

*Anna Gawin**

ZASTOSOWANIE NAZIEMNEJ FOTOGRAMETRII CYFROWEJ DO AKTUALIZACJI MAPY NUMERYCZNEJ W ODKRYWKOWYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

1. Wprowadzenie

Do podstawowych zadań służby mierniczej w górnictwie odkrywkowym należy częste i szybkie dostarczanie informacji o geometrii wkopu i zwałowiska, będącej podstawą do sterowania oraz zapewnienia bezpiecznej pracy maszyn podstawowych.

Metodą pozwalającą na szybkie i bezpieczne wykonanie okresowych inwentaryzacji eksploatowanych wyrobisk górniczych jest fotogrametria bliskiego zasięgu, która wykorzystywana jest w PGE KWB „Bełchatów” SA od połowy lat 70. ubiegłego wieku.

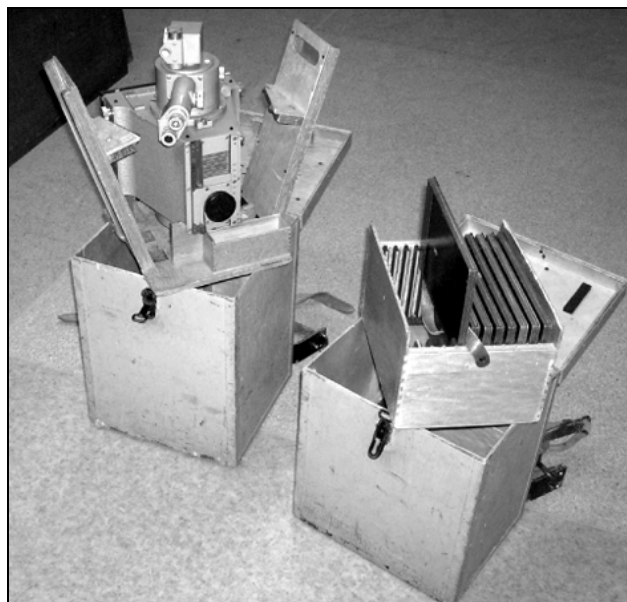
Na podstawie wykonanych pomiarów fotogrametrycznych w postaci wektorów skarp i punktów rozproszonych dokonuje się obliczenia numerycznego modelu terenu, który jest wykorzystywany do:

- uzupełniania mapy numerycznej,
- analizy geometrii wyrobisk,
- obliczania objętości zdjętego nadkładu i wydobytego węgla,
- weryfikacji danych geologicznych, w tym: kartowanie zjawisk i procesów geologicznych w robotach górniczych, analizy osiadań gruntów usypanych na zwałowisku, analizy odwodnienia i zasięgu leja depresyjnego,
- projektowania robót górniczych.

Stosowana do tej pory w PGE KWB „Bełchatów” SA fotogrametria analityczna, oparta na rozwiązaniach analogowych (rys. 1), w obecnych czasach nie spełnia już swojego zadania. Mając na uwadze czynniki ekonomiczne, postęp technologiczny oraz konieczność unowocześniania metod pracy w miernictwie górniczym, podjęto więc działania mające na

* PGE KWB Bełchatów SA, Rogowiec

celu wprowadzenie nowoczesnych metod pomiarowych w celu aktualizacji cyfrowego modelu wyrobiska.



Rys. 1. Autograf analityczny Stecometer C oraz fototeodolit Photheo 19/1318 wraz z kliszami fotogrametrycznymi
Źródło: fot. Anna Gawin

2. Wybór metody prowadzenia inwentaryzacji stanu robót górniczych w PGE KWB „Belchatów” SA

Przygotowując się do wprowadzenia nowej technologii inwentaryzacji wyrobiska, w roku 2005 przeprowadzono analizę dostępnych wówczas metod pomiaru, oprogramowania i sprzętu geodezyjnego gwarantujących odpowiednią dokładność opracowań geodezyjnych na potrzeby kopalni. Duże uzależnienie momentu wykonania zdjęć (lub skanów) od pogody i terminowości pomiarów, oraz wysoki koszt wykonania nalotu spowodowały, że fotogrametria lotnicza i lotniczy skaning laserowy, zostały już w pierwszym etapie rozważań odrzucone jako metody mogące zastąpić dotychczasowy sposób obmiaru wyrobiska. Mniejsze uzależnienie od warunków pogodowych oraz możliwość wykonania pomiarów we własnym zakresie sprawiły, iż wyodrębniono następujące metody pomiaru:

- techniki satelitarne GPS,
- metody naziemnego skaningu laserowego,
- metody wykorzystujące tachimetr skanujący,
- cyfrowa fotogrametria naziemna.

Wymienione metody analizowano pod kątem czterech podstawowych parametrów: wiarygodności pomiaru, wydajności pracy, ekonomii, funkcjonalności w terenie.

Można stwierdzić, iż niezależnie od wybranej metody, pomiar geodezyjny prowadzony w wyrobisku odkrywkowym w znacznej mierze uzależniony jest od korzystnych warunków pogodowych.

Zaletą pomiaru fotogrametrycznego jest zarejestrowanie stanu wyrobiska na dany dzień, co jest istotne przy rozliczaniu wydobycia węgla i nadkładu. Metoda ta pozwala również na bezpieczny pomiar miejsc niedostępnych (osuwiska, półki na skarpach, miejsca zawodnione, skarpy o wysokości 20÷30 m), a cały ciężar pomiaru przenoszony jest na prace kameralne, dające się łatwo zautomatyzować. Pomiar bezpośredni są bardziej czasochłonne i wymagają zaangażowania większej liczby pracowników, co może powodować ograniczenia w bieżącej obsłudze ruchu zakładu górniczego.

Dla wszystkich rozpatrywanych metod oprócz pomiarów wykorzystujących technikę RTK-GPS, w celu zmniejszenia czasu potrzebnego na wykonanie pomiarów w terenie, ważnym zagadnieniem jest ustalenie optymalnych stanowisk pomiaru geodezyjnego. Z uwagi na geometrię wyrobiska, a także równoległy postęp frontów eksploatacyjnych ze wschodu na zachód, stanowiska powinny być rozmieszczane na skarpach stałych, a pomiary wykonywane są pod niewielkim kątem do nowo wykonanych skarp roboczych. Głębina takiego pomiaru może wynosić od 200 m do ok. 1,5 km. Taki sposób pomiaru był i jest nadal stosowany z powodzeniem w dotychczasowej metodzie aktualizacji wyrobiska z wykorzystaniem fotogrametrii naziemnej. Trudności mogą się jednak pojawić w przypadku skanera naziemnego i tachimetru skanującego. Problem dotyczy zarówno zasięgu skanowania oraz uzyskania odpowiedniej dokładności pomiaru. Według informacji zamieszczanych przez producentów, tachimetry skanujące zapewniają w dobrych warunkach pomiar odległości bez

użycia lustra z dokładnością ok. 3÷5 mm nawet do 1200÷6000 m. Z przeprowadzonych przez pracowników Działu Mierniczego pomiarów próbnych wynika jednak, iż dla wyrobiska i zwałowiska górniczego wartości te są zawyżone. W przypadku pomiaru odległości dalmierzem bezlustrowym otrzymano następujące wyniki:

- zasięg dalmierza w przypadku pomiarów do krawędzi skarp poziomów nadkładowych i zwałowych, gdzie powierzchnia odbicia jest stosunkowo jasna, wyniósł maksymalnie 700 m;
- zasięg dalmierza w przypadku pomiarów do krawędzi skarp poziomów węglowych, gdzie panuje zapylenie i powierzchnia odbicia jest ciemna, wyniósł maksymalnie 400 m.

Inną ważną kwestią w procesie aktualizacji mapy numerycznej jest czas potrzebny do opracowania aktualnego modelu wyrobiska na podstawie wykonanych pomiarów. Chmura punktów otrzymana ze skanera naziemnego, czy dane w postaci pikiet zarejestrowane przez RTK-GPS, zawierają nieuporządkowaną informację, natomiast zobrazowanie fotogrametryczne w postaci zdjęć charakteryzuje brak informacji topologicznej. Wymagają one zatem specjalistycznego przetwarzania dostępnymi narzędziami w celu uzyskania informacji użytecznej dla końcowego opracowania modelu przestrzennego wyrobiska. Należało zatem sprawdzić, która z metod pozwala na szybkie i sprawne opracowanie pozyskanych danych.

Podczas prowadzenia analiz nad wyborem odpowiedniej metody aktualizacji wyrobiska, należało również odpowiedzieć na pytanie jaki ma być produkt finalny i do jakich celów ma służyć. Podstawowym produktem otrzymywanym na podstawie pomiarów geodezyjnych jest dokumentacja kartograficzna w postaci map podstawowych wyrobiska i map zwałowiska górniczego w skali 1:2000 oraz map przeglądowych wyrobiska i zwałowiska górniczego w skali 1:5000. Obecnie przy pomiarze zmian za okres jednego miesiąca rejestrowanych jest w wyrobisku ok. 3500 pikiet, co przy średniej odległości między pikietami 20 m (dla opracowań w skali 1:2000) daje ok. 70 km łańcuchów w postaci linii skarp. W przypadku zastosowania w wyrobisku górniczym „Pola Bełchatów” skanera naziemnego otrzymano by bardzo gęste modele punktowe (zawierające miliony punktów) pokrywające powierzchnię wyrobiska, które wymagałyby specjalistycznego przetwarzania polegającego między innymi na odfiltrowaniu danych i wyodrębnieniu określonych obiektów jakimi są skarpy. W tym przypadku można zaryzykować stwierdzenie, iż to co jest zaletą skanera byłoby jego wadą — tj. generowanie zbyt wielkiej liczby danych, a co za tym idzie wydłużenie czasu potrzebnego do opracowania mapy numerycznej wyrobiska.

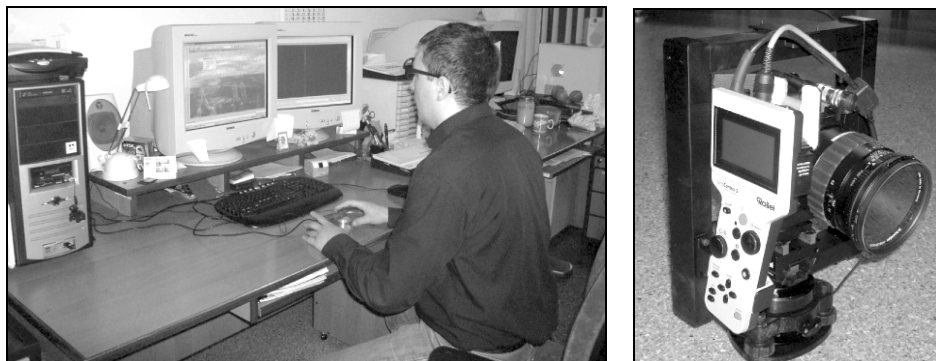
Podsumowując, w roku 2005 badano możliwość wprowadzenia fotogrametrii cyfrowej, skaningu laserowego, technik satelitarnych GPS i tachimetrii, jako metod pozwalających na aktualizację cyfrowego modelu wyrobiska górniczego. Z przeprowadzonych badań wynikało, iż dla tak dużego obiektu jakim jest wyrobisko górnicze „Pola Bełchatów” wraz z zwałowiskiem wewnętrznym nadkładu, najmniej czasochłonną metodą pod względem pomiaru w terenie i opracowania wyników pomiaru pozostaje nadal fotogrametria. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania Dział Mierniczy PGE KWB „Bełchatów” SA podjął decyzję o wdrożeniu nowej technologii pomiaru opartej na cyfrowej fotogrametrii naziemnej.

3. Opis systemu naziemnej fotogrametrii cyfrowej

Naziemna fotogrametria cyfrowa opiera się na wykorzystaniu obrazów cyfrowych oraz cyfrowych fotogrametrycznych stacji roboczych w celu pozyskania danych niezbędnych do tworzenia i aktualizacji map wektorowych, numerycznego modelu terenu, ortofotomap cyfrowych i trójwymiarowych modeli przestrzennych. Obrazy cyfrowe mogą być pozyskane w trybie pośredniej lub bezpośredniej rejestracji. Sposób pośredni polega na skanowaniu zdjęć analogowych — wykonanych przeważnie kamerami metrycznymi lub semimetrycznymi. Rejestrację bezpośrednią wykonuje się za pomocą kamer cyfrowych. Biorąc pod uwagę duże koszty związane z zakupem skanera fotogrametrycznego, Dział Mierniczy PGE KWB „Bełchatów” SA podjął decyzję o zakupie 2 cyfrowych kamer metrycznych AIC Modular LS firmy Rollei. Dokonano również modernizacji pracowni fotogrametrycznej wyposażając ją w specjalistyczne trzy cyfrowe stacje robocze firmy Dephos wykorzystujące oprogramowanie uwzględniające specyfikę pomiarów geodezyjnych prowadzonych w PGE KWB „Bełchatów” SA.

Docelowy system fotogrametrii cyfrowej zastosowany w PGE KWB „Bełchatów” SA składa się z dwóch podstawowych części (rys. 2):

- kamery metrycznej,
- urządzenia pomiarowego.

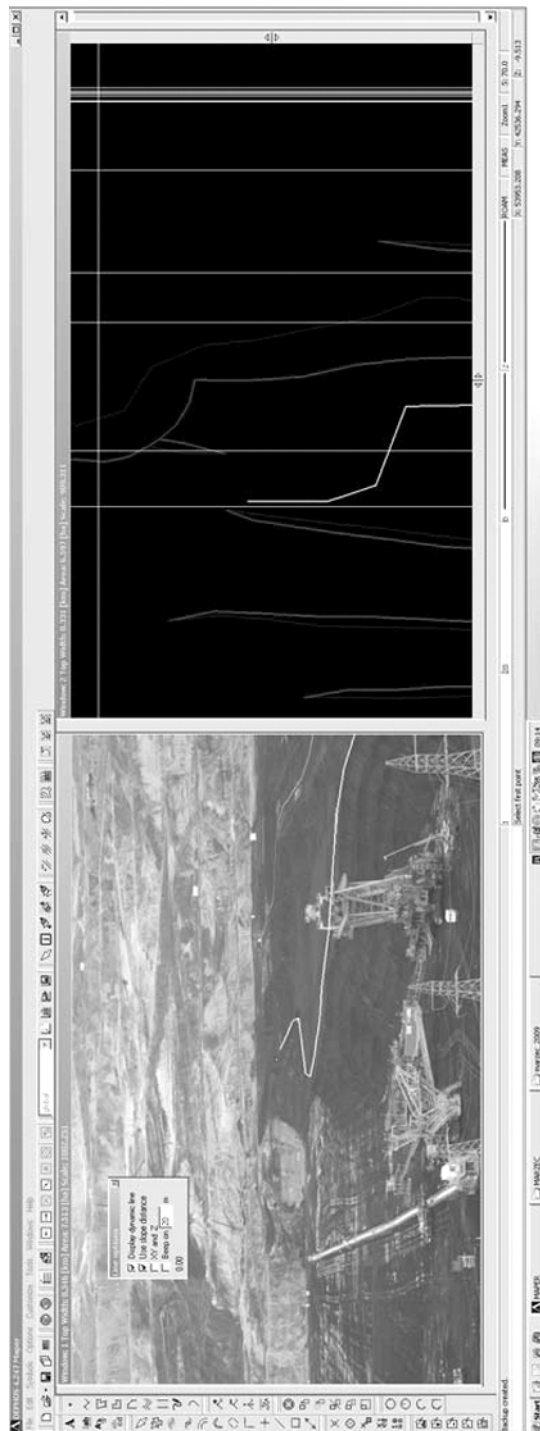


Rys. 2. System fotogrametrii naziemnej: a) cyfrowa stacja fotogrametryczna Dephos;
b) kamera metryczna AIC Modular LS P45 firmy Rollei

Źródło: fot. Anna Gawin

3.1. Kamera metryczna

Kamera Rollei AIC Modular LS P45 (rys. 2) jest urządzeniem specjalistycznym przeznaczonym do wykonywania wysokorozdzielczych lotniczych i naziemnych zdjęć obiektów przemysłowych. Jest to średnioformatowa kamera metryczna wyposażona w matrycę CCD o rozdzielczości 39 megapikseli.



Rys. 3. Widok ekranu monitora przedstawiający opracowywane zdjęcie naziemne wraz z podłączoną mapą „on-line”

Ze względu na specyficzne przeznaczenie, korpus aparatu chroniony jest szczelną aluminiową obudową, odporną na wilgoć, wodę, kurz oraz ekstremalne temperatury. Urządzenie wyposażono w specjalną przystawkę umożliwiającą mocowanie do statywu geodezyjnego oraz zapewniającą obrót kamery w kierunku poziomym i pionowym. Wykonanie zdjęcia następuje na dwa sposoby: przy pomocy specjalnego kontrolera Rollei Elektronik Schuter oraz poprzez połączenie kamery z komputerem.

3.2. Urządzenie pomiarowe wraz z oprogramowaniem

Technologia przewiduje do opracowania zdjęć wykorzystanie cyfrowej stacji fotogrametrycznej Dephos wyposażonej w samodzielne oprogramowanie pracujące w środowisku Windows (rys. 3). W skład zestawu cyfrowej stacji fotogrametrycznej wchodzi komputer PC, karta graficzna klasy Hi-End, okulary ciekłokrystaliczne i precyzyjny manipulator optyczny (rys. 2).

4. Schemat technologiczny aktualizacji mapy numerycznej z zastosowaniem fotogrametrii cyfrowej

W oparciu o wieloletnie doświadczenia, a także mając na uwadze uwarunkowania wprowadzanego systemu, opracowano technologię aktualizacji powierzchni wyrobiska górniczego i zwałowiska wewnętrznego z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej. Proces tworzenia modelu cyfrowego można podzielić na cztery główne etapy:

- prace przygotowawcze, które obejmują wykonanie projektu stanowisk fotogrametrycznych oraz lokalizację punktów osnowy fotogrametrycznej;
- prace terenowe obejmujące pomiar osnowy fotogrametrycznej oraz wykonanie zdjęć naziemnych kamerą AIC Modular LS;
- opracowanie zdjęć na cyfrowej stacji fotogrametrycznej Dephos;
- tworzenie modelu cyfrowego w systemie MineScape;
- aktualizacja mapy numerycznej w systemie MicroStation.

5. Podsumowanie

Wdrożenie nowej techniki pomiaru wykorzystującej naziemną fotogrametrię cyfrową nastąpiło w 2008 roku. Obecnie w oparciu o nową technologię, prowadzona jest inwentaryzacja wyrobiska górniczego oraz zwałowiska wewnętrznego „Pola Bełchatów”, a docelowo planuje się jej stosowanie w wyrobisku górniczym „Pola Szczerców”.

Oprócz zalet wynikających z zastosowania nowoczesnych rozwiązań technicznych, wprowadzenie nowej technologii dało następujące korzyści:

- 1) Wyeliminowanie szkodliwych i uciążliwych warunków pracy (kontakt ze szkodliwymi substancjami podczas obróbki fotochemicznej szklanych klisz fotogrametrycznych, poprawa warunków pomiarów w terenie).
- 2) Wyeliminowanie czynników zewnętrznych (zakup klisz fotogrametrycznych od jednego dostawcy) oraz możliwych awarii autografu analitycznego (sprzęt całkowicie zamortyzowany, do którego brak części zamiennych oraz serwisu).
- 3) Poprawa jakości otrzymywanego produktu jakim jest mapa numeryczna oraz szybkości jej opracowania, a także możliwość jednoczesnej pracy na kilku stacjach roboczych.
- 4) Opracowana technologia pozwala sporządzać dokumentację kartograficzną w odkrywkowych zakładach górniczych w postaci mapy numerycznej wyrobisk górniczych i zwałowisk wewnętrznych.
- 5) Korzyści ekonomiczne (tab. 1).

TABELA 1

Korzyści ekonomiczne wprowadzenia fotogrametrii cyfrowej do aktualizacji mapy numerycznej

Metoda pomiaru geodezyjnego	Czas potrzebny na wykonanie pomiaru, godz./miesiąc	Koszt roczny, zł
Klasyczna (tachimetr elektroniczny i GPS)	1040	700 000
Fotogrametria analityczna	336	277 000
Fotogrametria cyfrowa	216	150 000

Analizując koszty poniesione na wdrożenie systemu (2 kamery cyfrowe oraz 3 fotogrametryczne stacje robocze wraz z oprogramowaniem — w sumie ok. 620 000 zł) oraz uzyskane korzyści ekonomiczne można stwierdzić, iż:

- w przypadku nagłego zaprzestania aktualizacji map górniczych metodą fotogrametrii analitycznej (awaria autografu analitycznego, zaprzestanie produkcji klisz fotogrametrycznych) na rzecz pomiarów klasycznych, koszt przejścia na technologię cyfrową zwróciłby się w ciągu roku;
- porównując koszty związane z wykorzystaniem metody fotogrametrii analitycznej i cyfrowej, koszt przejścia na nową technologię zwróci się po pięciu latach.

Na podstawie zgromadzonych doświadczeń można stwierdzić, iż zastosowanie nowoczesnych metod geodezyjnych do inwentaryzacji wykonywanych w odkrywkowych zakładach górniczych wpływa pozytywnie na podniesienie dokładności pomiarów i zmniejszenie ilości czasu potrzebnego do ich wykonania oraz sporządzenia mapy numerycznej. Należy

jednak pamiętać, iż przedstawiony model podejścia w opracowaniu fotogrametrycznym stanu robót górniczych związany jest ze specyfiką omawianej kopalni, jej wielkości i metody prowadzenia eksploatacji złoża. W przypadku aktualizacji mapy numerycznej dla innych odkrywkowych zakładów górniczych należy dobrać odpowiednią metodę inwentaryzacji fotogrametrycznej adekwatną do panujących tam warunków.

LITERATURA

- [1] *Gawin A.*: Ocena możliwości zastosowania fotogrametrii cyfrowej do inwentaryzacji stanu robót górniczych w KWB Bełchatów. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.14, Warszawa, 2004
- [2] *Linsenbarth A.*: Fotogrametria naziemna i specjalna”, PPWK, Warszawa, 1974
- [3] *Wojnowska Z.*: Aktualizacja modelu cyfrowego wyrobiska odkrywkowego z zastosowaniem fotogrametrii naziemnej. Praca na uprawnienia Mierniczego Górniczego, Bełchatów, 2001