

GPS dla początkujących, część II

Milimetrowe dokładności w geodezji

ADAM ŁYSZKOWICZ

Liczni użytkownicy wykorzystują GPS do wyznaczania pozycji i zazwyczaj dokładność rzędu 30 metrów jest dla ich prac wystarczająca. Geodeci są jedynymi użytkownikami systemu, którzy domagają się pozycji z milimetrową dokładnością. Jest to możliwe tylko dzięki metodom opracowanym przez geodetów i dla geodetów.

W tym celu zostały opracowane odpowiednie procedury obserwacyjne, stosowne metody obliczeniowe, a nawet skonstruowane zostały specjalne odbiorniki GPS. Jeśli ktokolwiek chce uzyskać pozycję z milimetrową dokładnością, to musi używać geodezyjnych odbiorników GPS. Odbiorniki te oprócz elementów, jakie posiadają nawigacyjne odbiorniki GPS, wyposażone są w dodatkowe zespoły elektroniczne i dlatego są bardzo drogie.

1. Wyznaczanie pozycji metodą różnicową

W pomiarach geodezyjnych należy stosować co najmniej dwa odbiorniki, gdyż pozycja jest wyznaczana metodą różnicową (*differential positioning*). Jeśli ktokolwiek używa pojedynczego odbiornika do wyznaczenia pozycji statku, samolotu lub punktu na powierzchni ziemi, to taki sposób wyznaczania pozycji zwany jest metodą absolutną lub metodą pojedynczego punktu (*absolute* lub *point positioning*). Niestety metoda pojedynczego punktu jest mało dokładna, gdyż 95% obserwacji wykonanych tą metodą daje dokładność pozycji w granicach 100 metrów, co dla celów geodezyjnych nie jest wystarczające. Aby uzyskać milimetrowe dokładności, należy używać co najmniej dwóch odbiorników. W takiej sytuacji zamiast oddzielnej pozycji każdego z odbiorników wyznaczana jest odległość między odbiornikami (pozycje jednego odbiornika względem drugiego).

Zapewne wielu dręczy pytanie, dlaczego wyniki pomiarów GPS metodą różnicową są bardzo dokładne? Jak wiemy, każda obserwacja geodezyjna jest obciążona licznymi błędami. Wielkość tych błędów jest zmienna, a my nie umiemy określić ich w momencie obserwacji. W przypadku gdy dwa odbiorniki GPS stojące na różnych punktach (ale w niewielkiej odległości od siebie) obserwują jednocześnie, to wówczas obydwa zbiory obserwacji są obciążone prawie takimi samymi błędami. Ogromną zaletą metody różnicowej jest to, że nie wnika, czy źródłem błędów są satelity, zegary odbiorników czy też któraś z warstw atmosfery, ale



Rys. 1. Precyzyjne pomiary GPS wykonywane przez Zakład Geodezji Planetarnej CBK na punkcie sieci European Vertical Reference Network w Sanoku, maj 1997

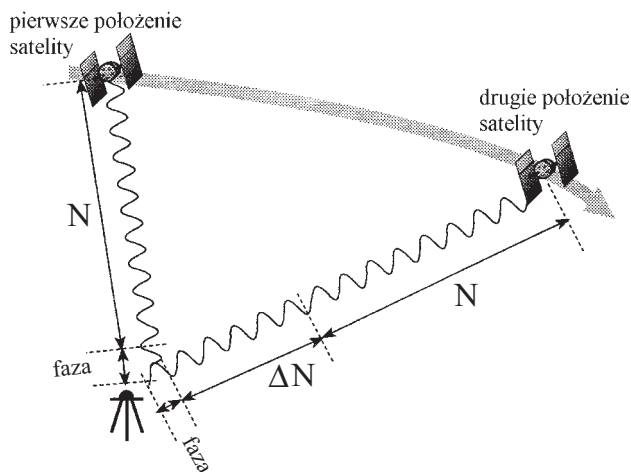
wykorzystuje fakt, że błędy w prawie ten sam sposób wpływają na oba zbiory obserwacji. Sytuacja ta jest analogiczna do znanych nam pomiarów niwelacyjnych, w których czytamy łączy wstecz i wprzód. Ponieważ każdy z odczytów obciążony jest tym samym błędem, tak więc różnica wysokości obliczona z różnicy odczytów uwolniona jest od tego błędu. Taka sama zasada eliminacji błędów stosowana jest przy pomiarach GPS.

2. Fazowe pomiary GPS

Pomiary różnicowe nie są jedyną receptą na podniesienie dokładności pomiarów GPS. Aby uzyskać milimetrowe dokładności, musimy zrezygnować z pomiaru pseudoodległości, gdyż jest on zbyt mało dokładny, i znaleźć sposób na precyzyjny pomiar odległości do satelity. W tym celu niezbędne jest dokonanie pomiaru pewnej nowej wielkości, a mianowicie fazy sygnału dochodzącego do odbiornika. Innymi słowy geodeci mie-

rzą fazy fal L1 i/lub L2 odbierane przez odbiornik. Zasada ta jest stosowana w geodezji od dawna przy pomiarze odległości dalmierzami świetlnymi.

W pomiarach GPS (rys. 2) mierzona odległość wyrażana jest przez pewną całkowitą liczbę N pełnych długości fali plus „końcówka”, czyli część długości fali. „Końcówka” ta, zwana w fachowym żargonie fazą, jest mierzona przez geodezyjne odbiorniki GPS. Przypuśćmy, że nasz odbiornik pomierzył „końcówkę” równą $3/4$ długości fali L1. Ponieważ fala L1 ma długość około 19 centymetrów, czyli pomierzona faza wynosi około 14 0 milimetrów. Ponieważ geodezyjne odbiorniki GPS są w stanie pomierzyć fazę z dokładnością 1-2%, czyli „końcówka” 140 mili-



Rys. 2. Zagadnienie nieoznaczoności pełnych cykli długości fal

metrów jest wyznaczona z dokładnością plus minusz kilku milimetrów. Odbiornik GPS bez problemu umie pomierzyć „końcówkę”. Główną trudnością tej metody jest wyznaczenie całkowitej liczby pełnych długości fal (*integer cycle ambiguity*). Pomocą w rozwiązaniu tego problemu może być podejście zastosowane w pomiarze odległości taśmą stalową. W metodzie tej sumujemy liczbę pełnych odłożeń taśmy i do tak otrzymanej wielkości dodajemy końcówkę. Przykładowo jeśli mamy 7 odłożeń 20-metrowej taśmy i końcówkę 2,34 m, to cała odległość wynosi $7 \times 20 \text{ m} + 2,34 \text{ m} = 142,34 \text{ m}$. Spróbujmy policzyć pełną liczbę odłożeń fali L1 na drodze od satelity do odbiornika GPS. Załóżmy, że w momencie początkowym (rys. 2) między satelitą a odbiornikiem GPS jest 106 000 000 pełnych długości fali L1.

W tym przypadku odległość do satelity wynosi:

„końcówka” $3/4$ długości fali	$3/4 \times 0,190 \text{ m} = 0,1425 \text{ m}$
początkowa liczba pełnych długości fali, 106 000 000	$106\ 000\ 000 \times 0,190 \text{ m} = 20\ 140\ 000 \text{ m}$
całkowita odległość	$0,1425 \text{ m} + 20\ 140\ 000 \text{ m} = 20\ 140\ 000,1425 \text{ m}$

Ponieważ satelita porusza się po orbicie, odległość między nim a odbiornikiem zmienia się. Wraz z nią zmienia się również liczba pełnych długości fali. Odbiorniki GPS są w stanie zarejestrować tę zmianę. Przykładowo przyjmijmy, że całkowita liczba pełnych długości fali między początkowym a końcowym położeniem satelity (rys. 2) wynosi 1000 długości fali L1. Tak więc całkowita odległość satelity (położenie końcowe satelity) od odbiornika GPS wyniesie:

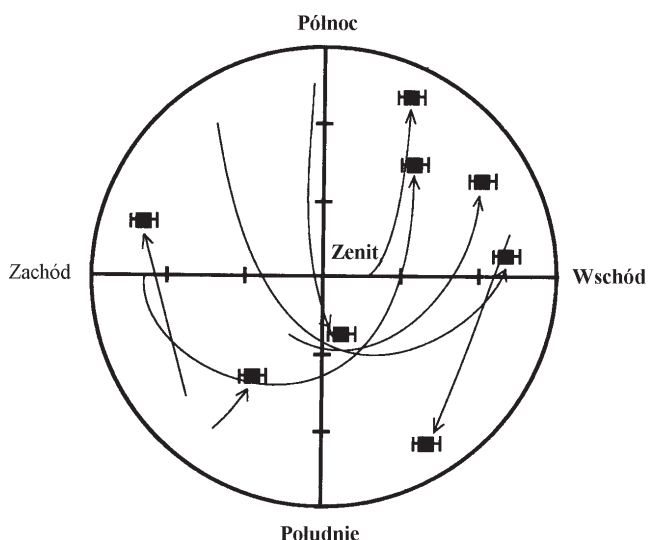
„końcówka” $1/4$ długości fali	$1/4 \times 0,190 \text{ m} = 0,0475 \text{ m}$
początkowa liczba pełnych długości fali, 106 000 000	$106\ 000\ 000 \times 0,190 \text{ m} = 20\ 140\ 000 \text{ m}$
liczba pełnych cykli policzonych przez odbiornik GPS, 1000	$1000 \times 0,190 \text{ m} = 190 \text{ m}$
całkowita odległość	$0,0475 \text{ m} + 20\ 140\ 000 \text{ m} + 190 \text{ m} = 20\ 140\ 190,0475 \text{ m}$

Przedstawiona powyżej metoda wyznaczania pozycji z pomiarów różnicowych wraz z pomiarem fazy fali umożliwia wyznaczenie odległości między punktami z dokładnością rzędu 1-10 ppm¹, co oznacza, że odcinek o długości jednego kilometra może być zmierzony z precyzją od 1 do 10 milimetrów. Taka dokładność jest całkowicie zadowalająca dla celów geodezyjnych.

3. Zakładanie sieci geodezyjnych techniką GPS

Czynności wstępne

Konfiguracja satelitów (*skyplot*) jest to wykres obrazujący rozmieszczenie i drogę satelitów systemu GPS na sklepieniu niebieskim w czasie trwania obserwacji (rys. 3). Wykres ten można otrzymać z firmowego oprogramowania. Informacje, jakie



Rys. 3. Wykres konfiguracji satelitów

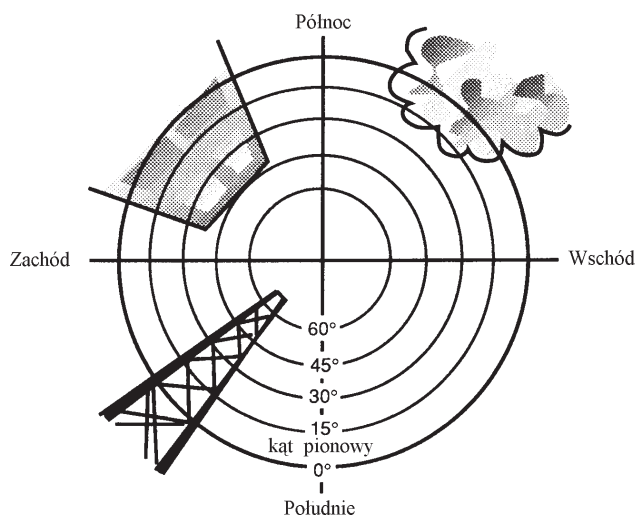
należy dostarczyć programowi, ograniczają się do: przybliżonych współrzędnych geodezyjnych punktu, przewidywanego dnia i godziny pomiaru. Dodatkowo w programie powinien być aktualny katalog pozycji satelitarnych. W przypadku gdy pomiary obejmują obszar o promieniu nie większym niż 200 km, wystarczy utworzyć tylko jeden wykres konfiguracji satelitów dla centralnego punktu sieci.

Wybór miejsca stabilizacji

Problem wyboru miejsca nowego punktu geodezyjnego mierzonego technologią GPS właściwie nie istnieje. W zasadzie punkt ten może być w tym miejscu, gdzie żyje go sobie klient. Zaletą tej technologii jest to, że planując pomiary GPS na punktach nowo zakładanej sieci nie musimy zwracać uwagi na zachowanie widoczności pomiędzy kolejnymi punktami pomiarowymi. Jedynym wymogiem dotyczącym poprawnego odbioru sygnału wysyłanego przez satelity GPS jest czysty horyzont wokół stanowi-

ska pomiarowego. Wynika to z faktu, że sygnał ten jest podobny do promieniowania słonecznego i to, co przesłania promieniowanie słoneczne, przesłania również i sygnały GPS.

Dla pomiarów GPS należy wybierać punkty terenowe, na których horyzont jest czysty powyżej 10-15°. Jeśli jednak nie jest możliwe znalezienie takiego miejsca, możemy prowadzić obserwacje z częściowo zakrytym horyzontem, odpowiednio planując okna obserwacyjne i wydłużając czas obserwacji. Obserwacji nie należy prowadzić w bezpośrednim sąsiedztwie przeszkody, gdyż na fakt przesłonięcia horyzontu nakłada się również zjawisko wieloodbicia. Przykładowo mierząc w pobliżu



Rys. 4. Szkic widoczności

jednopiętrowego budynku należy zachować minimalną odległość około 15 m. Nie należy wybierać punktu obserwacyjnego w odległości mniejszej niż 1 kilometr od przekaźnika TV czy stacji mikrofalowej. W wybranym miejscu planowanych pomiarów GPS należy sporządzić wykres widoczności horyzontu. Wykres widoczności horyzontu (rys. 4) jest szkicem przeszkód w azymucie i wysokości wokół wybranego punktu.

Sporządzając wykres widoczności w tej samej skali, co wykres konfiguracji satelitów, lub nawet rysując przeszkody na kopii wykresu satelitów można stwierdzić, które z satelitów znikną z naszego pola widzenia, a tym samym można określić najkorzystniejszy czas obserwacji GPS na danym punkcie. Zbyt dużo przeszkód terenowych czyni punkt pomiarowy bezwartościowym. Jeśli mimo to musisz wykonać na nim obserwacje GPS, to w tej sytuacji należy wybrać ekscentr, który powinien być połączony z punktem poprzez klasyczny pomiar. Należy pamiętać, że współrzędne punktu będą tak dokładne, jak dokładny będzie klasyczny pomiar elementów ekscentru.

Wielotorowość

Brak w horyzoncie istotnych przeszkód terenowych nie gwarantuje wysokiej jakości obserwacji GPS, jeśli na punkcie występuje zjawisko interferencji fal. Interferencja sygnałów GPS zwana wielotorowością jest spowodowana jednoczesnym odbiorem przez instrument bezpośredniego sygnału od satelity i sygnałów odbitych². W zasadzie dosyć trudno ocenić występowanie lub brak wielotorowości podczas wywiadu terenowego. Zjawisko to można zaobserwować w trakcie wykonywania obserwacji na miejscu i podczas dalszego ich opracowywania. W przypadku gdy zjawisko to występuje w nasilonej postaci, odbiornik nie jest w stanie dostroić się do satelitów. Aby uniknąć wielotorowości, należy zwracać uwagę w czasie wywiadu na występowanie

ewentualnych powierzchni metalowych takich jak paraboliczne anteny radiowe czy długie ogrodzenia z blachy falistej. Jeśli nie ma innej możliwości i musisz wykonać obserwacje na punkcie, gdzie występuje wielotorowość, nie trzeba się załamywać, gdyż nie wszystkie obserwacje będą słabe. Wielotorowość występuje zazwyczaj przy ułożeniu satelitów w pewnej części sklepienia niebieskiego. Tak więc gdy na punkcie stwierdzisz wielotorowość, obserwuj dłużej, niż planowałeś. W ten sposób zwiększasz szansę pozyskania obserwacji nie obciążonych błędami z niej wynikającymi.

Jest zasadą, że w przypadku gdy odległość między mierzonymi punktami nie przekracza 20 kilometrów, wówczas do pomiaru można używać odbiorników jednoczesnościowych. Dwuczesnościowe odbiorniki należy stosować, gdy zależy nam na milimetrowych dokładnościach, w przypadku geodezyjnych pomiarów dużych odległości lub gdy korzysta się z nowych szybkich technologii (*rapid static surveying*).

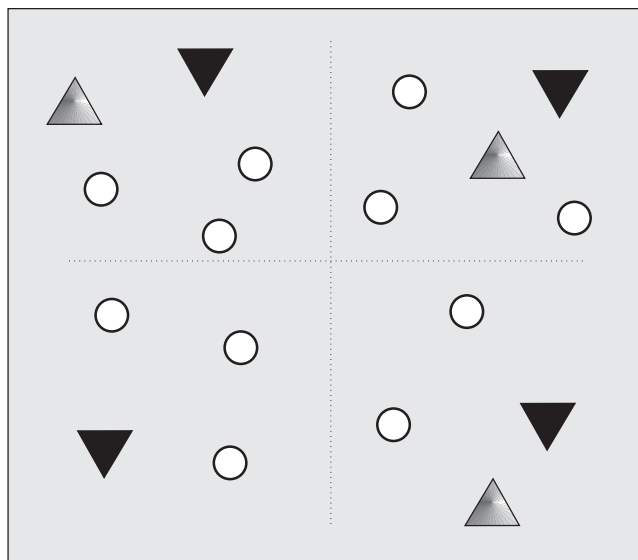
Do pomiaru należy używać odbiorników tej samej firmy i tego samego typu. Jednoczesne użycie odbiorników różnych producentów lub tego samego producenta, lecz różnych typów jest zabronione, chyba że jest to świadoma działalność.

Projektowanie sieci GPS

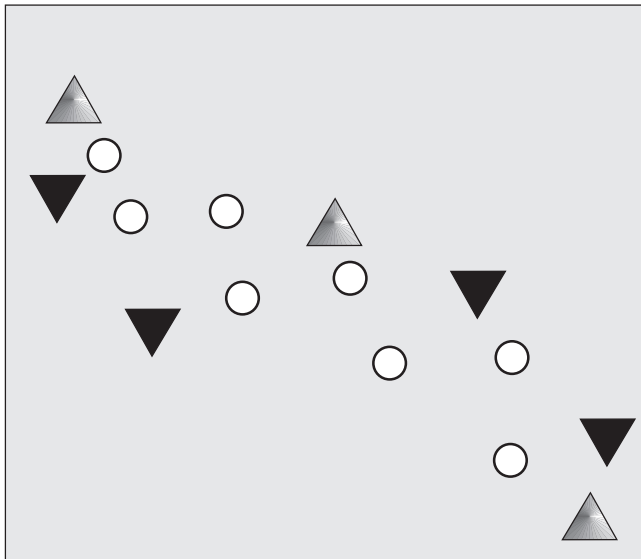
Projektowanie sieci GPS nie jest trudnym zadaniem. Jednak aby osiągnąć zamierzoną dokładność, należy przestrzegać pewnych reguł. Przystępując do projektowania sieci należy wykonać szkic sieci, na którym przedstawione będą zarówno punkty wyznaczane, jak i punkty nawiazania. Ponieważ odległości między punktami odgrywają istotną rolę, szkic powinien być w skali. W niniejszej pracy przyjęliśmy następujące oznaczenia: ▲ istniejące punkty sieci poziomej, ▼ istniejące punkty sieci pionowej, ○ projektowane punkty sieci GPS. Zasady podane poniżej są zasadami ogólnymi i nie wyczerpują wszystkich możliwości, z jakimi możemy spotkać się w praktyce. Jak wiadomo, każda sytuacja jest inna i wymaga indywidualnego podejścia.

Punkty nawiazania sieci poziomej

Niezależnie od stosowanej technologii pomiarów GPS konieczne jest dowiązanie pomiarów nowej sieci do istniejącej sieci państwowej. Dowiązanie to jest realizowane po-



Rys. 5. Metoda kwadratów wyznaczania punktów bazowych sieci poziomej i wysokościowej



Rys. 6. Punkty bazowe w sieci wydłużonej

przez pomiar wektorów między nowymi a istniejącymi (bazowymi) punktami. Współrzędne nowych punktów dowiązujemy zarówno do sieci poziomej, jak i wysokościowej (reperów).

Przyjmuje się, że dla poprawnego wyrównania sieci o średnich wymiarach konieczne jest oparcie się na minimum trzech punktach osnowy poziomej. Im większa jest sieć, tym większa powinna być liczba punktów nawiązania. Umożliwia to zlokalizowanie ewentualnych błędów punktów sieci nawiąza-

nia. Jednym ze sposobów wyznaczenia położenia i liczby punktów nawiązania poziomego sieci GPS jest metoda podana w Trimble, 1992.

Mając naniesione na mapie położenia nowych punktów należy poprzez środek sieci poprowadzić linię południkową i równoleżnikową (rys. 5). Powstaną w ten sposób cztery sektory. Punkty nawiązania (bazowe) należy wybrać w co najmniej trzech sektorach w ten sposób, aby każdy z punktów bazowych był wewnątrz lub na zewnątrz projektowanej sieci. Odległość nowego punktu do dowolnego punktu bazowego nie powinna przekraczać 60 km, a odległość między granicami sieci a najdalszym zewnętrznym punktem bazowym nie powinna przekroczyć 40 km.

W przypadku sieci wydłużonych (szlaki komunikacyjne) punkty bazowe powinny być umieszczone na obu końcach poligonu. Trzeci punkt bazowy powinien być umieszczony mniej więcej w środku (rys. 6). W tym przypadku odległości między punktami bazowymi nie powinny być większe niż 60 km.

Punkty nawiązania sieci pionowej

Wysokości normalne państwowej sieci niwelacyjnej nie powinny być utożsamiane z wysokościami otrzymywanymi z pomiarów GPS. Wysokości GPS są wysokościami odniesionymi do geocentrycznej elipsoidy³, podczas gdy niwelacja jest odniesiona do średniego poziomu morza, czyli do geoidy (quasigeoidy). Różnice między elipsoidą GRS80 a geoidą na obszarze Polski wahają się w granicach 45-35 m.

Z niwelacji geometrycznej otrzymujemy różnice wysokości ponad quasigeoidą między dwoma punktami, podczas gdy z pomiarów GPS otrzymujemy różnicę wysokości ponad elipsoidą (rys. 7).

str. 28

MOŻESZ NAS WYBRAĆ W CIEMNO!

WIELKA PROMOCJA FIRMY

PENTAX

Ostatnie tygodnie promocji!



Niwelator samopoziomujący AL-180

795,-

dokładność 2,5 mm/km



Niwelator samopoziomujący AI-240

1349,-

dokładność 2,0 mm/km



Niwelator samoogniskujący AFL-240

1695,-

dokładność 2,0 mm/km

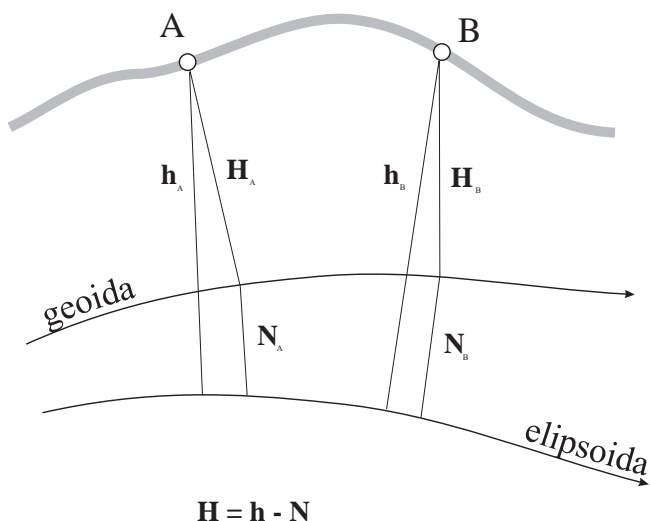


GEOPRYZMAT

wyłączny przedstawiciel firmy **PENTAX**

05-090 RASZYN, ul. Mieszka I-go 49
tel./fax (022) 720 28 44, tel. 0-601 34 71 34

GWARANCJA 2 LATA
SERWIS GWARANCYJNY I POGWARANCYJNY



Rys. 7. Wysokości nad średnim poziomem morza a wysokości eliipsoidalne

Wyobraźmy sobie, że wykonaliśmy obserwacje GPS na dwóch różnych reperach i obliczyliśmy ich wysokości eliipsoidalne.

zaobserwowana różnica wysokości eliipsoidalnych (z A na B)	20,23 m
--	---------

Z katalogu otrzymaliśmy wysokości normalne reperów:

wysokość normalna reperu A	123,54 m
wysokość normalna reperu B	145,87 m

Jeśli do wysokości normalnej reperu A dodamy różnicę wysokości eliipsoidalnych 20,23 m, otrzymamy wysokość reperu B równą 143,77 m. Wysokość reperu B obliczona z pomiarów GPS wykazuje błąd rzędu 2,10 m. Błąd ten spowodowany jest zaniedbaniem odstępów quasigeoidy od elipsoidy⁴.

W przypadku sieci o rozmiarach rzędu 10 x 10 km minimalna liczba reperów (punktów wysokościowych) nie powinna być mniejsza od czterech. Im większa sieć, tym większa liczba reperów powinna być do niej włączona.

Repery należy wybrać w każdym sektorze sieci (rys. 5). Każdy z reperów powinien być w granicach lub tuż poza granicami sieci. W przypadku dużych sieci (100 x 100 km) repery powinny znajdować się w granicach sieci najlepiej w odstępach około 10 km. W przypadku sieci wydłużonej (poligonu) o długości do 15 km repery wybieramy po obu jej stronach i na obu jej końcach (rys. 6). Również i w tym przypadku minimalna liczba reperów równa się czterem. Dla bardzo długich sieci tego typu repery należy wybierać co 10 km i tak, aby odległości reperu do punktu wyznaczanego nie przekraczała 5 km. Należy unikać sytuacji, gdy wszystkie repery leżą na jednej prostej.

Dane dotyczące odległości między punktami wyznaczanymi a punktami bazowymi i reperami dotyczą pomiarów statycznych. W przypadku szybkich technologii (*fast static*), pseudo-statycznych i kinematycznych pomiary należy prowadzić w promieniu 10 kilometrów od punktu bazowego.

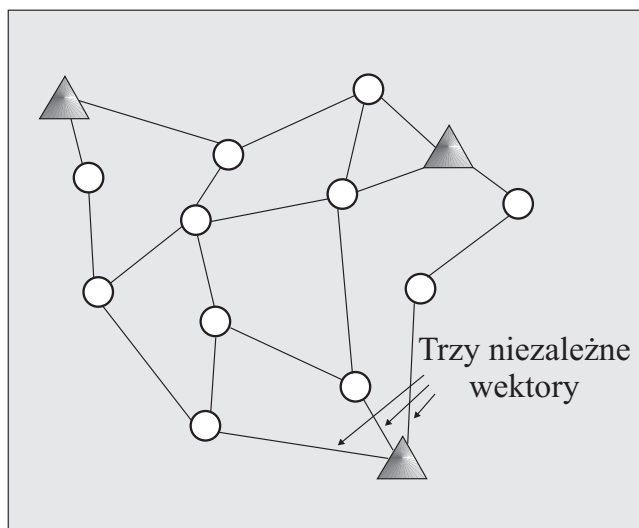
Zasady tworzenia wektorów

Podstawowym elementem, jaki jest mierzony w geodezyjnej sieci metodą GPS, jest odległość między punktami w przestrzeni trójwymiarowej⁵, często w potocznym żargonie zwana trójwymiarowym wektorem. Sieć jest jednoznacznie zdefiniowana, jeśli wszystkie

niezbędne odległości między punktami sieci są pomierzone. W celu poprawnego wyrównania sieci, wykrycia ewentualnych błędów grubych i oceny dokładności uzyskanych wyników konieczna jest pewna liczba wektorów nadliczbowych, co przy planowaniu pomiaru sieci musi być uwzględnione. Wiadomo, że im dłuższy wektor, tym większy jest błąd absolutny jego wyznaczenia. Dlatego też w celu uzyskania wyższej dokładności sieci należy unikać długich wektorów (ponad 30 km), a preferować krótkie odległości rzędu 5-15 km.

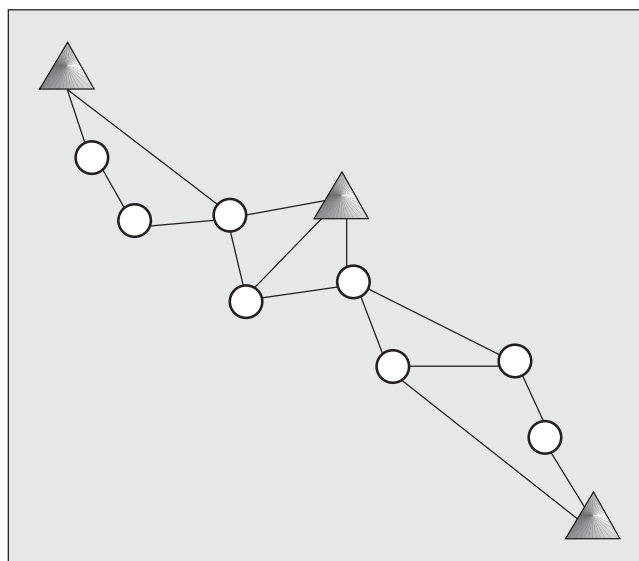
Obserwacje nadliczbowe

Zaufanie do uzyskanych wyników (współrzędnych nowych punktów) zależy od liczby obserwacji nadliczbowych. Punkty leżące w granicach 5 km powinny być wzajemnie powiązane. Należy unikać długich łańcuchów nie posiadających bocznych nawiązań. Co trzeci punkt powinien mieć zaobserwowane co najmniej



Rys. 8. Powierzchniowa sieć wektorowa

trzy wektory. W sieciach wydłużonych powinniśmy mieć jak najwięcej obserwacji nadliczbowych, lecz jest to trudne do osiągnięcia w praktyce. Jako zasadę przyjmuje się, że każdy punkt powinien być zdefiniowany przez dwa niezależne wektory.



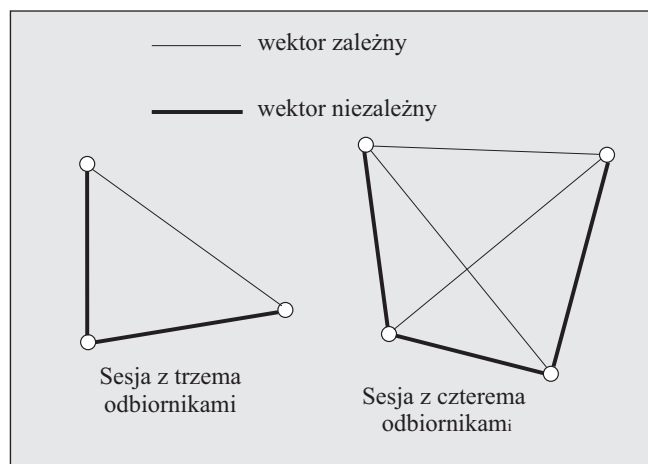
Rys. 9. Wektory w sieci poligonowej

Zamknięcia oczek

Tak projektuj nową sieć, aby składała się ze znacznej liczby małych oczek. Oczko sieci powinno składać się z nie więcej niż ośmiu wektorów (rys. 8, 9). Umożliwi to łatwą kontrolę poprawności wektorów na podstawie odchyłki zamknięć sumy przyrostów współrzędnych. Zamknięcia oczek nie powinny być liczone z wektorów obserwowanych w tych samych sesjach.

Niezależne i zależne wektory

Trzy odbiorniki GPS obserwujące jednocześnie na trzech punktach dostarczają dwa niezależne i jeden zależny wektor. Cztery odbiorniki GPS obserwujące jednocześnie na czterech punktach dostarczają trzy niezależne i trzy zależ-



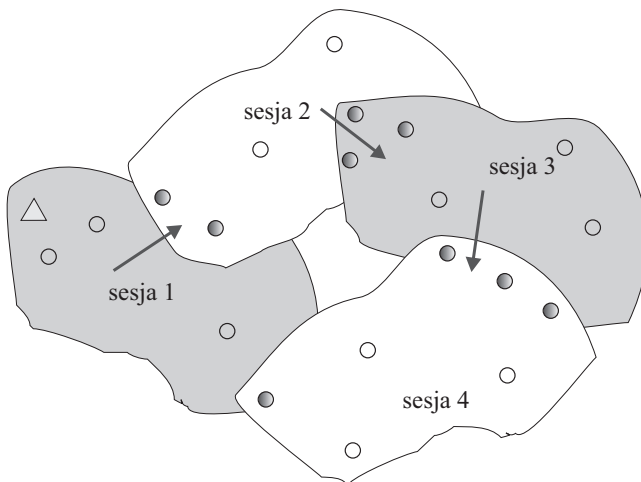
Rys. 10. Niezależna i zależne wektory w sesji pomiarowej z trzema i czterema odbiornikami

ne wektory (rys.10). Wektor zależny jest kombinacją obserwacji niezależnych wektorów i nie wnosi do procesu wyznaczania punktów żadnych nowych informacji.

Wyboru niezależnych wektorów możesz dokonać sam lub skorzystać z firmowego oprogramowania, np. procedura TRIMMBP firmy TRIMBLE, która niezależne wektory tworzy z najkrótszych odległości.

Planowanie sesji pomiarowej

Przez sesję pomiarową rozumiemy przedział czasu, w którym dwa lub kilka odbiorników GPS gromadzi jednocześnie dane satelitarne. Moment rozpoczęcia sesji zależy od wielu czynników, między innymi od liczby dostępnych satelitów. Długość sesji zależy od potrzeb. Im dłuższy jest wektor i im wyższa dokładność wyznaczenia punktu jest wymagana, tym więcej danych satelitarnych należy zgromadzić i tym dłuższa musi być sesja obserwacyjna. W przypadku krótkich linii (poniżej 10 km) długość sesji 45 minut zazwyczaj jest wystarczająca. Linie o średniej długości (około 10 km) należy obserwować 1 godzinę, podczas gdy linie ponad 20 km należy obserwować 1,5 godziny lub dłużej. Długość sesji zależy też od liczby widzialnych satelitów. Jednogodzinną sesję z czterema satelitami można skrócić do 45 minut, jeśli sześć satelitów jest nad horyzontem. Jako ogólną zasadę można przyjąć, że im większa liczba satelitów jest obserwowana, tym większa jest dokładność wyznaczonego wektora.



Rys. 11. Łączenie kolejnych sesji pomiarowych

Chociaż większość odbiorników GPS obserwuje satelity w sposób ciągły, to zapis obserwacji dokonywany jest w ustalonych interwałach czasu. Przy statycznych pomiarach zazwyczaj jest praktykowany interwał czasu (*data sampling rate*) 15, 30 lub 60 sekund. Oczywiście wszystkie odbiorniki biorące udział w kampanii muszą mieć ustawiony ten sam interwał czasu.

Kolejne sesje pomiarowe muszą być ze sobą połączone. Obserwacje GPS należy rozpocząć od znanego punktu osnowy i przesuwać się do przodu łącząc kolejne sesje (rys. 11).

Sesje łączymy poprzez punkty wspólne, czyli przez punkty, na których wykonano obserwacje w dwóch lub więcej sesjach. Minimalna liczba punktów wspólnych wynosi jeden, ale jest to ryzykowne nawiązanie. Proponuje się stosować co najmniej dwa punkty wspólne, gdyż wówczas mamy zapewnioną kontrolę nawiązania.

4. Podsumowanie

W celu otrzymania milimetrowej dokładności należy korzystać z geodezyjnych odbiorników GPS. Należy obserwować fazę wtrybie różnicowym. Wspaniała technika GPS nie zwalnia nas z obowiązku zebrania odpowiednich materiałów kartograficznych i przeprowadzenia wywiadu terenowego. Do pomiaru sieci należy używać trzech lub czterech odbiorników. Pomiar rozpoczyna się na znanym punkcie osnowy poziomej. Poszczególne sesje łączy się trzema lub czterema punktami kontrolnymi. Należy starać się obserwować jak najkrótsze wektory.

Przestrzegając powyższych zasad nie powinno się mieć kłopotu z dalszymi etapami, tj. z opracowaniem danych GPS i transformacją wyników dożądanego układu odniesienia.

¹ ppm (part per million) = 10^{-6}

² Zjawisko to znane jest w geodezji od dawna i występuje przy pomiarach odległości dalmierzami mikrofalowymi.

³ Elipsoidy GRS80 (Geodetic Reference System 1980) zwanej również elipsoidą WGS84

⁴ Zagadnienie to zostanie szczegółowo omówione w osobnej publikacji.

⁵ Sytuacja jest analogiczna do pomiaru odległości dalmierzem świetlnym, z tym że w przypadku pomiaru techniką GPS można mierzyć znacznie większe odległości i nie jest wymagana bezpośrednia widoczność między punktami.

Literatura:

Trimble, 1992, Surveyor's field guide