

Koncepcja trójwymiarowego modelu wyrobisk Kopalni Soli Wieliczka dla poprawy warunków zarządzania bezpieczeństwem ruchu kopalni

The concept of three-dimensional model of “Wieliczka” Salt Mine workings to improve the conditions of the mine safety management



Dr inż. Artur Krawczyk*)



Mgr inż. Zbigniew Stawarczyk**)



Mgr inż. Dariusz Wojciechowski**)

Treść: W artykule przedstawiono założenia techniczne oraz omówiono uwarunkowania opracowania nowej koncepcji trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych Kopalni Soli w Wieliczce. Główną przesłanką budowy trójwymiarowego modelu kopalni jest ocena możliwości zarządzania bezpieczeństwem trasy turystycznej w kopalni. W pierwszej fazie badań określono optymalną metodykę odwzorowania i generalizacji płaskich danych mapy górniczej do określonego typu obiektu trójwymiarowego. Poza geometrią wyrobisk w koncepcji uwzględniono również utworzenie symboli reprezentujących te elementy infrastruktury i wyposażenia górniczego, które ważne są z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu kopalni. Symbole trójwymiarowego modelu wyrobisk skojarzono z symbolami stosowanymi w normach map górniczych. Następnie model wzbogacono o informacje geologiczne przy zastosowaniu trójwymiarowej kalibracji geologicznych przekrojów pionowych i poziomych górotworu. W celu wprowadzenia systemu zarządzania projektem zastosowano schemat projektu typu GIS (Geography Information System). Obiekty geometryczne zostały podłączone do relacyjnej bazy danych przestrzennych. W ramach projektu obiekty uzyskały dodatkowe informacje atrybutowe, pozwalające na efektywne wykonywanie zapytań geoatrybutowych oraz wykonywania analiz przestrzennych.

Abstract: This paper presents technical assumptions and describes the conditions of development of a new concept of three-dimensional model of “Wieliczka” salt mine workings. The main reason for the development of the model is the evaluation of the possibility of safety management of the tourist route in the mine. The first phase of the research determines the optimal methodology of generalization and transformation of flat data of the mining map to the defined type of the three-dimensional model. Apart from geometry, the concept includes the creation of symbols representing components of the infrastructure and mining equipment which are crucial from the point of view of mine operation safety. The symbols used in the three-dimensional model of workings were linked to the symbols implemented in the mining map standards. Afterwards, the model was enriched with geological information by the use of three-dimensional calibration of geological horizontal and vertical cross-sections of the rock mass. In order to introduce the administration system, the scheme of GIS-type Project was used. Geometrical objects were connected to the relational spatial data base. As part of the project, the objects obtained additional information which allows to make geoattributive queries and spatial analyses.

Słowa kluczowe:

górnictwo, GIS, model 3D, kopalnia, model wyrobisk, geoinformatyka, baza danych przestrzennych

Key words:

mining, GIS, 3D model, mine, model of workings, geo-computer science, spatial data base

1. Wprowadzenie

Eksploatację złoża Wieliczka zakończono 30.06.1996 roku. Obecnie likwiduje się zbędne pustki poeksploatacyjne metodą podsadzania oraz zabezpiecza się wyrobiska zabytkowe. Zabezpieczenie polega na stosowaniu obudów – ko-

twiowej oraz tradycyjnej podporowej. Łącznie w 2011 roku w kopalni zinwentaryzowanych było 2391 komór oraz 245 km chodników. Prowadzone prace podsadzkowe obejmują likwidację około 100 tys. m³ pustek wyrobisk/rok i zakończą się około roku 2030. Po zakończeniu prac podsadzkowych pozostanie około 1,16 mln m³ wyrobisk, które zawierają część zabytkową kopalni, wyrobiska funkcyjne, wyrobiska zlikwidowane, ale niewypełnione oraz niedostępne. Obecnie

*) AGH w Krakowie, **) Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.

trasa turystyczna jest modernizowana i rozbudowywana. Prace te generują dodatkowe przekształcenia górotworu w zabytkowej już Kopalni Wieliczka. W związku z tym przedsiębiorca górniczy podjął się zadania [1] opracowania podstaw trójprzestrzennego modelu wyrobisk górniczych, który posłuży do poprawy bezpieczeństwa kopalni.

Tak duży obiekt wymagał budowy odpowiedniego, adekwatnego do stopnia skomplikowania trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych. Założenia budowy tego typu systemu informacji, dla kopalni znajdującej się w ruchu zostały zaprezentowane w pracy [2]. W warunkach zakończonej eksploatacji górniczej w Kopalni Wieliczka system tego typu musi zostać w znacznej mierze zaprojektowany od nowa.

2. Charakterystyka górniczo-geologiczna Kopalni Wieliczka

Górotwór złoża soli w Wieliczce stanowi niewielki wycinek morskiego miocenu Podkarpacia środkowego i posiada ścisły związek genetyczny z budową geologiczną tego rejonu. Złoże powstało przed 15 milionami lat w wyniku sedymentacji osadów miocenkich w zapadlisku przedkarpackim. Następnie uformowane zostało tektonicznie ruchami górotwórczymi, a szczególnie potężnym nasunięciem Karpat o kierunku południe-północ.

Profil litostratygraficzny złoża i jego bliskiego otoczenia obejmuje utwory mezozoiczne (jurajskie i kredowe) oraz kenozoiczne (trzeciorzędowe i czwartorzędowe). Osady trzeciorzędowe – reprezentowane są głównie przez utwory wieku miocenkiego – charakteryzują się dużą zmiennością litologiczną, a w rejonie złoża również bardzo skomplikowaną tektoniką. Osady czwartorzędowe – to głównie gliny i osady pylaste z wkładkami piasków, żwirów i rumoszu skał fliszowych.

Złoże solne zlokalizowane jest o obrębie ww. miocenkich warstw ewaporatów siarczanowych i chlorkowych. Sedymentacja tych utworów przebiegała w zmieniających się warunkach fizycznych zbiornika morskiego zlokalizowanego przy brzegu Karpat, o bardzo niestabilnym podłożu. Konsekwencją tych procesów jest skomplikowana budowa tektoniczna złoża, a także otaczających go warstw, oraz jego wyraźna dwudzielność – złoże dolne (pokładowe) i górne (bryłowe). Dolna, tzw. pokładowa część złoża posiada formę trzech nasuniętych na siebie łusek tektonicznych, przegiętych wtórnie w kształcie płaskiego siodła, odkłutych od macierzystego podłoża, wydzwigniętych i przesuniętych w kierunku północnym. W obrębie tych łusek warstwy solne uległy głównie deformacjom ciągłym, tj. zafałdowaniom i nasunięciom prowadzącym do lokalnych, znacznych zmian miąższości, a więc wzbogacenia lub zubożenia złoża. Natomiast skały płone (zwłaszcza iłowcowo-piaszczyste), zachowujące się w trakcie procesów tektonicznych bardziej sztywno, uległy znacznym spękanom.

Górna, tzw. bryłowa część złoża – została nasunięta od południa na złoże pokładowe i wraz z nim sfałdowana. Sól kamienna (zielona) nie tworzy tu warstw, ale występuje w formie bloków (brył). Bryły tej soli tkwią w olbrzymiej masie skał płonnych, głównie zubru solnego (skały ilaste ze skupieniami soli kamiennej).

Wyrobiska poeksploatacyjne kopalni wielickiej, powstałe w wyniku prowadzenia ponad 700-letniej eksploatacji dzielą się na dwa zespoły:

- Zespół I – obejmujący poziomy I – II – III powstał w prze-wadze w wyniku wyeksploatowania brył soli zielonych, eksploatacja prowadzona była od XIII do XX wieku,
- Zespół II – obejmujący poziomy IV, V, VI, VII – VIII powstał w wyniku wyeksploatowania soli pokładowych,

eksploatacja prowadzona od połowy XIX przez XX wiek.

Zmienność budowy geologicznej złoża oraz wielowiekowa eksploatacja prowadzona różnymi metodami jest przyczyną zróżnicowanego ukształtowania wyrobisk. Komory wyeksploatowane w złożu pokładowym na sucho w Zespole I wyrobisk charakteryzują się znacznymi rozpiętościami stropów i nieregularnością kształtów, natomiast w zespole II komory eksploatowane były w układzie modułowym (filar – komora – filar). Komory w systemie modułowym (w wymiarach filarów 4 m, 8 m, 10 m, 15 m i odpowiedniej kolejności do filara, komory przyjmowały kolejne szerokości 6 m, 12 m, 10 m, 20 m. Wysokość komór eksploatacji złoża pokładowego wahała się od 2 m do 16 m.

Aktualnie wyrobiska kopalni pod względem ruchowym dzieli się na:

1. Wyrobiska czynne ruchowo (stan techniczny komór dobry) – wyrobiska związane z prowadzeniem trasy turystycznej, Muzeum Żup Krakowskich, sanatorium, utrzymaniem ruchu, główne drogi przewozowe, wyrobiska związane z prowadzeniem prac zabezpieczeniowych i likwidacyjnych, kontroli, ujęcia i odprowadzania wycieków, wyrobiska wentylacyjne.
2. Wyrobiska nieczynne ruchowo (stan techniczny od dobrego do zawałowego).

3. Definicja typu modelu danych przestrzennych wyrobisk górniczych

Punktem wyjścia do wizualizacji i animacji wyrobisk zakładu górniczego powinien być trójwymiarowy model kopalni. Model utworzony został na bazie mapy górniczej. Taki model może stanowić następnie podstawę realizacji wizualizacji oraz animacji innych zjawisk, takich które związane są z bezpieczeństwem z zakładu górniczego. W związku z tym konieczne było określenie sposobu reprezentacji modelu w przestrzeni 3D.

W pracy [3] Artur Krawczyk przedstawił systematykę trójwymiarowych modeli podziemnych wyrobisk górniczych. Klasyfikacja ta definiuje 4 podstawowe rodzaje modeli wyrobisk: osiowy, kołowy, profilów i realistyczny. Każdy kolejny model charakteryzuje się rosnącym stopniem złożoności sposobu prezentacji wyrobisk i jest coraz bardziej zaawansowany graficznie.

Model osiowy – w tym modelu digitalizowane są osie wyrobisk górniczych (zarówno pionowych, jak i poziomych), które opisane mogą być nazwami (od węzła do węzła linii). Każde wyrobisko chodnikowe jest reprezentowane jako pojedyncza ciągła linia.

Model kołowy – powstaje na bazie modelu osiowego, który stanowi bazę dla obwiedni przekroju cylindra powierzchniowego lub cienkościennego, gdzie jego osią jest oś wyrobiska z modelu osiowego, a szerokość cylindra („rury”) jest określana na podstawie średniej szerokości wyrobiska. Ten model reprezentacji wyrobisk charakteryzuje się bardzo małymi wymaganiami dotyczącymi sprzętu komputerowego. Łatwo automatyzuje się jego tworzenie, ale wymaga już topologicznej spójności modelu osiowego.

Model profilów – powstaje po zastąpieniu modelu kołowego przez kształt powstały na bazie profilu wyrobiska górniczego. Model ten bardzo dobrze przybliża kształt wyrobiska. Wielkość i kształt odcinków wyrobisk może być indywidualnie uśredniania do budowy tego modelu (w zależności od pożądanego stopnia generalizacji).

Model realistyczny (termin z grafiki komputerowej „fotorealistyczny”) – w tym modelu odwzorowujemy już

konstrukcję wyrobiska wraz z elementami jego zagospodarowania. Niezwykle kosztowny oraz pracochłonny w realizacji. W praktyce źródłem danych dla tego modelu powinien być skaning laserowy.

Wszystkie modele, poza osiowym, przetestowano w celu oceny możliwości zastosowania tekstur oraz transparentności (przeźroczystości) dla obiektów geometrycznych. Testy wydajnościowe przeprowadzone z zastosowaniem MicroStation na zwykłym przeciętnym komputerze wykazały, że najlepiej obecnie można pracować z modelem profilowym przy wyłączonej opcji teksturowania oraz włączonej opcji przeźroczystości (transparentności). Model kołowy w trakcie testów został odrzucony, bowiem w przypadku warunków Kopalni Wieliczka nie koreluje geometrycznie z wyrobiskami komorowymi. Wynika to z faktu zbyt dużego uproszczenia kształtu wyrobisk, jak i kontrastu kanciastych komór w stosunku do okrągłych wyrobisk.

4. Analiza zasobu danych

Podstawą bezpiecznego i racjonalnego prowadzenia ruchu zakładu górniczego, w tym także ochrony zabytkowej części kopalni oraz ochrony powierzchni, jest wartościowa technicznie, aktualna dokumentacja kartograficzna. Sporządzone w okresie międzywojennym podstawowe mapy kopalni nie spełniały wymagań współczesnych norm, co podnoszone było przez Okręgowy Urząd Górniczy w Krakowie z zaleceniami wykonania nowych map.

W 1996 roku kopalnia podjęła prace zmierzające do rekonstrukcji map wyrobisk górniczych, w wyniku czego powstała mapa numeryczna wyrobisk górniczych kopalni. Mapa ta powstała na podstawie: bezpośrednich pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, współczesnej i archiwalnej dokumentacji mierniczo-kartograficznej oraz dokumentacji i map archiwalnych znajdujących się w zbiorach Muzeum Żup Krakowskich. Do końca 2010 roku zostały wykonane mapy numeryczne wyrobisk górniczych poziomów: I, IIw, II_n, II_n-III Kazanów, II_n-III Bella, III, IV, Kołobrzeg, V w skali podstawowej 1:1000 oraz w skalach przeglądowych 1:2000, 1:5000.

Podstawowe numeryczne mapy górnicze Kopalni Soli „Wieliczka”, zostały stworzone zgodnie z Polskimi Normami Map Górniczych. Normy te zostały ustanowione w celu prowadzenia w zestandaryzowany sposób dokumentacji ruchowej zakładu górniczego prowadzącego eksploatację złoża. Z tego powodu mapy te zawierają bardzo dużą ilość informacji związanych ze wszystkimi aspektami ruchu zakładu górniczego prowadzącego eksploatację. Ważne wtedy są takie dane, jak bezpieczeństwo ruchu zakładu, ale również istotne są drogi odstawy urobku, bilansowanie wyrobisk poeksploatacyjnych, czy też podstawowa rola tych map, czyli dostarczanie danych do projektowania eksploatacji górniczej.

Spełnienie tych wymagań w połączeniu ze skomplikowaną sytuacją geologiczno-górnica prowadzonej w przeszłości eksploatacji soli skutkuje bardzo dużą ilością informacji na płaskich mapach górniczych. Z tego powodu mapy te wymagają dużego doświadczenia w ich odczycie. W związku z tym, że Zakład Górniczy „Wieliczka” już od kilkunastu lat nie prowadzi eksploatacji górniczej, znacznie istotniejsze stają się te dane kartograficzne, które bezpośrednio dotyczą bezpieczeństwa turystów i załogi znajdującej się w wyrobiskach górniczych.

W latach 2003 – 2004 opracowano w kopalni „Inwentaryzację wyrobisk zakładu górniczego „Wieliczka” w formie komputerowej bazy danych. Stanowi ona wyniki dotychczasowych prac inwentaryzacyjnych prowadzonych

w kopalni od 1974 r oraz dokumentacji mierniczej. Baza ta jest na bieżąco aktualizowana i weryfikowana, stanowi ona aktualnie podstawowe źródło informacji o wyrobiskach kopalni w zakresie: stanu wyrobiska na podstawie inwentaryzacji, wykonanych w wyrobiskach zabezpieczeń, wymiarów, bilansów pustek, co jest niezbędne do projektów likwidacji pól przez podsadzanie, analiz geomechanicznych. Z tego powodu do dalszych prac wykorzystano zarówno mapy górnicze, jak i dokumentację inwentaryzacyjną.

5. Koncepcja budowy informatycznego modelu przestrzennego kopalni

W celu opracowania całościowej koncepcji tego typu systemu, koniecznym było wyodrębnienie trzech części składowych koncepcji. Pierwszą częścią składową, jest zakres tematyczny obiektów wybranych do modelowania trójwymiarowego wraz ze wskazaniem zagadnień związanych z tworzeniem modelu 3D. Drugą część koncepcji stanowi architektura projektowanego systemu. Trzecia część koncepcji określa metodykę tworzenia i wykorzystywania trójwymiarowego modelu geometrycznego wyrobisk. Na zakończenie w czwartej części przedstawiono rozważania dotyczące wyboru platformy graficznej.

5.1. Koncepcja zakresu tematycznego trójwymiarowej mapy wyrobisk

Zakład górniczy musi zapewnić bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa w trakcie ich pobytu pod ziemią. Z tego powodu za uzasadnione uznaje się wyselekcjonowanie niektórych warstw informacyjnych map górniczych i przeniesienie ich do mapy trójwymiarowej, która w czytelny i przejrzysty sposób zaprezentuje kluczowe informacje dla bezpieczeństwa ruchu ludzi w zakładzie górniczym. Mapa tego typu powinna realizować dwa podstawowe cele:

- inżynierski, związany z bezpieczeństwem kopalni (m.in. szkolenia załogi),
- prezentacyjny, związany z zdaniem informacyjnymi. W ramach realizacji zlecenia za istotne uznano następujące warstwy informacyjne:
- komory i wyrobiska chodnikowe przeznaczone do ruchu turystycznego,
- szybki wentylacyjne oraz korytarze ucieczkowe,
- wentylacja wyrobisk (tamy i kierunki ruchu powietrza),
- komunikację telefoniczną,
- miejsca wypływów wody do wyrobisk,
- czujniki pomiarowe tlenu węgla,

Wymienione warstwy zostały wyselekcjonowane i przygotowane do przeniesienia w nowe środowisko mapy specjalnej „trójwymiarowa mapa bezpieczeństwa ruchu zakładu górniczego w Wieliczce”. Kolejnym zagadnieniem wymagającym rozwiązania był problem definicji nowej mapy specjalnej. W ramach prowadzonych rozważań wzięto pod uwagę wiele czynników.

5.1.1. Układ współrzędnych

Kluczowym warunkiem budowy nowego środowiska prezentacji danych górniczych jest układ współrzędnych geodezyjnych, który w tym przypadku musi być identyczny z tym, który stosowany jest w Zakładzie Górniczym „Wieliczka”. Oznacza to konieczność zastosowania profesjonalnych systemów Komputerowego Wspomagania Projektowania (tak zwanych systemów CAD). Systemy te w przeciwieństwie do oprogramowania wykorzystywanego do tworzenia grafiki komputerowej posiadają możliwości pracy w zdefiniowanej przestrzeni geodezyjnej lub geograficznej.

5.1.2. Charakter zagrożeń naturalnych w kopalni

Bardzo istotnym uzasadnieniem budowy trójwymiarowego modelu zakładu górniczego jest charakter zagrożeń, które mogą wystąpić w trakcie jego użytkowania. Zagrożenia te mają niewątpliwie charakter przestrzenny oraz dodatkowo są zmienne w czasie. Do tego typu zagrożeń należy zaliczyć przede wszystkim wypływy wody, które szczególnie w warunkach kopalni soli są niebezpieczne dla jej wyrobisk. Trójwymiarowy model zakładu górniczego w znaczący sposób może nam ułatwić analizowanie przyczyn wystąpienia zagrożenia oraz pozwoli na przeanalizowanie modelu kopalni w aspekcie możliwości wystąpienia zagrożenia charakteryzującego się podobnym mechanizmem powstawania lub identyfikacji czynników, które sprzyjają jego powstawaniu.

5.1.3. Prognozowanie wpływów deformacji górotworu na powierzchnię terenu

Kolejnym istotnym czynnikiem budowy mapy 3D jest możliwość utworzenia bazy danych o wyeksploatowanych komorach złoża soli. Istniejące pustki w górotworze stanowią potencjalne zagrożenie dla nadległych poziomów kopalni, jak i dla powierzchni terenu. W związku z tym niezwykle korzystną sytuacją będzie możliwość podpięcia bazy danych do modelu 3D, dzięki któremu uzyska się możliwość kształtowania zasobu obliczeniowego.

5.1.4. Projektowanie robót górniczych

Drugim niezwykle ważnym aspektem związanym z bezpieczeństwem kopalni są wszelkie planowane do wykonania roboty górnicze, które najpierw trzeba zaplanować, a następnie przeanalizować poszczególne warianty ich realizacji. Trójwymiarowy, nawet uproszczony, model kopalni świetnie się nadaje do przetestowania planów realizacji robót górniczych. W tym wypadku pomiary inwentaryzacyjne będą mogły zostać porównane z trójwymiarowym modelem projektu ich wykonania. W miarę rozbudowy treści mapy trójwymiarowej można zwiększać zakres analiz związanych z realizacją projektu.

5.1.5. Powszechność dostępu do mapy 3D

Zaproponowana została koncepcja stosowania oprogramowania 3D pozwalającego na eksport i użytkowanie danych przestrzennych w formacie pdf. Format ten jest powszechnie stosowany w internecie i może być wykorzystywany przez każdego pracownika kopalni, ponieważ przeglądarka plików pdf jest dostępna za darmo w Internecie. Jej użytkowanie wymaga jednak pewnego przeszkolenia, ale z drugiej strony daje bardzo duży komfort pracy z danymi 3D.

5.1.6. Referencyjny model danych przestrzennych

Kolejną bardzo ważną kwestią jest posiadanie przez zakład górniczy referencyjnego modelu danych przestrzennych wykonanego z geodezyjną dokładnością, zgodnie z zadanym, wielostopniowym schematem generalizacji danych przestrzennych. Co ważne, jest to model wykonany w geodezyjnym układzie współrzędnych i może być wydawany w całości lub we fragmentach do realizacji różnego typu prac związanych z remontami czy zagospodarowaniem poszczególnych wyrobisk górniczych. Kolejnym klientem gotowego modelu 3D są firmy komercyjne świadczące różnego typu usługi promocyjne, dekoratorskie lub inne, które w swej pracy korzystają z wizualizacji wybranych fragmentów kopalni wykonanych w środowisku programów grafiki komputerowej. Często firmy zajmujące się grafiką komputerową nie posiadają wiedzy i możliwości, aby opracować modele na podstawie oryginalnych map górniczych. Błędna interpretacja mapy powoduje powstanie nieprawdziwych wizualizacji. Ponadto typowe

oprogramowanie graficzne wymaga pracy na modelu w lokalnym – „rysunkowym” układzie współrzędnych. Nie mają one możliwości pracy w układach współrzędnych.

Ponadto model ten może stanowić inicjalny zasób danych dla budowy „Systemu informacji przestrzennej dla gromadzenia i interpretacji danych mierniczych”.

5.1.7. Integracja różnego typu danych

Model danych przestrzennych może stanowić świetną przestrzeń integracji danych pochodzących z nowoczesnej techniki skanowania laserowego. Model tego typu stanowi niezbędną podstawę możliwości prezentacji i analizy danych pochodzących z chmur punktów skanera laserowego w środowisku mapy wyrobisk górniczych.

5.2. Koncepcja systemu informatycznego

Na bazie połączenia grafiki z relacyjną bazą danych można zaprojektować system informacji przestrzennej dla kopalni Wieliczka. System powinien udostępniać możliwości rejestrowania w bazie kolejnych obiektów geometrycznych o ustalonym typie danych. Budować i utrzymywać referencje do plików zewnętrznych oraz innych materiałów kartograficznych znajdujących się w zakładzie górniczym.

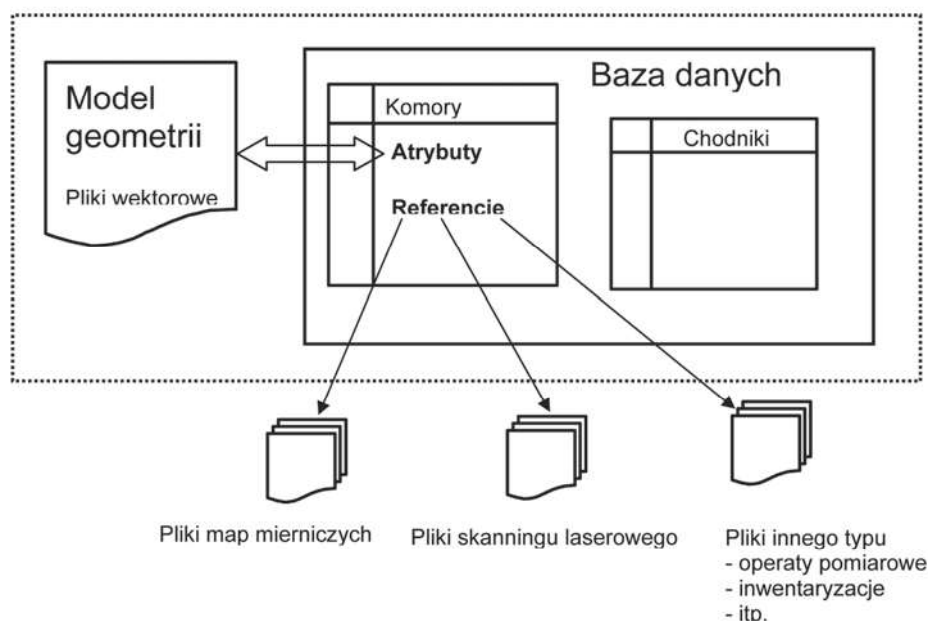
Na przykład tabela Komory zawierać powinna opisy atrybutowe dotyczące komory oraz referencje, które odnosiły, by się do plików zewnętrznych. W ramach informacji atrybutowych przypisano by te, które już posiada zakład górniczy w formie tabel z pliku Excel. Natomiast referencje dotyczyłyby plików na serwerze, które zawierają informacje dotyczące danego obiektu.

Koncepcja opiera się o model danych geometrycznych powiązany z bazą danych. Może zostać zrealizowany na kilka sposobów [4]. W ramach badań przeanalizowano możliwości ich wykorzystania w warunkach kopalni Wieliczka (rys. 1). Analiza została wykonana w oparciu o systematykę opracowaną w celu opisu różnych technologii łączenia danych graficznych z atrybutami opisowymi. Ostatecznie wybrano rozwiązanie **wektorowo – relacyjnej bazy danych**. W tym rozwiązaniu do grafiki wektorowej podłączamy tabelę za pomocą linków. W MicroStation do elementów graficznych dodaje dbLINKS, a w Autocadzie do elementu graficznego dodajemy xData. W obydwu przypadkach pola te (linki) wskazują na konkretną tabelę w bazie danych – najczęściej jest to tabela bazy danych Access.

5.3. Koncepcja modelu geometrycznego wyrobisk

W ostatnich latach podjęto wiele prac mających na celu opracowanie przestrzennego modelu wyrobisk górniczych. Badania te podejmowane były z różnych przyczyn i osiągnęły odmienne wyniki. W pracy [5] podjęto próbę przestrzennego zamodelowania wyrobisk górniczych kopalni Wieliczka. Zaproponowany tam podział modelowanych wyrobisk, na uproszczony i złożony jest niewystarczający do utworzenia modelu informatycznego kopalni. Brak jest elementu geometrii, który byłby niezależny od stopnia generalizacji wyrobisk. Kolejnym przykładem budowy trójwymiarowego modelu wyrobisk jest praca [6], w której zaprezentowano między innymi koncepcję uproszczonego modelowania wyrobisk górniczych kopalni węgla kamiennego. Założono możliwość ręcznej digitalizacji osi wyrobisk górniczych. Oś wyrobisk po nadaniu rzędnych jej punktom węzłowym, umożliwia następnie automatyczne utworzenie zestandaryzowanego kształtu wyrobiska. Ten sposób modelowania zaimplementowano do środowiska pakietu GEOLISP [7]. Kolejną metodą odwzorowywania elementów mapy górniczej do postaci trójwymia-

System Informacji Przestrzennej Kopalni Wieliczka



Rys. 1. Schemat Systemu Informacji Kopalni Wieliczka (opracowanie własne)

Fig. 1. Wieliczka Mine Information System (own work)

rowej jest metoda przedstawiona w pracy [8]. Została ona zastosowana w oprogramowaniu MapDraw, gdzie wartości rzędnych (kot spągu i kot stropu) są automatycznie podczytywane w już w trakcie wektoryzacji ociosów tych wyrobisk. Dzięki temu, program mając specjalizowaną procedurę, może automatycznie dowiązać się do geometrii ociosu. Mechanizm ten jest wykorzystywany głównie do budowy profili geologicznych złoża, ale może także zostać zastosowany do automatycznego wygenerowania trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych.

Wszystkie te metody mają jednak ograniczone zastosowanie w przypadku kopalni Wieliczka, gdzie prowadzona była eksploatacja wielkogabarytowych komór solnych, które nie mogą zostać przetworzone przez żadną z tych metod. W związku z tym konieczne było opracowanie własnych metod tworzenia modelu przestrzennego. Dodatkową kwestią był problem związany z definicją obiektów pod kątem ich wizualizacji oraz zastosowania grafiki komputerowej do reprezentacji modelu wyrobisk. W trakcie analizy przyjęto następujące założenia budowy modelu przestrzennego. Po pierwsze będzie się składał z dwóch uzupełniających się nawzajem składowych:

- modelu osiowego kopalni,
- modelu profilowego kopalni.

W przypadku modelu osiowego trudności stanowiły komory, dla których przewidziano zastosowanie odrębnej warstwy „osi komory”, która łączy się z osiami wyrobisk korytarzowych łączących się z komorami. W przypadku utworzenia modelu profili, metodyka generalizacji wyrobisk przy jego budowie jest realizowana za pomocą następującej metodyki:

1) Wyrobiska komorowe

Obrys wyrobisk, cechy wysokościowe: kota spągu i stropu pobierane są z mapy numerycznej, następnie obrys spągu komory jest wykorzystany jako początkowy profil poziomy komory a obrys stropu komory jako obrys końcowego profilu komory, następnie profile są łączone w jeden obiekt.

2) Wyrobiska chodnikowe

Dla wyrobisk chodnikowych rysowany jest osiowy wyrobiska od razu z nadaną cechą wysokościową spągu chodnika,

następnie półautomatycznie jest rysowany kwadratowy profil przekroju chodnika o wymiarach 2 m na 2 m, który jest następnie „wyciągany” po ścieżce osi wyrobiska, tworząc reprezentację wyrobiska korytarzowego,

3) Wyrobiska pionowe

Do wyrobisk pionowych zaliczamy szyby główne kopalni, jak i szybiki, które zostały przejęte z przekroju z numerycznej mapy górniczej, i w przypadku szybików zastosowano profile wyrobisk zbliżone do rzeczywistych.

Pierwszym etapem prac była digitalizacja plików dwg w środowisku plików dgn – MicroStation. Prace te polegały na wektoryzacji wybranych elementów (obrysy komór, osie wyrobisk) na odpowiednie warstwy w pliku dgn (współrzędne płaskie X,Y) pracując w rzucie z góry, a następnie nadanie im odpowiednich wartości współrzędnych Z (rzędnych), co realizowane było w rzucie izometrycznym.

Wyrobiska komorowe odwzorowywano w następujący sposób: pozyskany obwód komory (spąg) kopiowano i nadawano mu odpowiednią wysokość, tworząc strop tej komory. Następnie za pomocą narzędzia Surface by Edge Curves połączono strop ze spągiem, tworząc komorę. W bardziej skomplikowanych przypadkach, pod względem obrysu i różnic wysokości, spąg ze stropem łączyło narzędzie Surface by Corner Points.

Po uzyskaniu osi wyrobisk i nadaniu im odpowiednich współrzędnych przystąpiono do budowy modelu profilowego wyrobiska korytarzowego. Szerokość i wysokość wyrobisk przyjęto za stałą 2 m na 2 m. Za pomocą narzędzia Solid by Extrusion Along w trybie automatycznym utworzono wyrobiska korytarzowe. W celu uzyskania lepszego efektu wyrobiska z komorami łączyło ręcznie, za pomocą narzędzi Surface by Edge Curves lub Surface by Corner Points.

Po zakończeniu wymienionych prac wpisano w do pliku nazwy wyrobisk i komór, a następnie nadano im odpowiednie kolory. Kolejnym krokiem było pozyskanie z pliku mapy płaskiej poszczególnych elementów odnoszących się do bezpieczeństwa, nadanie im odpowiednich współrzędnych „Z” oraz przedstawienie ich odpowiednimi trójwymiarowymi znakami graficznymi wraz z ich opisami.

5.4. Wybór oprogramowania do budowy systemu

Jednym z kluczowych elementów wymagających analizy przy budowie tego typu systemu jest wybór platformy graficznej. Istnieje wiele zagranicznych aplikacji, które specjalizowane są dla górnictwa, np. takie jak SURPAC, DATAMINE czy MINESCAPE. Posiadają one zaawansowane moduły modelowania złoża bazujące na własnych aplikacjach CAD. Są trudne w obsłudze i posiadają wiele nadmiarowych funkcji, które z punktu widzenia Zakładu Górniczego „Wieliczka” są nieprzydatne. Zaliczyć do nich można narzędzia planowania i projektowania produkcji czy optymalizacji transportu urobku. Dlatego do realizacji modelu 3D niezbędne było zaangażowanie zaawansowanego programu typu CAD, który posiada cechy umożliwiające pracę w warunkach kartometryczności danych przestrzennych, które odwzorowane są w konkretnym układzie współrzędnych. Zalety programu AutoCAD firmy Autodesk w warunkach Kopalni Wieliczka to:

1. Zgodność oprogramowania z innymi działami kopalni. Zarówno Wydział Robót Górniczych, Dział Energomechaniczny jak i Dział Wentylacji posługują się oprogramowaniem AutoCAD. Tylko Dział Mierniczo-Geologiczny posiada oprócz AutoCADa również Microstation.
2. Doświadczenie użytkowników. Wielu pracowników jest przeszkolonych w obsłudze oprogramowania AutoCAD. Niepotrzebne byłoby ponoszenie kosztów ich przeszkolenia, wystarczy przeszkolenie w zakresie obsługi nowej wersji z uwzględnieniem obiektów w środowisku trójwymiarowym.

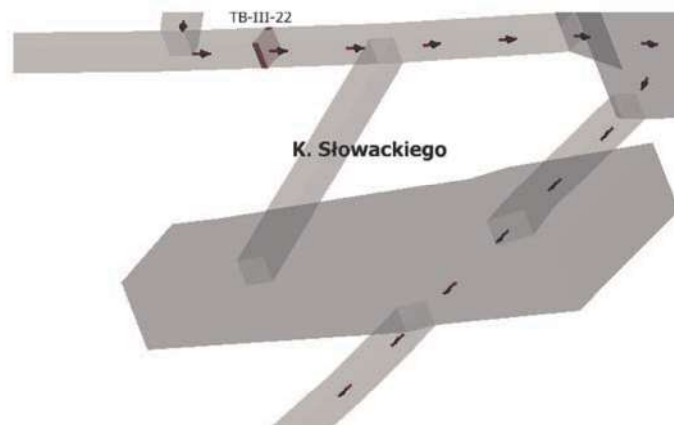
3. Posiadany zasób danych. Praktycznie wszystkie mapy, które kopalnia Wieliczka posiada w formie cyfrowej są w formacie danych *.dwg różnych wersji programu AutoCAD.

6. Weryfikacja koncepcji

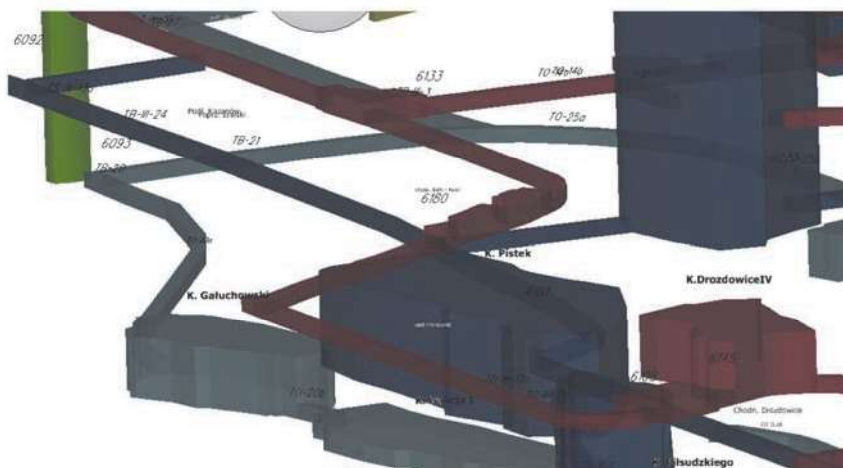
W ramach realizacji prototypu wykonano dwa rodzaje modeli (osiowy, profilowy) dla 4 poziomów kopalni. Ważnym czynnikiem jest fakt, że model profilowy powstał na bazie odciosów i dość dobrze przybliży geometrię wyrobisk.

Poniżej zaprezentowano wygląd modeli wykonanych w ramach prototypu. Na rysunku 2 przedstawiono trójwymiarowy model profilowy z włączoną opcją wygładzania, cieniowania, wypełniania oraz transparentności powierzchni. W modelu umieszczono przykładowy symbol tamy bezpieczeństwa, specjalnie opracowany w ramach koncepcji dla kopalni Wieliczka.

Na rysunku 3 przedstawiono resymbolizację wyglądu wyrobisk kopalni w oparciu o informacje atrybutowe znajdujące się w bazie danych podłączonej do obiektów geometrycznych. Zastosowano wyróżnienie według atrybutu przynależności wyrobisk do określonego poziomu za pomocą transparentnego koloru.



Rys. 2. Fragment modelu przestrzennego wyrobisk
Fig. 2. Details of a spatial model of excavations



Rys. 3. Resymbolizacja wyrobisk kopalni z uwagi na przynależność do poziomu
Fig. 3. Graphical styling of mine workings based on minig levels separation

W ramach realizacji pracy wykonano model wyrobisk znajdujących się w ścieżce trasy turystycznej. Trasa przechodzi przez 4 poziomy kopalni w tym około 40 komór i 5 km wyrobisk. Model wyrobisk wraz ze wszystkimi pozostałymi warstwami bezpieczeństwa zajął łącznie w zbiorczym pliku formatu *.dgn: 1498 KB (ok. 1,5 MB). Tym samym udało się osiągnąć niewielką objętość pliku wektorowego.

7. Podsumowanie

Trójwymiarowe modele wyrobisk górniczych oraz ich wizualizacje posiadają wiele niewątpliwych zalet. W interesujący sposób prezentują sytuację geologiczno-górnica, która dzięki temu staje się bardziej czytelna i zrozumiała nawet dla laika, czy też osoby bez wykształconego zmysłu wyobraźni przestrzennej. Modele przestrzenne są bardzo przydatne w procesie szkoleniowym. Modele trójwymiarowe mogą pomóc takim osobom zrozumieć niektóre aspekty przestrzennej lokalizacji wyrobisk, przez co przyczynić się może to do zapewnienia wzrostu bezpieczeństwa w kopalni.

Kolejnym aspektem przestrzennego modelu wyrobisk jest jego potencjał integracji danych przestrzennych zgromadzonych w różnej postaci i w różnej formie. Połączenie modelu 3D z bazą danych umożliwi utworzenie Systemu Informacji Przestrzennej Kopalni, który wprowadzi nową jakość w zarządzaniu danymi przestrzennymi, co bezpośrednio przyczyni się do podniesienia bezpieczeństwa ruchu kopalni.

Opracowany w ten sposób model wyrobisk kopalni będzie mógł być wykorzystywany w przyszłości do różnego rodzaju celów. Trójwymiarowe modele wyrobisk górniczych są wykorzystywane podczas projektowania szybów i podszybi. Znajdują one również zastosowanie przy analizie różnych przyczyn wystąpienia samowpływów wody w wyrobiskach kopalni. Wskazane w pracy możliwości wizualizacji map geologicznych w przyszłości mogą zostać rozbudowane

o wektorowe prezentacje granic złoże i pozostałych utworów geologicznych. Budowa numerycznego modelu wyrobisk i złoże jest bardzo ważną inwestycją w przyszłość Kopalni „Wieliczka”. Krajowe doświadczenia we wdrażaniu w górnictwie polskim systemów informacji przestrzennej w zakładach górniczych wskazuje na liczne korzyści z ich realizacji.

Literatura

1. *Krawczyk A., Waluś M., Piskorz M., Kotowicz B.*: Opracowanie koncepcji modelu 3D wyrobisk kopalni soli Wieliczka dla poprawy warunków zarządzania bezpieczeństwem ruchu kopalni, praca niepublikowana, Wieliczka 2010.
2. *Krawczyk A.*: Modelowanie przestrzenne zmian elementów środowiska na terenach górniczych. Praca doktorska, AGH Kraków 2001.
3. *Krawczyk A.*: Zastosowanie MicroStation do wizualizacji i animacji 3D w górnictwie. VII KNT Ochrona środowiska na terenach górniczych, ZGSIITG, Katowice 2008, s. 127-129.
4. *Krawczyk A.*: Próba systematyki zapisu atrybutów i topologii obiektów geometrycznych w systemach informacji geograficznej. *Studia Informatica*, Vol. 32, Nr 2B, Katowice 2011.
5. *Maciaszek J., Gawalkiewicz R., Gawalkiewicz I.*: Od modelu do numerycznej mapy przestrzennej. „Zeszyty Naukowe AGH” seria Geologia, 2010, t. 36, z. 3.
6. *Poniewiera M., Muras W.*: Budowa schematu przestrzennego wyrobisk górniczych. „Zeszyty Naukowe Pol. Śl.” Seria Górnictwo. 2007 z. 278.
7. *Poniewiera M., Uszko M., Mertas J., Zbronec A., Piwowarczyk J.*: Numeryczny model złoże – podsumowanie dotychczasowych doświadczeń z procesu wdrażania w Kompanii Węglowej S.A. monografia Geomatyka Górnicza – praktyczne zastosowania, Fundacja dla AGH, Kraków 2011.
8. *Biegun D.*: Dynamiczne generowanie wieloskalowych map górniczych w środowisku AutoCAD. Praca doktorska niepublikowana, WGGiŚ AGH, Kraków 2014