

## **KALIBRACJA ŁĄT KODOWYCH INŻYNIERSKICH ORAZ ANALIZA MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA DO POMIARU WYSOKOŚCIOWEJ OSNOWY SZCZEGÓŁOWEJ\***

Tadeusz Szczutko, Mariusz Frukacz

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**Streszczenie.** Komparator pionowy zbudowany w Geodezyjnym Laboratorium Metrologicznym Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie służy do wyznaczenia poprawek kalibracyjnych precyzyjnych łąt inwarowych, inżynierskich łąt fiberglasowych i łąt technicznych w zależności od zlecenia użytkownika. W referacie przedstawiono wyniki kalibracji wybranych typów łąt kodowych określanych jako „inżynierskie”: składanych i jednolitych wykonanych z włókna szklanego przeznaczonych do niwelatorów Leica i Topcon oraz łąt składanych drewnianych dedykowanych do niwelatorów Trimble DiNi. Na podstawie wyników kalibracji poddano analizie błędy występujące w różnych typach łąt inżynierskich. W łątach składanych występują duże błędy podziału na stykach elementów dochodzące do 0,3 mm. Błędy te sumują się w ciągu niwelacyjnym w sytuacji, gdy odczyty wstecz i w przód wykonywane są na różnych segmentach łąt, czyli w ciągu o dużej różnicy wysokości między reperami. Współczynniki skali dla poszczególnych odcinków łąt różnią się znacznie między sobą. W pracy podjęto próbę oceny przydatności łąt inżynierskich do pomiaru szczegółowej osnowy wysokościowej, z uwzględnieniem konfiguracji terenu, na którym ma być wykonywana niwelacja.

**Słowa kluczowe:** kalibracja, niwelacja, łąty kodowe, łąty inżynierskie, osnowa wysokościowa

---

\*Artykuł powstał w ramach badań statutowych Katedry Geomatyki nr 11.11.150.006

## TECHNOLOGIA KALIBRACJI

Technologia kalibracji łąt niwelacyjnych [Beluch i in. 2008, Frukacz 2012, Szczutko i Frukacz 2011] wykorzystuje jako wzorzec długości interferometr laserowy HP 5529A. Na kolumnie komparatora (profil aluminiowy z prowadzącą listwą stalową) znajduje się ruchomy wózek zawierający kamerę pomiarową na górze oraz od spodu zespół pryzmatów odbijających promień lasera interferometru. Po wyzerowaniu interferometru na stopce łąty pomiarowi podlegają krawędzie pasków kodowych w ustalonym dla danego typu łąty odstępnie. Po wycelowaniu na mierzoną krawędź tak, aby znalazła się w pobliżu środka obrazu tworzonego przez kamerę, wykonuje się odczyt położenia wózka z interferometru. Ze względu na to, że łąta jest umieszczona w pewnej odległości od kolumny pomiarowej, w celu wyeliminowania wpływu szcążkowych błędów konstrukcji mechanicznej wykonuje się równocześnie pomiar zmian kąta pochylenia osi kamery pomiarowej. Do odczytanej z interferometru odległości wprowadza się korektę pomiaru liniowego, która jest funkcją pochylenia i odległości podziału łąty od linii promienia lasera interferometru. Do poprawionego odczytu odległości dodaje się obliczoną po przetworzeniu obrazu z kamery odległość od obserwowanej krawędzi do środka obrazu. Pomierzone położenie krawędzi pasków kodu łąty porównuje się z ich nominalnym położeniem i oblicza metr średni oraz błąd miejsca zera (stopkę) łąty. Podczas kalibracji łąta znajduje się w pozycji pionowej, to jest takiej jak w czasie wykonywania niwelacji.

## RODZAJE ŁAT KODOWYCH STOSOWANYCH DO NIWELACJI

W praktyce inżynierskiej stosowane są (tab. 1):

- łąty inwarowe przeznaczone do pomiarów osnowy I i II klasy oraz pomiarów odkształceń (Trimble/Zeiss LD13 i LD12, Leica GPCL3 i GPCL2, Topcon SI-3, Sokkia BIS30),
- łąty fiberglasowe składane z dwóch lub trzech odcinków (Leica GKNL4M, Topcon SG-3M),
- łąty drewniane składane (łamane) złożone z odcinków o długości 1 m połączonych zawiasami (Trimble/Zeiss LD23 i LD24),
- łąty fiberglasowe nieskładane (Leica Sprinter GSS113),
- łąty aluminiowe wysuwane (teleskopowe) o długości do 5 m.

Biorąc pod uwagę różne typy niwelatorów oraz przewidziane do pracy z nimi łąty, można zestawzić kombinację optymalną cenowo i jakościowo. Każdy producent wprowadza na łątach odmienny kod dostosowany do systemu zainstalowanego w instrumencie. Niwelatory Leica wymieniono w dwóch grupach, ponieważ wykorzystują one łąty z innym rodzajem kodu.

Tabela 1. Zestawienie niwelatorów i łąt kodowych (głównych producentów)

Table 1. Statement of levelling instruments and barcode rods (major manufactures)

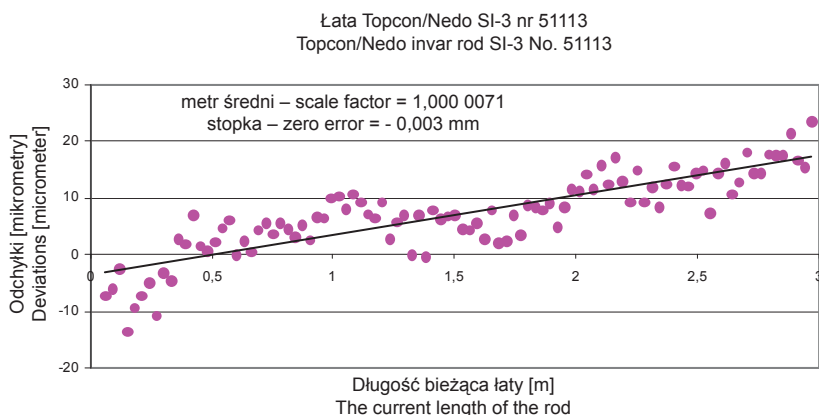
Leveling Instrument	Łaty inwarowe Invar level rods	Błąd niwelacji Standard deviation double-run leveling $m_{\Delta h}$ [mm·km <sup>-1</sup> ]	Łaty inżynierskie Engineering level rods	Błąd niwelacji Standard deviation double-run leveling $m_{\Delta h}$ [mm·km <sup>-1</sup> ]
Trimble DiNi 12/0.3	LD13	0,3	LD23	1,0
Trimble DiNi 22/0.7	LD12	0,7	LD24	1,3
Leica DNA03	GPCL2	0,3	GKNL4M	1,0
Leica DNA10	GPCL3	0,9		1,5
Topcon DL101C	SI-3	0,4		–
Topcon DL102C		–	SG-3M	1,0
Leica Sprinter 250M	–	–	GSS113	0,7

## WYNIKI KALIBRACJI RÓŻNYCH TYPÓW ŁAT

Badane łąty w większości przypadków pochodzą od jednego producenta – niemieckiej firmy Nedo. Mimo podobnej budowy mechanicznej różnią się one rodzajem stosowanego kodu. Dla kilku typów łąt wykonano kalibrację według opisanych poniżej procedur.

### Łaty fibroglasowe Topcon SG-3M

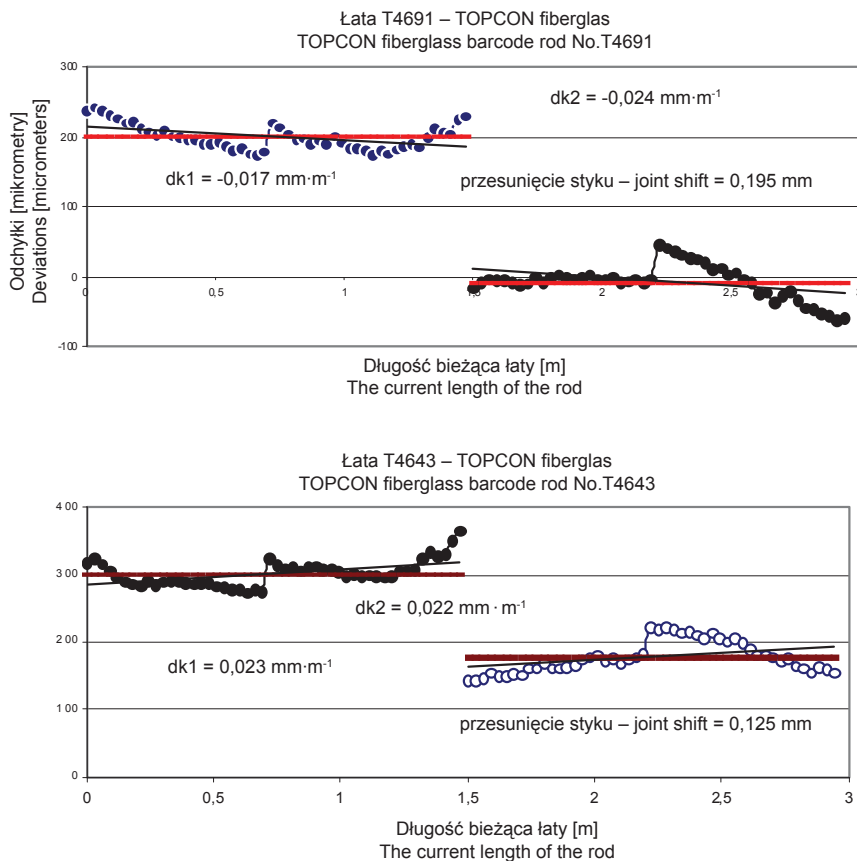
Doświadczenia GLM w zakresie kalibracji łąt kodowych inwarowych [Szczutko i Fruckacz 2011] pozwalają na dostosowanie procedur kalibracji do łąt składanych inżynierskich. Przykład kalibracji łąty inwarowej Topcon SI-3 przedstawiono na rysunku 1. Pasma odchylek od prostej regresji, której nachylenie odpowiada poprawce skali, ma szerokość ok. 20  $\mu\text{m}$ , poprawka skali (różnica metra średniego w stosunku do jedności) rzadko przekracza 10  $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ , a przesunięcie zera łąty dochodzi do kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$ . Wielkości te stanowią odniesienie do wyników kalibracji łąt inżynierskich.



Rys. 1. Wyniki kalibracji łąty kodowej inwarowej Topcon SI-3  
Fig. 1. The calibration results invar barcode level rod Topcon SI-3

Badaniu poddano łąty fibroglasowe składane typu SG-3M o długości 3 m ( $2 \times 1,5$  m) o numerach fabrycznych 4643 i 4691. Pomiar wykonywano dla środków kresek sterujących R kodu łąty (co 3 cm). Po opracowaniu wyników okazało się, że poszczególne części łąty składają się z dodatkowych segmentów o długości 0,75 m przesuniętych względem siebie o ok. 0,05 mm. Wartości zera łąty (stopki) oraz różnice na stykach dochodzą do 0,25 mm. Poszczególne paski kodowe w segmentach 0,75 m są naniesione dość dokładnie – dla odcinków 1,5–2,25 m dla obu badanych łąt błąd ich wzajemnego położenia wynosi  $\pm 4,5 \mu\text{m}$ , ale widoczne jest znaczne nachylenie poszczególnych odcinków wykresu, co oznacza błąd skali.

Na podstawie analizy wykresu kalibracji łąt (rys. 2) można stwierdzić, że wyniki wyznaczeń położenia kresek podziału kodowego od wartości średniej mieszczą się w paśmie o szerokości  $50 \mu\text{m}$ . Wykres położenia podziału jest nieznacznie nachylony i składa się z dwóch części. Zmiana skali podziału  $dk$  dla odcinków półtorametrowych łąty wynosi przeciętnie  $0,020 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ . W segmentach po 0,75 m wartości  $dk$  wynoszą od  $-0,153$  do  $+0,054 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ . Kształt wykresu wskazuje, że łąty pochodzą z tej samej serii produkcyjnej.



Rys. 2. Wyniki kalibracji pary łąt składanych Topcon SG-3M  
Fig. 2. The calibration results of folding level rods Topcon SG-3M

Zmiany skali podziału  $dk$  nie są tutaj istotnym źródłem błędów. Zmniejszenie dokładności powodują duże wartości błędów zera łat (stopek), a zwłaszcza przesunięcia na stykach. Zera łat są przesunięte o 0,3 mm dla łaty 4643 i 0,2 mm dla łaty 4691. Przesunięcia na stykach wynoszą odpowiednio 0,12 i 0,20 mm. W świadectwie kalibracji przyjęto w celu uproszczenia obliczeń średnią wartość położenia kresk podziału dla poszczególnych segmentów i zmianę współczynnika skali  $dk = 0$ .

W odróżnieniu od łat składanych Leica czy Trimble (Zeiss) łaty SG-3M mają numery fabryczne, pozwalające na ich identyfikację i wprowadzenie poprawek kalibracyjnych do wyników pomiaru w sposób jednoznaczny.

Poniżej przedstawiono treść świadectwa kalibracji dla opisywanych łat SG-3M.

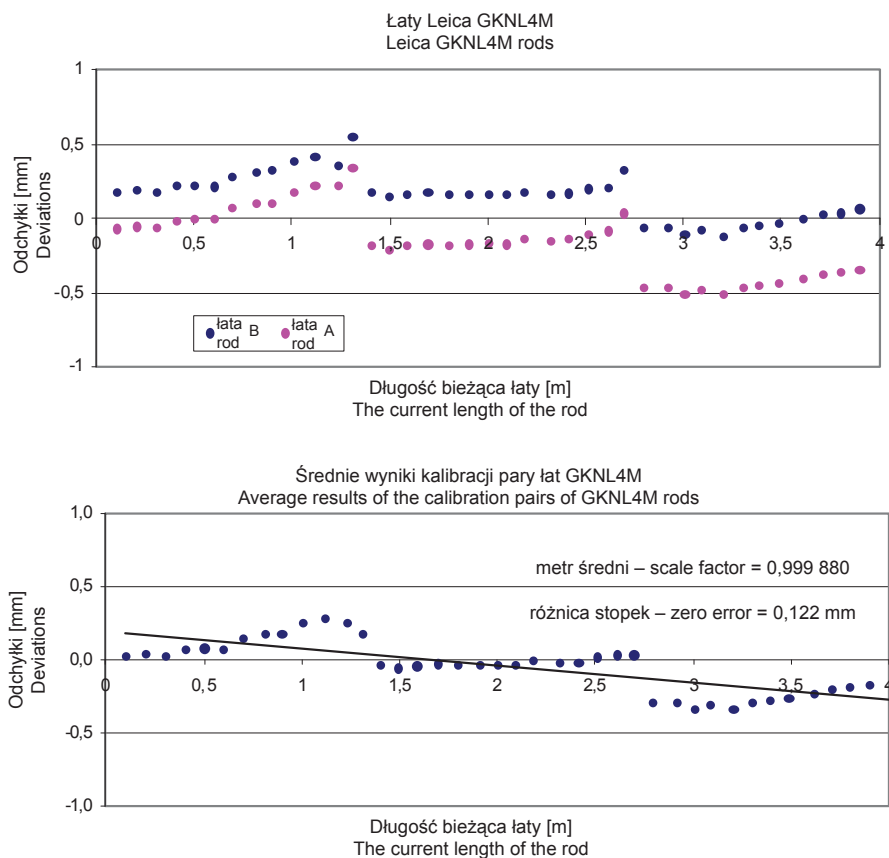
<b>ŚWIADECTWO KALIBRACJI</b>	
Rodzaj łaty: Łata kodowa z tworzywa sztucznego „fiberglas” o dł. 3 m (składana 2 x 1,5 m) firmy TOPCON SG-3M	
Numery łat: T 4691 i T 4643	
Zakres pomiarowy: 0,030 m – 2,970 m.	
Wyniki kalibracji	
1. Odchyłka punktu zerowego wynosi :	
T 4691	$b = + 0,20 \text{ mm } +/- 0,016 \text{ mm}$
T 4643	$b = + 0,30 \text{ mm } +/- 0,016 \text{ mm}$
2. Średnia wartość błędów kresk pomiarowych: $+/- 0,021 \text{ mm}$ .	
3. Współczynnik rozszerzalności termicznej $\alpha = 8,5 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot(1^\circ\text{C})^{-1}$	
4. Równanie poprawionego odczytu z łaty:	
<b>Łata T 4691</b>	<b>Łata T 4643</b>
Dla odczytu $L_p < 1,50 \text{ m}$	Dla odczytu $L_p < 1,50 \text{ m}$
$L = L_p + 0,20 \text{ mm}$	$L = L_p + 0,30 \text{ mm}$
Dla odczytu $L_p > 1,50 \text{ m}$	Dla odczytu $L_p > 1,50 \text{ m}$
$L = L_p$	$L = L_p + 0,18 \text{ mm}$
gdzie:	
L – poprawiony odczyt z łaty	
$L_p$ – odczyt z łaty	
Łaty spełniają wymagania dokładnościowe dla niwelacji sieci szczegółowej III klasy.	

### Łaty fibreglasowe Leica GKNL4M

Łaty fibreglasowe Leica GKNL4M o długości 4 m są przeznaczone do współpracy z niwelatorami DNA03 i DNA10. Składają się z trzech segmentów łączonych na długości 1,35 i 2,7 m. Z ekonomicznego punktu widzenia ich stosowanie należy ograniczyć do niwelatora o niższej dokładności DNA10. Można to uzasadnić, analizując wyniki kalibracji łat fibreglasowych. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki kalibracji pary łat GKNL4M oznaczonych jako A i B. Wyraźnie widoczne są przesunięcia na stykach dochodzące do 0,4 mm, jak również różna skala poszczególnych segmentów obu łat. Daje się również zauważyć deformację podziału w pobliżu styków. Największą trudność po wykonaniu kalibracji łat składających się z niezależnych segmentów stanowi opracowanie ostatecznych wyników kalibracji w formie wygodnej dla użytkownika. Dla części zleciodawców wystarczy stwierdzenie na świadectwie kalibracji, że „Łata spełnia wymagania dokładno-

ściowe dla niwelacji sieci szczegółowej III klasy”. Wykorzystanie liczbowych wyników kalibracji wymaga przedstawienia ich w formie uproszczonej, łatwej do wprowadzenia do wyników niwelacji. Należy ograniczyć informacje szczegółowe opisujące łąty i podawać wartości średnie dla pary łąt, np. jak dla łąt Topcon SG-3M lub w formie opisanej dla łąt Leica GKNL4M. W celu uproszczenia w przypadku tych ostatnich łąt zrezygnowano z opisu poszczególnych odcinków, podając wypadkową wartość metra średniego. Jako podstawę do oceny przydatności łąt przyjęto zapis w instrukcji G-2 „Wysokościowa osnowa geodezyjna” [1981], który określa wymagania, jakim powinien odpowiadać sprzęt do pomiaru szczegółowej osnowy wysokościowej. Zgodnie z §88 instrukcji błąd podziału łąty nie powinien być większy niż 0,2 mm dla niwelacji klasy III. Zgodnie z §89 poprawka łąty powinna być wyznaczona ze średnim błędem  $\pm 0,15 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ . Łąty powinny też mieć wyznaczony błąd miejsca zera. Instrukcja G-2 mimo że formalnie nie obowiązuje, może stanowić pomoc merytoryczną w zakresie sprawdzania łąt.

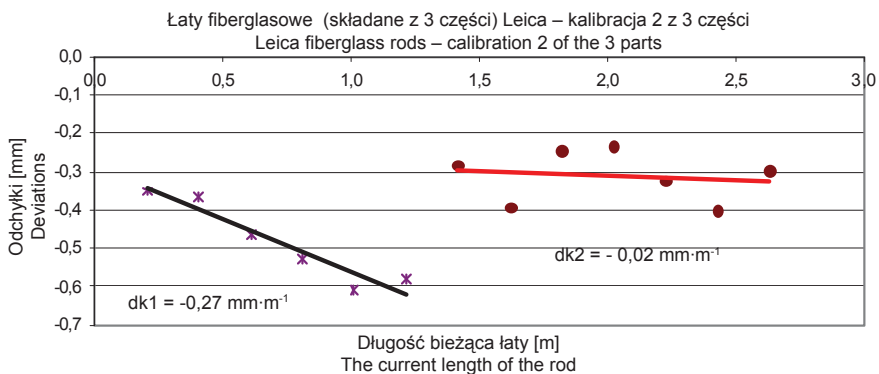
W „Rozporządzeniu Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych” szczegółowa osnowa wysokościowa ma parametry dawnej osnowy III klasy i nie dzieli się na klasy.



Rys. 3. Kalibracja łąt fibroglasowych Leica GKNL4M  
Fig. 3. Calibration fiberglass level rods Leica GKNL4M

ŚWIADECTWO KALIBRACJI	
Rodzaj łąt:	Łaty fibreglasowe kodowe <b>GKNL4M</b> firmy Leica
Numery łąt:	A, B (oznaczenie użytkownika)
Zakres pomiarowy:	0,0–3,9 m.
Zleceńodawca:	PUG ...
Wyniki kalibracji:	
1. Odchyłka punktu zerowego (stopka):	
łąta A	$b = -0,028 \pm 0,010$ mm
łąta B	$b = +0,094 \pm 0,010$ mm
Różnica stopek	$s = +0,122$ mm
2. Średnia wartość błędów kresek pomiarowych: $\pm 0,113$ mm	
3. Metr średni łąty:	
łąta A	$m_s = 0,999\ 854$ m
łąta B	$m_s = 0,999\ 907$ m
średni	$m_s = 0,999\ 880$ m $\pm 32\ \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$
4. Współczynnik rozszerzalności termicznej: $\alpha = 8,5\ \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot(1^\circ\text{C})^{-1}$	
5. Równanie poprawionego odczytu z łąty:	
$L = L_p [m_s + \alpha \cdot 10^{-6} (t - 20^\circ)] + b$	
gdzie:	
L	– poprawny odczyt z łąty w temperaturze 20°C w m
L <sub>p</sub>	– odczyt z łąty w temperaturze pomiaru t°C w m
Łaty spełniają wymagania dokładnościowe dla niwelacji sieci szczegółowej III klasy zgodnie z instrukcją G-2 § 88 i 89	

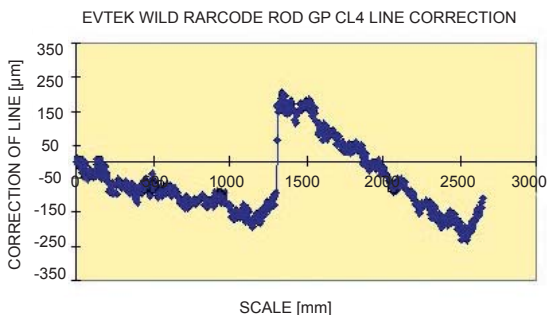
Przykład kalibracji innej pary łąt Leica GKNL4M podany jest na rysunku 4. Średnie różnice na stykach odcinków łąt dochodzą do 0,3 mm, natomiast różnica skal wynosi 0,25 mm·m<sup>-1</sup>.



Rys. 4. Przykład kalibracji częściowej innej pary łąt Leica GKNL4M

Fig. 4. An example of the partial calibration of another pair of level rods Leica GKNL4M

Wyniki kalibracji łąt kodowych inżynierskich wykonanych w podobnych laboratoriach na świecie, np. w FGI w Helsinkach [Takalo i in. 2001] potwierdzają wyniki uzyskiwane w GLM (rys. 5).



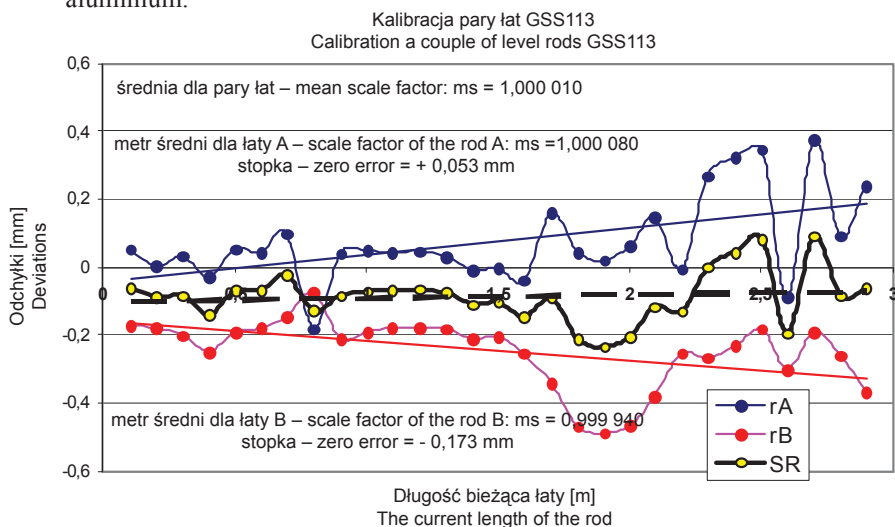
Rys. 5. Przykład kalibracji łąt fibreglasowych wykonanej w Finnish Geodetic Institute w Helsinkach [Takalo i in. 2001]

Fig. 5. Example of calibration fiberglass level rods in the Finnish Geodetic Institute Helsinki [Takalo et al. 2001]

### Łaty GSS113 fibreglasowe jednolite systemu Leica Sprinter

Ciekawą ofertę firmy Leica stanowi tani zestaw niwelatora Leica Sprinter 250M z łątami nieskładanymi fibreglasowymi o długości 3 m typu GSS113. Do niwelatorów Sprinter nie pasują łąty opracowane do serii DNA; zastosowano inny rodzaj kodu. Z początku były dostępne jedynie łąty aluminiowe teleskopowe. Pojawienie się łąt jednolitych fibreglasowych GSS113 o długości 3 m oznacza możliwość zwiększenia dokładności niwelacji wykonywanej za pomocą tych niwelatorów. Aby ocenić możliwości Sprintera z łątami GSS113, wykonano kalibrację pary łąt GSS113 (rys. 6) [Frukacz, Szczutko 2012]. Przewaga łąt GSS113 nad łątami aluminiowymi jest istotna i wynika z dwóch przesłanek:

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



Rys. 6. Wyniki kalibracji pary łąt GSS113 o długości 3 m do systemu Leica Sprinter (źródło: Frukacz i Szczutko 2012)

Fig. 6. The calibration results a couple level rods GSS113 3m for the Leica Sprinter system (source: Frukacz and Szczutko 2012)

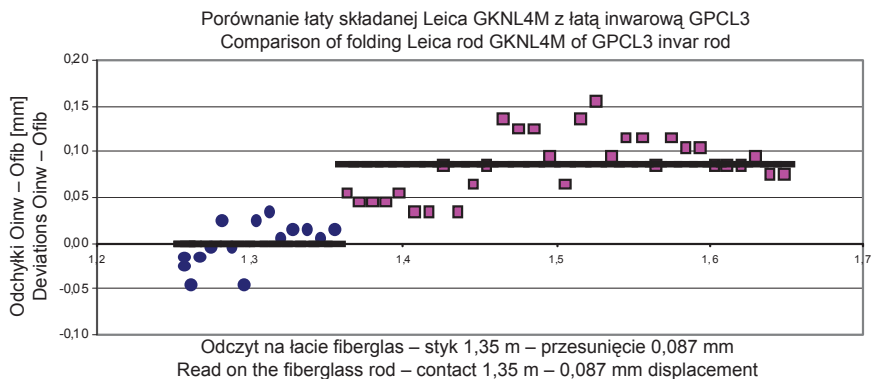


## PRZYKŁADY BADAŃ PORÓWNAWCZYCH ŁĄT RÓŻNYCH TYPÓW

Odczyt z łąty kodowej w odróżnieniu od łąt klasycznych wykonywany jest przez system elektroniczny na podstawie analizy kodu na pewnym odcinku łąty. W celu oceny wpływu błędu na stykach segmentów na odczyt z łąty wykonano pomiary porównawcze łąt inżynierskich z łątami inwarowymi, które przyjęto jako wzorcowe. Łąta inwarowa może służyć jako wzorzec do sprawdzania łąt inżynierskich zamiast zalecanego w §89 instrukcji G-2 jednometrowego liniału.

### Łąty Leica GKNL4M

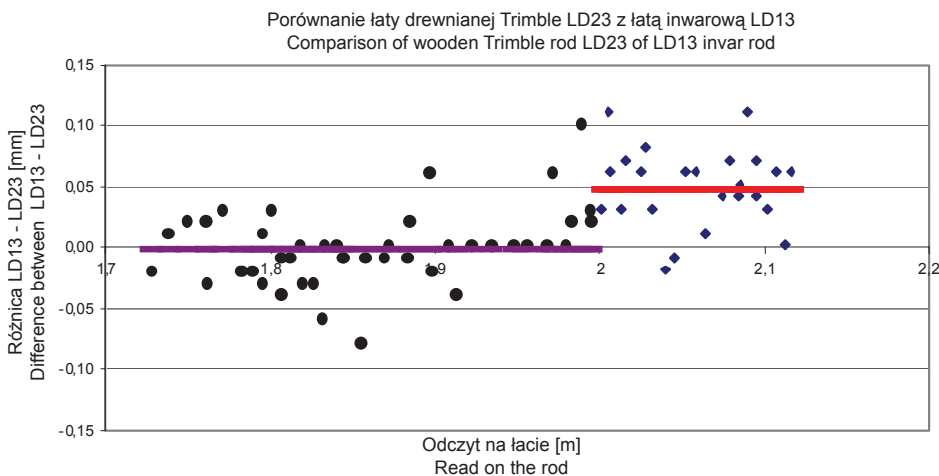
Pomiar wykonano za pomocą niwelatora Leica DNA03 nr 332583. Wzorzec stanowiła łąta inwarowa GPCL3 nr 27114. Zakres obserwacji odcinka łąty w pobliżu łączenia styków był ograniczony zakresem przesunięcia kolumny pomiarowej z instrumentem oraz wysokością pomieszczenia laboratorium. Przesunięcie na łączeniu odcinków łąt wynosi 0,087 mm (rys. 7).



Rys. 7. Badanie styków łąty GKNL4M  
Fig. 7. Research contact in the level rod GKNL4M

### Łąty drewniane Trimble LD23

W celu wyznaczenia wzajemnego położenia drugiego i trzeciego metra łąty wykonano porównanie z wzorcową łątą inwarową LD13 nr 12858. Porównanie wykonano dla długości celowej 20 m. Niwelator DiNi 11T nr 106593 znajdował się na kolumnie do badań laboratoryjnych instrumentów umożliwiającej zmianę wysokości osi celowej w zakresie 0,4 m. Łąty: inwarowa LD13 i drewniana LD23 składana z trzech części o długości 1 m połączonych biegunowo. Łąty były umieszczone obok siebie. Na podstawie 68 par odczytów wyznaczono różnice między łątami, a następnie obliczono różnice od średniej obliczonej tylko dla odczytów mniejszych od 2000 m (granica dwóch części łąty). Z rysunku 8 wynika, że trzeci metr łąty jest przesunięty o 0,050 mm w stosunku do metra drugiego.



Rys. 8. Badanie styków łąty LD23  
Fig. 8. Research contact in the level rod LD23

Wypadkowy błąd średni różnicy odczytów  $d = O_{inw} - O_{drewn}$  wynosi  $\pm 0,032$  mm. Na błąd ten składają się następujące błędy elementarne:

- naniesienia pasków kodowych na łącie inwarowej  $LD13 \pm 0,007$  mm,
- naniesienia pasków kodowych na łącie LD23,
- błąd odczytu na łącie inwarowej,
- błąd odczytu na łącie składanej.

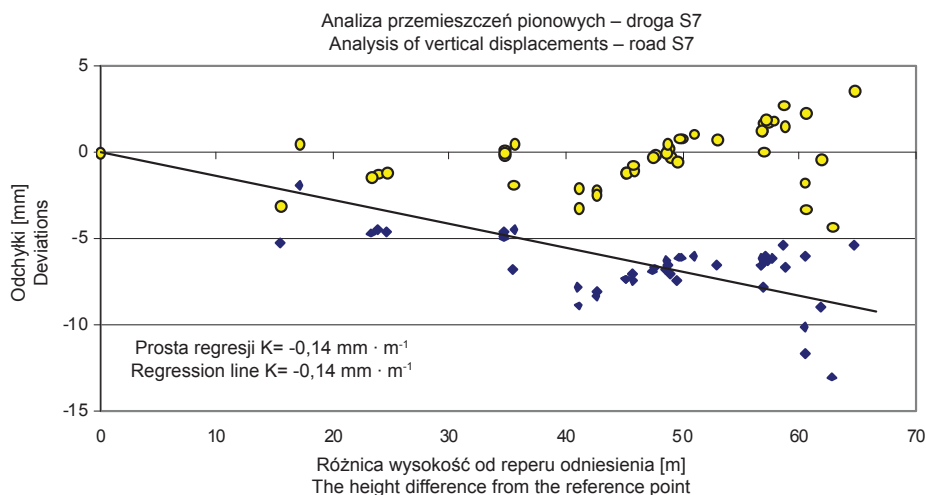
Dodatковым celem badań było sprawdzenie wpływu przesuniętych części łąty na wykonywane odczyty. Wpływ zmian długości łąty na styku widoczny jest już od odczytu 1,97 m.

## WYZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKA ROZSZERZALNOŚCI TERMICZNEJ ŁAT FIBERGLASOWYCH

W materiałach firmy Leica podany jest współczynnik rozszerzalności termicznej dla łąt zbudowanych z włókna szklanego  $\alpha = 10 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot(^{\circ}\text{C})^{-1}$ . Wyznaczony w GLM dla jednej łąty GSS113 systemu Leica Sprinter współczynnik rozszerzalności termicznej (WRT) wynosi  $8,5 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot(^{\circ}\text{C})^{-1}$  [Frukacz i Szczutko 2012]. Nieuwzględnienie współczynnika rozszerzalności powoduje zmianę skali łąt o wartość równą iloczynowi różnicy między temperaturą pomiaru a temperaturą kalibracji łąty ( $20^{\circ}\text{C}$ ) i wartości WRT. Przykładowo dla różnicy temperatur równej  $16^{\circ}\text{C}$  powstanie błąd skali łąt równy  $136 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ , czyli  $0,14 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ . Jest to wartość, która spowoduje powstanie błędów systematycznych proporcjonalnych do mierzonej różnicy wysokości.

Na rysunku 9 przedstawiono porównanie dwóch cykli niwelacji sieci badawczej założonej w celu pomiaru osiadań i przemieszczeń poziomych skarp odcinka drogi S7 obejście Lubnia na południe od Myślenic w woj. małopolskim. Pomiar wykonano z wykorzystaniem niwelatora Leica DNA10 i łąt składanych fiberglasowych GKNL4M. Temperatura powietrza podczas pomiaru w pierwszym cyklu wynosiła ok.  $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$ , a w drugim

ok. 22–23°C. Obliczone „osiadania” były obarczone błędem systematycznym wynikającym z nieuwzględnienia współczynnika rozszerzalności termicznej wykorzystanych łąt. Po odjęciu wpływu różnic temperatury otrzymujemy wielkości zawierające błędy przypadkowe pomiaru i ukryte w nich osiadania.



Rys. 9. Ilustracja wpływu temperatury łąt fibreglasowych na wyniki pomiaru osiadań  
Fig. 9. Illustration of the effect of temperature fiberglass level rods on the measurement of subsidence

## PODSUMOWANIE

Łaty inżynierskie kodowe w komplecie z drugim pod względem dokładności niwelatorem w ofercie danej firmy, np. Leica DNA10, Trimble DiNi 0,7 czy Topcon DL102C mogą być wykorzystywane do niwelacji osnowy szczegółowej. Pozwalają one osiągnąć dokładność rzędu 1,0–1,2 mm·km<sup>-1</sup> podwójnej niwelacji po spełnieniu dodatkowych warunków wynikających z analizy ich budowy oraz ogólnych zasad wykonywania pomiaru:

- należy stosować podpory do łąt;
- pomiar może być wykonywany w terenie o niewielkiej deniwelacji;
- odcinki o dużym spadku terenu należy mierzyć z wykorzystaniem łąt inwarowych;
- stosować łąty jednolite (Leica Sprinter) lub najwyżej dwie sekcje łąt (Leica DNA);
- należy mierzyć temperaturę w czasie pomiaru i uwzględnić w obliczeniach poprawkę termiczną, przyjmując współczynnik rozszerzalności  $\alpha = 8,5 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$ ; zwiększy się dokładność wewnętrzna pomiaru;
- wyniki kalibracji (wartość metra średniego) wystarczy podać jako średnią dla pary łąt; zwiększy się dokładność zewnętrzna, czyli dopasowanie na punktach nawiązania.

## PIŚMIENNICTWO

- Beluch J., Frukacz M., Mróz J., Pokrzywa A., Szczutko T., 2008. Badania laboratoryjne niwelatorów i precyzyjnych łąt niwelacyjnych, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
- Frukacz M., 2012. Optymalne procedury wyznaczania współczynnika liniowej rozszerzalności termicznej i wzorcowania precyzyjnych łąt niwelacyjnych, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Frukacz M., Szczutko T., 2012. Wykorzystanie niwelatora Leica Sprinter z łątami fibrglasowymi GSS113 do niwelacji osnowy szczegółowej III klasy. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. Nr 1/III/2012. Polska Akademia Nauk Oddział w Krakowie, 197–206.
- 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, Warsaw University of Technology, 469–476.
- Takalo M., Rouhiainen P., Lehmuskoski P., Saarinen V., 2001. On Calibration of Zeiss DiNi12. New Technology for a New Century. International Conference FIG Working Week 2001, Seoul, Korea 6–11 May 2001. Workshop – Guidelines for Check, Maintenance and Calibration of Survey Instruments.
- Instrukcja Techniczna G-2 Wysokościowa Osnowa Geodezyjna. Wydanie II, Warszawa 1981.
- Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych

## ANALYSIS OF USING CALIBRATION ENGINEERING BARCODE LEVELLING RODS FOR MEASURING A DETAILED LEVELLING NETWORK

**Abstract.** The vertical comparator which was built in the Geodetic Metrology Laboratory of the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering of the AGH University of Science and Technology in Krakow is used to determine the precise calibration corrections of invar, fiberglass and technical rods, depending on user requests. The paper presents the results of the calibration of selected types of barcode rods known as engineering levelling rods – folding, uniform rods made of fiberglass designed for Leica and Topcon levelling instruments and folding rods made of wood for Trimble DiNi levelling instruments. Based on the results of calibration, an analysis of graduation errors was performed for different types of rods. For folding rods, large errors in graduation of up to 0.3 mm were found upon contact with elements. Errors were found to be cumulative when readings back and forth were performed on different segments of the rods or when there was a large difference in the height between points. The coefficients of scale for various sections of the rods varied considerably. The paper assesses the suitability of engineering rods for measuring a detailed levelling network, including measuring the configuration of the terrain on which the levelling is performed.

**Key words:** calibration, levelling, barcode rods, engineering rods, levelling network

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.12.2013

Do cytowania – For citation: Szczutko T., Frukacz M., 2013. Kalibracja łąt kodowych inżynierskich oraz analiza możliwości ich wykorzystania do pomiaru wysokościowej osnowy szczegółowej. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 12 (4), 55–66.