

## **Techniczne aspekty odbioru danych z satelitów NNSS oraz ocena możliwości realizacji krajowego prototypu aparatury dopplerowskiej**

### **1. Satelitarny system nawigacji dopplerowskiej NNSS**

#### **1.1. Wprowadzenie**

System satelitarny Navy Navigation Satellite System [1], [2] został uruchomiony w roku 1964 i dopuszczony do powszechnego użytku w roku 1967 [3], przy czym jego pierwotnym przeznaczeniem była nawigacja morską. W praktyce okazało się, że dokładności określenia pozycji uzyskiwane z pomiarów satelitarnych są na tyle dobre, że umożliwiają wykorzystanie systemu NNSS również do celów geodezyjnych, łącznie ze specjalnymi zagadnieniami badawczymi, jak np. określenie ruchu biegunów Ziemi.

Do roku 1973 uruchomiono ok. 20 satelitów NNSS, znanych również pod nazwą TRANSIT. W ostatnich latach wprowadzany jest nowy system satelitarny o nazwie GEOS, przeznaczony specjalnie do celów geodezyjnych i o zasadzie działania zbliżonej do NNSS. Ponieważ o systemie GEOS brak jest na razie bliższych informacji, dalsze rozważania ograniczę do systemu NNSS, bardzo podobnego pod względem techniki odbiorczej.

#### **1.2. Warunki odbioru sygnałów z satelitów NNSS**

Satelity geodezyjno-nawigacyjne ustawiane są na orbitach polarnych, kołowych o wysokości ok. 1000 km nad umowną powierzchnią Ziemi. Powtarzalność parametrów orbit kolejnych satelitów systemu jest zachowana z dużą dokładnością.

Typ orbity satelitów jest podobny do orbity satelitów meteorologicznych jak Nimbus, ESSA i NOAA, co pozwala zastosować pewne analogie i doświadczenia praktyczne, uzyskane w kraju w zakresie warunków od-

bioru. Meteorologiczne dane satelitarne są regularnie odbierane od 1967 roku przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Każdy z satelitów NNSS znajduje się w zasięgu stacji odbiorczej w ciągu 2 serii odbiorów na dobę. W jednej serii satelita przechodzi nad horyzontem z południa na północ, w drugiej, następującej po ok. 12 godzinach, z północy na południe. Każda seria obejmuje, przy wysokości orbity 1000 km, 2÷3 odcinki kolejnych obiegów satelity. Maksymalny czas łączności z satelitą, w przypadku orbity przechodzącej przez zenit, wynosi ok. 18 minut. Obraz przebiegu torów satelity nad horyzontem można otrzymać metodą graficzną. Metoda, stosowana powszechnie przy odbiorze danych z satelitów meteorologicznych, pozwala również na przybliżone wyznaczenie czasów łączności z satelitą.

Przy funkcjonowaniu kilku satelitów NNSS należy oczekiwać kilkunastu seansów łączności w ciągu doby, co umożliwi niemal ciągle wykorzystanie aparatury. Z przebiegu orbit wynika, że kierunki odbioru obejmują w zasadzie pełny zakres kątów elewacji i azymutu, co określa omówione niżej wymagania odnośnie anteny odbiorczej.

### 1.3. Informacje transmitowane przez satelity NNSS

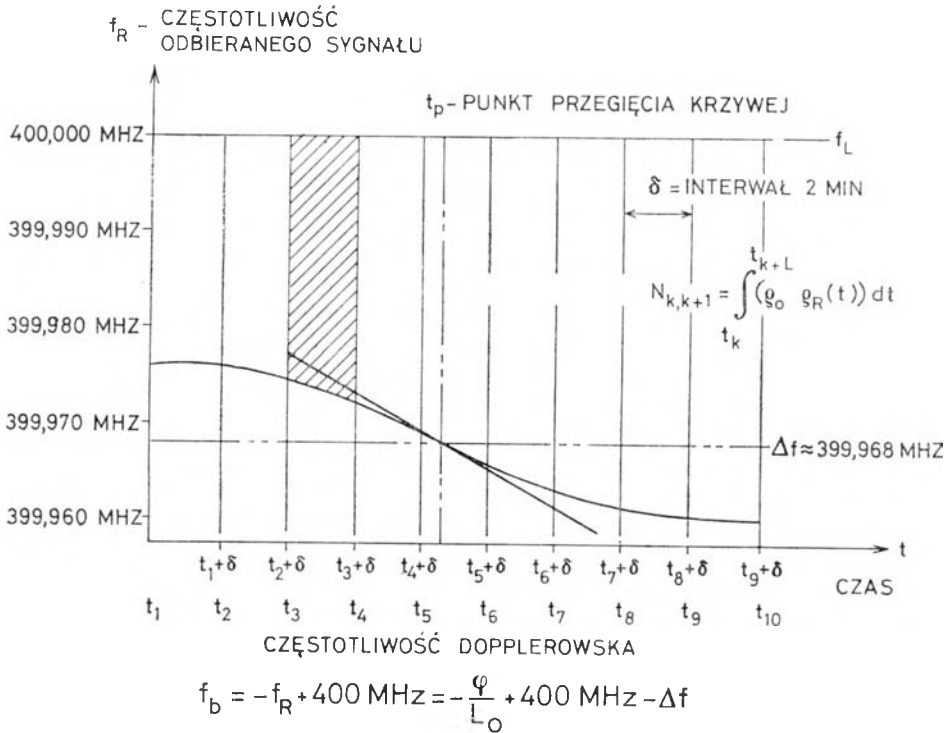
Sygnal z satelity NNSS transmitowany jest równolegle i synchronicznie w dwu pasmach częstotliwości: 150 MHz i 400 MHz. Obydwa sygnały winny być odbierane i poddawane obróbce przez urządzenie odbiorcze.

Pod względem funkcjonalnym sygnały zawierają trzy podstawowe rodzaje informacji:

1. Informacje dopplerowską.
2. Znaczniki czasu.
3. Dane orbitalne danego satelity.

Informacja dopplerowska powstaje w wyniku zmiany częstotliwości sygnałów nośnych w pasmach 150 MHz i 400 MHz na skutek ruchu satelity względem stacji odbiorczej.

Przebieg zmian częstotliwości nośnej w paśmie 400 MHz ilustruje rysunek 1. Na osi  $t$  odniesiono, w jednostkach 2-minutowych, czas od momentu wejścia satelity w zasięg stacji. Punkt przegięcia i zero funkcji zmian częstotliwości w chwili  $t_p$  odpowiada największemu zbliżeniu satelity do stacji i równocześnie zeru składowej radialnej prędkości względem stacji. Nominalna wartość częstotliwości sygnału z satelity różni się od 400 MHz o stałą wielkość znaną z dużą dokładnością (ok. 32 kHz). Stabilność dobową satelitarnego wzorca częstotliwości jest lepsza niż  $10^{-10}$ . Sygnal zostaje w odbiorniku porównany z sygnałem wzorcowym 400 MHz; uzyskana częstotliwość różnicowa, zmieniająca się w zakresie ok. 24÷40 kHz, zwana jest dalej „częstotliwością dopplerowską”.



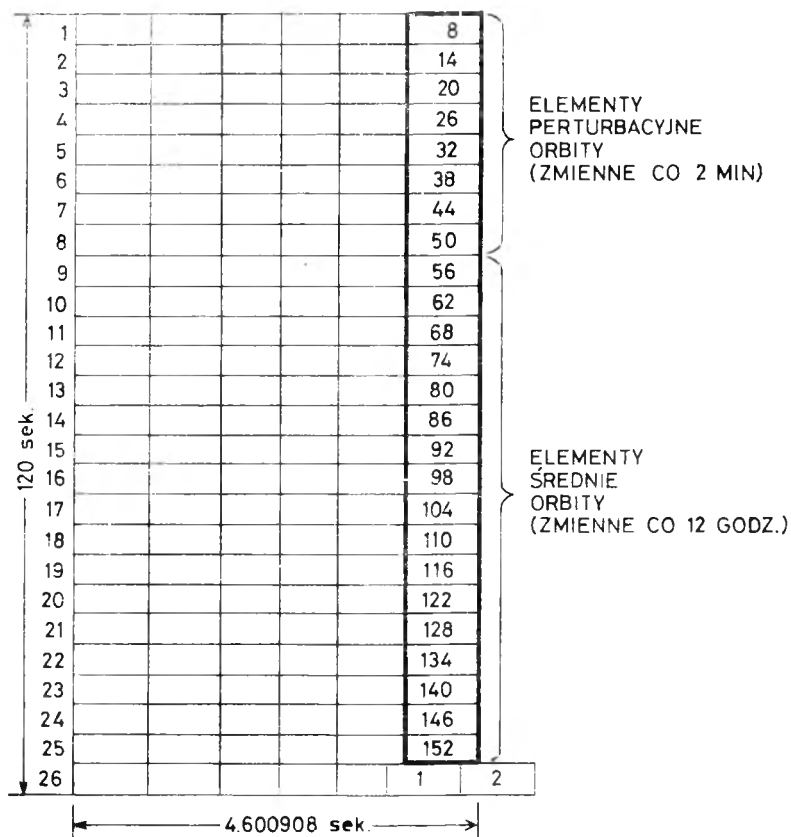
Rys. 1. Krzywa przebiegu sygnału dopplerowskiego. Satelita NNSS, kanał 400 MHz

Z drugiego sygnału, odbieranego w paśmie 150 MHz, uzyskujemy drugą częstotliwość dopplerowską, w sposób analogiczny do wyżej opisanego. Dzięki użyciu do pomiarów dwu sygnałów w odległych pasmach częstotliwości istnieje możliwość uwzględnienia wpływu refrakcji jonosferycznej. Droga optyczna sygnału w. cz., przechodzącego przez jonosferę jest większa od odległości geometrycznej; ponieważ efekt ten jest znaną funkcją częstotliwości, da się wyznaczyć i wyeliminować dzięki prowadzeniu pomiarów dwoma sygnałami.

W systemie satelitów geodezyjnych GEOS stosuje się inną parę częstotliwości sygnału, mianowicie 162 MHz i 324 MHz.

Pomiar częstotliwości dopplerowskich dokonywany jest metodą zliczania w dokładnie określonym interwale czasu. Sygnał satelity NNSS zawiera znaczniki czasu, transmitowane w odstępach 2-minutowych. W wielu metodach odbioru i obróbki sygnału NNSS znaczniki, które są dowiązane do czasu uniwersalnego (odpowiadają minutom parzystym UTC), wykorzystywane są jako wzorzec czasu. Chód zegara satelity względem UTC jest rzędu kilkudziesięciu  $\mu$ sek na miesiąc. Znacznik czasu synchronizuje

cykl transmisji depezy, nadawanej przez satelitę i zawierającej dane orbitalne dwu typów: średnie parametry orbity, obowiązujące przez okres co najmniej 12 godzin oraz dane perturbacyjne, dotyczące każdego z interwałów 2-minutowych. Treść depezy jest odczytywana z pamięci pokładowej satelity, ładowanej w 12 godzin przez specjalne stacje naziemne. Całość depezy składa się ze 156 słów 39-bitowych i 1 19-bitowego, ogółem z 6103 bitów. Bit o długości 19,662461 msek jest podstawową jednostką czasu transmitowaną przez satelitę i jest na ogół wykorzystywany do synchronizacji układów aparatury odbiorczej. Format całości depezy podaje rysunek 2. Należy zaznaczyć, że kodowanie jawne dotyczy tylko części depezy, obejmującej 25 słów ostatniej kolumny formatu. Słowa nr 1 i 2 stanowią etykietę i służą m. in. do synchronizacji czasu. Sposób modu-



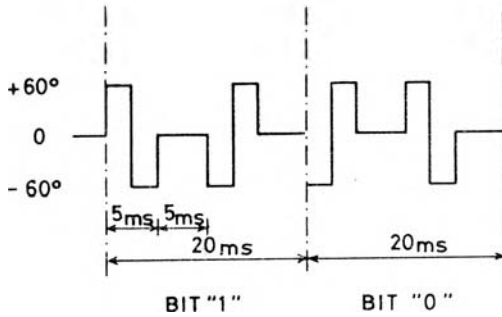
ŁĄCZNA LICZBA BITÓW:  $156 \times 39 + 19 = 6103$

DŁUGOŚĆ 1 BITU:  $120 \text{ sek.} / 6103 = 19.662461 \text{ m sek.}$

DŁUGOŚĆ 1 SŁOWA:  $39 \times 19.6624 \text{ m sek.} = 766.818 \text{ m sek.}$

Rys. 2. Format depezy transmitowanej z satelity NNSS

lacji sygnału, niosącego informację zawartą w depezbach, nie może przede wszystkim zakłócić ciągłości i synchroniczności sygnału nośnego, z którego uzyskujemy częstotliwość dopplerowską. Wymaganie to spełnia kluczowana modulacja fazy PSK, będąca równocześnie optymalną pod względem parametrów szumowych łącza [10]. Złożoną strukturę sygnałów, odpowiadających bitom „0” i „1”, ilustruje rysunek 3. Treść depezy jest transmitowana przez satelitę równolegle w obu kanałach, tj. 150 MHz i 400 MHz.



Rys. 3. Modulacja sygnału NNSS

#### 1.4. Możliwości zwiększania dokładności pomiarów dopplerowskich

Opis systemu NNSS [1] podaje kilkanaście poprawek, których uwzględnienie pozwala na zwiększenie dokładności wyznaczania pozycji stacji. Najbardziej znaczące są dwie: wspomniana wyżej poprawka na refrakcję jonosferyczną oraz poprawka na refrakcję troposferyczną. Danymi wyjściowymi, stosowanymi wg [1] do wyznaczenia poprawki troposferycznej, są pomiary stanu atmosfery w miejscu lokalizacji stacji: ciśnienie, temperatura i wilgotność. Po podstawieniu tych wielkości do wzoru empirycznego uzyskuje się ekstrapolowany wpływ warstwy troposferycznej na drogę optyczną sygnału. Takie postawienie zagadnienia jest dalekie od ścisłości z podstawowego powodu: pomiar stanu atmosfery w punkcie na powierzchni Ziemi nie określa stanu atmosfery w warstwie, sięgającej stratosfery, przez którą przebiega sygnał z satelity. Celem uściślenia można posłużyć się pomiarami, uzyskiwanymi z sondażu aerologicznego (za pomocą balonów-sond), co ma tę niedogodność, że sieć punktów sondażowych jest stosunkowo rzadka, a więc pomiar nie zawsze będzie oddawał rzeczywiste warunki w punkcie odbioru danych dopplerowskich. W ostatnich latach coraz szerzej stosowane są satelitarne metody sondażu

atmosfery, aktualnie reprezentowane przez operacyjny system NOAA—VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer) [11]. Profil stanu atmosfery, uzyskany tą metodą, doskonale nadaje się do wyznaczenia dopplerowskich poprawek troposferycznych, ponieważ:

— Sondaż odbywa się w regularnej, gęstej sieci, niezależnej od stałych punktów pomiarowych.

— Geometria pomiaru, polegająca na sondowaniu atmosfery z satelity o orbicie bardzo podobnej do orbit NNSS, pozwala na dobre dopasowanie profilu sondażu do rzeczywistego toru sygnału dopplerowskiego.

Prace nad uruchomieniem odbioru i wykorzystaniem danych satelitarnych do wyznaczania profili temperatury atmosfery są aktualnie prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej [16] [17] [18].

## 2. Aktualne rozwiązania aparatury odbiorczej NNSS

Po udostępnieniu systemu do powszechnego użytku szereg firm rozpoczęło produkcję zestawów odbiorczych NNSS, w pierwszej kolejności do celów nawigacyjnych [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Wobec bardzo obiecujących rezultatów zastosowania metod dopplerowskich w geodezji, ukazały się w ostatnich latach na rynku urządzenia, specjalnie przeznaczone do tych celów. Dostawcami aparatury są głównie firmy amerykańskie i kanadyjskie.

Aparatura geodezyjna jest na ogół bardziej zaawansowana od nawigacyjnej z powodu wyższych wymagań odnośnie dokładności wyznaczenia pozycji. Niektóre typy stacji [5] są przystosowane do odbioru danych systemów NNSS oraz GEOS (częstotliwości 150 MHz i 400 MHz oraz 162 MHz i 324 MHz). Ponadto aparatura geodezyjna odznacza się konstrukcją, pozwalającą na transport, instalowanie i obsługę w trudnych warunkach terenowych i klimatycznych. Poniżej omówię niektóre rozwiązania techniczne, typowe dla geodezyjnych zestawów odbiorczych NNSS/GEOS.

Schemat blokowy stacji, w zasadzie jest wspólny dla wszystkich rozwiązań. Wyróżnimy zespoły: antenę i tor częstotliwości radiowej, generatory częstotliwości wzorcowych, zespół pomiaru częstotliwości dopplerowskiej, zespół obróbki danych cyfrowych oraz urządzenie rejestrujące.

### 2.1. Antena i zespół odbiorników

Jak zaznaczono wyżej, odbiór sygnału z satelity NNSS może następować z dowolnego kierunku półprzestrzeni. W związku z tym możliwe są dwa przeciwstawne rozwiązania anten: anteny kierunkowe, prowadzone

za satelitą; względnie anteny stałe o charakterystyce dookólnej. We wszystkich rozwiązaniach fabrycznych zastosowano anteny dookólne, co jest nieodzowne przy wymaganej mobilności sprzętu. Należy jednak zaznaczyć, że antena dookólna, mimo możliwości zapewnienia dostatecznego stosunku sygnał/szum w dobrych warunkach odbioru, przyczynia się do wrażliwości stacji na zakłócenia zewnętrzne. Antena jest wspólna dla obu kanałów odbioru (np. 150 MHz i 400 MHz). Sygnały są rozdzielane i wzmacniane wzmacniaczami antenowymi i przesyłane wspólnym kablem koncentrycznym do odbiornika, który może się znajdować w odległości do kilkudziesięciu metrów. W przypadku stacjonarnej wersji aparatury może się okazać celowe zastosowanie naprowadzanej anteny kierunkowej, zwłaszcza, gdy stacja będzie pracować w miejscu o znacznym poziomie zakłóceń (np. w mieście). Należy jednak zwrócić uwagę, że antena złożona nie może być uważana za punkt o ściśle zdefiniowanych współrzędnych, co powoduje pewne trudności w interpretacji wyników pomiaru położenia stacji. Odbiorniki pracują z reguły w układzie phase-lock (detektor z synchronizacją fazową), przy czym niekiedy odbiornik kanału wyższej częstotliwości „prowadzi” sygnał, natomiast drugi odbiornik pełni rolę układu nadążnego [5].

## 2.2. Źródło częstotliwości wzorcowych

Zestaw odbiorczy jest wyposażony w oscylator wzorcowy, którego dokładność w istotny sposób wpływa na dokładność pomiarów. Stabilność krótkookresowa oscylatorów wynosi  $5 \cdot 10^{-12} - 2 \cdot 10^{-11}$ . Do odbiornika CMA 725 systemu GEOS oferowany jest jako wyposażenie dodatkowe oscylator atomowy [14]. Oscylator wzorcowy służy do synchronizacji heterodyny odbiorników, do otrzymywania różnicowej częstotliwości dopplerowskiej, a także do zasilania zegara czasu astronomicznego. W odbiornikach geodezyjnych CMA 722B, JMR1 i Geociever istnieje ponadto możliwość korygowania zegara sygnałem z satelity.

## 2.3. Pomiar częstotliwości dopplerowskiej

Częstotliwość dopplerowską, która stanowi podstawową informację otrzymywaną z satelity, mierzy się metodą zliczania przebiegów w określonym interwale czasu. Okres zliczania jest różny dla różnych typów odbiorników przy czym z reguły stanowi określoną wielokrotność bitów o długości ok. 19,662 msek. W odbiornikach geodezyjnych CMA 722B i Geociever istnieje możliwość wyboru rodzaju pracy, przy którym okres zliczania synchronizowany jest zegarem wewnętrznym.

Odbiorniki typu nawigacyjnego, jak CMA 722, ITT 5001, Magnavox 702 CA mają układy zliczające sygnał dopplerowski z dokładnością do 1 okresu sinusoidalnego przebiegu sygnału częstotliwości dopplerowskiej. W odbiornikach geodezyjnych, jak CMA 722B, JMR1 i Magnavox-Geoceiver, celem zwiększenia dokładności zastosowano układy umożliwiające pomiar części okresu, drogą powielania częstotliwości dopplerowskiej (CMA 722B) lub bezpośredniego pomiaru czasów  $t_1$ ,  $t_2$ .

#### 2.4. Układy przetwarzania sygnału cyfrowego

Rezultatem pomiaru częstotliwości dopplerowskiej jest liczba zliczeń cykli oraz wartość czasu okresu — w obu przypadkach wielkości cyfrowe. Równolegle odbierany jest cyfrowy sygnał z satelity, zawierający informacje o aktualnej orbicie, konieczne do wyznaczenia pozycji stacji. Sygnał z satelity demodulowany jest detektorem PSK. Celem jego deszyfracji niezbędne jest zapewnienie synchronizacji bitów i słów. Niektóre odbiorniki (JMR1) posiadają dodatkowe układy cyfrowego pomiaru natężenia odbieranego sygnału oraz bieżącego stanu zegara.

Wszystkie wymienione dane cyfrowe są kierowane do wspólnego zespołu, którego zadaniem jest ich odpowiednie uszeregowanie i przygotowanie do zapisu w urządzeniu zewnętrznym. Zespół obróbki cyfrowej współpracuje z pulpitem odbiornika, niekiedy znacznie rozbudowanym. Odbiornik JMR1 wyposażony jest w pulpit, podobny do stosowanych w kalkulatorach elektronicznych. Umożliwia on zarówno podawanie rozkazów, sterujących pracą odbiornika, jak i wprowadzanie danych cyfrowych, np. etykiet zapisu. Uzupełnieniem pulpitu jest wielocyfrowy wskaźnik, który może wyświetlać żądane dane, występujące podczas pracy układu.

Odbiorniki dopplerowskie wyposażone bywają w różnorodne układy kontroli wewnętrznej. Jednym z ciekawszych jest system pomiaru opóźnienia (Geoceiver) wnoszonego przez odbiornik przy detekcji znaczników czasu odbieranych z satelity. Opóźnienie to jest znaczne i wynosi w ogólności kilka dziesiątych msek. Stałość tego opóźnienia ma oczywiście zasadniczy wpływ na dokładność pomiaru czasu. Należy nadmienić, zachowanie stałości opóźnienia detekcji znacznika z dokładnością rzędu mikrosekund jest zagadnieniem dość trudnym, ponieważ moment znacznika odtworzany jest ze stosunkowo wolnego przebiegu.

Układ obróbki cyfrowej zawiera na ogół rejestr i interface do zewnętrznego urządzenia zapisu. Format zapisu danych jest różny dla różnych typów odbiorników. Niektóre odbiorniki (JMR1, CMA 722B) mogą współpracować „On-Line” z komputerem, który dokonuje wszystkich obliczeń związanych z wyznaczeniem pozycji stacji.



## 2.5. Urządzenie rejestrujące

W przypadku pracy „Off-Line”, co ma z reguły miejsce podczas prac w terenie, stacje dopplerowskie są wyposażone w urządzenia cyfrowego zapisu danych. Stacje: Geociever oraz CMA 722B posiadają wyjścia na perforator taśmy lub dalekopis. Niewielka prędkość transmisji, 50 bitów/sek, pozwala na zapis zwykłym dalekopisem, a także na transmisję danych łączami teleksowymi. Do rejestracji danych w terenie stosowane są specjalne perforatory, przystosowane do pracy w trudnych warunkach klimatycznych. Stacja JMR1 wyposażona jest w rejestrator magnetyczny, wymagający minimalnej obsługi i nadający się do pracy w każdych warunkach klimatycznych na otwartym powietrzu. Dla sprawdzania zapisu i ewentualnego wykonywania kopii firma oferuje oddzielne urządzenie, stanowiące dodatkowe wyposażenie stacji [7].

## 2.6. Konstrukcja dopplerowskich stacji geodezyjnych

Produkowane w ostatnich latach urządzenia reprezentują wysoki poziom techniki, opartej na najnowszych zminiaturyzowanych elementach i podzespołach elektronicznych i elektromechanicznych. Dzięki temu producenci osiągnęli doskonałe parametry, przy wysokiej niezawodności, odporności mechanicznej i klimatycznej oraz minimalnych wymiarach i ciężarze sprzętu. Przykładowo, pojedynczy zestaw JMR1 posiada masę 16 kg. Zalecany do eksploatacji w warunkach ekspedycyjnych zestaw dublowany, wraz z dwoma bateriami zapewniającymi ok. 1-dobową ciągłą pracę, waży 64 kg. Podobne charakterystyki posiadają zestawy geodezyjne innych firm, dzięki czemu portabilność sprzętu jest porównywalna z portabilnością klasycznego wyposażenia geodezyjnego.

## 3. Ocena możliwości i celowości realizacji krajowego prototypu dopplerowskiego zestawu odbiorczego do celów geodezji

### 3.1. Podstawowe warunki techniczne

Na podstawie analizy dostępnych materiałów można określić następujące warunki techniczne dla zestawu odbiorczego:

1. Odbiór sygnałów z satelitów NNSS w kanałach 399, 968 MHz i 149, 988 MHz.
2. Pomiar częstotliwości dopplerowskiej w odniesieniu do wzorców 400,000 MHz i 150,000 MHz z dokładnością nie mniejszą niż 1/10 okresu (lub 3 usek).
3. Stabilność oscylatora wzorcowego nie gorzej niż  $10^{-10}$  na dobę.

4. Stałość opóźnienia wnoszonego przez całość odbiornika z dokładnością nie gorszą niż 5  $\mu$ sek. Stałość opóźnienia definiujemy w czasie oraz w funkcji natężenia sygnału radiowego, odbieranego z satelity.

5. Wbudowany zegar czasu astronomicznego, z możliwością jego synchronizacji z sygnałem z satelity lub innym wzorcowym sygnałem czasu z dokładnością 1  $\mu$ sek.

6. Dekodowanie znaczników czasu satelity oraz części depeszy, zawierającej bieżące dane orbitalne.

7. Cyfrowe wyjścia danych, umożliwiające ich wydruk na typowym urządzeniu zewnętrznym, jak perforator taśmy, elektryczna maszyna do pisania lub dalekopis.

8. Pożądane wyjście bezpośrednie (interface) do określonego typu komputera.

9. Możliwość ciągłej pracy bez obsługi, niezależnie od ewentualnych przerw zasilania sieciowego.

Zdaniem autora, spełnienie tych wymagań, w warunkach krajowych, przy ekonomicznie uzasadnionych kosztach i okresie realizacji:

1. Jest możliwe w odniesieniu do stacjonarno-laboratoryjnej wersji urządzenia.

2. Nie jest możliwe w odniesieniu do wersji mobilnej, która mogłaby stanowić odpowiednik opisanych wyżej urządzeń zagranicznych.

3. Jest do rozważenia, w zależności od konkretnych wymagań użytkowych, w odniesieniu do wersji nawigacyjnej, przeznaczonej dla jednostek pływających. Należy tu dodać, że stacja nawigacyjna mogłaby spełniać mniej ostre wymagania odnośnie dokładności, niż wyżej wymienione.

### **3.2. Koncepcja krajowego prototypu geodezyjnego stacji dopplerowskiej**

Wersja stacjonarna zestawu znajdzie zastosowanie do celów naukowo-badawczych oraz jako stacja odniesienia dla stacji ruchomych, przy użyciu metody translukacji.

Zdaniem autora, prototyp winien być realizowany w oparciu o system CAMAC [12] [13], z następujących powodów:

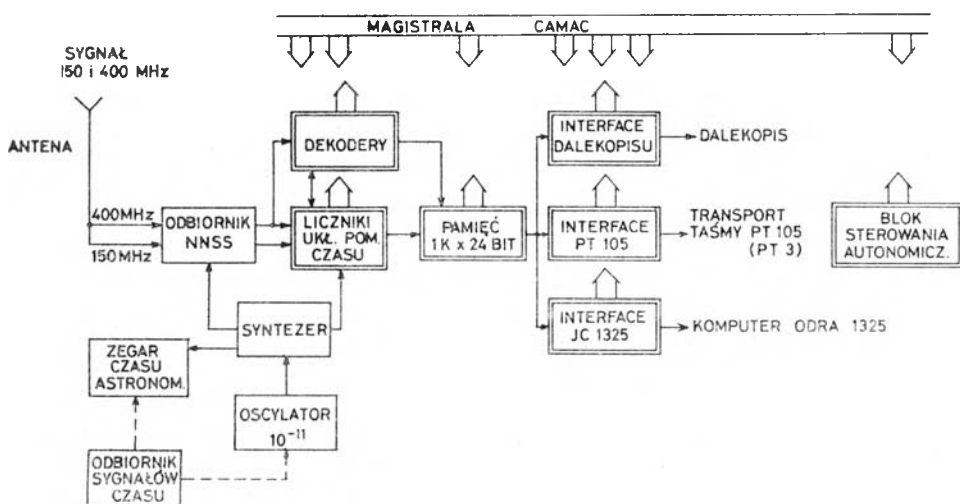
1. System zapewnia, zgodnie ze swymi założeniami, dużą elastyczność w doborze konfiguracji sprzętu, zwłaszcza urządzeń zewnętrznych oraz urządzeń współpracy z komputerem.

2. Istnieją możliwości wykorzystania gotowych, opracowanych i produkowanych w kraju modułów CAMAC, których parametry i technologia reprezentują poziom współczesny.

3. Z aktualnych, szerzej dostępnych źródeł [14] [15] można wnioskować, że jak dotąd system CAMAC nie znalazł zastosowania w omawianej

dziedzinie, w związku z czym istnieje możliwość osiągnięcia oryginalnych rozwiązań na dobrym poziomie.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy schemat blokowy zestawu odbiorczego stacjonarnego do celów geodezyjnych. Podwójnymi konturami zaznaczono moduły typowe CAMAC, które mogłyby być wykorzystane w zestawie. Należy zauważyć, że w podanej konfiguracji dzięki zastosowaniu procesora autonomicznego, współpraca „On-Line” z komputerem jest alternatywna. Istnieje również możliwość zastosowania innego komputera (np. Mera 400) po wymianie modułu interface. To samo dotyczy urządzeń zewnętrznych.



Rys. 4. Zestaw odbiorczy NNSS. Wersja stacjonarna

Całość zestawu mieści się w pojedynczej kasie CAMAC. Część modułów wykonawczych będzie z konieczności niestandardowa, z punktu widzenia normy CAMAC. Dotyczy to przede wszystkim zespołu odbiorników radiowych, których wejścia i wyjścia są zasadniczo analogowe. Inne moduły, jak licznik częstotliwości dopplerowskiej, dekodery, zegar czasu astronomicznego dadzą się wykonać zgodnie ze standardem. Cykl pracy CAMAC, wynoszący 1  $\mu$ s, stanowi dostatecznie małą jednostkę czasu dla zapewnienia wymaganej dokładności. Generator taktujący 1  $\mu$ s powinien być synchronizowany częstotliwością wzorcową. Wspomniane moduły typowe, jak: interface pamięci taśmowej, interface perforatora (typ 520), pamięć 1 K (typ 200), procesor autonomiczny (typ 131), są produkowane w kraju bądź wejdą do produkcji w najbliższych latach. Oddzielnym zagadnieniem jest oprogramowanie procesora autonomicznego, względnie komputera sterującego.

### 3.3. Koncepcja zastosowania stacji dopplerowskiej do zintegrowanego systemu nawigacyjnego, zrealizowanego w systemie CAMAC

W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie znajdują zintegrowane systemy nawigacji morskiej [9]. Są to złożone, wieloczynnościowe zestawy urządzeń nawigacyjnych, współpracujących z centralnym komputerem okrętowym. Przykładowy zestaw takich urządzeń obejmuje:

1. Stację odbiorczą satelitarnego systemu nawigacji dopplerowskiej.
2. Żyrokompas.
3. Hydrolokator dopplerowski.
4. Radiolokator nawigacyjny.

Pozycja statku jest wyznaczana z dużą dokładnością podczas kolejnych seansów odbioru danych z satelitów NNSS. Na podstawie danych żyrokompasu i hydrolokatora można wyznaczać kierunek i prędkość statku w dowolnej chwili. Wreszcie radiolokator służy do weryfikacji danych w warunkach nawigacji brzegowej.

Podany przykładowo zestaw może być zrealizowany w systemie CAMAC. Poszczególne urządzenia odpowiadają kasetom CAMAC, połączonych w gałąź (Branch), współpracującą z komputerem, np. PDP11. Podana konfiguracja daje dużą swobodę w modyfikacjach i rozbudowie systemu. Przykładowo, dodatkowa kaseeta może zawierać moduły wykonawcze, sterujące mechanizmami statku w zależności od zadanego programu oraz warunków nawigacyjnych. Współpracująca z komputerem pamięć dyskowa o znacznej pojemności może zawierać bibliotekę danych nawigacyjnych, wywoływanych w zależności od aktualnego położenia statku. Monitor ekranowy umożliwia wygodną obserwację wizualną danych, a pozostałe urządzenia — plotter i dalekopis — niezbędną rejestrację dokumentacyjną.

## L I T E R A T U R A

- [1] *Wells D.E.*: Orbital Information from US Navy Navigation Satellite System, University of New Brunswick, Fredericton N.B., Canada, May 1970.
- [2] *Wells D.E.*: Doppler Satellite Control Technical Report 29, Sep 1974.
- [3] Canadian Marconi Company, CMA 722 Satellite Navigation (Position Location Equipment), Montreal, Quebec, Canada.
- [4] The Canadian Marconi Company, GEOS Satellite Receiver CMA 725, Montreal, Quebec, Canada.
- [5] Magnavox Research Laboratories. The Geociever AN/PRR14, Torrance, California, USA.
- [6] JMR Instruments Inc., The JMR1 Doppler Survey Set., Chatsworth, California, USA, 1974.
- [7] JMR Instruments Inc. JMR 1 Data Handling and Preprocessing, wyd. j.w.
- [8] JMR Instruments Inc, JMR Data Processing Services for Doppler Survey, wyd. j.w.
- [9] *Stansell T.A.*: Accuracy of Geophysical Offshore Navigation Systems, Dallas Texas, USA, 1973.
- [10] *Seidler J.*: Współczesne metody optymalizacji systemów telekomunikacyjnych, Warszawa 1965.
- [11] *Fortuna J.J., Hambrick L.N.*: The Operation of the NOAA Polar Satellite System, Washington D.C. 1974.
- [12] EURATOM, CAMAC — A Modular Instrumentation System for Data Handling, Luxembourg, 1969.
- [13] Polska Norma PN 72/T 06530, CAMAC — konstrukcja i organizacja logiczna, Warszawa 1972.
- [14] ESONE Proceedings of the First International Symposium on CAMAC, Luxembourg, 1974.
- [15] ESONE, Second International Symposium on CAMAC in Computer Applications, Detailed Programme, Bruxelles 1975.
- [16] *Bunsch-Makarewicz Z.*: Wyznaczanie pionowych profili temperatury atmosfery na podstawie satelitarnych pomiarów spektrometrycznych, Seminarium „Interkosmos”, Kraków 1974.
- [17] *Braun B., Gizbert-Studnicki P., Musioł K.*: Prace przygotowawcze do otrzymania pionowych profili temperatur. Sprawozdanie z tematu IMGW nr 157.01.09, Kraków 1975.
- [18] *Kibiński J.*: Wprowadzenie do zagadnień dygitalizacji i cyfrowego przetwarzania obrazów z satelitów meteorologicznych, Sprawozdanie z tematu IMGW nr 253.2.11., Kraków 1975.

*Recenzował doc. dr hab. inż. Janusz Zieliński*

*Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1976 r.*

ЯЦЕК КИВИНСКИ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИЕМА ДАННЫХ СО СПУТНИКОВ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОТОТИПА ДОППЛЕРОВСКОЙ АППАРАТУРЫ

Резюме

Спутниковая навигационная система NNSS (Navy Navigation Satellite System), первоначально предназначена для морской навигации, находит в настоящее время широкое применение в геодезии. Для определения положения станции необходимо иметь два вида информации: ход доплеровской частоты, сигнала со спутника в функции времени и данные об орбите спутника, соответствующие данному времени. Доплеровская частота генерирована в приёмном аппарате как разница принимаемой частоты (в полосе 400 мегагерц и 150 мегагерц) и стандартной частоты с источника высокой точности. Измерение частоты происходит методом считывания в заданных интервалах времени. Орбитальные данные и пертурбационные поправки передаются спутником в виде телеграмм известного формата, на тех самых двух каналах в полосе 400 мегагерц и 150 мегагерц. Телеграммы декодированы и регистрированы одновременно с записью доплеровской частоты. Типичная геодезическая приёмная станция NNSS состоит из антенны, общей для каналов 400 мегагерц и 150 мегагерц, двух приёмников радиосигналов, источника стандартной частоты с суточной стабилизацией порядка  $10^{-10}$ , синтезера частоты, системы измерений доплеровской частоты, дешифратора телеграмм, регистра данных и регистрирующего устройства. Современные приемные станции NNSS конструированы на основе элементов и подузлов новейшего, высокого качества, благодаря чему получено совершенное эксплуатационное качество станции, также небольшой вес и потребление мощности, возможность работы в трудных внешних условиях и высокая надёжность. По мнению автора, не оплачивается делать попытки разработки отечественного геодезического прототипа станции NNSS на примере описанного заграничного устройства, где самым трудным для исполнения требованием является миниатюрность и устойчивость к трудным условиям работы. Зато есть возможность разработки стационарной версии приемной аппаратуры служащей для опытных целей или в качестве станции отнесения. Существенным условием реализации является закладка работы устройства в лабораторных условиях и без специальных требований относительно миниатюризации. При таких предпосылках возможным является также разработка навигационной версии приемной станции NNSS для морских единиц. Автор выдвигает оригинальную концепцию обоснование систем функционально-блоковых и конструкции приемных станции в двух версиях (стационарной и навигационной) на основе системы САМАС. Это позволяет использовать ряд типичных, производимых серийно модулей (блоков) САМАС, а особенно в части аппаратуры связанной с декодированием и записью данных. Система САМАС дает возможность, кроме того, легко расширить информатическую часть станции, а также автоматизацию приема, записи и обработки данных. Особенно интересным является перспективы системы САМАС в доплеровских станциях, входящих в состав интегрированных навигационных систем.

JACEK KIBIŃSKI

TECHNICAL ASPECTS OF THE NNSS SATELLITES DATA  
RECEPTION AND EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF POLISH  
PROTOTYPE OF DOPPLER APPARATUS DEVELOPMENT  
POSSIBILITIES

S u m m a r y

Satellite navigation system NNSS (Navy Navigation Satellite System), originally devoted to naval navigation is nowadays widely used in geodesy. The two following kinds of information are necessary for determination of a station position, i.e.: Doppler frequency shift of a signal from a satellite given in time function and satellite orbit data on particular passage. Doppler frequency is generated in a reception apparatus as the received frequency difference (in 400 MHz and 150 MHz bands) and standard frequency from a high stability source. The frequency measurement is performed by a integrating method in given time intervals. Orbit data and perturbation allowances are transmitted by a satellite in a form of messages of known format, through the same channels in 400 MHz and 150 MHz bands. The messages are decoded and recorded simultaneously with the Doppler frequency. Typical NNSS geodetic receiving station consists of an antenna, common for the signal of 400 MHz and 150 MHz channels, of two radio receivers, standard frequency source of a day stability amounting to  $10^{-10}$ , frequency synthesizer of the measurement system of Doppler frequency, message decoder, data registers and recorder. Contemporary NNSS receipt stations have been erected on the basis of the newest, high quality components and subsystems due to which excellent operational performances have been obtained such as small weight and power consumption as the possibility of work in hard outer conditions and high degree reliability. According to the author's opinion it is not worth trying to work out a domestic geodetic prototype of NNSS station modelled after the described foreign origin equipment in which case the most difficult requirement to follow is miniaturization and resistance to hard conditions of working. It is possible however, to elaborate a stationary version of the receiving equipment used in the course of scientific researches or as a reference station. The essential condition for its development is the assumption that the equipment will be operated in laboratory conditions and without any particular requirements concerning miniaturization. With these assumptions the development of navigation version of NNSS receipt station for naval purposes is possible. The author introduces an interesting conception to base the station configuration in both versions (stationary and navigation) on the CAMAC system. This allows to use a few typical, factory produced CAMAC modules (blocks), particularly with reference to the equipment connected with data decoding and recording. Furthermore, CAMAC system enables easy extension of the computer section of the station and automation of the receiving recording and processing of data. Possible applications of CAMAC system in Doppler stations included in the integrated navigation systems are particularly interesting.

