

JACEK CHEŁMIŃSKI*, MACIEJ TOMASZCZYK*, MARCIN SŁODKOWSKI*,
GRZEGORZ CZAPOWSKI*, GRZEGORZ MISIEK**

**Informatyczny system rejestracji zagrożeń wodnych
w Kopalni Soli Kłodawa
w Kłodawskim Wysadzie Solnym
(Centralna Polska)**

Wprowadzenie

Ponad 50-letnia eksploatacja złoża soli w wysadzie kłodawskim zaowocowała bogatą dokumentacją geologiczną górotworu (np. Werner 1972; Werner i in. 1960) oraz dokumentacją zagrożeń wodnych występujących w kopalni. Konieczność ciągłego monitorowania i prognozowania tych zjawisk zrodziła ideę numerycznego uporządkowania danych archiwalnych o budowie geologicznej złoża oraz ich powiązania z parametrami stwierdzonych wycieków wodnych (Chełmiński i in. 2007). Celem takiego przedsięwzięcia było opracowanie specjalnej bazy danych i skonstruowanie na jej podstawie dynamicznego przestrzennego modelu rozmieszczenia wycieków aktywnych i nieczynnych, zarejestrowanych prac wydobywczych oraz wskazanie ewentualnych zagrożeń związanych z tymi zjawiskami. Przy konstrukcji wspomnianej bazy danych wykorzystano wcześniejsze doświadczenia w budowie baz danych i modeli 3D budowy geologicznej cechsztyńskich pokładowych złóż soli kamiennej (Chełmiński i in. 2006; Czapowski i in. 2007; Rossa i in. 2005).

* Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa; e-mail: jacek.chelminski@pgi.gov.pl

** Kopalnia soli „Kłodawa” S. A., Kłodawa

1. Zarys budowy geologicznej Wysadu Kłodawskiego

Kłodawski wysad solny, położony w centrum Polski na obszarze Kujaw (rys. 1A), stanowi centralną część struktury solnej Izbica Kujawska-Kłodawa-Lęczycza i w planie ma zarys wydłużonej elipsy o rozciągłości północny zachód-południowy wschód, długości 26 km i 2 km szerokości (np. Burliga 1997; Burliga i in. 1995; Misiek 1997). W środkowej części wysadu wyznaczono obszar górniczy o długości 8 km i szerokości 2 km, zagospodarowany przez podziemną kopalnię soli Kłodawa.

W przekroju pionowym pień solny ma wysokość ponad 7 km, w swej górnej części jest przechylony ku SW (Poborski 1960, 1971; Ślizowski, Saługa 1996; Werner 1972). Wysad pokryty jest utworami neogenu w części centralnej (rys. 1B), a w części północno-zachodniej, brzeżnej od północnego wschodu oraz w części południowo-wschodniej ponad czapą iłowo-gipsową wysadu występują utwory brekcji złożonej ze skał starszego mezozoiku (triasu i jury dolnej) (Tarka 1991, 1992). Do ściany północno-wschodniej, zapadającej pod kątem 45–60° ku NE, przylegają utwory triasowe i jurajskie, natomiast do ściany południowo-zachodniej, przechylonej pod kątem 80° ku NE, przylegają utwory jurajskie. Zwierciadło solne jest dość urozmaicone, występuje na głębokości od 100 m do 350 m i przykryte jest czapą iłowo-anhydrytowo-gipsową o grubości 100–150 m.

Wewnętrzna budowa geologiczna wysadu przedstawia skomplikowany system struktur fałdowych (rys. 1B), który jest wynikiem procesów halokinezy i silnego zaangażowania tektonicznego. W środkowej części wysadu, poniżej zwierciadła solnego, rozpoznano trzy główne struktury tektoniczne o ogólnym biegu NW: antyklinę południowo-zachodnią, synklinę centralną i antyklinę północno-wschodnią.

Pień solny budują utwory cechsztynu, wśród których do najważniejszych należą następujące solne jednostki litostratygraficzne kolejnych 4 cyklotemów (Burliga i in. 1995; Misiek 1997):

- a) najstarsza sól kamienna (Na1) cyklotemu PZ1 o przypuszczalnej miąższości 200–300 m (Misiek 1997), stosunkowo słabo poznana i trudna do oddzielenia od innych kompleksów soli kamiennych;
- b) starsza sól kamienna (Na2) cyklotemu PZ2 o miąższości do 450 m, będąca głównym obiektem eksploatacji w kopalni. W strefie brzeżnej wysadu sól ta jest silnie zaangażowana tektonicznie (spękania z mineralizacją polihalitem) i tworzy systemy fałdów różnej wielkości;
- c) warstwy przejściowe (Na2-K2; grubość 6–8 m) oraz starsza sól potasowa (K2, miąższości 6–12 m – Chandij 1976) cyklotemu PZ2;
- d) młodsza sól kamienna (Na3, miąższość 124–196 m – Misiek 1997) cyklotemu PZ3, przedzielona pokładem młodszej soli potasowej (K3; miąższość 2035 m; Chandij 1976), który w obrębie NE antykliny brzeżnej na poziomie wydobywczym 600 m tworzą jądro struktury synklinalnej osiągając grubość 42 m;
- e) zuber brunatny (Na3t; grubość 150–180 m; Misiek 1997), budujący synklinalne partie złoża soli w wysadzie;

- f) najmłodsza sól kamienna dolna (Na4a; miąższość 20–140 m np. Czapowski i in. 2005; Misiek 1997; Werner 1972) oraz zuber czerwony/hematytowy (Na4t; miąższość 120–160 m) cyklotemu PZ4.

Mniejszy objętościowo udział w budowie wysadu stanowią ogniwa siarczanowe np. anhydrytu podstawowego (A2), głównego (A3) czy pegmatytowego (A4a), węglanowe (dolomitu głównego – Ca2 i dolomitu płytowego – Ca3) czy ilaste (szary il solny – T3), często tworzące porwaki tektoniczne i budiny. Są one zwykle dobrym kolektorem gazów i cieczy o czym świadczą wycieki siarkowodoru oraz węglowodorów ciekłych i gazowych (np. Chandij 1976; Werner 1972).

Większość spośród 458 (w tym 130 obecnie czynnych) zjawisk wodnych, zarejestrowanych w kopalni od momentu rozpoczęcia eksploatacji, występuje w obrębie ogniów starszej i najmłodszej soli kamiennej, anhydrytu głównego i zubru czerwonego. Przykładowo – w obrębie utworów starszej soli kamiennej (Na2) i towarzyszących siarczanów anhydrytu podstawowego (A2) w północnej części złoża zarejestrowano 175 zjawisk, zaś w części SE – 123 wypływy (29 obecnie czynnych), z kolei w obrębie ogniów anhydrytu głównego (A3) i młodszej soli kamiennej (Na3) stwierdzono 50 wycieków, w tym 15 obecnie czynnych. Stosunkowo mniej – 85 zjawisk (31 czynnych) zaobserwowano w utworach najmłodszej soli kamiennej dolnej (Na4a) i zubru czerwonego (Na4t). Należy jednak podkreślić, że ilość i rozmieszczenie zarejestrowanych zjawisk jest funkcją stopnia rozcięcia złoża, znacznie większego w obrębie eksploatowanych ogniów solnych. Tym niemniej podjęto próbę powiązania wystąpień zagrożeń wodnych i gazowych w kopalni Kłodawa w oparciu o obecny stopień rozpoznania budowy tektonicznej wysadu (Burliga i Misiek 2007).

2. Koncepcja budowy systemu informatycznego

Stworzenie systemu informatycznego, umożliwiającego wizualizację budowy geologicznej Kopalni Soli Kamiennej Kłodawa pozwoli na ocenę ryzyka, związanego z zagrożeniami stwarzanymi przez obecność wycieków wodnych w kopalni. Budowę systemu podzielono na 4 etapy:

- budowa bazy danych mającej na celu cyfrową rejestrację wszystkich danych archiwalnych, w tym dotyczących zjawisk wodnych, zgromadzonych w kopalni (rys. 2),
- budowa modelu przestrzennego obrazującego: lokalizację wycieków, ich charakter, wydajność oraz skład chemiczny wody z wycieków objętych monitoringiem, zaś docelowo – ukazującego budowę geologiczną otoczenia wycieków w całej kopalni,
- wskazanie korelacji między miejscem wystąpienia zjawiska w obrębie wysadu solnego a budową geologiczną.

Zgromadzone dane w stworzonej bazie oraz dokumentacje geodezyjno-kartograficzne pozwalają na wygenerowanie przestrzennego modelu rozmieszczenia zjawisk wodnych w obrębie kopalni wraz jej głównymi elementami infrastruktury takimi jak: szyby, chodniki, komory itp. Dane lokalizacyjne z udokumentowanych wycieków umożliwiają ich dokładne

umiejscowienie w przestrzeni. Z kolei informacje o wydajności i składzie chemicznym wód z poszczególnych wycieków pozwalają na wygenerowanie (4D) 4-wymiarowego modelu (trzy wymiary przestrzenne + czas) aktywności każdego zjawiska oraz wyznaczenie tendencji zmian.

Zarchwizowane dane i zbudowane na ich podstawie modele przestrzenne ułatwiają zarówno prognozowanie wystąpień zagrożeń wodnych jak i – dzięki odpowiedniej interpretacji modeli budowy geologicznej wysadu – właściwe i ekonomiczne planowanie dalszych prac wydobywczych.

Pierwszym etapem poprzedzającym budowę i implementację systemu informatycznego było skonstruowanie modelu logicznego bazy danych. Następnie na podstawie modelu, wygenerowano obiekty bazy danych w postaci: tablic bazy, wzajemnych relacji oraz określenie właściwości pól/atributów zawartych w tablicach.

Podczas prac projektowych założono, że podstawą cyfrowego opisu złoża jest wzorcowy profil litostratygraficzny, zawierający syntezę wiedzy o budowie geologicznej złoża, zgromadzonej w wyniku prac dokumentacyjnych, interpretacyjnych oraz naukowo-badawczych. Zebrane dane w postaci elektronicznej powinny zawierać dane o profilach wiertniczych zawierające charakterystyki litologiczno-geochemiczne (surowcowe) przewierconych utworów i cyfrowy kod spełniający rolę wyróżnika (identyfikatora), pozwalającego na jednoznaczną identyfikację wyróżnionych na danym obszarze warstw według kryteriów systemu wizualizacji przestrzennej.

3. Budowa bazy danych zjawisk wodnych

Podczas prac analitycznych postanowiono, że baza danych oparta będzie na technologii WWW (World Wide Web). Zaproponowano, aby platformą systemową został LINUX SUSE 10.xx., będący systemem operacyjnym typu OpenSource.

Serwerem bazy danych został RDMS – MySQL charakteryzujący się następującymi cechami:

- jest serwerem typu Open Source Software,
- może pracować na dowolnej platformie systemowej,
- zaletą jest wielodostępowość z poziomu przeglądarki (IE, Mozilla, Opera itp.),
- zapewnia bezpieczeństwo danych poprzez elastyczny i bezpieczny system praw i haseł, pozwalający na ich weryfikację na podstawie hosta,
- jest relacyjnym systemem zarządzania bazą danych,
- jest szybki, niezawodny i łatwy w użyciu,
- jest systemem działającym w technologii klient/serwer składającym się z wielowątkowego serwera SQL.

Jako rozwiązanie aplikacyjne został użyty język programowania PHP, charakteryzujący się następującymi cechami:

- jest programem Open Source,

- jest systemem wieloplatformowym, można go uruchomić na niemal każdym systemie operacyjnym – Windows, Linux, Mac i na większości Unixów,
- zawiera niezliczoną ilość specjalnych bibliotek, które znacznie ułatwiają budowanie serwisów internetowych,
- PHP zawiera wiele wbudowanych narzędzi, które ułatwiają pracę z MySQL-em.

Dla potrzeb projektu została opracowana metodyka importu danych zawartych w archiwalnych materiałach piśmiennych, umożliwiającą automatyczne uzupełnienie bazy danych informacjami niezbędnymi dla wielopoziomowych analiz. Opracowano zestaw sparametryzowanych zapytań do bazy, w wyniku których powstały dedykowane raporty.

Eksport danych z bazy odbywa się za pomocą opracowanych skryptów SQL, których wynikiem są zestawienia w postaci plików .txt. Dane w plikach .txt są rozdzielone separatorami, tak aby ich import do oprogramowania np. MS Office oraz do oprogramowania modelującego bryły odbywał się automatycznie.

Zaimplementowany system informatyczny jest systemem modułarnym składającym się z następujących modułów (rys. 3):

- moduł *lokalizacja zjawiska* zawierający następujące dane: współrzędne x, y, rzędna, numer pola, azymut, upad, data zaobserwowania zjawiska, określenie rodzaju skał otaczających zjawisko;
- moduł *stratygraficzny* zawierający dane: jednostki chronostratygraficzne, wydzielienia litostratygraficzne, lokalne wydzielienia litostratygraficzne zawarte w tablicach słownikowych;
- moduł *rejestracja* zawierający: parametr i datę pomiaru wydajności zjawiska;
- moduł *pomiar* zawierający zestawienia wydajności wycieków maksymalnych, średnich i minimalnych;
- moduł *analizy* zawierający parametry geochemiczne wpływających cieczy.

Dodatkowo skonstruowana baza danych może przechowywać informacje o właściwościach mechanicznych skał solnych, w których występuje zjawisko oraz przeprowadzonych badaniach gazowych.

4. Metodyka konstrukcji modeli 3D lokalizacji zagrożeń wodnych w Kopalni Kłodawa

Proces budowy cyfrowego modelu wystąpienia zagrożeń wodnych w kopalni Kłodawa podzielono na trzy etapy:

etap I – przygotowanie danych archiwalnych, obejmujące:

- rejestrację kart wycieków wraz z danymi lokalizacyjnymi,
- digitalizację map poszczególnych sekcji kopalni (w skali 1:1000),
- digitalizację map geologicznych poszczególnych poziomów kopalni.

Digitalizowane mapy zapisano w formacie TIFF, po czym poddano je procesowi geokodowania, czyli do utworzonego pliku rastrowego dodano informacje związane

z orientacją mapy w przestrzeni (w przypadku map kopalni był to lokalny układ współrzędnych x, y, z). Po zakończeniu procesu geokodowania mapy poszczególnych sekcji zostały zaimplementowane w lokacji oprogramowania GRASS GIS, tworząc tym samym bazę danych geoprzestrzennych. Podczas kolejnych czynności informacje zawarte w bazie przekształcono w warstwy wektorowe i podzielono na szczegółowe warstwy tematyczne:

- liniowe – wyrobiska kopalni, komory solne, szyby, pochylnie, granice geologiczne,
- poligonowe – zasięgi wydzielen geologicznych,
- punktowe – wiercenia, zjawiska wodne, miejsca pobrania próbek;

etap II – konstrukcja modelu 3D opartego na trzech głównych komponentach obrazujących:

- infrastrukturę kopalni,
- budowę geologiczną wysadu solnego w obrębie kopalni,
- rozmieszczenie zarejestrowanych zjawisk wodnych.

Tworzenie modelu infrastruktury kopalni (rys. 4) polegało na przekształceniu warstw liniowych 2D (reprezentujących poszczególne elementy infrastruktury: kopalni: korytarze, chodniki, pochylnie, wyrobiska, komory eksploatacyjne, szyby) w trójwymiarowe krzywe.

Dla zobrazowania budowy geologicznej wykorzystano mapy geologiczne poszczególnych poziomów kopalni, potraktowane jako mapy ścięcia poziomego. Zasięgi wydzielen geologicznych na poszczególnych poziomach kopalni zostały ze sobą połączone, dzięki czemu w przestrzeni 3D powstały powierzchnie obrazujące horyzonty geologiczne (spągi/stropy wydzielen). Powierzchnie te odwzorowywane są za pomocą sieci nieregularnych trójkątów (rys. 5A) – technika TIN (ang. *Triangulated Irregular Network*). Przykładowo przedstawiono przestrzenną wizualizację sieci wyrobisk kopalni z rzutem zasięgu występowania wybranych ogniw solnych na określonym poziomie wydobywczym (rys. 4), bryłę określonego ogniw solnego pomiędzy wybranymi poziomami (rys. 5B) uzupełnioną przestrzennym obrazem wyrobisk (rys. 6).

Wygenerowany model lokalizacji zjawisk zagrożenia wodnego w kopalni Kłodawa (rys. 7) ilustruje rozmieszczenie zjawisk wodnych, zarejestrowanych w bazie danych, odniesiony do przestrzeni złoża pomiędzy wybranymi poziomami wydobywczymi i do wykonanych w tej części wysadu wyrobisk. Ułatwia on ocenę możliwych zagrożeń dla istniejących wyrobisk ze strony zarejestrowanych zjawisk w momencie ich ewentualnego zaktywizowania się, gdyż docelowo będzie możliwe wygenerowanie całej historii każdego zjawiska wodnego poprzez bezpośrednie odwołanie do stworzonej bazy danych. W powiązaniu z modelami budowy geologicznej – jako dalszego etapu modelowania budowy wysadu kłodawskiego – możliwe będzie także bardziej precyzyjne powiązanie występowania zagrożeń wodnych z określonymi ogniwami litologicznymi i stratygraficznymi oraz strukturami i strefami tektonicznymi;

etap III – wizualizacja.

Opracowane modele wektorowe 3D zostały zapisane formacie .vtk, który stanowi macierzysty format programu wizualizacyjnego typu VIEWER – ParaView. Program

ParaView jest oprogramowaniem typu OpenSource, umożliwiającym przestrzenną wizualizację wielowymiarowych danych w formatach rastrowych oraz wektorowych. Za jego pomocą można kreować widoki perspektywiczne z dowolnego punktu obserwacji w dowolnym kierunku, co wydatnie polepsza możliwości interpretacyjne stworzonego modelu.

5. Możliwości interpretacyjne systemu dla eksploatacji złoża

Zamierzeniem autorów przedstawionej koncepcji systemu informatycznego jest pełne wykorzystanie opracowanej i rozwijanej bazy danych (geodezyjnych, geologicznych, geochemicznych itp.) dla wykonania cyfrowych modeli kompleksowej budowy geologicznej poszczególnych fragmentów/sekcji kopalni Kłodawa. Modele te zawierają dane o przestrzennym rozmieszczeniu wydzielen geologicznych i ewentualnie kompleksów skał o określonych parametrach surowcowych i geotechnicznych oraz o występowaniu wszelkich zjawisk zagrażających bezpieczeństwu eksploatacji w kopalni np. wodnych i gazowych. Będą też obrazowały infrastrukturę kopalni w wybranym jej wycinku, m.in. rozmieszczenie szybów, chodników, komór eksploatacyjnych itp., czego przykładem są zaprezentowane wstępne modele. Podobna wizualizacja informacji geologicznych i technicznych w postaci brył 3D oraz 4 D (modele uwzględniające zmiany parametrów zarejestrowanych zjawisk w czasie), opracowanych dla wszystkich sekcji kopalni, będzie pomocna w:

- ocenie – dzięki ustaleniu korelacji pomiędzy miejscem wystąpienia zjawiska wodnego czy gazowego a budową geologiczną oraz postępem prac eksploatacyjnych (poprzez wykorzystanie bazy danych geodezyjno-karograficznych kopalni) – ryzyka wystąpienia nowych i aktywizacji starych zagrożeń wodnych i gazowych w kopalni. Pomocne tu będą wykreowane czasowe modele 3D rozwoju zarejestrowanych zjawisk, wykorzystujące wszystkie informacje o danym zjawisku zawarte w bazie danych;
- ekonomicznym planowaniu dalszych kierunków prac wydobywczych dzięki lepszej znajomości przestrzennej budowy złoża (modele 3D) i możliwości wskazania występowania kompleksów solnych o pożądanych parametrach surowcowych, a zarazem – wskazania stref prawdopodobnych zagrożeń (np. silne spękanie górotworu, zawodnienie). Wskazanie ciał solnych o optymalnych parametrach będzie możliwe – wykorzystując zarchiwizowane w bazie danych dane geochemiczne z opróbowania – dzięki wydzieleniu w obrębie cyfrowych modeli brył soli o określonych parametrach

Ostatecznym efektem modelowania winien być całościowy model budowy geologicznej wysadu kłodawskiego w obrębie obszaru kopalni, który z kolei pozwoli na interpretację budowy sąsiadujących części wysadu, nierozpoznanych górniczo. W konsekwencji model ten może być przydatny w dyskusjach nad możliwościami dalszego funkcjonowania zakładu górniczego jako zakładu wydobywczego czy wykorzystania istniejących wyrobisk w innej formie, np. obiekt turystyczno-sanatoryjny czy magazyn bądź składowisko.

Zdaniem autorów, przedstawiony system informatyczny opracowany dla specyficznego przypadku podziemnej kopalni soli, zagospodarowującej tak złożoną strukturę geologiczną jak wysad solny, wydaje się być na tyle uniwersalny i elastyczny, że może być zaadaptowany dla większości kopalni eksploatujących różne kopaliny mineralne, zarówno systemem odkrywkowym (np. węgiel brunatny, kruszywa czy ily ceramiczne) jak podziemnym (węgiel kamienny, sole).

Podsumowanie

Zaprezentowana koncepcja systemu informatycznego, przygotowana dla potrzeb oceny ryzyka zagrożeń wodnych w kopalni soli Kłodawa, została oparta na prostych, sprawnych i dostępnych oprogramowaniach i umożliwia ona:

- a) cyfrową archiwizację danych geologicznych (w tym fizyko-geochemicznych), górniczych i geodezyjno-kartograficznych oraz wykorzystanie ich do różnych interpretacji (np. wykresy aktywności zjawisk wodnych czy gazowych, zmiany wielkości wyrobisk w czasie),
- b) budowę modeli 3D rozmieszczenia zagrożeń wodnych czy gazowych na tle infrastruktury podziemnej kopalni oraz wybranych elementów budowy geologicznej.

Zdaniem autorów opisany system docelowo pozwoli na stworzenie modeli 3D i 4D budowy geologicznej złoża w obrębie obszaru górniczego kopalni Kłodawa oraz szczegółowych modeli dla wybranych partii złoża, zawierających wydzielone litosomy solne o pożądanych parametrach surowcowych. Interpretacja danych z bazy oraz stworzonych modeli będzie użyteczna w: (a) ocenie ryzyka wystąpienia nowych i aktywizacji starych zagrożeń wodnych i gazowych w kopalni oraz (b) racjonalnym planowaniu kierunków prac wydobywczych i przygotowaniu koncepcji funkcjonowania kopalni w przyszłości.

Autorzy bardzo dziękują Recenzentom, dr Ewie Szynkaruk z Państwowego Instytutu Geologicznego i dr. Stanisławowi Burlidze z Uniwersytetu Wrocławskiego za wnikliwą analizę pracy i cenne uwagi, pomocne w nadaniu jej ostatecznej formy.

LITERATURA

- Burliga S., 1997 – Ewolucja wysadu solnego Kłodawy. Mat. konf. pt. Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów 23–25.10.1997. s. 1–14. WIND, Wrocław.
- Burliga S., Kolonko P., Misiek G., Czapowski G., 1995 – Kłodawa Salt Mine. Upper Permian (Zechstein) profile from basin centre, salt tectonics, mineral transformations, salt mining problems. XIII International Congress on Carboniferous-Permian Guide to Excursion A3, s. 45–54. Wydaw. PIG, Warszawa.
- Burliga S., Misiek G., 2007 – O możliwości prognozowania przebiegu stref zagrożeń gazowych i wodnych w złożach soli na przykładzie wysadu solnego Kłodawa. Abstrakty XII Międz. Sympozjum Solnego Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego pt. Przemysł solny w gospodarce, Kłodawa 11–12 października 2007, s. 51–52.

- Chandij M., 1976 – Geochemiczna regionalizacja jakościowa złóż soli w kopalniach kujawskich. *Prace Geologiczne PAN Oddz. w Krakowie*, vol. 91, ss. 80.
- Chełmiński J., Rossa M., Tomaszczyk M., 2006 – Modelowanie przestrzenne budowy geologicznej pokładowych złóż soli kamiennej – numeryczny model przestrzenny cechsztyńskiego złoża soli „Mechelinki” nad Zatoką Pucką. *Prz. Geol.*, 54/4, s. 311.
- Chełmiński J., Tomaszczyk M., Czapowski G., Słodkowski M., Kolonko P., 2007 – Modele przestrzenne 3D wyrobisk kopalni soli kamiennej „Kłodawa” z uwzględnieniem zjawisk i zagrożeń wodnych. *Abstrakty XII Międzynarodowego Sympozjum Solnego pt. Przemysł solny w gospodarce. Kłodawa, 11–12 października 2007 r.*, s. 49–50.
- Czapowski G., Misiek G., Poborska-Młynarska K., Tomassi-Morawiec H., 2005 – Różowa sól kamienna do produkcji galanteryjnych wyrobów solnych – geologiczne warunki występowania, własności i metody pozyskania w kopalni soli „Kłodawa”. *Zeszyty Naukowe AGH, Geologia*, 31/2, s. 167–188.
- Czapowski G., Chełmiński J., Tomaszczyk M., Tomassi-Morawiec H., 2007 – Modelowanie przestrzenne budowy geologicznej osadowych złóż pokładowych na przykładzie cechsztyńskiego złoża soli kamiennej „Mechelinki” nad Zatoką Pucką. *Prz. Geol.*, 55/8, s. 681–689.
- Misiek G., 1997 – Stratygrafia i wykształcenie utworów cechsztynu w wysadzie solnym Kłodawy. *Mat. konf. pt. Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów 23–25.10.1997.* s. 20–23. WIND, Wrocław.
- Poborski J., 1960 – Cechsztyńskie zagłębienie solne Europy środkowej na Ziemiach Polskich. *Prace IG*, t. 30, cz. II, s. 355–366. Warszawa.
- Poborski J., 1970 – The Upper Permian Zechstein in the Eastern Province of Central Europe. *3rd Symposium on Salt*, 1, s. 24–29.
- Poborski J., 1971 – Przewrót w poglądach na tektonikę wysadów solnych w regionie kujawskim. *Materiały z kolokwium na temat: Geologia Salinarna w regionie kujawskim.* Kraków.
- Ślizowski K., Saluga P., 1996 – Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne – sól kamienna. 178 ss. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Rossa M., Chełmiński J., Czapowski G., 2005 – Zastosowanie metod cyfrowania komputerowego dla modelowania przestrzennego (3D) osadowych złóż surowców mineralnych – na przykładzie permskiego złoża soli kamiennej w rejonie LGOM. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia*, 234–235, s. 94–96.
- Tarka R., 1991 – The tectonic evolution of Polish Salt Diapirs. *Bull. Polish Academ. Sciences, Earth Sciences*, 39/1, s. 85–91. Warszawa.
- Tarka R., 1992 – Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. *Prace PIG*, 137, 47 ss. Warszawa.
- Wagner R., 1994 – Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace PIG*, 146, 71 ss. Warszawa.
- Werner Z., 1962 – Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wysadzie solnym, kat. rozp. B+C₁+C₂. 200 ss. CAG PIG [39–27/209], Warszawa.
- Werner Z., 1972 – Dokumentacja geologiczna zasobów złoża soli kamiennej kopalni soli „Kłodawa” w Kłodawie kat. A + B + C1. CAG PIG, Warszawa, 1–111.
- Werner Z., Poborski J., Orska J., Bąkowski J., 1960 – Złoże solne w Kłodawie w zarysie geologiczno-górnictwym. *Pr. Inst. Geol.*, 30/2. Warszawa.

**INFORMATYCZNY SYSTEM REJESTRACJI ZAGROŻEŃ WODNYCH W KOPALNI SOLI KŁODAWA
W KŁODAWSKIM WYSADZIE SOLNYM (CENTRALNA POLSKA)**

Słowa kluczowe

Bazy danych, modelowanie 3D, wysady solne, zagrożenia wodne, Polska

Streszczenie

Opracowano koncepcję budowy systemu informatycznego dla rejestracji (458 zarejestrowanych zjawisk) i oceny potencjalnego ryzyka wystąpień zagrożeń wodnych w kopalni soli Kłodawa w kłodawskim wysadzie solnym. System ten, wykorzystujący proste, sprawne i dostępne oprogramowania, pozwala na:

- cyfrową archiwizację danych geologicznych, górniczych i geodezyjno-kartograficznych oraz wykorzystanie ich do różnych interpretacji np. wykresy aktywności zjawisk wodnych czy gazowych,
- budowę modeli 3D rozmieszczenia zagrożeń wodnych czy gazowych na tle infrastruktury podziemnej kopalni oraz wybranych elementów budowy geologicznej.

Docelowo system ten pozwoli na stworzenie szczegółowych modeli 3D i 4D budowy geologicznej dla wybranych partii złoża oraz całościowych modeli wysadu solnego w obrębie obszaru górniczego kopalni Kłodawa. Interpretacja danych z bazy oraz stworzonych modeli pomoże w: (a) ocenie ryzyka wystąpienia nowych i aktywizacji starych zagrożeń wodnych i gazowych w kopalni oraz (b) racjonalnym planowaniu kierunków prac wydobywczych i przygotowaniu koncepcji funkcjonowania kopalni w przyszłości.

**INFORMATIC SYSTEM OF WATER HAZARD REGISTRATION IN THE KŁODAWA SALT MINE
IN THE KŁODAWA SALT DIAPIR (CENTRAL POLAND)**

Key words

Data bases, 3D modeling, salt diapirs, water hazard, Poland

Abstract

Presented informatic system for registration (458 noticed phenomena) and prediction of potential water hazard in the salt mine Kłodawa exploring the Kłodawa salt diapir (Fig. 1), applying the simple, popular and the effective software, enables:

- digital registration (a data base) of archive geological, mining, geodetic and other data (Figs 2–3) for further processing (e.g. activity diagrams of outflows) and interpretation,
- creation of 3D models, illustrating the water hazards distribution together with the components of mine infrastructure and the selected elements of the diapir geological structure (Figs 4–7).

Similar 3D and 4D models both for the selected parts of the mine as well as for the whole salt diapir within the mining area are planned as a final effect of the system. Their interpretation will be very useful in (a) estimation the risk of occurrence the new and re-activity of the old water (also gas ones) phenomena and in (b) planning both the further economic and safety exploitation and the perspectives of future Kłodawa mine existence.

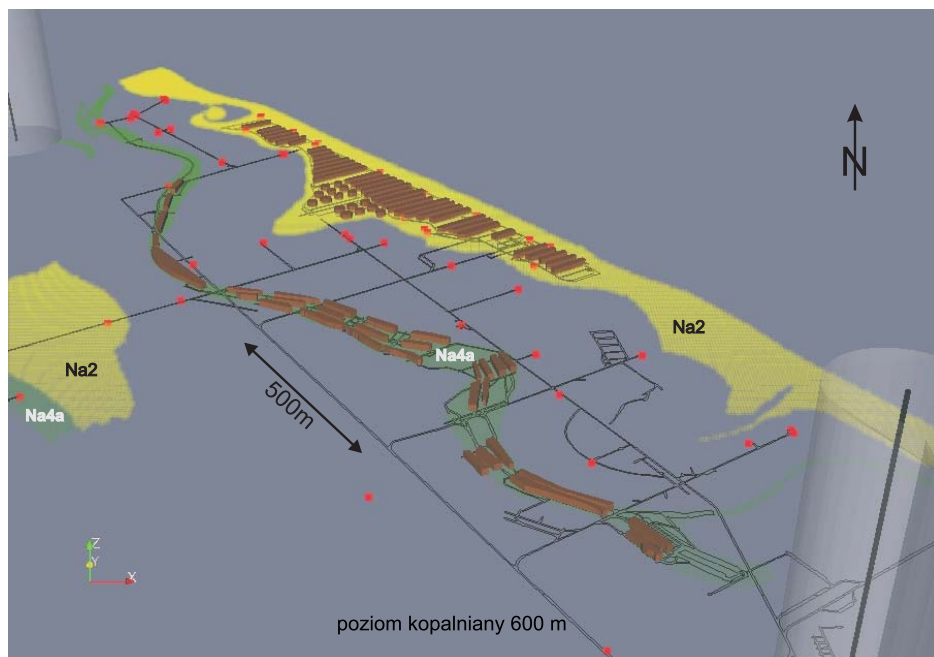


Rys. 2. Menu główne bazy danych wycieków wodnych w kopalni Kłodawa (aplikacja MS Access)

Fig. 2. Main menu of outflows data base registered in the Kłodawa salt mine (MS Access application)

Rys. 3. Okno rejestracji kart wycieków w kopalni Kłodawa zbudowane w technologii WWW

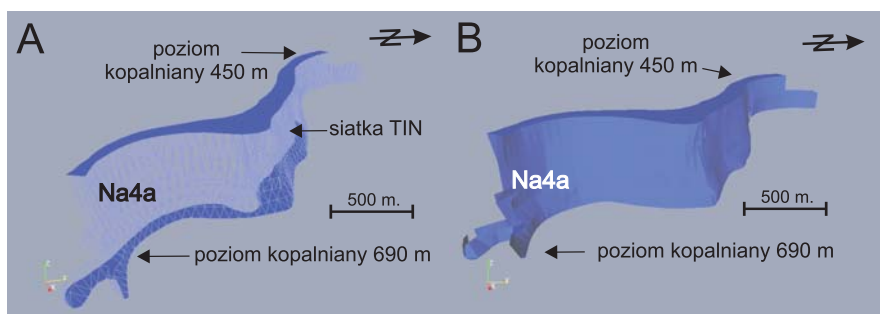
Fig. 3. Outflow registration card for the Kłodawa salt mine built in WWW technology



Rys. 4. Wizualizacja elementów infrastruktury i niektórych ciał solnych na poziomie kopalnianym 600 m w kopalni Kłodawa

czerwone kropki – zarejestrowane zjawiska wodne, poziome czarne linie – chodniki i szyby transportowe, kolor brązowy – komory eksploatacyjne, zasięg wydzielen starszej (Na2 – kolor żółty) i najmłodszej (Na4a – kolor zielony) soli kamiennej

Fig. 4. 3D image of mine infrastructure and some salt bodies at the mining level 600 m of Kłodawa salt mine
red dots – registered outflows, horizontal black lines – corridors and galleries, brown – exploitation chambers, extent of Older Halite (Na2 – in yellow) and Lower Youngest Halite (Na4a in green) salt bodies

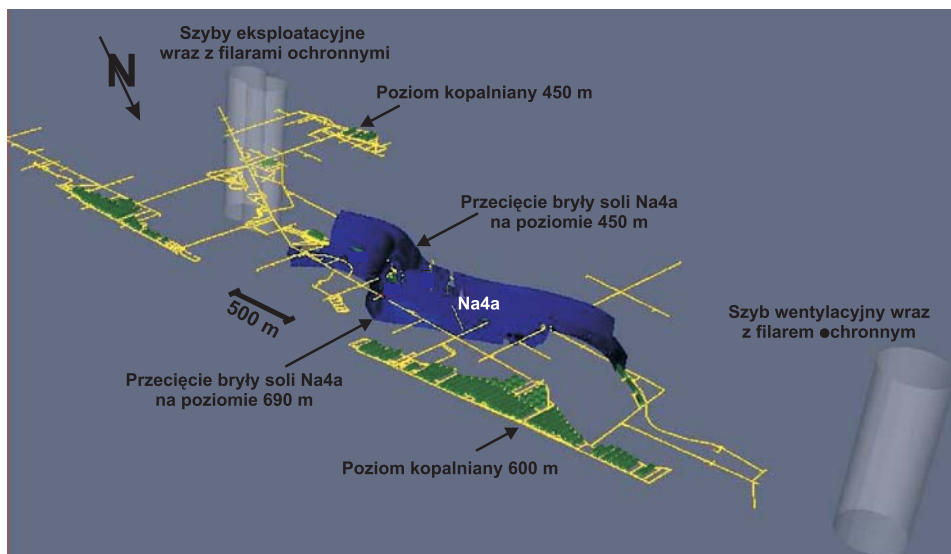


Rys. 5. Wizualizacja 3D fragmentu wydzielenia najmłodszej soli kamiennej dolnej (Na4a) zawartego pomiędzy poziomami kopalnianymi 450 a 690 m w kopalni Kłodawa

A – wizualizacja techniką TIN (ang. *Triangulated Irregular Network*) z widoczną siatką nieregularnych trójkątów; B – zwizualizowana ostateczna bryła soli kamiennej

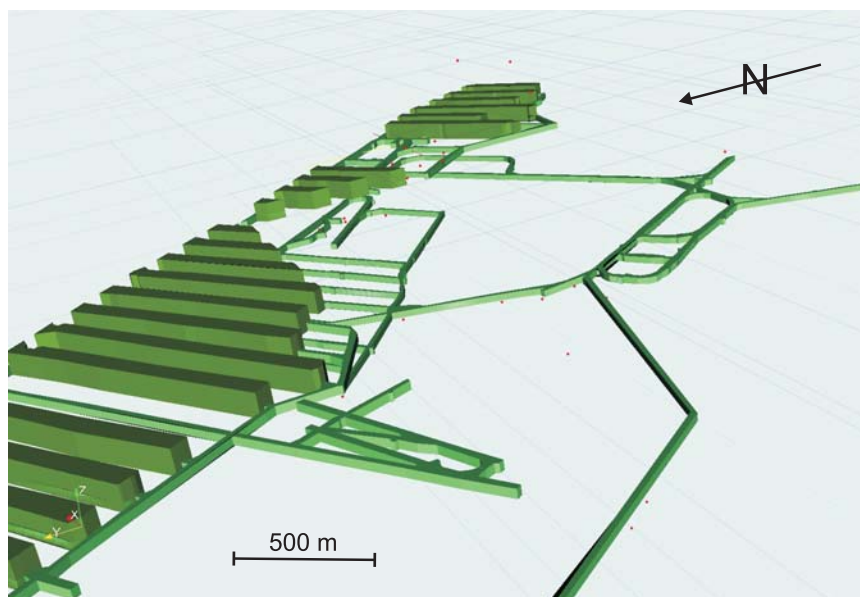
Fig. 5. 3D image of a part of the Youngest Halite (Na4a) unit between the mining levels 450 and 690 m in the Kłodawa mine

A – imaging with TIN method (visible triangles net); B – final image of rock salt body



Rys. 6. Przestrzenny model 3D występowania ognia najmłodszej soli kamiennej dolnej (Na4) pomiędzy poziomami kopalnianymi 450 i 690 m w kopalni Kłodawa na tle głównych elementów podziemnej infrastruktury kopalni

Fig. 6. 3D image of the Lower Youngest Halite (Na4a) unit between the mining levels 450 and 690 m in the Kłodawa mine with main elements of mine infrastructure



Rys. 7. Wizualizacja 3D lokalizacji wycieków wodnych (czerwone punkty) w części kopalni Kłodawa na tle przestrzennego obrazu przebiegu chodników i komór (zielone) pomiędzy poziomami kopalnianymi 690 i 750 m

Fig. 7. 3D image of outflows (red dots) location in the part of Kłodawa mine between the mining levels 450 and 690 m with the corridors and galleries system (green)