

## Współczesne funkcje kartografii górniczej

słowa kluczowe: **numeryczny model złoża, górnicza mapa numeryczna,**

W niniejszym artykule autorzy starali się odpowiedzieć na pytanie jakie zadania można postawić przed nowoczesną kartografią górniczą, W szczególności poruszane są zagadnienia związane z budową Systemu Informacji o Przestrzeni Górniczej i korzyści płynące z jego wdrożenia. Skrótowo przedstawiono obecnie obowiązujący stan prawny i zdefiniowano podstawowe pojęcia. Omówiono sposób organizacji prac dotyczących przygotowania infrastruktury, gromadzenia materiałów, sporządzania, przechowywania i aktualizacji danych. W artykule przedstawiono również proces wdrażania Numerycznego Modelu Złoża w Kompanii Węglowej SA.

### 1. Wprowadzenie

Intensywny rozwój technologii informatycznych i powszechny do nich dostęp pozwalają na znaczące usprawnianie, optymalizowanie, i zwiększanie efektywności projektowania inżynierskiego i zarządzania firmami a także na gromadzenie, przetwarzanie i analizowanie informacji o otaczającej przestrzeni. Działalność górnicza prowadzona pod ziemią, z uwagi na naturalne, nie do końca przewidywalne uwarunkowania jest takim rodzajem działalności, w której decyzje podejmowane na różnych szczeblach kierownictwa firmy bezpośrednio wpływają na stan bezpieczeństwa załóg górniczych, bezpieczeństwo ruchu zakładu górniczego, osiągnięte wyniki produkcyjne i ekonomiczne.

Wprowadzanie nowych narzędzi wspomagających zarządzanie i projektowanie w dobie gospodarki konkurencyjnej jest jak najbardziej pożądane, a wręcz nieodzowne. Niezbędnym jest posiadanie pełnej informacji o złożach kopalń, tak w ujęciu geometrycznym jak i ilościowo - jakościowym. Dane te najszybciej można pozyskać z numerycznego modelu złoża, który na bieżąco jest modyfikowany w oparciu o nowo pozyskiwane informacje. Ponadto model ten powinien być uzupełniany o kolejne narzędzia pozwalające na: projektowanie robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych, modelowanie struktury jakościowej wydobywania, symulacje kosztowe i przychodowe itd. Numeryczny model złoża może być podstawowym narzędziem przy tworzeniu Projektów Zagospodarowania Złóż, Planów Ruchu zakładów górniczych i wszelkich dokumentacji techniczno – ruchowych. W rozwiązywaniu problemów inżynierskich oprócz aspektu dostępności do informacji i jej dokładności bardzo istotnym elementem jest czas. Pod tym względem tradycyjne sposoby przeprowadzania analiz i sporządzania projektów ustępują nowej technice bezdyskusyjnie. Stworzenie numerycznego modelu złoża, którego pochodną jest górnicza mapa numeryczna uważamy za zadanie o najwyższym priorytecie.

### 2. Stan prawny i podstawowe definicje

*Obecnie obowiązująca ustawa Prawo geologiczne i górnicze stanowi, że dokumentacja mierniczo - geologiczna w tym dokumenty pomiarowe, obliczeniowe i kartograficzne, może być sporządzana i przechowywana w formie numerycznej, ale*

przejście na prowadzenie map podstawowych wyłącznie w takiej postaci wymaga zgody Dyrektora Okręgowego Urzędu Górniczego. Warto jednak podkreślić, że będąca obecnie w przygotowaniu ustawa mówi wprost o konieczności przekazywania dokumentacji w postaci elektronicznej.

Aby móc prowadzić dokumentację w takiej formie należy spełnić pewne warunki. Oto niektóre z nich:

- dokumenty są sporządzane przez osoby uprawnione,
- dokumentacja jest zabezpieczona przed zniszczeniem oraz dostępem osób nieupoważnionych,
- istnieje możliwość sporządzania na jej podstawie dokumentacji w formie klasycznej,
- dokumenty podlegają ewidencjonowaniu,
- mapa górnicza spełnia wymogi Polskich Norm,
- nie jest przekroczony dopuszczalny średni błąd kartowania punktów sytuacyjnych.

W artykule stosuje się wymiennie równoznaczne pojęcia: Numeryczny Model Złoża, Mapa Numeryczna, System Informacji o Przestrzeni Górniczej czy krótko System.

Numeryczny Model Złoża rozumiany jest tutaj jako baza danych wraz z oprogramowaniem umożliwiającym: aktualizację i edycję tej bazy, selektywną wizualizację wybranego fragmentu kopalni, wspomaganie sporządzania różnorodnej dokumentacji, przekrojów, profili, raportów.

Modelowanie Numerycznego Modelu Złoża (np. struktury stratygraficzno – litologicznej i tektonicznej złoża) to tworzenie powierzchni dla dowolnego zestawu danych takich jak np. poziom wodonośny, spąg pokładu, zasiarczenie itp. Powierzchnia jest tu rozumiana jako siatka trójkątów oparta na pewnej ilości punktów posiadających współrzędne płaskie oraz liczbowy parametr np. rzędną wysokościową lustra wody. Powierzchnia może zostać zwizualizowana poprzez izolinie, mapę hipsometryczną czy siatkę trójkątów. Istnieje możliwość obliczenia objętości między dwoma powierzchniami (np. obliczanie zasobów węgla kamiennego wg zadanych kryteriów).

Modelowanie sieci wyrobisk górniczych to tworzenie trójwymiarowych brył o kształcie i wymiarach tak dobranych by ich rzut prostokątny na płaszczyznę odwzorowawczą pokrywał się z konturami tych wyrobisk na mapie podstawowej.

Modelowanie skutków robót górniczych w górotworze i na powierzchni terenu to utworzenie prognozowanej powierzchni wybranego wskaźnika deformacji poprzez dodanie do siebie powierzchni aktualnej i prognozowanych zmian. Poprzez przecięcie powierzchni obiektami punktowymi np. budynkami otrzymuje się zestaw zabudowań, których odporność jest mniejsza niż prognozowane wpływy.

### **3. Zadania stojące przed numerycznym modelem złoża**

Numeryczny model złoża jest narzędziem wspomagającym prace mierniczo – geologiczne wykonywane w celu wypełnienia dyspozycji zawartej w art. 69 ust. 1 ustawy Prawo geologiczne i górnicze. Służy pozyskiwaniu, gromadzeniu, przetwarzaniu informacji niezbędnych do optymalnego i bezpiecznego projektowania, a także do prowadzenia robót górniczych i modelowania: struktury i jakości złoża (w tym ustalania ilości zasobów węgla kamiennego), sieci wyrobisk górniczych, warunków hydrogeologicznych, skutków robót górniczych w górotworze i na powierzchni terenu.

Numeryczny model terenu musi spełniać określone wymagania pod względem architektury Systemu. Powinien umożliwiać pracę wielu użytkownikom jednocześnie,

z uwzględnieniem stosownych praw dostępu i elementów ochrony informacji, oraz pozwolić na utrzymanie jednego modelu złoża i jednego zestawu danych, do których dostęp jest możliwy z dowolnego stanowiska komputerowego wchodzącego w skład Systemu. Oprogramowanie musi zapewniać pełne bezpieczeństwo administrowania danymi oraz umożliwić archiwizowanie informacji. Ponadto System powinien identyfikować użytkowników wprowadzających zmiany w bazach danych i posiadać zabezpieczenie przed przypadkową lub celową ingerencją w jej zawartość.

Wchodzące w skład Systemu bazy danych muszą być bazami połączonymi relacyjnie, umożliwiającymi gromadzenie i przetwarzanie danych opisujących:

- zasoby węgla (parametry ilościowe, jakościowe i geometryczne),
- zasoby metanu jako kopaliny towarzyszącej (parametry ilościowe i jakościowe),
- warunki geologiczno – inżynierskie,
- warunki hydrogeologiczne i jakość wód podziemnych,
- warunki geotermiczne,
- punkty osnów geodezyjnych,
- zagrożenia naturalne,
- wyrobiska górnicze i otwory wiertnicze.

Istotne jest aby obiekty modelu złoża były ze sobą powiązane. Na podstawie wprowadzonych do Systemu kolejnych danych geologicznych model przestrzenny złoża powinien automatycznie się aktualizować.

Utworzona baza danych musi zapewniać możliwość dostosowania jej do bieżących potrzeb zakładów górniczych oraz do przepisów prawa. Przykładowo – oprogramowanie powinno umożliwiać tworzenie specyficznych znaków graficznych ustalonych w kartach map poszczególnych zakładów górniczych czy też pozwalać na zwiększenie ilości parametrów opisujących przestrzeń złoża.

Mapy numeryczne powinny być mapami obiektowymi (z odwołaniami do baz danych) sporządzonymi w oparciu o dokumenty kartograficzne (mapy podstawowe wyrobisk górniczych i przekrojów geologicznych, profile otworów i wyrobisk) oraz wyniki pomiarów geodezyjnych i geologicznych udokumentowanych w dziennikach pomiarowych.

Efektom wdrożenia numerycznego modelu złoża powinno być prowadzenie górniczych map podstawowych, przeglądowych i specjalnych w formie numerycznej w tym tworzenie przekrojów geologicznych, kart otworowych, profili otworów i wyrobisk górniczych. Powinna istnieć możliwość uzyskania dowolnej mapy tematycznej w wybranej skali a także sporządzania profili podłużnych i poprzecznych.

Wynikowe dokumenty kartograficzne (mapy, przekroje, profile, itd.) muszą spełniać wszystkie wymagania wynikające z przepisów i norm obowiązujących w Polsce, w szczególności wymogi Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 19.06.2002 r. w sprawie dokumentacji mierniczo - geologicznej (Dz.U. z 2002 r. Nr 92, poz. 819) oraz Polskich Norm: PN-G-09000.

Zastosowane technologie i narzędzia powinny pozwalać na stworzenie przestrzennego modelu złoża wspomaganego procedurami ułatwiającymi jego kontrolę i wizualizację, liczącymi objętość, interpolującymi warstwicę.

Przestrzenny model złoża powinien umożliwiać:

- modelowanie struktury stratygraficzno – litologicznej i tektonicznej złoża oraz warunków hydrogeologicznych i geologiczno – inżynierskich w złożu, w którym prowadzone są roboty górnicze,
- obliczenie zasobów węgla kamiennego według zadanych kryteriów,

- wyszukiwanie parceli zasobowych o określonych parametrach, charakteryzujących ilość i jakość zasobów.

Zastosowane w Numerycznym Modelu Złoża rozwiązania powinny przyczynić się do ułatwienia i przyspieszenia pracy oraz optymalizacji procesów wydobywczych. System powinien umożliwiać tworzenie i aktualizacje map na podstawie danych pozyskanych zarówno z bezpośredniego pomiaru szczegółów terenowych, z istniejących map jak i ze zdjęć lotniczych. System musi być wyposażony w pełną bibliotekę znaków umownych, powierzchniowych i górniczych – pozwoli to na automatyzację prac związanych z rysowaniem map.

Zastosowane oprogramowanie inżynierskie powinno pozwolić na wykonanie wszystkich obliczeń geodezyjnych niezbędnych dla zakładu górniczego. Powinno ono umożliwić obliczenie i aktualizację zasobów i parametrów jakościowych oraz obliczenie parametrów wpływów górniczych na powierzchnię i górotwór. Oprogramowanie musi gwarantować wysoką dokładność transformacji układów współrzędnych.

System powinien posiadać możliwość importowania i eksportowania danych ewidencyjnych oraz map i ich fragmentów w standardowych formatach (m.in. XML, DXF, SHAPEFILE). Musi istnieć możliwość włączenia do wdrażanego Systemu numerycznych map powierzchni pozyskanych z zasobów państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (format Ewmapa, Geo-info, dgDialog). System powinien być zintegrowany z systemami wspierającymi procesy produkcyjne (harmonogramowanie prac, projektowanie wentylacji, monitoring zagrożeń, łączność alarmowo - rozgłoszeniowa, przeróbka węgla).

#### **4. Infrastruktura niezbędna dla zbudowania Numerycznego Modelu Złoża**

Wdrożenie w kopalniach technologii numerycznego modelu złoża, dla potrzeb prowadzenia ruchu podziemnego zakładu górniczego, wiąże się z zakupem odpowiedniego sprzętu komputerowego i kreślarskiego oraz odpowiedniego oprogramowania (środowiskowego i użytkowego). Pracownicy, którzy w sposób bezpośredni będą użytkownikami zasobu, powinni zostać przeszkoleni w zakresie obsługi zakupionego sprzętu i oprogramowania. Określone części zasobów dokumentacyjnych będące w posiadaniu działów mierniczo – geologicznych kopalń muszą zostać przetworzone do postaci elektronicznej.

Najważniejsi są oczywiście ludzie, odpowiednio przeszkoleni i umotywowani. Niezbędne jest wybranie, w dostosowaniu do realiów zakładu górniczego, grona osób, które będą w sposób bezpośredni użytkownikami zasobu. Wszystkie te osoby powinny być przeszkolone z podstaw obsługi urządzeń i oprogramowania. Ponadto 3-4 osoby na każdej kopalni powinny swobodnie posługiwać się całością Systemu - wobec nich zakres szkolenia powinien być znacznie poszerzony. Z doświadczeń autorów wynika, że potrzeba około 150 godzin szkoleń dla opanowania podstaw NMZ, a w celu dobrego opanowania oprogramowania konieczna jest wielomiesięczna praca bezpośrednio przy Systemie. W związku z powyższym najlepiej, żeby znaczną część prac związanych z wprowadzaniem danych do bazy wykonali pracownicy kopalni. Z jednej strony tylko oni znają dobrze dane złoża, z drugiej - tylko takie postępowanie pozwala na samodzielne kontynuowanie, po okresie obowiązywania umowy, prac zapoczątkowanych przez zewnętrzną firmę.

Przystępując do budowy Systemu niezbędne jest stworzenie odpowiednich warunków pracy. Dział mierniczo - geologiczny powinien być wyposażony w kilka komputerów, wielkoformatowy ploter, skaner, drukarki laserowe A4, A3, system archiwizacyjny.

Najważniejszym parametrem komputerów jest ilość pamięci operacyjnej. Wygodna jest praca na dwóch monitorach. Skaner powinien umożliwiać skanowanie map na sztywnych blachach. Ważna jest dostępność i niska cena materiałów eksploatacyjnych. Wszystkie komputery powinny pracować w szybkiej i niezawodnej sieci. Podczas projektowania Systemu należy uwzględnić pomieszczenie, biurka, szafkę na archiwum, ewentualne zabezpieczenia antywłamaniowe, przeciwpożarowe itp.

Kolejnym zagadnieniem jest wybór oprogramowania. Najogólniej mówiąc powinno ono wypełniać zadania, jakie postawiliśmy przed Numerycznym Modelem Złoża. W drugiej części artykułu przedstawiono oprogramowanie, które wybrano do wdrożenia w Kompanii Węglowej SA.

## **5. Wybór sposobu pozyskania bazy danych.**

O jakości Systemu decyduje dokładność wprowadzonych danych. Mapa numeryczna łączy prostotę metod graficznych z dokładnością metod analitycznych. Bezpośrednio na niej można wykonywać różnorodne obliczenia: ciąg poligonowy, przebitkę, wymiarowanie ściany itp. Niemniej warunkiem pełnego wykorzystania zalet mapy numerycznej jest wykonanie jej z maksymalną dokładnością.

Wykresy, przekroje geologiczne, powiększenia fragmentów wyrobisk robi się najczęściej dla rejonu gdzie obecnie jest prowadzona eksploatacja. Mapy wyrobisk górniczych tego obszaru powinny być sporządzone na podstawie danych pomiarowych i obliczeniowych.

Rzadziej wykorzystywane mapy można zwektoryzować na podstawie istniejących map podstawowych. Sporadycznie używane można zostawić w postaci rastrowej i w tej postaci włączyć do Systemu.

Mapa numeryczna jest nie tylko obrazem, generowanym w dwóch wymiarach. Już podczas jej tworzenia należy dołączyć do niej istotne, niegraficzne informacje, które ułatwią nam pracę w przyszłości. Przykładowo dla punktu poligonowego można dołączyć takie atrybuty jak: numer punktu, nazwę i metr bieżący wyrobiska, rzędną spągu pokładu, numer i stronę książki obliczeń współrzędnych i dziennika pomiarowego.

Warto zastanowić się nad stworzeniem cyfrowego archiwum – zeskanowaniem całości dokumentacji mierniczo – geologicznej. Po wykonaniu odpowiednich indeksów w szybki sposób, bezpośrednio z poziomu mapy numerycznej, będzie możliwy dostęp do szukanego fragmentu planu ruchu, dokumentacji geologicznej itp.

## **6. Korzyści z wprowadzenia numerycznego modelu złoża**

Zbudowanie numerycznego modelu złoża (wraz z założoną w nim siecią wyrobisk górniczych) z pewnością przyczyni się do podniesienia efektywności i jakości planowania górniczego.

Model zapewnia szybki i stosunkowo łatwy dostęp do zgromadzonych danych mierniczo – geologicznych, co ma szczególne znaczenie w momencie zaistnienia zagrożenia lub wypadku. Łatwy dostęp do danych przestrzennych dotyczących usytuowania wyrobisk górniczych umożliwia bowiem szybką reakcję. Dodatkowo System zapewnia szybką wymianę informacji drogą elektroniczną pomiędzy służbą mierniczo – geologiczną, a pozostałymi służbami technicznymi korzystającymi z narzędzi informatycznych.

NMZ pozwala na pełniejsze wykorzystywanie w procesie projektowania górniczego informacji zgromadzonych i przechowywanych przez służbę mierniczo – geologiczną.

Zmniejsza to ryzyko popełnienia błędu np. wskutek pominięcia pewnych istotnych informacji. Ułatwia również sporządzenie planu ruchu zakładu.

System daje sposobność przeprowadzenia, bez dodatkowego nakładu pracy, wielowariantowych analiz danego zjawiska i symulacji danego rozwiązania. Wpływa to na zwiększenie trafności decyzji inwestycyjnych podejmowanych na podstawie uprzednio zweryfikowanych danych przestrzennych oraz na minimalizację kosztów szkód górniczych.

System wykonuje obliczenia zasobów złoża, strat i eksploatacji na bazie wprowadzonych danych. Ułatwia planowanie prowadzenia wyrobisk udostępniających złoża oraz wyrobisk eksploatacyjnych - z uwzględnieniem wszystkich danych przestrzennych.

Umożliwia łatwiejsze i szybsze rozwiązywanie problemów przebitkowych dla prowadzonych wyrobisk górniczych oraz wyznaczanie otworów wiertniczych dla rozpoznania złoża i zagrożeń. Zapewnia łatwość w planowaniu różnych rozwiązań w zakresie rozcinki złoża i daje możliwość szybkiego wyboru optymalnego wariantu rozwiązania w oparciu o dane uzyskane z cyfrowego modelu złoża.

Na powierzchni terenu można wygenerować warstwicę przypuszczalnych zalewisk a w obrębie złoża - warstwicę pokładów oraz podziemnych zbiorników wodnych.

W zależności od bieżących potrzeb można plotować mapy górnicze i powierzchniowe w dowolnych skalach oraz generować dowolne profile i przekroje. Istnieje również możliwość wizualizacji planowanych robót górniczych.

System przyspiesza prace kameralne dzięki zapisywaniu odczytów bezpośrednio z instrumentów pomiarowych do bazy danych.

Dane wszystkich działów technicznych kopalni gromadzone są w jednym modelu oraz zapisywane w jednej bazie (w jednym miejscu). Umożliwia to przegląd danych dotyczących urządzeń oraz czujników kontrolnych wszystkich działów technicznych kopalni z poziomu jednego stanowiska

Informacje zapisane w postaci cyfrowej, są zabezpieczone na wiele sposobów. Możliwe jest wersjonowanie danych, porównanie co zostało zmienione w danym okresie czasu.

Korzyści z upowszechnienia nowych technik należy rozważać w dłuższej perspektywie czasu. Zachowanie przez kopalnię konkurencyjności na coraz trudniejszym rynku węgla kamiennego zależy będzie m.in. od umiejętności wykorzystywania w procesach projektowania i prowadzenia robót górniczych, pojawiających się coraz doskonalszych narzędzi pozwalających na zwiększanie efektywności działań oraz na minimalizację ryzyka wynikającego ze specyfiki środowiska, w którym realizowana jest działalność górnicza.

## **7. Prace Standaryzacyjne**

W celu zapewnienia funkcjonalności i użyteczności numerycznego modelu złoża należy określić pewne standardy pracy czyli ustalić w jaki sposób efektywnie zorganizować przebieg prac wdrożeniowych. Standaryzacja pozwoli bowiem na zwiększenie wydajności i jakości pracy.

Pracę z Systemem powinno się rozpocząć od zdefiniowania struktury katalogów lokalnych i sieciowych oraz dysków wirtualnych. Ważny jest jednorodny sposób stosowanego nazewnictwa: katalogów, plików, raportów np. z kalibracji rastra. Należy ustalić zakres i sposób nadawania uprawnień do podglądu i edycji bazy dla poszczególnych grup użytkowników.

Następnie ustalamy technologię skanowania (sposób kalibracji skanera, rozdzielczość, ilość kolorów, format kompresji,) i kalibracji map (czy do kalibrowania wykorzystujemy siatkę

czy punkty osnowy, jaki będzie dopuszczalny stopień wielomianu, czy zastosujemy korekty Hausbrandta).

Trzeba również zebrać informacje o układach współrzędnych, skalach i podziałach sekcyjnych stosowanych na danej kopalni oraz uzgodnić sposób tworzenia współczynników transformacji pomiędzy poszczególnymi układami kopalnianymi a układami państwowymi.

Kolejna sprawa to uzgodnienie technologii wektoryzacji map analogowych. W jej ramach należy zdefiniować:

- warstwy tematyczne – należy określić ich ilość, nazewnictwo i obiekty, które będą znajdować się na danej warstwie. Warstw nie powinno być zbyt dużo, nadmierna ilość - większa niż 30-40, utrudnia posługiwanie się nimi. Warstwa tematyczna nie może być główną a tym bardziej jedyną cechą umożliwiającą wyfiltrowanie obiektów o zadanych parametrach.
- nazewnictwo znaków umownych i ich danych opisowych – atrybutów. Każdy obiekt mapy powinien mieć dołączone opisowe, niegraficzne informacje, które w jednoznaczny sposób określają jego parametry np. nazwę wyrobiska, numer punktu osnowy, zrzut uskoku, kto i kiedy dany obiekt utworzył itp. Dzięki tym danym możliwy jest wybór obiektów spełniających dane kryteria.
- nienormowane znaki umowne oraz znaki niezgodne z normą. Polskie Normy wielu znaków nie definiują w jednoznaczny sposób, szczególnie brakuje informacji jakie atrybuty obiektu są wymagane. Ponadto niektóre znaki, takie jak np. otwory wiertnicze, są zbyt duże (nie mieszczą się w wyrobisku) dla najczęstszej skali 1:2000. Warto w związku z tym utworzyć własny, zwymiarowany, dobrze opisany zestaw wszystkich stosowanych znaków, zarówno normowanych jak i nienormowanych.
- zawartość map podstawowych i pochodnych. Niemal na każdej kopalni treść danej mapy jest nieco inna. Przykładowo: analiza chemiczna węgla, długość pochyłego otworu wiertniczego, typowa obudowa wyrobisk itp.
- właściwe kolory na wydruku dla różnych rodzajów materiałów takich jak kalka, folia, papier.
- kolejność wyświetlania obiektów na mapie. Powinno się pogrupować obiekty według ważności np. ociosy – miąższości – kreskowanie ścian, czyli: miąższości przykrywają kreskowanie ścian i są z kolei przykrywane przez linie ociosów.

Kolejna sprawa to uzgodnienie sposobu adaptacji tych materiałów i map, które są już w postaci cyfrowej. (Poniewiera i Sikora, 2007). Należy zwrócić uwagę na konieczność bardzo drobiazgowej kontroli wykonanego przetworzenia map. Najłatwiej kontrolę taką przeprowadzić poprzez wizualne porównanie wyplotów map sprzed i po konwersji.

Przed przystąpieniem do aktualizacji map trzeba ustalić technologię wykonywania tych prac, zdefiniować sposób obiegu dokumentów (źródłowych i wynikowych Systemu) wewnątrz działu mierniczo – geologicznego oraz ustalić wzory dokumentacji dla wykresów, przekroi, kart otworu, wymiarowania parceli itp.

Zespół standaryzacyjny powinien także ujednoczyć kwestie związane z tworzeniem map pochodnych. Idea mapy numerycznej jest taka, że istnieje tylko jedna baza danych, do której dany obiekt wprowadzany jest tylko raz. Można jednak, dzięki zastosowaniu odpowiednich programów, wygenerować z tej bazy wybraną mapę tematyczną w dowolnej skali. W efekcie użytkownik otrzymuje mapę zawierającą dokładnie taką treść jakiej potrzebuje. Podczas przeskalowania powinny zostać uwzględnione: odpowiednia (zgodna z normami) wielkość i kształt znaków umownych, wysokość opisów, generalizacja treści mapy, uczytelnienie mapy (dobranie optymalnego położenia opisów). Trudno to wykonać całkowicie automatycznie,

szczególnie jeżeli chcemy, żeby uzyskana mapa pochodna była wierną kopią istniejącej mapy analogowej (Poniewiera i Zientek, 2005).

Kolejnym zagadnieniem jest uzgodnienie technologii budowy modelu przestrzennego wyrobisk górniczych (Krawczyk, 2008, Muras i Poniewiera, 2007). Skrótowo można powiedzieć, że najpierw należy zdecydować jaką funkcję będzie pełnił ten model gdyż od tego zalec będzie technologia jego sporządzania oraz stopień generalizacji i dokładności. Model taki może zostać utworzony na podstawie osi wyrobisk lub na podstawie ociosów i przekrojów poprzecznych wyrobiska. Drugi sposób jest dokładniejszy niemniej zużywa znacznie więcej zasobów komputera. Zwykle najlepsze jest połączenie tych dwóch metod.

Uwaga zespołu standaryzacyjnego powinna skupić się również na wizualizacji wpływu eksploatacji na środowisko (Białek i Poniewiera, 2004) Podstawowym zagadnieniem jest tutaj dwukierunkowa komunikacja NMZ z programami liczącymi deformacje terenu górniczego. Istotny jest sposób przedstawiania wyników obliczeń prognostycznych na mapach, wygląd raportów i ustalenie jakie atrybuty będą gromadzone o obiektach budowlanych (adres, rodzaj obiektu, ilość kondygnacji, kubatura, rok budowy, kategoria odporności, itd.)

Należy także uzgodnić technologie budowy przestrzennego i jakościowego modelu złoża. Jednym z podstawowych zagadnień jest określenie parametrów opisujących złoża i parcele eksploatacyjne (nazwa pokładu, nazwa ściany, sposób kierowania stropem, data rozruchu i zakończenia, miąższość pokładu, rodzaj zasobów, typ węgla, głębokość zalegania, wartość opałowa, zawartość popiołu, zawartość siarki, średni upad, rodzaj filara ochronnego, kategoria poznania złoża, gęstość przestrzenna, i inne.)

Kolejnym zagadnieniem jest sposób udostępnienia bazy pozostałym działom kopalni. Należy ustalić jak często będą aktualizowane mapy na serwerze oraz w jaki sposób pracownicy innych działów będą dodawali do bazy własne informacje np. atrybuty tam wentylacyjnych, kierunki przepływu powietrza, projektowane wyrobiska, trasy kolejek podwieszanych, transformatory, linie telefoniczne, kategorie odporności budynków itd.

Trzeba też uzgodnić procedury wymiany danych z firmami i urzędami współpracującymi z kopalnią.

## **8. Organizacja i przebieg procesu wdrażania Systemu Numerycznego Modelu Złoża w Kompanii Węglowej SA**

Podstawowym celem wdrożenia jest to aby w wyniku jego realizacji każdy zakład górniczy w okresie dwóch lat uzyskał możliwość samodzielnego sporządzania map numerycznych i tworzenia numerycznego modelu złoża.

Przebieg procesu wdrożenia krótko można przedstawić w następujących etapach:

- Zaprojektowanie systemu.
- Dostarczenie sprzętu i oprogramowania, przygotowanie stanowisk pracy
- Przeprowadzenie szkoleń pracowników.
- Tworzenie numerycznego modelu złoża - przy współudziale pracowników Kompanii.
- Wsparcie techniczne i dostarczanie nowych wersji oprogramowania.

W Kompanii Węglowej SA zastosowano architekturę bazującą na zintegrowanym pakiecie następujących aplikacji inżynierskich:

- **AutoCad Civil 3D.** Program ten jest produktem firmy Autodesk – lidera na rynku firm komputerowego wspomaganie prac projektowych CAD - co gwarantuje stabilny rozwój jej produktów w przyszłości. Nie bez znaczenie jest szeroka znajomość tego produktu wśród inżynierów na kopalniach oraz dostępność na rynku bogatej literatury odnośnie tego



oprogramowania. AutoCAD Civil 3D zawiera zarówno AutoCADa, AutoCADa MAP jak i ma pewne dodatkowe funkcje dla geodetów i inżynierów. Civil 3D umożliwia trójwymiarowe modelowanie np. wykonuje analizy hydrologiczne uwzględniające zarówno ukształtowanie terenu jak i rodzaje gleb. Umożliwia sporządzanie powierzchni różnymi metodami, liczy objętość, interpoluje izolinie, generuje przekroje. Jeżeli w modelu zmienimy jeden punkt wszystkie izolinie, przekroje, raporty mogą być automatycznie zaktualizowane. Oprogramowanie to umożliwia również integrację z relacyjnymi bazami danych, wykonywanie topologicznych analiz, ściśle wyrównanie sieci geodezyjnych, projektowanie klotoid i wiele innych.

- **Oracle Spatial.** Oprogramowanie relacyjnej bazy danych w formacie przestrzennym. Pozwala na zgromadzenie w jednej bazie modelu złoża obejmującego obszar całej Kompanii Węglowej. Moduł Spatial dostarcza wydajnych funkcjonalności umożliwiających przechowywanie, dostęp oraz analizę danych topologicznych. Może np. wykonać polecenie: Pokaż miejsca w wyrobiskach oddalone o więcej niż 100 m od najbliższego telefonu. Umożliwia przeglądanie map z poziomu przeglądarki internetowej (bez potrzeby posiadania AutoCADa).
- **EDBJ** to program służący do modelowania skutków robót górniczych w górotworze i na powierzchni terenu. Program autorstwa prof. Jana Białka bazuje na klasycznej teorii całkowej ale uwzględnia w obliczeniach szereg dodatkowych parametrów takich jak np. rozwój eksploatacji w czasie. Umożliwia to ocenę wpływu czasoprzestrzennej koordynacji frontów wybierania na wielkość maksymalnych deformacji terenu górniczego. Usprawnia wykonywanie różnorodnej dokumentacji w tym na utworzenie Opinii Działu Mierniczo – Geologicznego.
- **GEONET** to pakiet kilkudziesięciu programów, realizujących użyteczne w produkcji geodezyjnej i kartograficznej zadania obliczeniowe. Obejmują one osnowy geodezyjne dowolnych klas, w tym sieci mierzone techniką GPS, pomiary sytuacyjno - wysokościowe, topografię numeryczną, układy współrzędnych, transformacje, zadania geodezji inżynierskiej, górniczej, analizę przemieszczeń poziomych i pionowych. Współpracuje z elektronicznymi instrumentami geodezyjnymi.
- **System obsługi kopalnianych map numerycznych GEOLISP** pozwala na automatyzowanie najczęstszych prac w zakresie sporządzania dokumentacji kartograficznej: map, szkiców, wykresów i profili geologicznych. Zawiera procedury napisane na potrzeby działów: mierniczo-geologicznego, wentylacji, przygotowania produkcji i innych. Pozwala na wykonanie map płaskich i przestrzennych zgodnie z obowiązującymi przepisami na podstawie danych pozyskanych zarówno z bezpośredniego pomiaru szczegółów terenowych, z istniejących map jak i ze zdjęć lotniczych. Program zawiera bogatą bibliotekę znaków umownych powierzchniowych i górniczych. Wyposażony jest w moduł do kalibracji rastrów.

Cały projekt wdrożenia systemu został podzielony na osiem etapów. Przez cały okres realizacji będą prowadzone szkolenia z różnych zagadnień związanych z tworzeniem numerycznego modelu złoża.

- Etap I rozpoczął się od uzgodnienia Projektu Systemu i realizacji prac wdrożeniowych. Powołano zespoły projektowe. Pierwsza grupa osób została przeszkolona w zakresie podstaw posługiwania się aplikacjami: AutoCAD, Geonet, EDBJ, Geolisp. Dostarczono i zainstalowano sprzęt: stacje robocze, skanery, plotery. Uruchomiono główny serwer, skonfigurowano na nim system archiwizacji. Pracownikom kopalń zostały przyznane

odpowiednie uprawnienia sieciowe. Rozpoczęto prace standaryzacji znaków umownych oraz sposobu transformacji różnych układów współrzędnych.

- Głównym celem II etapu jest zeskanowanie i skalibrowanie przewidzianych do wektoryzacji map podstawowych. Zeskanowanych będzie ponad 800 sekcji. Za mapę prawidłowo zeskanowaną uważa się taką, która umożliwia odczytanie z monitora treści widocznych w oryginale. Choć oczywiście podczas wektoryzacji może wystąpić potrzeba zajrzenia do oryginału mapy i odczytania niewidocznej treści np. przy pomocy lupy. Zdecydowano, że mapy kolorowe będą skanowane w rozdzielczości 200 DPI, mapy czarno-białe dobrej jakości będą skanowane w rozdzielczości 400 DPI, mapy czarno-białe gorszej jakości będą skanowane w skali szarości w rozdzielczości 200 DPI.

W procesie kalibracji będą wykorzystane wszystkie widoczne na mapie przecięcia linii siatki. Należy zwrócić uwagę aby stopień wielomianu kalibracji nie był za wysoki. Podobnie jak przy transformacji map powinien zostać ustawiony jak najniższy stopień, dla którego błąd jest dla operatora satysfakcjonujący. Przy równomiernie rozłożonych 50 punktach zwykle odpowiedni jest 2 - 3 stopień, natomiast poniżej 15 punktów rekomendowany stopień kalibracji wynosi 1.

W module kalibracji, dostępnym w programie Geolisp, istnieje możliwość wprowadzenia poprawek powodujących dodatkowe naciągnięcie rastra w pobliżu punktu dopasowania (daje to efekt idealnego naciągnięcia krzyżyka rastra na krzyżyk sekcji). Jest to pomocne przy drukowaniu map hybrydowych, natomiast przy wektoryzacji rastra może wprowadzić niepotrzebną deformację.

- Efektem finalnym III etapu będzie mapa wektorowa dla blisko półtora tysiąca sekcji. W ramach prowadzonych prac zostaną zaadaptowane istniejące na kopalniach mapy numeryczne. Mapy będą częściowo utworzone na podstawie dzienników pomiarowych, starsze wyrobiska zostaną wniesione metodą wektoryzacji zeskanowanych uprzednio map podstawowych. W celu zwiększenia dokładności mapy oraz umożliwienia wykorzystania obiektów na mapie do bezpośrednich obliczeń, zalecono wprowadzać ważniejsze obiekty (np. punkty osnowy) na podstawie współrzędnych.

Wektoryzacja polega na przerysowaniu mapy analogowej do komputera. Jej dokładność zależy od jakości kalibracji i w dużym stopniu od operatora wykonującego mapę. Oprogramowanie Geolisp zawiera bibliotekę znaków umownych, w pełni zgodnych z odpowiednimi przepisami. Każde polecenie potrzebne do wektoryzacji mapy można wywołać z klawiatury, z menu rozwijalnego lub uruchomić je klikając na ikonę na pasku narzędzi. Oprogramowanie rozpoznaje jak konkretny znak powinien się zachować podczas wstawiania, czy go obrócić, czy wpasować, czy i jakie pytanie o atrybuty zadać, np. automatycznie przeskalowuje i obraca tamę w wyrobisko. Podczas wektoryzacji program umieszcza poszczególne obiekty na właściwych warstwach tematycznych, uzupełnia odpowiednie dane dodatkowe.

W tym etapie zostanie uruchomiona infolinia (helpdesk) w celu udzielania wsparcia przy rozwiązywaniu trudnych problemów.

Etap zakończy wykonanie wyplotów map i drobiazgowo porównanie ich z oryginałami, aby uzyskać pewność, że wszystkie obiekty z map analogowych zostały poprawnie wprowadzone do Systemu. Wygląd graficzny mapy komputerowej nie może się różnić od wyglądu mapy wykonanej metodą tradycyjną (wystąpią pewne różnice wynikające z zestandaryzowania znaków umownych i wprowadzenia części wyrobisk ze współrzędnych)

- Etap IV poświęcony jest aktualizacji map numerycznych i tworzeniu map pochodnych. Częstym błędem przy tworzeniu systemów numerycznych jest nie aktualizowanie na bieżąco

bazy danych. Powoduje to, że po skończeniu wektoryzacji Systemu nie można go wykorzystać; budzi to zniechęcenie i może spowodować odstawienie wdrożenia na przysłowiową półkę. W tym przypadku pracownicy kopalń uczestniczą w tworzeniu Systemu, to oni wektoryzują mapy. Powinno to zapewnić płynne przejście do etapu aktualizacji zwektoryzowanych map. System umożliwia aktualizację baz danych zarówno na podstawie pomiaru bezpośredniego, zeskanowanych map, jak i na podstawie ortofotomap. Istnieje możliwość odczytu i zapisu plików tekstowych w wielu różnych formatach, również w różnych układach współrzędnych. Niemal wszystkie obliczenia geodezyjne, wcięcia, ciągi poligonowe, przebitki można wykonać bezpośrednio na mapie numerycznej. Do wykonywania skomplikowanych obliczeń geodezyjnych (wyrównanie osnowy, wielomianowa transformacja współrzędnych) będzie wykorzystywany Geonet autorstwa prof. Romana Kadaja.

W tym etapie rozpoczęte zostaną również prace przy tworzeniu map pochodnych. Geolisp pomaga przy przeskalowaniu i generalizacji map, niemniej pewna część pracy musi być wykonana ręcznie. Program automatycznie podmienia symbole, powiększa napisy, po stronie operatora jest generalizacja treści mapy i pozycjonowanie napisów. Dodatkowo istnieją programy, które w automatyczny lub półautomatyczny sposób pomagają w wykonaniu tego zadania np. istnieje procedura, która wyszukuje nieczytelne opisy, a po odnalezieniu prosi o wskazanie nowego położenia tekstu.

Istnieje również moduł transformacji map numerycznych między różnymi układami współrzędnych, np. SG i układem 1965. Trzeba tu podkreślić, że każda kopalnia posiada tak naprawdę swój lokalny układ współrzędnych i należy konkretnie dla niej opracować współczynniki transformacji. Kopia wszystkich map zostanie przetworzona do układu 2000/6, aby z poziomu Centrali Kompanii Węglowej mieć dostęp do jednolitych danych.

Jedną z podstawowych zalet systemów numerycznych jest łatwość wykonywania różnorodnej dokumentacji na podstawie wprowadzonej jednorazowo informacji. Przykładami takiej dokumentacji, która w tym etapie będzie wykonywana są: sporządzanie wykresu spągu wyrobiska, wymiarowanie parceli eksploatacyjnej, wykonanie przekroju geologicznego chodnika.

- Etap V przewiduje wykonanie przestrzennego modelu wyrobisk górniczych istniejących i projektowanych.

System zawiera polecenie umożliwiające automatyczne utworzenie brył wyrobisk na podstawie mapy płaskiej - linii ociosów, kot wysokościowych i rodzaju obudowy. Bryły mogą być budowane na podstawie osi wyrobisk, czyli w sposób uproszczony, lub na podstawie rzeczywistych wymiarów ociosu - dzięki temu odwzorowana jest każda wnęka. Jednocześnie tworzone są 4 bryły: wewnątrz - powietrze zawarte w wyrobisku (dla obliczenia objętości), lewy i prawy ocios oraz spąg wyrobiska. Pozwala to na wirtualne spacerowanie po kopalni oraz pokazanie maszyn znajdujących się wewnątrz wyrobisk. Bryłom wyrobisk korytarzowych nadawane są takie atrybuty jak: nazwa wyrobiska, data rozpoczęcia i zakończenia prac, dane dotyczące wykonawcy itp. Umożliwia to wyfiltrowanie obiektów spełniających dane kryterium np. pokazanie stanu wyrobisk na dany dzień. Atrybuty te pobierane są automatycznie z danych dodatkowych punktów osnowy znajdujących się w wyrobisku

Do Systemu włączone zostaną przykładowe mapy powierzchni aby można wizualizować skutki robót górniczych. Oprogramowanie EDBJ-OPN1W autorstwa prof. Jana Białka umożliwia prognozowanie skutków robót górniczych w górotworze i na powierzchni terenu. Jest ono zintegrowane z całością Systemu, możliwe jest: tworzenie danych wejściowych na podstawie numerycznej bazy danych, zaznaczenie na mapie obiektów o

kategorii odporności niższej od kategorii prognozowanych wpływów, sporządzanie różnorodnych raportów.

Kolejną możliwością systemu jest nakładanie, dodawanie, odejmowanie powierzchni. Mając np. powierzchnię terenu, od której odejmiemy prognozowane obniżenia otrzymamy docelową powierzchnię. Nakładając tę powierzchnię na poziom lustra wody lub na miejsca występowania gleb nieprzepuszczalnych możemy otrzymać miejsca potencjalnych zalewisk.

- Celem VI etapu jest stworzenie przestrzennego modelu złoża. Temat szczerzej został omówiony w (Poniewiera, 2008). Do budowy NMZ wykorzystane zostaną dane automatycznie pobrane z map podstawowych: wysokości spągów pokładów i ich miąższości. Dodatkowo zostaną wprowadzone dane z profili szybów, szybików, otworów wiertniczych i z opróbowań.

Budowę modelu rozpoczynamy od wyeliminowania błędnych danych w bazie, pomogą nam w tym następujące czynności:

- zdefiniowanie zakresów, w jakich powinny mieścić się wczytywane dane,
- weryfikacja bliskich punktów, których różnica wysokości jest większa od zadanej,
- wizualna kontrola przebiegu warstw, szczególnie w pobliżu uskoków; pojedynczy punkt nie powinien wymuszać powstania kilku warstw,
- weryfikacja płynności powierzchni w widoku przestrzennym.

W pierwszej kolejności tworzymy powierzchnię miąższości pokładu, następnie jego spąg. Do definicji powierzchni można dodać linie nieciągłości (uskoki, linie zmiany wartości miąższości), które wymuszają triangulację wzdłuż swojego biegu, zapobiegając powstawaniu trójkątów przecinających te linie. System zawiera procedurę, umożliwiającą zaimportowanie uskoków z mapy płaskiej do przestrzennej. Linia uskoku na mapie płaskiej zamieniana jest na dwie linie, których odległość pozioma i pionowa zależy od zrzutu i kąta nachylenia uskoku. Następnie tworzymy powierzchnię stropu pokładu, którą otrzymuje się poprzez dodanie do powierzchni spągu jego miąższości. W jednym rysunku może być dowolna liczba warstw geologicznych.

AutoCAD Civil umożliwia nam uzyskanie przekroju przez górotwór. Istnieją odpowiednie procedury do obliczania zasobów węgla kamiennego wg zadanych kryteriów i do wyszukiwania parcel zasobowych o określonych parametrach.

Kolejną możliwością systemu jest aproksymacja przebiegu złoża na podstawie sąsiednich pokładów. Do powierzchni spągu pokładu wyżej leżącego (uwzględniającego tektonikę) dodajemy powierzchnię utworzoną z różnic odległości w otworach wiertniczych między tymi pokładami. W ten sposób uzyskujemy spąg szukanego pokładu.

- Wynikiem rozbudowy warstwy integracyjnej, która planowana jest na etap VII, będzie przetestowanie łączności z bazą Oracle i udostępnienie funkcjonalności jakie daje oprogramowanie Oracle SOA Suite.

- W VIII etapie nastąpi przekazanie dokumentacji projektowej w tym dokumencie o nazwie „Standard Mapy Górniczej w Kompanii Węglowej SA”, zawierającego rezultat prac Zespołu Standaryzacyjnego. W tym ostatnim etapie zostanie również przetestowane samodzielne prowadzenie Systemu na poszczególnych kopalniach.

## **9. LITERATURA**

Białek J., Poniewiera M.: Wykorzystanie systemu obsługi kopalnianych map numerycznych dla celów prognozowania deformacji terenu górniczego. Materiały naukowe XI Międzynarodowego Sympozjum „Geotechnika – Geotechnics 2004”, Gliwice – Ustroń, 2004.

Krawczyk A.: Zastosowanie Microstation do wizualizacji i animacji 3D w górnictwie. Materiały naukowe VII konferencji naukowo-technicznej „Ochrona środowiska na terenach górniczych”, Szczyrk, 2008.

Kujawski P., Poniewiera M.: Budowa systemu obsługi kopalnianych map numerycznych, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie – miesięcznik WUG nr 10(134)2005.

Muras W., Poniewiera M.: Budowa schematu przestrzennego wyrobisk górniczych, Zeszyty naukowe Pol. Śl., Gliwice, 2007.

Poniewiera M.: Generowanie numerycznego modelu złoża w programie Autocad Civil 3D 2008. Materiały naukowe VII konferencji naukowo-technicznej „Ochrona środowiska na terenach górniczych”, Szczyrk, 2008.

Poniewiera M., Sikora P.: Konwersja map numerycznych. Zeszyty naukowe Pol. Śl. Gliwice, 2007

Poniewiera M., Zientek D.: Technologia generowania map pochodnych, w różnych skalach, na podstawie numerycznej mapy podstawowej, Materiały konferencji naukowo-technicznej „VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych”. Ustroń 2005.