

JAK RACHOWAĆ POMIARY GPS?

Czy współrzędne w układzie 2000 wyznaczone w serwisach systemu ASG-EUPOS należy traktować jako ostateczne? Czy też powinny być one, mimo wszystko, przedmiotem finalnego wpasowania w lokalną osnowę geodezyjną?

ROMAN KADAJ

Może na wstępie warto nawiązać do istoty naszej profesji, uznając, że geodezja zajmuje się metrycznym ujmowaniem rzeczy (obiektów materialnych) lub zjawisk (zmian strukturalnych) w fizycznej przestrzeni Ziemi. A więc niezależnie od aktualnych technik mierzenia, rachowania (przetwarzania) czy porządkowania informacji przestrzennych – status i cele geodezji jako nauki i techniki pozostają niezmiennie.

Elementarnym zadaniem geodezyjnym jest pozycjonowanie (określanie położenia), a to wiąże się z fundamentalnym pojęciem układu odniesienia jako „zakotwiczonej” do fizycznej Ziemi przestrzeni matematycznej (układu współrzędnych). Powiązanie jakiegoś umownego układu współrzędnych z fizyczną Ziemią dokonuje się poprzez punkty osnów geodezyjnych (zwłaszcza lokalnie), a na wyższym poziomie (globalnie, kontynentalnie, regionalnie) – przez permanentne stacje obserwacyjne kontrolujące także stałość układu matematycznego względem Ziemi.

Podanie samych współrzędnych punktu nie daje jeszcze kompletnej informacji o jego położeniu, bo musimy dodać,

w jakim układzie odniesienia są one wyrażone. Przykładowo, niepełna jest informacja, że współrzędne geodezyjne punktu wynoszą:

$$B = 52^{\circ} 00' 00,0000'',$$

$$L = 19^{\circ} 00' 00,0000'',$$

$H = 100,000$ m (wysokość elipsoidalna).

Jeśli założymy, że jest to pozycja określona w układzie ETRF'89 na epokę '89 (dla elipsoidy GRS-80/WGS-84), to ten sam fizyczny punkt przestrzeni Ziemi w układzie Pułkowo'42 (z elipsoidą Krasowskiego) zrealizowanym ongiś w obszarze Polski miałyby współrzędne:

$$B = 52^{\circ} 00' 01,0899'',$$

$$L = 19^{\circ} 00' 06,5384'',$$

$$H = 65,716$$
 m.

• OSNOWA

Układy odniesienia opierają się na wiedzy o kształcie i polach fizycznych Ziemi, jej modelach matematyczno-fizycznych, ruchu obrotowym, teorii odwzorowań, teorii i technikach pomiarowych (w tym metodach statystyczno-numerycznych opracowań wyników pomiarów) i wreszcie o bardzo ważnej metodologii osnów geodezyjnych. Profesor Czesław Kamela mawiał nawet, że tam, gdzie nie ma osnowy, nie ma też geodezji.

Istotnie, jeśli mowa o układzie odniesienia, mamy na myśli nie tylko jakiś matema-

tyczny układ współrzędnych, lecz także jego fizyczną realizację przez punkty osnów geodezyjnych. Ponieważ punkty osnów w sieciach różnych klas nie są wyznaczone bezbłędnie, zatem układ odniesienia może charakteryzować się różną dokładnością lokalną jego zrealizowania (możemy sobie wyobrazić idealną powierzchnię materialną, która została pomarszczona, czyli zdeformowana poprzez niedokładne wielopunktowe „przymocowanie” do jakiegoś podłoża). Z kolei te „nieidealne” punkty osnowy stają się podstawą pomiarów szczegółowych i przenoszą swoje błędy na produkt końcowy (mapę).

Bardzo dobrze ilustruje powyższe cechy relacja pomiędzy faktycznie (empirycznie, osnowowo) zrealizowanym układem 1965 a jego teoretycznym (matematycznym, definicyjnym) odpowiednikiem. Weźmy pojedynczy punkt osnowy II klasy, który w układach kartograficznych 1992 i 2000 (współrzędne pomiędzy nimi mają związek czysto matematyczny) nowego już systemu odniesień ma określone współrzędne:

$$x_{1992} = 201\,691,769,$$

$$y_{1992} = 737\,304,919,$$

$$x_{2000/21} = 5\,500\,724,636,$$

$$y_{2000/21} = 7\,593\,012,187.$$

Ten sam punkt w układzie 1965/1 ma współrzędne katalogowe (faktyczne):

$$x_{1965/1} = 5\,357\,734,300,$$

$$y_{1965/1} = 4\,24\,111,210,$$

gdymczasem w świetle wzorów teoretycznych (projektowanych) układu 1965- winien mieć współrzędne:

$$x_{1965/1} = 5\,357\,734,501,$$

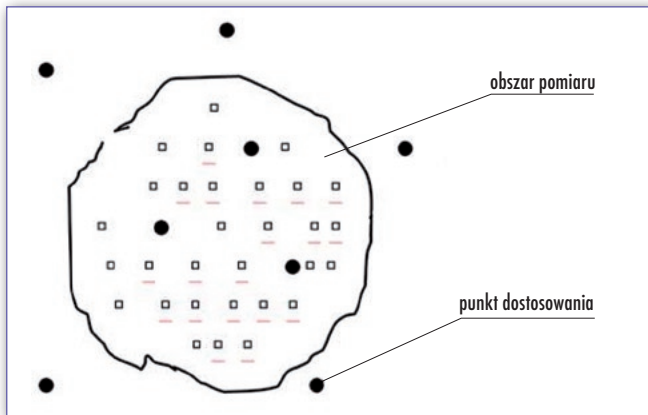
$$y_{1965/1} = 4\,724\,111,620.$$

Podobna relacja jest między projektem jakiegoś obiektu a jego faktyczną realizacją.

• BŁĘDY OSNOWY A ASG-EUPOS

Rzeczywistość zmusza nas do dostosowania się do realiów, czyli wpasowania się do faktycznie zrealizowanego lokalnie układu odniesienia, który był lub jest podstawą wielu produktów technicznych. Dla podanego przykładu oznacza to, że aby takie wpasowanie wykonać, należy do ewentualnych wyznaczeń teoretycznych wprowadzić pewną korektę sprowadzającą pozycję teoretyczną do pozycji odpowiadającej faktycznie (empirycznie) zrealizowanemu i funkcjonującemu układowi odniesienia (zwanemu także empirycznym).

Nawiasem mówiąc, struktura takiej korekty w układzie 1965 jest już dobrze poznana. Składa się ona z dwóch elementów: tzw. korekty ogólnej (globalnej) i lokalnej. Korekta ogólna, wyznaczona dla każdej strefy układu 1965, zawiera główny składnik błędu realizacji układu na poziomie



Rys. 1. Symboliczna ilustracja zbiorów punktów dla operacji wpasowania w osnowę

osnów I i II klasy (będący także wynikiem „niedoskonałości” dawnej sieci astronomiczno-geodezyjnej w relacji do nowych, satelitarnych technik wyznażeń). Korekta lokalna, wynikająca głównie z błędności osnów niższych rzędów, realizowana jest praktycznie poprzez lokalną transformację Helmerta i poprawki Hausbrandta (por. Wytyczne Techniczne G-1.10) na podstawie punktów dostosowania.

Wróćmy do przykładowego punktu II klasy. Gdyby użyć dla niego korekty ogólnej dla strefy 1 układu 1965, to przekształcając współrzędne tego punktu z układu 2000/21 do układu 1965/1, otrzymalibyśmy wartości zbliżone do katalogowych (przekształcone z $xy2000/21$ matematycznie i skorygowane korektą ogólną – mogą podlegać jeszcze korekcie lokalnej):

$$\begin{aligned} x_{1965/1} &= 5\ 357\ 734,339, \\ y_{1965/1} &= 4\ 724\ 111,224. \end{aligned}$$

Mimo że układy odniesienia realizowane przez nowe, bardziej precyzyjne osnowy (pierwotnie nawiązane do sieci EUREF-POL + POLREF) będą się charakteryzować znacząco mniejszym błędem, nie można zakładać, zwłaszcza na poziomie osnowy niższych rzędów (klasy III i pomiarowej), że błędy takiej realizacji są zupełnie zaniedbywalne. I tu napotykamy istotny dziś problem dotyczący pozycjonowania z wykorzystaniem serwisów RTK lub POZGEO w sieci ASG-EUPOS.

Stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS, wyznaczone precyzyjnie w długookresowych sesjach obserwacyjnych GPS, obejmujące również stacje permanentne (EPN) wraz z niektórymi punktami sieci POLREF, realizują dla obszaru kraju pewien (globalny) układ odniesienia. Możemy powiedzieć, że pozycje punktów wyznaczone z pewną błędnością w serwisach RTK lub POZGEO są pozycjami w tym układzie, wyrażonymi na przykład bezpośrednio we współrzędnych $xy2000$. Niestety, nie możemy być pewni, że te współrzędne odpowiadają z precyzją wyznaczenia w ASG-EUPOS realizacji analogicznego układu przez lokalne osnowy geodezyjne, np. III klasy lub pomiarowe.

Oczywiście, przy tworzeniu lub modernizowaniu osnów lokalnych w układzie 2000 generalnie staramy się, by tak było, tzn. by m.in. poprzez zastosowanie techniki GPS współrzędne punktów osnów lokalnych charakteryzowały się w miarę możliwości wysoką dokładnością bezwzględną. Niezależnie jednak od tego, problem pewnej niespójności lokalnej i globalnej (generalnej) realizacji układu odniesienia zawsze pozostaje. Implikuje to pytanie: Czy współrzędne $xy2000$ wyznaczone w serwisach systemu ASG-EUPOS należy traktować jako ostateczne, czy też powinny być one, mimo wszystko, przedmiotem finalnego wpasowania w lokalną osnowę geodezyjną?

● JEDEN PUNKT TO ZA MAŁO

Gdyby zamiast układu 2000 chodziło o pozycjonowanie w układzie 1965 lub lokalnym, wówczas konieczność wpasowania w lokalną osnowę byłaby niemal oczywista. Czy jednak analogiczne postępowanie nie powinno dotyczyć także układu 2000? Autorzy projektu wytycznych technicznych G-1.12 sugerują w zakresie pomiarów RTK użycie tylko jednego punktu osnowy jako punktu kontrolnego, niezależnie od słusznego skądinąd wymogu podwójnego, niezależnego pomiaru (przy odrębnej inicjalizacji odbiornika) dla szczegółów I grupy dokładnościowej. Trzeba jednak zauważyć, że takie podejście (z jednym punktem kontrolnym) może być ryzykowne, powodując swoisty dualizm układów odniesienia, a ponadto pozostaje ono w sprzeczności z ogólnymi zasadami pomiarów geodezyjnych, w świetle których wszystkie istniejące w danym obszarze punkty osnowy klasy wyższej niż klasa punktów wyznaczanych powinny być wykorzystane jako elementy nawiązania (wpasowania) lub kontrolne.

Jeśli ograniczymy się tylko do jednego punktu osnowy (w istocie tylko do kontroli techniki pozycjonowania), to przy znacznym obszarowo obiekcie możemy sprawić, że pomiar RTK (a także automatyczny postprocessing) da zbiór punktów niepasujących do istniejącej już mapy (z jakimś odchyleniem, mierzalnym zwłaszcza w technice mapy wektorowej). Inaczej mówiąc, nie mamy gwarancji, że układ odniesienia określony przez lokalną osnowę „nie rozjeżdża się” z układem globalnym. Jeśli nawet taki efekt byłby sporadyczny, nie należy „odrywać się” zupełnie od lokalnej osnowy, która będzie przecież służyć także towarzyszącym pomiarom klasycznym, więc powinna być również kontrolowana. Sugerując zatem celowość wy-

korzystania wszystkich istniejących w danym obszarze opracowania punktów osnowy klasy wyższej niż klasa punktów wyznaczanych (chyba że rezygnujemy w ogóle z lokalnej osnowy), należałoby finalny produkt pomiaru uzyskać poprzez dodatkowe wpasowanie wyników bezpośredniego pozycjonowania w określony zbiór punktów osnowy jako punktów dostosowania (wyznaczonych już uprzednio w układzie 2000). Optymalne podejście polega na wykorzystaniu zbioru punktów dostosowania obejmujących z pewnym „zapasem” obszar opracowania – rys. 1.

Aby wpasowanie takie było technicznie poprawne (cechowało się niezerowym wskaźnikiem niezawodności), minimalna liczba punktów osnowy jako punktów dostosowania nie powinna być mniejsza od 3. Dobrze znane są już algorytmy wpasowania polegające na wykorzystaniu transformacji Helmerta wraz z rozrzuceniem odchyłek transformacji metodą Hausbrandta (opisane np. w Wytycznych Technicznych G-1.10). Dla „bezpiecznego” zrozumienia tej kwestii dodajmy, że do wykonania wyżej wymienionej transformacji (która realizowana jest na wspólnej płaszczyźnie układu 2000) dysponujemy zbiorami współrzędnych:

- pierwotnych – $xy2000$ (z pomiaru w ASG-EUPOS) obejmujących „masówkę” i punkty osnowy,
- wtórnych – $xy2000$ (katalogowych) tylko dla punktów osnowy.

● NIEZAWODNOŚĆ POMIARÓW GPS

„Produkowane” u nas przepisy techniczne, zwłaszcza dotyczące samych pomiarów, zawierają często zapisy wiedzy ogólnej, a w szczegółach stosują metodę dydaktycznej wyliczanki: co geodeta jeszcze może (lub powinien) zmierzyć, aby było dobrze i z kontrolą. Można by oczywiście tego uniknąć, ograniczając się

do określenia kilku prostych cech (parametrów) jakościowych produktu końcowego, dotyczących jego dokładności, niezawodności i funkcjonalności, pomijając sposoby technologiczne osiągnięcia tych celów (zapisy detaliczne szybko się starzeją).

Samo pojęcie niezawodności nie występuje chyba w ogóle w przepisach technicznych. Jego najprostszą miarą w przypadku pozycjonowania jest ilość niezależnych, nadwymiarowych (nadliczbowych) elementów wyznaczających lub kontrolujących punkt. Przy stosowaniu serwisu RTK będzie to przede wszystkim (za G-1.12) powtórny pomiar współrzędnych (przy niezależnej inicjalizacji odbiornika), ale mogą być też elementy pomiarów klasycznych, np. czołówki czy konstrukcje kątowno-liniowe. Dodajmy, że istotnym elementem niezawodności stają się równocześnie pomierzone w tym samym trybie punkty istniejącej osnowy – służące przede wszystkim wpasowaniu pomierzonego zbioru punktów w lokalny układ odniesienia.

● NIEZAWODNOŚĆ W ASG-EUPOS

Analogicznej kontroli powinny podlegać punkty wyznaczane w serwisie automatycznego postprocessingu POZGEO. Należy zauważyć, że wyznaczenie pozycji w tym trybie nie posiada pełnej niezależnej kontroli, bo wprawdzie dokonuje się na podstawie wektorów do kilku (sześciu) najbliższych stacji referencyjnych, ale wszystkie te wektory są wzajemnie zależne poprzez wspólny zbiór obserwacyjny (czytany w formacie RINEX) na punkcie wyznaczanym. Nie można wykluczyć teoretycznie przypadku, kiedy zakłócenia w odbiorze sygnałów satelitarnych spowodują pozorną zgodność wewnętrzną układu wektorów zależnych, natomiast wyznaczona pozycja będzie błędna. Dlatego bardzo ważne jest, by – podobnie jak w technice RTK –

dla punktów wyznaczanych w automatycznym postprocessingu obowiązywała jakaś niezależna kontrola, i owszem, także przez powtórne, niezależne (w innym przedziale czasu) wyznaczenie punktu. Odpowiednie wydają się też elementy kontrolujące odległości lub pełne wektory pomiędzy punktami wyznaczanymi w serwisie POZGEO, a także klasyczne konstrukcje trygonometryczne.

Serwis POZGEO-D, niemal powszechnie już stosowany w zakładaniu osnów III klasy, polega na wykorzystaniu zbiorów obserwacyjnych rejestrowanych przez odbiorniki stacji referencyjnych, a także zbiorów obserwacyjnych generowanych sztucznie w dowolnie wskazanych punktach – tzw. wirtualnych stacjach referencyjnych (VRS). W sensie geometrycznym użytkownik ma możliwość stworzenia sieci wektorowej GPS integrującej obserwacje własne z obserwacjami generowanymi przez stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS. Taka metoda pozostawia użytkownikowi więcej swobody niż np. POZGEO. Może on projektować i realizować sieć o odpowiednim stopniu niezawodności w odniesieniu do każdego punktu wyznaczanego.

Komentarza wymaga również kwestia niezawodności metody pomiaru – popularnej szczególnie w osnowach III klasy – w której np. dwie anteny są stałe, a trzecia przemieszcza się po punktach wyznaczanych (dla każdego z nich mamy jedną sesję obserwacyjną). Otóż, podobnie jak przy automatycznym postprocessingu, wcinanie punktu odbywa się przez dwa wektory zależne (wyznaczone w tej samej sesji obserwacyjnej, dla pojedynczego zbioru obserwacyjnego na punkcie wyznaczanym), co nie daje pełnej niezależnej kontroli obserwacyjnej. Warunek niezależności byłby natomiast spełniony, gdyby dwa wektory wcinające pochodziły z różnych sesji obserwacyjnych. Przy niewiel-

kiej liczbie użytych anten może to podnieść koszt roboty, ale podnosi też na pewno jej komfort pod względem kontroli i niezawodności. Niezależnie od powyższego, wszystkie elementy kontrolne wymienione w metodzie automatycznego postprocessingu lub RTK mogą być również wykorzystane jako elementy niezależnej kontroli.

● INTEGRACJA POMIARÓW GPS Z KLASYCZNYMI

Stacyczne pomiary GPS w integracji z pomiarami klasycznymi to częsty sposób na modernizację istniejących już klasycznych osnów III klasy. Pozwala on również na racjonalne rozwiązania projektów sieci nowych, gdzie ze względu na gęstą zabudowę lub szczególną lokalizację znaków (wykorzystanie tzw. punktów wysokich) nie da się całkowicie pominąć technik klasycznych. Ponadto w zakresie opracowania wysokościowej osnowy klasyczna niwelacja niektórych punktów objętych pomiarem GPS w nawiązaniu do osnowy wysokościowej spełnia istotną rolę w zakresie wpasowania transformowanych wysokości elipsoidalnych w lokalnie zrealizowany państwowy układ wysokości normalnych, np. Kronsztad'86 (mówimy wtedy o wykonaniu zadania niwelacji satelitarnej).

Nie sposób w tak krótkim tekście zajmować się szczegółami, skądinąd ważnej praktycznie, problematyki obliczeniowej, obejmującej kompletne opracowanie numeryczne sieci wektorowych GPS zintegrowanych z pomiarami klasycznymi. Można je znaleźć na przykład w opisie systemu GEONET (www.geonet.net.pl), którego programy realizują cały proces kilkietapowo, począwszy od postprocessingu wektorów GPS, poprzez wyrównanie sieci, swobodne, nawiązane, zintegrowane i końcowe transformacje. Tutaj akcentujemy tylko wybrane, ale istotne z punktu widzenia

poprawności procesu obliczeniowego zagadnienia.

Przy integrowaniu sieci GPS z pomiarami klasycznymi należy zdecydować, do jakiej wspólnej przestrzeni matematycznej i układu odniesienia mają być sprowadzone (przekształcone) miary wszystkich rodzajów obserwacji. Ta kwestia jest bardzo ważna z punktu widzenia wyeliminowania możliwych błędów metodologicznych (systematycznych), a zwłaszcza błędu skali. Teoretycznie możliwe są następujące warianty – modele „przestrzeni obliczeniowych”:

- Trójwymiarowy układ współrzędnych kartezjańskich geocentrycznych (X, Y, Z) lub elipsoidalnych (integracja z pomiarami klasycznymi wymaga wyrażenia równań obserwacji klasycznych w tym układzie).

- Układ współrzędnych elipsoidalnych (B, L) lub płaskich-odwzorowawczych (x, y) oraz oddzielnie układ wysokościowy (model płasko-wysokościowy).

● UKŁAD TRÓJWYMIAROWY

Model I jest stosowany w systemie GEONET tylko dla wyrównania jednorodnych sieci wektorowych GPS, przy założeniu różnych wariantów elementów nawiązania:

- pełne współrzędne kartezjańskie – geocentryczne (X, Y, Z) lub geodezyjne (B, L, H) dostępne na przykład dla wszystkich stacji systemu ASG-EUPOS, jak również dla punktów sieci EUREF-POL + POLREF,

- współrzędne geodezyjne B, L (dostępne dla wszystkich punktów osnów I + II klasy, wyznaczonych już w nowym systemie odniesień w szczególności w układach: 1992, 2000 – przeliczenie na współrzędne B, L jest operacją czysto matematyczną),

- wysokości elipsoidalne H_{elips} (wyznaczone uprzednio w technice GPS lub pozyskane z wysokości normalnej H_{norm} i numerycznego modelu geoidy;

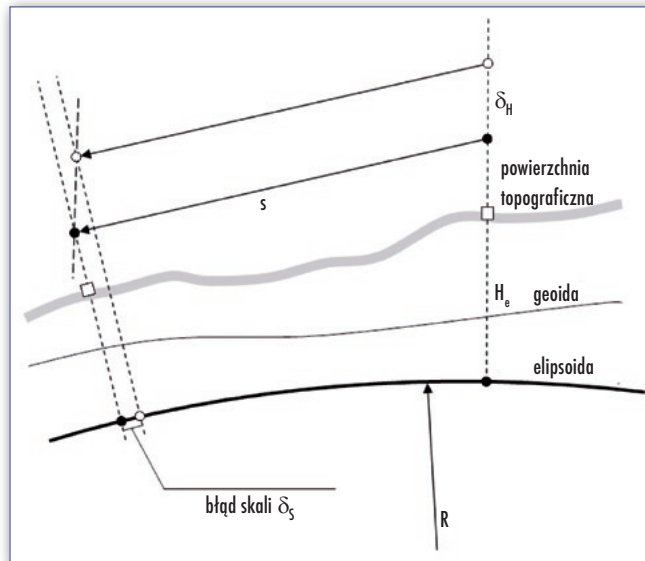
$H_{\text{elips}} = H_{\text{norm}} + N;$
gdzie N – lokalny odstęp geoidy od elipsoidy).

Należy mieć na uwadze to, że błędy we współrzędnych (rzędnych) punktów nawiązania (wzajemne niespójności np. w zakresie wysokościowym) mogą mieć istotny wpływ na wewnętrzne wyrównanie sieci. Dlatego, aby sprawdzić jakość (poprawność) samego zbioru wektorów, a następnie wybrać optymalne warunki nawiązań, dokonuje się najpierw tzw. wyrównania swobodnego, opartego na minimalnej liczbie elementów nawiązania. Może to być np. jeden punkt o zadanych współrzędnych (X, Y, Z) lub (B, L, H) albo dwa oddzielne punkty: jeden o współrzędnych (B, L) i drugi o zadanej wysokości elipsoidalnej H .

● MODEL PŁASKO-WYSOKOŚCIOWY

Model II stosowany jest szczególnie dla zintegrowanych układów obserwacyjnych w dwóch opcjonalnych realizacjach w zakresie sieci dwuwymiarowej: na elipsoidzie GRS-80 (WGS-84) lub na płaszczyźnie układu odwzorowawczego (2000 lub 1992). W obu przypadkach obliczenia wysokościowe odbywają się w oddzielnym procesie albo poprzez bezpośrednią transformację wielomianową wysokości elipsoidalnych na normalne na podstawie wysokościowych punktów dostosowania (pozyskanych z niwelacji geometrycznej) albo poprzez wyrównanie sieci różnic wysokości po wcześniejszym przekształceniu ich na różnice wysokości normalnych, w nawiązaniu do danych punktów osnowy wysokościowej.

Dla integracji i wyrównania sieci GPS w wybranym układzie dwuwymiarowym (na elipsoidzie lub płaszczyźnie odwzorowawczej) wektory kartezjańskie $(\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij})$ zaczepione w określonych punktach (X_i, Y_i, Z_i) przestrzeni przekształcamy



Rys. 2. Wpływ błędu wysokości zaczepienia wektora GPS na długość linii geodezyjnej

najpierw w wektory linii geodezyjnych i różnice wysokości elipsoidalnych:

$$\begin{pmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{ij} \\ s_{ij} \\ \Delta H_{ij} \end{pmatrix}$$

Robimy to w ten sposób, że:

punkty $P_i = (X_i, Y_i, Z_i)$, $P_j = (X_j + \Delta X_{ij}, Y_j + \Delta Y_{ij}, Z_j + \Delta Z_{ij})$ rzutujemy (w kierunkach normalnych) na elipsoidę, a otrzymane rzuty łączymy linią geodezyjną, wyznaczając jej parametry: A_{ij} – azymut geodezyjny, s_{ij} – długość linii geodezyjnej. Różnice długości odcinków rzutujących wyznaczają natomiast różnicę wysokości elipsoidalnych ΔH_{ij} .

Dla wykonania operacji rzutowania wektorów zakładamy, że współrzędne punktów ich zaczepienia są wyznaczone w pewnym przybliżeniu, np. na podstawie swobodnego wyrównania sieci GPS. O ile nawet kilkudziesięciometrowy błąd pozycji we współrzędnych B, L (zachodzi oczywiście wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość matematyczna $(X, Y, Z) \Leftrightarrow (B, L, H)$) nie jest specjalnie istotny dla wyznaczenia azymutu i długości linii, to błąd wysokości ma na to wpływ bardzo znaczący. Objasnia to rys. 2.

Jeżeli na przykład wektor kartezjański o długości s ok. 10 km zostanie przesunięty o wysokość $\delta H = 100$ m, spowoduje to skrócenie długości linii geodezyjnej powstałej z rzutu tego wektora

na elipsoidę o $\delta s \approx 16$ cm ($\delta s \approx \delta H \cdot s/R$; $\delta H = 100$ m, $s = 10$ km, $R \approx 6\,370\,000$ m) i odpowiednio proporcjonalnie przy zmianach wartości s i δH . Wektory o długości ponad 10 km nie są dziś w sieciach GPS rzadkością, a przy wykorzystaniu stacji referencyjnych i serwisu POZGEO-D odległości do stacji referencyjnych będą wielokrotnie większe. Przy rzutowaniu takich wektorów na elipsoidę należy więc zważyć, czy pozycje punktów mają odpowiednio dokładne wysokości elipsoidalne (tak by zmiana skali dla maksymalnych długości wektorów pozostawała praktycznie zaniedbywalna). Można się o to postarać, stosując do wyznaczenia współrzędnych wyrównanie swobodne z jednym punktem nawiązania, o wysokości elipsoidalnej określonej na przykład z wysokości normalnej powiększonej o lokalny odstęp geoidy od elipsoidy.

Obserwacje klasyczne łączone na elipsoidzie z pseudoobserwacjami (A, s) powinny być również – zgodnie z prawidłami sztuki – zredukowane na tę samą elipsoidę. W istotnym zakresie dotyczy to miar długości, które należy skrócić o poprawkę ze względu na wysokość nad powierzchnią odniesienia (elipsoidą), przyjmując średnią wysokość elipsoidalną końców odcinka.

Wyrównanie sieci zintegrowanych w układzie 1992 lub 2000 nakłada dodatkowo na wszystkie obserwacje i pseudoobserwacje pochodzące z wektorów GPS stosowne poprawki odwzorowawcze. Należy mieć jednak na uwadze fakt, że dokładność numeryczna samych poprawek ogranicza ich użycie w zasadzie tylko do zastosowań klasycznych. Dlatego w sieciach wykorzystujących obserwacje ze stacji referencyjnych, gdzie wektory mogą osiągać długości nawet ponad 100 km, wyrównanie należy bezwzględnie przeprowadzać na elipsoidzie. Odpowiedni program wyrównania sieci na elipsoidzie jest dostępny w module GPS systemu GEONET (jeszcze w wersji dla WIN95 program był użyty do wyrównania sieci I klasy na elipsoidzie GRS-80 w 1996 r.).

● NACISKANIE GUZIKÓW TO NIE WSZYSTKO

Intencją niniejszej publikacji było ukazanie niektórych problemów projektowo-obliczeniowych w stosowaniu techniki GPS, ze szczególnym uwzględnieniem niezawodności i technicznej poprawności (w przeświadczeniu oddalania ewentualnego „dyskomfortu” z powodu jakichś błędów). Warto też chyba zaakcentować, że w stosowanej obecnie technice pomiarowo-obliczeniowej, obok wykonywania czynności manualnych („guzikowych”) związanych z obsługą sprzętu i oprogramowania, coraz ważniejsza jest teoretyczna wiedza o wykonywanych zadaniach. Wynikają z tego również pewne wskazówki do optymalizacji odpowiednich programów dydaktycznych.

PROF. ROMAN KADAJ
(kierownik Katedry Geodezji
im. Kaspra Weigla
Wydziału Budownictwa
i Inżynierii Środowiska
Politechniki Rzeszowskiej
im. Ignacego Łukasiewicza;
członek Komitetu Geodezji PAN)