

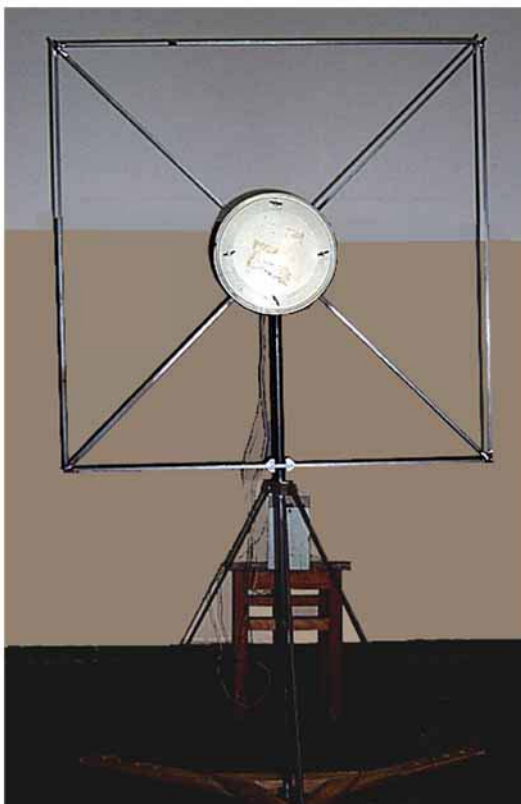
## **POMIARY PRZEKROJÓW WYROBISK PODZIEMNYCH METODAMI FOTOGRAMETRII CYFROWEJ**

Pomiar przekrojów poprzecznych: wyrobisk górniczych, tuneli, czy szybów towarzyszy budowie i eksploatacji wymienionych budowli. Klasyczne metody geodezyjne są często zastępowane metodami fotogrametrycznymi; rozwój metod cyfrowych stwarza możliwość znacznej ich racjonalizacji.

### **1. Pomiary podziemnych przekroi metodą płaszczyzny światła**

Warunki wykonywania pomiarów przekroi wyrobisk podziemnych określają przepisy górnicze i budowlane. Celem pomiarów jest dokumentowanie kształtu i wymiarów, pozwalające określić odchyłki projektowe przekrojów drażonego czy eksploatowanego wyrobiska. Od tradycyjnej formy planu kreskowego, bardziej racjonalne może być utworzenie numerycznego modelu wyrobiska, poprzez przetworzenie wszystkich profili (wykonanych wzdłuż jego osi) do jednego układu współrzędnych. Z kolei dane takie można wykorzystać do wykreślenia mapy sytuacyjnej, określania odchyłek projektowych, obliczenia objętości wyrobiska, a w nawet śledzenia odkształceń [Szpetkowski, 1998].

Fotogrametryczne pomiary przekrojów wyrobisk podziemnych, można wykonywać w oparciu o zasadę fotogrametrii jednoobrazowej, przy wykorzystaniu urządzenia rzucającego na ocios „płaszczyznę światła” (rys. 1.). Silny snop światła rzuca lampa błyskowa, lub silna

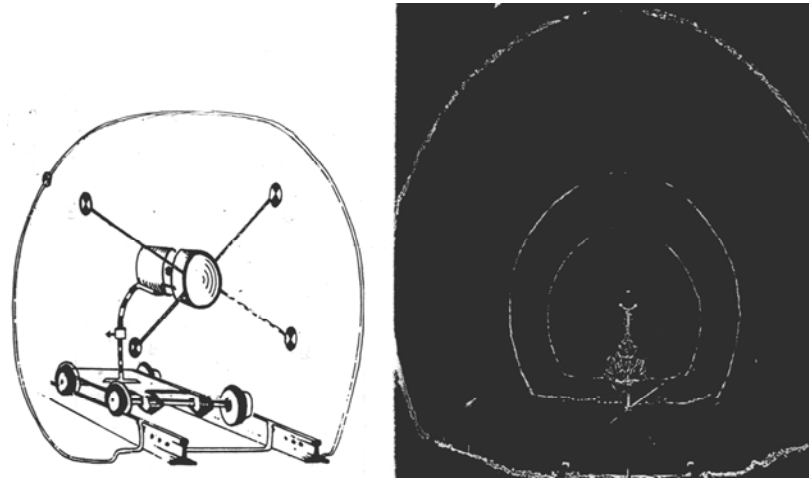


żarówka zamknięta w puszcze ze szczeliną, której płaszczyzna jest – w zależności od rodzaju wyrobiska – pozioma lub pionowa. Do tej płaszczyzny powinna być równoległa – zgodnie z zasadą fotogrametrii jednoobrazowej – płaszczyzna ramki tłowej kamery. Jeżeli taką nie jest, powinna być do tej postaci przetworzona rzutowo. Może to być osiągnięte na drodze fotomechanicznej – o takim rozwiązaniu jest mowa w podrozdziale 1.1., albo cyfrowo – jak to opisano w podrozdziale 1.3.

Rys.1. Urządzenie rzucające na ocios „płaszczyznę światła” opracowane w Zakładzie Fotogrametrii AGH (projekt: J. Bernasik, wykonanie: Z. Starek): w okrągłej puszcze umieszczona jest silna żarówka, której światło przez szczelinę jest widoczne jako przekrój pionowy na ociosie wyrobiska. Cztery sygnałki stanowią podstawę rzutowego przetworzenia sfotografowanego obrazu.

### 1.1. Sposób analogowy.

Przetworzenie zarejestrowanego fotograficznie świetlnego zarysu przekroju wyrobiska (rys.2.) może być wykonane w przetworniku fotomechanicznym (rozbudowany powiększalnik fotograficzny). Doprowadzony do określonej skali rysunek przekroju wyrobiska może zostać skopiowany na papierze fotograficznym, ale częściej bywał po prostu zrysowywany (w ciemni), aby móc porównać kształt i wymiary rzeczywiste z projektowymi. Takie postępowanie stosowano w przeszłości [Gutu, Tolea, 1988].

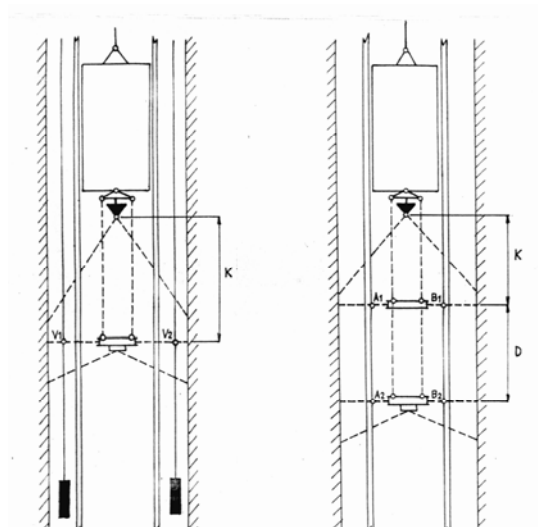


Rys.2. Rejestracja pionowego przekroju podziemnego korytarza metodą płaszczyzny światła; widoczne 4 sygnały stanowią podstawę rzutowego przekształcenia obrazu. [wg E. Gutu, A. Tolea]

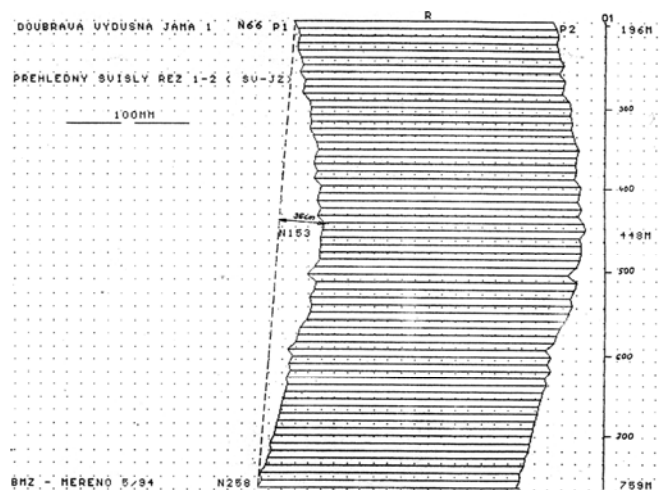
Średnie błędy wyznaczenia tą metodą odcinków na przekroju o rozmiarach 3m x 4m, ze zdjęć w skali 1:100, przy opracowaniu graficznych wykonanym w skali 1: 25, mieściły się w granicach +/- 20mm,

### 1.2. Sposób analityczny.

W czeskich kopalniach stosowany jest z powodzeniem sposób „płaszczyzny światła” ale sfotografowany przekrój jest precyzyjnie mierzony (do 0,001mm) zaś analityczna obróbka wyników została zautomatyzowana [Gavlovsky, 1999]. Do fotografowania stosuje się adaptowaną kamerę lotniczą, rejestrując na zdjęciach nie tylko przekrój poziomy ociosu, ale także widoczne na zdjęciach prowadniki szybowe; druty zawieszonych pionów stanowią układ odniesienia (rys.3.). Precyzyjny pomiar fotogramów jest wykonywany na monokomparatorze Ascorecord, zaś obliczenia szukanych odchyłek od położenia normalnego (kołowość przekroju, pionowość rury szybowej i poprawne ustawienie prowadników klatki szybowej) pozwala opracować graficznie (rys.4.) specjalny program.



Rys.3. Rejestracja przekroju rury szybowej metodą płaszczyzny światła; widoczne są przewodniki klatki szybowej, pion i ocios, oraz podwieszona kamera; na rysunku lewym oświetlany jest tylko jeden przekrój a na prawym – dwa równocześnie. [wg E. Gavlovsky]



Rys.4. Graficzne opracowanie wyników pomiaru rury szybowej - odchylenia pionowe. [wg E.Gavlovsky]

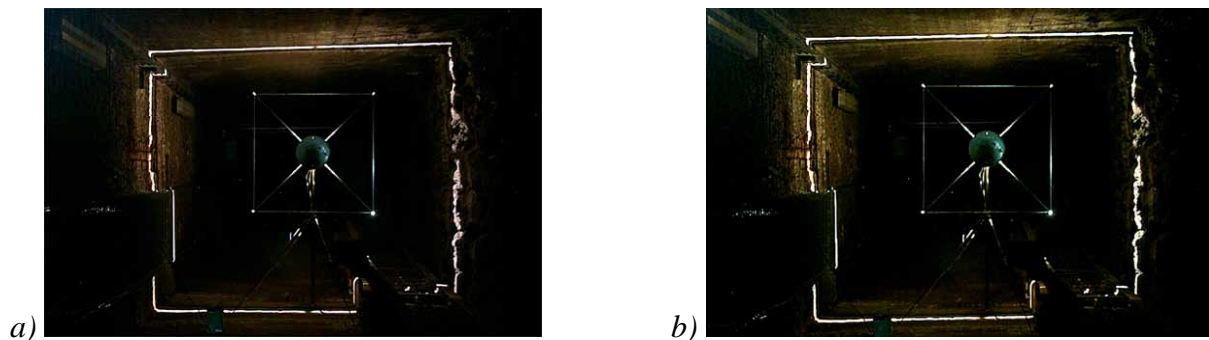
### 1.3. Cyfrowa metoda rejestracji i przetworzenia zarejestrowanego obrazu przekroju.

Opisana idea rejestracji i przetwarzania obrazów przekroju podziemnego wyrobiska (przy wykorzystaniu „płaszczyzny światła”) stwarza nową jakość przy zastosowaniu fotogrametrii cyfrowej. Powyżej opisane metody pomiaru przekrojów podziemnych dawały zadawalające wyniki, jednak wiązały się z długotrwałymi pracami kameralnymi. Celem udoskonalenia pomiarów, analogową kamerę metryczną zastąpiliśmy kamerą cyfrową. Rejestrację taką kamerą można wykonywać w pełni automatycznie, lub wprowadzić własne parametry fotografowania. Ze względu na specyficzne warunki – zdjęcie wykonuje się w ciemności a jedynym źródłem światła jest żarówka, zamknięta w metalowej puszcze ze szczeliną, rzucająca smugę światła na chodnik kopalni – wskazane jest stosowanie kilkusekundowego czasu naświetlania.

Próby pomiarowe przeprowadzono w kopalni doświadczalnej AGH w Krakowie. Urządzenie, które rzuca na ocios płaszczyznę światła przedstawiono na rys. 1. Widoczna na zdjęciu ramka ma znane długości ramion, a tym samym określone współrzędne czterech

wierzchołków w przyjętym układzie odniesienia. Zamontowana przy stojaku libelka umożliwia ustawienie urządzenia w pionie. Zdjęcia rejestrowano przy użyciu kamery cyfrowej KODAK DCS260. Światłoczuła matryca CCD gwarantuje maksymalną rozdzielczość rzędu 1536 x 1024 pikseli. Zastosowany obiektyw daje możliwość zmiany ogniskowej (w zakresie 38mm – 115mm). Aparat rejestruje zdjęcia w formacie *JPEG*.

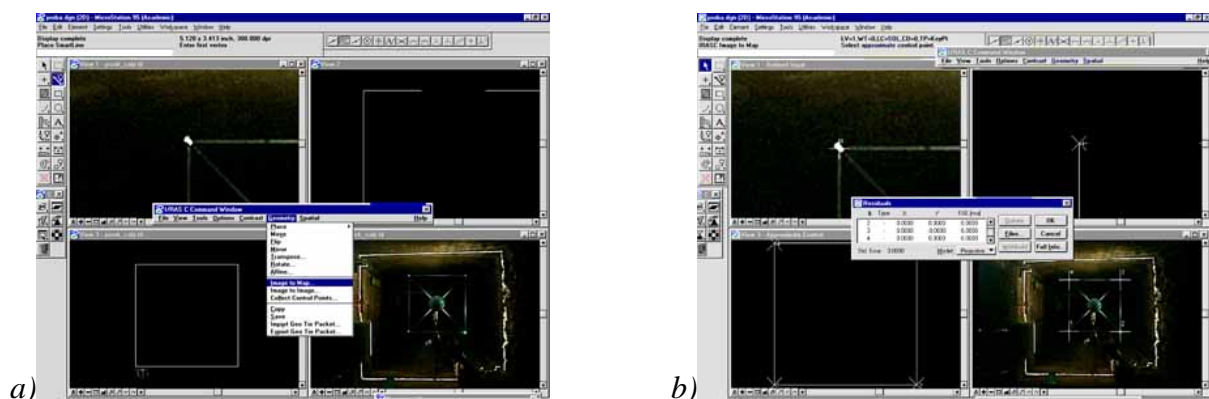
Urządzenie oraz kamerę ustawia się w osi chodnika; nie są znane elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej zdjęcia. Tak uzyskany obraz (rys.5a.) należy przetworzyć rzutowo, w oparciu o znane współrzędne naroży ramki (wyraźnie odfotografowanych na zdjęciu). Do tego celu wykorzystaliśmy program MicroStation, a dokładnie jego nakładkę – IrasC (funkcja *Image to Map*) (rys.6.).



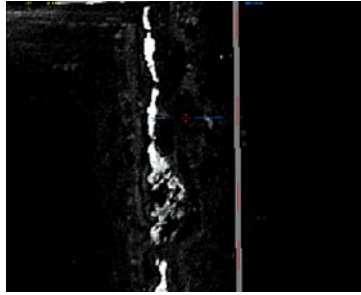
Rys.5. Rejestracja pionowego przekroju podziemnego korytarza metodą płaszczyzny światła;  
 a) obraz oryginalny - widoczne 4 sygnały stanowią podstawę rzutowego przekształcenia obrazu  
 b) obraz po przekształceniu rzutowym

Na tak przygotowanym zdjęciu (rys.5b.) można wykonać pomiary przekroju poprzecznego chodnika; zdjęcia mierzono na autografie cyfrowym VSD, co pozwoliło na uzyskanie współrzędnych mierzonych punktów bezpośrednio w przyjętym układzie odniesienia. Innym rozwiązaniem jest wektoryzacja profilu w MicroStation.

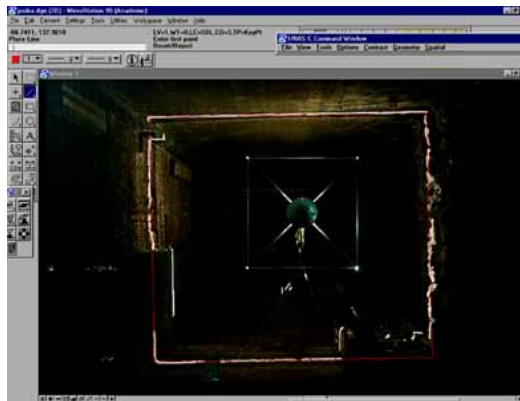
Wyniki mogą być prezentowane w postaci współrzędnych określonych punktów, bądź też w formie odchyłek od przekroju teoretycznego w mierzonych punktach (rys.7.). Możliwy jest również bezpośredni wydruk sfotografowanego przekroju (wraz z nałożonym jego teoretycznym kształtem) w dowolnej skali z MicroStation, jak to pokazano na rys.8.



Rys.6. a), b) Transformacja rzutowa zdjęcia w MicroStation.



Rys.7. Przykład pomiaru odchyłki przy wykorzystaniu VSD (linia czerwona – ukazuje przekrój teoretyczny, linia niebieska – różnicę między przekrojem teoretycznych a pomierzonym)



Rys.8. Na mierzonym zdjęciu czerwoną linią oznaczono teoretyczny przekrój chodnika.



Rys. 9. Wektoryzacja przekroju podziemnego tunelu (wg. [Trela, Stój, 2003]); widoczny jest czteropunktowy szablon i osoba trzymająca urządzenie w trakcie rejestracji.

Na koniec warto zwrócić uwagę na możliwość dalszej automatyzacji pomiaru przekroi podziemnych przy zastosowaniu „płaszczyzny światła”. Rejestracja cyfrową kamerą współpracującą on-line z odpowiednio oprogramowanym note-bookiem (MicroStation, VSD) umożliwi określanie odchyłek projektowych – pomiędzy projektową skrajnią – wizualizowaną jako „warstwa tematyczna” VSD a obrazem wydrążonego przekroju tunelu (czy wyrobiska). Dalszym rozwinięciem tej koncepcji może być rejestracja cyfrową kamerą video z jadącego „pociągu”: w trakcie ciągłej rejestracji przekroi wyrobiska, system śledzący będzie informować o miejscach występowania i rozmiarach odchyłek projektowych, zaś siedzący przy laptopie operator będzie informować o tym budowniczych.

#### 1.4. Możliwości wykorzystania skanera laserowego

Fotogrametria cyfrowa, jak wykazaliśmy wcześniej, jest bardzo dogodnym rozwiązaniem dla wykonania pomiarów przekrojów podziemnych. Warto jednak wspomnieć o możliwości stosowania do pomiaru podziemnych przekroi skanera laserowego, który jest doskonałym (choć bardzo drogim) narzędziem do pomiaru wyrobisk podziemnych.

Skanery laserowe (*rys.10.*) służą do bardzo szybkiego, zdalnego pozyskiwania danych przestrzennych. Pracują wykorzystując laser impulsowy zintegrowany z kamerą cyfrową i komputerem. Obecnie dają one dokładne wyniki przy odległościach od obiektu w zakresie 0.5m - 100m. [www.cyra.com]



Rys.10. Najnowszy skaner laserowy firmy Leica - Cyrax 2500.[www.leica.com]

Czas trwania pomiaru zależy od wielkości obiektu oraz wymaganej dokładności (szczegółowości) pomiaru. Skanery stwarzają możliwość pomiaru około 1000 punktów na sekundę, są więc niezwykle szybkim narzędziem pozyskiwania danych. Nie mają specjalnych wymagań co do warunków oświetleniowych ani pogodowych, więc pomiary mogą być wykonywane zarówno w dzień, jak i w nocy. Dokładność pomiarów ilustruje Tabela 1.

Wyniki pomiarów dostarczane są w postaci gęstej „chmury punktów” obiektu o dokładnie znanych współrzędnych. Dane pomiarowe mogą być dowolnie modelowane i przetwarzane w zależności od potrzeb i wymagań, przy użyciu oprogramowania udostępnianego wraz ze skanerem. Możliwy jest też eksport do formatu *DXF*, celem dalszej ich obróbki, w zależności od założeń wykonywanego projektu.

Efektym finalnym może być gładki, barwny model 3D mierzonego obiektu lub dowolny jego rzut 2D.

Tab.1. Charakterystyka techniczna jednego ze skanerów laserowych, podana przez producenta.[www.cyra.com]

PARAMETRY SKANERA CYRAX 2500	
Dokładność pomiaru odległości	+/- 6 mm
Dokładność pomiaru kątów	+/- 12''
Szybkość skanowania:	1000 punktów / sekundę

Zasięg	> 200 m
Pole widzenia (H, V)	40 °
Średnica plamki lasera	6 mm

Skanery laserowe mogą być świetnym narzędziem do pomiarów przekrojów inżynierskich; wynika to z możliwości ich wykorzystania do różnego typu pomiarów oraz z postaci danych pomiarowych.

Sam pomiar wykonywany jest bardzo szybko, a wyniki są dostępne niemal natychmiast na stanowisku pomiarowym. Nie stwarza problemu oświetlenie mierzonych elementów, gdyż pomiar skanerem laserowym nie jest uzależniony od oświetlenia. Instrument pomiarowy może zostać umieszczony na dachu pojazdu, a pomiar może być wykonywany ze stanowisk odległych od siebie o określoną długość, dając wyniki w czasie rzeczywistym. Może to być wygodne przy pracach związanych z budową tuneli, gdyż pozwoli na bieżąco korygować miejsca odstępstw od przekroju projektowego. Przy odpowiednim rozmieszczeniu stanowisk pomiarowych możliwe będzie również utworzenie przestrzennego modelu tunelu czy wyrobiska. A to z kolei pozwoli na stworzenie map 3D.

### Bibliografia

- [1] Gavlovsky E.: *Single – image photogrammetric method of vertical working – present situation and future options*. Zeszyty Naukowe Polit. Śląskiej, s. Górnictwo. Z. 239, Gliwice 1999
- [2] Gutu E., Tolea A.: *Photogrammetric Monitoring of the Structural Elements of the Deformation at the Railway Tunnels Using the Interactive Processing Systems”* *Photogrammetric monitoring of the structural elements of the deformation at the railway tunnels using the interactive processing systems*. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing. Kyoto 1988
- [3] Sitek Z., Cisowski J.: *Elaboration of cross sections of mine excavations by means of the method of monotypical photogrammetry*. PAN oddz. W Krakowie, Prace Komisji Górn.-Geod. Geodezja 9, 1970
- [4] Stój Ł., Trela P.: *Pomiary przekrojów podziemnych metodą fotogrametrii cyfrowej*. Praca dyplomowa – opiekun J. Bernasik. Wydział GGiŚ AGH. Kraków 2003.
- [5] Szpetkowski S.: *Pomiary deformacji na terenach górniczych*. Wydawnictwo SŁASK. Katowice 1998.
- [6] – Internet – [www.cyra.com](http://www.cyra.com).
- [7] – Internet – [www.leica.com](http://www.leica.com).
- [8] – Norma budowlana PN-G-06002 „*Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe*” 1997.

### Streszczenie

Przedstawiono sposób pomiaru przekrojów podziemnych przy wykorzystaniu fotogrametrii, ze szczególnym uwzględnieniem fotogrametrii cyfrowej i najnowszych metod pomiarowych. Opisano drogę postępowania od cyfrowej rejestracji przez przetworzenie zarejestrowanego przekroju aż do postaci uzyskanych wyników.

### Summary

The method of underground cross-sections measurements is presented. Digital photogrammetry and high technology measurement instruments are discussed. The way from digital recording through processing of recorded cross-sections to the form of obtained results is shown.