

JERZY JANUSZ

Mechaniczne własności łąt do niwelacji precyzyjnej (dane techniczne i metodyka badań)

Zarys treści. Wyprowadzono wzory na poprawkę długości podziału taśmy inwarowej ze względu na zmiany długości drewnianego lub metalowego korpusu łąty do niwelacji precyzyjnej. Przedstawiono metodykę badań nieprawidłowości pracy układu naciągania taśmy inwarowej. Podano podstawowe parametry łąt do niwelacji precyzyjnej firm Zeiss-Jena i Wild.

1. Zasady budowy i podstawowe parametry łąt *

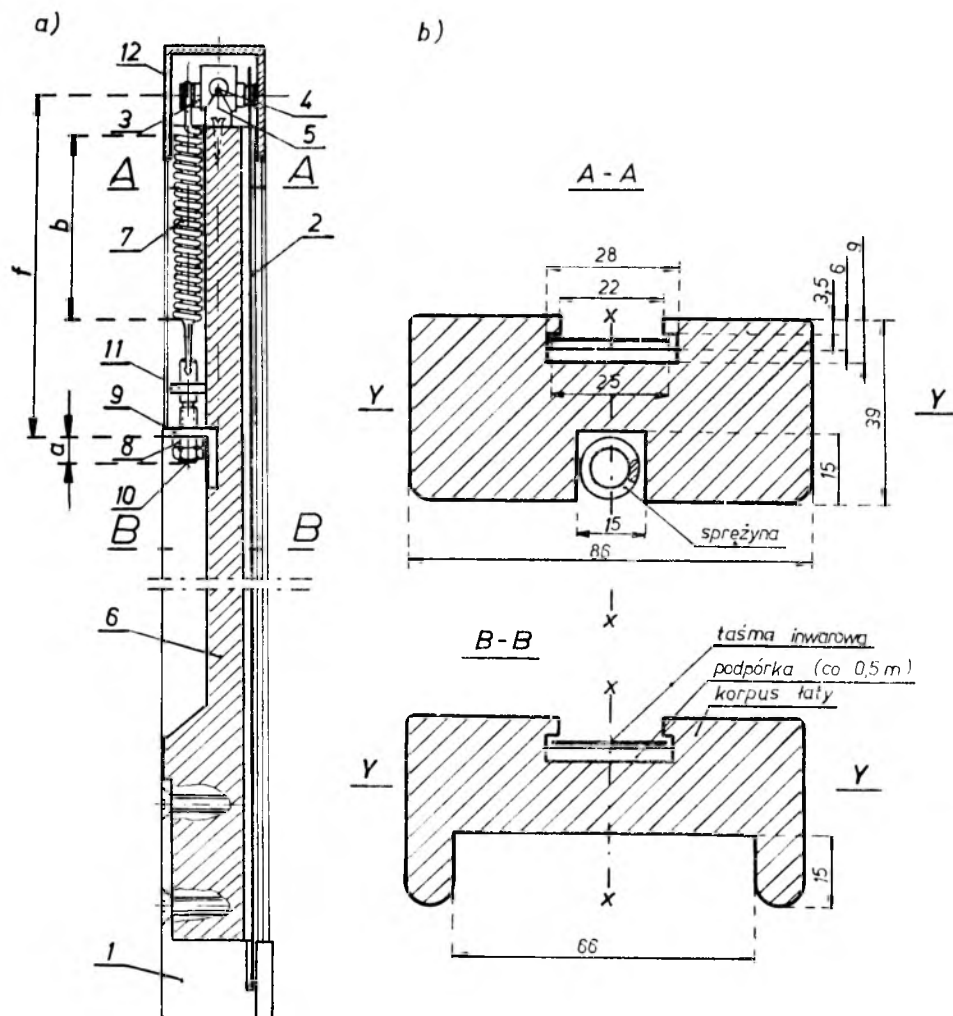
Łata do niwelacji precyzyjnej zbudowana jest na zasadzie uwidocznionej na rysunku 1a, b.

Do metalowej stopki łąty (1) przytwierdzony jest trwale początek taśmy inwarowej (2) z naniesionymi dwoma przesuniętymi względem siebie podziałami w postaci kresek rozmieszczonych co 0,5 cm (lub co 1 cm w łątach firmy Wild i dawniej produkowanych łątach firmy Zeiss-Jana). Przytwierdzenie to dokonane jest tak, aby początek młodszego podziału łąty znajdował się w płaszczyźnie oparcia stopki na reperze. Koniec taśmy umocowany jest przegubowo do ramienia dźwigni (3), której oś obrotu (4) wsparta jest w łożysku na metalowej podstawie (5). Metalowa podstawa dźwigni, podobnie jak stopka (1) są trwale połączone z drewnianym lub metalowym korpusem łąty (6). Do drugiego ramienia dźwigni (3) przytwierdzony jest przegubowo początek sprężyny (7). Na końcu sprężyny zawieszony jest nagwintowany pręt (10) z prowadniczą płytką prostokątną (11), przełożony przez otwór w płytce (9) połączonej trwale z korpusem łąty. Sprężyna zostaje naciągnięta za pomocą nakrętki (8) nakręconej na pręt (10). Dźwignia (3) z przytwierdzonymi do niej zakończeniami taśmy i sprężyny chronione są osłoną metalową (12) przykręconą do korpusu łąty. Na rysunku 1b pokazane są przekroje A-A, B-B łąty w miejscach oznaczonych na rysunku 1a.

W standardowych łątach do niwelacji precyzyjnej taśma inwarowa

* Przedmiotem badań są łąty firm Zeiss-Jena i Wild Heerbrugg. Łąty Zeiss są w Polsce w powszechnym użytkowaniu natomiast łąty Wild występują wprawdzie rzadziej ale uzyskały [1] wysoką ocenę.

ma długość 3 m, natomiast do pomiarów inżynierskich w ciasnych i niskich pomieszczeniach stosowane są również łaty o zróżnicowanych, mniejszych długościach.



Rys. 1

Naciąganie taśmy inwarowej za pomocą sprężyny ma na celu utrzymanie stale jednakowej siły naciągu (z minimalnymi jej zmianami powodowanymi przez zmiany temperatury i wilgotności), ograniczenie wpływu zmian długości korpusu łaty na długość taśmy oraz w pewnym stopniu zmniejszenie szkodliwego dla taśmy wpływu wstrząsów łaty. Efekty te są w różnym stopniu osiągnane w zależności od doboru omawianych dalej parametrów łat obydwu firm, a także w zależności od jakości konstrukcji i użytych materiałów.

Podstawowe znaczenie mają parametry:

1) Sprężystość podłużna taśmy inwarowej.

W zakresie odkształceń sprężystych wydłużenie jednostkowe ε taśmy inwarowej jest proporcjonalne do naprężenia δ

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \delta \quad (1)$$

gdzie

E — moduł sprężystości podłużnej inwaru, którego wartość wynosi 16000 kG/mm²,

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ oraz l_0 — długość taśmy nienaciągniętej i Δl — wydłużenie całkowite,

$\delta = \frac{H}{F}$ oraz H — siła obciążająca taśmę i F — powierzchnia przekroju poprzecznego taśmy.

Sprężystość podłużna taśmy φ_t określa zależność przyrostu wydłużenia Δl_t taśmy inwarowej od przyrostu siły obciążającej ΔH

$$\varphi_t = \frac{\Delta l_t}{\Delta H} = \frac{l_0}{EF} \quad (\text{mm/kG}) \quad (2)$$

2) Sprężystość podłużna sprężyny.

Sprężystość podłużna sprężyny φ_s określa empiryczną zależność zmiany długości sprężyny od zmiany siły jej naciągu

$$\varphi_s = \frac{\Delta l_s}{\Delta H} \quad (\text{mm/kG}). \quad (3)$$

3) Sprężystość podłużna korpusu łąty.

Pod wpływem naciągnięcia taśmy inwarowej za pośrednictwem sprężyny określonej siłą H następuje również sprężysta zmiana długości korpusu łąty. Do jej obliczenia posłużymy się wzorem

$$\varphi_k = \frac{l_0}{EF} = \frac{\Delta l_k}{\Delta H} \quad (\text{mm/kG}) \quad (4)$$

We wzorze (4) występują możliwe do ustalenia parametry: F — powierzchnia przekroju poprzecznego korpusu łąty oraz moduł sprężystości E materiału, z którego wykonany jest korpus łąty (drewno lub określony metal).

4) Parametrem mającym podstawowe znaczenie dla stopnia zmniejszenia wpływu zmian długości korpusu łąty na zmiany długości taśmy inwarowej jest przełożenie P

$$P = \frac{\varphi_t}{\varphi_s} = \frac{\Delta l_t}{\Delta l_s}, \quad (5)$$

wyrażające stosunek wydłużenia taśmy do wydłużenia sprężyny pod wpływem przyrostu siły naciągu.

1.1. Sprężystość podłużna taśm inwarowych

Nie istnieje praktycznie możliwość dokładnego wyznaczenia modułu sprężystości E taśmy bez poddania jej naprężeniom znacznie przekraczającym naprężenia stosowane przez firmy produkujące łąty. Wprawdzie sprężystość taśmy zachowana jest przy naprężeniach dochodzących do $\delta = 30-40$ kG/mm² (około 1/3 naprężania, przy którym następuje zerwanie taśmy) [3], to jednak taśmy w łątach do niwelacji precyzyjnej naciąga się siłą $H \leq 24$ kG, co oznacza przy $F = 15$ mm², że naprężenie $\delta \leq 1,6$ kG/mm². Z powodu tak małych dopuszczalnych naprężeń pozostaje polegać na literaturze, która podaje wartość modułu sprężystości.

Wyznaczenie powierzchni przekroju poprzecznego taśm polega na bezpośrednim pomiarzeniu ich szerokości i grubości. Szerokość taśm w łątach firm Wild i Zeiss-Jena wynosi 25 mm z błędem średnim 0,1 mm. Dokładne wyznaczenie grubości napotyka na trudność wynikającą z tego, że grubość taśmy z warstwą lakieru wynosi 0,7 — 0,8 mm w różnych jej miejscach, zaś grubość taśmy bez warstwy lakieru możemy stwierdzić jedynie w pobliżu dźwigni pod osłoną końca łąty. Na podstawie pomiarów grubości taśm w kilku łątach można stwierdzić, że wynosi ona 0,6 mm z błędem średnim 0,1 mm. Na podstawie tych danych obliczamy dla łąty o długości taśmy równej 3 m

$$\varphi_t = 0,0125 \pm 0,0021 \text{ mm/kG}$$

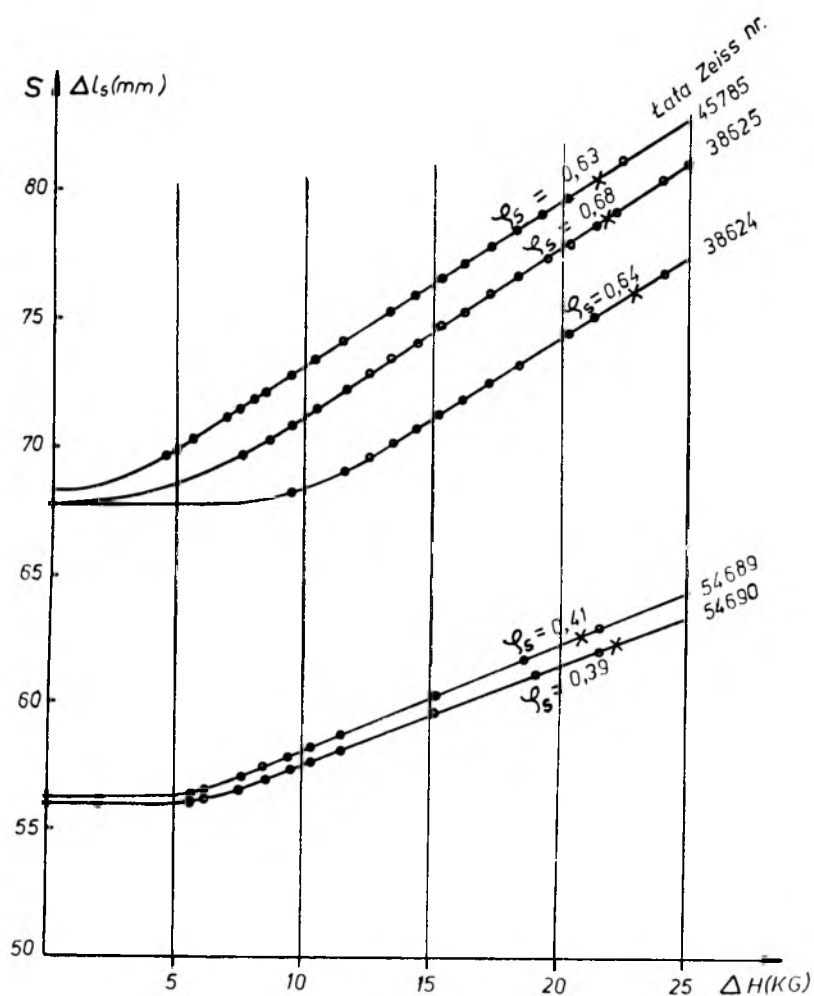
1.2. Sprężystość podłużna sprężyn stosowanych w łątach

W literaturze nie spotkałem informacji na ten temat. Do wyznaczenia wydłużenia sprężyny pod wpływem zmian siły naciągu może służyć przyrząd skonstruowany do wyznaczenia siły naciągu [1] i [13]. Ze względu na obawę, że pomiar siły może być zniekształcony pod wpływem tarcia nagwintowanego pręta (10) o powierzchnię otworu w płytce (9) i prowadniczej płytce prostokątnej (11) o powierzchnię kanału w korpusie łąty, postanowiłem poddać cechowaniu sprężyny wymontowane z łąt. Aby można było po przeprowadzeniu cechowania wymontować sprężyny ponownie do łąt przy zachowaniu uprzedniej siły naciągu należy przed rozmontowaniem zmierzyć odległość a pokazaną na rysunku 1. Jednocześnie w celu zbadania, jaka to jest siła należy przed rozmontowaniem zmierzyć odległość b .

W celu wycechowania zawieszam sprężynę i obciążam stopniowo przyrastającymi siłami $H_1, H_2 \dots H_n$ w granicach od 0 do 25 kG mierząc przy użyciu suwmiarki warsztatowej odpowiadające im długości b_1, b_2

... b_n sprężyny. Do obciążenia używam odważniki. Cechowanie można wykonać również przy użyciu dynamometru, lecz jest ono mniej wygodne i mniej dokładne (pomiar długości przy ręcznym naciąganiu dynamometru).

Na rysunku 2 pokazano przykładowo wykresy uzyskane w wyniku cechowania sprężyn z pięciu lat firmy Zeiss. Wykresy wskazują, że przy siłach naciągu w granicach $12 \div 24$ kG wartość φ_s jest niezmienna.



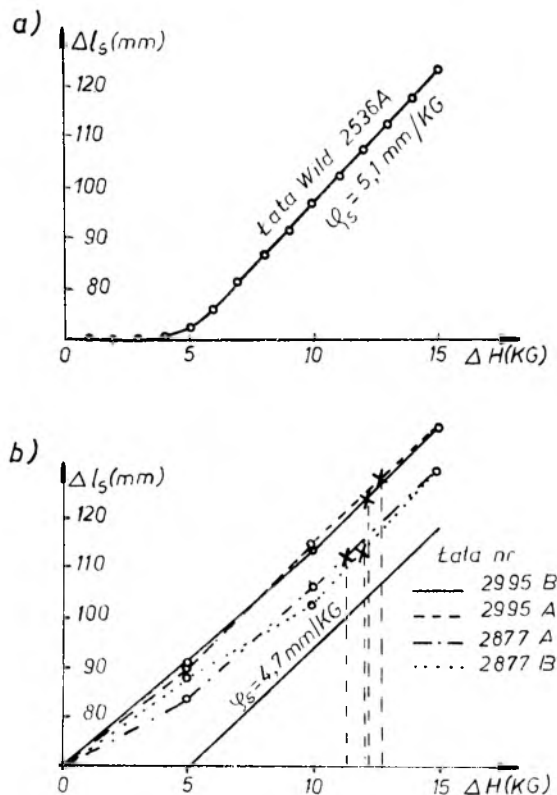
Rys. 2

Na wykresach oznaczono x punkty odpowiadające wartości b zmierzonej przed wymontowaniem sprężyn z lat. Okazało się, że w latach Zeiss sprężyny były naciągane z siłami w granicach $H_n = 21,5 \div 22,5$ kG.

Cechowanie sprężyn przyniosło tu wyniki zawierające się w granicach $0,39 \div 0,68$ mm/kG, co świadczy, że wartości φ_s sprężyn w poszczególnych latach mogą się w praktyce znacznie różnić.

Na rysunku 3a pokazano przykładowo wykres uzyskany w wyniku cechowania sprężyny wymontowanej z łąty firmy Wild nr 2536 A. Wykres ten wskazuje, że przy siłach naciągu w granicach $7 \div 15$ kG wartość φ_s jest niezmienna i równa $\varphi_s = 5,1$ mm/kG. Cechowanie czterech innych sprężyn wymontowanych z łąt firmy Wild przy użyciu dynamometru ¹⁾ przyniosło wyniki przedstawione na rysunku 3b. Średnia wartość φ_s tych sprężyn w granicach siły naciągu $7 \div 15$ kG wyniosła $\varphi_s = 4,7$ mm/kG. Można sądzić, że w zamiarze konstruktora, sprężyny użyte w latach firmy Wild charakteryzują się wartością $\varphi_s \simeq 5$ mm/kG.

Oznaczenie na wykresach x — punktów odpowiadających długościom b sprężyn w latach wskazuje, że taśma inwarowa w latach firmy Wild naciągana jest znacznie mniejszą siłą H_n (tu w granicach $11,3 \div 12,8$ kG).

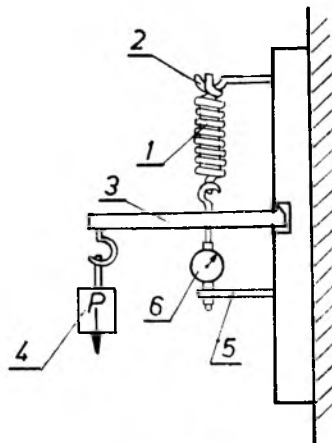


Rys. 3

¹⁾ Cechowanie dynamometrem wykonali na prośbę autora pracownicy OPGK w Krakowie, mgr inż. J. Czajkowski i mgr inż. W. Kielb.

Należy podkreślić, że sprężyna wmontowana do łąty ma ograniczoną możliwość rozkręcania się i skręcania wraz ze zmianami siły naciągu, natomiast sprężyna poddana cechowaniu przy zawieszeniu swobodnym i obciążeniu ciężarkami ma możliwość rozkręcania się, wobec czego trzeba brać pod uwagę, że wywiera to pewien wpływ na wynik cechowania. Aby zbadać czy wpływ ten ma znaczenie praktyczne zmierzono przy cechowaniu kąt o jaki sprężyna rozkręca się przy przyroście siły naciągu od 0 do 15 kG w łątach firmy Wild i od 0 do 25 kG w łątach firmy Zeiss. Stwierdzono, że kąt ten wyniósł dla sprężyny firmy Wild $\beta = 6,3^\circ$, zaś dla sprężyny firmy Zeiss-Jena $\beta = 1,7^\circ$. Wyznaczone wielkości świadczą, że różnice zmian długości sprężyn w zastosowanych zakresach zmian siły naciągu przy zawieszeniu swobodnym i przy ograniczeniu możliwości rozkręcania się, zawierają się w granicach dokładności cechowania i są zaniedbywalne. Tym samym można uznać, że wartości φ_s wyznaczone przy swobodnym zawieszeniu sprężyny charakteryzują prawidłowo jej pracę przy naciąganiu taśmy w łącie.

Aby wyznaczona wartość φ_s była miarodajna do oceny pracy sprężyny w łącie niezbędne jest zachowanie jej niezmienności przy ustalonej sile naciągu. W celu zbadania tej stabilności skonstruowano przyrząd przedstawiony na rysunku 4. Autorem przyrządu jest inż. Stefan Zykubek.



Rys. 4

Sprężyna (1) wmontowana z łąty firmy Zeiss została w przyrządzie zawieszona na jarzmie (2) i przytwierdzona drugim końcem do ramienia dźwigni (3) z zawieszonym na jej końcu stałym ciężarem (4). W uchwycie (5) zamocowano czujnik zegarowy (6), którego nóżka wspiera się od spodu o ramię dźwigni (3) w miejscu zamocowania sprężyny (1). Jarzmo (2), początek ramienia dźwigni (3) i uchwyt czujnika (5) są przytwierdzone do korpusu (7) zawieszonego w pozycji pionowej na ścianie.

W ciągu trzech miesięcy badań stwierdzono, że pod obciążeniem $H_n = 20$ kG w temperaturze pokojowej 15—20°C długość sprężyny nie zmieniła się więcej niż 0,01 mm. Sprężynę poddano też szybkim zmianom temperatury w granicach od 10 do 30°C co wywołało zmiany długości nie przekraczające 0,03 mm. Przewiduje się przeprowadzenie doświadczeń polegających na poddawaniu sprężyny wpływowi drgań o zróżnicowanych częstotliwościach i amplitudzie, imitujących drgania jakim sprężyna jest poddawana przy pracy łąt w terenie w miejscach drgań. Takie badania powinny też w pewnym stopniu wyjaśnić sprawę wpływu uderzania łąty, przy nieostrożnym obchodzeniu się z nią, na zmiany siły naciągu.

Stwierdzone dotychczas, wyżej podane zmiany długości sprężyny można uznać za całkowicie zaniedbywalne z punktu widzenia wywołanych nimi zmian siły naciągu taśmy inwarowej.

1.3. Sprężystość podłużna korpusu łąty

Moduły sprężystości różnych gatunków drewna wzdłuż słoju wahają się w granicach $900 \div 1800$ kG/mm². Do wytwarzania korpusów łąt stosuje się drewno klonu, sosny lub innych gatunków drzew o modułach sprężystości zbliżonych do 1000 kG/mm². Z wymiarów korpusu łąty firm Zeiss i Wild wynika, że jej przekrój poprzeczny poza dolnym i górnym skrajem (na przeważającej długości korpusu) wynosi 2110 mm². Z tego wynika zgodnie z wzorem (4), że $\varphi_k = 0,0014$ mm/kG. Jest to jednostkowa, sprężysta zmiana długości dziewięć razy mniejsza od jednostkowej zmiany długości taśmy inwarowej. Oznacza to, że zmiana długości taśmy inwarowej w łątach Zeiss pod wpływem obciążenia korpusu siłą naciągu taśmy $H = 25$ kG osiąga 0,7 μ m, zaś w łątach Wild pod wpływem obciążenia korpusu siłą naciągu taśmy $H = 15$ kG osiąga 0,05 μ m.

1.4. Stopień zmniejszenia wpływu zmian długości korpusu łąty na zmiany długości taśmy inwarowej

Z badania sprężystości sprężyny firm Wild i Zeiss wynika zaskakująco duża różnica wartości φ_s . Ma to bardzo istotne konsekwencje dla stopnia uniezależnienia taśm inwarowych od zmian długości korpusu. W łątach firmy Wild powinno następować $\frac{1}{P} \simeq 400$ -krotne zmniejszenie wpływu zmian długości korpusu na długość taśmy, natomiast w łątach firmy Zeiss $\frac{1}{P} \simeq 30 \div 55$ -krotne zmniejszenie tego wpływu. Oznacza to, że podział taśmy w łątach firmy Zeiss jest 7 \div 13 razy mniej odporny na zmiany długości wywołane zmianami długości drewnianego korpusu aniżeli w łątach firmy Wild. Interesujące jest porównanie tych danych z informacjami zawartymi w [13].

Parametr P charakteryzuje zmniejszenie wpływu zmian długości korpusu w sposób przybliżony, nieuwzględniający zmian następujących na sumie dwu odcinków: taśmy i sprężyny, o czym będzie mowa w punkcie 2, jednak całkowicie wystarcza do oceny projektowych walorów obydwu rodzajów łąt. Nie oznacza to, że faktycznie takie zmniejszenia wpływów występują w praktyce, bowiem o tym decydują: czułość sprężyny, drożność sprężyny i taśmy oraz rzeczywiste własności sprężyste taśm inwarowych. Zagadnienia te są przedmiotem badań opisanych w punkcie 3 niniejszej pracy.

2. Obliczenie teoretycznej zmiany długości taśmy inwarowej w zależności od zmiany długości korpusu łąty i pomiar zmian długości korpusu

Drewniany korpus łąty może ulegać zmianom długości pod wpływem omówionych w punkcie 1.3 zmian siły naciągu taśmy (które praktycznie można uznać za całkowicie zaniedbywalne), jak też pod wpływem zmian wilgotności i temperatury. Literatura tego zagadnienia jest bardzo uboga. W [7] na stronie 767 znajduje się informacja o badaniach geodetów francuskich, z których wynika, że dobowe zmiany długości korpusu łąty pod wpływem zmian wilgotności mogą dochodzić do 0,6 mm. Podany jest też sposób kontrolowania tych zmian przy wykorzystywaniu specjalnie osadzonych znaczków kontrolnych i przymiaru kontrolnego.

W niniejszych rozważaniach za zmianę długości korpusu łąty uznamy zmianę Δl_k odległości od stopki łąty (1) (wg rys. 1) do osi obrotu (4) dźwigni (3). Przyjmując, że całkowita zmiana długości korpusu wynika z proporcjonalnych zmian długości poszczególnych odcinków korpusu uznamy, że zmianie podlega również odległość f (rys. 1). osi obrotu (4) dźwigni od płytki (9), mocującej koniec sprężyny do korpusu łąty. Odległość $f = 14$ cm, tak więc $\Delta l_f = \frac{14}{300} \Delta l_k = 0,047 \Delta l_k$.

Wynika z tego, że wraz z wydłużeniem korpusu łąty o Δl_k następuje wydłużenie sprężyste sprężyny Δl_s i taśmy inwarowej Δl_t wyrażające się wzorem

$$\Delta l_s + \Delta l_t = 1,047 \Delta l_k$$

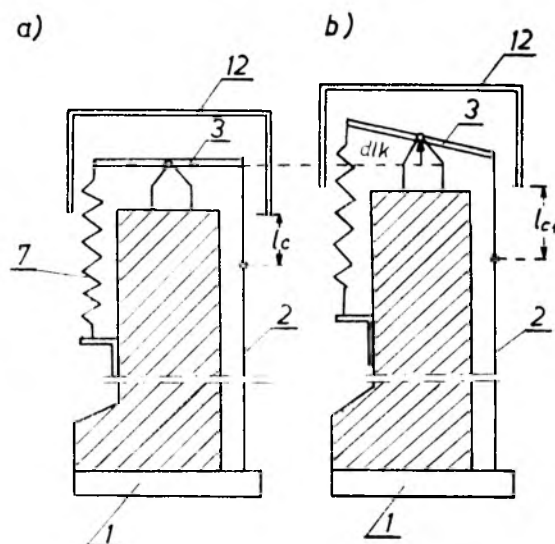
Biorąc pod uwagę wyrażenia (3) i (5) możemy z powyższej zależności wyeliminować $\Delta l_s = \Delta l_t / P$ otrzymując

$$\Delta l_t = \frac{1,047P}{1+P} \Delta l_k \quad (6)$$

Podany w [7] sposób kontrolowania zmian długości korpusu łąty przy użyciu specjalnych przymiarów był uzasadniony w czasach, gdy do niwelacji precyzyjnej stosowano łąty drewniane bez taśmy inwarowej. Obecnie kontrolę taką można w bardzo prosty sposób przeprowadzić korzystając z przymiaru, jakim jest sama taśma inwarowa łąty, uwzględniając

oczywiście fakt, że wraz ze zmianą długości korpusu taśma ta również ulega pewnej, choć wielokrotnie mniejszej zmianie długości.

W tym celu można zgodnie z rysunkiem 5 mierzyć okresowo odległość l_c od dolnej krawędzi osłony (12) (oznaczenia numerów części łąty jak na rysunku 1) do wybranej, pobliskiej kreski podziału łąty. Na ry-



Rys. 5

sunku 5a pokazano sytuację wyjściową, której odpowiada pomierzona wartość l_c , natomiast na rysunku 5b sytuację aktualną, zaistniałą po zwiększeniu się długości łąty o Δl_k , której odpowiada pomierzona wielkość l_{c_1} . Wyznaczona różnica $\Delta l_c = l_{c_1} - l_c$ pozostaje w określonym związku ze zmianą długości Δl_k korpusu łąty. Uwzględniając sprężystą zmianę długości taśmy inwarowej pod wpływem zmiany długości korpusu łąty i zakładając, że pomiar zmian Δl_c odbywa się na końcu taśmy (na poziomie dźwigni (3), związek ten możemy zapisać

$$\Delta l_k = \Delta l_c + \Delta l_t \quad (7)$$

Biorąc pod uwagę wzór (6) napiszemy

$$\Delta l_k = \frac{P+1}{1-0,047P} \Delta l_c \approx (P+1)\Delta l_c \quad (8)$$

Ze względów praktycznych interesuje nas związek między mierzonymi różnicami Δl_c a zmianami Δl_t długości taśmy inwarowej. Na podstawie (7) możemy napisać

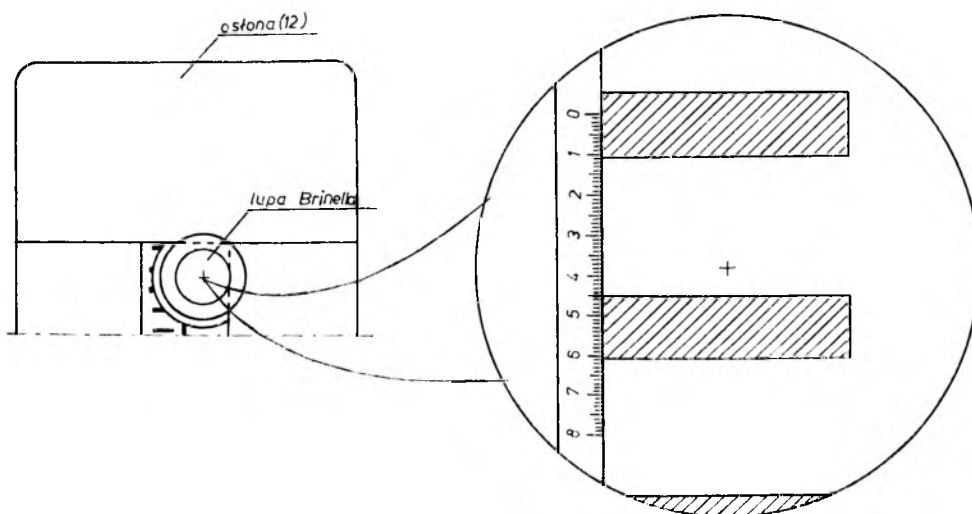
$$\Delta l_t = \Delta l_k - \Delta l_c$$

skąd po uwzględnieniu (6) otrzymamy

$$\Delta l_t = \frac{1,047 \cdot P}{1 - 0,047P} \Delta l_c \approx 1,047 \cdot P \Delta l_c \quad (9)$$

Korzystając z mierzonych zmian Δl_c i wzoru (9) możemy obliczać poprawki długości taśmy inwarowej ze względu na zmiany długości korpusu łąty.

Biorąc pod uwagę wzory (5), (9) zauważymy, że pomiar zmian Δl_c może być wykonywany ze stosunkowo niedużą dokładnością, rzędu 0,1 mm, wówczas bowiem zmiana długości taśmy inwarowej w łacie firmy Zeiss zostaje wyznaczona z błędem $m_{\Delta l_t} \approx 0,003$ m, zaś w łacie firmy Wild z błędem $m_{\Delta l_t} \approx 0,00025$ mm. W związku z tym pomiar można wykonywać lupą pomiarową Brinella przyłożoną do podziału taśmy na styk z osłoną (12) i krawędzią kanału na taśmie, jak na rysunku 6.



Rys. 6

3. Doświadczalne sprawdzanie zachowania się taśmy pod wpływem zmian siły naciągu

Związki wyprowadzone w punktach 1, 2 niniejszej pracy mogą charakteryzować zachowanie się łąt pod warunkiem, że w łątach nie występują dodatkowe czynniki zakłócające. Głównie należy się spodziewać pewnych oddchyień od spełnienia tych związków wskutek niezgodności zachowania się sprężyny i taśmy inwarowej z teorią sprężystości oraz wskutek oporów tarcia na osi obrotu dźwigni i w miejscach jej połączeń przegubowych z taśmą i sprężyną. Ewentualne niezgodności i dodatkowe opory mogą mieć znaczenie głównie w przypadku zachodzenia zmian długości korpusu łąty, jak też przy termicznych zmianach długości taśmy inwa-

rowej. Istotne znaczenie ma też zdolność zachowywania przez sprężynę i taśmę inwarową niezmienną długości przy tej samej temperaturze, wilgotności i sile naciągu.

W pierwszej kolejności uznałem za stosowne zorientowanie się w faktycznie występujących zmianach długości drewnianych korpusów łąt, bowiem przesądza to o znaczeniu rozważań na temat mechanicznych własności układu taśma inwarowa — dźwignia — sprężyna. W tym celu poddałem wybraną łątę firmy Zeiss okresowej kontroli odległości l_c , przy jednoczesnym wyznaczaniu wilgotności i temperatury. Pomiary prowadzone w okresie wiosenno — letnim wykazały, że w ciągu około trzech miesięcy następowały zmiany długości korpusu dochodzące do 0,7 mm przy dosyć wyraźnym związku z następującymi zmianami wilgotności. Można spodziewać się, że w pełnym cyklu rocznym zmiany długości korpusu łąty są większe, w związku z czym rozpocząłem badania w tym zakresie przewidziane na okres kilkuletni, przy jednoczesnym objęciu nimi kilku łąt znajdujących się w różnych warunkach (łąty przechowywane w magazynie i łąty używane w terenie).

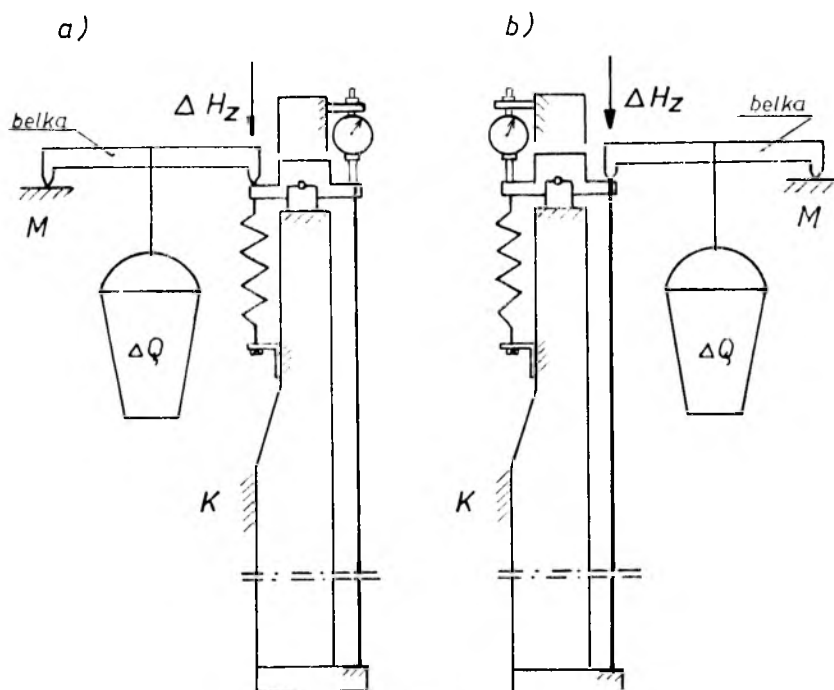
Stwierdzona dotychczas wartość zmiany długości rzędu 0,7 mm wskazuje, że pod jej wpływem mogą następować w łątach firmy Zeiss zmiany długości taśmy inwarowej rzędu 0,02 mm zaś w łątach firmy Wild zmiany rzędu 0,002 mm. Przypuszczam, że zmiany długości taśmy pod tym wpływem w cyklu rocznym, których badanie zostało rozpoczęte, mogą się okazać większe, rzędu 0,03 — 0,05 mm w łątach firmy Zeiss, co skłania do tego, by nie traktować ich jako zaniedbywalne, zwłaszcza przy pracach o podwyższonej dokładności, takich jak wyznaczenie osiadań obiektów inżynierskich w terenach o dużych deniwelacjach. Uzasadnia to przeprowadzenie badań okresowych omówionych niżej. Badania takie uważam za uzasadnione również z tego powodu, że mogą one w pewnym stopniu wyjaśnić przyczyny trudności dokładnego wyznaczenia współczynników rozszerzalności termicznej taśm inwarowych w łątach do niwelacji precyzyjnej, o których jest mowa w publikacji [1].

3.1. Badanie czułości dźwigni i sprężyny (doświadczenie I)

Przez czułość dźwigni rozumiem zdolność do zachowania warunków równowagi w układzie taśma inwarowa — dźwignia — sprężyna, zgodnych z parametrami sprężystości taśmy i sprężyny, podczas zmian długości korpusu łąty i termicznych zmian długości taśmy. Jej miarą będą odchylenia rzeczywistych zmian długości taśmy od zmian obliczonych na podstawie wyznaczonych uprzednio parametrów sprężystości.

Badanie przeprowadziłem zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 7. Łatę przymocowano trwale w pozycji pionowej w pobliżu górnego końca do nieruchomej powierzchni K .

W I wariacie (rysunek 7a) po zdjęciu osłony (12) (wg rysunku 1) przytwierdzono do korpusu łąty czujnik zegarowy, którego pionowo ustawiona nóżka wspiera się na górnej powierzchni (krawędzi) taśmy inwarowej.



Rys. 7

Wykonano na czujniku odczyt wyjściowy l_0 po czym na górnej powierzchni (krawędzi) sprężyny (7) wsparto koniec poziomej belki, której drugi koniec spoczywa na nieruchomej powierzchni M . W połowie długości belki zawieszono wiadro. Uwzględniając siłę wywieraną przez belkę i wiadro na górną krawędź sprężyny (7) dolewano do wiadra wodę tak, aby uzyskać kolejne przyrosty siły zewnętrznej ΔH_z , 1, 2, 3, 4, 5, 6, kG, wykonując odpowiadające tym stanom odczyty czujnika $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$. Następnie stopniowo wylewano wodę z wiadra uzyskując na czujniku odczyty odpowiadające siłom naciągu zmniejszającym się co 1 kG. Dolewanie wody w tym wariacie oznacza zwiększanie siły naciągu H_n taśmy osiąganą przy użyciu sprężyny.

To doświadczenie imituje sytuację jaka następuje wraz ze zmianą temperatury taśmy. Ma ono odpowiedzieć na pytanie, w jakim stopniu sprężyna i dźwignia są zdolne wywołać przesunięcie końca taśmy zgodnie z jej minimalnym skróceniem lub wydłużeniem nie większym od 0,08 mm pod wpływem zmiany temperatury.

Aktualną siłę naciągu taśmy obliczamy z wzoru

$$H_a = H_n + \Delta H_z - \Delta H_n \quad (10)$$

gdzie

ΔH_z — przyrosty siły naciągu wywołane obciążeniem przez wiadro, belkę i dolewaną wodę,

ΔH_n — ubytki siły naciągu sprężyny wywołane jej skracaniem pod wpływem przyrostów ΔH_z .

Skrócenie sprężyny pod wpływem zewnętrznego przyrostu siły ΔH_z możemy obliczyć biorąc pod uwagę wzór (1) i podstawiając do niego ΔH_z w miejsce H . Okazuje się, że pod wpływem zastosowanego w doświadczeniu największego przyrostu $\Delta H_z = 6$ kG zmiana długości taśmy inwarowej powinna osiągać wielkość zbliżoną do 0,075 mm, co w łacie firmy Zeiss odpowiada ubytkowi siły naciągu sprężyny ΔH_n rzędu 0,13 kG.

Na podstawie obliczonych różnic $\Delta H = H_a - H_n$ oraz odpowiadających im zmian odczytu czujnika $\Delta l = l_a - l_n$ utworzono wykresy pokazane na rysunkach 8, 9 w górnych prawych ćwiartkach prostokątnego układu współrzędnych.

W wariantcie II (rysunek 7b) przytwierdzono do korpusu łąty czujnik zegarowy, którego pionowo ustawiona nóżka wspiera się na górnej powierzchni sprężyny. Po wykonaniu odczytu l_0 wsparto na górnej krawędzi taśmy inwarowej koniec poziomej belki, której drugi koniec spoczywa na nieruchomej powierzchni M . W połowie długości belki zawieszono wiadro. Dolewanie wody do wiadra w tym wariantcie oznacza stopniowe zmniejszanie siły naciągu taśmy inwarowej. Wykonano serię odczytów czujnika przy stopniowym dolewaniu wody i później wylewaniu jej z wiadra w interwałach co 1 kG. Na podstawie stwierdzonych różnic odczytów utworzono wykresy pokazane na rysunkach 8, 9 w lewych dolnych ćwiartkach prostokątnego układu współrzędnych.

Obserwacje czułości wykonano dwukrotnie, otrzymując w rezultacie po dwa wykresy (linie kropkowane oznaczają zwiększenie siły naciągu taśmy zaś ciągłe oznaczają zmniejszanie siły naciągu taśmy).

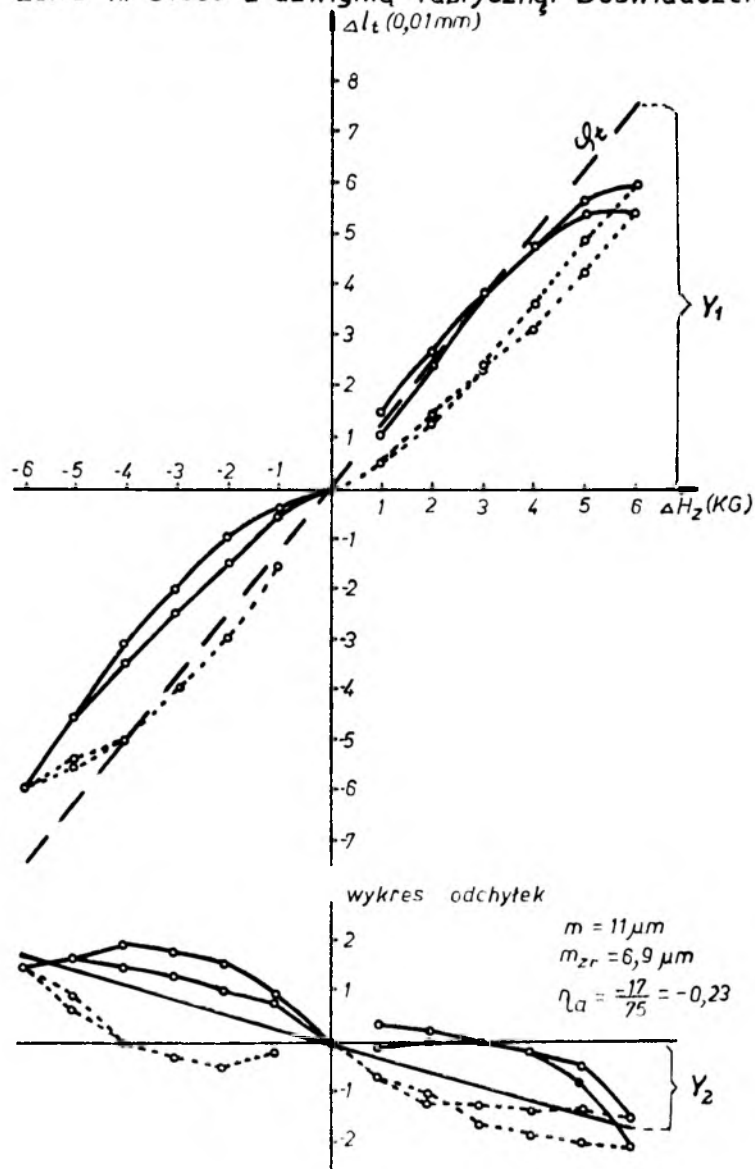
Wyniki badania czułości

Rezultaty uwidocznione na rysunku 8 dotyczą standardowej dźwigni w łacie firmy Zeiss nr 54689. Budowa tej dźwigni przedstawiona jest schematycznie na rysunku 10a. Na rysunku 8 oznaczono linią przerywaną teoretyczny wykres zmian długości taśmy pod wpływem zmiany siły naciągu odpowiadającej ustalonej uprzednio wartości $\varphi_t = 0,0125$ mm/kG.

Widoczne jest charakterystyczne układanie się wykresu rzeczywistej zależności Δl_t od ΔH_z . Przy nieznacznym zwiększeniu obciążenia ponad H_n o 1 kG następuje około 2,5 raza mniejsza zmiana długości taśmy inwarowej niż zmiana teoretyczna, po czym w miarę dalszego zwiększania obciążenia wykres rzeczywisty zaczyna przebiegać w przybliżeniu równoległe do wykresu teoretycznego. Po dociążeniu o $\Delta H_z = 6$ kG rozpoczęto stopniowe odciążanie, przy czym widoczne jest, że po nieznacznym odciąż-

zeniu o 1 kG wykres wykazuje zmianę długości taśmy około 2,5 raza mniejszą od teoretycznej, po czym, w miarę dalszego odciążania zaczyna on przebiegać w przybliżeniu równoległe do wykresu teoretycznego. W rezultacie tworzy się charakterystyczne przesunięcie wykresu powrotnego (przy zmniejszaniu obciążenia). Podobnie układa się wykres uzyskany przy stopniowym zmniejszaniu obciążenia w stosunku do H_n i po osiągnięciu $\Delta H_z = -6$ kG ponownym stopniowym zwiększaniu obciążenia.

łata Zeiss nr 54689 z dźwignią fabryczną. Doświadczenie I



Rys. 8

Taki charakterystyczny sposób układania się wykresów potwierdził się przy obu powtórzeniach doświadczenia. Zauważono, że mniejsze od teoretycznych zmiany Δl_t następują za każdym razem przy rozpoczynaniu obciążenia lub odciążenia, a także przy każdej zmianie (przejściu z obciążenia na odciążenie i odwrotnie). Aby stwierdzić czy jest to tendencja stała, wykonano dodatkowo skrócone cykle obciążeń i dociążeń do 2 i 4 kG otrzymując za każdym razem taki sam charakter wykresów co uwidoczniło na rysunku 11. Jest to niewątpliwie wynik pewnej bezwładności układu, głównie zapewne spowodowanej oporami tarcia osi (4) wobec dużej powierzchni przylegania jej do półpanewki (5), por. rys. 1.

W dolnej części rysunku 8 pokazano wykres odchyłek (różnic między wykresem rzeczywistej zależności przyrostu długości taśmy od przyrostu siły naciągu a wykresem teoretycznym tej zależności). Wykres ten wyraża odchyłki (błędy) czułości, które dochodzą tu do 20 μm .

Zauważmy, że oznaką zgodności wykresu rzeczywistej zależności między Δl_t i ΔH_z z wykresem φ_t byłoby ich pokrywanie się.

Odchylenie wykresu odchyłek od poziomu można uznać, w zestawieniu z nachyleniem wykresu φ_t za symptom systematycznego zmniejszania wartości Δl_t wywołanego zmianami siły naciągu w stosunku do wartości obliczonej na drodze teoretycznej. Na podstawie wykresu odchyłek wypośredkowałem więc prostą nachyloną i obliczyłem stosunek tangensów kątów nachylenia tej prostej i wykresu φ_t otrzymując

$$\eta_a = \frac{y_2}{y_1} = \frac{-17}{75} = -0,23$$

Może to oznaczać, że przyłożone do dźwigni zmiany siły naciągu przenoszą się na taśmę inwarową tylko w 77%, natomiast obliczona wartość η_a oznacza 23% stratę siły wskutek tarcia osi (4) o łożysko (5).

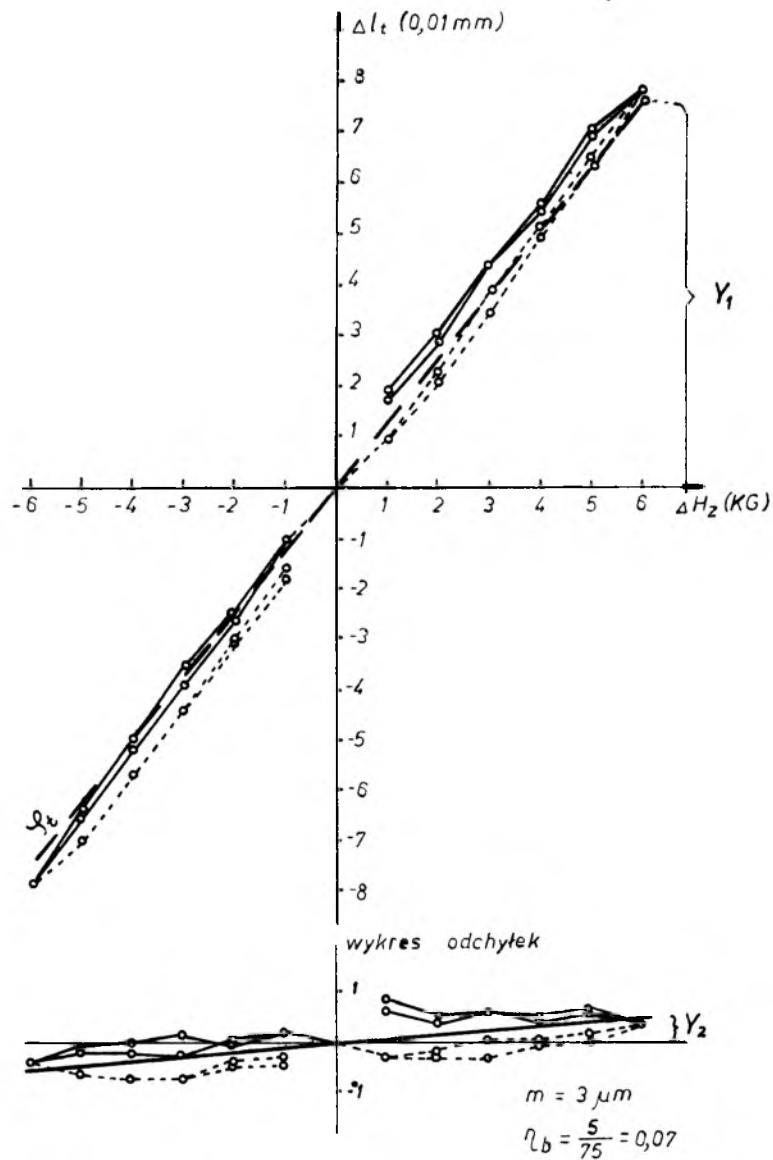
Na podstawie odchyłek v pokazanych na rysunku 8 obliczyłem błąd $m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = 11 \mu\text{m}$. Jeżeli uznamy procentowe zmniejszenie siły naciągu taśmy za stałe w całym zakresie wywołanych zmian siły naciągu, to do oceny dokładności przeprowadzonego badania bardziej miarodajny będzie błąd m_{zred} obliczony na podstawie poprawek odniesionych do wypośredkowanej prostej nachylonej. Błąd ten okazał się równy $m_{zred} = 6,9 \mu\text{m}$.

Uznając, że duży błąd m jak też zdecydowane odchylenie wykresu odchyłek od poziomu są wynikiem tarcia osi o półpanewkę, zaprojektowałem inne rozwiązanie tego elementu konstrukcyjnego w łacie Zeiss, uwidocznione schematycznie na rysunku 10b. W rozwiązaniu tym łożysko ślizgowe wg rysunku 10a zastąpiono ustawieniem nożowym dźwigni w kątowych gniazdach wykonanych w podstawce osi. Po wmontowaniu takiej dźwigni do wspomnianej łaty przeprowadzono badania czułości, których wyniki są przedstawione na rysunku 9. Widoczne jest, że występuje tu taka sama tendencja układania się wykresów przy rozpoczynaniu obciążeń

lub odciążen i zmianach (przejściach z obciążenia na odciążenie i odwrotnie), natomiast zdecydowanie mniejsze są odchyłki czułości. Pokazany w dolnej części rysunku 9 wykres odchyłek nie wykazuje wielkości większych od $7 \mu\text{m}$, zaś błąd $m = 3 \mu\text{m}$.

Otrzymana wartość $\eta_b = +0,07$ oznacza 7% zwiększenie siły naciągu taśmy inwarowej w stosunku do siły przyłożonej do ramienia dźwigni, co jest wynikiem nielogicznym (na skutek oporów tarcia może nastąpić

łata Zeiss nr 54689 z dźwignią przerobioną. Doświadczenie I

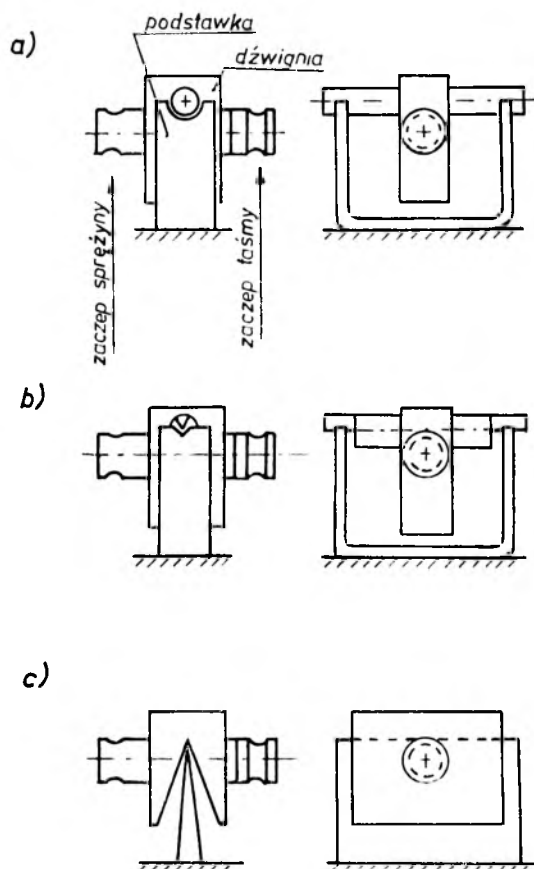


Rys. 9

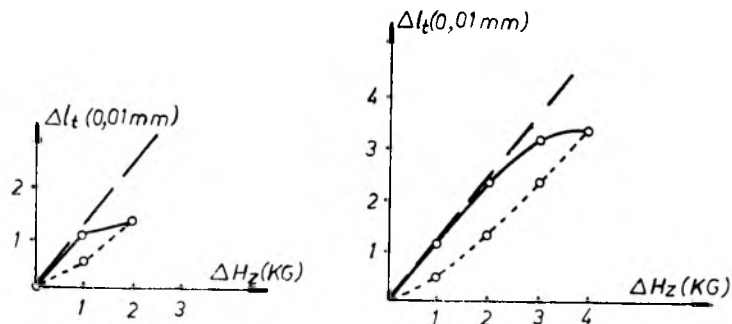
ubytek przyłożonej siły nie zaś jej wzrost). Biorąc jednak pod uwagę podaną uprzednio wartość błędu wyznaczenia współczynnika φ_t można uznać, że otrzymana wartość $\eta_b = +7\%$ mieści się w granicach dokładności wyznaczenia.

Widoczne jest, że zastąpieniu dźwigni z rysunku 10a dźwignią z podparciem nożowym jak na rysunku 10b towarzyszyło około 3-krotne zmniejszenie odchyłek (zwiększenie czułości dźwigni).

Stwierzone wystąpienie w łąkach Zeiss odchyłek dochodzących do $20 \mu\text{m}$ wskazuje na to, że dźwignia i sprężyna reagują na drobne zmiany długości taśmy inwarowej ze zbyt małą dokładnością, co ma istotny wpływ na obniżenie dokładności wyznaczania współczynników rozszerzalności termicznej. Praktycznie przy współczynniku α rzędu $1 \cdot 10^{-6}$ oznacza to niezdolność reagowania na zmiany temperatury dochodzące do 7°C wobec czego błąd wyznaczanego współczynnika z tego tytułu sięga 35% jego wartości. Zastosowanie dźwigni jak na rysunku 10b może znacznie zmniejszyć ten błąd.



Rys. 10



Rys. 11

Należy wspomnieć, że w łątach firmy Wild stosowane są dźwignie z układem kłowym jak na rysunku 10c. Dźwignie takie stosowane były również w dawniej produkowanych łątach firmy Zeiss.

3.2. Badanie czułości dźwigni i sprężyny (doświadczenie II)

Do regulowania siły naciągu sprężyny służy nakrętka (8) wg rysunku 1, której obracanie na nagwintowanym pręcie (10) powoduje przesuwanie go w otworze wykonanym w płytce (9). Przesuwaniu temu towarzyszy rozciąganie sprężyny lub jej kurczenie, w zależności od kierunku obrotu nakrętki. To z kolei powinno powodować obracanie dźwigni (3) i wydłużanie lub skracanie taśmy inwarowej.

Doświadczenie przeprowadziłem w sposób następujący. Łatę ustawiłem na stanowisku do precyzyjnego porównywania łąt [5] i zaobserwowałem mikroniwelatorem położenie l_0 kreski podziału znajdującej się na wysokości 2,89 m nad stopką łąty (na takiej wysokości znajduje się mikroskop mikroniwelatora na stanowisku w Solinie). Odczytowi temu odpowiada odległość a_0 końca pręta (10) od powierzchni płytki (9) pomierzona suwmiarką warsztatową. Następnie obróciłem nakrętkę tak, aby pręt wsunął się do otworu w płytce o $1/3$ mm i wykonałem odpowiadający temu odczyt a_1 , ustawiłem łątę na stanowisku i wykonałem odczyt l_1 aktualnego położenia kreski podziału. W taki sposób zmniejszałem kolejno odległość a co $1/3$ mm w zakresie do 2 mm, wykonując odpowiadające odczyty położenia kreski podziału l_1, \dots, l_6 . Następnie wywoływałem stopniowe wyciąganie pręta z otworu obracaniem nakrętki w przeciwnym kierunku skokami po $1/3$ mm w zakresie do 4 mm, wykonując odpowiednie odczyty położenia kreski łąty, po czym ponownie zmniejszałem odległość a skokami co $1/3$ mm aż do pozycji wyjściowej a_0 ; wykonując odczyty położenia kreski łąty. Tak więc badanie przeprowadziłem w zakresie ± 2 mm w stosunku do początkowego położenia a_0 odpowiadającego nominalnej sile naciągu H_n sprężyny.

W rezultacie otrzymałem dwa szeregi wartości: $\Delta a = a_i - a_0$, $\Delta l = l_i - l_0$.

Zauważmy, że tak wywołane zmiany Δa nie są równoznaczne ze zmianami długości sprężyny Δl_s , bowiem początek jej jest przymocowany do ruchomego ramienia dźwigni. Wskutek naciągnięcia sprężyny i taśmy inwarowej zachodzi związek

$$\Delta a - \Delta l_t = \Delta l_s \quad (11)$$

gdzie

Δl_t — zmiana długości 3-metrowego odcinka taśmy inwarowej,

Δl_s — zmiana długości sprężyny.

Zauważmy też, że zaobserwowane zmiany Δl nie są równoznaczne ze zmianami Δl_t bowiem zostały zaobserwowane nie na końcu taśmy lecz na odległości 2,89 m od stopki. Zachodzi więc związek

$$\Delta l_t = \frac{300}{289} \Delta l \quad (12)$$

Na podstawie (11), (12) możemy napisać

$$\Delta l_s = \Delta a - \frac{300}{289} \Delta l \quad (13)$$

Wyniki badania czułości

Na rysunku 12 pokazano otrzymane z pomiarów wykresy rzeczywistych zależności między wartościami Δl_t obliczonymi z wzoru (12) a wartościami Δl_s obliczonymi z wzoru (13).

Rysunek 12a dotyczy wyników badania łąty Zeiss nr 38625 z oryginalną dźwignią fabryczną (rys. 10a) zaś rysunek 12b dotyczy wyników badania tej samej łąty z wmontowaną dźwignią przerobioną według rysunku 10b.

Na rysunku 12 oznaczono linią ciągłą wykresy rzeczywiste uzyskane przy zmniejszaniu siły naciągu (skracaniu sprężyny) zaś linią kropkowaną wykresy uzyskane przy zwiększaniu siły naciągu (wydłużaniu sprężyny).

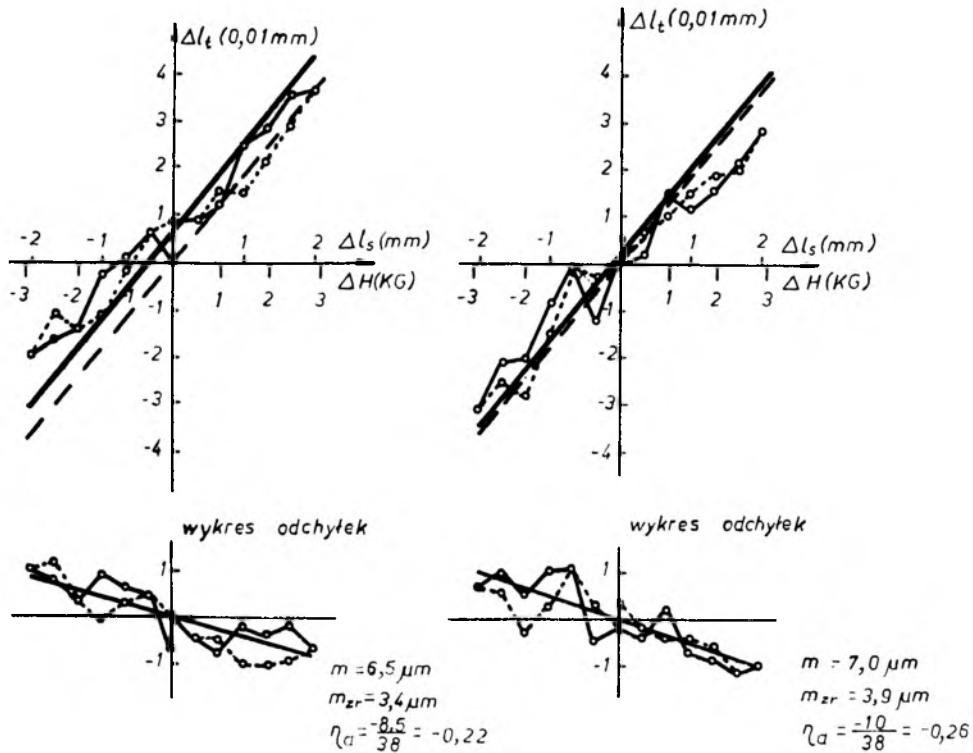
Aby przekonać się co oznaczają uzyskane wykresy rzeczywiste naniosłem na rysunku linią przerywaną prostą wyrażającą wykres wartości P . Aby to uczynić należało wyskalować oś poziomą układu współrzędnych nie tylko w jednostkach zmiany długości sprężyny Δl_s ale również w jednostkach odpowiadających im zmian siły naciągu ΔH . Do tego posłużył wynik cechowania sprężyny przedstawiony na rysunku 2, to jest uzyskana z cechowania wartość $\varphi_s = 0,68$ mm/kG, jak też ustalona uprzednio dla łąt Zeiss i Wild $\varphi_t = 0,0125$ mm/kG. Tak więc na rysunku 12 naniesiono wykres

$$P = \frac{\varphi_t}{\varphi_s} = \frac{0,0125}{0,68} = 0,0185$$

łata Zeiss nr 38625. Doświadczenie II

a) z dźwignią fabryczną

b) z dźwignią przerobioną



Rys. 12

Zauważmy, że oznaką zgodności wykresu rzeczywistej zależności między Δl_t i Δl_s z wykresem P jest ich równoległość. W związku z tym dokonałem aproksymacji wykresów rzeczywistych prostymi równoległymi do wykresu P , oznaczając wypośrodkowaną prostą linią pogrubioną. W stosunku do tak wypośrodkowanych prostych wyznaczyłem odchyłki liniowe wykresów rzeczywistych, mierząc je wzdłuż kierunku osi Δl_t . Tak wyznaczone odchyłki przedstawiłem na wykresach w dolnej części rysunku 12.

Charakterystyki czułości pokazane na rysunku 12a i 12b okazały się bardzo zbliżone, w minimalnym stopniu korzystniejsze dla łąty z oryginalną, fabryczną dźwignią (rys. 12a) aniżeli dla tej samej łąty z wmontowaną dźwignią przerobioną zgodnie z rysunkiem 10b. Podobnie ułożyły się wyniki badania łąty Zeiss nr 38624 z tego samego kompletu, natomiast wyniki badania łąty Zeiss nr 45785 okazały się wyraźnie mniej korzystne przy zastosowaniu dźwigni fabrycznej niż przy zastosowaniu dźwigni przerobionej. Wyniki badania wymienionych łąt zestawiono w tabelicy 1.

Wynik badania łąty nr 45785 z dźwignią fabryczną wskazuje, że mogła przy tym występować niedrożność, usunięta następnie przy zamontowaniu dźwigni przerobionej.

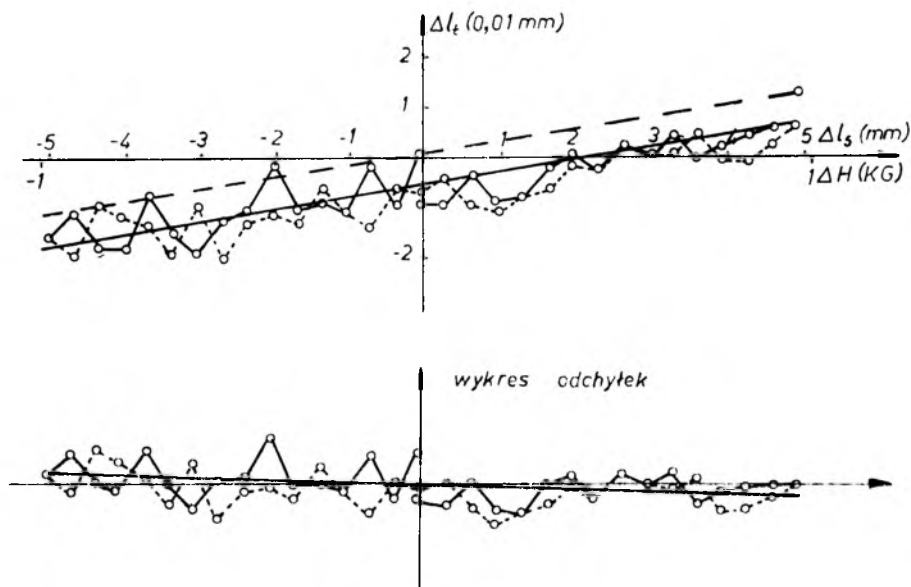
Tablica 1

Łata nr	z dźwignią fabryczną /10a/			z dźwignią przerobioną /10b/		
	η_c	m μm	m_{zr} μm	η_b	m μm	m_{zr} μm
38624	-0,16	4,9	3,3	-0,16	5,7	4,6
38625	-0,22	6,5	3,4	-0,28	7,0	3,9
45785	-0,63	14,0	4,5	-0,18	6,3	5,4

Podobnie przeprowadzone badanie łąty firmy Wild nr 2536 A przyniosło wyniki przedstawione na rysunku 13. Widoczne jest, że zmniejszenie siły naciągu taśmy w stosunku do siły przyłożonej przez naciągnięcie sprężyny jest tu nieznaczne, równe $\eta_c = 0,14$ zaś błąd $m = 3,5 \mu\text{m}$.

Wynik doświadczenia informuje na ile realne jest regulowanie długości taśmy inwarowej zmianą siły naciągu sprężyny obliczoną na podsta-

Łata Wild nr 2536A Doświadczenie II



Rys. 13

wie wyznaczonej wartości przłożenia P . Okazuje się, że reakcja taśmy na przyłożoną zmianę siły naciągu jest z reguły nieco mniejsza od prognozowanej na podstawie P , może też znacznie odbiegać od niej w wypadku braku pełnej drożności.

3.3. Badanie wpływu zmian długości korpusu łąty na zmiany długości taśmy inwarowej (doświadczenie III)

Uprzednio założyliśmy, że zmiana długości Δl_k korpusu łąty powstaje w wyniku sumowania się zmian długości poszczególnych odcinków korpusu proporcjonalnych do ich długości. Imitowanie zmian długości korpusu będzie więc polegać na przesuwaniu osi obrotu (4) w stosunku do drewnianego korpusu o określone wartości Δl_k przy jednoczesnym przesuwaniu końca pręta (10) o wartość $\frac{300-f}{300} \Delta l_k$. Do wywoływania zmian położenia

osi obrotu (4) zaprojektowałem przyrząd [10] z uchwytem osi obrotu, możliwym do podnoszenia ponad podstawkę (5) umocowaną na korpusie łąty.

Wywołanie zmian Δl_k jest ograniczone co do wielkości względami konstrukcyjnymi dźwigni. Praktycznie przekroczenie zmian rzędu 3 mm grozi zakleszczeniem układu, co w konsekwencji prowadzi do wielokrotnie większych, niż obliczone teoretycznie, zmian długości taśmy inwarowej pod wpływem zmian długości korpusu łąty, a już po przekroczeniu $\Delta l_k = 2$ mm widoczne jest wyraźnie pogorszenie pracy układu (w praktyce zapewne zmiany długości korpusu nie osiągają tak dużych wartości).

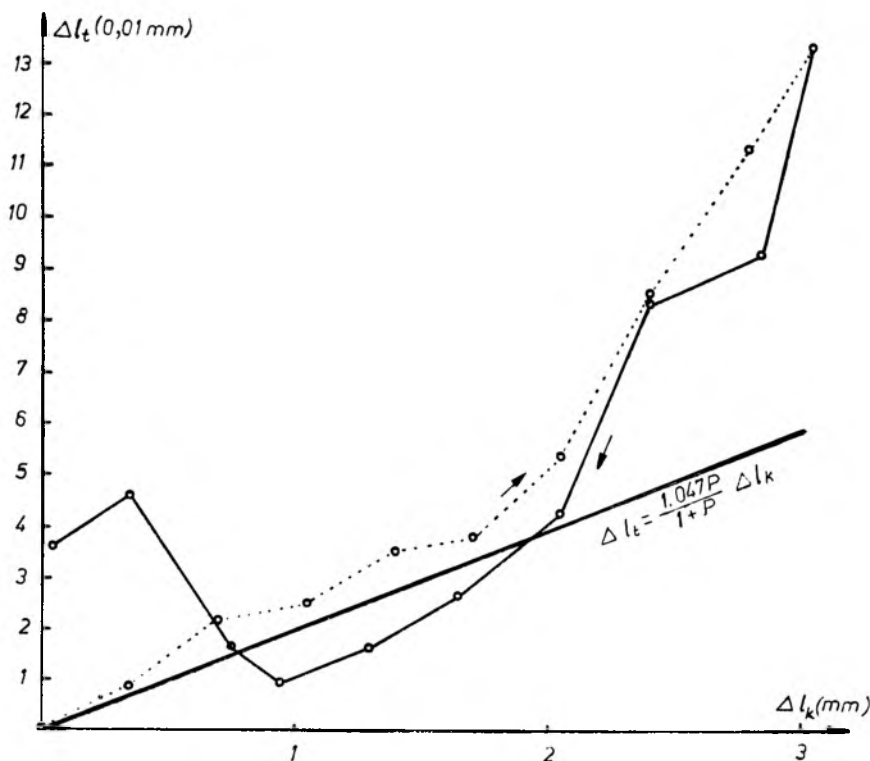
Pokazują to wyraźnie wyniki przeprowadzonego doświadczenia III.

W pierwszej próbie oś ustawiona została w takim położeniu wyjściowym względem korpusu, że dźwignia była usytuowana poziomo przy pionowym ustawieniu łąty. W rezultacie podnoszenia osi od tej pozycji ku górze do 3 mm powstał wykres zależności między zmianami Δl_k długości korpusu a zmianami Δl_t długości taśmy inwarowej przedstawiony na rysunku 14. Widoczne jest, że wykres ten staje się coraz bardziej stromy w miarę podnoszenia osi, co jest objawem zwiększania się wpływu zmian Δl_k na zmiany Δl_t . Na rysunku oznaczono prostą linią pogrubioną wykres Δl_t obliczonych zgodnie z wzorem (6). Przy $\Delta l_k < 2$ mm wydłużenie rzeczywiste taśmy okazało się w przybliżeniu zgodne z obliczonym z wzoru (6) natomiast przy $\Delta l_k = 3$ mm stało się już 2,2 razy większe od teoretycznego.

Na rysunku 14 wykres odpowiadający wzrastającej długości korpusu wykazuje dosyć dużą regularność, natomiast wykres powrotny, odpowiadający zmniejszaniu się długości korpusu wykazuje znaczne nieregularności, związane zapewne ze zmniejszeniem drożności wskutek przebytego dużego zwiększenia długości korpusu do $\Delta l_k = 3$ mm. Wskazuje to na konieczność unikania tak dużych zmian Δl_k oraz innego wyjściowego ustawienia dźwigni (3).

Zmiany położenia dźwigni w czasie I próby ilustruje rysunek 15a. Przy II próbie doświadczenia ustawiono podstawkę w położeniu wyjściowym takim, że sprężyna przymocowana jest do ramienia dźwigni znajdującego się o 3 mm niżej niż drugi koniec z przymocowaną taśmą. W rezultacie

Łata Zeiss nr 38625. Doświadczenie III

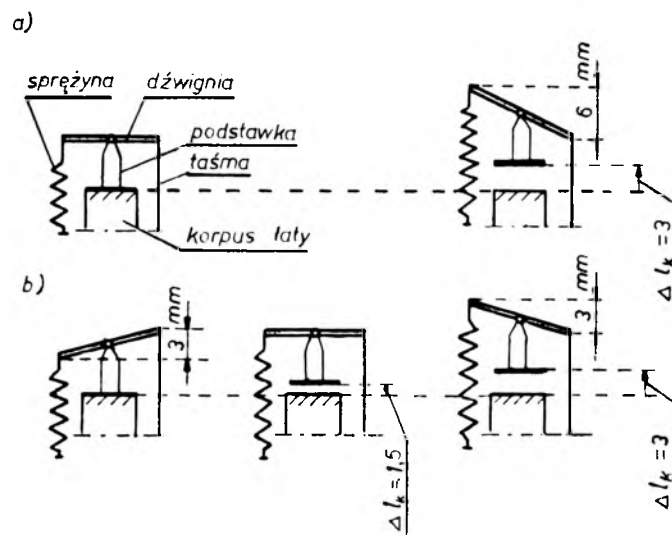


Rys. 14

podniesienia osi o 1,5 mm następuje doprowadzenie dźwigni do pozycji poziomej, a po podniesieniu o 3 mm następuje przechylenie dźwigni, przy którym sprężyna jest przymocowana do ramienia uniesionego o 3 mm wyżej od miejsca umocowania taśmy do drugiego ramienia dźwigni. Ilustruje to rysunek 15 b.

Wynik drugiej próby pokazany jest na rysunku 16. Widoczne jest nieznaczne tylko przekroczenie zmian długości Δl_k obliczonych na drodze teoretycznej w całym zakresie zastosowanych zmian długości Δl_k . Wskazuje to, że przy niezmnieszonej zmianie Δl_k poprawa pracy układu nastąpiła wskutek zmniejszenia nachyleń dźwigni. Jednak nie oznacza to całkowitej zgodności pracy układu z przewidywaną na drodze teoretycznej — z reguły w doświadczeniu III wykresy rzeczywistej zależności między zmianą Δl_t a wywołaną zmianą Δl_k są bardziej strome niż wykres te-

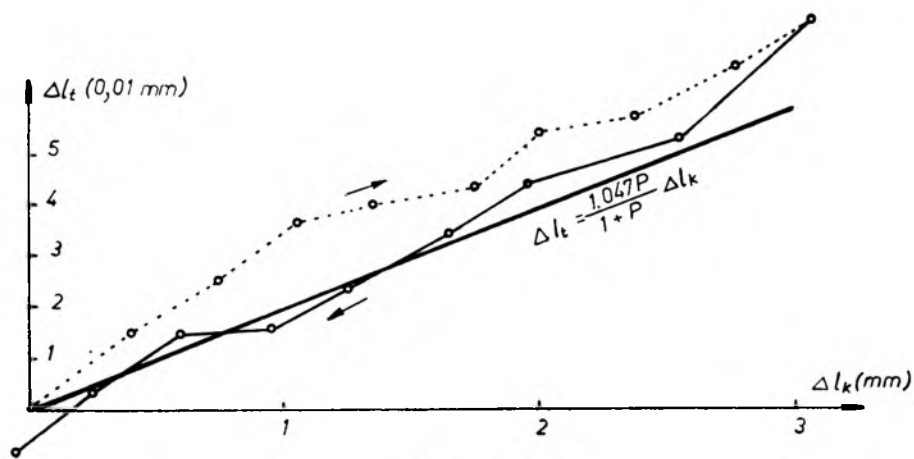
oretyczny, co świadczy o praktycznie większym wpływie zmian długości korpusu na zmiany długości taśmy. Na podstawie dotychczas przeprowadzonej stosunkowo skromnej liczby prób szacuję, że w praktyce następuje przeważnie 1,2÷1,5-krotne zwiększenie tego wpływu w stosunku do wartości obliczonej.



Rys. 15

Trzeba podkreślić, że wśród przeprowadzonych prób były również takie, których wyniki znacznie odbiegały od obliczonych — z reguły na niekorzyść. Następowало to w przypadkach, gdy układ nie miał pełnej drożności, to jest taśma i sprężyna ocierały się o powierzchnie kanałów w kor-

Łata Zeiss nr 38625. Doświadczenie III



Rys. 16

pusie łąt i kanałów w dźwigni (3). W praktyce przypadki takie występują bardzo często z różnych przyczyn, głównie wskutek skrzywienia łąt, przesunięcia się osi (4) na podstawce w kierunku poprzecznym do osi podziału bądź też zbyt dużego nachylenia dźwigni (3).

Ten ostatni wpływ zasługuje na szczególnie uważne potraktowanie, bowiem na podstawie oględzin wielu łąt znajdujących się w produkcji geodezyjnej, stwierdziłem występowanie przypadków złego ustawienia dźwigni. Zgodnie z rysunkiem 15 odchylenie dźwigni od poziomu odpowiadające uniesieniu osi (wydłużenie korpusu łąty) o 1 mm osiąga wartość $\gamma = 4,5^\circ$, zaś zbliżenie końców taśmy i sprężyny do osi korpusu łąty osiąga $\Delta = 0,04$ mm. Dalsze wydłużenie korpusu łąty do 2 mm powoduje odchylenie dźwigni od poziomu o $\gamma = 9^\circ$ oraz zbliżenie końców taśmy i sprężyny do osi korpusu łąty o $\Delta = 0,16$ mm. Przy $\Delta l_k = 3$ mm $\gamma = 13,5^\circ$ i $\Delta = 0,45$ mm.

Tak duże zmiany nachylenia są niewątpliwie niekorzystne ze względu na zmiany ułożenia zakończeń sprężyny i taśmy w kanałach wykonanych w dźwigni (3) i powodowane tym siły tarcia w czasie obrotów. Jednocześnie zbliżenia ich do osi korpusu łąty są bardzo niebezpieczne z uwagi na zbliżanie, a w pewnych wypadkach doprowadzanie do styku z kanałami wykonanymi w korpusie łąty. Na okoliczność tę trzeba zwracać uwagę, ponieważ kanały na taśmę i sprężynę mają takie wymiary i usytuowanie, że drobne przemieszczenia poprzeczne taśmy i sprężyny względem korpusu mogą likwidować prześwity między tymi elementami niezbędne dla utrzymania drożności. Kwestię tę wyjaśnia rysunek 1b, na którym pokazano przekroje poprzeczne łąty Zeiss z wymiarami. Widzimy na przykład, że kanał na taśmę inwarową jest szerszy od taśmy zaledwie o 3 mm, wobec czego prześwit między taśmą a boczną powierzchnią kanału wynosi zaledwie 1,5 mm. Wygięcie korpusu łąty w płaszczyźnie $y-y$ o wartość przekraczającą 1,5 mm, np. pod wpływem wilgoci, jest prawdopodobne i prowadzi do sprzegania taśmy z korpusem znacznie zwiększającego zmiany długości taśmy wskutek zmian długości korpusu. Wygięcia łąty w płaszczyźnie $x-x$ występują częściej, gdyż łąta ma w tej płaszczyźnie profil mniej odporny na wygięcia, jednak są one mniej groźne z uwagi na małą sztywność taśmy w tym kierunku wynikającą z małej grubości (w praktyce częste są wygięcia łąty w płaszczyźnie $x-x$ dochodzące do 5 mm, co jednak z kolei nie jest korzystne ze względu na odchylenia stopki łąty od prostopadłej do kierunku pionu zadawanego przez libelę sferyczną).

4. Wnioski

Może wyglądać na truizm stwierdzenie, że dla uzyskania w niwelacji precyzyjnej dobrych wyników należy w jednakowym stopniu dbać o stan techniczny niwelatorów i łąt. Jednak do stwierdzenia tego skłania mnie

fakt, że istniejące w produkcji geodezyjnej łąty są zazwyczaj w znacznie gorszym stanie niż niwelatory. Przyczyny tego to zapewne trudniejsze warunki ochrony łąt przed złymi warunkami transportu, pomiarów i magazynowania, i przed uszkodzeniami przy pracy, niż to ma miejsce w odniesieniu do niwelatorów. Jednak nie można pominąć faktu, że posługiwanie się łątami nie zawsze jest dostatecznie ostrożne i prawidłowe (noszenie w pozycji powodującej wygięcia, uderzenia itp).

Do istniejących zaleceń dotyczących posługiwania się łątami pragnę dodać kilka dalszych wniosków, nasuwających się w wyniku przeprowadzonych badań wstępnych, zilustrowanych w niniejszej pracy:

1. Łąty należy poddawać w terenie kontrolom obejmującym:

a) wyznaczanie strzałek wygięcia korpusu łąty w płaszczyznach $x-x$, $y-y$,

b) wyznaczanie przesunięć osi taśmy od położenia symetrycznego względem osi kanału,

c) wyznaczanie nachylenia dźwigni przy pionowym ustawieniu łąty,

d) oględziny uszkodzeń korpusu łąty, zwłaszcza listew stanowiących czołowe ograniczenia kanału na taśmę — ich nadłamań i wgniecień wywołujących styk z taśmą,

e) oględziny kanału sprężyny mające na celu stwierdzenie jej drożności,

f) wyznaczenie zmian Δl_t długości taśmy inwarowej pod wpływem wywołanych zmian Δl_k korpusu w celu zbadania, czy układ naciągania taśmy jest wolny od zatarć i czy zmiany długości taśmy nie są nadmierne.

Do kontroli wymienionej w punkcie f) niezbędne jest dysponowanie urządzeniem do przemieszczania dźwigni bez demontażu sprężyny [10].

2. Należy brać pod uwagę wpływ zmian długości korpusu na zmiany długości taśmy inwarowej. W tym celu należy przy komparacji i pomiarach w terenie mierzyć odległość l_c i obliczać wynikające ze zmian Δl_c zmiany Δl_t długości taśmy.

3. W zakres komparacji łąt powinny wchodzić czynności niezbędne do uzyskania danych służących do wprowadzania trzech poprawek:

a) poprawki ze względu na różnicę między długością średniego metrowego odcinka podziału taśmy a długością metra wzorcowego w temperaturze 20°C ,

b) poprawki ze względu na różnicę temperatur taśmy inwarowej przy pomiarze i komparacji (konieczna znajomość współczynnika α do obliczenia termicznej poprawki długości taśmy inwarowej),

c) poprawki ze względu na różnicę długości korpusu łąty w czasie pomiaru i komparacji (konieczny pomiar odległości l_c niezbędnej do obliczenia poprawki ze względu na sprężystą zmianę długości taśmy inwarowej).

Ponadto świadectwo komparacji powinno zawierać dane niezbędne do zaleconego w Instrukcji [4] (§ 54) sprawdzania siły naciągu taśmy, to znaczy odległości a , b stwierdzone przy komparacji.

Problem zachowania się łąt należy uznać za daleki od całkowitego wyjaśnienia i wymagający intensywnych badań prowadzących do lepszego ustalenia warunków komparacji i kontroli terenowej. Zwłaszcza istotne są badania mające na celu wyjaśnienie:

- a) wpływu wstrząsów transportowych i innych na stabilność długości taśmy,
- b) zmian długości taśmy inwarowej w funkcji czasu,
- c) rzeczywistych wartości zmian długości korpusów łąt, wpływających w ustalony tu sposób na zmiany długości taśmy inwarowej.

L I T E R A T U R A

- [1] Cieślak J., Ząbek Z., Kalinowska B., Margański S.: *Problemy zabezpieczenia skali sieci niwelacji precyzyjnej*. Sympozjum nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”. Komitet Geodezji PAN, Warszawa, 1977.
- [2] Cisak J.: *Badanie podziału łąty do niwelacji precyzyjnej*. Prace IGiK, tom XX, zeszyt 1/46/1973.
- [3] Huber M.T.: *Stereomechanika techniczna*. PWN, Warszawa, 1958.
- [4] Instrukcja Techniczna G-2, „Wysokościowa osnowa geodezyjna”. GUGiK, Warszawa 1980.
- [5] Janusz J. Janusz W.: *Stanowiska do porównywania łąt do niwelacji precyzyjnej*. Biuletyn IGiK w Przeglądzie Geodezyjnym nr 1, 1988.
- [6] Janusz W.: *Problem identyfikacji stałego poziomu odniesienia w kontrolnych sieciach niwelacyjnych*. Biuletyn IGiK w Przeglądzie Geodezyjnym nr 9-10, 1986; nr 1, 1987.
- [7] Krasowski F.N.: *Izbrannyje soczinienia*. Geodezizdat 1955.
- [8] Meszczerskij I.N., Entin I.I.: *Oszybki niwelirowanija wyznannyje pri mienienijem inwarnych riejek*. Trudy CNIIGAiK, wypusk 147, Geodezizdat 1962.
- [9] *Niwelacja precyzyjna*. Praca zbiorowa, PPWK Warszawa 1971.
- [10] Sposób i urządzenie do dynamicznego sprawdzania drożności układu naciągania taśmy inwarowej w łątach do niwelacji precyzyjnej. Opis projektu wynalazczego. Maszynopis IGiK.
- [11] Szymoński J.: *Instrumentoznawstwo geodzyjne*. Warszawa 1954—6.
- [12] *Reologia drewna i konstrukcji drewnianych*. AR Poznań 1984. (materiały konferencyjne, red. R. Ganowicz).
- [13] Ząbek Z.: *Wady precyzyjnych łąt niwelacyjnych — problem skali sieci niwelacyjnej*. Sympozjum nt. „Współczesne problemy podstawowych sieci geodezyjnych”. Komitet Geodezji PAN, Warszawa 1980.

Recenzowała: doc. dr hab. inż. Maria Dobrzycka
Przyjęto do opublikowania w dniu 3.12.1987 r.

JERZY JANUSZ

MECHANICAL FEATURES OF STAFFS FOR PRECISE LEVELLING
(TECHNICAL PARAMETERS AND METHODS OF EXAMINATION)

Summary

Investigations aimed at reduction of systematic errors of precise levelling, resulting from changes of length of invar tape, caused by changes of length of staff trunk, have been discussed in this article.

Wooden staff trunk changes its length due to variations in humidity, temperature and rheologic phenomena, whereas changes of length of metal staff trunk depend only on temperature.

The method of determination of these changes on the basis of measurement of length variations $\Delta l_c = l_{c1} - l_c$, using Brinell magnifying glass, was described (fig. 5). The relationship between elongation of staff trunk Δl_k and changes of Δl_c value was determined

$$\Delta l_k = (P+1)\Delta l_c$$

Parameter $P = \frac{\varphi_t}{\varphi_s}$ expresses the ratio of longitudinal resilience φ_t of invar tape 3m long to experimentally determined longitudinal resilience of spring φ_s . In this work exemplary values of φ_t and φ_s parameters for a few staffs produced by Zeiss Jena and Wild were given.

Parameter φ_t proved to be equal to 0.0125 mm/kG for 3m staffs of both Wild and Zeiss Jena firms. φ_s parameters for Zeiss Jena staffs oscillates within 0.39 — 0.68 mm/kG, and for Wild staffs is included in 4.7 — 5.1 mm/kG range. Changes Δl_c are determined from length differences l_c measured during comparison procedure and during terrain survey. Formula for calculating correction for length of invar tape Δl_t due to change of trunk length, determined on the basis of measured Δl_c values, was given

$$\Delta l_t = 1.047 \cdot P \Delta l_c$$

It was found, that for Zeiss Jena staffs the correction, according to φ_s parameters of springs, is 30—55 times smaller than change of staff trunk, whereas for Wild staffs is 400 times smaller.

Three types of experiments were presented and illustrated in this article; the aim of these experiments was to observe changes of length of invar tape, caused by variable forces influencing separate elements of tightener.

At first experiment with the use of external force variable pressure on lever arms at points of tape and spring catch was created; it imitated reaction of tightener to changes of tape length, caused by temperature differences. The results of experimental works reveal, that in Zeiss Jena staffs tape tightener is not sensitive to temperature changes in length of invar tape, reaching 20 μ m.

Adjustment of length of invar tape with the use changes of force, applied for spring tightening, was studied at the second experiment. These changes were calculated, taking into account P value.

Third experiment was based on observations of changes of length of invar tape, caused by artificial changes of length of trunk.

Examination of invar tape tightener was performed, using the device for simulation of changes of length of staff trunk. Application of this device in the field or in laboratory enables quick detection of defective staffs. As a result of

experimental works it was stated, that for particular staffs changes of length of tape caused by changes of length of trunk can exceed many times the computed values. It happens, when the tape tightener works incorrectly, i.e. when excessive resistance on the lever axis and tape-spring catch exists. It can be also caused by improper trunk assembling or its deformation, resulting in rubbing and tightening tape and spring to the trunk.

Translation: Zbigniew Bochenek

ЕЖИ ЯНУШ

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЕК ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ)

Резюме

В работе рассмотрены исследования ведущие к ограничению систематических ошибок высокоточного нивелирования, вытекающих из изменения длины инварной ленты под влиянием изменений длины корпуса рейки.

Деревянный корпус рейки подвержен изменениям длины в результате изменений влажности и температуры, а также реологических явлений, изменения же длины металлического корпуса рейки зависят от изменений температуры.

Представлены формулы, определяющие изменения длины инварной ленты в зависимости от изменения длины корпуса рейки. В формулах выступает параметр продольной упругости (эластичности) инварной ленты и опытно определяемый параметр продольной упругости пружин.

Установлено, что в рейках фирмы Цейсс-Йена поправка — изменение длины инварной ленты — вычисленная по формуле, в зависимости от параметров пружин, в 30—55 раз меньше, чем изменение длины корпуса рейки, зато в рейках фирмы Вильда около 400 раз меньше от изменения длины корпуса.

В результате опытных исследований установлено однако, что в отдельных рейках изменения длины ленты могут многократно превышать вычисленные величины. Это происходит тогда, когда система натяжения ленты работает неправильно, т. е. когда выступают слишком большие сопротивления трения на оси рычага и прицепах ленты и пружины, а также в результате ошибочного монтажа или деформаций корпуса, ведущих к трению и прижиманию ленты и пружины к корпусу.

В работе представлен способ измерения изменений длины корпуса рейки с использованием лупы Бринелля, а также способ исследования правильности работы системы натяжения.

Представленные способы контроля могут применяться в полевых условиях. Они представляют возможность введения в результаты измерений поправок за изменение длины ленты под влиянием изменения длины корпуса. Могут быть также основой для обнаруживания неисправно действующих реек.

Перевод: Róża Tołstikowa