

Weryfikacja terenowa rozpoznania kameralnego zdjęć oraz pomiar uzupełniający przy pomocy techniki GPS.

Tydzień 2 dzień 3 i 4 czas trwania - 12 h

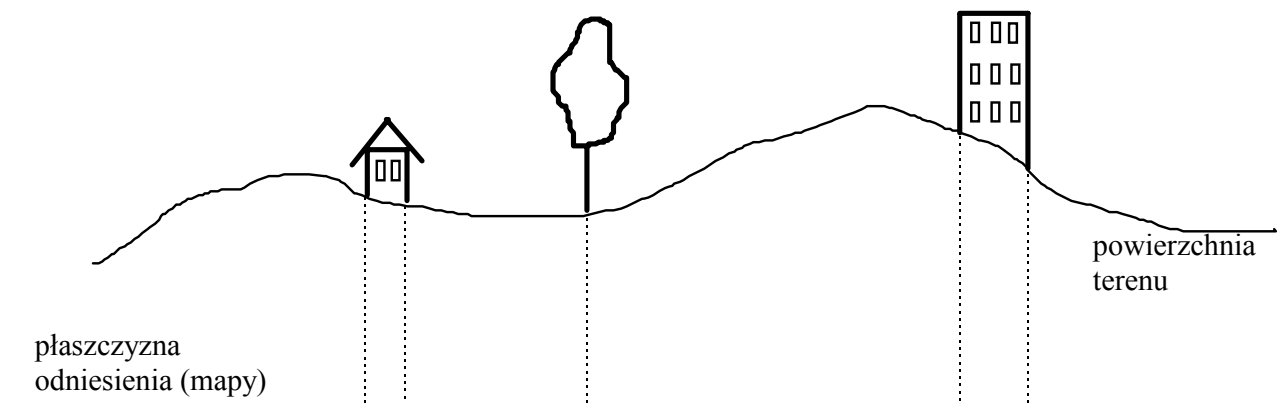
1. Mapa jako obraz terenu.

1.1 Historia

Sztuka i sporządzanie map są uprawiane co najmniej tak długo jak długo istnieje pismo. Prawdopodobnie najstarszą z zachowanych i znanych obecnie map jest gliniana tablica przedstawiająca różne obiekty geograficzne w Mezopotamii, której wiek określany jest na około 5000 lat. W czasach Arystotelesa w IV wieku p.n.e przyjęto teorię o kulistości ziemi. W II wieku p.n.e powstał system określania pozycji na podstawie długości i szerokości geograficznej oparty na podziale koła na 360°. Gwałtowne rozwinięcie się kartografii związane jest kolejno z wynalezieniem druku i jego dalszym rozwojem technik drukarskich, aż po druk kolorowy. Najważniejszymi czynnikami powodującymi rozwój współczesnej kartografii są: wynalezienie aparatu fotograficznego i rozwój lotnictwa będące podstawą rozwoju fotogrametrii.

1.2 Definicja mapy

Termin „mapa” pochodzi od łac. słowa „mappa”, które oznacza zmniejszone uogólnione przedstawienie na płaszczyźnie całości lub fragmentu powierzchni Ziemi.



Rys. 1. Mapa jako rzut ortogonalny terenu na płaszczyznę odniesienia

Mapa jest obrazem rzutu ortogonalnego terenu na wybraną płaszczyznę odniesienia.

Mapę określają poniższe cechy:

1. matematycznie określona konstrukcja - istnieje ścisła zależność między współrzędnymi geograficznymi punktów powierzchni Ziemi, a współrzędnymi prostokątnymi tych punktów na płaszczyźnie. Przejście od fizycznej powierzchni Ziemi do jej przedstawienia na płaszczyźnie polega na rzutowaniu fizycznej powierzchni na matematyczną powierzchnię Ziemi - elipsoidę obrotową, następnie przedstawienie powierzchni elipsoidy na płaszczyźnie za pomocą odwzorowań kartograficznych,
2. zastosowanie specjalnych systemów znaków kartograficznych - specjalnych symboli graficznych przedstawiających zjawiska i ich cechy. Zastosowanie znaków pozwala na:
 - bardzo duże zmniejszenie obrazu powierzchni Ziemi z jednoczesnym odtworzeniem tych obiektów, które w wyniku zmniejszenia nie dają się przedstawić w skali mapy,
 - pokazanie na mapie powierzchni Ziemi,
 - pokazanie wewnętrznych cech, podstawowych właściwości przedmiotów (np. dno morskie),
 - pokazanie rozprzestrzeniania się zjawisk (np. anomalie siły ciężkości), czy zależności niedostrzegalnych zmysłowo,
 - pomijanie nieistotnych szczegółów, uwydatnianie istotnych właściwości.
3. Wybór i uogólnienie przedstawionych zjawisk - generalizacja kartograficzna, polegająca na usuwaniu drugorzędnych obiektów terenowych oraz podkreślanie charakterystycznych właściwości obszaru w miarę zmniejszania się skali mapy.

1.3 Podział map

Ze względu na treść dzielimy mapy na:

1. ogólnogeograficzne:
2. gospodarcze
 - mapa zasadnicza *skale: 1:500 1:1 000 1:2 000 1:5 000*
 - mapa ewidencji gruntów *skale: 1:1 000 1:2 000 1:5 000*

- mapa do celów projektowych *skale: 1:250 1:500 1:1 000 1:5 000*
- 3. topograficzne *skale 1:10 000 - 1:100 000*
- 4. przeglądowo topograficzne *skale 1:100 000 - 1:1 000 000*
- 5. przeglądowe *skale mniejsze od 1:1 000 000 (zwykle 1:5mln)*
 - fizyczne *z przewagą elementów fizyczno geograficznych*
 - polityczne *z przewagą elementów społeczno-ekonomicznych.*
- 6. specjalne - podają charakterystykę jednego zjawiska pojawiającego się na powierzchni Ziemi, dzielą się ogólnie na przyrodnicze, społeczno-ekonomiczne i techniczne (lotnicze, morskie ...).

Ze względu na przeznaczenie dzielimy mapy na: komunikacyjne, wojskowe, turystyczne, samochodowe, szkolne itp..

Mapy topograficzne i przeglądowo topograficzne w zależności od skali podzielono na:

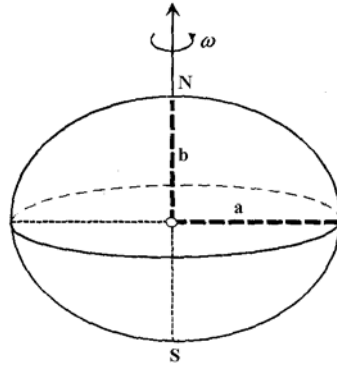
- wielkoskalowe: 1:2 000 1:5 000 1:10 000
- średnioskalowe: 1:25 000 1:50 000 1:100 000
- małoskalowe: 1:200 000 1:500 000 1:1 000 000

1.4 Układy współrzędnych

1.4.1 Określenie geoidy i elipsoidy obrotowej.

Obserwowana przez nas powierzchnia Ziemi to powierzchnia fizyczna. Jeśli idealnie gładką powierzchnię morza przeciągniemy pod kontynentami, wtedy otrzymamy powierzchnię hydrostatyczną - **geoidę**. Powierzchnia taka wykazuje nierównomierność przebiegu spowodowaną nierównomiernością rozkładu mas we wnętrzu Ziemi..

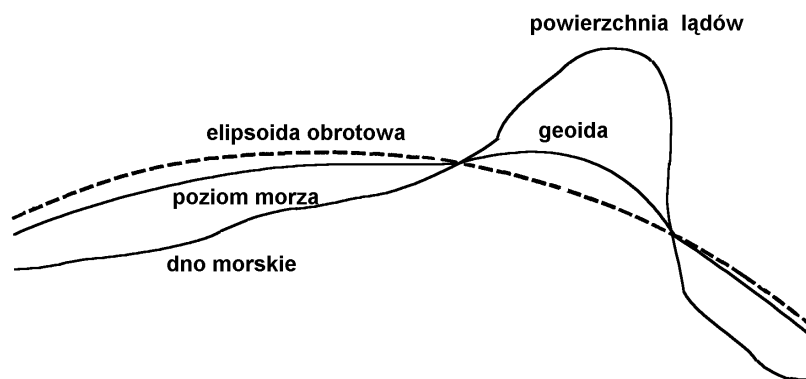
Ziemia posiada kulisty kształt. Dokładne pomiary powierzchni Ziemi wykazały, że nie jest ona regularną kulą, lecz ma kształt podobny do kuli spłaszczonej na biegunach. Figurą najbardziej zbliżoną do globu ziemskiego jest **elipsoida obrotowa**, tzn. bryła powstająca w trakcie obrotu elipsy dookoła małej osi. Elipsoida obrotowa jest bryłą jednoznacznie matematycznie określającą powierzchnię Ziemi i w najbardziej przybliżony sposób oddającą kształt Ziemi.



a, b - półosie elipsoidy

Rys. 2 Elipsoida obrotowa - figura matematyczna najbardziej zbliżona do Ziemi

Przebiegi wzajemne powierzchni geoidy i elipsoidy obrotowej różnią się między sobą. W strefie lądów elipsoida przebiega nieco poniżej geoidy, a w strefie mórz powyżej powierzchni geoidy (odchylenia nie przekraczają 100m).



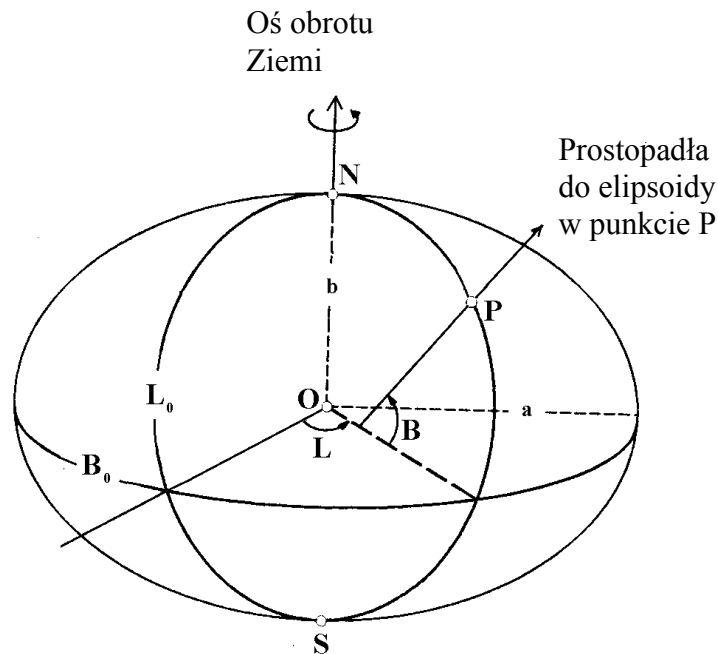
Rys. 3 Przebieg: fizycznej powierzchni Ziemi, geoidy, elipsoidy obrotowej.

1.4.2 Układ współrzędnych geodezyjnych B, L

Współrzędne geodezyjne odnosimy do powierzchni elipsoidy obrotowej. Definiowane są one tak samo jak stosowane w kartografii współrzędne geograficzne. Szerokość geodezyjna B jest to kąt jaki tworzy prostopadła do elipsoidy w punkcie P z płaszczyzną równika geodezyjnego. Równik geodezyjny jest kołem powstającym w wyniku przecięcia elipsoidy obrotowej płaszczyzną, do której oś obrotu jest prostopadła i przechodzi przez środek elipsoidy.

Długość geodezyjna natomiast jest to kąt dwuścienny pomiędzy płaszczyzną południka początkowego i płaszczyzną południka zawierającego punkt P.

Układ współrzędnych geodezyjnych stosowany jest do pomiarów odległości i określania pozycji na mapach drobnoskalowych począwszy od map topograficznych w skali 1:10 000, 1:25 000 poprzez 1:50 000, 1:100 000, 1:500 000, 1:1 000 000 itp.



Rys. 4 Układ sferycznych współrzędnych geodezyjnych

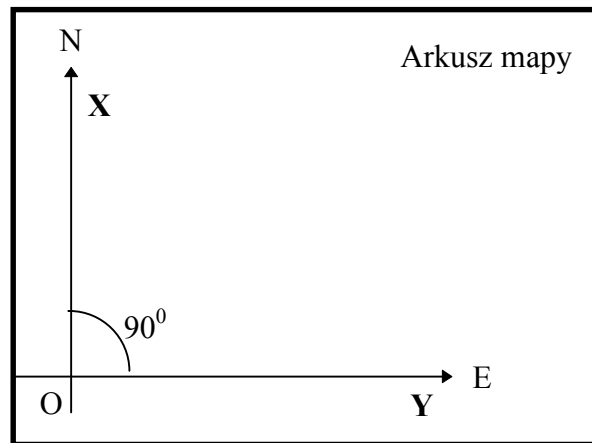
1.4.3 Układ współrzędnych prostokątnych płaskich X,Y

Geodezyjny układ współrzędnych prostokątnych płaskich X, Y wyznaczają na płaszczyźnie dwie wzajemnie prostopadłe osie. Wartości na osiach wyznaczone są w metrach. Wartości współrzędnych dla osi Y wzrastają w kierunku wschodnim, a dla osi X w kierunku północnym.

Uwaga oznaczenie osi jest odwrotne w stosunku do układu matematycznego.

Formuły geometrii płaskiej obowiązujące dla układu współrzędnych prostokątnych płaskich są znacznie prostsze od reguł geometrycznych obowiązujących dla układu współrzędnych geodezyjnych sferycznych.

Współrzędne prostokątne płaskie stosowane są na mapach wielkoskalowych. Typowe skale map dla których układ jest stosowany to skale 1:500, 1:1 000, 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 i 1:100 000.

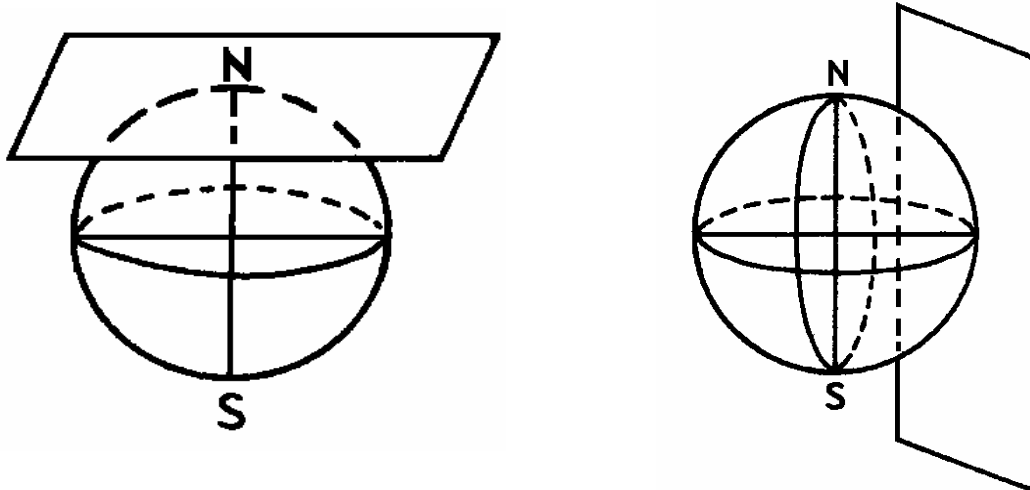


Rys 5 Układ współrzędnych prostokątnych płaskich stosowany w geodezji.

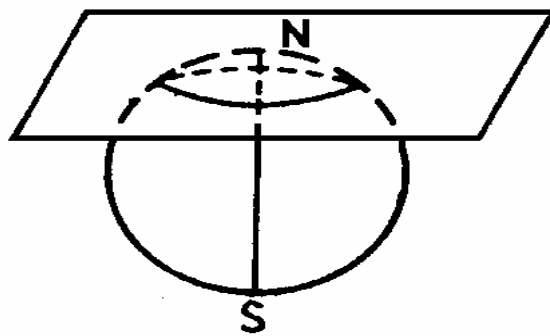
1.5 Odwzorowania

W pierwszym etapie tworzenia mapy szczegóły na powierzchni Ziemi rzutowane są na powierzchnię odniesienia. Niestety powierzchnia elipsoidy obrotowej nie jest rozwijalna, a zatem nie może być przedstawiona w prosty sposób na płaszczyźnie mapy. Aby pokazać położenie rzutu poszczególnych szczegółów na powierzchni elipsoidy rzutujemy je na powierzchnię rozwijalną np. walec, stożek lub płaszczyznę. Proces przejścia z powierzchni odniesienia (elipsoidy obrotowej) na powierzchnię rozwijalną, przy użyciu metod matematycznych uwzględniających kulistość Ziemi, nazywa się odwzorowaniem kartograficznym. Polega ono na przeliczeniu współrzędnych geodezyjnych B i L na współrzędne prostokątne płaskie X i Y .

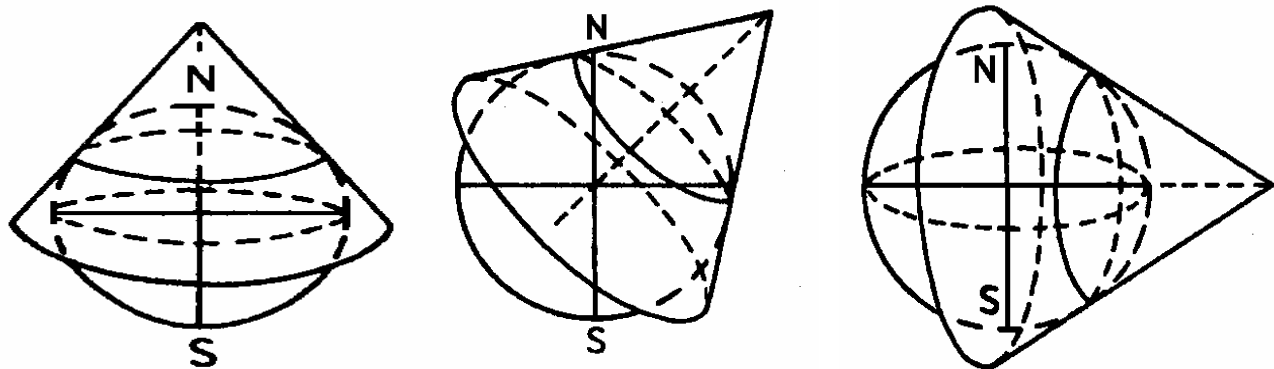
Stosuje się wiele różnorodnych odwzorowań. Na rys 6 przedstawiono przykłady niektórych z nich.



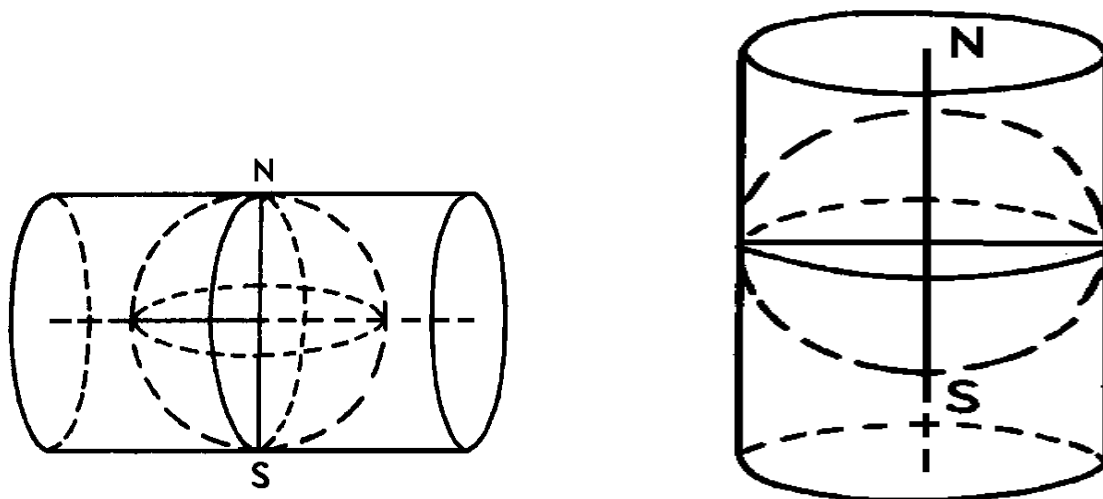
a) Rzutowanie na płaszczyznę styczną do elipsoidy



b) Rzutowanie na płaszczyznę sieczną w stosunku do elipsoidy



c) rzutowanie na powierzchnię stożka styczną do elipsoidy



d) Rzutowanie na powierzchnię walca stycznego do elipsoidy obrotowej

Rys. 6. Niektóre rodzaje odwzorowań stosowane przy opracowywaniu map.

1.6 Dokładność mapy

Dokładność obrazu przedstawionego na mapie określają instrukcje wydane przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Dla map gospodarczych (zasadnicze, ewidencyjne i do celów projektowych) błąd rysunku nie powinien przekroczyć 0.3 mm w skali mapy. Mapy topograficzne posiadają dokładność 0.5 mm w skali mapy dla skal 1:5000 i 1:10 000 oraz 0.7 mm dla skali 1:25 000 i mniejszej. Dla przykładu błąd położenia szczegółu w terenie dla mapy w skali 1:500 nie powinien być większy niż 0.15 m, w skali 1:2 000 niż 0.6 m, a w skali 1:25 000 maksymalny błąd wynosi 18.75 m.

2. Pomiar uzupełniający

Obraz terenu przedstawiony na mapie może być niepełny. Na mapie kreskowej przyczyną jest przeważnie jej nieaktualność. Ortofotomapa, ze względu na szybki proces jej produkcji

może być znacznie bardziej aktualna od mapy powstającej metodą tradycyjną. Ale ze względu na zawsze istniejący pewien odstęp czasu pomiędzy wykonaniem zdjęć, a momentem w którym korzystamy z ortofotomapy, istnieje możliwość pewnej jej deaktualizacji. Na zdjęciu lotniczym, a co za tym idzie również na ortofotomapie pewne elementy sytuacji mogą być niewidoczne z powodu zasłonięcia ich przez wyższe obiekty np. drzewa.

Aby obraz na mapie w pełni odpowiadał sytuacji w terenie należy przeprowadzić pomiar uzupełniający. Pomiar taki mogą wykonać jedynie uprawnione do tego służby geodezyjne (Ustawa z dnia 17 maja 1989 - „Prawo geodezyjne i kartograficzne” oraz Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 5 listopada 1990 w sprawie określenia rodzajów materiałów stanowiących państwowy zasób geodezyjny i kartograficzny, sposobu i trybu ich gromadzenia i wyłączenia z zasobu oraz udostępniania zasobu).

Sposób przeprowadzenia pomiaru uzupełniającego określony jest w wytycznych technicznych G-4.2 i K-1.6 opracowanych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Zgodnie z tymi instrukcjami pomiar uzupełniający należy wykonać w taki sposób, aby średni błąd położenia szczegółów terenowych pierwszej grupy dokładnościowej (budynki, elementy uzbrojenia terenu, ogrodzenia trwałe, punkty graniczne itp) względem najbliższego punktu poziomej osnowy geodezyjnej i fotogrametrycznej nie przekraczał ± 0.3 mm w skali mapy, a dla pozostałych szczegółów ± 0.6 mm w skali mapy. Sytuacyjny pomiar uzupełniający należy wykonać w oparciu o punkty:

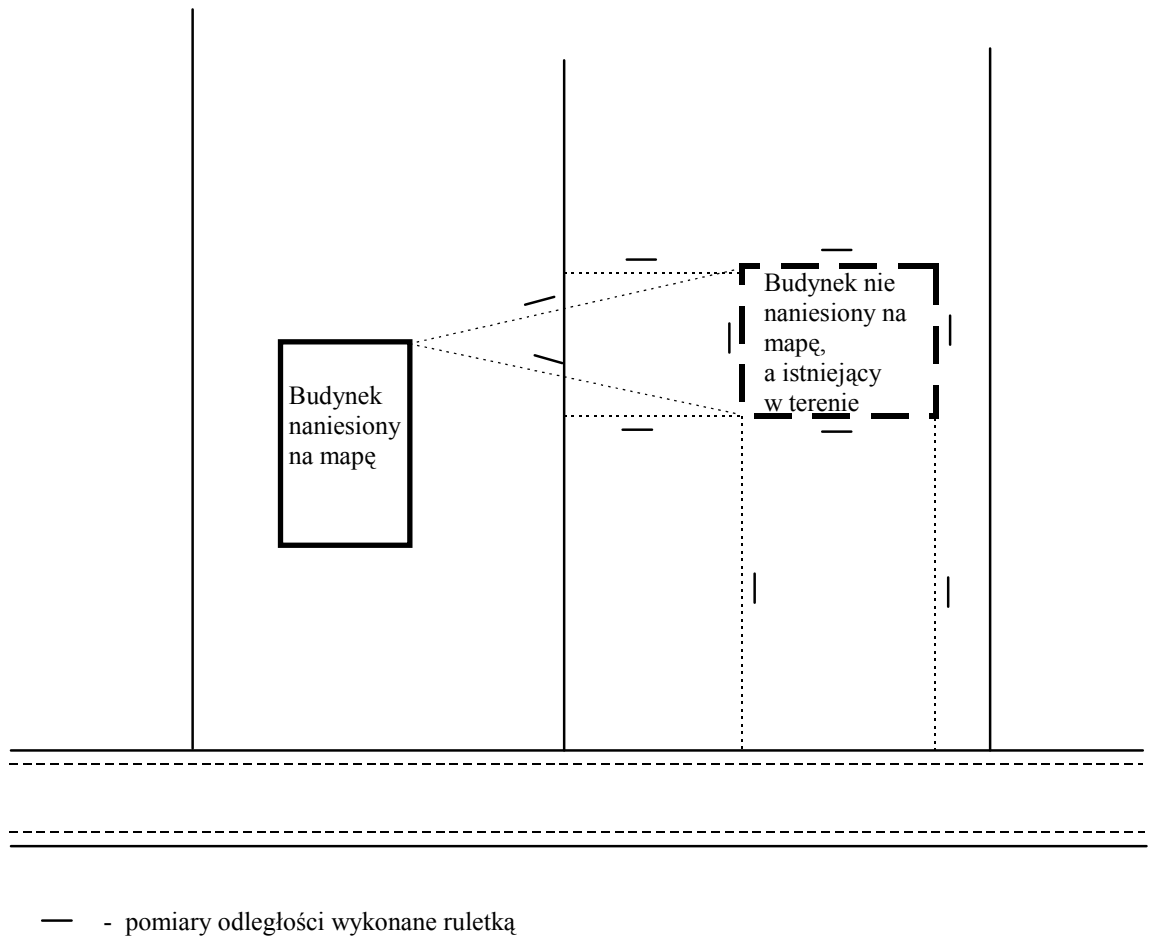
1. osnowy geodezyjnej i fotogrametrycznej oraz punkty osnowy pomiarowej,
2. szczegóły terenowe będące elementami treści mapy zasadniczej wyraźnie i ostro odfotografowane oraz zidentyfikowane w terenie,
3. szczegóły lub przedmioty terenowe nie stanowiące elementów treści mapy, a wyraźnie i ostro odfotografowane oraz zidentyfikowane w terenie.

Zidentyfikowane punkty służące jako oparcie do pomiaru szczegółów terenowych muszą spełniać następujące warunki:

1. błąd identyfikacji w terenie nie może być większy od $\frac{M}{100}$ [cm] gdzie M - mianownik skali mapy (dla mapy w skali 1:10 000 wynosi to 100 cm czyli 1 m).
2. błąd identyfikacji na ortofotomapie nie może być większy od 0.1 mm (dla skali 1:10 000 wynosi to w terenie 1.0 m)

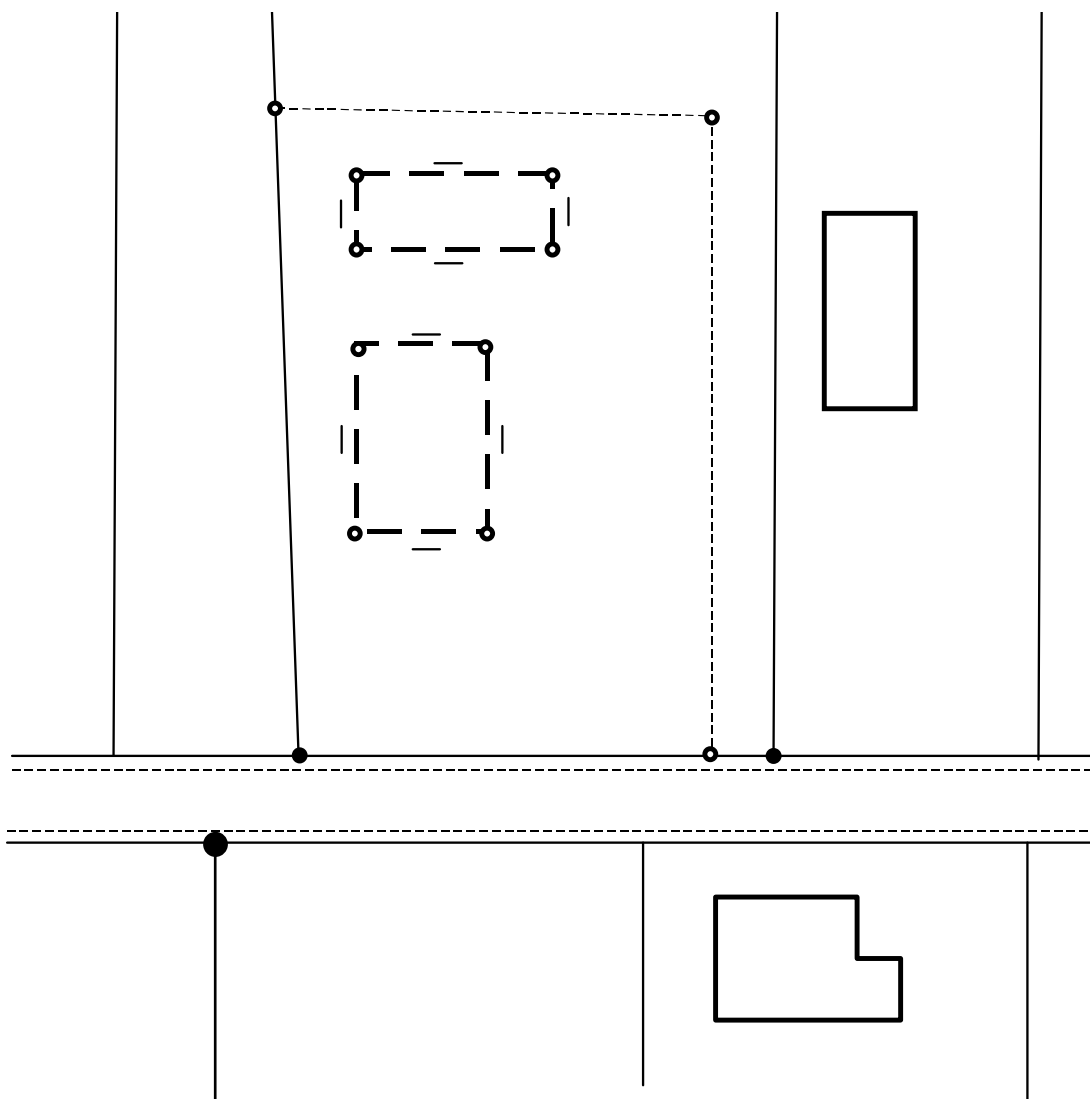
W niektórych przypadkach (dla przybliżonych lub szkicowych opracowań) użytkownik w

swoim zakresie może dokonać uproszczonego pomiaru uzupełniającego. Pomiar taki wykonać można m. in. poprzez domiary liniowe np. ruletką do zlokalizowanych na mapie elementów sytuacji (rys 6). Identyfikacja tych elementów musi być jednoznaczna, a ilość domiarów powinna być większa od minimalnej koniecznej do jednoznacznego wyznaczenia obiektu, aby możliwe było skontrolowanie poprawności pomiaru. Na rys. 7 przedstawiono przykład takiego pomiaru.



Rys. 7. Przykład określenia położenia budynku za pomocą pomiarów liniowych.

Druga metoda polega na wykorzystaniu do pomiaru odbiorników GPS. Metoda GPS umożliwia wyznaczenie współrzędnych tych punktów na których ustawiony zostanie odbiornik. Określenie w ten sposób położenia w terenie punktów charakterystycznych mierzonych obiektów umożliwia następnie naniesienie ich na uzupełnianą mapę. Przykładowy pomiar przedstawiono na rys. 8.



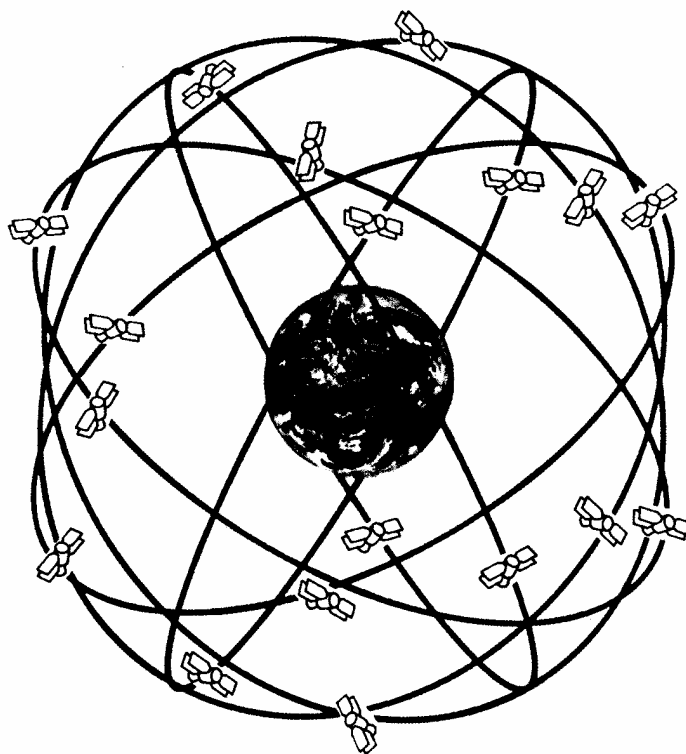
- - punkty których położenie ma być wyznaczone za pomocą pomiaru GPS
- - zidentyfikowane na mapie szczegóły terenowe wykorzystane jako punkty kontrolne pomiaru GPS
- - zidentyfikowany na mapie szczegóły terenowy wykorzystany jako punkt dostosowania pomiarów GPS
- - kontrolne pomiary odległości (wykonane np. ruletką)
- - - - - Budynek nie naniesiony jeszcze na mapę, a istniejący w terenie
- Budynek naniesiony na mapę
- - - - - Linia graniczna istniejąca w terenie, a nie naniesiona jeszcze na mapę

Rys.8. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w czasie pomiarów uzupełniających z wykorzystaniem GPS

2.1. Ogólna zasada działania GPS

Globalny system wyznaczania pozycji (Global Position System - GPS) służy do określania położenia punktu na podstawie pomiarów sygnałów nadawanych przez satelity. System ten utworzony został przez Departament Obrony USA. Pierwotnie miał służyć do dokładnej nawigacji w amerykańskiej marynarce i lotnictwie. Szybko został jednak udostępniony służbom cywilnym. Od połowy roku 1994 system działa już w pełni. Składa się on z trzech części zwanych w literaturze segmentami.

Segment kosmiczny to 24 satelity umieszczone na sześciu prawie kołowych orbitach o kącie nachylenia do płaszczyzny równika równym 55° (rys 7). Wysokość orbity nad powierzchnią ziemi wynosi około 20 200 km, natomiast okres obiegu wokół Ziemi około 12 godzin.



Rys. 9. Satelity tworzące system GPS.

Drugą ważną część systemu stanowi segment kontroli. Składa się on z pięciu naziemnych stacji śledzących, podstawowej w Colorado Springs (USA), a pozostałych na wyspach: Ascension na południowym Atlantyku, Hawaje, Diego Garcia na Oceanie Indyjskim i Kwajale-

in na zachodnim Pacyfiku. Na podstawie ciągłych obserwacji satelitów oblicza się na bieżąco parametry ich orbit oraz poprawki do zegarów satelity. Dane te przez stację podstawową przekazywane są kilka razy na dobę do pamięci komputerów pokładowych na satelitach.

Trzecia część systemu to użytkownicy GPS. Są to zarówno służby wojskowe jak i różne organizacje cywilne oraz użytkownicy indywidualni. W zależności od stosowanej aparatury oraz metody pomiaru można otrzymać położenie punktu z dokładnością od kilkudziesięciu metrów do kilku milimetrów.

2. 2. Szczegółowy opis działania systemu.

2. 2.1 Sygnały emitowane przez satelity

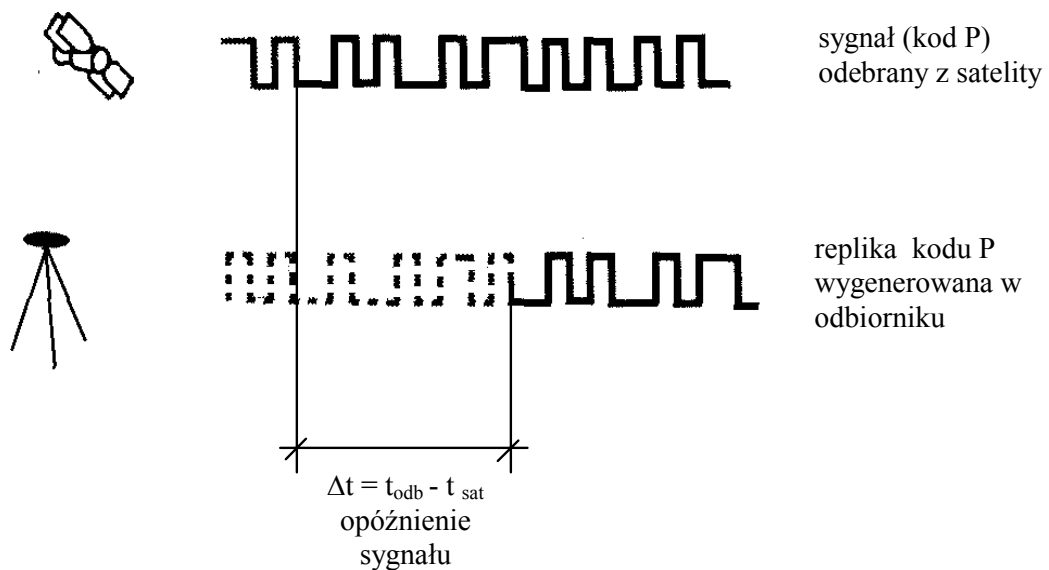
Satelity w czasie swojego ruchu po orbicie emitują sygnały na dwóch częstotliwościach: 1575.42 MHz (~ 19cm) i 1227.60 MHz (~24 cm). Sygnały te modulowane są dodatkowo pseudolosowymi kodami binarnymi (0 lub 1): C/A o częstotliwości 1.023 MHz oraz kodem P o częstotliwości 10.23 MHz. Częstotliwość 1575.42 MHz oznaczana L1 modulowana jest zarówno kodem C/A jak i kodem P. Częstotliwość 1227.60 MHz modulowana jest jedynie kodem P. Wysyłanie tych sygnałów sterowane jest superdokładnym zegarem atomowym umieszczonym na satelicie. Dodatkowo satelita przesyła tzw. depezę w której podane są różne parametry i informacje dotyczące zarówno samego satelity jak i jego orbity oraz poprawki związane z wpływem jonosfery na przesyłany sygnał.

Odbiornik sygnału GPS składa się z anteny, modułu przetwarzania sygnału, modułu operatora umożliwiającego komunikację z odbiornikiem oraz modułu zasilania. Wewnątrz odbiornika znajduje się zegar kwarcowy, który generuje sygnał identyczny jak satelity. Porównanie sygnału generowanego przez odbiornik z sygnałem odbieranym od satelity, służy do określenia czasu przebiegu sygnału, a zatem do określenia odległości od satelity. Stosowane są różne metody pomiaru czasu przebiegu sygnału, dające różne dokładności określenia położenia odbiornika..

Metoda najprostsza (tzw. pomiar bezwzględny) polega na wyznaczeniu położenia pojedynczego odbiornika za pomocą pomiaru tzw. pseudoodległości do conajmniej czterech satelitów. Dokładność uzyskanych wyników zależy od tego czy do pomiaru wykorzystuje się kod C/A czy P.

Najtańsze odbiorniki tzw. nawigacyjne wykonują pomiar częstotliwości L1 modulowanej kodem C/A. Zasada pomiaru przedstawiona została na rys.10. Wyszukuje się identyczne

fragmenty w kodzie C/A odbieranym od satelity i w kodzie replikowanym w odbiorniku. Określając opóźnienie sygnału odbieranego od satelity w stosunku do kodu replikowanego w odbiorniku otrzymuje się czas przebiegu sygnału, a zatem można wyznaczyć odległość od satelity. Ze względów ekonomicznych w odbiornikach stosuje się zegary kwarcowe znacznie mniej dokładne od stosowanych w satelitach zegarów atomowych. Aby spowodowany tym błąd pomiaru odległości nie był zbyt duży wyznacza się poprawkę do zegara odbiornika. Podstawą do wyznaczenia poprawki jest porównanie odległości od conajmniej czterech satelitów (odległości od trzech satelitów umożliwiają jednoznaczne wyznaczenie położenia punktu pomiaru natomiast dodanie czwartej odległości umożliwia wyznaczenie błędu położenia i jego usunięcie przez wprowadzenie poprawki do zegara odbiornika). Aparatura służąca do pomiarów omówioną metodą jest stosunkowo prosta, a zatem i dość tania. Niestety błąd wyznaczenia położenia odbiornika jest duży i wynosi ok. 100 m. Metoda ta stosowana jest często w nawigacji.



Rys. 10. Zasada pomiarów pseudoodległości przez określenie opóźnienia kodu P

Pomiar opóźnienia sygnału można również wykonać wykorzystując modulację fali nośnej L1 kodem P (rys 10). Pozwala to osiągnąć dokładność wyznaczenia położenia odbiornika 10-30 m. Jeżeli stosujemy tylko jeden odbiornik nie można już bardziej zwiększyć dokładności określenia położenia punktu pomiarowego.

Jednym z podstawowych problemów w pomiarach bezwzględnych są zaburzenia sygnałów satelity celowo wprowadzane przez Departament Obrony USA. Polegają one na zamianie ogólnodostępnego kodu P na tajny kod Y, zmniejszaniu dokładności parametrów orbit satelitów oraz na wprowadzaniu zniekształceń (tzw. drgań) w czasie podawawanym przez zegar atomowy satelity. Celem tych działań jest zmniejszenie dokładności pomiarów dokonywanych przez wszystkich użytkowników GPS, poza znajdującymi się w służbach wojskowych USA. Znaczący wpływ ma również dokładność określenia opóźnienia sygnału przez porównanie kodów P lub C/A. Dodatkowo sygnał w drodze od satelity do odbiornika podlega wpływom jonosfery i atmosfery ziemskiej zmieniającym czas jego przebiegu.

Wyraźne podwyższenie dokładności pomiarów osiągnąć można stosując równoczesny pomiar conajmniej dwoma odbiornikami ustawionymi w różnych punktach. Jest to tak zwana metoda różnicowa. Sygnał docierający z satelity do kilku odbiorników umieszczonych w niewielkich odległościach od siebie (do kilkudziesięciu kilometrów) jest obciążony prawie identycznymi zniekształceniami. Blisko siebie znajdujące się odbiorniki wykonują z reguły pomiar do tych samych satelitów. Oba te fakty powodują, że wyznaczone w równoczesnym pomiarze współrzędne stanowisk odbiorników obciążone są takimi samymi błędami. Przy obliczeniu różnic współrzędnych punktów pomiarowych uzyskamy więc zniesienie się większości błędów i znaczne podniesienie dokładności w stosunku do pomiaru jedynie za pomocą jednego odbiornika. Aby uzyskać dokładne współrzędne bezwzględne, a nie tylko różnice współrzędnych, conajmniej jeden z biorących udział w równoczesnym pomiarze odbiorników powinien znajdować się na punkcie o znanych współrzędnych. Taka metoda pomiaru nosi nazwę różnicowej.

Dalsze podniesienie dokładności można osiągnąć wykonując pomiar obydwu fal nośnych - L1 i L2. Umożliwia to bardzo znaczne zmniejszenie wpływu zniekształceń jonosferycznych.

Stosując omówioną powyżej metodę różnicową z pomiarem opóźnienia kodu P (czyli pomiar pseudoodległości) można osiągnąć dokładności wyznaczenia położenia odbiorników w granicach od 0.1 m do kilku m w zależności od sposobu korekcji błędów.

Zamiast pomiarów opóźnienia kodu (C/A lub P) stosuje się pomiar przesunięcia fazowego fali nośnej co daje zwiększenie dokładności określenia odległości od satelity do odbiornika.

Pomiar fazowy polega na zamianie odbieranych od satelity modulowanych fali nośnych z powrotem na fale niemodulowane, a następnie pomiar przesunięcia fazy tych fal. Otrzymany wynik daje jakby końcówkę mierzonej odległości - część długości fali (19 lub 24 cm) nato-

miast nieznana jest całkowita wielokrotność długości fali mieszcząca się w wartości odległości od satelity. W uproszczeniu wyznaczenie tej wielokrotności polega na wyznaczeniu przybliżonej odległości od satelity za pomocą opisanych uprzednio pomiarów pseudoodległości i porównywaniu odległości od kilku satelitów.

Połączenie metody fazowej pomiaru oraz równoczesnych obserwacji kilkoma odbiornikami, a także zaawansowanych metod obliczeń powoduje iż dokładność wyznaczenia położenia punktu wynosi od kilku do kilkunastu milimetrów.

Pomiar odbiornikami nawigacyjnymi (dokładność położenia punktu pomiarowego rzędu kilkudziesięciu metrów) jest szybki. Podniesienie dokładności powoduje przedłużenie czasu pomiaru. Odbiornik musi analizować wyniki pomiaru w dłuższym okresie czasu.

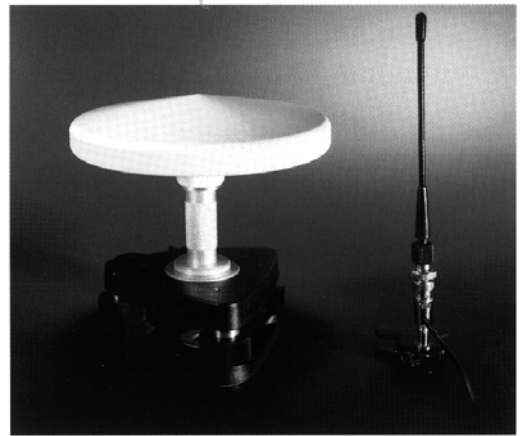
W zależności od typu stosowanych odbiorników pomiary GPS można wykonywać metodą statyczną, kinematyczną lub kombinacją obu tych metod. W metodzie statycznej kilka odbiorników wykonuje pomiar na kilku stanowiskach równocześnie. Pomiar trwa z reguły od kilkudziesięciu minut do godziny. W metodzie kinematycznej jeden odbiornik na stałe jest umieszczony na punkcie odniesienia, natomiast pozostałe odbiorniki przemieszczają się po innych punktach, z reguły zatrzymując się na kilka minut na każdym z nich, przy czym w zależności od stosowanej procedury obserwacji i obliczeń jest lub nie jest wymagana ciągła obserwacja satelitów w czasie przemieszczania odbiornika pomiędzy stanowiskami.

Pewną odmianą pomiarów kinematycznych są różnicowe pomiary GPS (w skrócie od angielskiej nazwy *Differential GPS* - DGPS). Jest to metoda określenia w czasie rzeczywistym położenia ruchomego odbiornika w stosunku do innego odbiornika zwanego stacją bazową, umieszczonego na punkcie o znanych współrzędnych. W metodzie tej wymagana jest ciągła łączność radiowa pomiędzy ruchomym odbiornikiem, a stacją bazową. Stacja bazowa prowadzi ciągle obserwacje, a ponieważ jest umieszczona na punkcie o znanych współrzędnych może wyznaczać poprawki do wyników opartych na obserwacjach satelitarnych. Uzyskane poprawki i inne dane pomiarowe są na bieżąco transmitowane przez radio do odbiornika ruchomego i w związku z tym może on w czasie rzeczywistym wyznaczać dość dokładnie swoje położenie.

Jeżeli obydwa odbiorniki wykonują pomiary kodowe to można osiągnąć dokładność ok. 1m przy odległościach pomiędzy odbiornikami do 50 km. Jeżeli odległość jest większa (do ok. 200 km.) to błąd wyznaczenia pozycji powiększa się o około 1m na 100 km. Przy zastosowaniu pomiarów fazowych metoda DGPS może dać dokładność do ok. 0.1 - 0.15 m przy odległości odbiornika ruchomego w stosunku do stacji bazowej do 30 km.



Odbiornik DGPS
jednoczęstotliwościowy
Możliwy pomiar kodowy i fazowy



Antena „geodezyjnego” (o wysokiej
dokładności pomiaru) odbiornika GPS.



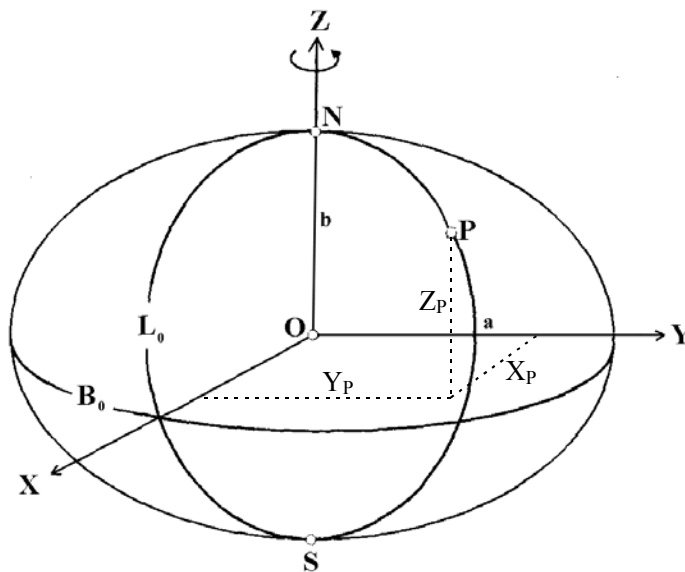
Pomiar „geodezyjnym” odbiornikiem GPS w czasie rzeczywistym

Rys. 11 Przykłady odbiorników GPS

W przypadku niemożności wyznaczenia położenia odbiornika w czasie rzeczywistym (tzn. korzystając z bezpośredniej łączności radiowej) współrzędne pomierzonych punktów określa się przeprowadzając obliczenia po zakończeniu pomiarów, na podstawie zarejestrowanych danych z odbiornika i stacji bazowej.

2.3 Układ współrzędnych GPS

Położenie punktu pomierzonego za pomocą GPS wyznaczone jest w układzie współrzędnych wspólnym dla wszystkich satelitów. Jest to kartezjański układ X, Y, Z o nazwie WGS 84 z początkiem w środku mas Ziemi. Współrzędne te muszą być przetransformowane, najpierw do układu elipsoidy odniesienia stosowanej w danym kraju, a następnie do układu związanego z odwzorowaniem w jakim sporządzane są mapy (w Polsce układy „65”, „42”, „92”, ...).



O - początek układu - środek mas Ziemi

Rys. 12 Układ współrzędnych WGS 84

3. Zagadnienie osnowy dla opracowania zdjęć fotogrametrycznych.

Opracowanie na podstawie zdjęć lotniczych map oraz ortofotomap wymaga posiadania na zdjęciu punktów odniesienia o znanych współrzędnych. Noszą one nazwę osnowy fotogrametrycznej. Z reguły na jednym stereogramie powinno znajdować się od czterech do sześciu takich punktów.

Są różne drogi uzyskania osnowy fotogrametrycznej. Z reguły przed wykonaniem zdjęć planuje się rozmieszczenie punktów osnowy i w specjalny sposób sygnalizuje je w terenie (np. krzyże malowane na arkuszach papy) przed wykonaniem zdjęć. Po wykonaniu zdjęć można wówczas łatwo zidentyfikować punkty osnowy na zdjęciach. Równocześnie wykonuje się pomiar geodezyjny w celu określenia współrzędnych tych punktów. Ponieważ sygnalizacja i pomiar terenowy dużej ilości punktów jest pracochłonny i wymaga dużych nakładów finansowych, opracowano metody kameralnego wyznaczania współrzędnych terenowych punktów nakłuwanych na zdjęciach, a nie sygnalizowanych uprzednio w terenie. Wymagana jest wówczas terenowa sygnalizacja tylko niektórych punktów osnowy stanowiących odniesienie przy kameralnych obliczeniach.

Bywa, że wykonywane są zdjęcia bez uprzedniej sygnalizacji osnowy w terenie. Jeżeli wykorzystane one będą później do opracowania mapy należy wybrać szczegóły terenowe jako punkty dostosowania. Zgodnie z wytycznymi technicznymi G-1.8, wydanymi przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii, fotopunktem naturalnym powinien być szczegół sytuacyjny wyraźnie odfotografowany oraz jednoznacznie identyfikowalny na zdjęciu, dla którego błąd identyfikacji w terenie zapewnia wymogi dokładności opracowania (np. dla map w skali 1:10 000 dokładność wyznaczenia osnowy wynosi 0.60 m).

4. Przebieg zajęć:

1. T2. Dzień 3

- Zajęcia terenowe - Weryfikacja kameralnego rozpoznania treści zdjęć.
- Zajęcia warsztatowe - Wykonanie zdjęć stereoskopowych aparatem fotograficznym.
- Wykład:
 - Mapa jako obraz terenu, układy współrzędnych, odwzorowania. Aktualizacja i

uzupełnienie treści map (ortofotomap) - zasady i sposób wykonania

- GPS - zasady działania i pomiaru
- Określanie położenia punktów osnowy fotogrametrycznej

- Zajęcia warsztatowe - Wykonanie prostego pomiaru uzupełniającego z ewentualnym wykorzystaniem GPS, wniesienie wyników pomiaru na ortofotomapę.

2. T2. Dzień 4

- Zajęcia terenowe - Terenowa weryfikacja zidentyfikowanych na zdjęciach szczegółów, wykonanie pomiaru odległości pomiędzy różnymi punktami terenowymi w celu sprawdzenia kartometryczności zdjęć lotniczych

Szczegółowy opis przebiegu zajęć terenowych

Weryfikacja kameralnego rozpoznania treści zdjęć

Zajęcia są kontynuacją tematu „Fotointerpretacja fotograficznych zdjęć lotniczych i wniesienie wyników na mapę” z pierwszego dnia drugiego tygodnia. Uczestnicy kursu dokonywali wówczas kameralnego rozpoznania stanu użytkowania terenu na podstawie zdjęć lotniczych okolic Sieradza. W czasie trzygodzinnych zajęć terenowych mają za zadanie dokonanie terenowej weryfikacji otrzymanego wówczas wyniku. Kameralne rozpoznanie treści zdjęć prowadzone było w dwuosobowych zespołach. W zespołach o takim samym składzie uczestnicy kursu wyruszają w teren. Na kalce nałożonej na zdjęcie lotnicze zaznaczają rzeczywisty stan zagospodarowania terenu. Następnie sporządzają, również na kalce, porównanie kameralnego rozpoznania ze stanem rzeczywistym. W raporcie sporządzonym po odbyciu zajęć określają na jakiej części opracowywanego obszaru dokonali prawidłowego rozpoznania, na jakiej rozpoznanie było błędne, a na jakiej stan w terenie uległ zmianie w porównaniu z momentem wykonania zdjęć. Starają się również ocenić przyczyny błędnego rozpoznania.

Wykonanie zdjęć stereoskopowych aparatem fotograficznym

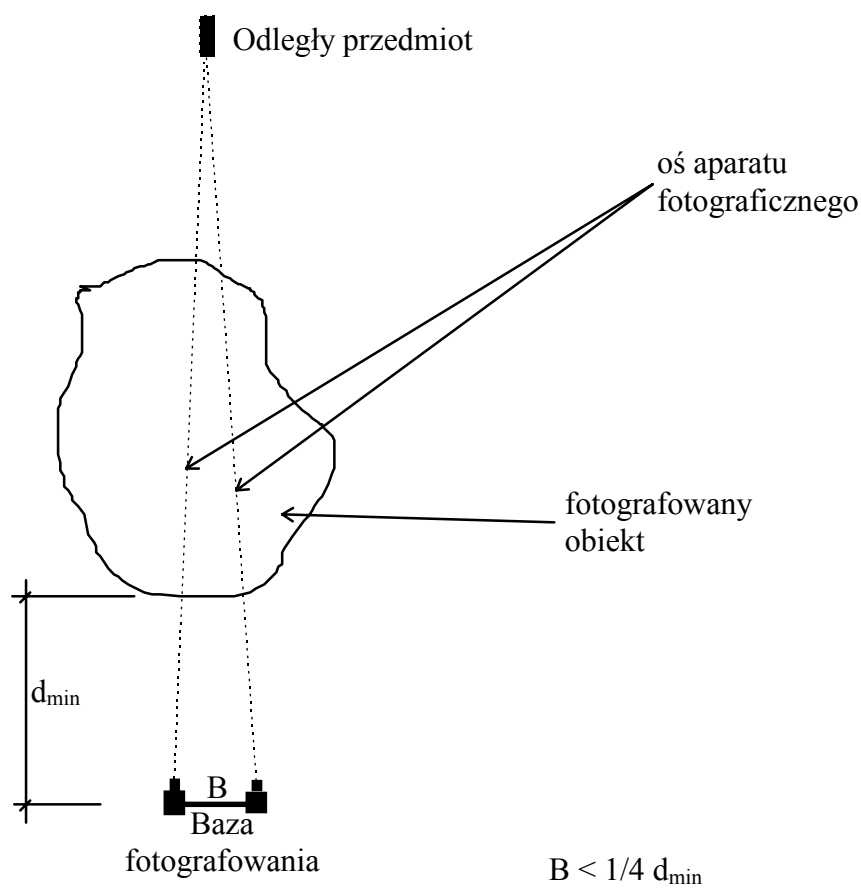
Dla uzyskania obrazu przestrzennego ukształtowania terenu wykorzystuje się stereoskopowe zdjęcia lotnicze. Ukształtowanie przestrzenne terenu można również przedstawić za pomocą stereoskopowych zdjęć naziemnych. W tym celu z dwóch końców ustalonej w terenie bazy wykonuje się zdjęcia o osiach kamer prawie równoległych do siebie. Najlepszy efekt stereoskopowy uzyskuje się gdy osie kamer są prostopadłe do bazy. W fotogrametrii naziemnej wykorzystuje się do tego celu specjalne kamery dające wysokiej jakości zdjęcia

oraz posiadające urządzenia ułatwiające ich prawidłową orientację.

Stereoskopową parę zdjęć można również wykonać zwykłym aparatem fotograficznym. Podstawowym problemem do rozwiązania jest wówczas orientacja aparatu. Jego osie w czasie fotografowania na obu końcach bazy muszą być przynajmniej w przybliżeniu równoległe do siebie. Sposób wykonania stereoskopowej pary zdjęć przedstawiono na rys. 12.

Rozpocząć należy od wybrania obiektu który będzie fotografowany i kierunku fotografowania. Następnie określamy długość bazy. Powinna ona być krótsza niż $1/4$ odległości do najbliższego rejonu fotografowanego obiektu. Najkorzystniej jest jeżeli baza wynosi od $1/20$ do $1/10$ odległości od obiektu. Stając z aparatem najpierw na jednym końcu bazy, a następnie na drugim wykonujemy zdjęcia. Prostopadłość osi aparatu do bazy, a równocześnie równoległość do siebie osi na obu stanowiskach możemy osiągnąć w następujący sposób:

1. Wybieramy odległy przedmiot który będzie stanowił punkt orientacyjny. Powinien on się znajdować w przybliżeniu na symetralnej bazy fotografowania po przeciwnej stronie fotografowanego obiektu niż baza.
2. Celujemy aparatem na wybrany punkt orientacyjny zwracając uwagę na to aby cały wybrany do fotografowania obiekt znajdował się w polu widzenia obiektywu i wykonujemy zdjęcie.
3. Przechodzimy z aparatem na drugi koniec bazy i wykonujemy drugie zdjęcie celując aparatem na daleki punkt orientacyjny tak jak na poprzednim stanowisku.



■ - Aparat fotograficzny

Rys. 13 Wykonanie zdjęć stereoskopowych zwykłym aparatem fotograficznym.

Pomiar uzupełniający dla ortofotomapy.

Temat powyższy prowadzony jest jako zajęcia warsztatowe. Ich celem jest dokonanie pokazu pomiaru uzupełniającego przeprowadzonego prostymi metodami. Odbywają się one w okolicach ośrodka szkoleniowego. Zajęcia prowadzone są w dwóch grupach, jedna pod opieką prowadzącego zajęcia, a druga pod opieką instruktora.

Pomiar uzupełniający ma następujący przebieg:

1. Dokonanie porównania treści zawartej na ortofotomapie ze stanem rzeczywistym i określenie rejonu dla którego konieczne jest przeprowadzenie pomiaru uzupełniającego.
2. Identyfikacja, na ortofotomapie i w terenie, szczegółów terenowych do których zostanie nawiązany pomiar uzupełniający. Szczegóły te powinny spełniać warunki przedstawione w rozdz. 2. czyli błąd identyfikacji na ortofotomapie nie powinien przekraczać 0.1 mm, a

w terenie $\frac{M}{100}$ cm.

3. Opracowanie projektu pomiaru i przedstawienie go na szkicu (rys. 7,8). Jeżeli domierzone obiekty leżą blisko szczegółów stanowiących odniesienie, pomiar odległości może być wykonany za pomocą ruletki. Jeśli jednak odległości te są zbyt długie do pomiaru ruletką, można zastosować pomiar dalmierzem lub za pomocą zestawu conajmniej dwóch odbiorników GPS. W zależności od skali mapy dokładność pomiaru uzupełniającego może być różna. Dokładność ortofotomapy wynosi 0.3 mm co w skali 1 : 5 000 daje 1.5 m. Zatem dla map w mniejszych skalach (1:5 000, 1:10 000, 1:25 000) potrzebne dokładności pomiaru uzupełniającego nie są zbyt wysokie. Nie jest zatem potrzebny bardzo dokładny pomiar geodezyjny i można wykorzystać tańsze zestawy GPS umożliwiające uzyskanie dokładności od 0.3 m do 1 m.
4. Wykonanie pomiaru:
 - Pomiar liniowy:
 - Pomiar wybranych odległości i wpisanie ich wartości na szkicu.
 - Po zakończeniu pomiaru i przybyciu do pracowni wniesienie wyników na ortofotomapę przez odłożenie pomierzonych w terenie odległości.
 - Pomiar za pomocą zestawu GPS.
 - Na wybranym szczególe nawiązania należy ustawić antenę jednego z odbiorników, będzie to punkt odniesienia do pomiaru pozostałych szczegółów. Jeżeli pomiar wykonywany jest zestawem DGPS to wówczas wystarczy korzystać z jednego odbiornika, drugi zastępowany jest przez stację referencyjną umieszczoną na punkcie o znanym położeniu.
 - Odbiornik „pomiarowy” przestawiany jest na kolejne punkty których położenie należy wyznaczyć. Oprócz punktów wyznaczanych należy pomierzyć kilka zidentyfikowanych szczegółów na ortofotomapie w celu zapewnienia kontroli. Czas pomiaru na jednym wyznaczanym punkcie zależy od żądanej dokładności. Jeżeli są to wartości 1 - 2 m to czas ten wynosi od jednej do kilku minut. Przy oczekiwanych dokładnościach od kilkunastu do kilku cm czas ten wydłuża się i wynosi od 15 minut nawet do jednej godziny. Pomiar GPS może zostać uzupełniony pomiarem niektórych odległości pomiędzy wyznaczanymi punktami. Mogą one po pierwsze stanowić kontrolę pomiaru, a po drugie mogą umożliwić wyznaczenie położenia niektórych punktów bez konieczności ustawiania na nich odbiornika

GPS (rys. 8). W trakcie pomiaru należy prowadzić szkic rozmieszczenia punktów pomiarowych.

- Po powrocie do pracowni należy wykonać niezbędne obliczenia. Jeżeli pomiar nie był wykonywany w czasie rzeczywistym, najpierw wyznacza się współrzędne poszczególnych mierzonych punktów w układzie geocentrycznym. Następnie oblicza się współrzędne poszczególnych punktów w układzie w jakim sporządzona jest dana mapa, korzystając z pomiaru szczegółów odniesienia lub ze współrzędnych stacji referencyjnej w przypadku pomiaru DGPS.
- Po uzyskaniu współrzędnych pomierzone punkty kartuje się na mapę i korzystając z pomocy szkicu wykonanego w terenie obraz ortofotomapy uzupełnia się brakującymi szczegółami.

Terenowa weryfikacja zidentyfikowanych na zdjęciach szczegółów

Zajęcia są kontynuacją tematu z piątego dnia pierwszego tygodnia p.t. „Proste metody odczytywania i pomiaru na zdjęciach lotniczych z wykorzystaniem stereoskopii oraz na ortofotomapie”. Uczestnicy kursu identyfikowali wówczas na zdjęciach kilka szczegółów i wykonywali pomiary odległości pomiędzy nimi. Obecnie powinni dokonać terenowej weryfikacji tych swoich działań. Przebieg zajęć jest następujący:

1. Identyfikacja wybranych uprzednio szczegółów w terenie.
2. Sprawdzenie czy szczegóły te spełniają warunki umożliwiające wykorzystanie ich jako osnowy fotogrametrycznej (rozdz. 3). Ewentualny wybór innych szczegółów które mogłyby być wykorzystane jako osnowa fotogrametryczna.
3. Pomiar odległości pomiędzy wybranymi punktami. W miarę możliwości powinny to być te same odległości które pomierzono w trakcie zajęć w pierwszym tygodniu.
4. Wykonanie raportu przedstawiającego wyniki (zał. 2)

Bibliografia:

Czarnecki K. (1994): Geodezja współczesna w zarysie; Wydawnictwo Wiedza i Życie;

Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Instrukcja techniczna „K-2 Mapy Topograficzne dla celów gospodarczych”; Warszawa;

Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Wytyczne techniczne „G-4.2 Uczytelnienie

fotogrametrycznych zdjęć lotniczych i pomiary uzupełniające dla mapy zasadniczej”; Warszawa;

Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Wytyczne techniczne „K-1.6 Mapa zasadnicza. Opracowanie pierworysu na podkładzie fotomapy lub ortofotomapy”; Warszawa;

Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Wytyczne techniczne „G-1.8 Aerotriangulacja analityczna”; Warszawa;

Załącznik 1.

Wzór raportu z zadania: Terenowa weryfikacja kameralnego rozpoznania treści zdjęć

Zespół: (imiona i nazwiska)

- Rejon opracowania:
- Powierzchnia opracowania:
- Część obszaru zinterpretowana błędnie wynosi (powierzchnia lub ilość obiektów)

.....

co stanowi % z całego weryfikowanego obszaru.

- Część obszaru która uległa zmianie w okresie pomiędzy wykonaniem zdjęć lotniczych, a terenową weryfikacją interpretacji wynosi (powierzchnia lub ilość obiektów)
- co stanowi% z całego weryfikowanego obszaru.

- Ocena przyczyn błędnej interpretacji:

Załącznik 2

Wzór raportu z zadania: Terenowa weryfikacja zidentyfikowanych na zdjęciach szczegółów

- Rejon opracowania:
- Powierzchnia opracowania:
- Ilość zidentyfikowanych na zdjęciach i terenie szczegółów
- Problemy które wystąpiły przy identyfikacji szczegółów:

.....

- Zestawienie pomierzonych odległości pomiędzy wybranymi szczegółami:

Odległość pomierzona na zdjęciu d [mm]	Odległość pomierzona w terenie D [m]	Skala zdjęcia obliczona na podstawie pomierzonych odległości 1/M = d/D	Odległość obliczona ze zdjęcia na podstawie jego średniej skali D_p = d x M_{śr} [m]	Różnica pomiędzy odległością pomierzoną w terenie, a odległością obliczoną na podstawie średniej skali zdjęcia Δ = D_p - D [m]
<u>Srednia skala zdjęcia</u> M_{śr} = Σ(M)₁ⁱ / i gdzie: i - ilość odległości na podstawie których obliczano skalę zdjęcia		M_{śr} =		