doświadczalnej i stabilizacja reperów

Opracowanie właściwej metody obserwacji i technologii pomiaru sieci niwelacji precyzyjnej 1 klasy wymagało przeprowadzenia w szerokim zakresie badań polowych na specjalnie dobranym poligonie doświadczalnym.

W tym celu zaprojektowano zamknięty poligon niwelacyjny o długości około 19 km, położony na Podkarpaciu, w rejonie Nowy Sącz—Gorlice. Główny ciąg niwelacji precyzyjnej o długości około 13 km usytuowano wzdłuż szosy asfaltowej.

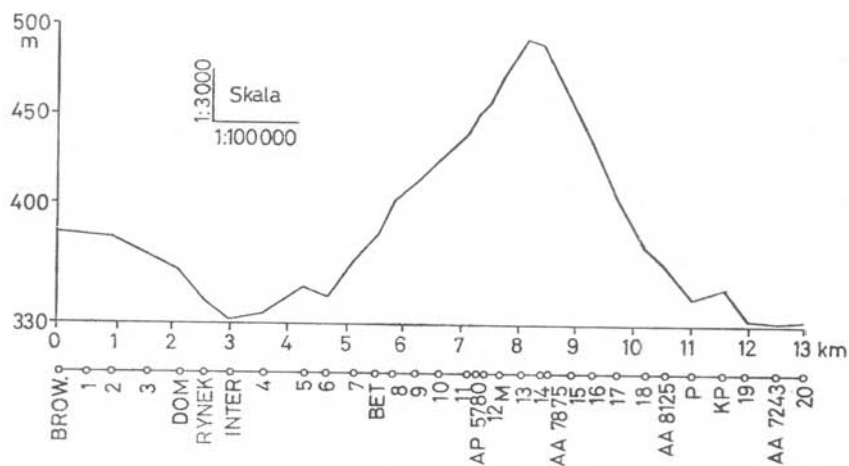
Przy wyborze ciągu kierowano się następującymi względami:

- ciąg biegnie wzdłuż szosy asfaltowej o średnim natężeniu ruchu kołowego, co w większości będzie miało miejsce przy pomiarze krajowej sieci niwelacyjnej,

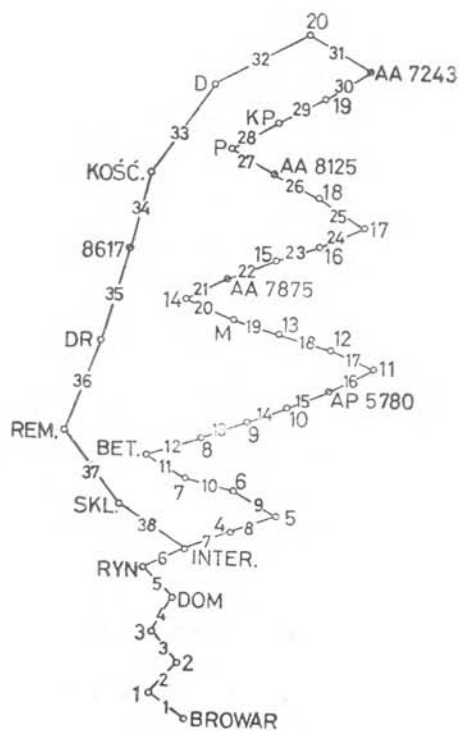
- ciąg przebiega w ogólnym kierunku wschód—zachód, co jest bardzo niekorzystne ze względu na możliwość występowania systematycznych błędów pomiaru spowodowanych oświeceniem,

- ciąg znajduje się w terenie podgórskim o średniej wysokości nad poziomem morza około 400 m i o różnicy przewyższeń na ciągu do 140 m (rys. 5).

Wywiad terenowy oraz ostateczną lokalizację reperów i ich stabilizację wykonano w kwietniu 1974 r. Na ciągu głównym zastabilizowano 20 reperów ziemnych i 5 reperów ściennych oraz włączono 5 istniejących w terenie reperów ziemnych, natomiast na ciągu zamykającym zastabilizowano 5 reperów ściennych i włączono istniejący w terenie reper ziemny. Szkic orientacyjny badawczej sieci niwelacji precyzyjnej przedstawiono na rysunku 6.

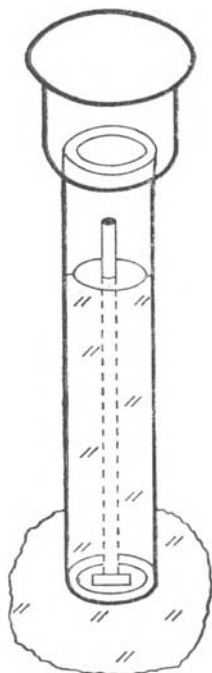


Rys. 5



Rys. 6

Repery ziemne stabilizowano w następujący sposób. Świdrem geologicznym o średnicy 15 cm wykonywano otwory do głębokości co najmniej 1,5 metra. Do środka odwiertu wstawiano rurę stalową o średnicy przekroju 13 cm, którą osadzano na betonowej poduszce o grubości około 15 cm. W środku rury umieszczano pręt stalowy z przyspawaną z jednej strony płytką metalową, a z drugiej strony uzbrojony kulką stalową, której powierzchnia sferyczna winna być wskaźnikiem wysokości. Następnie rurę



Rys. 7

stalową wypełniano betonem. Ponad powierzchnię betonu (wewnątrz rury stalowej) na wysokości kilku centymetrów wystaje część prętu stalowego z umieszczoną w osi prętu kulką. Dla zabezpieczenia przed ewentualnym zniszczeniem rurę stalową przykryto żelaznym kapturem, a następnie całość zasypano ziemią. Na rysunku 7 pokazano szkic osadzenia reperów ziemnych.

2.3. Programy obserwacyjne

Właściwe badania terenowe przeprowadzone zostały w miesiącach lipcu, sierpniu i wrześniu 1974 r. W pomiarach na ciągu zasadniczym wykorzystano niwelatory samopoziomujące Zeiss Ni 002 nr 423173 i Opton Ni 1

nr 80998 oraz niwelator libelowy Wild N III nr 39594, a na ciągu dodatkowym dwa niwelatory Zeiss Ni 004 nr 145780 i nr 102541. Programy obserwacji stosowane na stanowiskach pomiarowych zestawiono w tablicy 4.

2.4. Komparator polowy

Zaobserwowano, że przewyższenia na odcinkach niwelacyjnych uzyskane z pomiaru instrumentem Opton Ni 1 były co do wartości bezwzględnej większe od przewyższeń wyznaczonych instrumentem Zeiss Ni 002, pomimo starannego obchodzenia się z tymi niwelatorami i stałej kontroli libel pudełkowych łąt. Przyczynę próbowano wyjaśnić stosując program obserwacji J na ośmiu wybranych odcinkach niwelacyjnych. Przewyższenia uzyskane tym programem były identyczne jak przewyższenia uzyskane zestawem Zeiss Ni 002. Wobec tego dla wzajemnego porównania przewyższenia Δh wyznaczonego za pomocą łąt Optona, Zeissa i Wilda użyto komparatora polowego.

Zastabilizowano bezpośrednio obok siebie 2 znaki wysokościowe o różnicy przewyższeń 2,5 m. Z 40 niezależnych określeń wyznaczono Δh_{sr} dla każdego kompletu łąt. Z porównania średnich przewyższeń wyznaczono ilorazy średnich metrów łąt.

Nie stwierdzono, żeby poprawki wynikające z uwzględnienia wyników komparacji polowej eliminowały rozbieżność przewyższeń wyznaczonych instrumentami Opton Ni 1 i Zeiss Ni 002.

2.5. Pomiar temperatury taśmy inwarowej

Na części ciągu doświadczalnego w Grybowie (od punktu 5 do punktu Beton) przeprowadzono pomiar niwelacyjny instrumentem Ni 004 nr 185464 przy użyciu łąt firmy Zeiss nr 34414 i 34415. Łaty te były wyposażone w termistory, o których była mowa poprzednio. Na każdym odcinku niwelacyjnym dokonywano 3 do 4 pomiarów temperatury powietrza i taśm inwarowych. Pomiar wykonywany był w różnych warunkach atmosferycznym, z takim jednak wyborem, aby w ciągu dnia przeważała pogoda słoneczna. Niwelację przeprowadzono w dniach 10–17. IX.1974 r. Ogólna długość ciągu niwelacyjnego wynosiła ok. 9 km (niwelacji pojedynczej w jednym kierunku). Stwierdzono na podstawie pomiarów, że istnieją różnice między temperaturą powietrza (mierzoną pod parasolem w cieniu) a temperaturą wskazywaną przez termistory. W związku z tym przeprowadzono obliczenie poprawek termicznych dla średniej temperatury powietrza zmierzonej na każdym odcinku niwelacyjnym oraz dla temperatury średniej pomierzonej termistorami. Zaznaczyć w tym miejscu należy, że pomiary wykonywane były również w słoneczne południa.

Tablica 4

Oznaczenie programu obserwacyjnego	Stanowiska instrumentu	Sposób dokonywania odczytów z łąt				Inne czynniki charakteryzujące program
		Opton Ni 1	Zeiss Ni 002	Wild N III	Zeiss Ni 004	
A	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}$	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	Długość pomierzonego ciągu 12,8 km. Obserwacje wykonywano w tej samej porze dnia dla kierunku głównego i powrotnego; maksymalne celowe o długości 35 m. Łaty ustawiano na klinach. Instrumentem Zeiss Ni 004 pomiar wykonywano na ciągu dodatkowym.
B	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$	—	—	Obserwacje wykonywane w tych samych porach dnia. Długość pomierzonego ciągu 5,4 km. Łaty ustawiano na klinach.
C	nieparzyste parzyste	t_z, t_k, p_k, p_z	$t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}, p_z^I$	t_z, t_k, p_k, p_z	—	Programem tym pomierzono cały ciąg. Łaty ustawiano na klinach. Obserwacje wykonywano w tej samej porze dnia dla kierunku głównego i powrotnego.
D	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}$	—	—	Odległości do łąt mierzono krokami. Długość pomierzonego ciągu 4,0 km. Łaty ustawiano na klinach.
E	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$	—	—	Wszystkie celowe o długości 40 m. Długość pomierzonego ciągu 3,6 km. Łaty ustawiano na klinach.
F	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}$	—	—	Obserwacje wykonywano w dzień słoneczny. Bez osłaniania instrumentu parasolem. Długość pomierzonego ciągu 5,4 km. Łaty ustawiano na klinach.
G	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}$	—	—	Obserwacje wykonywano nocą. Łaty ustawiano na klinach. Długość pomierzonego ciągu 2,4 km.
H	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	$t_z^I, p_z^I, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}$	—	—	Obserwacje wykonywano w różnych porach dnia dla kierunku głównego i powrotnego. Długość pomierzonego ciągu 10,4 km. Łaty ustawiano na klinach.
I	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	—	—	—	Celowe o długościach 45 m. Długość pomierzonego ciągu 2,1 km. Łaty ustawiano na klinach.
J	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	—	—	—	Niwelację wykonano przy użyciu łąt Zeissa. Długość pomierzonego ciągu 4,0 km. Łaty ustawiano na klinach.
K	nieparzyste parzyste	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	—	—	—	Pomiar wykonano dla wybranych odcinków ciągu i sporym przewyższeniu Δh w celu wykrycia ewentualnych błędów osobowych. Długość pomierzonego ciągu 7,3 km. Łaty ustawiano na żabkach.
L	nieparzyste parzyste	—	$t_z^I, p_z^I, p_k^I, t_k^I$ $t_z^{II}, p_z^{II}, p_k^{II}, t_k^{II}$ $p_z^{II}, t_z^{II}, t_k^{II}, p_k^{II}$ $p_z^I, t_z^I, t_k^I, p_k^I$	—	—	Obserwacja programem pełnym. Długość pomierzonego ciągu 4,9 km. Łaty ustawiano na klinach.
M	nieparzyste parzyste	—	—	—	t_z, p_z, p_k, t_k p_z, t_z, t_k, p_k	Odległości do łąt do 40 m. Pomiar z termistorami. Długość pomierzonego ciągu 5,0 km. Łaty ustawiano na żabkach.

Tablica 5 podaje średnie poprawki termiczne i komparacyjne na wybranych odcinkach niwelacyjnych. Fragmentaryczne wyniki wskazują na dużą zmienność wartości poprawek termicznych zarówno przy uwzględnieniu temperatury powietrza, jak i przy bezpośrednim pomiarze temperatury taśmy inwarowej. Wyniki zestawione w tablicy 5 wskazują, że różnica poprawek termicznych obliczonych w oparciu o pomierzoną bezpośrednio temperaturę powietrza i taśmy inwarowej wynosiła 0,2 mm na jednym odcinku niwelacyjnym.

Tablica 5

Data	Odcinek	Poprawka komparacyjna 10^{-2} mm	Poprawki termiczne		t_{pow} t_{lat}
			z temp. pow. 10^{-2} mm	z temp. taśmy 10^{-2} mm	
10.IX. 74	5—6	— 14	— 1	— 10	21,6 26,6
10.IX. 74	6—7	+ 39	+ 25	+ 30	26,2 27,6
10.IX. 74	7—BET	+ 40	+ 22	+ 34	25,3 28,2
12.IX. 74	5—6	— 14	0	— 4	20,0 22,5
12.IX. 74	6—7	+ 39	— 17	0	15,8 20,0
12.IX. 74	7—BET	+ 40	— 1	+ 14	19,7 23,3

2.6. Określenie efektywności i pracochłonności pomiaru

Określenie pracochłonności pomiaru przewyższeń poszczególnymi programami w stosunku do niwelacji wykonanej programem A: t_z , p_z , p_k , t_k , na stanowiskach nieparzystych i p_z , t_z , t_k , p_k , na stanowiskach parzystych pokazano w tablicy 6.

Z tablicy 6 wynika, że:

— stosując precyzyjne niwelatory samopoziomujące zamiast instrumentów libelowych skraca się czas pomiaru niwelacji o 30% dla programu A,

— najszybciej wykonuje się niwelację instrumentem Opton Ni 1,

— przy użyciu instrumentu Zeiss Ni 002 czas pomiaru wydłuża się o około 20% względem pomiaru niwelatorem Opton Ni 1,

— dla programu G (niwelacja nocą) czas pomiaru niewiele jest większy od czasu pomiaru programem A. Należy jednak mieć tu na uwadze fakt,

Tablica 6

Pro-gram po-miaru na stan.	Liczba stan. w ciągu w kier. gł. i powr.	Czas pomiaru w kier. gł. i powr.	Czas pomiaru na jedn. stan.	Czasochłonność stosow. pro-gramów wzgl.	Czas pomiaru ciągu wzgl. Optona dla programu A (%)
	Opton Ni 1 Zeiss Ni 002 Wild N-III			A (%)	
A	674	3005 min	4,5 min	100	100
	644	3570	5,5	100	119
	610	4756	7,8	100	158
B	218	985	4,5	101	101
	224	955	4,3	71	98
	—	—	—	—	—
C	584	2029	3,5	68	68
	604	2434	4,0	68	81
	170	1215	7,1	92	124
D	64	344	5,4	113	—
	94	405	4,3	87	—
	—	—	—	—	—
E	62	293	4,7	96	—
	44	270	6,1	70	—
	—	—	—	—	—
F	68	432	6,4	142	—
	126	565	4,5	66	—
	—	—	—	—	—
G	70	343	4,9	114	114
	72	329	4,6	94	109
	—	—	—	—	—
H	204	987	4,8	101	101
	216	956	4,4	71	98
	—	—	—	—	—
I	56	374	6,7	123	—
	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—
J	220	778	3,5	67	—
	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—
L	—	—	—	—	—
	222	1565	7,1	117	—
	—	—	—	—	—

że pomiar według tego programu wymaga znacznie liczniejszego zespołu pomiarowego,

— przy stosowaniu programu C czas pomiaru skraca się o około 30% względem programu A.

Dla ustalenia właściwej metody pomiarów wykorzystywano również tzw. kryterium efektywności

$$E = \frac{V}{m \cdot (n+1)},$$

gdzie V — prędkość pomiaru (wyrażona w kilometrach ciągu na 1 godz. pomiaru),

m — średni błąd kilometrowy wyznaczony z różnic „tam” i „powrót”,

n — liczba osób w zespole.

Zestawienie tych wielkości dla poszczególnych programów podano w tablicy 7.

Tablica 7

Program pomiaru	Niwelator								
	Zeiss	Opton	Wild	Zeiss	Opton	Wild	Zeiss	Opton	Wild
	V	V	V	m	V	m	E	E	E
A	0,41	0,51	0,31	0,25	0,30	0,26	0,23	0,24	0,17
B	0,62	0,67	—	0,16	0,31	—	0,55	0,31	—
C	0,60	0,78	0,42	0,26	0,30	0,28	0,33	0,37	0,21
D	0,41	0,74	—	0,14	0,30	—	0,49	0,41	—
E	0,66	0,87	—	0,12	0,26	—	0,79	0,48	—
F	0,71	0,59	—	0,32	0,49	—	0,37	0,20	—
G	0,41	0,41	—	0,18	0,41	—	0,25	0,11	—
H	0,62	0,66	—	0,36	0,29	—	0,25	0,32	—
I	—	0,68	—	—	0,52	—	—	0,19	—
J	—	0,61	—	—	0,40	—	—	0,22	—
K	—	0,60	—	—	0,39	—	—	0,22	—
L	0,38	—	—	0,21	—	—	0,26	—	—

2.7. Zależność niezamknięcia niwelacji od pory dnia

Dla oszacowania dokładności, a tym samym i błędności określenia wysokości reperów, przyjęło się wykonywać analizę na podstawie $q = \Delta h_{ij} + \Delta h_{ji}$ sumy algebraicznej przewyższeń pomierzonych odcinków w kierunku głównym (Δh_{ij}) i powrotnym (Δh_{ji}). Należy domniemywać, że q obarczone jest błędami przypadkowym i systematycznym. W celu możliwie pełnego eliminowania tych ostatnich zaleca się stosowanie odpowiedniego programu obserwacji, długości celowej, pory dnia itp. Nie można jednak

zakładać, że pomiar w kierunku głównym i powrotnym eliminuje całkowicie błędy systematyczne i na długich liniach może nastąpić ich nagromadzenie. W celu określenia najdogodniejszej pory dnia do pomiarów niwelacyjnych z punktu widzenia zgodności niwelacji w kierunku głównym i powrotnym ciągu doświadczalnego, cały materiał posegregowano w następujący sposób:

a) dla każdego z programów wydzielono odcinki niwelacyjne w obydwu kierunkach w tej samej porze, tzn. rano (godz. 6—11) lub wieczorem (godz. 15—19);

b) wydzielono odcinki, które ze względu na specjalną pogodę były niwelowane w obydwu kierunkach w różnych porach dnia, np. „tam” — rano, „powrót” — wieczorem lub też w południe;

c) dla programu *H* obserwacje wykonane były w różnych porach dnia o całkowicie odmiennych warunkach atmosferycznych;

d) w wypadku programu *G*, niwelacje nocą potraktowano w naszej analizie jako obserwacje wykonane wieczorem.

Wyniki dla trzech użytych typów niwelatorów skłaniają do następujących wniosków:

1. Obserwacje wg programu *A* niwelatorem Zeiss Ni 002 doprowadzają w większości wypadków do niezamknięcia różnicy wysokości $q < 0$, natomiast niwelatorem Opton Ni 1 $q > 0$. Prawdopodobnie ta nosi cechy systematyczności.

2. W obydwu typach niwelatorów automatycznych nie można wyróżnić pory dnia, w której niwelacja odcinków w kierunku głównym i powrotnym charakteryzuje się mniejszą wartością stosunku $\frac{\sum |q|}{R}$, gdzie q — niezamknięcie odcinka, R — długość ciągu obserwowanego danym programem obserwacji w km.

W wypadku niwelatora Wild N 3 wyraźnie korzystniejsze są godziny przedpołudniowe.

3. Wartość ilorazu $\frac{\sum |q|^a}{n}$ charakteryzuje przeciętną wartość niezamknięcia na odcinku niwelacyjnym między dwoma sąsiednimi reperami. W założonym poligonie średnia długość odcinka wynosiła 0,43 km. Z zestawienia rezultatów pomiaru wynika, że największe wartości niezamknięć odcinków otrzymano w wypadku stosowania programu *F* (pomiar bez parasola), *G* (nocą) i *I* (długość celowych 45 m) dla niwelatora Opton Ni 1 oraz programu *F* przy pomiarze niwelatorem Zeiss Ni 002.

4. Stosowanie programu *L* dla niwelatora Zeiss Ni 002, a więc obserwacji w obu położeniach kompensatora na obydwu podziałach łat, polepsza

jakość wyników. Otrzymane wartości $\frac{\sum |q|}{R}$ są o ok. 20% mniejsze od analogicznych wielkości dla innych programów obserwacyjnych.

5. Obserwacje w godzinach nocnych nie powiększają zasadniczo niezamknięć przewyższeń w kierunku głównym i powrotnym. Zwrócić należy uwagę, że korzystniejsze wyniki otrzymuje się jednak przy użyciu niwelatora Zeiss Ni 002.

6. Program C (obserwacje wykonywane najpierw na łącie wstecz na obydwu podziałach na każdym stanowisku) nie doprowadza do powiększenia niezamknięcia odcinka niwelacyjnego ($\sum q$) ani nie zwiększa wartości $\frac{\sum |q|}{R}$ na odcinku o długości 1 km. Rezultaty nie wykazują też tendencji co do jednakowego znaku niezamknięcia. Wypada jednak i w tym miejscu zaznaczyć o znacznym skróceniu czasu w wypadku stosowania tego programu.

7. Stosowanie pomiaru odległości do łąt krokami nie powiększa wartości niezamknięć przewyższeń dla kierunku głównego i powrotnego. Program ten (D) daje jednak lepsze rezultaty w wypadku pomiaru niwelatorem Zeiss Ni 002. Jest to oczywiście funkcją wartości kąta pochylenia quasi-horyzontu.

8. Jak należało przypuszczać na podstawie wcześniejszych badań laboratoryjnych, optymalne długości celowych mieszczą się w granicach $35 \div 40$ m. Świadczą o tym niezamknięcia ciągów niwelacyjnych pomierzonych wg programu E dla obydwu typów niwelatorów samopoziomujących. Wydłużenie celowych powyżej 40 m (program I dla niwelatora Opton Ni 1) wyraźnie pogarsza wyniki.

9. Stosowanie łąt firmy Zeiss i niwelatora Opton Ni 1 (program J) nie powoduje pogorszenia wyników niwelacji. Daje się jednak zauważyć tendencję do wzrostu ilości niezamknięć, w których $q < 0$.

10. Powtórzenie niwelacji wybranych odcinków przez innego obserwatora (program K) wskazuje na tendencję występowania większej ilości niezamknięć $q > 0$ niż ilości $q < 0$.

11. Nie stwierdza się wyraźnie, że niezamknięcia odcinków q są uzależnione od wykonywania niwelacji w różnych porach dnia w kierunkach głównym i powrotnym. Należy jednak podkreślić, że po wprowadzeniu do wyników obserwacji poprawek ze względu na komparację łąt i zmiany temperatury otrzymano niezamknięcia, na podstawie których dają się sformułować następujące uwagi: dla niwelacji zestawem Opton Ni 1 mniejsze wartości niezamknięć otrzymuje się wykonując niwelację w obu kierunkach w tych samych porach dnia, a dla niwelatora Zeiss 002 mniejsze wartości niezamknięć z różnych pór dnia.

12. Podobna uwaga wynikła na podstawie zestawienia najprawdopodobniejszych przewyższeń wyznaczonych ze wszystkich stosowanych programów obserwacji, z przewyższeniami wyznaczonymi w poszczególnych porach dnia.

2.8. Poprawki komparacyjne i termiczne

Do pomierzonych przewyższeń w kierunku głównym i powrotnym wprowadzono poprawki komparacyjne i termiczne według wzoru

$$q_t = \left(\sum t_z^1 - \sum p_z^1 \right) [\lambda_1 + \alpha_1 (t - t_0)] + \left(\sum t_z^2 - \sum p_z^2 \right) [\lambda_2 + \alpha_2 (t - t_0)]$$

gdzie: t_z^1 — odczyt łąty pierwszej kiedy była wstecz,

p_z^1 — odczyt łąty pierwszej, kiedy była w przód,

t_z^2 — odczyt łąty drugiej, kiedy była wstecz,

p_z^2 — odczyt łąty drugiej, kiedy była w przód,

λ_1, λ_2 — poprawki komparacyjne łąt,

α_1, α_2 — współczynniki rozszerzalności taśm inwarowych,

t, t_0 — odpowiednio średnia temperatura pomiaru odcinka i temperatura komparacji łąt.

Maksymalna wartość q_t dla odcinka wyniosła 0,5 mm. Z poprawionych przewyższeń obliczono wysokości reperów ciągu zasadniczego dla niwela-

Tablica 8

	Zeiss		Opton		Wild
	<i>A</i>		<i>A</i>		<i>A</i>
bez wprowadzenia poprawki komparacyjnej	-0,00091		+0,00520		-0,00013
z poprawką komparacyjną wyznaczoną przed sezonem	-0,00091		+0,00521		-0,00004
z poprawką komparacyjną wyznaczoną po sezonie	-0,00094		+0,00522		nie oblicz.
	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	
po wprowadzeniu średnich poprawek komparacyjnych i termicznych	-0,00088	+0,00031	nie obl.	+0,00172	-0,00012
po wprowadzeniu średnich popr. komparac. i term. i elimin. błędów systemat.	—	—	+0,00727	—	—

cji programem A i C. Wyjściową wysokość przyjęto dla reperu na budynku browaru $H = 385,1498$ m. Wysokości określone przy użyciu niwelatora Opton Ni 1 znacznie odbiegają od rezultatów uzyskanych z pomiarów niwelatorami Zeiss Ni 002 i Wild N 3, co sugeruje występowanie bliżej nieokreślonego źródła błędów.

2.9. Odchyłka ciągu zamkniętego

Korzystając z pomierzonych przewyższeń na ciągu pomocniczym, wykonanych niwelatorami Zeiss Ni 004, o czym wspomniano poprzednio, obliczono odchyłkę ciągu zamkniętego. Wyniki podaje tablica 8. Z tablicy wynika, że największe odchyłki otrzymano z pomiarów niwelatorem Opton Ni 1. Najmniejsze wartości niezamknięć otrzymano dla programu C w przypadku stosowania obydwu typów niwelatorów samopoziomujących.

3. Wnioski

Szczegółowa analiza badań laboratoryjnych i polowych pozwala na sprecyzowanie charakterystyki badanych typów niwelatorów.

Opton Ni 1 o niewielkich gabarytach i ciężarze odznacza się dobrą jasnością lunety, a także odpowiednio dobraną barwą skali mikrometru. Natomiast opis skali mikrometru (z prawej do lewej) oraz opis połówek działek mikrometru może być dodatkowym źródłem błędów. System samopoziomujący niwelatora ma dobrze dobrane parametry. Czas tłumienia drgań wynosi około 0,2 sekundy, co jest bardzo istotne przy pomiarze wzdłuż dróg o dużym natężeniu ruchu. Zbyt duża podatność quasi-horyzontu na zmiany w czasie, na skutek wpływu zmian termicznych i transportu obniża zalety tego niwelatora. Trafnie dobrano żółty kolor tła łąty, lecz jakość i zbyt mała szerokość kresek na łącie jest źródłem błędów przy doprowadzaniu do koincydencji szczególnie dla dłuższych celowych.

Niwelator Zeiss Ni 002 posiada większe gabaryty od niwelatora Opton Ni 1. Dłuższa droga optyczna powoduje zmniejszenie jakości obrazu, czego efektem jest konieczność wcześniejszego zakończenia pracy w godzinach wieczornych. Obrotowy okular, dający prosty obraz, oraz celowniki pryzmatyczne i obustronne pokręta śrub pozwalają obserwować przewyższenia bez zmiany pozycji obserwatora. Jest to niezmiernie ważne z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy wzdłuż dróg o dużym natężeniu ruchu, a także skraca czas pomiaru na stanowisku. Zbyt duża czułość systemu samopoziomującego utrudnia obserwację (męczy wzrok) przy niewielkich nawet drganiach instrumentów wywołanych zwłaszcza ruchem furmanek

konnych oraz podmuchami silniejszego wiatru. Na skutek zastosowania obrotowego kompensatora nie istnieje możliwość sugestii odczytami na łacie. W egzemplarzu nr 423173 nie stwierdzono przed sezonem pomiarowym wpływu zmian termicznych na położenie quasi-horyzontu, zrezygnowano więc z osłony niwelatora podczas pomiarów, co jest istotne ze względu na możliwość zmniejszenia liczebności zespołu pomiarowego. Daje się odczuć brak możliwości justowania quasi-horyzontu dochodzącego niekiedy do kilku sekund i podlegającego zmianom na skutek wpływów termicznych i transportu. Stwierdzono również istnienie drobnych, łatwych do wyeliminowania usterek, jak: jednakowa wielkość śrub, niski statyw instrumentu, zbyt mały skok śrub ustawczych, jakość farby, podatność stopki łąty na rdzewienie.

Na podstawie badań laboratoryjnych i polowych należałoby zalecić:

— wykonanie badań dla ustalenia wpływu temperatury na położenie osi celowej. Jeżeli nie stwierdzi się takiego efektu, można zrezygnować z osłony niwelatora przed bezpośrednim wpływem nasłonecznienia;

— każdego dnia przed przystąpieniem do pomiaru sprawdzać i uwiadacznić w dzienniku pomiarowym wartość kąta nachylenia horyzontu. Jeżeli $\sigma > 3''$, to w przypadku niwelatora Opton Ni 1 należy efekt ten usuwać poprzez obrót klina umieszczonego przed obiektywem lub przez przesunięcie siatki kresek. Co 2 tygodnie należy przeprowadzać szczegółowe badania nachylenia quasi-horyzontu;

— rezygnację z celowych powyżej 40 m dla obu typów niwelatorów;

— zapewnienie ustawienia niwelatora względem łąt z mimośrodem mniejszym niż 1 metr;

— wykonywanie pomiaru w kierunku głównym i powrotnym w tych samych porach dnia;

— przy dużym natężeniu ruchu wzdłuż ciągów niwelacyjnych i niekorzystnych warunkach atmosferycznych obserwacje wykonywać w nocy;

— bezpośredni pomiar temperatury taśm łąt co kilka stanowisk, a do pomierzonych przewyższeń wprowadzać poprawki komparacyjne i termiczne;

— dla instrumentów Zeiss Ni 002 obserwacje na stanowiskach według następującej kolejności (program C):

$$t_z^I, t_k^{II}, p_k^{II}, p_z^I.$$

Postulat ten wynika z porównania efektywności metod A i C (tablica 7). Przy jednakowym średnim błędzie kilometrowym (m) stosunek efektywności obu metod wynosi 1,43, a zatem metoda C jest szybka, tańsza i jednocześnie zapewnia taką samą dokładność, jak metoda A;

— starannie poziomować libelę pudełkową, przy czym na stanowiskach nieparzystych przy nacelowaniu lunety na łąkę wstecz, a na stanowiskach parzystych przy nacelowaniu na łąkę wprzód.

Na podstawie wyników pomiarów polowych wykonywanych niwelatorem Opton Ni 1 według programu A stwierdzono występowanie dodatkowego silnego źródła błędów systematycznych $\sigma = -0,35$. Na tym etapie prac nie ma logicznych przesłanek wytłumaczenia tak dużej wartości błędu systematycznego. Powtórzenie części pomiarów (program K) na ciągu zasadniczym przez innych wykonawców nie wykazało istnienia błędów osobowych obserwatora. Być może, że zjawisko to jest odosobnione i nie będzie miało miejsca przy użyciu innych egzemplarzy niwelatorów typu Opton Ni 1.

Z pomiarów przeprowadzonych według programu A na ciągu zasadniczym o długości około 13 km otrzymano wartości błędów zestawione w tabelicy 9. Wielkości ϱ wyznaczone ze związku $\varrho = \Delta h_{ij} + \Delta h_{ji}$ miały tendencje do zachowania jednakowego znaku.

Tabela 9

Instr. błąd	Zeiss Ni 002 nr 423173	Wild N 3 nr 39594	Opton Ni 1 nr 80998	Wielkość dopuszczalna
m	$\pm 0,25$ mm	$\pm 0,26$ mm	$\pm 0,30$ mm	$\pm 0,40$ mm
η	$\pm 0,24$ mm	$\pm 0,24$ mm	$\pm 0,21$ mm	$\pm 0,40$ mm
σ	$+0,02$ mm	$+0,02$ mm	$+0,35$ mm	$\pm 0,10$ mm

Dla 74% ilości wszystkich odcinków ϱ miało znak dodatni, przy czym $\sum |+\varrho| = 9,46$ mm, natomiast $\sum |-\varrho| = 0,66$ mm. Widać stąd, że stosunek sumy dodatnich wartości ϱ do sumy ujemnych wartości ϱ wynosi

$$\sum |+\varrho| : \sum |-\varrho| = 14,4.$$

Obserwacje na tym samym ciągu według programu C nie wykazały występowania błędów systematycznych ($\sigma = 0,02$ mm).

W wypadku użycia niwelatora Opton Ni 1 stosunek efektywności metody C i metody A (tabl. 7) wynosi 1,54. Wydaje się, że pomiar według programu C jest korzystniejszy również dla niwelatora tego typu, chociaż zbyt duże zmiany kąta nachylenia horyzontu na skutek transportu (możliwości występowania zmian skokowych) przemawiałyby za stosowaniem obserwacji bardziej symetrycznych.

Prace nad ustaleniem optymalnej technologii pomiarów tym niwelatorem winny być kontynuowane. Szczególną uwagę należy zwrócić na zagadnienie występowania niezamknięć q z jednakowym znakiem, gdyż efektem tego może być znaczny błąd w określeniu wysokości punktów.

Recenzował doc. dr Jerzy Bokun

Rękopis złożono w Redakcji w październiku 1975 r.

ЮЗЕФ ЦЕСЛЯК
МАРЦИН БАРЛИК
СТАНИСЛАВ МАРГАНЬСКИ

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПО ВВЕДЕНИЮ ПРЕЦИЗИОННЫХ НИВЕЛИРОВ С САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕЙСЯ ЛИНИЕЙ ВИЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Резюме

Исследования касались вопросов связанных с введением в геодезическое производство нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования Zeiss Ni 002 и Opton Ni 1.

Для установления характеристики точности оба нивелира были подданы лабораторным исследованиям. Опыты показали, что оба нивелиры могут быть допущены для произведения измерений с большой точностью. Установлено, кроме того, что в обоих нивелирах можно заметить изменение положения визирной оси вследствие изменений температуры. Степень чувствительности компенсатора нивелира Zeiss Ni 002 слишком великий, а наклон квазигоризонта не является постоянной величиной и превышает допускаемую величину $1''$. Оба нивелира пригодны для произведения измерений вдоль дорог со средней интенсивностью движения колесного транспорта. При применении нивелира Opton Ni 1 вибрация мостовой меньше затрудняет измерительные работы.

Полевые работы производились на специально заложенном для этой цели исследовательском полигоне в предгорном районе в окрестностях г. Грибова. Целью исследования была разработка оптимального метода наблюдений на станции.

В связи с этим на полигоне произведено измерения превышений согласно установленных заранее программ: А, В, С . . . L (А, Б, Ц . . . Л).

Анализ результатов измерений показал, что исходя из предпосылки эффективности работы и исключения систематической части ошибки наиболее пригодным методом наблюдения в случае нивелира Zeiss Ni 002 является программа С (Ц).

Не получено так однозначного ответа для нивелира Opton Ni 1, и работы в этом направлении должны проводиться в дальнейшем.

Кроме того работа содержит, составление результатов наблюдений в нескольких таблицах, а также общие выводы, касающиеся достоинств и недостатков обоих типов нивелиров.

JÓZEF CIEŚLAK
MARCIN BARLIK
STANISŁAW MARGAŃSKI

EXPERIMENTAL WORKS CONCERNING THE DEVELOPMENT OF PRECISE SELF-LEVELLING INSTRUMENTS FOR THE MOST ACCURATE LEVELLING

Summary

The experiment concerned the problems connected with an introduction of geodetic self-levelling instrument Zeiss Ni 002 and Opton Ni 1 to the production.

In order to specify an accuracy characteristic the two levelling instruments underwent laboratory examination. The examination proved that both levelling instruments can be used to perform the most precise measurements.

Besides it has been found out that a change of the sight axis' orientation in both levelling instruments caused by thermal changes can be discovered. The compensator of the levelling instrument is too sensitive and an inclination of the quasihorizon is not a constant and it exceeds the value of 1". The two levelling instruments can be used to perform measurements along roads of the mean intensity traffic. Vibration of a base impedes the measurements in a less degree when the levelling instrument Opton Ni 1 is used.

The field works have been carried out on a specially arranged experimental traverse in the piedmont not far from Grybów. The aid of the examination was to develop the optimum method of observation from a measurement stand. In order to obtain this the measurements of the overights have been carried out on the experimental traverse according to the programmes: A, B, C, ... L, fixed in advance.

The analysis of the measurement results proved that due to the efficiency of the work and elimination of the systematic part of an error, the C programme is the most effective method of observation in case of the levelling instrument Zeiss Ni 002. In case of the levelling instrument Opton Ni there has not been obtained such an explicit answer. Works concerning this subject should be continued.

Furthermore, this paper includes the list of observation results mentioned on a few tables as well as some general conclusions referring to the merits and drawbacks of both types of the levelling instruments.