

TOMASZ GOMOLISZEWSKI
ADAM PALASZEWSKI

528.511.089.6:531.713

Projekt komparacji drutów na komparatorze Instytutu Geodezji Górniczej i Przemysłowej AGH dla potrzeb przemysłu

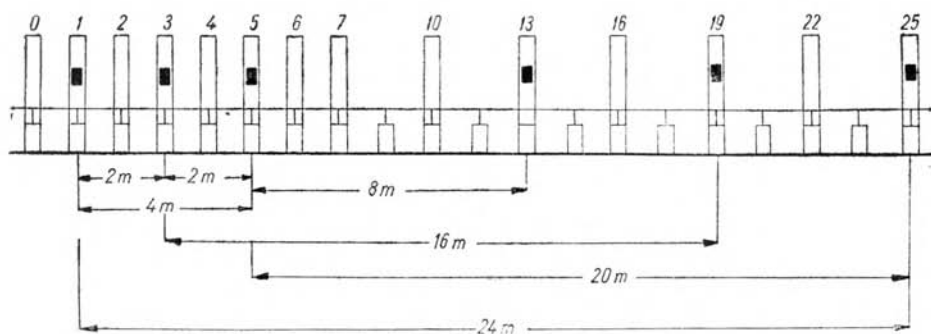
Komparator geodezyjny Instytutu Geodezji Górniczej i Przemysłowej AGH zbudowany został w celu komparacji drutów inwarowych i stalowych. Całkowita długość komparatora wynosi 25 metrów. Składa się on z 14 słupów wysokich z uchwytnymi na mikroskopy oraz 24 słupów niskich, na których podstawach zamontowane są szyny biegnące wzdłuż komparatora pod mikroskopami dla przetaczania wózka z przymiarem wzorcowym długości 1 m lub pośredniczącym o długości 3 m. Pierwsze osiem słupów pod mikroskopy umieszczone jest w odległościach 1 metra od siebie, następne sześć w odległościach co 3 metry. Słupy w odstępach 1 metra spoczywają na wspólnej ławie fundamentowej i nie mają połączenia z fundamentem budynku ani podłogą pomieszczenia, w którym znajduje się komparator. Pozostałe słupy w odstępach 3-metrowych spoczywają każdy na osobnym fundamencie, podobnie jak poprzednie bez połączeń z podłogą i fundamentem budynku. Cały komparator mieści się w piwnicach pawilonu Wydziału Geodezji Górniczej C-4 AGH. Pomieszczenie komparatora posiada przedsionek i dwoje drzwi w celu zmniejszenia zmian temperatury powietrza wywołanych przez otwieranie drzwi przy wchodzeniu i wychodzeniu. Również dla zachowania stabilności temperatury strop pomieszczenia został wyłożony warstwą płyt styropianowych. Jak wynika z przeprowadzonych w okresie około 2 lat badań temperatura powietrza w pomieszczeniu komparatora w przekroju dobowym waha się w granicach $0,5^{\circ}\text{C}$, a w przekroju rocznym nie przekracza 2°C . Dla wyrównania we wszystkich częściach komparatora temperatury, zamontowano 4 wiatraki.

Z chwilą, gdy Instytut nasz będzie posiadał pełne typowe wyposażenie, komparator będzie funkcjonował według tradycyjnych zasad stosowanych w komparatorach optyczno-mechanicznych. W pierwszej fazie komparacji, dopóki nie otrzymamy zamówionych mikroskopów spiralnych produkcji

Carl Zeiss-Jena, do obserwacji będą używane mikroskopy wykonane w pierwszych latach po wojnie przez PZO Warszawa według wskazówek doc. Jasnorzewskiego. Zostały one nabyte z Centralnego Urzędu Jakości i Miar w liczbie 8 sztuk. Niestety, tylko trzy mikroskopy działają poprawnie, natomiast w pozostałych pięciu urządzenie mikrometryczne nie działa (brak płytki mikrometru). W związku z tym duże trudności sprawiło prawidłowe i możliwie najekonomiczniejsze rozmieszczenie mikroskopów tak, aby można było prowadzić komparację drutów o długościach 24, 20, 16, 8, 4 i 2 metry.

W chwili obecnej nie dysponujemy jeszcze wzorcem 1-metrowym i pośredniczącym 3-metrowym ani wózkiem dla określania długości komparatora. Jako wzorce będą więc służyły przymiary sporządzone z inwarowego drutu przedwojennej produkcji francuskiej, a więc dobrze „postarzale”. Komplet wzorcowy składa się z 18 drutów, tj. po trzy druty z każdej długości: 24, 20, 16, 8, 4 i 2 metry, które co roku będą bardzo starannie komparowane oraz zostaną wyznaczone ich współczynniki rozszerzalności termicznej na komparatorze Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie. Ponieważ druty inwarowe są bardzo podatne na zmiany długości na skutek wstrząsów i szarpnięć, dlatego też szczególną ostrożność trzeba będzie zachować przy ich transporcie oraz późniejszym posługiwaniu się nimi przy komparacji.

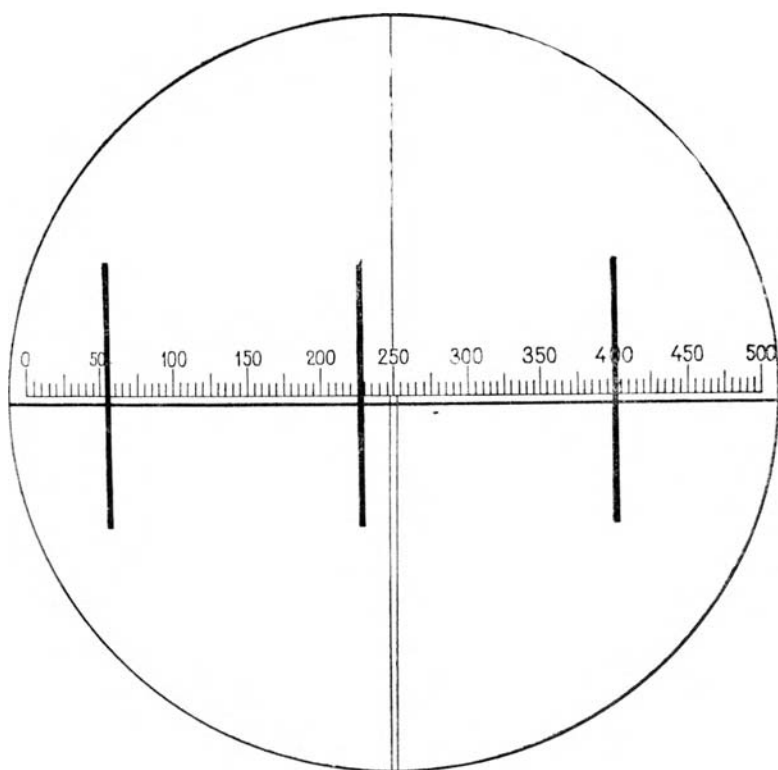
Poszczególne przesła komparacyjne ustalono na komparatorze (rys. 1) mając do dyspozycji 8 mikroskopów oraz druty inwarowe jako wzorce



Rys. 1

w zastępstwie przymiaru pośredniego. I tak między słupem 1 a 25 mieści się przeszło 24 metrów, 5 a 25 — przeszło 20 metrów, 3 a 19 — przeszło 16 metrów, 5 a 13 — przeszło 8 metrów, 1 a 5 — przeszło 4 metry i dwa przesła 2 metrowe między słupami o numerach 1 i 3 oraz 3 i 5. Numerację słupów podano zgodnie z długością komparatora w metrach. Przy takim rozplanowaniu przesła do komparacji będziemy używać 6 mikroskopów. Na słu-

pach 1, 5, 25 zamontowano mikroskopy ze sprawnymi mikrometrami o numerach 0023, 0022, 0025, gdyż są to słupy węzłowe, na których opierają się dwa lub trzy różne przeszła. Na pozostałych trzech — mikroskopy z nieruchomymi mikrometrami, o numerach 0010, 0011, 0026. W związku z tym mikroskopy z mikrometrami będą wykorzystywane dla przeszła 24, 20 i 4 metry, natomiast z nieruchomymi skalami, dla przeszła 16, 8 i 2 metry. Zakres mierniczy mikroskopów z dobrze działającymi mikrometrami wynosi 0,5 milimetra ($500\ \mu\text{m}$), wartość najmniejszej działki odczytowej — $5\ \mu\text{m}$, wartość szacowania — $1\ \mu\text{m}$ (rys. 2). Przy normalnym wykorzystaniu tych mikroskopów zasięg 0,5 mm może sprawiać trudności przy komparacji.

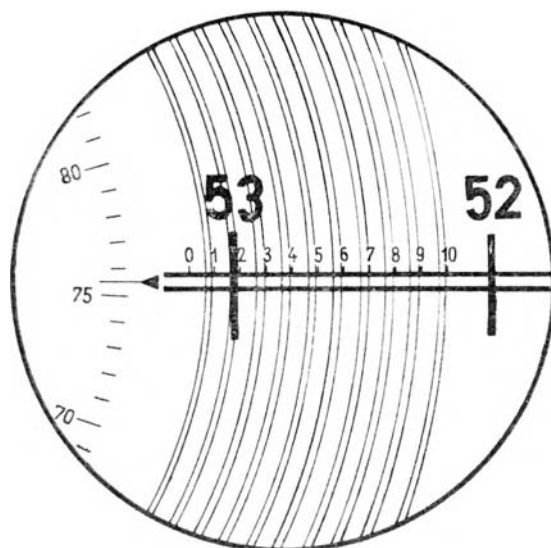


Rys. 2

Mikroskopy z niesprawnymi mikrometrami zostaną przez nas wykorzystane według innej zasady, a mianowicie przy unieruchomionej na odczycie 250 śrubie mikrometrycznej widoczną w polu widzenia mikroskopu podziałkę mikrometryczną będziemy traktować jako skalę odczytową, której wartość najmniejszej działki zostanie wyznaczona. Przykładowo wy-

znaczono wartość działki skali odczytowej, bo tak będziemy nazywali unieruchomioną podziałkę mikrometryczną, dla mikroskopu nr 0026. Wartość tej działki wynosi $30\text{ }\mu\text{m}$. Przyjmując dokładność szacowania równą około 0,4 działki (wynik z 30 serii doświadczalnych obserwacji), średni błąd pojedynczego odczytu będzie wynosił $\approx 10\text{ }\mu\text{m}$. Podobnie dla mikroskopu nr 0011 wartość najmniejszej działki skali odczytowej wynosi $27,5\text{ }\mu\text{m}$, czyli średni błąd pojedynczego odczytu wynosi również $\approx 10\text{ }\mu\text{m}$. Ażeby ułatwić obliczenia można wartość działek sprowadzić we wszystkich mikroskopach do jednej liczby całkowitej, mianowicie przez zmianę odległości skali odczytowej od obiektywu mikroskopu, przez co zmienia się wielkość obrazu (co w mikroskopie 0026 zostało wykonane — rektyfikacja błędu runu). Przy pomiarach na skali odczytywać będziemy położenia środków kresek podziałek drutów inwarowych.

Dla porównania podajemy krótką charakterystykę spiralnych mikroskopów firmy Zeiss, które mają być zamontowane w naszym komparatorze (rys. 3). Zakres mikroskopu 1 mm. Wartość najmniejszej działki mikrometru $1\text{ }\mu\text{m}$. Dokładność szacowania $0,1\text{ }\mu\text{m}$ [4].



Rys. 3

Ponieważ nie dysponujemy jeszcze materiałami obserwacyjnymi, dlatego zagadnienie dokładności przeprowadzanej komparacji potraktujemy w formie wstępnej, niepełnej analizy. Długość odpowiedniego przesła komparatora będzie wyznaczana w oparciu o zestaw 3 drutów wzorcowych o tej samej nominalnej długości co przesło. W przypadku posługiwania

się mikroskopami z mikrometrami, pomiar wykonywany będzie każdym drutem w oparciu o 10 par obserwacji (2 razy po 5 ze zmianą obserwatora). Przyjmując średni błąd pojedynczego odczytu $m_{om} \approx 2 \mu\text{m}$ (ustalony na podstawie wstępnej serii obserwacji), średni błąd długości komparatora, wyznaczonej z 3 drutów w dwóch seriach (przed i po komparacji drutów), spowodowany tylko błędem odczytu wyniesie

$$M_{KO} = \pm \frac{2 \mu\text{m} \sqrt{2}}{\sqrt{10 \cdot 3 \cdot 2}} \cong \pm 0,4 \mu\text{m}. \quad (1a)$$

W przypadku wykorzystywania skali mikrometru jako podziałki odczytowej, dla zmniejszenia średniego błędu długości komparatora M_{KS} przyjęto zasadę odczytywania trzech kresek podziałki drutu widocznych na tle skali w polu widzenia mikroskopu. Czyli liczba par obserwacji przy każdym drucie wzrośnie trzykrotnie. Przyjmując średni błąd szacowania pojedynczej kreski na skali równy $10 \mu\text{m}$, średni błąd długości komparatora wyniesie:

$$M_{KS} = \pm \frac{10 \mu\text{m} \sqrt{2}}{\sqrt{10 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2}} \cong \pm 1 \mu\text{m} \quad (1b)$$

Jak z powyższych rozważań wynika średni błąd długości komparatora spowodowany błędami odczytów jest mały w stosunku do błędu średniego długości drutów wzorcowych, który według metryk wynosi $\pm 15 \mu\text{m}$. Nie biorąc pod uwagę innych czynników ostatecznie można przyjąć, że średni błąd długości komparatora M_K wyznaczonej za pomocą 3 drutów wyniesie około

$$M_K = \pm \sqrt{M_W^2 + M_{KS}^2} \cong \pm \frac{15 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} \cong \pm 10 \mu\text{m} \quad (2)$$

gdzie M_W — średni błąd długości komparatora spowodowany średnimi błędami drutów wzorcowych.

W związku z tym dokładność komparacji drutu w oparciu o powyższe rozważania będzie wyglądała następująco:

$$M_L = \pm \sqrt{M_K^2 + M_{LS}^2}, \quad (3)$$

$$M_K \cong \pm 10 \mu\text{m},$$

$$M_{LS} = \pm \frac{10 \mu\text{m} \sqrt{2}}{\sqrt{10 \cdot 3 \cdot 2}} \cong 2 \mu\text{m}, \quad (3a)$$

gdzie:

M_L — średni błąd komparacji drutu,

M_K — średni błąd długości komparatora,

M_{LS} — średni błąd porównania długości drutu z długością komparatora spowodowany tylko błędem szacowania
i ostatecznie średni błąd komparacji drutu wyniesie

$$M_L \cong \pm 10 \text{ } \mu\text{m}.$$

Komparacja drutów będzie wykonywana w dwóch seriach przy czym na początku i na końcu każdej serii będzie wyznaczana długość komparatora. Liczba obserwacji w każdej serii jak przy wyznaczaniu długości pręseł komparatora. W początkowej fazie w jednej serii bez wyznaczania w międzyczasie długości komparatora będą komparowane najwyżej 3 druty kolejno po sobie. Jeżeli okaże się, że stabilność komparatora jest wystarczająca, komparację będzie się przeprowadzać w jednej serii zwiększając liczbę drutów komparowanych pomiędzy wyznaczeniami długości komparatora.

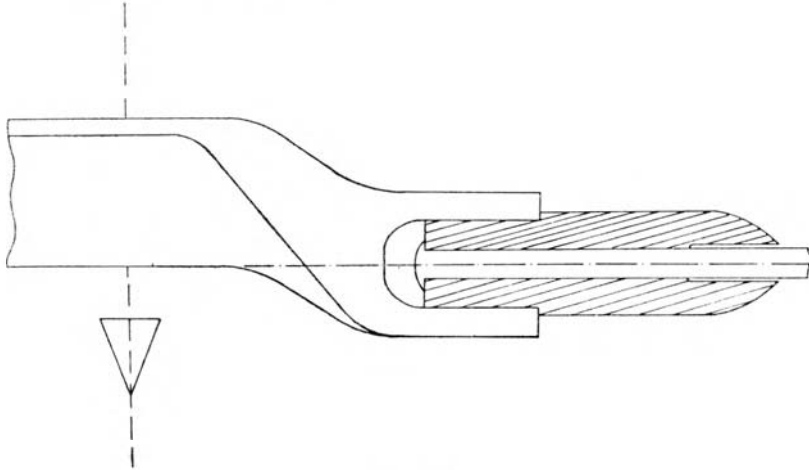
Należy podkreślić, że powyższe rozważania nie obejmują szeregu poważnych źródeł błędów, np. zmienności długości komparatora w czasie, wpływu termicznego itp. Jednakże można spodziewać się, że ostateczna dokładność komparacji w pełni zabezpieczy wymagania dokładnościowe zdecydowanej większości prac związanych z precyzyjnymi pomiarami długości dla potrzeb przemysłu, których większość dotyczy badań odkształceń na terenach objętych wpływem eksploatacji górniczej.

Dla tych celów najczęściej pomiary długości przeprowadzane są w formie linii pomiarowych składających się z odcinków jednoprzęsłowych o długości 24 lub 8 m, a czasami dwu pręseł. Wymagany średni błąd względny pomiaru boków 24 m nie powinien przekroczyć 1 : 50 000. Ta dokładność wystarczy do wyznaczenia tak zwanych odkształceń poziomych właściwych ze średnim błędem $m \approx \pm 0,03 \text{ mm/m}$ [1] [2].

Niezależnie od powyższych wymagań analizę dokładności można przeprowadzić z punktu widzenia metodyki wykonywanych pomiarów. Najczęściej zastabilizowane punkty pręseł 24 m odrzutowywane są w trakcie pomiaru na czopki z indeksami odczytowymi za pomocą pionu optycznego (starannie zrektyfikowanego) lub precyzyjnego pionu libelowego. Pierwszy sposób daje błąd średni centrowania 0,4 mm, drugi natomiast 0,1 mm. Z tych danych już wynika, że komparator nasz może w pełni zaspokoić wymagane dokładności komparacji drutów używanych do powyższych pomiarów. Jednak w chwili obecnej uruchamiany przez nas komparator nie jest w stanie spełnić wszystkich wymagań dokładnościowych, np. dla pomiarów baz komparacyjnych i testowych dalmierzy elektronicznych wymagana jest dokładność 1 : 1 000 000.

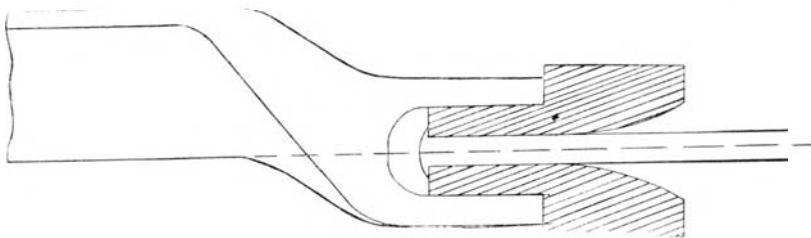
Większość pomiarów drutami dla przemysłu odbywa się w warunkach wyjątkowo trudnych, na terenach b. ruchliwych zakładów produkcyjnych,

w związku z czym druty często ulegają zginaniom, przez co zmienia się ich długość. Dlatego też w większości przypadków dla osiągnięcia wymaganej dla potrzeb przemysłu dokładności pomiaru nie jest konieczna wysoka dokładność komparacji, a natomiast istotnym jest częste jej przeprowadzanie. Lokalizacja komparatora w Krakowie w dużym stopniu przyczyni się do spełnienia tego warunku.



Rys. 4

Niedbała obsługa, względnie bardzo trudne warunki przy pomiarach długości drutami na terenach zakładów o dużym natężeniu ruchu, może doprowadzić do zerwania drutu, a więc zniszczenia przymiaru. Zerwanie to następuje najczęściej w miejscu połączenia drutu z końcówką oprawki podziałki. W stosowanych powszechnie oprawkach podziałek połączenie to



Rys. 5

polega [3] na wkręceniu drutu w końcówkę, a następnie końcówki w oprawkę podziałki. Zabezpieczenie przed ruchem drutu wzdłuż jego osi polega na przekółkowaniu oprawki z końcówką tak, aby kołek przeszedł również przez część wkręcanego do końcówki drutu. Otwór w końcówce z brzegu jest nieco szerszy niż w części nagwintowanej, aby zabezpieczyć drut

w miejscach nagwintowanych, gdzie jest szczególnie wrażliwy na zginanie (rys. 4). W Zakładzie Instrumentoznawstwa Geodezyjnego podjęto próbę innej konstrukcji końcówki, gdyż przeprowadzona analiza drutów zerwanych wyraźnie wskazuje na niezbyt dobre rozwiązanie obecnie stosowanej końcówki w szczególnie trudnych warunkach pomiaru. Otwór końcówki z brzegu będzie w postaci lejka, którego wewnętrzne ścianki w przekroju podłużnym tworzą łuki kół o dużym promieniu krzywizny (rys. 5). Część nagwintowana końcówki rozpoczyna się około 2 mm od szyjki lejka. Połączenie drutu z końcówką, a następnie z oprawką podziałki wykonano jak w poprzednim rozwiązaniu. Przeprowadzone wstępne próby na zginanie drutu z nowymi końcówkami dały zadowalające rezultaty. Proponowane rozwiązanie zostanie szczegółowo przebadane w pracach polowych naszego Instytutu.

L I T E R A T U R A

- [1] Milewski M.: O interpretacji wyników badań prowadzonych metodami geodezyjnymi na terenach pozostających pod wpływem eksploatacji górniczej. I Krajowe Sympozjum na temat ochrony powierzchni przed szkodami górniczymi — Katowice 1969 r.
- [2] Machowska R., Machowski Z.: Analiza dokładności pomiarów długości dla określenia odkształceń poziomych terenów górniczych. PAN — Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej 11/71.
- [3] Jasnorzewski J.: Metrologia długości. Warszawa 1959 r.
- [4] VEB Carl Zeiss Jena Universal-Messmikroskop. Druckschriften Nr 24-061-1, 24-250f-1.

Przedstawiono na I Seminarium na temat metrologii geodezyjnej

Rękopis złożono w Redakcji w grudniu 1973 r.

ТОМАШ ГОМОЛИШЕВСКИ
АДАМ ПАЛАШЕВСКИ

ПРОЕКТ КОМПАРАЦИИ ПРОВОЛОК НА КОМПАРАТОРЕ
ИНСТИТУТА ГОРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ГЕОДЕЗИИ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ АГХ,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ

Р е з ю м е

В статье описывается проект компарации проволок для потребностей промышленности на осваиваемом в Институте горной и промышленной геодезии оптическо-механическом компараторе до момента, когда этот компаратор будет иметь полное типовое оборудование. Для компарирования будут использоваться 6 микроскопов, причём в 3 микрометры будут работать, а в 3 отключены, а также комплект тестов, состоящий из 18 инварных проволок. В связи с этим сообщается предварительный, неполный анализ точности проведённой этим методом компарации. Авторы ожидают, что окончательная точность компарации будет полностью соответствовать требованиям к точности большинства работ, связанных с прецизионными измерениями длины для нужд промышленности.

На основании анализа проволок сорванных во время измерений на местности на предприятии геодезического инструментоведения ИГТиП были предприняты попытки создать другую конструкцию конца деления проволоки.

TOMASZ GOMOLISZEWSKI
ADAM PALASZEWSKI

PROJECT OF THE MEASURING WIRES COMPARISON
ON THE COMPARATOR OF THE INSTITUTE OF MINING
AND INDUSTRIAL GEODESY OF THE ACADEMY OF MINING
AND METALURGY FOR THE NEEDS OF INDUSTRY

S u m m a r y

Here is presented a project of the measuring wires comparison for the needs of industry on the optic-mechanical comparator which has been put into service at the and Industrial Geodesy, to be used until this comparator is completely equipped.

For comparison works, 6 microscopes, 3 with efficient micrometers, 3 with unmobilized micrometers and the set of standards composed of 18 invar wires will be used. In this connection, the incomplete pre-analysis of an accuracy of the comparison carried on by this method is presented. The authors expect that the final accuracy of comparison will fulfil the accuracy demanded for most works connected with precise measurements for industrial purposes.

On the basis of an analysis of the broken wires during field measurements a construction of another and of wire division has been undertaken.