

ZYGMUNT KOWALCZYK  
Akademia Górniczo-Hutnicza

## PRÓBA WYKORZYSTANIA FOTOGRAMETRII JEDNOOBRAZOWEJ W GEOLOGII KOPALNIANEJ

JEDNĄ Z PODSTAWOWYCH i bardzo pracochłonnych czynności geologa kopalnianego jest profilowanie i kartowanie ociosów wyrobisk górniczych, a więc przede wszystkim: przekopów, szybów, szybków. Kartujący w kopalni geolog wykonuje profil na podstawie punktów uprzednio zaznaczonych i pomierzonych na ścianie wyrobiska w odległości np. 10 lub 20 m — bądź też wykorzystując przy kartowaniu taśmę naciągniętą w czasie pomiaru wzdłuż wyrobiska; jest to sposób pośredni. Dokładność kartowania pośredniego zależy od skali, w jakiej profil jest kartowany: im skala profilu jest mniejsza, tym więcej szczegółów musi być pominięte. Jeżeli więc profil został wykonany np. w skali 1:200, to jasne jest, że nie może on być podstawą do sporządzenia profilu w skali większej, np. 1:50, gdyż nie wnosi to nic nowego, a jedynie powiększa pomierzone szczegóły, co nie jest jednoznaczne z powiększeniem dokładności kartowania. Natomiast dużo dodatkowych szczegółów byłoby uwidocznione na profilu, gdyby był on wykonany w kopalni w skali 1:50. Kartujący geolog ustala skalę profilu przede wszystkim w zależności od bogactwa szczegółów profilowanego ociosu, toteż jest bardzo duża rozpiętość w wydajności mierzonej długością wyrobiska, które geolog jest w stanie sprofilować i skartować w okresie normalnego dnia pracy. Np. w Wieliczce geolog jest w stanie w ciągu ośmiu godzin pracy skartować 100 do 200 mb ociosu w skali 1:200, a w przypadku gdy ocios jest bardzo monotony, to i więcej.

Wydajność dokonującego zdjęcia fotogrametryczne — którym nie musi być geolog, gdyż rola geologa sprowadza się do interpretacji geologicznej — zależy przede wszystkim od szerokości wyrobiska i maksymalnego kąta rozwarcia kamery fotograficznej. Im szersze wyrobisko i większy kąt rozwarcia kamery (najkorzystniej byłoby posiadać aparaty o obiektwach szerokokątnych, a jeszcze lepiej nad-

szerokokątnych), tym większą powierzchnię ociosu obejmie klisza. Łatwo ustalić, że zwykły aparat fotograficzny Weltaflex 6×6 cm o ogniskowej  $f = 75$  mm obejmie przy szerokości wyrobiska ok. 2 m — odcinek równy 1,4 m długości wyrobiska, a uwzględniając 10% rezerwę na pokrycie sąsiednich zdjęć, otrzymamy, iż jedno zdjęcie odpowiada długości 1,2 mb wyrobiska. Na podstawie dotychczasowych prac ustalono, że na wykonanie jednego zdjęcia potrzeba niecałe 3 minuty, więc w ciągu ośmiu godzin można zdjąć ok. 190 mb wyrobiska.

Analogiczne prace wykonuje również geodeta górniczy zamierzając najistotniejsze szczegóły geologiczne, łącznie z innymi szczegółami sytuacyjnymi wyrobiska, przez odrzutowanie ich na taśmę rozpiętą między punktami poligonowymi w wyrobisku. Z tą samą więc dokładnością ( $\pm 5$  cm) geodeta zdejmuje szczegóły geologiczne co i szczegóły sytuacyjne wyrobiska, to jest jego kontury, nisze, remizy, różne komory itp. Wyniki tych pomiarów nanosi następnie na plan robót górniczych. Ten sposób kartowania wymaga szczególnie dużo pracy, a grupę pomiarową stanowi dwóch do trzech pomiarowych i geodeta górniczy, który odczytuje pomierzone wielkości i nanosi je na szkic odręcznie wykonany, a następnie w biurze na plan robót górniczych w skali 1:1000 czy 1:2000. Profilowanie pośrednie w przypadkach szczególnie skomplikowanej budowy geologicznej, zmiennej mineralizacji i struktury złoża wykonywane jest w skali 1:200, 1:100, 1:50, 1:20 a nawet 1:10. Trudność wykonywania kartowania powiększa sztuczne słabe oświetlenie i często kapiąca w kopalni woda. Profilowania i kartowania wyrobisk górniczych dokonuje się zwykle w miarę postępu przodka eksploatacji, chyba że nie ma obawy, by obudowa wyrobiska mogła zasłonić ociosy. Na szczególnie duże trudności napotyka geolog przy kartowaniu stropu, które z konieczności ogranicza do wykonania odręcznego szkicu, natomiast karto-

wanie fotogrametryczne nie przysparza większych trudności i może być wykonane w dowolnej skali.

Profilowanie i kartowanie ociosów wyrobisk górniczych dokonywane zarówno przez geodetę górniczego, jak i przez geologa ma tę słabą stronę, że wykonany profil jest obciążony subiektywizmem kartującego zależnym przede wszystkim od jego umiejętności interpretowania, interpolacji geologicznej oraz zdolności generalizowania danych. Trudności, o których wyżej wspomniano, usuwa proponowana fotogrametryczna metoda kartowania wyrobisk górniczych, a nabiera szczególnego znaczenia przede wszystkim w przypadkach skomplikowanej budowy geologicznej jak również przy kartowaniu stropów. Metoda fotogrametryczna oparta jest na zdjęciach fotograficznych, ale w ten sposób przekształconych, że mają tę samą skalę, dzięki czemu odczytane z nich dowolne odległości pomnożone przez mianownik skali odpowiadają rzeczywistym odległościom tych samych punktów w kopalni.

W ten sposób wykonane zdjęcia (fotogramy) są dokumentem, do którego zawsze można powrócić i wykorzystać inne szczegóły, które mogły w czasie dokonywanego zdjęcia nie być potrzebne. Np. zdjęcie było potrzebne do sporządzenia profilu zawierającego stosunki litologiczno-petrograficzne, a nas w danym momencie interesuje przede wszystkim tektonika, możemy zatem z posiadanego w archiwum zdjęcia odczytać i wykreślić ją na kalce bez zaciemniania rysunku litologią czy petrografią. Fotogram więc ma tę przewagę nad profilem wykonanym stosowaną metodą pośrednią, że zawiera wszystkie szczegóły geologiczne ilustrujące syntezę wielu czynników geologicznych. Fakt ten nabiera szczególnego znaczenia w przypadku, gdy wyrobisko jest nie udostępnione do powtórnego profilowania, np. zawalone czy podsadzone.

Kartowanie oparte na fotogramach, czyli kartowanie fotogrametryczne pozwala również udokumentować drobne szczegóły mikrotektoniczne czy strukturalne, czego nie można dokonać zwykłym pośrednim sposobem kartowania. Ważną zaletą w ten sposób wykonywanych zdjęć jest również duża dokładność odczytywanych z nich odległości, a więc określenia wzajemnego położenia dowolnych punktów fotogramu. Można przyjąć, że dokładność określenia sytuacyjnego położenia punktu wynosi około  $\pm 0,6 N$  mm, gdzie  $N$  jest mianownikiem skali fotogramu. Na wielkość  $\pm 0,6$  mm\* składają się błędy prac fotogrametrycznych w kopalni i opracowania kameralnego (w przypadku nierównej powierzchni ociosu powstają ponadto radialne przesunięcia punktów zwane błędami radialnymi). Dokładność, z jaką jesteśmy w stanie określić interesujące nas szczegóły na fotogramie, zależy przede wszyst-

kim od wielkości jego skali. Jeżeli więc profil ociosu wykonany jest fotogrametrycznie w skali np. 1:25, to odczytane z niego położenie punktu obciążone jest błędem  $\pm 0,6 \times 0,25$  mm =  $\pm 15$  mm (bez błędu przesunięcia radialnego). Zakładając, że nie powinno się powiększyć negatywu więcej niż dwukrotnie, że zdjęcie było wykonane z odległości 2 m, a ogniskowa obiektywu wynosiła  $f = 100$  mm, otrzymamy skalę zdjęcia równą:

$$\frac{100}{2000} = \frac{1}{20}, \text{ czyli } N = 20$$

a skalę powiększenia  $\frac{1}{10}$ .

Badania nad zastosowaniem fotogrametrycznych metod kartowania przeprowadzono przede wszystkim, korzystając ze zdjęć wykonanych aparatami fotograficznymi, gdyż stosowanie fototeodolitów ograniczone jest do wyrobisk o szerokości powyżej 4 m, przy której można jeszcze wykonywać zdjęcia. Dotyczy to zwłaszcza nowoczesnych fototeodolitów Wilda czy Zeissa przeznaczonych do zdjęć naziemnych przedmiotów odległych, jak np. osuwisk, bądź też zdjęć fotogrametrycznych dla opracowania map sytuacyjno-wysokościowych w terenach górzystych itp.

Opracowany sposób profilowania i kartowania fotogrametrycznego ociosów wyrobisk górniczych oparty jest na zasadach fotogrametrii jednoobrazowej, którą stosuje się do wykonania fotoplanów w terenach płaskich na podstawie zdjęcia wykonanego z samolotu specjalnymi kamerami lotniczymi.

Powyższe, pierwsze prace badawcze wykonano w kopalni soli w Wieliczce. Sposób ustawienia aparatu fotograficznego czy fototeodolitu w czasie zdjęcia ociosu ilustruje ryc. 1. Zdjęcia wykonywano przeważnie aparatem lustrzanym z ręki przy jednym błysku lampy elektronicznej. Odległość od ociosu dochodziła do 4 m, przysłona 1:5,6; 1:8 lub 1:11, film Agfa Isopan F o czułości 17°/10 DIN. Ponieważ obiektyw fototeodolitu, jak też i aparatu fotograficznego znajdował się w czasie wykonywania zdjęć w różnych odległościach od ociosu, a płaszczyzna negatywu nie była równoległa do płaszczyzny zdejmowanego elementu ociosu, dlatego tak wykonane zdjęcia należało przetworzyć i sprowadzić wszystkie do jednolitej żądanej skali. Podstawę dla przetworzenia stanowiły tzw. fotopunkty zaznaczane na powierzchni ociosu, których dla przetworzenia jednego zdjęcia potrzeba cztery — najlepiej rozmieszczonych w kwadrat. Dla odległości  $d = 1,8$  do 3 m bok kwadratu, którego punkty wierzchołkowe stanowiły fotopunkty, wynosił 1 m. W celu szybkiego wyznaczenia takich fotopunktów na ociosie wykonano z cienkich rurek kwadrat, którego naroża stanowiły okrągłe pierścienie. Szablon ten przykłada się do ociosu, a w naroża wprowadza się kredę dla

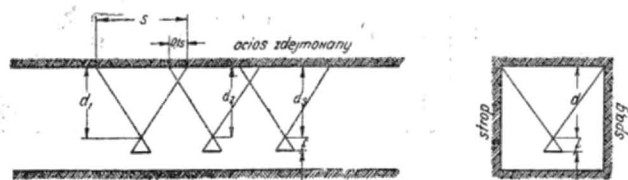
\* Z. Kowalczyk, Z. Sitek — Badanie dokładności obiektywów aparatów fotograficznych (maszynopis).

łatwiejszego i szybszego zaznaczenia fotopunktów. Fotopunkty oznacza się przy poziomym położeniu jednego z boków kwadratów, co kontroluje się zamocowaną do niego libellą. Łącznie więc ze zdjęciem szczegółów ociosu zostaną utrwalone na negatywie cztery fotopunkty stanowiące podstawę do przetwarzania.

Jeżeli profil fotogrametryczny ma być wykonany jako rozwinięcie powierzchni ociosu na płaszczyznę pionową, jak to wykonuje się w geologii, wówczas dla przetworzenia wykreśla się na kartonie lub kalce kwadrat w żądanej skali. W fotogrametrii do przetwarzania służą specjalne przyrządy, podobne do powiększalnika, tzw. przetworniki, których działanie polega na tym, że za pomocą pięciu ruchów przetwornika podporządkowujemy (wzajemnie) odfotografowaną na negatywie czwórke fotopunktów odpowiedniej czwórce stanowiącej osnowę geodezyjną, w danym przypadku wykreślamy na kartonie kwadrat umieszczony na płaszczyźnie ekranu. Jeżeli obrazy wierzchołków kwadratu, które na negatywie tworzą w ogólnym przypadku nieforemny czworobok (gdyż w czasie zdjęcia płaszczyzna negatywu nie jest równoległa do płaszczyzny zdejmowanego elementu ociosu), pokryją się z wierzchołkami kwadratu umieszczonego na ekranie, to dowodzi, że negatyw umieszczony w przetworniku zajmuje w stosunku do ekranu położenie takie jak klisza w momencie zdjęcia względem zdejmowanej płaszczyzny ociosu. Wystarczy teraz zamiast podkładu geodezyjnego (kartonu z naniesionym kwadratem) na ekran wprowadzić papier światłoczuły i naświetlić go, aby otrzymać odbitkę (zdjęcie) przetworzoną. Na przetworzonym w ten sposób zdjęciu nieforemny czworobok negatywu będzie widoczny jako kwadrat, powstały przez połączenie sfotografowanych fotopunktów równy co do wielkości kwadratowi naniesionemu na podkład wykorzystany do przetwarzania. Po wywołaniu i utrwaleniu odbitka staje się platem fotograficznym.

Ponieważ nowoczesny przetwornik pełnoautomatyczny jest przyrządem bardzo droгим, dlatego tak przekonstruowano zwykły powiększalnik polskiej produkcji Krokus (który spełnia tylko jeden warunek przetwornika), by spełniał rolę uproszczonego przetwornika (ryc. 2), tj. by oprócz zmiany powiększenia zezwalał na:

- 1) obrót negatywu w jego płaszczyźnie dokoła punktu głównego;

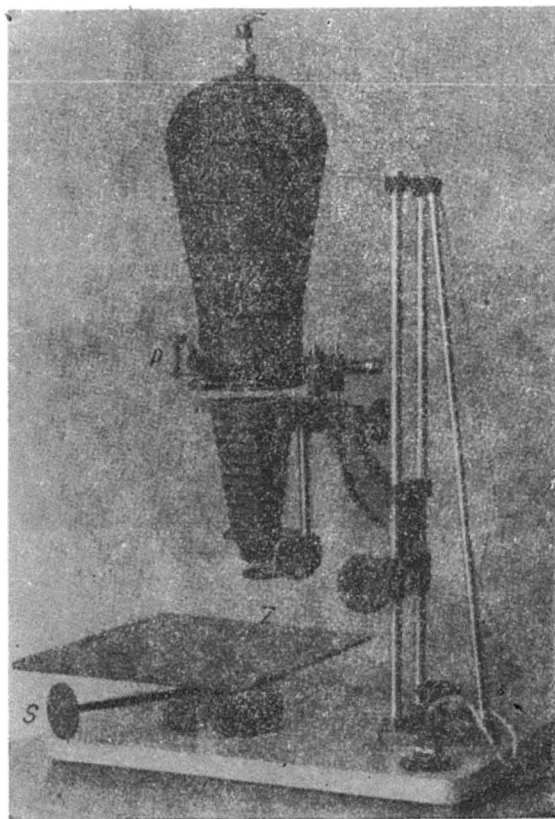


Ryc. 1.

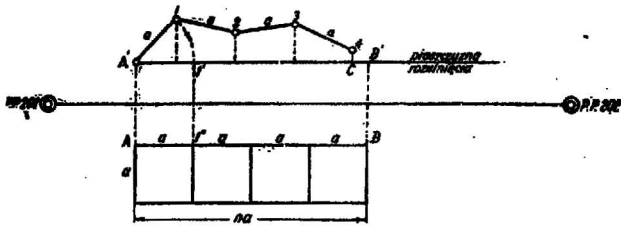
- 2) zmianę kąta nachylenia, jaki tworzy płaszczyzna negatywu i ekranu z płaszczyzną główną obiektywu przetwornika.

Powyższe uzyskano przez wprowadzenie metalowego pierścienia P i pochylanie ekranu Z. Stół projekcyjny (ekran) nakłada się na podstawę powiększalnika, przy czym stół ten można przesuwac i pochylać w dowolnym kierunku po zwolnieniu śruby S. Przetwornik uproszczony zezwala na przetwarzanie zdjęć z negatywów o wymiarach  $6 \times 9$  cm jak również  $6 \times 6$  cm, a więc dokonywanych małymi aparatami fotograficznymi.

Przetwarzanie jednego zdjęcia przez niezbyt wprawnego laboranta trwa średnio 15 minut. Przetworzone fotogramy należy następnie zestawić w fotoplan. W tym celu na kartonie nanosi się w skali przetwarzania podkład geodezyjny, tj. łańcuch kwadratów o wielkości boku w skali przetwarzania (ryc. 3), jeżeli profil ociosu ma stanowić rozwinięcie łańcucha kwadratów na wspólną płaszczyznę. W ten sposób wykonany fotoplan (AB) jest dłuższy niż fotoplan sporządzony (zestawiony) w oparciu o bok poligonu P.P.201 — P.P.202, gdyż  $AB > AC$ . Zaznaczone na ociosie punkty, np. A i 4 tzw. fotopunkty, należy nawiązać do istniejącej osnowy poligonowej dla określenia ich współrzędnych x, y i z. Przed montowaniem fotoplanu wycina się na fotogramach milimetrowej średnicy otworki, których środki pokrywają się z fotopunktami wykorzystanymi do przetwarzania. Następnie wpasowuje się poszczególne fotogramy w naniesioną na karto-



Ryc. 2.



Ryc. 3.

nie osnowę geodezyjną (widoczną przez wycięte otworki), kontrolując jednocześnie zgodność szczegółów geologicznych na stykach fotogramów. Po wpasowaniu fotogramów na karton przystępuje się do kolejnego ich przyklejania klejem stolarskim na gorąco.

Ryc. 4 jest fragmentem podłużni Hauer w skali 1:25, której profil wykonany przez geologa sposobem pośrednim w skali 1:25 — ilustruje ryc. 5. Niezależnie od nawiązania profilu ociosu — za pomocą fotopunktów — do istniejącej osnowy geodezyjnej, pożądane jest zaznaczyć na planie robót górniczych kopalni (w skali 1:1000) usytuowanie odcinka ociosu opracowanego fotogrametrycznie. Podane na fotoplane objaśnienia oznaczeń 1, 2, 3 można uzupełnić pod względem litologicznym w sposób następujący:

- 1) typowa sól drobnoziarnista szara, zanieczyszczona pelitem kwarcowym (kompleks soli spiszowej);
- 2) sól średnioziarnista biała z kompleksem soli spiszowej;
- 3) przegradzające łożowce anhydrytowe z kompleksu soli spiszowej.

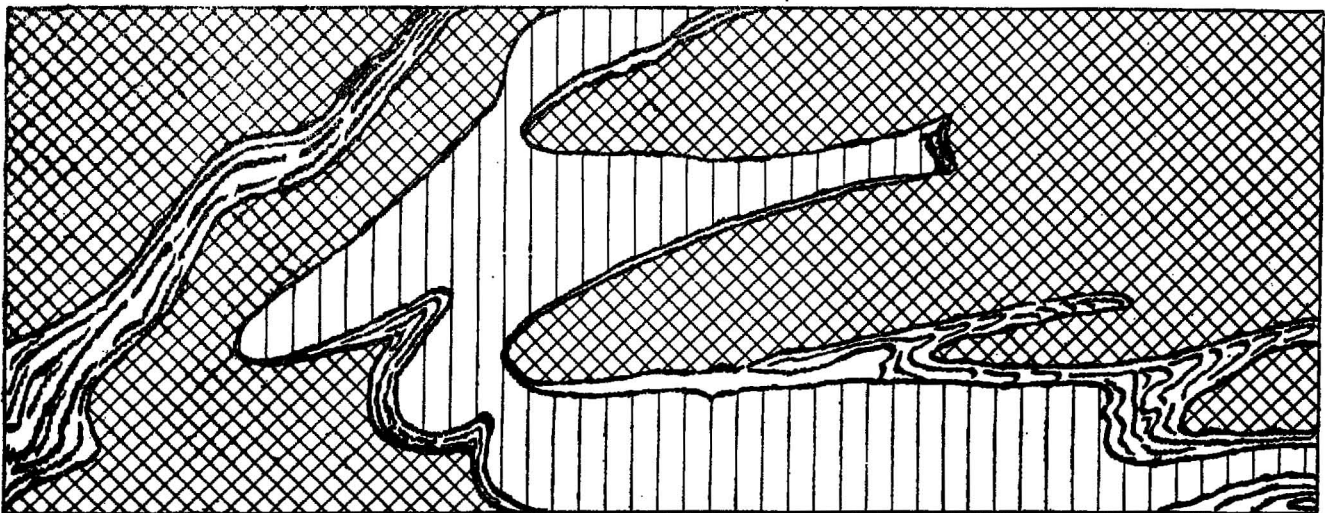
Fotoplan 6 poprzeczni Klein III ilustruje ciekawą tektonikę występującą w złożu solnym, powstałą wskutek działania różnych układów sił w okresie posedymentacyjnym. Iły anhydrytowe, które stanowią „sztywne utwory”

serii solnej, pod wpływem działania wyżej wspomnianych sił uległy znacznym przesunięciom poziomym, a jednocześnie zostały porzaskane i porozrywane. Natomiast przylegające plastyczne utwory solne uległy łagodniejszym ciągłym deformacjom i uwidaczniają przebieg fałdowania.

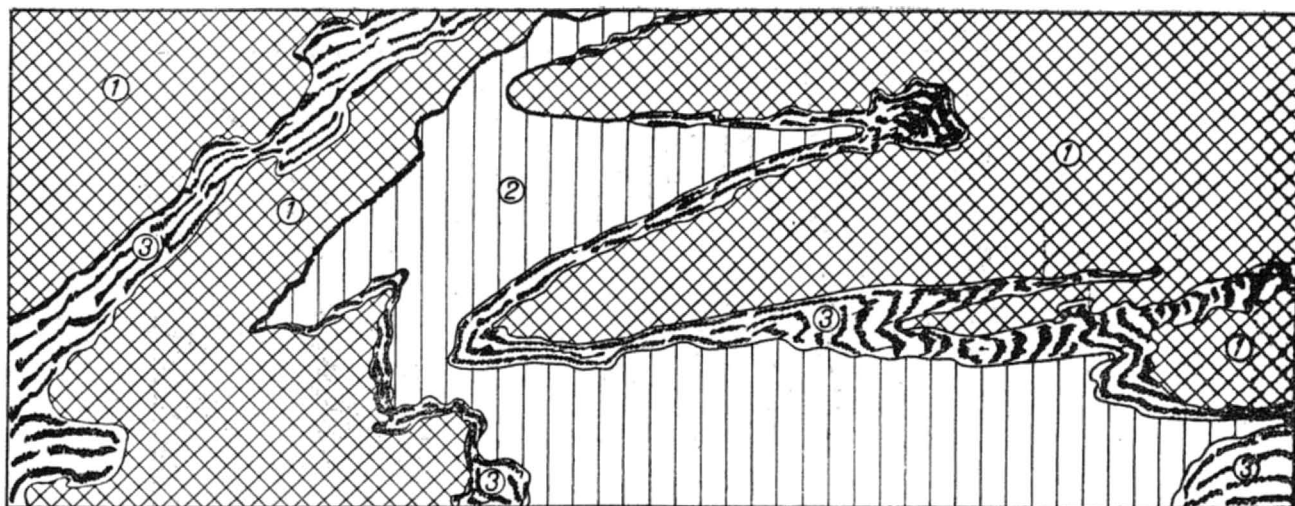
Pod względem petrograficznym wyróżnia się na powyższym fotoplane następujące utwory:

1. Sól spiszowa pasiasta.
2. Sól spiszowa biała.
3. Łowiec anhydrytowy.
4. Trzewiowiec anhydrytowy.
5. Łowiec.
6. Wkładki bitumiczne.

Na podstawie fotoplanu — profilu ociosu, można sporządzić plan rysunkowy — kreskowy, który z dużego bogactwa szczegółów geologicznych fotoplanu zawiera tylko pewne z nich, np. kontury petrograficzne (ryc. 7) omawianej poprzednio podłużni Hauer. Powyższy plan kreskowy został wykonany przez skopowanie na kalce konturów petrograficznych widocznych na fotoplane, który ilustruje ryc. 4. Dla ułatwienia kreślenia planu kreskowego dobrze jest go uczytelnić przez obrysowanie ciągłymi liniami tuszem brązowym konturów petrograficznych. W ten sposób wykonany plan kreskowy ociosu wyrobiska górniczego, po splanimetrowaniu poszczególnych konturów, pozwala określić w danym profilu (na danej powierzchni ociosu) stosunek różnych rodzajów soli i skały płonnej. Powyższa ilościowa charakterystyka petrograficzna może być wykorzystana przy obliczaniu zasobów jak również przy wyborze systemu i metody eksploatacji. Np. w złożu solnym Wieliczki może pomóc w przypadkach wątpliwych, jak: czy eksploatować metodą suchą czy moką, jeśli zaś moką to jakim systemem, tj. czy przez ługowanie komorowe, ługowanie otworowe lub natryskowe?



Ryc. 4. Fragment podłużni Hauer, ściana północna, koło szybu Górsko, poziom III.



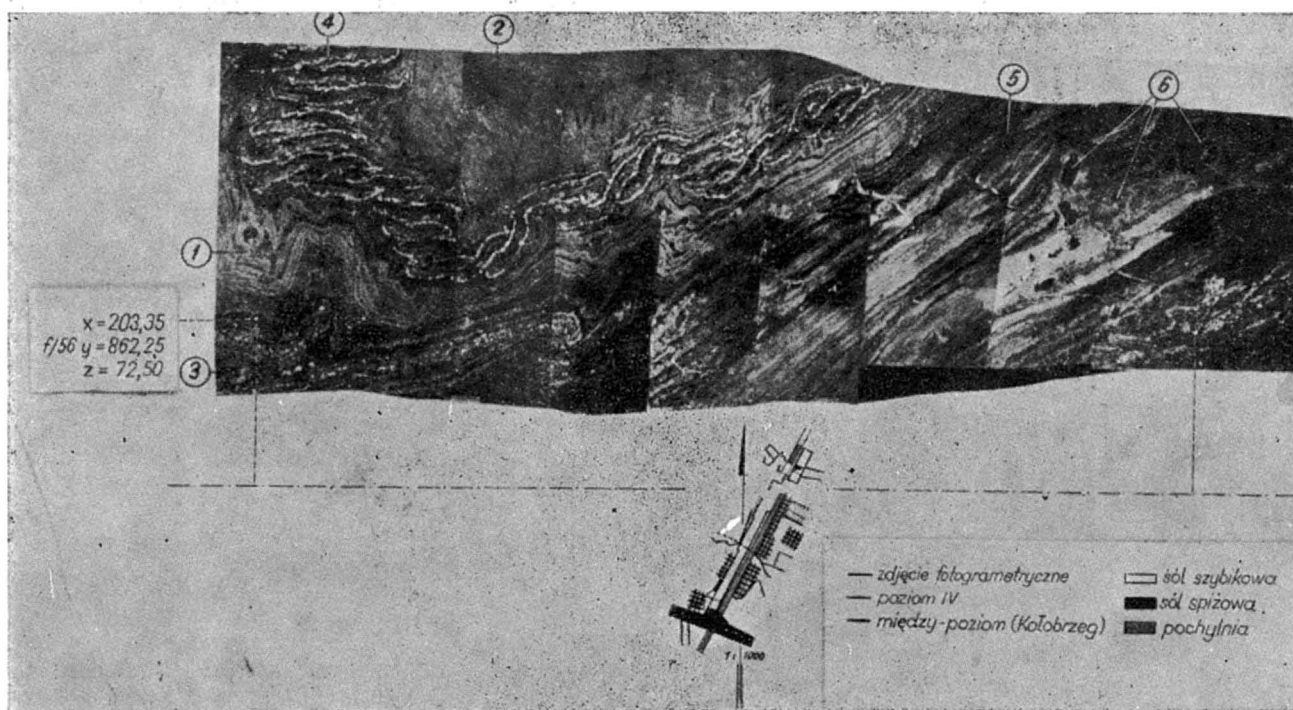
① sól spizowa szara-54%, ② sól spizowa biała-28%, ③ i z anhydrytem-18%

Ryc. 5. Fragment podłużni Hauer, ściana północna, koło szybu Górsko, poziom III.

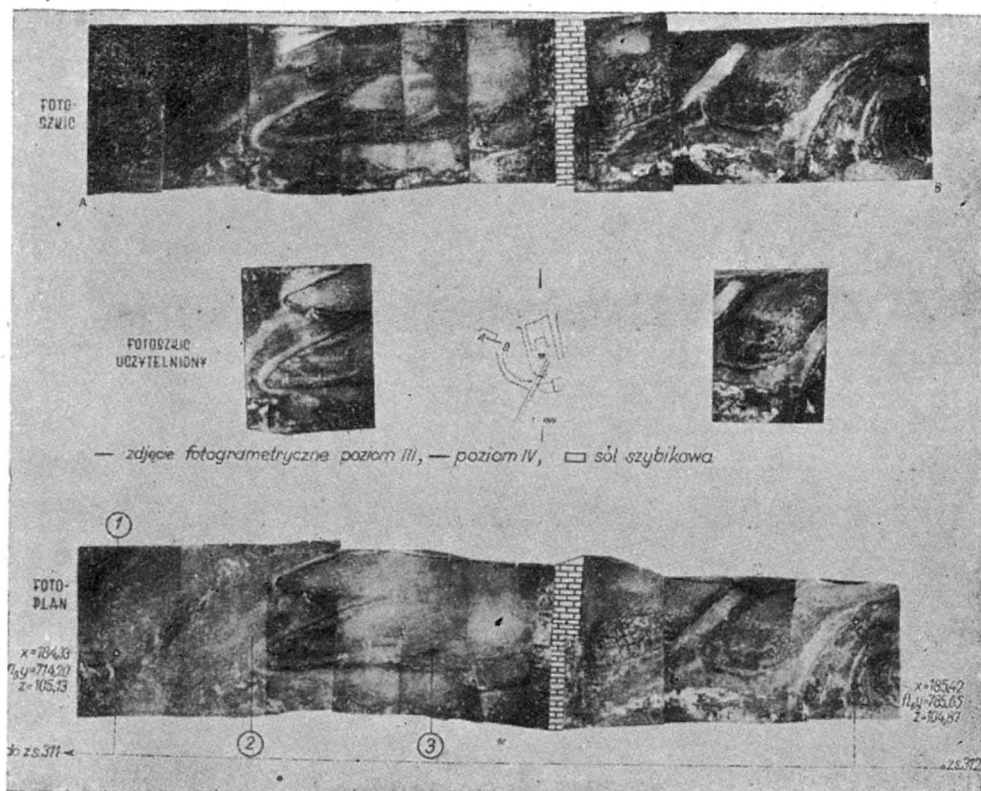
Oczywiście nie tylko ta ocena decyduje o wyborze systemu eksploatacji.

Opisana powyżej metoda fotogrametrycznego profilowania ociosów wyrobisk górniczych jest więc pierwszą próbą zastosowania fotogrametrii nie tylko w geologii kopalnianej, ale i w górnictwie podziemnym. W tych szczególnie trudnych warunkach kopalni ma fotogrametria pewne chociaż dość ograniczone możliwości stosowania. Bardzo poważną natomiast rolę spełnia i spełni fotogrametria w zastosowaniu do prac geologiczno-badawczych na powierzchni. Należy bowiem podkreślić, że dużo ciekawych wyników dała interpretacja geologiczna zdjęć aerofotogrametrycznych po-

wierzchni wykonywanych dla zdjęć geodezyjno-topograficznych. Wiele pozornie mało znaczących szczegółów, np. geomorfologicznych, z reguły jest pomijane lub nie zauważane przez kartującego geologa czy wykonującego pomiary geodezyjno-topograficzne geodetę, które są zarejestrowane na zdjęciach lotniczych, a które niejednokrotnie mają zasadnicze znaczenie przy pracach geologiczno-poszukiwawczych. Zdjęcia aerofotogrametryczne przyczyniły się do odkrycia złóż ropy naftowej w Nowej Gwinei i na Saharze czy wysadów solnych na Martynice. Jasne jest, że rola fotogrametrii w kopalni będzie inna i może się ograniczyć raczej do pomocy w badaniach naukowych jako doku-



Ryc. 6. Poprzecznia Klein III, poziom IV



Ryc. 7. Podłużnia Hauer, ocios północny, poziom III.

mentu zawierającego treść geologiczną ociosów. Metoda ta, która została opracowana na podstawie badań dokonanych w Wieliczce, może być stosowana i w kopalniach innych surowców mineralnych, jak: rud, magnezytu, barytu, a nawet w kopalniach węgla. Z tym jednak łączy się sprawa opracowania samej metodyki zdjęć pod kątem lepszego wizualnego różnicowania szczegółów geologicznych, które dotychczas stosowanymi metodami zdjęć nie dają pożądanego efektu. Dlatego też obecnie Katedra Geodezji Górniczej AGH prowadzi badania w tym kierunku.

Metoda fotogrametryczna profilowania może być również wykorzystana np. w kopalni soli w Wieliczce w dziedzinie badań nad sedymentacją, mikrotektoniką — tektoniką i paleogeografią, co jest związane z regionem ruchów podkarpackich. W obecnym stanie najlepiej została opracowana stratygrafia złoża solnego Wieliczki, a podstawą badań była kolejność strącania się ewaporatów z wody morskiej. Zagadnienie opracowania pełnej stratygrafii serii solnej Wieliczki, a także warunków litologicznych, sedymentacyjnych, tektonicznych i paleogeograficznych jest więc zagadnieniem wciąż jeszcze otwartym.

Ruchy górotwórcze obejmujące Karpaty, jak wiemy, spowodowały dużą zmienność warunków sedymentacyjnych utworów miocenijskich zarówno w kierunku poziomym, jak i pionowym, a to z kolei wybitnie skomplikowało badania i utrudniło właściwe ustalenie stratygrafii miocenu podkarpackiego. Istniejący materiał geologiczno-kartograficzny uwidoczni

na mapach robót górniczych Wieliczki dotyczy przede wszystkim charakterystyki petrograficznej górotworu, którą wykorzystuje się dla stratygrafii oraz częściowo uwzględnionej tektoniki.

Zestawienie materiału fotogrametrycznego uzyskanego przede wszystkim z ociosów wyrobisk górniczych poprzeczni, których kierunek pokrywa się z kierunkiem nacisku płaszczowin fliszu karpackiego, i sporządzanie wielopoziomowych przekrojów czy blokdiagramów sposobem fotogrametrycznym mogłoby ułatwić wspomniane badania. Należy pamiętać, że kopalnia Wieliczka jest kopalnią, której zasoby soli są już bardzo ograniczone i wiele wyrobisk górniczych bezpowrotnie stanie się niedostępne, stąd też należałoby mieć dokumenty bezsporne, które mogą być w przyszłości tematem dalszych dociekań naukowych, a które stanowią fotogrametrycznie opracowane profile różnych rodzajów wyrobisk.

Szczegółowe opracowanie metody fotogrametrycznego kartowania ociosów wyrobisk górniczych i uproszczonych metod jest tematem przygotowanej do druku pracy.

ZYGMUNT KOWALCZYK

#### ATTEMPT AT MAKING USE OF PHOTOGRAMMETRY FOR MINING GEOLOGY

##### Summary

Single photograph measuring may be adapted in mining geology for mapping of slabs of excavations in mines. For mapping the slab surface should be covered with photo-points located in square of 1 m in side with the aid of a special pattern. The photo-

points form chain of squares on the slab, so that for every picture there is a drop of four which, photographed with phototheodolite or photogrammetric camera, allow to make the transformed pictures from the negatives with the aid of a transformer.

If we carry the chain of squares on the cartoon in the scale of transformation (and in the place of

photo-points we make the holes of 1 mm in diameter in transformed pictures), it is possible to fit the transformed picture in the net formed by the photo-points. After pasting up the transformed pictures on the cartoon, we obtain the profile of slab in scale with all the richness of lithological, petrographical and tectonical details.