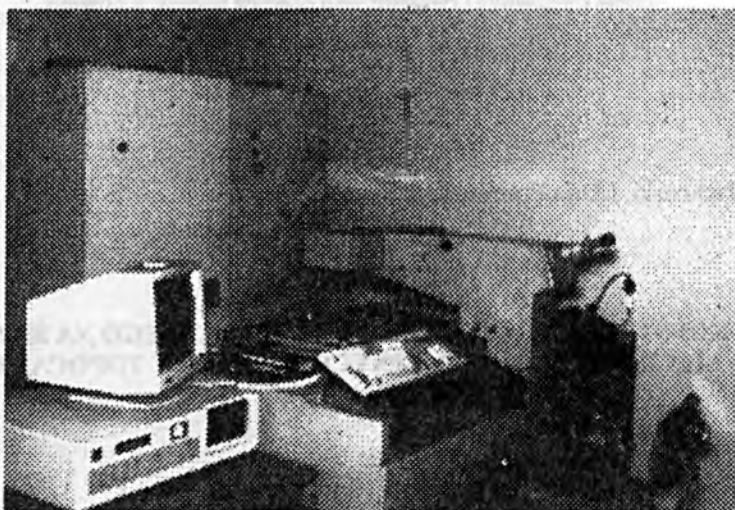


Józef Jachimski, Maria Piwowarczyk

## **KONSTRUKCJA AUTOGRAFU ANALITYCZNEGO NA BAZIE MECHANICZNO-OPTYCZNYCH ZESPOŁÓW TOPOCARTU**

Prace nad konstrukcją autografu analitycznego rozpoczęto w AGH w 1985 roku pod kierunkiem prof. Z. Sitka i prof. J. Jachimskiego, przy udziale pracowników Zakładu Fotogrametrii AGH i resortowego Instytutu Obróbki Skrawaniem (IOS) w Krakowie. Zaprojektowano i wykonano zespoły dwóch identycznych wózków pomiarowych przymocowanych do stabilnej płyty granitowej ustawionej na odpowiednich podporach. System obserwacyjny przyrządu zapożyczono z Topocartu. Wózki pomiarowe wyposażone były w prowadnice aerostaticzne, które winny zapewniać wysoką powtarzalność pomiaru w granicach błędu nie przekraczającego  $3 \mu\text{m}$ . Elektroniczny system pomiarowy zbudowany na bazie liniałów optoelektrycznych o dokładności odczytu  $1 \mu\text{m}$  umożliwił wstępne testowanie przyrządu. Badania wykazały, że stabilność konstrukcji aerostaticznych prowadnic wózków pomiarowych jest zbyt mała dla zapewnienia powtarzalności pomiaru z dokładnością umożliwiającą wykorzystanie przyrządu zgodnie z przeznaczeniem. Po wykonaniu szeregu poprawek konstrukcji uznano przebudowę przyrządu za nieopłacalną i zaniechano dalszych prac.

Pozostały jednak zakupione za granicą podzespoły: 4 liniały optoelektryczne Heidenheima LS403 o długości 270 mm wyposażone w system odczytowy Minilda zapewniający dokładność odczytu  $1 \mu\text{m}$ , 4 silniki krokowe Berger-Lahr RDM 569/50 o rozdzielczości pracy 1000 kroków na obrót, zadajniki impulsów wbudowane w korby i tarcze nożne oraz elektronika umożliwiająca sterowanie silnikami oraz odczytywanie liczników i zadajników przy współpracy z komputerem PC.



Rys.1 Widok ogólny przyrządu

Do dyspozycji był również Topocart B, z którego zapożyczono wcześniej system obserwacyjny do budowanego prototypu autografu analitycznego. Topocart ten zakupiony na początku lat siedemdziesiątych wraz z Orthophotem znany był użytkownikom z tego, że model na nim zbudowany nie był stabilny geometrycznie, a pojawiająca się zmienna w czasie pracy paralaksa poprzeczna bardzo utrudniała obserwację. Wprawdzie podejrzewano, że główną przyczyną błędów jest złożony mechaniczny analog autografu, ale opinia eksperta z IOS, wykonana jeszcze przed rozpoczęciem budowy prototypu, była bardzo nieprzychylna również dla systemu prowadnic nośników zdjęć.

W zaistniałej sytuacji zaniechania budowy prototypu autografu analitycznego, prof. J.Jachimski zdecydował się przenieść elektronikę i zagraniczne podzespoły na korpus Topocartu aby stwierdzić doświadczalnie jakie będzie można uzyskać dokładności. Po przykrych doświadczeniach z budową prototypu zaczęto ostrożnie od jednego tylko nośnika zdjęć. Po usunięciu analogu, zainstalowaniu wykonanych na zamówienie śrub mikrometrycznych Avia, wyposażonych w mechanizm eliminacji luzów, a także zainstalowaniu 2 silników krokowych i liniiów optoelektrycznych, uruchomiono w 1994 roku system sterujący i pomiarowy dla lewego wózka Topocartu.

Badanie powtarzalności odczytów na wybranych 9 krzyżach siatki wzorcowej rozmieszczonych na obrzeżu i w środku pola pomiarowego nośnika zdjęć prowadziła mgr inż. Maria Piwowarczyk przy udziale doświadczonej operatorki mgr inż. Marty Borowiec. Wyniki pomiarów wskazywały na znaczny wpływ czasu nagrzewania przyrządu przy włączonym oświetleniu na wartość odczytywanych współrzędnych. Przy firmowym oświetleniu żarowym, umieszczonym bezpośrednio pod płytą nośnika zdjęć, przyrząd stabilizuje się dopiero po 6-7 godzinach

nagrzewania (rys.2), a odczyty różnią się od odczytów dokonanych w momencie włączenia o prawie 70  $\mu\text{m}$ . Krócej, bo około 2 godziny, trwa stabilizacja przyrządu (rys.3) przy oświetlaniu nośników z wykorzystaniem kanałów optycznych i lamp halogenowych umieszczonych obok nośników zdjęć (oświetlenie firmowe stosowane w Topocartach współpracujących z Orthophotem). Wyniki były na tyle zachęcające, że w 1993 roku przystąpiono do montażu elektronicznego systemu pozycjonująco-pomiarowego również dla prawego nośnika zdjęć Topocartu.

We współczesnych autografach analitycznych oświetlacz umieszczany bywa w takim miejscu, aby ciepło wydzielane przez niego nie oddziaływało bezpośrednio na system pozycjonująco-pomiarowy autografu, np. nad, a nie pod nośnikiem zdjęć. System optyczny Topocartu wymaga jednak oświetlenia zdjęć od dołu. Możliwe są oczywiście rozwiązania, polegające na doprowadzeniu światła kanałem optycznym (soczewkowym lub zbudowanym z włókna szklanego) z odległego źródła światła pod nośnik zdjęć. Są to jednak rozwiązania kosztowne, dlatego też na tym etapie rozwoju badań przyjęto propozycję mgr inż. Romana Bielca, który zainstalował w odległości 20 cm pod każdym nośnikiem zdjęć 3W żarówkę kryptonową. Pomimo małej mocy znamionowej żarówki te dają intensywne oświetlenie. Wydzielają przy tym stosunkowo mało ciepła, które rozprasza się w pudle przyrządu pod nośnikami zdjęć. W temperaturze otoczenia ok. 25°C przyrząd stabilizuje się po 1 godzinie od momentu włączenia (rys.4). Po tym czasie odczyty dokonane na krzyżach siatki wzorcowej różnią się od odczytów rejestrowanych zaraz po włączeniu przyrządu o ok. 20  $\mu\text{m}$ , a zjawisko „płynięcia początku układu pomiarowego współrzędnych” zanika z dokładnością około 3  $\mu\text{m}$ . W temperaturze otoczenia ok. 18°C stabilizacja następuje po ok. 30 min, a systematyczne przesunięcie początku układu jest rzędu 10  $\mu\text{m}$  [3]. Wyżej opisane rozwiązanie oświetlenia zdjęć przyjęto jako tymczasowe, pozwalające prowadzić badania funkcjonalności systemu operacyjnego autografu.

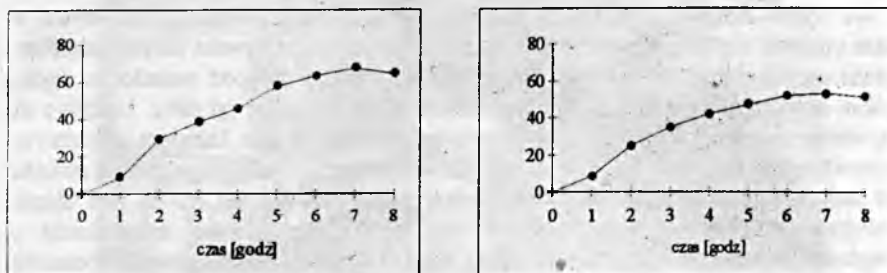
Problem niestabilności pomiarów w czasie istnieje również w innych autografach analitycznych, a czas stabilizacji dochodzący nawet do godziny nie był rzadkością dla starszych modeli [1]. Nawet tak doskonały i nowoczesny przyrząd jak Leica SD 2000 wykazuje zauważalne (rzędu 3  $\mu\text{m}$ ) płynięcie współrzędnych w czasie pierwszych 15 minut od włączenia, a także zmienność współrzędnych w czasie w granicach 2  $\mu\text{m}$  [2].

Niezmienność pomiarów w czasie z dokładnością  $\pm 3 \mu\text{m}$  uznać można za wystarczającą, pozwalającą na wykorzystanie naszego przyrządu zgodnie z przeznaczeniem do opracowania map numerycznych.

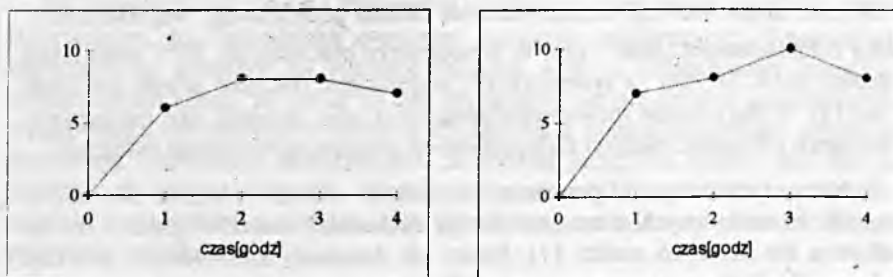
Obok zjawiska zmienności wyników pomiaru w czasie, drugim niebezpiecznym błędem mechaniki przyrządów pomiarowych jest histereza. Nie są od niej wolne nawet najlepsze instrumenty. Cytowane wyżej badania Leica SD 2000 [2] wykazały kilkumikronowe błędy histerezy, a firma nie wypuszcza na rynek przyrządów dla których błąd średni kwadratowy odchyłek histerezy mierzonych na punktach siatki rozmieszczonych na powierzchni całego nośnika zdjęć przekracza 5  $\mu\text{m}$ .

Badania histerezy w naszym przyrządzie wykonano na 15-tu punktach siatki, oddzielnie przy przesuwanie znacznika w kierunku X i Y. Błąd średni kwadratowy odchyłek wahał się w granicach  $\pm 5\text{-}6 \mu\text{m}$  [3], co w świetle wyżej cytowanych norm Leica należy uznać za zadawalające.

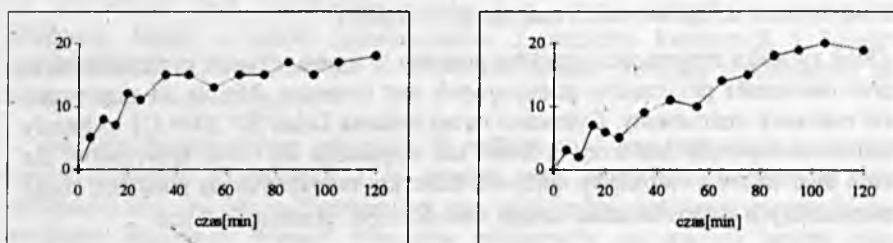
Korekcję geometrycznych systematycznych zniekształceń pomiarów (rys.4) wykonać można opisując matematycznie model zniekształceń np. z wykorzystaniem wielomianów aproksymujących. W przypadku systematycznych zniekształceń, których nie da się opisać wielomianem niskiego stopnia można zastosować tabelę poprawek lub zastosować funkcje sklepane. W przypadku naszego przyrządu stwierdzono, że wielomian 2-go stopnia jest wystarczający do eliminacji systematycznych błędów geometrycznych [3].



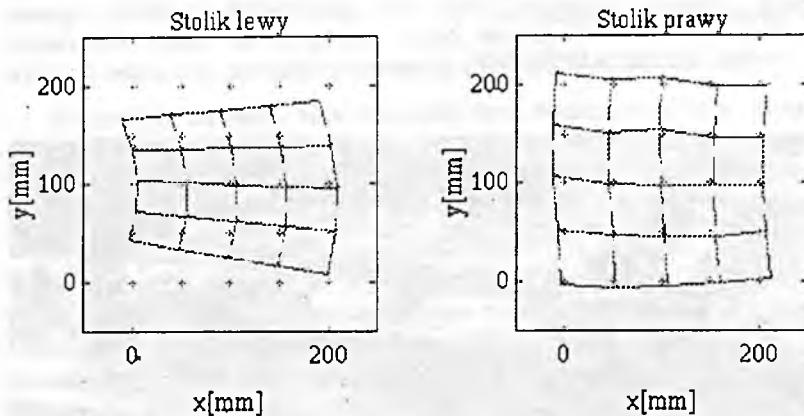
Rys.2 Zmiana wartości współrzędnych X i Y w czasie na lewym nośniku



Rys.3 Zmiana wartości współrzędnych przy oświetleniu z kanałami optycznymi



Rys.4 Zmiany współrzędnych X, Y w czasie po zamontowaniu nowego oświetlenia w temperaturze otoczenia 25°C



Rys.7 Systematyczne zniekształcenia geometrii pomiarów wykonanych z wykorzystaniem wózków Topocartu

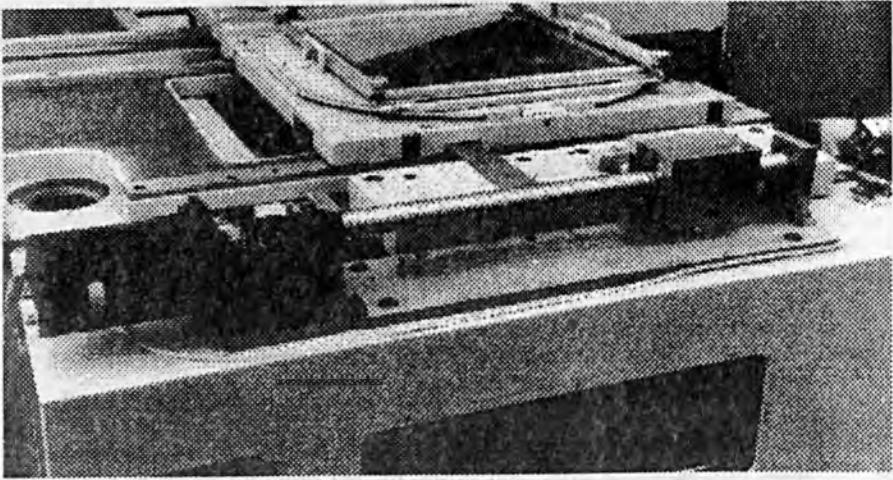
Sterowanie pracą naszego przyrządu odbywa się z wykorzystaniem komputera PC-386. Na etapie uruchamiania prototypu stosowany był program sterujący pracujący w systemie operacyjnym MS DOS umożliwiający prowadzenie testów. Obecnie przeprojektowano oprogramowanie sterujące do środowiska graficznego MS Windows. System MS Windows pozwala nam na opracowanie nowoczesnego, łatwego w obsłudze interfejsu użytkownika. System ten ma obecnie ugruntowaną pozycję na rynku oprogramowania jako najpopularniejsze środowisko graficzne. Jest systemem przyjaznym dla użytkownika, w którym wprowadzanie poleceń odbywa się w ściśle określonej standardowej formie.



Rys.5 Lewy nośnik zdjęć przyrządu

1. nośnik zdjęć
2. prowadnice X

3. prowadnica Y
4. linały optoelektryczne
5. śruba z silnikiem krokowym



Rys.6 Śruba z silnikiem krokowym. Widok z boku

Polecenia są wybierane z menu przy pomocy myszy lub kuli (trackball). Użytkownik może wybrać opcje lub podać żądane informacje korzystając z okien dialogowych. Podstawową zasadą jest zastąpienie wpisywania poleceń przez ich wybór.

Do sterowania ruchem nośników naszego przyrządu operator będzie mógł wybrać zestaw zadajników, które zamierza wykorzystać w czasie opracowania spośród: 2 korb. 2 tarcz nożnych, kuli i pedału przyspieszenia. Pedał przyspieszenia jest nożnym przełącznikiem o kilku programowalnych położeniach. Ustawienie przełącznika w położeniu 0-4 uzyskuje się przez coraz głębsze wciskanie; zwalniając nacisk włączamy kolejno położenia przełącznika: 3, 2, 1, 0. Działanie pedału przyspieszenia zależy od programu, który go obsługuje. Jedno z możliwych zastosowań, to działanie podobne do dodawania lub ujmowania gazu w samochodzie. Jeżeli użyje się pedału gazu jako alternatywy np. dla korby, można będzie łatwo sterować szybkością ruchu postępowego znacznka pomiarowego wzdłuż osi profilu, gdy np. rejestruje się profil pionowy, równoległy do jednej z osi pomocniczego układu współrzędnych. W ramach prac przygotowawczych operator może wprowadzić do systemu wartości współczynników decydujących o wydajności ruchu zadajników (np. większy przyrost współrzędnych w wyniku określonego obrotu korby), przy czym odpowiedni, łatwo dostępny przełącznik na pulpicie sterowniczym umożliwi wybór jednej z 3 zaprogramowanych wydajności w każdym momencie opracowania. Do dyspozycji operatora będą również przyciski ruchu szybkiego, umożliwiające łatwe, samoczynne przemieszczanie się po modelu.

Interesującą koncepcją jest wykorzystanie kuli (trackball) jako urządzenia do obsługi interfejsu graficznego, oraz jako zadajnika autografu. Dzięki temu użytkownik mając do dyspozycji jedno urządzenie sterujące będzie w stanie wykonać większość czynności związanych z pracą autografu.

Przewiduje się także zainstalowanie diod luminescencyjnych widocznych w układzie optycznym informujących operatora o stanie autografu, dzięki czemu wyeliminowana zostanie konieczność patrzenia poza model. Bierze się również pod uwagę możliwość włączenia małoformatowego digitizera jako elementu systemu sterującego pracą autografu.

Do sterowania pracą wózków Topocartu wykorzystano elektronikę sterującą pracą silników krokowych i linałów opto-elektrycznych, zaprojektowaną i wykonaną w IOS-Kraków dla prototypu autografu analitycznego. Charakteryzuje się ona dosyć nowoczesną architekturą. Elektroniczny układ oparto na pięciu procesorach, po jednym dla każdego zespołu pozycjonująco-pomiarowego, plus jeden procesor w zespole interfejsu koordynującego pracę pozostałych i zapewniającego komunikację z komputerem PC-386. Komunikacja polega głównie na transmisji do komputera odczytów linałów optoelektrycznych i przyrostów impulsów wygenerowanych przez zadajniki oraz na transmisji do układu autografu danych sterujących pracą silników wyliczonych w PC w programie sterującym pracą autografu (w tzw. pętli). Oczywiście komunikacja obejmuje również transmisje sygnałów pochodzących od krańcówek i przycisków programowalnych znajdujących się na pulpicie autografu. Taka architektura systemu elektronicznego stwarzać mogłaby w przyszłości szansę na przeniesienie tzw. pętli do komputera wewnętrznego opartego o centralny procesor autografu, tak jak to ma miejsce w nowoczesnych systemach [5], bazujących na zmminiaturyzowanych wyspecjalizowanych „kartach”.

W aktualnej konfiguracji komputer PC-386 realizuje obliczenia „pętli” oraz obsługuje system operacyjny autografu, którego zadaniem jest umożliwienie wykonania kalibracji, orientacji wewnętrznej, orientacji modelu (dwu lub jednoetapowo) oraz ustawienie odpowiednich parametrów pracy urządzenia, w tym korekt błędów systematycznych autografu, zdjęć i obiektywu. Przewiduje się również możliwość wprowadzenia do systemu elementów orientacji określonych w ramach aero lub terotriangulacji, również ze zdjęć niometrycznych. W zasadzie nie przewidujemy wbudowywania własnego systemu kompilacji warstw tematycznych mapy numerycznej, zakładając, że do autografu dołączony zostanie jeden z istniejących wyspecjalizowanych systemów np. "Digimap" opracowany przez J.Saczuka. System ten można używać na ogólnie przyjętych zasadach z wykorzystaniem dodatkowego komputera, lub można będzie, w porozumieniu z Autorem, próbować wbudować go do naszego komputera, zapewniając równoległą pracę „pętli” autografu i systemu „Digimap”.

Przedsięwzięta budowa autografu analitycznego oparta o konstrukcję mechaniczną Topocartu z Jeny nie jest nowym rozwiązaniem. Taką przeróbkę Topocartu oferuje obecnie kilka firm na świecie, np. firma R+A ROST z Austrii i ADAM Technology z Australii, ale jest ona dość kosztowna.

Ponieważ omawiane opracowanie jest dosyć zaawansowane, więc nie przerywamy prac konstrukcyjno-programowych mając nadzieję, że zdobywając

bezpieczne doświadczenie budujemy system dostępny dla krajowych przedsiębiorstw będących w posiadaniu Topocartów wyposażonych w szybko starzejący się analog.

#### Literatura

- [1] Laiko A., Kilpela E., „Stability testing of Analytical Plotters”. IAPRS Vol.27/B10, str.280, Kyoto 1988.
- [2] Müller W., Chapnis A., „A New Method of Calibration for Analytical Photogrammetric Workstation”, IAPRS, Vol.29/B2, str.113, Washington 1992.
- [3] Piwowarczyk M. „Badania stabilności i geometrii nośników zdjęć Topocartu z wykorzystaniem liniałów optoelektrycznych”. Zeszyty Naukowe AGH, seria Geodezja. W druku.
- [4] Sitek Z., Jachimski J. „Konstrukcja polskiego autografu analitycznego”, Przegląd Geodezyjny, Nr 3/1992
- [5] Toth C., Schenk T. „A GIS Workstation - Based Analytical Plotter”, IAPRS. Vol.29/B2, str.240, Washington 1992.

Rccenzowal: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Sitek