

## OD MODELU DO NUMERYCZNEJ MAPY PRZESTRZENNEJ

From model to 3D numeric map

Jadwiga MACIASZEK, Rafał GAWAŁKIEWICZ  
& Izabela GAWAŁKIEWICZ

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,  
Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej;  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;  
e-mail: maciasze@agh.edu.pl*

**Treść:** Rozwój górniczej kartografii cyfrowej polega między innymi na: automatyzacji sporządzania map w oparciu o informacje zawarte w bazach danych, dążeniu do przejrzystości i czytelności ich treści, szerszym wprowadzeniu przestrzennych modeli dużych fragmentów kopalni, zastosowaniu nowych technik pomiarowych (m.in. skanowania laserowego) w pozyskiwaniu danych do tworzenia tych map. Autorzy przedstawiają rodzaje modeli przestrzennych, omawiają zniekształcenia wynikające z zastosowanego rzutu, podają przykłady modelowania obiektów związanych z górnictwem solnym.

**Słowa kluczowe:** modele przestrzenne, mapa przestrzenna, modelowanie 3D

**Abstract:** The development of mining digital cartography includes automation of making maps based on the information contained in databases, clear layout and legibility of their content, wider introduction of 3D models of large fragments of mines, application of new measurement techniques (e.g. laser scanning) in obtaining data for these maps. The authors present types of 3D models, discuss the deformations resulting from the application of the projection and give the examples of the modelling of objects connected with salt mining.

**Key words:** 3D models, 3D map, 3D modelling

### WPROWADZENIE

Przedstawienie powierzchni terenu względnie nieskomplikowanego obiektu osiąga się przez sporządzenie mapy lub planu metodą rzutowania na płaszczyznę odniesienia (ewentualnie powierzchnię, którą następnie odwzorowuje się na płaszczyznę mapy). W przypadku obiektów złożonych zachodzi jednak potrzeba przedstawienia ich w rysunku przestrzennym. Niekiedy – np. w celu pokazania struktury złoża, struktury kopalni – jest to niezbędne

dla wykonywania zadań, związanych z wykorzystaniem takiego obiektu (wykonanie planu zagospodarowania złoża i prowadzenie jego eksploatacji, sporządzanie schematu wentylacji kopalni itp.). Rysunek taki, uzupełniony o odpowiednie atrybuty umożliwiające jego opis, stanowi model danego obiektu.

Rysunki przestrzenne różnych obiektów, między innymi fragmentu kopalni, pojedynczego wyrobiska, przekroju geologicznego, blokdiagramu, powierzchni terenu itp. umożliwiają szybką wizualną analizę kształtu danego obiektu i jego rozmieszczenia w przestrzeni, a także łatwiejsze wykonanie wielu projektów. Powinny one charakteryzować się wysoką jakością plastyczną, na którą składają się takie cechy rysunków przestrzennych, jak: przestrzenność (plastyczność) i przejrzystość (jasność).

Cechy te zależą od:

- rodzaju zastosowanego rzutu,
- doboru parametrów w ramach przyjętego rzutowania,
- właściwości geometrycznych obiektu przedstawionego na rysunku (stopień złożoności geometrycznej obiektu).

Jeżeli rysunek przestrzenny sporządzony jest w odpowiednim układzie współrzędnych, w odpowiedniej skali oraz z zachowaniem znaków umownych charakterystycznych dla map, można nazwać go mapą przestrzenną.

Rozwój techniczno-informatyczny w drugiej połowie XX wieku spowodował zasadniczą zmianę w sposobie pozyskiwania danych do sporządzania map przestrzennych, ich analizowania oraz wizualizacji. Sporządzenie mapy przestrzennej w programie komputerowym oraz powiązanie jej z opisami i dodatkowymi informacjami pozwala na stworzenie numerycznej (cyfrowej) mapy przestrzennej. Procesem tworzenia tych map oraz przetwarzaniem znajdujących się na nich informacji zajmuje się kartografia cyfrowa.

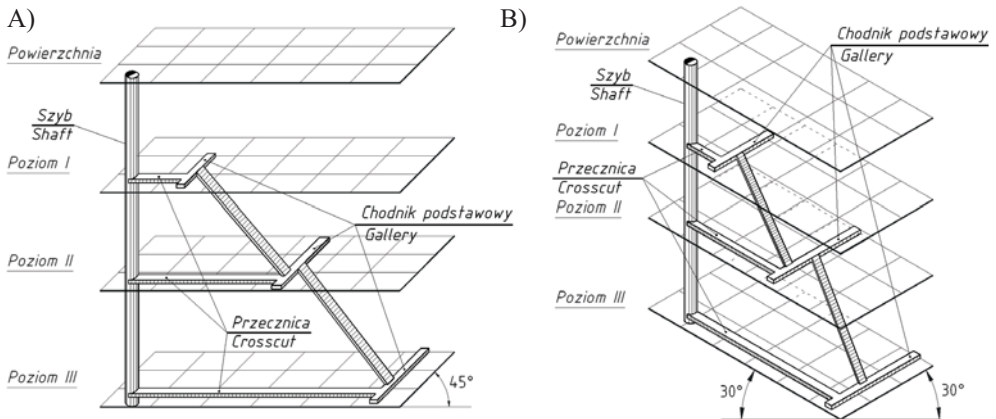
Kartografii cyfrowej towarzyszy automatyzacja pozyskiwania danych wyjściowych do tworzenia map, w tym map przestrzennych. Należy zauważyć, że pozyskanie materiałów wyjściowych za pomocą nowych metod pomiarowych (np. skanowania laserowego) stwarza nowe możliwości dokładnościowe, obliczeniowe i interpretacyjne w zakresie monitoringu obiektów, co przedstawiono w pracy Gawalkiewicza & Maciaszek (2001). Wykorzystanie map analogowych do stworzenia mapy przestrzennej powoduje przenoszenie wszystkich błędów i niedokładności na nową mapę.

## ZASADY DOBORU OPTYMALNYCH PARAMETRÓW RZUTU

W praktyce dobór odpowiedniego rodzaju rzutu odbywa się na podstawie intuicyjnego „wycucia estetycznego” lub też jest uzależniony od posiadanego oprogramowania. Najczęściej stosowanymi rzutami proponowanymi przez firmę Autodesk w programie AutoCAD lub firmę Bentley w programie Microstation (są to najbardziej rozpowszechnione programy zarówno na wyższych uczelniach, jak i w kopalniach i przedsiębiorstwach geodezyjnych) jest aksonometria z jej odmianami (izometria, dimetria ukośna lub prostokątna, trimetria) oraz rzut środkowy (zwany też perspektywą środkową). Nie bez znaczenia w wyborze tych programów jest fakt ciągłego doskonalenia wersji oprogramowania przez producentów

lub też tworzenia polskich aplikacji na platformie tych programów, np. polski program GEO-LISP opracowany przez M. Poniewię.

Aksonometria znajduje szerokie zastosowanie praktyczne w geodezji, górnictwie i geologii do sporządzania górniczych map przestrzennych, blokdiagramów i różnorodnych map tematycznych. Przykład zastosowań aksonometrii w geodezji przedstawia figura 1 wykonana w programie AutoCAD.



**Fig. 1.** Fragment mapy przestrzennej wyrobisk górniczych w aksonometrii: A) dimetrycznej; B) izometrycznej (Rajnich *et al.* 1986)

**Fig. 1.** A fragment of the 3D map of mining old workings in axonometry: A) diametric; B) izometric (Rajnich *et al.* 1986)

Jak podano wcześniej, aksonometria służy do wykonywania rysunków i map poglądowych, oddających w sposób plastyczny rysowany obiekt, ale równocześnie zniekształca ten obiekt. Zniekształceniu podlegają zarówno kąty, jak i długości, a wartość tych zniekształceń można obliczyć dla poszczególnych rodzajów aksonometrii ze wzorów lub odczytać z wykresów.

W izometrii stosuje się następujące wzory (Rajnich *et al.* 1986):

- dla zniekształceń kątowych:

$$\operatorname{tg} \beta = 0.577 \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

- dla zniekształceń długościowych:

$$d = 0.577 \cdot s \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

gdzie:

- $\alpha, s$  – wielkości rzeczywiste,
- $\beta, d$  – zniekształcone wielkości  $\alpha, s$ .

Wzory na zniekształcenia w przypadku dimetrii i rzutu środkowego można znaleźć w podręcznikach z geometrii wykreślnej.

## KONSTRUKCJA MODELI PRZESTRZENNYCH

### Rodzaje modeli

W zależności od zastosowanych algorytmów graficzno-obliczeniowych sposób prezentacji modeli przestrzennych może się znacząco różnić. Dotyczy to także sposobu pozyskiwania dodatkowych informacji o obiekcie z zakresu parametrów geometrycznych, takich jak: powierzchnia obiektu w rzucie na dowolną płaszczyznę, kształt i pole dowolnego przekroju przez model czy objętość niezbędna przy kosztorysowaniu prac likwidacyjnych wyrobisk oraz ich monitoring itp.

W związku z możliwościami uzyskania dodatkowych informacji o obiekcie modele przestrzenne dzielimy następująco:

- **Model krawędziowy (szkieletowy)**. Za jego pomocą buduje się szkielety brył w wyraźnie określonych krawędziach (stosowany m.in. w fotogrametrii cyfrowej do tworzenia modeli wektorowych w przestrzeni 3D). Model ten umożliwia ukazanie powłoki obiektu wraz z elementami rozmieszczonymi w jego wnętrzu.
- **Model powierzchniowy (powłokowy)**. Kształt jest w nim odwzorowany w postaci przylegających do siebie płaszczyzn (siatki trójkątów) lub powierzchni siatkowych budujących geometrię obiektu. W przypadku modeli powłokowych, najczęściej stosowanych w wizualizacji przestrzennej, możliwe jest ukazanie obiektu w plastyczny sposób (z wykorzystaniem renderingu) wraz z dostępem do elementów stanowiących istotne informacje dla określonego opracowania (np. elementy wyposażenia wnętrza obiektu, systemy zabezpieczeń itp.). Szereg programów graficznych pozwala generować dowolne zarysy przekrojów oraz wyznaczać kubaturę przestrzeni zamkniętą wewnątrz powierzchni, traktując ją jako zlepek przylegających do siebie wirtualnych prostopadłościów i graniastosłupów „pustych” w środku.
- **Model bryłowy**. Jest złożony z typowych brył prostych, tj. prostopadłościów lub graniastosłupów, które stanowią modele „pełne”, przypominające klocki o określonej wielkości i masie. Konstruowanie modelu przestrzennego przypomina budowanie określonego obiektu z klocków, które posiadają parametry fizyczno-geometryczne, takie jak: środek ciężkości, masa, moment bezwładności, pole powierzchni jego ścian oraz objętość. W odróżnieniu od modeli powłokowych, modele bryłowe nie wymagają stosowania dodatkowego oprogramowania związanego z analizą kształtu na etapie generowania dowolnych przekrojów przez bryłę, co realizowane jest w środowisku CAD za pomocą podstawowych funkcji edycyjnych brył. W przypadku modeli bryłowych możliwe jest cieniowanie, powlekanie teksturami ściany pojedynczych brył, ukrywanie krawędzi zlokalizowanych w głębi obiektu (przysłoniętych elementami pierwszego planu), czy też dokonywanie modyfikacji ich kształtu na zasadzie odejmowania bądź dodawania różnych, przenikających się lub przystających modeli jednostkowych.

W praktyce spotyka się także modele mieszane przedstawione w dalszej części artykułu.

W zależności od sposobu pomiaru, a tym samym stopnia zagęszczenia danych wyjściowych oraz potrzeby ekspozycji wybranych elementów obiektu stosuje się różne metody opracowań dla modeli powierzchniowych i bryłowych:

- **Metoda nieregularnej siatki triangulacyjnej** „rozpinanej” na punktach bezpośrednio pomierzonych (o danych współrzędnych  $XYH$ ) z nieciągłościami (np. skarpami) zaznaczonymi **na prowadzonym w trakcie pomiaru szkicu połowym**. Powstały model może stanowić podstawę dalszej obróbki, czyli przekształcenia na model „wygładzony” (np. w programie InRoads firmy Bentley), ale nie pozbawiony zarysów elementów szczególnych (np. krawędzi skarp, urwisk itp.) (Fig. 2).
- **Metoda nieregularnej siatki triangulacyjnej** „rozpinanej” na dowolnie rozmieszczono-

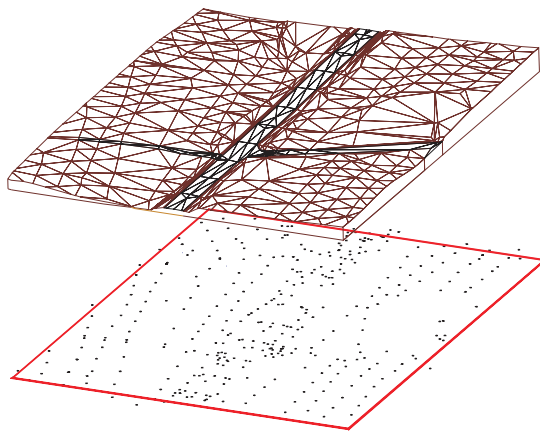
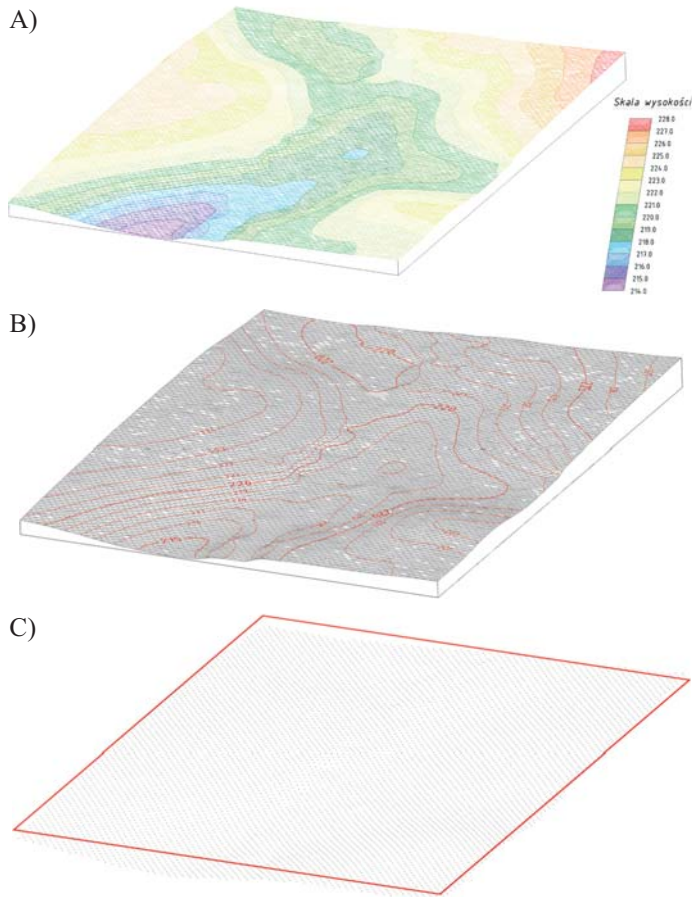


Fig. 2. Model terenu (na podstawie pomierzonej, nieregularnej siatki triangulacyjnej)

Fig. 2. Model of the area (based on measured irregular triangulation network)

nych punktach w przestrzeni o określonych współrzędnych  $XYH$ , otrzymanych z pomiaru przy zachowaniu zasady m.in. **łączenia punktów sobie najbliższych**. W powstałym modelu nie zawsze układ budowanych płaszczyzn odpowiada rzeczywistości kształtowi obiektu. Ten sposób obróbki danych preferowany jest przez większość programów autorskich do obróbki danych skaningowych, np. 3D Real Works firmy Trimble, Cyclone firmy Leica, Rhinoceros firmy Robert McNeel & Associates.

- **Metoda regularnej siatki GRID** tworzonej przy wykorzystaniu określonego matematycznego algorytmu obliczeniowego. Opracowania sporządzane z wykorzystaniem tej metody, stosowane są powszechnie między innymi do tworzenia modelu terenu (DMT – *Digital Terrain Model*) przy użyciu programów CAD i Surfera, monitoringu powierzchni terenów górniczych, deformacji powierzchni wielkokubaturowych obiektów inżynierskich lub deformacji strukturalnych wyrobisk górniczych (Fig. 3). W modelu tym lokalne nieciągłości w formie skarp i rowów ulegają „rozmyciu” na etapie interpolacji, zwłaszcza jeżeli siatka interpolacyjna jest większa niż odległości między sąsiednimi punktami pomierzonymi na powierzchni analizowanego obiektu (Fig. 3).
- **Metoda warstwicowa (izolinii)** (Fig. 3B).



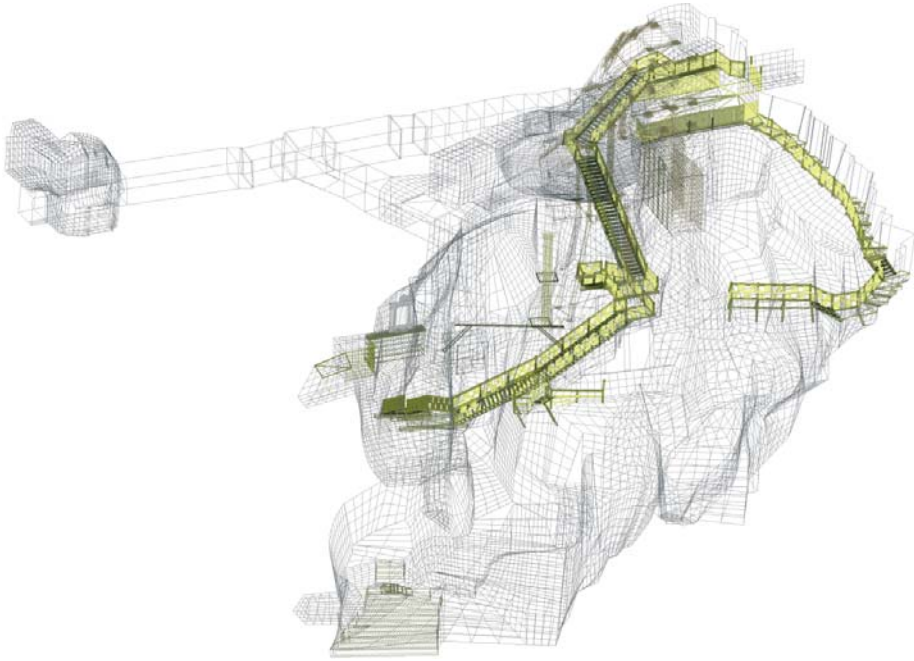
**Fig. 3.** Model powierzchni terenu sporządzany na podstawie regularnej siatki triangulacyjnej rozpinanej na siatkach GRID: A) rozkład punktów regularnej siatki GRID; B) mapa warstwicowa; C) model hipsometryczny

**Fig. 3.** The terrain surface model based on regular triangulation networks written on GRID: A) the distribution of points in the regular GRID; B) the isoline map; C) hipsometric model

Niezależnie od metody przygotowania i obróbki danych tworzone modele przestrzenne mogą przybierać różne graficzne formy prezentacji. Przykładem takim są:

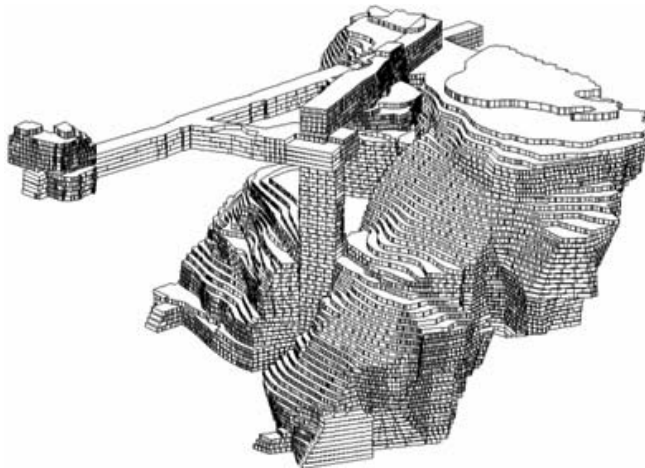
- model **powłokowy** złożony z nieregularnych powierzchni krawędziowych Coonsa (interpolowanych) (Fig. 4);
- model **„plastrowy”** (bryłowy) przedstawiający obiekt w formie warstw przestrzennych, często stosowany w wizualizacji kopalń odkrywkowych i rzeźby terenu, ale również nadający ciekawą formę plastyczną wyrobiskom podziemnym (Fig. 5);
- model **bryłowy** tworzony na zasadzie wypełnienia pustki łatwo definiowalnymi prostopadłościanami (3D Real Works) lub graniastosłupami (AutoCAD) (Fig. 6); stosowany jest do wizualizacji powierzchni terenu lub prostych geometrycznie wyrobisk podziemnych.





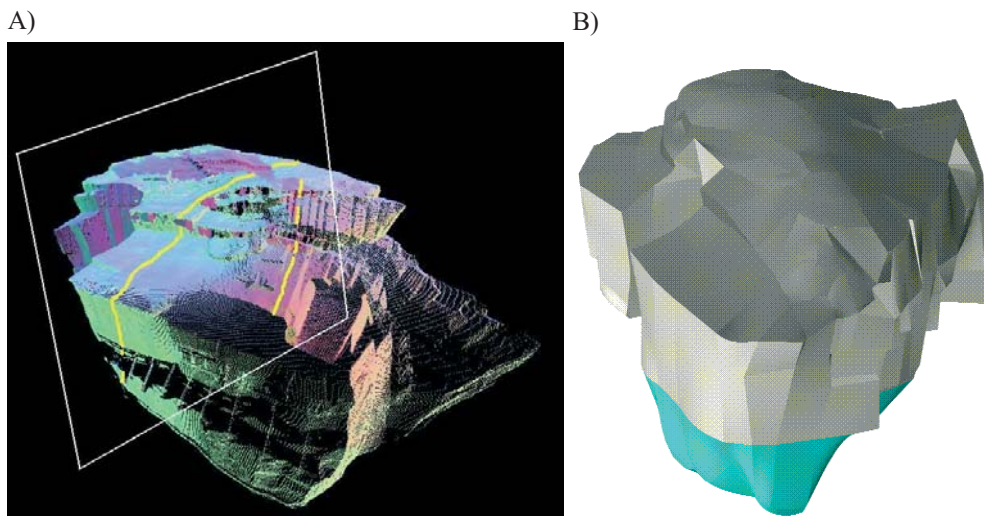
**Fig. 4.** Tworzenie modelu powierzchniowego zespołu komór M. Saurau w K.S. „Wieliczka” za pomocą siatek triangulacyjnych i powierzchni Coonsa

**Fig. 4.** Making the model of the set of M. Saurau chambers of the “Wieliczka” Salt Mine with triangulation networks and Coons surfaces



**Fig. 5.** „Plastrowy” model zespołu komór M. Saurau w K.S. „Wieliczka”: warstwy poziome

**Fig. 5.** The “slice” model of the set of M. Saurau chambers in the “Wieliczka” Salt Mine: horizontal layers



**Fig. 6.** Model bryłowy komory E. Baracza w K.S. „Wieliczka”: A) dane punktowe w formie „chmury punktów”; B) model 3D

**Fig. 6.** The solid geometry model of the E. Baracz chamber in the “Wieliczka” Salt Mine: A) point data as the “cloud of points”; B) 3D model

Przydatność określonego programu graficzno-obliczeniowego uzależniona jest w głównej mierze od zastosowanych algorytmów matematycznych. Nie wszystkie programy akceptują określone przestrzenne układy punktów. I tak dla przykładu InRoads i Surfer generując powierzchnie obiektu na podstawie zbioru punktów, już na etapie filtracji danych odrzucają punkty o tych samych współrzędnych płaskich  $XY$ , lecz różnych wysokościach  $H$ . Dlatego też do tworzenia modeli przestrzennych (wzrostki podziemnych, jaskiń, grot), w których geometria obiektów wymusza powtarzalność danych, stosowanie algorytmów interpolacyjnych traci sens. Wówczas za pomocą odpowiednich programów graficznych buduje się modele w formie siatek triangulacyjnych lub powierzchniowych (np. Coonsa) „rozpinanych” bezpośrednio na punktach pomiarowych. W takich metodach opracowania każdy element „chmury punktów” stanowi źródło informacji o geometrii obiektu.

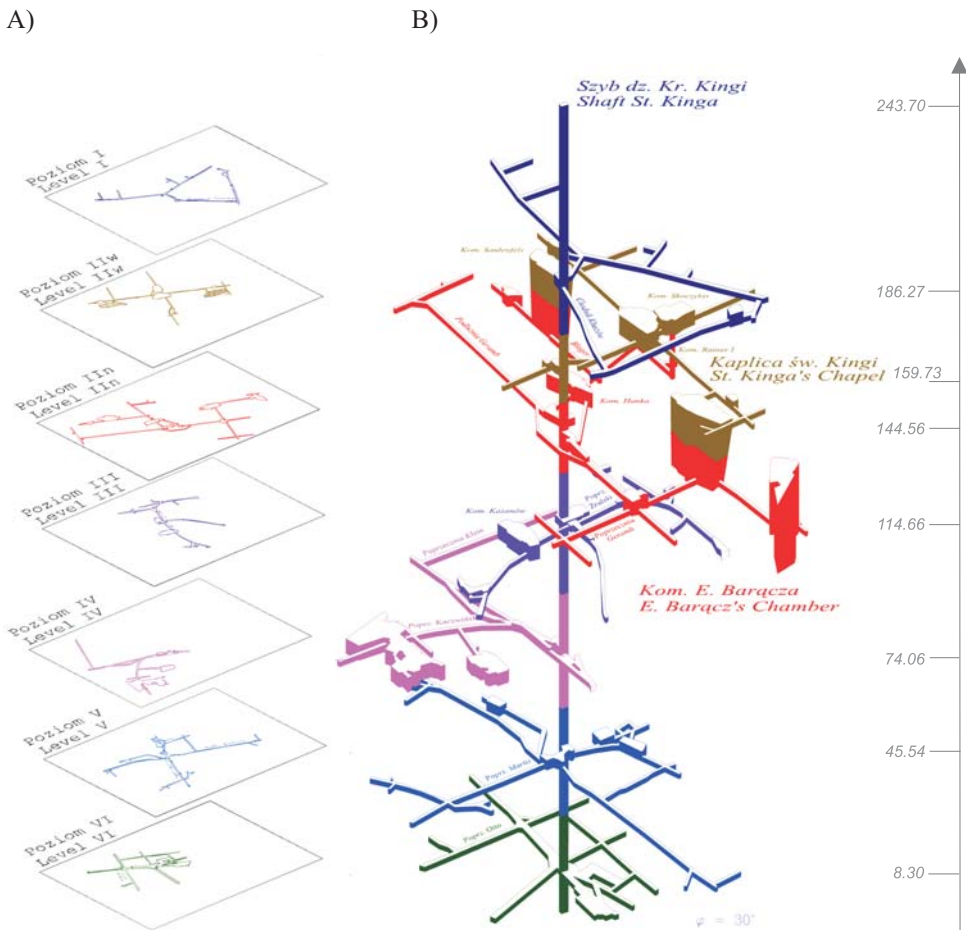
## ETAPY TWORZENIA MODELU TRÓJWYMIAROWEGO KOPALNI

Najczęściej etapy tworzenia modelu trójwymiarowego wyrobisk górniczych obejmują:

1. Pozyskanie danych:
  - a) na podstawie pomiaru (wykorzystując tachimetrię i skanery laserowe);
  - b) ze skanowania skalibrowanych (w programach CadRaster, I/RAS B, Kalibronek) map podstawowych (zapisanych w formacie „tiff”) i ich przekształcenia z obrazu rastrowego na wektorowy metodą digitalizacji (wektoryzacji).

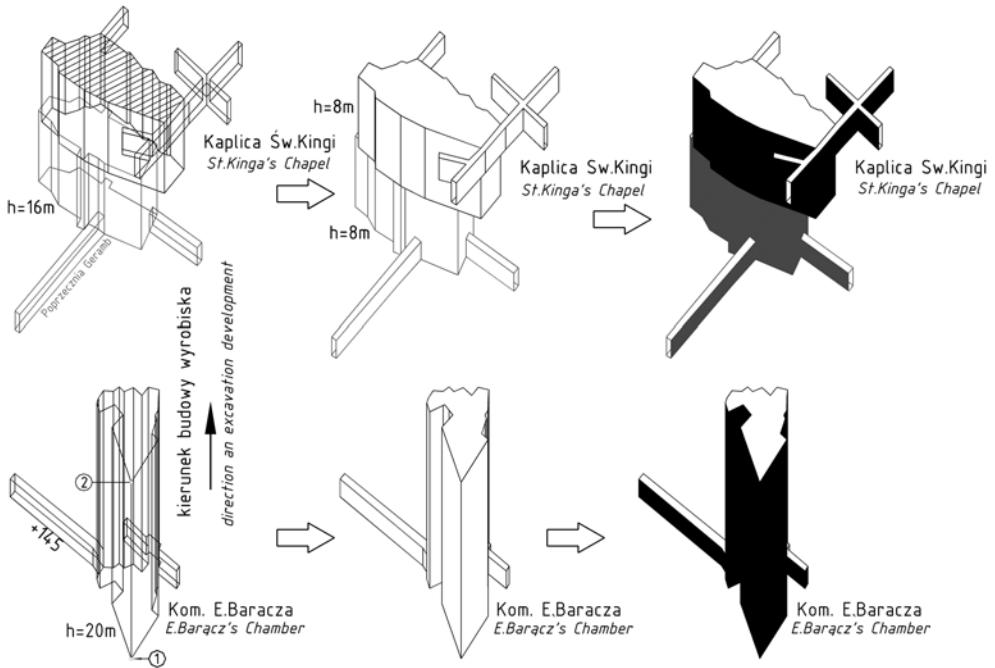


2. Przekształcenie obrazu 2D na postać 3D w dowolnych programach graficznych środowiska CAD (np. AutoCAD, Microstation), w wyniku którego uzyskuje się modele:
  - a) uproszczone (zgeneralizowana postać) – bazujące na rzucie spągu wyrobiska typu chodnikowego lub komorowego oraz znajomości jego średniej wysokości (Fig. 7, 8);
  - b) złożone – bazujące na olbrzymim zbiorze danych przestrzennych pochodzących z bezpośredniego pomiaru wyrobiska metodami geodezyjnymi i fotogrametrycznymi (Fig. 6B).



**Fig. 7.** Przykład wizualizacji fragmentu infrastruktury kopalnianej Kopalni Soli „Wieliczka” w programie AutoCAD sporządzonej w rzucie wektorowym: A) mapy 2D; B) model 2D

**Fig. 7.** Example of the visualization of a fragment of mine infrastructure of the “Wieliczka” Salt Mine in the AutoCAD made in the vector projection: A) 2D maps; B) 3D model



**Fig. 8.** Etapy tworzenia uproszczonych rysunków przestrzennych na przykładzie wybranych wyrobisk: Kaplicy św. Kingi i komory Erazma Barącz (punkty ① i ② definiują wysokość wyrobiska)

**Fig. 8.** Stages of constructing simplified 3D sketches based on the examples of selected workings: St. Kinga's Chapel and Erazm Barącz's Chamber (points ① and ② define the height of the working)

- Wykorzystanie techniki teksturowania elementów rysunku przestrzennego, polegającej na przedstawianiu poszczególnych powierzchni obiektu przestrzennego za pomocą obrazów bitmapowych (tekstur) lub funkcji matematycznych, tzw. tekstur proceduralnych. Etap ten związany jest z wizualizacją końcową obiektu, czyli przypisaniem poszczególnym pikselom (teselom) wartości funkcji na powierzchni modelu, np. określonej barwy zależnej od oświetlenia, w tym: barwy światła odbitego, rozproszonego, przezroczystości itp.
- Animacja modelu trójwymiarowego w czasie rzeczywistym.

## MAPA NUMERYCZNA

Przepisy *Prawa geologicznego i górniczego* wymuszają na przedsiębiorcy prowadzącym działalność górnictwem opracowanie i aktualizację map górnictwowych podstawowych, przeglądowych i specjalnych. Sposób graficznej prezentacji elementów infrastruktury kopalnianej, w tym: wyrobisk, urządzeń górnictwowych (transportowych, wentylacyjnych, wodnych itp.) regulują normy górnictwowe, określające kształt, kolor i sposób wstawiania znaków graficznych przedstawiających szczegóły sytuacyjne i wysokościowe na mapach. O ile po-

siadanie przez zakład górniczy płaskich map górniczych powierzchni i wyrobisk oraz ich okresowej aktualizacji jest obligatoryjne, o tyle prowadzenie równoległe mapy przestrzennej wynika ze specyfiki danego zakładu. Ustawa *Prawo geologiczne i górnicze* wskazuje na potrzebę tworzenia tego typu dokumentacji, z uwagi na dostęp w chwili obecnej do nowoczesnych technologii pomiarowych (dostarczających ogromnych ilości precyzyjnych danych punktowych), specjalistycznych narzędzi informatycznych (programów obliczeniowo-graficznych) oraz możliwości przechowywania tak dużych zbiorów w specjalnych bazach danych. Połączenie tych elementów umożliwia mierniczym prowadzenie numerycznej mapy przestrzennej w dowolnie przyjętym układzie odniesień przestrzennych.

Do tej pory mapy górnicze w polskich kopalniach sporządzano w lokalnych układach współrzędnych, których są dziesiątki (np. Sucha Góra, Borowa Góra, GOP I, GOP II, Gromnik, Wielicki, Bocheński itd.) oraz w układach państwowych (1942, 1965). Od 01.01.2010 r. obowiązującymi w Polsce układami współrzędnych są: układ „2000” dla map wielkoskalowych oraz układ „1992” dla map w mniejszych skalach. W związku z tym wszystkie mapy (płaskie i przestrzenne) winny być sporządzane w jednym z tych układów, zaś dane przechowywane w bazach przeliczone (przetransformowane) na układ obecnie obowiązujący. Jednak przejście z układów „starych” na „nowe” jest zadaniem trudnym do wykonania. Wynika to z trudności przerysowania zbiorów tych map w nowym kroju sekcyjnym i z nowymi współrzędnymi oraz z ilości treści zawartych na mapach górniczych. W związku z tym dopuszcza się nadal prowadzenie dokumentacji kartograficznej w układach sprzed 01.01.2010 r., pod warunkiem że na każdym arkuszu mapy wniesione zostaną siatki współrzędnych w nowym układzie.

Mapy podstawowe oraz tematyczne (w tym mapy przestrzenne) powinno się tworzyć na podstawie danych numerycznych zebranych w bazach danych. Stworzenie odpowiedniej, przyjaznej dla specjalistów wielu działów kopalni bazy danych zakładu górniczego jest zadaniem złożonym. W rzeczywistości stworzenie uniwersalnej bazy danych może decydować o tym, że mapa wyświetlana na ekranie monitora nie będzie tylko prostym obrazkiem sporządzonym na podstawie materiałów archiwalnych (z wektoryzacji) lub pomiarów bezpośrednich, ale przede wszystkim będzie stanowić elastyczne narzędzie pracy służące prowadzeniu skutecznych analiz i projektów. Na podstawie wcześniej omówionych sposobów tworzyć się będzie numeryczne mapy górnicze (dopuszczone przez normy górnicze).

W literaturze znaleźć można wiele propozycji **definicji mapy numerycznej**:

- Mapa numeryczna (komputerowa) to wielowarstwowa, tematyczna baza danych o charakterze geometrycznym oraz opisowym, zapisanych w postaci numerycznej, zawierająca możliwie pełną tekstowo-graficzną informację o wszelkich obiektach, występujących na powierzchni (dla map górniczych: o obiektach pod ziemią oraz o istotnych zjawiskach związanych z prowadzoną eksploatacją złoża). Powinna zawierać: wizualizację wybranego fragmentu, programy wspomagające pracę geodety, programy aktualizacji i edycji bazy danych oraz zabezpieczenie przed przypadkową lub celową ingerencją w jej zawartość.
- Mapa numeryczna to zbiór danych numerycznych (zebranych w bazach danych), który po zastosowaniu ściśle określonych algorytmów i odpowiednich środków technicznych umożliwia przedstawienie mapy w formie graficznej (Preweda 1999).

- Mapa numeryczna to wielowarstwowa, tematyczna baza danych o charakterze geometrycznym oraz opisowym, zapisanych w postaci numerycznej lub system informatyczny, który służy do prowadzenia, archiwizowania, aktualizacji i dystrybucji zasobu geodezyjnego przetworzonego do postaci cyfrowej (Leszczewicz 1999).
- Mapa numeryczna przestrzenna to trójwymiarowy obraz obiektów lub fizycznej powierzchni terenu zbudowany w sposób umożliwiający automatyczne lub półautomatyczne projektowanie oraz budowanie systemów informatycznych opartych na elementach znajdujących się na tej mapie.

Niekiedy (choć jest to specyfiką tylko polskich dyskusji) rozróżnia się mapę numeryczną od mapy cyfrowej, wprowadzając następujące definicje (Adamczewski 1998, *Wprowadzenie do numerycznego modelowania terenu*, t. I, PTIP, Warszawa, 19–28.05.1998):

„Modele cyfrowe – obrazują obiekty terenowe za pomocą zbiorów punktów o określonych współrzędnych. Jedyńm warunkiem formalnym (...) jest przyporządkowanie współrzędnych ustalonemu identyfikatorowi punktu (np. numerowi punktu)”.

„Modele numeryczne – obrazują obiekty terenowe za pomocą zbiorów punktów o określonych współrzędnych (tak jak cyfrowe) wraz z dołączonymi informacjami typu geometrycznego, topograficznego lub topologicznego oraz algorytmami interpolacyjnymi”.

Definicje powyższe nie uwzględniają tego, w jaki sposób mapa powstała: czy na podstawie istniejących map analogowych (**mapa cyfrowa**), czy na podstawie pomiaru (**mapa numeryczna**). Definicje różnią się przede wszystkim uznaniem mapy numerycznej za bazę danych bądź jedynie za powiązaną z bazą danych. W definicjach innych autorów napotykamy inne robocze sformułowania, ale we wszystkich mowa jest o potrzebie bazy danych wraz z oprogramowaniem pozwalającym stworzyć jej wizualizację, aktualizację i edycję oraz wspomagać tworzenie odpowiedniej dokumentacji.

## PODSUMOWANIE

We współczesnej kopalni mapa jest czynnikiem ułatwiającym integrację wielu przedsięwzięć i wielu działów technicznych. Gromadzone przez służby miernicze, geologiczne i górnicze informacje o kopalni dotyczą budowy geologicznej złoża, hydrogeologii, sposobów eksploatacji i zabezpieczania wyrobisk, powierzchni terenu, budynków i budowli górniczych oraz powierzchniowych, komponentów środowiska itd. Po odpowiednim opracowaniu informacje te nanoszone są na mapy, a następnie udostępniane wielu użytkownikom map. Mapy płaskie (2D) ze względu na bardzo bogatą treść oraz stosowanie znaków umownych zawartych w polskich normach (a czasami znaków nienormowanych dopuszczonych do stosowania w danej kopalni przez WUG) są mało czytelne dla mniej wprawnych odbiorców (użytkowników). Przyszłość kartografii w nowoczesnej kopalni czy przedsiębiorstwie uzależniona jest od właściwego sporządzania baz danych i uzupełniania na bieżąco tych baz, rezygnacji z graficznego przedstawiania części map tematycznych (utrzymywaniu treści tych map w postaci zakodowanej w bazach danych) oraz we wprowadzeniu technologii 3D do prezentacji obiektów i zjawisk zachodzących w kopalni i na jej powierzchni. Z części tych informacji korzystać będzie mogła administracja terenowa, władze górnicze i jednostki nadrzędne nad przedsiębiorstwem górniczym oraz wielu innych użytkowników.

Rozwój górniczej kartografii cyfrowej polega między innymi na:

- automatyzacji sporządzania map na podstawie informacji zawartych w bazach danych,
- umożliwieniu systematycznego uzupełnienia baz danych (co czyni mapy niemal stale aktualnymi),
- zapewnieniu przejrzystości i czytelności ich treści,
- wprowadzeniu modeli przestrzennych dużych fragmentów kopalni,
- zastosowaniu nowych technik pomiarowych (m.in. skanowania laserowego) w pozyskiwaniu danych do tworzenia tych map.

Integracja nowoczesnych technologii komputerowych i dokumentacji płaskich oraz danych geodezyjnych (z inwentaryzacji obiektów) pozwala na tworzenie przestrzennych obrazów w pełnym znaczeniu tego słowa, które mogą być aktualizowane i wzbogacane o kolejne informacje. Środowisko CAD dzięki zastosowanym narzędziom pozwala generować zarówno modele proste definiowane matematycznie, tj. o regularnej budowie (bryły budynków, maszyny itp.), jak również o skomplikowanej morfologii, nieregularne (wyrobiska górnicze, rzeźba terenu). Najprostszym sposobem konstruowania modelu infrastruktury podziemnej kopalni jest zamiana płaskich zarysów wyrobisk, tj. chodników, komór, na figury przestrzenne przy znanej wysokości poszczególnych fragmentów przypomina wyciąganie do postaci trójwymiarowej płaskich zarysów wyrobisk zawartych na mapach płaskich.

*Pracę wykonano w ramach badań statutowych nr.11.11.150.009.*

## LITERATURA

- Adamczewski Z., 1998. Wprowadzenie do numerycznego modelowania terenu. *VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Systemy informacji przestrzennej”, t. I*, Polskie Towarzystwo Informatyki i Inżynierii, Warszawa, 45–50.
- Gawałkiewicz R. & Maciaszek J., 2001: Metody przestrzennej wizualizacji wyrobisk górniczych. *Materiały konferencyjne VI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych*, Ustroń, 289–300.
- Leszczewicz Z., 1999. Potrzebny system i determinacja. *Geodeta*, 10 (53).
- Maciaszek J., 2008. Skanowanie laserowe jako nowa technologia inwentaryzacji i wizualizacji zabytkowych komór solnych. *Wydawnictwo IGSMiE PAN, Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2/3, 197–212.
- Preweda E., 1999. Baza danych do wyznaczania deformacji przestrzennych sekcji okrętowych. *Biuletyn Naukowy*, 6, Akademia Rolniczo-Techniczna.
- Rajnich R., Siembab J. & Sosna A., 1986. *Mapy górnicze*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.

## Summary

As compared to 2D cartographic documentation and photogrammetric documentation, the 3D visualization of different objects gives more universal documents, because it contains definitely more information than 2D presentation and can be applied to many other

branch programs. The development of geodetic and photogrammetric measurement technologies that in a short time provide a huge amount of precise geo-spatial data, made programmers significantly change the ways of their presentation and made users find new ways of data processing and visualizing results. Improving functionality of 3D software and its compatibility with the standard computer equipment initiated wider and wider use of 3D models in Earth sciences.

The use of different techniques of 3D data processing and their visualization resulted in construction of many graphical and analytical tools that allow the ground surface, underground objects and accompanying phenomena to be modeled in different ways. The presentation of objects and phenomena in the form of 3D models is nowadays the basic form of visualization in many areas of science. The diversity of available mathematical and graphical algorithms allows users to present the same objects in a number of different ways, depending on which specific information or form is needed. The authors present skeleton models (Fig. 1), surface models (Figs 2–4), slice models (Fig. 5) and volume models (Fig. 6) made for surface and underground objects of the “Wieliczka” Salt Mine. They discuss the kinds of projections applied in 3D graphics and pay attention to angular and linear deformations (the formulae for the calculation of these deformations were given for isometrics) occurring in 3D presentation.

Present Polish mining standards permit the use of numeric mining maps. However, they do not give a definition of such maps. Several compatible proposals of the definition are given in this paper including a numeric map, which is multi-layer thematic database of geometric and descriptive character written in the numeric form. The creation of a proper database that would be friendly for specialists in many divisions of mining enterprise makes a complex task. The universal database (with different rights to access to its elements for the mine staff) can be decisive about the fact that the map shown on the screen of the monitor makes a flexible tool for efficient analyses and projects. Systematic supplementation of this database can also update maps – both 2D and 3D. In a contemporary mine, a 3D map facilitates the integration of many enterprises and many technical divisions.

The development of mining digital cartography means include automation of making maps based on the information contained in databases, clear layout and legibility of their content, wider introduction of 3D models of large fragments of mines, and application of new measurement techniques (e.g. laser scanning) to acquire data for the maps.