

DANES-PICTA.COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

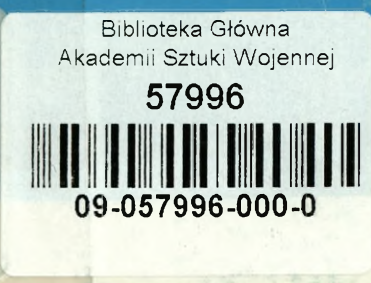
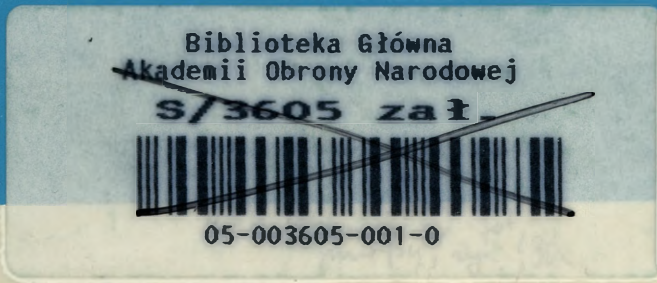
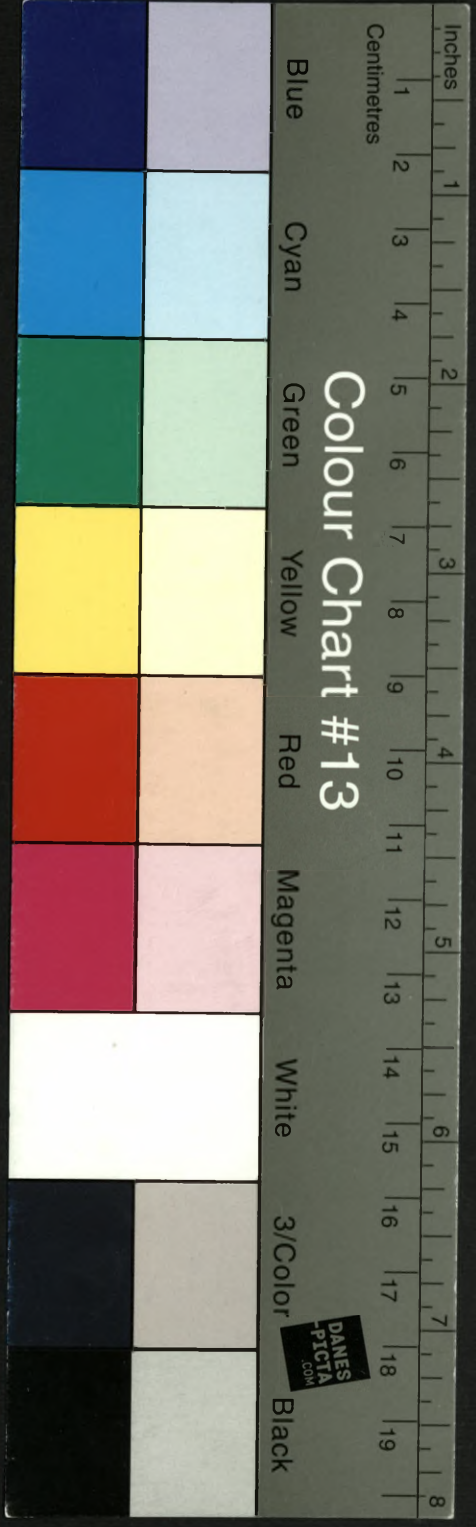
Ppłk dypl. pil. Waldemar JARUSZEWSKI

**ZASTOSOWANIE SYSTEMÓW SATELITARNYCH
DO SZKOLENIA PILOTAŻOWEGO I TAKTYCZNEGO
W WYŻSZEJ SZKOLE OFICERSKIEJ SIŁ POWIETRZNYCH**

Rozprawa doktorska

Załączniki

57996

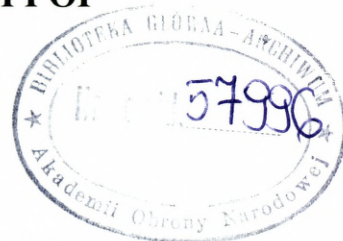


WARSZAWA

1998

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OP



Ppłk dypl. pil. Waldemar JARUSZEWSKI

**ZASTOSOWANIE SYSTEMÓW SATELITARNYCH
DO SZKOLENIA PILOTAŻOWEGO I TAKTYCZNEGO
W WYŻSZEJ SZKOLE OFICERSKIEJ
SIŁ POWIETRZNYCH**

Rozprawa doktorska

ZAŁĄCZNIKI



PROMOTOR

Ppłk dr hab. inż. Zbigniew ŚWIĄTNICKI

WARSZAWA

1998

SPIS TREŚCI

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DOSTĘPNYCH WSKAŹNIKÓW NAWIGACJI SATELITARNEJ PRZYDATNYCH W WSOSP..... | 3 |
| 2. OKREŚLENIE PUNKTU W ZAWISIE ŚMIGŁOWCOWYM W OPARCIU O POKŁADOWE ODBIORNIKI GPS NAVSTAR.... | 23 |
| 3. WYZNACZANIE POŁOŻENIA PUNKTÓW NAWIGACYJNYCH LOTNISKA DĘBLIN TECHNIKĄ GPS..... | 36 |
| 4. GARMIN GPS 150 NA POKŁADZIE ŚMIGŁOWCA W-3W „SOKÓŁ”..... | 46 |
| 5. TRIMBLE FLIGHTMATE GPS NA POKŁADZIE SAMOLOTU TS-11 „ISKRA”..... | 49 |
| 6. TRIMBLE FLIGHTMATE GPS I LOTY NA SZKOLENIE TAKTYCZNE NA SAMOLOCIE TS-11 „ISKRA”..... | 55 |

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DOSTĘPNYCH WSKAŹNIKÓW NAWIGACJI SATELITARNEJ PRZYDATNYCH W WSOSP

W połowie XX wieku pasjonowano się tworzeniem broni jądrowej (atomowej, wodorowej) oraz raketowych systemów jej przenoszenia. W kolejnych dekadach usiłowano stworzyć systemy obrony przed zagrożeniem raketowo- jądrowym. Obok badań kosmosu, szukano tam możliwości stworzenia tarczy obronnej. Program amerykański „Inicjatywa Obrony Strategicznej” (SDI) nie przyniósł zamierzonych efektów, ale zdopingował rozwój systemów satelitarnych, dających trudne do przecenienia korzyści cywilne i wojskowe. Jednym z trzech systemów satelitarnych użytkowanych praktycznie przez narody kuli ziemskiej są systemy nawigacji satelitarnej. Każdy człowiek, dysponujący odpowiednią sumą pieniędzy (poziom 500 \$ USA i więcej) może stać się posiadaczem odbiornika współpracującego z systemem GPS NAVSTAR. Nie wszystkie jednak odbiorniki przydatne są dla potrzeb WSOSP.

Na rynkach światowych oferowana jest szeroka gama rodzajów i typów odbiorników funkcjonujących w systemie GPS. Zdaniem autora, na uwagę zasługują przede wszystkim odbiorniki TRIMBLE, MOTOROLA, GARMIN, MAGELLAN i ASHTECH. Różnice są konstrukcyjne, lecz istota pracy jest identyczna. Spełniają też podobne funkcje, z tym że w zależności od rozwiązań konstrukcyjnych, odbiornik może mieć większe możliwości i szerszą bazę danych. W dalszej części przedstawione są odbiorniki pokładowe, których gabaryty zapewniają zaadaptowanie na aktualnie eksploatowane statki powietrzne. Kierowano się tu parametrem decydującym o właściwościach eksploatacyjnych odbiornika GPS, a mianowicie liczbą jego torów odbiorczych. Kolejnym kryterium jest sposób prezentowania wskazań

(informacji) oraz oprogramowanie umożliwiające dokonywanie różnych obliczeń nawigacyjnych (wprowadzenie punktów zmiany kierunku, obliczanie odległości ortodromicznej, loksodromicznej czy na przykład LBO).

W zależności od konstrukcji, pokładowe odbiorniki GPS NAVSTAR mogą odbierać tylko kod cywilny C/A (ogólnie dostępny) lub P/A (militarny). Obecnie polskie siły powietrzne mogą użytkować tylko odbiorniki z kodem cywilnym.

W skład zestawu odbiornika wchodzi zwykle kilka elementów: odbiornik, antena, przewód antenowy, łącze zasilające i łącze komputerowe.

Komplet odbiornika pokładowego GPS Navstar wyposażony jest w dwa zbiory informacji: opis techniczny i dokumentację użytkownika.

Pulpit użytkownika tworzą dwa elementy funkcjonalne:

1. Ekran - wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD, którego rozdzielczość jest uzależniona od przeznaczenia i wielkości. Na ekranie zobrazowywane są parametry i inne informacje.
2. Klawiatura - służy przede wszystkim do komunikacji na linii użytkownik - odbiornik pokładowy.

Pod względem przeznaczenia i konstrukcji odbiorniki GPS zaliczane są do jednej z trzech grup:

1. Odbiorniki o pracy ciągłej, które zwykle mają pięć lub więcej kanałów, z których każdy jest przeznaczony do śledzenia toru lotu jednego satelity. Odbiorniki o takiej właśnie konstrukcji posiadają najlepsze charakterystyki działania, ale są jednocześnie duże, drogie i pobierają więcej prądu. Odbiorniki tego rodzaju nadają się dla statków powietrznych o dużej dynamice manewrowania;
2. Odbiorniki multipleksowe z jednym kanałem namierzają kolejno pięć satelitów w czasie czterech milisekund. Zapewniają szybka aktualizację danych, ale ich wadą jest obniżona zdolność odbierania sygnałów przy małych kątach wzniesienia satelitów nad horyzontem¹;

¹ Horyzont - wielkie koło na sferze niebieskiej prostopadłe do pionu, Encyklopedia powszechna, Warszawa 1974, t. 2, s. 235.

3. Odbiorniki sekwencyjne mają jeden lub dwa kanały, które namierzają kolejno dużą liczbę satelitów, ale o wiele wolniej niż odbiorniki multipleksowe. Posiadają one dostateczną czułość do śledzenia sygnałów, nie są drogie, ale nie zapewniają szybkiej aktualizacji namiarów. Cecha ostatnia dyskwalifikuje ich przydatność dla samolotów.

Celem uzyskania wiedzy o uwarunkowaniach wykorzystywania wskaźników nawigacji satelitarnej trzeba wniknąć w niektóre szczegóły ich budowy, eksploatacji i parametry. Ten motyw skłonił autora do zamieszczenia poniższych opisów.

1. Odbiornik GARMIN GPS 150

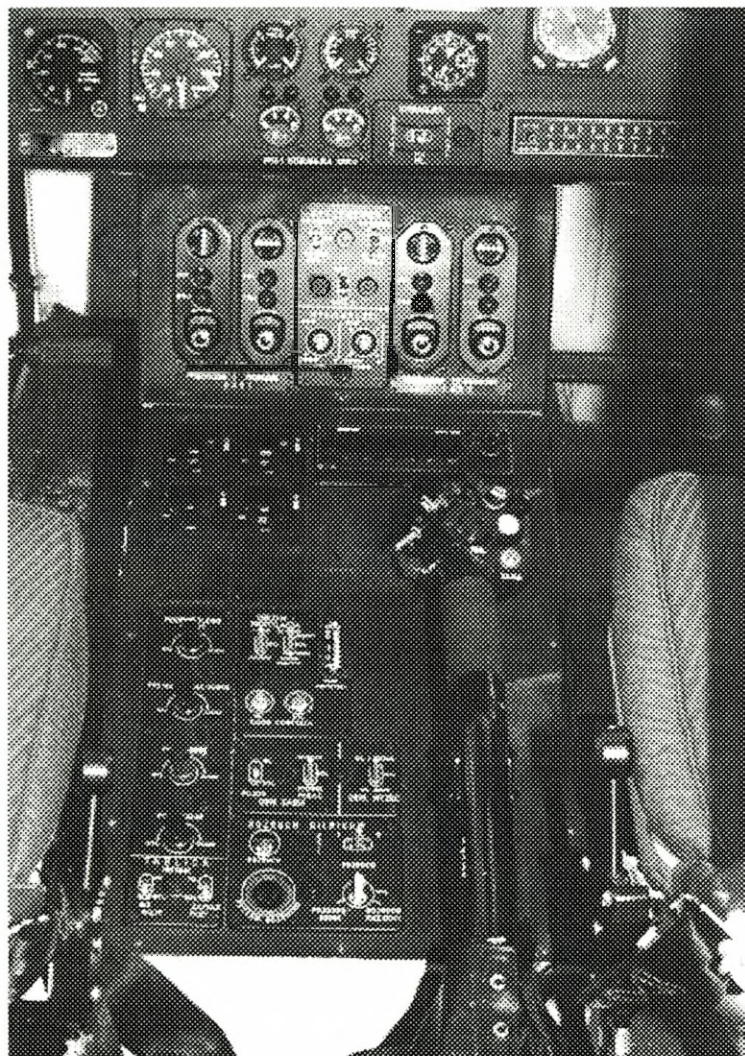
Zestaw ten obejmuje: odbiornik GPS 150, baterie wielokrotnego użytku, zasilacz sieciowy 115/230 V, zestaw antenowy, okablowanie oraz moduł umożliwiający podłączenie do zewnętrznego wskaźnika, autopilota lub wyświetlacza. Dodatkowe wyposażenie umożliwia podłączenie odbiornika do komputera osobistego i użycie go jako dodatkowej pamięci. Producent wytwarza zestaw w 3 opcjach, stosownie do wymagań odbiorcy. Różnią się one właściwościami odbiornika.

1. Zestaw z odbiornikiem o pracy ciągłej przydatny dla szybko poruszających się obiektów (samolotów);
2. Zestaw z odbiornikiem sekwencyjnym efektywny przy dużej prędkości ruchu użytkownika;
3. Zestaw z odbiornikiem sekwencyjnym efektywny przy małej prędkości ruchu.

Podstawowe parametry odbiornika:

- Masa 0,96 kg łącznie z baterią;
- Rozmiary 159x147x51 mm;
- Liczba odbieranych satelitów - do ośmiu;

- Czas uzyskiwania danych - 2 min (w rodzaju pracy 2D, w którym samemu należy wpisać wysokość), 2,5 min (w rodzaju pracy 3D, w którym są dostępne nie mniej niż cztery satelity, obliczana jest wysokość lotu oraz szerokość i długość geograficzna), 15 s (w rodzaju pracy „ciepły start” z uwzględnieniem pozycji satelity na orbicie w danej chwili);



Rys. 1.1. Zestaw lotniczy Garmin GPS 150 na pokładzie śmigłowca W-3W „Sokół”

- Częstość aktualizacji danych, - co sekundę (w sposób ciągły);
- Dokładność określania współrzędnych - 15 metrów;
- Dokładność pomiaru prędkości - 0,2 km/h;
- Odbiornik spełnia funkcję przy ruchu z prędkością do 1200 km/h
- Dopuszczalne przeciążenie $g \cong 3$.

W pamięci odbiornika gromadzić można dane o lotniskach, VOR, NDB, WPT, przecięciach dróg lotniczych (INTS) oraz innych punktach trasy, ogółem - do 100 punktów. Wprowadzenie współrzędnych położenia WPT do pamięci urządzenia może odbywać się trzema sposobami:

- przez wpisanie współrzędnych geograficznych WPT;
- przez umiejscowienie nowego WPT w stosunku do WPT już znajdującego się w pamięci urządzenia (podanie NKDM oraz odległości od starego do nowego WPT);
- przez umiejscowienie nowego WPT w stosunku do aktualnej własnej pozycji.

Odbiornik Garmin GPS 150 umożliwia zaprogramowanie do 10 tras po 9 PZK każda, oraz wykonywanie lotów w kolejności przyjętej podczas programowania, a także w kolejności odwrotnej. Zawsze podczas lotu wykorzystuje się do nawigowania trasę zaprogramowaną pod numerem 0. Strona tej trasy jest wyświetlana na czytniku i w czasie lotu wskazuje kolejne odcinki drogi po przelocie kolejnych PZK. Jeżeli powstaje konieczność zmiany zaplanowanej trasy lotu, wystarczy w odpowiednim miejscu trasy wpisać nazwę wcześniej zdefiniowanego PZK; pozostałe PZK zostaną odpowiednio przesunięte. Tą samą metodą usuwa się zbędne punkty trasy. Samo tworzenie trasy odbywa się przez wywołanie z pamięci „pustego miejsca” w katalogu tras i wprowadzenie nazw (maksymalnie dziewięciu) kolejnych PZK tworzących trasę.

Garmin GPS 150 ma szeroko rozbudowane opcje nawigacyjne, które można wykorzystywać po zdefiniowaniu trasy. Umożliwiają one:

- uzyskiwanie informacji potrzebnych do nawigowania po NLD, to jest wskazywanie za pomocą strzałek czy lot wykonywany jest do WPT, czy też już po jego przekroczeniu, ostrzeżenie (alarmowanie) w razie przekroczenia zaprogramowanej w pamięci (dopuszczalnej) odchyłki od NLD;
- powiadamianie (ostrzeżenie) o zbliżaniu się do PZK, samodzielne zaprogramowanie wielkości strefy sygnalizowanej (niebezpiecznej) wokół danego PZK;
- określanie aktualnej pozycji oraz wyświetlanie na czytniku prędkości podróżnej, wysokości lotu (obliczonej względem średniego poziomu morza - gdy jest włą-

czony zakres pracy 3 D), rzeczywistego kąta drogi oraz aktualnych współrzędnych geograficznych);

- automatyczne zapamiętywanie współrzędnych statku powietrznego;
- planowanie trasy lotu, w tym wykonywanie obliczeń inżyniersko-nawigacyjnych, planowanie rozchodu paliwa, obliczanie profilu lotu, przeliczanie prędkości lotu, obliczanie wysokości z uwzględnieniem poprawki temperaturowej i zmian gęstości powietrza;
- nawigowanie samolotu równoległe do NLD, z jej lewej lub prawej strony, na wybranej odległości (LBO);
- dowolne wybieranie, przez operatora programującego zestaw odbiornika, zmian parametrów w jakim ma się odbywać nawigowanie; pozycję można określić w stopniach, minutach lub sekundach, odległość i prędkość - w milach morskich i węzłach, milach lądowych i milach na godzinę, kilometrach i kilometrach na godzinę, wysokość - w stopach lub metrach, prędkość zniżania - w stopach na minutę lub w metrach na sekundę, temperaturę - w stopniach Celsjusza lub stopniach Fahrenheita.

Zestaw odbiornika jest urządzeniem prostym w obsłudze, uruchomienie kilku przycisków powoduje natychmiastowe wyświetlenie żądanych danych nawigacyjnych. Wskazuje aktualną pozycję samolotu podczas całego lotu, a jeśli potrzeba - rejestruje także w pamięci pozycję, datę i czas.

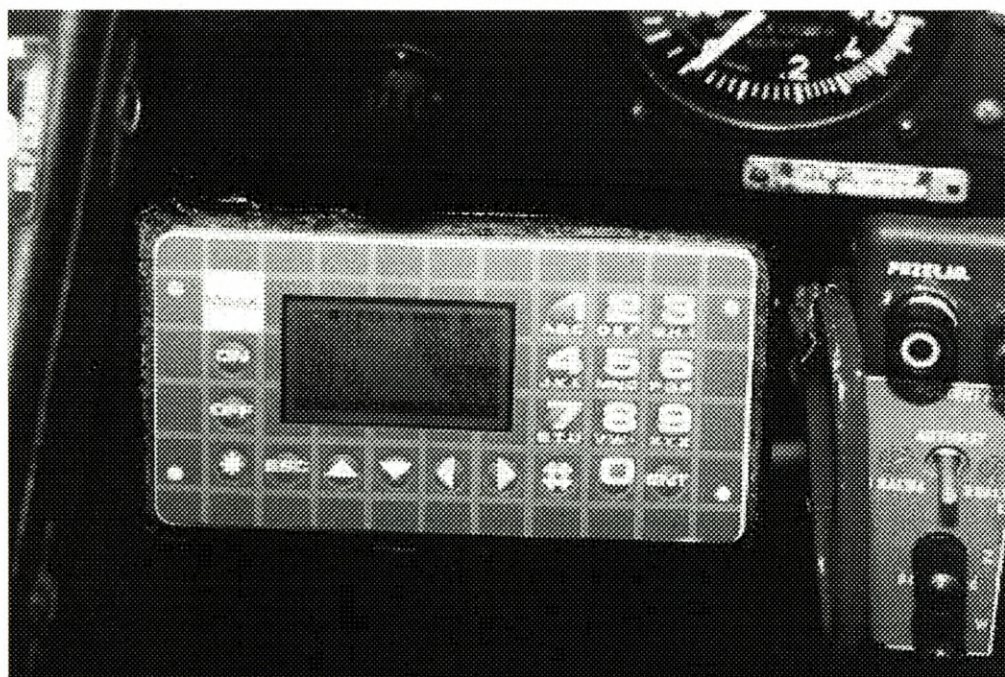
Powyższe funkcje dają możliwość kontrolowania trasy lotu statku powietrznego oraz czasu przybycia nad wskazane cele. Są to dane niezbędne do obiektywnej kontroli lotu, pomocne do prowadzenia rozpoznania i określania pozycji nowo wykrytego obiektu (załoga nie traci czasu na analizę mapy, lecz może skupić uwagę na dokładnym określeniu charakteru celu).

Odbiorniki Germin GPS 150 mają szereg wad. Podczas manewrów statków powietrznych dochodzi do „zrywania łączności” z satelitami. Natomiast ich zaletą jest możliwość zaprogramowania wszystkich elementów lotu i danych, potrzebnych do jego zabezpieczenia, na dyskietce o rozmiarach 25x35x3 milimetry. Wadą zaś to, że pomiary można przeprowadzać przy prędkości postępowej nie większej niż

10 km/h, na wysokości lotu nie mniejszej niż 3 metry. Dokładność określania współrzędnych (eksperyment ze śmigłowcem W-3 „Sokół”) wynosi około 150 metrów. Odporność na przeciążenia jest stanowczo zbyt mała. Zestaw GPS-150 nie jest kompatybilny z naziemnymi stacjami referencyjnymi i nie może współpracować z nawigacyjnym systemem inercyjnym.

2. Uniwersalny odbiornik GPS NAVI NT 04

Odbiornik NT 04 określa współrzędne, prędkość i kurs obiektu z jakim porusza się on w dowolnym punkcie globu ziemskiego, bez względu na warunki atmosferyczne. Pomiary wykonywane są co sekundę. W wersji standardowej impuls sekundowy jest zgodny ze skalą UTC oraz wskazuje dokładność wykonywanego pomiaru. Przystosowany do wykorzystywania stacji referencyjnych, a ponadto określa efemerydę, almanach i konfigurację systemu. Umożliwia wybór minimalnej elewacji, zestawu satelitów i układu odniesienia.



Rys. 1.2. Odbiornik nawigacji satelitarnej NT 04 zamontowany w pierwszej kabine samolotu TS-11 „Iskra”

Odbiornik ma możliwość określania współrzędnych: XYZ i $\phi\lambda h$ w układach: WGS 84, 42, NAD-27, NAD-83. Zakres pomiaru wysokości - od -300 m do +15000 m, przy maksymalnej prędkości statku powietrznego do 1500 km/h. Maksymalne przyspieszenie: 2 g.

| Opcje odbiornika: | Dane techniczne: |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| CI: komputer interface, łącze komputerowe | Częstotliwość odbioru L ₁ 1.57542 GHz |
| FA: flatt antenna, płaska, do zastosowań lotniczych | Kod: C/A |
| LC: long cable, kabel antenowy 30 m | Ilość kanałów: 10 równoległych |
| TS: Przystosowany do współpracy z nadajnikiem sygnałów pozycyjnych | Typowy czas akwizycji: < 75 sekund |
| DG: differential GPS, przystosowanie do pracy w systemie różnicowym | Typowy czas reakwizycji: < 30 sekund |
| TP: time pulse, dostarczany impuls sekundowy zgodny ze skalą czasu UTC | Typowa dokładność (brak SA, HDOP<2) |
| HH: hand held, wyposażenie w pokrowiec z uprzężą | Współrzędne płaskie: 25 m RMS/2D |
| MT: mounted, z podstawą - uchwytem | Wysokość: 50 m RMS |
| Wymiary (szer.x wys. x dł.): | Prędkość: 0,4 km/h RMS |
| Ciężar z akumulatorami: | 160x80x85 mm |
| Temperatura pracy: | 900 g |
| Zasilanie zewnętrzne: | -20..+40°C |
| Czas pracy z akumulatorów | 9..40V DC |
| | 6 h |

Czas pracy odbiornika z własnej baterii akumulatorów wynosi cztery godziny. Istotną cechą odbiornika NT 04 jest możliwość wprowadzania danych do portu szeregowy RS 232, co umożliwia współpracę odbiornika z komputerem osobistym i innymi urządzeniami.

Odbiornik NT 04 dostarcza tylko podstawowych danych nawigacyjnych, przy czym wiele jego właściwości eliminuje jego przydatność do wykorzystania w WSOSP, w tym szczególnie:

- zrywanie kontaktu z satelitami przy energicznych manewrach;
- bardzo słaba widoczność napisów na ekranie nawigacyjnym, ze względu na małą wielkość ekranu (istnieje możliwość błędnego odczytu);
- brak możliwości zaprogramowania na ziemi całej trasy i, wobec tego, trzeba czynności te wykonywać w powietrzu;
- brak pełnej informacji na ekranie o parametrach lotu (prędkości i czasie dolotu do celu);
- brak możliwości zapamiętywania przez urządzenie potrzebnych punktów ze zbioru, bez konieczności przeszukiwania;
- brak informacji o przelocie zaprogramowanego punktu;
- brak informacji o wartości poprawek LBO i KBO;
- brak informacji o potrzebnym kursie do PZK;
- brak możliwości wprowadzenia pełnych nazw WPT, PZK, KPT (istnieje duże prawdopodobieństwo pomyłki);
- brak wyświetlania pełnego czasu oraz jednostek prędkości.

3. System nawigacji satelitarnej BENDIX/KING KLN 90

KLN 90 jest względnie nowoczesnym urządzeniem nawigacyjnym, zapewniającym nawigowanie statku powietrznego w większości państw świata. Podstawowa konfiguracja systemu KLN 90 składa się z zamontowanego na tablicy przyrządów odbiornika (komputera) nawigacyjnego GPS KLN 90, kasyety bazy danych

i anteny. Do pracy urządzenia niezbędny jest parametr wejściowy wysokości w celu uzyskania pełnych zdolności nawigacyjnych. Z KLN 90 współpracują zewnętrzne wskaźniki odchylenia od kursu CDI, HSI, RMI, system zarządzania paliwem, system danych powietrznych, awaryjny nadajnik położenia (ELT - Emergency Lokator Transmitter) ARNAV ELS-10, autopilot i zewnętrzne sygnalizatory. Blok KLN 90 zawiera odbiornik GPS, komputer nawigacyjny, wskaźnik katodowy CRT oraz elementy regulacyjne i sterujące. Zawiera także wymienną kasetę bazy danych. Kasetę bazy danych jest pamięcią elektroniczną zawierającą olbrzymią ilość informacji o lotniskach, systemach nawigacyjnych, punktach przecięcia tras, specjalnych obszarach i innych danych cennych dla załogi. Baza danych może być z łatwością uaktualniana przez użytkownika za pomocą komputera typu „laptop” i dostarczanych przez firmę Bendix/King 3,5-calowych dyskietek, które mogą zawierać różne programy i bazy danych. Antena urządzenia KA 91 jest anteną płaską i musi być montowana zawsze w górnej części kadłuba.

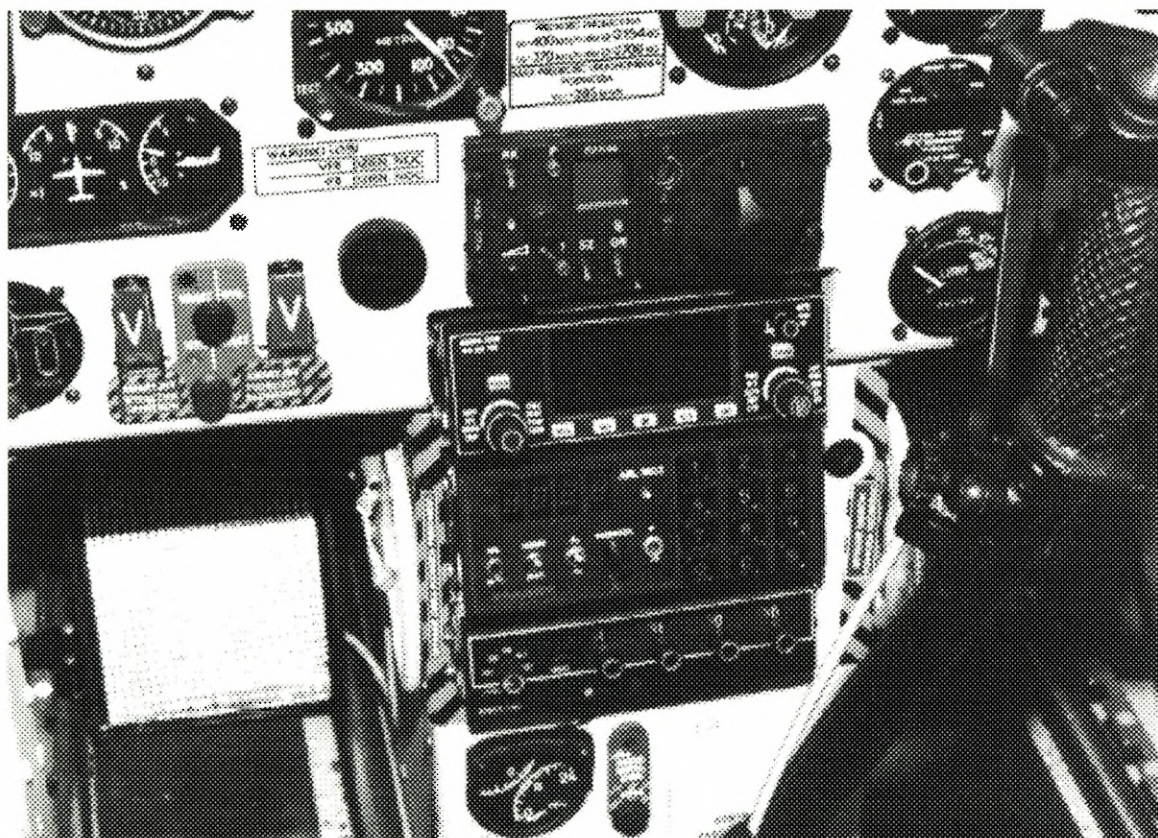
KLN 90 ma wyjścia analogowe, przeznaczone do sterowania wskaźnikami dyrektywnymi lewo-prawo, w większości mechanicznych wskaźników CDI i HSI. Ponadto ma wyjścia cyfrowe do automatycznego sterowania wskazówką kursu i wyświetlania punktów drogi na wskaźnikach sytuacji horyzontalnej firmy Bendix/King EHI40 i EHI 50.

Do KLN 90 mogą być przyłączane pracujące w trybie NAV systemy sterowania lotem firmy Benix/King oraz autopilot tej firmy.

Wysokość może być dostarcza do KLN 90 z wysokościomierza kodującego (ze skalą lub bez skali) lub z jednego z komputerów danych powietrznych. Wysokość jest używana jako pomoc w określeniu położenia, jeżeli widoczna jest nie wystarczająca liczba satelitów. Wysokość jest także używana przy wielu innych funkcjach, takich jak: określanie wysokości nad lotniskiem, czy alarmowanie w przestrzeni trójwymiarowej przy specjalnych zastosowaniach.

Obszerna baza danych KLN 90 spełnia dwie zasadnicze funkcje i ułatwia pilotowi korzystanie z GPS. Zamiast odszukiwać długość i szerokość geograficzną punktu drogi, a następnie wprowadzać ją do komputera, dzięki bazie danych czyni

się to za pomocą prostego identyfikatora punktu drogi. Na podstawie identyfikatora w bazie danych odszukuje się i wyświetla długość i szerokość geograficzną punktu drogi. Baza danych pozwala na uniknięcie monotonnego wprowadzania wielu współrzędnych geograficznych i zmniejsza znacznie możliwość pomyłki. Drugą funkcją bazy danych jest przechowywanie i umożliwianie łatwego dostępu do dużej ilości informacji lotniczych. Istnieją dwa rodzaje bazy danych KLN 90, którym są przypisane dwa obszary świata rozdzielone przez te bazy. Zapewniają one pełną informację lotniczą na całej kuli ziemskiej. W szczególności, obie bazy danych zawierają kompletne informacje o radiolatarniach VOR, NDB i minimalnych wysokościach bezpiecznych (MSA - Minimum Safe Altitude) nad różnymi kontynentami.



Rys. 1.3. Odbiornik systemu nawigacji satelitarnej Bendix/King KLN 90

Dla obszaru pierwotnego baza danych zawiera wszystkie cywilne i wojskowe lotniska o długości pasa powyżej 1000 stóp. Dla obszarów wtórnych baza danych dostarcza informacji o lotniskach z pasami utwardzonymi o długości co najmniej 3000 stóp. Częstotliwości i informacje o pasach są podawane tylko dla obszarów

pierwotnych. Baza danych zawiera również informacje o punktach przecięcia tras, centralach kontroli lotu, częstotliwościach stanowisk obsługi lotów i przestrzeniach specjalnych. Może ona być także dopełniona 250 punktami drogi zdefiniowanymi przez użytkownika.

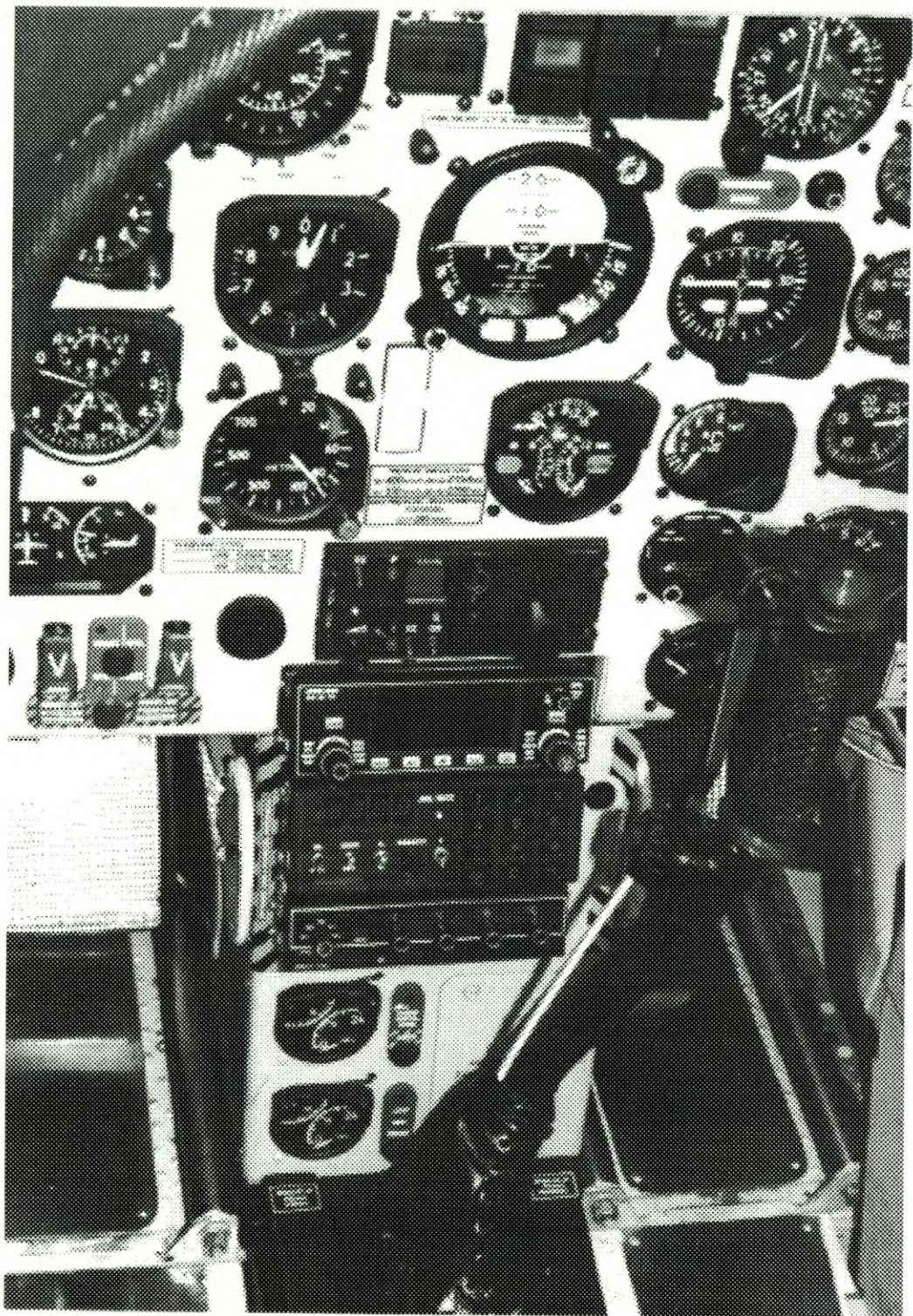
KLN 90 ma dwa tryby pracy: Przelot - Odcinek (Enroute - Leg) i Przelot - Kurs OBS (EDnroute - OBS).

Odbiornik GPS w KLN 90 może używać sygnałów od ośmiu satelitów w celu określania pozycji. Poprawna pozycja może być określona przy użyciu tylko czterech satelitów lub nawet trzech, jeśli jest podawana wysokość. Jeśli satelity są rozmieszczone w stosunku do samolotu tak, aby istniała odpowiednia „geometria”, to wówczas uzyskuje się dokładne namiary (współrzędne). Urządzenie pracuje w kodzie C/A w dziesięciu równoległych kanałach. Czas akwizycji wynosi 75 s, natomiast reakwizycji 30 sekund. Dokładność podawania współrzędnych płaskich w rodzaju pracy 2D wynosi 25 m, natomiast w rodzaju pracy 3D - 30 m (według instrukcji, w praktyce zawiera się ona w granicach między 100-150 m). Prędkość wyliczana jest z błędem 0,3 km/h., natomiast wysokość 30 - metrów.

Do zasadniczych wad systemu nawigacji satelitarnej Bendix/King KLN90 trzeba zaliczyć brak możliwości zaadaptowania go dla dowolnego typu statku powietrznego bez zmiany jego awioniki oraz niekompatybilność z systemem różnicowym (brak możliwości włączenia do sieci ze stacjami referencyjnymi). Cechy zestawu wskazują, że był on tworzony dla samolotów transportowych o zasięgu międzykontynentalnym.

4. Trimble Flightmate GPS firmy Trimble Navigation

Wyjątkowo prosty w obsłudze trzykanałowy, cyfrowy odbiornik GPS zbudowany na bazie 32-bitowego mikroprocesora. Działać może z wykorzystaniem anteny



Rys. 1.4. Widok ogólny odbiornika nawigacyjnego GPS KLN 90 w pierwszej kabine samolotu PZL-130 „Orlik”

wewnętrznej lub zewnętrznej. Pracuje w oparciu o satelity nawigacyjne systemu GPS (Global Positioning System). Nawet tylko trzy sygnały satelitów umożliwiają

dokonywanie namiarów. Odbiornik Trimble Flightmate jest zdolny do rozwiązywania następujących zadań pilotażowo-nawigatorskich:

- rejestrowanie zamierzonej i rzeczywistej trasy lotu;
- określanie wielkości bocznego odchylenia od zadanej linii drogi;
- wprowadzanie w każdym momencie lotu współrzędnych punktu, nad którym znajduje się statek powietrzny;
- bieżące określanie miejsca znajdowania się statku powietrznego w stosunku do 10 najbliższych lotnisk;
- określanie pionowej ścieżki zniżania, w celu zajęcia potrzebnej wysokości na niezbędnej rubieży (nad punktem);
- tworzenie nowych niezbędnych punktów orientacyjnych, także bez znajomości wartości współrzędnych geograficznych;
- rejestrowanie przebiegu lotu pod względem drogi, czasu, wysokości i prędkości;
- korzystanie z danych kalendarzowych oraz wykorzystywanie odbiornika jako zegarka lub stopera;
- wybieranie do pracy wariantów wskazań na ekranie, stosownie do potrzeb użytkownika, jeśli chodzi np.: o rodzaje użytych jednostek (km, mile, węzły, km/h, warianty czasów UTC lub lokalne, stopy, metry itp.);
- odnoszenie wartości kątów do północy magnetycznej lub geograficznej;
- określanie czasu wschodu i zachodu słońca dla danej strefy geograficznej;
- rejestrowanie aktualnych danych o satelitach, ich położeniu i elewacji;
- obliczanie składowej wiatru czołowego i prędkości rzeczywistej.

Powyższe zadania pilotażowo-nawigacyjne można rozwiązywać w ramach siedmiu programów, które nazywane są opcjami:

Opcja NAV (nawigacja) - obejmuje funkcje niezbędne w nawigacji w czasie lotów do celu i z powrotem. Funkcje te są wyświetlane na ekranie:

Multi Nav - pokazuje informacje niezbędne do nawigowania w określonym przez pilota kierunku;

To - przedstawia odległość i kierunek docelowy do wybranego punktu, a także kąt skrętu na właściwy kurs;

Cros Track Error - pokazuje jak daleko zboczyliśmy z nakazanej trasy oraz po której stronie się znajdujemy;

Verical Info - zawiera informacje o niezbędnej zmianie wysokości, aby dotrzeć do wybranego punktu.

Opcja WPT (punkt bazowy) - jest bazą danych, której znajduje się zapisanych ponad 12000 lotnisk stałych i ponad 3000 punktów radionawigacyjnych tzw. VOR. Możliwe jest również wprowadzenie do pamięci w tej opcji pracy urządzenia 100 dowolnych punktów geograficznych, z których będziemy korzystać w przyszłości. Znajduje się tu 9 oddzielnych zbiorów danych:

Scan Waypoint - po wywołaniu zobrazowywane są punkty bazowe w kolejności, alfabetycznej z określeniem odległości i kierunku;

Create User Waypoint - umożliwia utworzenie nowego punktu użytkownika;

Modify User Waypoint - umożliwia modyfikację punktu bazowego użytkownika i, ewentualnie, zmianę nazwy Rename User Waypoint;

Erase User Waypoint - usunięcie punktu bazowego użytkownika;

Erase All User Waypoint - usuwanie wszystkich punktów bazowych użytkownika;

Aveage & Save - obliczenie dokładnej pozycji przez uśrednienie kilku pomiarów;

Ofset Form - umożliwia utworzenie nowego punktu bazowego w oparciu o aktualną pozycję;

Copy Waypoint - umożliwia kopiowanie punktów bazowych z baz danych lotnisk stałych i VOR.

Opcja NEAR - automatycznie oblicza 10 punktów bazowych (np. lotnisk) najbliżiej rozmieszczonych względem aktualnego położenia statku powietrznego;

Opcja TRIP - określa i zobrazowuje:

Totals - podaje odległość i czas jaki przebyliśmy podczas lotu;

Alitudes - pokazuje minimalną i maksymalną wysokość na danej trasie;

Made Good - informuje o trasie pomiędzy punktem, w którym została skasowana pamięć komputera trasy, a aktualną pozycją;

Speed - określa obecną, średnią i maksymalną prędkość podczas całego lotu.



Rys. 1.5. Widok ogólny odbiornika Trimble Flightmate GPS w pierwszej kabynie samolotu TS-11 „Iskra”

Opcja TIME - wykorzystuje zegar atomowy umieszczony na orbicie. Dzięki niemu i trzem wewnętrznym stoperom można niezwykle precyzyjnie obliczać czas, tak w formie czasu zliczanego w dół, jak i w górę.

Opcja MORE - kontroluje działanie odbiornika. Na ekranach tej opcji można skonfigurować odbiornik, uzyskać informacje o sieci satelitów GPS, godzinach wschodu i zachodu słońca. Opcja ta podzielona jest na trzy części:

Customizing - do ustawiania rodzajów jednostek odległości, prędkości, czasu i rodzaju układu współrzędnych;

Calculation - do obliczania rzeczywistej prędkości statku powietrznego i innych niezbędnych obliczeń;

Set up - jest to konfiguracja, która kontroluje działanie odbiornika.

Opcja GPS - pokazuje aktualną pozycję, z dokładnością 100-200 m i wysokość - do 30 m, przy widzialności trzech satelitów.

Odbiornik GPS Trimble Flightmate jest niewielki (8,4 x 17,3 x 3,3 cm), waży 379 g. Zasilany czterema bateriami typu R-6 lub prądem stałym o napięciu 9-36 V. Czas wejścia do pracy nie przekracza dwóch minut. Wyposażenie zestawu uzupełnione jest o antenę zewnętrzną, zasilacz i trzymak montażowy.

Odbiornik ten jest wykorzystywany głównie w lotnictwie sportowym². Największą jego zaletą są małe gabaryty i niezawodność działania. Ma jednak i wady, do których zalicza się:

- zrywanie kontaktu z satelitami przy energiczniejszych manewrach;
- brak możliwości zaprogramowania na ziemi całej trasy. Zachodzi więc potrzeba przeprogramowywania w powietrzu na kolejne PZK, co nie jest bezpieczne, szczególnie podczas lotów na małej wysokości (odbiornik przyjmuje do pamięci tylko trzy punkty zwrotne, z czego jeden jest punktem wyjściowym);
- niewyświetlanie pełnej nazwy punktu docelowego (istnieje więc możliwość pomyłki);

² Kosztował 1500 \$ USA. To cena orientacyjna, gdyż znane jest zjawisko spadku ceny w miarę wzrostu produkcji i działania konkurencji.

- brak możliwości kontroli wykonania zadania (urządzenie nie posiada opcji umożliwiającej wpisywanie do pamięci danych z wykonywanego lotu i późniejszą ich deszyfrację);
- w opcji NAV czas wyjścia nad obiekt podawany jest w godzinach i minutach. Odczuwa się brak wyświetlania sekund;
- bardzo krótki czas pracy na zasilaniu bateryjnym (nie przekracza jednej godziny, a po włączeniu podświetlenia wskaźnika spada jeszcze o połowę);
- brak tych odbiorników w polskiej wersji językowej (pomimo występowania ich w innych wersjach językowych). Widocznie producent nie liczy na możliwość zbytu w Polsce.

5. Odbiornik nawigacji satelitarnej Magellan NAV 5000 PRO

Zestaw ten należy do grupy odbiorników ręcznych³ (nazywanych także czasem grupą odbiorników topograficzno-nawigacyjnych) NAV 5000 PRO ma małe rozmiary (21,5 cm x 9,0 cm x 5,0 cm) i małą wagę (0,85 kg z bateriami). Może być zasilany zewnętrznymi lub integralnymi bateriami. Dokładność pojedynczego wyznaczenia wynosi 15 m (nie uwzględniając degradacji sygnału). Dzięki możliwości wprowadzenia poprawki RTCM (Magellan DBR), NAV 5000 PRO umożliwia osiągnięcie dokładności 5 metrów. Odbiornik musi jednak znajdować się w zasięgu działania stacji emitującej poprawki (referencyjnej). Dokładność tej metody zależy głównie od odległości między stacją a posiadaczem odbiornika. Przyjmuje się, że dla Magellana odległość ta nie powinna przekraczać 45 km (po jej przekroczeniu wartość wpływu poszczególnych błędów metodycznych zaczyna wydatnie wzrastać). Tak więc NAV 5000 PRO odbiera sygnał GPS, a jednocześnie Magellan DBR odbiera poprawki RTCM. Na tej podstawie wypracowana jest informacja różnicowa, a następnie wprowadzana do odbiornika i uwzględniana przy wyświetlaniu ak-

³ Można oceniać jego przydatność dla sztabów i naziemnych rodzajów wojsk. Budowa wyraźnie nie jest adresowana dla statków powietrznych.

tualnych danych dotyczących lotu. Magellan NAV 5000 PRO ma rozbudowane opcje nawigacyjne, po zdefiniowaniu trasy (opcja ROUTE) można efektywnie wykorzystywać opcję NAV. Umożliwia ona uzyskiwanie:

- informacji XTE (Cross Traking Error), czyli prostopadłej odchyłki od zaplanowanej trasy ruchu (lotu);
- danych dotyczących niezbędnej zmiany kierunku lotu;
- informacji TTG (Time To Go), czyli czasu, który jest niezbędny do przebycia reszty trasy, przy założeniu, że aktualna prędkość będzie zachowana.



Rys. 1.6. Widok ogólny odbiornika nawigacji satelitarnej Magellan NAV5000 PRO

Do pamięci odbiornika można wprowadzić 10 tras (marszrut) (każda z nich po 20 odcinków, przy czym nie ma ograniczeń odległości). Do odbiornika wprowadzono też opcję VEL, umożliwiającą określanie prędkości i azymutu geograficznego. Wyświetlana prędkość może być bieżącą lub efektem uśrednienia prędkości z ostatnich dwudziestu lub stu dwudziestu sekund. Wartości azymutu mogą być także automatycznie korygowane przez uwzględnienie deklinacji magnetycznej.

Odbiornik Magellan NAV 5000 PRO jest przystosowany do współpracy z programem GeoLink amerykańskiej firmy GeoResearch. Program ten należy do grupy GIS (Systemy Informacji o Terenie) i umożliwia na przykład bieżącą obserwację położenia samolotu na monitorze komputera typu „laptop” (aktualna trasa lotu może być przedstawiona na tle mapy numerycznej). Bez użycia oprogramowania GeoLin, można po wylądowaniu, prześledzić trasę lotu na tle mapy numerycznej. Umożliwia to opcja konwersji wyników do formatu DXF (autoCAD) lub ASrcInfo (jeden z najpopularniejszych programów typu GIS).

Odbiornik ten jest niezwykle czuły na przyspieszenia, efektem czego są duże błędy wyznaczania pozycji. Jego dokładność pogarsza się też znacznie podczas manewrów statku powietrznego, a w czasie wykonywania przechyłów (np. w zakręcie) może mieć miejsce czasowy (nawet do dwóch minut) zanik wyświetlanych danych.

W porównaniu z innymi zestawami nawigacji satelitarnej, odbiornik ten reprezentuje najniższy poziom przydatności dla załóg statków powietrznych. Może być polecany do zadań nawigacyjnych i topograficznych na ziemi.



**OKREŚLENIE PUNKTU W ZAWISIE ŚMIGŁOWCOWYM
W OPARCIU O POKŁADOWE ODBIORNIKI
GPS NAVSTAR**

W 1992 roku w WOSL w Dęblinie przeprowadzono eksperyment lotniczy, celem którego było określenie współrzędnych punktu na powierzchni ziemi za pomocą urządzeń satelitarnych zamontowanych na pokładach trzech śmigłowców i porównanie rezultatów ze współrzędnymi punktów uzyskanymi z map. W eksperymencie brały udział śmigłowce: Mi-8, Mi-14Pł i śmigłowiec W-3W „Sokół”. Na śmigłowcu W-3W „Sokół” zamontowano odbiornik firmy SEXTANT AVIONIQU-E, a na śmigłowcach Mi-8 i Mi-14Pł zamontowano odbiorniki firmy SEL ALCA-TEL.

Współrzędne punktów odczytane były w zawisie z wysokości 50 metrów. Temperatura powietrza 14.05.1992 roku wynosiła plus 14 °C. Prędkość wiatru – 2 m/s, meteorologiczny kierunek wiatru - 250 °.

Trasa lotu została zaprojektowana wokół lotniska Dęblin (załączona mapa - rys. 2.11.). Punkty zmiany kursu wybrano mając na uwadze ich zewnętrzne cechy charakterystyczne umożliwiające pilotowi szybką ich identyfikację. Współrzędne tych punktów określono z map wydziału geodezji urzędu miasta Ryki i Dęblin. Współrzędne te nazwane zostały bazowymi.

Eksperyment rozpoczął się o godzinie 12⁰⁰ 14.05.1992 roku. Jako pierwszy wystartował śmigłowiec W-3W „Sokół”. O godzinie 12⁰⁵ wystartował śmigłowiec Mi-14Pł, a pięć minut później o godzinie 12¹⁰ śmigłowiec Mi-8. Śmigłowiec W-3W „Sokół” wykonał trzy serie pomiarów, jednak w drugiej serii nie odczytano pomiarów nad punktem nr 1, 2 i 3. Śmigłowiec Mi-14Pł wykonał pełne trzy serie pomiarów, natomiast Mi-8 wykonał tylko pierwszą i drugą. Zadaniem załogi śmi-

głowców było wykonanie zawisu nad punktem trasy oraz odczytanie i zanotowanie współrzędnych.

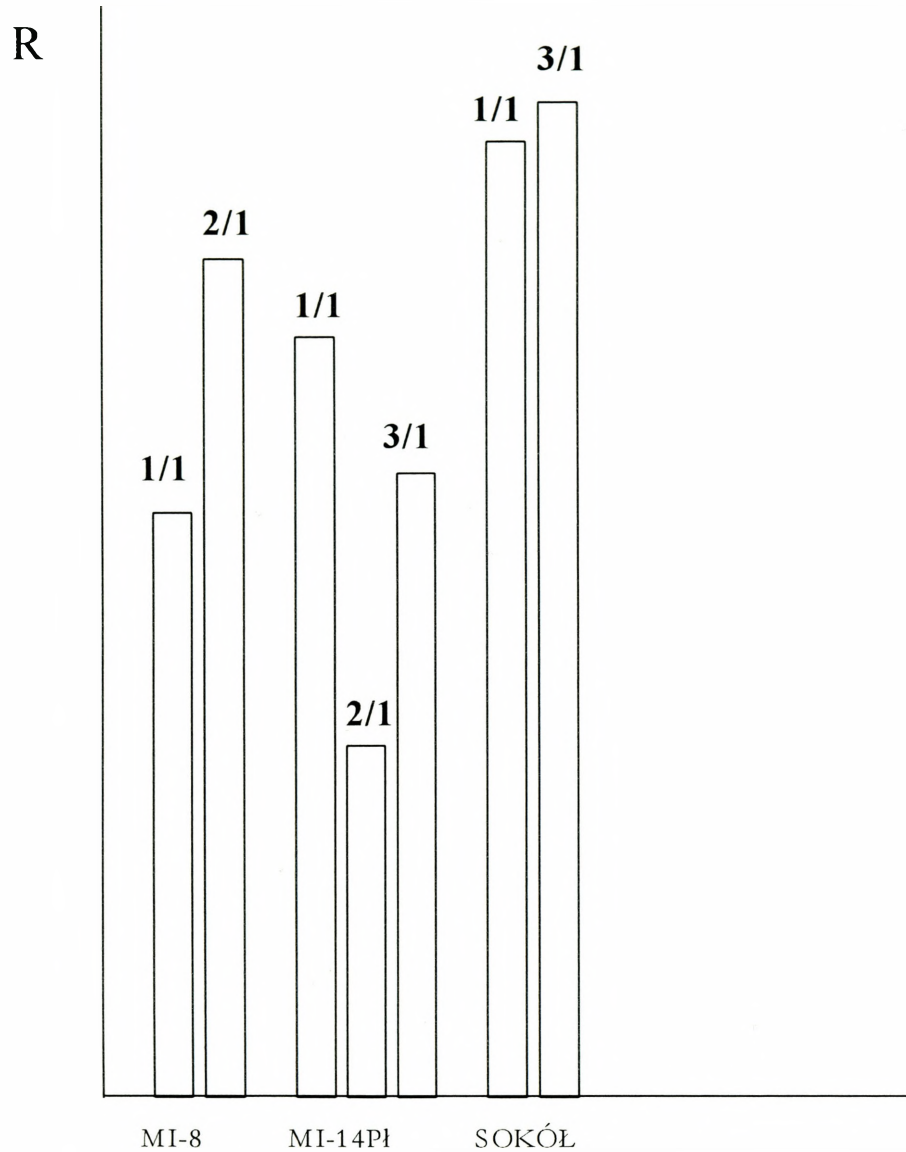
Po wykonaniu pomiarów dokonano porównania współrzędnych zmierzonych ze współrzędnymi określonymi z mapy oraz określono różnice między tymi wynikami. Wartości te przedstawiono na rysunkach 2.1. ÷ 2.7.

Z ich analizy wynika, że najmniejsza różnica między współrzędnymi bazowymi została określona dla punktu nr 1. Różnica pomiędzy pomiarami ze śmigłowca Mi-8 wynosi w pierwszej serii pomiarowej 58,97 m, a w drugiej serii - 91,36 metrów. Pomiary wykonane ze śmigłowca W-3W „Sokół” cechuje stały rząd wielkości i tak: w pierwszej serii różnica wynosi 101,64 m, a w drugiej serii pomiarów różnica ta wynosi 105,94 m. Różnica między pomiarami ze śmigłowca Mi-14Pł a bazą dla pierwszej serii pomiarowej wynosi 78,53 m, w drugiej serii - 41,53 m, a w trzeciej serii 60,33 metra.

Analizując wyniki całego eksperymentu zauważa się, że najmniejszą różnicę między pomiarami w powietrzu, a pomiarami bazowymi uzyskano nad punktem nr 2, w trzeciej serii pomiarów ze śmigłowca Mi-14Pł i wynosi ona 17,75 metra. Największą różnicę uzyskano nad punktem nr 6 w pierwszej serii pomiarowej. Pomiar wykonano ze śmigłowca Mi-14Pł i różnica ta wynosi 1456,55 m oraz także w pierwszej serii pomiarowej nad tym samym punktem, ze śmigłowca W-3W „Sokół”, gdzie uzyskano wynik 928,85 metra. Pomiary te wykonano między godziną 12²⁰ a godziną 12³⁵.

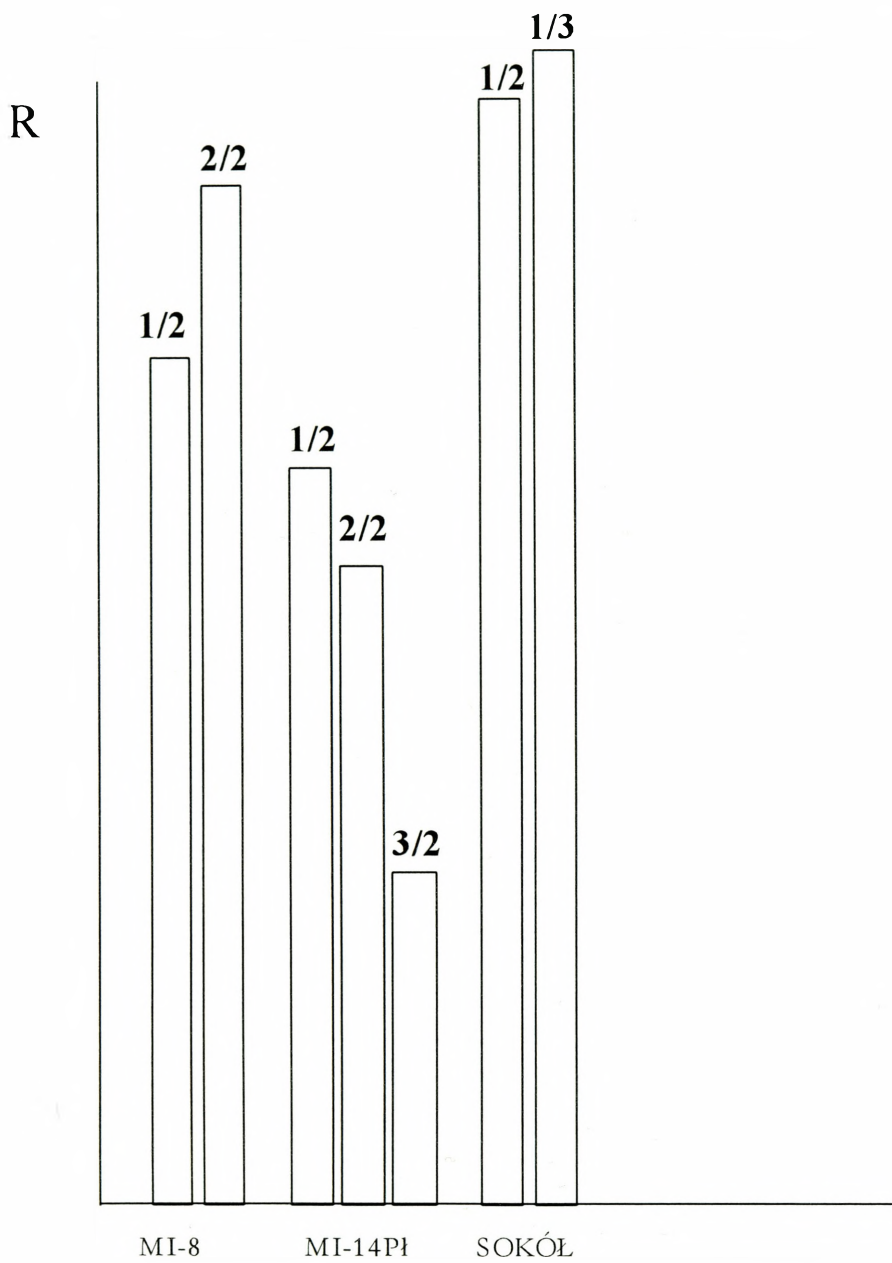
Na rysunkach 2.8. ÷ 2.10. pokazano rozkład wyników pomiarów w poszczególnych zakresach azymutów. Z rysunku 2.8., na którym przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych przez śmigłowiec W-3W „Sokół” wynika, że 98% pomiarów znajduje się w trzecim sektorze. Natomiast wyniki uzyskane przez śmigłowiec Mi-8 (rys. 2.10.) w 80% znajdują się w czwartym sektorze.

Wykonany eksperyment i otrzymane rezultaty zachęciły do prowadzenia dalszych doświadczeń. Wyposażenie statków powietrznych w tego typu urządzenia wyeliminowałoby z nawigacji pojęcie utraty orientacji geograficznej i pomogłoby w szkoleniu lotniczym, szczególnie młodych pilotów.



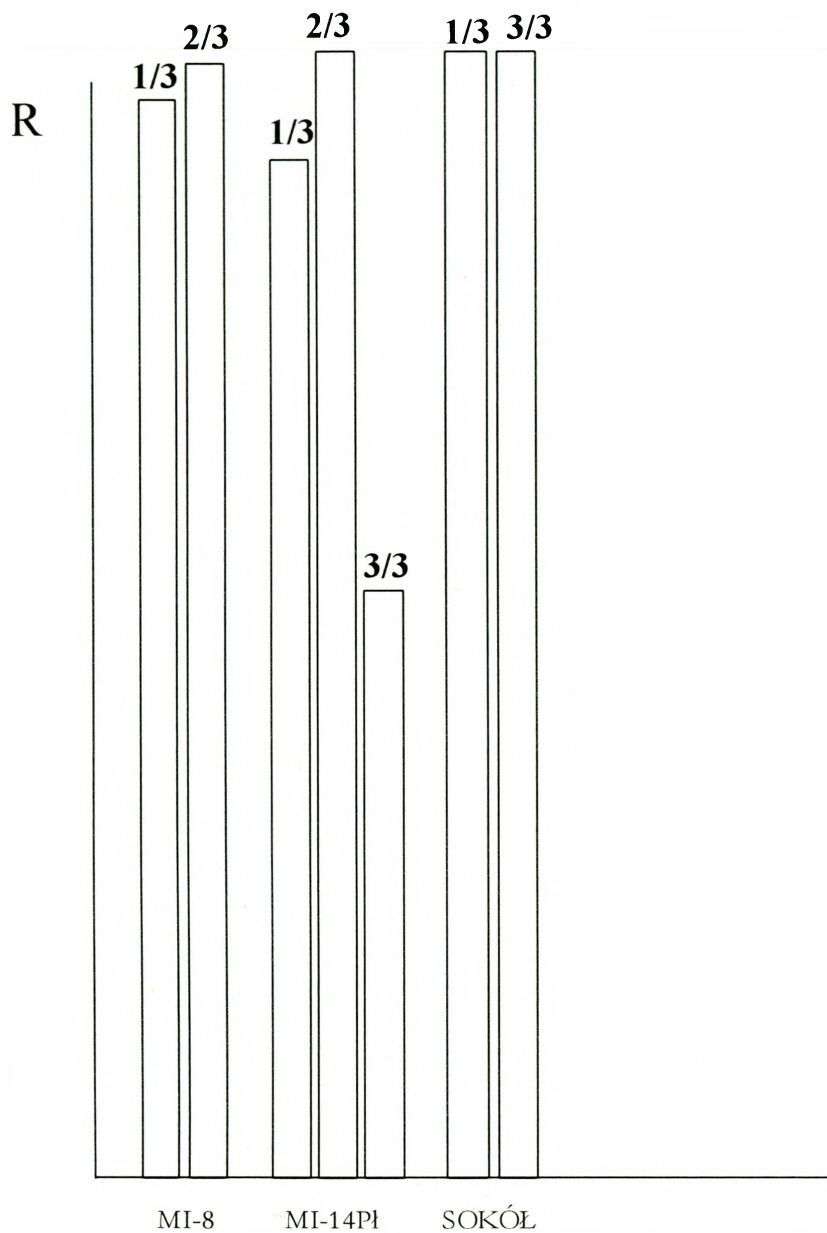
| | MI - 8 | MI-14Pł | SOKÓŁ |
|-----|--------|---------|---------|
| 1/1 | 58,97m | 78,53m | 101,64m |
| 2/1 | 91,36m | 41,57m | - |
| 3/1 | - | 60,33m | 105,94m |

Rys. 2.1. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 1 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 1 określonymi z mapy



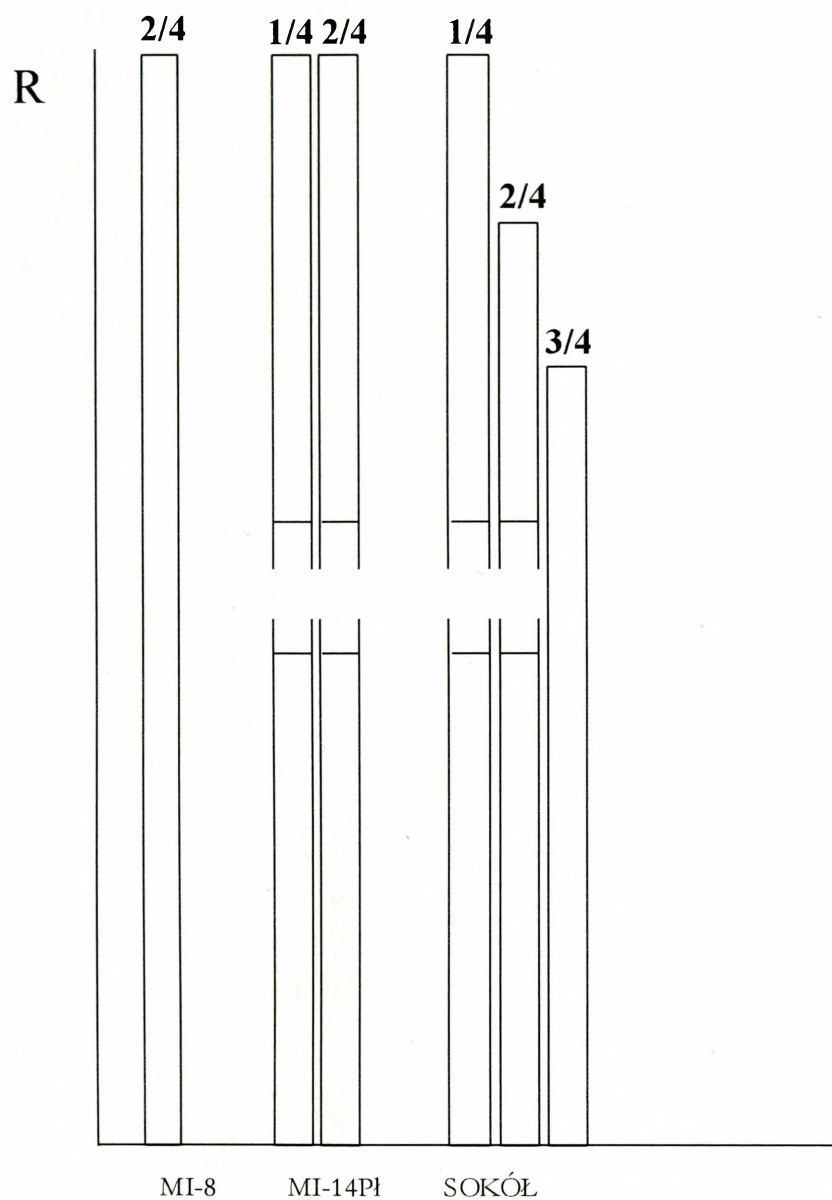
| | MI - 8 | MI-14Pł | SOKÓŁ |
|-----|--------|---------|---------|
| 1/2 | 91,06m | 73,86m | 132,18 |
| 2/2 | 101,3m | 64,22m | - |
| 3/2 | - | 17,79m | 133,23m |

Rys. 2.2. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 2 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 2 określonych z mapy



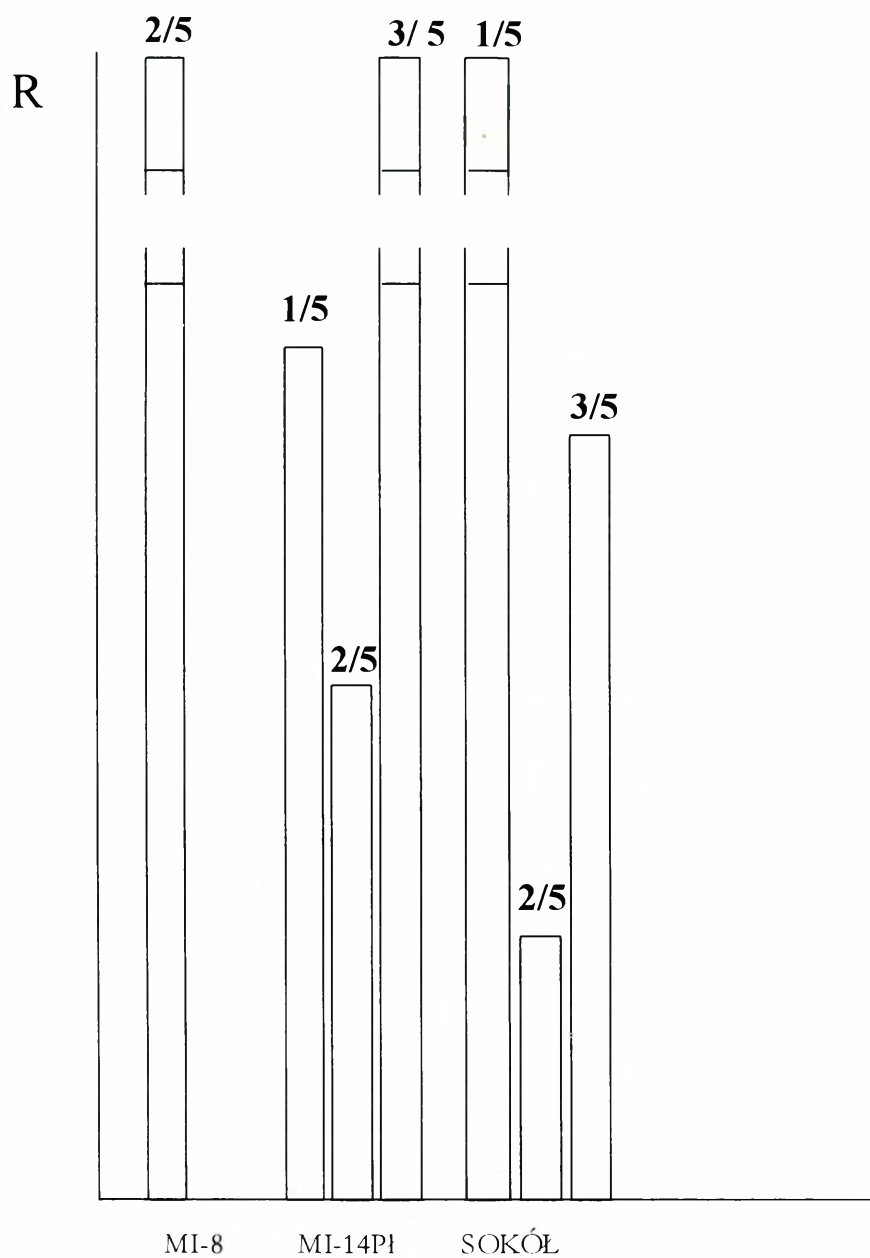
| | MI - 8 | MI-14Pł | SOKÓŁ |
|-----|--------|---------|---------|
| 1/2 | 91,06m | 73,86m | 132,18 |
| 2/2 | 101,3m | 64,22m | - |
| 3/2 | - | 17,79m | 133,23m |

Rys. 2.3. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 3 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 3 określonych z mapy



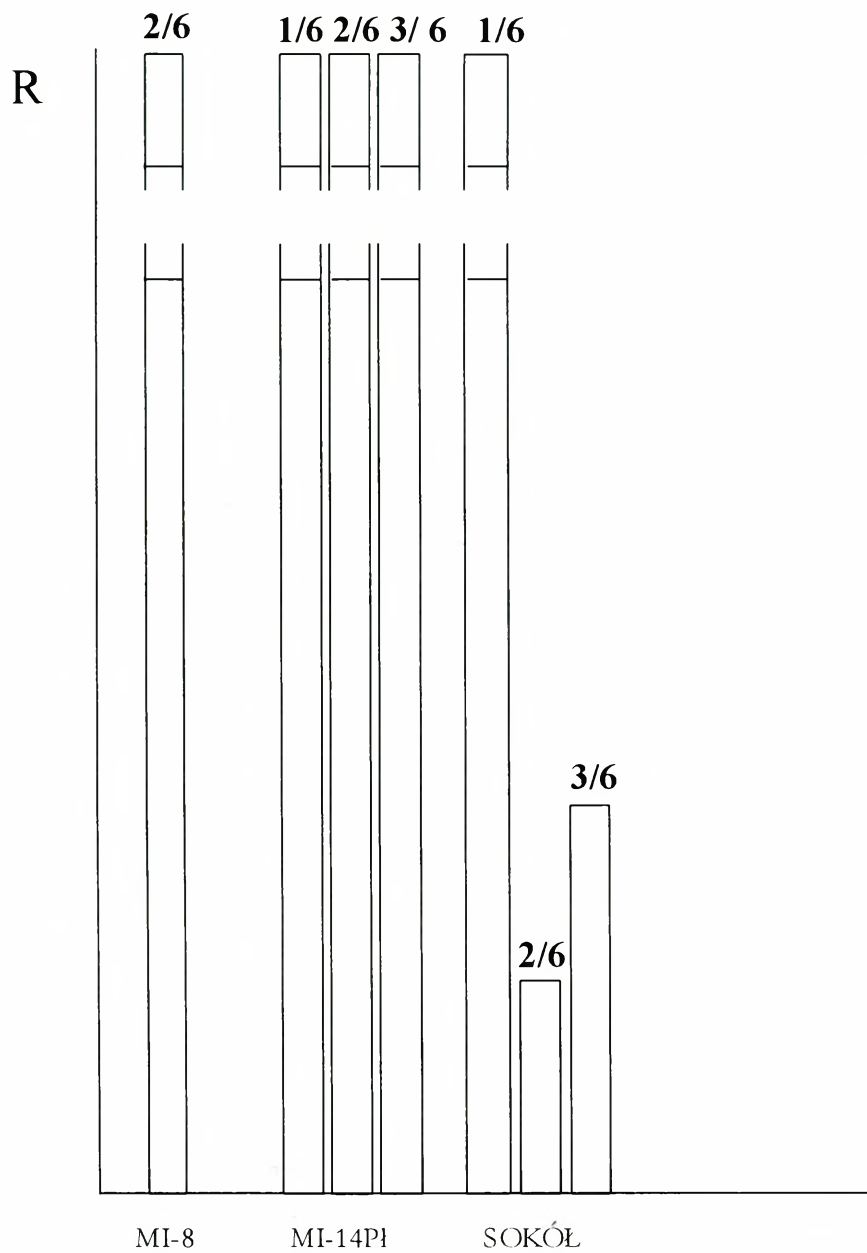
| MI - 8 | MI-14Pł | SOKÓŁ |
|--------|---------|--------|
| [m] | [m] | [m] |
| 1/4 | 227,66 | 197,67 |
| 2/4 | 142,35 | 263,14 |
| 3/4 | - | 87,73 |

Rys. 2.4. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 4 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 4 określonych z mapy



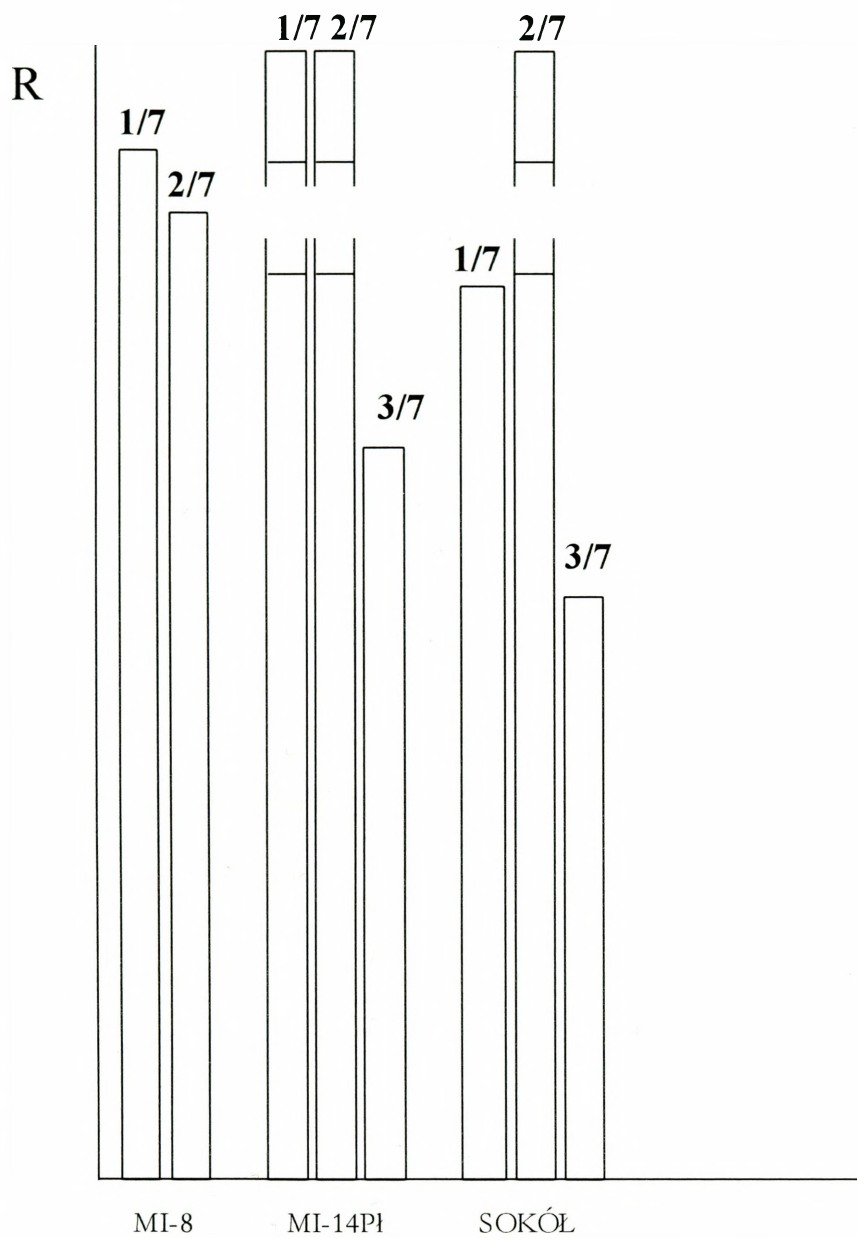
| MI - 8 | | MI-14 | SOKÓŁ |
|--------|---------|--------|--------|
| [m] | | [m] | [m] |
| 1/5 | | 122,44 | 203,52 |
| 2/5 | 1018,71 | 92,19 | 30,18 |
| 3/5 | - | 198,22 | 122,09 |

Rys. 2.5. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 5 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 5 określonych z mapy



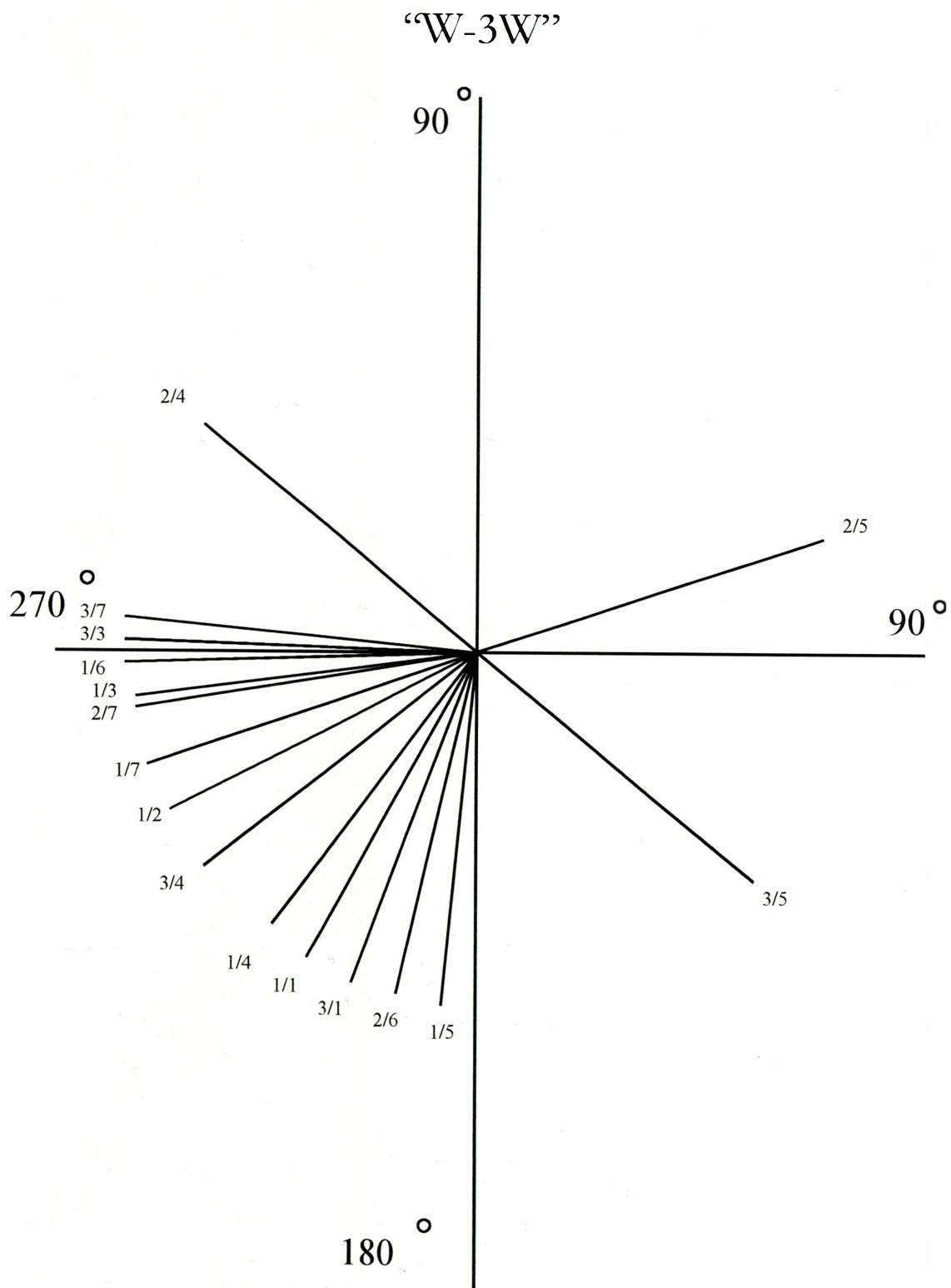
| MI - 8 | | MI-14 | SOKÓŁ |
|--------|---------|--------|--------|
| [m] | | [m] | [m] |
| 1/5 | | 122,44 | 203,52 |
| 2/5 | 1018,71 | 92,19 | 30,18 |
| 3/5 | - | 198,22 | 122,09 |

Rys. 2.6. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 6 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 6 określonych z mapy



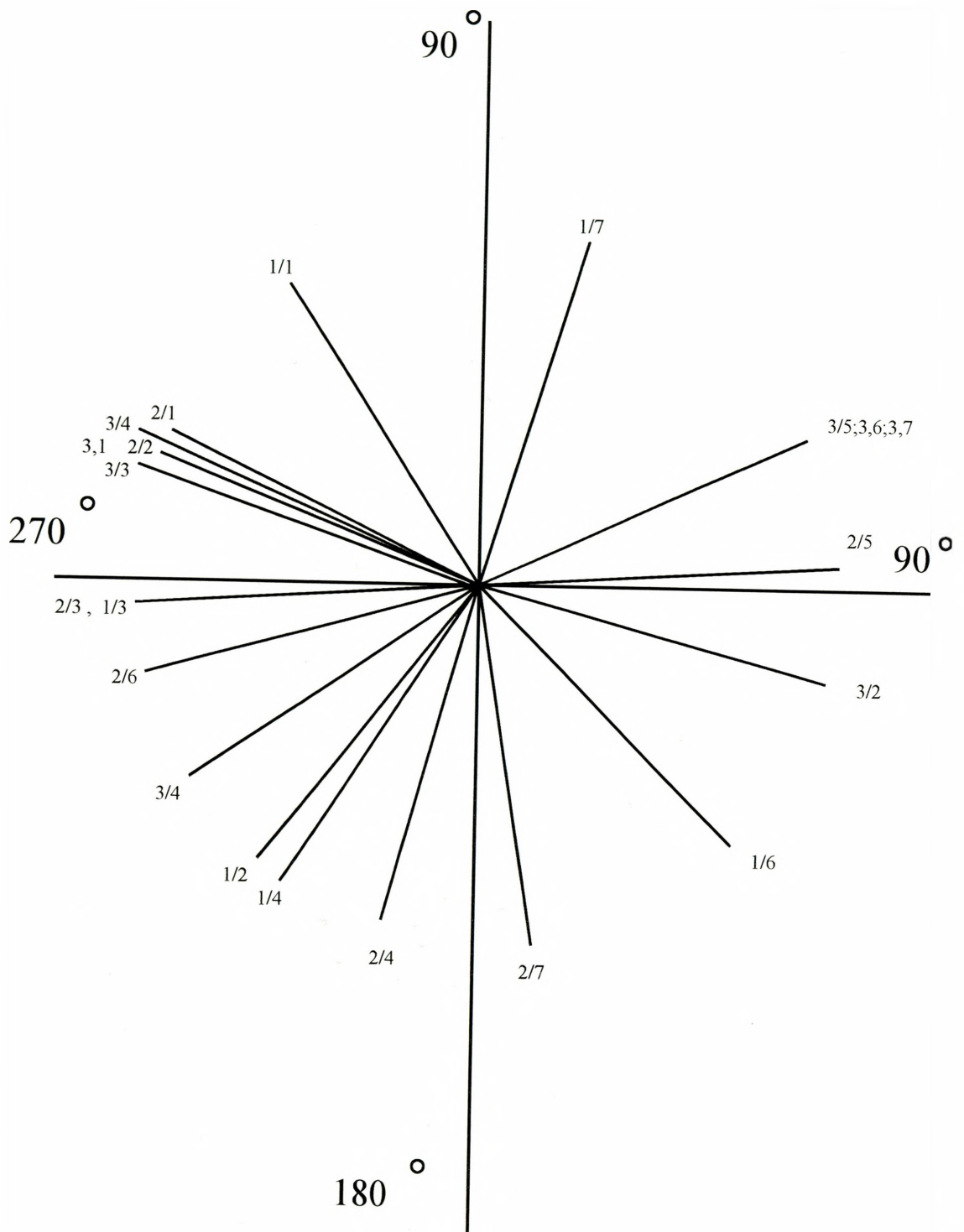
| MI - 8 | MI-14 | SOKÓŁ |
|--------|--------|--------|
| [m] | [m] | [m] |
| 1/7 | 136,05 | 255,73 |
| 2/7 | 125,10 | 708,58 |
| 3/7 | - | 110,04 |

Rys. 2.7. Różnica pomiarów współrzędnych punktu nr 7 wykonanych z pokładów śmigłowców i współrzędnych punktu nr 7 określonych z mapy



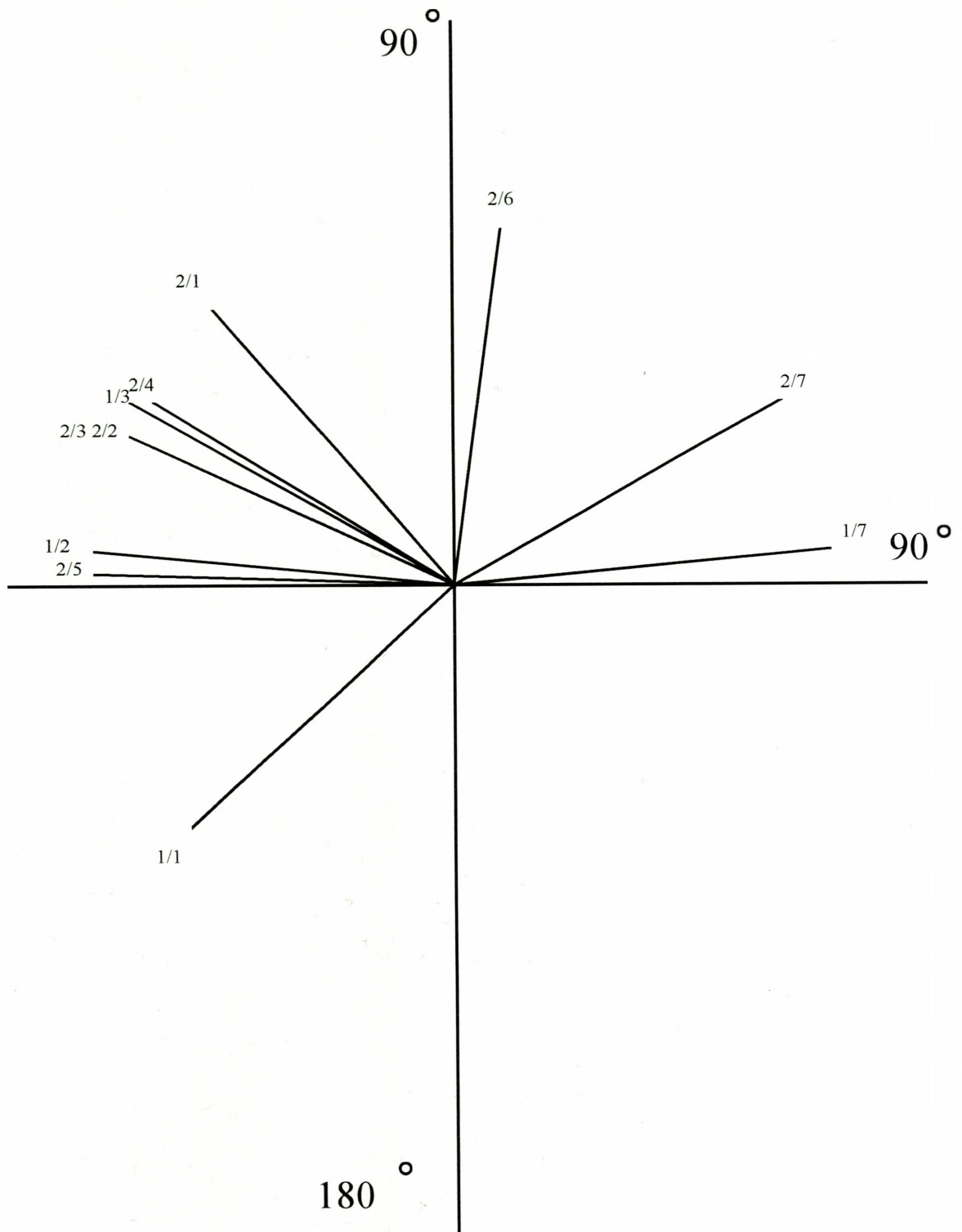
Rys. 2.8. Położenie azymutalne rezultatów pomiarów ze śmigłowca W -3W „Sokół”

“MI-14P1”



Rys. 2.9. Położenie azymutalne rezultatów pomiarów ze śmigłowca Mi-14P1

“MI-8”



Rys. 2.10. Położenie azymutalne rezultatów pomiarów ze śmigłowca Mi-8



Rys. 2.11. Mapa z zaplanowaną trasą lotu wokół lotniska Dębina

**WYZNACZANIE POŁOŻENIA
PUNKTÓW NAWIGACYJNYCH LOTNISKA DĘBLIN
TECHNIKĄ GPS**

Pomiar punktów nawigacyjnych lotniska Dęblin techniką GPS został wykonany w ramach porozumienia (listu intencyjnego) z dnia 18 czerwca 1993 roku, dotyczącego współpracy naukowej pomiędzy Akademią Rolniczo-Techniczną w Olsztynie, a Wyższą Oficerską Szkołą Lotniczą w Dęblinie, na lata 1993-1998.

Pomiar został wykonany w dniach 26-27 lipca 1993 roku. Wyrównanie sieci, obliczenie składowych wektorów sieci GPS oraz opracowanie wyników pomiarów dokonano w Instytucie Geodezji i Fotogrametrii ART w Olsztynie.

Sieć punktów GPS lotniska Dęblin obejmuje następujące punkty:

- **DRLN - DRL znajdująca się na kursie lądowania 120⁰;**
- **DRLS - DRL znajdująca się na kursie lądowania 300⁰;**
- **00PL - początek pasa startowego na kursie lądowania 120⁰**
- **00KL - początek pasa startowego na kursie lądowania 300⁰**
- **00SR - środek pasa startowego;**
- **0011 - KOŃSKOWOLA;**
- **0012 - GOŚCIERARDÓW;**
- **0025 - BARANÓW;**
- **0015 - ŻERDŹ;**
- **0014 - WYTYCZNO;**
- **0024 - OSTRÓW LUBELSKI;**
- **0032 - LUBARTÓW;**
- **0013 - WIERZBA;**

- **0023 - KRASNYSTAW;**
- **0033 - BYCHAWA;**
- **0022 - JANÓW LUBELSKI.**

W obrębie pasa startowego lotniska zaprojektowano 3 punkty pomocnicze o numerach **00PL**, **00KL** oraz **00SR**, łączące punkt nawigacyjny **0011 - KOŃSKOWOLA** z punktami oznaczającymi początek pasa startowego **00PL** oraz **00KL**.

Ustalono, że w pierwszej fazie pomiarów punkty nawigacyjne zostaną zastabilizowane rurkami żelaznymi, tak aby w późniejszym okresie wymienić je na słupki geodezyjne betonowe z podcentrami.

W celu umożliwienia odszukania miejsca stabilizacji punktów nawigacyjnych sporządzono dla nich opisy topograficzne.

Pomiary wykonano w dniach 26-27 lipca 1993 roku metodą statyczną GPS, przy użyciu 4 odbiorników dwuczęstotliwościowych typu Ashtech MD-XII. Metoda ta zakłada wykonanie jednoczesnych obserwacji na mierzonych punktach do 4 lub większej liczby satelitów. Na podstawie pomiaru fazy fali nośnej sygnału satelitarnego wyznaczono współrzędne wektorów łączących poszczególne punkty sieci. Technika ta, w połączeniu z metodą różnicową, umożliwia eliminację niektórych istotnych błędów. Dysponując jednoczesnymi obserwacjami z dwóch odbiorników, można utworzyć tzw. pojedyncze różnice faz sygnału tego samego satelity, dochodzącego do dwóch stacji, co uwalnia od błędów synchronizacji zegara satelity. Tworzenie podwójnych różnic faz (dla dwóch satelitów) eliminuje błędy zarówno zegara satelity, jak i zegara odbiornika. Trzecie różnice, tj. różnice dwóch podwójnych różnic utworzone dla dwóch epok eliminują błędy zegarów satelity i odbiornika, są wolne od tzw. nieoznaczoności liczby pełnych cykli fali nośnej satelity w momencie włączenia odbiornika. Obserwacje wykonane przy użyciu dwóch częstotliwości L_1 i L_2 umożliwiły wyeliminowanie błędów refrakcji jonosferycznej.

Przyjęto następujące parametry pomiarowe:

- minimalna wysokość satelitów nad horyzontem - 15^0 ;
- interwał pomiarowy – 20 s;

- minimalna liczba satelitów - 3.

Anteny ustawiono na statywach Wilda, na spondarkach z pionownikami optycznymi. Wysokość ustawienia anteny nad punktami mierzono taśmą milimetrową, przed i po pomiarze.

W celu nawiązania sieci punktów nawigacyjnych lotniska Dęblin do układu współrzędnych WGS'84 włączono do sieci punkt **BG01 - BOROWA GÓRA**. Punkt ten należy do sieci EUREF i jego współrzędne w układzie WGS'84 są znane.

Długość sesji pomiarowych wynosiła około dwóch godzin dla punktów nawigacyjnych i około jednej godziny dla punktów położonych w obrębie lotniska. Rozkład sesji pomiarowych przedstawiał się następująco:

26.07.1993 r.

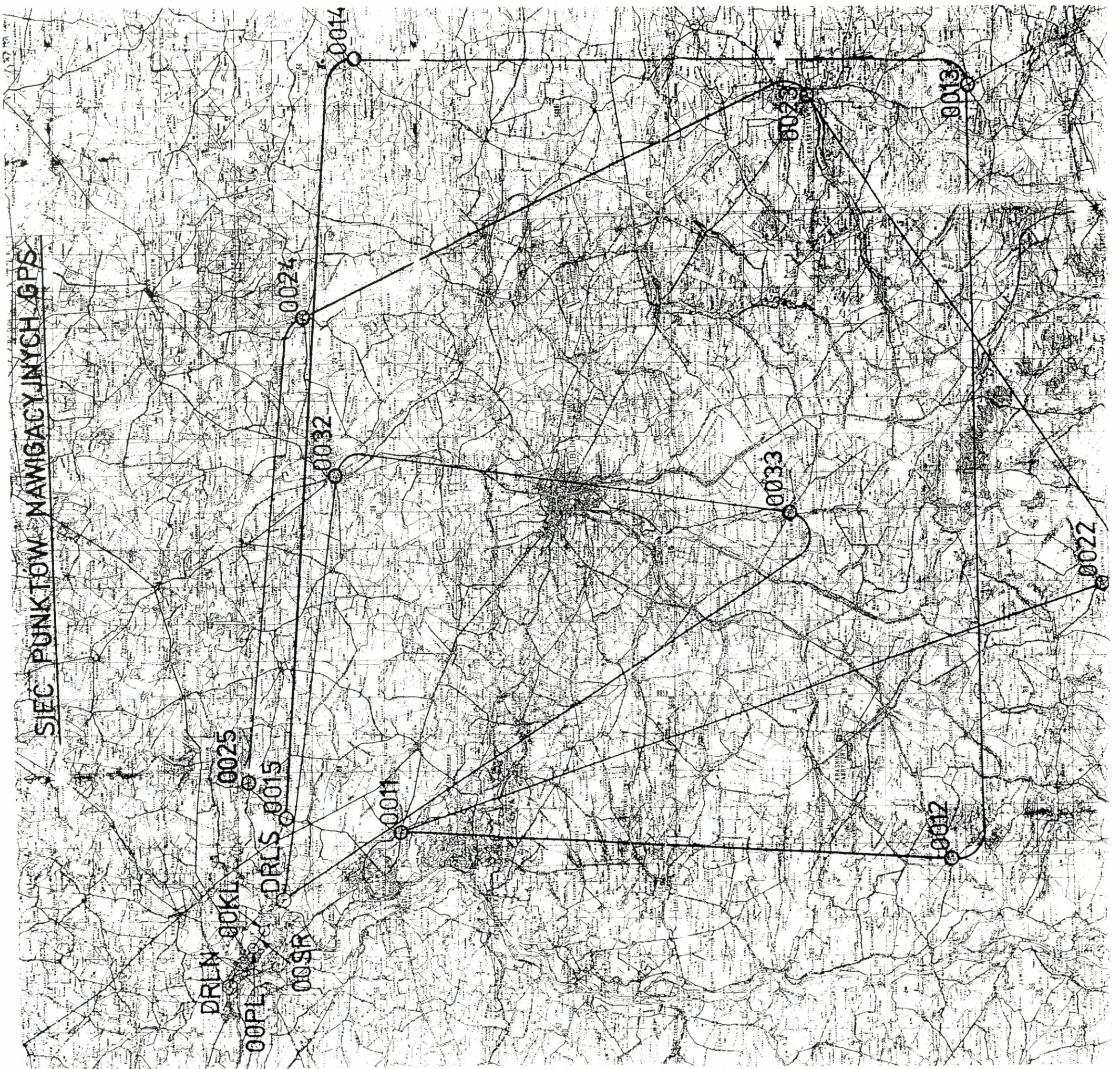
- sesja 1 - 10³⁰ - 12³⁰ - punkty: 0014, 0013, 0011, 0012;
- sesja 2 - 13³⁰ - 15³⁰ - punkty: 0024, 0023, 0011, 0022;
- sesja 3 - 16³⁰ - 18³⁰ - punkty: 0032, 0023, 0011, 0033;
- sesja 4 - 20³⁰ - 21³⁰ - punkty: 00PL, 00KL, DRLN, DRLS;

27.07.1993 r.

- sesja 1 - 04⁰⁰ - 05⁰⁰ - punkty: 00SR, 00KL, 00PL, DRLS;
- sesja 2 - 10⁰⁰ - 12⁰⁰ - punkty: 0015, 0025, 0011, 0032;
- sesja 3 - 13³⁰ - 15³⁰ - punkty: 0024, 0014, 0011, 0032;
- sesja 4 - 17³⁰ - 19³⁰ - punkty: 0033, 0012, 0011, 0022.

Przed przystąpieniem do pomiarów zaprojektowano sesje obserwacyjne. Analizę warunków obserwacji przeprowadzono przy użyciu programu Multi Site Planning Mission dostarczonego przez firmę Ashtech. Przy planowaniu sesji uwzględniono liczbę satelitów znajdujących się w polu obserwacji oraz rozkład geometryczny satelitów (współczynnik PDOP).

Przybliżone składowe wektorów sieci GPS zostały obliczone przy użyciu programu firmowego GPPS (GPS Post-Processing System). Obliczenia wstępne wykonywano na bieżąco przy użyciu komputera typu Laptop 486. Ostateczne opra-



Rys. 3.1. Mapa sieci punktów nawigacyjnych GPS wokół lotniska w Dęblinie

cowanie wykonano w Instytucie Geodezji i Fotogrametrii ART w Olsztynie na komputerze IBM 486 DX.

Wektory łączące punkty nawigacyjne zostały obliczone przy użyciu opcji L_{1C} (składowe wektora liczone z pomiarów na częstotliwości L_1 , a poprawka jonosferyczna wyznaczona na podstawie obserwacji na obu częstotliwościach L_1 i L_2). Wektory łączące punkty leżące w obrębie lotniska obliczono na podstawie opcji L_1 (składowe wektorów liczone na podstawie pomiarów na częstotliwości L_1 , a poprawka jonosferyczna z modelu).

Dla wszystkich wektorów uwzględniono poprawki troposferyczne, obliczone dla standardowych warunków meteorologicznych. Wszystkie obliczenia przeprowadzono przyjmując kąt minimalnej elewacji 15° .

Wyrównanie sieci przeprowadzono wykorzystując program GEOLAB firmy BitWise Ideas Inc. Wyrównanie przeprowadzono w dwóch etapach: w pierwszym wyrównano sieć składającą się z punktów nawigacyjnych w nawiązaniu do punktu BG01 - BOROWA GÓRA, w drugim etapie wyrównano sieć punktów leżących w obrębie lotniska w nawiązaniu do punktu nawigacyjnego 0011 - KOŃSKOWOLA.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów określono precyzyjnie współrzędne geodezyjne 16 punktów. Uzyskano w ten sposób bazę danych rozumianą jako punkt wyjściowy do dalszych badań.

0011 - KOŃSKOWOLA

LANTITUDE - 51 24 35.86312
LONGITUDE - 22 03 07.45009
HEIGHT - 170.90709
X - 3694943.0800
Y - 1496761.3819
Z - 4962253.9340

0013 - WIERZBA

LANTITUDE - 50 49 26.14286
LONGITUDE - 23 11 06.57024
HEIGHT - 241.32205
X - 3711316.3595
Y - 1589534.3894
Z - 4921381.6093

0012 - GOŚCIERARDÓW

LANTITUDE - 50 51 39.97060
LONGITUDE - 21 59 38.88706
HEIGHT - 202.50327
X - 3740558.0913
Y - 1510838.2091
Z - 4923962.9607

0014 - WYTYCZNO

LANTITUDE - 51 25 58.02474

LONGITUDE - 23 14 56.22382

HEIGHT - 197.13865

X - 3661063.7246

Y - 1572837.7122

Z - 4963857.8804

0022 - JANÓW LUBELSKI

LANTITUDE - 50 42 26.01686

LONGITUDE - 22 24 30.51191

HEIGHT - 249.86781

X - 3741823.6300

Y - 1542915.9928

Z - 49133176.6547

0023 - KRASNYSTAW

LANTITUDE - 50 58 18.82680

LONGITUDE - 23 11 00.97390

HEIGHT - 212.86784

X - 3699600.0804

Y - 1584397.5896

Z - 4931741.8323

0024 - OSTRÓW LUBELSKI

LANTITUDE - 51 29 23.13695

LONGITUDE - 22 51 10.24696

HEIGHT - 181.90903

X - 3667271.7744

Y - 154550.8308

Z - 4967795.5211

0032 - LUBARTÓW

LANTITUDE - 51 28 25.34199

LONGITUDE - 22 36 22.65800

HEIGHT - 192.18119

X - 3675184.6517

Y - 1530305.4091

Z - 4966691.1786

0033 - BYCHAWA

LANTITUDE - 51 00 56.76592

LONGITUDE - 22 32 00.97913

HEIGHT - 249.81371

X - 3713854.2432

Y - 1540881.4097

Z - 493442.5713

0025 - BARANÓW

LANTITUDE - 51 33 26.90815
LONGITUDE - 22 08 12.56286
HEIGHT - 164.50607
X - 3680826.3850
Y - 1497384.9762
Z - 4972469.4744

0015 - ŻERDŹ

LANTITUDE - 51 31 27.07970
LONGITUDE - 22 04 04.93302
HEIGHT - 178.61636
X - 3685317.0520
Y - 1494057.7427
Z - 4970177.1573

00KL - POCZĄTEK PASA STARTOWEGO Z KL_{LAD} - 300⁰

LANTITUDE - 51 32 43.93201
LONGITUDE - 21 54 25.89119
HEIGHT - 168.35900
X - 3687756.6120
Y - 1483003.1153
Z - 4971633.2328

00PL - POCZĄTEK PASA STARTOWEGO Z KL_{LAD} - 120⁰

LANTITUDE - 51 33 24.30690

LONGITUDE - 21 52 36.99720

HEIGHT - 168.22500

X - 3687632.0847

Y - 1480691.8282

Z - 4972409.0047

DRLS - DRL NA KL_{LAD} - 300⁰

LANTITUDE - 51 31 40.64844

LONGITUDE - 21 57 15.69785

HEIGHT - 160.42500

X - 3687954.1664

Y - 1486606.5131

Z - 4970420.1027

DRLN - DRL NA KL_{LAD} - 120⁰

LANTITUDE - 51 34 43.11043

LONGITUDE - 21 49 03.02772

HEIGHT - 193.47000

X - 3687388.8799

Y - 1476164.0554

Z - 4973923.2859

**GARMIN GPS 150
NA POKŁADZIE ŚMIGŁOWCA
W-3W „SOKÓŁ”**

Celem badań była adaptacja odbiornika satelitarnego Garmin GPS 150 na pokładzie śmigłowca W-3W „Sokół” oraz ocena jego przydatności podczas wykonywania zadań w powietrzu. W trakcie realizacji eksperymentu wystąpiły problemy. Do najważniejszych zaliczono:

- konieczność nabycia umiejętności obsługi odbiornika pokładowego;
- montaż odbiornika satelitarnego na pokładzie śmigłowca W-3W „Sokół”;
- prowadzenie badań bez nakładów finansowych, podczas standardowego szkolenia jednostki lotniczej.

Przyjęty cel badań oraz istniejące problemy stały się podstawą do sformułowania hipotez roboczych:

- obowiązujące normy, wytyczne i przepisy międzynarodowe - cywilne i wojskowe zobowiązują wytwórców sprzętu lotniczego oraz jego użytkowników do montażu odbiorników satelitarnych typu GPS;
- istnieje ogromna różnorodność produkowanych odbiorników pokładowych typu GPS. Celowym jest określenie przez specjalistów wojskowych niezbędnych warunków, które musi spełniać pokładowy odbiornik satelitarny. Niezbędnym też wydaje się przeprowadzenie ekspertyz dotyczących zastosowania techniki satelitarnej do szkolenia lotniczego. Stąd też podjęto próbę określenia przydatności tego typu odbiornika;
- poznanie możliwości pokładowych odbiorników satelitarnych winno przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa w wykonywaniu lotów oraz wzrostu efektywności szkolenia lotniczego.

Harmonogram realizacji eksperymentu obejmował:

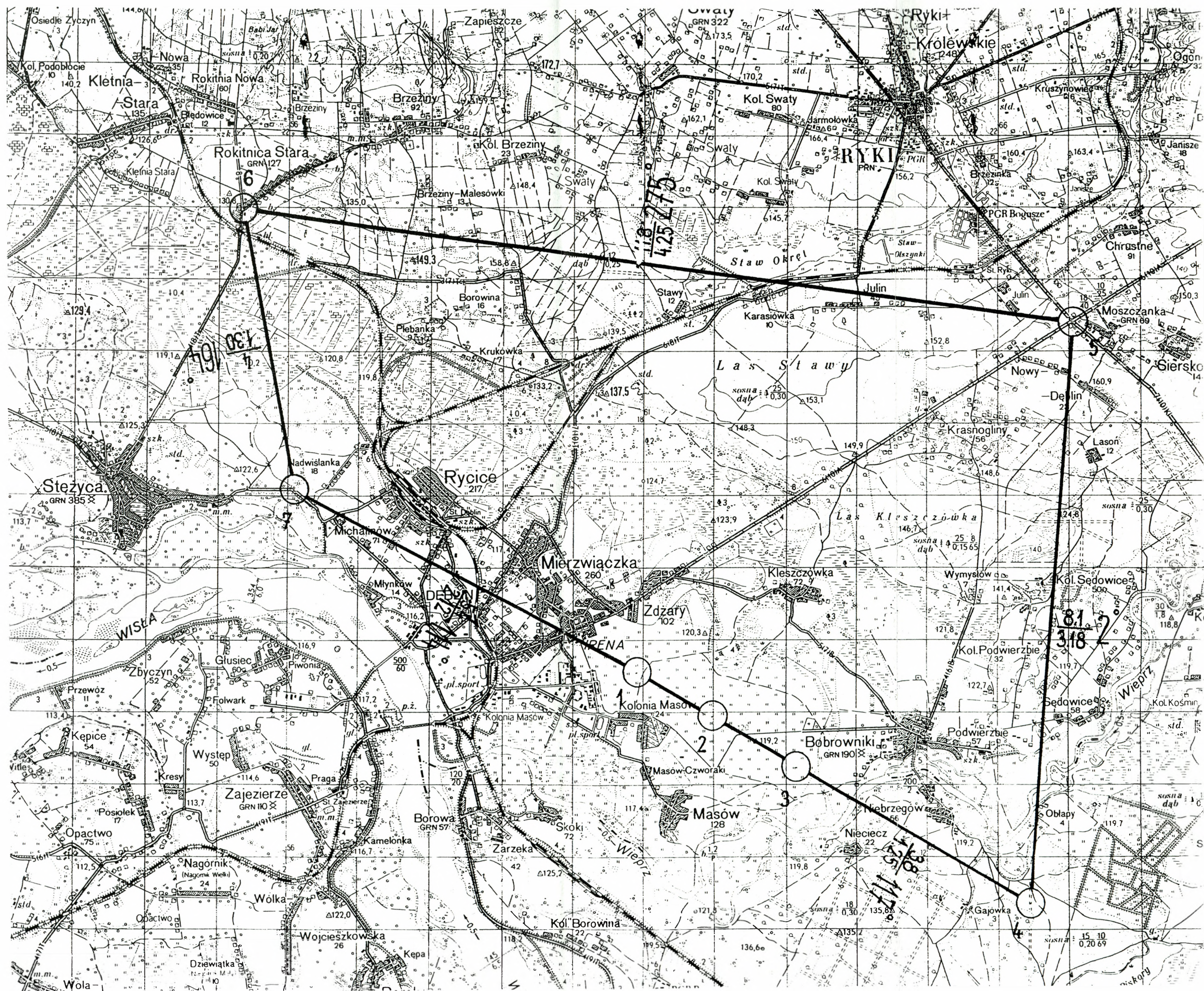
- analizę literatury przedmiotu - styczeń 1995 rok;
- opracowanie ogólnej koncepcji eksperymentu;
- opracowanie narzędzi badawczych;
- przetłumaczenie podręcznika dla pilota - marzec 1995 rok;
- przeprowadzenie badań pilotażowych - maj 1995 rok;
- statystyczna analiza wyników badań - czerwiec 1995 rok;
- przeprowadzenie eksperymentu - październik 1995 rok;
- analiza ilościowa i jakościowa wyników badań - grudzień 1995 rok.

Streszczenie eksperymentu.

W październiku 1995 roku wykonany został eksperyment lotniczy, którego celem było zdobycie materiałów oraz wyciągnięcie wniosków dotyczących pokładowych odbiorników satelitarnych typu Garmin GPS 150.

Samoloty typu TS-11 „Iskra” wykonujące loty na Bałtykiem wyposażone są w odbiorniki GPS typu RS-5500. Również samoloty typu „Orlik” posiadają pokładowe odbiorniki satelitarne. W ostatnich czasach montuje się je również na śmigłowcach.

Biorąc powyższe przesłanki pod uwagę, postanowiono wypożyczyć kilka odbiorników Garmin GPS 150 i zainstalować je na pokładach śmigłowców W-3W „Sokół”. Następnie zaprojektowano trasę lotu (na załączonej mapie – rys. 4.1.), uwzględniając siedem punktów, w tym cztery zmiany kursu (PZK). Brano przy tym pod uwagę również ich zewnętrzne cechy charakterystyczne, umożliwiające pilotowi również ich wzrokową identyfikację. Współrzędne wyżej wymienionych punktów określone zostały z map wydziału geodezji urzędów miasta Ryki i Dęblin. Natomiast zadaniem pilotów było odczytanie i zapis współrzędnych PZK. Po wykonaniu pomiarów dokonano porównania współrzędnych określonych z mapy i zmierzonych w trakcie lotu przez pilotów oraz zestawiono odpowiednie wyniki w tabeli. Potwierdzają one celowość dalszych badań w celu określenia przydatności satelitarnych odbiorników GPS do szkolenia lotniczego.



Rys. 4.1. Zaplanowana trasa lotu wokół lotniska w Dębnie

TRIMBLE FLIGHTMATE GPS NA POKŁADZIE SAMOLOTU TS-11 „ISKRA”

Dzięki uprzejmości Zarządu Topograficznego Sztabu Generalnego WP, który wypożyczył autorowi odbiornik pokładowy Trimble Flightmate GPS, możliwym stało się przeprowadzenie eksperymentu lotniczego, który miał dać odpowiedź na pytanie, czy da się wykorzystać ten odbiornik GPS na samolocie odrzutowym TS-11 „Iskra”. Tym bardziej, że już samo określenie „flight mate” oznacza „przyjaciel lotnika”.

W związku z badaniami mającymi na celu modernizację pokładowego wyposażenia nawigacyjnego statków powietrznych w WSOSP sformułowano hipotezy, które miały ukierunkować eksperyment:

- w Polsce część statków powietrznych posiada już fabrycznie zakładane odbiorniki nawigacji satelitarnej np. typu Garmin GPS. Niestety ogromna większość wykazuje brak takiej aparatury na swoich pokładach. Stąd też uważa się, że w chwili obecnej celowe jest instalowanie odbiorników „Trimble Flightmate GPS”, które zalegają w magazynach i składnicach MON;
- istnieje ogromna różnorodność produkowanych odbiorników pokładowych typu GPS. Celowym jest określenie przez specjalistów wojskowych niezbędnych warunków, które musi spełniać pokładowy odbiornik satelitarny. Niezbędnym też wydaje się przeprowadzenie ekspertyz dotyczących zastosowania techniki satelitarnej do szkolenia lotniczego. Stąd też podjęto próbę określenia przydatności konkretnego odbiornika satelitarnego typu „Trimble Flightmate GPS”;
- poznanie możliwości pokładowych odbiorników satelitarnych, winno przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa wykonywania lotów oraz wzrostu efektywności szkolenia lotniczego.

Podczas realizacji powyższego tematu korzystano z odbiornika pokładowego Trimble Flightmate GPS (numer 17310-24), który udało się wypożyczyć poprzez Zarząd Topograficzny Sztabu Generalnego WP.

Przygotowując się do przeprowadzenia eksperymentu musiano zrealizować następujące zadania:

- przetłumaczyć oryginalną instrukcję „TRIMBLE FLIGHTMATE GPS Pilot Operating Manual” na język polski (około 100 stron);
- nauczyć się obsługi powyższego odbiornika;
- przeprowadzić analizę ilościową i jakościową odbiornika pokładowego Trimble Flightmate GPS dla potrzeb militarnych, w tym do szkolenia pilotażowego i taktycznego;

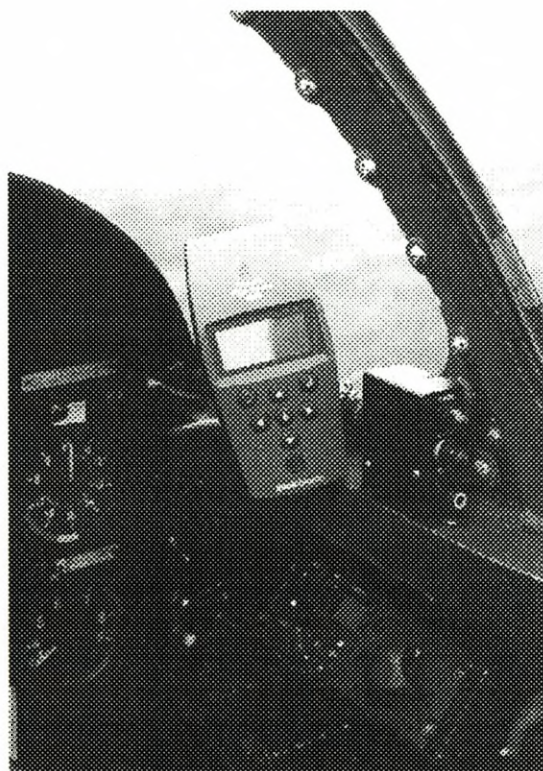
Eksperyment lotniczy, o którym mowa został przeprowadzony 12.04.1996 roku. Sporo trudności było z zaadaptowaniem odbiornika Trimble dla samolotu TS-11 „Iskra”. Następnie zaprojektowano trasę lotu na wysokości 1000 m, uwzględniając 5 punktów zmiany kursu (na załączonej mapie - rys. 5.2.) Była to trasa znana pilotom, przebiegająca przez charakterystyczne punkty. Współrzędne punktów zmiany kursu odczytano z bazy danych uzyskanych w eksperymencie z lipca 1993 roku. Eksperyment przebiegał przy pięknej pogodzie. Na podstawie relacji pilotów i danych ze środków radiolokacyjnych (załączone oleaty – rys. 5.3. i rys. 5.4.) przeprowadzono analizę przydatności tego odbiornika do wykorzystania na samolocie TS-11 „Iskra” w lotach trasowych.

Największą jego zaletą są gabaryty (szczególnie jeżeli musimy zaadaptować go dla już eksploatowanego statku powietrznego) oraz niezawodność działania i dokładność określania pozycji (w ustabilizowanym locie poziomym). Ma on jednak i wady. Do nich przede wszystkim należy zaliczyć:

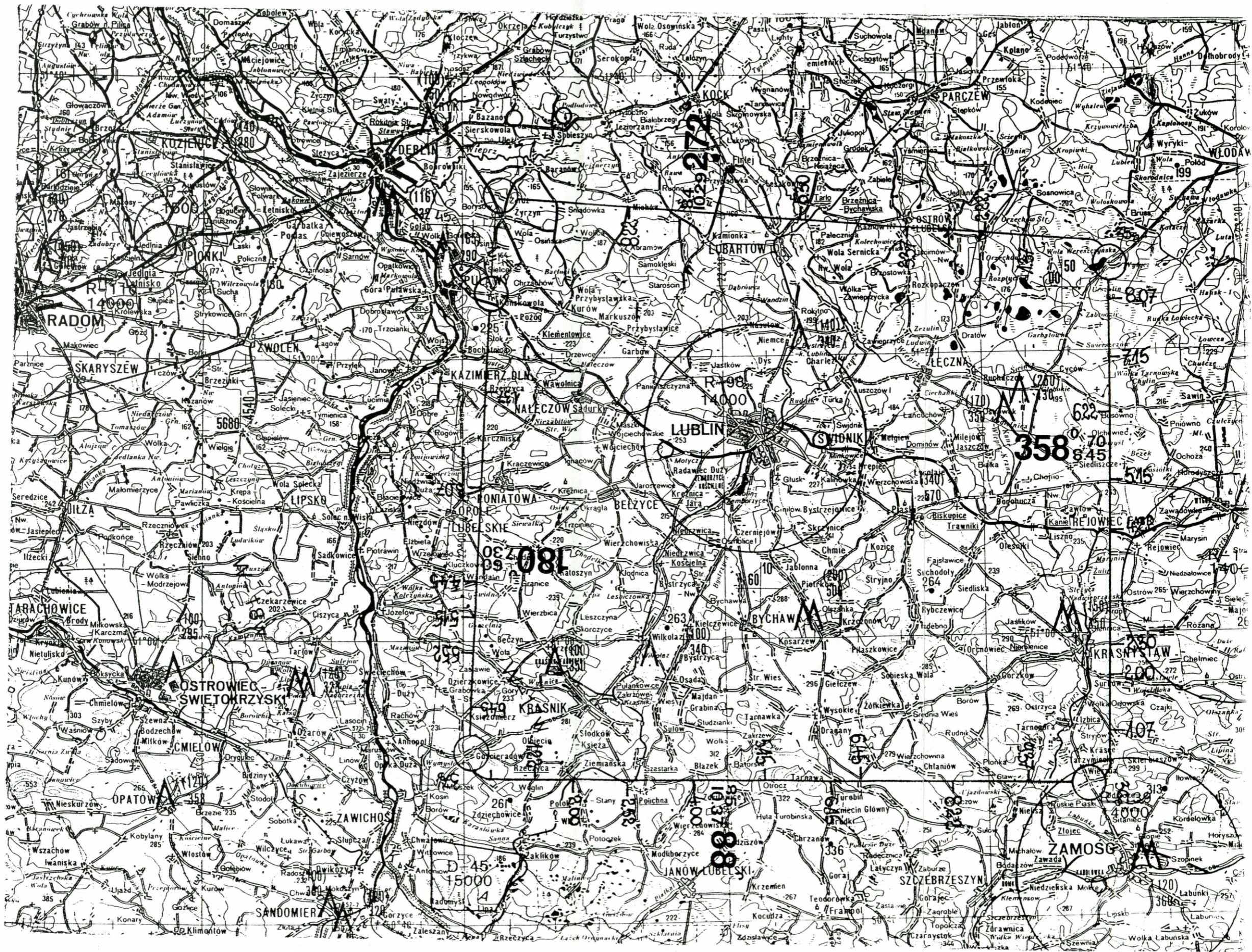
- zrywanie kontaktu z satelitami przy energiczniejszych manewrach;
- brak możliwości zaprogramowania na ziemi całego lotu trasowego. Zachodzi więc w powietrzu potrzeba „przeprogramowywania” się na kolejne PZK, co jest szczególnie niebezpieczne podczas lotów na małej wysokości (odbiornik przyj-

muje do pamięci tylko trzy punkty zwrotne, z czego jeden jest punktem wyjściowym);

- nie wyświetlana jest pełna nazwa punktu docelowego (istnieje więc możliwość pomyłki);
- brak możliwości kontroli wykonania zadania (urządzenie nie ma opcji umożliwiającej wpisywanie do pamięci danych z wykonywanego lotu i późniejszą ich deszyfrację);
- w opcji NAV czas wyjścia nad obiekt podawany jest w godzinach i minutach. Odczuwa się brak wyświetlania sekund;
- brak jest tych odbiorników w polskiej wersji językowej (pomimo występowania ich w różnych wersjach językowych);
- w sposób jednoznaczny stwierdzono, że odbiornik Trimble Flightmate GPS powinien znaleźć się w zasobniku pilota, bowiem umożliwia przemieszczanie się do dowolnego miejsca o znanych współrzędnych (np. w awaryjnej sytuacji po opuszczeniu statku powietrznego).

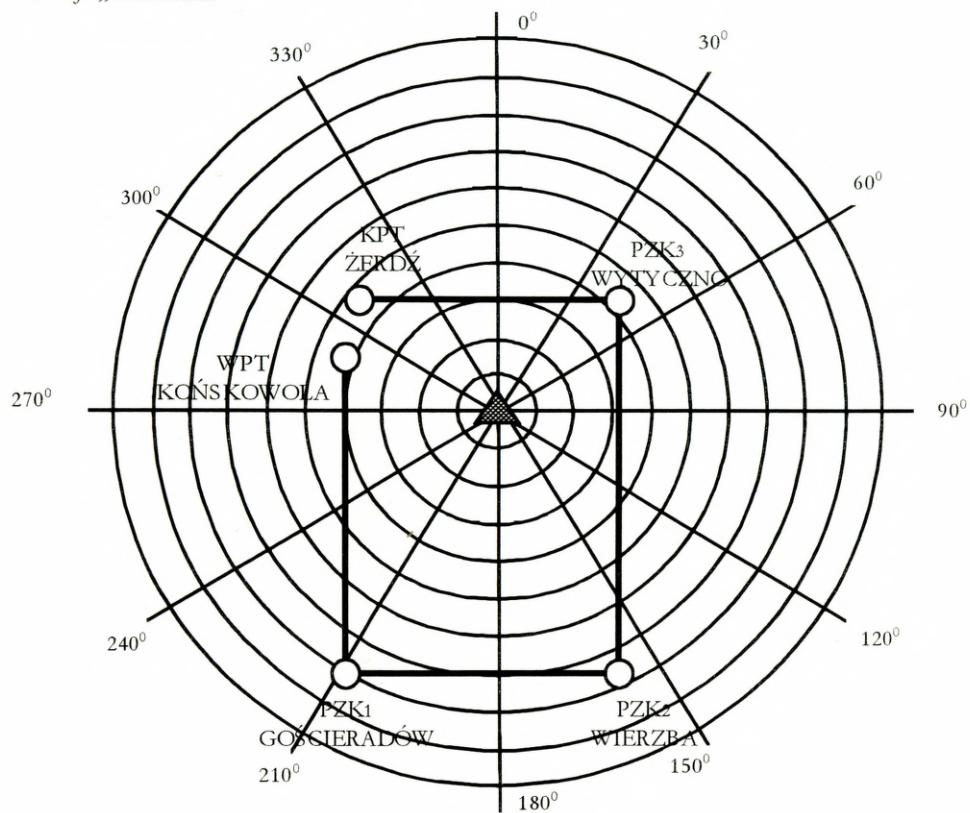


Rys. 5.1. Odbiornik Trimble Flightmate GPS w pierwszej kabine samolotu TS-11 „Iskra”



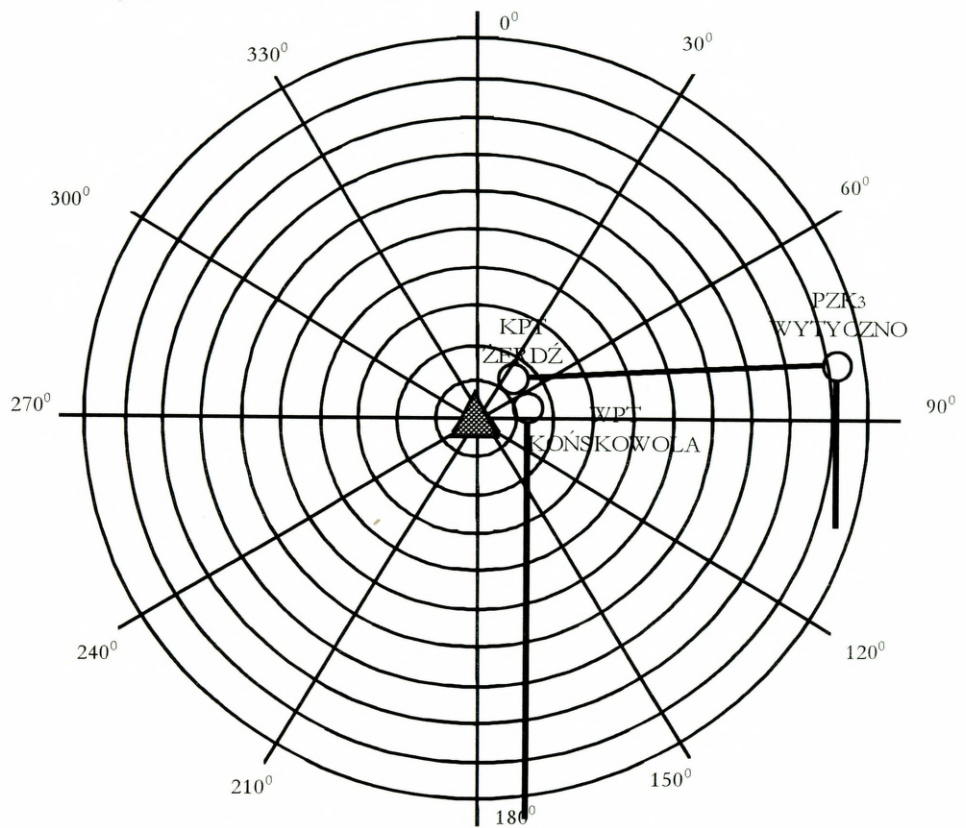
Rys. 5.2. Trasa lotu samolotu TS-11 „Iskra” z zamontowanym odbiornikiem Trimble Flightmate GPS

WIDZIALNOŚĆ RSL JUSTYNA 82
DLA POZYCJI NIEMCE



Rys. 5.3. Szkic oleatu z lotu trasowego w rejonie lotniska Dęblin dla pozycji PPN Niemce

WIDZIALNOŚĆ RSL JAWOR 82
DLA POZYCJI „KLIKAWA”



Rys. 5.4. Szkic oleatu z lotu trasowego w rejonie lotniska Dęblin dla pozycji PPN Klikawa

**TRIMBLE FLIGHTMATE GPS
I LOTY NA SZKOLENIE TAKTYCZNE
NA SAMOLOCIE TS-11 „ISKRA”**

W związku z przeznaczeniem samolotu TS-11 „Iskra” do szkolenia pilotażowego (jak to wynika z Programu Szkolenia Lotniczego na tym typie samolotu) i szkolenia taktyczno-bojowego (wynikającego z Programu Szkolenia Pułku Lotniczego, rozkazów przełożonych i decyzji dowódcy pułku do szkolenia na 1996 rok) pojęto próbę określenia możliwości zastosowania odbiornika satelitarnego GPS Trimble Flightmate do tego celu. Okazją do przeprowadzenia eksperymentu lotniczego były ćwiczenia pod kryptonimem „DOL-96” i „ZLOT-96”.

27.05.1996 roku, po dokładnym przygotowaniu samolotu i oprogramowaniu odbiornika (nowością było programowanie trasy we współrzędnych geograficznych φ i λ z dokładnością do setnych części minuty), wykonano lot eksperymentalny w bardzo trudnych warunkach atmosferycznych (bez możliwości obserwacji obiektów naziemnych). Celem wykonania zadania był lot na maksymalny zasięg samolotu (rys. 6.1.), z lądowaniem w ściśle wyznaczonym czasie na DOL (drogowym odcinku lotniskowym). Na podstawie relacji pilota z wykorzystania odbiornika, zebranych danych z punktów radionawigacyjnych po trasie lotu (załączone oleaty – rys. 6.2. ÷ 6.5.) oraz ocen z wykonania zadania (dokładność wyjścia na drogowy odcinek lotniskowy w czasie) wyciągnięto wniosek, iż istnieje konieczność zainstalowania tego typu urządzeń na samolotach i wykorzystywania ich w trakcie szkolenia taktyczno-bojowego w WSOSP. Potwierdziły się jednak wady odbiornika Trimble Flightmate GPS przedstawione już w załączniku nr 1.

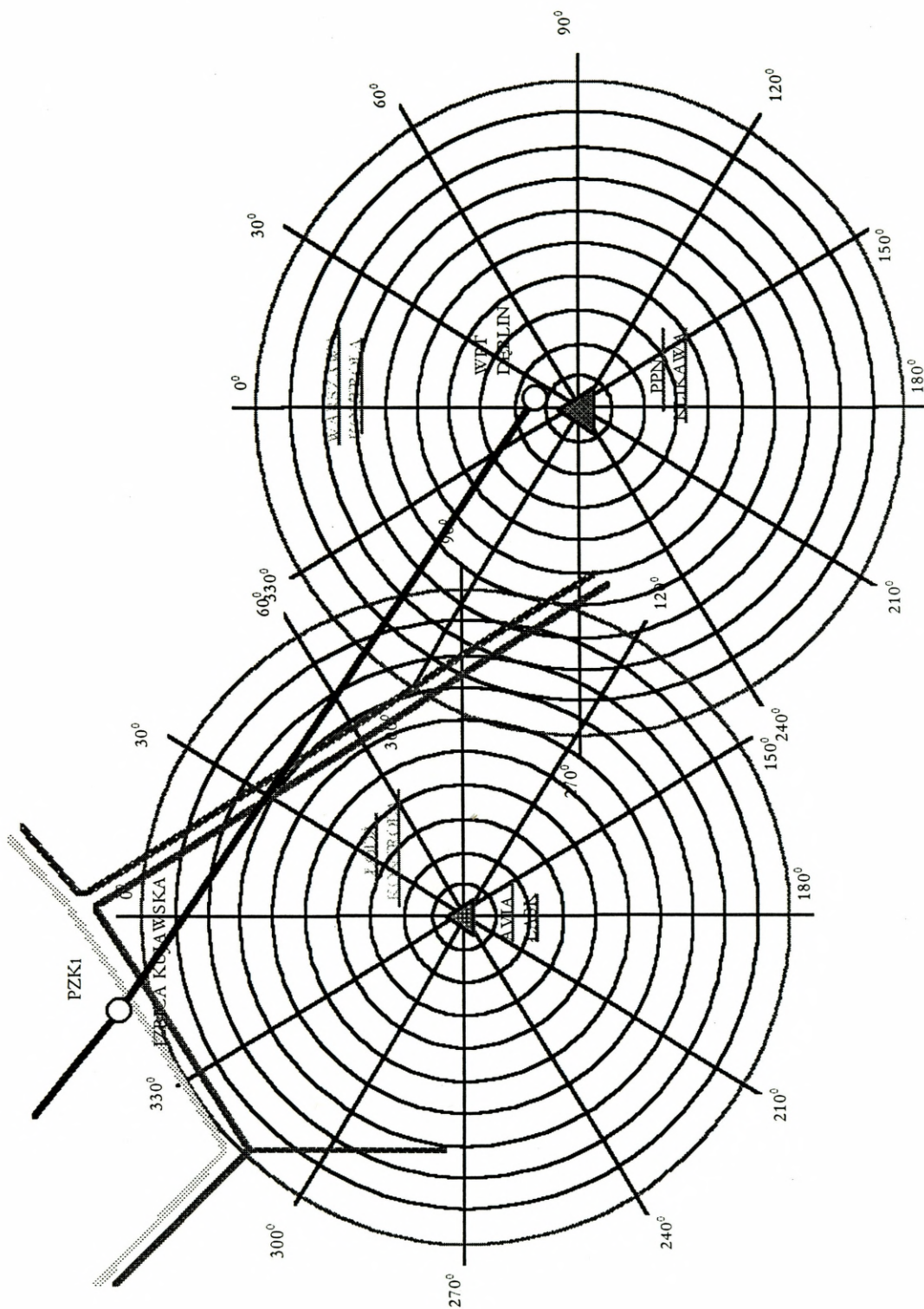
Kolejny lot eksperymentalny przeprowadzono 24.06.1996 roku podczas ćwiczeń pod kryptonimem „ZLOT-96”. Miał on dać odpowiedź na pytanie dotyczące zastosowania go do szkolenia taktyczno-bojowego. Oprogramowanie odbiornika tak

jak w poprzednim eksperymencie odbyło się we współrzędnych geograficznych φ i λ , z dokładnością do setnych części minuty i obejmowało: lotnisko startu i lądowania, siedem punktów zwrotnych i poligon (w eksperymencie tym zaprogramowano cel uderzenia - sylwetkę samolotu na poligonie). Pięciokrotny pomiar metodą statyczną odbył się 10.06.1996 roku na poligonie Nadarzyce z użyciem odbiornika Trimble Flightmate GPS. Sam lot odbył się w zwykłych warunkach atmosferycznych, na wysokości 600 metrów, tak że pilot miał możliwość kontroli wskazań odbiornika satelitarnego i prowadzenia jednocześnie klasycznego nawigowania samolotu (załączona mapa – rys. 6.6.). Szczególne doświadczenia zdobyto podczas wykonania zadania bojowego na poligonie. Dokładność wskazań pilot porównywał z charakterystycznymi obiektami naziemnymi. Wyniki były zadowalające a osiągnięta dokładność była wystarczająca dla potrzeb eksperymentu (załączony oleat – rys. 6.7.). Do najważniejszych wad tego odbiornika tak jak już wcześniej wspomniano, należy zaliczyć:

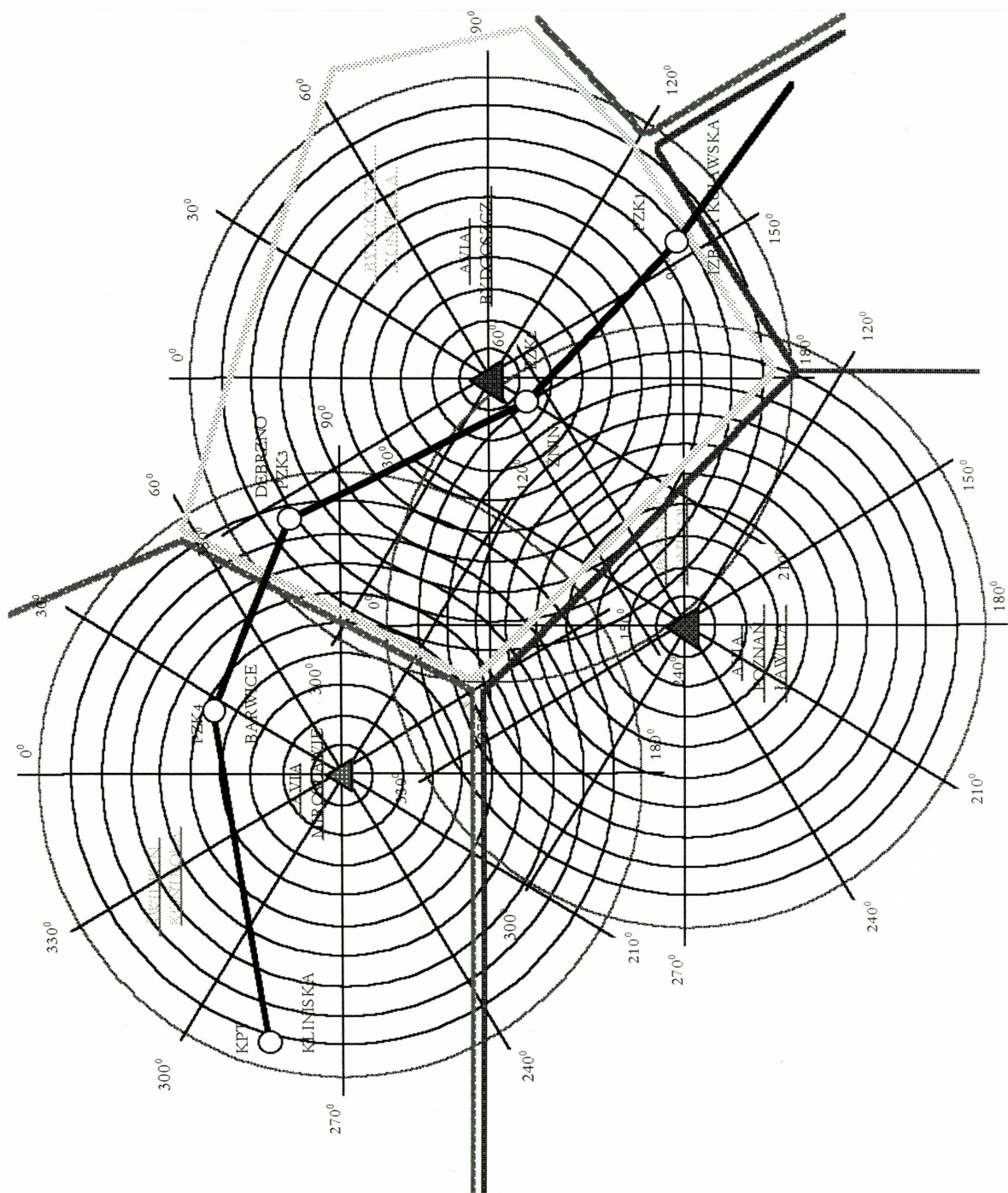
- zrywanie kontaktu z satelitami przy manewrach, tak poziomych jak i pionowych (nawet przy tych niewielkich przeciążeniach rzędu $n_z = 2g$);
- brak możliwości zaprogramowania na ziemi całego lotu trasowego. „Przeprogramować się” na kolejne PZK trzeba w locie poziomym po wyprowadzeniu już na domniemaną NLD (nakazaną linię drogi), co nie jest bezpieczne podczas lotów w ograniczonym rejonie, przy dużej liczbie samolotów, co zdarza się szczególnie podczas lotów taktyczno-bojowych;
- nie jest wyświetlana pełna nazwa punktu docelowego (istnieje więc możliwość pomyłki);
- brak możliwości kontroli wykonania zadania (urządzenie nie posiada opcji umożliwiającej wpisywanie do pamięci danych z wykonywanego lotu i późniejszej ich deszyfracji);
- w opcji nawigacja nie przewidziano wyświetlania czasu wyjścia nad obiekt wykonania zadania w godzinach, minutach i sekundach.



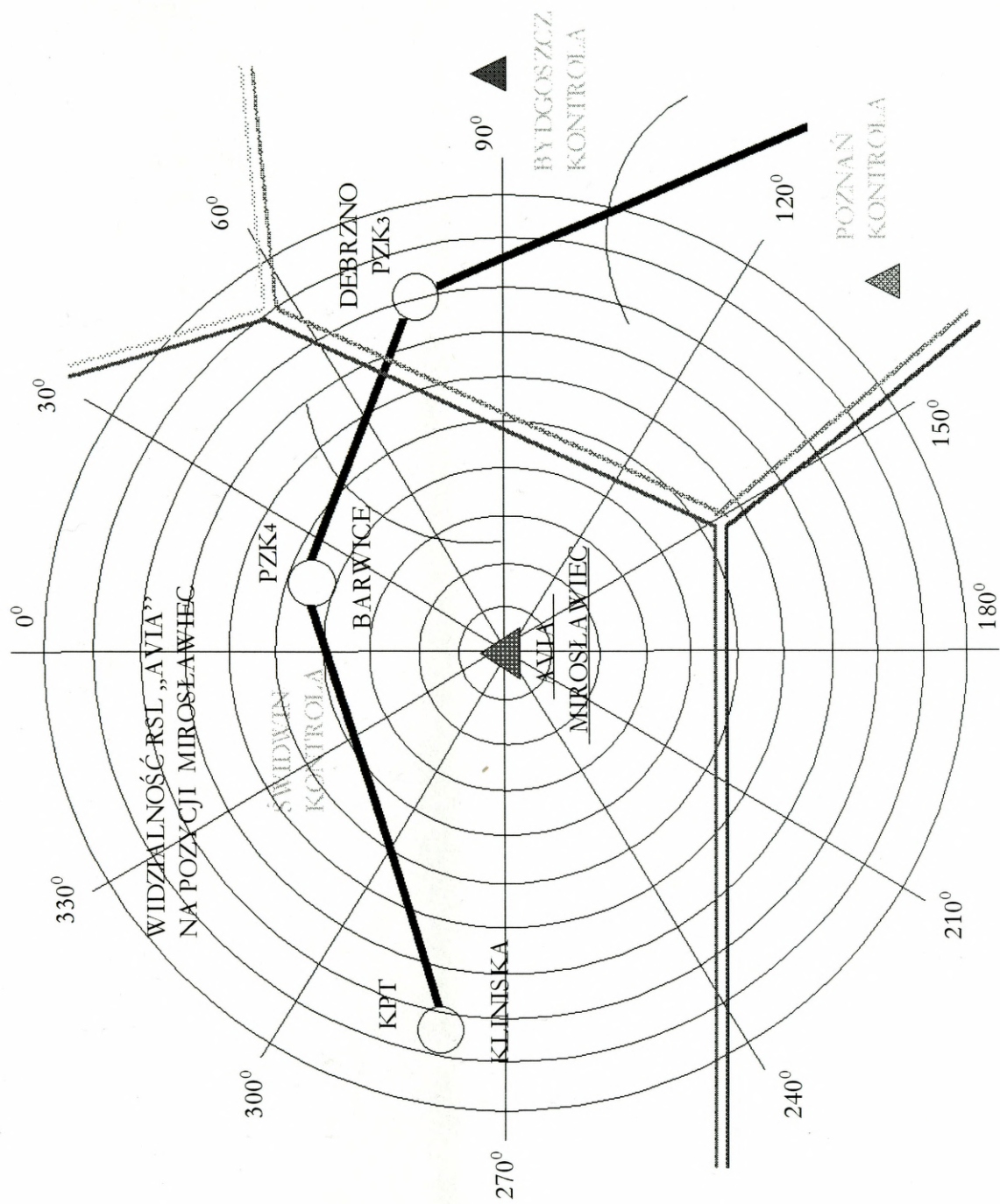
Rys. 6.1. Mapa z trasą lotu z dnia 27.05.1996 roku



Rys. 6.3. Szkic oleatu z lotu w ramach ćwiczenia „DOL-96” dla pozycji PPN Klikawa i AVIA Łask



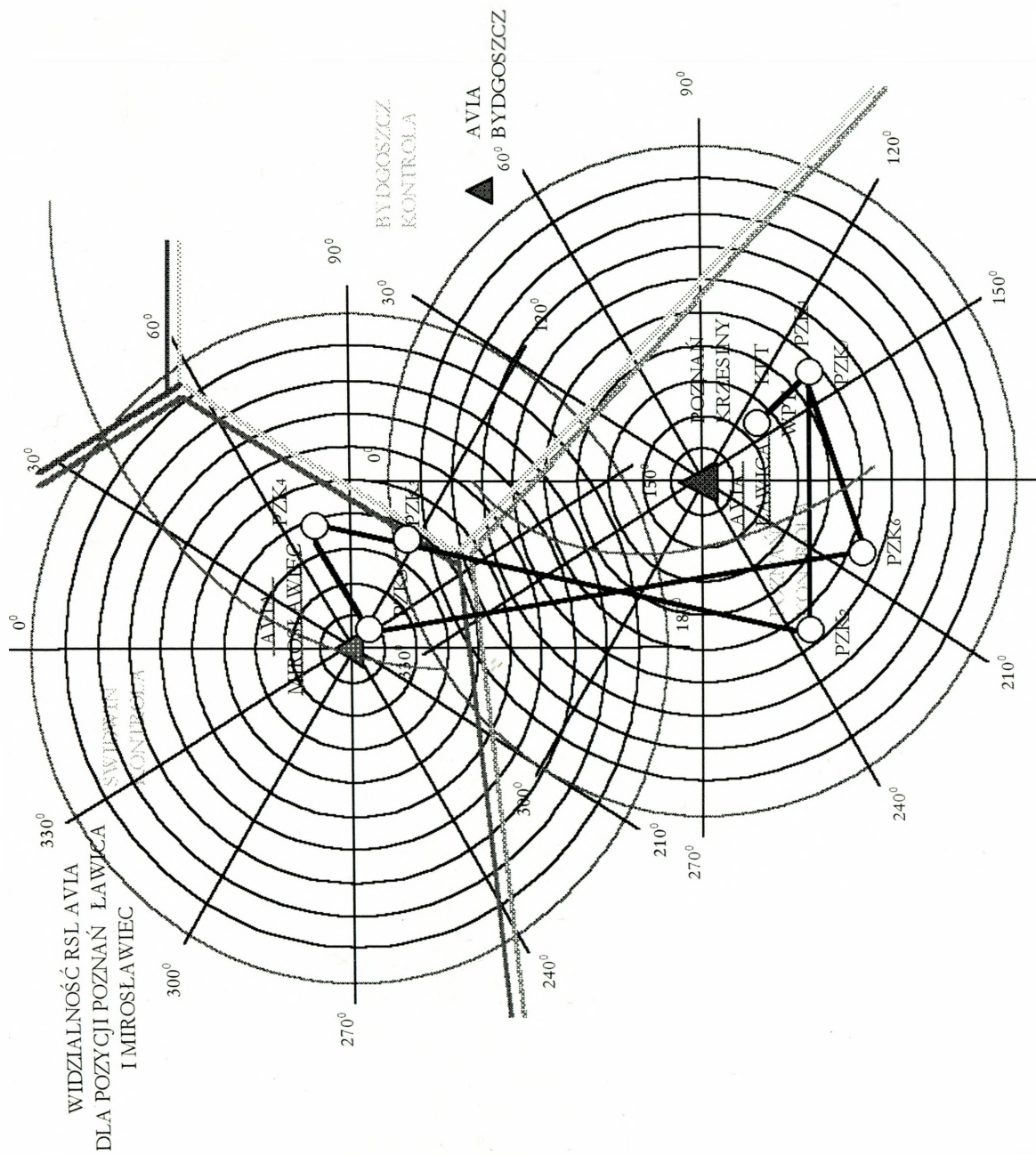
Rys. 6.4. Szkic oleatu z lotu w ramach ćwiczenia „DOL-96” dla pozycji AVIA Bydgoszcz, AVIA Poznań i AVIA Mirosławiec



Rys. 6.5. Szkic oleatu z lotu w ramach ćwiczenia „DOL-96” dla pozycji AVIA Mirosławiec



Rys. 6.6. Trasa z mapą lotu z dnia 24.06.1996 roku



Rys. 6.7. Szkic oleatu z lotu w ramach ćwiczenia „ZLOT-96” dla pozycji AVIA Poznań i AVIA Mirosławiec

