

KONCEPCJA POMIARU I WYRÓWNIANIA PRZESTRZENNYCH CIĄGÓW TACHIMETRYCZNYCH W ZASTOSOWANIACH GEODEZJI ZINTEGROWANEJ

Krzysztof Karsznia

Leica Geosystems Sp. z o.o. w Warszawie

Streszczenie. Postępujący rozwój technologii geoinformatycznych, elektronicznych i telekomunikacyjnych powoduje, że liczne opracowania z zakresu integracji pomiarów geodezyjnych znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych zadaniach inżynierskich. Wiele prac realizacyjnych, inwentaryzacyjnych czy związanych z monitorowaniem przemieszczeń i odkształceń wymaga wysokiej dokładności i wiarygodności pomiarów przy stosunkowo krótkim czasie pozyskiwania danych przestrzennych. Sprostanie tym założeniom staje się możliwe dzięki technologiom geodezji zintegrowanej. Istotą zintegrowanych prac geodezyjnych jest bowiem korzystanie z wielu znanych technik pomiarowych w celu wyznaczenia kształtu obiektu oraz różnych jego parametrów. Łącząc wspomniane technologie z odpowiednim oprogramowaniem sterującym oraz poddając standaryzacji, mówimy o geomatyce, której rozwiązania bazujące na różnych dziedzinach wiedzy zacierają powoli różnice wynikające z dotychczasowego, klasycznego podziału geodezji.

W artykule przedstawiono opracowaną koncepcję pomiaru i wyrównania przestrzennych ciągów tachimetrycznych w nawiązaniu do punktów kontrolnych (wyznaczonych przez pomiar GNSS) oraz do parametrów aktualnego modelu geoidy. Po wykonaniu precyzyjnej orientacji stanowiska tachimetru oraz nawiązaniu do punktów odniesienia możliwe będzie wiarygodne pozycjonowanie punktów terenowych metodą przestrzennego ciągu tachimetrycznego. Zaproponowano koncepcję wyrównania takiego ciągu metodami: rekurencyjną oraz wielomianowej aproksymacji poprawek składowych odchylenia linii pionu na poszczególnych stanowiskach. Bardzo ważnym zadaniem jest również analiza dokładności pomiarów, zarządzanie pozyskanymi danymi, ich wizualizacja i wnioskowanie (procesy decyzyjne mające wpływ na bezpieczeństwo ludzi i obiektów). Jako konkluzję tych rozważań przedstawiono propozycję opracowania systemu pomiarowego, przeznaczonego do monitorowania kształtu i stanu obiektu inżynierskiego. Dzięki implementacji opracowanych algorytmów wyrównań do opracowanej technologii możliwe będzie prowadzenie precyzyjnych, zintegrowanych pomiarów terenowych oraz efektywne wnioskowanie odnośnie krótkookresowych zmian zachodzących na badanym obszarze.

Słowa kluczowe: integracja pomiarów geodezyjnych, geomatyka, metody wyrównań, algorytmy obliczeniowe

WSTĘP

W zadaniach inżynierskich, których istotą jest określenie kształtu badanego obiektu, jego aktualnego stanu oraz dynamiki, coraz częściej stosuje się kombinację różnych metod pomiaru oraz zintegrowaną pracę wielu sensorów. Prowadzony w ten sposób monitoring jest efektem interdyscyplinarnego działania specjalistów z dziedzin: geodezji, geotechniki, informatyki czy telekomunikacji. Zarówno dane przestrzenne dotyczące geometrii badanego obiektu, jak też informacje odnośnie zachodzących tam procesów geologicznych i geotechnicznych zasilają bazę danych, umożliwiając ich przetwarzanie i wizualizację. Wykonanie prac geodezyjnych poprzedzone jest doбором punktów nawiązania (znajdujących się poza strefą oddziaływania zjawiska badanego na danym obiekcie) i wyznaczeniem ich współrzędnych przestrzennych w określonym układzie odniesienia. Pomiar punktów kontrolowanych może odbywać się ze stanowisk tachimetrycznych (stałych bądź mobilnych) przy wsparciu technik satelitarnych GPS/GNSS (pomiar statyczny i w czasie rzeczywistym RTK). Szybkość obecnie stosowanych procesorów komputerowych, jak również nowe rozwiązania w zakresie transmisji danych dają możliwość opracowania wyników pomiarów w czasie rzeczywistym. Rozwiązania takie znajdują coraz szersze zastosowanie podczas badania deformacji terenów [Góral, Szewczyk 2004] oraz w różnorodnych projektach monitoringu geodezyjnego [Sippel 2001, Duffy et al. 2001]. Wspomnianych systemów używa się także podczas wyznaczania parametrów przemieszczeń i odkształceń obiektów terenowych oraz w trakcie obsługi inwestycji budowlanych [James 2006]. Szczególnego znaczenia nabiera zatem zagadnienie integracji różnych technik pomiaru geodezyjnego oraz interoperacyjności systemowej [norma PN-ISO 19101]. Postęp technologiczny wpłynął także na sposób definiowania pojęć w dziedzinie geodezji. Mówiąc o tachimetrii elektronicznej, mamy na myśli precyzyjne, wysoce zaawansowane instrumenty pomiarowe pozwalające wykonać pomiar z dokładnością milimetrową. Połączenie tachimetru z odbiornikiem GPS – przykładem jest zintegrowana stacja „SmartStation” opatentowana przez firmę Leica Geosystems (rys. 1) – daje możliwość natychmiastowego wyznaczenia współrzędnych stanowiska z dokładnościami charakteryzującymi technikę RTK ($\pm 2-3$ cm), a następnie pozyskiwanie danych przestrzennych z dokładnościami oferowanymi przez instrument (zwykle na poziomie kilku mm). Rozwój i rozbudowa systemów GNSS („Global Navigation Satellite Systems” – GPS+GLONASS+GALILEO) dają dodatkowe możliwości pozycjonowania punktów również w miejscach, w których dotychczasowy pomiar technikami satelitarnymi nie był w pełni możliwy (zakrycie horyzontu, lokalizacja u podnóży szarp, w wąwozach, dolinach itp.) [Takac et al. 2005]. Podczas prac terenowych służby geodezyjne wielu krajów korzystają z serwisów precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego w czasie rzeczywistym. W czasie pracy w systemie aktywnej sieci geodezyjnej istnieje możliwość pozycjonowania punktów z dokładnością $\pm 3-5$ cm [Bosy 2007]. Korzystając z zalet zintegrowanej stacji „SmartStation” [Lorse, Schleussinger 2006], łączącej zalety odbiornika satelitarnego GNSS oraz zaawansowanego tachimetru elektronicznego (rys. 1), możemy zaplanować w terenie sieć przestrzennych ciągów tachimetrycznych, których stanowiska wyznaczone będą techniką RTK, natomiast orientacja i nawiązanie zostaną wykonane w odniesieniu do zastabilizowanych wcześniej punktów kontrolnych (o współrzędnych wyznaczonych przez statyczny, precyzyjny pomiar GNSS).



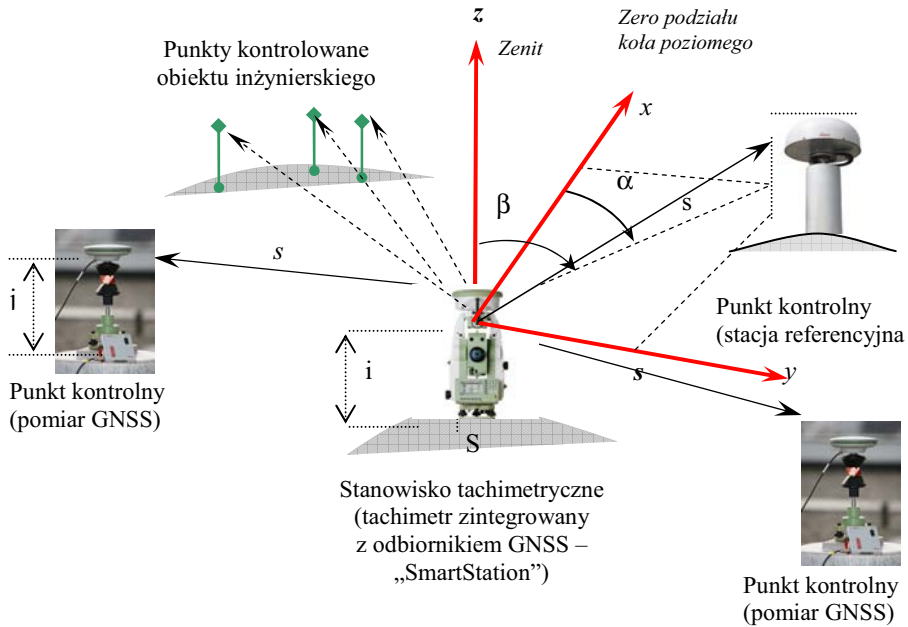
Rys. 1. Widok zintegrowanej stacji pomiarowej SmartStation stanowiącej połączenie odbiornika GPS z precyzyjnym tachimetrem elektronicznym oraz przykłady jej użycia (źródło: Leica Geosystems)

Fig. 1. View of an integrated surveying station (SmartStation) consisting of a GPS receiver and a precise electronic total station with usage example (source: Leica Geosystems)

Dysponując aktualnym modelem geoidy dla danego obszaru, możemy wykorzystać także jego parametry (takie jak składowe odchylenia linii pionu ξ i η oraz wysokość geoidy N w danym punkcie pomiarowym) do precyzyjnego zorientowania stanowisk tachimetrycznych, a następnie do precyzyjnego pozycjonowania punktów kontrolowanych w przestrzeni. Programując stację tachimetryczną lub łącząc ją w sposób klasyczny (kabel) albo bezprzewodowy (moduł Bluetooth®) z komputerem zewnętrznym (laptop lub PDA), możemy zbudować system służący do badania deformacji terenu.

POJEDYNCZE STANOWISKO TACHIMETRYCZNE

W celu wyznaczenia parametrów deformacji oraz krótkookresowych zmian geometrii obiektu terenowego należy na badanym obszarze zaplanować przebieg ciągu lub zespołu ciągów tachimetrycznych. Rysunek 2 przedstawia schemat pomiarowy pojedynczego stanowiska, na którym znajduje się precyzyjny tachimetr elektroniczny zintegrowany z odbiornikiem GPS/GNSS. Nawiązanie wykonane jest do punktów kontrolnych (o współrzędnych wyznaczonych techniką satelitarną GPS/GNSS), których pozycja może być aktualizowana co pewien czas w nawiązaniu do stacji referencyjnej (znajdującej się poza terenem oddziaływania badanego zjawiska).



Rys. 2. Schemat pomiarowy dla pojedynczego stanowiska tachimetrycznego
 Fig. 2. Surveying diagram for a single tacheometric station

W trakcie pomiaru tachimetrycznego pomiarowi w terenie podlegają kierunki poziome α , kąty zenitalne β , odległości przestrzenne s , a także wysokość osi celowej instrumentu i oraz wysokość celu j . Współrzędne topocentryczne, wyznaczone w lokalnym układzie stacji tachimetrycznej, wyznaczone są według znanych zależności:

$$x = s \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta \quad (1.1)$$

$$y = s \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \quad (1.2)$$

$$z = s \cdot \cos \beta - j \quad (1.3)$$

natomiast parametrami orientacji instrumentu są wartości składowych odchylenia pionu ζ i η oraz stała orientacyjna Σ – kierunek zera koła poziomego. Układ pomiarowy tachimetru (x, y, z) jest więc obrócony względem układu astronomicznego (x_a, y_a, z_a) w płaszczyźnie poziomej o kąt Σ , co opisuje formuła:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\Sigma) & \sin(\Sigma) & 0 \\ -\sin(\Sigma) & \cos(\Sigma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

Oznaczając R_1, R_2, R_3 jako macierze transformacji [Osada 2002]:

$$R_1(B, L) = \begin{pmatrix} -\sin(B) \cdot \cos(L) & -\sin(B) \cdot \sin(L) & \cos(B) \\ -\sin(L) & \cos(L) & 0 \\ \cos(B) \cdot \cos(L) & \cos(B) \cdot \sin(L) & \sin(B) \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

$$R_2(\xi, \eta, B) = \begin{pmatrix} 1 & -\eta \cdot \tan(B) & -\xi \\ \eta \cdot \tan(B) & 1 & -\eta \\ \xi & \eta & 1 \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

$$R_3(\Sigma) = \begin{pmatrix} \cos(\Sigma) & \sin(\Sigma) & 0 \\ -\sin(\Sigma) & \cos(\Sigma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

gdzie B i L oznaczają kolejno szerokość i długość geodezyjną stanowiska, otrzymuje się wzór dla przeliczenia przyrostów współrzędnych geocentrycznych ΔX , ΔY , ΔZ na współrzędne tachimetryczne x , y , z :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = R_3(\Sigma) \cdot R_2(\xi, \eta, B) \cdot R_1(B, L) \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

Dzięki rozwiązaniu układu uzyskamy:

- parametry orientacji układu topocentrycznego ξ , η , Σ – w wyniku wyznaczenia współrzędnych x , y , z punktów kontrolnych,
- przeliczone współrzędne z układu topocentrycznego x , y , z na współrzędne geocentryczne X , Y , Z – na podstawie wyznaczonych wcześniej parametrów ξ , η , Σ ,
- przybliżone współrzędne punktów w układzie topocentrycznym x , y , z , a następnie przybliżone wartości obserwacji tachimetrycznych s , α , β .

Współrzędne x , y , z pomierzonych punktów są przeliczane na współrzędne geocentryczne X, Y, Z według zależności [Osada 2002]:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} + (R_3(\Sigma) \cdot R_2(\xi, \eta, B_S) \cdot R_1(B_S, L_S))^T \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

gdzie jako X_S , Y_S , Z_S , B_S , L_S , h_S oznaczono współrzędne elipsoidalne kartezjańskie oraz geodezyjne stanowiska tachimetrycznego.

Jako „przybliżone” współrzędne stanowiska przyjmuje się ich wartości z pomiaru RTK (wykorzystując moduł satelitarny SmartStation). Prowadzenie dalszych obliczeń polega na zastosowaniu metod numerycznych, dzięki którym, w sposób iteracyjny osiąga się bardzo dokładne wyniki – na poziomie pojedynczych milimetrów. W opracowaniu [Karsznia 2004], dla celów precyzyjnego wyznaczenia współrzędnych stanowisk tachimetrycznych, zaproponowano algorytm sprzężonych gradientów Levenberga-Marquardta [Moré 1978], którego główną zaletą jest wysoka zbieżność i odporność

(ang. „robustness”). Współrzędne elipsoidalne układu pomiarowego tachimetru B , L , h wyznaczone są na podstawie wcięcia i wyrównania stanowiska w nawiązaniu do kilku punktów kontrolnych badanego obiektu oraz do obowiązującego modelu geoidy. Testy weryfikujące założenia teoretyczne autor wykonał, przyjmując parametry modelu geoidy niwelacyjnej 2001 [Pażus et al. 2002]. Wiele obiektów poddanych inżynierskiemu monitoringowi deformacji i przemieszczeń posiada z reguły model geoidy lokalnej, której parametry (ξ , η , N) należy wówczas przyjąć.

Dla punktów nawiązania (o współrzędnych kartezjańskich geocentrycznych X , Y , Z oraz topocentrycznych x , y , z) sporządzone zostaną równania transformacji według zależności (1.8). Wynik uzyskuje się po uruchomieniu algorytmu numerycznego przy zastosowaniu odpowiedniej funkcji rozwiązywania układów równań (aplikacja *Mathcad 2001i*):

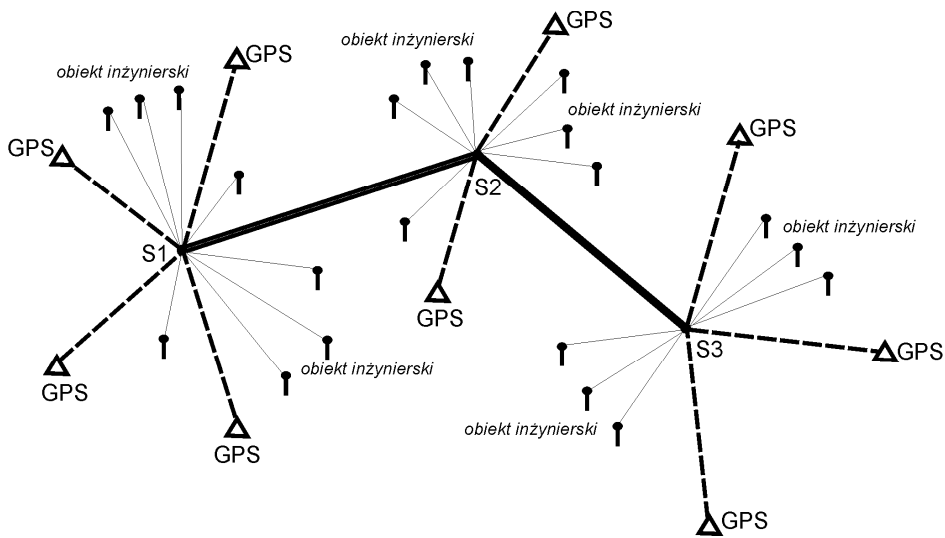
$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \Sigma \\ B_S \\ L_S \\ h_S \end{pmatrix} = \text{Minerr}(\xi, \eta, \Sigma, B_S, L_S, h_S) \quad (1.10)$$

Funkcja *Minerr* minimalizuje tzw. „wektor błędów”, czyli odchylen wartości oczekiwanych poszczególnych zmiennych od założonych początkowo ich warunków brzegowych. W przypadku układów nieliniowych użyta procedura wykorzystuje metody: sprzężonych gradientów, quasi-Newtona oraz algorytm MINPACK bazujący na rozwiązaniu Levenberga-Marquardta [Morè et al. 1980].

W wyniku prowadzonych obliczeń otrzymujemy precyzyjne współrzędne geocentryczne elipsoidalne stanowiska tachimetru oraz wartości parametrów orientacji układu lokalnego. Po przejściu ze współrzędnych elipsoidalnych na kartezjańskie X , Y , Z [Osada 2003, Vermeille 2002], stosując wzór transformacyjny (1.9), możliwe jest wyznaczenie współrzędnych wszystkich pomierzonych punktów kontrolnych. Wykonanie do nich pomiarów powtarzalnych pozwoli zatem określić parametry przemieszczeń i deformacji badanego obiektu.

KONCEPCJE ZINTEGROWANYCH CIĄGÓW TACHIMETRYCZNYCH

Stosując metody zintegrowanego pomiaru geodezyjnego, można wyznaczać wszelkie stany deformacji terenu, a w szczególności przemieszczenia poziome i pionowe, odkształcenia poziome i pionowe oraz nachylenia i krzywizny [Góral, Szewczyk 2004]. Pojedyncze stanowiska tachimetryczne mogą być łączone w ciągi (rys. 3), co umożliwiła pozyskiwanie danych terenowych w miejscach trudno dostępnych oraz wszędzie tam, gdzie warunki zewnętrzne utrudniają wykonanie samego tylko pomiaru satelitarnego GNSS. Dodatkową zaletą stosowania przestrzennych ciągów tachimetrycznych jest możliwość badania aktualnego stanu obiektów inżynierskich i inwestycji budowlanych, prowadzenia zintegrowanego monitoringu przemieszczeń, deformacji czy osiadań terenów objętych eksploatacją górnictw [Guziel 2002].



Rys. 3. Schemat ciągu tachimetrycznego złożonego z przestrzennych stanowisk instrumentu nawiązanego do punktów GPS

Fig. 3. Example diagram of a tacheometric traverse consisting of spatial stations connected to GPS points

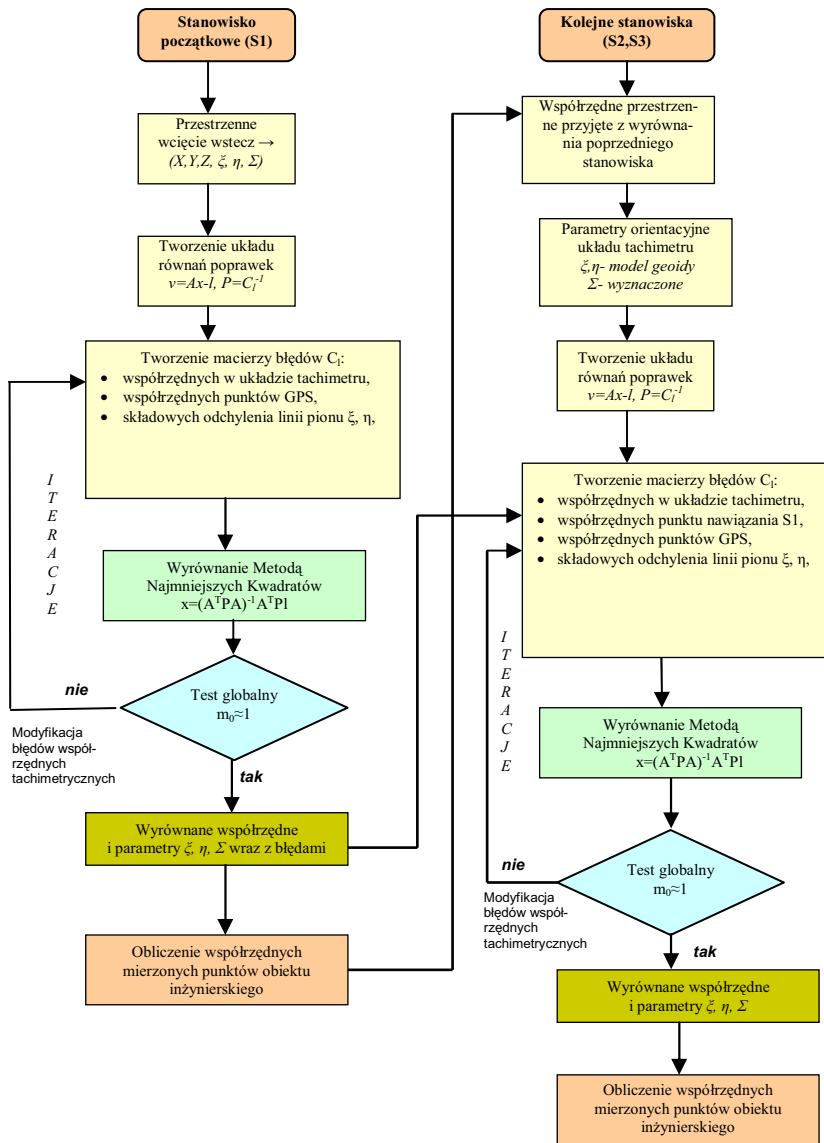
Bazując na analizach wykonanych dla pojedynczych stanowisk, zaproponować można rekurencyjny algorytm wyrównania przestrzennego ciągu tachimetrycznego w nawiązaniu do punktów kontrolnych i geoidy [Karsznia 2004]. Schemat przebiegu postępowania przedstawiono na rys. 4.

W kolejnym etapie badań opracowano sposób wyrównania ciągu tachimetrycznego z jednoczesnym modelowaniem poprawek do składowych odchylenia linii pionu pomiędzy stanowiskami. Wzajemny rozkład wartości ξ , η przedstawiono za pomocą funkcji:

$$\xi_n = \xi_p + a_1 + b_1 \Delta B_{n-p} \quad (2.1)$$

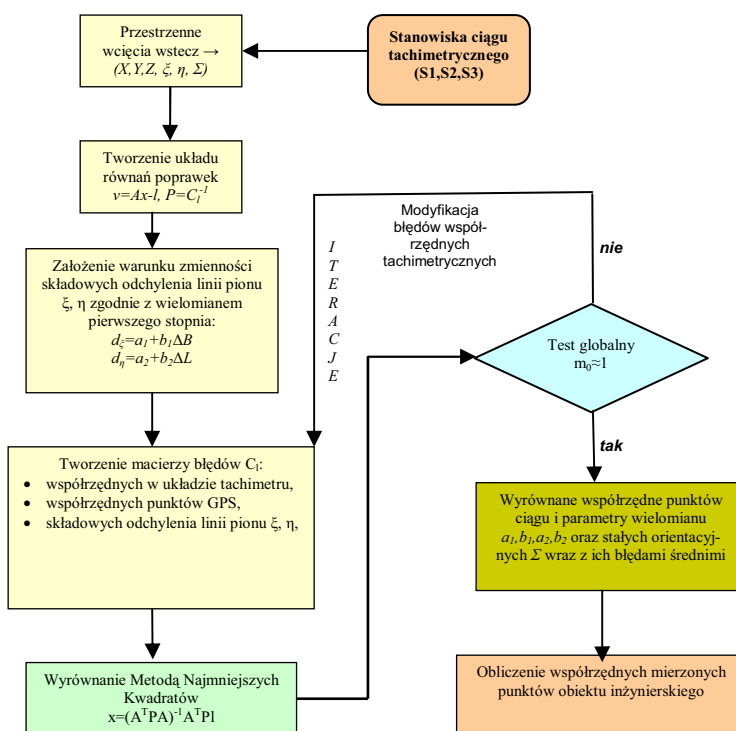
$$\eta_n = \eta_p + a_2 + b_2 \Delta L_{n-p} \quad (2.2)$$

gdzie: p – poprzednie stanowisko ciągu, n – kolejne stanowisko ciągu, ΔB , ΔL – przyrost współrzędnych geodezyjnych B , L między kolejnymi stanowiskami ciągu.



Rys. 4. Schemat wyrównania przestrzennego ciągu tachimetrycznego – metoda rekurencyjna
 Fig. 4. Flow chart of a tacheometric traverse adjustment – recurrent method

Schemat postępowania w takim przypadku uwidoczniiony został na rys. 5.



Rys. 5. Schemat wyrównania przestrzennego ciągu tachimetrycznego – metoda warunkowa
Fig. 5. Flow chart of a tacheometric traverse adjustment – conditional method

Opracowane procedury zweryfikowano za pomocą testów terenowych (dwa obiekty o odmiennej charakterystyce – tereny nizinne i górskie). Wyniki opracowań [Karsznia 2004] pozwalają sformułować wniosek, iż przyjęcie parametrów ξ i η z modelu geoidy umożliwi wykonanie bezwzględnej orientacji stanowiska, co przy zastosowaniu odpowiedniego instrumentu (precyzyjny tachimetr elektroniczny) oraz staranności pracy pomoże pozycjonować punkty z wysoką dokładnością (od kilku: ± 3 mm do kilkunastu: ± 16 mm). Wpływ błędów osobowych zminimalizuje się przez zwiększenie liczby obserwacji lub zastosowanie rozwiązań technologicznych – np. przez użycie zmotoryzowanych stacji tachimetrycznych z automatycznym rozpoznawaniem celu („Automated Target Recognition” – ATR) [Duffy et al. 2001]. Zaprezentowane algorytmy można oprogramować w środowisku GeoC++ Development Kit (Leica Geosystems), a następnie w postaci aplikacji pomiarowej zainstalować w zintegrowanej stacji „SmartStation”. Dzięki temu geodeta może wykonywać program pomiarowy w terenie i na bieżąco kontrolować wyniki swoich prac.

PROPOZYCJE ZASTOSOWAŃ

Zaprezentowane w artykule metody wyrównań i integracji przestrzennych stanowisk i ciągów tachimetrycznych można zaimplementować do wielu zagadnień związanych z dynamiką otaczającego nas świata, choćby jako usprawnienie stosowanych systemów monitoringu obiektów inżynierskich. Stanowiska tachimetryczne umieszczane są często w kontenerach pomiarowych (rys. 6), skąd prowadzi się permanentne obserwacje punktów kontrolowanych. Tachimetria elektroniczna wsparta pomiarami GNSS oraz pracą sensorów geotechnicznych jest podstawą znanych rozwiązań – np. „Geodetic Monitoring System” (Leica GeoMoS) czy „Dam Deformation Monitoring” (DDM) [Duffy et al. 2001]. Łączenie stanowisk tachimetrycznych w strukturę ciągów może mieć miejsce w przypadku monitoringu prowadzonego na znacznych obszarach (konieczność zapewnienia zasięgu pomiaru do punktów kontrolowanych) lub na terenach zurbanizowanych (przykładowo w trakcie realizacji inwestycji typu budowa kolei podziemnej czy tunelu). Wówczas istnieje potrzeba zainstalowania kilku lub nawet kilkunastu stanowisk tachimetrycznych pracujących w czasie rzeczywistym.



Rys. 6. Widok przykładowego kontenera stacji tachimetrycznej w zadaniach zintegrowanego monitoringu obiektów inżynierskich (źródło: Leica Geosystems)

Fig. 6. Example view of a measuring container with a total station in applications of integrated monitoring of engineering objects (source: Leica Geosystems)

Oprócz badania przemieszczeń i odkształceń dużych obiektów geotechnicznych, struktur geologicznych i konstrukcji inżynierskich system bazujący na przestrzennych ciągach tachimetrycznych oraz na rozwiązaniach geodezji zintegrowanej znajduje szereg zastosowań w badaniach osiadań terenów budowlanych, a także krótkookresowych zmian obiektów inżynierskich. Przy zastosowaniu pseudolitów [Dai et al. 2001] można zastosować go również w miejscach pozbawionych możliwości odbioru sygnałów GNSS (tunele, hale produkcyjne, górskie doliny, tereny uprzemysłowione). Dużym usprawnieniem prac realizowanych za pomocą opisanej technologii będzie, niewątpliwie, aktywna sieć geodezyjna, której serwisy pozwolą w pełni zastosować zintegrowaną stację typu „SmartStation”.

PODSUMOWANIE

Geodezja zintegrowana zajmuje szczególne miejsce w pracach związanych z wyznaczaniem parametrów przemieszczeń i odkształceń obiektów inżynierskich oraz z badaniem deformacji. Dzięki możliwości łączenia i wspólnego przetwarzania wyników pomiarów terenowych możemy zoptymalizować proces pozyskiwania danych przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej dokładności i wiarygodności otrzymanych rezultatów.

W artykule przedstawiono możliwość zastosowania metody wyrównania i integracji przestrzennych stanowisk oraz ciągów tachimetrycznych w badaniu krótkookresowych zmian zachodzących na obiekcie. Na świecie obserwuje się wzmożony wzrost zainteresowania służb geodezyjnych i geotechnicznych problematyką automatycznego zbierania i przetwarzania informacji o obiektach inżynierskich czy o zjawiskach naturalnych. Poszukiwane są nowe rozwiązania technologiczne oraz pojawia się zapotrzebowanie na budowę systemów prowadzących analizę wyników włącznie z możliwością dalszego wnioskowania (interpolacja oraz ekstrapolacja danych, a także optymalizacja procesów decyzyjnych). Biorąc również pod uwagę wzrost inwestycji budowlanych oraz coraz większe zapotrzebowanie na surowce energetyczne, badanie stanu obiektów oraz deformacji terenu będzie z pewnością stanowiło jedno z głównych wyzwań stawianych współczesnej geodezji.

PIŚMIENNICTWO

- Bosy J., 2007. Wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG-EUPOS, prezentacja projektu podczas konferencji pt. „Zastosowania wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG-EUPOS, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa 21 marca 2007, (źródło:http://www.asg-eupos.gov.pl/plain_site/promocja/do_pobrania/prezentacje_z_konferencji/asg_eupos_j_bosy).
- Dai L., Wang J., Rizos CH., Han SH., 2001. Applications of pseudolites in deformation monitoring systems, Proceedings of the 10th FIG Symposium on Deformation Measurements, 19–22 March 2001, Orange, California USA.
- Duffy M.A., Hill CH., Whitaker C., Chranowski A., Lutes J., Bastin G., 2001. An automated and integrated monitoring program for Diamond Valley Lake in California, Proceedings of the 10th FIG Symposium on Deformation Measurements, 19–22 March 2001, Orange, California USA.
- Góral W., Szewczyk J., 2004. Zastosowanie technologii GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Guziel A., 2002. Deformacje górotworu, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- James H., 2006. Automatic deformation monitoring, *The American Surveyor*, March/April 2006.
- Karsznia K., 2004. Metody wyrównań i integracji przestrzennych ciągów tachimetrycznych w nawiązaniu do punktów GPS i geoidy, rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Kształotowania Środowiska i Geodezji, Akademia Rolnicza we Wrocławiu.
- Karsznia K., 2004. Metody wyrównań i integracji przestrzennych ciągów tachimetrycznych w nawiązaniu do punktów GPS i geoidy, *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Geodezja i Urządzenia Rolne XXII*, nr 500.
- Lorse G., Schleussinger K., 2006. Messen ohne stationieren, *Effizienter Einsatz von GPS + TPS, Aktuell – Magazin für Vermessung und Systemlösungen*, No. 23, Dezember 2006, Monachium, 3–7.
- Moré J.J., Garbow B.S., Hillstrom K.E., 1980. User Guide for MINPACK-1, Mathematics and Computers (UC-32), ANL 80-74, Argonne National Laboratory, Applied Mathematics Division, Argonne, Illinois.
- Osada E., 2002. Geodezja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

- Osada E., Karsznia K., Muszyński Z., Olejnik P., 2002. Metoda przestrzennego wyrównania stanowiska pomiarowego tachimetru w nawiązaniu do punktów GPS i geoidy, Raport serii SPR 12/2002, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Politechnika Wrocławska.
- Pażus R., Osada E., Olejnik S., 2002. Geoida niwelacyjna 2001, Geodeta – Magazyn Geoinformacyjny nr 5(84).
- PN-EN ISO 19101., 2005. Norma Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, Informacja geograficzna – Model tworzenia norm, Warszawa 2005.
- SIPPEL K., 2001. Modern monitoring system development, Proceedings of the 10th FIG Symposium on Deformation Measurements, Session III – „Software for deformation data collection, processing and analysis”, 19–22 March 2001, Orange, California USA.
- Takac F., Hilker C., Kotthoff H., Richter B., 2005. Combining measurements from multiple Global Navigation Satellite Systems for RTK applications, literatura techniczna, International Symposium on GPS/GNSS, December 8–10, 2005, Hongkong.
- Vermeille H., 2002. Direct transformation from geocentric coordinates to geodetic coordinates, Journal of Geodesy 76, Springer Verlag, 451–454.

A CONCEPT OF SURVEYING AND ADJUSTMENT OF SPATIAL TACHEOMETRIC TRAVERSES IN THE APPLICATIONS OF INTEGRATED GEODESY

Abstract. Progressing development of geo-scientific technologies, electronics and telecommunication brings on constantly growing use of surveying integration in many engineering tasks. Various works carried out in the field of quantity surveying or deformation monitoring demand both a high accuracy and reliability at simultaneously relative short time of spatial data acquisition. Meeting such a principles becomes possible thanks to the technologies of integrated geodesy. The essence of integrated geodetic works is based on the use of many known-surveying techniques in order to determine the shape of an object as well as its other important parameters. Combining the above-mentioned technologies with proper analytical software and subsequent standardizing a spatial data is called “geomatics”. Its solutions based on many knowledge spheres neutralize the differences coming out from hitherto classification of geodesy.

The author presents a concept of surveying and adjustment of spatial tacheometric traverses connected to control points (measured by using the GNSS methods) and to geoid model. After precise orientation of a single tacheometric station and connection the measurement to control points, it is possible to collect a spatial data by using tacheometric traverses. Furthermore, the author proposes to adjust such traverses by using both recurrent method and a polynomial approximation of plumb line deviations components. Processes like management, visualization and statistical inference of collected data are crucial in analytical monitoring systems, which have influence on people’s safety. Finally, the author points on some applications where such a system based on the presented principles could monitor a shape and conditions of engineering objects. Using the proposed algorithms in a measuring technology could enable to make precision surveying and its further analyzing in order to determine short-time changes taking place on the examined area.

Key words: structural monitoring, geomatics, integration of geodetic surveying

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.03.2008

Do cytowania – For citation: Karsznia K., 2008. Koncepcja pomiaru i wyrównania przestrzennych ciągów tachimetrycznych w zastosowaniach geodezji zintegrowanej. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr. 7(1), 35–46.