



Fot. Jerzy Przywara

# Monitoring po polsku

Badania nad systemami mierzenia deformacji i przemieszczeń dają naukowcom spore pole do popisu i współpracy z biznesem. Czy jednak polskie instytucje naukowe dostrzegły ten potencjał?

**P**ierwsze systemy monitoringu w dzisiejszym rozumieniu tego terminu zaczęły się pojawiać dopiero na początku lat 90., choć prace badawcze nad automatyzacją pomiarów prowadzone były znacznie wcześniej. Wśród krajowych pionierów tych badań można wymienić m.in. prof. Wojciecha Janusza z IGiK – który o pomiarach deformacji pisał już w 1971 r. w swojej habilitacji, a także dr. Mariana Kowalczyka, który w 1977 r. jako pracownik Politechniki Wrocławskiej zaprezentował koncepcję automatyzacji pomiarów kontrolnych zapór ziemnych. Co zmieniło się od tego czasu na polskich uczelniach oraz w instytutach badawczych?

Na **Akademii Górniczo-Hutniczej** w Krakowie prace naukowe koncentrują się przede wszystkim na terenach górniczych – zarówno kopalniach (odkrywkowych i podziemnych), jak i powstałych w wyniku ich eksploatacji górotworach. Jednym z rozwiązań opracowanych na AGH jest laserowy system z komputerową detekcją wiązki do pomiarów dwukierunkowych przemieszczeń względem dowolnie ukierunkowanej referencyjnej wiązki. Sprawdza się on m.in. do wyznaczania: przemieszczeń górnych poziomów wysokich bu-

dynków i wież szybów górniczych względem fundamentów, wyznaczania ugięć i przemieszczeń mostów, obniżenia i przemieszczeń poziomych wywołanych eksploatacją górniczą, nachyleń budynków i obiektów przemysłowych czy pionowości lub prostoliniowości przewodników w szybach górniczych (GEODETA 9/2009).

Drugim pomysłem krakowskich naukowców są wizyjne systemy pomiarów zmian długości między znakami pomiarowymi. Dzięki nim można m.in. wyznaczać wartości wsuwów i wysuwów rur w kompensatorach rurociągów, a także obliczać: odkształcenia poziome na bazach pomiarowych realizowanych przez ciągną lub pręty; zmiany rozwarości szczelin dylatacyjnych lub pęknięć czy ugięcia mostów. Na AGH opracowano ponadto różne konfiguracje rozwiązań GNSS do wyznaczania obniżenia i przemieszczeń poziomych obiektów budowlanych i przemysłowych.

Jak podkreśla dr Mieczysław Józwik z Katedry Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformacji i Geodezji Górniczej AGH, dwa pierwsze rozwiązania są autorskimi koncepcjami pracowników katedry. Wszystkie trzy zostały zaś sprawdzone w praktyce i są już gotowe do wdro-

żeń – nie tylko na terenach górniczych. Za ich pomocą można rejestrować dane z częstotliwością nawet do 60 Hz, przysyłać je przez sieć GSM, a nawet zdalnie sterować komputerem pomiarowym.

**W**arszawskim **Instytucie Badawczym Dróg i Mostów** prace nad monitoringiem prowadzone są w Laboratorium Badań Konstrukcji Mostowych. Jak wyjaśnia kierujący tą jednostką dr Piotr Olszkek, naukowcy wykorzystują system bazujący na sieci pochyłomierzy i tachimetrów automatycznych. Został on opracowany z pomocą firm Leica Geosystems, Coder oraz Oprogramowanie Naukowo-Techniczne.

Na podstawie wskazań pochyłomierzy oraz danych o geometrii konstrukcji mostowej możliwe jest określenie w trybie on-line linii przemieszczeń pionowych z wykorzystaniem algorytmu wyznaczania sklepanych krzywych gładkich (do ich obliczeń służy oprogramowanie Leica GeoMoS i aplikacja w systemie MatLab). Przemieszczenia pionowe są ponadto porównywane z realizowanymi w dłuższych odstępach czasu pomiarami tachimetrycznymi. Taki system zapewnia praktycznie ciągłe (3 razy na minutę) wyznaczanie przemieszczeń i jest szczególnie przydatny do pomiaru ugięć obiektów mostowych pod obciążeniem statycznym, gdy zastosowanie czujników mechanicznych jest utrudnione bądź nie-

możliwe (np. z racji ruchu drogowego lub kolejowego bądź gdy pod konstrukcją płynie rzeka).

Przeprowadzone badania potwierdziły, że system zapewnia duże dokładności pomiarów i stosunkowo wysoką częstotliwość próbkowania, także dla konstrukcji o rozpiętości przęsła powyżej 50 m. Sprawdza się także przy monitorowaniu długoterminowym. Jak zapowiada dr Piotr Olszok, Instytut wspólnie z Politechniką Poznańską przygotowuje się do budowy systemu krótkoterminowego geodezyjnego monitorowania drogowych i kolejowych konstrukcji mostowych wykorzystującego metody tachymetryczne i GNSS.

**B**adania na Wydziale Geodezji i Kartografii **Politechniki Warszawskiej** koncentrują się na przemieszczeniach na obiektach hydrotechnicznych. Jak wylicza dr Marek Woźniak z Zakładu Geodezji Inżynierskiej i Pomiarów Szczegółowych, pod lupę brane były już zbiorniki w Gilowie, Rybniku, Mietkowie, Włocławku, Wiórach, Żarnowcu, Żarze i Besku, a także Żelazny Most. Monitorowane były również: budowa stołecznego metra, przekrycia dachowe, kominy, chłodnie kominowe, skarpa warszawska z kościołem św. Anny, tor kolarski, a nawet ruch lodowców na Spitsbergenie.

Doświadczenia zdobywane w trakcie tych pomiarów pozwoliły na stworzenie własnych koncepcji automatycznych pomiarów geodezyjnych z wykorzystaniem m.in. technik niwelacyjnych, inklinometrycznych, kątowno-liniowych, obserwacji GPS, skaningu laserowego, fotografii cyfrowej czy wideotachimetrii. Efektem tych działań są zautomatyzowane systemy, takie jak: GeoEdit\_RMS, RMS-GPC, SPACE, ServoTC, TC-calc, GeoSurvey. W rozwiązaniach tych oprócz bieżących wyliczeń pozycji punktów kontrolowanych wszystkie dokonywane obserwacje gromadzone są w celu postprocesingu. W najbardziej rozbudowanym systemie GeoSurvey oprócz zbierania, opracowywania i wizualizacji danych typowo geodezyjnych można prowadzić także analizy zdjęć cyfrowych. W ścisłym związku z badaniami technicznymi, koncentrującymi się m.in. na automatyzacji pomiaru, na PW prowadzi się również rozważania teoretyczne dotyczące opracowania wyników i analizy niezawodnościowej systemów.

Do sukcesów swojego wydziału dr Marek Woźniak zalicza także obserwacje geometrii obiektów hydrotechnicznych w elektrowni szczytowo-pompowej w Żarnowcu. Jak tłumaczy, stały się

one podstawą do zaprojektowania sposobu prowadzenia monitorowania na tego typu obiektach. Dzięki zastosowanej technologii pomiaru możliwe było wyznaczenie krótkookresowych zmian kształtu korony zbiornika przy zachowaniu wyjątkowo wysokiej dokładności, a to pozwoliło dobrze rozpoznać cechy konsolidacji i dekonsolidacji gruntu. Kolejnym osiągnięciem PW jest opracowanie koncepcji strukturalnej i funkcjonalnej systemu monitorowania przemieszczeń poziomych i pionowych na budowie drugiej linii stołecznego metra (pisaliśmy o nim w TACHIMETRACH – dodatku do GEODETY 12/2011).

**N**a Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu tematyką monitoringu zajmuje się m.in. dr Krzysztof Mąkolski. Jak podkreśla, coraz częściej stosowane w badaniach deformacji bezobsługowe systemy stwarzają potrzebę powrotu do zaniechanego przez dłuższy czas problemu wpływu warunków środowiskowych na dokładność pomiaru kątów pionowych. Jego zdaniem uwzględnienie w systemach monitoringu poprawek do mierzonych automatycznie kątów zwiększy wiarygodność wyników. A problem ich poprawnego określenia jest wciąż nie do końca rozwiązany. Zdecydowana większość autorów realizowała bowiem to zagadnienie w odniesieniu do celowania optycznego wykonywanego przy użyciu tachimetrów klasycznych. W systemach monitoringu celowanie odbywa się jednak automatycznie. Ponadto na wielu wytypowanych do pomiarów obiektach część mierzonych celowych przebiega nie tylko nad gruntem, ale też nad powierzchnią wody, a badań w takich warunkach przeprowadzono niewiele.

Problemy te starają się rozwiązać naukowcy z Instytutu Geodezji i Geoinformatyki UP, m.in. we współpracy z firmą Leica Geosystems. W ramach umowy z tą spółką metodą niwelacji precyzyjnej wykonano już pomiary punktów kontrolnych i kontrolowanych systemu monitoringu zbiornika Żelazny Most. Badania nad określeniem poprawek do kątów pionowych, wykorzystujące dane z tego systemu, były ponadto tematem trzech prac magisterskich przygotowanych pod opieką dr. Krzysztofa Mąkolskiego; w opracowaniu są kolejne, tym razem dotyczące innych obiektów.

**W** Centrum Geomatyki Stosowanej **Wojskowej Akademii Technicznej** badania nad monitoringiem koncentrują się przede wszystkim na wykorzystaniu narzędzi pomiarowych

czasu rzeczywistego w badaniu przemieszczeń i deformacji konstrukcji inżynierskich. W początkowej fazie były to prace związane z użyciem techniki czasu rzeczywistego GNSS-RTK, ale dziś specjaliści z WAT skupiają się na systemach wielosensorycznych bazujących na tachimetrach zrobotyzowanych, pochyłomierzach czy przyspieszeniomierzach.

Obecnie w CGS realizowane są dwa projekty z zakresu monitoringu strukturalnego: grant pt. „Zintegrowany system monitorowania stanu stałych i tymczasowych przepraw mostowych w aspekcie ich degradacji eksploatacyjnej i zdarzeń destrukcyjnych (pod kierunkiem dr. Marcina Szoluchy) oraz badania w ramach doktoratu Macieja Wrony na temat kinetyki wysokich i smukłych konstrukcji z wykorzystaniem techniki GNSS czasu rzeczywistego. Pierwszy jest kontynuacją badań realizowanych przez CGS wspólnie z Wydziałem Mechanicznym WAT (fot. na s. 45). Drugi zaowocował współpracą z Politechniką Opolską i zespołem prof. Tadeusza Chmielewskiego.

Realizację tych prac ułatwia zakupiony przez WAT system monitoringu składający się z tachimetru TM30, dwóch pochyłomierzy Nivel 220 oraz oprogramowania GeoMoS. Aktualnie za jego pomocą badane są deformacje komina stołecznej ciepłowni Kawęczyn spowodowane obciążeniem termicznym. W najbliższym czasie prace CGS zostaną ukierunkowane na unifikację i standaryzację opracowanych rozwiązań pomiarowych. O badaniach związanych z monitoringiem na WAT szerzej pisaliśmy m.in. w GEODECIE 7 i 9/2009 oraz NAWI – dodatku do GEODETY 3/2012.

**W** zakresie monitoringu aktywni są również polscy naukowcy działający za granicą. Jednym z przykładów jest dr Adam Chrzanowski pracujący w Kanadyjskim Centrum Geodezji Inżynierskiej (CCGE). Zasłynął on m.in. opracowaniem systemu monitoringu Alert, który z powodzeniem wdrażany jest m.in. Stanach Zjednoczonych.

Ten krótki przegląd pokazuje, że polskie uczelnie i instytuty badawcze widzą w monitoringu geodezyjnym ciekawy i perspektywiczny temat badań. Pozytywnie należy ocenić fakt, że w toku opisanych projektów naukowcy nawiązali współpracę z innymi instytucjami oraz biznesem – zarówno z dystrybutorami rozwiązań pomiarowych, jak i potencjalnymi odbiorcami systemów monitoringu. To daje nadzieję, że efektem badań będą nie tylko teoretyczne artykuły, ale też praktyczne wdrożenia.

Opracowanie redakcji