

Mierzenie punktów pod powierzchnią z wykorzystaniem systemu ArgusTAT

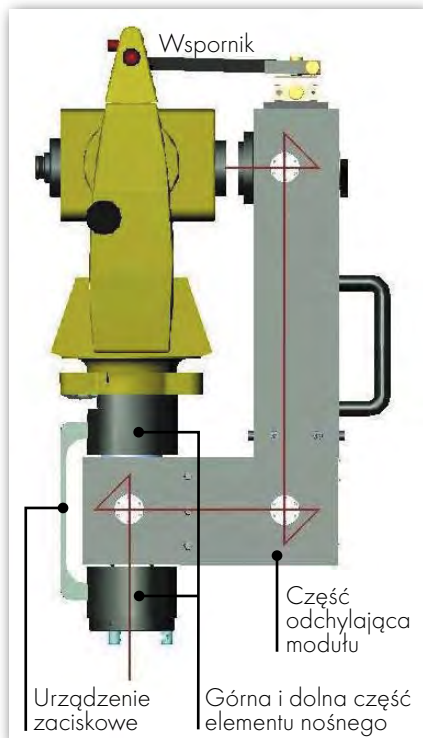
BEZ SCHODZEN

Firma Argus GeoTech po raz kolejny pokazuje, jak niemożliwe staje się możliwe. W GEODECIE 1/2006 zaprezentowaliśmy Oko Argusa – urządzenie do pomiaru tachimetrem zza węgła. Tym razem przekonamy się, jak ze stanowiska na powierzchni wykonywać pomiary pod tą powierzchnią.

MATTHIAS FUHRLAND

• KIEDY PRZYDAJE SIĘ ArgusTAT?

Jeśli zamglenie w szybie kopalnianym lub w tunelu pozwala na pomiar optyczny, to przeniesienie pionu lub kierunku skośnego zwykle odbywa się ze stanowiska na dnie szybu i polega na wykonaniu pomiarów teodolitem i pionownikiem laserowym z określeniem głębokości szybu za pomocą zwykłej taśmy mierniczej. Pomiar optyczny z dna szybu może się jednak okazać bardzo utrudniony lub nawet niemożliwy np. z powodu ciekącej



1. Przebieg promienia świetlnego przez moduł ArgusTA



2. ArgusTA na górze szybu

z góry wody. Innym złożonym problemem jest wykonanie geodezyjnych pomiarów wstępnych kanalizacji lub podziemnych rurociągów z odpowiednią dokładnością. Typowe systemy pomiarowe wykorzystywane przy sporządzaniu planów sieci komunalnej, takie jak kamery telewizyjne, radiowe systemy lokalizacyjne czy skanery laserowe 3D, nie potrafią określić pozycji i przebiegu rur w trzech wymiarach. We wszystkich wymienionych przypadkach rozwiązaniem jest ArgusTAT (Total

Station Attachment with Telescope).

Modułowy system ArgusTAT składa się z dwóch części montowanych na zwykłych tachimetrach. Moduł ArgusTA rozszerza funkcjonalność klasycznego tachimetru o dodatkowe możliwości, takie jak pionowanie w dół oraz przenoszenie orientacji pionowej lub skośnej (nieznacznie odchylonej od pionu) np. w głąb szybów kopalnianych. ArgusTAT – uzupełniony mechanicznym teleskopem – może być również wykorzystywany w pomiarach kanalizacji i rurociągów, zapewniając dokładności geodezyjne.

• MODUŁ PIERWSZY: ArgusTA

W module ArgusTA pozioma wiązka z tachimetru jest odchylana przez zestaw trzech prostopadłych zwierciadeł w taki sposób,

że dalej biegnie współosiowo z pionową osią obrotu instrumentu (rys. 1). Każde prostopadłe zwierciadło zbudowane jest z dwóch pojedynczych zwierciadlanych płytek szklanych (podobnie jak w Oku Argusa), które zmieniają prostopadłe przebieg wiązki światła z dokładnością lepszą niż $10''$ [Fuhrland, 2006]. Te trzy lustra umieszczone są w części odchylającej modułu, która łączy górny uchwyt tachimetru ze środkową częścią precyzyjnego elementu nośnego. Jeśli obraca

montowanego na tachimetrze

IA POD ZIEMIĘ



3. Podświetlanie pryzmatu

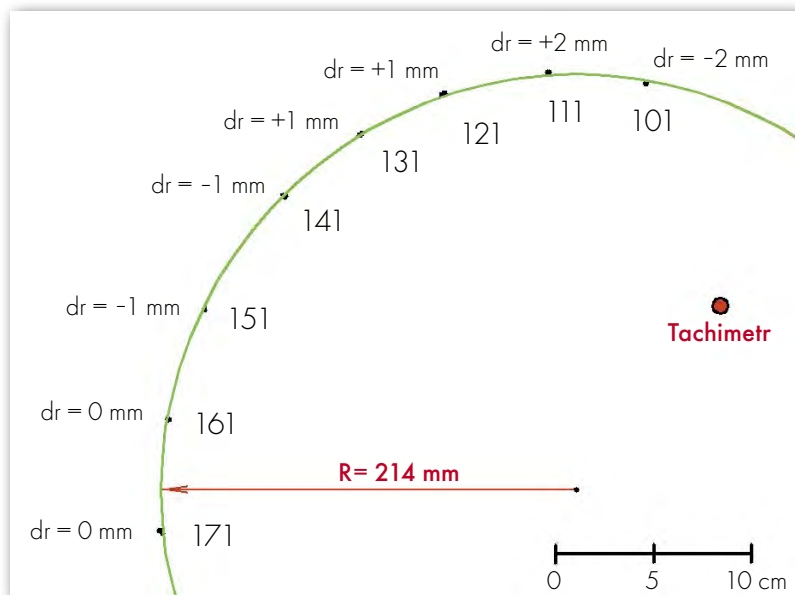
się koło poziome tachimetru, to część odchylająca i część środkowa elementu nośnego wykonują ten sam ruch. Górna i dolna część elementu nośnego są połączone urządzeniem zaciskowym. Z tego powodu podczas obrotu koła poziomego tachimetru śruba sprzęgająca pozostaje nieruchoma. Niestety, urządzenie zaciskowe ogranicza obrót koła poziomego do 330 gradów.

Żeby zamocować moduł ArgusTA do tachimetru, jego fabryczny uchwyt trzeba zastąpić specjalnie do tego celu przygotowanym uchwytem z ruchomym wspornikiem. Wspornik przymocowuje się od góry do części odchylającej wiązkę światła (fot. 2). Ostateczna regulacja tego połączenia odbywa się za pomocą śruby mikrometrycznej. Błąd w ustawieniu osi pionowej instrumentu powoduje błąd modułu ArgusTA. Skutkuje to jednak tylko równoległym przesunięciem

wiązki pionowej, ponieważ włączony kompensator sprawia, że i tak oś celowa tachimetru ustawia się dokładnie w poziomie.

Maksymalne przesunięcie równoległe promienia pionowego nie przekracza 0,4 mm (przy zakresie pracy kompensatora 5°, typowym dla tachimetrów Leiki). Geodeta wyposażony w moduł ArgusTA może dowolnym tachimetrem pionować lub przenosić w dół kierunki skośne. Po ustawieniu koła pionowego tachimetru na kąt $\nu = 100^\circ \pm \alpha$ wiązka światła wychodząca z modułu ArgusTA będzie odchylona od osi pionowej właśnie o kąt α . Pomiar odległości za pomocą ArgusTA działa bez zakłóceń, umożliwiając biegunowy pomiar punktów widocznych na dnie szybów. Przy wyznaczaniu współrzędnych należy tylko uwzględnić „zmienną” dodawania modułu ArgusTA, która zależy od kąta pionowego.

Przy pomiarze krótkich odcinków pomocne jest oświetlenie potrójnego pryzmatu wbudowanymi diodami LED. W przypadku większych odległości i słabszej widoczności wskazane jest oświetlenie pryzmatu od tyłu lampą



4. Wyniki pionowania i referencyjny okrąg

halogenową. Nawiązanie obserwacji do punktów o znanych współrzędnych powinno odbywać się przed podłączeniem wspomnianego wspornika do modułu, tak by możliwy był pomiar w dwóch położeniach lunety i dwóch położeniach koła poziomego, co pozwoli zminimalizować błędy tachimetru i modułu ArgusTA.

Promień przebywa wewnątrz urządzenia 90-centymetrową drogę, a wymiary trzeciego lustra ograniczają wielkość otworu względnego obiektywu do 3,7 cm. Dlatego zakres pracy koła pionowego ograniczony jest do ± 1 grada. Umożliwia to pomiar 6-metrowego odcinka na głębokości 200 m. Tak więc przenoszenie pionu w głębokich szybach i studniach staje się łatwiejsze i jest wspomagane powiększeniem obrazu w tachimetrze nie gorszym niż w precyzyjnych pionownikach.

Prototyp ArgusTA został przystosowany do pracy z tachimetrem TCR 303 i podobnymi instrumentami firmy Leica Geosystems. Do innego rodzaju instrumentów musi być przystosowana konstrukcja części odchylającej z uwzględnieniem wysokości osi pionowej teodolitu i sposobu mocowania do górnego uchwytu.



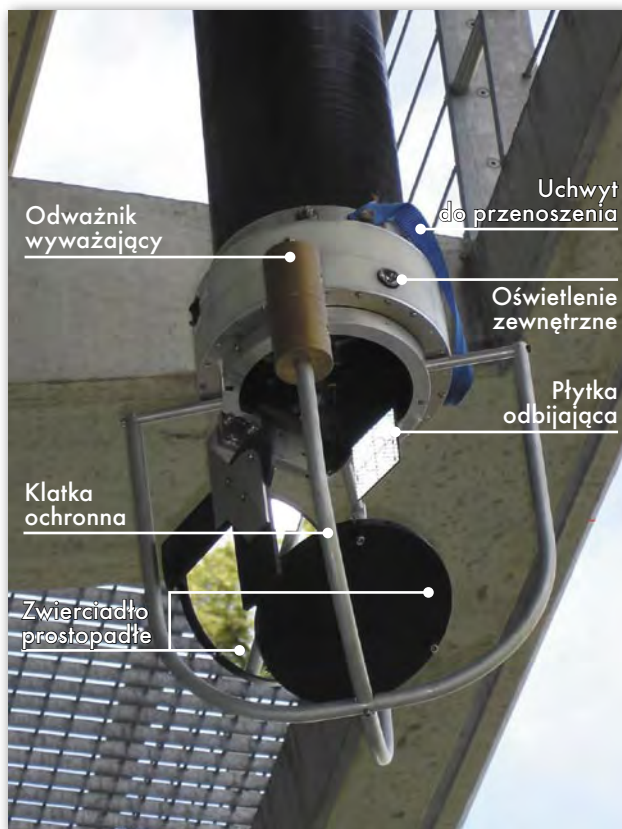
5. Moduł ArgusTAT z wysuniętym teleskopem

Dokładność pomiaru biegunowego z wykorzystaniem modułu ArgusTA pokazuje rysunek 4. Tachimetr TCR303 wraz z modułem ArgusTA został zamocowany nad 20-metrowym wąskim szybem klatki schodowej 6-kondygnacyjnego budynku. Zamontowany ekscentrycznie potrójny pryzmat ustawiono na dnie szybu, a następnie obracano go w płaszczyźnie poziomej na ramieniu o stałej długości 214 mm (fot. 3). Każde położenie lustra mierzono z góry przy czterech różnych ustawieniach koła poziomego. Uzyskane wyniki odniesiono do referencyjnego okręgu o promieniu $R = 214$ mm. Maksymalne odchyłki osiągały wartości 2 mm (zarówno w poziomie, jak i w pionie) i pojawiały się, kiedy odstęp między ścianą a promieniem lasera wynosił zaledwie 5 cm. Błąd RMS wyznaczenia środka okręgu wyniósł tylko 0,1 mm.

• MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MODUŁU ArgusTA

Używając zestawu złożonego z modułu ArgusTA i dowolnego tachimetru geodeta może wykonywać pionowanie w dół (w nadirze), przenosić kierunek skośny, mierzyć głębokość oraz pionowo przenosić orientację w głębokich szybach (kopalniach i prowadzących do tuneli), studniach, a także w wysokich budynkach, szybach windowych, murach oporowych itp. Kolejną możliwością zastosowania jest definiowanie pochylonych trójwymiarowych układów współrzędnych, np. suchego doku w stoczni. Inne zadania, jakie można wykonać za pomocą urządzenia:

1. Pionowanie w dół z optycznym lub laserowym namierzaniem celu (przy złej widoczności celowanie można wykonać za pomocą czerwonego lasera tachimetru).
2. Przenoszenie kierunku w lekko pochylonych szybach (maksymalny kąt odchylenia od pionu ogranicza maksymalną długość mierzonego odcinka na dole szybu, zależną od jego głębokości).



6. Najniższa część teleskopu

3. Elektroniczny pomiar głębokości w pionie i odchylonej (jeśli ArgusTA jest odpowiednio skalibrowany, pomiar odległości nie jest obciążony żadnym dodatkowym błędem).

4. Ciągłe obserwacje z systemem automatycznego rozpoznawania celu ograniczające efekt migania podczas pionowania i pomiaru biegunowego (porównać można elektroniczny pomiar odległości z użyciem podczerwieni i czerwonego lasera).

5. Pionowe przeniesienie orientacji w pionowych lub lekko odchylonych szybach, które może być zrealizowane poprzez płaszczyzny optyczne (polega to na ciągłym celowaniu poziomą linią krzyża nitki na dwa cele).

6. Przeniesienie orientacji poprzez biegunowy pomiar kilku celów (np. pryzmatów odbijających światło) usytuowanych wzdłuż przekroju poprzecznego szybu (nawet w przypadku szybów narażonych na silne podmuchy wiatru przy niewielkim wysiłku mogą być osiągnięte duże odległości i wysokie dokładności).

7. Pionowe przeniesienie w dół pozycji i orientacji poprzez pomiar kąta pionowego w kilku różnych azymutach, podobnie do metody stosowanej podczas budowy Eurotunelu [Morlot, 1989]. Tachimetrem z Argusem ustawionym

na górze szybu należy pomierzyć kąty pionowe dwóch lub więcej celów pod powierzchnią przy różnym położeniu koła poziomego obracanego o stały interwał. Otrzymuje się w ten sposób sinusoidę, która w połączeniu z wyznaczoną odległością w pionie pozwala wyliczyć współrzędne pod powierzchnią i orientację.

Jeśli podpowierzchniowa orientacja jest już wstępnie wyznaczona, do zwiększenia precyzji pionowania i przeniesienia orientacji można wykorzystać dwa teodolity, które obserwują się nawzajem. Jest to metoda dobrze znana z niwelacji trygonometrycznej prowadzonej ponad rzekami lub innymi zbiornikami wodnymi. Metodę opisaną w pkt 7 należy zastosować do dwóch teodolitów ustawionych na górze i na dole szybu. Instrumenty muszą być wycelowane na poziome krzyże swoich krzyży nitek. Po pomiarze kąta pionowego następuje zmiana azymutu w obu instrumentach w tym samym kierunku i o taką samą wartość.

Na Uniwersytecie Drezdeńskim prowadzone są badania nad zminimalizowaniem wpływu refrakcji bocznej w tego rodzaju pionowaniu optycznym. Testuje się również wykorzystanie w tej metodzie tachimetrów z plamką laserową. Okazuje się, że nadają się do tego celu tylko instrumenty z wbudowaną kamerą, które wprawdzie filtrują światło lasera przed okularzem, ale nie przed sensorem cyfrowym.

Przykład pomiaru wewnątrz ściany oporowej pokazuje kolejne zalety optycznego pionowania z użyciem ArgusTA. Z powodów oszczędnościowych nie wszystkie pionowane szyby ścian oporowych są wyposażone w stalowe druty do pionowania. Nieuzbrojone w ten sposób szyby mogą być użyte do okresowych optycznych pomiarów kontrolnych. ArgusTA pozwala prosto wykonać optyczne pionowanie (po wcześniejszym wyznaczeniu jego pozycji i zorientowaniu w odniesieniu do osnowy budynku), zamiast tradycyjnego pionowania połączonego z tyczeniem prostej ze szczytu ściany. Punkty na szczycie i wewnątrz ściany oporowej mogą być jednocześnie obserwowane optycznie za pomocą tego przenośnego urządzenia. Zaletą są niskie koszty w porównaniu z instalacją mechanicznych pionowników.

● MODUŁ DRUGI: MECHANICZNY TELESKOP

Moduł drugi to mechaniczny teleskop zawieszany pionowo na statywie. Na naj-



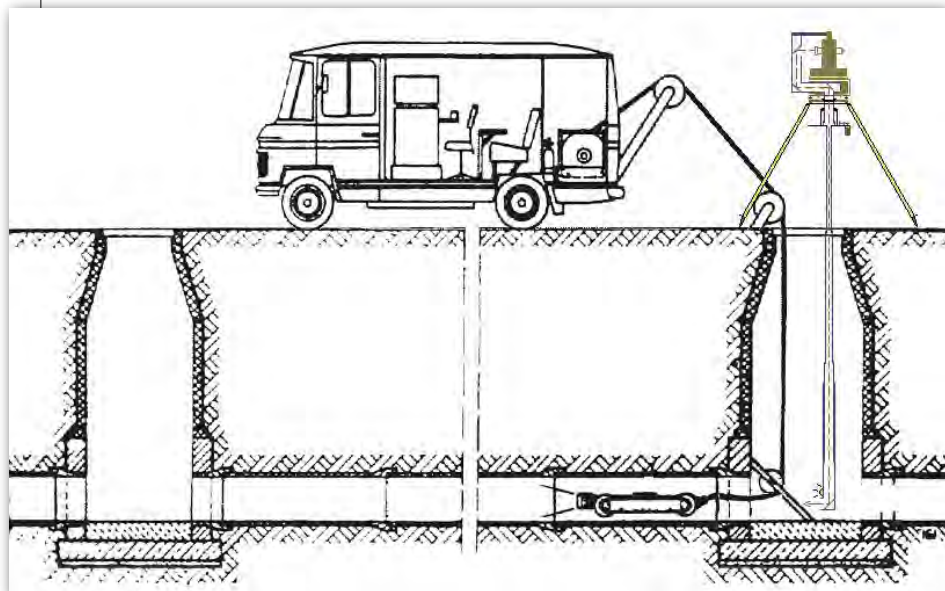
7. ArgusTAT nad włazem studzienki

niższym jego elemencie zainstalowane jest czwarte ortogonalne zwierciadło (trzy są w module odchylającym). Teleskop może być opuszczany i podnoszony za pomocą wyciągarki ze stalową linką, powodując zmianę wysokości czwartego zwierciadła. Zwierciadło to zmienia kierunek pionowo biegnącej wiązki światła na poziomy. Pionowa oś teleskopu powinna być ustawiona zgodnie z pionową osią tachimetru dzięki przegubowemu montażowi teleskopu i zaciskowemu połączeniu górnej i dolnej części modułu pomiarowego ArgusTA. Montaż przegubowy umożliwia dodatkowo poprawne ustawienie mechanicznej i optycznej osi pionowej, pomimo niespoziomowania statywu. Użycie specjalnych statywów gwarantuje potrzebny zakres swobodnego ruchu. Jeśli zmienia się położenie koła poziomego tachimetru, w ten sam sposób zmieniają położenie część odchylająca ArgusTA oraz teleskop. Normalnie do wykonania obrotu powinna wystarczyć leniwka koła poziomego. W wyjątkowych przypadkach należy docisnąć mocniej zacisk leniwki.

Po ustawieniu tachimetru z zainstalowanym modulem ArgusTAT nad otwartym włazem studni, teleskop można opuścić do wnętrza kanału lub rurociągów na głębokość 8 m. Rys. 5 pokazuje cał-

kowicie wysunięty teleskop. Zmieniając położenie koła poziomego, zmieniamy również kierunek patrzenia wewnątrz studni. Rura kanalizacyjna jest więc widoczna w lunecie tachimetru, co umożliwia pomiar kąta poziomego. Prowadnica teleskopu nigdy nie jest wykonana na tyle dokładnie, żeby podczas opuszczania lub podnoszenia teleskopu odchylony promień był równoległy do pierwotnego. Dlatego na górze teleskopu zainstalowano dodatkowy napęd zmieniający jego położenie względem ArgusTA. Po zogniskowaniu na krzyż nitek rozpięty wewnątrz najniższej części teleskopu należy go ustawić równoległe do krzyża nitek tachimetru. Zdefiniowany obrót do 100° również może być regulowany.

Przed rozpoczęciem mierzenia punktów pod powierzchnią należy wykorzystać pomiar odległości tachimetrem do wyznaczenia długości wysuniętego teleskopu. W tym celu płytka odbijająca wewnątrz najniższego elementu teleskopu jest zdalnie odchylana, a po wykonaniu pomiaru wraca ona do swojej pierwotnej pozycji (fot. 6). Teraz można już przystąpić do bezlustrowego pomiaru obiektów. Także wyznaczanie odległości do odbłaskowych tańm czy potrójnego pryzmatu nie nastręcza trudności. Używając bezlustrowego tachimetru Leica TCR1100,



8. Połączenie ArgusTAT i systemu inspekcji kanałów kanalizacyjnych

mierzone odcinki 30-metrowe do obiektów słabo odbijających światło i nawet 300-metrowe z odbłaskowymi taśmami i pryzmatem. Pomiar dalmierzem tradycyjnym (EDM) pozwala uzyskać wyniki: 80 m – na taśmy odbłaskowe i do 500 m – na potrójny pryzmat.

Geometria ArgusTAT umożliwia tylko ograniczone odchylenia promienia wychodzącego z tachimetru od płaszczyzny poziomej. Zakres ten ograniczony jest wymiarami najniższego lustra ortogonalnego (16 cm), jeśli teleskop jest całkowicie rozsunięty, lub trzeciego lustra (3,7 cm), gdy teleskop jest złożony. W zależności od długości wysuniętego teleskopu pochylenie waha się od $\pm 0,6^\circ$ do $\pm 1^\circ$. Oznacza to, że można zajrzeć bardzo głęboko do rury kanalizacyjnej ze spadkiem do 2% (fot. 7). Jeśli spadek jest większy, wtedy pole widzenia jest krótsze. Kierunek pochylenia w tachimetrze (góra lub dół) jest taki sam, jak po przejściu promienia przez najniższe ortogonalne zwierciadło. Dokładność jest zagwarantowana przez precyzyjną regulację zwierciadeł (fabrycznie: 1 sekunda kątowa) i mechanizmu przegubowego najniższego z nich.

Element sprzęgający uchwyt tachimetru z elementem odchylającym ArgusTA musi być odłączony podczas wyznaczania stanowiska swobodnego lub orientacji. Po tym celujemy na punkt nawiązania obok elementu odchylającego. Testy z wykorzystaniem połówki zwierciadła wewnątrz pierwszego zwierciadła ortogonalnego zakończyły się fiaskiem ze względu na utratę dużej części sygnału dalmierczego EDM.

Z uwagi na zamontowanie do tachimetru modułu ArgusTAT nie jest możliwy obrót o 400 gradów instrumentu z elementem odchylającym (podobnie jak w przypadku ArgusTA jest on ograniczony do 330 gradów). Możliwy jest jednak również pomiar punktów w „ślepych” kącie z użyciem dodatkowego napędu, który obraca instrument o $\pm 100^\circ$. Jednak w takim przypadku kąt pionowy w tachimetrze musi wynosić $V = 100^\circ$, ponieważ zmiana położenia lunety może spowodować poprzeczne zmiany przebiegu promienia przez najniższe lustro, zakłócając celową poziomą. Dla celowych pochyłych zaleca się więc, żeby „ślepy” kąt nie obejmował celów.

• ZASTOSOWANIA ArgusTAT

Kombinacja dwóch modułów predestynuje urządzenie do pomiarów sieci kanalizacyjnych. W przeciwieństwie do tradycyjnych systemów pomiarowych ArgusTAT umożliwia precyzyjne trójwymiarowe pomiary położenia i przebiegu podziemnych kanałów lub rur. Operator jest w stanie śledzić pozycję i wysokość systemu inspekcyjnego kanalizacji (wyposażonego w podświetlany potrójny pryzmat). Jeśli wózek porusza się wewnątrz kanału, można śledzić cel dopóki jest on widoczny ze studzienki lub innego końca kanału (rys. 8). Większość kanałów przebiega prawie w linii prostej między poszczególnymi studzienkami, tak więc jedynym zadaniem jest odpowiednie umieszczenie najniższej części teleskopu w kanale. Urządzenie umożliwia zarówno pierwszy pomiar kanału, jak i pomia-

ry odkształceń lub lokalizację skrzyżowań/rozjazdów/rozgałęzień i ugięć, jeśli przebieg kanału nie jest znany. Najważniejszą zaletą opisywanego systemu jest to, że wszystkie pomiary odbywają się na powierzchni, a zatem bez zagrożenia bezpieczeństwa zespołu pomiarowego i sprzętu.

Pierwotnie ArgusTAT był zaprojektowany do pomiarów kanałów kanalizacyjnych, ale może być stosowany we wszelkich trudno dostępnych miejscach, np. do przeniesienia kierunku i tyczenia osi konstrukcyjnych w wielokondygnacyjnych budynkach. Niewykluczone, że może on być wykorzystany także w tunelach czy szybach budynków, których głębokość nie przekracza 8 m. Dokładność urządzenia jest odpowiednia do tego typu pomiarów, jeśli odległość pozioma nie przekracza 10 m. Po przekroczeniu tej wartości odchyłka poprzeczna dochodzi do 1 cm. Taka dokładność jest jednak wystarczająca m.in. w architekturze czy przy wytyczeniach.

W górnictwie i archeologii ArgusTAT może być użyty do pomiarów podziemnych wyrobisk lub jaskiń. Z powodzeniem wykonano tyczenie podpowierzchniowych punktów orientacyjnych, które w dalszym etapie były wykorzystywane przy pomiarze jaskini skanerem laserowym. Ponadto możliwe jest również monitorowanie wysypisk, opcjonalnie w połączeniu z inercyjnym systemem naprowadzania. ArgusTAT może bowiem zdefiniować kierunek startu dla inercyjnego systemu pomiarowego.

Interesujące jest również wykorzystanie modułu ArgusTAT w połączeniu z tachimetrem wyposażonym w kamerę cyfrową, gdyż pozycję i obrót dolnego krzyża nitek można wyznaczyć fotogrametrycznie zamiast ustawiania ich równoległości. Algorytmy do tego zadania są już opracowywane. Pierwsze testy z tachimetrami Topcon wypadły pomyślnie. Natomiast nie zostały jeszcze opracowane metody automatycznego skanowania, które mogą być realizowane przez zmotoryzowane tachimetry.

MATTHIAS FUHRLAND

Literatura:

- Ryf A., Haag R., Schätti I.: AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Aktueller Projektstand, ingenieurgeodätische Aspekte, XIII. Kurs für Ingenieurvermessung, München, Wittwer Verlag Stuttgart, 2000;
- Fuhrland M.: Pomiar zła węgla, GEODETA 1/2006;
- Morlot J.-J.: Méthode et construction de lien fixe transmanche: méthodes et instruments topométriques. X, Y, Z Association Française de Topographie, No. 40, Juillet 1989.