ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991
Seria: BUDOWNICTWO z. 76 Nr kol. 1130

Janusz ŚLEDZIŃSKI
Instytut Geodezji Wyższej i
Astronomi Geodezyjnej
Politechniki Warszawskiej

WYZNACZANIE POŁOŻENIA PUNKTÓW GEODEZYJNYCH ZA POMOCĄ GLOBALNEGO SYSTEMU POZYCYJNEGO GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

Streszczenie. W artykule omówiona została problematyka wykorzystania satelitarnego globalnego systemu pozycyjnego GPS (Global Positioning System) do wyznaczenia położenia punktów geodezyjnych i tworzenia sieci geodezyjnych. Przedyskutowane zostały techniki i technologie pomiarów GPS, wskazano na zalety i wady pomiarów satellitarnych GPS. W opracowaniu zawarto również krótki opis doświadczeń zespołu satelitarnego Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomi Geodezyjnej, jaki zdobył on przy wykonaniu ponad 20 projektów badawczych i prac GPS w ciągu ostatniego roku.

1. WPROWADZENIE

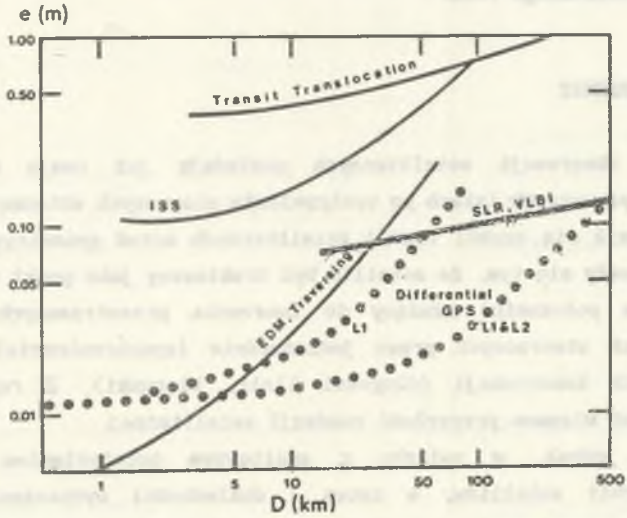
Techniki obserwacji satelitarnych posiadają już swoją wcale bogatą historię. W pierwszych latach po wystrzeleniu pierwszych sztucznych satelitów Ziemi zaznaczył się szybki rozwój satelitarnych metod geometrycznych, które charakteryzowały się tym, że satelita był traktowany jako punkt w przestrzeni (o nieznanym położeniu) służący do tworzenia przestrzennych konstrukcji geometrycznych utworzonych przez jednocześnie (synchronicznie) obserwowane elementy tych konstrukcji (długości linii, kierunki). Z rozwojem metod geometrycznych wiązano przyszłość geodezji satelitarnej.

Niebawem jednak, w związku z gwałtownym podniesieniem dokładności elementów orbit satelitów, a zatem i dokładności wyznaczania położenia satelity w przestrzeni, coraz większą rolę zaczęły odgrywać metody dynamiczne. One stanowią dzisiaj podstawę wszystkich powszechnie stosowanych technologii pomiarów satelitarnych.

Lata sześćdziesiąte charakteryzuje rozwój i powszechne zastosowanie geodezyjne technik fotograficznych polegających na fotografowaniu satelitów

na tle znanych gwiazd i wyznaczniu w ten sposób kierunków do satelity w układzie współrzędnych równikowych ekwinokcjalnych. Lata osiemdziesiąte - to rozwój technologii dopplerowskich, rozwój, który przekroczył przewidywane oczekiwania. Przewidywano początkowo, że techniki dopplerowskie stworzą możliwości wyznaczania względnych położeń punktów z dokładnością setek metrów; rzeczywistość niedługo pokazała, że dokładności dedcymetrowe są bardzo łatwo osiągalne. System dopplerowski TRANSIT - to poprzednik obecnie wprowadzonego globalnego systemu pozycyjnego GPS (Global Positioning System), nad którym rozpoczęto pracę w USA już w roku 1973 w ramach dwóch amerykańskich projektów wojskowych: U.S. Navy's TIMATION Program i U.S. Air Force's 621B Project. Pierwsze pomiary i eksperymenty GPS wykonano na przełomie siódmej i ósmej dekady.

Równocześnie z rozwojem metod elektronicznych dopplerowskiej i GPS obserwujemy od pierwszych lat sześćdziesiątych rozwój satelitarnych i księżycowych technik laserowych (SLR - Satelite Laser Ranging i LLR - Lunar Laser Ranging). Konstruowano kolejno lasery satelitarne pierwszej generacji o metrowej dokładności pomiaru odległości od satelity, następnie decymetrowej dokładności lasery drugiej generacji, wreszcie od połowy lat osiemdziesiątych powstały lasery trzeciej generacji o dokładności centymetrowej.



Rys. 1. Porównanie dokładności różnych technik wyznaczania położenia punktów (wg R. Scherrera)

Fig. 1. Comparison of accuracy of various geodetic techniques

Od roku 1967 datuje się rozwój jeszcze innej techniki obserwacyjnej: interferometrii długich baz (very long base-line intferometry) wykorzystującej pozagalaktyczne promieniowanie kwazarów. Techniki te pozwalają dzisiaj wyznaczać długości baz pomiędzy radioteleskopami wynoszące kilka tysięcy kilometrów z dokładnością paru centymetrów.

Na rys. 1 przytoczonym wg Rene Scherera ("The WM GPS Primer", 1987) można dostrzec porównanie dokładności różnych technik obserwacyjnych dzisiaj stosowanych w zależności od długości obserwowanych linii. Widać na nim wyraźnie, że pośród wszystkich podstawowych technik obserwacyjnych techniki GPS zajmują pod względem osiąganych dokładności miejsce czołowe.

Niniejsze opracowanie jest poświęcone omówieniu podstawowej problematyki związanej z zastosowaniem globalnego systemu pozycyjnego GPS do wyznaczenia położenia punktów, a zatem i do tworzenia sieci geodezyjnych. Omówione będą pokrótce technologie i metody pomiarów GPS, wskazane zostaną zalety i wady tych pomiarów oraz rodzaje prac geodezyjnych, w których pomi .y GPS znalazły już szczególnie szerokie zastosowanie. Opracowanie niniejsze powstało przy realizacji prac objętych grantem MEN nr T/07/014/90-2.

2. POMIARY BEZWZGLĘDNE I RÓŻNICOWE GPS

Rozróżniamy dwa rodzaje (sposoby) wyznaczania pozycji za pomocą obserwacji sztucznych satelitów Ziemi:

- wyznaczanie pozycji bezwzględnej (absolutnej) (absolute point positioning, point positioning, absolute positioning),
- wyznaczanie pozycji względnej (relative point positioning, differential positioning, relative positioning).

Wyznaczanie pozycji bezwzględnej punktu - to wyznaczanie współrzędnych punktu X, Y, Z lub B, L, H w jednoznacznie określonym geocentrycznym układzie współrzędnych. Jest to zatem wyznaczanie położenia punktu względem środka mas Ziemi. Układem współrzędnych, w którym podawane są pozycje satelitów GPS, jest obecnie układ WGS84 (World Geodetic System 1984).

Do wyznaczania pozycji bezwzględnej punktu (anteny odbiornika GPS) niezbędne jest posiadanie jedynie jednego odbiornika GPS. Z tego względu ten rodzaj wyznaczania pozycji punktów nazywany też bywa wyznaczaniem położenia punktu pojedynczego (single point positioning).

Wyznaczanie pozycji względnej - to wyznaczanie pozycji punktu (punktów) względem innego punktu o znanym lub nieznanym położeniu. Jest to zatem wyznaczanie względnego położenia dwóch lub więcej punktów. W odróżnieniu od sposobu wyznaczania pozycji bezwzględnej wyznaczane są tu nie same

współrzędne punktów, a różnice współrzędnych ΔX, ΔY, ΔZ lub ΔB, ΔL, ΔH. Jeśli przynajmniej jeden z biorących udział w pomiarze punktów ma znaną pozycję w określonym pewnym układzie współrzędnych, to na podstawie pomiarów względnych możliwe jest wyznaczenie współrzędnych wszystkich biorących udział w pomiarze punktów w tym układzie współrzędnych (dowiązanie). Pomiary względne są właśnie z tego powodu wykorzystywane powszechnie do tworzenia, nawiązywania i zagęszczania sieci geodezyjnych. Przy opracowaniu takich pomiarów należy stosować również odpowiednie transformacje współrzędnych.

Jeśli wyznaczamy pozycję względną dwóch punktów (anten odbiorników GPS), mówimy wówczas o **translokacji** (translocation, translocation mode, translocation positioning). Translokacja wymaga wykonania jednoczesnych obserwacji tych samych satelitów na obu punktach. Aby wykonać pomiar translokacyjny, musimy mieć dwa odbiorniki satelitarne.

Translokacja jest najprostszym i najczęściej spotykanym przypadkiem względnych pomiarów satelitarnych. Pomiar translokacyjny stanowi również pierwszy etap opracowania sieci geodezyjnych w niemal każdym pakiecie programów do opracowania pomiarów satelitarnych. Ó pierwszy etap polega na traktowaniu każdej pomierzonej linii w sposób niezależny (base-line concept), a w drugim etapie następuje wyrównanie wszystkich linii (translokacyjnych) tworzących sieć geodezyjną.

Jeśli wyznaczamy jednocześnie pozycję więcej niż dwóch punktów, mówimy wówczas o **multilokacji** (multilocation, multilocation mode, multilocation positioning). Na wszystkich punktach wykonujemy jednoczesne obserwacje tych samych satelitów. Musimy zatem w tym przypadku dysponować większą liczbą odbiorników GPS (większą niż dwa).

Należy zaznaczyć, że wyznaczanie pozycji bezwzględnej jest znacznie mniej dokładne niż wyznaczanie pozycji względnej punktów. Współrzędne X, Y, Z w układzie geocentrycznym można wyznaczyć z dokładnością paru metrów, natomiast różnice współrzędnych ΔX, ΔY, ΔZ wyznaczane są z pomiarów GPS z dokładnością centymetrową, a nawet milimetrową. Znajomość współrzędnych geocentrycznych punktów jest jednak w niektórych zagadnieniach geodezyjnych niezbędna i wówczas pomiary bezwzględne GPS stanowią szybką drogę ich wyznaczania. Należy również przy tym zauważyć, że metodami klasycznej geodezji można było wyznaczyć współrzędne geocentryczne punktu z dokładnością jedynie setek metrów; zatem satelitarne metody stanowią tu istotny postęp jakościowy.

3. TECHNOLOGIE POMIARÓW GPS

Technologie wyznaczania położenia punktów lub obiektów ruchomych na podstawie globalnego systemu nawigacyjnego GPS można podzielić na trzy podstawowe grupy:

1. **Technologie statyczne** (technologie pomiarów statycznych)

Angielskie nazwy na oznaczenie tych technologii są następujące: static surveying, static technique, static mode, (rzadzej) static technology.

Są to technologie, które charakteryzują się następującymi cechami:

* w pomiarze może uczestniczyć jeden, dwa lub więcej punktów (odbiorników) jednocześnie,
* nie wymagana jest rejestracja pomiarów w czasie rzeczywistym (real time observations),
* możliwe jest gromadzenie danych obserwacyjnych na punktach w ciągu dłuższego okresu czasu, możliwe jest uzupełnianie obserwacji poprzez dołączanie następnych seansów (sesji) obserwacyjnych,
* wysoka pewność i dokładność pomiarów wynikająca z nagromadzenia dużej liczby obserwacji nadliczbowych pochodzących niekiedy z różnych seansów (sesji, kampanii) obserwacyjnych.

Technologie statyczne stosuje się do wyznaczania położenia (współrzędnych X, Y, Z lub B, L, H) punktów geodezyjnych (nieruchomych), a zatem mają one zastosowanie również w procedurach zakładania, unowocześniania i zagęszczania sieci geodezyjnych wszystkich klas i rodzajów (również sieci specjalnych, np. dla celów odkształceń, sieci dynamicznych, osnów dla szybkiego mapowania itd.).

2. **Technologie kinematyczne** (technologie pomiarów kinematycznych)

Angielskie nazwy tych technologii to: kinematic surveying, kinematic technique, kinematic mode, (rzadziej) kinematic technology.

Podstawowe cechy tych technologii są następujące:

* w pomiarze bierze udział przynajmniej 1 ruchomy punkt (odbiornik), którego położenie jest wyznaczane,
* możliwe jest wyznaczanie położenia punktu ruchomego
  - albo względem środka ciężkości mas Ziemi (geocentrum), gdy mamy do dyspozycji jedynie jeden odbiornik,
  - albo względem innego stałego punktu; w tym przypadku mamy do czynienia z pomiarami różnicowymi.
* pomiar musi być wykonywany w czasie rzeczywistym (real time obserwations),
* nie jest możliwe gromadzenie danych obserwacyjnych na punkcie (punkt jest ruchomy),

* możliwe jest poprawianie rezultatów poprzez "wygładzanie" danych (postmission smoothing),
* podczas całego cyklu pomiarowego nie może być przerwana łączność anteny odbiornika z obserwacjami satelitarnymi, czyli nie może nastąpić tzw. utrata cykli (cycle slips). Zagadnienie utraty cykli będzie nieco dokładniej omówione przy opisywaniu następnej (trzeciej) technologii pomiarów GPS,
* możliwe jest uzyskanie - jako wynik pomiaru - wykresu trasy (trajektorii) punktu ruchomego (anteny odbiornika GPS).

Technologie kinematyczne są szeroko stosowane w nawigacji powietrznej (samoloty, helikoptery), morskiej (okręty, statki, jachty) i lądowej (samochody, pociągi). Odbiorniki GPS sprzężone z kamerą fotogrametryczną służą do wyznaczania jej względnej pozycji w momencie wykonywania zdjęć fotogrametrycznych (airborne photogrammetry), w podobny sposób mogą służyć do wyznaczenia pozycji przestrzennej grawimetru (airborne gravimetry), profilowania laserowego (laser digital profiling), mają zastosowanie również w pomiarach batymetrycznych (bathymetric surveying, echo sounding). W niektórych krajach technologie kinematyczne służą do organizacji tzw. "Active Control Systems" polegających na publikowaniu katalogów współrzędnych charakterystycznych obiektów, do których użytkownik wyposażony w osobowy odbiornik GPS może być przez ten odbiornik doprowadzony ("where are you" - system).

3. **Technologie półkinematyczne** (pseudokinematyczne)

W języku angielskim spotyka się następujące nazwy tych technologii: semi-kinematic GPS positioning technique, pseudo-kinematic technique, rapid static positioning, stop and go technique (technology).

Technologie te łączą w sobie niektóre cechy dwóch poprzednich technologii; najczęściej stosuje się je jako pomiar różnicowy do wyznaczania położenia punktów geodezyjnych (stałych), zatem musimy mieć do dyspozycji przynajmniej 2 odbiorniki GPS.

Procedura pomiarów w technologii pseudokinematycznej jest następująca:

* Pierwszy etap - pomiar na punkcie wyjściowym: jeden odbiornik ustawiamy nad początkowym punktem, drugi w odległości kilku metrów od poprzedniego. Oba odbiorniki dokonują obserwacji satelitów przez okres około 30 minut. Obserwacje te są niezbędne dla wyznaczenia parametrów początkowych obserwacji tzw. początkowych niewiadomych całkowitych drugich różnic (initial double difference integer unknowns).
* Po wyznaczeniu parametrów początkowych pierwszy odbiornik pozostaje na punkcie wyjściowym i wykonuje obserwacje, natomiast drugi odbiornik (rover, roving receiver) jest ustawiany kolejno na wszystkich wyznaczanych

punktach, przy czym na każdym punkcie wykonuje on obserwacje jedynie przez okres 45^s- 60^s, następnie jest przenoszony (przewożony) na następny punkt (stąd nazwa angielska tej technologii "stop and go" surveys).

* W ten sposób pozycje wszystkich wyznaczanych punktów są określone względem punktu wyjściowego, który odgrywa tu rolę punktu odniesienia.
* Podobnie jak w przypadku technologi kinematycznej nie mogą tu występować utraty cykli. Oznacza to, że nawet w czasie transportu odbiornika (anteny) z punktu na punkt nie może być przerwana łączność na linii antena odbiornika GPS - satelity GPS. Stanowi to poważne ograniczenie stosowalności tej technologii, oznacza to bowiem wyeliminowanie drogi przewozu anteny (rover receiver) pod mostami i wiaduktami, przejazdów przez trasy zadrzewione (leśne) i tereny o wysokiej zabudowie (miejskiej). W przypadku zaistnienia utraty cykli odbiornik sygnalizuje to sygnałem dźwiękowym i wyświetlonym poleceniem nakazu powrotu na poprzednio (ostatnio) pomierzony punkt.
* Możliwe jest zastosowanie pewnych sposobów pozwalających wydatnie skrócić czas wyznaczania parametrów początkowych obserwacji. Zamiast wykonywania półgodzinnych obserwacji na punkcie wyjściowym możliwe jest również zastosowanie jednego z dwóch poniższych sposobów:

a) W przypadku znajomości, z dokładnością nie gorszą niż 5 cm, w okolicy punktu wyjściowego przynajmniej kilkunastometrowej bazy (wektora), dla której różnice współrzędnych końców bazy Δx, Δy, Δz są znane, pomiar do wyznaczenia parametrów początkowych obserwacji można wykonać na tej bazie. W tym przypadku pomiar inicjalizujący może trwać jedynie kilka minut przez dwa odbiorniki ustawione na końcach tej znanej bazy.

b) Inny sposób polega na zamianie anten obu odbiorników (antenna swapping). Antena pierwszego odbiornika jest ustawiona nad punktem wyjściowym, a drugiego odbiornika w odległości 5 - 6 m. Po kilkuminutowym pomiarze nie zmieniając położenia anten zamieniamy ich podłączenia do odbiorników, po czym ponownie wykonujemy pomiar przez zaledwie kilka minut.

Zarówno pomiar znanej bazy, jak i procedura zamiany anten umożliwiają wyznaczenie parametrów początkowych obserwacji.

Niewątpliwą cechą technologi półkinematycznej jest to, że pomiar na wyznaczanym punkcie trwa bardzo krótko, jest to zatem technologia niezwykle ekonomiczna. Jednakże ze względu na możliwość występowania utraty cykli stosowanie tej technologii jest w zasadzie ograniczone do terenów otwartych, (nie zabudowanych wysokimi budynkami, nie zadrzewionych itp.). Wymaga ona przeprowadzenia wywiadu terenowego nawet w odniesieniu do trasy przejazdu (przewożenia) anteny odbiornika GPS. Technologie te nadają się na ogół dobrze do pomiaru wydłużonych precyzyjnych poligonów wzdłuż szerokich arterii

komunikacyjnych (np. autostrad). Średnica sieci zakładanych tą technologią nie bywa zazwyczaj większa niż 25 - 30 km. Ograniczenie to wypływa z różnicowego charakteru pomiaru i ze wspomnianych ograniczeń terenowych.

4. STRUKTURA SYGNAŁU GPS. METODY OBSERWACJI

Omówienie metod obserwacji GPS należy poprzedzić krótkim opisem struktury sygnału, jaki jest wysyłany przez satelity GPS.

Sygnał satelitów GPS składa się z częstotliwości nośnej modulowanej fazowo za pomocą dwóch sygnałów kodowych oraz sygnału informacji satelitarnej.

Podstawową częstotliwością generowaną przez oscylator na satelicie jest częstotliwość f_o = 10,23 MHz, która jest podstawą utworzenia dwóch częstotliwości nośnych (carrier frequencies). Pomnożona przez 154 dostarcza częstotliwości nośnej L1 = 1575,42 MHz ($\lambda \approx 20$ cm), a pomnożona przez 120 tworzy częstotliwość nośną L2 = 1227,60 MHz ($\lambda \approx 25$ cm). Obie częstotliwości nośne L1 i L2 są modulowane w fazie (phase modulation) za pomocą sygnałów binarnych C(t), P(t) oraz D(t) przyjmującymi wartości +1 i -1 (binary biphase modulation).

Sygnał C(t) jest źródłem powstania kodu C/A (coarse acquisition, clear access). Kod A/C ma częstotliwość (chip rate) 1,023 MHz ($\lambda \approx 300$ m), długość 1023 bity i okres około 1 ms. Kod ten jest nałożony tylko na częstotliwość L1.

Sygnał P(t) powoduje powstanie kodu P (precise, protected). Kod precyzyjny P ma częstotliwość (chip rate) równą 10,23 MHz ($\lambda \approx 30$ m), długość 235469592765000 bitów i okres $266^d 9^h 45^m 55,5^s$ (ok. 38 tygodni). Obie częstotliwości nośne L1 i L2 są modulowane kodem P.

Sygnał D(t) na prędkość transmisji (bit rate) równą 50 bitów na sekundę (bps). Sygnał ten służy do przekazywania informacji satelitarnych, m.in. efemeryd - elementów orbit satelitów GPS, informacji o jakości sygnałów, tzw. almanachu satelitów systemu - informacji o pozycjach wszystkich satelitów systemu, poprawek zegarów satelitów, danych o modelu jonosfery, specjalnych sygnałów TLM i HOW.

Jeden podstawowy cykl obserwacji (message frame) zawiera 1500 bitów i jest przekazywany w ciągu 30 sekund.

Omówiona pokrótce powyżej konstrukcja sygnału emitowanego przez satelity GPS ma ścisły związek z przyjętą koncepcją wielofunkcyjności systemu GPS i możliwości stosowania różnych metod (technik) obserwacyjnych. Kody C/A i P są potrzebne do pomiaru odległości odbiornik - satelita, a wszystkie informacje zawarte w depeszy satelitarnej (głównie te, które określają położenie

satelity i poprawkę jego zegara) są niezbędne do wyznaczenia położenia anteny odbiornika, wreszcie usunięcie kodów i informacji z sygnału pozwala na otrzymanie czystej częstotliwości nośnej (carrier frequency), która może być wykorzystywana do pomiarów fazowych i interferencyjnych.

Zajmiemy się obecnie metodami (technikami) obserwacji GPS.

Dwie techniki (metody) obserwacyjne GPS znalazły powszechne praktyczne zastosowanie. Są to:

- technika pomiarów pseudoodległości (pseudo-range observations, pseudo-range technique, pseudo-range mode),
- technika pomiarów (różnicy) fazy częstotliwości nośnej (carrier phase observations, carrier beat phase measurements).

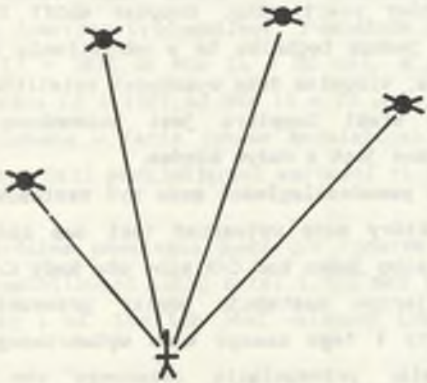
Należy wspomnieć, że można również zastosować technikę pomiarów dopplerowskich (Doppler positioning, Doppler shift frequency measurement, Doppler technique), jednak technika ta w odniesieniu do satelitów GPS jest bardzo rzadko używana, albowiem duże wysokości satelitów GPS nad powierzchnią Ziemi powodują, że efekt Dopplera jest stosunkowo dość słaby i jego rejestrowanie odbierane jest z dużym błędem.

Technika pomiarów pseudoodległości może być zastosowana tylko w przypadku użycia odbiornika, który może wytwarzać taki sam kod, jaki jest nadawany przez satelitę, tj. albo jeden kod C/A albo oba kody C/A i P. W instrumencie (odbiorniku) satelitarnym następuje pomiar przesunięcia w czasie kodu odebranego z satelity i tego samego kodu wytwarzanego w odbiorniku (tzw. replica code). Pomiar przesunięcia czasowego obu kodów (time delay) dokonywana jest techniką korelacyjną (correlation technique). Odebrany sygnał kodowy (satellite code) jest porównywany z kodem generowanym w odbiorniku (replica code). Kod odbiornika jest przesuwany aż do uzyskania korelacji obu kodów (correlation peak alignment). Czas przesunięcia kodów jest proporcjonalny do odległości odbiornik-satelita. Czas ten pomnożony przez prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych daje odległość satelity od anteny odbiornika.

Technika tego pomiaru jest nieco podobna do pomiaru odległości za pomocą dalmierza elektromagnetycznego. Jest jednak jedna istotna różnica. W pomiarach naziemnych dalmierzem impuls pomiarowy (fala o określonej częstotliwości) jest wysyłana przez dalmierz i po odbiciu od zwierciadła umieszczonego na drugim punkcie jest odbierana przez urządzenie odbiorcze w dalmierzu. Mierzona jest zatem podwójna droga przebywana przez sygnał. Wysyłanie sygnału i pomiar sygnału powracającego następuje tu w tym samym instrumencie. W przypadku pomiaru odległości satelita-odbiornik GPS sygnał jest wysyłany przez satelitę, a odbierany przez odbiornik satelitarny na stanowisku obserwacyjnym. Aby wyznaczyć drogę przebytą przez ten sygnał, na

podstawie czasu jego przebiegu od satelity do odbiornika musi być zapewniona synchronizacja zegarów na satelicie i w odbiorniku. Tak pomierzona odległość będzie obarczona szczątkowym błędem niesynchronizacji tych zegarów. Odległości mierzone w ten sposób nazywamy **pseudoodległościami** (pseudo-range).

Wyznaczanie położenia punktów techniką pomiaru pseudoodległości polega w istocie na rozwiązaniu zadania przestrzennego liniowego wcięcia wstecz (transferycja). Współrzędne satelitów w tym zadaniu są znane na podstawie odbieranych z depeszy satelitarnych efemeryd (elementów orbity). W zadaniu tym występują 4 niewiadome: 3 współrzędne stanowiska oraz poprawka zegara (clock offset) odbiornika. Stąd w koncepcji systemu GPS zakłada się konieczność jednoczesnej obserwacji przynajmniej 4 satelitów systemu (rys. 2).



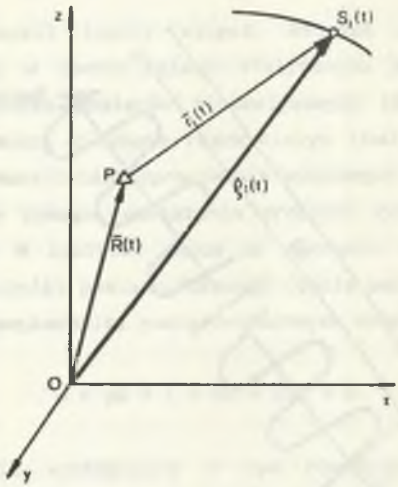
Rys. 2. Wyznaczanie przestrzennego położenia odbiornika metodą trysferacji i synchronizacji zegarów satelity i odbiornika (4 niewiadome - 4 obserwacje pseudoodległości)
Fig 2. 3D point positioning by trispheration method and clock offset (4 unknows - 4 observations of pseudo-renges)

Równanie obserwacyjne pomiarów pseudoodległości można zapisać następująco (rys. 3):

$$r_i(t) = \left|\bar{\rho}_i(t) - \bar{R}(t)\right| + c\Delta t(t) + e$$

W równaniu tym

$\rho_i(t)$ - oznacza znaną pozycję i-tego satelity w momencie t,
$R(t)$ - nieznane położenie odbiornika w momencie t,
$r_i(t)$ - obserwowaną odległość i-tego satelity w momencie t,
$\Delta t(t)$ - błąd synchronizacji zegarów,
c - prędkość światła,
e - błędy propagacji (refrakcji).



Rys. 3. Wyznaczanie położenia stacji metodą pomiaru pseudoodległości

Fig. 3. Positioning by pseudo-range measurements

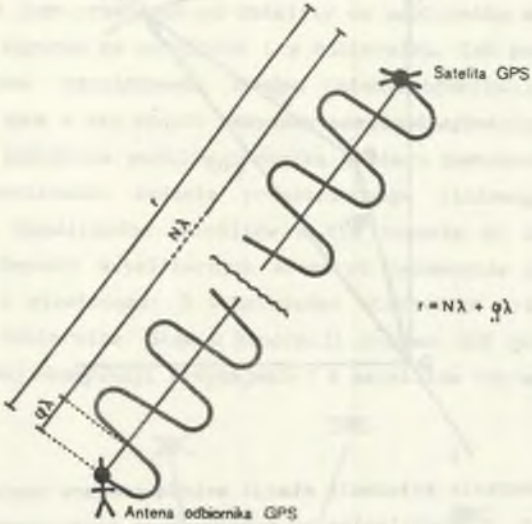
Technika pomiarów fazy wymaga zrekonstruowania odbieranej częstotliwości nośnej, tj. uzyskania "czystej" częstotliwości nośnej. W odbiornikach typu korelacyjnego (correlation type channels) uzyskuje się ją poprzez usunięcie z sygnału satelitarnego kodów i informacji, a w odbiornikach typu kwadratującego (squaring type channels) częstotliwość zrekonstruowaną otrzymuje się poprzez pomnożenie sygnału przez siebie ("skwadratowanie") (squaring process despereading technique), w wyniku czego otrzymuje się sygnał wolny od wszelkich modulacji, lecz o częstotlliwości dwa razy większej od częstotliwości sygnału pierwotnego.

Odległość r satelita GPS - antena odbiornika może być wyrażona następującym równaniem (rys. 4)

$$r = N\lambda + \varphi\lambda,$$

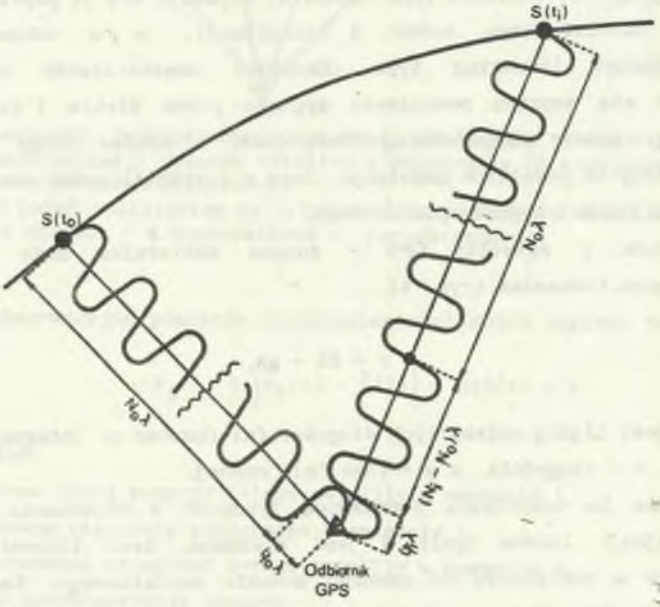
gdzie N jest liczbą całkowitych długości fal (number of integer cycles of the carrier), λ - długością, a φ - fazą fali nośnej.

Równanie to uzmysławia podstawową trudność w stosowaniu tej techniki obserwacyjnej: liczba cykli N jest nieznana, lecz liczenie cykli jest dokonywane w odbiorniku od pewnego momentu początkowego. Każda przerwa w łączności odbiornika z satelitą powoduje przerwę w zliczniu cykli N i rozpoczęcie zliczania na nowo od momentu nawiązania ponownej łączności z satelitą (rys. 5)



Rys. 4. Wyznaczanie odległości na podstawie pomiaru fazy fali nośnej

Fig. 4. Carrier phase measurements



Rys. 5. Problem nieoznaczoności pełnych cykli długości fal (parametrów początkowych obserwacji fazowych)

Fig. 5. Cycle ambiguity problem (problem of initial value of n-count)

Są to tzw. utraty cykli (cycle slips), których usuwanie w procesie opracowania obserwacji w technologiach statycznych jest niekiedy bardzo utrudnione, a w przypadku pomiarów kinematycznych lub półkinematycznych, które wykonywane być muszą w czasie rzeczywistym (real time observations), utraty cykli wręcz uniemożliwiają opracowanie wykonanych obserwacji. Technika (metoda) pomiarów fazy wymaga rozwiązania problemu wyznaczania początkowej wartości liczby cykli N (initial value of n-count). Problem ten stanowi podstawową trudność techniki pomiaru fazowego (cycle ambiguity problem).

Równanie obserwacyjne techniki pomiarów fazowych można zapisać w postaci:

$$\phi = \varphi\lambda = r + \lambda N + c\Delta t + e$$

Wszystkie oznaczenia występujące w tym równaniu zostały już wyżej objaśnione.

Technika pomiarów fazowych leży u podstaw interferometrii fazowej, z którą mamy do czynienia przy sposobie pomiarów różnicowych, gdy mierzymy interferometrycznie różnice faz sygnału przychodzącego od satelity do dwóch odbiorników umieszczonych na dwóch stacjach obserwacyjnych. W wyniku takiego pomiaru uzyskujemy różnice współrzędnych stacji.

Zastosowanie pewnych sposobów opracowania pomiarów GPS, szczególnie fazowych pomiarów odległości, pozwala na eliminację niektórych istotnych błędów i trudności. I tak tworzenie tzw. "pojedynczych różnic" (single differences), tj. różnic faz odbieranego przez dwa odbiorniki sygnału z jednego satelity, uwalnia nas od błędów synchronizacji zegara satelity. Tworzenie "podwójnych różnic" (double differences), tj. różnicy "pojedynczej różnicy" dla jednego satelity i odpowiadającej jej "pojedynczej różnicy" dla innego satelity - uwalnia nas od błędów zarówno zegara satelity, jak i zegara odbiornika. Wreszcie "trzecie różnice" (triple defferences), tj. różnice dwóch "podwójnych różnic" dla dwóch epok, są wolne od błędów zegara satelity i odbiornika oraz niejednoznaczności liczb pełnych cykli początkowych. Trzecie różnice rozwiązują zatem problem integer ambiguity. Tworzenie trzecich różnic zmniejsza jednak wydatnie liczbę obserwacji, na utworzenie jednej "trzeciej różnicy" niezbędne jest bowiem wykonanie osmiu obserwacji odległości satelita-odbiornik. Trzecie różnice mogą jednak być pomocne przy usuwaniu skutków utraty cykli.

5. DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW GPS

Dokładności wyznaczania położenia punktów geodezyjnych na podstawie pomiarów GPS zależą od wielu czynników, wśród których należy przede wszystkim wymienić następujące:

- rodzaj (sposób) stosowanych pomiarów:
  pomiary bezwzględne (wyznaczanie punktu pojedynczego),
  pomiary różnicowe (względne) - translokacja, multilokacja.
- odległość między wyznaczanymi punktami,
- długość obserwacji,
- klasa używanych odbiorników satelitarnych:
  jednoczęstotliwościowe, dwuczęstotliwościowe,
  jednokodowe (C/A), dwukodowe (C/A, P), bezkodowe,
- stosowane technologie: statyczna, półkinematyczna,
- warunki geometryczne konfiguracji satelitów (dilution of precision) oraz jakość sygnałów satelitów.

Należy zauważyć, że nie wszystkie z wyżej wymienionych czynników wpływają w jednakowym stopniu na dokładność wyniku pomiaru GPS.

Na podstawie doświadczeń zespołu satelitarnego GPS Instytutu Geodezji i Astronomi Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej, które potwierdziły w pełni cytowane w literaturze doświadczenia innych zagranicznych zespołów wykonujących od dawna pomiary GPS, można sformułować pewne ogólne uzasadnione przewidywania dotyczące dokładności wyznaczania położenia punktów geodezyjnych.

Rezultaty pomiarów GPS porównane z pomiarami bezpośrednimi lub z innymi istniejącymi elementami precyzyjnych sieci geodezyjnych wskazują, że:

dokładność pomiarów różnicowych pomiarów GPS wynosi
kilka milimetrów przy odległościach do
- około 10 km przy zastosowaniu odbiorników jednoczęstotliwościowych lub
- około 30 km przy zastosowaniu odbiorników dwuczęstotliwościowych

kilka centymetrów przy odległościach do
- około 30 - 50 km przy zastosowaniu odbiorników jednoczęstotliwościwych lub
- kilkuset kilometrów przy zastosowaniu odbiorników dwuczęstotliwościowych.

Powyższe dokładności są możliwe do osiągnięcia przy długości obserwacji 60 - 120^m i przy zachowaniu wszystkich rygorów technologicznych. Osiągane praktyczne dokładności - jak wynika z doświadczenia zespołu IGWiAG PW - są wyższe, aniżeli zapewniane przez producentów odbiorników TRIMBLE, którzy

podają, że dla odbiorników jednoczęstotliwościwych technologie statyczne (pomiary różnicowe) powinny dostarczyć wyników o dokładności
w położeniu Δx, Δy,: 0,5 ÷ 1 cm + 1 - 2 ppm.L,
w wysokości: 1 ÷ 2 cm + 1 - 2 ppm.L,
przy długości obserwacji 30 - 60^m. (L - odległości między stacjami).

Dla odbiorników dwuczęstotliwościowych technologie statyczne (pomiary różnicowe), wyniki powinny się charakteryzować dokładnością:
w położeniu Δx, Δy: 0,5 ÷ 1 cm + 1 ppm.L,
w wysokości 1 ÷ 2 cm + 1 ppm.L,
przy tej samej co poprzednio długości obserwacji.

Uzyskanie wysokiej dokładności wyznaczania wysokości wymaga zachowania szczególnych rygorów technologicznych. Dużą rolę odgrywa tu właściwa konfiguracja obserwowanych satelitów.

Technologie półkinematyczne dają w zasadzie te same dokładności, jak technologie pomiarów statycznych, o ile zachowane są wszystkie rygory technologiczne. Doświadczenia zespołu Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej pozwalają na takie stwierdzenie. Niektórzy określają dokładności wyznaczania różnic współrzędnych tymi technologiami na 1 - 3 cm. Ze względu na ograniczony zasięg stosowalności tych technologii nie występuje tu czynnik zależny od odległości. Czas obserwacji na stanowisku dla uzyskania tych dokładności wynosi 45 - 60^s.

Wyznaczania bezwzględnych współrzędnych stanowiska (wyznaczanie punktu pojedynczego) przy zastosowaniu pomiarów GPS można dokonać z dokładnością kilkunastu metrów z obserwacji 1 - 2 - godzinnych, i z dokładnością 3 - 5 m z obserwacji kilkudniowych przy zastosowaniu kodu C/A; zastosowanie kodu P może podwyższyć te dokładności do 1 - 3 m.

6. ZALETY I WADY POMIARÓW GPS

Niewątpliwe zalety pomiarów GPS powodują, że znalazły one powszechne zastosowanie we wszystkich niemal rodzajach prac geodezyjnych, a w niektórych spowodowały rewolucyjne zmany filozofii postępowania w stosunku do utartych i od dawna stosowanych działań klasycznych.

Najważniejsze zalety technologii pomiarów GPS są następujące:

1. Pomiary GPS są z reguły niezależne od pogody i warunków meteorologicznych na stanowiskach obserwacyjnych.

2. Techniki obserwacyjne GPS nie wymagają wzajemnej widoczności punktów, co ma zasadnicze znaczenie dla przeprowadzenia pomiarów w terenach płaskich pustynnych lub terenach porośniętych lasami (dżungle). Zatem nie jest

wymagana budowa specjalnych wież obserwacyjnych i sygnałów, jak to miało miejsce przy zastosowaniu klasycznych technik naziemnych. Punkty sieci GPS należy lokalizować nie na trudno dostępnych wzgórzach, lecz przy szlakach komunikacyjnych w łatwo dostępnych miejscach, które zapewniają dobre warunki obserwacji GPS.

3. Pomiar satelitarny GPS na stanowisku trwa bardzo krótko. Technologie statyczne wymagają pomiaru w ciągu 1 - 2 godzin, technologie półkinematyczne około 1 minuty.

4. Pomiary GPS odznaczają się bardzo wysoką dokładnością, w wielu przypadkach wyższą od pomiarów klasycznych, dokładności te zostały omówione w p. 5.

5. Pomiar GPS na stanowisku jest w pełni zautomatyzowany. Wstępne opracowanie danych polowych może być dokonane od razu w terenie. Przy odpowiednio sporządzonym i realizowanym harmonogramie i planie prac terenowych opracowanie danych może być prowadzone sukcesywnie. Istnieją pełne i kompletne programy opracowania danych GPS zarówno dla technologii statycznych, jak i półkinematycznych i kinematycznych.

6. Wyniki pomiarów GPS uzyskuje się w jednolitym układzie współrzędnych globalnych. Poprzez nawiązanie pomiarów satelitarnych GPS do istniejących punktów sieci krajowych uzyskuje się możliwość obliczenia parametrów odpowiednich transformacji i obliczenia wszystkich wyznaczanych współrzędnych w dowolnym układzie współrzędnych obowiązującym w danym kraju. Procedura ta jest możliwa do wykonania szybko i nie nastręcza żadnych praktycznych trudności. Zespół Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej posiada pakiet opracowanych przez siebie programów do wykonywania tych transformacji.

7. Wyznaczanie punktów metodami satelitarnymi GPS jest niezależne; nie występuje w tych procedurach klasyczne prawo przenoszenia się błędów w sieciach geodezyjnych. Każdy punkt wyznaczany technikami satelitarnymi jest jednakowo dokładnie wyznaczony niezależnie od klasy sieci, w skład której wchodzi. Ostatnio zwyciężają tendencje tworzenia sieci GPS jednorzędowych o krótszych bokach.

8. Pomiary różnicowe GPS dostarczają jakościowo nowych elementów sieci, którymi są różnice współrzędnych Δx, Δy, Δz. Pomiary te dają możliwość wyznaczenia zarówno skali, jak i orientacji sieci. Zmniejsza to wydatnie potrzebę pomiaru innych elementów sieci (kątów, długości).

9. Technologie pomiarów GPS są wysoce ekonomiczne. Koszt aparatury zwraca się bardzo szybko. Koszt 1 odbiornika jednoczęstotliwościowego GPS wynosi tyle, ile budowa 8 - 9 kilkunastometrowej wysokości wież triangulacyjnych.

Z wad pomiarów GPS należy wymienić następujące:

1. Obecnie istnieje jeszcze niezupełna konfiguracja satelitów GPS, co powoduje, że wymagana widoczność jednocześnie przynajmniej 4 satelitów występuje w ciągu doby tylko w zmiennych kilkugodzinnych "oknach obserwacyjnych". Pomiar GPS nie może być zatem wykonywany w ciągu całej doby. Pełne uruchomienie operacyjne GPS jest przewidziane na rok 1993.

2. Stosowanie technologii kinematycznych i półkinematycznych jest ograniczone do terenów otwartych ze względu na fakt występowania zakłóceń odbioru sygnału satelitarnego i związanej z tym utraty cykli w przypadku prowadzenia pomiarów w terenach zadrzewionych lub o wysokiej zabudowie. Ograniczenia te zostały omówione w p. 4.

3. Trudności w uzyskaniu dostępu wszystkich użytkowników do kodu P. Niezbędne jest uzyskanie licencji eksportowej przy zakupie odbiorników z kodem P.

4. Wprowadzenie celowej degradacji sygnału satelitów GPS (selektive availability), co powoduje, że użytkownicy, którzy nie mogą usunąć sygnału zakłócającego niektórych satelitów, mają trudności w uzyskaniu właściwej i wystarczającej liczby (konfiguracji) niezbędnych satelitów. Powoduje to niekiedy konieczność wydłużenia obserwacji.

7. ZASTOSOWANIE POMIARÓW GPS

Dzięki licznym zaletom technologii i metod pomiarów GPS znalazły one szerokie i powszechne już dziś zastosowanie w wielu rodzajach prac geodezyjnych. Charakteryzując ogólnie te zastosowania, należy wymienić przede wszystkim następujące:

1. Wyznaczanie położenia punktów w tych przypadkach, które dotychczas były wyznaczane z pomocą sieci geodezyjnych i poligonizacji precyzyjnej. Wysoka dokładność pomiarów GPS sprawia, że mogą one z powodzeniem zastąpić klasyczne pomiary triangulacyjne. W szybkim upowszechnianiu pomiarów GPS niektórzy przewidują rychły zmierzch ery sieci geodezyjnych, twierdząc, że za 40 - 50 lat "era sieci geodezyjnych przejdzie do epoki dinozaurów". Już dzisiaj zwolennicy tego poglądu radzą poświęcać mniej energii i wysiłku na optymalizację, modernizację, aktualizacje, konserwacje sieci. Jakkolwiek do poglądów tych należy podchodzić szczególnie ostrożnie, to jednak w zakresie sieci podstawowych, a częściowo i szczegółowych (według dzisiaj stosoowanego podziału) rolę tych sieci - jak się wydaje - na pewno przejmie w dużym stopniu globalny system pozycyjny GPS. Wiąże się to również z możliwością łatwego wprowadzenia zunifikowanego układu odniesienia i zunifikowanych

standardów. W roku bieżącym Polska przystępuje do zachodnioeuropejskiego układu odniesienia EUREF (ETRS), którego podstawą jest sieć GPS. Polska część sieci EUREF zwana POLREF będzie podstawą utworzenia niebawem w Polsce powierzchniowej jednorzędowej podstawowej sieci GPS składającej się z około 600 punktów.

2. Tworzenie osnów dla szybkiego mapowania w dużych i średnich skalach, w tym również tworzenie osnów dla potrzeb aerofotogrametrii. W zależności od rodzaju terenu (tereny otwarte, tereny technicznie zagospodarowane, pustynie, lasy i in.) stosować można do zakładania osnów pomiarowych albo technologię pomiarów statycznych, albo półkinematycznych. Jednym z ważnych zastosowań pomiarów GPS w fotogrametrii jest możliwość wyznaczania położenia kamer fotogrametrycznych w momencie wykonywania zdjęć lotniczych. Odbiornik GPS zainstalowany na pokładzie samolotu jest w tym przypadku sprzężony z kamerą fotogrametryczną. Stosowane są tu technologie kinematyczne.

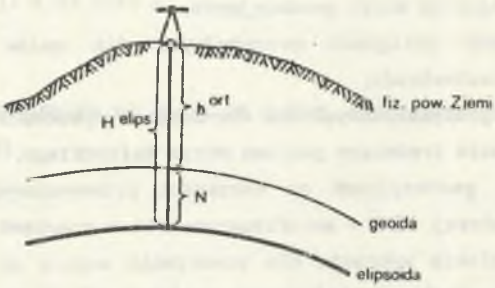
3. Tworzenie sieci punktów do badania przemieszczeń na obszarach podlegających deformacjom. Do zakładania tego rodzaju sieci powinny być stosowane technologie i metody szybkie. Technologie pomiarów GPS spełniają takie warunki: są szybkie, dokładne i ekonomiczne. Można je zastosować łącznie z innymi technologiami (np. aerofotogrametryczną). W wielu krajach obserwuje się jednak tendencję zastępowania w tych przypadkach metod klasycznych i fotogrametrycznych tylko technologiami GPS uzupełnionymi pomiarami grawimetrycznymi. Łączne opracowanie pomiarów GPS i grawimetrycznych pozwala na pełną interpretację przemieszczeń i deformacji badanych obszarów pod względem dynamicznym.

4. Pomiar wydłużonych poligonów dla celów budowy arterii komunikacyjnych kolejowych i drogowych. Ze względu na to, że budowa linii kolejowych i autostrad wymaga z reguły przygotowania dość szerokiego pasa terenu, możliwe staje się zazwyczaj zastosowanie do pomiaru takich poligonów bardzo szybkich metod półkinematycznych. Doświadczenia zespołu IGWiAG PW wskazują, że w takich przypadkach można pomierzyć około 20 punktów położonych w odległości około 1 km od siebie (czyli poligon o długości około 20 km) w ciągu 2 - 3 godzin uzyskując milimetrowe dokładności pomiaru. Pomiary GPS są szeroko wykorzystywane przy budowie transkontynentalnych arterii komunikacyjnych (np. w Afryce).

5. W powiązaniu z pomiarami niwelacji precyzyjnej i grawimetrycznymi wyznaczanie przebiegu geoidy. Z pomiarów GPS otrzymujemy współrzędne X, Y, Z lub współrzędne B, L i wysokość elipsoidalną H (rys. 6). Jeśli pomiar GPS jest wykonany na reperze niwelacji precyzyjnej, to również znana jest wysokość ortometryczna tego punktu (wysokość "nad poziomem morza"). Z różnicy

$$N = H - h$$

otrzymujemy z dokładnością milimetrową wartość geoidy ponad elipsoidę N. Jeśli pomiar GPS jest wykonywany nie na reperze niwelacyjnym, to istnieje możliwość wyznaczenia wysokości tego punktu w obowiązującym systemie wysokości niwelacji precyzyjnej, o ile znane będą odstępy geoidy od elipsoidy N. Z istniejących map wysokości geoidy wielkość N możemy otrzymać z dokładnością decymetrową (10 - 30 cm), jednak wykonanie pomiarów grawimetrycznych na punktach GPS daje możność obliczenia różnic ΔN i Δh z dokładnością znacznie wyższą wynoszącą parę milimetrów. Zagadnienia te wchodzą w zakres tzw. niwelacji GPS (GPS levelling).



Rys. 6. Niwelacja GPS i wyznaczanie wysokości geoidy

Fig. 6. GPS levelling and determination of geoidal heigts

6. Badanie zjawisk geodynamicznych. Techniki GPS są dzisiaj podstawowymi technikami stosowanymi przez wiele międzynarodowych służb geodynamicznych, jak IGS (International Gedynamical GPS Service), IPMS (International Polar Motion Service), służby ruchu obrotowego Ziemi, badania pływów, ruchu kontynentów itd. Techniki satelitarne GPS i SLR są podstawą utworzenia sieci geodzynamicznych WEGENER, EUROPROBE i in. O tak szerokim zastosowaniu pomiarów GPS do tych celów zadecydowały przede wszystkim wysoka dokładność tych pomiarów i możliwość pełnej automatyzacji pomiarów i opracowania wyników.

8. UWAGI KOŃCOWE

Pierwsze pomiary GPS na terenie Polski wykonane były w marcu 1989 roku. Pomierzono wówczas poligon o długości 300 km łączący obserwatoria Józefosław i Borowiec. Do tego pomiaru użytych zostało 5 odbiorników WM102 (2 odbiorniki z Instytutu Geodezyjnego w Stuttgarcie i 3 odbiorniki z Politechniki w Sztokholmie). W maju 1990 roku Instytut Geodezji Wyższej i Astronomi

Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej otrzymał zakupione 2 odbiorniki GPS TRIMBLE 4000ST, antenę kinematyczną i pełne oprogramowanie firmowe TRIMVEC/TRIMNET. Również mniej więcej w tym samym czasie Centrum Badań Kosmicznych PAN zakupiło 2 odbiorniki GPS TRIMBLE 4000SST. W pierwszych miesiącach br. następne ośrodki naukowe w kraju zakupiły odbiorniki GPS firmy Ashtech. Obecnie w kraju mamy około 15 odbiorników GPS.

Zespół satelitarny IGWiAG PW wykonał w ciągu ostatniego roku około 20 projektów GPS. Dotyczyły one następujących problemów:

- zakładanie i zagęszczenie podstawowych osnów geodezyjnych,
- zakładanie sieci geodezyjnych dla celów aerotriangulacji,
- udokładnianie miejskich sieci geodezyjnych,
- pomiar wydłużonych poligonów precyzyjnych dla celów budowy arterii komunikacyjnych (autostrad),
- pomiar poligonów geodynamicznych dla wyznaczania wysokości geoidy,
- udział w wyznaczaniu średniego poziomu Morza Bałtyckiego,
- zakładanie sieci geodezyjnych na obszarach przemysłowych o intensywnej eksploatacji górniczej (GPS + aerofotogrametria + grawimetria),
- pomiar GPS na polskim wybrzeżu dla utworzenia osnowy do opracowania map nawigacyjnych na wodach polskiej strefy Bałtyku,
- niwelacja GPS.

LITERATURA

[1] *Barlik M., Rogowski J.:* Geoid determination as a part of SAGET Project. Proceedings of the Geodetic Meeting Poland-Italy Olsztyn/Poland, 1990.

[2] *Groten E., Strauss R.:* Lecture Notes in Earth Sciences. GPS-Techniques Applited to Geodesy and Surveying, Springer Verlag, Darmstadt, 1988.

[3] *Scherrer R.:* The WM GPS Primer. WM Satellite Survey Campany.

[4] *Seeber G.:* Satellitengeodäsie. Walter de Gruyter, Berlin, N. York 1989.

[5] *Śledziński J.:* Short announcement on GPS observation compaign in Poland. Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Las Cruces, New Mexico, March 1989.

[6] *Śledziński J., Kujawa L., Piraszewski M.:* Remarks on accuracy of positioning by GPS TRIMBLE 4000ST receivers. Proceedings of the Geodetic Meeting Poland-Italy, Olsztyn/Poland, 1990.

[7] *Śledziński J., Rogowski J.:* Geodynamical Profiles in Central and Southern Poland (PROJECT SAGET) Artificial Satellites, 1991.

[8] *Śledziński J., Rogowski J., Kujawa L., Piraszewski M.:* Reports on GPS works performed at the Institute of Geodesy and Geodetical Astronomy. Reports on Geodesy No 2(2), 1990.

[9] Trimble Navigation GPS Surveyor. Operation Manual, TRIMBLE Nav. Ltd, Sunnyvale, CA, USA, 1989.

[10] *Wells D.et al.:* Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Frederiction, NB, Canada, 1987.

Recenzent: Doc. dr hab. Jerzy B. Rogowski

Wpłynęło do Redakcji 4.07.1991 r.

GEODETIC POINT POSITIONING BY MEANS OF GLOBAL POSITIONING SYSTEM GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

S u m m a r y

The paper deals with the problems concerning use of the Global Positioning System for point positioning and for establishment of geodetic control networks. It contains a concise descripton of satellite GPS techniques and methods; the advantages of GPS technologies and also some restrictions are pointed out. The exprerience of the satellite team of the Institute of Geodesy and Geodetical Astronomy of Warsaw University of Technology gained during last year in over 20 GPS projects is briefly described.

BESTIIMMUNG DER POSITION DER GEODATISCHEN PUNKTE MIT DEM GLOBALNAVIGATION-SYSTEM GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

Z u s a m m e n f a s s u n g

De Beitrag enthält die Besprechung von Problematik der Positionsbestimmung und der Einrichtung von Kontrollpunkten für geodätische Grundlagenetze mit der globalen Satellitenpositionssystem GPS (Global Positioning System). Die Satellitenverfahren und GPS Methoden, die Vorzüge und auch einige Nachzüge der Anwendungen sind auch in dem Artikel diskutiert worden. Die von über 20 GPS Projekten gesammelten Erfahrungen der Satellitengruppe des Instituts für Höhere Geodäsie und Geodätische Astronomie der Technische Hochschule Warszawa sind auch kurz im Beitrag erwähnt worden.