

MARIA DOBRZYCKA

389.16:528

Realizowanie międzynarodowej jednostki długości w pomiarach geodezyjnych

Szybki rozwój elektroniki, zastosowanie laserów oraz sztucznych satelitów Ziemi spowodowały znaczny postęp w dziedzinie pomiarów astronomicznych i geodezyjnych. Poprzez współpracę międzynarodową jest obecnie możliwe stworzenie nowoczesnej światowej sieci astronomiczno-grawimetryczno-geodezyjnej. Koniecznym warunkiem uzyskania jednorodności pomiarów w takiej sieci jest odniesienie ich do wzorców o możliwie najwyższym poziomie dokładności, stabilności i odtwarzalności.

Przyjęty w 1960 roku przez Konferencję Generalną wzorzec długości już właściwie wymaga udoskonalenia dla potrzeb wysoko rozwiniętych ośrodków astronomicznych i geodezyjnych. Pod presją tych właśnie środowisk Komitet Doradczy dla Definicji Metra, powołany przez Międzynarodowy Komitet Miar, intensywnie pracuje nad wyborem nowego wzorca, mogącego swym poziomem dokładności sprostać współczesnym i nadchodzącym potrzebom. Kilkanaście najlepiej wyposażonych laboratoriów fizycznych świata w porozumieniu z Komitetem Doradczym i według jego zaleceń prowadzi prace nad różnymi rodzajami promieniowania. Ostatnie dyskusje wskazują na tendencję oparcia przyszłego wzorca albo na jednym z typów stabilizowanych laserów, albo na stałej prędkości rozchodzenia się światła, co powiązałoby wzorzec czasu z wzorcem długości. Na posiedzeniu Komitetu Doradczego dla Definicji Metra w czerwcu roku bieżącego postanowiono pozostawić jeszcze jako wzorcową, długość fali pomarańczowego promieniowania w widmie emitowanym w określonych warunkach przez izotop kryptonu o masie atomowej 86, zalecając dalsze badania wybranych dwóch typów laserów z uwzględnieniem zwłaszcza ich stabilności długookresowej. W celu udokumentowania stopnia odtwarzalności promieniowania laserowego postanowiono przeprowadzić akcję wzajemnego grupowego porównania w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Sèvres.

Przy wyznaczaniu długości przymiarów geodezyjnych, czy też stałych

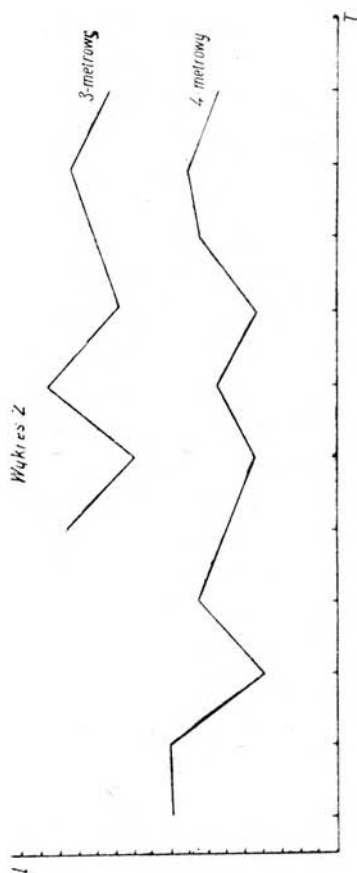
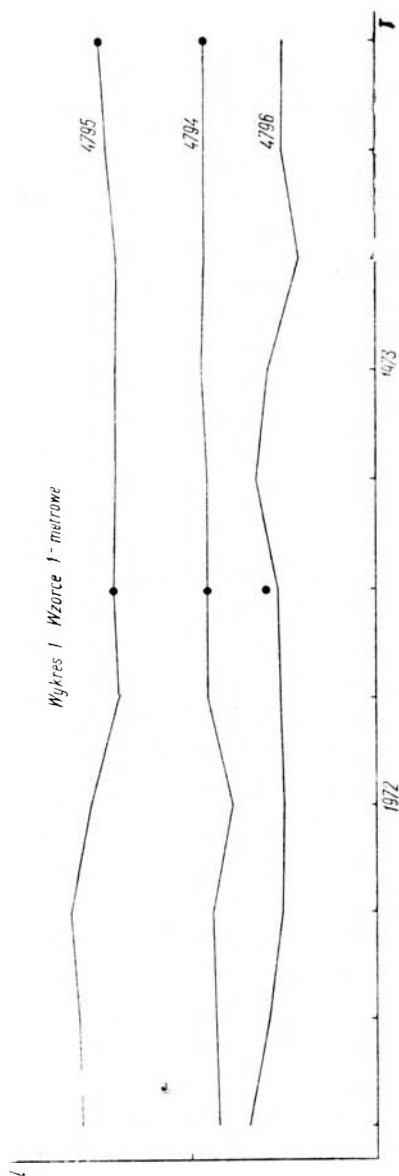
instrumentalnych dalmierzy pośredniczy zwykle wielostopniowy zespół wzorców i komparatorów. W Pracowni Metrologii Instytutu Geodezji i Kartografii przy wyznaczaniu długości inwarowych przymiarów drutowych używamy zespołu trzech wzorców 1-metrowych, wzorca 4-metrowego i komparatora geodezyjnego.

Długość wzorców 1-metrowych wyznaczana jest okresowo. W roku 1953 długość ich wyznaczono w Sèvres przez porównanie z wzorcem prototypem za pośrednictwem komparatora uniwersalnego z wizualnymi mikroskopami. W latach 1957, 1965, 1970 i 1972 tą samą metodą dokonano porównań w Instytucie imienia Mendelejewa w Leningradzie, przy czym od wprowadzenia nowej definicji metra, wzorce, których używano do porównań, miały wyznaczaną długość w pomarańczowym promieniowaniu lampy kryptonowej. W bieżącym roku długość wzorców nr nr 4794 i 4795 została wyznaczona interferencyjnie, z dokładnością odpowiednio $\pm 0,02$ i $\pm 0,03 \mu\text{m}$, za pomocą wzorcowego promieniowania kryptonu 86 na komparatorze z fotoelektrycznymi mikroskopami w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Sèvres.

Od roku 1971, po zawarciu porozumienia między Centralnym Urzędem Jakości i Miar (obecnie Polski Komitet Normalizacji i Miar) i Głównym Urzędem Geodezji i Kartografii, prowadzony jest w Pracowni Metrologii Zakładu Pomiarów Podstawowych program badania wzorców. Co kwartał, między kolejnymi wyznaczeniami długości wzorców dokonywane jest wzajemne porównywanie ich długości pomiędzy sobą. Prace te, prowadzone na komparatorze uniwersalnym, mają na celu kontrolę i badanie charakteru zmian długości wzorców.

Przebieg tych zmian, uwidoczniiony na wykresie 1 zamieszczonym w „Pracach nad konserwacją jednostki długości dla Polskiej Służby Geodezyjnej” (str. 24) i wykresie powyższym świadczy o ogólnej tendencji do skracania się wszystkich trzech wzorców, oraz o pewnej nieregularności, która przy ekstrapolacji na dłuższy okres czasu może być źródłem wyraźnego obniżenia dokładności. Tak np. już po 15 miesiącach ekstrapolowane wartości różniły się od wyznaczonych dla wzorców 4794, 4795 i 4796 odpowiednio o 0,10, 0,07 i 0,30 μm .

Za pośrednictwem wzorców 1-metrowych wyznacza się długość wzorca 4-metrowego. Czynności z tym związane przeprowadza się na komparatorze utworzonym przez 5 mikroskopów osadzonych na słupach rozmieszczonych co 1 metr, posadowionych na wspólnej stopie fundamentowej, stanowiących część 50-metrowego komparatora geodezyjnego. Długość wzorca 4-metrowego wyznaczana jest raz w miesiącu. Na każde takie wyznaczenie składa się 6 serii obserwacji po 2 z każdym wzorcem 1-metrowym. Średni błąd średniej z 6 serii kształtuje się na poziomie 2 μm . Wyniki wykazują



rozbieżności przekraczające nikiedy granice błędów średnich, co mogłoby świadczyć o zmianach chwilowej długości wzorca.

Wzorzec ten, tak jak i wzorce 1-metrowe, choć w znacznie mniejszym stopniu wykazuje tendencję do kurczenia się. Wynik wyznaczenia jego długości z roku 1958 różni się od wartości średniej z naszych wyznaczeń o $1,5 \mu\text{m}$.

Źródłem nieregularności uwidocznionych na wykresie może być niedokładna znajomość temperatury. Platynit, z którego sporządzone są wzorce, jest stopem niklu i żelaza o dość znacznym współczynniku rozszerzalności termicznej — około $6,5 \mu\text{m}/1 \text{ m} \cdot 1^\circ$. Niedokładność pomiaru temperatury rzędu $0,1^\circ$ prowadzi do błędu w granicach $\pm 2,5 \mu\text{m}$ i to zarówno długości wzorca, jak i komparatora 4-metrowego. Nierównomierny rozkład temperatury w korytarzu geodezyjnym oraz brak dostatecznej liczby termometrów nie wyklucza takiego pochodzenia obserwowanych fluktuacji. W roku przyszłym planujemy poprzez zastosowanie termopar podnieść dokładność pomiaru temperatury.

Oprócz omawianych wyżej wzorców platynitowych badamy jeszcze trzy wzorce inwarowe: 3-metrowy i dwa wzorce 1-metrowe.

Wzorzec 3-metrowy pochodzi z lat dwudziestych bieżącego stulecia. Podczas powstania warszawskiego uległ w pożarze częściowemu zniszczeniu. Po wojnie został wyprostowany, oszlifowano go ponownie i dokonano nacięcia nowych kresek. Wzorzec ten ma być używany do wzorcowania komparatora Akademii Górniczo-Hutniczej. Od maja roku bieżącego jest badany wg programu podobnego do badań wzorca 4-metrowego. Współczynnik rozszerzalności termicznej inwaru, z którego sporządzony jest wzorzec 3-metrowy, wynosi około $1,6 \mu\text{m}/1 \text{ m} \cdot 1^\circ$, zatem wpływ błędów pomiaru temperatury na wyznaczenie jego długości powinien być pięciokrotnie mniejszy niż w wypadku wzorca 4-metrowego. Średni błąd wartości średniej z 6 serii obserwacji jest rzeczywiście przeszło dwukrotnie mniejszy, nie przekracza bowiem $\pm 1 \mu\text{m}$, rozrzut wyników z poszczególnych miesięcy jest jednak dokładnie tego samego rzędu co i dla wzorca 4-metrowego. Wyraźna korelacja wykresów zmian długości wzorców 3- i 4-metrowego wskazuje na występowanie błędów w określaniu długości komparatora (komparator 3-metrowy jest częścią komparatora 4-metrowego, dla wyznaczenia długości obu wzorców wyznacza się długość komparatora jednocześnie). Błędy te spowodowane są zapewne niedokładnością pomiaru temperatury wzorców 1-metrowych używanych do wzorcowania komparatora.

1-metrowe wzorce Politechniki Warszawskiej mają służyć do wzorcowania komparatora do lat do niwelacji precyzyjnej. Wyznaczanie długości wzorców przeprowadza się co kwartał na komparatorze uniwersalnym,

porównując ich długość w ośmiu wzajemnych ułożeniach z jednym z trzech wzorców użytkowanych przez Instytut. Z dotychczasowych badań wynika, że długość jednego z nich ulega znacznym i to nieregularnym zmianom. Drugi wzorec Politechniki dopiero raz brał udział w operacji wyznaczania długości.

Aby ocenić wyniki badania naszych wzorców na tle badań prowadzonych w innych ośrodkach można przytoczyć dane zaczerpnięte z pracy Barinova (Leningrad 1949).

Wieloletnie badania kilkunastu wzorców inwarowych wykazały, że podlegają one ciągle mniej lub więcej regularnym zmianom. Ich długość z reguły wzrasta. Na przykład wzorec M-318 w ciągu 34 lat wydłużył się o około 24 μm . Przebieg zmian rokował w latach 1922—27 ustabilizowanie się jego długości, lecz w latach następnych, bez żadnych przyczyn zewnętrznych powróciły tendencje do wzrastania długości.

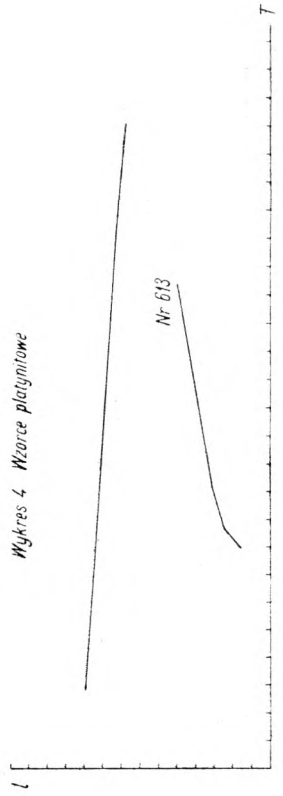
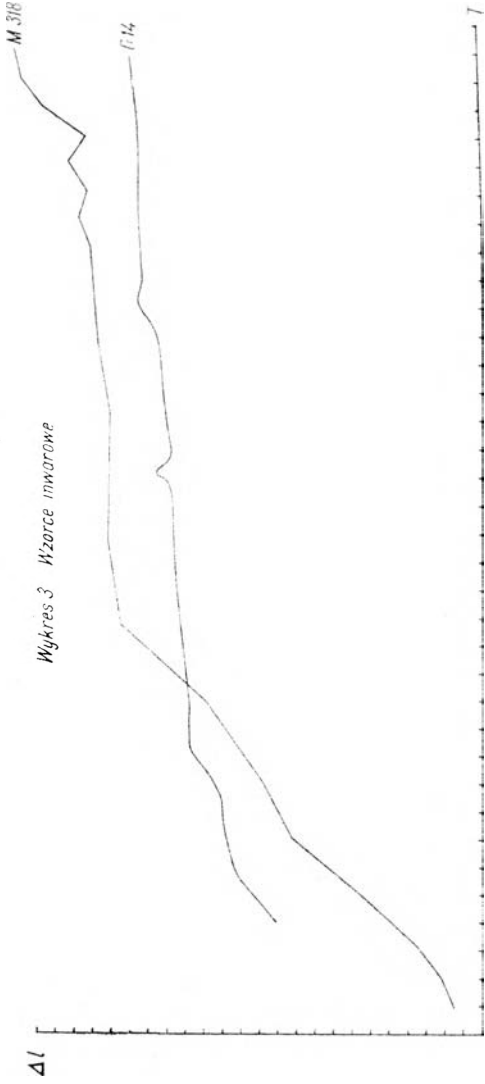
Inny wzorec, po pożarze zmienił długość skokowo i wydatnie zwiększył tempo wydłużania. W pracy Barinova cytowane są również wyniki badań wzorców inwarowych odznaczających się wysokim stopniem stabilizacji. Zmiany ich długości nie przekraczały 0,2 μm na rok. Ostatecznie Barinow stwierdza, że wzorce inwarowe podlegają ciągłym, gasnącym z wiekiem, zmianom długości. Podaje nawet empiryczne wzory, z których można obliczyć czas relaksacji, jednakże z przytoczonego materiału wynika, że właściwie od stopu do stopu, a nawet od egzemplarza do egzemplarza zmiany te mają charakter indywidualny poza wspólną wszystkim tendencją wzrostu długości.

O charakterze długookresowych zmian badanego przez nas 3-metrowego wzorca nie można jeszcze wnioskować z powodu małej ilości materiału. Wzorec 1-metrowy Politechniki Warszawskiej natomiast wykazuje tak duże zmiany długości, że o ile nie są one spowodowane przyczynami zewnętrznymi — należy pomyśleć o radykalnym sposobie przyspieszenia starzenia.

Wzorce platynitowe podlegają prawie z reguły kurczeniu się. Zmiany te są znacznie powolniejsze i regularniejsze, jednak nie w takim stopniu, jak początkowo oczekiwano. Wyniki badań cytowane u Barinova wskazują na roczne zmiany długości rzędu 0,05 do 0,2 $\mu\text{m}/1\text{ m} \cdot 1\text{ rok}$. Zdarzają się jednak odstępstwa, jak np. w wypadku wzorca Nr 613, którego długość wzrasta i to w tempie nie mniejszym niż u wzorców inwarowych.

Na tle wyników cytowanych przez Barinova nasze wzorce 1-metrowe (wykres 1 na str. 24) wydają się należeć do typowych i znajdować się obecnie u progu stabilizacji. Wzorec 4-metrowy można uznać (pod względem charakteru zmian długookresowych) za wyjątkowo stabilny.

Wzorce 3- i 4-metrowe służą do dalszego przenoszenia międzynarodowej



jednostki długości na komparatory, za pomocą których wyznacza się długość inwarowych przymiarów drutowych. Dokładność wyznaczenia długości drutu ogranicza z jednej strony sumowanie się błędów poszczególnych etapów konserwacji i przeniesienia jednostki długości na komparator geodezyjny, z drugiej zaś strony właściwości samego przymiaru drutowego. Taką graniczną dokładnością komparacji drutów jest 15—20 μm . Potwierdzają to również dokładności otrzymywane za pomocą komparatora interferencyjnego szacowane przez J. Rauhuta (1968) na $\pm 15 \mu\text{m}$. Jeżeli zatem chcemy Krajową Bazę Długościową pomierzyć z dokładnością nie mniejszą niż $5 \cdot 10^{-7}$, co odpowiada współczesnemu poziomowi światowemu, musimy sięgnąć do metod interferencyjnych z zastosowaniem stabilizowanego lasera. Przystosowanie interferometru Väisälä do spełnienia tego zadania nie powinno przekraczać możliwości Instytutu.

L I T E R A T U R A

- [1] *Barinow W. A.*: Sowriemiennoje sostojanije etalonow dliny, Leningrad, 1941.
- [2] Rapport au Comité International des Poids et Mesures, 5 session 1973 (wersja nieoficjalna, maszynopis).
- [3] *Rauhut J.*: Über die Leistungsfähigkeit... Arbeiten aus dem Geod. Inst. Potsdam, nr 19, 1968.

Przedstawiono na I Seminarium na temat metrologii geodezyjnej

Rękopis złożono w Redakcji w grudniu 1973 r.

МАРИЯ ДОБЖИЦКА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ
ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Резюме

В труде описан применяемый в Институте геодезии и картографии процесс передачи международной единицы длины на инварные проволочные меры. Приводятся также результаты исследования группы штриховых образцов и сравнения их с исследованиями заграничных институтов.

MARIA DOBRZYCKA

REALIZATION OF THE INTERNATIONAL UNIT OF LENGTH
IN GEODETIC MEASUREMENTS

Summary

In this work, the standardisation process of invar measuring wires, as applied at the Institute of Geodesy and Cartography is discussed.

The results of investigations of the set of mark standards are presented, and compared with the results of investigation obtained abroad.