

Mariusz Frukacz, Tadeusz Szcutko

**WYKORZYSTANIE NIWELATORA LEICA SPRINTER
Z ŁATAMI FIBERGLASOWYMI GSS113
DO NIWELACJI OSNOWY SZCZEGÓŁOWEJ III KLASY**

***USE OF LEICA SPRINTER LEVEL WITH FIBERGLASS
GSS113 RODS FOR MEASURING THE 3RD CLASS
OF LEVELING NETWORK***

Streszczenie

Pomiary szczegółowej osnowy wysokościowej III klasy wymagają zastosowania odpowiedniej klasy sprzętu. Na podstawie badań wykonywanych w Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym AGH można sformułować wnioski dotyczące doboru ekonomicznego zestawu sprzętu do wykonania tego typu prac. Zestawem takim może być niwelator Leica Sprinter z jednolitymi łatami fiberglasowymi GSS113 o długości 3m. W komorze termicznej wyznaczono współczynnik rozszerzalności termicznej oraz wykonano kalibrację metryczną dla tych łat na komparatorze pionowym. Zgodnie z normą PN/ISO 17123-2 wyznaczono błąd podwójnej niwelacji na 1 km dla zestawu niwelator Leica Sprinter 150M z łatami GSS113. Zestaw ten w pewnych przypadkach może zastąpić droższy niwelator Leica DNA10. Na podstawie badań stwierdzono przydatność zestawu do niwelacji osnowy szczegółowej III klasy, wskazując istotne elementy dotyczące jego stosowania w praktyce. W pracy przedstawiono badania dotyczące jednego zestawu firmy Leica jednak opisana metodyka badań ma charakter uniwersalny i może być stosowana dla sprzętu innych firm. Celem nadrzędnym pracy było przedstawienie użytkownikom, jakie możliwości i ograniczenia ma wybrany przez nich sprzęt.

Słowa kluczowe: kalibracja, współczynnik rozszerzalności termicznej, niwelator cyfrowy, łata kodowy, niwelacja

Summary

Measurements of the 3rd class of leveling network require the appropriate class of equipment. Based on researches performed in Geodesy Metrology Laboratory in AGH can formulate proposals for the economic selection of a set of equipment to perform such work. That kind of set may be digital level Leica Sprinter with 3m-length uniform fiberglass leveling staff GSS113. The coefficient of thermal expansion was determined in the thermal chamber and calibration was performed for these staffs on a vertical comparator. In accordance with norm PN/ISO 17123-2 the error of 1 km of double run leveling was determined for set of Leica Sprinter with GSS113 staffs. In some cases this set can replace more expensive Leica DNA10 level. The present research indicated the usefulness of the set for leveling the 3rd class of leveling network, indicating the essential elements for its application in practice. The paper presents a study on one set of Leica but described research methodology is universal and can be used for equipment from other companies. The main goal of this study was to provide users informations about the possibilities and limitations of their equipment.

Key words: calibration, coefficient of thermal expansion, digital level, barcode rod, leveling

WSTĘP

W roku 2011 praktycznie zakończyła się kampania pomiaru osnowy podstawowej drugiej klasy na terenie całego kraju. Na początku roku 2012 pozostał jedynie pomiar sieci na części województwa śląskiego. Logiczną konsekwencją byłby pomiar wysokościowej osnowy szczegółowej III klasy, co zapewniłoby jednolitość osnowy na terenie całego kraju. Na rynku pojawia się wiele nowych modeli niwelatorów cyfrowych i różne rodzaje łąt przystosowanych do pracy z jednym lub kilkoma modelami niwelatora produkowanego przez daną firmę. Każdy rodzaj łąty w zestawieniu z odpowiednim modelem niwelatora ma swoje przeznaczenie i z reguły pozwala osiągnąć założoną dokładność katalogową. Często zdarza się, że nabywca kupuje najdroższy niwelator z oferty (np. Leica DNA03) i do tego inżynierskie łąty fibroglasowe lub niwelator mniej dokładny (DNA10) i łąty inwarowe; w takiej sytuacji nie ma możliwości pełnego wykorzystania dokładności poszczególnych elementów zakupionego zestawu. Do prac niższej dokładności można zastosować tańszy zestaw z niwelatorem Leica Sprinter 250M z nieskładanymi łątami fibroglasowymi o długości 3m typu GSS113 (rys. 1), zapewniającymi większą dokładność pomiaru niż dotychczas stosowane aluminiowe łąty teleskopowe. Celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania takiego zestawu do niwelacji osnowy szczegółowej III klasy.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 1. Niwelator Leica Sprinter 150M i łąty GSS113 o długości 3m
Figure 1. Leica Sprinter 150M level and 3m-length GSS113 leveling rods

WYMAGANIA DOTYCZĄCE POMIARU SZCZEGÓŁOWEJ OSNOWY WYSOKOŚCIOWEJ III KLASY

Instrukcja G-2 „Wysokościowa osnowa geodezyjna” (wyd. II, 1981) określa wymagania, jakie powinien spełniać sprzęt do pomiaru szczegółowej osnowy wysokościowej. Zgodnie z §88 instrukcji *„łąty powinny być nie składane o błędzie poszczególnych działek nie większym niż 0,2 mm dla niwelacji III klasy i 0,3 mm dla niwelacji IV klasy”*. Zgodnie z §89: *„Łaty niwelacyjne powinny przynajmniej raz mieć wyznaczone poprawki do długości średniego metra, w oparciu o porównanie z jednometrowym metalowym kontrolnym przymiarem liniowym. Poprawka łąty powinna być wyznaczona ze średnim błędem $\pm 0,15$ mm/m dla łąty do niwelacji III klasy i $\pm 0,20$ mm/m dla łąty o niwelacji IV klasy. Łaty powinny też mieć wyznaczony błąd miejsca zera”*. Błąd średni m_1 liczony na podstawie różnic z pomiaru w kierunku głównym i powrotnym dla osnowy III klasy nie powinien przekraczać $\pm 2,5$ mm/km. W projekcie rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z roku 2011 „w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych” wymagania te są sformułowane w sposób bardziej ogólny. Jest tam mowa o sprawdzeniu sprzętu i wyznaczeniu „współczynników skalowych” łąt.

CHARAKTERYSTYKA NIWELATORÓW LEICA SPRINTER

W tabeli 1 zestawiono dwie serie niwelatorów kodowych firmy Leica: techniczne Sprinter i precyzyjne DNA. Do niwelatorów Sprinter nie pasują łąty opracowane do serii DNA, ponieważ zastosowano inny rodzaj kodu. Z początku były dostępne jedynie łąty aluminiowe teleskopowe. Pojawienie się łąt jednoli-

tych fiberglasowych GSS113 o długości 3 m oznacza możliwość zwiększenia dokładności niwelacji wykonywanej za pomocą tych niwelatorów. Aby ocenić możliwości Sprintera z łątami GSS133 wykonano w Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie (GLM AGH) szereg badań. Przewaga łąt GSS113 nad łątami składanymi aluminiowymi wynika z dwóch przesłanek:

- w łątach aluminiowych występują przesunięcia na stykach powodujące błąd systematyczny,
- współczynnik rozszerzalności termicznej fiberlasu jest ok. 2,5 raza mniejszy od aluminium.

Tabela 1. Grupa niwelatorów cyfrowych Leica i ich dokładności
Table 1. Group of Leica digital levels and their accuracy

Instrument	Typ łąty	Sprinter 50	Sprinter 150/150M	Sprinter 250M	DNA10	DNA03
Dokładność podwójnej niwelacji w mm/km	Alu teleskopowe	2,0	1,5	1,0		
	Fiberglas GSS113		(1,22)	0,7		
	Inwar GPCL3				0,9 (0,45)	0,3 (0,22)
	Fiberglas GKNL4M				1,5	1,0
Dokładność kompensatora (")		b.d.			0,8	0,3
Cena niwelatora brutto (na rok 2011)		3000	3500	6000	16500	20130

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 1 zostały podane dokładności firmowe niwelatorów kodowych Leica w zależności od zastosowanych łąt.

TECHNOLOGIA KALIBRACJI ŁĄT

Kalibracja łąt obejmuje przede wszystkim:

- wyznaczenie współczynnika rozszerzalności termicznej,
- wyznaczenie metra średniego (współczynnika skali).

Dla zestawu niwelator-łąty określa się błąd średni podwójnej niwelacji na 1 km zgodnie z normą PN/ISO 17123-2, natomiast nadanie klasy sprzętu odbywa się według normy branżowej BN-78/8770-07.

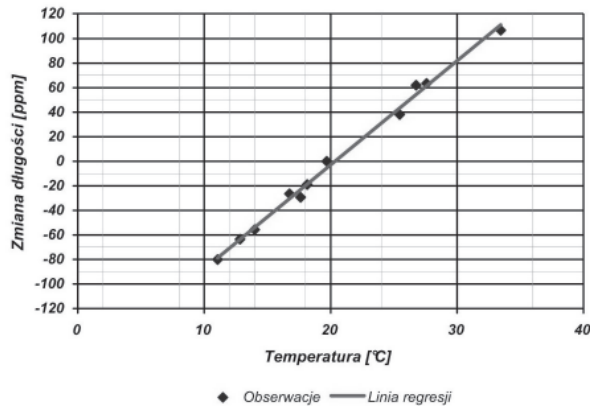
WGGiŚ:

Kraków:

Wyznaczenie współczynnika rozszerzalności termicznejŁata inwarowa: **Leica-Fiberglass**Podział: **kodowy**Numer: **1**Data: **12.04.2011**Zakres pom.: **2,864 [m]**Cykl pom.: **20 → 10 → 0 → 10 → 20 → 30 → 40 → 30 → 20 [°C]**

Nr	t_i	l_i	\hat{l}_i	$\hat{\varepsilon}_i$
	[°C]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
1	19,69	0,00	-5,51	5,51
2	16,74	-26,48	-30,56	4,08
3	13,99	-55,78	-53,89	-1,88
4	12,83	-63,51	-63,78	0,27
5	11,07	-80,06	-78,73	-1,33
6	18,15	-18,90	-18,62	-0,28
7	26,76	62,04	54,48	7,56
8	27,59	63,48	61,48	2,00
9	33,45	106,81	111,23	-4,41

Wykres zmian długości



Współczynnik rozszerzalności termicznej $\alpha_T = 8,49 \pm 0,21$ [ppm/1⁰C]

Wyznaczenie WLRT wykonał:

dr inż. Mariusz Frukacz

Źródło: Opracowanie własne.

Rysunek 2. Świadcstwo wyznaczenia współczynnika rozszerzalności termicznej łaty GSS113

Figure 3. Certificate of determining the coefficient of thermal expansion of GSS113 leveling rod

WYZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKA ROZSZERZALNOŚCI TERMICZNEJ

Współczynnik rozszerzalności termicznej (WRT) dla włókna szklanego, z którego wykonane są łąty GSS113, według danych firmy Leica wynosi $10 \mu\text{m}/\text{m}\cdot 1^\circ\text{C}$ (ppm/ 1°C). Komora termiczna w GLM AGH pozwala na precyzyjne wyznaczenie tej wartości. Dla badanej łąty WRT wynosi $\alpha=8,49 \mu\text{m}/\text{m}\cdot 1^\circ\text{C}$. Błąd średni wyznaczenia wynosi $\pm 0,21 \mu\text{m}/\text{m}\cdot 1^\circ\text{C}$. Jest to wartość mniejsza niż dla stali ($11,5 \mu\text{m}/\text{m}\cdot 1^\circ\text{C}$) czy aluminium ($22,5 \mu\text{m}/\text{m}\cdot 1^\circ\text{C}$). Wartość WRT wyznaczono dla jednej łąty w celu weryfikacji wartości współczynnika rozszerzalności podawanego przez producenta (rys. 2).

WYZNACZENIE METRA ŚREDNIEGO (WSPÓŁCZYNNIKA SKALI) ŁAT

Łata GSS113 jest łata rewersyjną o dwóch podziałach: kodowym i klasycznym (rys. 1). Posiada wbudowaną libelę okrągłą oraz otwory na zamontowanie uchwytów lub podpór. Przekrój łąty jest identyczny jak dla łąt składanych GKNL4M przeznaczonych do niwelatorów serii Leica DNA. Komparator pionowy (rys. 3) został zbudowany z myślą o kalibracji łąt inwarowych przeznaczonych do niwelacji precyzyjnej o długości 3 metrów lub krótszych. Pomiar kreski podziału kodowego lub klasycznego jest wykonywany co 4 cm dla łąt Trimble, co 3 cm dla łąt Topcon i co ok. 5 cm dla łąt Leica, Sokkia oraz łąt klasycznych Carl Zeiss Jena. Łaty techniczne o długości 4 lub 5 m kalibrowane są na komparatorze poziomym przeznaczonym do wyznaczania błędów cyklicznych dalmierzy elektrooptycznych. Jako wzorzec długości służy interferometr laserowy HP5529A [Beluch i in. 2008].

Łaty fiberglasowe w tym także GSS113 zazwyczaj nie posiadają numeru seryjnego. Na łącie znajdują się tylko numery produktu jednakowe dla danego typu łąty. Wyjątek stanowią łąty Topcon SG-3M, które posiadają oznaczenia numerami seryjnymi. Badane łąty GSS113 oznaczono jako A i B. Kod na łącie fiberglasowej GSS113 o długości 3 m jest наносzony techniką sitodruku. O jakości wykonania kodu można wnioskować na podstawie wyników kalibracji. Pomiar punktów na łącie jest wykonywany na komparatorze pionowym w przybliżeniu co 10 cm. Gęstość ta jest wystarczająca dla wyznaczenia parametrów łąt inżynierskich. Na każdą wybraną kreskę podziału są wykonywane dwa nacełowania kamery [Szczutko, Frukacz, 2011], a pomiar wykonuje się w kierunku głównym i powrotnym. Na podstawie różnic z dwóch nacełowań z par spostrzeżeń liczony jest błąd średni ε_1 , a z porównania różnic pomiaru w kierunku głównym i powrotnym błąd ε_2 . W tabeli 2 podane jest porównanie przeciętnych wartości tych błędów dla łąt inwarowych Leica/Nedo GPCL3 przeznaczonych do niwelatorów Leica DNA03 i DNA10 oraz łąt GSS113 przeznaczonych do pracy w zestawie z niwelatorem Leica Sprinter.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3. Widok komparatora pionowego – na dole widoczny interferometr laserowy
Figure 3. View of vertical komparator – bottom visible laser interferometer

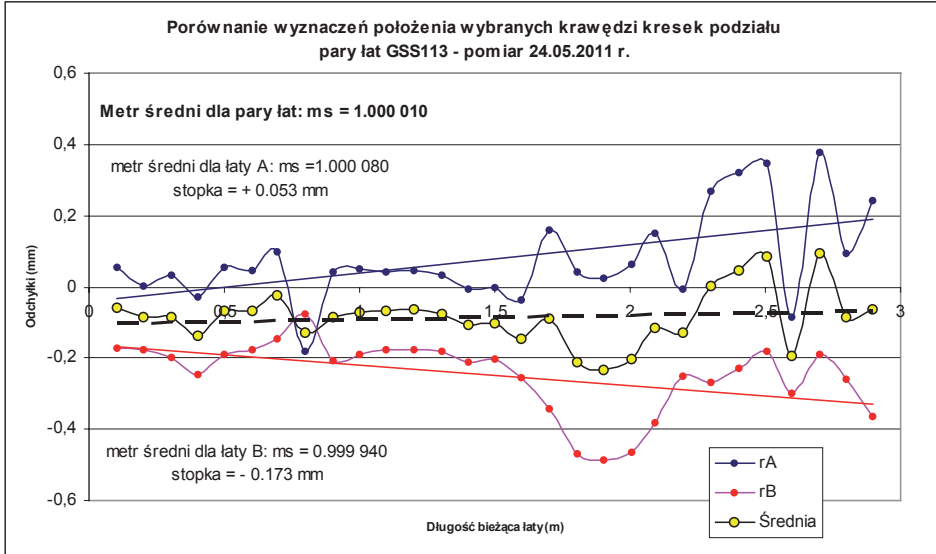
Tabela 2. Dokładność odczytów na komparatorze w zależności od rodzaju łąty
Table 2. The accuracy of the comparator readings depending on the type of leveling rod

Typ łąty	Rodzaj łąty	ε_1 (μm)	ε_2 (μm)	Liczba łąt w próbie
Leica/Nedo GPCL3	inwarowe kodowe	$\pm 1,5$	$\pm 1,9$	10
Carl Zeiss Jena	inwarowe klasyczne	$\pm 2,3$	-	4
Leica GSS113	fiberglassowe nieskładane	$\pm 3,5$	$\pm 5,5$	2

Źródło: opracowanie własne

Z analizy wyników pomiaru (rys. 4) wynika, że do 1,5 m kod na łącie jest naniesiony regularnie, natomiast powyżej 1,5 m pojawiają się różnice między łątami rzędu 0,3 mm. Błąd średni położenia kreski podziału obliczony dla pary łąt wynosi $\pm 0,08$ mm. Błędy położenia zera łąt (stopki) są dość znaczne i wynoszą odpowiednio $+0,053$ mm i $-0,173$ mm. Oznacza to, że należy bezwzględnie

przestrzegać parzystej liczby stanowisk podczas wykonywania niwelacji ciągu. Biorąc pod uwagę większe błędy podziału powyżej 1,5 m należy oczekiwać, że dla znacznych różnic wysokości, kiedy odczyty wstecz i w przód wykonywane są w dolnej i górnej części łąty, może pojawić się błąd systematyczny.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 4. Wyniki kalibracji kompletu łąt Leica GSS113
Figure 4. Calibration results of a set of Leica GSS113 leveling rods

Pod pojęciem „metr średni” należy rozumieć współczynnik skali łąty wyznaczony na podstawie kalibracji na komparatorze przez wpasowanie prostej regresji w wyniki pomiarów różnic położenia kresek podziału łąty w stosunku do ich wartości nominalnych.

Współczynnik skali m_s obliczany jest ze wzoru:

$$m_s = 1 - k$$

gdzie k to nachylenie prostej regresji w m/m. Poprzednio, zamiast pracochłonnego ręcznego wpasowania prostej regresji, obliczano różnice między kreskami łąty odległymi od siebie nominalnie o metr na całej długości łąty, a następnie wyniki uśredniano.

Wyniki kalibracji łąty podawane są dla temperatury 20°C. Należy ocenić, jaki jest wpływ wyznaczonych parametrów łąt uzyskanych z kalibracji na wyniki niwelacji. Przyjmując średnią temperaturę pomiaru np. $t = 12^\circ\text{C}$ i metr średni wypadkowy dla pary łąt $m_s = 1,000\ 010$ oraz współczynnik rozszerzalności termicznej równy $\alpha = 8,5\ \mu\text{m}/\text{m}\cdot 1^\circ\text{C}$ otrzymamy zredukowany metr średni m_r :

$$m_r = m_s + \alpha (t - 20^\circ\text{C}) \cdot 10^{-6}$$

$$m_r = 1,000\,010 + 8,5 (12 - 20) \cdot 10^{-6} = 1,000\,010 - 0,000\,068 = 0,999\,942$$

Aby skorygować wyniki niwelacji należy pomnożyć różnicę wysokości przez metr średni dla pary łąt. Dla różnicy wysokości $\Delta h = 10$ m wpływ zmiany długości łąty wyniesie $-580 \mu\text{m}$, czyli ok. $-0,6$ mm. Oznacza to, że jeżeli wyniki kalibracji łąt nie będą uwzględniane, pojawi się błąd systematyczny zależny od różnicy wysokości.

WYZNACZENIE BŁĘDU ŚREDNIEGO PODWÓJNEJ NIWELACJI NA 1 KM

Wyniki pomiarów wykonanych zgodnie z normą PN/ISO-17123-2 w GLM AGH dla niektórych zestawów pomiarowych podano w nawiasach w tabeli 1. Dla zestawu Leica Sprinter z łątami GSS113 uzyskano błąd podwójnej niwelacji równy $1,2$ mm/km. Nie wykonano testu dla niwelatora Sprinter 250M, ze względu na brak dostępu do tego modelu. Porównanie katalogowych dokładności niwelacji możliwych do uzyskania z łątami aluminiowymi pozwala sądzić, że dokładność $0,7$ mm/km dla modelu 250M z łątami GSS113 jest możliwa do osiągnięcia. Podawana w materiałach firmy Leica dokładność trzykrotnie droższego zestawu niwelatora Leica DNA10 w komplecie z łątami invarowymi równa $0,9$ mm/km pozostaje niedoszacowana, ponieważ daje się uzyskać błąd o połowę mniejszy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Zastosowanie do niwelatorów Leica Sprinter jednolitych, nieskładanych łąt fiberglasowych GSS113 pozwala na zwiększenie dokładności niwelacji wykonywanej tym niwelatorem. Zaletą tych łąt jest ich jednolitość; w łątach składanych występują błędy na stykach, które sumują się w ciągu niwelacyjnym powodując znaczny błąd systematyczny. Na podstawie wykonanych testów można stwierdzić, że dokładność podwójnej niwelacji $0,7$ mm/km to kres możliwości zestawu Sprinter 250M z łątami GSS113. Dokładność ta jest wystarczająca do pomiaru osnowy szczegółowej III klasy. Zaleca się uwzględnianie temperatury łąt podczas pomiaru. Nieregularność podziału łąt powyżej $1,5$ m nakazuje ograniczyć zastosowanie tego zestawu do terenów płaskich. Opisana metoda badań ma charakter uniwersalny i może być stosowana dla sprzętu innych firm. Celem nadrzędnym jest przedstawienie użytkownikowi, jakie wybrany przez niego sprzęt ma możliwości i ograniczenia.

BIBLIOGRAFIA

- Beluch J., Frukacz M., Mróz J., Pokrzywa A., Szczutko T. 2008. *Badania laboratoryjne niwelatorów i precyzyjnych lat niwelacyjnych*, Kraków.
- Frukacz M. 2010. *Optymalne procedury wyznaczania współczynnika liniowej rozszerzalności termicznej i wzorcowania precyzyjnych lat niwelacyjnych*, Praca doktorska, AGH Kraków.
- Szczutko T., Frukacz M. 2011. *Invar Rod Calibration on Vertical Comparator Executed in the Geodesy Metrology Laboratory of the AGH University of Science and Technology in Krakow – Poland with Use of Computer-aided Image Analysis*, Reports on Geodesy, No. 1 (90).

Dr inż. Mariusz Frukacz
Dr inż. Tadeusz Szczutko
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Katedra Geomatyki,
tel. 12 617 3892,
12 617 2323
30-059 Kraków, al. A. Mickiewicza 30
e-mail: frukacz@agh.edu.pl, szczutko@agh.edu.pl

Artykuł powstał w ramach badań statutowych Katedry Geomatyki WGGiIŚ AGH