

Zastosowanie profilometrii do określania pola przekroju poprzecznego wyrobisk kopalnianych

WACŁAW TRUTWIN

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

W artykule uzasadniono potrzebę pomiaru pola powierzchni przekroju poprzecznego wyrobisk kopalnianych w celu dokładnego wyznaczenia w nich strumienia objętości powietrza i gazów płynących w bocznicach wentylacyjnych kopalni. Ponadto, przedstawiono metody i rozwiązania przyrządowe, określane jako profilometry, które służyły dotychczas do pomiaru tego pola w wyrobiskach kopalnianych. Praca zawiera także przegląd współczesnych przyrządów i metod, które mają znamiona przyrządów pomiarowych dających możliwość dokonywania pomiarów automatycznych oraz przetwarzania danych pomiarowych.

Słowa kluczowe: profilometria wyrobisk, wentylacja kopalń, pomiar strumienia objętości

1. Wstęp

Kontrola wydatku przepływu powietrza jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o bezpieczeństwie pracy w kopalniach, zwłaszcza metanowych, także w budowlach podziemnych w których znajdują się źródła gazów (garaże, tunele, kanały wentylacyjne i kanalizacyjne itp.).

Pomiar wydatku przepływu powietrza i gazów w wyrobiskach kopalnianych, tunelach i kanałach jest pomiarem złożonym. Wydatek przepływu wyznaczona jest przez iloczyn prędkości średniej i pola przekroju poprzecznego, w którym pomiarami jest wyznaczana jest ta prędkość. O ile współczesne pomiary prędkości średniej osiągnęły wysoki poziom, co do ich dokładności, automatyzacji i przetwarzania danych pomiarowych w systemach informatycznych, o tyle wyznaczanie pola przekroju poprzecznego opiera się raczej na metodach przybliżonych lub ocenie subiektywnej aniżeli na pomiarach. A jeśli były stosowane metody dokładniejsze i przyrządy pomiarowe, to związane z nimi czynności były bardzo pracochłonne. Z tych względów stosowanie ich w praktyce prawie zostało zaniechane, gdyż są to metody i przyrządy całkowicie przestarzałe oraz niedostosowane do rozwiniętej i stosowanej obecnie anemometrii, barometrii oraz gazometrii. Do nowoczesnego i odpowiednio dokładnego sposobu kontroli procesów przewietrzania, we wspomnianych systemach wentylacyjnych, brakuje zatem odpowiedniego profilometru, który dorównałby w zakresie dokładności pomiaru i szybkości przetwarzania sygnału pomiarowego pozostałym przyrządom stosowanym do kontroli procesów wentylacyjnych w kopalniach.

Nowoczesne metody i przyrządy do pomiaru pola przekroju poprzecznego muszą być dostosowane do pomiaru pól powierzchni o wielkości od kilkunastu do kilkuset metrów kwadratowych oraz o nieregularnych brzegach, niejednokrotnie wypełnionych maszynami, urządzeniami rurami i przewodami. Zakłada się, że cel ten zostanie osiągnięty przez rejestrację na drodze optycznej lub ultradźwiękowej detekcji konturu wyrobiska wyznaczającego pole przekroju poprzecznego, przez zastosowanie urządzeń do rejestracji sygnałów pomiarowych, programów komputerowych do układów do przetwarzania danych, analizy obrazów koniecznych do odtworzenia z tych danych rzeczywistego kształtu powierzchni i określenia pola przekroju poprzecznego.

Dotychczasowa praktyka wyznaczania pola powierzchni przekroju poprzecznego wyrobiska lub innych przewodów w których dokonuje się pomiarów wydatku przepływu powietrza opiera się o wymiary główne

(wysokość, szerokość lub średnicę) tego przekroju. Jednakże większość przekrojów poprzecznych wyrobisk ma kształt daleko odbiegający od prostokąta, trójkąta, koła lub innej regularnej figury geometrycznej. W przypadku przekroju o konturze nieregularnym, w którym dodatkowo są maszyny lub inne urządzenia, wyznaczanie czynnego pola przekroju poprzecznego opiera się o zgrubne szacowanie. Niepewność wyznaczania pola powierzchni przekroju tą metodą może przekroczyć wartość kilkadziesiąt procent. Niepewność ta przenosi się na wyznaczenie wydatku przepływu powietrza i wszystkich składników gazowych występujących w kopalniach, zwłaszcza przy stanach zagrożenia lub w czasie katastrof. Innym ważny aspekt związany z tą niepewnością jest sprawa wyznaczania oporu właściwego bocznicy wentylacyjnej, który jak wiadomo zależy od pola przekroju oraz długości obwodu zwilżonego. Stosowane sposoby pomiarowe, które dają niepewność pomiaru pola przekroju poprzecznego zgodną z oczekiwaniem opierają się o metody geometryczne, profilometry biegunowe, profilografy mechaniczne i optyczne. Metody te i przyrządy nie są obecnie stosowane w praktyce, gdyż są pracochłonne, wymagają wielu czynności pośrednich, takich jak fotografia, planimetria i in. Przede wszystkim nie są te metody kompatybilne z pomiarami innych parametrów wentylacyjnych.

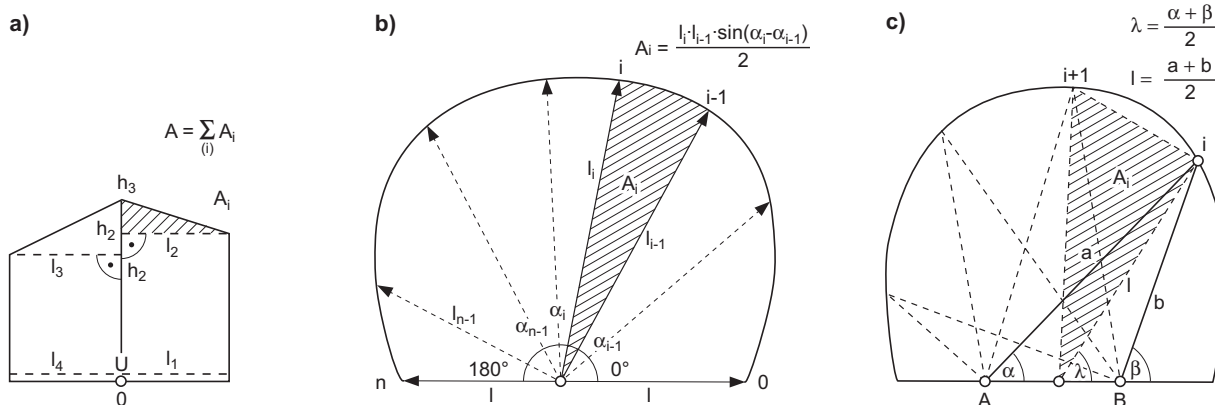
Znane są współczesne rozwiązania profilometrów, które spełniałyby wyżej wymieniony warunek kompatybilności lecz przystosowane są do pomiarów np. do tuneli w kolejnictwie. Autorzy wyrażają pogląd, że w chwili obecnej istnieją podstawy teoretyczne, warunki sprzętowe oraz baza informatyczna, które umożliwią realizację profilometru spełniającego warunki i wymagania pracy w kopalniach głębinowych.

Rozwiązanie problemu wniesie do wentylacji kopalń, mechaniki górotworu i innych dyscyplin następujący wkład:

- umożliwi pomiar pola i obwodu zwilżonego przekroju poprzecznego wyrobisk, tunelów i kanałów wentylacyjnych z niepewnością przyjętą w pomiarach ruchowych oraz przy użyciu współczesnych środków technicznych oraz informatycznych dostosowanych do bieżącej kontroli także innych parametrów wentylacyjnych (w szczególności wydatku przepływu powietrza i gazów oraz oporu właściwego wyrobisk);
- pozwoli na bieżący pomiar wymiarów przekrojów poprzecznych do kontroli stateczności wyrobisk kopalnianych w warunkach prowadzonej eksploatacji złóż minerałów;
- przyczyni się do podniesienia bezpieczeństwa pracy w kopalniach.

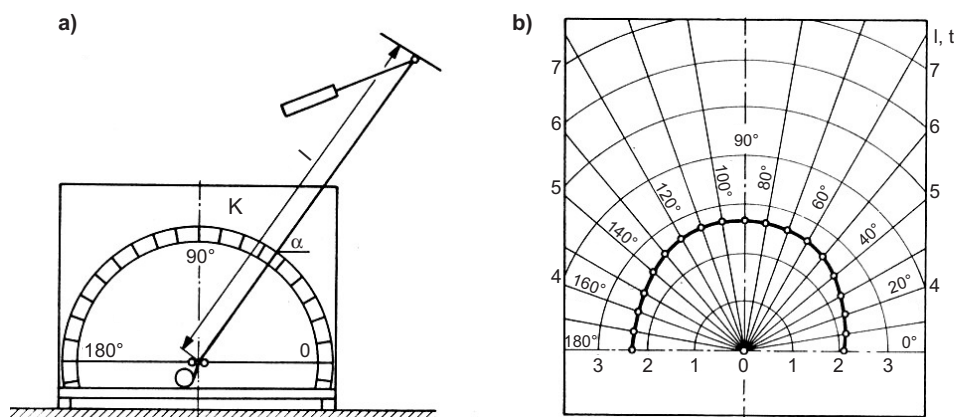
2. Metody pomiarowe stosowane do wyznaczania pola powierzchni przekroju poprzecznego

W praktyce kopalnianej dominuje metoda bazująca na pomiarach geometrycznych przekroju z których wyznacza się pole powierzchni przekroju poprzecznego, ewentualnie obwód (rys. 1a), [5, 7]. Podstawą wielu prostych lub bardziej złożonych przyrządów pomiarowych mi. mechanicznych są metody jedno- lub dwubiegunowe wyznaczania pola powierzchni przekroju, w których mierzy się długość promienia wodzącego i kąt względem obranego kierunku (rys. 1b), lub kąty dwóch promieni wodzących i długość podstawy do której umocowane są oba promienie (rys. 1c). Na rys. 2a przedstawiony jest prosty profilometr biegunowy, który pracuje w oparciu o kątomierz oraz taśmę mierniczą spełniającą rolę promienia wodzącego. Wyniki pomiaru

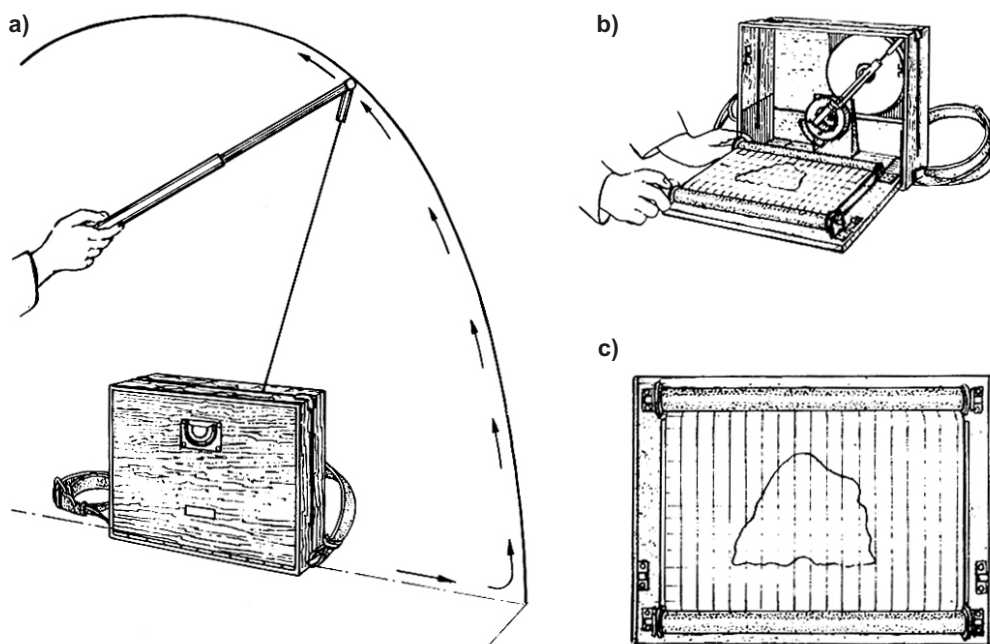


Rys. 1. Metody pomiaru pola powierzchni przekroju poprzecznego wyrobiska [5, 7]:
a) – geometryczna z pomiarami do wybranej osi, b) – jednobiegunowa, c) – dwubiegunowa

nanosi się na odpowiednim arkuszu w celu ich wykorzystania dalszego wykorzystania przy wyznaczaniu pola lub obwodu (rys. 2b). Metoda biegunowa wykorzystana została także do budowy profilografu firmy Maihak (rys. 3a). Przyrząd ten pozwalał poprzez prosty mechanizm dźwigniowy oraz linkę (rys. 3b), spełniającą rolę promienia wodzącego, na odwzorowanie i rejestrację profilu przekroju poprzecznego wyrobiska kopalnianego na taśmie papierowej (rys. 3c).



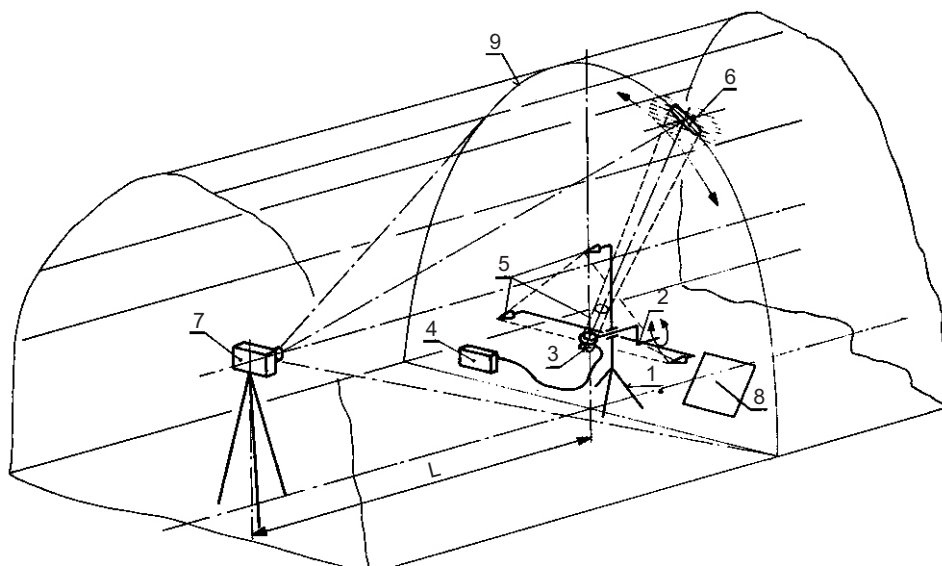
Rys. 2. Profilometr biegunowy [4, 5]: a) – profilometr, b) – siatka biegunowa do rysowania profilu konturu



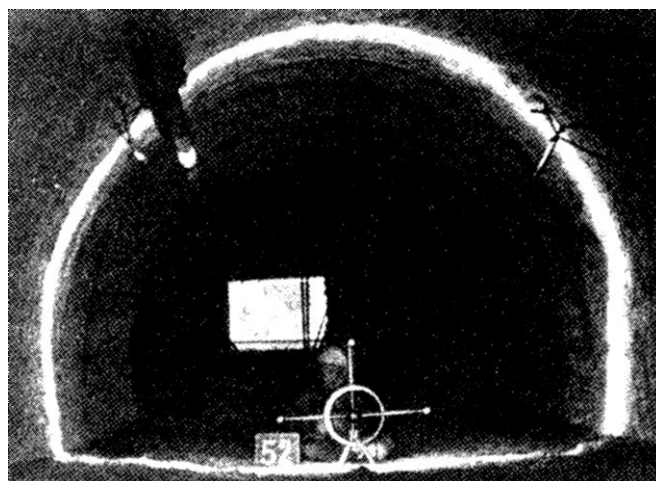
Rys. 3. Profilograf firmy Maihak [5]: a) – rejestracja profilu, b) – mechanizm profilografu, c) – taśma z zarejestrowanym profilem

Następną kategorią przyrządów pomiarowych są profilometry fotooptyczne, których ogólna zasada działania jest następująca: źródło światła (lampa górnicza) oświetla, w postaci wąskiego paska lub wirującej plamki, profil konturu wybranego przekroju poprzecznego wyrobiska górniczego oraz wzorzec długości, aparat fotograficzny rejestruje kontur, wzorzec oraz ew. informację lub tablicę z danymi o lokalizacji przekroju, po obróbce materiału fotograficznego (filmu, danych cyfrowych) tj. identyfikacji i odwzorowaniu profilu przekroju w postaci mapy następuje wyznaczenie pola powierzchni i innych parametrów geometrycznych przekroju

poprzedniego. Przykładem profilometru fotooptycznego jest zrealizowany w IMG PAN w latach 70. ub. wieku układ przedstawiony na rys. 4, w który do oświetlenia profilu przekroju stosowano lampę górniczą osadzoną w tubusie i obracano korbą dookoła osi. Na rys. 5 pokazano zdjęcie śladu świetlnego wyznaczającego wybrany przekrój poprzeczny, wzorec miary długości oraz tablicę z numerem identyfikacyjnym. Następny przykład odwzorowania profilu przekroju metodą fotooptyczną przedstawiono na rys. 6, na którym widoczny jest wzorec długości. Rezultat zastosowania aparatu cyfrowego oraz oświetlenia profilu przekroju poprzecznego przy pomocy lasera do wyznaczenia pola powierzchni pokazano na rys. 7. Zastosowanie programu komputerowego pozwoliło na wyznaczenie nie tylko profilu przekroju ale także pole powierzchni rurociągów przechodzących przez powierzchnię przekroju.

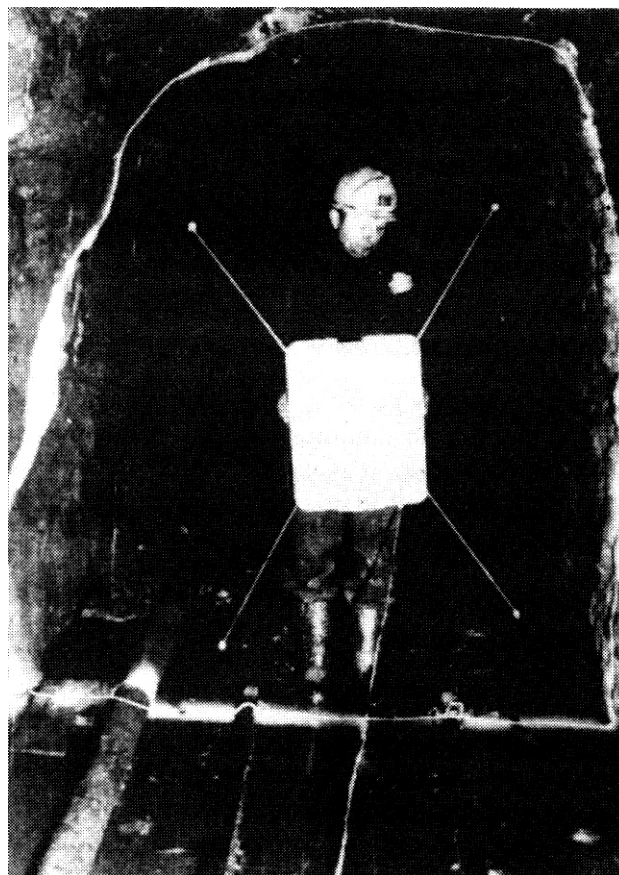


Rys. 4. Zasada działania profilometru fotooptycznego [5]: 1 – statyw, 2 – korba, 3 i 4 – lampa górnicza, 5 – wzorce długości, 6 – ślad wiązki światła, 7 – aparat fotograficzny, 8 – tablica z danymi identyfikacyjnymi, 9 – oświetlony profil konturu

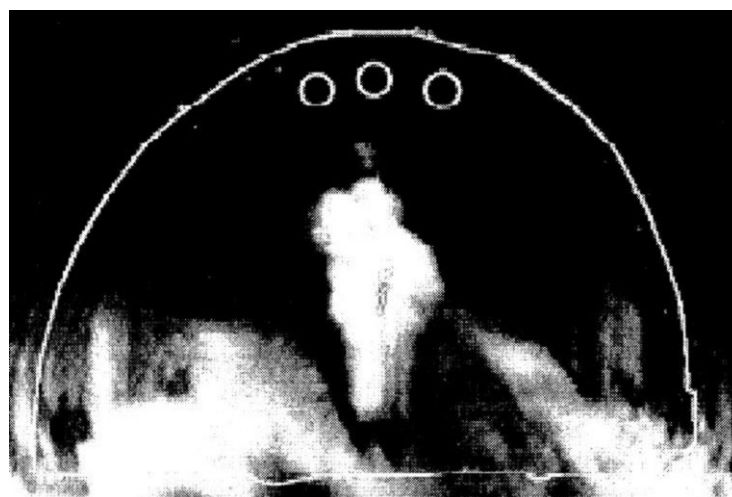


Rys. 5. Zdjęcie z profilem przekroju poprzecznego wyrobiska kopalnianego oświetlonego lampą górniczą [5]

Rozwój dalmierzy laserowych spowodował powstanie całego szeregu przyrządów pomiarowych określanych jako skanery, których celem jest, na ogół, inwentaryzacja obiektów wielkogabarytowych, w górnictwie komór, szybów i in. wyrobisk [3] z dokładnością od 5 do 25 mm. Przykładem skanera 3D do odwzorowania obiektów trójwymiarowych może być przyrząd pokazany na rys. 8. W kolejnictwie do

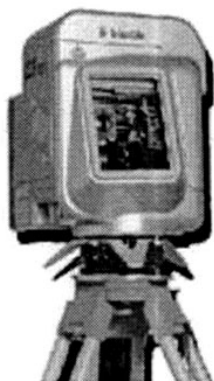


Rys. 6. Zdjęcie z profilem przekroju poprzecznego wyrobiska kopalnianego oświetlonego lampą górniczą [6]

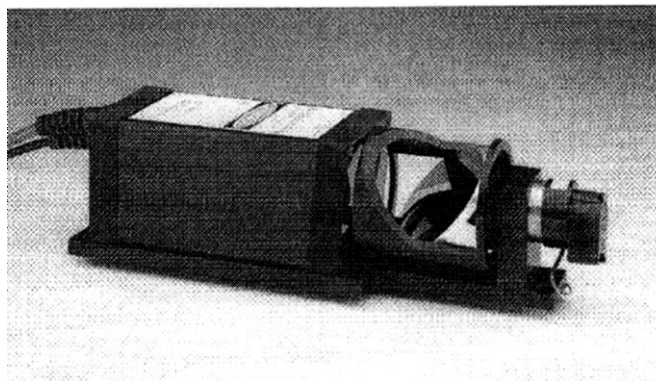


Rys. 7. Zdjęcie z profilem przekroju poprzecznego wyrobiska kopalnianego oświetlonego wiązką laserową [2]

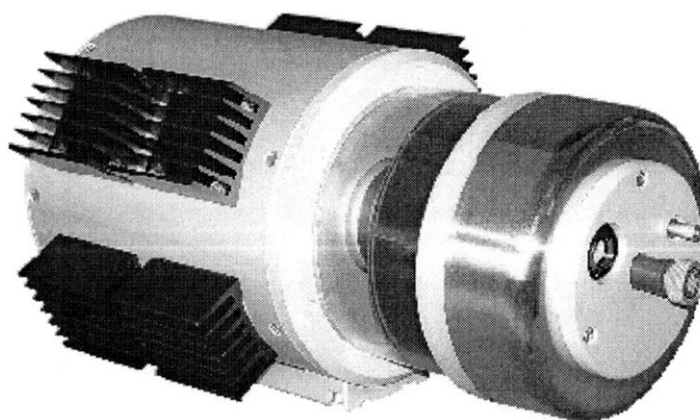
inwentaryzacji stosuje się skanery 2D, które mogą służyć do pomiaru profili mi. w tunelach (rys. 9, 10). Przyrządy te montowane na wagonach pomiarowych mogą dokonywać pomiaru w czasie jazdy. Skanery te jeśli chodzi o zasadę działania i przeznaczenie są najbliższe potrzebom odnośnie profilometrii do określania pola przekroju poprzecznego wyrobisk kopalnianych. Przeszkodą w ich zastosowaniu do tych zadań jest budowa tych przyrządów oraz mała dokładność pomiarów, co wynika z konieczności dokonywania pomiarów z wielką częstotliwością i prędkości przemieszczania się przyrządu.



Rys. 8. 3D Scanner GS 101



Rys. 9. Skaner 2D AccuRange 4000



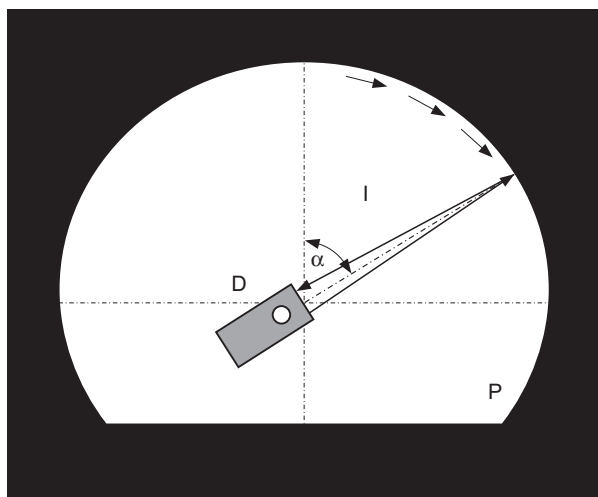
Rys. 10. Skaner 2D LMS-Q250

3. Podsumowanie

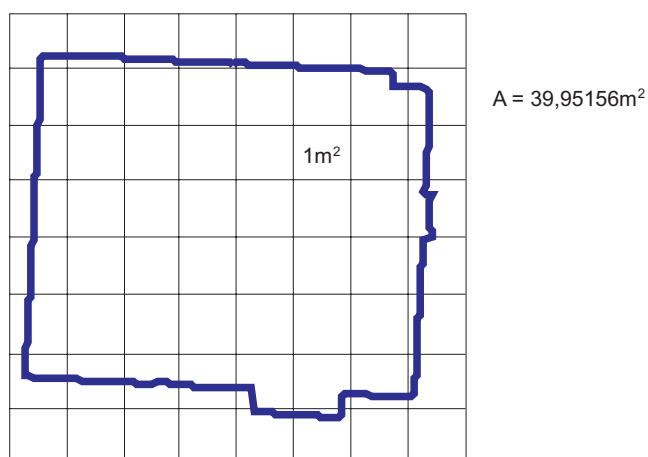
W świetle powyższego profilometr do wyznaczania parametrów geometrycznych przekroju poprzecznego wyrobiska górniczego mi. pola, obwodu zwilżonego, cięciw i innych wymiarów powinien umożliwić:

1. Wyznaczenie cyfrowej mapy konturu przekroju poprzecznego, konturów maszyn lub urządzeń przy użyciu dalmierza laserowego lub ultradźwiękowego z zastosowaniem metody biegunowej, w przedziale 360°, (rys. 11). Przy metodzie optycznej kontur powinien być określony znacznikiem laserowym a następnie przy użyciu cyfrowej kamery wprowadzony do pamięci obrazu.
2. Wstępne przetworzenie danych pomiarowych w przenośnym (dołowym) systemie akwizycji danych oraz finalne obliczenia, z wykorzystaniem elementów analizy obrazów, w komputerze stacjonarnym (na powierzchni).
3. Analizę niepewności pomiarowej profilometru.

Wstępne prace i badania nad profilometrem do określania parametrów geometrycznych powierzchni przekroju poprzecznego wyrobiska kopalnianego pozwoliły na wykonanie pomiarów przy pomocy laserowego profilometru biegunowego z dokładnością $\pm 1,5$ mm długości promienia wodzącego co 1° (rys. 12).



Rys. 11. Zasada działania profilometru w oparciu o dalmierz [1]: D – dalmierz laserowy/ultradźwiękowy, P – profil przekroju, l – długość promienia wodzącego, α – kąt między wybranym kierunkiem a promieniem wodzącym



Rys. 12. Kontur i pole powierzchni przekroju poprzecznego wyznaczonego na podstawie pomiaru profilometrem laserowym [1]

Praca finansowana przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji w ramach Projektu Badawczego 5T12A 035 24, realizowanego w Instytucie Mechaniki Górniczej PAN w Krakowie

Literatura

1. Krach A., Trutwin W., 2004: *Górnictwo profilometr laserowy GPL 1- założenia*, raport IMG PAN – niepublikowany.
2. Kruczkowski J.: *Przyrządy pomiarowe i programy komputerowe do wyznaczania wybranych parametrów fizycznych atmosfery kopalni głębinowej*, Prace Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, t. 5, nr 1, (2003), s. 51-62.
3. Maciaszek J., Gawałkiewicz R.: *Przyrządy laserowe na usługach geodezji górniczej*, Miesięcznik WUG, (2003), nr 4, s. 30-33.
4. Neumann W., Plasche F., Sonnemann G.: *Wetterlehre und Brandbekaempfung*, (1963), Leipzig, s. 136.
5. Roszczynialski W., Trutwin W., Waclawik J.: *Kopalniane pomiary wentylacyjne*, Wyd. Śląsk, Katowice (1992), s. 217.
6. Šiška F., Otahal A., Prokop P. Sedlaty, *Banske Vetrantie*, (1993), Wyd Alfa, Bratislava, s. 369.
7. Ušakov K.Z., Burčakov A.S., Medvedev I.I.: *Rudničnaja Aerologija*, (1978), Moskva Nedra, s. 368.

Determination of Cross-sectional Areas of Mine Workings by Profile Measurement

Abstract

The paper gives reasons for the necessity of measurement of cross-sectional areas of mine workings, roadways and galleries in order to be able to determine the adequate quantity of air flow in ventilation branches of the mine.

Presented have been methods and instruments, which in the past were used for measurement of cross-sectional areas of ventilation branches. Also have been shown examples of up to date scanning instruments applied in other industrial areas for measurement of contour profiles e.g. in rail way and road tunnels.

Keywords: profile measurement, contour profile scanning, measurement of cross-sectional area, mine workings and roadways, mine ventilation, measurement of air flow quantity

Recenzent: Dr hab. inż. *Stanisław Wasilewski*, prof. Politechniki Śląskiej