

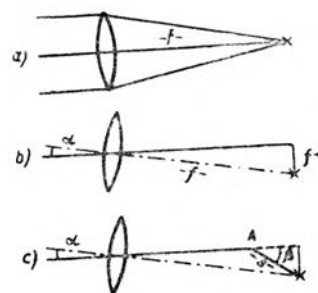
Automatyczny niwelator Zeiss Ni 2 (opis i wyniki badania polowego)

Niniejsza praca ma na celu zapoznanie Czytelnika z podstawowymi elementami konstrukcji nowego, automatycznego niwelatora Zeiss Ni 2 produkcji zakładów w Oberkochen, z jego techniczną charakterystyką oraz z wynikami dokonanego badania¹. Podanie głównych zasad konstrukcji i danych technicznych omawianego niwelatora automatycznego — poprzedzające opis i wyniki badania — wydaje się celowym, ze względu na niedostateczną jego znajomość wśród ogółu geodetów i ubogą z tego zakresu literaturę w języku polskim.

Opis i dane techniczne instrumentu

Dwie zasadnicze cechy różnią niwelator Zeiss Ni 2 od niwelatorów dotychczas powszechnie stosowanych. Pierwszą cechą jest wyeliminowanie wysokoczułej libeli, jako wskaźnika poziomego ustawienia równoległej — w stosunku do osi libeli — osi celowej niwelatora. Drugą jego cechą jest zdolność samoczynnego (w pewnych granicach) ustawiania osi celowej w poziomie, przy niezupełnie poziomej lunecie instrumentu.

Schematycznie bieg promieni w lunecie niwelatora przedstawia rys. 22. Schemat a) daje obraz biegu promieni poziomych, biegnących od przedmiotu znajdującego nie w nieskończoności. Promienie te przecinają się w płaszczyźnie krzyża nitek w odległości ogniskowej (f) od płaszczyzny symetrii soczewki obiektywu. W ten sposób obraz punktu przedmiotu, odpowiadającego środkowemu promieniowi poziomemu, będzie widziany przez obserwatora w środku krzyża nitek.



Rys. 22

¹ Krótkie sprawozdanie na ten temat zostało podane przez autora w ramach Biuletynu IGiK (P.G. — listopad 1955).

Schemat b) przedstawia bieg środkowego promienia poziomego przy pochylonej o kąt α lunecie. W tym wypadku promień padnie na płaszczyznę krzyża nitek w odległości $f \cdot \alpha$ od jej środka i odczyt łąty, dokonany środkiem krzyża, będzie błędny na skutek niepokrywania się środkowego promienia poziomego z osią celową. Aby odczyt i w tym wypadku był właściwy, należałoby bieg promienia — na odcinku między obiektywem i krzyżem nitek — załamać, doprowadzając go do przecięcia z płaszczyzną krzyża, w jej punkcie środkowym.

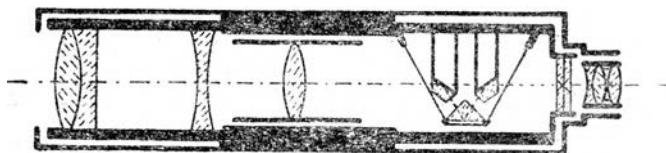
Właśnie tak zostało to rozwiązane w niwelatorze Zeissa (schemat c). Jak widzimy, zachodzić tu musi następująca zależność, przy założeniu małych wartości na kąty α i β .

$$\alpha \cdot f = \beta \cdot s$$

stąd:

$$\beta = \alpha \cdot \frac{f}{s} = \alpha \cdot k$$

Stąd wynika, że kąt załamania promienia powinien być w pewnym określonym i stałym stosunku do kąta pochylenia osi celowej. Automatyczne spełnienie tego warunku rozwiązuje zagadnienie automatycznego niwelatora.



Rys. 23

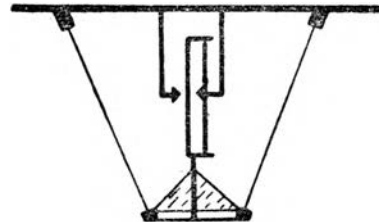
Na rys. 23 przedstawiony został schemat kompensatora zastosowanego w lunecie niwelatora Zeissa. Urządzenie to składa się z trzech pryzmatów; dwa z nich zmocowane są sztywno z korpusem lunety, a trzeci zawieszony jest swobodnie na 4 niciach. Dla nici tych zastosowano bardzo wysoki współczynnik bezpieczeństwa na zerwanie i odkształcenie, co daje gwarancję trwałości urządzenia (obciążenie dopuszczalne — 2 kg, obciążenie rzeczywiste — 5 g). Środkowy pryzmat posiada swobodę ruchu w płaszczyźnie zawierającej oś celową niwelatora. Przy wychyleniu lunety z poziomu, pryzmat środkowy zostaje skręcony w stosunku do pryzmatów skrajnych, zmieniając bieg promienia. Uzyskane tą drogą przesunięcie promienia kompensuje błąd wynikły z pochylenia lunety. Odpowiada to sytuacji przedstawionej na rys. 22 c.

Bieg promienia poprzez układ pryzmatów pokazany został na rys. 23.

Konstrukcja kompensatora umożliwia automatyczne poziomowanie celowej przy maksymalnym wychyleniu lunety z poziomu o $\pm 12'$, a do

spoziomowania w tych granicach instrumentu służy okrągła libela pudełkowa o przewadze $\pm 10'$.

Dla tłumienia wahań pryzmatu środkowego użyto amortyzatora powietrznego (rys. 24), dzięki któremu już po upływie $\sim 0,5$ sek. następuje uspokojenie obrazu i możliwość dokonania odczytu na łacie.

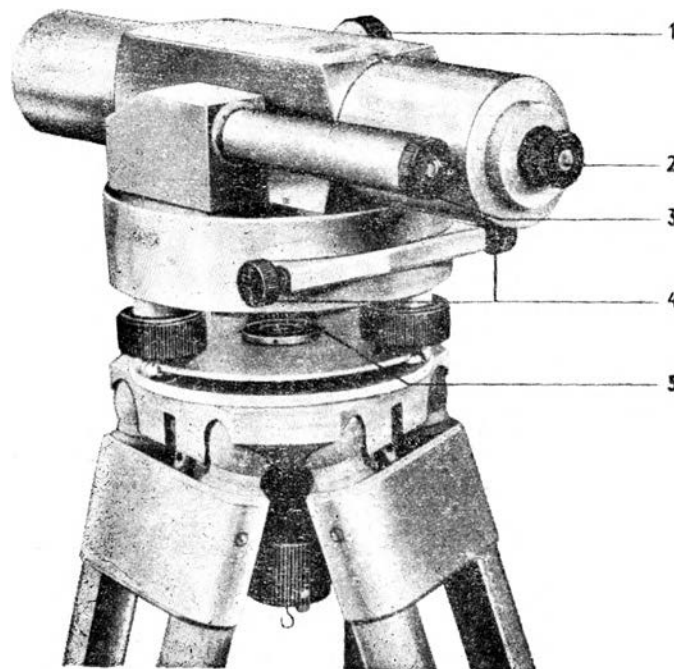


Rys. 24

Podamy teraz ogólny opis i dane techniczne niwelatora (rys. 25).

Luneta instrumentu posiada optykę tabelakowaną (prześwietloną) i powiększanie $32\times$. Średnica obiektywu wynosi 40 mm; długość lunety — 270 mm. Pole widzenia — $1,5^\circ$, co odpowiada 2,3 m na odległości 100 m.

Luneta instrumentu posiada dużą jasność i umożliwia, według danych katalogowych, szacowanie do milimetra z podziałki centymetrowej z od-



Rys. 25

ległości do 110 m oraz szacowanie do centymetra (z błędem $\pm 0,5$ cm) w granicach 400 m.

Na obiektyw nasuwana jest osłona przeciwsłoneczna.

Najkrótsza celowa — 3,3 m, może być zmniejszona do 1,8 m, jeżeli zastosować specjalną soczewkę nasadkową. Stałe dalmiercze lunety: $K = 100$, $c = 0$ dcm.

Koło poziome o średnicy 80 mm posiada podział stopniowy bądź gradowy. Lunetka odczytowa (3) o powiększeniu $16\times$ pozwala na odczyt z dokładnością $1'$ lub 1^c . Wysokość instrumentu — 130 mm.

W stosunku do dotychczas używanych niwelatorów, niwelator Zeissa, prócz zalety automatycznego poziomowania, ma następujące udoskonalenia.

Obraz widziany przez okular lunety (2) jest prosty (nie odwrócony). Z tego względu do wyposażenia niwelatora powinny należeć też łat y o opisie nieodwróconym (łat y takie, trzech rodzaj i, są już produkowane przez tę samą firmę), gdyż użycie łat dotychczas stosowanych utrudnia nieco odczyt.

Soczewka ogniskująca lunety, dzięki specjalnemu urządzeniu śruby ogniskującej (1), posiada ruch makro i mikro, co ułatwia i przyspiesza uzyskanie maksymalnej ostrości obrazu.

Niwelator nie posiada śruby zaciskowej, którą zastępuje odpowiednio dobrana siła tarcia przy ruchu obrotowym lunety. Obserwator ustawia z gruba lunetę w żądanym kierunku, pokonując wspomnianą siłę tarcia. Dokładnego ustawienia na cel dokonuje przy pomocy ślimacznicy, która zastępuje z kolei dotychczas stosowaną śrubę leniwą i umożliwia powolny obrót lunety o pełne 360° . Dwie pokrętki (4) — z obu stron ślimacznicy — umożliwiają pracę dwiema rękami, co jest pewnym ułatwieniem dla obserwatora.

Konstruktorzy instrumentu umożliwili również zmianę orientacji koła poziomego (rejterację) przez obrót tarczy (5), umieszczonej pod spodarką.

Ze względu na automatyczne poziomowanie osi celowej — w granicach dokładności poziomowania instrumentu okrągłą libelą pudełkową, umieszczoną na spodarce — instrument nie posiada śruby elewacyjnej. Zyskuje on przez to na zwartości konstrukcji.

Składany statyw instrumentu posiada oryginalne zakończenie nóg (rys. 26), które pozwala na łatwiejsze wbijanie ich w ziemię oraz oryginalne przegubowe połączenie ich z głowicą.

Niwelator przechowywany jest w drewnianej skrzynce przy pionowym położeniu lunety. W położeniu tym ruchome części kompensatora zostają automatycznie unieruchomione (zaaretowane).

Dzięki wyeliminowaniu libeli oraz podwójnej osłonie wnętrza lunety, niwelator jest wielokrotnie mniej czuły na lokalne i krótkotrwałe zmiany temperatury. Fakt ten umożliwia pracę niwelatorem bez osłony parasolem przed bezpośrednią radiacją słoneczną.

Instrument, upraszczający znacznie technikę obserwacyjną, ma również bardzo prostą, sprowadzoną do minimum rektyfikację. W zakres rektyfikacji dokonywanej przez obserwatora wchodzi: a) rektyfikacja okrągłej libeli pudełkowej, b) rektyfikacja poziomości automatycznej osi celowej niwelatora.



Rys. 26

Zachowanie warunku poziomowości osi celowej — analogicznie jak w instrumentach libelowych — zostaje sprawdzone przez podwójną niwelację. Rektyfikacji dokonuje się przesuwem krzyża nitek, do czego służy tylko jedna śrubka rektyfikacyjna.

Plan badania polowego

Przystępując do badania polowego nowego i nie znanego instrumentu (mamy tu na myśli szczególnie określenie jego dokładności) należało wybrać odpowiednią technikę pomiaru, odpowiadającą klasie instrumentu. W oparciu o dane katalogowe, badania dokonano pod kątem sprawdzenia przydatności niwelatora Zeiss Ni 2 w niwelacji technicznej I klasy (instrukcja B VI, dopuszczalny błąd podwójnej niwelacji $\pm 7,5$ mm/km).

Plan badania polowego obejmował:

- a) rektyfikację instrumentu,
- b) wyznaczenie stałych dalmierza,
- c) badanie stałości osi celowej przy zmianie ogniskowania lunety,
- d) określenie średniego błędu podwójnej niwelacji.

Opis i wyniki badania

Badania, według przewidzianego programu, dokonane zostały przez pracowników Instytutu, inż. inż. Okseniuk i Wyrzykowskiego przy pomocy 2 pomiarowych, przydzielonych w ramach współpracy z Instytutem przez Warszawskie Okręgowe Przedsiębiorstwo Miernicze.

Badania, poza wymienionym programem — o których dalej będzie mowa — przeprowadziła grupa czterech studentów Politechniki Warszawskiej, będących na jednomiesięcznej praktyce w Instytucie.

Instrumentem badanym był niwelator Zeiss Ni 2 Nr 150 054.

Przejdziemy teraz do opisu poszczególnych punktów badania polowego.

Rektyfikacja instrumentu obejmowała okrągłą libelę pudełkową oraz regulację automatycznego poziomowania osi celowej. Poziomość osi celowej została sprawdzona przez dwukrotną niwelację; raz — ze środka przy celowych 30-metrowych, drugi raz — przy celowych 50 i 10 m (różnica celowych — 40 m). W wyniku sprawdzenia, automatyczna oś celowa została doprowadzona do położenia poziomego przez właściwe ustawienie krzyża nitek (służy do tego pionowa śrubka rektyfikacyjna). W przeciągu kilkunastu dni użytkowania niwelatora nie wymagała ona powtórnej rektyfikacji.

Wyznaczenia stałych dalmierza dokonano stosując zespół celowych 5, 10, 20, 40, 60, 80 i 100 m. Odległości od instrumentu do łąty mierzone były taśmą. W celu podniesienia dokładności wyznaczenia stałych, odczyty łąty dokonywano niezależnie dwukrotnie, a dla celowych 5 i 10 m stosowano podziałkę milimetrową, odczytując dziesiąte części milimetra. W wyniku wyrównania otrzymano wielkości: $K = 99.77 \pm 0.09$ oraz $c = + 7 \pm 1$ (cm). Wielkości te są odpowiednio bliskie danym katalogowym.

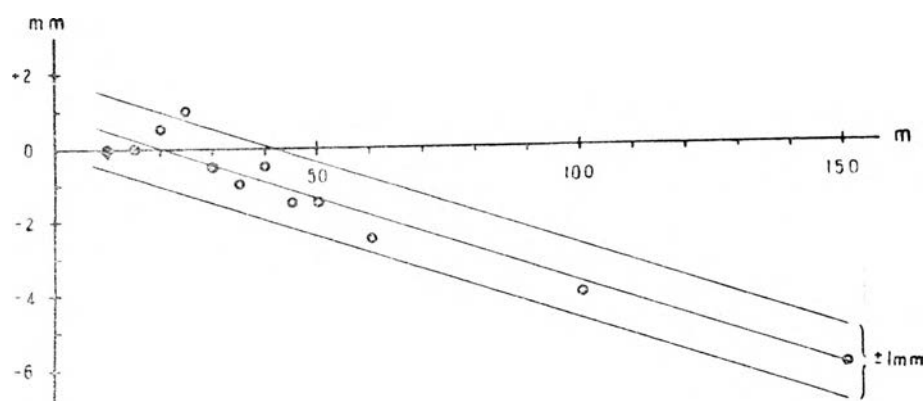
Badania stałości osi celowej przy zmianie ogniskowania lunety dokonano przez podwójne (ze środka i w przód) wyznaczenie różnic wysokości pomiędzy reperami odległymi od siebie o odległości: 10, 15, 20, 25, 30,

35, 40, 45, 50, 60, 100 i 150 m (na dwu ostatnich odległościach z braku reperów ustawiono żabki). Repery posadowione były na półkolu ($R = 30$ m), co umożliwiło zaniwelowanie ich ze środka z jednego, centrycznego stanowiska. Każde wyznaczenie różnic wysokości dokonane było niezależnie dwukrotnie.

Poniższa tabelka zawiera różnice przewyższeń otrzymane dla poszczególnych celowych z niwelacji w przód i ze środka.

Długość celowej w przód	m	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	100	150
Różnica przewyższeń	mm	0,0	0,0	+0,5	+1,0	-0,5	-1,0	-0,5	-1,5	-1,5	-2,5	-4,0	-6,0

Dla jaśniejszego zobrazowania przedstawimy te dane w postaci graficznej (rys. 27).



Rys. 27

Jeżeli teraz wypośrodkujemy prostą odpowiadającą teoretycznemu pochyleniu osi celowej i otoczmy ją pasem, odpowiadającym średniemu błędowi wyznaczenia różnic przewyższeń, to otrzymamy jasny obraz uzyskanych wyników badania. Przy założeniu średniego błędu równego ± 1 mm (co oczywiście dla celowych 100 i 150 m jest nierealne) stwierdzamy, że wszystkie wyznaczenia znajdują się wewnątrz pasa błędów (prócz jednego, które nieznacznie go przekracza).

Wziąwszy to pod uwagę, możemy stwierdzić, że oś celowa praktycznie nie wykazuje zmian położenia na skutek zmian ogniskowania, a stopniowy wzrost różnic dla celowych dłuższych od 40 m był spowodowany niedostateczną dla tych odległości rektyfikacją osi.

Tabela 1
Wykonawcy: J.O. i T.W.

Zestawienie wyników podwójnej niwelacji niwelatorem Zeiss Ni 2

Celowe — 50 m.

Nr ciągu	Ilość stanowisk	Długość ciągu	$\sqrt{L}$	Przeuższenie		„tam” + „z powrotu” (d)	Średnie przeuższenie z obu pomiarów	Przeuższenie z rzędnych reperów	Różnice w	Średni błąd na 1 km ciągu $\frac{w}{\sqrt{L}}$	dd	$\frac{dd}{L}$
				pomiar „tam”	pomiar „z powrotu”							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4	0.32	0.57	+ 261.0	— 264.5	— 3.5	+ 202.8	+ 264.0	+ 1.2	+ 2.11	12.25	38.28
2	6	0.55	0.74	— 599.5	+ 603.0	+ 3.5	— 601.3	— 602.0	— 0.7	— 0.95	12.25	22.27
3	6	0.46	0.68	— 222.5	+ 221.0	— 1.5	— 221.8	— 223.0	— 1.2	— 1.76	2.25	4.89
4	4	0.32	0.57	+ 142.5	— 142.5	0.0	+ 142.5	+ 144.2	+ 1.7	+ 2.98	0.00	0.00
5	20	1.69	1.30	+ 56.5	— 58.0	— 1.5	+ 57.3	+ 62.8	+ 5.5	+ 4.23	2.25	1.33
6	6	0.56	0.75	— 79.5	+ 81.0	+ 1.5	— 80.3	— 84.0	— 3.7	— 4.93	2.25	4.02
7	6	0.62	0.79	— 536.0	+ 543.5	+ 7.5	— 539.7	— 546.0	— 6.3	— 7.97	56.25	90.73
8	4	0.35	0.59	+ 984.5	— 985.0	— 0.5	+ 984.7	+ 984.0	— 0.7	— 1.19	0.25	0.71
	56	4.87	2.21	+ 7.0	— 1.5	+ 5.5	+ 4.2	0.0	— 4.2			162.23

$$m_0 = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{dd}{L} \right]} = \pm 2.25$$

$$m_1 = \frac{|w|}{\sqrt{L}} = -1.90$$

$$m_2 = \pm \frac{\left[\frac{w}{\sqrt{L}} \right]}{n} = \pm 3.26$$

Tabela 2
Zestawienie wyników podwójnej niwelacji niwelatorem Zeiss Ni 2
Wykonawcy: J.O. i T.W.

Celowe — 75 m

Nr ciągu	Ilość stanowisk	Długość ciągu	$\sqrt{L}$	Przewyższenie		„tam z powrotem” (d)	Średnie przewyższenie z obu pomiarów	Przewyższenie z rzędnych reperów	Różnice w	Średni błąd na 1 km ciągu $\frac{w}{\sqrt{L}}$	dd	$\frac{dd}{L}$
				pomiar „tam”	pomiar „z powrotem”							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4	0.59	0.76	+ 265.5	— 263.5	+ 2.0	+ 264.5	+ 264.0	— 0.5	— 0.66	+ 0.0	6.78
2	4	0.57	0.75	— 600.5	+ 604.0	+ 3.5	— 602.3	— 602.0	+ 0.3	+ 0.40	12.25	21.49
3	4	0.56	0.75	— 221.0	+ 226.0	+ 5.0	— 223.5	— 223.0	+ 0.5	+ 0.67	25.00	44.64
4	2	0.31	0.56	+ 142.0	— 142.0	0.0	+ 142.0	+ 144.2	+ 2.2	+ 3.93	0.00	0.00
5	12	1.76	1.33	+ 58.0	— 53.5	+ 4.5	+ 55.7	+ 62.8	+ 7.1	+ 5.34	20.25	11.51
6	4	0.54	0.73	— 80.0	+ 79.5	— 0.5	— 79.8	— 84.0	— 4.2	— 5.75	0.25	0.46
7	4	0.59	0.76	— 541.0	+ 544.5	+ 3.5	— 542.8	— 546.0	— 3.2	— 4.21	12.25	20.76
8	2	0.33	0.57	+ 984.0	— 982.5	+ 1.5	+ 983.2	+ 984.0	+ 0.8	+ 1.40	2.25	6.82
	36	5.25	2.29	+ 7.0	+ 12.5	+ 19.5	— 3.0	0.0	+ 3.0			112.46

$$m_0 = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{dd}{L} \right]} = \pm 1.88$$

$$m_1 = \frac{[w]}{\sqrt{[L]}} = + 1.31$$

$$m_2 = \frac{\left[\frac{w}{\sqrt{L}} \right]}{n} = + 2.79$$

Tabela 3

Rodzaj błędu	Wzór	Celowe	
		50 m	75 m
Średni błąd dwukrotnego pomiaru 1 km niwelacji odcinków, obliczony z różnic między pomiarami.	$\pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{dd}{L} \right]}$	± 2.2	± 1.9
Średni błąd dwukrotnego pomiaru 1 km niwelacji, obliczony z zamknięcia obwodnicy.	$\pm \frac{[w]}{\sqrt{[L]}}$	± 1.9	± 1.3
Przeciętny błąd dwukrotnego pomiaru 1 km niwelacji, obliczony z zamknięć odcinków między reperami.	$\pm \frac{\left[\frac{w}{L} \right]}{n}$	± 3.3	± 2.8
		(w milimetrach)	

Średni błąd podwójnej niwelacji uzyskano z pomiaru zamkniętej obwodnicy, o długości około 5 km, podzielonej na 8 odcinków między reperami niwelacji precyzyjnej i technicznej. Pomiar przeprowadzono zgodnie z techniką przyjętą dla niwelacji technicznej I klasy; pomiar „tam” i „z powrotem”, łąta stawiana na dwu trzpieniach żabki (dwukrotne wyznaczenie przewyższenia na stanowisku). Podwójnej niwelacji obwodnicy dokonano dwukrotnie: raz celowymi 50-metrowymi, drugi raz — celowymi 75-metrowymi. Celem drugiego pomiaru było eksperymentalne sprawdzenie możliwości wydłużenia celowych w stosunku do obecnie stosowanych celowych 50-metrowych. Za eksperymentem tym przemawiało duże powiększenie lunety oraz, podawany przez literaturę, mały błąd poziomowania osi celowej (± 0.3).

Trasa niwelacji położona była na peryferiach Warszawy, a część jej przebiegała ulicami o dużym nasileniu ruchu kołowego (tramwaje). Warunki terenowe nie były korzystne dla utrzymania zasady parzystej ilości stanowisk i jednakowej długości celowych.

Przy pomiarze korzystano z dwu dwumetrowych drewnianych łąt o podziale centymetrowym oraz z dwu żabek dwutrzpieniowych. Pomiar przeprowadzano w sierpniu w godzinach 8-14, bez stosowania osłony niwelatora parasolem mierniczym.

Chronometrażu poniechano ze względu na stosunkowo niewielki materiał pomiarowy, brak należytej wprawy zespołu pomiarowego i niedostosowanie łąt do prostego obrazu lunety niwelatora.

Zestawienie wyników podwójnej niwelacji niwelatorem Zeiss Ni 2, przy przeciętnej celowej 50 m, daje tabela 1, a przy celowej 75 m — tabela 2.

Zestawienie błędów obu pomiarów zawiera tabela 3.

Zestawienie wyników podwójnej niwelacji niwelatorem Zeiss Ni 2

Tabela 4

Wykonawcy: zespół praktykantów

Celowo — 50 m.

Nr ciągu	Ilość stanowisk	Długość ciągu	$\sqrt{L}$	Przewyższenie		„tam” + „z powrotem” (d)	Średnie przewyższenie z obu pomiarów	Przewyższenie z rzędnych reperów	Różnice w	Średni błąd na 1 km ciągu $\frac{w}{\sqrt{L}}$	dd	$\frac{dd}{L}$
				pomiar „tam”	pomiar „z powrotem”							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4	0.36	0.60	+ 264.5	— 260.5	+ 4.0	+ 262.5	+ 264.0	+ 1.5	+ 2.50	16.00	44.44
2	6	0.55	0.75	— 606.0	+ 602.0	— 4.0	— 604.0	— 602.0	+ 2.0	+ 2.67	16.00	28.57
3	4	0.40	0.63	— 223.0	+ 224.5	+ 1.5	— 223.8	— 223.0	+ 0.8	+ 1.27	2.25	5.62
4	4	0.41	0.64	+ 141.0	— 142.0	— 1.0	+ 141.5	+ 144.2	+ 2.7	+ 4.22	1.00	2.44
5	22	1.97	1.40	+ 58.5	— 60.5	— 2.0	+ 59.5	+ 62.8	+ 3.3	+ 2.35	4.00	2.03
6	4	0.43	0.66	— 81.5	+ 79.5	— 2.0	— 80.5	— 84.0	— 3.5	— 5.30	4.00	9.20
7	6	0.60	0.78	— 545.5	+ 541.5	— 4.0	— 543.5	— 546.0	— 2.5	— 3.20	16.00	26.67
8	4	0.40	0.63	+ 987.0	— 980.5	+ 6.5	+ 983.8	+ 984.0	+ 0.2	+ 0.32	42.25	105.62
	54	5.13	2.26	— 5.0	+ 4.0	— 1.0	— 4.5	0.0	+ 4.5			223.69

$$m_0 = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{dd}{L} \right]} = \pm 2.64$$

$$m_1 = \frac{[w]}{\sqrt{[L]}} = \pm 1.99$$

$$m_2 = \frac{1}{n} \left[\frac{w}{\sqrt{L}} \right] = \pm 2.73$$

Tabela 5

Zestawienie wyników podwójnej niwelacji niwelatorem technicznym PZO Ni 4

Wykonawcy: zespół praktykantów

Celowe — 50 m.

Nr ciągu	Ilość stanowisk	Długość ciągu	$\sqrt{L}$	Przewyższenie		„tam” + „z powrotem” (d)	Średnie przewyższenie z obu pomiarów	Przewyższenie z rzędnych reperów	Różnice w	Średni błąd na 1 km ciągu $\frac{w}{\sqrt{L}}$	$\frac{dd}{L}$	
				pomiar „tam”	pomiar „z powrotem”						12	13
1	4	0.36	0.60	+ 263.0	— 261.5	+ 1.5	+ 262.2	+ 264.0	+ 1.8	+ 3.00	2.25	6.25
2	6	0.56	0.75	— 599.5	+ 603.0	+ 3.5	— 601.2	— 602.0	— 0.8	— 1.06	12.25	21.87
3	4	0.40	0.63	— 222.0	+ 220.5	— 1.5	— 221.2	— 223.0	— 1.8	— 2.85	2.25	5.62
4	4	0.41	0.64	+ 144.0	— 140.5	+ 3.5	+ 142.2	+ 144.2	+ 2.0	+ 3.12	12.25	29.87
5	22	1.97	1.40	+ 56.0	— 70.0	— 14.0	+ 63.0	+ 62.8	— 0.2	— 0.14	196.00	99.49
6	4	0.43	0.66	— 80.5	+ 80.0	— 0.5	— 80.2	— 84.0	— 3.8	— 5.76	0.25	0.58
7	6	0.60	0.78	— 542.5	+ 542.5	0.0	— 542.5	— 546.0	— 3.5	— 4.49	0.00	0.00
8	4	0.40	0.63	+ 983.5	— 982.0	+ 1.5	+ 982.8	+ 984.0	+ 1.2	+ 1.90	2.25	5.62
54		5.13	2.26	+ 2.0	— 8.0	— 6.0	+ 5.1	0.0	— 5.1			169.30

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{dd}{L} \right]} = 2.30$$

$$m_1 = \frac{[w]}{\sqrt{[L]}} = -2.26$$

$$m_2 = \frac{\left[\frac{w}{\sqrt{L}} \right]}{n} = +2.79$$

Prócz pomiarów w planowanym zakresie — dla zwiększenia materiału polowego i możliwości porównania — grupa praktykantów dokonała jednoczesnej niwelacji dwoma niwelatorami, Zeiss Ni 2 i niwelatorem technicznym produkcji Polskich Zakładów Optycznych — PZO Ni 4. Niwelator ten posiada koincydencyjny system odczytowy libeli o przezwężu 20" oraz 25× powiększenie lunety.

Trasa niwelacji i repery nawiązania pozostały te same; długość celowych wynosiła przeciętnie 50 m.

Wyniki, otrzymane niwelatorem Zeiss Ni 2, zawiera tabela 4, a niwelatorem PZO Ni 4 — tabela 5.

Tabela 6 podaje zestawienie błędów obu pomiarów.

Tabela 6

Rodzaj błędu	Wzór	Zeiss Ni 2	PZO Ni 4
Średni błąd dwukrotnego pomiaru 1 km niwelacji odcinków, obliczony z różnic między pomiarami.	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{dd}{L} \right]}$	2.6	2.3
Średni błąd dwukrotnego pomiaru 1 km niwelacji, obliczony z zamknięcia obwodnicy.	$\frac{ w }{\sqrt{[L]}}$	± 2.0	± 2.3
Przeciętny błąd dwukrotnego pomiaru 1 km niwelacji, obliczony z zamknięć odcinków między reperami.	$\left[\frac{\frac{w}{\sqrt{L}}}{n} \right]$	2.7	± 2.8
(w milimetrach)			

Wnioski

Wnioski w pierwszym rzędzie dotyczyć będą uzyskiwanych dokładności pomiaru, ponieważ to kryterium najlepiej charakteryzuje wartość i przydatność badanego niwelatora. Omówimy je w kolejności, ujmując w poszczególne punkty.

A. Zestawiając średnie błędy podwójnego pomiaru 1 km niwelacji podane w tabeli 3 (wiersz 1 i 2) oraz w tabeli 6 (wiersz 1 i 2, kolumna 1) widzimy, że błędy te zawarte były w granicach $\pm 1,3$ — $\pm 2,6$ mm/km. Możemy wobec tego przyjąć, że uzyskano przeciętnie średni błąd pomiaru niwelatorem automatycznym Zeiss Ni 2 równy ± 2 mm/km. Wartość ta odpowiada zupełnie ściśle wartościom podawanym przez reklamy automatycznego niwelatora f-my Zeiss.

Błąd ± 2 mm/km jest wynikiem pomiaru w warunkach wcale nie sprzyjających uzyskaniu wysokich dokładności (duże nasłonecznienie,

trasa wzdłuż ulic o częściowo dużym ruchu kołowym, mała wprawa wykonawcy).

Porównując otrzymane błędy z wymaganiami instrukcji dla niwelacji technicznej I klasy (dopuszczalny błąd ± 7.5 mm/km) widzimy, iż nie przekraczają one $\frac{1}{3}$ wartości błędu dopuszczalnego.

B. Przeciętne błędy niwelacji, obliczone na podstawie zamknięć odcinków między reperami (tabela 3 — wiersz 3 oraz tabela 6 — wiersz 3) są wyraźnie większe od pozostałych błędów (stosunek $\sim 3:2$). Zjawisko to należy tłumaczyć wpływem błędów rzędnych reperów nawiazania, których dokładność nie zawsze była większa od dokładności pomiaru niwelacji niwelatorem Zeiss Ni 2. Wskazują na to podobne wartości błędów na poszczególnych odcinkach, uzyskiwane przy niezależnych pomiarach (tabela 1, 2, 4 i 5). Z tego względu wartość cyfrowa omawianego błędu nie obrazuje ściśle dokładności pomiaru.

C. Jak wynika z porównania podanego w tabeli 6 dokładność niwelacji automatycznym niwelatorem Zeiss Ni 2 i niwelatorem PZO Ni 4 z libelą koincydencyjną, przy stosowaniu celowych 50-metrowych, jest taka sama. Oczywiście jednak, że walory ekonomiczne — na skutek zwiększenia wydajności pomiaru — przemawiają za niwelatorem automatycznym. Stwierdzone to zostało wyraźnie podczas jednoczesnego pomiaru obu instrumentami.

D. Wspomnieliśmy już poprzednio, że pomiar celowymi 75-metrowymi miał charakter eksperymentalnego sprawdzenia możliwości stosowania wydłużonych celowych w niwelacji technicznej. Uzyskane wyniki (tabela 3) przedstawiają się bardzo korzystnie. Wszystkie błędy przy celowych 75-metrowych uzyskano niespodziewanie niższe, niż przy celowych 50-metrowych.

Fakt ten, przynajmniej częściowo, należy tłumaczyć dodatnim wpływem zmniejszenia ilości stanowisk na kilometr niwelacji, który przeważał ujemny wpływ zwiększenia się błędu pojedynczego odczytu. Bliżej można to wyjaśnić w sposób następujący: W wypadku niwelatora o dużej jasności i dużym powiększeniu lunety oraz małym błędzie poziomowania celowej — przy dostatecznie krótkich celowych — dominującym staje się błąd odczytu, wynikły z interpolacji do 1 mm z podziałki centymetrowej łaty. Dla przykładu podamy, że błąd odczytu, wynikły z błędu poziomowania (0."3), wynosi dla niwelatora automatycznego — przy celowej 60 m — jedynie 0.1 mm. Praktycznie więc, zarówno przy celowej 50 m, jak i 75 m znaczną rolę odgrywa błąd samego odczytu do 1 mm.

W celu zorientowania się jak wielki wpływ na dokładność niwelacji ma błąd odczytu do 1 mm i jaką granicę dokładności stawia ten błąd — przy wyeliminowaniu wszystkich innych źródeł błędu — przeprowadzimy analizę matematyczną.

Analizy dokonamy przy założeniu, że błąd szacowania 1 mm z centymetrowej podziałki łąty wynosi ± 0.5 mm.

Wprowadzimy następujące oznaczenia:

Ow — odczyt łąty wstecz na wyższym trzpieniu

$O'w$ — „ „ w przód „ „ „

$O'n$ — „ „ „ „ niższym „

On — „ „ wstecz „ „ „

h' — przewyższenie na stanowisku, wyznaczone z pomiaru „tam”

h — przewyższenie na stanowisku, wyznaczone z podwójnego pomiaru („tam” i „z powrotem”)

μOw , $\mu O'w$, $\mu O'n$, μOn , $\mu h'$, μh — błędy średnie uprzednio oznaczonych wielkości.

Operując przyjętymi oznaczeniami, przewyższenie stanowiska, z pojedynczego pomiaru („tam”), możemy przedstawić jako:

$$h' = \frac{(Ow - O'w) + (On - O'n)}{2} = \frac{1}{2} (Ow - O'w + On - O'n)$$

Średni błąd wyznaczenia przewyższenia będzie równy

$$\mu h' = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\mu^2 Ow + \mu^2 O'w + \mu^2 On + \mu^2 O'n}$$

Przyjmując:

$$\mu Ow = \mu O'w = \mu On = \mu O'n = \mu = \pm 0.5 \text{ mm}$$

mamy:

$$\mu h' = \frac{1}{2} \sqrt{4\mu^2} = \mu = \pm 0.5 \text{ mm}$$

Zakładając celowe długości 50 m, mamy na 1 km niwelacji 10 stanowisk ($n = 10$), a przy celowych o długości 75 m — średnio 6,7 stanowiska ($n = 6,7$).

Wobec tego, błąd kilometra niwelacji pojedynczej („tam”) przy celowych 50-metrowych będzie wynosił

$$\mu'_{(50)} = \mu \cdot \sqrt{n} = \pm 0.5 \cdot \sqrt{10} \text{ mm} = \pm 1.6 \text{ mm}$$

a dla celowych 75-metrowych

$$\mu'_{(75)} = \pm 0.5 \sqrt{6.7} \text{ mm} = \pm 1.3 \text{ mm}$$

Dla niwelacji podwójnej (pomiar „tam” i „z powrotem”) wielkości te będą odpowiednio równe

$$\mu_{(50)} = \frac{\mu'_{(50)}}{\sqrt{2}} = \pm 1.1 \text{ mm}$$

$$\mu_{(75)} = \frac{\mu'_{(75)}}{\sqrt{2}} = \pm 0.9 \text{ mm}$$

Jak widzimy, przy stosowaniu łąty o podziale centymetrowym i odczytach dokonywanych bez użycia mikrometru, nie będziemy w stanie — z winy błędu szacunku do 1 mm — uzyskać dokładności większej niż ± 1 mm/km.

Wykazana przez analizę korzyść niwelacji celowymi 75 m w stosunku do celowych 50 m (błąd mniejszy o ± 0.2 mm/km) nie wydaje się realna, ze względu na pewne zwiększenie się błędu odczytu przy celowej 75 m.

Częściowo, przyczyny mniejszych błędów, uzyskanych przy celowych 75-metrowych, doszukiwać się należy w większej wprawie obserwatora, gdyż, jako pierwszy, dokonano pomiar celowymi 50-metrowymi.

Fakt ten nie zaprzeczy jednak stwierdzeniu, że pracując niwelatorem Zeiss Ni 2 — realne jest wydłużenie celowej do 75-metrów i uzyskiwanie dokładności rzędu ± 2 mm/km, co ma swoje znaczne walory ekonomiczne.

Prócz wysokiej dokładności pomiaru, niwelator automatyczny pozwala na znaczne zwiększenie wydajności pracy. Tempo pracy obserwatora jest na tyle wysokie, że protokółant — zapisujący odczyty oraz dokonujący bieżących i kontrolnych obliczeń — jest stale zatrudniony, co prawie równoznaczne jest z osiągnięciem maksymalnej wydajności zespołu.

Wzrok obserwatora ulega mniejszemu zmęczeniu na skutek wybitnego skrócenia czasu pracy układem optycznym. Odpada bowiem żmudna czynność „zgrywania” obrazów obu końców pęcherzyka libeli, a pozostaje jedynie naprowadzenie krzyża nitek na obraz łąty i dokonanie odczytu.

Sprawności pomiaru sprzyja też duża jasność i ostrość widzianego obrazu.

Dużą zaletą automatycznego niwelatora Zeiss Ni 2 jest możliwość przeprowadzania pomiaru bez uciekania się do osłony instrumentu parasolem przy dużym nasłonecznieniu. Pociąga to za sobą możliwość redukcji składu zespołu.

Ogólnie, trzeba zwrócić uwagę na dużą łatwość obsługi niwelatora. Praca obserwatora ogranicza się do:

- 1) ustawienia statywu,
- 2) przybliżonego spoziomowania instrumentu przy pomocy libeli pudełkowej i śrub nastawniczych,
- 3) ustawienia lunety w kierunku łąty (ruch gruby),
- 4) skorygowania ostrości obrazu,
- 5) ustawienia obrazu łąty w środku krzyża nitek (ruch leniwy),
- 6) odczytu na łącie.

Aczkolwiek tego rodzaju eksperymenty przy użyciu niwelatora automatycznego nie były robione, należy sądzić, że da on ogromne podniesienie wydajności wszędzie tam, gdzie z jednego stanowiska dokonuje się wielokrotnych odczytów łąt (niwelacja punktami rozproszonymi, pomiary specjalne itp). W tym wypadku bowiem uwypuklona zostaje zaleta

automatycznego poziomowania celowej. Raz tylko na stanowisku w przybliżeniu spoziomowany instrument pozwala na wielokrotne odczytywanie łąt, ustawionych w różnych kierunkach, bez każdorazowego korygowania poziomowości celowej, co ma miejsce w niwelatorach nieautomatycznych. Istnieje też w tym wypadku możliwość użycia większej ilości łąt na skutek zwiększenia tempa pracy obserwatora.

Ujemną cechą badanego niwelatora automatycznego jest jego wrażliwość na wstrząsy w momencie obserwacji. Wyraża się to znacznymi wahaniami obrazu w polu widzenia lunety (wahania swobodnie zawieszonego pryzmatu kompensatora), a najczęstszym ich powodem na terenie miasta są przejeżdżające samochody i tramwaje.

Konstrukcja statywu również posiada pewne wady, zmniejszające jego sztywność (chwiejne prowadzenie części wysuwanej i nietrwałe połączenie głowicy z nogami), które jednak — z uwagi na automatyczność poziomowania celowej — nie mają tak wielkiego znaczenia, jak w niwelatorach nieautomatycznych.

W wyniku przeprowadzonych badań polowych i uzyskanych rezultatów, możemy uznać automatyczny niwelator Zeiss Ni 2 za bardzo korzystny przy niwelacji technicznej i przy wszystkich innych pomiarach odpowiadających jej dokładnością, a to ze względu na dużą dokładność, jak i znaczne podniesienie wydajności niwelacji.

Na zakończenie dodamy, że rola automatycznego niwelatora nie ogranicza się dokładnością niwelacji technicznej. Po nasadzeniu na niwelator Ni 2 specjalnej nasadki z płytką płaskorównoległą i bębnem mikrometrycznym, spełnia on rolę niwelatora precyzyjnego, a wydajnością oczywiście przewyższa precyzyjne niwelatory nieautomatyczne.

Na drodze takich i ulepszonych rozwiązań oczekiwać można dalszego rozwoju niwelatorów, podniesienia ich dokładności i sprawności.

LITERATURA

- [1] *Drodofsky M.* Neue Nivellierinstrumente. Z. Vermessungsw., Stuttgart 76 (1951).
- [2] *Drodofsky M.* Das Zeiss — Nivellier Ni 2. Z. Vermessungsw., Nr. 3/1954.
- [3] *Förstner G.* Neuartige Nivelliere der Firma Zeiss-Opton, Oberkochen, Württemberg. Geodätische Woche, Köln 1950.
- [4] *Förstner G.* Wirtschaftliches Nivellieren. Allg. Vermess. Nachr. Nr 7/1953.
- [5] *Gotthardt E.* Versuchsmessungen mit einem Planplattenmikrometer ausgerüsteten Nivellierinstrument Ni 2 der Firma Zeiss-Opton. Allg. Vermess. Nachr. Nr. 11/1953.
- [6] *Herrmann K.* Nivellement mit Zeiss — Opton — Ni 2. Allg. Vermess. Nachr. Nr 1/1953.
- [7] *Kneissl M.* Nivellier Zeiss — Opton Ni 2 mit automatischer Horizontierung. Leistungsfähigkeit und Genauigkeit. Allg. Vermess. Nachr. Nr 7/1952.
- [8] *Kneissl M.* Die Einspielgenauigkeit des Kompensators im Zeiss — Nivellier Ni 2. Z. Vermessungsw. Nr 11/1954.
- [9] *Kneissl M.* Die Einspielgenauigkeit des Kompensators im Zeiss — Nivellier Nr 2. Z. Vermessungsw. Nr 5/1955.
- [10] *Schneider W.* Über die Entwicklung neuzeitlicher Nivelliere, insbesondere solcher mit automatischer Horizontierung. Vermess. tech. Rdsch. Nr 8-9/1953.
- [11] *Schneider W.* Experiences and progress in self-levelling instruments. Bull. géod. Nr 36/1955.
- [12] *Warchalowski E.* Niwelacja geometryczna. Warszawa 1954.

ТАДЕУШ ВЫЖИКОВСКИ

АВТОМАТИЧЕСКИЙ НИВЕЛИР ЦЕЙСС №2 (Описание и результаты полевых испытаний)

Резюме

Описаны основные конструкционные элементы автоматического нивелира Цейсс №2, изготовляемого заводом в Оберкохен и его техническую характеристику а также результаты полевых испытаний.

Исследование отклонений в положении визирной оси при перемене фокусировки (разные длины визирной линии) не обнаружило отклонений превосходящих точность отсчета, при расстояниях меньше разности длин визирных линий (40 м.), применяемых при проверке автоматической визирной оси.

Для определения средней погрешности двойной нивелировки, про- нивелирован дважды сомкнутый ход длиной 5 км., разделен на 8 участков между реперами прецизионной и технической нивелировки. Длины визирных линий были равны 50 и 75 м. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Полученные результаты свидетельствуют в некоторой степени о положительном — в этом случае — влиянии уменьшения числа штативов на 1 км. хода, путем увеличения длин визирных линий. Частичный источник этого явления — сравнительно большая — относительно других погрешностей — погрешность отсчета по рейке (интерполировано миллиметры на рейке с сантиметровым делением).

Анализ погрешности на 1 км хода, с учетом только погрешности отсчета по рейке, которую погрешность для единичного отсчета — так для длины визирной линии 50 м. как и 75 м. — приняли $\pm 0,5$ мм. дает следующие результаты:

- а) для визирной линии длиной 50 м. — средняя погрешность на 1 км. хода $\pm 1,1$ мм.,
- б) для визирной линии длиной 75 м. — средняя погрешность на 1 км. хода $\pm 0,9$ мм.

Испытания доказали высокую исправность нивелира. Получено выдающееся сокращение времени нужного для приведения визирной оси в горизонтальное положение. Глаз наблюдателя менее утомляется благодаря значительному сокращению работы с оптической системой (устраняется действие установки коинциденционного уровня, остается лишь действие отсчета по рейке).

Нивелир очень чувствителен на сотрясения происходящие в момент наблюдений.

Точность полученная автоматическим нивелиром Цейсс Ni 2 (без оптического микрометра) определяет его пригодность ко всем работам в области технической нивелировки.

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

ZEISS NI 2 AUTOMATIC LEVEL

(A description and results of a field examination)

S u m m a r y

The basic elements of construction of the Zeiss Ni 2 automatic level, produced by the factory at Oberkochen, its technical characteristics and the results of a field examination are discussed.

The examination of the changes in the position of the axis of sight as focusing was changed (sight lines of varying lengths) did not show deviations beyond the accuracy of reading, the distances being shorter than the difference between the sight lines (40 m) for the automatic adjustment of the axis of sight.

In order to determine the mean error of double levelling two levellings were made of a closed perimeter 5 km long, divided into eight segments between the benchmarks of precise and technical levelling. The levellings were made with sight lines of 50 and 75 m. The results obtained are presented in the table 3.

The results obtained show to some extent a favourable — in this case — influence of the reduction of the number of stations per 1 km of levelling by the extension of the sight lines. This phenomenon may be due to the relatively great — in comparison with other errors — errors in staff reading (interpolation to 1 mm from a rod with the centimetre scale).

If we take into account only the error in staff reading, which error was accepted as equal to 0,5 mm in a single reading for both 50 m and 75 m sight lines, the analysis of the error of 1 km of levelling gives the following results:

a) for 50 m sight lines the mean error of 1 km of levelling amounts to ± 1.1 mm.

b) for 75 m sight lines the mean error of 1 km of levelling amounts to ± 0.9 mm.

The examination showed high efficacy of the level. Thanks to its use the time needed to level the sight line each time was considerably re-

duced. The eyes of the observer get less strained as well owing to the considerable reduction of time needed to operate the optical system (no adjusting of the level tube with coincidence prism, only staff reading is to be done).

A disadvantage of the level is its sensitivity to shocks during observations.

The accuracy obtained by the Zeiss Ni 2 automatic level (with no optical micrometer) qualify it for any work in the field of technical levelling.