

**RAFAŁ GAWAŁKIEWICZ**

Coraz częściej myśli się u nas o rewitalizacji starych kopalń oraz o zachowaniu i utrzymaniu zakładów górniczych o szczególnym znaczeniu historycznym i kulturotwórczym, które w przyszłości mają szansę zyskać status obiektów zabytkowych. W realizacji tych zamierzeń mogą pomóc nowoczesne techniki laserowe. W wyniku skanowania dostarczają one w krótkim czasie milionów danych przestrzennych w formie łatwych do interpretacji chmur punktów.

Sytuacja gospodarcza oraz przepisy dotyczące ochrony środowiska naturalnego otwierają także nowe możliwości niegórniczego wykorzystania podpowierzchniowych pustek, np. jako składowisk odpadów przemysłowych (także tych szczególnie szkodliwych). Przepisy te wymagają od mierniczych inwentaryzacji obiektów kopalnianych przewidzianych do zagospodarowania.

## Nowe możliwości sytuacyjno-skanera panoramicznego Callidus

# Z laserem

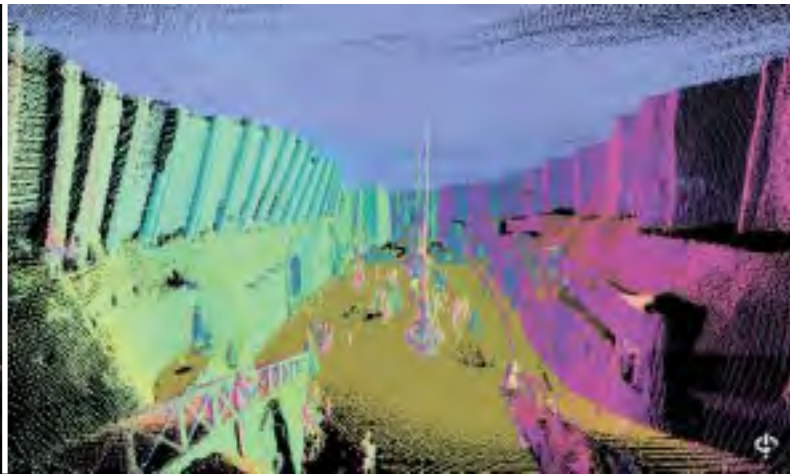
W wielu likwidowanych lub już zamkniętych (w tym zabytkowych) kopalniach dominują stanowiące potencjalne zagrożenie wyrobiska wielokubaturowe. W samej tylko Kopalni Soli „Wieliczka” (wpisanej na listę UNESCO) znajduje się 2040 komór wymagających doraźnych (okresowych) zabezpieczeń i monitoringu w celu prowadzenia działań profilaktycznych chroniących obiekty przed uszkodzeniem lub – w skrajnych przypadkach – zniszczeniem.

### ● Po co w kopalni skaner laserowy?

Dotychczasowa inwentaryzacja oparta była na klasycznych rozwiązaniach geodezyjnych lub częściej stosowanej metodzie fotogrametrycznej. Pomiary klasyczne w obrębie wyrobisk wielokubaturowych dostarczały tylko podstawowych informacji punktowych o geometrii pustki lub jej zmianach. Natomiast fotogrametryczne pozyskiwanie danych dawało pełny obraz, ale pod warunkiem odpowiedniego oświetlenia odfotografowanych elemen-

tów wyrobiska. W wielu przypadkach, zwłaszcza wewnątrz wysokich komór o skomplikowanej budowie i zabudowie, uzyskanie należytego oświetlenia było bardzo trudne i wymagało częstych





Zdjęcia i obrazy ze skanera wykonane w Kopalni Soli w Wieliczce udostępniła firma Geotronics z Krakowa

# wysokościowego nawiązania do punktów osnowy kopalnianej pod ziemią

zmian pozycji instrumentów, co zmniejszało zasięg i dokładność sporządzanej dokumentacji. Z kolei budowanie specjalnych postumentów pod stanowiska kamer zwiększało koszty i wydłużało pracę. Dlatego istniejąca dokumentacja wielu wyrobisk jest bardzo uboga. Często jedyną informację o obiekcie podziemnym znaleźć można w materiałach pochodzących z lat 70. i 80. ubiegłego wieku.

Sytuacja ta może się zmienić po wdrożeniu do geodezji górniczej skanerów laserowych. Odpowiednio przygotowane pole i warunki pomiarowe wewnątrz wyrobisk mogą znacznie uprościć czynności związane z rejestrowaniem zmian i kompletowaniem dokumentacji mierzniczo-geologicznej zgodnej z wymogami *Prawa geologicznego i górniczego*.

## ● Typowe nawiązanie skanera

Pierwotnie skanery laserowe (w tym Callidus – firmy Callidus Precision Systems, obecnie Trimble) tworzone były z myślą o wykorzystaniu w architekturze i archi-

wizacji obiektów o charakterze zabytkowym. W przypadku odwzorowywania elewacji ich zastosowanie jest proste. Poszczególne chmury punktów pozyskiwane z pojedynczych stanowisk przyrządu przetwarzane są (np. w programie Extractor) na bryły i różnego rodzaju powierzchnie, a następnie łączone i eksportowane do programów CAD-owskich, gdzie możliwa jest „kosmetyka” oraz pełna wizualizacja wyników.

## Przypominamy wcięcia

Przy metodzie wcięcia kąтового wstecz błąd położenia punktu  $m_p$  dąży do nieskończoności, gdy punkty nawiązania leżą na prostej. Błąd ten maleje do minimum wówczas, gdy kąty pomierzone mają po około  $120^\circ$  i celowe są jednakowej długości. Gdy kąty są ostre, to dla uzyskania poprawności wcięcia, długości celowych powinny być zróżnicowane.

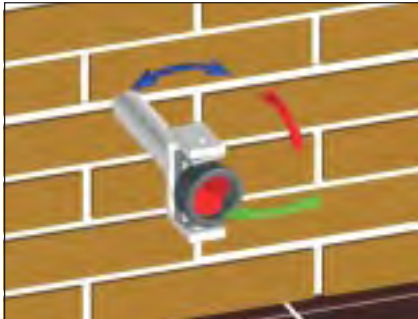
Z kolei wielkość błędu położenia  $m_p$  punktu wyznaczanego wcięciem liniowym uzależniona jest od dokładności pomiaru długości i wartości kąta na punkcie wcinanym (dla kąta  $90^\circ$  – błąd najmniejszy).

Skanerami szybko zainteresowali się też geodeci, którzy zaczęli wykorzystywać je w geodezji inżynieryjno-przemysłowej do inwentaryzacji dużych kompleksów przemysłowych, np. rafinerii. Uzyskane w ten sposób dane umożliwiają półautomatyczne tworzenie trójwymiarowych modeli mierzonych obiektów. W rzeczywistości rozległe i skomplikowane układy wymagają częstej zmiany stanowisk instrumentu (dla uzyskania widoczności poszczególnych elementów). Fakt ten wymusił na producentach wbudowanie w korpus skanerów gniazd do montażu adaptera umożliwiającego dołączenie współosiowego pryzmatu. Tachimetryczne nawiązanie do osnowy pomiarowej wyposażonego w taki sygnał skanera pozwala na przestrzenne określenie pozycji głowicy skanującej względem przyjętego układu współrzędnych. Dodatkowo reflektor referencyjny umożliwia określenie przez głowicę skanującą kierunku odniesienia. W konsekwencji możliwe jest „sklejenie” skanów jednostkowych w całość.

## ● Nowy sposób nawiązania

Rozwiązaniem alternatywnym jest zastosowanie istniejących i nowo zakładanych punktów osnowy kopalnianej do automatycznego nawiązania skanera. Uprościłoby to prace związane z określeniem pozycji skanera w tzw. pustce, przy zachowaniu należytej dokładności. Prowadzenie laserowego monitoringu wyrobisk spowodowałoby obniżenie kosztów związanych z cyklicznymi pracami geodezyjnymi (zwłaszcza w rejonach o szczególnym zagrożeniu zawałowym). Konstrukcja proponowanych punktów referencyjnych (rys. 1) – oparta na wykorzystaniu „mobilnych” głowic pryzmatycznych mocowanych na bolcach ścien-





Rys. 1. Proponowany kształt punktów sytuacyjno-wysokościowych osnowy kopalnianej do precyzyjnego określenia pozycji skanera

nych, stropowych lub spągowych – pozwala na swobodny dobór stanowisk pomiarowych skanera w promieniu 32 m od punktu (ograniczonym zakresem instrumentu). Obrotowa głowica o znanych współrzędnych X, Y, H wyposażona w minipryzmat GMP firmy Leica umożliwia precyzyjne nawiązanie kątowe (nawet znaczne skrócenie pryzmatu nie powoduje zniekształcenia wartości kierunku względem jego rzeczywistego środka). Dodatkowo bolec na głowicy stanowić może punkt wysokościowy.

Do szybkiego nawiązania sytuacyjnego skanera z wykorzystaniem pryzmatów GMP 101 (lub GMP 111) zastosować można np. wcięcie kątowe wstecz lub liniowe. Charakter dostępnych pustek wielokubaturowych, zwłaszcza wyrobisk kopalń soli o znacznym zróżnicowaniu morfologicznym, ogranicza znacząco zasięg pomiaru i możliwość stabilizacji punktów osnowy w układzie geometrycznym najkorzystniejszym dla po-

## Skanner w kopalni – wnioski

1. Wykorzystanie danych orientujących skanera (Hz, V, D) umożliwia zmianę modelu pomiaru związanego ze sposobem nawiązania instrumentu do punktów istniejącej lub zakładanej osnowy geodezyjnej. Adaptacja istniejących punktów ociosowych (ściennych na powierzchni) i stropowych osnowy kopalnianej oraz stabilizacja nowych może w przyszłości znacznie uprościć prowadzenie cyklicznych pomiarów inwentaryzacyjnych obiektów podziemnych i powierzchniowych oraz obniżyć znacząco koszty związane z monitoringiem badanych obiektów.

2. Projektowanie i realizacja korzystnych konstrukcji geometrycznych wcięć przy obecnej dokładności pomiaru kierunków i odległości do pryzmatów referencyjnych (z uwzględnieniem poprawek liniowych) gwarantuje otrzymanie precyzyjnego określenia pozycji instrumentu. ■

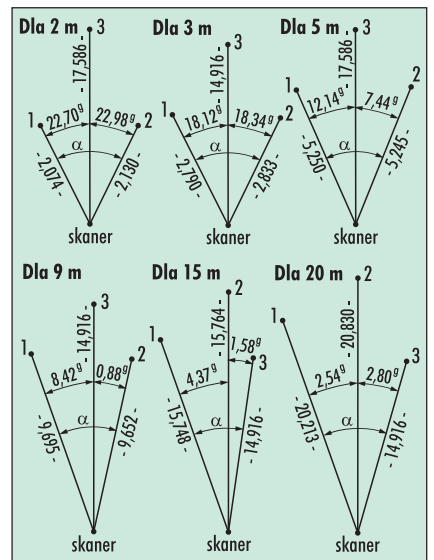
szczególnych wcięć. Tak się składa, że możliwość przyjęcia optymalnych warunków geometrycznych dla badań opisanych w niniejszym artykule również była ograniczona przez warunki laboratoryjne, co pozwoliło na określenie dokładności instrumentu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

## Wcięcie kątowe wstecz

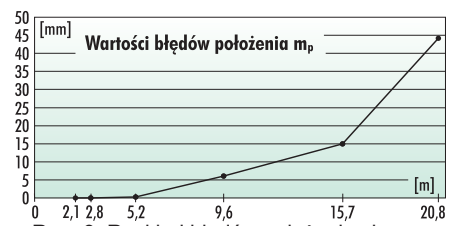
Dotychczas sytuacyjno-wysokościowe nawiązanie skanera Callidus do punktów osnowy geodezyjnej polegało na rozpoznaniu przez instrument powierzchni silnie refleksyjnych (np. pryzmatów odalnych współrzędnych X, Y lub X, Y, H) oraz określeniu położenia skanera przy wykorzystaniu tachimetru i pryzmatu nawiązawczego umieszczonego na korpusie skanera. Wymagało to jednak użycia większej ilości sprzętu geodezyjnego, co w warunkach kopalnianych stwarzało poważny kłopot związany z jego transportem przez często wąskie wyrobiska. Konstruktorzy Callidusa wzbogacili oprogramowanie skanujące o możliwość rozpoznawania wielu obszarów silnie refleksyjnych oraz zapis parametrów biegunowego pomiaru tych powierzchni do odrębnego pliku (\*.prp). Struktura pliku obejmuje: ■ numer powierzchni odbijającej, ■ wartość kierunku poziomego do jej środka geometrycznego (Hz), ■ wartość kierunku pionowego (V), ■ liczebność pokrycia opisywanego obszaru plamkami lasera, ■ pomierzoną odległość (D).

Stwarza to nowe możliwości przestrzennej orientacji instrumentu z wykorzystaniem 2, 3 lub więcej sygnałów i pominięciem pomiaru tachimetrycznego. Dla określenia możliwości wykorzystania metody wcięcia kątowego wstecz do nawiązania instrumentu stworzono wiele modeli badawczych charakteryzujących się zmienną geometrią (rys. 2), rozpatrując konstrukcje najbardziej niekorzystne z punktu widzenia dokładności. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń określono błędy położenia instrumentu  $m_p$  (rys. 3).

W zakresie małych kątów i odległości do około 5,2 m możliwe jest precyzyjne określenie współrzędnych X, Y skanera z błędem położenia nieprzekraczającym  $\pm 0,5$  mm. Dla osiągnięcia dużej precyzji określenia pozycji skanera należy zwracać szczególną uwagę na odpowiedni dobór stanowisk pomiarowych oraz punktów referencyjnych nowej sieci pomiarowej zakładanej w wyrobiskach. Z doświadczeń wynika, że zachowanie ko-



Rys. 2. Układy geometryczne zrealizowane dla wyznaczenia maksymalnych błędów położenia skanera dla metod: wcięcia kątowego wstecz i wcięcia liniowego. Na punktach 1 i 2 umieszczono pryzmaty GMP 101, na punkcie 3 – GMP 111



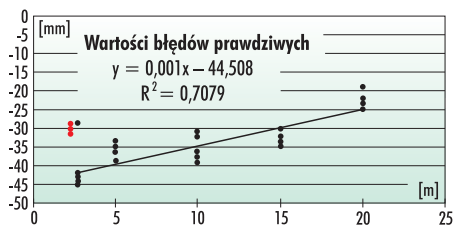
Rys. 3. Rozkład błędów położenia skanera  $m_p$  dla wybranych odległości i geometrii układu – metoda wcięcia kątowego wstecz

zystnych warunków kątowych (regularna rozeta) gwarantuje precyzyjne wyznaczenie pozycji instrumentu na poziomie  $m_p = \pm 0,2$  mm.

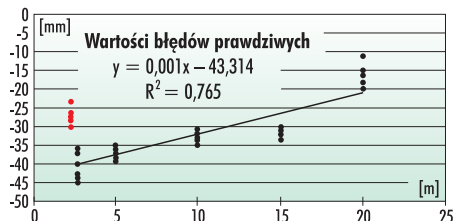
W procesie orientacji kątowej skanera istotne jest ponadto korzystanie z właściwych pryzmatów. Konstrukcja wielu z nich wyklucza precyzyjne określenie kierunku poziomego z uwagi na dość znaczne przesunięcie krawędzi sygnałów po ich obrocie (np. Super Prism firmy Geodimeter lub GPH 1 firmy Leica). Dlatego należy wykorzystywać tylko te, które nie wymagają dokładnej orientacji wzdłuż linii pomiaru, np. GMP 101, GMP 111, Nadowski (+34,4 mm).

## Wcięcie liniowe

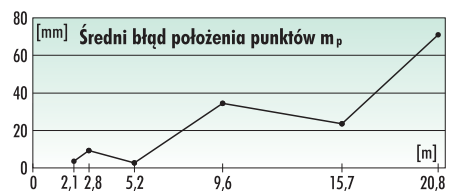
Określenie przez skanner odległości do sygnału przypomina w praktyce pomiar dalmierzami elektrooptycznymi. Z punktu widzenia techniki pracy różnica polega na wielopunktowym pokryciu przez laser powierzchni pryzmatu impulsami podczerwieni, na podstawie których



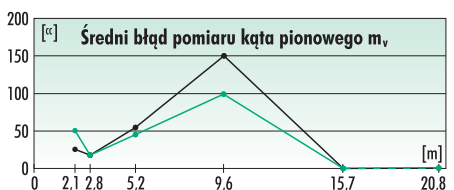
Rys. 4. Wyznaczenie poprawek do odległości skaner-pryzmat na podstawie wyników obserwacji dla kilku wybranych zakresów pomiarowych



Rys. 5. Rozkład błędów średnich położenia skanera  $m_p$  dla wybranych odległości i geometrii układu – metoda wcięcia liniowego



Rys. 6. Rozkład średnich błędów kątów pionowych  $m_v$  pomierzonych do dwóch pryzmatów referencyjnych GMP 101 przy wykorzystaniu skanera laserowego Callidus



Rys. 7. Rozkład średnich błędów przewyższeń  $m_{\Delta h}$  pomierzonych do dwóch pryzmatów referencyjnych GMP 101 przy wykorzystaniu skanera laserowego Callidus

określana jest wypadkowa wielkość liniowa. Oba pomiary łączy z kolei konieczność uwzględnienia stałej pryzmatu – różnej dla określonych sygnałów (najczęściej od -35 mm do +35 mm). Utrzymanie należytej dokładności wymaga wprowadzenia poprawek do wielkości liniowych obciążonych błędem pomiaru  $m_d$ . Na podstawie wielokrotnego skanowania pryzmatów dla wybranych

długości bazowych i błędów (rys. 4) określono wielkość poprawki, która dla sygnałów GMP101 wynosi:

$$v = 0,00105 \cdot d - 43,9 \text{ [mm]},$$

gdzie  $d$  jest wielkością pomierzoną wyrażoną w metrach.

Po korekcie wyznaczonych automatycznie przez skaner odległości  $d$  o wielkości  $n$  możliwe było określenie maksymalnych błędów położenia punktów dla najmniej korzystnej geometrii (rys. 5). W przypadku nawiązania liniowego szczególne znaczenie dla wielkości błędu położenia  $m_p$  skanera względem stałych sygnałów ma obok błędu pomiaru odległości także geometria układu. Dla przyjętego modelu zadowalające rezultaty otrzymano do długości testowej 5,2 m, gdzie błąd ten nie przekroczył  $\pm 9,0$  mm. Wzrastał on natomiast gwałtownie wraz z odległością i zmianą kąta wewnętrznego  $\omega$ . Stosując układy nawiązania z kątem  $\omega$  zbliżonym do  $90^\circ$ , można być pewnym uzyskania korzystnych rezultatów dla pełnego zakresu pomiarowego, tj. do 32 m.

### ● Nawiązanie wysokościowe

Zastosowanie zaproponowanych adapterów wyposażonych w pryzmaty GMP 101 (lub GMP 111) umożliwia szybkie, przede wszystkim precyzyjne nawiązanie wysokościowe. Dwuosiowy układ kompensacyjny zastosowany w skanerze pozwala na bieżącą korektę danych pomiarowych o wielkość wychylenia głowicy skanującej od pionu. Do sprawdzenia stabilności tego układu wykorzystano pryzmaty GMP 101 wtyczone z dokładnością  $\pm 0,5$  mm w płaszczyznę poziomą przebiegającą przez oś dalmierza. Znajomość różnicy wysokości pomiędzy „okiem” dalmierza laserowego a środkami sygnałów oraz odległości pomiędzy nimi pozwoliła określić kąty pionowe stanowiące wielkość wzorcową dla wskazań skanera oraz błędy określenia kąta pionowego  $V$  przy zmiennej długości bazy (zakres 2-20,8 m). Na podstawie uzyskanych wyników określono średni błąd wyznaczenia kierunku pionowego  $m_v$  (rys. 6) oraz błędy wyznaczenia różnic wysokości  $m_{\Delta h}$  (rys. 7). W przypadku krótkich celowych błęd ten przyjmuje wartości największe, co przypuszczalnie jest spowodowane błędami instrumentalnymi.

**Rafał Gawalkiewicz** jest doktorantem na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

## CAD Consult

autodesk  
authorized training center

43-100 TYCHY ul. Nowokościelna 30  
Tel. (032) 2190219, Fax. 2190217  
30-059 KRAKÓW al. Mickiewicza 30  
(biblioteka AGH) Tel/fax. (012) 6342716  
email: cad\_cons@cad-consult.com.pl

Oprogramowanie dla Geodezji  
w języku polskim

**Autodesk Land Desktop  
2005**

**Autodesk MAPGuide 6.5  
AutoCAD 2005**

**REWELACYJNA**  
zamiana rastra na wektor  
**WISEIMAGE**  
rabat 50%



Atrakcyjne ceny ploterów  
**HEWLETT PACKARD**  
dla geodezji  
**SKANERY**

**Szkolenia autodesk**  
authorized training center



43-100 TYCHY ul. Nowokościelna 30  
Tel. (032) 2190219, Fax. 2190217  
30-059 KRAKÓW Al. Mickiewicza 30  
(biblioteka AGH) Tel/fax. (012) 6342716  
email: cad\_cons@cad-consult.com.pl

**CAD Consult**

www.cad-consult.com.pl