

## **OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA FOTOGRAMETRII CYFROWEJ DO INWENTARYZACJI STANU ROBÓT GÓRNICZYCH W KWB „BEŁCHATÓW”**

*Streszczenie.* W referacie przedstawiono zastosowanie analitycznej fotogrametrii naziemnej, jako metody wykorzystywanej obecnie do inwentaryzacji stanu robót górniczych oraz aktualizacji cyfrowego modelu wyrobiska odkrywkowego w KWB „Bełchatów” S.A. Przedstawiono również nowe możliwości zastosowania do tego zagadnienia technik fotogrametrycznych, które pojawiły się wraz z rozwojem technologii cyfrowej. Nowa technologia opiera się na wykorzystaniu obrazów cyfrowych oraz cyfrowych fotogrametrycznych stacji roboczych w celu pozyskania danych (z zachowaniem wymaganej dokładności), niezbędnych do tworzenia i aktualizacji map górniczych, opracowywania dokumentacji geologicznej oraz rozliczania wydobycia węgla.

### **1. Wprowadzenie**

Fotogrametria naziemna została wprowadzona do polskich kopalń odkrywkowych w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, jako metoda pozwalająca szybko opracowywać i aktualizować mapy wyrobisk, badać osuwiska oraz do pomiaru objętości wydobytych (bądź też składowanych) mas ziemnych i skalnych. Duży postęp techniczny i technologiczny w dziedzinie geodezji i brak wykwalifikowanych specjalistów z zakresu fotogrametrii spowodowały zarzucenie fotogrametrii naziemnej w większości kopalń odkrywkowych.

Obecnie KWB „Bełchatów” jest jedyną kopalnią odkrywkową w Polsce stosującą fotogrametrię naziemną do inwentaryzacji wyrobiska. Dotychczas stosowana metoda wykorzystuje zdjęcia analogowe i autograf analityczny do realizacji tego celu. Problemy z pozyskiwaniem materiałów eksploatacyjnych (tj. szklanych klisz i części zamiennych do autografu) są jednym z powodów rozpoczęcia prac nad wdrożeniem w kopalni technologii cyfrowej. Celem niniejszego artykułu jest analiza możliwości wykorzystania technik fotogrametrii cyfrowej i metod numerycznych do inwentaryzacji wyrobiska górniczego.

### **2. Charakterystyka obiektu**

Złoże węgla brunatnego „Bełchatów” jest położone ok. 15km na południe od miasta Bełchatów, w południowej części Niecki Łódzkiej. Łączna długość złoże wynosi ok. 38km, a szerokość ok. 2km.

Złoże węgla brunatnego dzieli się na 3 pola:

- Pole Kamięńsk,
- Pole Bełchatów,
- Pole Szczerców.

Aktualnie prowadzona jest eksploatacja węgla z Pola Bełchatów (od 1980r), natomiast w październiku 2002r. rozpoczęto roboty górnicze – zbieranie nadkładu – na polu Szczerców. Eksploatacja węgla na tym polu prowadzona będzie w latach 2007-2038. Pole Kamięńsk, ze względu na niekorzystny wskaźnik N:W=9.2 (stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża), aktualnie nie jest przewidziane do gospodarczego wykorzystania.

Obecnie eksploatowana odkrywka pola „Bełchatów”, wraz ze zwałowiskiem wewnętrznym rozciąga się na długości 11km, a jej szerokość wynosi ponad 3km. Roboty górnicze prowadzone są na 10 poziomach o wysokości 15-30metrów, a zwałowanie na 5 poziomach o wysokości 15-45m. Maksymalną głębokość eksploatacji planuje się do rzędnej 80m p.p.m. przy średniej wysokości terenu 200m n.p.m. Każdego miesiąca wydobywane jest ok. 9mln m<sup>3</sup> nadkładu i 3mln ton węgla. Inwentaryzacja wydobywania musi objąć ok.20km frontów roboczych wyrobiska i zwałowiska.



Rys.1. Odkrywka KWB „Bełchatów”- Widok od strony południowej krawędzi wyrobiska górniczego. (fot. A.Gawin, W. Iwańców)

### 3. Zastosowanie fotogrametrii w górnictwie odkrywkowym

Jednym z podstawowych zadań służby mierniczej w górnictwie odkrywkowym jest wykonywanie prac geodezyjnych związanych z budową, rozbudową i ruchem zakładu górniczego w tym pomiaru zdjętego nadkładu i wydobytej kopaliny [Rozp. Min. Gospodarki i Polityki Społecznej, 2004].

Rozwój techniki górniczej oraz związane z nim metody eksploatacji w kopalniach odkrywkowych utrudniają, a niejednokrotnie uniemożliwiają wykonanie dokładnych map górniczych metodami klasycznymi. Względny bezpieczeństwa i higieny pracy, na równi z czynnikami ekonomicznymi i dążnością do unowocześniania i poprawiania efektywności oraz ergonomii pracy w geodezji, sprawiają, iż fotogrametria znajduje zastosowanie w pomiarach kopalń odkrywkowych.

Fotogrametria jako metoda pomiarowa charakteryzuje się zdolnością do zdalnego pozyskiwania wiarygodnych informacji o obiektach fizycznych i ich otoczenia drogą rejestracji, pomiaru i interpretacji obrazów cyfrowych i zdjęć [Butowtt, Kaczyński, 2003]. Metody fotogrametryczne pozwalają na: zarejestrowanie w krótkim czasie „nieskończonej” ilości punktów podlegających pomiarowi,

bezpieczny pomiar miejsc niedostępnych (osuwiska, półki na skarpach, miejsca zawodnione). Zaletą jest też niewątpliwie ograniczenie liczby ludzi uczestniczących przy pracach polowych. Cały ciężar pomiaru przenoszony jest na prace kameralne, dające się łatwo zautomatyzować. Metody fotogrametryczne mogą towarzyszyć wszystkim przedsięwzięciom inżynierijno-technicznym związanym z projektowaniem, budową, eksploatacją i likwidacją kopalń odkrywkowych.

Duże uzależnienie momentu wykonania zdjęć od pogody i terminowości pomiarów, wymogu przestrzegania przepisów o ochronie tajemnicy państwowej oraz wysoki koszt wykonania nalotu fotogrametrycznego spowodowały, że fotogrametria lotnicza nie znalazła szerokiego zastosowania w polskim górnictwie odkrywkowym, mimo wielu pilotażowych projektów, wykonanych również w kopalni „Bełchatów” (np. cykliczna inwentaryzacja zwałowiska zewnętrznego).

Mniejsze uzależnienie od warunków pogodowych (zazwyczaj widoczność pozioma jest kilkakrotnie większa niż pionowa), możliwość wykonania zdjęć we własnym zakresie, oraz względnie niski koszt sprawiły, że fotogrametria naziemna od lat stosowana jest w wyrobisku i na zwałowisku wewnętrznym kopalni „Bełchatów”. Rozwój technik komputerowych i wyposażenie działu mierniczego kopalni „Bełchatów” w stereokomparator precyzyjny – Stecometr C firmy Zeiss wspomagany komputerem – pozwoliły na początku lat dziewięćdziesiątych na utworzenie stanowiska do opracowań analitycznych [Wojnowska, 2001].

W związku z zanikiem w fotogrametrii technologii analogowych, a co za tym idzie zaprzestaniem produkcji specjalistycznego sprzętu fotogrametrycznego (autografów analogowych, autografów analitycznych, szklanych klisz fotogrametrycznych, fototeodolitów, itd.), istnieje konieczność stopniowego wdrażania w KWB „Bełchatów” technologii cyfrowej.

#### **4. Fotogrametryczna inwentaryzacja stanu robót górniczych w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”**

Dział Mierniczy dokonuje inwentaryzacji stanu robót wydobywczych i zwałowych w cyklach miesięcznych. Zgodnie z zarządzeniem Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego KWB „Bełchatów” S.A. z 2003r: „Pomiary fotogrametryczne mogą być wykonywane nie wcześniej niż 3 dni robocze przed końcem miesiąca”. W związku z tym zarządzeniem około dwudziestego siódmego dnia miesiąca wykonuje się pomiar odkrywki, a około trzydziestego – zwałowiska wewnętrznego odkrywki Bełchatów.

Aktualizacja cyfrowego modelu powierzchni wyrobiska górniczego metodą fotogrametryczną odbywa się w czterech głównych etapach:

- prace przygotowawcze,
- prace terenowe,
- analityczne opracowanie zdjęć,
- tworzenie modelu cyfrowego.

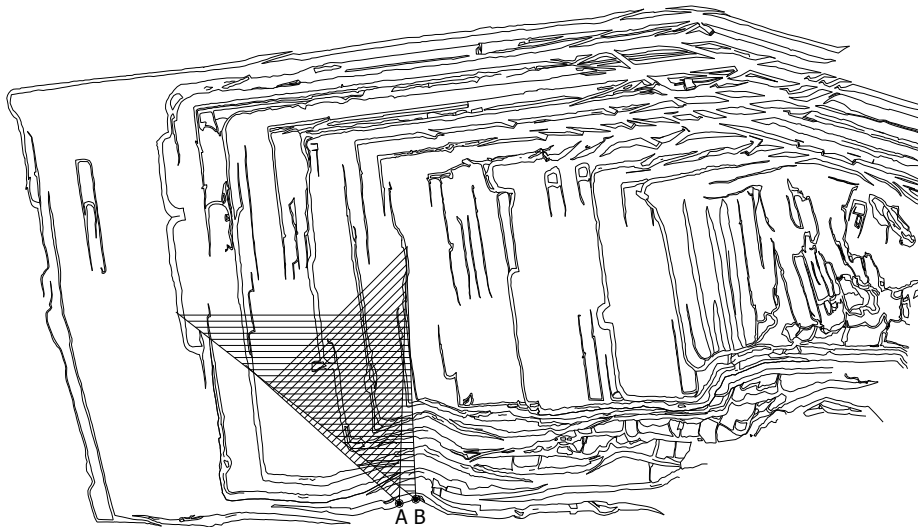
Prace przygotowawcze obejmują wykonanie projektu stanowisk fotogrametrycznych oraz lokalizację punktów osnowy fotogrametrycznej. Projektowanie lokalizacji nowych stereogramów odbywa się w oparciu o szkic sztygarski, sporządzany na dzień pomiaru na mapie wyrobiska górniczego w skali 1:5000 przez kierowników oddziałów górniczych.

W toku prac terenowych wykonywane są: pomiar osnowy fotogrametrycznej oraz zdjęcia naziemne. Punkty bazowe rozmieszczone są na południowych i północnych stałych skarpach, co 60-80m i zakładane są w miarę postępu robót górniczych. Fotopunktami w kopalni są: specjalne znaki fotogrametryczne, malowane naroża stacji napędowych przenośników taśmowych, rury otworów wiertniczych i inne elementy o wyraźnych konturach. Ze względu na dynamikę zmian w wyrobisku, ich współrzędne mierzone są dla każdego cyklu pomiarowego, czyli raz w miesiącu, przed wykonaniem zdjęć.

Z uwagi na równoległy postęp frontów eksploatacyjnych ze wschodu na zachód, zdjęcia wykonywane są pod niedużym kątem do nowo wykonanych skarp roboczych. Fragmenty skarp przy zboczach stałych, trudne do sfotografowania, uzupełniane są pomiarem tachimetrycznym. Przykładowe rozmieszczenie punktów bazowych i wykonanych stereogramów przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys.2. Fragmenty fotogramów (prawego i lewego) frontu roboczego z dn. 28.04.2004r., obejmujące obszar objęty stereogramem zdjęć naziemnych (źródło: *Archiwum Działu Mierniczego KWB „Belchatów” S.A.*)



Rys.3. Fragment mapy numerycznej i zakres stereogramu na froncie eksploatacyjnym KWB „Bełchatów”; A, B stanowiska fototeodolitu.

(źródło: Archiwum Działu Mierniczego KWB „Bełchatów” S.A.)

Zdjęcia wykonuje się fototeodolitami Photheo 19/1318 firmy Zeiss na szklanych kliszach ortochromatycznych formatu 13x18 cm, o współczynniku kontrastu  $\gamma=3.5$  i czułości ok. 4 ISO. Miesięcznie wykonywanych jest  $18\pm 20$  stereogramów dla wyrobiska i  $10\pm 12$  dla zwałowiska.

Zdjęcia opracowywane są na stereokomparatorze Stecometer C firmy Zeiss połączonym on-line z komputerem. W Stecometrze zainstalowano dodatkowo kartę liczników elektronicznych oraz układ do automatycznej eliminacji paralaksy poprzecznej py.

Do analitycznej rekonstrukcji modelu przestrzennego oraz pozyskiwania danych dla NMT stosowany jest program Stereo, opracowany przez dr inż. Ryszarda Preussa i dr Edwarda Nowaka z Politechniki Warszawskiej.

Moduł obliczeniowy realizuje matematyczną rekonstrukcję modelu poprzez wykorzystanie warunku kolinearności z dodatkowymi warunkami na obserwacje geodezyjne. Gwarantuje to najwyższe dokładności poprzez wykorzystanie wszystkich informacji o realizacji zdjęć naziemnych, takich jak:

- orientacja kątowna kamer w czasie fotografowania,
- poziomowanie kamer libellami,
- znana długość bazy fotografowania,
- znane odległości pomiędzy punktami w modelu przestrzennym,
- pomierzone różnice wysokości,
- stałe i określone współrzędne stanowisk fotografowania.

Na podstawie wykonanych pomiarów fotogrametrycznych w postaci gotowych łańcuchów skarp i punktów rozproszonych dokonuje się obliczenia numerycznego modelu w systemie MX. Numeryczny model terenu wykorzystywany jest w kopalni do:

- uzupełniania mapy numerycznej,
- obliczania objętości,
- analizy geometrii wyrobisk,
- weryfikacji danych geologicznych,
- projektowania robót górniczych.

## **5. Fotogrametria cyfrowa i metody numeryczne jako nowoczesne narzędzia przydatne do prowadzenia inwentaryzacji wyrobiska odkrywkowego**

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 czy trójwymiarowych modeli przestrzennych. Obrazy cyfrowe są to pliki rastrowe powstałe w wyniku użycia kamery cyfrowej lub skanowania zdjęcia na precyzyjnym płaskim skanerze fotogrametrycznym.

### **5.1. Propozycja zastosowania fotogrametrycznego opracowania wyrobiska odkrywkowego z zastosowaniem technologii cyfrowej**

W tabeli 1 zestawiono wyniki przeprowadzonej analizy czasochłonności obecnie stosowanej w KWB „Bełchatów” metody fotogrametrycznej inwentaryzacji stanu robót górniczych. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, najwięcej czasu należy poświęcić na prace terenowe (4 dni) oraz na opracowanie fotogrametryczne (6 dni). Przy czym czas potrzebny na opracowanie stereogramów rozpatrywano dla sytuacji, gdy czynności wykonuje jedna osoba (w kopalni znajduje się tylko jeden autograf analityczny). Opracowanie fotogrametryczne prowadzone jest szeregowo, najpierw wyrobisko górnicze, a następnie zwałowisko wewnętrzne.

Przy zastosowaniu metod cyfrowych czas prac terenowych pozostałby praktycznie ten sam, natomiast wydatnie można zmniejszyć czas opracowania zdjęć. Przy założeniu pracy tylko na jednym autografie cyfrowym, ulega on skróceniu min o 30%.

Biorąc pod uwagę, powyższe rozważania można stwierdzić, że przy zastosowaniu metod cyfrowych wykorzystujących 2 kamery cyfrowe (obecnie w kopalni wykorzystuje się 2 fototeodolity) i 2 fotogrametryczne stacje robocze oraz przy założeniu że niektóre czynności w terenie mogą być wykonywane w tym samym czasie, całkowity czas inwentaryzacji stanu robót górniczych w kopalni „Bełchatów”, wyniósłby 9 dni roboczych. Obecnie czas opracowania wynosi min. 13 dni.

Tabela 1

Analiza pracochłonności stosowanej w KWB „Bełchatów” metody aktualizacji wyrobiska odkrywkowego z zastosowaniem fotogrametrii analitycznej.

Czynności	Czas [roboczo-dni]		Liczba osób potrzebnych do wykonania czynności
	Wyrobisko górnictwa	Zwałowisko wewnętrzne	
1. Aktualizacja szkicu sztygarskiego 2. Opracowanie fotogrametrycznego projektu wykonania zdjęć fototeodolitem	1	1	1 osoba
3. Pomiar fotopunktów a. obliczenie współrzędnych punktów	2	2	Zespół pomiarowy: 1 geodeta, 1 pomiarowy lub 1 geodeta
4. Wykonanie zdjęć Photheo 19/1318: 5. <b>Wkop:</b> 2x9 stereogramów ze strony północnej i południowej, obróbka fotochemiczna klisz	1	1	2 Zespoły pomiarowe: 1 geodeta, 2 pomiarowych
6. <b>Zwał. wewn. :</b> 10–12 stereogramów, obróbka fotochemiczna klisz	2	2	1 Zespół pomiarowy: 1 geodeta , 2 pomiarowych
7. Opracowanie fotogrametryczne a. pomiar na steconetrze	3	3	1 osoba (obserwator)
8. Opracowanie wyników pomiaru a. stworzenie mapy i NMT b. obliczenie kubatury wydobytych mas ziemnych i urobku c. rozliczenie wydobycia	2	1	2 osoby
<b>RAZEM :</b>	11	10	

Fotogrametryczne metody bliskiego zasięgu wykorzystują obecnie do pomiaru obrazy cyfrowe 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 [Sawicki] lub analogowych wyposażonych w przystawkę cyfrową.

Kamery cyfrowe pozwalają na bezpośrednią rejestrację obrazów w formie cyfrowej. W praktyce mamy do czynienia z dwoma typami przetworników stosowanych w kamerach cyfrowych tj. ze skanującymi i matrycowymi (powierzchniowymi). Pierwszy typ bazuje na wykorzystaniu pojedynczych linii detektorów CCD, drugi na wykorzystaniu matryc złożonych z tych detektorów.

Producenci zaangażowani w rynek fotografii cyfrowej decydują się zazwyczaj na jedno z dwóch rozwiązań: na stworzenie zintegrowanego cyfrowego aparatu fotograficznego albo cyfrowej przystawki (powierzchniowej lub skanującej) do aparatu klasycznego. Pierwsze z rozwiązań stosowane jest wyłącznie dla kamer

małoobrazkowych. Drugie pozwala na wykorzystanie rozwiązań optycznych i mechanicznych producentów wysokiej klasy tradycyjnych kamer metrycznych średnioformatowych np. Rollei-6008AF, Hasselblad 555ELD, Mamiya 645AFD i wielkoformatowych Linhof Metrika 45.

Funkcjonujące na rynku przystawki powierzchniowe (np. Sinarback, Eyelike precision, Imacon Ixpress) montowane do aparatów średnioformatowych, mogą pracować w następujących trybach single shot i multi shot. Zaletą trybu single shot (jednokrotne naświetlanie) jest możliwość wykonywania zdjęć obiektów w ruchu oraz ekspozycji nieruchomych. Wadą – konieczność interpolacji danych o kolorze. Pobieranie informacji odbywa się przez nieruchomy filtr RGB. Dla każdego piksela informacja o kolorze w dwóch pozostałych zakresach musi być więc interpolowana. Decydująca dla jakości fotografii jest jakość tej interpolacji, czyli jak program "radzi" sobie ze szczegółami w cieniach, z kolorami, z krawędziami, itp. Sposobem pozwalającym na uniknięcie interpolacji jest zastosowanie trybu multi shot (wielokrotnego naświetlania). W trybie tym niemożliwe jest fotografowanie obiektów w ruchu. Zaletą jest brak interpolacji i wysoka jakość obrazu. Tryb 16-krotnego naświetlania czterokrotnie powiększa rozdzielczość obrazu i pozwala na wykonanie fotografii z rozdzielczością np. 10880x8160 rejestrowaną na matrycy o rozmiarze 49x37mm. Obrazy naświetlane jednokrotnie charakteryzują się 24 bitowym zapisem koloru (8 bitów na każdy z kanałów RGB), natomiast fotografie naświetlane cztero- i szesnastokrotnie dają obraz 48 bitowy (16 bitów na kanał).

Zastosowanie przystawek skanujących pozwala natomiast na korzystanie z tradycyjnych aparatów wielkoformatowych - w tym fotogrametrycznej kamery metrycznej Linhof Metrika 45 - przy jednoczesnym zachowaniu dużego zakresu zdjęć (Rys.4). Jest to spowodowane dużymi rozmiarami matrycy skanującej. Linie detektorów CCD stosowane w kamerach wyposażonych w przystawki cyfrowe typu skanującego (Anagramm-Da Vinci, BetterLight-Super 8K-2<sup>TM</sup>) charakteryzują się następującymi cechami (Tab.2):

- małymi wymiarami piksela ( $5 \div 7 \mu\text{m}$ ),
- dużą ilością pikseli w linii (17400 – Anagramm-Da Vinci),
- wielkością powierzchni skanującej np. 88x72 [mm],
- wysoką światłoczułością ogólną ,
- dużym zakresem uczulenia spektralnego.

Podobnie jak w przypadku przystawek powierzchniowych, obrazy uzyskane za pomocą przystawek skanujących pozwalają 48 lub 24 bitowy zapis koloru.

Pomiarowe kamery cyfrowe o dużej rozdzielczości matrycy CCD, w których obraz jest sekwencyjnie skanowany lub zapisywany w trybie 16-krotnego naświetlania, charakteryzują się długim czasem rejestracji obrazu (do 4.20min/Anagramm-Da Vinci, 48s/ Eyelike precision ) oraz dużej wielkości rejestrowanych plików obrazowych (do 1.5 GB/Anagramm-Da Vinci, 508MB/Eyelike precision). Stanowi to jedno z zasadniczych ograniczeń ich stosowania, gdyż fotografowane obiekty muszą być nieruchome, a kamera musi być połączona przewodem z komputerem (notebook), do którego w czasie rzeczywistym sekwencyjnie przesyłane i zapisywane są obrazy cyfrowe. Problem ten nie jest istotny



przy pomiarach na kopalniach odkrywkowych, gdyż rejestrowany za pomocą obrazu cyfrowego obiekt jest nieruchomy.

## 5.2. Dokładność opracowań fotogrametrycznych z wykorzystaniem technik cyfrowych

W związku zamiarem wprowadzenia przez KWB „Bełchatów” cyfrowego opracowania obrazów fotogrametrycznych, dokonano analizy przydatności dostępnych na rynku kamer w oparciu o ich parametry (Tab.2). W badaniu ujęto również skanowane obrazy analogowe wykonane fototeodolitem Photho 19/1318.

Tabela 2

Analiza przydatności zobrażeń cyfrowych do fotogrametrycznego opracowania wyrobiska odkrywkowego w KWB „Bełchatów”.

Metoda pozyskania obrazu		Rozmiary piksela Wymiar obrazu Ilość pikseli	Ogniskowa $C_k$ [mm]	Rozmiary piksela terenowego $\phi$ =[m]		
				250 m	2500 m	
Zeiss Photho 19/1318	Analogowy	20 $\mu\text{m}$ 180x130 [mm]	195	0.026	0.26	
	Skanowany	14 $\mu\text{m}$ 180x130 [mm] 12600x9060	195	0.018	0.18	
Kamery Małooobrazkowe <b>Kodak DCS PRO SLR/n</b>		8 $\mu\text{m}$ 36x24 [mm] 4536x3024	105	0.019	0.19	
Kamery Średnioformatowe Mamiya 645AFD Hasselblad 555ELD Rollei 6008AF		Przystawki cyfrowe powierzchniowe*: - Sinarback 54 HZ - Eyelike precision M22 - Imacon Ixpress 528C	4.5 $\mu\text{m}$ 49x37 [mm] 10880x8160	75	0.015	0.15
Kamery Wielkoformatowe Linhof Metrika 45		Przystawki cyfrowe skanujące: - BetterLight Super 8K-2 <sup>TM</sup>  - Anagramm Da Vinci	7 $\mu\text{m}$ 95x72 [mm] 10600x8000  5 $\mu\text{m}$ 88x72 [mm] 17400x14400	75 90 150  75 90 150	0.023 0.019 0.012  0.017 0.014 0.008	0.23 0.19 0.12  0.17 0.14 0.08

\* dane dla 16-krotnego naświetlania

Dokładność opracowań naziemnych realizowanych za pomocą autografów cyfrowych wynosi:

$$m_{y \text{ pom}} = \pm 1 \text{ piksel} * m_z * k$$

$$m_{x,z} = \pm 5 \mu\text{m} * m_z$$

gdzie:  $m_z$  - mianownik skali zdjęcia,  
 $k$  - stosunek bazowy ( $Ck/b$ ).

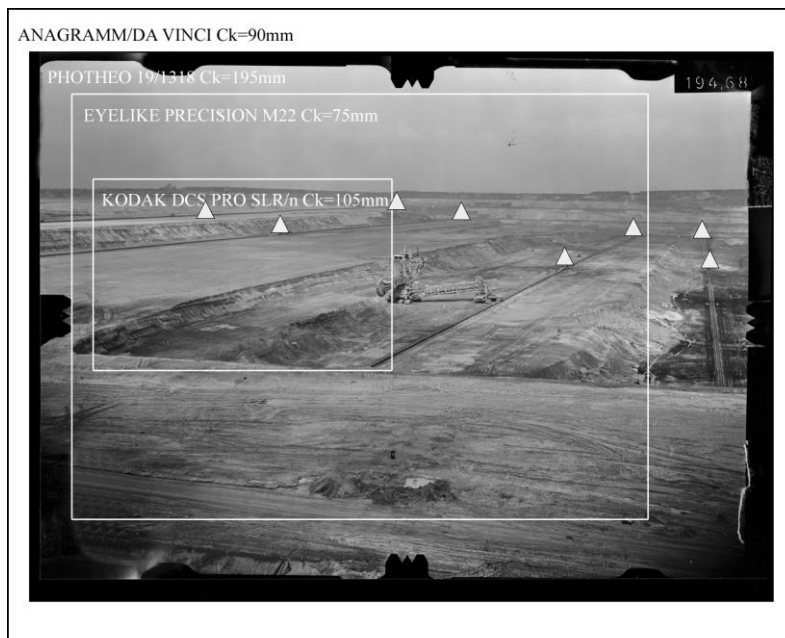
Uzyskanie wysokiej i jednolitej dokładności opracowań metodami fotogrametrii cyfrowej zależy głównie od :

- jakości i wielkości piksela skanowanych zdjęć analogowych bądź też zarejestrowanych obrazów cyfrowych,
- użytego oprogramowania i dobranych parametrów w poszczególnych etapach pomiaru.

Biorąc pod uwagę wszystkie parametry mające wpływ na obraz cyfrowy i na pomiar stwierdzono, że skanowanie zdjęć naziemnych (wykonanych fototeodolitem) z pikselem  $\Delta x = \Delta y = 14 \mu\text{m}$  daje wystarczająco mały piksel terenowy i gwarantuje odpowiednią dokładność opracowań fotogrametrycznych na potrzeby kopalni. Następnym etapem było rozważanie przydatności odpowiednich kamer na podstawie analizy wielkości piksela terenowego. Mając na uwadze to, iż pomiarowi fotogrametrycznemu podlegają punkty umieszczone od 250m do 2500m od stanowiska kamery pomiarowej, przyjęto iż wielkość piksela terenowego powinna być mniejsza niż 0.020m dla 250m i 0.20m dla 2500m – jest to związane identyfikacją fotopunktów znajdujących się zazwyczaj w odległości ok. 1km od stanowiska kamery. Jak pokazuje praktyka spełnienie postawionego warunku gwarantuje dokładność pomiaru wystarczającą dla wykonywanych w kopalni opracowań. Przykładowe rozmieszczenie fotopunktów pokazano na rysunku 4. W tabeli 2 przedstawiono kamery, które z zastosowaniem obiektywów o określonych parametrach mogą zapewnić uzyskanie obrazów cyfrowych odpowiedniej jakości do opracowania fotogrametrycznego.

Z przeprowadzonej analizy, której wyniki zamieszczono w tabeli 2 oraz na rysunku 4 wynika, że kamery małoobrazkowe teoretycznie nadają się do opracowań fotogrametrycznych w kopalni, pod warunkiem zwiększenia ilości fotopunktów, a także zwiększenia ilości wykonywanych zdjęć w porównaniu z ilością zdjęć wykonywanych fototeodolitem. Z uwagi na stosunkowo niskie koszty kamery zaleca się stosować ten wybór w mniejszych kopalniach odkrywkowych.

W związku z powyższym przy bezpośredniej rejestracji obrazów cyfrowych w dużych kopalniach odkrywkowych – jaką jest KWB „Bełchatów” – należy wziąć pod uwagę zastosowanie kamer średnioformatowych lub wielkoformatowych. Na ilustracji poniżej przedstawiono zakres zdjęć dla poszczególnych kamer (Rys.4).



△ -fotopunkty

Rys. 4. Teoretyczny zakres zdjęć dla różnych kamer i rozmieszczenie fotopunktów na odkrywce.

## 6. Wnioski i sugestie

Przedstawiony model podejścia w opracowaniu fotogrametrycznym stanu robót górniczych nie ma charakteru uniwersalnego i związany jest ze specyfiką omawianej kopalni, jej wielkości i metody prowadzenia eksploatacji złoża. W przypadku innych terenów górniczych należy dobrać odpowiednią metodę inwentaryzacji fotogrametrycznej.

Na podstawie przeprowadzonych analiz i własnych doświadczeń mogę stwierdzić, że postęp w zakresie pozyskiwania oraz fotogrametrycznego opracowania obrazów pozwala w obecnej dobie na zastosowanie technologii cyfrowej do fotogrametrycznej inwentaryzacji stanu robót górniczych w KWB „Bełchatów”. Zastosowanie fotogrametrii cyfrowej jest wymuszone przez tzw. „moralne” zużycie przyrządów fotogrametrycznych aktualnie używanych w KWB „Bełchatów”. Technologia oparta na zastosowaniu autografów analitycznych, nie jest już rozwijana, występują problemy z zakupem części zamiennych, następuje wycofywanie się firm z produkcji klisz oraz spada ich jakość.

Nie można jednak podważać dokładności istniejącej metody analitycznego opracowania zdjęć. Należy jedynie podkreślić, że postęp w rozwoju kamer cyfrowych oraz programów do fotogrametrycznego opracowywania obrazów cyfrowych, daje możliwość pomiarów fotogrametrycznych z dokładnością porównywalną z metodą analityczną.

W porównaniu z klasycznymi kamerami, stosowanie kamer cyfrowych zmniejsza koszty związane z wykonywaniem i opracowywaniem zdjęć. Film i

obróbka fotochemiczna stają się zbędne, podobnie jak proces skanowania – zwiększający koszty i wydłużający czas opracowania. Dodatkowo znika problem szybkiego dostępu do danych cyfrowych i ich archiwizacji (na jednym nośniku DVD można zmieścić 4.5 GB informacji). Fotogrametryczne stacje cyfrowe pozwalają ponadto zwiększyć szybkość opracowania fotogrametrycznego, co w przypadku uruchomienia eksploatacji odkrywki Szczerców ma ogromne znaczenie.

Należy jednak zauważyć, że zastosowanie fotogrametrii naziemnej w przypadku kopalni Bełchatów ma także inny aspekt – należy ją traktować jako etap przejściowy do zastosowania w ciągu kilkunastu najbliższych lat fotogrametrii lotniczej w oparciu o kamery cyfrowe z bezpośrednim przekazem zdjęć do stacji fotogrametrycznej. Ma to związek z dużym obszarem eksploatacji górniczej (dwie odkrywki) oraz koniecznością ograniczania zatrudnienia, jak i zwiększenia szybkości i kompleksowości opracowań fotogrametrycznych.

## Literatura

- Bernasik J., Mikrut S.: „*Fotogrametria inżynierska*”, URL: [http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/obliczenia\\_inzynierskie/a\\_fotogrametria/index.pdf](http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/obliczenia_inzynierskie/a_fotogrametria/index.pdf)
- Boroń M.: „*Określanie kubatur mas ziemnych przy wykorzystaniu VSD i metod numerycznych*”, praca dyplomowa wykonana w ZFiIT AGH, Kraków 2004.
- Butowtt J., Kaczyński R.: „*Fotogrametria*”, WAT, Warszawa 2003.
- Linsenbarth A.: „*Fotogrametria naziemna i specjalna*”, PPWK, Warszawa 1974.
- Sitek Z.: „*Fotogrametria ogólna i inżynierska*”, PPWK, Warszawa -Wrocław 1991.
- Sawicki P.: *Fotogrametryczne systemy do pomiaru punktów w bliskim zasięgu*, URL: [http://www.imaging.pl/publikacje/fotogrametryczne\\_systemy\\_do\\_pomiaru](http://www.imaging.pl/publikacje/fotogrametryczne_systemy_do_pomiaru)
- Wojnowska Z. – praca na uprawnienia Mierniczego Górniczego: „*Aktualizacja modelu cyfrowego wyrobiska odkrywkowego z zastosowaniem fotogrametrii naziemnej*”, Bełchatów 2001.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Polityki Społecznej z dn. 28.01.2004r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w odkrywkowych zakładach górniczych wydobywających kopaliny podstawowe [Dz.U.0424.212].
- Zarządzenie nr 9/034 Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego KWB „Bełchatów” z dn. 12.02.2003r. w sprawie aktualizacji map.
- URL: <http://paulclaesson.com/DigitalInfo/Digital.MF.Ref.pdf>-*Digital Back Comparison Sheet*.

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa