

JERZY JANUSZ
WOJCIECH JANUSZ

ŁAMANA BAZA DŁUGOŚCI DO KOMPARACJI DALMIERZY ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Opracowano w ramach projektu badawczego nr 9 T12E 035 16 dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1999–2000

ZARYS TREŚCI: Przedstawiono historię baz testowych do komparowania w Polsce dalmierzy elektromagnetycznych, przyczyny opracowania Łamanej Bazy Długości, składającej się z kilku boków wieloboku, w którym mierzy się dalmierzem sumę długości tych boków i podano informacje o Łamanej Bazie Długości zainstalowanej przez Zakład Geodezji na terenie Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnego w Borowej Górze.

1. WPROWADZENIE

Zakład Geodezji Instytutu Geodezji i Kartografii prowadzi w Polsce od 40 lat, na polecenie i z upoważnienia Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, działającego w tej sprawie w uzgodnieniu z Głównym Urzędem Miar, kontrole metrologiczne dalmierzy elektrooptycznych. W tym czasie wykonano komparacje około 4000 dalmierzy użytkowanych przy pomiarach osnów geodezyjnych i przy pomiarach związanych z geodezyjną obsługą i kontrolą bezpieczeństwa budowy i eksploatacji zakładów przemysłowych oraz dużych obiektów inżynierskich. W okresie ostatnich 10 lat, ze względu na dużą liczbę dalmierzy wymagających komparowania i ze względu na dążenie do zbliżenia miejsc komparacji do siedzib właścicieli dalmierzy, Zakład Geodezji prowadzi tę działalność przy współpracy z ośmioma przeszkolonymi i na bieżąco nadzorowanymi zespołami regionalnymi w Lublinie, Lubinie, Łodzi, Olsztynie, Poznaniu, Rzeszowie, Wrocławiu i w Warszawie (Janusz W., Kaliński A., Toruński A., Wasilewski J. 1994).

W ciągu jednego roku Zakład Geodezji IGiK wykonuje komparacje około 150 dalmierzy.

Obowiązek kontroli metrologicznej dalmierzy wynika z ustawy „Prawo o miarach” z dnia 1 stycznia 1994 roku oraz z przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej, w tym przypadku wyrażonych standardem jakości ISO 9001. W świetle wspomnianej ustawy ewentualne zaniechanie takiej kontroli, dokonywanej z upoważnienia i w imieniu organu państwowego, uniemożliwiłoby formalne wykorzystywanie dalmierzy istniejących w Polsce do pomiarów związanych z czynnościami urzędowymi i do wszelkich prac, przy których obowiązują przepisy o ochronie życia i zdrowia. W praktyce aktualnie dominującą przyczyną dokonywania komparacji są ostre wymagania inwestorów zagranicznych, dotyczące jakości wykonywania geodezyjnej obsługi wznoszonych obiektów budowlanych.

Pomiary do celu komparacji dalmierzy odbywają się na Krajowej Bazie Długości, zlokalizowanej na lotnisku Bemowo w Warszawie oraz na siedmiu Regionalnych Bazach Długości, zlokalizowanych w pobliżu siedzib Zespołów Regionalnych, z reguły na terenach obcych, udostępnionych czasowo i bez gwarancji ochrony przed uszkodzeniami dokonywanymi przez osoby postronne. Ten stan stwarza od początku istnienia obowiązku komparowania dalmierzy bardzo poważne trudności i przyczynia się do powstawania dodatkowych kosztów. Na przykład w początkowym okresie Krajowa Baza Długości była zlokalizowana na terenie należącym do PKP, na tymczasowo nieużywanym nasypie linii kolejowej w Skrzyszewie, lecz użytkowanie tego terenu zostało nam wypowiedziane, w rezultacie czego trzeba było w roku 1987 założyć wspomnianą wyżej nową bazę na lotnisku Bemowo.

W okresie poprzedzającym przygotowania do podjęcia wspomnianego projektu badawczego, dalsze istnienie Krajowej Bazy Długości na Bemowie stało się również pod znakiem zapytania w związku z próbami przejęcia tego terenu pod budowę parku rozrywki. Wprawdzie próba ta zakończyła się niepowodzeniem, jednak trzeba się liczyć z tym, że w przyszłości również mogą zaistnieć powody do obaw o utrzymanie Krajowej Bazy Długości jak też Regionalnych Baz Długości, co będzie przyczyniać się do znacznych kosztów związanych z zakładaniem baz w nowych miejscach i do czasowego utrudnienia prac służby komparacyjnej.

Jak dotychczas, komparacje dalmierzy elektromagnetycznych na świecie prowadzone są przy wykorzystaniu baz terenowych, podobnych do założonych w Polsce – Krajowej i Regionalnych Baz Długości. Przyjmuje się, że bazy te powinny być prostoliniowe i mieć długość rzędu 600–800 m. W wielu krajach nie stwarza to problemów, bowiem bazy zakładane są na gruntach należących w całości do laboratorium metrologicznego, ośrodka badawczego lub firmy produkującej dalmierze, a ich punkty mogą podlegać pełnej i skutecznej ochronie, nie jest też zagrożone nieograniczone w czasie ich istnienie. Nasz problem polega na tym, że ani Główny Urząd Geodezji i Kartografii (gestor prowadzonych przez nas komparacji), ani Instytut Geodezji i Kartografii nie są właścicielami terenu, na którym można by założyć bazę prostoliniową o takiej długości. Instytut Geodezji i Kartografii

jest wprawdzie właścicielem terenu w Borowej Górze, gdzie znajduje się Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjne IGiK, ale najdłuższy prostoliniowy odcinek na tym terenie nie przekracza 240 m.

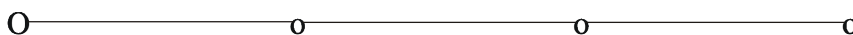
Równoległe z wypełnianiem bieżących obowiązków służby komparacyjnej, w Zakładzie Geodezji trwają różne próby znalezienia rozwiązania, które gwarantowałyby utrzymanie ciągłości tych prac w Polsce. Między innymi prowadzono próby zbudowania laboratoryjnego systemu komparacji, w którym rolę baz terenowych przejęłyby odcinki światłowodów o różnych długościach, nawinięte na bębny i wykorzystywane w laboratorium. Pomimo pewnych cząstkowych sukcesów okazało się, że praktycznie rozwiązanie takie nie jest uniwersalne w zastosowaniu do różnych typów dalmierzy (dotychczas mieliśmy do czynienia ze 135 typami dalmierzy o zróżnicowanych parametrach, zaś przy użyciu światłowodów możliwe okazało się komparowanie zaledwie kilku typów dalmierzy). Spowodowało to, że w roku 1997 badania w tym kierunku zostały w Zakładzie Geodezji IGiK wstrzymane, natomiast temat ten został podjęty przez Zakład Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Zespół z Akademii Rolniczej przeprowadził w następnych latach interesujące próby, które jednak nie doprowadziły do rezultatów umożliwiających zastosowanie światłowodów do komparacji dalmierzy.

Inną, zakończoną powodzeniem próbą częściowego przeniesienia prac komparacyjnych do laboratorium było zbudowanie w Zakładzie Geodezji IGiK bezinwazyjnej sondy częstotliwości (Wasilewski J. 1996), umożliwiającej porównanie częstotliwości sygnałów emitowanych przez komparowane dalmierze z sygnałami Krajowego Wzorca Częstotliwości, nadawanymi przez Polskie Radio. Umożliwia to zarówno laboratoryjną, jak i terenową kontrolę stabilności elektronicznego wzorca każdego dalmierza. Tym samym sonda stała się nieocenionym przyrządem metrologicznym kontrolującym stabilność stosowanego wzorca – precyzyjnego dalmierza, którym przenosi się jednostkę długości na terenowe bazy długości.

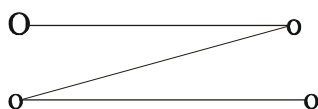
Jednak komparacja ma na celu nie tylko sprawdzenie, czy parametry dalmierza są stabilne w czasie, ale również sprawdzenie, czy ich wartość jest zgodna z nominalną, przy której jednostka miary długości zadawana przez dalmierz jest zgodna z obowiązującą jednostką wzorcową i wyznaczenie poprawek dalmierza. Z tego powodu obok sondy częstotliwości konieczne jest nadal stosowanie wzorców kontrolujących wartość jednostki długości reprezentowanej przez każdy komparowany dalmierz. Dlatego konieczne jest nadal stosowanie terenowych baz długości.

Istotą podjętego rozwiązania jest utworzenie bazy długości składającej się z szeregu odcinków o długościach według dotychczasowego klucza, które jednak są sumą dwóch lub trzech odcinków – boków wieloboku załamanych przez odpowiednio skierowane zwierciadła płaskie tak, aby cały wielobok mógł być umieszczony na terenie o niedużych wymiarach, stanowiącym własność IGiK. Umożliwia to ograniczenie długości prostoliniowych

odcinków bazy w sposób zilustrowany przykładowo na rysunku 1. Zgodnie z tym rysunkiem odcinek wzorcowy bazy pokazany na rysunku 1a zostaje zastąpiony przez kilka odcinków łączonych stanowiskami zwierciadeł załamujących jak na rysunku 1b.



Rys. 1a



Rys. 1b

2. WYWIAD TERENOWY I PROJEKT ROZMIESZCZENIA SŁUPÓW ŁAMANEJ BAZY DŁUGOŚCI (ŁBD) W BOROWEJ GÓRZE

Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjne IGiK w Borowej Górze k. Serocka to teren o powierzchni około 4 ha, pokazany na rysunku 2 zaczerpniętym z (Cisak M., Sas A., Siporski L. 1998). Na terenie tym znajdują się dwa budynki mieszkalno-laboratoryjne, jeden budynek magazynowy i wiele stanowisk badawczych służących do pomiarów astronomicznych, magnetycznych i grawimetrycznych. Możliwość instalowania na tym terenie dodatkowych urządzeń, w rodzaju słupów obserwacyjnych bazy długości, jest w związku z tym dosyć ograniczona, bowiem na przykład w bliskim otoczeniu punktów do badań magnetycznych nie można lokalizować urządzeń, które mogłyby wywoływać lokalne zakłócenia pola magnetycznego Ziemi (np. zbrojenie słupów). Teren ten jest częściowo urządzony w formie przydatnej do celów rekreacyjnych, zaś w pozostałej części jako sad, pasieka i podwórze.

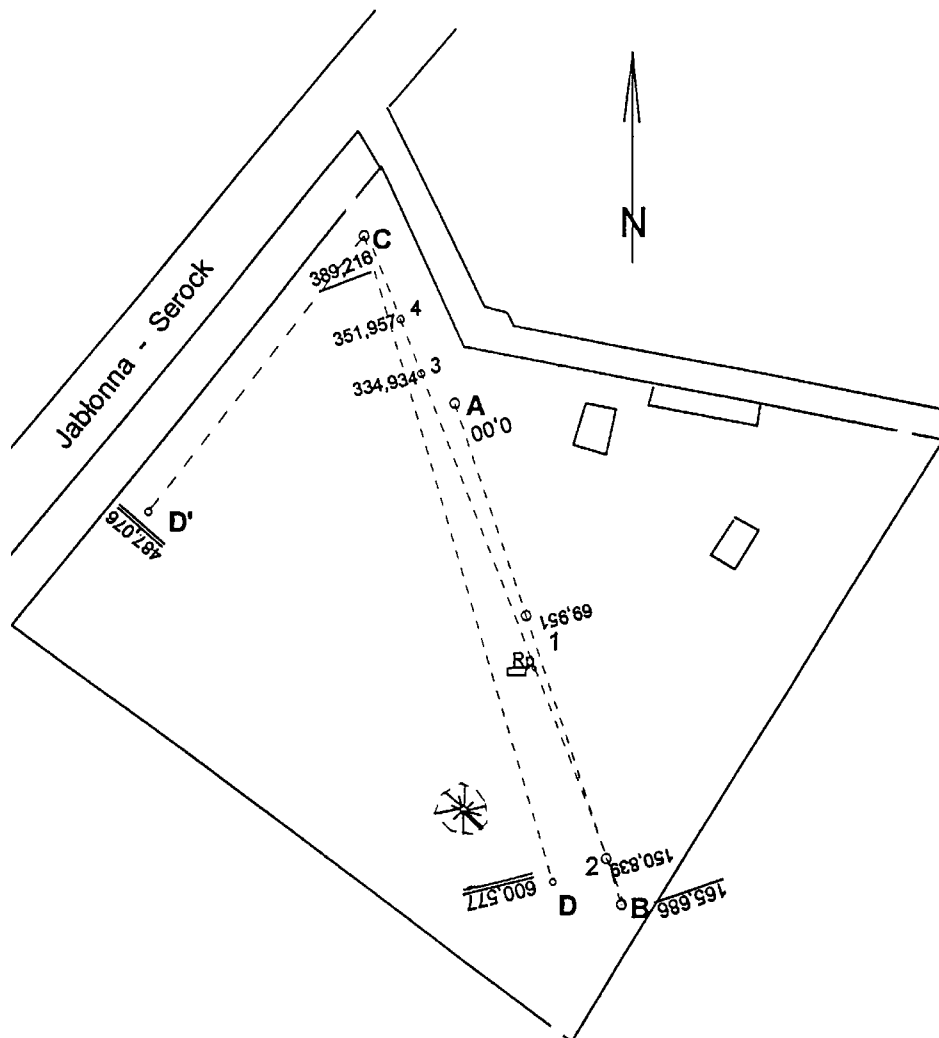
Przeprowadzony w pierwszej połowie 1999 roku wywiad terenowy miał na celu takie zlokalizowanie słupów i odcinków Łamanej Bazy Długości, aby mogły być spełnione wymagania dotyczące długości tych odcinków i warunków obserwacyjnych w czasie zakładania i użytkowania bazy oraz aby



Rys. 2

Łamana Baza Długości w Borowej Górze

skala 1: 2 000



Rys. 3

można było uniknąć ewentualnych kolizji z istniejącymi, wymienionymi elementami istniejącego zagospodarowania terenu i z instalacjami do prac badawczych z zakresu astronomii, grawimetrii i magnetyzmu. W ramach tego wywiadu zaprojektowano kilka wariantów lokalizacji słupów ŁBD, wykonano niezbędne pomiary i przeprowadzono analizy zalet i wad tych wariantów, w wyniku czego powstał projekt optymalnego rozmieszczenia słupów i odcinków ŁBD przedstawiony na rysunku 3. W miejscach pokazanych na rysunku 3 zastabilizowano dziewięć słupów żelbetowych, wykonanych zgodnie z projektem omówionym w następnym rozdziale i zaopatrzonych w elementy do wymuszonego centrowania dalmierzy, reflektorów dalmierczych, zwierciadeł płaskich i pochyłomierza PN 31.

3. PROJEKT REALIZACJI SŁUPÓW ŁBD

Stanowiska Krajowej Bazy Długości na lotnisku Bemowo były wykonane w roku 1987 w formie słupów żelbetowych osadzonych na stopach betonowych wylanych w wykopanych dołach o głębokości 2 m. Taki sposób posadowienia słupów był bardzo kosztowny, zarówno w aspekcie wykonywania wykopów i budowy słupów, jak i ilości zużytych materiałów. Rozwój technologii budowlanych, jaki nastąpił w ciągu minionych 12 lat, a także nasze doświadczenia wynikające z udziału w kontroli deformacji wielu budynków umożliwiły opracowanie projektu zabudowy słupów bazy, który – jak sądzimy, powinien być znacznie tańszy w realizacji, a jednocześnie gwarantujący niezbędną, wyższą stabilność słupów. Doświadczenie związane z 12-letnią eksploatacją KBD na lotnisku Bemowo, jak również z prowadzonymi w tym okresie kontrolami stabilności tej bazy i Baz Regionalnych wskazują, że nawet bardzo masywne i solidne słupy nie gwarantują całkowitej nieruchomości w okresie ich wykorzystywania do komparacji dalmierzy. Z tego powodu projekt realizacji słupów ŁBD obejmuje nie tylko ich konstrukcję i sposób posadowienia, ale również rozwiązania konstrukcyjne umożliwiające okresowe kontrole, w wyniku których można ocenić stopień stabilności słupów oraz wyznaczać zmiany odległości między słupami.

Zgodnie z rysunkiem 4, przewidziano zastabilizowanie słupów ŁBD w otworach wierconych o średnicy 0,5 m. Otwory powinny być wywiercone do głębokości 2,5 m, to jest poniżej granicy przemarzania gruntu na obszarze Polski. Do wywierconego otworu należy wstawić jego zbrojenie wykonane na powierzchni, a następnie nałożyć na nie prefabrykowany szalunek tekturowy, sięgający do głębokości 1,5 m poniżej powierzchni terenu. Takie zagłębienie szalunku, przewidzianego do pozostawienia w ziemi aż do czasu naturalnego unicestwienia, podyktowane jest dążeniem do uformowania powierzchni słupa w tej strefie jako gładkiego walca w celu ograniczenia przyczepności bocznej powierzchni słupa do gruntu w strefie jego przemarzania, tak aby słup nie podlegał siłom pionowym, wyciągającym go. W niższej, jednometrowej

strefie fundamentu beton zostaje wleany bez szalunku w celu uzyskania dobrej przyczepności z otaczającą warstwą podłoża. Następnie do szalunku tego należy wlać beton o składzie i konsystencji zgodnej ze stosowanymi przy wykonywaniu słupów nośnych konstrukcji budowlanych. Szalunek w części naziemnej podlega zlikwidowaniu po związaniu betonu.

Taki sposób wykonania słupa, w otworze wywierconym w podłożu, zamiast w otworze wykopanym, ma – poza wspomnianymi wcześniej walorami natury ekonomicznej – istotny walor nienaruszenia struktury podłoża otaczającego słup, co powinno zwiększyć jego stabilność.

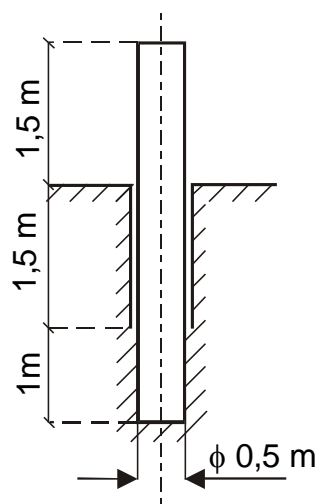
Powierzchnia słupa powinna być pomalowana w celu izolowania przed wilgocią. Dolna, jednometrowa strefa słupa, na głębokości od $-1,5$ m do $-2,5$ m ma być pozbawiona szalunku, tak aby w strefie tej chropowata powierzchnia boczna słupa była dobrze związana z otaczającym podłożem.

Przewiduje się również wykonanie niektórych słupów znacznie bardziej zagłębionych w podłożu, z osadzonymi pionowo rurami stalowymi do wykonywania pomiaru przemieszczeń poziomych głowicy słupa względem jego podstawy. Pomiaru te mają być wykonywane przy użyciu inklinometru MIS (Janusz J. 2001) i rewersyjnego inklinometru ciągnowego RIC. Inklinometr MIS został opracowany w roku 1999 w ramach równoległe prowadzonego w Zakładzie Geodezji projektu badawczego Nr 9 T12E 028 16, natomiast rewersyjny inklinometr ciągnowy RIC jest przewidziany w planie IGiK do zaprojektowania i wykonania w roku 2001. Słup tego typu pokazany jest na rysunku 5. W słupie należy osadzić pionowo dwie rury stalowe o przekroju kwadratowym $100 \times 100 / 3$ mm, sięgające do stopy słupa. Rura osadzona w osi słupa przeznaczona jest do okresowego kontrolowania zmian nachylenia i ewentualnych ugięć słupa modułowym inklinometrem strunowym MIS, a jej górna powierzchnia jest przystosowana do jednoznacznego, wielokrotnego ustawiania teodolitu, dalmierza, tarczy celowniczej lub reflektora dalmierczego, przy użyciu systemu stabilizująco-centrującego omówionego i pokazanego na rysunku 6 w (Janusz J. 2001). Rura osadzona mimośrodowo przeznaczona jest do wmontowania rewersyjnego inklinometru ciągnowego RIC.

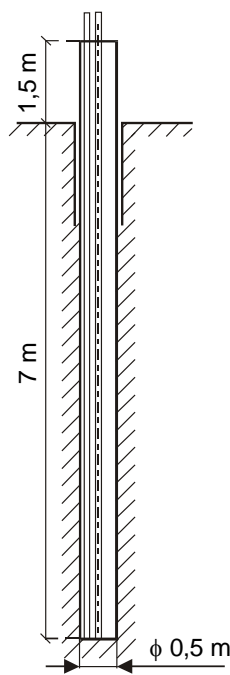
Wszystkie słupy ŁBD należy wytyczyć w taki sposób, aby ich głowice znalazły się na jednakowym poziomie.

4. PROJEKT GŁOWIC I OSŁON SŁUPÓW ŁBD

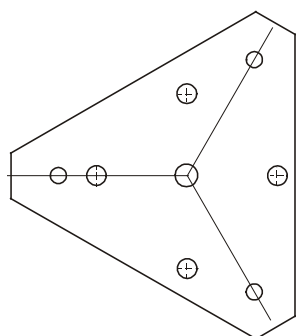
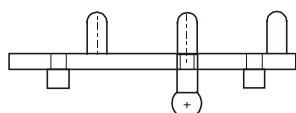
Głowice słupów ŁBD mają być przystosowane do jednoznacznego ustawiania na nich dalmierzy, reflektorów zwrotnych, precyzyjnych zwierciadeł płaskich, a także opracowanego w Zakładzie Geodezji IGiK pochyłomierza nasadkowego PN 31 (Janusz J. 1999), służącego do okresowych kontroli ewentualnych zmian nachylenia słupów. W związku z tym przyjęto, że w górnej powierzchni słupów osadzone zostaną standardowe płyty do mechanicznego centrowania tych przyrządów (rys. 6),



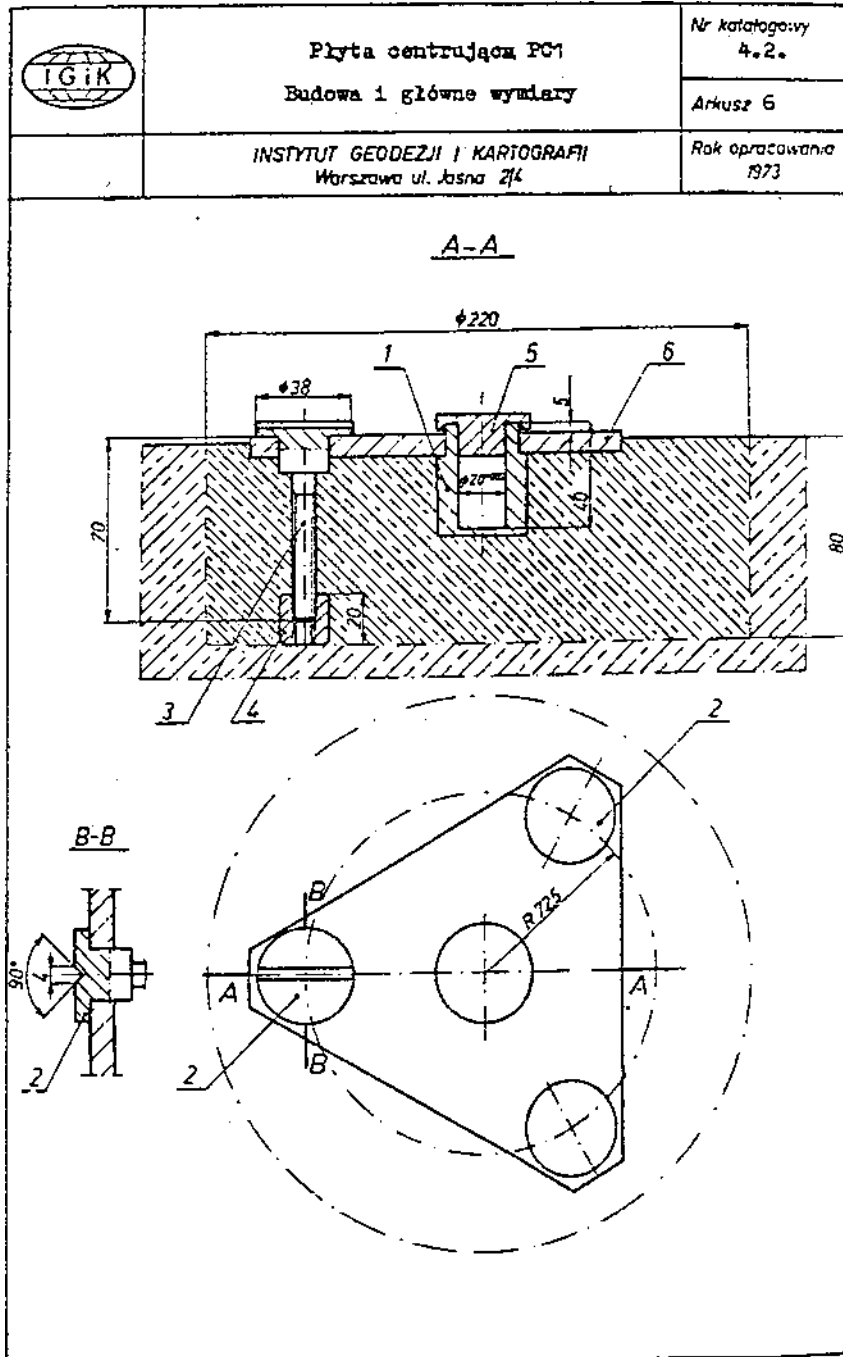
Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6



Rys. 7

wykonane zgodnie z (Janusz W., Kołodziejczyk M., Smółka M. 1973) i wielokrotnie sprawdzone na wielu obiektach hydrotechnicznych. Zrezygnowano tu z płyt centrujących, zastosowanych wcześniej na Krajowej Bazie Długości na Bemowie w Warszawie, bowiem długoletnia eksploatacja wykazała, że nie są one dobrze przystosowane do pomiarów zmian nachylenia słupów pochylomierzem. Płyty centrujące według (Janusz W., Kołodziejczyk M., Smółka M. 1973) są przystosowane do jednoznacznego ustawiania na nich trójkątnej podstawki z bolcem ustawczym libelowego pochylomierza nasadkowego PN 21. Podstawka ta została skorygowana i uzyskała formę jak na rysunku 7, w taki sposób, by nadawała się do ustawiania na niej pochylomierza elektronicznego PN 31 (Janusz J. 1999 – rys. 5), którym zamierzamy wyznaczać ewentualne zmiany nachylenia słupów.

Płyty centrujące muszą być zabezpieczone przed dostępem osób postronnych i przed opadami za pomocą odpowiednich osłon, przy czym osłony słupów, na których będą na stałe ustawione zwierciadła załamujące muszą osłaniać nie tylko płyty, ale również te zwierciadła, a ich demontaż na czas pomiarów powinien odbywać się w sposób gwarantujący nieporuszanie zwierciadeł. Dla dobrej ochrony zwierciadeł płaskich, pozostawianych na stałe, słupy, na których przewidziano ustawienie tych zwierciadeł, umieszczone zostaną wewnątrz domków narzędziowych.

5. PROJEKT I WYKONANIE ZWIERCIADEŁ PŁASKICH

Zwierciadła płaskie, załamujące emitowaną przez dalmierz wiązkę promieniowania, mają być ustawione na stałe (nieruchomo) na słupach po takim ich uprzednim zorientowaniu, aby wiązka po załamaniu była skierowana wzdłuż kierunku pomiaru odległości. W tym celu zwierciadła muszą być zaopatrzone w system precyzyjnego, kąтового naprowadzania w płaszczyźnie pionowej i poziomej według wskazań obserwatora znajdującego się przy dalmierzu oraz w blokady tego systemu po osiągnięciu pożądanego położenia. Oczywiście trzeba się liczyć z tym, że w okresie eksploatacji mogą samoczynnie następować pewne minimalne skręcenia zwierciadeł w płaszczyźnie pionowej i poziomej i z tego powodu systemy naprowadzania muszą być przystosowane do okresowego korygowania orientacji.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwierciadła powinny mieć wysoką jakość pod względem wymagań dotyczących ich płaskości i szlif, w związku z czym wybrano do tego celu zwierciadła stosowane w laboratoriach holograficznych. Zwierciadła te zostały zaopatrzone w odpowiednie systemy regulacji i blokowania kierunku w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Zastosowane zwierciadło płaskie ustawione na słupie, umieszczonym w domku osłonowym, pokazane jest na rysunku 8.

6. REALIZACJA SŁUPÓW ŁBD

Projekt rozmieszczenia słupów ŁBD, ich wytyczenie w terenie oraz późniejsze pomiary długości odcinków bazy i próbne komparacje wykonał zespół pracowników Zakładu Geodezji w składzie: mgr inż. Andrzej Kaliński, mgr inż. Andrzej Toruński i dr inż. Jan Wasilewski.

Słupy ŁBD zastabilizowano w miejscach pokazanych na rysunku 3. Słupy numer *A*, *B*, *C*, *D*, *D'*, *1*, *2*, *3* wykonano zgodnie z rysunkiem 4, natomiast słup numer *4*, posadowiony na głębokości 7 m, wykonano zgodnie z rysunkiem 5.

Słupy *B* i *C* przeznaczone są do ustawiania na nich płaskich luster na długie okresy kampanii komparacyjnych. Z tego powodu znajdują się one wewnątrz domków osłonowych i ponadto mają bezpośrednie zabezpieczenie osłonami zdejmowanymi na czas pomiarów, które obejmują płyty centrujące z ustawionymi na nich lustrami. Pozostałe słupy mają osłony zdejmowane na czas pomiarów, chroniące płyty centrujące.

Na rysunku 9 pokazano słup na stanowisku *A*, przeznaczony głównie do ustawiania dalmierza. Słup ten znajduje się pod osłoną wiaty wyprowadzonej z domku narzędziowego, przeznaczonego do przechowywania sprzętu pomocniczego. Na słupie widoczny jest pochyłomierz PN 31. Na rysunku 10 pokazano stację totalną TC 2002 ustawioną na słupie.

Na rysunku 11 pokazano słup na stanowisku *B*, przeznaczony do ustawienia zwierciadła płaskiego. Słup ten znajduje się wewnątrz domku narzędziowego. Przez okno tego domku widoczna jest osłona głowicy słupa i ustawionego na nim zwierciadła płaskiego. W celu wykonania pomiaru osłona ta zostaje zdjęta, zaś okno w domku narzędziowym otwarte. Takie samo rozwiązanie zastosowano na stanowisku *C*, gdzie widoczne jest przez okno zwierciadło płaskie (rys.12).

Na rysunku 13 pokazano słup numer *3* z ustawionym na nim pochyłomierzem PN 31 w trakcie pomiaru zmiany nachylenia. Tak samo wyglądają słupy numer *1*, *2*, *D*, *D'*. Na rysunku 14 widoczny jest ten sam słup z pochyłomierzem PN 31 w wersji rozłączonej (Janusz J. 1999).

Na rysunku 15 pokazano słup numer *4* w trakcie wykonywania pomiaru zmian jego nachylenia i ugięcia inklinometrem MIS. Widoczna jest ustawiona na rurze wyciągarka inklinometru oraz leżący na głowicy słupa system odczytowy MUPI.

Na rysunku 16 pokazano słup numer *4* z reflektorem zwrotnym, ustawionym na rurze z wykorzystaniem systemu stabilizująco-centrującego opisanego i zilustrowanego na rysunku 6 w (Janusz J. 2001).

Na rysunku 17 pokazany jest reflektor zwrotny na słupie w punkcie *D*, zaś na rysunku 18 słup nakryty kapturem.



Rys. 8



Rys. 9



Rys. 10



Rys. 11

*Rys. 12**Rys. 13**Rys. 14**Rys. 15*



Rys. 16



Rys. 17



Rys. 18

7. POMIAR ŁAMANEJ BAZY DŁUGOŚCI I KOMPARACJE DALMIERZY

Pomiary długości odcinków Łamanej Bazy Długości w Borowej Górze wykonano po przeprowadzeniu całej serii pomiarów o charakterze ćwiczebnym, mających między innymi na celu nabranie wprawy w ustawianiu i orientowaniu zwierciadeł płaskich, uzyskanie oceny różnic wyników pomiaru w zależności od drobnych różnic zorientowania tych zwierciadeł w granicach umożliwiających pomiar i wypracowanie zasad optymalnego orientowania zwierciadeł.

Ze względu na sukcesywne oddawanie do użytku słupów ŁBD, pomiary długości odcinków *A-1*, *A-2*, *A-3*, *A-B-3*, *A-B-4*, *A-B-C* zostały wykonane dnia 14 września 2000 roku, pomiar odcinka *A-B-C-D'* został wykonany dnia 3 października 2000 roku, zaś pomiar *odcinka A-B-C-D* został wykonany dnia 14 listopada 2000 roku. Pomiary wykonano w wybranych porach dobrych warunków atmosferycznych, wzorcowym dalmierzem TC 2002 nr fabryczny 359 829 firmy Leica, który został szczegółowo sprawdzony pod względem aktualnych parametrów metrologicznych i stanu technicznego. Wyniki tych pomiarów zestawione są w pierwszym wierszu tabeli 1.

Wobec tego, że słupy ŁBD, zwłaszcza te, które zostały zastabilizowane w roku 2000, mogą podlegać jeszcze stosunkowo szybko następującym drobnym przemieszczeniom, baza ta będzie się nadawała do wykonywania komparacji dalmierzy w normalnym trybie, nie wcześniej niż na wiosnę 2001 roku. Oznacza to, że wprawdzie istnieje już możliwość wykonywania na niej pomiarów o charakterze komparacyjnym, ale wyniki tych pomiarów mogą być obciążone wpływem drobnych zmian długości odcinków bazy. Z tego powodu komparacjami, które należało wykonać zgodnie z obowiązkami wynikającymi z umowy na realizację projektu 9T12E 035 16, objęto tylko dalmierze produkcyjne dostarczone nam w krótkim okresie od czasu wykonania pomiarów ŁBD. Skomparowano łącznie osiem dalmierzy o zróżnicowanych dokładnościach, wyrażonych błędem m , deklarowanym przez producentów, przy czym komparacje pięciu dalmierzy wykonano 2-krotnie (tak więc łącznie wykonano 13 komparacji). Wyniki pomiarów komparacyjnych na ŁBD w Borowej Górze zestawione są w tabeli 1. Komparacje tych dalmierzy wykonano w tych samych lub sąsiadujących dniach również na Krajowej Bazie Długości na Bemowie. Pomiary komparacyjne na ŁBD w Borowej Górze odbyły się bez żadnych zaskakujących trudności. Różnice między poprawkami komparacyjnymi wyznaczonymi na obu bazach nie przekraczają wartości wynikających z dokładności pomiaru tymi dalmierzami. Trzeba jednak podkreślić, że poprawki komparacyjne wyznaczone zostały na KBD na Bemowie z pomiarów wszystkich odcinków tej bazy mającej całkowitą długość 744 m, zaś poprawki komparacyjne na ŁBD w Borowej Górze wyznaczone

Tabela 1: Odległości pomierzone na Lamanej Bazie Długości w Borowej Górze wzorcowym dalmierzem firmy Leica TC 2002 nr fabr. 359829 oraz różnymi dalmierzami produkcyjnymi

Dalmierze		Pomierzone długości [m]															
typ	nr fabr.	A-1		A-2		A-g,3		A-g,4		A-gC		A-gD'		A-3		A-gcD	
		m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm
TC2002	359829	69,9514	0,0	150,8394	0,0	334,9110	0,0	351,9332	0,0	389,1928	0,0	487,0350	0,0	7,3439	0,0	600,5320	0,0
TC 600	408492	,9505	-0,9	,8381	-1,3	,9089	-2,1	,9315	-1,7	,1910	-1,8			,3430	-0,9		
TC 600	408492	,9502	-1,2	,8381	-1,3	,9089	-2,1	,9322	-1,0	,1911	-1,7			,3430	-0,9		
TC 600	408942	,9505	-0,9	,8382	-1,2	,9095	-1,5	,9319	-1,3	,1911	-1,7						
TC 600	4089424	,9504	-1,0	,8379	-1,5	,9095	-1,5	,9327	-0,5	,1917	-1,1						
TC 600	09024	,9505	-0,9	,8381	-1,3	,9097	-1,3	,9335	0,3	,1913	-1,5			,3427	-1,2		
TC 600	0902473	,9506	-0,8	,8387	-0,7	,9093	-1,7	,9314	-1,8	,1918	-1,0			,3432	-0,7		
DI2000	149	,9505	-0,9	,8392	-0,2	,9109	-0,1	,9320	-1,2	,1922	-0,6			,3439	0,0		
DI2002	180876	,9512	-0,2	,8391	-0,3	,9109	-0,1	,9328	-0,4	,1923	-0,5			,3442	0,3		
GTS211	L.G2322	,9549	3,5	,8441	4,7	,9125	1,5			,1966	3,8			,3442	0,3		
GTS211	L.G2322	,9553	3,9	,8440	4,6	,9123	1,3			,1969	4,1			,3465	2,6		
GTS212	L.H0404	,9544	3,0	,8427	3,3	,9149	3,9			,1977	4,9			,3468	2,9		
GTS212	L.H0404	,9546	3,2	,8434	4,0	,9151	4,1			,1979	5,1			,3450	1,1		
SET2000	16915	,9532	1,8	,8407	1,3	,9147	3,7	,9347	1,5			,0379	-2,9				

Tabela 2

Data pomiaru	Różnica częstotliwości	Zmiana częstotliwości	Miejsce pomiaru	Uwagi
	ppm	Ppm		
	0,640		Warszawa	
16.09.1996	0,668	0,028	Warszawa	
17.09.1996	0,663	0,023	Warszawa	
20.05.1997	0,750	0,110	Warszawa	
13.06.1997	0,720	0,058	Warszawa	
7.09.1997	0,828	0,188	Oleśnica	
9.09.1997	0,833	0,193	Lubin	
14.09.1997	0,848	0,208	Warszawa	
20.10.1997	0,794	0,154	Warszawa	
24.10.1997	0,785	0,145	Warszawa	zmiana nadajnika
17.04.1998	0,809	0,169	Warszawa	Programu I
12.05.1998	0,796	0,156	Warszawa	PR
3.08.1998	0,866	0,226	Warszawa	
11.05.1999	0,820	0,180	Warszawa	
13.05.1999	0,958 [^]	0,318	Warszawa	
27.07.1999	0,850 [^]	0,210	Warszawa	
10.09.1999	0,909 [^]	0,269	Łódź	
30.10.1999	0,896	0,236	Warszawa	
31.01.2000	0,911	0,271	Warszawa	
19.07.2000	0,913	0,273	Warszawa	
18.09.2000	0,907	0,267	Warszawa	
7.11.2000	0,871	0,231	Warszawa	
6.12.2000	0,870	0,230	Warszawa	

zostały z pomiarów istniejących wówczas odcinków o długościach 7, 70, 151, 335, 352, 389 m (dalmierz SET 2000 dodatkowo z wykorzystaniem odcinka 487 m uzyskanego po zastabilizowaniu słupa D'). Z tego powodu można oczekiwać, że w roku 2001, gdy będzie już można korzystać z odcinków AD' o długości 487 m i AD o długości 600 m, różnice między poprawkami komparacyjnymi wyznaczanymi na obu bazach zmniejszą się. Przyczyni się do tego zapewne również oczekiwane zwiększenie stabilności położenia słupów ŁBD, które umożliwi wykonywanie pomiarów komparacyjnych w dłuższych odstępach czasu od momentów wykonania powtarzanych pomiarów bazy dalmierzem wzorcowym.

8. KONTROLE STABILNOŚCI SŁUPÓW ŁAMANEJ BAZY DŁUGOŚCI

Doświadczenia z użytkowania Krajowej Bazy Długości na Bemowie i Regionalnych Baz Długości wskazują, że słupy tych baz podlegały i nadal podlegają drobnym przemieszczeniom, powodującym zmiany długości odcinków wzorcowych. Z tego powodu okazało się, że pojedynczy, choćby bardzo precyzyjny pomiar długości bazy, wykonany po jej zbudowaniu i wstępnym ustabilizowaniu, nie jest wystarczający do ciągłego zachowania jej wartości użytkowej. Już wkrótce po wykonaniu w roku 1987 pomiaru KBD na Bemowie metodą Vaisala okazało się, że jej słupy uległy przemieszczeniom obniżającym dokładność prowadzonych komparacji. Częste powtarzanie pomiarów metodą Vaisala nie jest możliwe ze względów ekonomicznych, z powodu długotrwałości pomiaru i konieczności specjalnej zabudowy bazy do tego celu.

Postanowiono więc wykonywać okresowo powtarzane pomiary baz precyzyjnym dalmierzem wzorcowym, podlegającym szczególnie pieczołowitej ochronie i szerokiemu zakresowi kontroli parametrów metrologicznych oraz sukcesywnie wprowadzać korekty do długości wzorcowych, wykorzystywanych na bieżąco do komparacji dalmierzy. Pomiary takie na KBD prowadzone są w odstępach nie mniejszych niż pół roku, w miarę możliwości wiosną i jesienią, w celu uchwycenia ewentualnych przemieszczeń wynikających z sezonowego stanu nawilgocenia i przemarzania podłoża. Powtarzane pomiary Baz Regionalnych, dopuszczonych do komparowania na nich dalmierzy o mniejszej dokładności, odbywają się co 1–2 lata, w zależności od wcześniej wykazywanego stopnia stabilności.

O przemieszczeniach słupów mogą świadczyć:

- zmiany ich wzajemnych, poziomych odległości, które są przedmiotem naszego szczególnego zainteresowania i zasadniczym przedmiotem pomiarów okresowych;
- osiadania;
- zmiany nachylenia.

W ramach okresowych kontroli wykonuje się dotychczas wszystkie trzy rodzaje pomiarów, przy czym pomiar osiadań i pomiar zmian nachylenia służą do stwierdzenia, czy zachodzą zmiany położenia słupów, które mogłyby świadczyć o konieczności sprawdzenia długości odcinków wzorcowych.

Na ŁBD w Borowej Górze wykonano dotychczas:

- dwa pomiary kontrolne zmian nachylenia słupów numer *A, 1, 2* i *3* pochyłomierzem nasadkowym PN 31 wzdłuż i w poprzek kierunku pomiaru długości, w dniach 20 października 2000 roku i 14 listopada 2000 roku, stwierdzając, że nie nastąpiły zmiany przekraczające 0,5 mm/m;
- pomiar wyjściowy pochyłomierzem PN 31 na słupach numer *B, C, D*;
- dwa pomiary kontrolne zmiany nachylenia słupa numer *4* inklinometrem MIS wzdłuż i w poprzek kierunku pomiaru długości (rys. 19), w dniach 11 sierpnia 2000 roku i 20 października 2000 roku, stwierdzając, że słup nie uległ wygięciom przekraczającym 0,15 mm/3 m i zmianom nachylenia przekraczającym 0,15 mm/m (oznacza to, że jeśli podstawa słupa nie uległa przemieszczeniu poziomemu, to przemieszczenie poziome jego głowicy na poziomie płyty centrującej nie przekroczyło 1,2 mm);
- pomiar wyjściowy osiadania wszystkich słupów metodą niwelacji precyzyjnej, w nawiązaniu do reperu odniesienia na starym budynku obserwatorium.

9. KONTROLE DALMIERZA WZORCOWEGO TC 2002 LEICA NR 359 829

Dalmierz ten został zakupiony w roku 1996 z certyfikatem jakości gwarantującym, że w momencie zakupu mierzone nim odległości wyrażane są w metrach normalnych. Jak wiadomo, wraz z upływem czasu eksploatacji mogą następować zmiany stanu dalmierza, wywołujące zmiany częstotliwości emitowanych sygnałów, stanowiącej podstawowy element gwarantujący wyrażanie mierzonych długości stale w takich samych jednostkach. W związku z tym od momentu zakupu stacji autor sondy częstotliwości (Wasilewski J. 1994; Wasilewski J. 1996; Wasilewski J. 2000) dr inż. Jan Wasilewski prowadzi nią okresowe kontrole częstotliwości tego dalmierza, których wyniki w formie odchyłek od częstotliwości nominalnej, wyrażone w ppm, zestawione są w tabeli 2.

Widoczne jest, że w dotychczasowym okresie eksploatacji częstotliwość dalmierza zmieniała się, w początkowym okresie szybciej, następnie tempo wzrostu znacznie się zmniejszyło, ale w sumie całkowita zmiana nie przekroczyła dotychczas 0,3 ppm (pomiar w okresie wymiany nadajnika Programu I PR, oznaczone „^”, uważamy za niemiernodajne z przyczyn zewnętrznych).

Mierzone zmiany częstotliwości były uwzględniane na bieżąco przy pomiarach okresowych i korygowaniu długości odcinków wzorcowych KBD na Bemowie i przy pomiarze ŁBD w Borowej Górze.

Innym, stosowanym równolegle sposobem kontrolowania jednostki długości dalmierza wzorcowego jest porównywanie jego wskazań ze wskazaniami dalmierzy tej samej klasy dokładności podlegającymi komparowaniu. W latach 1999 i 2000 wykonano pomiary KBD na Bemowie ośmioma dalmierzami precyzyjnymi i wymienionym dalmierzem wzorcowym, stwierdzając, że różnice wyników zawierają się w granicach dokładności tych dalmierzy, deklarowanych przez producentów, nie wykazując istotnych zmian o charakterze systematycznym.

W konkluzji można stwierdzić, że dalmierz stacji TC 2002 nr 359 829, traktowany jako wzorcowy, nie wykazał dotychczas zmian wykraczających poza błąd średni deklarowany przez producenta to jest $1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$.

Wobec takich wyników kontroli dokonywanych na miejscu, zrezygnowano na razie z planowanego zawieszenia tego dalmierza do producenta w celu ponownego przetestowania go na firmowej bazie kontrolnej. Decyzję taką podjęto między innymi z tego powodu, że dotychczas dysponujemy tylko jednym dalmierzem tej klasy, traktowanym jako wzorcowy, pomimo naszych wielokrotnych wystąpień z wnioskami o finansowanie zakupu drugiego dalmierza precyzyjnego (w zasadzie laboratorium komparacyjne powinno dysponować co najmniej dwoma wzorcami). W tej sytuacji uznaliśmy za korzystniejsze nienarazanie posiadanego dalmierza na ewentualne uszkodzenia transportowe i kontrolowanie go w omówiony sposób na miejscu, bez wożenia na duże odległości (z wyjątkiem koniecznego przewożenia na Bazy Regionalne w celu ich okresowego sprawdzania i korygowania).

LITERATURA

- [1] Cisak M., Sas A., Siporski L., 1998, *Fundamentalny punkt podstawowej osnowy grawimetrycznej kraju w Borowej Górze*. Prace IGiK z. 96.
- [2] Janusz J., 1999, *Wyznaczanie parametrów krzywizn ugięcia fundamentów*. Prace IGiK z. 98.
- [3] Janusz J., 1999, *Inklinometr ciągnowy*. Inżynieria i Budownictwo z. 7–8.
- [4] Janusz J., 2001, *Niektóre rozwiązania metodyczne i instrumentalne do potrzeb geodezyjnego monitoringu przemieszczeń i deformacji ścian osłonowych*. Prace IGiK z. 103.
- [5] Janusz W., Kołodziejczyk M., Smółka M., 1973, *Katalog znaków i urządzeń pomiarowo-kontrolnych do pomiarów przemieszczeń i odkształceń budowli*. IGiK.
- [6] Janusz W., Kaliński A., Toruński A., Wasilewski J., 1994, *Działalność atestacyjna i komparacyjna Pracowni Elektromagnetycznych Pomiarów Odległości*. Przegląd Geodezyjny z. 5.
- [7] Kaliński A., 1993, *Precyzyjne pomiary dużych różnic wysokości dalmierzem elektrooptycznym*. Konferencja Naukowo-Techniczna PAN-SGP „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej”. Warszawa.
- [8] Toruński A., 2000, *Ocena jakości dalmierzy elektrooptycznych w świetle wyników ich komparacji*. Prace IGiK z. 100.
- [9] Wasilewski J., 1994, *Metoda i urządzenie do bezinwazyjnej kontroli dalmierzy elektrooptycznych*. Prace IGiK z. 89.
- [10] Wasilewski J., 1996, *Sonda częstotliwości*. Geodezja i Kartografia z. 2.
- [11] Wasilewski J., 2000, *Badanie stopnia zgodności poprawek skali z komparacji terenowych i pomiarów częstotliwości*. Prace IGiK z. 100.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Adam Żurowski

JERZY JANUSZ
WOJCIECH JANUSZ

**BROKEN BASE OF LENGTH FOR COMPARATION
OF ELECTRONIC DISTANCE METERS****S u m m a r y**

Since 40 years the Department of Geodesy, Institute of Geodesy and Cartography fulfils in Poland the role of metrological laboratory for comparison of electronic distance meters.

Electronic distance meters should be checked periodically, in order to determine their real technical state and corrections to their readouts. Such a verification is done through comparison of length measured by these instruments with standard lengths on the special test bases. In Poland test bases in the form of group of ferro-concrete poles, with heads adjusted to centring distance meter and range reflector, are used; these poles are located in the fixed distances on the straight line, having 600 to 800 meters in length. It is difficult to protect such a long base, usually located in the terrain accessible for public, against damages; moreover measurements on this base for verification purposes can be hindered by road traffic and obscurity of visibility.

So, the test base was designed and constructed, with poles located on three sides of polygon in shape of letter Z. In apex points of polygon flat mirrors are firmly fixed; they are appropriately oriented, so to be able to measure precisely sum of polygon sides, equal to 600 meters, by standard distance meter and next by verified distance meter. Owing to such a solution, the whole test base, called Broken Base of Length, is located within area of astronomical-geodetic observatory of the Institute of Geodesy and Cartography, where it can be well protected against damages. As the conducted comparison measurements confirmed, distance meters can be verified on this base with the same accuracy, as in case of straight line bases.

Translation: Zbigniew Bochenek

*ЕЖИ ЯНУШ
ВОЙЦЕХ ЯНУШ*

ЛОМАНЫЙ БАЗИС ДЛИНЫ ДЛЯ КОМПАРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Р е з ю м е

Отдел геодезии Института геодезии и картографии уже 40 лет исполняет в Польше обязанности метрологической лаборатории в области компарирования электрооптических дальномеров.

Электрооптические дальномеры должны периодически контролироваться с целью определения их актуального технического состояния, а также с целью определения поправок к их показателям. Такой контроль проводится путём сравнения длин измеряемых этими дальномерами с образцовыми (эталонными) длинами на специальных тестовых базисах. В Польше применяются тестовые базисы в виде комплекса железобетонных столбов с головками, приспособленными для центрирования на них дальномера и дальномерного рефлектора,

расположенных на определённых расстояниях на прямолинейном отрезке длиной 600–800 м в целом. Столь длинный базис, находящийся зачастую на территории доступной для посторонних лиц, является трудным для охраны от повреждений и, кроме того, проведение на нём измерений, контролирующими дальномеры, встречается с трудностями, вызванными, например, движением машин и заслоном поля зрения.

Был запроектирован и установлен тестовой базис, столбы которого были размещены на трёх отрезках многоугольника в форме буквы Z. В местах заломов многоугольника были установлены на постоянный срок плоские зеркала, соответственно ориентированные, благодаря чему возможно измерение (точным образцовым дальномером и контролируемые дальномерами) суммы сторон многоугольника, которая равняется 600 м. Благодаря такому решению, весь тестовой базис, называемый Ломаным базисом длины, помещается на территории астрономо-геодезической обсерватории Института геодезии и картографии, где может быть хорошо охраняем от повреждений. Как показали выполненные компарационные измерения, на базисе этим можно контролировать дальномеры с такой же точностью, как и на прямолинейных базисах.

Перевод: Роза Толстикова