

ZASTOSOWANIA GEODEZJI ZINTEGROWANEJ W MONITORINGU STRUKTURALNYM I ZARZĄDZANIU JAKOŚCIĄ

K. Karsznia

Leica Geosystems Sp. z o.o., ul. Jutrzenki 118, 02-230 Warszawa, Polska

Słowa kluczowe: integracja pomiarów geodezyjnych, geomatyka, metody wyrównań, przestrzenne ciągi tachimetryczne.

Wprowadzenie

W zadaniach współczesnej geodezji inżynierskiej, których istotą jest określenie kształtu, a także stanu badanego obiektu, jego statyki i dynamiki, coraz częściej stosuje się kombinację różnych metod pomiarowych oraz zintegrowaną pracę wielu sensorów. Na jakość prowadzonych w ten sposób pomiarów wpływ mają działania różnych specjalistów – z dziedziny geodezji, geotechniki, informatyki czy telekomunikacji. Zarówno dane przestrzenne dotyczące geometrii badanego obiektu jak też informacje odnośnie zachodzących w nim procesów zasilają bazę danych umożliwiając ich przetwarzanie i wizualizację. Analiza danych oraz podejmowanie na jej podstawie dalszych decyzji jest domeną systemu eksperckiego. Jeżeli dodatkowo system taki wyposażony jest w moduł powiadamiania użytkowników o występujących zagrożeniach, mówimy o systemie monitoringu. W zależności od rozmiaru jego zastosowania mówimy o monitoringu globalnym (duże obszary, dla których należy brać pod uwagę uwarunkowania geodezyjne związane z krzywizną Ziemi, systemem odniesień przestrzennych itp.) lub strukturalnym (na ogół pojedyncze obiekty inżynierskie, np. konstrukcje budowlane, zapory wodne czy mosty). Geodezyjny monitoring obiektów inżynierskich wiąże się bezpośrednio z pojęciem geomatyki. Zgodnie z przyjętą definicją [8], jest to kompleksowy proces pozyskiwania, przetwarzania oraz analizowania danych przestrzennych (tzw. „geodanych”).

Praca systemu monitoringu obiektów inżynierskich nie polega jedynie na wykonaniu pomiarów kontrolnych (np. okresowej niwelacji reperów, pomiaru tachimetrycznego itp.). Monitoring jest bowiem działalnością polegającą na wykrywaniu zagrożeń, a co za tym idzie, niezbędne jest wcześniejsze ustalenie rodzaju zagrożenia oraz odpowiednie dostosowanie projektowanego systemu [15]. Niezbędne jest także określenie sposobu powiadamiania o zaistniałym zagrożeniu, np. w

formie alarmu, komunikatów sms, wiadomości elektronicznej (e-mail) czy uruchomieniu innej aplikacji umożliwiającej podjęcie przez odpowiednie służby kroków zaradczych.

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 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 [3] oraz w różnorodnych projektach monitoringu obiektów inżynierskich [7]. Szczęólnego znaczenia nabiera zatem zagadnienie integracji różnych technik pomiaru geodezyjnego oraz interoperacyjności systemowej [13].

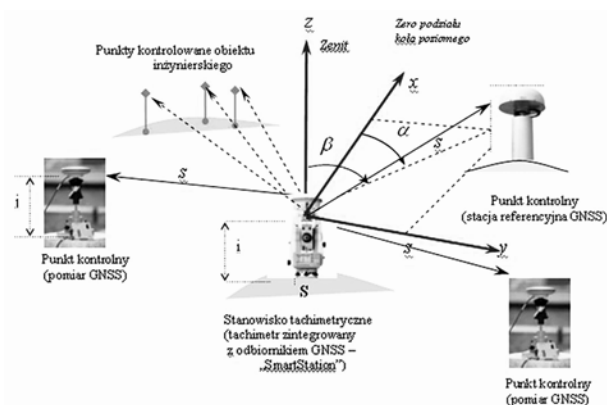
Postęp technologiczny wpłynął także na sposób definiowania pojęć w dziedzinie geodezji. Mówiąc o tachimetrii elektronicznej, mamy na myśli precyzyjne, wysoce zaawansowane instrumenty pomiarowe pozwalające wykonać pomiar z dokładnością milimetrową. Połączenie tachimetru z odbiornikiem GNSS* (przykładem jest zintegrowana stacja „SmartStation” opatentowana przez firmę Leica Geosystems) daje możliwość natychmiastowego wyznaczenia współrzędnych stanowiska z dokładnościami charakteryzującymi technikę RTK ($\pm 2-3\text{cm}$), a następnie pozyskiwanie danych przestrzennych z dokładnościami oferowanymi przez instrument (zwykle na poziomie kilku mm). Rozwój i rozbudowa systemów GNSS dają dodatkowe możliwości pozycjonowania punktów również w miejscach, których dotychczasowy pomiar technikami satelitarnymi nie był w pełni możliwy (zakrycie horyzontu, lokalizacja u pod-

* Global Navigation Satellite Systems – GPS+GLONASS+GALILEO oraz inne systemy pozycjonowania satelitarnego.

nóży skarp, w wąwozach dolinach etc.). Podczas prac terenowych, służby geodezyjne wielu krajów korzystają z serwisów precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego w czasie rzeczywistym. Korzystając z zalet zintegrowanej stacji „SmartStation” [10] łączącej zalety odbiornika satelitarnego GNSS oraz zaawansowanego tachimetru elektronicznego (rys. 1), możemy zaplanować w terenie sieć przestrzennych ciągów tachimetrycznych, których stanowiska wyznaczane będą techniką RTK, natomiast orientacja i nawiązanie zostaną wykonane w odniesieniu do zastabilizowanych wcześniej punktów kontrolnych [5].

Stanowiska tachimetryczne

W celu wyznaczenia parametrów deformacji oraz krótkookresowych zmian geometrii obiektu terenowego, na badanym obszarze należy zaplanować przebieg ciągu lub zespołu ciągów tachimetrycznych [1]. Rysunek 1 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. 1. Schemat dla pojedynczego stanowiska tachimetrycznego

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, wyznaczane w lokalnym układzie stacji tachimetrycznej, wyznaczane są według znanych zależności:

$$\begin{aligned} x &= s \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta & y &= s \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \\ z &= s \cdot \cos \beta - j \end{aligned}$$

natomiast parametrami orientacji instrumentu są wartości składowych odchylenia pionu ξ 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:

Oznaczając R_1, R_2, R_3 jako macierze transformacji [14]:

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

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

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

gdzie B i L oznaczają kolejno szerokość i długość geodezyjną stanowiska, otrzymuje się wzór dla przeliczenia przyrostów współrzędnych geocentrycznych $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ na współrzędne tachimetryczne x, y, z :

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

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 [14]:

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

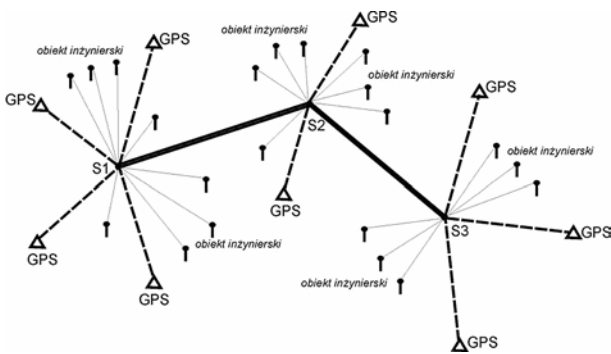
gdzie jako $X_S, Y_S, Z_S, B_S, L_S, h_S$ oznaczono współrzędne elipsoidalne kartezjańskie oraz geodezyjne stanowiska tachimetrycznego.

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 [5], dla celów precyzyjnego wyznaczenia współrzędnych stanowisk tachimetrycznych, zaproponowano algorytm sprzężonych gradientów Levenberga- Marquardta [11], 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. Wiele obiektów poddanych inżynierskiemu monitoringowi deformacji i przemieszczeń posiada z reguły model geoidy lokalnej, której parametry (ξ , η , N) należy wówczas przyjąć.

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 [16], stosując wzór transformacyjny, możliwe jest wyznaczenie współrzędnych wszystkich pomierzonych punktów kontrolnych. Wykonanie do nich pomiarów powtarzalnych pozwoli zatem określić parametry przemieszczeń i deformacji badanego obiektu.

Pojedyncze stanowiska tachimetryczne mogą być łączone w ciągi (rys.2) co umożliwi 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 górniczą [4].



Rys. 2. Schemat ciągu tachimetrycznego złożonego z przestrzennych stanowisk instrumentu nawiązanego do punktów GPS

Bazując na analizach wykonanych dla pojedynczych stanowisk, zaproponować można rekurencyjny algorytm wyrównania przestrzennego ciągu tachimetrycznego w nawiązaniu do punktów kontrolnych i geoidy [5].

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:

$$\xi_n = \xi_p + a_1 + b_1 \Delta B_{n-p}$$

$$\eta_n = \eta_p + a_2 + b_2 \Delta L_{n-p},$$

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

Opracowane procedury zweryfikowano za pomocą testów terenowych (dwa obiekty o odmiennej charakterystyce – tereny nizinne i górskie). Wyniki opracowania [5] pozwalają sformułować wniosek, iż przyjęcie parametrów ξ i η z modelu geoidy pozwala wykonać bezwzględną orientację stanowiska, co przy zastosowaniu odpowiedniego instrumentu (precyzyjny tachimetr elektroniczny) oraz staranności pracy umożliwi pozycjonowanie punktów z wysoką dokładnością (od kilku: $\pm 3\text{mm}$ do kilkunastu: $\pm 16\text{mm}$). Wpływ błędów osobowych można zminimalizować przez zwiększenie liczby obserwacji lub zastosowanie rozwiązań technologicznych – np. przez użycie zmotoryzowanych stacji tachimetrycznych z automatycznym rozpoznawaniem celu („Automated Target Recognition” – ATR) [2]. 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.

Pomiary zintegrowane w monitoringu

Zaprezentowane metody wyrównań i integracji przestrzennych stanowisk i ciągów tachimetrycznych znajdują zastosowanie w wielu zagadnieniach związanych z dynamiką obiektów inżynierskich. Stanowiska tachimetryczne umieszczone są bowiem często w kontenerach pomiarowych (rys. 3), skąd prowadzi się permanentne obserwacje punktów kontrolowanych.



Rys. 3. Widok wnętrza kontenera pomiarowego z dwiema zautomatyzowanymi stacjami tachymetrycznymi (źródło: Leica Geosystems)

ca przeglądarki internetowej. Konfiguracja instrumentarium, definiowanie połączeń czy określanie progów bezpieczeństwa dla systemu powiadomienia o wykrytych zdarzeniach odbywa się na obiekcie w fazie uruchamiania projektu. Operator systemu monitoringu posiada kod logowania oraz hasło, za pomocą których uzyskuje zdalny dostęp. Wyniki prowadzonych prac obserwuje na ekranie komputera zlokalizowanego w dowolnym miejscu i w dowolnym czasie. Architektura systemowa, według której odbywa się cały proces odpowiada znanym rozwiązaniom geoinformatyki, które znajdują swoje zastosowanie w budowaniu infrastruktury danych przestrzennych (systemy informacji o terenie, geoportale).



Rys. 4. Widok okna dialogowego aplikacji "GeoMoS Web" (Leica Geosystems)

Tachimetria elektroniczna wsparta pomiarami GNSS oraz pracą innych sensorów (np. Inklinometrów, tensometrów) jest podstawą znanych rozwiązań jak choćby Geodetic Monitoring System (GeoMoS) [Karsznia 2007.]. Łączenie stanowisk tachymetrycznych w strukturę ciągów może mieć miejsce w przypadku monitoringu prowadzonego na większych obszarach (konieczność zapewnienia zasięgu pomiaru do punktów kontrolowanych) lub na terenach zurbanizowanych (przykładowo w trakcie realizacji inwestycji typu budowa kolei podziemnej czy tunelu). Wówczas to istnieje potrzeba zainstalowania kilku, kilkunastu czy nawet kilkudziesięciu stanowisk tachymetrycznych pracujących w czasie rzeczywistym.

Wizualizacja wyników prowadzonego monitoringu

Obecnie rozwijane są zdalne serwisy monitoringu strukturalnego (rys. 4 i 5), w przypadku których użytkownik łączy się z centrum zarządzania (serwer aplikacyjny i bazodanowy) za pomo-



Rys. 5. Widok okna dialogowego aplikacji GeoMoS Web prezentującego wyniki pomiaru przemieszczeń (Leica Geosystems)

Geodezja zintegrowana a zarządzanie jakością

Głównymi cechami przemawiającymi za koniecznością stosowania technik geodezji zintegrowanej w monitorowaniu obiektów inżynierskich jest

powtarzalność wyników pomiarów oraz tzw. Skalowalność. W pierwszym przypadku do czynienia mamy z możliwością zastosowania standaryzacji, a w drugim – możliwość dopasowania modelu realizacyjnego do określonego obiektu. Geomatyka, jak każda sformalizowana dziedzina wiedzy, podlega bowiem standaryzacji i normalizacji [12], a jej praktyczne zastosowanie odbywa się za pomocą procedur. System taki jest zatem typowym systemem informacyjnym wchodzącym w skład procesu zarządzania (zarządzanie ryzykiem, zarządzanie pracą obiektu, zarządzanie produkcją, zarządzanie bezpieczeństwem itp.). Prawidłowy proces informacyjny powinien składać się z następujących po sobie działań [9]:

- rozeznanie źródeł informacji (instrumentarium, inne systemy);
- gromadzenie informacji (baza danych);
- selekcji informacji (odpowiednia filtracja);
- zagregowania i oceny informacji (walidacja danych);
- przechowywanie informacji (archiwizacja);
- skorelowanie jednej informacji z inną w celu wyciągnięcia wniosków;
- wykorzystanie informacji (proces podejmowania decyzji).

Przedstawiona sekwencja odpowiada istocie monitoringu strukturalnego, jako systemu pozyskiwania, przetwarzania i analizowania geodanych w celu wyciągnięcia wniosków oraz podjęcia decyzji. Dodać należy, iż aktualną informację o otaczającym nas świecie należy pozyskać w sposób szybki i wiarygodny, z najwyższą możliwą dokładnością.

Ponieważ geomatyka jest kompleksowym współdziałaniem metod mających na celu pozyskiwanie, przetwarzanie i analizowanie geodanych, każda ze stosowanych technologii podlega wcześniejszemu opisaniu z podziałem na procedury. Dane pochodzące z pomiarów podlegają ocenie (walidacja), a następnie zasilają bazy danych systemów analitycznych. Podczas monitorowania obiektu budowlanego, należy określić następujące parametry:

- ilość pojedynczych pomiarów punktu kontrolowanego wchodzących w skład jednego pocztu pomiarowego;
- ilość pomiarów w jednym cyklu pomiarowym (definicja serii pomiarowej);
- sposób transmisji wyników pomiarów do centrum zarządzania;
- sposób zabezpieczenia przesyłanych danych;
- sposób przeliczenia, wyrównania i dalszego opracowania wyników pomiarów;
- sposób zapisu wyników pomiarów do bazy danych;
- sposób pobrania wyników pomiarów z bazy danych w celu ich dalszego przetwarzania itp.

Zapewnienie spójności pracy systemu wymaga zatem poddania standaryzacji wszystkich jego elementów składowych. Wdrożenie zintegrowanych technologii pomiarowych (monitoring geodezyjny, pomiary zintegrowane) wiąże się z koniecznością sporządzenia szczegółowej dokumentacji technicznej. Dodać należy, iż jakość pozyskanych danych zależy także od zapewnienia jakości samych urządzeń, a także materiałów wejściowych (np. dane numeryczne i podkłady mapowe – palny, którymi zasilany jest zintegrowany system pomiarowy).

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.

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 oraz optymalizacja procesów decyzyjnych). Elementem wzbogacającym proces pozyskiwania wiedzy o obiekcie oraz modelowania związanych z nim zjawisk jest możliwość zastosowania metody wyrównania i integracji przestrzennych stanowisk oraz ciągów tachimetrycznych w badaniu krótkookresowych zmian zachodzących na obiekcie. Wykorzystując tę funkcjonalność przy zastosowaniu najnowszych rozwiązań informatycznych, można w sposób wiarygodny dokonywać oceny stanu różnych obiektów inżynierskich.

Monitoring strukturalny jest niewątpliwie systemem informacyjnym. Stanowi kluczowe ogniwo w procesie zarządzania ryzykiem oraz pozwala prowadzić bieżącą ocenę stanu badanego obiektu. Jest to szczególnie ważne w dobie intensywnego rozwoju gospodarczego, prowadzenia wydobywania surowców mineralnych czy w zarządzaniu infrastrukturą. Ostatnimi czasy na szczególną uwagę zasługują przykładowo objekty hydrotechniczne, od których stanu zależy produkcja energii z tzw. „czystego źródła”.

W wielu wypadkach, podejście klasyczne bazujące na pomiarze okresowym oraz punktowym nie jest wystarczające (dotyczy to szczególnie wysokich budynków, głębokich wykopów, skarp czy osuwisk). Do podejmowania decyzji odnośnie funkcjonowania obiektu potrzebne są informacje wewnętrzne (dotyczące stanu badanej struktury) jak i zewnętrzne (mające wpływ na zachowanie się obiektu). Uchwycenie rzeczywistej dynamiki monitorowanych obiektów jest jednym z największych wyzwań stawianych współczesnej geomatyce. Taką strukturę ma bowiem otaczający nas świat.

Literatura

1. Czarnecki K. Geodezja współczesna w zarysie, wydawnictwo wiedza i Zycie, Warszawa 1998.
2. Duffy M.A., Hill CH., Whitaker C., Chrzanowski A., Lutes J., Bastin G. 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.
3. Góral W., Szewczyk J. Zastosowanie technologii GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. – Kraków, 2004.
4. Hejmanowski R. Prognozowanie deformacji górotworu i powierzchni terenu na bazie uogólnionej teorii Knothe'go dla złóż surowców stałych, ciekłych i gazowych, IGSMiE PAN. – Kraków, czerwiec 2001.
5. Karsznia K. 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. – Wrocław, 2004.
6. Karsznia K. Nic nie jest statyczne, czyli system strukturalnego monitoringu przemieszczeń i odkształceń Leica GeoMoS, Geodeta – Magazyn Geoinformacyjny Nr 9 (148)/2007, s. 54-58
7. Karsznia K., Wrona M. Zintegrowane systemy monitoringu geodezyjnego w badaniu dynamiki konstrukcji inżynierskich obiektów budowlanych, GEODETA magazyn Geoinformacyjny, nr 3(166)/2009. – S. 20–24.
8. Kavanagh B.F. Geomatics, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio 2003.
9. Kindlarski E. Kontrola i sterowanie jakością, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. – Warszawa, 1993.
10. Lorse G., Schleussinger K.: Messen ohne stationieren, Effizienter Einsatz von GPS + TPS, Aktuell – Magazin für Vermessung und Systemlösungen, No. 23, Dezember 2006, Monachium. – S. 3–7.
11. More J.J., Garbov B.S., Hillstrom K.E. User Guide for MINPACK-1, Mathematics and Computers (UC-32), ANL 80-74, Argonne National Laboratory, Applied Mathematics Division, Argonne, Illinois 1980.
12. Przewłocki S. Geomatyka, Wydawnictwo Naukowe PWN. – Warszawa, 2008.
13. PN-EN ISO 19101:2005 norma Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, Informacja geograficzna – Model tworzenia norm. – Warszawa, 2005.
14. Osada E.: Geodezja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – Wrocław, 2002.
15. Witakowski P. Zdalne monitorowanie obiektów budowlanych podczas budowy i eksploatacji, Czasopismo Techniczne, z 1-Ś/2007, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. – S. 179–189.
16. Vermeille H. Direct transformation from geocentric coordinates to geodetic coordinates, Journal of Geodesy 76, Springer Verlag 2002. – S. 451–454.
17. www.leica-geosystems.pl.

Застосування зінтегрованої геодезії у структуральному стеженні та керуванні якістю

К. Каршня

Останнім часом спостерігається динамічний розвиток у галузях, пов'язаних з геотехнологіями. Технології, які використовуються в інженерній геодезії, як ніколи досі, основані на інтеграції даних. Цей сучасний підхід до вирішення інженерних проблем все частіше називають геоматикою. Її суть полягає в отриманні, перетворенні та аналізі геоданих, які є результатом вимірювання різними сенсорами, а також на прийманні відповідних рішень. Приладами, які застосовують в геодезії, є точні електронні тахеометри, супутникові приймачі GNSS, цифрові нівеліри, точні нахиломіри та інші прилади, робота яких може бути об'єднаною в одній спільній системі. Однак для формулювання відповідних висновків потрібно здійснити відповідне моделювання отриманих даних. У зв'язку з цим існує потреба розвитку та практичного впровадження нових алгоритмів моделювання геоданих. У статті наведено приклад інтеграції геодезичних даних, які в формі моделі можна використати в проектах структурального стеження. Крім цього, подано деякі застосування для візуалізації даних і керування проектами стеження, які основані на опрацюваннях фірми Leica Geosystems. Звернута увага на те, що практична реалізація систем структурального стеження основана на керуванні дани-

ми і їх стандартизації. У зв'язку з цим такі системи можна вважати інформаційними системами, які є елементом комплексного керування якістю. Описаний підхід стає щораз популярнішим під час ведення різних інженерних робіт.

**Применение интегрированной геодезии
в структуральном мониторинге
и управлении качеством**

К. Каршня

В последнее время наблюдается динамическое развитие отраслей, связанных с геотехнологиями. Технологии, которые используются в инженерной геодезии, как никогда прежде основаны на интеграции данных. Этот современный подход к решению инженерных проблем всё чаще называют геоматикой. Её сущность состоит в получении, преобразовании и анализе геоданных, полученных в результате измерений разными сенсорами, а также в принятии соответствующих решений. Приборами, которые применяют в геодезии, являются точные электронные тахеометры, спутниковые приёмники GNSS, цифровые нивелиры, точные наклонометры и другие приборы, работа которых может быть объединена в одной общей системе. Но для получения соответствующих выводов необходимо соответственное моделирование полученных данных. В связи с этим существует необходимость развития и практического внедрения алгоритмов моделирования геоданных. В статье приведен пример объединения геодезических данных, которые в форме модели можно использовать в проектах структурального мониторинга. Кроме этого, описаны некоторые применения для визуализации данных и управления проектами мониторинга, основанные на наработках фирмы Leica Geosystems. Обращено внимание на то, что практическая реализация систем структураль-

ного мониторинга основана на управлении данными и их стандартизации. В связи с этим такие системы можно считать информационными системами, которые являются элементом комплексного управления качеством. Описанный подход становится всё более популярным при ведении различных инженерных работ.

**Applications of the integrated geodesy structural
monitoring and quality management**

K. Karsznia

In recent times significant progresses in geotechnologies have been observed. The technologies used in engineering surveying base on data intergation more often than ever before. Nowadays, a modern approach is being used to solve engineering problems named geomatics. It comprises collecting, analyzing and decision making based on geo-data gained by using variuos sensors. In geodesy there are used total stations, GNSS satellite receivers, digital levels, precise inclinometers and any other sensors which can be integrate together and controlled by one homogenous system. However, the collected data has to be properly modelled. Based on the calculated results a global analytical model will be generated as well as there will be taken decisions. According to that, there is a need to develop and implement some algorithms for data modelling. The article presents an example of geodetic data integration which can furtherly be used in structural monitoring approaches. Moreover, there were presented some visualisation tools of Leica Geosystems used in commercial applications of structural monitoring. It was also pointed out that implementing integrated monitoring systems relays on data management and standardisations. Therefore, structural monitoring can be seen as an information system which principle is quality management. The presented approach becomes constantly more popular in all tasks and projects related to engineering surveying.

29 November – 3 December

Tunisia

**International Congress Geotunis 2010:
The use of GIS and remote sensing for sustainable development.**

www.geotunis.org