

## STABILNOŚĆ PARAMETRÓW NIWELATORÓW KODOWYCH DiNi 12

### *Streszczenie*

Prace badawcze związane z badaniem precyzyjnych niwelatorów samopoziomujących rozpoczęto w IGWiAG-PW w 1973 roku. Badania prowadzono w laboratoriach Instytutu według rozszerzonego testu badań standardowych.

Wyniki badań pojedynczego egzemplarza precyzyjnego niwelatora kodowego DiNi 12 prezentowano w marcu 2001 na V Konferencji Geodezji Inżynierskiej. Niniejsze opracowanie zawiera wyniki wielokrotnych badań, wykonanych w okresie 2000-2005, tych samych niwelatorów DiNi 12. W tym czasie zbadano kilka razy 4 egzemplarze precyzyjnych niwelatorów kodowych w odstępach kilku miesięcznych. Zaprezentowano w nim zmiany parametrów dokładnościowych badanych niwelatorów w różnych okresach ich eksploatacji.

### *Summary*

Investigations connected with precise automated levels in IGGA have started since 1973. Tests have been providing in laboratory based on comprehensive standard test procedure.

The paper presents results from repeated tests performed from 2001 to 2005 for four models levels DiNi 12. Each level has been tested several times in several months intervals. Results are connected with the changes of accuracy parameters of levels caused their operation and age of exploitation.

### 1. Wprowadzenie

Dokładność pomiaru różnic przewyższeń  $\Delta h$  w precyzyjnych sieciach wysokościowych musi być bardzo wysoka. Czynnikiem, który może mieć znaczący wpływ na dokładność wyznaczonej różnicy wysokości jest m.in. stosowany niwelator. Z tego powodu przed rozpoczęciem precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych każdy instrument należy poddać testowi badań standardowych. Jeśli instrument spełnia kryteria tego testu kwalifikuje się go do pomiarów niwelacyjnych najwyższej dokładności. Poniżej zaprezentowano rezultaty badań 4 egzemplarzy niwelatorów, które badano kilka razy w okresie 2000-2005.

## 2. Program i terminy badań niwelatorów DiNi 12

### 2.1. Standardowy program badań niwelatorów DiNi 12 obejmował:

- sprawdzenie prawidłowego działania śrub i pokręteł instrumentu,
- badanie lunety:
  - a) sprawdzenie położenia krzyża kresek,
  - b) badanie wpływu ogniskowania na położenie osi celowej,
  - c) badanie wpływu temperatury na położenie osi celowej,
  - d) sprawdzenie stałych dalmierza kreskowego,
- badanie układu poziomowania:
  - a) sprawdzenie i rektyfikacja libelli pudełkowej,
  - b) wyznaczenie zakresu działania kompensatora,
  - c) określenie błędów systematycznych kompensatora,
  - d) wyznaczenie średniego błędu przypadkowego obserwacji,
- badanie zmian nachylenia osi celowej,
- laboratoryjne określenie średniego błędu pomiaru 1km niwelacji.

### 2.2. Okresy prowadzonych badań

Badania poszczególnych egzemplarzy niwelatorów prowadzono w terminach zamieszczonych w Tabl. 1.

Tablica 1

Nr niwelatora	Daty badań						
	III'2000	X'2000	I'2001	I'2002	I'2003	III'2004	V'2005
320087	III'2000	X'2000	I'2001	I'2002	I'2003	III'2004	V'2005
320230			I'2001	I'2002	I'2003	III'2004	V'2005
700410				I'2002	I'2003	III'2004	V'2005
700996					I'2003	III'2004	V'2005

## 3. Analiza parametrów niwelatorów

### 3.1. Badanie zmian położenia osi celowej podczas ogniskowania

Badanie zmian położenia osi celowej wskutek przesunięcia soczewki ogniskującej wykonano wg [1]. Badanie to przeprowadzone było na bazie laboratoryjnej [4] w Gmachu Głównym Politechniki Warszawskiej. Wielkości  $\Delta i$  charakteryzujące błędy wywołane przesunięciem soczewki ogniskującej mieściły się w granicach  $-0.09 \text{ mm} \leq \Delta i \leq +0.17 \text{ mm}$  dla ogniskowania w zakresie 5÷45m. Maksymalna ich wartość równa +0.17 mm wystąpiła jednokrotnie dla celowej 25 m.

96% tych błędów mieści się w przedziale  $|\Delta i| \leq 0.10$  mm. Błędy te powinny spełniać kryterium  $|\Delta i| \leq 0.20$  mm.

Maksymalna wartość różnic  $|\Delta_{i+1} - \Delta_i|/10m$  nie przekraczała wartości  $-0.21$ mm. Wielkość ta wystąpiła dla odległości zawartej w przedziale 25-35m. Zakładając, że dokładność trasowania wynosi  $\pm 0.5$  m otrzymuje się, że maksymalny wpływ zmiany położenia soczewki ogniskującej na stanowisku ekscentrycznym w granicach trasowania wyniesie 0.01 mm. Zatem wpływ ten jest mniejszy od błędu odczytu z łąty. W badanym okresie nie stwierdzono tendencji do zwiększania się tego błędu wraz z upływem czasu użytkowania poszczególnych egzemplarzy niwelatorów.

### 3.2. Wpływ zmian temperatury na położenie osi celowej

Badanie zmian długookresowych wykonano wg [3] w laboratoriach IGWiAG. Ustawiano łątę w odległości 3.35 metra od instrumentu i co kilkanaście godzin w temperaturze od  $11.5^\circ\text{C}$  do  $33.0^\circ\text{C}$  wykonywano piętnastokrotnie odczyty z łąty, a następnie wyniki uśredniano. Zmiany nachylenia osi celowej do płaszczyzny horyzontu wywołane zmianą temperatury wyznaczono ze wzoru :

$$K_{\text{śr}} = \frac{1}{n} \sum \left( \frac{\Delta h}{\Delta t} \frac{\rho}{d} \right) \quad \text{gdzie}$$

$n$  - liczba wyznaczeń  $K_{\text{śr}}$  (dla 4 etapów  $n=3$ ),

$\Delta h$  - różnica pomiędzy średnimi odczytami łąty w kolejnych etapach badania,

$\Delta t$  - różnica temperatur pomiędzy kolejnymi etapami badań,

$d$  - odległość łąty od instrumentu.

Współczynniki  $K_{\text{śr}}$  poszczególnych niwelatorów zamieszczono w Tabl.2. Spełniają one kryterium dokładności  $K_{\text{śr}} \leq \pm 0''.50/1^\circ\text{C}$ .

Tablica 2

Data pomiaru	III'2000	X'2000	I'2001	I'2002	III'2004
Nr niwelatora	Współczynnik $K_{\text{śr}}$ ["]				
320087	-0.11	-0.26	-0.15	-0.08	0.08
320230			0.23	0.15	0.26
700410				0.24	0.16
700996					0.29

Zmiany  $\Delta K$  tego współczynnika dla danego niwelatora zawierały się w granicach  $-0.15''/1^\circ\text{C} \leq \Delta K \leq 0.16''/1^\circ\text{C}$  i mieściły się w kryterium dotyczącym tych zmian wynoszącym  $\Delta K_{\text{max}} \leq 1''/1^\circ\text{C}$ . Ogólnie należy stwierdzić, że współczynnik ten

dla danego egzemplarza niwelatora w badanym okresie zachowywał swoją wartość, a zatem wszystkie instrumenty były kwalifikowane do pomiarów niwelacyjnych o najwyższej dokładności.

### 3.3. Sprawdzenie stałych dalmierza kreskowego

Stałą dodawania  $c$  i stałą mnożenia  $k$  wyznaczono jednokrotnie dla każdego niwelatora w warunkach laboratoryjnych na bazach o długościach boków: 5; 10; 15; 20; 25; 30 i 35 metrów. Otrzymano wg [1] najprawdopodobniejsze wartości stałej dodawania  $c$  i stałej mnożenia  $k$ , które zamieszczono w Tabl.3.

Tablica 3

Nr niwelatora	Stałe dalm. kresk.		$\Delta d_i$ w [mm] dla odległości							
	k	c	5	10	15	20	25	30	35m	
320087	99.99	0.004	-1	1	5	5	-9	10	29	
320230	100.01	0.002	3	0	6	9	10	-9	15	
700410	100.01	0.005	3	4	-8	13	9	-12	17	
700996	99.99	0.001	2	-4	0	-5	11	7	-8	

Przy badaniu tym sprawdzono także wewnętrzny dalmierz elektroniczny niwelatora DiNi 12. Porównano rezultaty pomiaru odległości od łąty otrzymane dalmierzem elektronicznym niwelatora  $d_{niw}$  z tymi samymi odległościami pomierzonymi precyzyjnymi tachimetrami elektronicznymi  $d_{tach}$ . Porównanie wykonano oddzielnie dla odległości  $d= 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35$  m. Nie stwierdzono istotnych rozbieżności  $\Delta d_i=d_{niw}-d_{tach}$  między dokładnością pomiaru elektronicznego odległości podaną w [9], a wykonanymi w/w porównaniami. Różnice te wynosiły od 1mm dla odległości 5 m do 29 mm dla odległości 35 m i mieściły się w kryterium równym  $\pm 50$  mm.

### 3.4. Wyznaczenie zakresu działania kompensatora

Układ poziomowania, który doprowadza oś celową do położenia poziomego jest jedną z najważniejszych części precyzyjnych niwelatorów samopoziomujących. Zatem dokładne poznanie parametrów kompensatora, jego zakresu pracy, błędów systematycznych jest nieodzowne.

Zakres ( $z_i$ ) działania kompensatora wg [2] został wyznaczony dla wychyleń pionowej osi niwelatora w kierunku równoległym (w przód-P i w tył-T) oraz prostopadłym (w lewo-L i w prawo-Pr) do osi celowej. Jego wartość dla poszczególnych niwelatorów wynosi:

320087	od 10'	do 22',
320230	od 17'	do 20',
700410	od 18'	do 20',
700996	od 16'	do 20',

Spełniają one kryterium  $z_{\min} \geq 8'$ . Należy tu podkreślić, że i tak nie wolno wykorzystywać przy pomiarze pełnego zakresu pracy kompensatora lecz korzystać z zakresu około 2' co odpowiada dobrze spoziomowanemu instrumentowi.

Dla niwelatora o nr 320087 zauważono tendencję do zmniejszania się zakresu pracy kompensatora z upływem czasu jego użytkowania.

### 3.5. Błędy systematyczne kompensatora.

Błędy systematyczne kompensatora wyznaczono wg [2] przy pomocy egzaminatora libel, z obserwacji łąty umieszczonej w odległości około 13.5 metra od instrumentu. Błędy te wyznaczone oddzielnie dla kolejnych 2-minutowych wychyleń pionowej osi niwelatora, w przód i w tył oraz w prawo i lewo względem osi celowej, w zakresie jego pracy  $\alpha \leq 4'$  mieszczą się w przedziałach przedstawionych w Tabl.4. Dla tych więc wychyleń, we wszystkich kierunkach, zawierają się w granicach od  $-0.46''$  do  $0.46''$  i spełniają kryterium  $|i| \leq 0''.50$ . Pomimo tego należy przestrzegać starannego poziomowania niwelatora według zrektyfikowanej libeli pudełkowej, a zwłaszcza należy położyć nacisk na to aby pęcherzyk libeli nie wykraczał w płaszczyźnie celowania poza okrąg wytrawiony na ampułce libeli pudełkowej.

Tablica 4

Nr niwelatora	Błędy systematyczne kompensatora i'' dla wychyleń $\alpha \leq 4'$ wyznaczone w okresie						
	III'2000	X'2000	I'2001	I'2002	I'2003	III'2004	V'2005
320087	-0.11÷0.12	-0.22÷0.28	-0.31÷0.02	-0.41÷-0.02	-0.35÷-0.04	-0.44÷-0.16	-0.29÷-0.07
320230			-0.29÷0.34	-0.26÷0.30	-0.32÷0.30	-0.22÷0.46	-0.20÷0.34
700410				-0.26÷0.21	-0.30÷0.20	-0.40÷0.17	-0.33÷0.19
700996					-0.35÷0.34	-0.46÷0.44	-0.39÷0.39

Maksymalne zaś błędy systematyczne  $i_{\max}$  wyznaczone w pełnym zakresie pracy kompensatora wynosiły dla niwelatorów:

320087	od	-2.89''	do	+1.60'',
320230	od	-1.94''	do	+1.79'',
700410	od	-1.70''	do	+1.69'',
700996	od	-1.72''	do	+2.01''.

Z powyższego jeszcze raz jasno wynika, że dla wychyleń pionowej osi niwelatora większych niż 4' (zazwyczaj poza granice okręgu wytrawionego na ampułce libeli pudełkowej) błędy te rosną. Dlatego należy przestrzegać starannego poziomowania niwelatora według zrektyfikowanej libeli pudełkowej, a zwłaszcza

położyć nacisk na to, aby pęcherzyk libeli pudełkowej nie wykraczał w płaszczyźnie celowania poza w/w okrąg na ampułce libeli. W badanym okresie nie zauważono tendencji do zwiększania się błędów systematycznych kompensatora dla wychyleń  $\alpha \leq 4'$  ani ich maksymalnych wartości.

### 3.6. Wyznaczenie średniego błędu przypadkowego obserwacji

Średni błąd przypadkowy obserwacji  $m_u$  składa się z błędu odczytu łąty, czułości kompensatora i wpływu środowiska naturalnego. Wyznaczono go poprzez dokonywanie każdorazowo po 100 odczytów na łacie ustawionej kolejno w odległościach 5,10,15,20,25,30,35, 40 i 45 metrów od niwelatora. W mierze liniowej mieścił się on w przedziale  $\pm 0.008$  mm ÷  $\pm 0.069$  mm i przyjmował dla poszczególnych niwelatorów średnio wartość:

320087	$\pm 0.22'' \leq m_u \leq \pm 0.28''$ ,
320230	$\pm 0.20'' \leq m_u \leq \pm 0.27''$ ,
700410	$\pm 0.21'' \leq m_u \leq \pm 0.26''$ ,
700996	$\pm 0.23'' \leq m_u \leq \pm 0.25''$ ,

W badanym okresie nie stwierdzono żadnych tendencji do zwiększania się tego błędu wraz z upływem czasu użytkowania poszczególnych niwelatorów.

### 3.7. Badanie zmian nachylenia osi celowej

Dla określenia wartości  $\sigma$  wykorzystano procedury pomiarowe zainstalowane w niwelatorze [6], które dają możliwość określenia zmiany  $\sigma$ . Kąt ten należy wyznaczać wyjątkowo starannie. Wprawdzie błędy spowodowane niedokładną znajomością  $\sigma$  częściowo eliminują się przy równych, w granicach  $\pm 0.5$ m, długościach celowych na stanowiskach niwelacyjnych, to w przypadku nierównych ich długości będą obarczone niedokładną znajomością  $\sigma$ .

Dla poszczególnych niwelatorów w badanym okresie mieścił się on w przedziale:

320087	$-2.1'' \leq \sigma \leq 10.1''$
320230	$-15.1'' \leq \sigma \leq -6.6''$
700410	$-7.1'' \leq \sigma \leq 5.0''$
700996	$2.3'' \leq \sigma \leq 7.0''$

Zaletą dobrego instrumentu powinna być niewielka i stała wartość kąta  $\sigma$ . Badane niwelatory tę zaletę posiadają.

### 3.8. Wyznaczenie średniego błędu pomiaru 1km niwelacji

Określenie średniego błędu pomiaru 1 km niwelacji w warunkach laboratoryjnych wykonane zostało według [2] oddzielnie dla różnych długości

celowych (10,15,20,25,30,35 metrów). Średni błąd pomiaru 1 kilometra niwelacji nie powinien przekraczać dla niwelacji precyzyjnej 1 klasy kryterium  $m_{1km} \leq \pm 0.40$  mm. Niwelatory kodowe Zeiss DiNi 12 kryterium to spełniały bowiem w badanym okresie kolejne wartości tego błędu wyznaczone oddzielnie dla w/w długości celowych zawierały się w przedziale od  $\pm 0.16$  mm do  $\pm 0.34$  mm. Średnio błąd ten przyjmował wartości zamieszczone w Tabl. 5.

Tablica 5

Data pomiaru	III'2000	X'2000	I'2001	I'2002	III'2004
Nr niwelatora	Średnia wartość błędu kilometrowego $m_{1km}$ w [mm]				
320087	$\pm 0.23$	$\pm 0.26$	$\pm 0.28$	$\pm 0.24$	$\pm 0.27$
320230			$\pm 0.29$	$\pm 0.30$	$\pm 0.29$
700410				$\pm 0.25$	$\pm 0.22$
700996					$\pm 0.26$

Z analizy wartości tych błędów wynika, że w badanych niwelatorach nie można wyróżnić tendencji do powiększania się tego błędu wraz z upływem czasu użytkowania instrumentów. Trzeba stwierdzić, że błędy te mają charakter orientacyjny i służą do wstępnej kwalifikacji niwelatora do pomiarów o odpowiedniej dokładności.

#### Literatura

- [1] Margański S.: „Metody zabezpieczania wysokiej dokładności niwelacji precyzyjnej”. Praca doktorska, Warszawa 1978 r.
- [2] Margański S.: „Pomiary niwelacyjne w podstawowych sieciach wysokościowych”. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej 1989 r.
- [3] Margański S.: „Badania laboratoryjne niwelatora Wild NA 3000 firmy Leica”. Przegląd Geodezyjny nr 4, 1996 r.
- [4] Margański S.: „Zmiany parametrów dokładnościowych precyzyjnych niwelatorów samopoziomujących”. Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej. IV Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 1999 r.
- [5] Margański S.: „Laboratoryjne badania niwelatora kodowego DiNi 12 firmy Zeiss”. Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej. V Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 2001 r.
- [6] Instrukcja obsługi niwelatora Zeiss DiNi 12.