

Jadwiga MACIASZEK, Rafał GAWAŁKIEWICZ

Akademia Górniczo-Hutnicza, Krakowie

## Ocena przydatności nowoczesnych technologii geodezyjnych do pomiaru i wizualizacji podziemnych pustek górniczych

### Streszczenie

W pracy pokazano, że nowoczesne tachimetry laserowe oraz program AutoCAD są doskonałym narzędziem do inwentaryzacji i wizualizacji podziemnych pustek górniczych. Porównanie objętości komory „Erazma Barącza” z Kopalni Soli „Wieliczka” obliczonej na podstawie wyników pomiaru dwoma metodami: fotogrametryczną i klasyczną – z wykorzystaniem nowoczesnych tachimetrów – potwierdza wysoką dokładność metody klasycznej. Łatwość i szybkość obsługi tachimetrów elektronicznych pozwala sądzić, że znajdują one szerokie zastosowanie w geodezji górniczej.

### 1. Wstęp

Działalność górnictwa solnego w Polsce na przestrzeni kilku wieków, pozostawiła znaczną ilość komór poeksploatacyjnych, zlokalizowanych na głębokościach od kilkunastu do kilkuset metrów. Objętość pustek w zabytkowej Kopalni Soli „Wieliczka”, szacuje się na 6,5 mln m<sup>3</sup> (w tym 2040 komór), zaś w zabytkowej kopalni „Bochnia” kubatura pustek pozostałych po dotychczasowej likwidacji oceniana jest na około 0,35 mln m<sup>3</sup>. Podziemna kopalnia „Siedlec – Moszczenica” (planowana w przyszłości do wykorzystania jako magazyny gazu), posiada około 0,25 mln m<sup>3</sup> podziemnych wyrobisk. W podziemnej kopalni „Kłodawa”, w której eksploatacja prowadzona jest systemem komorowo – filarowym, na sucho z urabianiem materiałami wybuchowymi, objętość wyrobisk ocenia się na 13 mln m<sup>3</sup>.

Istniejące w górotworze pustki stanowią potencjalne zagrożenie, zarówno dla obiektów i urządzeń powierzchniowych, jak i podziemnych. Prowadzone od szeregu lat geodezyjne obserwacje powierzchni obszarów górniczych tych kopalni, jak i górotworu, wykazują powolne zaciskanie się komór, powodujące deformacje ciągłe (mniej groźne w skutkach) oraz nieciągłe (szczeliny, zapadliska). Te właśnie nieciągłe deformacje są największym zagrożeniem dla obiektów powierzchniowych oraz zabytkowych komór.

Aby zapobiec ujemnym wpływom górnictwa na środowisko, prowadzi się prace podszkole, a wyrobiska zabytkowe zabezpiecza się drewnianymi obudowami, przy czym stropy wzmacnia się specjalnymi kotwiami.

Programy ochrony środowiska szeregu krajów na świecie sugerują możliwość nie górnictwo wykorzystania wyrobisk poeksploatacyjnych do magazynowania oraz składowania niektórych mało szkodliwych odpadów w złożach soli. Formacje solne występują w górotworze najczęściej w bardzo dużym odizolowaniu od wód powierzchniowych i podziemnych w wymiarze czasu geologicznego. Oprócz szczelności - złoża solne charakteryzują się znaczną pla-

stycznością w stosunku do skał kruchych i sztywnych co dodatkowo czyni je atrakcyjnymi do ich nie górniczego wykorzystania.

Zarówno projektowanie prac zabezpieczających, jak również innych, wyżej wspomnianych, wymusza inwentaryzację podziemnych pustek i określenie ich objętości. Dwukrotny pomiar komory daje dodatkowo możliwość określenia jej deformacji w dowolnym kierunku.

Błyskawiczny rozwój nowych instrumentów geodezyjnych oraz programów komputerowych jaki obserwujemy w ostatnich latach, stwarza nowe możliwości dla inwentaryzacji dostępnych komór górniczych.

W artykule autorzy dają przegląd dotychczas stosowanych metod pomiaru wyrobisk komorowych oraz przedstawiają nowe instrumenty laserowe, którymi dysponuje Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH. Przyrządy te świetnie nadają się do prac inwentaryzacyjnych w podziemiach kopalń, zapewniając wysoką dokładność i niskie koszty pomiaru. Wyniki pomiarów komory „E. Barącza” z Kopalni Soli „Wieliczka”, które przeprowadzono w styczniu 2001 roku, posłużyły do przestrzennej wizualizacji tej komory programem AutoCAD, wykonania licznych przekroi, a także obliczenia jej objętości.

Praca realizowana jest w ramach badań własnych 10.10.150.484

## 2. Pomiar wyrobisk komorowych

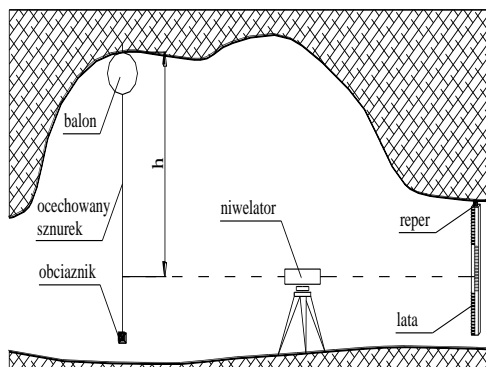
Urozmaicenie wyrobisk komorowych, jak na przykład w Kopalni Soli w Wieliczce, narzuca pewne ściśle określone metody pomiaru kształtu tego typu obiektów podziemnych, pozwalające oprócz realizacji podstawowych zadań geodezyjnych (pomiaru kształtu i objętości) także na badanie ich deformacji.

W praktyce dokumentowanie pustek komorowych wykonuje się różnymi metodami, uzależnionymi w głównej mierze od charakteru i dostępności badanego ośrodka, stopnia zróżnicowania jego kształtu, czy też sposobu wypełnienia pustki (w przypadku kopalń soli materiałem wypełniającym najczęściej jest solanka, gaz lub ropa).

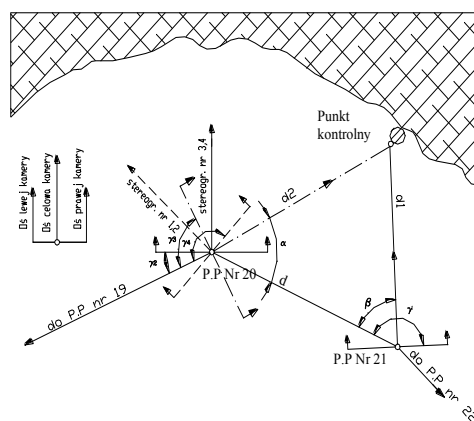
Pomiar wyrobisk komorowych i innych, o nieregularnych kształtach i przy znacznych ich wysokościach, niedostatecznym oświetleniu stropu i ociosów, bywa nie rzadko utrudniony i wymaga zastosowania wielu niekonwencjonalnych sposobów pomiaru. Dotychczas pomiar kształtu wyrobisk komorowych był, bądź jest realizowany za pomocą:

- **sondy balonowej**, a zatem balonu (wypełnionego rozgrzanym powietrzem) wprowadzanego za pomocą ocechowanego sznurka [2] na określony punkt pomiarowy tj.: występ lub wgłębienie w stropie co przedstawia rys. 2.1. Nawiązanie niwelacyjne sznurka do reperów kopalnianych pozwala na wyznaczenie wysokości komory w danym punkcie. Wadą tej metody jest każdorazowe sprawdzanie urządzenia pomiarowego, polegające na określeniu odległości górnej powłoki balonu od punktu zaczepienia sznurka (dolna krawędź), jak również mała dokładność pomiaru. Ponadto stosowanie tej metody do kompleksowych pomiarów kształtu komór o skomplikowanej budowie jest raczej niemożliwe;
- **metod fotogrametrycznych**, które wykorzystują kamery stereofotogrametryczne, pozwalające nawiązać poszczególne stereogramy do podziemnej osnowy kopalnianej. Kamera stereofotogrametryczna składa się z teodolitu i 1-metrowej bazy (w formie rurki duraluminiowej) połączonej z alidadą za pomocą podpory znajdującej się na pionowej osi teodolitu. Otworki bazy, wykonane co 5 cm, pozwalają na zmianę rozstawu zamocowanych na niej kamer, co pozwala w praktyce na stereoskopowe fotografowanie obiektów położonych w odległości od 1,6 do 10 m od obiektów. Samo połączenie kamery stereometrycznej [6] z teodolitem pozwala na bezpośredni pomiar elementów katowych pomiędzy osią bazy

i kierunkiem wyznaczonym przez jedno z ramion kąta wierzchołkowego poligonu podziemnego. Metoda ta wymaga w rzeczywistości założenia przynajmniej jednego punktu kontrolnego o znanych współrzędnych, widocznego z obu stanowisk kamery stereofotogrametrycznej (rys. 2.2), a na etapie opracowania kameralnego, urządzenia zwanego stereokomparatorem. Niewielki zasięg obrazu (do 10m), przy często znacznych wysokościach komór oraz braku dostatecznego oświetlenia, stwarza konieczność wykonywania specjalnych rusztowań, które wydłużają czas i pracochłonność czynności przygotowawczych i pomiarowych. Jednak bezsprzecznie, metoda ta jest jedyną w swoim rodzaju i nieporównywalnie dokładną w przypadku opracowań dokumentacji architektoniczno – budowlanej obiektów o bardzo zróżnicowanej strukturze, przez co znalazła zastosowanie w wielu opracowaniach dokumentacyjnych wykonanych między innymi dla Kopalni Soli w Wieliczce;



Rys. 2.1 Pomiar metodą balonową  
Fig. 2.1 The measurement with a baloon method

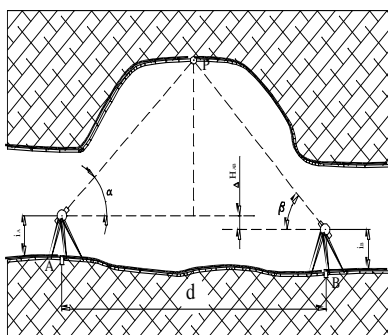


Rys. 2.2 Pomiar metodą fotogrametryczną  
Fig. 2.2 The measurement with a photogrammetric method

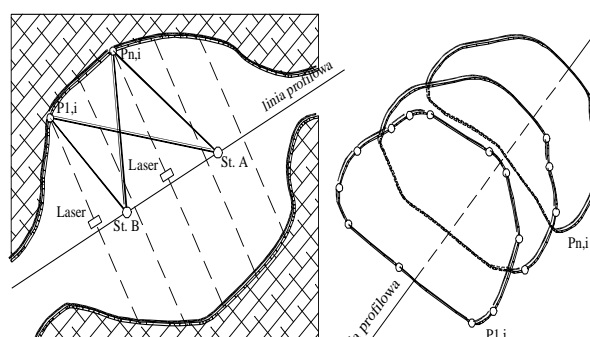
- **tradycyjnych metod geodezyjnych**, które bez przeszkód pozwalają na pomiar komór dowolnego kształtu i wielkości z dużą precyzją. Wyróżnić tu możemy:

**metodę punktów rozproszonych**, w której współrzędne dowolnego punktu pomiarowego komory wyznaczane są przy wykorzystaniu wcięcia przestrzennego z założonej bazy pomiarowej AB (rys. 2.3) lub z punktów specjalnie założonego i pomierzonego ciągu poligonowego, stosowanego zazwyczaj w przypadku bardzo zróżnicowanego kształtu pustki poeksploatacyjnej;

**metodę przekroi pionowych lub poziomych**, w której pomiar realizowany jest także przy wykorzystaniu wcięcia przestrzennego, ale punkty pomiarowe rozmieszczone są na liniach profilowych zorientowanych podłużnie i poprzecznie do krawędzi komory (rys. 2.4).



Rys. 2.3 Pomiar komór sposobem punktów rozproszonych  
Fig. 2.3 The measurement of chambers with a dispersed points method



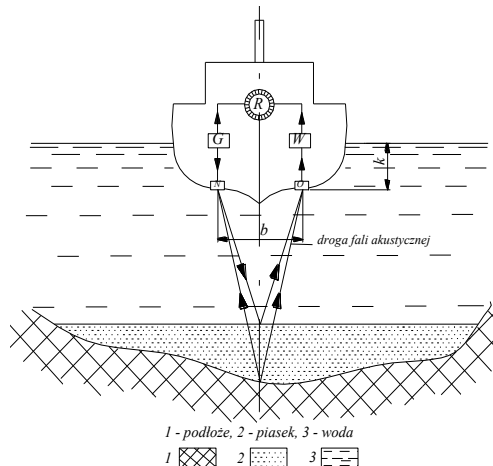
Rys. 2.4 Pomiar komór metodą przekroi poziomych lub pionowych  
Fig. 2.4 The measurement of chambers with a method of horizontal or vertical cross-sections

Pikiety pomiarowe w obu przypadkach sygnalizowane są promieniem lasera, co umożliwia pomiar punktów nawet tradycyjnymi przyrządami kątomierzczymi.

Specyfika podziemnej i otworowej eksploatacji soli przyczyniła się do wdrożenia niekonwencjonalnych metod i przyrządów do pomiaru kształtu wyrobisk poeksploatacyjnych, niedostępnych dla klasycznych sposobów obserwacji. Do metod tych należy zaliczyć:

- **metody ultradźwiękowe**, stosowane powszechnie do pomiaru kształtu i objętości dużych otworów ługowniczych w otworowych kopalniach soli. Mogą one także stanowić uzupełnienie klasycznych metod pomiaru komór poeksploatacyjnych, które częściowo zalane są solanką, co miało miejsce w przypadku komory „E. Barącza”. Działanie aparatury ultradźwiękowej [4] polega na wysyłaniu fal akustycznych (o częstotliwości ponad 16 000 Hz) w formie krótkich impulsów ultradźwiękowych oraz rejestracji czasu przebycia przez sygnał drogi od nadajnika do badanej powierzchni i z powrotem (rys. 2.5);

R – układ rejestrujący, G – generator impulsów elektrycznych, W – wzmacniacz, N – nadajnik, O – odbiornik, k – wielkość zanurzenia układu nadawczo-odbiorczego, b – odległość nadajnika od odbiornika (dla sondy EAGLE ULTRA II – b=0)



Rys. 2.5 Pomiar głębokości zbiorników wodnych (solankowych) metodą ultradźwiękową  
Fig. 2.5 The measurement of the depths of salt water ponds with an ultrasonic method

- **metody radarowe**, które pozwalają zlokalizować i zinwentaryzować pustki podpowierzchniowe, będące efektem działalności człowieka, bądź też samej przyrody. Zasada działania aparatury radarowej, polega na wysyłaniu ze specjalnej anteny impulsów fal elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości (80 – 1000 MHz) w głąb badanego ośrodka i rejestracji fal odbitych od poszczególnych granic podpowierzchniowych.

### 3. Przyrządy geodezyjne do pomiaru wyrobisk komorowych

Wprowadzenie na rynek w ciągu kilku ostatnich lat szeregu nowoczesnych, precyzyjnych instrumentów elektronicznych typu „total station”, jak również rozwój komputerowych metod opracowania i przetwarzania danych obserwacyjnych, umożliwia obecnie sporządzanie dokumentacji geodezyjnej wyrobisk kopalnianych, nawet tych o skomplikowanej budowie.

Proces ewolucji przyrządów geodezyjnych spowodował, że zestawy pomiarowe, które jeszcze do niedawna stanowiły nowoczesną bazę instrumentalną Działów Mierniczych wielu kopalń w Polsce, obecnie odchodzą w zapomnienie. Są one sukcesywnie zastępowane urządzeniami nowszej generacji, które w praktyce pozwalają na realizację zagadnień geodezji górniczej dotąd realizowanych innymi, bardziej pracochłonnymi metodami. Rozwój laserowych instrumentów geodezyjnych, wykorzystywanych do pomiarów podpowierzchniowych pustek poeksploatacyjnych można przedstawić chronologicznie w sposób następujący:

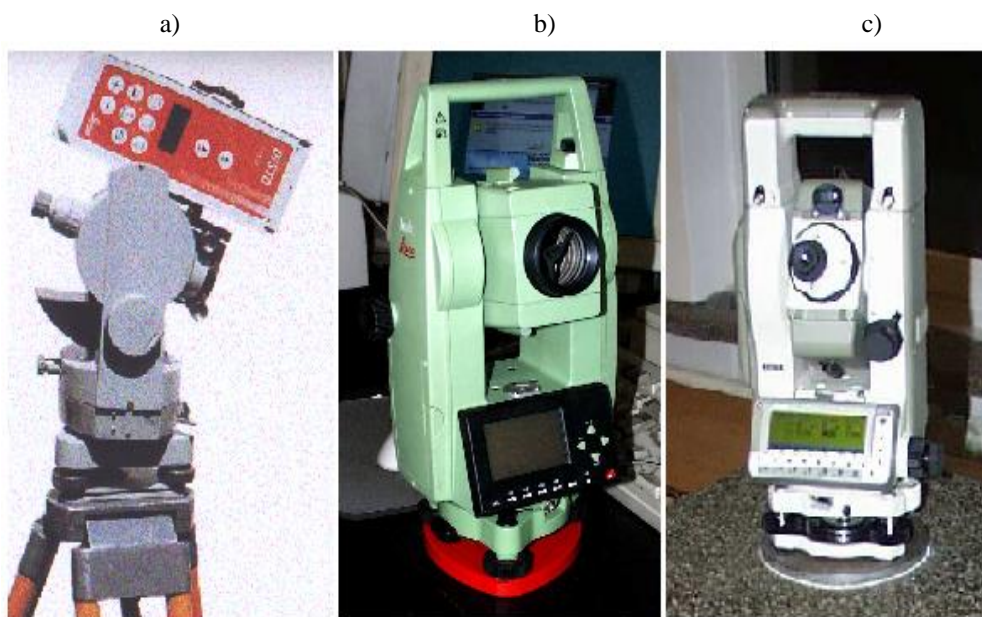
- zestaw pomiarowy składający się z: teodolitu **Theo 020A** lub **Theo 020B**, dalmierza laserowego **Disto** i adaptera firmy **Zeiss lub Czerski** (pozwalającego na sprzężenie tych dwóch elementów ze sobą), do niedawna stanowił bazę instrumentalną, która zyskała ogromne uznanie przy realizacji pomiarów dołowych wyrobisk górniczych. Wadą tego połączenia była każdorazowa redukcja długości wynikająca z ekscentru plamki lasera i osi celowej (rys. 3.1a). Przy dużej ilości danych pomiarowych i prowadzeniu dzienników, takie wprowadzanie poprawek jest dość kłopotliwe i często wymaga stosowania specjalnych programów komputerowych;
- z czasem klasyczne instrumenty kątomiercze typu Theo 020A/B, zastąpiono instrumentami nowszej generacji, a mianowicie teodolitami elektronicznymi np.: T1010 firmy Leica, które posiadając wbudowane REC-moduły pozwalały na płynną rejestrację wielkości nie tylko kątowych, ale również liniowych (pozyskanych ze sprzężonego z teodolitem dalmierza laserowego Disto);
- „chwile” później na rynek geodezyjny trafiły zintegrowane instrumenty najnowszej generacji typu „total station”, pozwalające na realizację pomiaru wyrobisk górniczych, w tym wielkokubaturowych komór poeksploatacyjnych. Zastosowanie nowej technologii, pozwoliło skrócić czas pomiaru dzięki zastosowanym REC-modułom, a także obniżyło czas prac związanych z obróbką pozyskanych z terenu - danych. Przykładem takich właśnie, najnowszych rozwiązań w dziedzinie technologii instrumentalnych, których głównym zadaniem jest usprawnienie pracy mierniczych górniczych i umożliwienie precyzyjnych pomiarów wyrobisk komorowych, jest tachimetr elektroniczny **TC(R) serii 300 – szwajcarskiej firmy Leica** (rys. 3.1.b). Instrument ten, posiadający wbudowany w lunetkę laserowy dalmierz, działający zarówno w trybie światła widzialnego jak również podczerwieni, pozwala w praktyce na pomiar odległości do dowolnych punktów, sygnalizowanych przy pomocy tarcz lub pryzmatów, ale także na pomiar bez udziału reflektorów. Duża pojemność danych REC-modułu, możliwość pomiaru długich celowych (do kilkudziesięciu metrów) bez lustra przy obecności widzialnej plamki laserowej i co równie ważne wysoka dokładność pomiaru elementów kąto-liniowych, sprawia, że instrument ten doskonale nadaje się do prac rea-

lizacyjnych i inwentaryzacyjnych podziemnych obiektów wielkokubaturowych, jakimi są komory poeksploatacyjne.

Z uwagi na to, że omówione sposoby klasycznego pomiaru pustek podziemnych wykorzystują w obu przypadkach metodę wcięć przestrzennych dla kontroli i przyspieszenia pomiaru zaleca się stosować równocześnie dwa instrumenty o zbliżonych parametrach dokładnościowych.

Innym przyrządem klasy „total station”, który może z powodzeniem być adaptowany do celów geodezji górniczej jest **japoński Nikon NPL-820** (rys. 3.1c), którego parametry zostały zestawione w tabeli 3.1. Co prawda model ten jest skonstruowany z myślą o realizacji zagadnień geodezji powierzchniowej, jednak jego główną zaletą jest możliwość pomiaru odległości bez lustra (przy braku widzialnej plamki laserowej), co czyni go równie przydatnym do pomiarów pod ziemią jak model TCR firmy Leica. Wymaga on jednak mocniejszego oświetlenia komory. Najlepiej jest stosować tachimetr NPL-820 w połączeniu z tachimetrem TC(R), jeżeli zależy nam na dużej dokładności i kontroli pomiarów.

Dzięki takiemu zestawowi instrumentalnemu tj.: tachimetrom **TC(R) 303 Leica** i **Nikon NPL-820**, możliwe było wykonanie precyzyjnych pomiarów metodą punktów rozproszonych z zastosowaniem wcięć przestrzennych (kątowo – liniowych) - kształtu komory „Erazma Barączka” w kopalni soli „Wieliczka”.



Rys. 3.1 Instrumenty geodezyjne stosowane do pomiaru podziemnych wyrobisk górniczych:  
a – zestaw: teodolit Theo 020A, dalmierz laserowy Disto, łącznik „Czerski”; b – tachimetr elektroniczny TC(R) 303 Leica; c – tachimetr elektroniczny Nikon NPL-820

Fig. 3.1 Surveying instruments used in the measurement of underground workings  
a – set: theodolite Theo 020A, laser distance-meter Disto, Czerski adapter; b – electronic tacheometer TC(R) 303 Leica; c – electronic tacheometer Nikon NPL-820

Tabela 3.1  
Zestawienie parametrów omawianych instrumentów geodezyjnych stosowanych do pomiarów  
pustek podpowierzchniowych

Table 3.1  
Parallel parameters of surveying instruments used for the measurements of underground cavities

Parametry	Dalmierz DISTO	Tachimetr elektroniczny	
		TC(R) 30x Leica	NPL-820 Nikon
Zasięg dalmierza: Pomiar na przyzmat (podczerwień): Pomiar bez reflektora (na widoczny czerwony punkt):	-  0.2 – 30m	3000 m (GPR1 Leica)  80 m	5000 m (duży przyzmat) 4000 m (mini-pryzmat) 100 m
Dokładność pomiaru odległości (odchylenie standardowe):	± 3mm	2mm ± 2ppm (podczerwień) 3mm ± 2ppm (bez reflektora)	3mm ± 3ppm (precyzyjny) 5mm ± 3ppm (normalny) 10mm ± 3ppm („szybki”)
Dokładność pomiaru kąta (odchylenie standardowe):	-	10 <sup>cc</sup> (TCR303) 15 <sup>cc</sup> (TCR305) 20 <sup>cc</sup> (TCR307)	10 <sup>cc</sup>
Najkrótsza celowa	-	1,7 m	2,0 m
Rejestracja danych	-	8000 bloków danych	10000 bloków danych

#### 4. Pomiar i wizualizacja komory „Erazma Barącza”

Ze względu na skomplikowany kształt komory, częściowo zalanej solanką, zdecydowano się na założenie ciągu poligonowego zamkniętego, w którym pomierzono kąty, długości boków i wykonano niwelację geometryczną. Na podstawie wyników pomiarów obliczono wyrównane współrzędne x, y, oraz z punktów poligonowych. Z każdego punktu poligonowego metodą wcięcia przestrzennego określano wielkości do punktów znajdujących się w stropie i na ociosach komory. Punkty sygnalizowane były plamką lasera znajdującego się w tachimetrze TC(R), a dane pomiarowe rejestrowane w pamięci wewnętrznej tachimetru. Równocześnie z pomiarem wykonywane były szkice pomiarowe. Głębokość sztucznego jeziora mierzono z łódki akustyczną sondą ultradźwiękowa Ultra II firmy Eagle [3]. Położenie sondy za każdym razem wyznaczano wcięciem przestrzennym. Specyfika tego właśnie obiektu podziemnego, w którym stykają się dwa ośrodki: powietrzny i ciekły (reprezentowany przez środowisko agresywnej solanki), wymusiła na mierniczych zastosowanie kombinowanych metod pomiaru (klasycznego geodezyjnego w powiązaniu z pomiarem akustycznym).

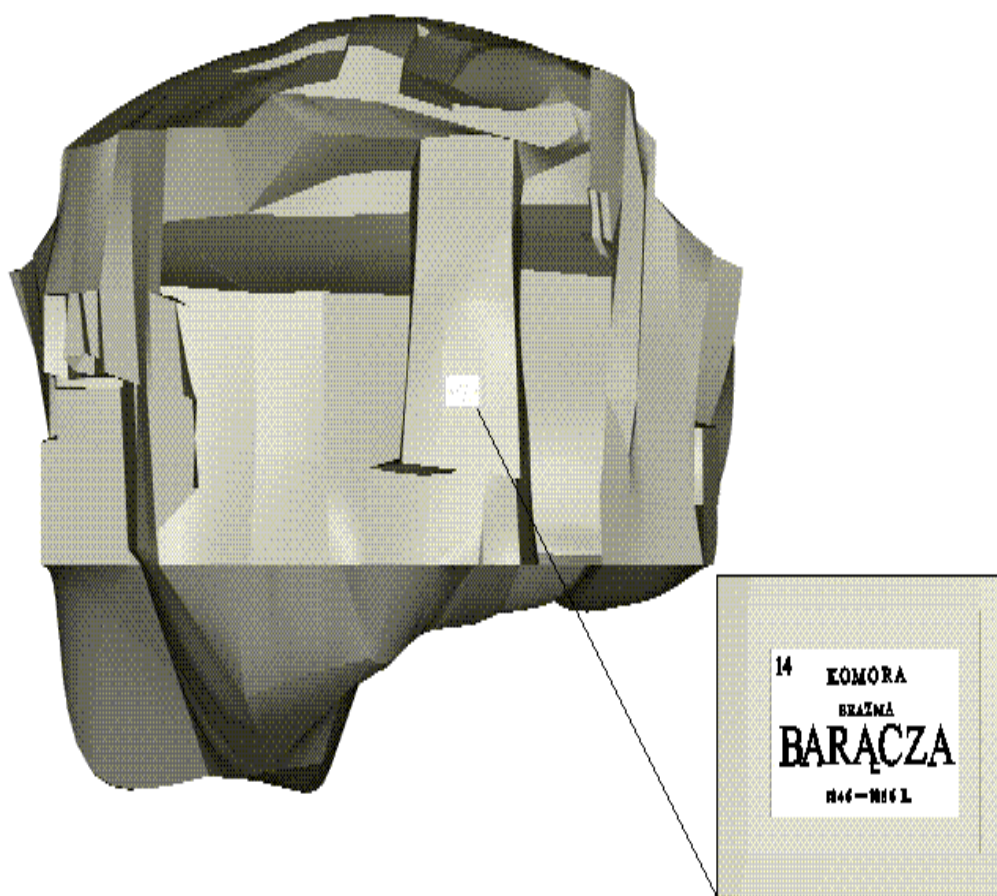
To skomplikowane wyrobisko zostało pomierzone przez trzyosobowy zespół w czasie 8 godzin.

W wyniku pomiaru można było obliczyć współrzędne: x, y i z zaobserwowanych 383 pikiet, które następnie posłużyły do wykreślenia komory.

Dzięki rozwiniętym programom komputerowym możliwa jest obecnie trójwymiarowa wizualizacja obiektów, pomimo ich często bardzo skomplikowanych form. Do kartowania komory użyto programu AutoCAD w wersji 14.

Należy zaznaczyć, że program daje możliwość oglądania i drukowania komory skróconej pod dowolnym kątem w pionie i poziomie, w całości lub bez dowolnej ściany z uwydatnieniem wybranych detali, co zostało zilustrowane na rysunku 4.1. Usunięcie renderingu, pozwala uzyskać widok szkieletu (rys. 4.2), który jest pełnym obrazem stopnia zagęszczenia szczegółów

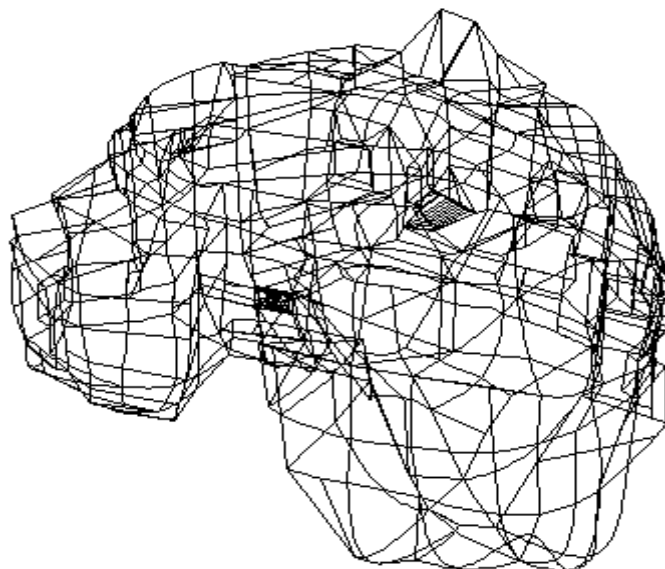
w obrębie wizualizowanego obiektu. Takie właśnie plastyczne obrazowanie obiektów jest ogromnie pomocne przy projektowaniu przebudowy komory lub projektowaniu zabezpieczenia. Tworzenie tak skomplikowanych brył w oparciu o wyniki obserwacji, pozwoliło także na wygenerowanie przekrojów poziomych (przedstawionych na rys. 4.3). Dzięki niewielkiemu interwałowi cięć płaszczyznami poziomymi tj.: co 1 m, możliwe było uwydatnienie charakterystycznych załamania stropu i ociosów, jak też stosunkowo dokładne określenie objętości komory.



Rys. 4.1 Widok komory Erazma Barącza w KS „Wieliczka”, sporządzony przy wykorzystaniu programu AutoCAD wersja 14

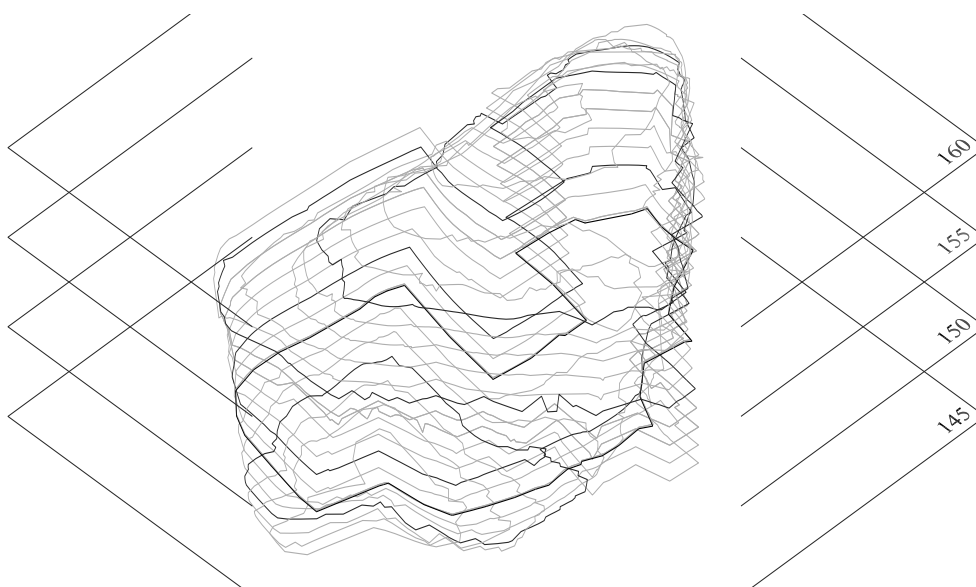
Fig. 4.1 The view of Erazm Barącz chamber in Salt Mine „Wieliczka” made with the use of AutoCAD version 14





Rys. 4.2 Szkielet komory Erazma Barącza w KS „Wieliczka”, sporządzony przy wykorzystaniu programu AutoCAD wersja 14

Fig. 4.2 The skeleton of Erazm Barącz chamber in Salt Mine „Wieliczka” made with the use of AutoCAD version 14



Rys. 4.3 Przekroje poziome przez komorę Erazma Barącza w KS „Wieliczka” wykonane programem AutoCAD wersja 14 (wykorzystane do obliczenia objętości)

Fig. 4.3 The horizontal sections through Erazm Barącz chamber in Salt Mine „Wieliczka” made with the use of AutoCAD version 14. (used to calculate cubature)

## 5. Obliczenie objętości komory

Skomplikowany kształt komory nie pozwolił na opisanie jej wzorem matematycznym, czy też podzielenie jej na kilka brył, których objętość w łatwy sposób można obliczyć. Program AutoCAD umożliwia tworzenie przekroi przez bryłę na różnych wysokościach oraz obliczenie pola powierzchni i-tego przekroju. Zatem, objętość komory wyliczono ze wzoru:

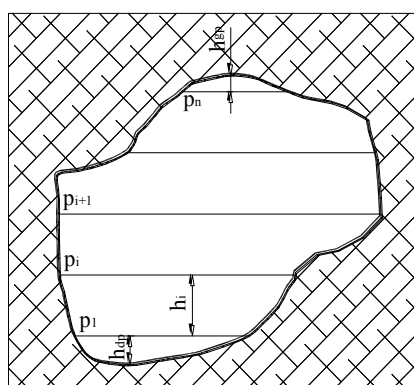
$$V = \sum_{i=1}^n \frac{p_i + p_{i+1}}{2} \cdot h_i + \frac{p_1}{3} \cdot h_{dp} + \frac{p_n}{3} \cdot h_{gp} \quad (5.1)$$

gdzie:

$V$  - objętość w [m<sup>3</sup>];

$p_i, p_{i+1}, p_1, p_n$  - pola powierzchni i-tego przekroju;

$h_i, h_{dp}, h_{gp}$  - odległości pomiędzy poszczególnymi przekrojami jak na rysunku 5.1:



Rys. 5.1. Schemat obliczenia objętości komory  
Fig. 5.1. The scheme of chamber cubature calculation

Zgodnie z obowiązującą w geodezji zasadą kontroli obliczeń, wartość objętości liczonej na podstawie pomiarów z lutego 2001 roku (metoda wcięć przestrzennych) - porównano z wynikami obliczeń (pomiar wykonano metodą fotogrametryczną) sporządzonych w 1983 roku przez Krakowskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne [5]. Porównanie zawarto w tabeli 5.1.

Tabela 5.1  
Porównanie objętości komory liczonej z danych pomiarów: fotogrametrycznego i klasycznego  
Table 5.1  
Comparison of the cubature of chamber calculation with date measurement: photogrammetric and classical methods

Objętość	Objętość w [m <sup>3</sup> ] (KPG 1983r) Metoda fotogrametryczna	Objętość w [m <sup>3</sup> ] (AGH 2001r) Metoda klasyczna	Różnice w [m <sup>3</sup> ]
Zbiornik solankowy	1055,0	1047,8	7,2
Pustka poeksploacyjna	5158,7	5446,0	287,3
Suma objętości	6213,7	6493,8	280,1

W odniesieniu do kopalni „Wieliczka” przyjęto, że między dwukrotnym niezależnym obliczeniem objętości różnica nie może przekraczać 10% objętości uśrednionej [3].

Oprócz obliczeń pól powierzchni przekrojów i objętości pustek poeksploatacyjnych, uzyskany w trakcie pomiaru i opracowania – materiał, może być gromadzony w bazie danych i wykorzystany do stworzenia przestrzennej mapy numerycznej kopalni zgodnie z załączonym schematem (rys. 5.2)

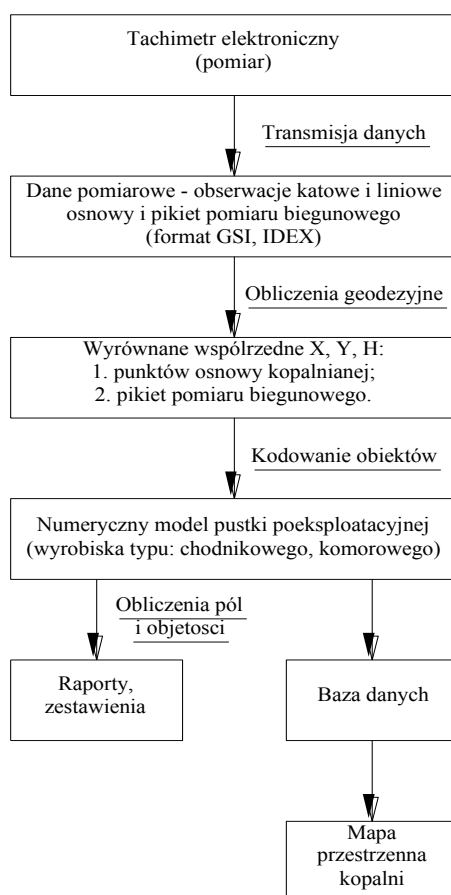


Tabela 5.2 Schemat procesu pozyskiwania i wizualizacji danych  
Table 5.2 Scheme of the process of obtaining and visualising data

## 6. Podsumowanie

Wprowadzenie w ciąg ostatnich lat nowych technologii pomiarowych i kartograficznych, umożliwia wprowadzenie nowych sposobów pomiaru i wizualizacji podziemnych pustek (kolor, jaskiń, pieczar, tuneli itp.). Metoda wcięć przestrzennych nie wymaga oświetlenia całej pustki, lecz tylko punktów charakterystycznych. Jest łatwa i szybka w związku z automatycznym rejestrowaniem danych pomiarowych w pamięci wewnętrznej tachimetru. Dlatego, dla dokładniejszego opisu skomplikowanych komór, można stosować dużą ilość pikiet, gdyż nie wydłuża to znacznie czasu pomiaru. Laser o maksymalnej mocy 0,95 mW stosowany w nowoczesnych tachimetrah daje możliwość pomiaru komór trudnodostępnych i wysokich.

Programy komputerowe jak np.: AutoCAD umożliwiają wykonanie przestrzennej wizualizacji komory, wykreślenie przekroji pionowych, poziomych i pod dowolnym kątem (w dowolnym interwale) oraz obliczenie pola powierzchni każdego przekroju. Jest to wystarczające do obliczenia objętości komory z dużą dokładnością.

Do pomiaru morfologii spągu zalanej komory, czy określenia głębokości sztucznego jeziora solankowego posłużyć się można akustyczną sondą ultradźwiękową, choćby amerykańską Ultra II Eagle, wykorzystaną w praktyce do pomiaru głębokości części solankowej komory „Erazma Barącz” w Kopalni Soli w Wieliczce.

### **Literatura**

- [1] Banach P., Jurasz J. 1999: Zastosowanie dalmierza DISTO do pomiarów sytuacyjnych wyrobisk i urządzeń górniczych. Praca magisterska pod kierunkiem dr inż. Mieczysława Józwicka. AGH Kraków.
- [2] Bąk R., Świdnicki D. 1997: Pomiary komór górniczych z zastosowaniem dalmierza laserowego - Disto”. Praca magisterska pod kierunkiem dr inż. Mieczysława Józwicka. AGH Kraków.
- [3] Borowiec W., Mikołajczak J. 1977: Wybór optymalnej metodyki pomiaru do określenia objętości komór poeksploatacyjnych w Kopalni Soli w Wieliczce. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej – Zeszyt nr 18. Wrocław .
- [4] Gawałkiewicz R., Maciaszek J. 1999: Profilowanie zbiorników za pomocą sondy akustycznej Ultra II”. Prace naukowe Głównego Instytutu Górnictwa. Seria: Konferencje - Zeszyt nr 30. Katowice.
- [5] Inwentaryzacja fotogrametryczna komór w Kopalni Soli Wieliczka. Opracowanie Krakowskiego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego. Praca niepublikowana w Dziale Mierniczym Kopalni Soli „Wieliczka”. Kraków 1983r.
- [6] Kowalczyk Z. 1965: Miernictwo górnicze część 2. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice.

### **The assessment of the applicability of geodesic technologies to the measurement and visualisation of underground mining cavities**

In the paper it was shown that modern laser tacheometers and AutoCAD program make a perfect tool for the inventory and visualisation of underground mining cavities. Comparison of the cubatures of a chamber „Erazm Barącz” from the Salt Mine „Wieliczka” calculated based on the results of the measurements with two methods: photogrammetric and classical one – using modern tacheometers – confirms high accuracy of a classical method. The easiness and quickness of handling electronic tacheometers allows believing that they will soon be applied in mine geodesy.

*Przekazano: 2 marca 2001*